

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

飼糧中添加中鏈三酸甘油酯對產蛋雞產蛋性能、蛋品質及蛋黃脂肪酸
蓄積之影響

Effects of dietary medium-chain triglycerides on laying performance, egg
quality and yolk fatty acid deposition in laying hens

研究生：陳容均

Graduate student: Jung-Chun Chen

中華民國 108 年 5 月

May, 2019

致謝

本論文能完成，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面啟發，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，承蒙畜產試驗所 李恆夫 博士、財團法人動物科學研究院 林傳順 博士及東海大學畜產與生物科技學系 林原佑 博士詳細審閱，並給予寶貴意見及指導，使本論文更加完善，特此敬申謝忱。

試驗進行期間，感謝實習牧場 劉嘉祐 組長教導木工技巧、水線維護及現場管理。感謝本實驗室學長 黃正耀、何重志、謝宜道、郭桓禎 及學妹 林雅品 協助完成試驗。感謝 林傳順 學長在我的蛋雞及試驗有疑問時給予協助，也感謝中美嘉吉 洪文興 學長及臺灣卜蜂 黃國雄 學長在飼料原料供應上的支援。

研究所求學期間，感謝系上各個老師及助教們的教導及關心，在我需要幫助時給予鼓勵；感謝 佩儀 助教於各方面的支援指導，Goday 及 正耀 學長就算已經畢業依然在我有疑問時認真幫我解答，R.C. 及 桓禎 學長在學問知識及實驗研究上的幫助，宜道 學長除了各方面的支援，亦在無意間點醒我並驅使我繼續努力。感謝 雅品 學妹在實驗上及在研究上的協助及互相勉勵。特別感謝 Niya 就算在不同實驗室，也願意在課業及試驗上鼎力相助，並在課餘時間陪我吃飯、聊天。另外感謝在蛋黃品評試驗中，辛苦擔任受試者的諸位，使試驗順利進行。

最後，感謝我的家人及男友 凱傑 在背後默默地支持我。感謝爸媽

無怨無悔的關愛與鼓勵，讓我能完成碩士學位，也謝謝弟弟在我研究所期間，不僅在家事上，實驗期間遇過年也同爸媽一起到學校雞舍幫忙；感謝大舅在我低潮時聽我說話並鼓勵我；感謝凱傑 7年來給予我莫大的支持與陪伴，接送我、陪我做實驗、巡雞舍，也感謝凱傑家人的支持與包容。

僅此將論文獻給所有幫助我的人，沒有你們就沒有今天的我，由衷地感謝你們。

目次

目次.....	I
表次.....	IV
圖次.....	V
壹、摘要.....	1
貳、前言.....	2
參、文獻檢討.....	4
一、脂質之定義及種類.....	4
二、脂質在飼糧中之應用.....	6
三、中鏈三酸甘油酯之組成及來源.....	7
四、MCT之消化、吸收及代謝.....	8
五、MCT對人類健康之影響.....	10
六、MCT對動物生產性能之影響.....	12
七、MCT對動物脂肪酸消化率之影響.....	14
八、MCT對動物蛋白質消化及蓄積之影響.....	15
九、MCT對動物血液中脂肪酸代謝之影響.....	16
十、MCT對蛋黃中脂肪酸含量之影響.....	18
十一、MCT對動物膽固醇代謝之影響.....	19

十二、MCT 對動物腸道健康之影響	21
十三、動物對 MCT 之耐受量	23
肆、材料與方法	26
一、試驗設計	26
二、試驗飼糧	26
三、雞隻飼養管理及採樣	26
四、樣品分析	29
1. 飼料、糞便及蛋內容物分析	29
1) 粗蛋白質測定	29
2) 脂肪酸組成測定	29
3) 蛋黃中膽固醇測定	30
4) 鈦濃度測定	30
5) 糞便尿酸測定	31
6) 微生物菌相測定	31
2. 蛋品質分析	31
1) 蛋殼強度測定	31
2) 蛋殼厚度測定	32
3) 蛋白、蛋黃高度及豪氏單位測定	32

4) 蛋黃顏色評級	32
5) 蛋黃品評	32
五、 數據計算	33
1. 脂肪酸消化率	33
2. 蛋白質消化率及蓄積率	33
六、 統計分析	34
伍、 結果與討論	36
一、 體重及產蛋性能	36
二、 蛋品質	45
三、 蛋黃感官品評	54
四、 脂肪酸及蛋白質消化率	54
五、 蛋黃膽固醇及脂肪酸含量	58
六、 血漿脂肪酸含量	60
七、 脂肪酸蓄積率	60
八、 糞便微生物菌相	66
陸、 結論	69
柒、 參考文獻	70
附錄	86
英文摘要	87

表次

表 1. 試驗飼糧組成.....	27
表 2. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞體重及產蛋性能之影響.....	37
表 3. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋品質之影響.....	46
表 4. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋黃感官品評之影響.....	55
表 5. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞脂肪酸及蛋白質全腸道消化率 (%) 及蛋白質蓄積率 (%) 之影響.....	56
表 6. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之 影響.....	59
表 7. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞血漿中脂肪酸比例之影響.....	61
表 8. 產蛋雞血漿及蛋黃與飼糧中脂肪酸組成之迴歸.....	62
表 9. 產蛋雞蛋黃與血漿中脂肪酸組成之迴歸.....	65
表 10. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞糞便微生物菌相之影響.....	67

圖次

圖 1. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞產蛋率之影響 (weeks 52-72)。	38
圖 2. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋重之影響 (weeks 53-72)。	39
圖 3. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋量之影響 (weeks 53-72)。	40
圖 4. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞飼料採食量之影響 (weeks 53-72)。	41
圖 5. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞代謝能採食量之影響 (weeks 53-72)。	42
圖 6. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞飼料換蛋率之影響 (weeks 53-72)。	43
圖 7. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋殼厚度之影響 (Weeks 54-72)。	47
圖 8. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋殼強度之影響 (Weeks 54-72)。	48
圖 9. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋白高度之影響 (Weeks 54-72)。	49

圖 10. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋黃高度之影響 (Weeks 54-72) °	50
圖 11. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋黃顏色之影響 (Weeks 54-72) °	51
圖 12. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞豪氏單位之影響 (Weeks 54-72) °	52

壹、摘要

本試驗旨在探討飼糧中添加不同含量中鏈三酸甘油酯對產蛋雞產蛋性能、蛋品質、蛋黃感官品評、營養分消化率、蛋黃脂肪酸、蛋黃膽固醇含量及糞便微生物之影響。144 隻 52 週齡 Hy-line W36 產蛋雞，逢機分配至 4 處理，每處理 6 重複，每重複 6 隻雞。分別飼予以 0、0.3、1.2 及 4.8% 中鏈三酸甘油酯 (MCT) 取代大豆油之試驗飼糧，為期 20 週。試驗期間，每週記錄飼料採食量、產蛋率及蛋重，每兩週測定蛋品質，每 4 週測定蛋黃脂肪酸及膽固醇含量。結果顯示，飼糧中添加 0.3 及 1.2% MCT 對產蛋雞體重、產蛋性能、蛋品質（除了降低蛋黃高度外）、蛋成分及蛋黃感官品評並無影響。飼糧中添加 4.8% MCT，與添加 1.2% MCT 組相較，降低蛋重及增加飼料換蛋率，提高蛋黃中中鏈脂肪酸及飽和脂肪酸含量、降低不飽和脂肪酸含量，提高糞便乳酸菌/大腸桿菌群菌落數 ($P < 0.05$)。飼糧添加 4.8% MCT，與添加 0.3% MCT 組相較，降低雞隻體重及蛋黃膽固醇含量 ($P < 0.05$)，於蛋黃質地評分有上升之趨勢 ($P < 0.10$)。飼糧添加 4.8% MCT，與對照組相較，顯著降低 C16:0、C18:0、C18:1 及 C18:2 脂肪酸消化率及代謝能採食量 ($P < 0.05$)。綜合以上，飼糧中添加 4.8% MCT 可提高蛋黃中中鏈脂肪酸及降低膽固醇含量，惟降低產蛋性能及長鏈脂肪酸消化率。飼糧中添加 1.2% 以下 MCT，對產蛋性能、蛋品質及蛋成分則無影響。

關鍵語：中鏈三酸甘油酯、產蛋性能、蛋品質、蛋黃脂肪酸、蛋雞

貳、前言

中鏈三酸甘油酯 (medium-chain triglycerides; MCT) 由含碳數 6 至 12 之中鏈脂肪酸 (medium-chain fatty acids; MCFA) 與甘油酯化而成，主要存在於椰子油及棕櫚仁油中。相較於長鏈三酸甘油酯 (long-chain triglycerides; LCT)，MCT 消化吸收迅速，可作為人類 (Bach and Babayan, 1982)、雞 (姜等, 1990; Furuse *et al.*, 1992) 及豬 (Chiang *et al.*, 1990) 快速且有效之能量，另具抑菌 (Dierick *et al.*, 2002) 及降低體脂蓄積 (St-Onge and Bosarge, 2008) 之作用。

許多研究指出，於飼糧中添加較高濃度之 MCT (10-35%) 不影響或降低仔豬 (Allee *et al.*, 1972; Newport *et al.*, 1979) 及大鼠 (Lavau and Hashim, 1978; Baba *et al.*, 1982) 之生長性能。而餵飼較低濃度 (0.2-5%) 之 MCT 飼糧可改善肉雞 (姜等, 1990) 及離乳豬 (Dierick *et al.*, 2002; Hanczakowska *et al.*, 2011; Hong *et al.*, 2012; Lai *et al.*, 2014) 之生長性能。以上結果顯示，於飼糧中添加適量 MCT 對動物生長性能具正面影響。

早於 1950 年代即發現 MCFA 具抑菌作用 (Nieman, 1954)。Van Immerseel *et al.* (2006) 指出，MCFA 較短鏈脂肪酸對沙門氏菌更具抗菌性。研究指出，MCT 飼糧可降低離乳豬大腸內容物之大腸桿菌菌落數 (Yen *et al.*, 2015)。於蛋雞飼糧中添加辛酸可分別降低糞便大腸桿菌及盲腸沙門氏菌菌落數 (Wang and Kim, 2011; Upadhyaya *et al.*, 2015)。

有關中鏈脂肪酸在產蛋雞方面試驗，皆以 MCFA 形式添加於飼糧中。然而，MCFA 具特殊異味 (Furuse *et al.*, 1993)，可能會降低飼糧之適口性。MCT 則並無異味，可能較適合添加於飼糧中。另外，除了

Świątkiewicz *et al.* (2010) 及 Upadhyaya *et al.* (2015) 於飼糧中單獨添加 MCFA 外，其他試驗皆將 MCFA 與其他飼料添加物混合同時添加於飼糧中 (Wang and Kim, 2011; Lee *et al.*, 2015)，使得無法分辨何為有效成分。

MCFA 在體內趨向於氧化代謝產生能量，較少蓄積於體組織中 [大鼠 (Kinkela *et al.*, 1983; Hill *et al.*, 1993), 嬰兒 (Sarda *et al.*, 1987)]，在肉雞，Chu and Chiang (2017) 發現，MCFA 於胸肉、腿肉及腹脂中之蓄積率小於 0.5，而於嬰兒皮下脂肪之蓄積率則小於 0.12 (Sarda *et al.*, 1987)。在產蛋雞試驗中，目前尚無蛋黃中 MCFA 蓄積率之試驗。

MCFA 可能會蓄積於蛋黃中，且因其具特殊異味 (Furuse *et al.*, 1993)，故飼糧中 MCT 可能降低蛋黃之適口性。

因此，本研究旨在探討飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞產蛋性能、蛋品質、蛋黃感官品評、營養分消化率、蛋黃及血漿脂肪酸、蛋黃膽固醇含量及糞便微生物之影響。

參、文獻檢討

一、脂質之定義及種類

脂質為不溶於水而溶於有機溶劑之有機化合物。脂質廣泛存在於自然界中，為細胞成分，同時也是生物體儲存能量主要形式，並具有緩衝作用（buffering effect），可緩衝外界於溫度或衝力上之變化，以維持動物體溫之恆定及保護內臟免受外力撞擊，亦提供調節生理運作物質，如提供必需脂肪酸及組成脂蛋白質（lipoprotein），在生物體中擔任重要之生化及生理功能角色。

脂質主要分為可皂化（saponifiable）及不可皂化（unsaponifiable）兩大部分。可皂化部分又可分為簡單脂質（simple lipids）及複合脂質（compound lipids）。不可皂化部分則稱為衍生脂質（derived lipids）。

簡單脂質為脂肪酸與醇類所形成之酯類，又分為甘油酯及蠟（wax）。甘油酯為含量最多之脂質，由脂肪酸之羧基（-COOH）與甘油之醇基（-CH₂OH）經脫水後所形成之酯化物（ester compound），又稱為中性脂肪（neutral fat）。在動植物中，主要以三酸甘油酯的形式儲存，以提供能量。脂（fat）在室溫下呈固態，如動物脂，因其含高比例之長鏈或飽和脂肪酸，熔點高；油（oil）在室溫下呈液態，如植物油，因其含高比例之中短鏈或不飽和脂肪酸，熔點低。

脂肪酸（fatty acid）為構成脂質之最小單位，主要由碳氫鏈及羧基組成，因其碳鏈長短及結構不同，自然界中存在許多不同之脂肪酸。依碳數多寡可分為短鏈（碳數 2-4）、中鏈（碳數 6-12）及長鏈脂

肪酸（碳數 > 12）；依碳氫鏈中雙鍵有無，可分為飽和（saturated）及不飽和（unsaturated）脂肪酸。不飽和脂肪酸中，僅具一雙鍵者稱為單元不飽和脂肪酸（monounsaturated fatty acid; MUFA），具有一個以上雙鍵者則為多元不飽和脂肪酸（polyunsaturated fatty acid; PUFA）。

蠟主要是為長鏈脂肪酸與高分子之單羥醇（monohydric alcohol）之酯化物，動物無法消化吸收。主要為動植物之保護層，存在於植物之莖、葉及果實表面以及動物之毛皮表層。

複合脂質由中性脂質與其他物質結合，包含磷脂（phospholipid）、糖酯（glycolipid）及脂蛋白質（lipoprotein）。

磷脂由中性脂質與磷酸酯化而成，為同時具有含氮或磷之親水及長羥基鏈之親油端之兩性分子。常與蛋白質、糖脂、膽固醇等其他分子共同構成脂雙層，即細胞膜之結構。磷脂為細胞膜上重要之組成分，除了構成生物膜之外，亦為生物膜表面活性物質成分之一，並參與細胞膜對蛋白質辨識及信號傳遞。在食品工業中，常作為天然乳化劑使用，蛋黃及大豆中之卵磷脂（lecithin）為最常見。

糖脂為脂質之醇基與碳水化合物以糖苷鍵結而成。主要作用為保持膜之穩定性及促進細胞辨別，大多存在於神經系統及腦部組織之髓鞘中。神經糖脂（glycosphingolipids）即以神經醯胺（ceramide）為基本構造，包含存在腦及神經組織中之腦苷脂類（cerebroside，中性糖苷脂）及神經組織中涉及神經傳導之神經節苷脂類（ganglioside，酸性糖苷脂）。

脂蛋白質為脂質與蛋白質之複合物，如乳糜球（chylomicron）、

極低密度脂蛋白質 (very low density lipoprotein; VLDL)、低密度脂蛋白質 (low density lipoprotein; LDL) 及高密度脂蛋白質 (high density lipoproteins; HDL)，功能為在血液中運輸脂質。

不可皂化之衍生脂質包括五碳異戊二烯酸 (terpenes)，如維生素 A、類固醇 (steroids)。類固醇包含性內分泌素、膽固醇 (cholesterol) 及麥角固醇 (ergosterol)。

其中膽固醇廣主要存在於動物體細胞膜中，同時也是合成重要內分泌素及膽酸 (cholic acid) 之原料，膽酸有助於脂質乳化，為脂質正常消化吸收所必須。動物體內幾乎所有細胞皆可合成膽固醇，乙醯輔酶 A 為膽固醇碳源主要提供者，而合成膽固醇主要關鍵為 HMG-CoA 還原酶，其活性受細胞內膽固醇所抑制，而降低膽固醇合成。

二、脂質在飼糧中之應用

在飼糧中主要提供能量，脂質代謝產生之能量約為蛋白質及碳水化合物之 2.25 倍，為最佳之能量來源。脂質亦提供動物必需脂肪酸，必需脂肪酸須由食物中攝取，動物無法自行合成，主要包括亞麻油酸 (C18:2 n-6)、 α -亞麻仁油酸 (C18:3 n-3) 及花生油酸 (C20:4 n-6)，如於飼糧中添加大豆油可提供動物 C18:2 及 C18:3 脂肪酸。脂質亦為脂溶性維生素吸收所需，包含維生素 A、D、E 及 K。食物中維生素 A 主要以視黃棕櫚酸酯 (retinyl palmitate) 形式存在，其消化吸收過程與脂質相似；維生素 A、D、E 及 K 之吸收需經膽酸將其乳化後通過腸細胞吸收。脂質添加於飼糧中可提高飼糧適口性 (Rolls, and

Hammer, 1995)，並可降低飼料塵揚 (Chiba *et al.*, 1987)，有利於動物及人員之呼吸道健康。脂質亦具潤滑作用，可降低配置飼料機具之磨損。

三、中鏈三酸甘油酯之組成及來源

中鏈三酸甘油酯 (medium-chain triglycerides; MCT) 於 1950 年代開始作為人類快速能量來源，被運用於各種臨床營養學，用以治療吸收不良綜合症，包含胰腺功能不全、脂肪吸收不良、淋巴乳糜微粒運輸受損、嚴重的高乳糜微粒血症、全營養注射劑及用於早產嬰兒配方乳粉中 (Seaton *et al.*, 1986; Marten *et al.*, 2006)。

MCT 主要存在於椰子油及棕櫚仁油中 (約 55-72%)，由含碳數 6 至 12 之中鏈脂肪酸 (medium-chain fatty acids; MCFA) 組成，如：己酸 (caproic acid; C6:0)、辛酸 (caprylic acid; C8:0)、癸酸 (capric acid; C10:0) 及月桂酸 (lauric acid; C12:0)，與甘油酯化而成。工業上較常使用椰子油做為 MCT 之來源，大部分以辛酸及癸酸為主要之脂肪酸，而常見之辛酸：癸酸比例為 70：30 (Bach and Babayan, 1982)。酯化反應在高溫下進行且不使用催化劑，過程中連續除去反應產生之水以使反應完成。當酯化完成時，通過真空蒸餾從反應混合物中除去過量之脂肪酸，並將粗 MCT 除臭以除去揮發性氣味、風味成分以及任何殘留之脂肪酸 (Akoh, 2006)。脂肪酸之水溶性會影響其消化率，一般水溶性越高，則消化率越高。中鏈脂肪酸之碳鏈較短水溶性較高，故消化率較高。其中辛酸之水溶性幾乎達到 C16:0 脂肪酸之 100

倍 (Bach and Babayan, 1982)。

四、 MCT 之消化、吸收及代謝

與一般所用之脂肪與油不同，MCT 之代謝速度與葡萄糖相同，且其熱量密度 (caloric density) 為蛋白質與碳水化合物之 2 倍 (Babayan, 1987)。MCT 在小腸中極易被胰解脂酶快速且完整地水解為 MCFA (以辛酸及癸酸為主)，水溶性較長鏈脂肪酸 (long-chain fatty acid; LCFA) 高，不需形成微膠粒即可直接被腸細胞吸收，亦不需形成乳糜球，而直接進入血液運送至肝臟 (姜, 2014)。由 MCT 水解之 MCFA 透過 β -氧化產生乙醯輔酶 A，乙醯輔酶 A 除進入 TCA 循環產生能量外，過多的乙醯輔酶 A 代謝後主要產生三種酮類， β -羥基丁酸酯 (β -OH-butyrate)、乙醯乙酸酯 (acetoacetate) 及丙酮 (acetone) (統稱為酮體) (Schönfeld and Wojtczak, 2016)。這些酮體及未經過代謝之脂肪通過循環系統分佈於血液中 (Augustin *et al.*, 2018)。人類大腦主要以葡萄糖作為能量來源，其次才是來自肝臟產生之酮體。然而，MCFA 能夠穿過血腦屏障，在腦中達到超過血漿脂肪酸 50% 以上之濃度，並為腦細胞 (神經元和星狀神經膠細胞) 提供替代能源 (Wlaź *et al.*, 2015)。

餵飼肉雞 4% MCT 飼糧時，肉雞腹脂之 C8:0 及 C10:0 脂肪酸有顯著蓄積之情形，當 MCT 濃度達 6.4%，肉雞帶皮腿肉之總脂肪酸含量降低，C8:0 及 C10:0 脂肪酸之蓄積隨著 MCT 濃度增加而提升 (Chu and Chiang, 2017)。而餵飼含 10 g/d，12 g/d 及 14.7 g/d MCT 飼糧之 7

日齡肉雞，於 10 日後體脂肪蓄積顯著低於 LCT 組者 (Mabayo *et al.*, 1993)。

大鼠試驗中，餵飼 MCT 因脂肪蓄積之減少而減少體重增加，其原因一般認為是 MCFA 多經 β -氧化代謝產生能量。在等能餵飼試驗中，與 LCT 組相比 MCT 組顯著增加熱產生量 (Geliebter *et al.*, 1983)。熱產生量增加可透過增加能量消耗及不改變攝取之能量而影響能量平衡，若能量攝取隨能量消耗增加而穩定，則可使體重下降 (Papamandjaris *et al.*, 1998)。另一試驗餵飼公大鼠 MCT 高脂飼糧，降低脂肪組織之脂肪蓄積、不增加骨骼肌及心肌脂肪含量，並增加葡萄糖耐受性，試驗中證實脂肪蓄積下降之原因為，MCFA 抑制與脂肪細胞分化有關之 PPAR γ 2 (peroxisome proliferator activated receptor-gamma 2 ; PPAR γ 2) 基因，降低主要脂肪形成轉錄因子之表現，導致參與脂肪酸輸入及酯化之基因表現降低，而降低脂肪細胞脂肪儲存能力 (Han *et al.*, 2003)。使得更多 MCFA 被遞送至肌肉及其他非脂肪器官，其中 MCFA 主要經過氧化產生能量，LCFA 則主要儲存於脂肪組織中 (Han *et al.*, 2003)。而 Shinohara *et al.* (2005) 之大鼠試驗結果顯示，MCT 組者之醯基輔酶 A 脫氫酶 (medium-chain acyl-CoA dehydrogenase; MCAD) 與過氧化酶體增植物激活受體 α 之 mRNA 表現與對照組無顯著差異，已知 LCFA 可作為 PPAR 之配位體，而 MCFA 是不良活化劑 (Forman *et al.*, 1997)，又 PPAR 可調節 MCAD 之 mRNA 表現 (Mandard *et al.*, 2004)，因此，MCT 對 MCAD 之 mRNA 表現無影響，可能是因為 PPAR 基因無反應 (Shinohara *et al.*, 2005)。MCAD 作用於脂肪代謝之過程，若其於 mRNA 之表現減少，可能降低脂肪代謝

