

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離乳仔豬生長性能及腸道健康之影響

Effect of dietary supplementation of medium-chain
triglycerides on the growth performance and gut health of
weanling pigs

研究生: 顏宏哲

Graduate student: Hung-Che Yen

中華民國 101 年 6 月

June, 2012

誌謝

本論文承指導教授 姜樹興博士悉心指導與教誨，使學生對學術研究與倫理能具備相當程度之了解後，方始完成，僅此致上誠摯敬意及感謝。

論文口試期間，承蒙中興大學動物科學系 余碧博士，東海大學畜產與生物科技學系 陳珠亮博士及財團法人台灣動物科技研究所應用動物組副研究員 林傳順博士，詳細審閱，且不巧遇到颱風侵台，諸位口試委員仍排除萬難來給予學生寶貴建言及指正，使本論文更臻完備，特此敬申謝忱。

研究及分析期間，首先感謝中興大學動物科學系 余碧博士，中興大學獸醫學院 動物疾病診斷中心 張文發副主任及東海大學畜產與生物科技系 謝長奇博士，能給予組織切片方面之指點。同時，有賴承德油脂股份有限公司李義發董事長及李世煌醫師鼎力支持，相關試驗才得以進行。此外，十分感激提供試驗場地的林俊良學長及其員工，在我養豬期間，提供非常多的協助，讓我了解商業豬場之實際運作，及雲林的濃厚人情味，至今仍相當懷念。而東海大學這邊，則有上至林佩儀、林傳順、陳丁二、蘇敬評、王信凱、徐碩陽、許信昭、林清治、賴韋綱、劉上璋及黃玫僑等諸位學長姐，下至朱奐勤、簡君

佑、林蔚、張勳中、陳正峰、李彥翰、白濬芃、吳家輔、陳可蓉、朱宏鑫、張勝博、馮俊哲等大學及研究所同學與學弟妹，在苦悶的研究所生活能給予各方面的協助、支持，互相鼓勵及嘴砲，讓這幾年慘澹的生活不是只有實驗室中或是冰冷、或是燒到燙手的儀器，與只有黑白兩色、被 姜老師叮嚀不要整天都在看的 BBS。

另外，對於試驗中有經手過、被犧牲的實驗動物，不論是我的小豬，還是其他人實驗的小雞，感謝你們的犧牲，今日才有這本論文的產生，每年中元節，如果有能力的話，我會記得拜點飼料讓你們在天上可以繼續吃到飽。

最後，要感謝我的父母、哥哥及姊姊，還有我養的兩隻小兔子，在這段期間，能不斷給予精神上的支持與鼓勵，對於我認為對的決定也表達相當之尊重與支持，讓我不用煩惱課業外的事情，對家人的感謝非隻字片語可形容，僅以本篇論文獻給親愛的家人，以表無限之感謝。

目次

目次	I
表次索引	VI
圖次索引	IX
摘要	1
前言	3
文獻檢討	5
一、抗生素背景	5
(一) 抗生素定義	5
(二) 抗生素分類	5
(三) 抗生素促生長機制	6
二、抗生素生長促進劑禁用原因及替代物選擇	7
(一) 抗生素生長促進劑禁用原因	7
(二) 有潛力之抗生素生長促進劑替代物	8
1. 益生菌	9
2. 益生素	11
3. 有機酸類	13
4. 酵素	16

5. 藥草-----	19
三、可利斯汀 (colistin) -----	20
(一) 分類-----	20
(二) 結構及用途-----	20
(三) 抑菌機制與體外試驗-----	21
(四) 體內試驗-----	23
四、中鏈三酸甘油酯-----	25
(一) 組成與特性-----	25
(二) 吸收與代謝-----	26
(三) 對動物生長性能及能量代謝之影響-----	28
(四) 抑菌機制與對腸道微生物之影響-----	33
(五) 對血液組成之影響-----	40
(六) 對肝臟肝糖之影響-----	42
材料及方法-----	43
試驗一-----	43
一、試驗步驟-----	43
(一) 試驗設計-----	43
(二) 試驗飼糧-----	43
(三) 試驗動物管理及採樣-----	43

二、樣品分析-----	47
(一) 飼料分析-----	47
1. 粗蛋白質分析-----	47
2. 脂肪酸組成分析-----	47
(二) 腸道內容物 pH 值及微生物菌相測定-----	48
(三) 血液成分分析-----	49
(四) 肝臟肝醣含量分析-----	49
(五) 下痢評分及下痢豬隻記錄-----	50
三、統計分析-----	50
試驗二-----	51
一、試驗步驟-----	51
(一) 試驗設計-----	51
(二) 試驗飼糧-----	51
(三) 試驗動物管理及採樣-----	51
二、樣品分析-----	55
(六) 空腸腸絨毛高度及腺窩深度分析-----	56
三、統計分析-----	56
結果-----	57
試驗一-----	57

一、生長性能	57
二、存活率及下痢評分	59
三、腸道內容物 pH 值及菌相	59
四、血漿組成	63
五、肝臟重量及肝醣含量	63
試驗二	66
一、生長性能	66
二、存活率及下痢評分	66
三、腸道內容物 pH 值及菌相	69
四、血漿組成	72
五、肝臟重量及肝醣含量	73
六、空腸絨毛高度及腺窩深度	76
試驗一與二合併	78
一、生長性能	78
二、存活率及下痢評分	78
三、腸道內容物 pH 值及菌相	80
四、血漿組成	84
五、肝臟重量及肝醣含量	86
討論	88

結論	94
參考文獻	95
英文摘要	116
附錄	117



表次索引

表 1. 試驗飼糧組成 (試驗一)	44
表 2. 試驗飼糧成分分析 (試驗一)	45
表 3. 試驗用油脂肪酸組成 (試驗一)	46
表 4. 試驗飼糧組成 (試驗二)	52
表 5. 試驗飼糧成分分析 (試驗二)	53
表 6. 試驗用油脂肪酸組成 (試驗二)	54
表 7. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬生長性能之影響 (試驗一)	58
表 8. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬存活率及下痢評分之影響 (試驗一)	60
表 9. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道內容物 pH 值之影響 (試驗一)	61
表 10. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道菌相之影響 (試驗一)	62
表 11. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬血漿組成之影響 (試驗一)	64
表 12. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬肝臟重量及	

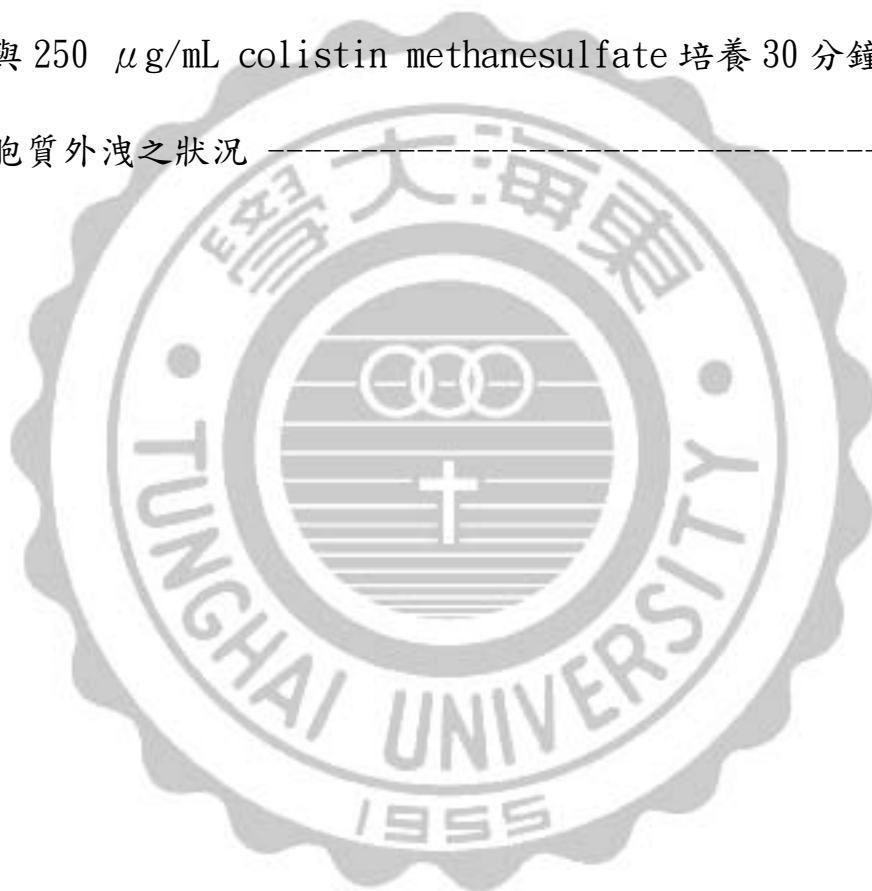
肝醣含量之影響 (試驗一) -----	65
表 13. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬生	
長性能之影響 (試驗二) -----	67
表 14. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬存	
活率及下痢評分之影響 (試驗二) -----	68
表 15. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸	
道內容物 pH 值之影響 (試驗二) -----	70
表 16. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯和可利斯汀對離乳豬腸	
道菌相之影響 (試驗二) -----	71
表 17. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬血	
漿組成之影響 (試驗二) -----	74
表 18. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬肝	
臟重量及肝醣之影響 (試驗二) -----	75
表 19. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬空	
腸絨毛高度及腺窩深度之影響 (試驗二) -----	77
表 20. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬生長性能之	
影響 (試驗一與二合併) -----	79
表 21. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬存活率及下	
痢評分之影響 (試驗一與二合併) -----	81

表 22. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道內容物 pH 值之影響 (試驗一與二合併) -----	82
表 23. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道菌相之 影響 (試驗一與二合併) -----	83
表 24. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬血漿組成之 影響 (試驗一與二合併) -----	85
表 25. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬肝臟重量及 肝糖含量之影響(試驗一與二合併) -----	87



圖次索引

- 圖 1. (A) 可利斯汀 (colistin) 及 (B) colistimethate sodium
之化學結構 -----22
- 圖 2. 電子顯微鏡下 *Pseudomonas aeruginosa* 於 (A) 未處理；(B)
與 250 $\mu\text{g/mL}$ colistin methanesulfate 培養 30 分鐘，細
胞質外洩之狀況 -----24



摘要

本研究分兩個試驗，分別探討飼糧中添加中鏈三酸甘油酯 (medium-chain triglycerides; MCT) 及 colistin sulfate (CS) 對離乳豬生長性能及腸道健康之影響。試驗一，256 頭 21 日齡 (體重 5.94 公斤) 之離乳仔豬，依飼糧中有無添加 MCT (0 或 3%)(C6:C8:C10=1:2:1) 及 CS (0 或 40 ppm)，逢機分配至 4 處理組，每處理 4 重複，每重複 16 頭之 2×2 複因子設計，為期 14 天。試驗二，544 隻 26 日齡 (體重 6.32 公斤) 之離乳豬，依飼糧中 MCT 添加濃度 (0、1、2 或 3%) 及有無添加 CS (0 或 40 ppm)，逢機分為 8 處理組，每處理 4 重複，每重複 16-18 隻之 4×2 複因子設計，為期 14 天。試驗一及二測定豬隻生長性能、存活率及下痢評分、腸道 pH 值與菌相、血漿組成及肝臟重量與肝醣含量。空腸絨毛高度與腺窩深度則僅試驗二測定。因試驗數據變異大，試驗一及二間在大部分測定項目並無交互作用，故將兩試驗之相同處理合併。合併試驗一及二結果顯示，飼糧中添加 MCT 不影響離乳豬增重及飼料採食量，顯著改善 3-7 日及全期 (0 至 14 日) 飼料利用效率 ($P < 0.05$)，並具降低 0-3 日下痢仔豬頭數之趨勢 ($P < 0.10$)，顯著降低大腸內容物大腸桿菌菌落數 (E) ($P < 0.05$)，並具降低乳酸菌與大腸桿菌總菌落數 (L+E) 之

趨勢 ($P < 0.10$)。飼糧中添加 CS 不影響離乳豬增重，飼料採食量及飼料利用效率，但顯著降低盲腸內容物 E 及 L+E ($P < 0.05$)，降低大腸內容物，E 及 L+E ($P < 0.05$)，並具降低小腸及大腸內容物乳酸菌菌落數，並提高大腸內容物乳酸菌與大腸桿菌比值之趨勢 ($P < 0.10$)。飼糧中添加 MCT 或 CS 並未影響離乳豬存活率，下痢評分，腸道內容物 pH 值，血漿組成，肝臟重量與肝醣含量及空腸絨毛高度與腺窩深度。MCT 與 CS 在大部分測定項目中之交互作用皆不顯著，而具加成作用，顯示兩者之作用機制不同。綜合上述，MCT 可替代 CS 作為離乳豬之生長促進劑，與 CS 共同使用時，效果尤佳。