之速率，進而影響脂肪蓄積。

五、 MCT 對人類健康之影響

近期 MCT 用於人類生酮飲食中，以治療癲癇發作、阿茲海默氏症及癌症等飲食敏感性疾病之研究越來越多 (Levy *et al.*, 2012; Klement *et al.*, 2016; Croteau *et al.*, 2017)。MCT 生酮飲食中，主要機制為以酮類替代碳水化合物作為能量來源。大鼠試驗中顯示，癩酸對於癲癇發作之控制有效。在使用戊四氮 (pentetrazol) 或灌流不含鎂之人造腦脊髓液 (Mg^{2+} -free artificial cerebral spinal fluid; Mg^{2+} -free artificial CSF) 而誘發癲癇狀活性模式鼠之海馬迴切片中，癩酸對兩種癲癇狀活性誘發模式鼠，皆於 30 分鐘內阻斷了癲癇狀活性 (Chang *et al.*, 2015)。

酮體對腦中代謝活性之影響，突顯生酮飲食作為阿茲海默氏症代謝變化治療之潛力。葡萄糖之攝取及代謝之減少，與進行認知 (progressive cognitive) 及運動退化密切相關，因神經元由於低效 (inefficient) 的糖酵解而缺乏能量 (Castellano *et al.*, 2015)。一項研究顯示，20 位阿茲海默氏症及輕度認知障礙症之患者，接受單劑口服 MCT，其中無 APOE- ϵ 4 基因型之患者，有增強短期認知之表現 (Reger *et al.*, 2004)。Ohnuma *et al.* (2016) 之研究顯示，MCT 生酮飲食對於無 APOE- ϵ 4 基因型之患者有益。

癌細胞通常高度依賴葡萄糖作為受質，依靠無氧糖酵解提供 ATP，稱為 Warburg 效應 (House *et al.*, 1956)。生酮飲食可能有助於癌症治療普遍接受之機制為，使循環血糖降低及利用腫瘤無法使用酮體

之特性而使腫瘤生長減少或消退 (Branco *et al.*, 2016)。許多腫瘤優先使用麩醯胺 (glutamine) 為受質而非葡萄糖，但生酮飲食是否對這些腫瘤有任何影響尚需進一步研究 (Martuscello *et al.*, 2016)。

使用 MCT 生酮飲食輔助治療糖尿病之研究發現，其可降低動物及人類血脂濃度並改善脂質分佈、減少體內脂肪及總體重，且增加人類的能量消耗 (Geng *et al.*, 2016; St-Onge *et al.*, 2003; Takeuchi *et al.*, 2006)。在小鼠及 2 型糖尿病患者之研究亦顯示，MCT 減少胰島素抗性及改善葡萄糖耐受性 (Takeuchi *et al.*, 2006)。Baba *et al.* (1982) 發現，餵飼 MCT 之小鼠體增重顯著低於餵飼 LCT 者，且 MCT 組平均脂肪細胞大小顯著小於 LCT 組者。在肉雞，姜等人 (1990)；Mabayo *et al.* (1993); Chu and Chiang (2017) 亦發現，飼糧中添加 MCT 可降低體脂肪蓄積。Chu and Chiang (2017) 指出，飼糧中添加不同含量 MCT 依序降低肉雞腹脂蓄積及胸肉脂肪含量。朱 (2013) 並發現飼糧中添加 MCT 可提高肉雞葡萄糖耐受性。

現代人飲食習慣改變，攝食不再只是為生存，高脂食物日漸增加，使得每日脂肪攝取量逐漸增加，進而增加與生活習慣相關之疾病以及肥胖症之比率。肥胖與高脂血症、糖尿病、高血壓等疾病有密切關係，可能導致心臟衰竭或腦血管疾病 (Abbasi *et al.*, 2002; Manson *et al.*, 1990)。一般認為高脂肪攝取量與肥胖症有密切關係。因此，控制日糧脂肪之量及種類，有助於肥胖症之預防 (Aoyama *et al.*, 2007)。著眼於日糧脂肪之代謝特性，於 1950 年代，已有試驗開始將 MCFA 用於脂肪代謝症狀相關之試驗 (Seaton *et al.*, 1986)。Tsuji *et al.* (2001) 發現，攝取 MCT 使 body mass index (BMI, 利用身高為基礎測量體重

是否符合理想範圍，為國際上通用評估胖瘦之方式，國人理想體重範圍為 BMI 18.5-24，BMI >24 表示過重) $\geq 23 \text{ kg/m}^2$ 之健康日本成人之體脂肪顯著下降，BMI $< 23 \text{ kg/m}^2$ 者則無顯著影響。Aoyama *et al.* (2007) 之試驗結果亦顯示，每日攝取 2 g MCFA 可抑制日本成人體內脂肪之蓄積，並表示 BMI $\geq 23 \text{ kg/m}^2$ 及 BMI $< 23 \text{ kg/m}^2$ 之受試者有不同之餐後脂質代謝。另外，於美國成年男性的試驗中發現，BMI 介於 25 kg/m^2 至 31 kg/m^2 之間之成年男性，持續攝取含有 MCT 之食物 28 天，可改善肥胖症，尤其是上半身肥胖症，此結果可能是由於 MCT 日糧組中，能量消耗與脂肪氧化較對照組多，且糞便中之脂肪含量較高 (St-Onge *et al.*, 2003)。以上結果顯示，MCT 對 BMI $\geq 23 \text{ kg/m}^2$ 之人類有降低體脂肪蓄積之作用，而於 BMI $< 23 \text{ kg/m}^2$ 者則無顯著影響。

六、 MCT 對動物生產性能之影響

飼糧中添加 MCT 可能影響動物增重、飼料採食量、飼料利用效率及死亡率。

Furuse *et al.* (1993) 指出以 MCT 替代對照組中之 LCT 時，肉雞之飼料採食量下降，可能為內源性膽囊收縮素 (endogenous cholecystokinin; CCK) 所影響。Mabayo *et al.* (1992) 亦指出，飼糧中含有 20% 三辛酸甘油酯 (trioctanoin) 及三癸酸甘油酯 (tridecanoin) 會提高雞隻血漿中 CCK 濃度，延緩嗉囊排空而降低飼料採食量；然而在 Furuse *et al.* (1993) 之另一試驗中使用 devazepide (DVZ)，一種 CCK-A 受體拮抗劑，添加於 MCT 飼糧組，此組肉雞之飼料採食量與無添加 DVZ

組皆下降。Marten *et al.* (2006) 亦指出，MCFA 所刺激之 CCK 分泌較 LCFA 少。以上結果顯示，飼料採食量下降並非受 CCK 所影響。因此推測飼料採食量下降原因為，MCT 水解後產生之 MCFA，己酸、辛酸及癸酸，有刺激性之異味，使飼糧之適口性下降 (Furuse *et al.*, 1993)。飼糧中 MCT 過多時，會降低飼糧適口性，而使動物飼料採食量下降。

餵飼 24 日齡剛離乳豬 3% MCT 飼糧，於離乳後 3 至 7 日及 0 至 14 日間，改善離乳豬飼料利用效率；於試驗 0 至 3 日間之仔豬下痢頭數顯著下降，但不影響仔豬死亡率 (Yen *et al.*, 2015)。另一研究顯示，餵飼離乳豬 0.55% MCT 飼糧，於離乳後 0 至 14 日間，改善離乳豬平均日增重，而不影響離乳後 15 至 28 日及 0 至 42 日之平均日增重、平均日飼料採食量及飼料利用效率 (Hong *et al.*, 2012)。Rodas and Maxwell (1990) 之研究顯示，離乳豬之平均日增重及飼料換肉率隨飼糧中之 MCT 含量增加而改善。而於仔豬 (17.4 ± 3.9 kg 體重) 飼糧中添加 4.8% MCT 可提高 0 至 4 週間之飼料利用效率 (Lai *et al.*, 2014)，以上結果與 Dierick *et al.* (2002) 在飼糧中添加 2.5% MCT，提高離乳豬飼料利用效率之結果一致。其中一個使離乳豬可有效利用 MCFA 之原因為其易於消化及吸收，並通過氧化提供快速能量。另一可能原因為 MCT 改變腸道菌相，降低腸道 pH 值，減少或抑制有害微生物（沙門氏菌）於腸道生長，並使腸道益菌增加，以減少腸道營養分被有害微生物消耗，使豬隻更有效利用攝取之營養分。

於肉雞試驗中，飼糧中添加 4% 椰子油或 4% MCT 或 C6:0 油不影響肉雞增重、飼料採食量及飼料利用效率（黃，2011；賴，2010）。

於 Khatibjoo *et al.* (2018) 之肉雞試驗中，額外添加 0.1% MCFA 對肉雞生長性狀、屠體性狀皆無顯著影響。於肉雞前期飼糧中添加 1.4% 辛酸可減少飼糧消耗及體增重，但對飼料利用效率無顯著影響 (Solis De Los Santos *et al.*, 2008)。於含有 8% 大豆油之基礎飼糧中額外添加 0.8% MCFA，肉雞增重顯著高於對照組，且飼料利用效率顯著較對照組佳 (Hejdysz *et al.*, 2018)。以上研究結果相異情形，可能因飼糧中添加之 MCT 及 MCFA 含量不同，且其中之脂肪酸組成及形式不同所致。

於蛋雞飼糧中添加 0.25% MCFA 不影響其產蛋率、蛋重、飼料採食量及飼料利用效率 (Świątkiewicz *et al.*, 2010)。

七、 MCT 對動物脂肪酸消化率之影響

LCT 與 MCT 代謝歧異始於腸道。與 LCT 相比，MCT 分子較小，較易被胰脂肪酶水解，因此提高 MCT 之消化速率 (Bach and Babayan, 1982)。且 MCT 較 LCT 更快更完全地水解為 MCFA，更快地被吸收至腸腔中 (Johnson and Cotter, 1986)。另外，MCFA 不需像 LCFA 形成微膠粒及乳糜球，因此更快地離開腸道並進入血液 (Akoh, 2006)。

Li *et al.* (2015) 餵飼離乳豬 0.7、1.4 及 2.1% MCT 對離乳後 12 至 14 天及 26 至 28 天之粗脂肪消化率皆呈線性，由對照組之 65.6% 及 79.7% 增加至 2.1% 組者之 75.03% 及 86.76%。餵飼肉豬添加 2.5% MCT 之飼糧，其中 C8:0 及 C:10 脂肪酸之迴腸消化率達 98% (Dierick *et al.*, 2002)。肉豬對 MCFA 之表面消化率大於 97%，於飼糧添加 4.8% MCT 增加肉豬 C6:0 脂肪酸之表面消化率 (Lai *et al.*, 2014)。然而豬隻對各種

不同來源之脂肪其消化及吸收能力不一，Cera *et al.* (1989) 於仔豬之試驗顯示，椰子油之消化率大於大豆油及玉米油，而其差異之主要原因之一為脂肪酸碳鏈長度。椰子油中主要含 C12:0，鏈長較大豆油及玉米油中之脂肪酸，如 C18:2 較短，使得仔豬對椰子油脂消化率較高。

肉雞試驗中，於含有 8% 大豆油之基礎飼糧中額外添加 0.3% MCT 或 0.8% MCFA 對脂肪消化率及代謝能無顯著影響 (Hejdysz *et al.*, 2018)。Zheng *et al.* (2006) 餵飼肉雞含有 MCFA 之特殊結構三酸甘油酯 (specific structured triacylglycerides; STG) 及菜籽油，隨 STG 含量增加 (菜籽油量減少)，脂肪消化率呈曲線增加，但未對各別脂肪酸進行消化率分析。

八、 MCT 對動物蛋白質消化及蓄積之影響

於離乳豬飼糧中添加 0.55% MCT 改善離乳後 0 至 14 日及 15 至 35 日之粗蛋白質表面全腸道消化率 (Hong *et al.*, 2012)。餵飼離乳豬 0.2% MCT 於離乳後第 6 週增加蛋白質消化率 (Devi and Kim, 2014)。而離乳豬飼糧添加 4.8% MCT 增加蛋白質表面消化率 (Lai *et al.*, 2014)。惟 Li *et al.* (2015) 餵飼離乳豬 0.7 至 2.1% MCT 於離乳後 12 至 28 天皆不影響乳豬之蛋白質消化率。

餵飼肉雞 20% MCT，顯著增加肉雞體內蛋白質濃度 (Furuse *et al.*, 1992)。而肉雞飼糧中以 MCT 取代飼糧中 90% 之大豆油時，顯著增加肉雞體蛋白質百分比 (姜等, 1990)。Mabayo *et al.* (1993) 之試驗中，餵飼肉雞 14.7 g/d MCT 之體蛋白質顯著低於 LCT 組者，而蛋白質蓄

積率與蛋白質利用效率在 10 g/d, 12 g/d 及 14.7 g/d MCT 組者皆高於 LCT 組者。肉雞餵飼含有 STG 之飼糧，有增加蛋白質蓄積率之趨勢（由 63.1 增加至 65.2%）(Zheng *et al.*, 2006)。Takada *et al.* (1990) 發現餵飼大鼠 0.34 g/mL MCT 降低體蛋白質之降解。但在肉雞，蛋白質蓄積率增加之原因為，降低蛋白質降解或增加蛋白質生成，亦或兩者同時發生尚不清楚 (Mabayo *et al.*, 1993)。而 Akiba *et al.* (1993) 發現，MCT 對公雞胺基酸利用率無顯著影響，且關於 MCT 對肉雞對蛋白質代謝之確切機制尚需進一步研究。Kita *et al.* (1993) 則測量攝取 MCT 之肉雞肝臟重量、肝臟蛋白質含量及蛋白質合成速率，發現餵飼 MCT 之肉雞，肝臟重量及相對蛋白質合成速率 (% /day) 皆大於 LCT 組者，但肝臟蛋白質含量及絕對蛋白質合成速率 (mg/day) 無顯著影響，結果顯示，MCT 增加肝臟蛋白質合成率，但不影響蛋白質蓄積率，MCT 可能影響肝臟蛋白質降解及/或蛋白質流失。

九、 MCT 對動物血液中脂肪酸代謝之影響

人類於代謝病房之試驗結果顯示，提供患者以棕櫚油、高油酸葵花油及 MCT 為主要脂肪來源之日糧，MCT 日糧組患者之血漿 MCFA 組成與棕櫚油組無顯著差異，僅檢測到少量 MCFA，且飽和脂肪酸濃度大於高油酸葵花油組 (Cater *et al.*, 1997)。

大鼠試驗中，飼糧中添加 5% MCT，較 LCT 組者顯著降低血清三酸甘油酯 (Shinohara *et al.*, 2005)。Shinohara *et al.* (2005) 表示，MCT 組者之氧化相關酶之活性未較 LCT 組者增加，但血清酮體含量較 LCT

組者高，結果顯示，MCFA 於大鼠肝臟中之氧化作用增強。

餵飼離乳豬 1 至 3% MCT 飼糧，不影響血漿三酸甘油酯濃度 (Yen *et al.*, 2015)。Li *et al.* (2015) 亦有相同發現，餵飼離乳豬 0.7 至 2.1% MCT 不影響離乳後 14 日及 28 日之血漿三酸甘油酯濃度。

餵飼 42 日齡肉雞含有 0.1% MCFA 之飼糧對其血清三酸甘油酯濃度無顯著影響 (Khatibjoo *et al.*, 2018)。Wang *et al.* (2015) 之試驗中，以椰子油取代大豆油餵飼公肉雞，於肉雞 42 日齡時血清三酸甘油酯隨椰子油取代量增加而顯著上升，血清膽固醇含量則隨椰子油取代量增加而下降。由 Wang *et al.* (2015) 之結果看出，MCFA 以椰子油之形式對血清三酸甘油酯與膽固醇之影響相互矛盾，因三酸甘油酯與膽固醇之分泌以協調方式調節，三酸甘油酯分泌增加可能使膽固醇分泌增加 (Marten *et al.*, 2006)。其中一個可能之解釋為，肉雞攝取高量 MCFA 會刺激胰島素分泌並促進合成代謝相關過程，因此，增加脂肪酸生成 (de novo fatty acid synthesis) 將使三酸甘油酯分泌增加 (Hill *et al.*, 1990)。

於飼糧中添加 MCT，使飼糧中之非必需脂肪酸 (nonessential fatty acid; NEFA) 含量下降，但於動物血漿及組織之 NEFA 蓄積提高，其原因可能與 MCFA 增加 NEFA 之生成有關。Chu and Chiang (2017) 之試驗中，餵飼肉雞 MCT 飼糧使胸肉、腿肉及腹脂之 NEFA 增加。大鼠餵飼 MCT 飼糧之試驗中亦發現腹脂 NEFA 蓄積增加 (Tucci *et al.*, 2011)。Bach and Babayan (1982) 指出，MCFA 易於大鼠肝臟中轉化為脂肪酸合成之前驅物乙酰輔酶 A。因此增加飼糧中 MCT 可增加乙酰輔酶 A，並使 C16:0 脂肪酸合成增加。當 C16:0 脂肪酸合成增加，便

可透過碳鏈延伸及去飽和過程增加其他 NEFA，例如 C18:0、C16:1 及 C18:1 脂肪酸。另外，PUFA 可抑制 Δ^9 去飽和酶之活性 (Kouba and Mourot, 1998)。因此含有較少量 PUFA 之 MCT 飼糧，可刺激 C16:0 脂肪酸之去飽和，並刺激 C16:1 及 C18:1 之合成。Smink *et al.* (2010) 於肉雞試驗中，清楚地表示 PUFA 及去飽和之間之關係，顯示 PUFA 有較高之氧化或延長-去飽和率，當飼糧中 PUFA 較高時，會抑制脂肪酸氧化或延長-去飽和，而此負相關亦為 Infield and Annison (1973) 所證實。

十、 MCT 對蛋黃中脂肪酸含量之影響

於產蛋雞飼糧中添加 MCT 之試驗中，較少探討 MCT 對蛋黃脂肪酸成分之影響，而蛋黃中之脂肪酸主要透過血液運送而蓄積。Noble and Cocchi (1990) 表示，蛋黃為不平均之黃色，包含白及黃蛋黃，白蛋黃佔蛋黃質量之 1-2%，與胚盤有關，於卵細胞成熟早期沉積；黃蛋黃佔 98-99% 之蛋黃質量，主要包含蛋黃之脂質，以 25-150 μm 之油-水乳化形式懸浮於蛋白質水相中，於卵細胞成熟晚期沉積。而幾乎所有蛋黃之脂質都以脂蛋白質之形式存在，脂質與蛋白質比例約為 2:1 (Noble and Cocchi, 1990)。蛋黃中脂肪酸存在形式及比例約為，三酸甘油酯 65%、磷脂 25%、游離膽固醇 6% 及膽固醇酯 1% (Maldjian *et al.*, 1996; Speake *et al.*, 1998)。蛋黃中脂肪酸主要包含油酸 (C18:1)、棕櫚酸 (C16:0) 及亞麻油酸 (C18:2) 及少量棕櫚油酸 (C16:1)、硬脂酸 (18:0) 及亞麻仁油酸 (C18:3) 以及極少量之花生油酸 (C20:4) 及二十二六烯酸 (C22:6)，在長鏈脂肪酸方面，蛋黃中脂肪酸含量，

隨產蛋雞攝取飼糧中之脂肪酸而改變 (Noble and Cocchi, 1990)。如 Caston and Leeson (1990) 餵飼蛋雞亞麻粕飼糧，蛋黃亞麻仁油酸含量由對照組之 0.38% 增加至 30% 亞麻籽飼糧之 11.5%。Nash *et al.* (1995) 於蛋雞飼糧中添加鮭魚粉，使蛋黃中 ω -3 脂肪酸含量由 1.53% 增加至 3.43%。Ayerza and Coates (2001) 餵飼蛋雞高 α -亞麻仁油酸含量飼糧，增加蛋黃中亞麻油酸及亞麻仁油酸之含量。Imran *et al.* (2015) 於飼糧中添加亞麻籽粉，使蛋黃中亞麻仁油酸由對照組之 1% 增加至 30% 亞麻籽粉組者之 13.5%。以上試驗中蓄積之脂肪酸皆為長鏈者。MCFA 則在體內主要被氧化提供動物能量 (Bach and Babayan, 1982; 姜等, 1990)，較少蓄積於動物體脂中 [大鼠 (Kinkela *et al.*, 1983; Hill *et al.*, 1993), 嬰兒 (Sarda *et al.*, 1987)]，然而目前無飼糧中 MCT 對蛋黃中脂肪酸組成影響之研究。

十一、 MCT 對動物膽固醇代謝之影響

脂肪酸通常根據其化學性質進行分類，如飽和度（飽和，單元或多元不飽和）。這種分類可有效預測日糧中脂肪酸如何影響人類血清膽固醇濃度，因大部分膽固醇升高作用可歸因於其飽和脂肪酸含量 (Grundy and Denke, 1990)。由於 MCFA 為飽和脂肪酸，與碳水化合物或單元不飽和脂肪酸相比，MCFA 會增加血清膽固醇濃度 (Cater *et al.*, 1997)。

動物體內膽固醇主要有兩種來源，分別為外源性及內源性者，且兩者可互相調節。動物體主要膽固醇來源為肝臟合成，部分由食

物中攝取，以脂蛋白形式於血液中運輸，主要存在於 LDL 及 HDL 中。脂肪及膽固醇與去脂脂蛋白質 (apolipoprotein; apo) 結合，使脂質溶於血液中，每種脂蛋白質包含多種去脂脂蛋白質，其中 Apo A 及 Apo B 在膽固醇及脂肪運輸平衡中扮演重要角色 (Irshad and Dubey, 2005)，Apo A 為血漿中高密度脂蛋白膽固醇 (HDL-C) 之主要蛋白質成分，有助於清除膽固醇；Apo B 則為乳糜球及低密度脂蛋白膽固醇 (LDL-C) 之主要去脂脂蛋白質，它負責將膽固醇運送至組織中 (Kane, 1983)。

提供成人 150% 能量之 MCT 飲食 6 天，不影響血漿膽固醇含量 (Hill *et al.*, 1990)。而於 Cater *et al.* (1997) 之試驗中，55 至 75 歲成年男性於三週間攝取棕櫚油、葵花油及 MCT 各一週，發現攝取 MCT 期間之總膽固醇及 LDL-C 濃度與攝取棕櫚油期間之濃度無顯著差異，並顯著高於攝取高油酸葵花油期間之濃度。而 MCT 幾乎只含有中鏈脂肪酸，此結果與廣泛持有之觀點，中鏈脂肪酸會提高總膽固醇及 LDL-C 濃度 (Cater *et al.*, 1997) 相反。

餵飼五週齡仔豬 10% MCT 飼糧，與對照組 (1% 牛油之低脂飼糧) 相比，血漿膽固醇含量無顯著影響 (Allee *et al.*, 1972)。然而 Li *et al.* (2015) 餵飼離乳豬 0.7 至 2.1% MCT 於離乳後第 28 天有降低血漿膽固醇含量之趨勢。

42 日齡肉雞餵飼 0.1% MCFA 可降低血清膽固醇 (Khatibjoo *et al.*, 2018)。與朱 (2013) 於飼糧中添加 6.4% MCT 時，肉雞血漿膽固醇濃度顯著增加之結果不同。

在蛋雞試驗中，許多研究旨在減少蛋中膽固醇含量，以減少消費

者食用雞蛋而攝取到之膽固醇。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因不同脂肪而有顯著影響；如餵飼椰子油飼糧增加蛋黃中 C12:0 及 C14:0 的含量，同時減少 C18:1 及 C18:2 之含量。Wang and Kim (2011) 於蛋雞飼糧中添加 120 mg/kg 辛酸及 120 mg/kg 絲蘭萃取物 (*Yucca schidigera* extract) 使血液及蛋黃中膽固醇含量顯著下降，然而作者表示，使蛋黃膽固醇降低之主要成份為絲蘭萃取物中之甾體皂素 (steroidal saponins) 並非辛酸，因皂素能與膽汁中排出之膽固醇結合，進而抑制腸肝膽固醇再循環 (Cheeke *et al.*, 2006)。多項研究指出，絲蘭萃取物可降低人類血液、蛋雞血液及雞蛋膽固醇含量 (Newman *et al.*, 1958; Kutlu *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003; Cheeke *et al.*, 2006)。綜上所述，MCT 如何影響蛋黃中膽固醇含量尚不清楚。

十二、 MCT 對動物腸道健康之影響

有機酸之抗菌機制主要透過降低 pH 值，抑制病原菌的侵入、增殖，及促進有益細菌生長，如乳桿菌 (*Lactobacillus*)，以改善腸胃道健康 (Partanen and Mroz, 1999)。MCFA 即具備降低腸道 pH 值，減少或抑制有害微生物 (沙門氏菌) 於腸道生長之作用。Van Immerseel *et al.* (2006) 指出，MCFA 較短鏈脂肪酸 (short chain fatty acid; SCFA) 對沙門氏菌更具抗菌性。而 MCFA 發揮抗菌作用，亦可減少腸道中對營養分利用率有影響之致病性菌群。細菌需要養分供自體使用，並與

宿主在胃及小腸中競爭營養分。於離乳豬飼糧中添加 2% MCT，降低大腸內容物之大腸桿菌菌落數 (Yen *et al.*, 2015)。Hong *et al.* (2012) 表示，在豬隻，己酸抑制乳桿菌及類球菌之生長，而癸酸及月桂酸僅抑制乳桿菌及鏈球菌屬，其研究結果也證實，MCFA 對消化率及生長性能之正面影響，為成功抑制致病細菌增殖之結果。

蛋雞餵飼添加 120 mg/kg 辛酸及 120 mg/kg 絲蘭萃取物之飼糧，降低糞便大腸桿菌菌落數 (Wang and Kim, 2011)。Upadhyaya *et al.* (2015) 之試驗於產蛋雞飼糧中添加辛酸降低盲腸及肝臟之沙門氏菌落數。

除了上述 MCFA 影響腸道環境，腸絨毛之形態亦會影響動物體健康。Hanczakowska *et al.* (2011) 之研究顯示，MCT 改變小腸粘膜結構，如增加絨毛高度，而因此增加離乳豬之粗蛋白質表面消化率。腸上皮細胞具有消化及吸收之功能，亦可作為抗原及細菌之屏障，並保持管腔內容物之適當粘度 (Pacha, 2000)。絨毛尖端之腸上皮細胞有最大之消化及吸收能力，因此絨毛高度可代表腸細胞功能能力 (Hampson, 1986)。於 Hanczakowska *et al.* (2011) 之研究中，MCT 組者之絨毛高度大於對照組，即可能為粗蛋白質消化率提高及生長表現之原因。離乳亦會影響仔豬腸絨毛高度，因腸細胞之損失導致絨毛高度降低。Pluske *et al.* (1997) 表示，絨毛萎縮是由於絨毛腸細胞數量減少引起，而非絨毛收縮而引起。Hall and Byrne (1989) 發現之現象顯示，離乳導致之絨毛高度降低，可能因絨毛頂端腸細胞損失率增加或腺窩中腸細胞產生率之短暫降低。Hall and Byrne (1989) 亦發現，與絨毛萎縮相關之腺窩腸細胞生成率下降，表示絨毛發育遲緩是因為新細胞生成速率下降，而非絨毛表面成熟腸細

胞代謝速率下降。然而，餵飼離乳豬 3% MCT 不影響離乳豬之飼料利用效率，亦不影響其空腸絨毛高度、腺窩深度以及絨毛高度與腺窩深度比值（顏，2015）。餵飼肉雞 0.1 % MCFA 不影響肉雞飼料利用效率，亦不影響空腸絨毛高度及腺窩深度 (Khatibjoo *et al.*, 2018)。

十三、動物對 MCT 之耐受量

MCT 具有生酮特性，酮體包含乙醯乙酸、 β -羥基丁酸鹽及丙酮，前兩者於肝臟產生，進入血液中，部分乙醯乙酸脫羧形成丙酮，由肺臟呼出，其餘酮體則運送至組織中，於飢餓狀態下，可為組織提供快速能量來源，尤其腦部及肌肉。人類或動物血液中酮體含量過高會發生酮血症（ketosis），可能損害各組織細胞導致動物失重、乳產量大跌及懷孕母畜之流產，並為藉由尿液排出多餘酮體，尿使得體內水分及電解質流失，導致脫水及飲水量增加（姜，2014）。酮體亦具麻醉作用，可能因血中酮體含量過高而降低動物活力 (Bach and Babayan, 1982; Lin *et al.*, 1995)。為避免以上沉狀發生，動物體對 MCT 有其一定耐受量，在耐受範圍內之 MCT 添加量則不影響動物生產性能。

另外，MCT 水解後產生之 MCFA，具特殊異味，Furuse *et al.* (1993) 表示，此異味可能使雞隻對飼料之適口性下降，並且 Mabayo *et al.* (1996) 表示，雞隻對 MCT 之自然迴避反應，亦為飼料採食量下降之原因。若飼糧中 MCT 含量過高，使得適口性下降，則會對動物之生長有負面影響。

人類一餐 MCT 之耐受量大約為 25-30 g，若大量攝取，會導致不

良的胃腸道症狀，包括噁心，嘔吐，腹脹，胃腸不適，腹部痙攣和滲透性腹瀉 (Jeukendrup and Aldred, 2004)。

大鼠餵飼 18 及 36 mL/kg 體重 MCT 時，於餵飼第一、二天發現軟便現象 (Klimmer, 1971)。若每日灌餵大鼠 1 至 3 mL MCT (約 3.58 至 7.56 mL/kg 體重及 10.8 至 21.3 mL/kg 體重) 30 日，於試驗開始第 5 至 7 日時，發生下痢及飼料採食量下降之情形，但於 30 日內無中毒現象發生 (Klimmer, 1971)。餵飼大鼠 34% MCT 8 週，於試驗期間大鼠體重及飼料採食量皆下降 (Lavau and Hashim, 1978)。而餵飼 25% MCT 6 週，使大鼠體重下降 (Baba *et al.*, 1982)。以上結果顯示，大鼠對 MCT 之耐受量 <18 mL/kg 體重，若長期灌餵，則 <3.5 mL/kg 體重。而餵飼小鼠 4.4% MCT 1 年，提高小鼠血清中游離脂肪酸濃度、肝臟脂肪蓄積及氧化壓力 (Tucci *et al.*, 2011)。

餵飼離乳豬 13.5% MCT 飼糧不影響飼料利用效率 (Newport *et al.*, 1979)，而餵飼 10% MCT 飼糧不影響離乳豬生長性能 (Allee *et al.*, 1972)。飼糧中 MCT 含量下降至 5% 時，離乳豬飼料採食量上升，並改善飼料利用效率 (Dierick *et al.*, 2002)。而餵飼離乳豬 3% MCT 飼糧不影響其飼料採食量及存活率，並顯著改善離乳豬之飼料利用效率 (Yen *et al.*, 2015)。當飼糧中 MCT 含量為 0.35% 時，改善離乳豬之平均日增重及飼料利用效率 (Hong *et al.*, 2012)。餵飼離乳豬 0.2% MCT 飼糧亦改善平均日增重及飼料利用效率 (Hanczakowska *et al.*, 2011)。由以上結果推測，離乳豬飼糧中含有 5% MCT 在其耐受範圍內。

於肉雞飼糧中添加 4% MCT 時，肉雞 18 日齡體重及前期增重皆降低，但未影響肉雞 36 日齡體重、全期體重、全期飼料採食量、飼料利

用效率及死亡率，而當飼糧中 MCT 濃度達 6.4% 時，肉雞全期飼料採食量及增重皆減少，但對飼料利用效率及死亡率無影響，由此可知肉雞飼糧中 MCT 添加量不宜超過 4%（朱，2013）。而姜等（1990）於肉雞飼糧添加 3-5% MCT 對肉雞增重無影響，但些微改善飼料利用效率。

產蛋雞試驗目前多以 MCFA 之型式添加於飼糧中，除了 Świątkiewicz *et al.* (2010) 及 Upadhyaya *et al.* (2015) 於飼糧中單獨添加 0.25 及 1% MCFA 外，其他試驗皆將 MCFA 與其他飼料添加劑混合同時添加於飼糧中 (Wang and Kim, 2011; Lee *et al.*, 2015)，使得無法分辨其有效成分。尚需進一步研究，以探討產蛋雞對 MCT 之耐受量。

肆、材料與方法

一、試驗設計

144 隻 52 週齡 Hy-line W 36 產蛋雞，逢機分配至 4 處理組，每處理 6 重複，每重複 6 隻雞。雞隻 52 週齡時試驗開始，直至 72 週齡時試驗結束，為期 20 週。

二、試驗飼糧

試驗飼糧以玉米及去殼大豆粕為主之基礎飼糧（表 1），添加不同濃度（1）0；（2）0.3；（3）1.2；及（4）4.8% MCT，其營養成分皆符合或超過海藍產蛋雞飼養手冊及 NRC (NRC, 1994) 家禽營養分需要量手冊之建議添加量。飼糧以 MCT 部分取代大豆油，為等蛋白質飼糧，粗蛋白質為 17.8%，因 MCT 之代謝能較大豆油低（MCT 及大豆油之 ME 為 8400（姜等，1990）及 8800 kcal/kg (NRC, 1994)），各處理組飼糧之代謝能分別為 2,922，2,895，2,816 及 2,780 kcal/kg。MCT（Masester, Indonesia）組成為 C8:0，60.39% 及 C10:0，39.61%。大豆油組成為 C16:0，11.78%；C18:0，4.08%；C18:1，23.96%；C18:2，53.03% 及 C18:3，7.4%。

三、雞隻飼養管理及採樣

產蛋雞飼養於平飼雞舍，於地面及巢箱內部鋪設稻殼，每週更換巢箱內稻殼，每欄為長約 320 cm，寬約 154.5 cm，高度約 229 cm，共

表 1. 試驗飼糧組成

Table 1. Composition of experimental diet

Dietary medium-chain triglycerides, %	0	0.3	1.2	4.8
Ingredient, %				
Yellow corn	54.23	54.23	54.23	54.23
Soybean meal, (dehulled 48.5% CP)	26.0	26.0	26.0	26.0
Soybean oil	6.0	5.70	4.80	1.20
MCT	0	0.30	1.20	4.80
Butylated hydroxytoluene	0.02	0.02	0.02	0.02
limestone	10.80	10.80	10.80	10.80
Monocalcium phosphate	1.90	1.90	1.90	1.90
DL-Methionine	0.25	0.25	0.25	0.25
salt	0.30	0.30	0.30	0.30
Vitamin-mineral premix ¹	0.50	0.50	0.50	0.50
Calculated values				
Metabolizable energy, kcal/kg	2922	2895	2816	2780
Crude protein, %	17.80	17.80	17.80	17.80
Calcium, %	4.54	4.54	4.54	4.54
Available phosphorus, %	0.5	0.5	0.5	0.5
Analyzed values				
Crude protein, %	16.86	16.68	15.38	16.48
Total fatty acid (TFA), %	7.16	6.93	7.06	7.19
% of TFA				
C8:0	0	3.09	8.76	36.08
C10:0	0	1.90	6.35	24.36
C16:0	12.81	12.15	11.22	6.17
C18:0	3.60	3.32	2.97	1.19
C18:1	24.63	23.42	21.04	9.94
C18:2	52.96	50.44	45.20	20.38
C18:3	5.99	5.69	4.44	1.89
Medium-chain fatty acid	0	4.99	15.11	60.44
Long-chain fatty acid	100.0	95.02	84.87	39.56
Saturated fatty acid	16.42	20.46	29.30	67.80
Unsaturated fatty acid	83.58	79.54	70.68	32.20

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; Fe, 60 mg; Mn, 40 mg; Zn, 50 mg; Cu, 5 mg; I, 0.05 mg; Co, 0.05 mg.

24 欄，每欄設置一組產蛋箱，每組三格，每格大小為長 40 cm，深 45 cm，高 50 cm。試驗開始於 2017 年 12 月及結束於 2018 年 5 月 1 日，前四個月欄舍內溫度平均為 20°C，最後一個月之溫度平均為 25°C，試驗期間欄舍內濕度平均為 67.8%。光照計劃使用 Hy-line lighting program（使用鎢絲燈泡，光照強度 10 lux），每日光照時數 16 小時。每欄設置一個吊掛式圓筒飼料槽，試驗期間飼糧於每日早上餵飼一次，下午視情況補足使其任餵。每欄設置一個吊掛式自動飲水器提供雞隻飲水，每日以菜瓜布清洗。

於試驗開始及結束時測定雞隻體重，並於每日記錄每欄產蛋數及破蛋數，每週測定飼料採食量。每 2 週最後兩天每欄收 2 顆蛋測定蛋殼強度、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 週最後兩天每欄收 2 顆蛋，共收集 5 次後，取蛋黃合併混勻，於 -20°C 冷凍保存，以備測定蛋黃脂肪酸及膽固醇含量。

並於試驗第 18 週（雞隻 70 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 天，糞便於 -20°C 冷凍保存，以備測定鈦，脂肪酸，尿酸及蛋白質含量。

於試驗最後一天，於每欄取兩隻雞，由翼靜脈採血，血液置於含有 sodium heparin 143 U.S.P. 之試管中，立即以碎冰冰鎮，之後於 4°C 下以 1500 × g 離心 15 分鐘，取得之血漿於 -20°C 冷凍保存，以備測定血漿脂肪酸含量。

四、 樣品分析

1. 飼料、糞便及蛋內容物分析

1) 粗蛋白質測定

飼料經磨細、糞便解凍後經 60°C，24 小時乾燥 (UFE, Memmert Company, Germany) 並磨細，分別測定其中粗蛋白質含量 (A.O.A.C., 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，並計算粗蛋白質百分比 ($N\% \times 6.25$)。

2) 脂肪酸組成測定

依照 Sukhija, and Palmquist (1988) 之方法，取適量之飼料、糞便或蛋黃，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 90-220°C (3°C /min)、250°C 及 260°C，移動相氣體為 N_2 ，流速為 3 mL/mm、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) 蛋黃中膽固醇測定

以膽固醇分析套組進行。取 1 g 蛋黃加入裝有 2% NaCl 9 mL 之離心管後，於室溫下振盪 2 小時，取蛋黃溶液 10 μ L，加入裝有 1 mL 酵素反應液之微量離心管，混合均勻，於 37°C 培養 5 分鐘使其反應，取 1 mL 以分光光度計於波長 500 nm 下 (Hitachi U-2000, Tokyo, Japan) 測定吸光度。

計算公式如下：

標準品及樣品吸光值 - 空白組吸光值 = δA

膽固醇濃度 (mg/g) = $[200 \times (\delta A_{sample}/\delta A_{standard})] / \text{樣品重} \times 0.1$

4) 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 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，緩慢加熱至沸騰後，繼續加熱直至液體澄清 (從室溫至澄清，視情況約 60-100 分鐘)。冷卻後，倒入含約 25 mL 去離子水之燒杯中，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，以檢量線計算鈦濃度。

5) 糞便尿酸測定

糞便樣品中尿酸濃度之分析依 Marquardt (1983) 所述之方法。取約 0.05 g 樣品，置入 250 mL 三角錐形瓶，加入 100 mL pH 為 9.3 之 0.1 M glycine buffer。於 40°C 震盪 1 小時後靜置。取上層澄清液置入 15 mL 離心管中，以 5.25% 過氯酸溶液定量至 15 mL。置入離心機 (Z200A, Hermle Labortechnik, Germany) 於離心力 $4,185 \times g$ (6,000 rpm) 下離心 15 分鐘。離心後取上清液，以分光光度計 (Hitachi U-2000, Tokyo, Japan) 於波長 285 nm 下測定吸光度。

6) 微生物菌相測定

取 1 g 新鮮糞便，以 phosphate buffer saline (PBS) 進行 10 倍數之連續稀釋，取菌落數介於 30-300 之間稀釋倍數之 1 mL 稀釋液 (先透過預備試驗測得) 注入有蓋培養皿中，並加入不同之培養基。乳酸菌及大腸桿菌分別使用 MRS agar (Difco) 及 Chromocult coliform agar (Merck, Darmstadt, Germany); MRS agar 置入恆溫箱中 (Firstek Inc., Taipei, Taiwan) 以 37°C 培養 48 小時，Chromocult coliform agar 則以 37°C 培養 24 小時 (Jin *et al.*, 1998)。

2. 蛋品質分析

1) 蛋殼強度測定

蛋殼強度使用電子式拉力量測機 (Model-HI-8116, Hung-Ta Co., Taichung, Taiwan)，將蛋樣品尖端朝下鈍端朝上固定後，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之頂端、赤道端及鈍端。將三端之蛋殼取下，分別以蛋殼厚度測定儀（Model-ID-C1012EXBS, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan）測定其厚度，蛋殼厚度即為三個數值之平均。

3) 蛋白、蛋黃高度及豪氏單位測定

將蛋內容物至於蛋質測定台上（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

蛋黃於測定台上，由測定台下方以比色扇（Yolk Colour Chart, Robotmation Co., Tokyo, Japan）判定蛋黃顏色，1 至 15 分，1 為黃色最淺色，15 為橘紅色最深色。

5) 蛋黃品評

於試驗第 13、17 及 18 週時，於各重複各取蛋重相近於平均值之兩顆蛋，清洗後，經過 100°C，10 分鐘水浴加熱，靜置冷卻後取出蛋

黃，將蛋黃分為兩半，分別裝於透明盒中以防止氣味散失，將裝有蛋黃之透明盒逢機編號後，6位受試者，於未知樣品組別情況下，分別取得各處理組其中兩個樣品，共8個樣品，使用10級評分（1分表示極不佳，10分表示極佳）評量氣味、嘗味、質地、異味及整體可接受度。

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. 蛋白質消化率及蓄積率

依飼糧及糞便中尿酸氮濃度與鈦濃度比例，分別求出蛋白質全腸道消化率及蛋白質蓄積率：

1. 蛋白質蓄積率 (%) =

$$100 - 100 \times \frac{\text{飼料鈦濃度 (\%)} \times \text{糞便氮濃度 (\%)}}{\text{糞便鈦濃度 (\%)} \times \text{飼料氮濃度 (\%)}}$$

2. 蛋白質全腸道消化率 (%) =

$$100 - 100 \times \frac{\text{飼料鈦濃度 (\%)} \times [\text{糞便氮濃度 (\%)} - \text{尿酸氮濃度 (\%)}]}{\text{糞便鈦濃度 (\%)} \times \text{飼料氮濃度 (\%)}}$$

3. 可消化蛋白質蓄積率 (%) =

$$100 \times \frac{\text{蛋白質蓄積率 (\%)}}{\text{蛋白質消化率 (\%)}}$$

六、統計分析

產蛋性能及蛋品質以混合程序 (MIXED) 利用統計分析系統 (SAS, 2015) 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) 絕對值最低者為基準 (李

等，2012)。統計模式為處理效應，時間效應及兩者交互作用。若處理效應顯著 ($P < 0.05$) 或具顯著趨勢 ($P < 0.10$)，則以 Tukey 法，測定各處理間差異。

脂肪酸消化率、蛋白質消化率、蛋黃成分、蛋黃品評分數及微生物菌落數以一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行統計分析 (SAS, 2015)。若處理效應顯著 ($P < 0.05$) 或具顯著趨勢 ($P < 0.10$)，則以 Tukey 法，測定各處理間差異。另將蛋黃、血漿及飼糧脂肪酸比例進行直線回歸 (SAS, 2015)。以蛋黃脂肪酸及血漿脂肪酸比例作為依變數，飼料脂肪酸比例作為自變數，以回歸直線之斜率，作為個別脂肪酸之蓄積效率。

伍、結果與討論

一、體重及產蛋性能

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞體重及產蛋性能之影響如表 2 及圖 1-6 所示。

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋率及蛋量無顯著影響。飼糧中添加 4.8% MCT 之最終體重顯著低於添加 0.3% MCT 組者 ($P < 0.05$)。4.8% 組之蛋重顯著低於 1.2% 組者 ($P < 0.05$)。4.8% 組之飼料換蛋率 (飼料採食量/蛋量) 顯著高於 1.2% 組者 ($P < 0.05$)。4.8% 組之飼料採食量較 1.2% MCT 組者具較高之趨勢 ($P < 0.10$)。4.8% 及 1.2% MCT 組者之代謝能採食量顯著低於對照組及 0.3% 組者。以上結果顯示，飼糧中添加 0.3 及 1.2% MCT 對產蛋雞體重及產蛋性能並無顯著影響，惟添加 4.8% MCT 時，則不利於產蛋雞末重，蛋重及飼料換蛋率，並提高飼料採食量。

本試驗結果與 Świątkiewicz *et al.* (2010) 於產蛋雞飼糧中添加 0.25% MCFA，對產蛋雞蛋重及飼料換蛋率皆無影響之結果不同，可能因添加量及 MCT 形式不同所致。本試驗添加量較高，MCT 以三酸甘油酯形式添加，Świątkiewicz *et al.* (2010) 則以脂肪酸形式添加於飼糧中。

週齡對產蛋性能皆具影響 ($P < 0.05$)，主要因為產蛋雞 56 週齡時，各處理組之產蛋率皆顯著下降 (圖 1)。產蛋率下降之原因可能為於產蛋雞 56 週齡時，於雞舍內有麻雀飛入，而因防疫之管理，人員必須進入欄位將麻雀趕出，此動作非常態性，可能導致雞隻緊迫而使產蛋率下降，研究顯示，產蛋雞之緊迫與產蛋率呈負相關 (Uitdehaag *et al.*, 2008)，當產蛋雞對環境緊迫增加時，產蛋率則下降，但其中機

表 2. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞體重及產蛋性能之影響

Table 2. Effect of different levels of MCT in diet on body weight and laying performance of laying hens

Dietary MCT, %	0	0.3	1.2	4.8	SEM	<i>P</i> -value
Body weight, kg						
Initial	1.44	1.47	1.41	1.43	0.02	0.12
Final	1.62 ^{AB}	1.64 ^B	1.58 ^{AB}	1.55 ^A	0.02	0.02
Change	0.18	0.18	0.17	0.12	0.02	0.15
Laying performance						
Egg production, %	86.69	85.27	87.2	87.24	2.01	0.91
Egg weight, g	64.3 ^{AB}	63.7 ^{AB}	64.53 ^B	62.95 ^A	0.39	0.04
Egg mass, g	55.71	54.36	56.27	54.92	1.22	0.73
Feed intake, g	98.98 ^{ab}	98.90 ^{ab}	97.39 ^a	99.92 ^b	0.62	0.06
ME intake, kcal	289.19 ^B	286.37 ^B	274.26 ^A	277.80 ^A	1.79	<0.01
FCR ¹	1.79 ^{AB}	1.82 ^{AB}	1.74 ^A	1.83 ^B	0.02	0.03

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

^{AB} Values within each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

^{ab} Values within each row with different superscripts are tended to be different ($P < 0.10$).