關鍵字：腸道健康、生長性能、中鏈三酸甘油酯、抗生素、離乳豬

前言

中鏈三酸甘油酯 (medium-chain triglycerides; MCT) 由碳數 6 至 12 之中鏈脂肪酸 (medium-chain fatty acids; MCFA) 與甘油酯化而成。MCT 較長鏈三酸甘油酯快速提供動物能量之特性 (Bach and Babayan, 1982)，除了可提供人類及動物快速有效能量 (Bach and Babayan, 1982; Crozier et al., 1987; Chiang et al., 1990; Furuse et al., 1992) 外；MCFA 另具抑菌作用 (Nieman, 1954; Dierick et al., 2002ab; Nair et al., 2005)。

Dierick et al. (2002b) 於飼糧中添加 MCT，可改善離乳豬增重及飼料利用效率，並抑制腸道內容物微生物生長。賴 (2010) 於飼糧中添加 MCT，不影響仔豬增重及飼料採食量，但改善飼料利用效率，抑制胃，小腸及盲腸內容物乳酸菌菌落數。姜等 (1990) 於飼糧中添加 MCT，不影響肉雞增重，但改善飼料利用效率。黃 (2011) 於飼糧添加 MCT，降低肉雞增重與飼料採食量，不影響飼料利用效率，抑制盲腸內容物大腸桿菌菌落數、嗉囊及盲腸內容物乳酸菌與大腸桿菌總菌數。另外，Santos et al. (2008ab; 2009) 在肉雞，於飼糧中添加 C8:0 可抑制盲腸中空腸弧菌菌落數。Skrivanova et al. (2008; 2009) 在生長兔，飼料添加 C8:0 或 MCT (含 99% C8:0

及C10:0) 之飼糧,可有效降低兔隻糞便及盲腸中大腸桿菌菌落數。

抗生素的生長促進及抑菌作用,使得抗生素廣泛地被添加於飼料中 (Visek, 1978; Anderson et al., 1999)。然而,抗生素殘留於畜產品中所導致的抗藥性問題 (Bager et al., 1997; Greko, 2001; Phillips et al., 2004),導致歐盟於 2006 年起全面禁止於飼料中添加抗生素作為生長促進劑。台灣亦於 2005 年起陸續禁用多種抗生素作為生長促進劑。

MCT 為天然脂肪,無抗藥性問題,且具生長促進及抑菌作用。因此,本研究分為兩個試驗探討,於離乳豬飼糧中添加 MCT 對生長性能及腸道健康之影響,以及 MCT 取代抗生素作為生長促進劑之可能性。

文獻檢討

一、抗生素背景

(一) 抗生素定義

抗生素為細菌、真菌、放射菌類及部分微生物之產物，可抑制其他微生物生長或將其殺滅，而其複雜多變的化學性質、作用機制及作用目標形成眾多不同的抗生素種類 (Waksman, 1953)。

(二) 抗生素分類

抗生素依其作用位置或作用位置上之作用方式，以及抗生素分子之化學結構，可分為作用於細菌細胞壁的 β -內醯胺類 (β -lactams)、糖胺類 (glycopeptides) 及胺基磷酸肽類 (phosphonopeptides)；作用於細菌細胞膜的短桿菌肽 (gramicidins) 及多黏菌素 (polymyxins)；作用於蛋白質合成及細胞質代謝過程的胺基糖苷類 (aminoglycosides)、氯黴素 (chloramphenicol)、夫西地酸 (fusidic acid)、林可醯胺類 (lincosamides)、酮內酯類 (ketolides)、大環內酯類 (macrolides)、利福平 (rifampicin)、鏈陽菌素 (streptogramins)、

四環素類 (tetracyclines)、甲氧苄安嘧啶/磺胺甲基異噁唑 (trimethoprim + sulphamethoxazole) 等抗菌藥物；作用於 DNA 複製的氟喹諾酮類 (fluoroquinolones)、甲硝噻唑 (metronidazole)、呋喃妥因 (nitrofurantoin) 等抗菌藥物；用於輔助抗生素的化學物質 β -內醯胺酶抑制劑 (β -lactamase inhibitors) (黃, 2006)。

(三) 抗生素促生長機制

抗生素添加於飼料中以促生長之發現，可追溯自 Jukes 等人在一項維生素 B₁₂ 對肉雞生長影響之試驗中，發現飼料含金黴素 (aureomycin, 即 chlortetracycline) 發酵物，較單獨使用維生素 B₁₂ 能夠提升肉雞生長 (Stokstad et al., 1949)。自此，抗生素除醫療用途外，亦以抗生素生長促進劑 (antibiotic growth promoters) 形式添加於禽畜飼料，以促進禽畜生長及改善飼料利用效率。

一些學者認為抗生素促進生長可能之機制來自於：(1) 抑制微生物所引起輕微感染；(2) 降低細菌產生抑制生長之細菌毒素；(3) 減少微生物造成之營養分消耗；(4) 使腸壁較薄，提高營養分利用效率 (Visek, 1978)。而一些與無菌 (germ-free) 動物比較的文獻顯示，以促生長濃度添加之抗生素藉由調節腸道微生物及其產物方

式改善動物生長表現 (Visek, 1978; Anderson et al., 1999)。

二、抗生素生長促進劑禁用原因及替代物選擇

(一) 抗生素生長促進劑禁用原因

促生長抗生素的添加雖可改善禽畜在生長方面之效率，但近年來有研究指出存在於動物腸道之微生物，其抗藥性基因有轉移至人類致病菌之風險 (Bager et al., 1997; Greko, 2001; Phillips et al., 2004)。基於上述原因，歐盟於 2006 年起全面禁止飼料中以促生長劑為目的之抗生素添加。台灣亦於 2005 年起陸續禁用數種飼料用抗生素生長促進劑。

儘管於飼料禁用抗生素生長促進劑，可能降低微生物產生抗藥性之風險，但仍然存在著其他問題。以丹麥為例子，丹麥自 1995 年因抗糖肽類腸球菌 (glycopeptide-resistant enterococci) 問題而禁用安巴素 (avoparcin) 開始，後續數年丹麥政府或歐盟陸續公告禁用數種以促生長為目的添加於飼料之抗生素，及當地畜牧業自願配合停用飼料用抗生素生長促進劑 (Dibner and Richards, 2005)。此結果反應在食用動物所消耗之抗菌劑用量，自 1994 年停用前之總消耗量 (含促生長及治療用) 205,686 公斤降至 2001 年的

94,200 公斤 (World Health Organization, 2003; Angulo, 2004)。

但是治療用之特定抗菌劑用量如青黴素 (penicillins) 及大環內酯類等，在抗生素生長促進劑停用後卻不減反增 (DANMAP, 2002)，從停用前 1994 年的 89,900 公斤，停用後的 1996 年 48,000 公斤到 2001 年的 93,700 公斤 (World Health Organization, 2003)。

顯示禁用抗生素生長促進劑雖可降低微生物產生抗藥性之風險，但反而可能提高了禽畜治療方面的成本。此外，Emborg et al. (2002) 指出，丹麥的肉雞產業，飼料換肉率於 1995 年的 1.78 提高至 1999 年的 1.796。但因壞死性腸炎 (necrotic enteritis) 造成之死亡率則未提升，則可能是由於離子型抗球蟲藥 (ionophore anticoccidial salinomycin) 之用量增加所致 (Dibner and Richards, 2005)，沙利黴素 (salinomycin) 用量由 1996 年的 4,500 公斤提高至 2002 年的 11,213 公斤 (DANMAP, 2002)，顯示生產者轉向使用其他藥物來控制疾病。但在肉豬產業，抗生素生長促進劑停用後，出現了死亡率提高，增重降低等負面影響 (Casewell et al., 2003; Dibner and Richards, 2005)。

(二) 有潛力之抗生素生長促進劑替代物

對此，畜牧業轉為尋求其他抗生素生長促進劑替代物，而這些

較具未來性的替代物可約略分為 1. 益生菌 (probiotics); 2. 益生素 (prebiotics); 3. 有機酸類 (organic acids); 4. 酵素 (enzymes) 及 5. 藥草類 (herbs) 等。藉由各種方式改善胃腸道健康，進而改善禽畜生長性能 (Verstegen and Williams, 2002)。

1. 益生菌

益生菌定義為一些藉由改善菌相平衡而對宿主有助益之活菌 (Fuller, 1989)。在世界上廣泛地運用於人類食品、保健食品、發酵乳製品及禽畜飼料中，如雙叉乳桿菌 (*Bifidobacteria*)、乳酸桿菌 (*Lactobacillus*) 及腸球菌 (*Enterococcus*)。而禽畜常用的尚有一些芽孢桿菌屬 (*Bacillus*) 及酵母菌 (*Saccharomyces yeast*) 等菌種 (Simon et al., 2001; Verstegen and Williams, 2002)。

將益生菌添加於飼料中，其目的為經由競爭性排斥 (competitive exclusion) 抑制腸道病原菌生長，或是免疫調節 (immune modulation) 改善禽畜腸道環境 (Lee, 2008; Verstegen and Williams, 2002; Yang et al., 2009)。益生菌亦可能透過產生揮發性短鏈脂肪酸 (volatile short chain fatty acids) 及有機酸，降低腸道 pH 值，或產生過氧化氫 (hydrogen peroxide) 及細菌素 (bacteriocins) 抑制病原菌生長代謝及降低其產生毒素

(Sanders, 1993; Rolfe, 2000; Fooks and Gibson, 2002)。

對於益生菌實際之運用上，Fukata et al. (1991) 對無菌雞隻給予嗜酸乳酸桿菌 (*Lactobacillus acidophilus*) 或糞鏈球菌 (*Streptococcus faecalis*) 後提升對產氣莢膜桿菌 (*Clostridium perfringens*) 的抵抗而使雞隻免於死亡。Fooks and Gibson (2002; 2003) 證實，乳酸菌與雙叉乳桿菌可以抑制大腸桿菌、空腸弧菌 (*Campylobacter jejuni*) 及腸炎沙門氏桿菌 (*Salmonella enteritidis*) 等致病菌。仔豬給予仙人掌桿菌 (*Bacillus cereus*) 降低下痢發生率 (Zani et al., 1998)。Madsen et al. (1999) 使用益生菌發現能預防或改善小鼠自發性之發炎性腸病 (inflammatory bowel disease, IBD)。Neish (2002) 提出，益生菌可維持健康的菌相，降低腸道病原菌或其產物等發炎前驅物質 (proinflammatory determinants) 之刺激，減少腸道上皮細胞透過 NF- κ B 發炎活化途徑 (NF- κ B inflammation activation pathway) 分泌介白素-8 (interleukin-8, IL-8) 誘發之黏膜發炎反應，有助於改善 IBD，顯示益生菌對於動物腸道健康維持與改善具其助益。

此外，部分益生菌被指出，以下述方式降低血中膽固醇濃度：(1) 益生菌代謝產生之乳酸及醋酸，可抑制 Hydroxymethylglutaric-CoA reductase 活性，抑制膽固醇合成 (Homma, 1988)；(2) 透過菌體

吸附膽固醇 (Usman and Hosono, 1999; Xiao et al., 2003); (3) 雙叉乳桿菌、乳酸菌等益生菌代謝產物中含膽鹽水解酶 (bile salt hydrolase, BSH)。在低 pH 環境下, BSH 會與牛磺酸 (taurine) 或甘氨酸 (glycine) 鍵結之結合態膽酸 (conjugated bile acids) 之醯基鍵 (amide bond) 水解打斷, 形成非結合態膽酸 (deconjugated bile acids), 而非結合態膽酸除對消化道脂質乳化及吸收能力較結合態低, 其形成之非結合態膽鹽之重吸收性亦較低, 較易隨糞便排出體外。因此, 為補足損失之膽酸, 肝臟需利用血液中膽固醇合成新膽酸, 使得血液中膽固醇濃度下降 (De Smet et al., 1998, Takana et al., 1999, Begley et al., 2006)。體內試驗指出, 對生長豬給予有機酸 (Orgacids™), 增加糞中乳酸菌數量, 而乳酸菌可能有助於非結合態膽鹽排出, 促使膽固醇消耗用於合成膽鹽, 進而降低肌肉中膽固醇含量 (Loh et al., 2004)。

2. 益生菌

Gibson and Roberfroid (1995) 將益生菌定義為宿主無法消化而可促進結腸單一或特定數目細菌之生長或活性, 使其對宿主有增益, 甚至改善宿主健康之食物成分。而 Gibson et al. (2004) 進一步提出益生菌所需具備的三項條件, 分別為 (1) 可抵抗胃酸, 不