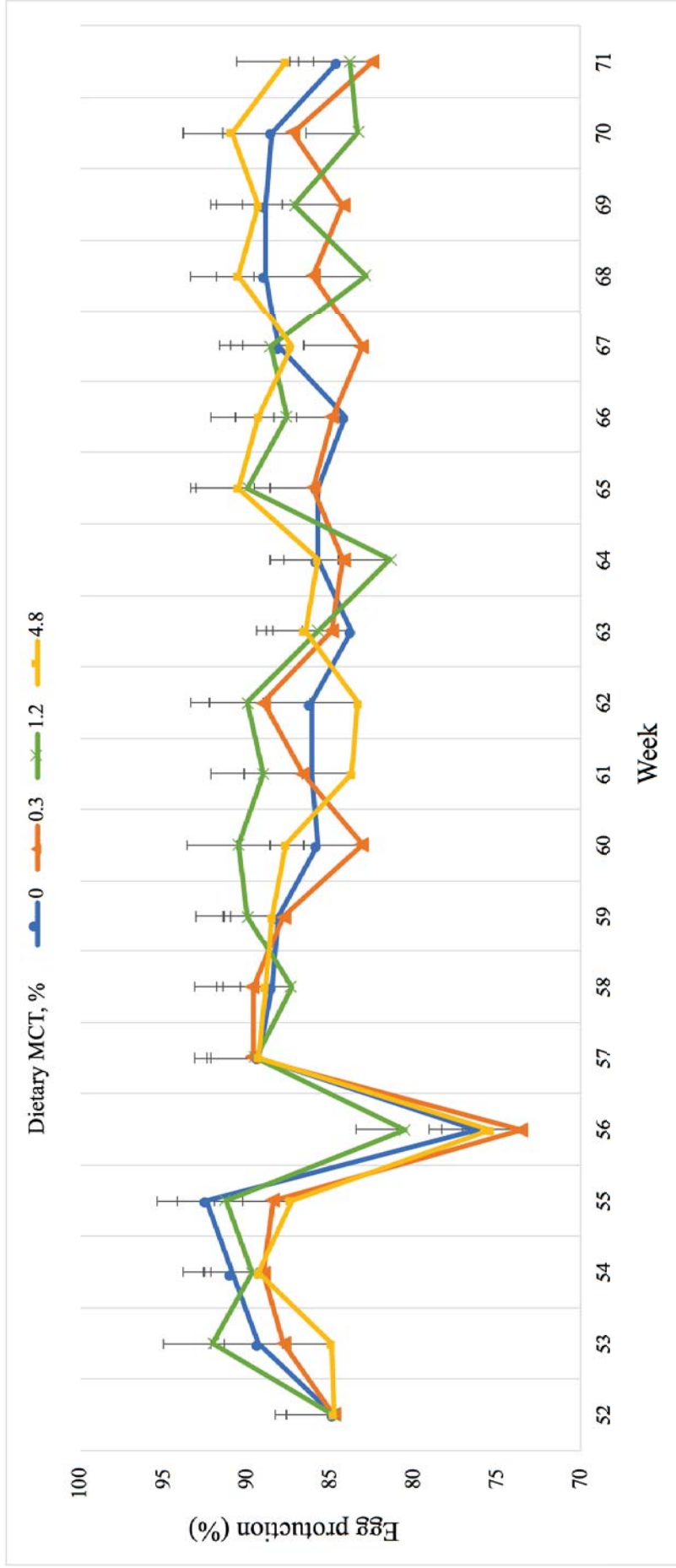


圖 1. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞產蛋率之影響 (weeks 52-72)。
 Figure 1. Effect of different levels of MCT in diet on egg production at different age of laying hens (weeks 52-72). Treatment effect: $P=0.91$ (SEM=2.01); week effect: $P<0.01$ (SEM=1.56); treatment \times week effect: $P=0.48$ (LSM \pm SE).

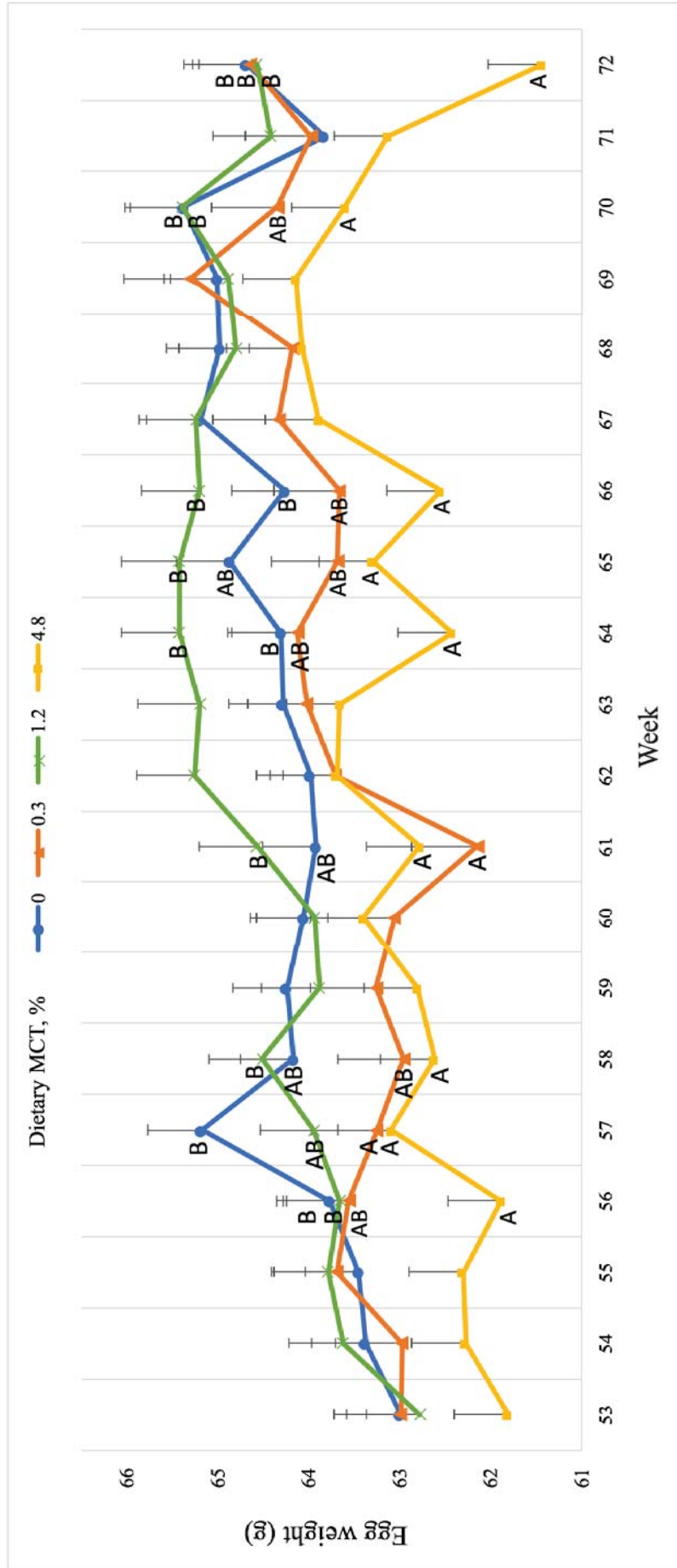


圖 2. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋重之影響 (weeks 53-72)。

Figure 2. Effect of different levels of MCT in diet on egg weight at different age of laying hens (weeks 53-72). Treatment effect: $P=0.04$ ($SEM=0.39$); week effect: $P<0.01$ ($SEM=0.32$); treatment \times week effect: $P=0.62$ ($LSM \pm SE$). ^{AB}Means with different superscript are significantly different from each other at each week ($P<0.05$).

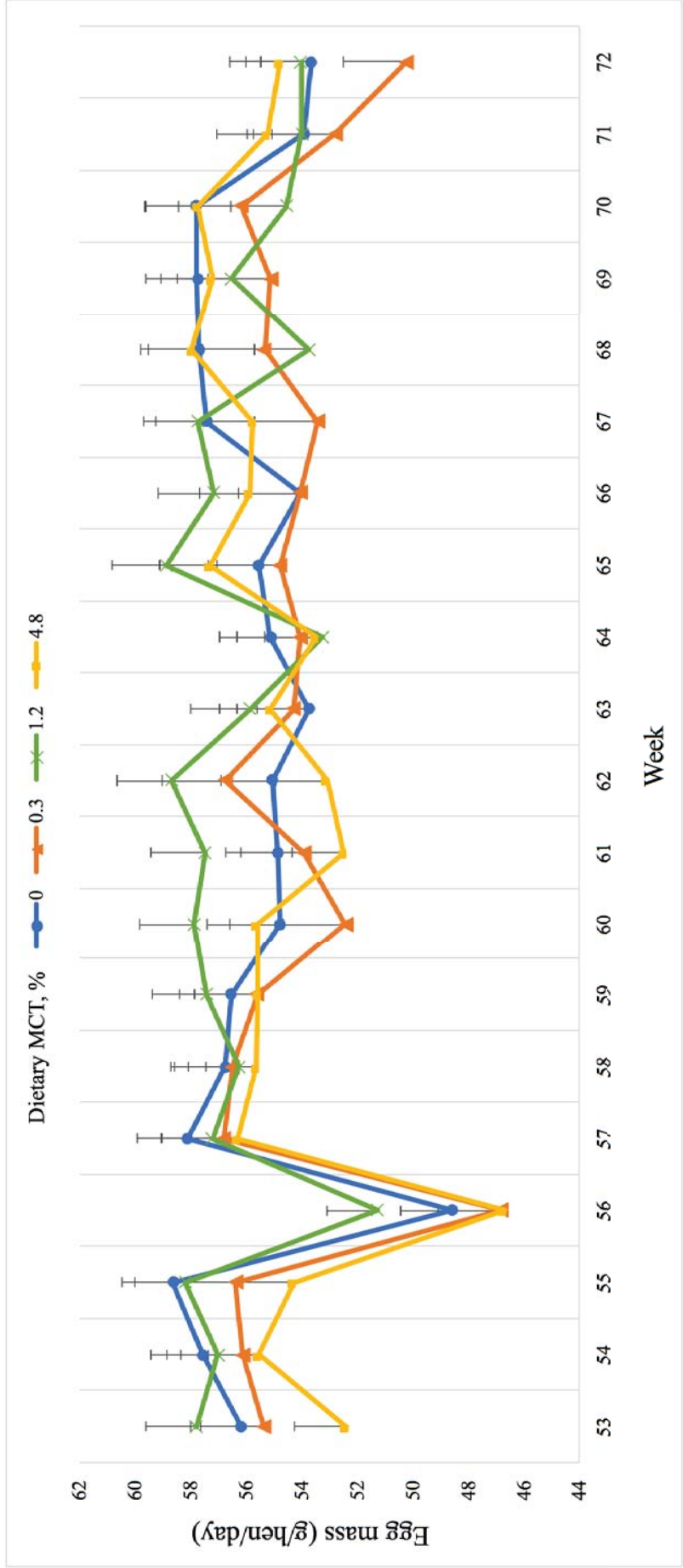


圖 3. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞產蛋量之影響 (weeks 53-72)。
 Figure 3. Effect of different levels of MCT in diet on egg mass at different age of laying hens (weeks 53-72). Treatment effect: $P=0.73$ (SEM=1.22); week effect: $P<0.01$ (LSM \pm SE); treatment \times week effect: $P=0.70$ (SEM=1.96).

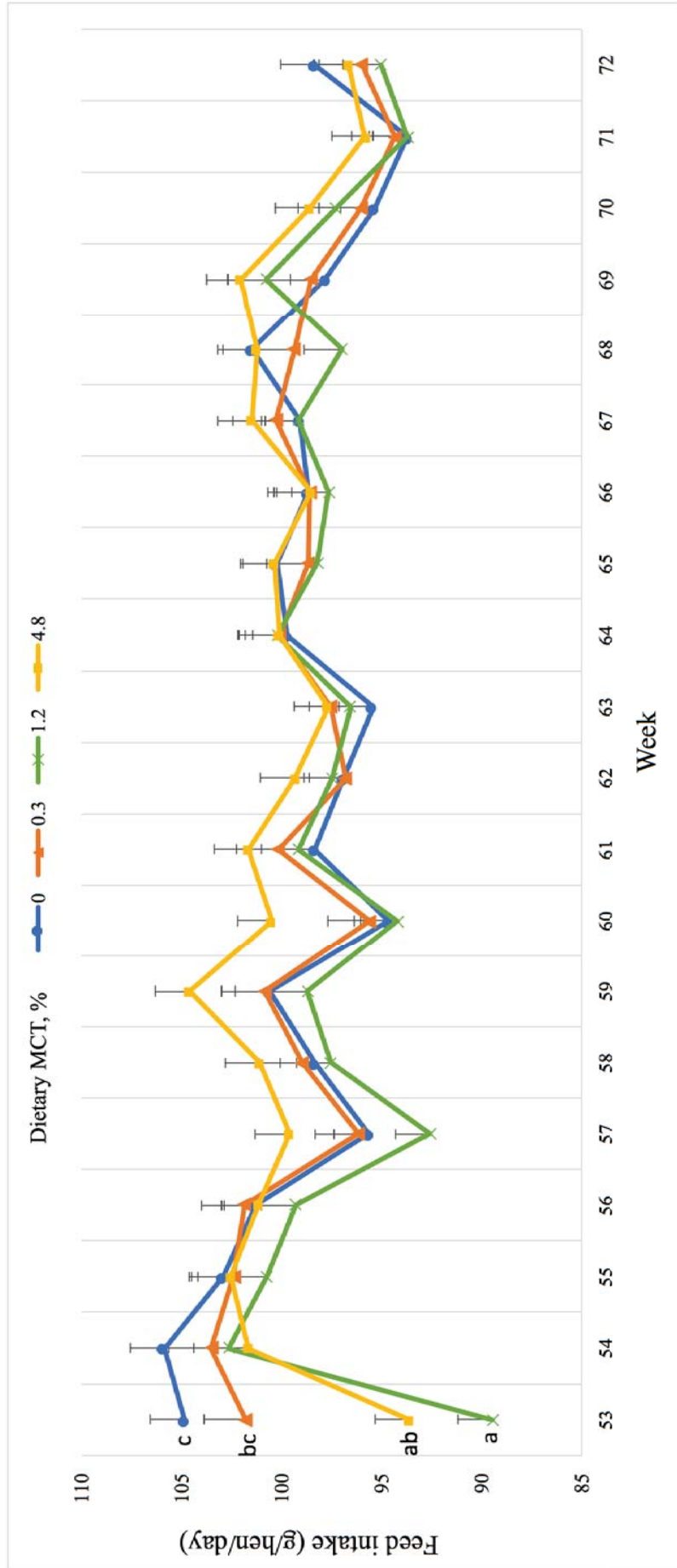


圖 4. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞飼料採食量之影響 (weeks 53-72)。

Figure 4. Effect of different levels of MCT in diet on feed intake at different age of laying hens (weeks 53-72). Treatment effect: $P=0.06$ (SEM=0.62); week effect: $P<0.01$ (SEM=0.92); treatment \times week effect: $P=0.05$ (LSM \pm SE).^{a,b} Means with different superscript tended to be different from each other at each week ($P<0.10$).

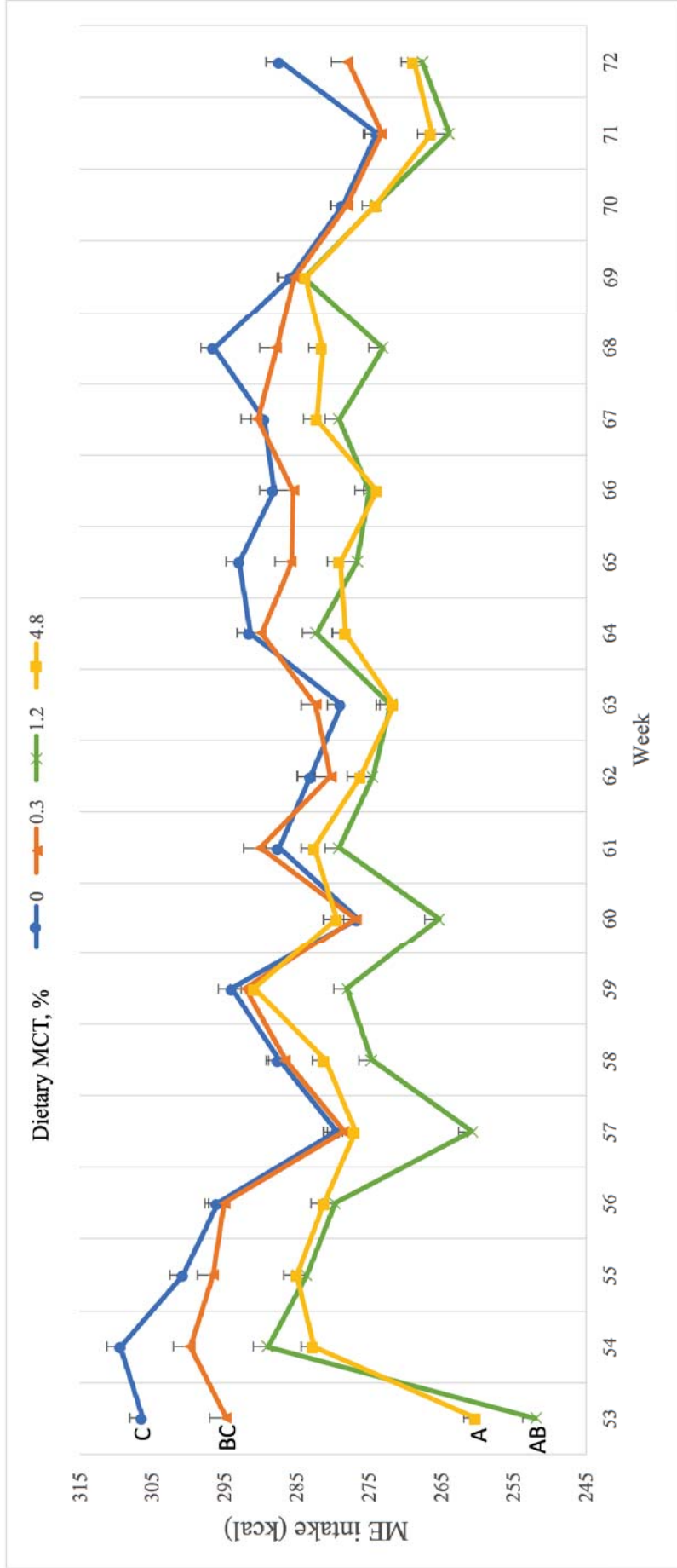


圖 5. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞代謝能採食量之影響 (weeks 53-72) 。
 Figure 5. Effect of different levels of MCT in diet on ME intake at different age of laying hens (weeks 53-72). Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=1.79); week effect: $P < 0.01$ (SEM=2.65); treatment \times week effect: $P = 0.06$ (LSM \pm SE). ^{AB}Means with different superscript are significantly different from each other at each week ($P < 0.10$).

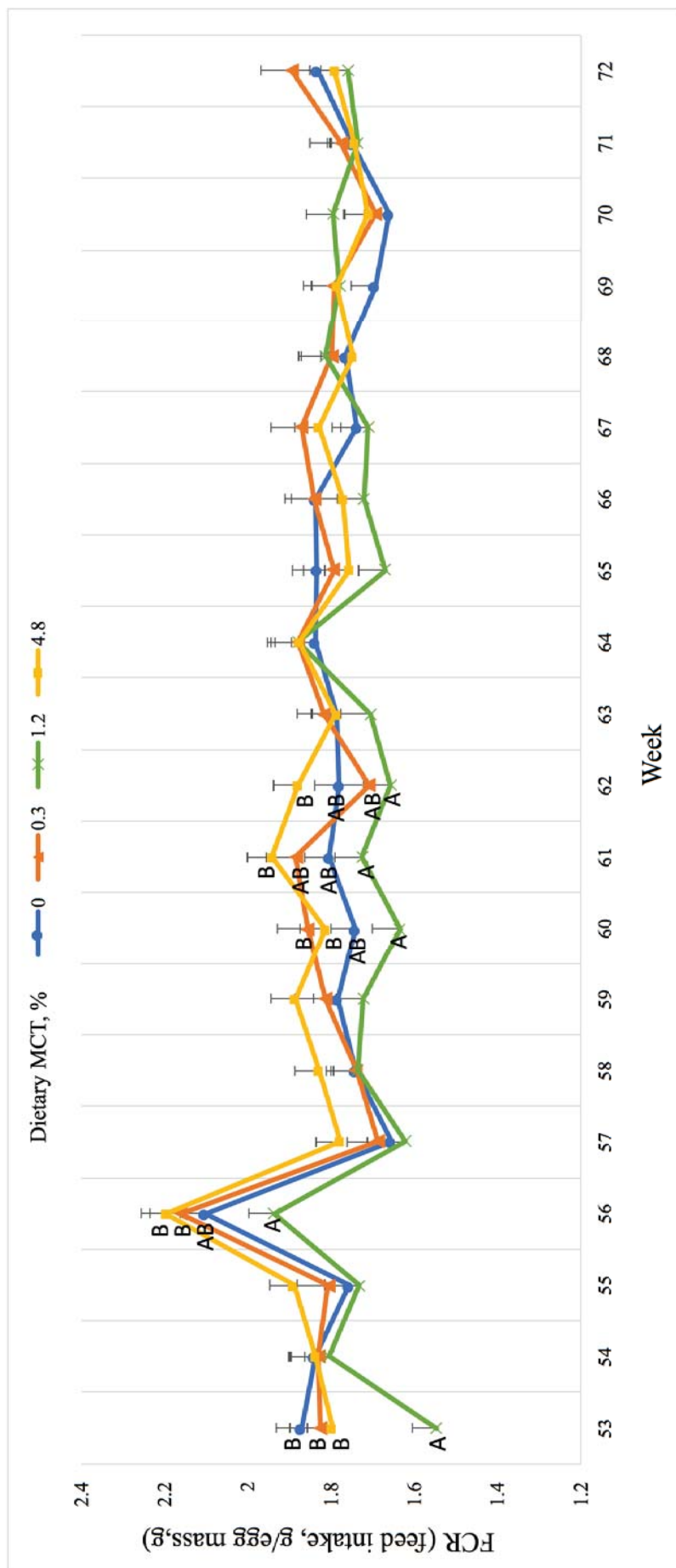


圖 6. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞飼料換蛋率之影響 (weeks 53-72)。

Figure 6. Effect of different levels of MCT in diet on feed conversion ratio at different age of laying hens (weeks 53-72). Treatment effect: $P=0.03$ (SEM=0.02); week effect: $P<0.01$ (SEM=0.03); treatment \times week effect: $P=0.45$ (LSM \pm SE). ^{AB}Means with different superscript are significantly different from each other at each week ($P<0.05$).

制需進一步研究。而 56 週齡之產蛋率數據，可能為全期週齡對產蛋率有顯著影響之原因。

對照組、0.3 % 組及 1.2% 組者之蛋重隨著產蛋雞週齡增加至 72 週齡而上升，4.8% 組之蛋重在大部分週齡中顯著低於對照組 ($P < 0.05$) (圖 2)。產蛋雞之蛋量隨週齡增加至 69 週齡持平，之後 69 至 72 週齡明顯下降。於產蛋雞 56 週齡時，各處理組之蛋量皆顯著下 (圖 3)。各處理組之蛋重隨週齡由 53 增加至 70 週而上升，結果與 Ketelaere *et al.* (2002) 之研究結果一致，蛋重隨著產蛋雞週齡由 36 增加至 74 週而顯著上升。

飼料採食量於試驗第一週 (產蛋雞 53 週齡) 時，1.2% 組有低於對照組及 0.3% 組者之趨勢 ($P < 0.10$)，4.8% 組有低於對照組者之趨勢 ($P < 0.10$)，隨產蛋雞週齡增加至 72 週齡，飼料採食量呈下降趨勢。代謝能採食量於試驗第一週 (產蛋雞 53 週齡) 時，1.2% 及 4.8% 組顯著低於對照組者，隨產蛋雞週齡增加至 72 週齡，代謝能採食量呈下降趨勢。造成試驗第一週飼料及代謝能採食量差異之原因可能因 MCT 水解後之 MCFA 具有特殊異味，且因雞隻對於 MCT 產生之刺激性氣味，產生自然迴避反應 (Mabayo *et al.*, 1996)，使得試驗第一週 1.2% 及 4.8% 組者之飼料採食量低於對照組及 0.3% 組。然而於 4.8% 組飼料採食量增加時，代謝能採食量卻下降，可能因 MCT 具有生酮特性，產生之酮體由血液運送至組織中，於飢餓狀態下，可為組織提供快速能量來源，飼糧中 MCT 添加量較高時，使動物酮體生成增加並提供快速能量來源，動物因能量攝取足夠而停止採食，而於 4.8% 組則需攝取較多飼糧已達到需要之能量。然而本試驗 1.2% 及 4.8% 組者之飼料

及代謝能採食量於第二週開始與對照組無差異，其原因亦可能為雞隻已適應 MCT 飼糧。Crozier *et al.* (1987) 表示，長期餵飼大鼠 MCT 飼糧，於試驗後期，大鼠肝臟酮體生成減少，且周圍組織酮體利用率增加，可能因大鼠已適應 MCT 飼糧。而飼料採食量之處理 × 週齡具交互作用 ($P=0.05$)，主要因 53 週齡時處理間之飼料採食量具顯著差異之趨勢 ($P<0.10$)，而其他週別則無所致 (圖 4)。

於產蛋雞 53 週齡時，1.2% 組之飼料換蛋率顯著低於其他三組，於產蛋雞 56 週齡時，1.2% 組者顯著低於對照組及 0.3% 組者，而整個試驗期間，隨產蛋雞週齡增加至 72 週齡飼料換蛋率於統計上有顯著影響 ($P<0.01$) (圖 6)。週齡對飼料換蛋率之影響 ($P<0.01$)，主要因 56 週齡時，產蛋率大降，飼料採食量持平，導致飼料換蛋率偏高所致。

二、 蛋品質

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋品質之影響如表 3 及圖 7-12 所示。

飼糧中添加不同含量 MCT 對蛋殼厚度、蛋白高度及豪氏單位皆無顯著影響。蛋殼強度於 1.2% 及 4.8% MCT 組比 0.3% MCT 組具較低之趨勢 ($P<0.10$)。蛋殼強度下降之趨勢，與 Świątkiewicz *et al.* (2010) 餵飼 46-70 週齡產蛋雞添加 0.25% MCFA 之飼糧，增加蛋殼強度之結果，及 Lee *et al.* (2015) 於飼糧中添加 0.2% 微膠囊化有機酸混合物加 MCFA (microencapsulated organic acid blend with MCFAs) 顯著增加蛋

表 3. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋品質之影響

Table 3. Effect of different levels of MCT in diet on egg quality of laying hens

Dietary MCT, %	0	0.3	1.2	4.8	SEM	<i>P</i> -value
Eggshell thickness, $\times 10^{-2}$ mm	33.18	33.67	33.33	32.90	0.01	0.36
Eggshell strength, kg/cm ²	2.06 ^{ab}	2.15 ^b	1.95 ^a	1.94 ^a	0.06	0.06
Albumin height, mm	9.22	8.73	9.36	9.04	0.27	0.41
Yolk height, mm	20.40 ^b	20.02 ^a	20.20 ^b	20.25 ^b	0.10	0.09
Yolk color	5.4 ^B	5.39 ^B	5.21 ^{AB}	5.0 ^A	0.08	<0.01
Haugh unit	93.36	91.36	92.68	92.76	1.05	0.59

^{AB} Values within each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

^{ab} Values within each row with different superscripts are tended to be different ($P < 0.10$).

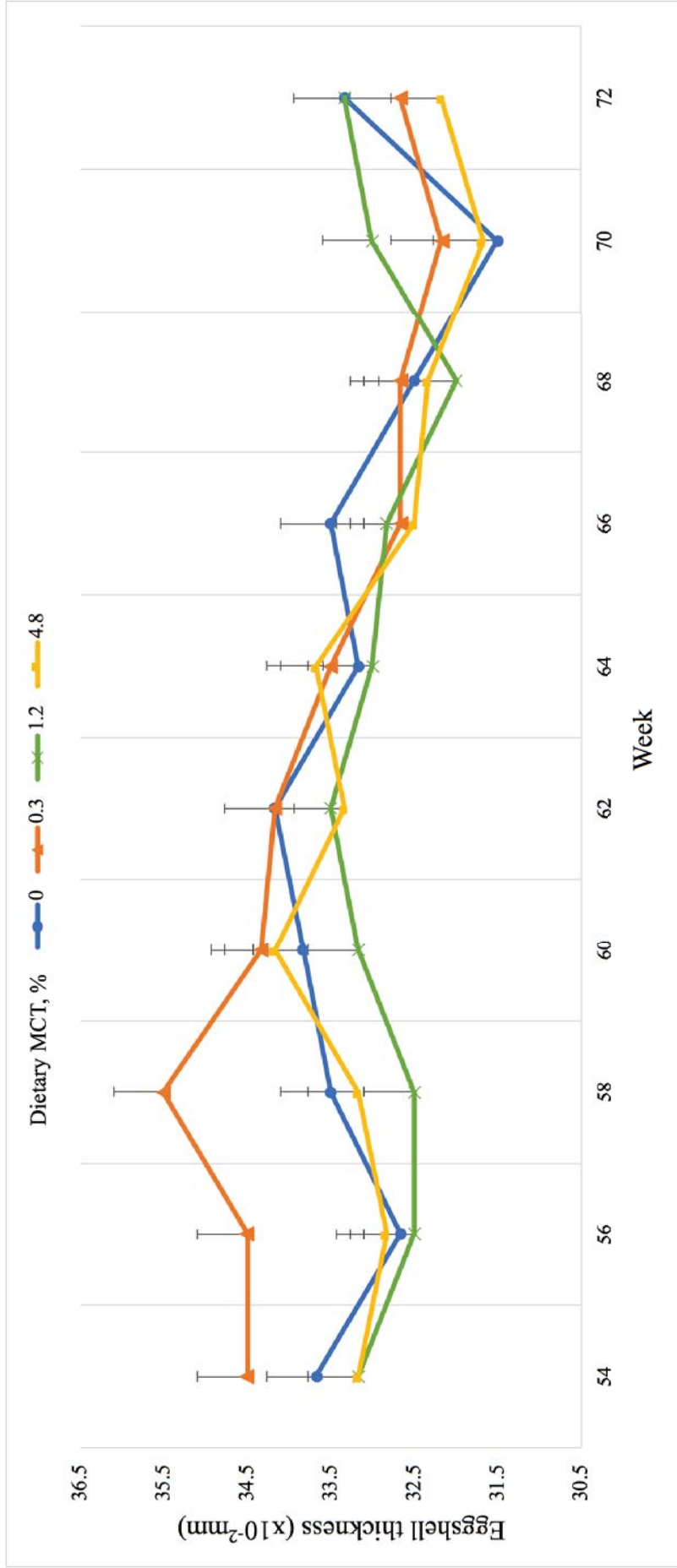


圖 7. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞殼厚度之影響 (Weeks 54-72)。

Figure 7. Effect of different levels of MCT in diet on eggshell thickness at different age of laying hens (weeks 54-72). Treatment effect: $P=0.36$ (SEM<0.01); week effect: $P=0.06$ (SEM=0.01); treatment \times week effect: $P=0.44$ (LSM \pm SE).

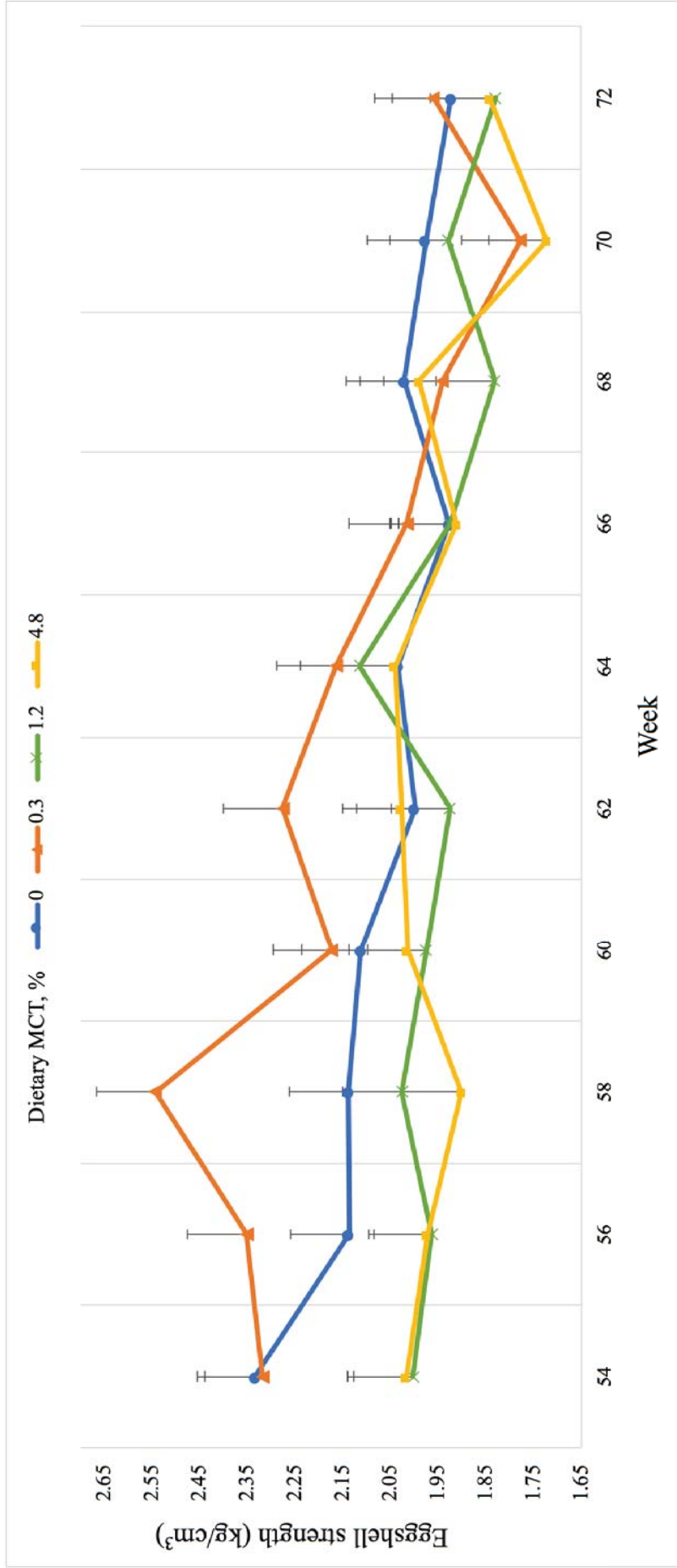


圖 8. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋殼強度之影響 (Weeks 54-72)。

Figure 8. Effect of different levels of MCT in diet on eggshell strength at different age of laying hens (weeks 54-72). Treatment effect: $P=0.06$ (SEM=0.06); week effect: $P<0.01$ (SEM=0.06); treatment \times week effect: $P=0.58$ (LSM \pm SE).

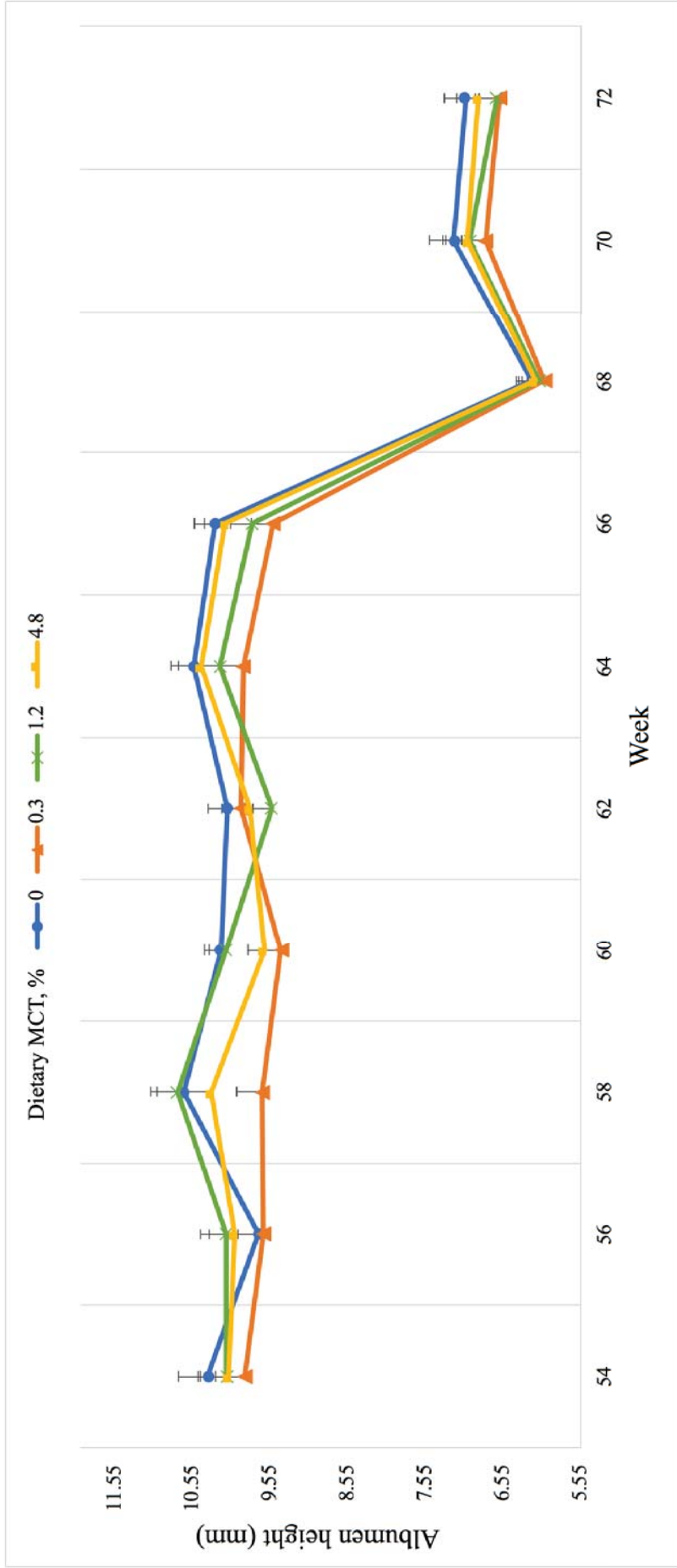


圖 9. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋白高度之影響 (Weeks 54-72)。

Figure 9. Effect of different levels of MCT in diet on albumin height at different age of laying hens (weeks 54-72). Treatment effect: $P=0.41$ (SEM=0.27); week effect: $P<0.01$ (SEM=0.31); treatment \times week effect: $P=0.06$ (LSM \pm SE).

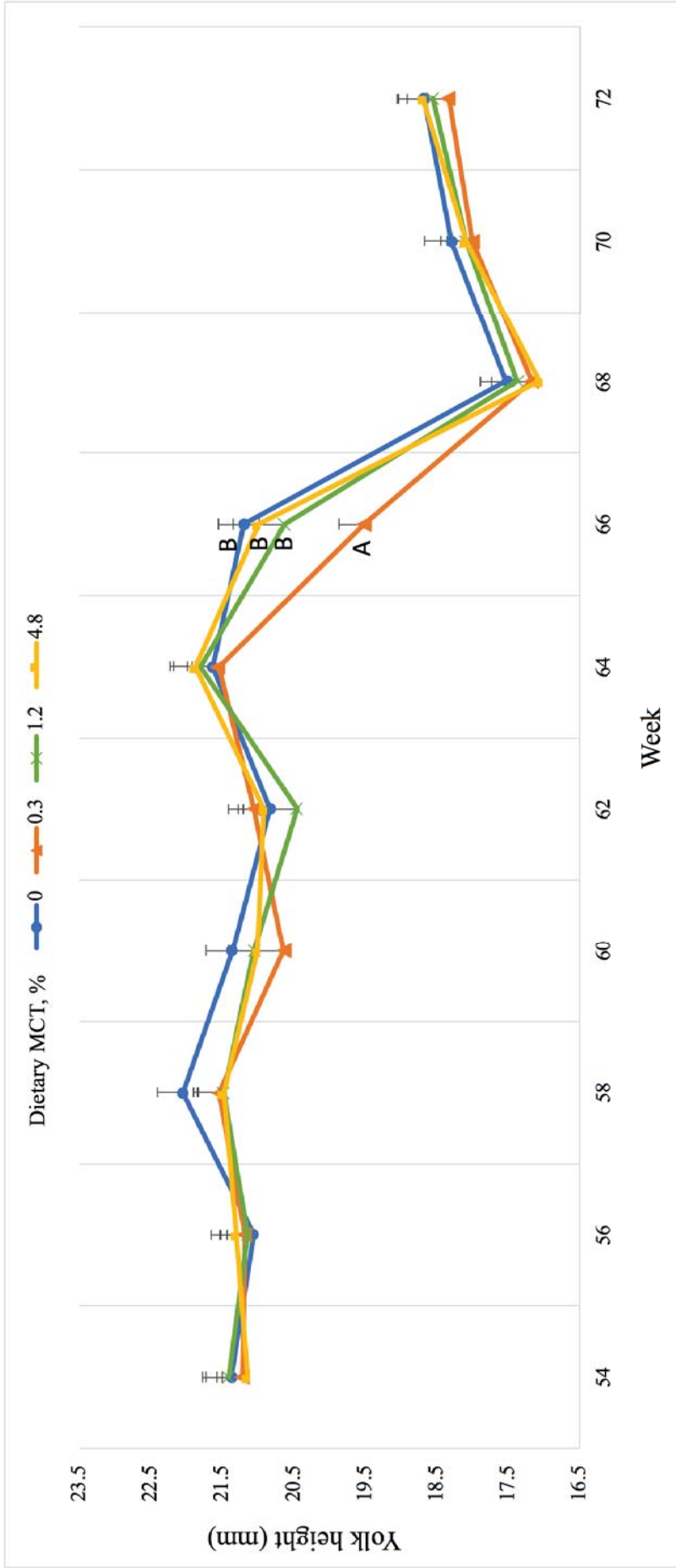


圖 10. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋黃高度之影響 (Weeks 54-72)。

Figure 10. Effect of different levels of MCT in diet on yolk height at different age of laying hens (weeks 54-72). Treatment effect: $P=0.04$ (SEM=0.13); week effect: $P<0.01$ (SEM=0.18); treatment \times week effect: $P=0.38$ (LSM \pm SE). ^{AB}Means with different superscript are significantly different from each other at each week ($P<0.05$).