被動物之酵素水解及消化吸收；(2) 可被腸道微生物發酵；(3) 選擇性促進對健康有益處之腸道菌其之生長或活性。

符合 Gibson et al. (2004) 之條件的益生菌有菊苣纖維 (inulin) 與寡果糖 (oligofructose) 等果寡糖 (fructo-oligosaccharides)，乳果糖 (lactulose) 及反式半乳寡糖 (transgalacto-oligosaccharides)。而如甘露寡糖 (mannan oligosaccharides)，抗性澱粉 (resistant starch) 則未明確被界定為益生菌。而其它如異麥芽寡糖 (isomalto-oligosaccharides) (Zhang et al., 2003)，幾丁寡糖 (oligochitosan) (Huang et al., 2007)，水蘇糖 (stachyose) (Jiang et al., 2006)，木寡糖 (xylo-oligosaccharides) (Moura et al., 2007)，亦被其他學者認為屬益生菌。

以不同益生菌做為醣類來源，對微生物選擇性發酵之特性，證實在體外試驗除促進雙叉乳桿菌生長外，並有助於雙叉乳桿菌及乳酸菌分別與大腸桿菌，空腸弧菌及腸炎沙門氏桿菌病原菌混合培養時抑制病原菌生長，尤以空腸弧菌最顯著 (Fooks and Gibson, 2002; 2003)。果寡糖在肉雞，可促進雙叉乳桿菌及乳酸菌生長，抑制大腸桿菌生長，並改善增重 (Xu et al., 2003)，抑制沙門氏菌生長 (Bailey et al., 1991)；而異麥芽寡糖與水蘇糖對乳酸菌及大腸桿

菌等腸道菌之生長無影響，但異麥芽寡糖可改善肉雞增重，水蘇糖則無 (Zhang et al, 2003; Jiang et al., 2006)。在離乳豬，果寡糖有助於促進結腸中雙叉乳桿菌或抑制大腸桿菌，並改善飼料換肉率 (Gebink et al., 2001)。而 Konstantinov et al. (2004) 指出菊苣纖維、乳果糖及發酵性膳食纖維 (fermentable dietary fiber) 混合使用可促進特定乳酸菌 (*Lactobacillus amylovorus*-like population) 生長。

3. 有機酸類

有機酸主要包含飽和直鏈單羧酸及其衍生物 (不飽和，羥化，酚化及多羧酸)，如脂肪酸，揮發性脂肪酸及一些弱酸性羧酸類 (Cherrington et al., 1991)。

有機酸一般添加於飼料或飲水中，用於促進禽畜生長及控制腸道微生物。常用的有機酸有甲酸 (formic acid)，乙酸 (acetic acid)，丙酸 (propionic acid)，丁酸 (butyric acid) 等短鏈脂肪酸 (short chain fatty acids; SCFA) 及其鹽類，以及乳酸 (lactic acid)，檸檬酸 (citric acid)，延胡索酸 (fumaric acid) 及蘋果酸 (malic acid) 等。

Partanen (2001) 指出，有機酸之 pK_a 多介於 3 至 5 之間。而有

機酸的抗菌機制，著眼於其降低 pH 值之能力，而降低 pH 值的能力則取決於環境 pH 值使有機酸解離與否（由 pK_a 值得知）。當有機酸處於非解離態時，可由擴散（diffuse）或載體媒介運輸（carrier-mediated transport）通過微生物細胞膜進入細胞質，外部環境 pH 越低，通過細胞膜之非解離態有機酸也越多，而細胞內相對鹼性的環境則使有機酸解離釋放質子，降低細胞內 pH 值，抑制微生物細胞內酵素活性及其代謝，並堆積陰離子（Russell, 1992; Partanen and Mroz, 1999; Partanen, 2001; Canibe et al., 2002; Ricke, 2003）。Russell (1992) 並認為陰離子的堆積為對微生物主要之毒性效果，但一些菌種仍可容忍較低胞內 pH 值並持續生長，顯示部分菌種具抵抗有機酸之能力。對此，Russell and Diez-Gonzalez (1998) 解釋，耐酸菌中多數為革蘭氏陽性菌，其擁有較高之胞內鉀濃度，可中和細胞內有機酸之陰離子，進而提高這些菌種對陰離子之耐受性。此外，有機酸中脂肪酸之抗菌能力，可隨濃度提升及碳鏈長度增加而提高，革蘭氏陰性菌則較陽性菌對中長鏈脂肪酸有較高的抵抗能力（Nieman, 1954）。

有機酸除具抑菌能力外，尚具降低胃內 pH 值，活化胃蛋白酶（pepsin），提升蛋白質消化之功用（Partanen and Mroz, 1999; Partanen, 2001; Canibe et al., 2002; Verstegen and Williams,

2002)，惟 Partanen and Mroz (1999) 提及，有機酸之酸化作用雖有助於降低胃內 pH 值，進而活化胃蛋白酶，提升蛋白質消化，並對抗病原菌進入小腸，但在體內試驗中，僅部分文獻指出有機酸之添加可顯著降低胃內 pH 值。

此外，透過腸道微生物發酵醣類產生之短鏈脂肪酸（乙酸、丙酸、正丁酸 (n-butyric)）可刺激腸道上皮細胞增殖 (Sakata, 1988; Sakata et al., 1995)，其中丁酸被指為末段迴腸 (Chapman et al, 1995) 及末段結腸 (Roediger, 1980) 上皮細胞之能量來源。而 Gálfi and Bokori (1990) 餵飼生長豬 0.17% 正丁酸鈉 (sodium n-butyrate) 除改善生長性能外，也增加迴腸絨毛高度以及盲腸腺窩深度，但 Biagi et al. (2007) 給予離乳豬丁酸鈉則未影響生長性能以及空腸與迴腸絨毛高度與腺窩深度。

Boyen et al. (2008) 於體外試驗證實，SCFA 及中鏈脂肪酸 (medium-chain fatty acids; MCFA) 皆可有效抑制鼠傷寒沙門氏菌 (*Salmonella typhimurium*)，MCFA 較 SCFA 有效，而最小抑制濃度 (minimal inhibitory concentration, MIC) 則隨著 pH 提高而增加。此外，2 mM MCFA 及 10 mM SCFA 無法抑制鼠傷寒沙門氏菌生長，但可顯著降低 *hliA* 及 *fimA* 基因之表現，SCFA 亦顯著降低沙門氏菌之入侵能力，而 *hliA* 基因之表現降低會降低沙門氏菌入侵上皮細胞

能力。Boyen et al. (2008) 亦發現，餵飼豬隻添加 0.2%包膜 (coated) 丁酸之飼糧，具降低接種沙門氏菌後 3 日之糞中菌數 (P=0.082) 趨勢，未包膜丁酸則無影響，顯示包膜會避免丁酸在消化道前端便被吸收，而失去抑菌效果。

4. 酵素

酵素由蛋白質構成，具催化特定化學反應，增加反應速率之功能，其活性則受構成之一、二及三級結構影響，而須處於特定 pH 值及溫度之範圍才得以展現活性，而理想添加於飼料中的酵素須具備一定穩定性，具耐熱性及在 pH 2 至 7 間快速作用，不因飼料加工過程、儲存時之酸鹼條件或重金屬物質而變性，在小腸中展現最大活性，抵抗消化道內源性或微生物蛋白酶分解 (Vanbelle, 2001)。

單胃動物因缺乏特定內源性酵素 (endogenous enzymes)，又無反芻動物利用微生物發酵之消化系統，因此無法分解利用如纖維素 (celluloses)、半纖維素 (hemicelluloses)、果膠 (pectins) 與寡糖類 (oligosaccharides) 等非澱粉多糖類 (non-starch polysaccharides, NSP) 或木質纖維素 (lignocelluloses) 等構成植物細胞壁之物質，或是植酸 (phytic acid) 等抗營養因子 (anti-nutritional factors)。因此，添加外源性酵素 (exogenous

enzymes) 之主要目的，即為提高飼糧中可消化營養分與可利用能量，而其它伴隨之可能性影響，包括減少腸道因抗營養因子造成之內源性氮耗損 (Bedford and Schulze, 1998; Verstegen and Williams, 2002; Pierce and Stevenson, 2008)，增進特定族群之消化能力，如離乳前後之仔豬 (Dierick and Decuyper, 1994)。Dierick (1989) 亦指出，飼予酵素之效果，家禽高於豬，年幼動物高於年長動物。

β -聚葡萄糖水解酶 (β -glucanases) 及聚木糖酶 (xylanases) 可水解小麥、燕麥及大麥等穀物中之部分 NSP，降低 β -聚葡萄糖 (β -glucans) 及阿拉伯聚木糖 (arabinoxylans) 造成之腸道內容物黏性，提高營養分之吸收 (Falcão-e-Cunha et al., 2007)。

澱粉酶 (amylase) 可分為 α -澱粉分解酶 (α -amylase)， β -澱粉分解酶 (β -amylase) 及葡萄糖澱粉分解酶 (glucoamylase) 三類，以 α -澱粉分解酶較常添加於飼料中，早期多用於補充仔畜內源性分泌不足，近年來較多以玉米為主之飼糧，澱粉酶可改善飼糧中澱粉因打粒加工形成抗酶水解之抗性澱粉 (resistant starch)，以及玉米中澱粉酶抑制因子造成澱粉消化不佳，影響表面代謝能 (apparent metabolizable energy) 值之情形 (余, 2010)。

植酸酶 (phytase) 則證實可水解植物所含的植酸鹽，釋出飼料

中因與植酸結合而無法利用的磷，提高磷的利用率，並降低植酸之抗營養性 (Touchburn et al., 1999; Falcão-e-Cunha et al., 2007)。Gutiérrez et al. (2000) 指出，生長兔飼糧中添加植酸酶，提高 24% 磷之利用及 7% 氮消化率。

蛋白酶 (protease) 被指出具降解大分子蛋白質而改善蛋白質利用率，破壞植物性蛋白質中之抗營養因子，提高年幼動物對蛋白質利用之功能 (余, 2010)。O' Doherty and Forde (1999) 指出，含 400 g/kg 豌豆粕之飼糧中單獨添加蛋白酶，雖不影響生長豬全腸道有機物、氮、能量、灰分及中洗纖維表面消化率，但改善飼料換肉率。Caine et al. (1997) 則指出，含大豆粕之飼糧中添加蛋白酶，並未改善離乳豬對粗蛋白質或胺基酸之迴腸消化率。

Yang et al. (2009) 並指出，酵素可提高小腸中營養分消化率，減少微生物可利用營養分，而降低微生物菌落數；在後腸則因水解 NSP 產生不易吸收之醣類，供有益菌利用，而改善腸道菌相。

Dierick et al. (2002ab) 分別在體外及體內試驗中，將含 MCFA 之油脂與解脂酶 (lipase) 合併使用，皆確定解脂酶有助於將不同油脂所含之 MCFA 釋出；具抗菌能力之 MCFA 顯著降低腸道內容物之微生物菌落數。

5. 藥草

Windisch and Kroismayr (2006) 將藥草 (herbs, 取自非木本或落葉之開花植物), 植物藥材 (botanicals), 精油 (essential oils) 及油樹脂 (oleoresins, 非水溶劑萃取物) 合稱為植生素 (phytobiotics), 這類植物性產物可添加於飼糧中以期改善禽畜生長表現。Wang et al. (1998) 指出, 這些植物性產物與抗生素或無機化合物相比, 具有天然、低毒性及零殘留之理想飼料添加物特性。

藥草多以植物萃取物 (plant extracts) 或其精油形式添加使用, 如牛膝草 (oregano)、百里香麝香草 (thyme)、丁香 (clove) 及肉桂 (cinnamon) 等 (Lallès et al., 2009)。Lallès et al. (2009) 指出, 不同種類之精油成分受植物種類, 環境氣候與萃取方式影響, 在許多體外試驗中顯示不同之抗菌能力。Maenner et al. (2011) 指出, 飼糧中添加含薄荷醇 (menthol) 的混合精油, 可顯著提高離乳豬飼料利用效率及迴腸粗蛋白質與胺基酸表面消化率, 不影響消化道菌相, 顯示含薄荷醇之精油提高飼料利用效率的機制, 可能為藉提高蛋白質及胺基酸消化率, 而非調節飼料採食量或腸道菌相。Tekeli et al. (2006) 在比較不同植物萃取物之試驗中發現, 精油之添加雖未影響肉雞生長性能, 但含生薑 (zingiber officinale) 精油處理組, 顯著提高血中葡萄糖濃度及迴腸內容物乳酸菌菌落數。Jang et al.