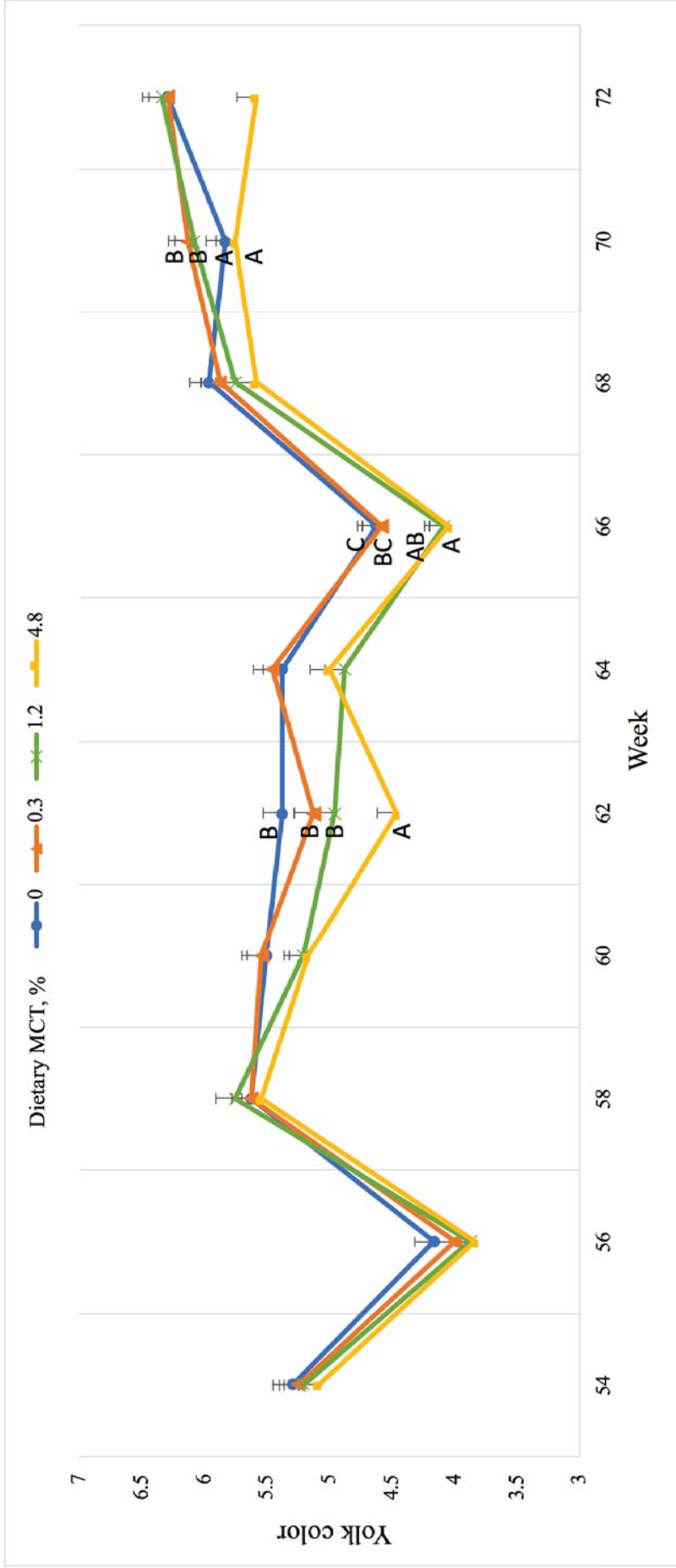


圖 11. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞蛋黃顏色之影響 (Weeks 54-72)。

Figure 11. Effect of different levels of MCT in diet on yolk color at different age of laying hens (weeks 54-72). Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=0.08); week effect: $P < 0.01$ (SEM=0.08); treatment \times week effect: $P = 0.10$ (LSM \pm SE). ^{AB}Means with different superscript are significantly different from each other at each week ($P < 0.05$).

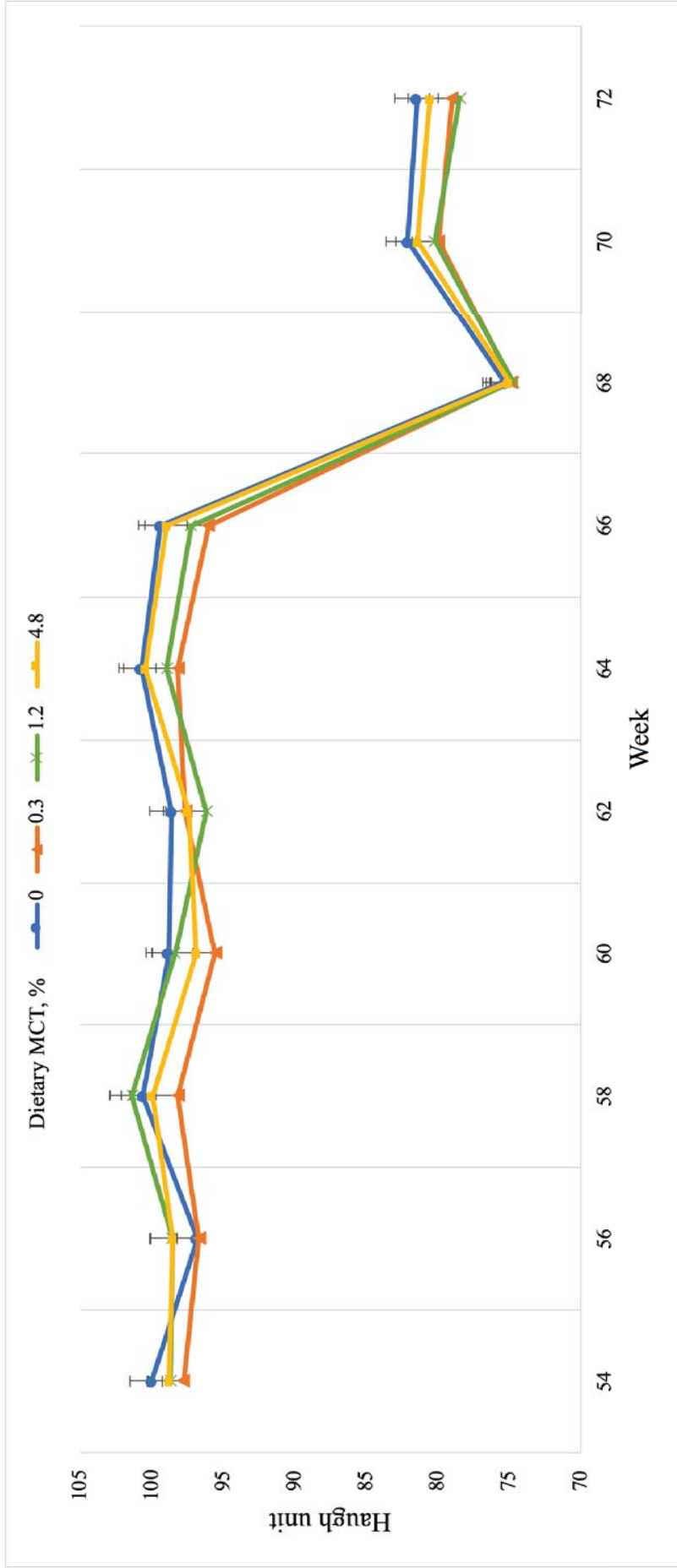


圖 12. 飼糧中添加不同含量 MCT 對不同週齡產蛋雞豪氏單位之影響 (Weeks 54-72)。

Figure 12. Effect of different levels of MCT in diet on Haugh unit at different age of laying hens (weeks 54-72). Treatment effect: $P=0.59$ (SEM=1.05); week effect: $P<0.01$ (SEM=0.86); treatment \times week effect: $P=0.81$ (LSM \pm SE).

殼強度，但不影響蛋殼厚度之結果相異。而 Świątkiewicz *et al.* (2010) 提到此結果，可能與 Garcia *et al.* (2007) 及 Senkoylu *et al.* (2007) 之研究結果有機酸降低腸道上部 pH 及對絨毛高度之刺激作用使鈣、磷可利用率增加有關，MCFA 亦具可降低腸道 pH 並刺激腸絨毛之作用。然而，他們的研究非直接添加 MCT，而為添加 MCFA，且 MCFA 之成分與本試驗相異，且添加量亦不同，可能為導致本試驗結果與其相異之原因。

蛋黃高度於 0.3% MCT 具較低之趨勢 ($P < 0.10$)。蛋黃顏色隨著 MCT 添加量增加至 4.8% 而顯著下降 ($P < 0.01$)。蛋黃顏色下降，可能因飼糧中 MCT 增加時，其中大豆油之含量隨之下降，而相較於 MCT 大豆油呈淡黃色，可能含有由大豆榨取大豆油時殘留之類胡蘿蔔素，4.8% 組者採食大豆油較少，使蛋黃顏色較淡。

週齡對蛋品質皆具影響。蛋殼厚度隨著週齡增加而有下降趨勢 ($P < 0.10$)。蛋殼強度、蛋白高度及豪氏單位皆隨著週齡增加而顯著下降 ($P < 0.05$)。各處理組之蛋白高度、蛋黃高度及豪氏單位於 68 週至 72 週時明顯下降，蛋黃顏色至 72 週而明顯上升。蛋殼強度及厚度隨著產蛋雞週齡增加而下降，與 Ketelaere *et al.* (2002) 之研究中，不同品系產蛋雞由 36 至 74 週齡測定蛋殼厚度及蛋殼強度，隨著產蛋雞週齡增加至 74 週，蛋殼強度顯著下降之結果一致。Ketelaere *et al.* (2002) 研究發現，產蛋雞週齡與蛋殼厚度有顯著負相關，當產蛋雞週齡由 36 增加至 74 週時，蛋殼厚度隨週齡增加而下降。

蛋白、蛋黃高度及豪氏單位於 68 週至 72 週時顯著下降，蛋白高度及豪氏單位隨儲存時間增加而降低，且較高溫度下降速率增加

(Roberts, 2004)，而蛋白、蛋黃高度及豪氏單位，可能因於產蛋雞 68 至 72 週齡時，接近夏天，氣溫上升，使得蛋白、蛋黃高度及豪氏單位顯著下降。Samli *et al.* (2005) 測定 50 週齡產蛋雞之蛋白高度及豪氏單位，結果顯示隨儲存時間增加蛋白高度及豪氏單位皆下降。

而於產蛋雞 56 週齡時，蛋黃顏色較其他週為低，可能因當週產蛋雞受環境緊迫，使得營養分吸收下降，然而較少對於產蛋雞受到緊迫對蛋黃顏色影響之研究。

三、 蛋黃感官品評

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋黃感官品評之影響如表 4 所示。蛋黃質地於 0.3% 組有低於 1.2 及 4.8% 組者之趨勢 ($P < 0.10$)，蛋黃整體可接受度於 0.3% 組有低於 1.2% 組者之趨勢 ($P < 0.10$)。而統計上蛋黃質地隨 MCT 添加量由 0.3% 增加至 4.8% 而有上升之趨勢 ($P < 0.10$)。處理差異不大之原因在於甚少 MCFA 蓄積於蛋黃中 (表 6)。本試驗為探討一般消費者對於此蛋黃之接受度，故品評試驗之受試者皆未接受訓練。Upadhyaya *et al.* (2015) 於飼糧中添加 0.7% 及 1% 辛酸，受試者無法辨別處理組與對照組蛋黃之差別。

四、 脂肪酸及蛋白質消化率

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞脂肪酸及蛋白質消化率之影響如表 5 所示。

表 4. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋黃感官品評之影響

Table 4. Effect of different levels of MCT in diet on yolk sensory quality of laying hens¹

Dietary MCT, %	0	0.3	1.2	4.8	SEM	<i>P</i> -value
Aroma ²	5.36	5.19	5.86	5.50	0.22	0.18
Flavor ³	5.39	5.31	5.83	5.83	0.20	0.13
Texture ⁴	5.39 ^{ab}	5.11 ^a	5.72 ^b	5.81 ^b	0.21	0.09
Odor ⁵	5.06	5.19	5.14	5.39	0.22	0.74
Overall acceptability	5.53 ^{ab}	5.42 ^a	6.03 ^b	5.92 ^{ab}	0.20	0.09

¹ 1 = dislike extremely to 10 = like extremely.

² Aroma = the smell (fresh, sulfur, cress, dirty, and acidic).

³ Flavor = the taste (fresh, sweet, sulfur, cress, dirty, acidic, and bitter).

⁴ Texture = the feel when eating (dryness and moist).

⁵ Odor = the mutton smell.

^{ab} Values within each row with different superscripts are tended to be different ($P < 0.10$).

表 5. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞脂肪酸及蛋白質全腸道消化率 (%) 及蛋白質蓄積率 (%) 之影響

Table 5. Effect of different levels of MCT in diet on fatty acid and protein total tract digestibility (%) and protein retention (%) of laying hens

Dietary MCT, %	0	0.3	1.2	4.8	SEM	<i>P</i> -value
Total fatty acid	95.63 ^{ab}	95.86 ^b	95.66 ^a	94.57 ^a	0.37	0.10
C8:0	—	97.63	97.62	96.86	0.47	0.44
C10:0	—	95.91 ^{ab}	97.25 ^b	95.67 ^a	0.43	0.05
C16:0	92.09 ^B	91.56 ^B	91.75 ^B	85.97 ^A	0.62	<0.01
C18:0	93.54 ^B	92.81 ^{AB}	93.57 ^B	89.83 ^A	0.85	0.02
C18:1	95.46 ^B	95.19 ^B	94.82 ^B	91.32 ^A	0.47	<0.01
C18:2	96.63 ^B	97.06 ^B	96.38 ^B	93.57 ^A	0.35	<0.01
C18:3	98.33 ^B	98.72 ^B	98.03 ^{AB}	97.14 ^A	0.22	<0.01
SFA ¹	92.41 ^A	93.09 ^B	94.88 ^{BC}	95.32 ^C	0.54	<0.01
USFA ²	96.41 ^B	96.63 ^B	96.02 ^B	93.08 ^A	0.37	<0.01
PR ³	44.01 ^A	41.02 ^A	50.06 ^B	44.98 ^{AB}	1.46	<0.01
PD ⁴	70.94	70.08	72.57	71.15	1.42	0.68
DPR ⁵	62.04 ^{AB}	58.43 ^A	69.03 ^B	63.20 ^{AB}	2.08	0.03

¹ Saturated fatty acid.

² Unsaturated fatty acid.

³ Protein retention (protein retained/protein intake, %).

⁴ Protein digestibility (protein digested/protein intake, %).

⁵ Digestible protein retention (protein retained/protein digested, %).

^{A-C} Values within each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

^{ab} Values within each row with different superscripts are tended to be different ($P < 0.10$).

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞 C8:0 脂肪酸消化率無顯著影響，對總脂肪酸及 C10:0 脂肪酸消化率有下降之趨勢 ($P<0.10$)，而 4.8% 組之 C16:0、C18:0、C18:2 及 C18:3 脂肪酸及 USFA 消化率顯著低於對照組 ($P<0.05$)。C18:1 脂肪酸消化率隨著飼糧中 MCT 含量添加至 4.8% 而顯著下降 ($P<0.05$)，SFA 則反之。

飼糧中 MCT 含量對 C8:0 及 C10:0 脂肪酸消化率無影響，且平均大於 95%，而 Lai *et al.* (2014) 試驗中，肉豬對 MCFA 消化率大於 97%，Dierick *et al.* (2002) 之結果中，離乳豬對 C8:0 及 C10:0 脂肪酸之表面消化率大於 98%。本試驗中，4.8% 組之 C16:0、C18:0、C18:2 及 C18:3 脂肪酸及 USFA 消化率顯著下降，對於必需脂肪酸 C18:2 及 C18:3 之消化率皆下降，可能 4.8% MCT 已經超過產蛋雞對於 MCT 之耐受量，目前研究於產蛋雞飼糧中添加之 MCT 或 MCFA 之量皆小於 1.2%。0.3% MCT 於肉雞飼糧中不影響其脂肪消化率 (Hejdysz *et al.*, 2018)。

飼糧中添加不同含量 MCT 對蛋白質全腸道消化率無顯著影響，此結果與 Hong *et al.* (2012) 飼糧中 MCT 含量增加至 0.55 % 對離乳豬之氮全腸道營養分消化率無顯著影響之結果相同。0.3% 組之蛋白質蓄積率及可消化蛋白質蓄積率與對照組無顯著差異，而顯著低於 1.2% 組 ($P<0.05$)。

五、 蛋黃膽固醇及脂肪酸含量

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋黃膽固醇及脂肪酸含量之影響如表 6 所示。

蛋黃膽固醇含量受到飼糧中 MCT 含量之影響 ($P<0.01$)，其中 4.8% 組顯著低於 0.3% 組者 ($P<0.05$)。本試驗中蛋黃膽固醇隨飼糧 MCT 含量增加而下降，但未測定血漿膽固醇。餵飼肉雞以椰子油取代大豆油脂飼糧，隨著取代量增加，肉雞血漿膽固醇顯著線性下降 (Wang *et al.*, 2015)。而人類試驗中，於輕度高膽固醇血症之 55 至 75 歲男性日糧中添加 MCT 未降低血漿總膽固醇含量，反而提高血漿膽固醇及三酸甘油酯含量 (Cater *et al.*, 1997)。48 歲健康男性攝取添加 MCT 之日糧三週 (Uzawa *et al.*, 1964)，及於 22 至 44 歲健康男性日糧中添加 MCT，亦未降低血漿膽固醇含量 (Hill *et al.*, 1990)。

C16:0、C18:0、C20:4 脂肪酸及總脂肪酸之蓄積不受到 MCT 含量之影響。當飼糧 MCT 含量為 4.8% 時，C8:0 及 C10:0 脂肪酸顯著蓄積於蛋黃中 ($P<0.05$)，而飼糧 MCT 含量小於 1.2% 時，未發現 C8:0 及 C10:0 脂肪酸之蓄積。C14:0、C16:1、C18:1 脂肪酸及 SFA 之蓄積於飼糧 MCT 含量為 4.8% 時顯著上升 ($P<0.05$)。C18:2、C18:3 脂肪酸及 USFA 之蓄積隨 MCT 含量增加而下降 ($P<0.05$)。蛋黃中 MCFA 隨 MCT 含量增加而增加，LCFA 則反之。蛋黃中總脂肪酸含量則不受到飼糧中 MCT 含量之影響。

表 6. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞蛋黃中膽固醇及脂肪酸含量之影響

Table 6. Effect of different levels of MCT in diet on yolk fatty acid and yolk cholesterol of laying hens

Dietary MCT, %	0	0.3	1.2	4.8	SEM	P-value
Yolk cholesterol, mg/g	17.56 ^{AB}	18.22 ^B	17.49 ^{AB}	16.54 ^A	0.26	<0.01
Yolk fatty acid, %						
C8:0	0 ^A	0 ^A	0 ^A	0.21 ^B	0.04	<0.01
C10:0	0 ^A	0 ^A	0 ^A	0.65 ^B	0.04	<0.01
C14:0	0.46 ^A	0.46 ^A	0.49 ^A	0.93 ^B	0.04	<0.01
C16:0	30.31	30.02	29.98	31.89	0.72	0.23
C16:1	1.88 ^A	1.89 ^A	1.96 ^A	4.4 ^B	0.25	<0.01
C18:0	8.44	8.28	8.44	8.67	0.18	0.53
C18:1	32.99 ^A	33.72 ^A	34.26 ^A	36.26 ^B	0.48	<0.01
C18:2	23.02 ^C	22.74 ^C	21.99 ^B	14.90 ^A	0.18	<0.01
C18:3	1.17 ^{BC}	1.15 ^{BC}	1.08 ^B	0.53 ^A	0.02	<0.01
C20:4	1.74	1.73	1.80	1.56	0.08	0.25
MCFA ¹	0 ^A	0 ^A	0 ^A	0.86 ^B	0.07	<0.01
LCFA ²	100 ^B	100 ^B	100 ^B	99.14 ^A	0.07	<0.01
SFA ³	39.20 ^A	38.76 ^A	38.91 ^A	42.34 ^B	0.08	<0.01
USFA ⁴	60.8 ^B	61.24 ^B	61.09 ^B	57.66 ^A	0.64	<0.01
Total fatty acid	19.46	20.04	20.50	21.74	0.95	0.46

¹ Medium chain fatty acid.

² Long chain fatty acid.

³ Saturated fatty acid.

⁴ Unsaturated fatty acid.

^{A-C} Values within each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

六、 血漿脂肪酸含量

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞血漿脂肪酸比例之影響如表 7 所示。

C16:0、C16:1、C18:1 脂肪酸及 SFA 在血漿中含量於 4.8% 組顯著高於對照組、0.3% 及 1.2% 組 ($P<0.05$)，而 C18:2、C18:3 脂肪酸及 USFA 於 4.8% 組之含量則顯著低於對照組、0.3% 及 1.2% 組 ($P<0.05$)。

以上蛋黃及血漿脂肪酸之結果顯示，飼料中無 C16:1、C14:0 及 C20:4，但於蛋黃中則有，不過含量頗低，可能為蛋雞於體內合成之內源性脂肪酸。蛋黃中 4.8% 組之 C16:0 脂肪酸含量於數值上高於其他處理組，C18:1 脂肪酸含量顯著高於其他處理組，C18:2 及 C18:3 脂肪酸則顯著低於其他處理組，而於血漿中，亦有相同結果，可能為 MCT 增加產蛋雞自行合成 C16:0 及 C18:1 脂肪酸，而 C18:2 及 C18:3 脂肪酸為必需脂肪酸，攝取量少即表示蓄積率低。Chu, and Chiang (2017) 發現，當飼糧中 MCT 含量增加時，胸肉、腿肉及腹脂之必需脂肪酸 (essential fatty acids, EFAs) 及 LCFAs 含量顯著下降 ($P<0.05$)。研究顯示，體內 LCFAs 含量與飼糧 LCFAs 含量具正相關 (Crespo, and Esteve-Garcia, 2001; Smink *et al.*, 2010)。

七、 脂肪酸蓄積率

產蛋雞血漿及蛋黃與飼糧中脂肪酸組成之迴歸如表 8 所示。

產蛋雞蛋黃中 C8:0 及 C10:0 蓄積率依序為 0.006 及 0.028，C16:0、

表 7. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞血漿中脂肪酸比例之影響

Table 7. Effect of different levels of MCT in diet on plasma fatty acid content of laying hens

Dietary MCT, %	0	0.3	1.2	4.8	SEM	<i>P</i> -value
C16:0	26.54 ^A	27.18 ^A	27.15 ^A	30.14 ^B	0.37	<0.01
C16:1	2.37 ^A	2.40 ^A	2.20 ^A	3.63 ^B	0.20	<0.01
C18:0	8.93 ^{AB}	8.79 ^A	9.27 ^{AB}	9.62 ^B	0.21	<0.01
C18:1	34.58 ^A	36.28 ^A	36.16 ^A	39.83 ^B	0.52	<0.01
C18:2	26.16 ^B	23.99 ^B	24.00 ^B	16.21 ^A	0.58	<0.01
C18:3	1.42 ^B	1.37 ^B	1.23 ^B	0.57 ^A	0.05	<0.01
SFA ¹	35.47 ^A	35.96 ^A	36.42 ^A	39.75 ^B	0.44	<0.01
USFA ²	64.53 ^B	64.04 ^B	63.58 ^B	60.25 ^A	0.44	<0.01

¹ Saturated fatty acid.