(2007) 指出，飼糧中添加抗生素或不同含量精油，雖不影響肉雞生長性能，但添加較高含量精油 (50 mg/kg) 處理組，顯著提高胰蛋白酶 ((U/total pancreas and U/mg protein)，總胰澱粉酶 (kU/total pancreas) 及腸道麥芽糖酶 (maltase) 活性，並具降低迴盲腸內容物大腸桿菌菌落數之趨勢，但並不影響乳酸菌菌落數。不過，Lallès et al. (2009) 指出，精油在許多離乳豬之體內試驗中效果不一致。

三、可利斯汀 (colistin)

(一) 分類

可利斯汀屬於鎖環狀多肽體抗生素，為多黏菌素 (polymyxins) 中一種化學異構物。多黏菌素發現於 1940 年代，由多黏芽孢桿菌 (*Bacillus polymyxa*) 及其變異種產生，共有五種多黏菌素，(polymyxin A to E)，其中多黏菌素 B 及 E 兩種被用於臨床治療，而多黏菌素 E 即為可利斯汀，由多粘芽孢桿菌亞種 *B. polymyxa var colistinus* 產生，於 1950 年被確認 (Falagas and Kasiakou, 2005; Landman et al., 2008)。

(二) 結構及用途

可利斯汀化學結構見圖 1A。可利斯汀組成為陽離子環狀十肽以 α 醯基鍵與一個脂肪酸鍵結，胺基酸分別為 D 及 L-leucine、L-threonine 及 L- α - γ -diaminobutyric acid，與之鍵結之脂肪酸有兩種，與 6-methyl-octanoic acid 鍵結之可利斯汀 A (colistin A)，以及與 6-methyl-heptanoic acid 鍵結之可利斯汀 B (colistin B)；常用之可利斯汀鹽類有兩種形式，分別為 colistin sulfate 與 colistimethate sodium。而 colistin sulfate 可運用於口服針對腸道殺菌或是局部治療細菌性皮膚感染。colistimethate sodium 結構見圖 1B，為可利斯汀與甲醛 (formaldehyde) 及硫酸氫鈉 (sodium bisulfate) 鍵結而成，其效力與毒性皆低於 colistin sulfate，主要運用於非腸道治療，可於靜脈內、肌肉內或氣化使用。而上述兩者於口服時皆無法被腸道吸收 (Falagas and Kasiakou, 2005; Landman et al., 2008)。

(三) 抑菌機制與體外試驗

可利斯汀抗菌作用位於細菌細胞壁外膜，可利斯汀與革蘭氏陰性菌細胞壁外膜上之脂多醣分子 (lipopolysaccharides, LPS) 透過靜電作用 (electrostatic interaction) 結合，取代鎂離子 (Mg^{2+}) 與鈣離子 (Ca^{2+})，干擾 LPS 分子安定性，使外膜完整性改變、通透

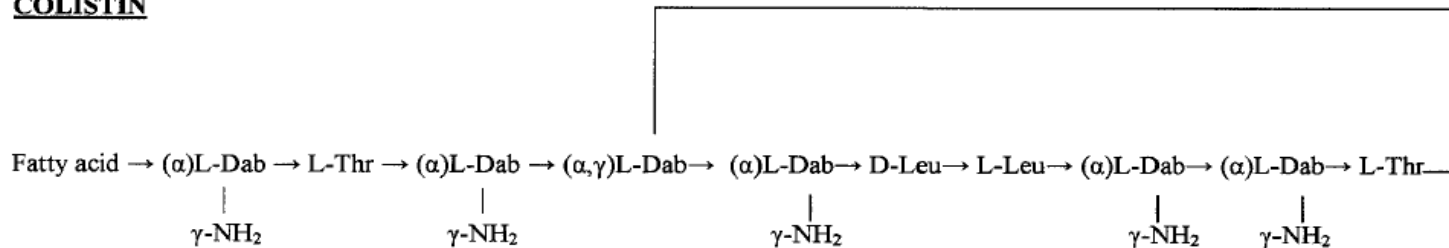
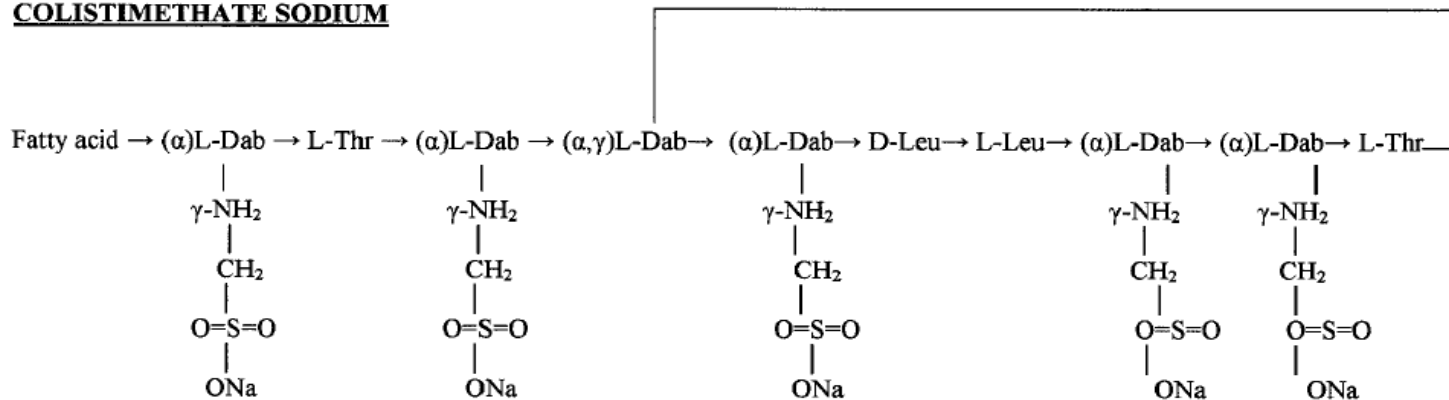
A. **COLISTIN**B. **COLISTIMETHATE SODIUM**

圖 1. (A) 可利斯汀 (colistin) 及 (B) colistimethate sodium 之化學結構。

Figure 1. Chemical structures of (A) colistin and (B) colistimethatedodium.

性增加，致使細胞質外洩，甚至細胞致死。而革蘭氏陰性菌外膜之 LPS 被視為內毒素 (endotoxins) 來源，可利斯汀與 LPS 結合而中和其內毒素之生物特性 (Warren et al., 1985; Falagas and Kasiakou, 2005; Landman et al., 2008)。

體外試驗中，圖 2B 中電子顯微鏡下之革蘭氏陰性菌和可利斯汀培養與未處理之細菌相比，可發現其細胞壁外膜破損及細胞質外洩之情形，顯示可利斯汀有效地破壞革蘭氏陰性菌細胞壁外膜完整性 (Koike et al., 1969)。

(四) 體內試驗

在一項對離乳豬接種 *E. coli* K99 的試驗中，每公斤飼糧中添加 300 毫克可利斯汀可顯著降低迴腸內容物大腸桿菌與盲腸內容物腸球菌及大腸桿菌菌落數，並改善生長性能，傾向於提高小腸絨毛高度，但未影響腺窩深度 (Torrallardona et al., 2003)。另一試驗中，可利斯汀較林可黴素 (licomycin) 顯著降低離乳豬盲腸雙叉乳桿菌，芽孢梭菌及大腸桿菌群 (coliforms) 菌落數 (Choi et al., 2011)。每公斤飼糧中添加 10 毫克可利斯汀亦有效降低肉雞迴盲腸內容物大腸桿菌菌落數，但未改善生長性能及肝等臟器重量 (Jang et al., 2007)。Romero et al. (2012) 在生長兔試驗中，飼糧處理分別為對

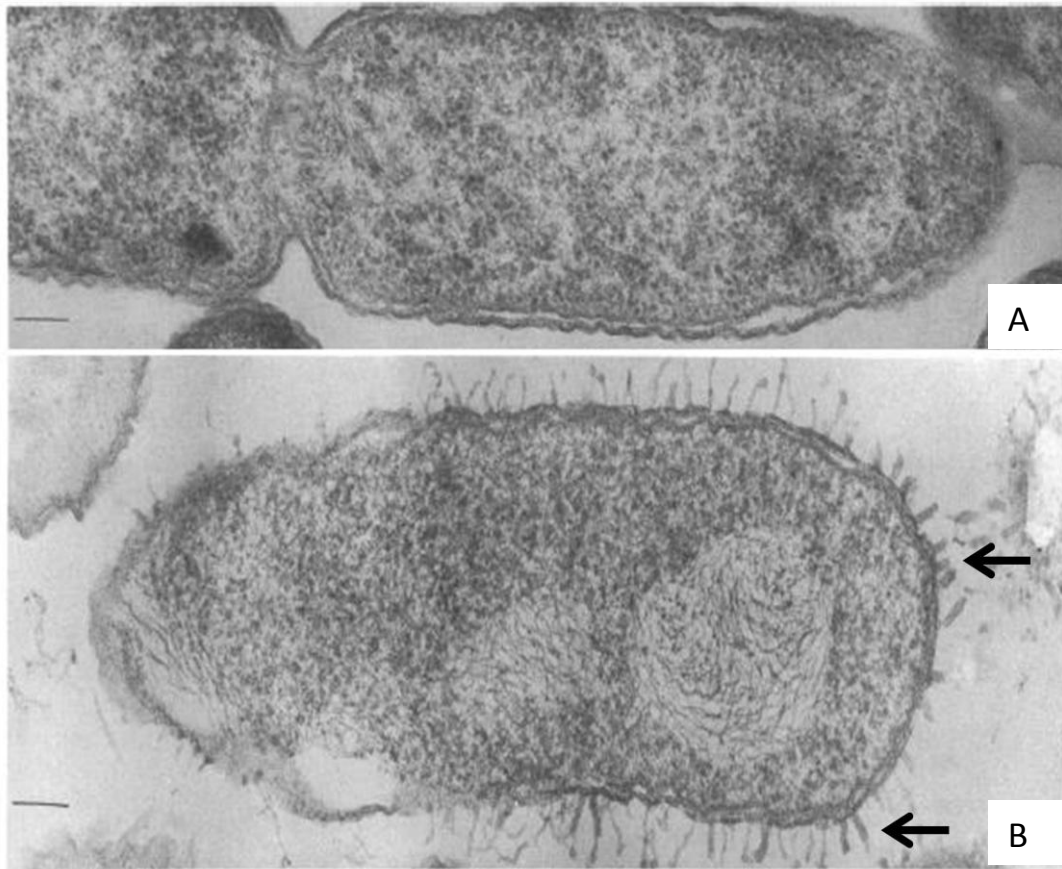


圖 2. 電子顯微鏡下 *Pseudomonas aeruginosa* 於 (A) 未處理；(B) 與 250 µg/mL colistin methanesulfate 培養 30 分鐘，細胞質外洩之狀況。圖 2B 中箭頭處所指細胞壁外圍之凸起物，即為自受損細胞膜外洩之細胞質。

Figure 2. Electron microscopic observation of *Pseudomonas aeruginosa*: (A) untreated cell; (B) cell treated with 250 µg/mL colistin methanesulfate for 30 min. Numerous projections (arrow) on the outer layer of the cell wall at figure 2B shows that part of the cytoplasmic material has been released through the cracks from damaged cytoplasmic membrane.

修改自 Koike et al., 1969.