² Unsaturated fatty acid.

^{AB} Values within each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

表 8. 產蛋雞血漿及蛋黃與飼糧中脂肪酸組成之迴歸

Table 8. Regression between tissue and dietary fatty acid composition of laying hens

Fatty acid	Intercept	Slope	SEM	r^2	P -value
Yolk					
C8:0	-0.022	0.006	0.009	0.47	<0.01
C10:0	-0.068	0.028	0.014	0.84	<0.01
C16:0	33.524	-0.281	2.724	0.14	0.04
C18:0	8.805	-0.126	0.166	0.04	0.17
C18:1	38.377	-0.206	1.186	0.55	<0.01
C18:2	9.789	0.257	0.347	0.97	<0.01
C18:3	0.272	0.158	0.007	0.91	<0.01
SFA ¹	37.481	0.069	2.309	0.46	<0.01
USFA ²	55.586	0.069	2.309	0.46	<0.01
Plasma					
C8:0	-	-	-	-	-
C10:0	-	-	-	-	-
C16:0	33.375	-0.531	1.736	0.53	<0.01
C18:0	10.014	-0.312	0.542	0.12	0.01
C18:1	43.047	-0.321	3.316	0.51	<0.01
C18:2	10.376	0.289	3.969	0.78	<0.01
C18:3	0.209	0.208	0.032	0.78	<0.01
SFA ¹	34.139	0.082	2.614	0.52	<0.01
USFA ²	57.614	0.082	2.614	0.52	<0.01

¹ Saturated fatty acid.

² Unsaturated fatty acid.

C18:0 及 C18:1 蓄積率依序為 -0.281、-0.126 及 -0.206，C18:2 及 C18:3 蓄積率依序為 0.257 及 0.158，SFA 及 USFA 蓄積率依序為 0.069 及 0.069。

以上結果顯示，於蛋黃中 C10:0 蓄積率較 C8:0 高。C16:0、C18:0 及 C18:1 雞隻可自行合成，蛋黃及血漿中比例隨飼糧中比例降低而增加，故蓄積率為負值。C18:2 蓄積率較 C18:3 高，以上結果與肉雞之胸肉、腿肉及腹脂相同 (Chu and Chiang, 2017)。Chu and Chiang (2017) 測得 C8:0 及 C10:0 在肉雞胸肉、腿肉及腹脂之蓄積率分別為 0.06、0.11、0.09 以及 0.25、0.46 及 0.45，皆高於本試驗中在蛋黃之蓄積率。在 C18:2 及 C18:3 方面，Chu and Chiang (2017) 於肉雞胸肉、腿肉及腹脂之蓄積率分別為 0.46、0.68、0.66 以及 0.43、0.44 及 0.45，亦皆高於本試驗中在蛋黃之蓄積率。

血漿中 C16:0、C18:0 及 C18:1 蓄積率依序為 -0.531、-0.312 及 -0.321，C18:2 及 C18:3 蓄積率依序為 0.289 及 0.208，SFA 及 USFA 蓄積率依序為 0.082 及 0.082。然而 C8:0 及 C10:0 皆無法蓄積於血漿中，SFA 及 USFA 蓄積率相同。

蛋黃中脂肪酸蓄積率，以 [蛋黃脂肪酸蓄積量 / 飼料脂肪酸採食量] 計算，蛋黃脂肪酸蓄積量 = 蛋重 (表 2) × 30% (蛋黃佔蛋重比例；Noble and Cocchi, 1990) × 蛋黃總脂肪酸含量 (表 6) × 蛋黃各脂肪酸含量 (表 6)，飼料脂肪酸採食量 = 飼料採食量 × 飼料各脂肪酸含量，C8:0、C10:0、C18:2 及 C18:3 之蓄積率分別為 0.003、0.016、0.298 及 0.131。其中 C8:0、C10:0 及 C18:3 之蓄積率皆低於以回歸法求得之 0.006、0.028 及 0.158，而 C18:2 則較回歸法之 0.257 高。以上結果比較發現，計算法之 C18:2 及 C18:3 蓄積率接近回歸法

求得之數據，此時計算法及回歸法之數據可信度皆高，而本試驗中，如 C8:0 及 C10:0 只在 4.8% 時有蓄積，無其他三組之數據，使得回歸法因數據缺失而造成誤差，此時則較適合用計算法。

產蛋雞蛋黃與血漿中脂肪酸組成之迴歸如表 9 所示。

C16:0、C18:0 及 C18:1 蓄積率依序為 0.442、-0.098 及 0.354，C18:2 及 C18:3 蓄積率依序為 0.716 及 0.627，SFA 及 USFA 蓄積率依序為 0.514 及 0.514。此結果顯示，於 MCT 添加量 $\leq 1.2\%$ 時，因 C8:0 及 C10:0 無法蓄積於血漿，故於蛋黃中之 C8:0 及 C10:0 亦無法由血漿蓄積。C16:0 較 C18:1 蓄積率高，而 C18:0 於蛋黃中比例隨血漿中比例增加而降低，故蓄積率為負值。C18:2 蓄積率較 C18:3 高，USFA 較 SFA 蓄積率高。

綜合以上蛋黃及血漿脂肪酸含量及蓄積率之結果，C8:0 及 C10:0 脂肪酸只於飼糧中添加 4.8% MCT 時蓄積於蛋黃中，且未蓄積於血漿中。顯示飼糧中之 MCT 水解為 MCFA 後，經血液運送至肝臟，少量 MCFA 由產蛋雞肝臟合成脂肪，經血液直接運送至成熟之卵母細胞，即蛋黃。Noble and Cocchi (1990) 表示，血漿中脂肪進入卵之過程伴隨蓄積前之水解及再合成。而在蛋雞肝臟合成之脂肪酸，則以 VLDL 形式經由血液運送至卵母細胞蓄積 (Walzem *et al.*, 1999)。當 MCT 添加量低於 4.8% 時，其中之 C8:0 及 C10:0 脂肪酸可能皆作為能量來源消耗。

EFA，如 C18:2 及 C18:3，因無法在體內合成，則隨飼糧中 MCT 添加量之增加，使得飼糧中 EFA 下降，而導致蛋黃及血漿中含量隨之降低。而 NEFA，如 C16:0、C18:0 及 C18:1，雖然飼糧中含量隨 MCT

表 9. 產蛋雞蛋黃與血漿中脂肪酸組成之迴歸

Table 9. Regression between yolk and plasma fatty acid composition of laying hens

Fatty acid	Intercept	Slope	SEM	r^2	P -value
C8:0	—	—	-	-	-
C10:0	—	—	-	-	-
C16:0	18.276	0.442	2.435	0.22	<0.01
C18:0	7.556	-0.098	0.167	0.01	0.20
C18:1	21.305	0.354	1.761	0.32	<0.01
C18:2	4.492	0.716	2.384	0.80	<0.01
C18:3	0.265	0.627	0.015	0.79	<0.01
SFA ¹	20.846	0.514	2.820	0.33	<0.01
USFA ²	27.780	0.514	2.820	0.33	<0.01

¹ Saturated fatty acid.

² Unsaturated fatty acid.

添加量增加而降低，但在血漿及蛋黃中含量卻隨之增加，顯示隨飼糧中 MCT 含量之增加，NEFAs 在體內之合成隨之增加。研究顯示，MCFA 易於大鼠肝臟中轉化為 FA 合成之前驅物乙醯輔酶 A (Bach and Babayan, 1982)。當增加飼糧中 MCT 便可提供更多乙醯輔酶 A，使 C16:0 之合成增加。而通過 C16:0 合成之增加，可經由碳鏈延伸及去飽和過程增加其他 NEFA 之合成，如 C18:0、C16:1 及 C18:1。

另外，PUFA 可抑制 Δ^9 去飽和酶之活性 (Kouba and Mourot, 1998)。因此，隨 MCT 添加量之增加，飼糧中 PUFA 隨之下降，而促進 C16:0 之不飽和化，因而提高 C16:1 及 C18:1 之合成。這種 PUFA 與不飽和化之關係在肉雞已被證實 (Infield and Annison, 1973; Smink *et al.*, 2010)。

八、糞便微生物菌相

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞糞便微生物菌相之影響如表 10 所示。

飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞糞便乳酸菌菌落數 (L) 無顯著影響，而於飼糧中添加 1.2% MCT 顯著增加糞便大腸桿菌群菌落數 (C) 及乳酸菌及大腸桿菌群菌落數 (L+C) ($P < 0.05$)。飼糧中添加 4.8% MCT，則較添加 1.2% MCT 時，具較高之乳酸菌/大腸桿菌群菌落數 (L/C) ($P < 0.05$)。於產蛋雞飼糧中添加 MCT 對糞便 L 無影響，與 Lee *et al.* (2015) 於產蛋雞飼糧中添加 0.2% 微膠囊化有機酸混合物加 MCFA 增加乳酸菌落數並降低大腸桿菌群之結果不同，可能因添加量以及添加之方式皆不同，而 Lee *et al.* (2015) 之研究中將 MCFA 與

表 10. 飼糧中添加不同含量 MCT 對產蛋雞糞便微生物菌相之影響

Table 10. Effect of different levels of MCT in diet on excreta microflora of laying hens (log CFU/g)

Dietary MCT, %	0	0.3	1.2	4.8	SEM	<i>P</i> -value
Lactobacilli (L)	8.61	8.82	8.74	8.74	0.10	0.54
Coliforms (C)	6.01 ^A	6.29 ^{AB}	6.64 ^B	5.96 ^A	0.15	0.01
L/C	1.45 ^{AB}	1.42 ^{AB}	1.33 ^A	1.49 ^B	0.04	0.04
L+C	14.63 ^A	15.10 ^{AB}	15.38 ^B	14.70 ^{AB}	0.18	0.02

^{AB} Values within each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

有機酸一同添加，使無法辨別此抗菌效果為有機酸、MCFA 或有機酸及 MCFA 加成之效果。而本試驗結果，添加 1.2% MCT 組反而增加糞便 C ($P < 0.05$)，是否因 1.2% 組者飼料採食量於全試驗時期皆於數值上低於其他處理組，使得其攝取之 MCT 也低於其他處理組者，其原因有待進一步研究。

MCFA 之抑菌機制除了降低腸道 pH 值外，可能有以下幾種機制，脂肪酸可以未解離之形式擴散到細菌細胞中，隨後在原生質中解離導致酸化，使細菌無法存活 (Sun *et al.*, 1998)。MCFA 誘導細菌膜通透性的改變，導致細菌死亡 (Bergsson *et al.*, 1998)。另有研究顯示，MCFA 對腸炎沙門氏菌致病力相關基因之抑制作用亦可用於抑菌作用。Van Immerseel *et al.* (2004) 發現 MCFA 抑制 *hila* 之表現，*hila* 為參與沙門氏菌入侵之關鍵基因調節因子，從而導致雛雞中沙門氏菌移生 (*Salmonella* colonization) 減少。辛酸透過下調病原體中的關鍵移生相關基因來減少腸炎沙門氏菌對禽腸上皮細胞的侵襲 (Kollanoor-Johny *et al.*, 2012)。而本試驗中，糞便微生物無明顯處理效應之趨勢，可能因糞便中菌相受到很多因素之影響，如在糞便接觸雞隻體外之環境後，便會被環境中之微生物影響。而測定腸道微生物可避免外在環境影響，可能較測定糞便微生物之結果理想。

陸、結論

飼糧中添加 4.8% MCT 時 C8:0 及 C10:0 可蓄積於蛋黃中，惟其蓄積率很低，亦不利於產蛋性能。

飼糧中添加 1.2% 以下 MCT，對產蛋性能、蛋品質、蛋黃感官品評及蛋成分則無影響。

柒、參考文獻

- 朱奐勤。2013。飼糧中不同濃度或鏈長之中鏈三酸甘油酯對肉雞體脂蓄積、脂肪酸組成、血液性狀及葡萄糖耐受性之影響。碩士論文。東海大學畜產研究所。
- 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 44:177-186。
- 姜樹興、黃國雄及李恆夫。1990。中鏈三酸甘油酯對肉雞能量代謝、生長性能及體脂含量之影響。中畜會誌19:11-19。
- 姜樹興。2014。動物營養學原理。華香園出版社，台北市。
- 黃玫僑。2011。飼糧中添加不同含量或來源中鏈三酸甘油酯對肉雞生長性能、腸道菌相及脂肪蓄積之影響。碩士論文。東海大學畜產研究所。
- 海藍蛋雞飼養手冊。海藍蛋雞公司。2014。
- 顏宏哲。2015。飼糧中添加中鏈三酸甘油酯對離乳仔豬生長性能及腸道健康之影響。碩士論文。東海大學畜產研究所。
- 林慶文。1983。蛋之化學與利用。華香園出版社。台北市。

- Abbasi, F., B. W. Brown Jr, C. Lamendola, T. McLaughlin, and G. M. Reaven. 2002. Relationship between obesity, insulin resistance, and coronary heart disease risk. *J. Am. Coll. Cardiol.* 40:937–943.
- Akiba, Y., T. Hah, H. Murakami, M. Horiguchi, and M. Yamazaki. 1993. Metabolizable energy value and effect on amino acid availability of medium-chain triglycerides in diets fed to chickens of different ages. *Anim. Feed Sci. Tech.* 43:259–268.
- Akoh, C. C. 2006. *Handbook of functional lipids* CRC press, Taylor & Francis Group LLC. Boca Raton, FL, USA.
- Allee, G., D. Romsos, G. Leveille, and D. Baker. 1972. Metabolic consequences of dietary medium-chain triglycerides in the pig. *P. Soc. Exp. Biol. Med.* 139:422–427.
- A.O.A.C. 1984. *Official methods of analysis* (14th ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Aoyama, T., N. Nosaka, and M. Kasai. 2007. Research on the nutritional characteristics of medium-chain fatty acids. *J. Med. Invest.* 54:385–388.
- Augustin, K., A. Khabbush, S. Williams, S. Eaton, M. Orford, J. H. Cross, S. J. Heales, M. C. Walker, and R. S. Williams. 2018. Mechanisms of action for the medium-chain triglyceride ketogenic diet in neurological and metabolic disorders. *Lancet Neurol.* 17:84–93.
- Ayerza, R., and W. Coates. 2001. Omega-3 enriched eggs: the influence of dietary α -linolenic fatty acid source on egg production and composition. *Can. J. Anim. Sci.* 81:355–362.
- Baba, N., E. F. Bracco, and S. A. Hashim. 1982. Enhanced thermogenesis and diminished deposition of fat in response to overfeeding with diet containing medium chain triglyceride. *Am. J. Clin. Nutr.* 35:678–682.

- Babayan, V. K. 1987. Medium chain triglycerides and structured lipids. *Lipids* 22:417–420.
- Bach, A. C., and V. K. Babayan. 1982. Medium-chain triglycerides: an update. *Am. J. Clin. Nutr.* 36:950–962.
- Bergsson, G., J. Arnfinnsson, S. M. Karlsson, Ó. Steingrímsson, and H. Thormar. 1998. In vitro inactivation of *Chlamydia trachomatis* by fatty acids and monoglycerides. *Antimicrob. Agents Chemother.* 42:2290–2294.
- Branco, A. F., A. Ferreira, R. F. Simões, S. Magalhães-Novais, C. Zehowski, E. Cope, A. M. Silva, D. Pereira, V. A. Sardão, and T. Cunha-Oliveira. 2016. Ketogenic diets: from cancer to mitochondrial diseases and beyond. *Eur. J. Clin. Invest.* 46:285–298.
- Castellano, C.-A., S. Nugent, N. Paquet, S. Tremblay, C. Bocti, G. Lacombe, H. Imbeault, É. Turcotte, T. Fulop, and S. C. Cunnane. 2015. Lower brain 18F-fluorodeoxyglucose uptake but normal 11C-acetoacetate metabolism in mild Alzheimer’s disease dementia. *J. Alzheimers Dis.* 43:1343–1353.
- Caston, L., and S. Leeson. 1990. Research note: dietary flax and egg composition. *Poult. Sci.* 69:1617–1620.
- Cater, N. B., H. J. Heller, and M. A. Denke. 1997. Comparison of the effects of medium-chain triacylglycerols, palm oil, and high oleic acid sunflower oil on plasma triacylglycerol fatty acids and lipid and lipoprotein concentrations in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 65:41–45.
- Cera, K., D. Mahan, and G. Reinhart. 1989. Apparent fat digestibilities and performance responses of postweaning swine fed diets supplemented with coconut oil, corn oil or tallow. *J. Anim. Sci.* 67:2040–2047.
- Chang, P., K. Augustin, K. Boddum, S. Williams, M. Sun, J. A. Terschak, J. D. Hardege, P. E. Chen, M. C. Walker, and R. S. Williams. 2015. Seizure control by decanoic acid through direct AMPA receptor inhibition. *Brain*

139:431–443.

Cheeke, P., S. Piacente, and W. Oleszek. 2006. Anti-inflammatory and anti-arthritic effects of *Yucca schidigera*: a review. *J. Inflamm.* 3:6.

Chiang, S., J. Pettigrew, S. Clarke, and S. Cornelius. 1990. Limits of medium-chain and long-chain triacylglycerol utilization by neonatal piglets. *J. Anim. Sci.* 68:1632–1638.

Chiba, L. I., E. R. Pec, and A. J. Lewis. 1987. Use of dietary fat to reduce dust, aerial ammonia and bacterial colony forming particle concentrations in swine confinement buildings. *Trans. ASAE* 30:464–0468.

Chu, H. C., and S. H. Chiang. 2017. Deposition of dietary bioactive fatty acids in tissues of broiler chickens. *J. Poult. Sci.* 54:173–178.

Crespo, N., and E. Esteve-Garcia. 2001. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poult. Sci.* 80:71–78.

Croteau, E., C. A. Castellano, M. Fortier, C. Bocti, T. Fulop, N. Paquet, and S. C. Cunnane. 2017. A cross-sectional comparison of brain glucose and ketone metabolism in cognitively healthy older adults, mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Exp. Gerontol.* 107:18–26.

Crozier, G., B. Bois-Joyeux, M. Chanez, J. Girard, and J. Peret. 1987. Metabolic effects induced by long-term feeding of medium-chain triglycerides in the rat. *Metabolism* 36:807–814.

Devi, S. M., and I. H. Kim. 2014. Effect of medium chain fatty acids (MCFA) and probiotic (*Enterococcus faecium*) supplementation on the growth performance, digestibility and blood profiles in weanling pigs. *Vet. Med.-Czech* 59:527–535.

Dierick, N., J. Decuyper, K. Molly, E. Van Beek, and E. Vanderbeke. 2002. The combined use of triacylglycerols (TAGs) containing medium chain fatty

- acids (MCFAs) and exogenous lipolytic enzymes as an alternative to nutritional antibiotics in piglet nutrition: II. In vivo release of MCFAs in gastric cannulated and slaughtered piglets by endogenous and exogenous lipases; effects on the luminal gut flora and growth performance. *Livest. Prod.Sci.* 76:1–16.
- Forman, B. M., J. Chen, and R. M. Evans. 1997. Hypolipidemic drugs, polyunsaturated fatty acids, and eicosanoids are ligands for peroxisome proliferator-activated receptors α and δ . *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94:4312–4317.
- Furuse, M., R. Mabayo, Y. Choi, D. Denbow, and J. Okumura. 1993. Feeding behaviour in chickens given diets containing medium chain triglyceride. *Br. Poult. Sci.* 34:211–217.
- Furuse, M., R. Mabayo, K. Kita, and J. Okumura. 1992. Effect of dietary medium chain triglyceride on protein and energy utilisation in growing chicks. *Br. Poult. Sci.* 33:49–57.
- Garcia, V., P. Catala-Gregori, F. Hernandez, M. Megias, and J. Madrid. 2007. Effect of formic acid and plant extracts on growth, nutrient digestibility, intestine mucosa morphology, and meat yield of broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 16:555–562.
- Geliebter, A., N. Torbay, E. Bracco, S. A. Hashim, and T. v. Van Itallie. 1983. Overfeeding with medium-chain triglyceride diet results in diminished deposition of fat. *Am. J. Clin. Nutr.* 37:1–4.
- Geng, S., W. Zhu, C. Xie, X. Li, J. Wu, Z. Liang, W. Xie, J. Zhu, C. Huang, and M. Zhu. 2016. Medium-chain triglyceride ameliorates insulin resistance and inflammation in high fat diet-induced obese mice. *Eur. J. Nutr.* 55:931–940.
- Grundy, S. M., and M. A. Denke. 1990. Dietary influences on serum lipids and lipoproteins. *J. Lipid Res.* 31:1149–1172.

- Hall, G., and T. Byrne. 1989. Effects of age and diet on small intestinal structure and function in gnotobiotic piglets. *Res. Vet. Sci.* 47:387–392.
- Hampson, D. 1986. Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. *Res. Vet. Sci.* 40:32–40.
- Han, J., J. A. Hamilton, J. L. Kirkland, B. E. Corkey, and W. Guo. 2003. Medium-chain oil reduces fat mass and down-regulates expression of adipogenic genes in rats. *Obes. Res.* 11:734–744.
- Hanczakowska, E., A. Szewczyk, and K. Okoń. 2011. Effects of dietary caprylic and capric acids on piglet performance and mucosal epithelium structure of the ileum. *J. Anim. Feed Sci.* 20:556–565.
- Hejdysz, M., S. Kaczmarek, D. Józefiak, D. Jamroz, and A. Rutkowski. 2018. Effect of different medium chain fatty acids, calcium butyrate, and Salinomycin on performance, nutrient utilization, and fermentation products in gastrointestinal tracts of broiler chickens. *J. Anim. Plant Sci.* 28:377–387.
- Hill, J., J. Peters, L. Swift, D. Yang, T. Sharp, N. Abumrad, and H. Greene. 1990. Changes in blood lipids during six days of overfeeding with medium or long chain triglycerides. *J. Lipid Res.* 31:407–416.
- Hill, J. O., J. C. Peters, D. Lin, F. Yakubu, H. Greene, and L. Swift. 1993. Lipid accumulation and body fat distribution is influenced by type of dietary fat fed to rats. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 17:223–236.
- Hirata, A., M. Nishino, T. Kimura, and Y. Ohtake. 1986. Effects of Dietary Fats for Laying Hens on the Fatty Acid Compositions and Cholesterol Contents of Liver, Abdominal Adipose Tissue, Plasma and Egg Yolk Lipids. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 33:631–639.
- Hong, S., J. Hwang, and I. Kim. 2012. Effect of medium-chain triglyceride (MCT) on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics in weanling pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 25:1003–1008.

- House, S. W., O. Warburg, D. Burk, and A. L. Schade. 1956. On respiratory impairment in cancer cells. *Science* 124:267–272.
- Imran, M., F. M. Anjum, M. Nadeem, N. Ahmad, M. K. Khan, Z. Mush-taq, and S. Hussain. 2015. Production of Bio-omega-3 eggs through the supplementation of extruded flaxseed meal in hen diet. *Lipids Health Dis.* 14:126.
- Infield, J. M., and E. Annison. 1973. The metabolism of palmitic, stearic, oleic and linoleic acids in broiler chickens. *Br. J. Nutr.* 30:545–554.
- Irshad, M., and R. Dubey. 2005. Apolipoproteins and their role in different clinical conditions: An overview. *Indian J. Biochem. Bio.* 42:73–80.
- Jeukendrup, A. E., and S. Aldred. 2004. Fat supplementation, health, and endurance performance. *Nutrition* 20:678–688.
- Jin, L., Y. Ho, N. Abdullah, and S. Jalaludin. 1998. Acid and bile tolerance of *Lactobacillus* isolated from chicken intestine. *Lett. Appl. Microbiol.* 27:183–185.
- Johnson, R., and R. Cotter. 1986. Metabolism of medium-chain triglyceride lipid emulsion. *Nutr. Int.* 2:150–158.
- Kane, J. P. 1983. Apolipoprotein B: structural and metabolic heterogeneity. *Annu. Rev. Physiol.* 45:637–650.
- Ketelaere, B. D., T. Govaerts, P. Coucke, E. Dewil, J. Visscher, E. Decuypere, and J. D. Baerdemaeker. 2002. Measuring the eggshell strength of 6 different genetic strains of laying hens: techniques and comparisons. *Br. Poult. Sci.* 43:238–244.
- Khatibjoo, A., M. Mahmoodi, F. Fattahnia, M. Akbari-Gharaei, A.-N. Shokri, and S. Soltani. 2018. Effects of dietary short-and medium-chain fatty acids on performance, carcass traits, jejunum morphology, and serum

- parameters of broiler chickens. *J. Appl. Anim. Res.* 46:492–498.
- Kim, S.-W., S.-K. Park, S.-l. Kang, H.-C. Kang, H.-J. Oh, C.-Y. Bae, and D.-H. Bae. 2003. Hypocholesterolemic property of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* extracts in human body. *Arch. Pharm. Res.* 26:1042–1046.
- Kinkela, T., F. Chanussot, A. Bach, J. P. Max, H. Schirardin, and G. Debry. 1983. Effects of diets containing medium-chain and long-chain triacylglycerols in the genetically obese Zucker fa/fa rat. Composition of fatty acids and triacylglycerols of the liver and adipose tissues. *Ann. Nutr. Metab.* 27:404–414.
- Kita, K., R. Mabayo, M. Furuse, and J. Okumura. 1993. Dietary medium chain triglyceride increases liver protein synthesis in chicks. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 6:339–342.
- Klement, R. J., C. E. Champ, C. Otto, and U. Kämmerer. 2016. Anti-tumor effects of ketogenic diets in mice: a meta-analysis. *PLoS ONE* 11:e0155050.
- Klimmer, O. 1971. Report on the toxicological testing on Miglyol 812 neutral oils. Unpublished report of the Pharmacological Inst. of the Rhenish Freidrich-Wilhelm University. June 16.
- Kollanoor-Johny, A., T. Mattson, S. A. Baskaran, M. A. R. Amalaradjou, T. A. Hoagland, M. J. Darre, M. I. Khan, D. T. Schreiber, A. M. Donoghue, and D. J. Donoghue. 2012. Caprylic acid reduces *Salmonella* Enteritidis populations in various segments of digestive tract and internal organs of 3- and 6-week-old broiler chickens, therapeutically. *Poult. Sci.* 91:1686–1694.
- Kouba, M., and J. Mouroto. 1998. Effect of a high linoleic acid diet on Δ^9 -desaturase activity, lipogenesis and lipid composition of pig subcutaneous adipose tissue. *Reprod. Nutri. Dev.* 38:31–37.
- Kutlu, H. R., M. Görgülü, and I. Ünsal. 2001. Effects of dietary *Yucca schidi-*

- gera powder on performance and egg cholesterol content of laying hens. *J. Appl. Anim. Res.* 20:49–56.
- Lai, W.-K., H.-C. Yen, C.-S. Lin, and S.-H. Chiang. 2014. The effects of dietary medium-chain triacylglycerols on growth performance and intestinal microflora in young pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 23:331–336.
- Lavau, M. M., and S. A. Hashim. 1978. Effect of medium chain triglyceride on lipogenesis and body fat in the rat. *J. Nutr.* 108:613–620.
- Lee, S. I., H. S. Kim, and I. Kim. 2015. Microencapsulated organic acid blend with MCFAs can be used as an alternative to antibiotics for laying hens. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 39:520–527.
- Levy, R. G., P. N. Cooper, P. Giri, and J. Pulman. 2012. Ketogenic diet and other dietary treatments for epilepsy. *Cochrane Database Syst. Rev.* 3.
- Li, Y., H. Zhang, L. Yang, L. Zhang, and T. Wang. 2015. Effect of medium-chain triglycerides on growth performance, nutrient digestibility, plasma metabolites and antioxidant capacity in weanling pigs. *Anim. Nutr.* 1:12–18.
- Lin, C., S. Chiang, and H. Lee. 1995. Causes of reduced survival of neonatal pigs by medium-chain triglycerides: blood metabolite and behavioral activity approaches. *J. Anim. Sci.* 73:2019–2025.
- Mabayo, R., M. Furuse, K. Kita, and J. Okumura. 1993. Improvement of dietary protein utilisation in chicks by medium chain triglyceride. *Br. Poult. Sci.* 34:121–130.
- Mabayo, R. T., M. Furuse, S.-I. Yang, and J.-I. Okumura. 1992. Medium-chain triacylglycerols enhance release of cholecystokinin in chicks. *J. Nutr.* 122:1702–1705.
- Mabayo, R. T., J.-I. Okumura, A. Hirao, S. Sugita, K. Sugahara, and M. Fu-

- ruse. 1996. The role of olfaction in oil preference in the chicken. *Physiol. Behav.* 59:1185–1188.
- Maldjian, A., C. Cristofori, R. C. Noble, and B. K. Speake. 1996. The fatty acid composition of brain phospholipids from chicken and duck embryos. *Comp. Biochem. Physiol. B, Biochem. Mol. Biol.* 115:153–158.
- Mandard, S., M. Müller, and S. Kersten. 2004. Peroxisome proliferator-activated receptor α target genes. *Cell. Mol. Life Sci.* 61:393–416.
- Manson, J. E., G. A. Colditz, M. J. Stampfer, W. C. Willett, B. Rosner, R. R. Monson, F. E. Speizer, and C. H. Hennekens. 1990. A prospective study of obesity and risk of coronary heart disease in women. *N. Engl. J. Med.* 322:882–889.
- Marquardt, R. R. 1983. A simple spectrophotometric method for the direct determination of uric acid in avian excreta. *Poult. Sci.* 62:2106–2108.
- Marten, B., M. Pfeuffer, and J. Schrezenmeir. 2006. Medium-chain triglycerides. *Int. Dairy J.* 16:1374–1382.
- Martuscello, R. T., V. Vedam-Mai, D. J. McCarthy, M. E. Schmoll, M. A. Jundi, C. D. Louviere, B. G. Griffith, C. L. Skinner, O. Suslov, and L. P. Deleyrolle. 2016. A supplemented high-fat low-carbohydrate diet for the treatment of glioblastoma. *Clin. Cancer Res.* 22:2482–2495.
- Nash, D., R. Hamilton, and H. Hulan. 1995. The effect of dietary herring meal on the omega-3 fatty acid content of plasma and egg yolk lipids of laying hens. *Can. J. Anim. Sci.* 75:247–253.
- Newman, H., F. Kummerow, and H. Scott. 1958. Dietary saponin, a factor which may reduce liver and serum cholesterol levels. *Poult. Sci.* 37:42–46.
- Newport, M. J., J. E. Storry, and B. Tuckley. 1979. Medium chain triglycerides as a dietary source of energy and their effect on live-weight gain, feed:

- gain ratio, carcass composition and blood lipids. *Brit. J. Nutr.* 41:85–93.
- Nieman, C. 1954. Influence of trace amounts of fatty acids on the growth of microorganisms. *Bacteriol. Rev.* 18:147.
- Noble, R. C., and M. Cocchi. 1990. Lipid metabolism and the neonatal chicken. *Prog. Lipid Res.* 29:107–140.
- NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry, 9th ed. National Research Council, National Academy of Science, Washington, DC, USA.
- Ohnuma, T., A. Toda, A. Kimoto, Y. Takebayashi, R. Higashiyama, Y. Tagata, M. Ito, T. Ota, N. Shibata, and H. Arai. 2016. Benefits of use, and tolerance of, medium-chain triglyceride medical food in the management of Japanese patients with Alzheimer’s disease: a prospective, open-label pilot study. *Clin. Interv. Aging* 11:29–36.
- Pacha, J. 2000. Development of intestinal transport function in mammals. *Physiol. Rev.* 80:1633–1667.
- Papamandjaris, A. A., D. E. MacDougall, and P. J. Jones. 1998. Medium chain fatty acid metabolism and energy expenditure: obesity treatment implications. *Life Sci.* 62:1203–1215.
- Partanen, K. H., and Z. Mroz. 1999. Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutr. Res. Rev.* 12:117–145.
- Pluske, J. R., D. J. Hampson, and I. H. Williams. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livest. Prod.Sci.* 51:215–236.
- Reger, M. A., S. T. Henderson, C. Hale, B. Cholerton, L. D. Baker, G. Watson, K. Hyde, D. Chapman, and S. Craft. 2004. Effects of β -hydroxybutyrate on cognition in memory-impaired adults. *Neurobiol. Aging* 25:311–314.

- Roberts, J. R. 2004. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *J. Poult. Sci.* 41:161–177.
- Rodas, B. D., and C. V. Maxwell. 1990. The effect of fat source and medium-chain triglyceride level on performance of the early-weaned pig. *Anim. Sci. Res. Report* pp. 278–287.
- Rolls, B. J., and V. A. Hammer. 1995. Fat, carbohydrate, and the regulation of energy intake. *Am. J. Clin. Nutr.* 62:1086S–1095S.
- Samli, H., A. Agma, and N. Senkoylu. 2005. Effects of storage time and temperature on egg quality in old laying hens. *J. Appl. Poult. Res.* 14:548–553.
- Sarda, P., G. Lepage, C. C. Roy, and P. Chessex. 1987. Storage of medium-chain triglycerides in adipose tissue of orally fed infants. *Am. J. Clin. Nutr.* 45:399–405.
- SAS. 2015. SAS/IML® 14.1 user’s guide. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC.
- Schönfeld, P., and L. Wojtczak. 2016. Short-and medium-chain fatty acids in energy metabolism: the cellular perspective. *J. Lipid Res.* 57:943–954.
- Seaton, T. B., S. L. Welle, M. K. Warenko, and R. G. Campbell. 1986. Thermic effect of medium-chain and long-chain triglycerides in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 44:630–634.
- Senkoylu, N., H. Samli, M. Kanter, and A. Agma. 2007. Influence of a combination of formic and propionic acids added to wheat-and barley-based diets on the performance and gut histomorphology of broiler chickens. *Acta Vet. Hung.* 55:479–490.
- Shinohara, H., A. Ogawa, M. Kasai, and T. Aoyama. 2005. Effect of randomly interesterified triacylglycerols containing medium-and long-chain

fatty acids on energy expenditure and hepatic fatty acid metabolism in rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 69:1811–1818.

Short, F., P. Gorton, J. Wiseman, and K. Boorman. 1996. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 59:215–221.

Smink, W., W. Gerrits, R. Hovenier, M. Geelen, M. Verstegen, and A. Beynen. 2010. Effect of dietary fat sources on fatty acid deposition and lipid metabolism in broiler chickens. *Poult. Sci.* 89:2432–2440.

Solis De Los Santos, F., A. M. Donoghue, K. Venkitanarayanan, M. L. Dirain, I. Reyes-Herrera, P. J. Blore, and D. J. Donoghue. 2008. Caprylic acid supplemented in feed reduces enteric *Campylobacter jejuni* colonization in ten-day-old broiler chickens. *Poult. Sci.* 87:800–804.

Speake, B. K., A. M. Murray, and R. C. Noble. 1998. Transport and transformations of yolk lipids during development of the avian embryo. *Prog. Lipid Res.* 37:1–32.

St-Onge, M.-P., and A. Bosarge. 2008. Weight-loss diet that includes consumption of medium-chain triacylglycerol oil leads to a greater rate of weight and fat mass loss than does olive oil. *Am. J. Clin. Nutr.* 87:621–626.

St-Onge, M.-P., R. Ross, W. D. Parsons, and P. J. Jones. 2003. Medium-chain triglycerides increase energy expenditure and decrease adiposity in overweight men. *Obesity* 11:395–402.

Sukhija, P. S., and D. Palmquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36:1202–1206.

Sun, C. Q., C. J. O'Connor, S. J. Turner, G. D. Lewis, R. A. Stanley, and A. M. Robertson. 1998. The effect of pH on the inhibition of bacterial growth

- by physiological concentrations of butyric acid: implications for neonates fed on suckled milk. *Chem. Biol. Interact.* 113:117–131.
- Świątkiewicz, S., J. Koreleski, and A. Arczewska. 2010. Laying performance and eggshell quality in laying hens fed diets supplemented with prebiotics and organic acids. *Czech J. Anim. Sci.* 55:294–304.
- Takada, R., M. Saitoh, and T. Mori. 1990. Comparative effects of glucose, longchain triglycerides and medium-chain triglycerides on the protein metabolism of fasted rats. *Agric. Biol. Chem.* 54:2755–2756.
- Takeuchi, H., O. Noguchi, S. Sekine, A. Kobayashi, and T. Aoyama. 2006. Lower weight gain and higher expression and blood levels of adiponectin in rats fed medium-chain TAG compared with long-chain TAG. *Lipids* 41:207–212.
- Tsuji, H., M. Kasai, H. Takeuchi, M. Nakamura, M. Okazaki, and K. Kondo. 2001. Dietary medium-chain triacylglycerols suppress accumulation of body fat in a double-blind, controlled trial in healthy men and women. *J. Nutr.* 131:2853–2859.
- Tucci, S., U. Flögel, M. Sturm, E. Borsch, and U. Speikerkoetter. 2011. Disrupted fat distribution and composition due to medium-chain triglycerides in mice with a β -oxidation defect. *Am. J. Clin. Nutr.* 94:439–449.
- Uitdehaag, K. A., T. B. Rodenburg, H. Komen, B. Kemp, and J. A. M. van Arendonk. 2008. The association of response to a novel object with subsequent performance and feather damage in adult, cage-housed, purebred Rhode Island Red laying hens. *Poult. Sci.* 87:2486–2492.
- Upadhyaya, I., A. Upadhyay, H.-B. Yin, M. S. Nair, V. K. Bhattaram, D. Karumathil, A. Kollanoor-Johny, M. I. Khan, M. J. Darre, and P. A. Curtis. 2015. Reducing colonization and eggborne transmission of *Salmonella Enteritidis* in layer chickens by in-feed supplementation of caprylic acid. *Foodborne Pathog. Dis.* 12:591–597.

- Uzawa, H., G. Schlierf, S. Chirman, G. Michaels, P. Wood, L. W. Kinsell, G. Fukayama, N. C. Liu, and M. Coelho. 1964. Hyperglyceridemia resulting from intake of medium chain triglycerides. *Am. J. Clin. Nutr.* 15:365–369.
- Van Immerseel, F., J. De Buck, F. Boyen, L. Bohez, F. Pasmans, J. Volf, M. Sevcik, I. Rychlik, F. Haesebrouck, and R. Ducatelle. 2004. Medium-chain fatty acids decrease colonization and invasion through hliA suppression shortly after infection of chickens with *Salmonella enterica* serovar Enteritidis. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:3582–3587.
- Van Immerseel, F., J. Russell, M. Flythe, I. Gantois, L. Timbermont, F. Pasmans, F. Haesebrouck, and R. Ducatelle. 2006. The use of organic acids to combat *Salmonella* in poultry: a mechanistic explanation of the efficacy. *Avian Pathol.* 35:182–188.
- Walzem, R. L., R. J. Hansen, D. L. Williams, and R. L. Hamilton. 1999. Estrogen induction of VLDL₁ assembly in egg-laying hens. *J. Nutr.* 129:467S–472S.
- Wang, J., and I. Kim. 2011. Effect of caprylic acid and *Yucca schidigera* extract on production performance, egg quality, blood characteristics, and excreta microflora in laying hens. *Br. Poult. Sci.* 52:711–717.
- Wang, J., X. Wang, J. Li, Y. Chen, W. Yang, and L. Zhang. 2015. Effects of dietary coconut oil as a medium-chain fatty acid source on performance, carcass composition and serum lipids in male broilers. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28:223.
- Właż, P., K. Socała, D. Nieoczym, T. Żarnowski, I. Żarnowska, S. J. Czuczwar, and M. Gasior. 2015. Acute anticonvulsant effects of capric acid in seizure tests in mice. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry* 57:110–116.
- Yen, H.-C., W.-K. Lai, C.-S. Lin, and S.-H. Chiang. 2015. Medium-chain triglyceride as an alternative of in-feed colistin sulfate to improve growth

performance and intestinal microbial environment in newly weaned pigs. *Animal Sci. J.* 86:99–104.

Zheng, C.-T., H. Jørgensen, C.-E. Høy, and K. Jakobsen. 2006. Effects of increasing dietary concentrations of specific structured triacylglycerides on performance and nitrogen and energy metabolism in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 47:180–189.

附錄1. 產蛋雞飼糧、蛋黃及血漿中脂肪酸組成之相關
Corrilation between diet, yolk and plasma fatty acid
composition of laying hens

(a)

C8:0	<i>Diet</i>	<i>Yolk</i>	<i>Plasma</i>
Diet	1		
Yolk	0.70	1	
Plasma	0	0	1

(b)

C10:0	<i>Diet</i>	<i>Yolk</i>	<i>Plasma</i>
Diet	1		
Yolk	0.92	1	
Plasma	0	0	1

(c)

C16:0	<i>Diet</i>	<i>Yolk</i>	<i>Plasma</i>
Diet	1		
Yolk	-0.42	1	
Plasma	-0.73	0.48	1

(d)

C18:0	<i>Diet</i>	<i>Yolk</i>	<i>Plasma</i>
Diet	1		
Yolk	-0.29	1	
Plasma	-0.38	0.19	1

(e)

C18:1	<i>Diet</i>	<i>Yolk</i>	<i>Plasma</i>
Diet	1		
Yolk	-0.75	1	
Plasma	-0.72	0.58	1

(f)

C18:2	<i>Diet</i>	<i>Yolk</i>	<i>Plasma</i>
Diet	1		
Yolk	0.99	1	
Plasma	0.89	0.89	1

(g)

C18:3	<i>Diet</i>	<i>Yolk</i>	<i>Plasma</i>
Diet	1		
Yolk	0.96	1	
Plasma	0.89	0.89	1

Effects of dietary medium-chain triglycerides on laying performance, egg quality and yolk fatty acid deposition in laying hens

Chen, Jung-Chun

The purpose of the study was to determine the effects of supplementation of different level of medium-chain triglycerides in diet on laying performance, egg quality, yolk sensory quality, nutrient digestibility, egg yolk fatty acid and cholesterol contents and excreta microflora in laying hens. One hundred and forty-four 52-week-old Hy-line W36 laying hens were randomly allocated into four treatments, there were 6 replicates and 6 hens per replicate. Hens were fed diets containing 0, 0.3, 1.2 and 4.8% medium-chain triglycerides (MCT) for 20 weeks. Feed intake, egg production and egg weight were recorded weekly, egg quality were measured every 2 weeks and egg yolk fatty acid and cholesterol contents were measured every 4 weeks. The results showed that supplementation of 0.3 and 1.2% MCT in diet did not affect body weight, laying performance, egg quality (except decreased egg yolk height), egg composition and yolk sensory quality. Compared with 1.2% MCT group, supplementation of 4.8% MCT in diet decreased egg weight and increased feed conversion ratio, increased yolk medium-chain fatty acids and saturated fatty acids content, reduced unsaturated fatty acid content, increased excreta Lactobacilli/Coliforms ($P < 0.05$). Compared with 0.3% MCT group, supplementation of 4.8% MCT in diet reduced body weight and

egg yolk cholesterol content ($P < 0.05$), and tended to increase yolk texture ($P < 0.10$). Compared with control group, supplementation of 4.8% MCT in diet reduced digestibility of C16:0, C18:0, C18:1 and C18:2 fatty acids and ME intake ($P < 0.05$). In conclusion, supplementation of 4.8% MCT in diet increased medium-chain fatty acid and decreased cholesterol contents in egg yolk while reduced laying performance and long-chain fatty acid digestibility. Supplementation of MCT less than 1.2% in diet did not affect laying performance, egg quality and egg composition in laying hens.

Key words: medium-chain triglycerides, laying performance, egg quality, yolk fatty acid, laying hen