照組，150 mg 鋅枯草菌素及 120 mg 可利斯汀/公斤飼糧之 B 組，5 克 MCT 及 120 mg 可利斯汀/公斤飼糧之 A 組，生長免於 35 日齡時接種大腸桿菌及產氣莢膜桿菌後，A、B 兩組不影響生長性能，較對照組顯著降低死亡率及發病率，增加 56 日齡空腸絨毛高度及降低遠端迴腸派氏結 (peyer's patch) 面積，而 A 組增加之空腸絨毛高度又顯著高於 B 組，作者認為較長之腸絨毛高度可能與可利斯汀顯著抑制革蘭氏陰性菌生長有關，而革蘭氏陰性菌如大腸桿菌則會對腸上皮細胞造成損傷。以上試驗顯示添加可利斯汀於飼糧中可有效抑制禽畜腸道內容物大腸桿菌菌落數。

四、中鏈三酸甘油酯

(一) 組成與特性

中鏈三酸甘油酯 (medium-chain triglyceride, MCT) 為甘油與碳數 6 至 12 之中鏈脂肪酸 (medium-chain fatty acids, MCFA) 酯化形成，MCFA 包括 C6:0 (己酸; caproic acid); C8:0 (辛酸; caprylic acid); C10:0 (癸酸; capric acid) 及 C12:0 (月桂酸; lauric acid)，多來自椰子油水解而成。MCFA 熔點相對於長鏈脂肪酸 (long-chain fatty acid, LCFA) 低，在室溫環境下為液態，水溶性佳 (Bach and

Babayan, 1982), 其 pK_a 值依序為 C6:0 之 4.88, C10:0 之 4.89, C10:0 之 4.89 及 C12:0 之 5.02 (Hsiao and Siebert, 1999; Palaprat et al., 2005)。MCT 在肉雞之代謝能為 8402 仟卡/公斤 (姜等, 1990), 在豬之消化能為 8693 仟卡/公斤, 代謝能為 7867 仟卡/公斤, 氮矯正代謝能為 7778 仟卡/公斤 (Lee and Chiang, 1994)。

(二) 吸收與代謝

MCT 相對長鏈三酸甘油酯 (long-chain triglyceride, LCT), 分子量小, 水溶性高, 於腸道中易被胰解脂酶 (pancreatic lipase) 水解為游離脂肪酸後, 由小腸細胞吸收, 無需再酯化, 經肝門脈 (portal vein) 系統送至肝臟代謝 (姜, 2009; Bach and Babayan, 1982; Papamandjaris et al, 1998)。Dicklin et al. (2006) 證實, 灌餵初生仔豬 MCT, 其胰解脂酶水解 MCT 能力顯著高於胃及舌解脂酶, 而胰解脂酶水解 MCT 之能力隨碳鏈增加而降低, 整體而言, 初生仔豬對 C6:0 利用效率最佳。由於 MCFA 與血清白蛋白質結合, 由血液經肝門脈系統直接送至肝臟, 而非如 LCFA 般與醯基輔酶 A 合成酶 (acyl-CoA synthetase) 及脂肪酸結合蛋白 (fatty-acid-binding protein, FABP) 結合經再酯化作用 (re-esterification) 形成乳糜球後透過淋巴系統運送至心臟 (姜, 2009; Bach and Babayan, 1982;

Papamandjaris et al, 1998)，故 MCT 與 MCFA 消化吸收之效率高於 LCT 及 LCFA。

不同於 LCFA 代謝機制，MCFA 經血液運送至肝臟後，可不需肉鹼 (carnitine) 攜帶直接穿過粒線體內膜進入粒線體間質 (Bremer, 1980)。MCFA 於粒線體間質中經 β -氧化作用 (β -oxidation) 產生乙醯輔酶 A (acetyl-CoA)，乙醯輔酶 A 則可氧化為二氧化碳與水，產生能量 (Lavau and Hashim, 1978; Bach and Babayan, 1982; Seaton et al., 1986; Crozier et al., 1987)。Heo et al. (2002) 指出，肉鹼之給予無助於初生仔豬對 MCT 氧化之能量利用，而且 MCT 利用效率為 LCT 之 3-4 倍。此外，中鏈醯基輔酶 A 合成酶 (medium chain acyl-CoA) 僅存於肝細胞粒線體間質，顯示 MCFA 不參與肝細胞內脂質合成 (McGarry and Foster, 1980; Bach and Babayan, 1982)，趨向於氧化代謝以產生能量，而非合成脂質蓄積於體組織中。

MCT 因易於吸收與氧化代謝，產生過多乙醯輔酶 A，造成草醯乙酸短缺 (Bach, 1978)，使剩餘之乙醯輔酶 A 轉向酮體生成作用 (ketogenesis) 途徑，產生大量酮體 (Bach and Babayan, 1982)。肝中酮體經血液運輸，部分於肺臟以丙酮形式呼出，另一部分則進入肌肉或腦部等組織，再轉化為乙醯基輔酶 A 提供能量 (姜, 2009)。因此，由上述可得，MCT 較 LCT 有效率於快速提供動物能量。

(三) 對動物生長性能及能量代謝之影響

MCT 具有較 LCT 快速提供動物能量之特性 (Bach and Babayan, 1982)，因此，Bach and Babayan (1982) 在人，Chiang et al. (1990) 在豬，Furuse et al. (1992) 及 Crozier et al. (1987) 在大鼠，提出 MCT 可做為有效能量來源。但 MCT 添加於飼糧中有降低動物生長之趨勢 (Crozier et al., 1987; Cera et al., 1990; Ecelbarger et al., 1991)，減少飼料採食量 (Cera et al., 1989; 1990; Furuse et al., 1992)，減少體脂蓄積 (Newport et al., 1979; Travis et al., 1979; Baba et al., 1982; Takeuchi et al., 2006; Ooyama et al., 2008)，提高能量消耗 (Shinohara et al., 2005; Ooyama et al., 2008)。MCT 具攝食產熱效應 (diet-induced thermogenesis)，使熱產生量提高 (Noguchi et al., 2002)，此外，提供大量 MCFA 導致之過量乙醯輔酶 A 產生，除致使肝細胞轉向酮體生成作用產生酮體外，亦活化肝臟脂肪合成作用，增加脂肪合成 (Hill et al., 1989; Shinohara et al., 2005)。

飼糧中添加 MCT，在豬隻方面，Allee et al. (1972) 及 Newport et al. (1979) 指出，於飼糧中添加 10-14% MCT，不影響離乳豬增重及飼料利用效率。Cera et al. (1989; 1990) 分別於飼糧中添加 8%

MCFA 及 7.5% MCT，不影響離乳豬增重，但降低飼料採食量並改善飼料換肉率。Lee and Chiang (1994) 對新生仔豬灌餵 6 毫升/公斤代謝體重 MCT，不影響出生重較輕 (1.0 公斤以下) 及中等 (1.0 至 1.5 公斤) 之仔豬死亡率，但增加較重出生重 (1.5 公斤以上) 之仔豬死亡率。Lin et al. (1995) 亦提出相似結果，對新生仔豬灌餵 6 毫升/公斤代謝體重 MCT，提高出生重大於 1 公斤之新生仔豬死亡率，1 公斤以下者則未受影響。Dierick et al. (2002b) 於飼糧中添加 2.5% MCT，可改善離乳豬增重及飼料利用效率。Hernandez and Pluske (2008) 於飼糧中添加 0.625-5% MCT，不影響離乳豬增重、飼料採食量或飼料利用效率。賴 (2010) 於飼糧中添加 4.8% MCT，不影響仔豬增重及飼料採食量，但改善飼料利用效率。

在肉雞方面，Furuse et al. (1992) 於飼糧中添加 10 或 20% MCT，Furuse et al. (1993) 添加 20% C8:0 與 C10:0，降低增重及飼料採食量。姜等 (1990) 指出，於飼糧中添加 3-5% MCT，不影響肉雞增重，但改善飼料利用效率。賴 (2010) 指出，飼糧中添加 4% MCT (C6:0)，不影響肉雞增重，飼料採食量或飼料利用效率。黃 (2011) 指出，於飼糧添加 4-6.4% MCT，降低肉雞增重及飼料採食量，但不影響飼料利用效率及死亡率。

在大鼠方面，Lavau and Hashim (1978) 及 Baba et al. (1982)

指出，飼糧中含 20-35% MCT 會降低增重。Travis et al. (1979) 指出，飼糧中含 20% MCT 不影響大鼠增重及飼料利用效率。Shinohara et al. (2005) 餵飼大鼠含 5% MCT 飼糧，不影響增重、飼料採食量及飼料利用效率。Takeuchi et al. (2006) 餵飼大鼠含 20% MCT 飼糧，降低增重。Ooyama et al. (2008) 餵飼大鼠含 10% MCT 飼糧，不影響飼料採食量，但降低增重及飼料利用效率。Ooyama et al. (2009) 指出，大鼠灌餵 1 mL MCT (含 74.4% C8:0 及 25.6% C10:0)，經半小時休息，再給予 1 小時採食，較對照組及灌餵 LCT 者降低飼料採食量。

在小鼠方面，Birk and Brannon (2004) 發現，餵飼離乳仔小鼠含 5 及 18% MCT 飼糧，不影響末重及飼料採食量，並可以提高 53-60% 胰解脂酶活性，但 MCT 提高至 31.6% 時，則抑制飼料採食量並降低末重，未提高胰解脂酶活性。

在肉兔方面，餵飼含 1.0% MCT 飼糧，不影響肉兔增重，飼料採食量、飼料利用效率及屠宰率，但降低死亡率 (Skrivanova and Marounek, 2002; 2006; Skrivanova et al., 2009)。綜觀上述結果，飼糧中添加過量 MCT 易對動物之生長性能產生不良影響，但適量或少量添加則可能有助於改善飼料利用效率。

上述文獻顯示，當給予動物高量 MCT，易導致飼料採食量下降。

對此，Cera et al. (1989) 提出，可能的原因為 MCFA 之不良氣味或能量利用效率提高所致。Ooyama et al. (2009) 則發現，MCFA 於體內氧化代謝產生之 ATP，或產生之酮體促進胰島素分泌，皆抑制大鼠之飼料採食量。

此外，Mabayo et al. (1992) 指出，三辛酸甘油酯 (trioctanoin) 與三癸酸甘油酯 (tridecanoin) 可提高雞隻血中膽囊收縮素 (cholecystokinin; CCK) 濃度，延緩嗝囊排空，降低飼料採食量，但 Ledebor et al. (1998) 於人之實驗指出，於十二指腸注入 LCT 可提高血漿 CCK 濃度，並降低下食道括約肌 (lower esophageal sphincter, LES) 收縮壓，此機制可被 loxiglumide (CCK-A 受體拮抗劑) 阻斷，但 MCT 則不提高血漿 CCK 濃度，仍可降低 LES 收縮壓而不受 loxiglumide 影響，顯示 MCT 控制胃排空之機制可能不同於 LCT，而 Barbera et al. (2000) 於人體試驗中則提出，在十二指腸灌注 LCT，顯著提高血漿中 CCK、腸抑胃肽 (gastric inhibitory peptide, GIP)、神經調壓素 (neurotensin, NT) 及胰多肽 (pancreatic polypeptide, PP) 等腸道內泌素濃度，提高胃部容積，鬆弛胃底，提高飽足感或噁心知覺感受，並且 GIP 及 PP 可抑制胃部活動。MCT 之灌餵則反之，不影響血漿中 CCK、GIP、NT 或 PP 濃度，胃部提高容積及鬆弛胃底之幅度顯著低於 LCT，但未提高飽足感等知覺感受。對

此，McLaughlin et al. (1999) 與 Barbera et al. (2000) 皆提出 MCT (<C10:0) 可能藉活化非 CCK 相關之機制調節近端胃之鬆弛，顯示 MCT 亦可能透過非知覺感受或血漿中腸道內泌素濃度等方式影響採食量。此外，Nishi et al. (2005) 提出，於小鼠胃中灌餵 MCT 及 MCFA 可直接使飢餓素 (ghrelin) 之醯基經修飾作用 (acy modification) 而活化，並提高胃中醯基態飢餓素濃度，而飢餓素則可促進食慾。這顯示飼糧中添加 MCT 亦有可能提升活化飢餓素濃度，抵消 CCK 或非 CCK 相關機制造成之飼料採食量減少。

值得一提地，文獻顯示，飼糧中添加 MCT 可能有助於蛋白質蓄積。姜等 (1990) 於肉雞試驗中發現，飼糧中添加 MCT 顯著提高肉雞體蛋白質含量。Mabayo et al. (1993) 發現，以添加 18% C8:0 之等能量飼糧餵飼肉雞，較對照組顯著提升飼料利用效率及蛋白質蓄積率，並降低體脂及脂肪蓄積率。Zheng et al. (2006) 發現，肉雞餵飼不同含量之特殊建構三酸甘油酯 (specific structured triacylglycerides) (含約 28% C10:0) 之飼糧，可提高飼料利用效率及蛋白質蓄積率，降低體脂蓄積率，而其部分原因來自 MCT 分別降低蛋白質及提高脂肪異化作用之比例。賴 (2010) 發現，仔豬餵飼不同含量 MCT 之飼糧，可逐步提高蛋白質消化率，而餵飼肉雞含 4% MCT (含 40% C6:0 或 48.5% C12:0) 飼糧亦趨向提高蛋白質消化率 (P =

0.055)。

Tortora and Anagnostakos (1984) 提到，CCK 可促進蛋白酶及胜肽酶分泌。由此推斷，CCK 有助於提高蛋白質消化率。Ledeboer et al. (1998) 及 Barbera et al. (2000) 雖發現在人之十二指腸注入 MCT 並未提升血漿 CCK 濃度。McLaughlin et al. (1999) 則在人發現，碳數 12 以上之脂肪酸可提高血漿 CCK 濃度，碳數 11 以下則無法增加 CCK 濃度。但學者亦提出不同結果，Isaacs et al. (1987) 於人，Stubbs and stabile (1985) 及 Douglas et al. (1990) 於大鼠，Mabayo et al. (1992) 於雞，Takada et al. (1994) 於豬及 Nordrum et al. (2000) 於鮭魚之實驗提出，飼糧中所含之 MCFA 可刺激 CCK 分泌。因此，飼糧中添加 MCT 可能透過提高 CCK 濃度，促進蛋白酶及胜肽酶分泌，提高蛋白質消化率，進而提高體蛋白質蓄積量。惟此一可能性仍待進一步證實。

(四) 抑菌機制與對腸道微生物之影響

脂肪酸之抗菌作用早在 1950 年代即被提出，並認為脂肪酸碳鏈長度之影響高於飽和度，尤以碳數介於 8 至 14 者有較佳之抑菌能力 (Nieman, 1954)。MCFA 之 pK_a 值依序為 C6:0 之 4.88，C10:0 之 4.89，C10:0 之 4.89 及 C12:0 之 5.02 (Hsiao and Siebert, 1999; Palaprat et al., 2005)，顯示 MCT 在被胃及胰解脂酶水解後釋出之 MCFA，於

小腸及後腸環境下呈解離態，釋出氫離子，降低 pH 值，而消化道之 pH 值介於 3 至 6，故 MCFA 於胃中多呈非解離態，在小腸及大腸則多呈解離態。

非解離態 MCFA 可能因其非極性結構，進入細菌細胞膜中時，形成孔洞間隙，並造成膜蛋白或雙層磷脂質膜流失，改變細胞膜通透性或完整性，因而阻斷電子傳遞鏈，干擾氧化磷酸化作用 (Desbois and Smith, 2010)。當革蘭氏陰性菌處於低 pH 環境，其脂多醣外膜變得較不緊密，使 MCFA 得以穿越細胞膜 (Thormar and Hilmarsson, 2007)。MCFA 在進入細胞質中，則因相對鹼性環境，解離釋出氫離子，造成細胞內 pH 值降低 (Sun et al., 1998; Decuypere and Dierick, 2003)，抑制酵素活性 (Viegas and Sa-Correia, 1991; Canibe et al., 2002; Decuypere and Dierick, 2003)，抑制胺基酸運輸 (Freese et al., 1973)，強制細菌耗費能量排出氫離子，回復細胞質 pH 值以利正常運作 (Canibe et al., 2002; Rossi et al., 2010)，使 ATP 驅動型幫浦 (ATP-driven pumps) 去連結 (uncoupled) (Desbois and Smith, 2010)。而 MCFA 解離時產生之陰離子 ($R-COO^-$)，在細胞內堆積，可能對細菌造成毒性 (Russell, 1992; Russell and Diez-Gonzales, 1998; Canibe et al., 2002)，或形成具毒性之脂肪酸過氧化產物 (Desbois and Smith, 2010)。最終，抑制細菌生長，無法進行細胞

分裂，或使其凋亡。

Dierick et al. (2002a) 於體外試驗發現，提供外源性解脂酶，在模擬胃部環境下，可增加 20% MCFA 自含 MCT 水解釋出，而提供 0.35 g MCFA/100 g 培養基，可顯著降低厭氣菌及大腸桿菌菌落數（10 倍以上）。Skrivanova et al. (2008) 之體外試驗則證實，兔奶所含 MCT 對大腸桿菌抑制效果不顯著，但提供解脂酶水解釋出 MCFA 則有效抑制大腸桿菌生長。Bergsson et al. (2002) 於體外試驗測試不同脂肪酸及其單酸甘油酯 (C8:0 至 C18:1) 之抑菌能力發現，單癸酸甘油酯 (monocaprin) 與單月桂酸甘油酯 (monoluarin) 對抑制幽門螺旋桿菌 (*Helicobacter pylori*) 生長最顯著，但 C8:0 至 C18:1 及其單酸甘油酯皆無法抑制大腸桿菌及沙門氏菌。Bergsson et al. (2002) 認為革蘭氏陰性菌因外膜構造不一，而具不同之抵抗脂肪酸能力。大腸桿菌及沙門氏菌藉由外膜上之 LPS 的氧側鏈 (O side chains) 之親水性，抵抗疏水性分子如脂肪分子進入細胞膜，而 LPS 之碳氫鏈也使其有較低之膜流動性，而使 MCFA 及單酸甘油酯對其無效。

Van Immerseel et al. (2004) 於體外試驗發現，C6:0，C8:0 及 C10:0 皆有效抑制腸炎沙門氏菌 (*Salmonella enterica* serovar Enteritidis) 生長，以 C6:0 效果最卓越。此外，C6:0、C8:0 及 C10:0

皆可抑制沙門氏菌 *hila* 基因表現，而 *hila* 基因表現降低會降低與沙門氏菌入侵上皮細胞能力，顯示 MCFA 具備影響沙門氏菌入侵上皮細胞之能力。Boyen et al. (2008) 於體外試驗亦證實，MCFA 可有效抑制鼠傷寒沙門氏菌 (*Salmonella typhimurium*) 生長，而最低抑制濃度 (minimal inhibitory concentration, MIC) 則隨著 pH 提高而增加。此外，2 mM MCFA 雖無法抑制鼠傷寒沙門氏菌生長，但可顯著降低 *hila* 及 *fimA* 基因之表現，並降低沙門氏菌之入侵能力。

Nair et al. (2005) 探討 C10:0 及單癸酸甘油酯對乳牛乳房炎病原菌之抑菌效果發現，當添加 100 mM C10:0 與 50 mM 單癸酸甘油酯於牛奶中，將牛奶之 pH 值由 6.6 分別降至 5.51 及 5.4；而在 37 °C 培養 24 小時過程中，100 mM C10:0 與 50 mM 單癸酸甘油酯於 6 小時即將無乳鏈球菌 (*Streptococcus agalactiae*)，壞乳鏈球菌 (*Streptococcus dysgalactiae*)，乳房鏈球菌 (*Streptococcus uberis*)，金黃葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 及大腸桿菌等乳房炎病原菌之菌落數降低 5.0 個 log₁₀ 以上，而大腸桿菌對 C10:0 及單癸酸甘油酯耐受性較其它四種菌要高。Nair et al. (2005) 指出，未解離 MCFA 及其單酸甘油酯可能進入細菌細胞膜中，導致膜通透性增加，而革蘭氏陰性菌可能因其細胞壁結構而對 MCFA 較具抵抗性。革蘭氏陽性菌細胞壁主要由肽聚糖 (peptidoglycan) 構成，厚約

20-80 mm，革蘭氏陰性菌細胞壁僅約 2.5 mm，但其肽聚醣層外尚有一以 20-25%磷脂質及 24-45% LPS 及蛋白質構成之外膜（黃，2006），外膜上 LPS 氧側鏈之親水性，可抵抗疏水性分子如脂肪分子進入細胞膜（Bergsson et al., 2002）。Bergsson et al. (1998) 發現，在電子顯微鏡下，觀察到單酸甘油酯進入細菌細胞壁肽聚醣層中，破壞細胞壁完整性。因此，MCFA 可能造成細菌細胞壁肽聚醣層的損壞，而革蘭氏陰性菌之肽聚醣層較薄，使 MCFA 對其影響較小，革蘭氏陽性菌則反之。

Thormar et al. (2006) 於體外試驗比較 6 種脂肪酸以及其單酸甘油酯之抑菌效果，顯示 C10:0，尤其是 1-單癸酸甘油酯之抑菌效果最好，濃度 1.00 及 1.25 mM 之 1-單癸酸甘油酯，可顯著降低空腸弧菌菌落數 6 至 7 個 \log_{10} ，而在 pH 4-5 環境下，1.25 mM 乳化之 1-單癸酸甘油酯有效抑制沙門氏菌及大腸桿菌。在 pH 4.1 環境下，0.625 mM 1-單癸酸甘油酯即有效抑制空腸弧菌。此外，於 0.5 g 飼糧中添加 0.5 g 5 及 10 mM 乳化之 1-單癸酸甘油酯溶液，以 37°C 培養 30 分鐘，可降低飼糧中空腸弧菌 3 至 4 個 \log_{10} 菌落數。Messens et al. (2010) 則指出，在模擬豬盲腸之體外培養試驗，濃度 15 mM 之辛酸鹽 (caprylate) 可有效降低沙門氏菌菌落數 4.69 個 \log_{10} 及大腸桿菌菌落數 3.62 個 \log_{10} ，而僅少許影響其它菌種。

Dierick et al. (2002b) 在離乳豬進行之體內試驗發現，飼糧中單獨添加 2.5% MCT 有效抑制胃內容物鏈球菌 (*Streptococci*)，大腸桿菌數及十二指腸內容物鏈球菌落數；含 MCT 飼糧中添加外源性解脂酶，則可增加胃中釋出之 MCFA 含量，並顯著降低胃內容物總菌數，乳酸菌及十二指腸內容物總菌數 (10-fold; $P < 0.05$)，抑制胃及小腸內容物大腸桿菌。Boyen et al. (2008) 證實，MCFA 在其體外試驗雖顯著抑制鼠傷寒沙門氏菌生長及入侵能力，但在豬之體內試驗，餵飼添加 0.31% 包膜 (coated) C8:0 之飼糧，並未降低於接種沙門氏菌後 3 日之豬糞菌落數。賴 (2010) 在餵飼仔豬添加 1.2% MCT 飼糧時，提高小腸內容物乳酸菌菌落數，添加 3.0% 則降低胃及盲腸內容物乳酸菌菌落數，添加至 4.8% 則降低胃及小腸內容物乳酸菌菌落數，而 MCT 之添加並未影響大腸內容物乳酸菌及消化道各部位內容物大腸桿菌菌落數。

Van Immerseel et al. (2004) 證實，飼糧中添加 0.3% C6:0，對 5 日齡時接種腸炎沙門氏菌之 8 日齡蛋雞，顯著抑制盲腸及腸道沙門氏菌之生長，作者認為，MCFA 可透過抑制 *hliA* 基因表現，進而抑制腸炎沙門氏菌對體組織之入侵感染，並降低腸炎沙門氏菌菌落數。

Solis de los Santos et al. (2008ab) 於飼糧中添加 0.7% C8:0，

經 10 日，便降低 10 日齡肉雞盲腸空腸弧菌菌落數。Solis de los Santos et al. (2009) 指出，雞隻於上市前 3 天餵飼添加 0.7% C8:0 之飼糧，可降低 42 日齡肉雞盲腸中空腸弧菌菌落數。Hillmarsson et al. (2006) 指出，於飼糧或飲水添加 10 mM (0.24%) 1-單癸酸甘油酯 2-3 天，即可顯著減少已感染空腸弧菌之肉雞糞中空腸弧菌含量。Metcalf et al. (2010) 提出，於飲水中添加 C8:0，對肉雞盲腸中空腸弧菌無抑制效果，並造成雞隻飲水量下降，作者推斷可能因腸道對水中 C8:0 吸收快，使抵達盲腸之 C8:0 濃度不足以抑制空腸弧菌。Hermans et al. (2010) 則提出，MCFA 於體外試驗可有效抑制空腸弧菌，但在體內試驗，於飼糧中添加 1% C6:0，C8:0，己酸鹽 (caproate)，辛酸鹽 (caprylate) 或癸酸鹽 (caprate)，皆對雞隻盲腸中空腸弧菌菌落數無影響。對此，作者認為飼糧中脂肪酸配方不同，使用菌株特性不同或雞隻品種與飼糧不同皆可能為 MCFA 無效之可能原因。黃 (2011) 餵飼肉雞添加 1.6-6.4% MCT 之飼糧，顯著降低盲腸內容物之大腸桿菌及乳酸菌與大腸桿菌總菌落數，而添加 6.4% MCT 亦顯著降低嗉囊內容物乳酸菌與大腸桿菌總菌落數。

餵飼兔隻添加 0.5% C8:0 或 1% MCT (含 99% C8:0 及 C10:0)，可有效降低兔隻糞便及盲腸中大腸桿菌菌落數 (Skrivanova et al. 2008; 2009)。Romero et al. (2012) 在生長兔試驗中提到，每

公斤飼糧添加 5 g MCT (含 33% C6:0 及 22% C8:0) 與 120 mg 可利斯汀，及每公斤添加 150 mg 鋅枯草菌素及 120 mg 可利斯汀處理組，較對照組顯著提高 56 日齡空腸絨毛高度，而同時添加 MCT 與可利斯汀處理組又較同時添加新枯草菌素與可利斯汀處理組有顯著較高之 56 日齡絨毛高度。對此，作者認為，同時添加 MCT 與可利斯汀顯著較其他兩組有較高之腸絨毛高度，除了與可利斯汀顯著抑制革蘭氏陰性菌生長，減少革蘭氏陰性菌如大腸桿菌、沙門氏菌等致病菌對腸上皮細胞造成之損傷外，MCT 亦可能提供腸絨毛額外能量，但此點仍須進一步確認。

(五) 對血液組成之影響

MCT 經水解形成之 MCFA 及單酸甘油酯，與血液中之血清白蛋白質結合，由血液經肝門脈系統直接送至肝臟 (Bach and Babayan, 1982)。因此，灌餵 MCT 可增加血漿中 MCFA 濃度 (Odlé et al. 1989; Lin et al. 1995)。由於 MCFA 運輸之特性，使得固醇類無法藉由與 MCFA 形成微膠粒被腸道上皮吸收，或形成乳糜球經淋巴系統運輸被利用，減少固醇類之吸收 (Bach and Babayan, 1982)，使得 MCT，可能有助於降低血中膽固醇濃度。但事實上，MCT 在降低膽固醇之結果並不一致。Traul et al. (2000) 提到，MCT 添加在人或大鼠食物

可降低血中膽固醇濃度。St-Onge et al. (2008) 食物中添加 MCT 並不影響人類血中總膽固醇濃度。Matulka et al. (2009) 於犬，則僅傾向於提高血中總膽固醇濃度，而此結果可能隨攝取之飽和脂肪酸量增加而提高。

當 MCFA 進行 β -氧化作用，導致之過量乙醯輔酶 A 產生，使肝細胞轉向酮體生成作用，產生酮體 (Bach and Babayan, 1982)。酮體被運至腦或肌肉等部位，可形成乙醯輔酶 A，氧化產生能量 (姜, 2009)，在葡萄糖不足時，可取代葡萄糖做為能量來源。MCT 氧化代謝時，亦會促進葡萄糖新生成作用，增加血中葡萄糖濃度 (Pegorier et al. 1983; Turlan and Girard, 1983; Odle et al., 1989; Tholstrup et al., 2004)。灌餵仔豬 MCT 可改善血中葡萄糖濃度之恆定 (詹, 1998; Lepine et al. 1989; Odle et al., 1989)。

MCFA 進行 β -氧化作用，導致之過量乙醯輔酶 A 產生，除產生酮體外，亦活化肝臟脂肪合成作用 (Cera et al., 1989; Hill et al., 1989; Shinohara et al., 2005)，導致血中三酸甘油酯濃度增加。Cera et al. (1989; 1990) 在離乳豬， Hallebeek and Beyen (2003) 在小馬，Tholstrup et al. (2004) 在人，皆提出，飼糧中添加 MCT 或 MCFA 增加了血中三酸甘油酯濃度。

Cera et al. (1989; 1990) 餵飼離乳豬添加 8% MCFA 或 7.5% MCT

之飼糧，以及 Benevenga et al. (1989) 灌餵初生仔豬 12 mL MCT，可顯著降低血清尿素氮濃度，此結果可能與改善能量及胺基酸利用有關。灌餵 MCT，提供初生仔豬外源性能量，減少其消耗體蛋白質做為能量來源 (Benevenga et al., 1989)。

(六) 對肝臟肝醣之影響

研究顯示，灌餵初生仔豬 MCT，可節省肝臟肝醣消耗 (Benevenga et al., 1989; Lin et al., 1995)，減少肝臟重降低之幅度 (Benevenga et al., 1989; Lin et al. 1995)。產前母豬餵飼含 MCT 或椰子油之飼糧，可提升初生仔豬肝臟肝醣含量 (Jean and Chiang, 1999)。MCT 可迅速被消化吸收，並趨向氧化代謝產生能量，減緩仔豬消耗肝臟肝醣之速度 (Benevenga et al., 1989; Lin et al., 1995)。MCT 在母豬體內可代謝產生酮體，酮體可能透過胎盤到胎兒，節省葡萄糖消耗，增加胎兒肝醣蓄積 (Shambaugh, 1985; Jean and Chiang, 1999)。

Zheng et al. (2006) 則發現，肉雞餵飼 2-8% 特殊建構三酸甘油酯 (含約 28% C10:0) 飼糧，並未提高肝臟重量，可能是由於飼糧中 MCT 含量不夠高所致。

材料及方法

試驗一

一、試驗步驟

(一) 試驗設計

本試驗地點位於雲林商業養豬場之負壓抽風式保育舍。256 頭三品種雜交 (L × Y × D)，初始體重約 5.94 kg，平均 21 日齡之離乳仔豬，依性別及體重，逢機分配至 4 個處理，每處理 4 重複，每重複 16 頭。試驗依飼糧有無以 3% MCT 取代大豆油或添加 40 ppm colistin sulfate (CS)(明治製菓，日本) 之 2 × 2 複因子設計。試驗為期 14 天，飼料及飲水任食。

(二) 試驗飼糧

試驗飼糧參照 NRC (1998) 豬之飼養標準。以玉米-大豆粕為主配成，組成如表 1 所示，成分分析如表 2 所示。飼糧中添加之大豆油(購自商用油脂廠) 及 MCT (承德油脂，新北市) 之脂肪酸組成如表 3 所示。

(三) 試驗動物管理及採樣

試驗期間，每日於 08:00、11:00、14:00 及 17:00 記錄豬隻下痢

表 1. 試驗飼糧組成 (試驗一)

Table 1. Composition of experimental diets (trial 1)

MCT, %	0	0	3	3
Colistin sulfate, ppm	0	40	0	40
			%	
Yellow corn	46.51	46.51	46.51	46.51
Soybean meal, full-fat	15.00	15.00	15.00	15.00
Fermented soybean meal	7.50	7.50	7.50	7.50
Whey	15.00	15.00	15.00	15.00
Fish meal (63% CP)	5.00	5.00	5.00	5.00
Plasma protein	2.50	2.50	2.50	2.50
Milk powder	2.50	2.50	2.50	2.50
Soybean oil	3.00	3.00	-	-
MCT	-	-	3.00	3.00
L-Lysine-HCl	0.16	0.16	0.16	0.16
DL-Methionine	0.13	0.13	0.13	0.13
L-Threonine	0.05	0.05	0.05	0.05
L-Tryptophan	0.02	0.02	0.02	0.02
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10
Limestone	0.60	0.60	0.60	0.60
Monocalcium phosphate	1.25	1.25	1.25	1.25
Vitamin premix ¹	0.10	0.10	0.10	0.10
Mineral premix ²	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline chloride (50%)	0.10	0.10	0.10	0.10
Enzyme additive ³	0.05	0.05	0.05	0.05
Acidifier ⁴	0.30	0.30	0.30	0.30
Sweetener ⁵	0.02	0.02	0.02	0.02
Colistin Sulfate	-	+	-	+

¹Provided the following per kilogram of diet: vitamin A, 24,000 IU; vitamin D₃, 3,200 IU; vitamin E, 100 mg; vitamin K₃, 4 mg; vitamin B₁, 4 mg; vitamin B₂, 10 mg; vitamin B₆, 7 mg; vitamin B₁₂, 0.05 mg; vitamin C, 50 mg; niacin, 60 mg; folic acid, 1.3 mg; biotin, 0.15 mg; calcium pantothenate, 26 mg; BHT, 30 mg.

²Provided the following per kilogram of diet: Cu, 32 mg; I, 1.5 mg; Fe, 150 mg; Co, 0.7 mg; Mn, 60mg; Se, 0.15 mg; Zn, 125 mg.

³Enzyme additive contained amylase; protease; β -glucanase; pectinase; xylanase; β -galactanase.

⁴Acidifier contained fumaric acid; lactic acid; citric acid; propionic acid; formic acid.

⁵Sweetener contained neohesperidine dihydrochalcone and sodium saccharin.

表 2. 試驗飼糧成分分析 (試驗一)

Table 2. Composition of experimental diets (trial 1)

MCT, %	0	0	3	3
Colistin sulfate, ppm	0	40	0	40
Calculated values				
ME, kcal/kg	3,350	3,350	3,334	3,334
crude protein, %	21.6	21.6	21.6	21.6
lysine, %	1.38	1.38	1.38	1.38
crude fat, %	8.2	8.2	8.2	8.2
calcium, %	0.96	0.96	0.96	0.96
available phosphorus, %	0.68	0.68	0.68	0.68
Analyzed values				
crude protein, %	19.43	20.14	20.14	20.08
total fatty acid (TFA), %	7.89	8.00	7.93	7.98
% of TFA				
C6	0.00	0.00	9.91	7.59
C8	0.00	0.00	14.38	13.80
C10	0.00	0.00	7.97	7.66
C16	13.25	13.43	9.91	10.25
C18:0	3.54	3.58	2.27	2.29
C18:1	23.38	23.34	16.51	16.52
C18:2	52.57	52.38	36.79	37.13
C18:3	7.26	7.27	4.46	4.77
MCFA ¹	0.00	0.00	30.07	29.05
LCFA ²	100.00	100.00	69.93	70.95
LCSFA ³	16.79	17.01	12.17	12.53
LCUSFA ⁴	83.21	82.99	57.76	58.42

¹Medium-chain fatty acid.

²Long-chain fatty acid.

³Long-chain saturated fatty acid.

⁴Long-chain unsaturated fatty acid.

表 3. 試驗用油脂肪酸組成 (試驗一)

Table 3. Fatty acid composition of experimental oil (trial 1)

Items	Soybean oil	MCT oil
	%	
C6	0.00	24.90
C8	0.00	47.60
C10	0.00	26.81
C16	10.91	0.00
C18:0	4.10	0.44
C18:1	22.78	0.25
C18:2	54.36	0.00
C18:3	7.84	0.00
Total	99.99	100.00
MCFA ¹	-	99.31
LCFA ²	100.00	0.69
LCSFA ³	15.01	0.69
LCUSFA ⁴	84.99	0.00

¹Medium-chain fatty acid.

²Long-chain fatty acid.

³Long-chain saturated fatty acid.

⁴Long-chain unsaturated fatty acid.

及死亡情況，並計算下痢評分，下痢頭數及存活率。並於第 0，3，7 及 14 日分別記錄豬隻體重及飼料採食量，以計算飼料利用效率。試驗結束時，每重複選取一頭豬，於隔日清晨運送至東海大學實習豬舍，立即於頸靜脈以含抗凝血劑（肝素）之真空採血管採血，採得之血液樣品離心後取得血漿，以 -20°C 冷凍保存，以備分析。採血後豬隻以電擊法犧牲，記錄體重，肝臟重（去膽囊後），並於 -20°C 冷凍保存以備分析。收集胃、小腸、盲腸及大腸內容物，記錄 pH 值後，以碎冰冰鎮，並立即進行大腸桿菌及乳酸菌菌落數測定。

二、樣品分析

（一）飼料分析

1. 粗蛋白質分析

飼料經磨細後，以凱氏氮方法測定粗蛋白質含量（AOAC, 1984）。適量飼料樣品以 Kjeldahl 法，經酸分解後，以凱氏氮蒸餾裝置（Kjeltec system-2100, Foss Tector）蒸餾滴定，測量其總含氮量後，計算粗蛋白質百分比（ $\text{N}\% \times 6.25$ ）。

2. 脂肪酸組成分析

依 Sukhija and Palmquist (1988) 方法，取適量樣品，添加

pentadecanoic acid (C15:0) (Matreya, Inc., USA) 做為內標 (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 (GC-1000, 中國層析科技, 台灣台北) 定量樣品中脂肪酸。樣品注入 GP 14% SP-2330 GC packed 填充管 (長 2 公尺, 100/120 mesh, OD 3.175mm, ID 2.16 mm, Supelco Inc., USA), oven 溫度及注入口溫度分別為 100 及 240°C (附錄 1)。

(二) 腸道內容物 pH 值及微生物菌相測定

將胃、小腸、盲腸及大腸內容物分別混合均勻後，以晶片式攜帶式酸鹼度測定儀 (IQ Scientific Instruments, Inc., USA) 測定 pH 值。

分別取 1 g 胃、小腸、盲腸及大腸內容物，以 phosphate buffer saline (PBS) 進行 10 倍數之連續稀釋，取菌落數介於 20-200 間稀釋倍數之 1 mL 稀釋液，注入有蓋培養皿中，依測定菌種加入不同培養基。乳酸菌使用 MRS agar (Difco, Becton, Dickinson and company, USA)，大腸桿菌使用 chromocult coliform agar (Merck, Darmstadt Germany)；MRS argar 置於恆溫培養箱 (RI-560, 一升科技, 台灣新北市) 中於 37°C 培養 48 小時，Chromocult coliform agar 於 37°C 培養 24 小時 (Jin et al., 1998)。結果以每 g 內容物濕重中所含之

菌落數對數 (log cfu/g) 表示之(附錄 2)。

(三) 血液成分分析

分別以三酸甘油酯分析套件、膽固醇分析套件、葡萄糖分析套件及尿素氮分析套件 (Vitros Chemistry Products, Ortho-Clinical Diagnostics, USA) , 利用乾式血液分析儀 (DT60 II System, Vitros Chemistry System, Ortho-Clinical Diagnostics, USA) 測定血漿中三酸甘油酯、膽固醇、葡萄糖及尿素氮濃度。

(四) 肝臟肝醣含量分析

依 Benevenga et al. (1989) 之方法, 將肝臟均質後, 取約 1 g 肝臟樣品, 加入 20 mL 之 0.15N 過氧酸溶液, 均勻混合後於 800 × g 下離心 20 分鐘, 取上清液加 4 倍水稀釋之。將 0.025 mL 稀釋液, 加入 0.23 mL 含 18 單位 amyloglucosidase 之醋酸緩衝液於 37°C 水浴培養 30 分鐘將肝醣分解為葡萄糖, 再利用葡萄糖分析套件 (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 以光電比色計 (Hitachi, U-2000, Tokyo, Japan) 分別測定肝臟肝醣及商業用純肝醣分解之葡萄糖含量, 藉由商業用純肝醣水解出之葡萄糖含量推算出肝臟肝醣含量 (附錄 3)。

(五) 下痢評分及下痢豬隻記錄

評分標準依糞便之軟硬程度分為：整體外形完整，軟硬適中之糞便，1分；整體外形略為不完整，質地偏軟之糞便，2分；整體外形不完整，質地偏軟兼帶有少量水狀軟便之糞便，輕微下痢，3分；整體不成形，質地濕軟含較多量水狀軟便之糞便，中度下痢，4分；整體不成形，含大量水分之水狀糞便，重度下痢，5分。每日於 08:00、11:00、14:00 及 17:00 評分記錄之，再將四個時段之分數平均作為單日總評分。每日於固定時間清洗保育舍一次，以利觀察。

每日亦於上述四個時段記錄每欄觀測到之下痢豬隻頭數，判斷依據為豬隻股間與後腿外觀殘留稀便者，再將四個時段之頭數平均，藉此算出每時段觀測到之平均下痢豬隻頭數。

三、統計分析

試驗所得數據以最小平均值 (least squares means) 表示之。以統計分析系統 (Statistical Analysis System, 2000) 套裝軟體，依一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行統計分析。統計模式包含 MCT 效應，CS 效應及兩者間之交互作用。如處理效應顯著 ($P < 0.05$)，則以最小平方值法，測定各處理間之差異。

試驗二

一、試驗步驟

(一) 試驗設計

本試驗地點位於雲林商業養豬場之負壓抽風式保育舍。544 頭三品種雜交 (L × Y × D)，初始體重約 6.32 kg，平均 24 日齡之離乳仔豬，依體重，逢機分配至 8 個處理，每處理 4 重複，1、2 重複 16 頭，3、4 重複 18 頭。試驗依飼糧有無以 0，1，2 或 3% MCT 取代大豆油及添加 40 ppm colistin sulfate (CS)(明治製菓，日本) 之 4 × 2 複因子設計。試驗為期 14 天，飼料及飲水任食。

(二) 試驗飼糧

試驗飼糧參照 NRC (1998) 豬之飼養標準，以玉米-大豆粕為主配成。組成如表 4 所示，成分分析如表 5 所示。飼糧中添加之大豆油及 MCT 之脂肪酸組成如表 6 所示。大豆油及 MCT 來源同試驗一。

(三) 試驗動物管理及採樣

試驗期間之動物管理與紀錄如試驗一者。試驗結束時，每重複選取兩頭豬，公母各一，於隔日清晨運送至東海大學實習豬舍，採樣項

表 4. 試驗飼糧組成 (試驗二)

Table 4. Composition of experimental diets (trial 2)

MCT, %	0	1	2	3	0	1	2	3
Colistin sulfate, ppm	0				40			
	%							
Yellow corn	46.51	46.51	46.51	46.51	46.51	46.51	46.51	46.51
Soybean meal, full-fat	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Fermented soybean meal	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
Whey	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Fish meal (63% CP)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Plasma protein	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Milk powder	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Soybean oil	3.00	2.00	1.00	-	3.00	2.00	1.00	-
MCT	-	1.00	2.00	3.00	-	1.00	2.00	3.00
L-Lysine-HCl	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
DL-Methionine	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
L-Threonine	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
L-Tryptophan	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Limestone	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Monocalcium phosphate	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Vitamin premix ¹	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Mineral premix ²	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline chloride (50%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Enzyme additive ³	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Acidifier ⁴	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Sweetener ⁵	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Colistin sulfate	-	-	-	-	+	+	+	+

¹Provided the following per kilogram of diet: vitamin A, 24,000 IU; vitamin D₃, 3,200 IU; vitamin E, 100 mg; vitamin K₃, 4 mg; vitamin B₁, 4 mg; vitamin B₂, 10 mg; vitamin B₆, 7 mg; vitamin B₁₂, 0.05 mg; vitamin C, 50 mg; niacin, 60 mg; folic acid, 1.3 mg; biotin, 0.15 mg; calcium pantothenate, 26 mg; BHT, 30 mg.

²Provided the following per kilogram of diet: Cu, 32 mg; I, 1.5 mg; Fe, 150 mg; Co, 0.7 mg; Mn, 60mg; Se, 0.15 mg; Zn, 125 mg.

³Enzyme additive contained amylase; protease; β -glucanase; pectinase; xylanase; β -galactanase.

⁴Acidifier contained fumaric acid; lactic acid; citric acid; propionic acid; formic acid.

⁵Sweetener contained neohesperidine dihydrochalcone and sodium saccharin.

表 5. 試驗飼糧成分分析 (試驗二)

Table 5. Composition of experimental diets (trial 2)

MCT, %	0	1	2	3	0	1	2	3
Colistin sulfate, ppm		0				40		
Calculated values								
ME, kcal/kg	3,350	3,345	3,339	3,334	3,350	3,345	3,339	3,334
crude protein, %	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6
lysine, %	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
crude fat, %	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
calcium, %	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
available phosphorus, %	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Analyzed values								
crude protein, %	19.82	19.62	20.00	19.84	19.97	19.83	19.88	19.77
total fatty acid (TFA), %	6.62	6.54	6.58	6.53	6.29	6.32	6.59	6.41
% of TFA								
C6	0.00	2.71	5.90	9.06	0.00	3.01	6.34	9.42
C8	0.00	5.89	10.77	15.99	0.00	6.02	12.26	16.50
C10	0.00	3.26	6.00	9.00	0.00	3.35	6.85	9.21
C16	13.80	12.18	11.10	9.66	13.60	12.06	10.53	9.55
C18:0	3.56	3.11	2.59	2.20	3.49	2.90	2.54	2.13
C18:1	22.84	20.27	17.52	15.15	22.85	20.08	17.04	14.77
C18:2	52.23	46.13	40.41	34.36	52.42	46.04	39.15	33.69
C18:3	7.57	6.45	5.71	4.59	7.64	6.54	5.29	4.74
MCFA ¹	0.00	11.87	22.67	34.04	0.00	12.38	25.46	35.13
LCFA ²	100.00	88.13	77.33	65.96	100.00	87.62	74.54	64.87
LCSFA ³	17.36	15.29	13.68	11.87	17.09	14.96	13.07	11.68
LCUSFA ⁴	82.64	72.84	63.65	54.09	82.91	72.66	61.48	53.20

¹Medium-chain fatty acid.

²Long-chain fatty acid.

³Long-chain saturated fatty acid.

⁴Long-chain unsaturated fatty acid.

表 6. 試驗用油脂肪酸組成 (試驗二)

Table 6. Fatty acid composition of experimental oil (trial 2)

Items	Soybean oil	MCT oil
	%	
C6	0.00	24.90
C8	0.00	47.60
C10	0.00	26.81
C16	11.09	0.00
C18:0	3.85	0.44
C18:1	22.61	0.25
C18:2	54.51	0.00
C18:3	7.93	0.00
Total	99.99	100.00
MCFA ¹	-	99.31
LCFA ²	100.00	0.69
LCSFA ³	14.94	0.69
LCUSFA ⁴	85.06	0.00

¹Medium-chain fatty acid.

²Long-chain fatty acid.

³Long-chain saturated fatty acid.

⁴Long-chain unsaturated fatty acid.

目及方式如試驗一者，並加取空腸組織前段 3-5 公分，置入 10% 中性福馬林緩衝溶液 (buffered neutral formalin solution) 中固定。

二、樣品分析

(一) 飼料分析

如試驗一者。

(二) 腸道 pH 值及微生物菌相測定

如試驗一者。

(三) 血液成分分析

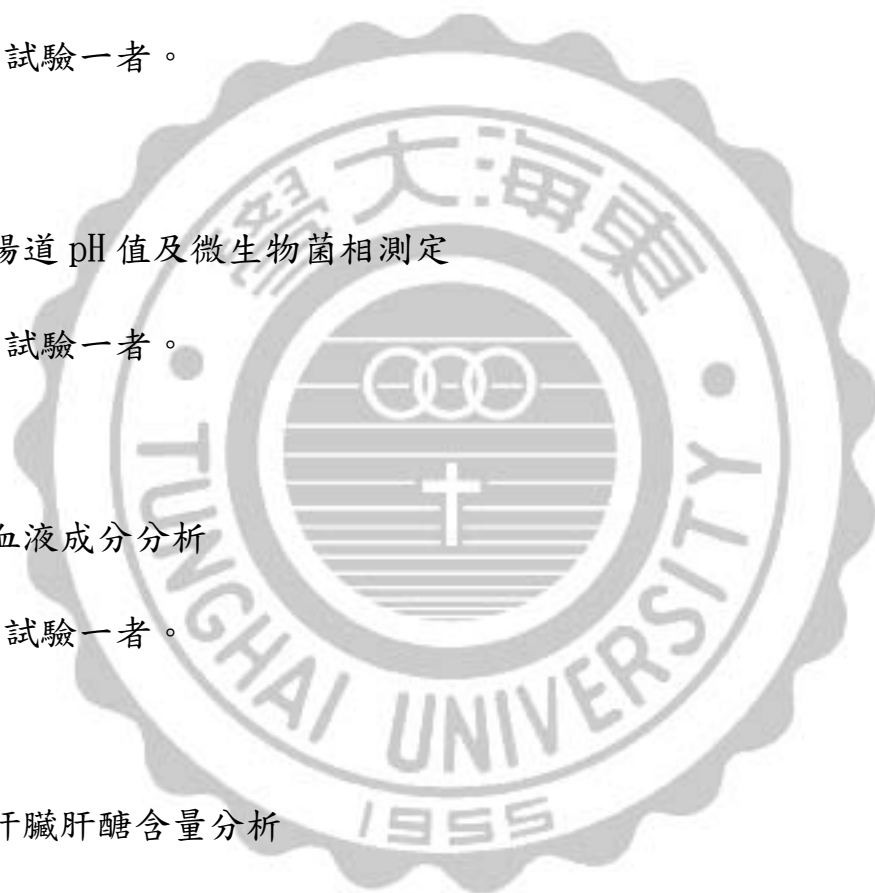
如試驗一者。

(四) 肝臟肝醣含量分析

如試驗一者。

(五) 下痢評分及下痢豬隻記錄

如試驗一者。



(六) 空腸絨毛高度及腺窩深度測定

取空腸組織前端 3-5 公分，以蒸餾水沖掉腸道內容物後，泡入 10% 中性福馬林緩衝溶液中進行固定。經固定後的組織送至國立中興大學獸醫學院動物疾病診斷中心進行石臘包埋、切片及染色。玻片樣本以顯微鏡 (Nikon E-200, 國祥儀器公司, 台北市) 及顯微鏡傳輸器 (Nikon DS-U2, 國祥儀器公司, 台北市) 拍照存檔, 再以 Image-Pro Plus 5.0 (Media Cybernetics, Inc., USA) 軟體觀察, 每一切片選取 20 個點, 測量絨毛高度及腺窩深度 (Garcia et al., 2007)。

三、統計分析

如試驗一者。

結果

試驗一：

一、生長性能

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬生長性能之影響如表 7 所示。

同時添加 MCT 及 CS 處理組，對離乳豬 7 至 14 日每日增重顯著高於單獨添加 MCT 處理組 ($P < 0.05$)；單獨添加 CS 及同時添加 MCT 與 CS 處理組，全期 (day 0-14) 每日增重顯著高於單獨添加 MCT 處理組 ($P < 0.05$)。

單獨添加 MCT，離乳豬於 0 至 3 日每日飼料採食量顯著低於其他處理組 ($P < 0.05$)。7 至 14 日飼料採食量顯著低於單獨添加 CS 及同時添加 MCT 與 CS 處理組，全期 (day 0-14) 飼料採食量亦顯著低於其他處理組 ($P < 0.05$)。

MCT 效應顯示，添加 MCT 顯著降低 0 至 3 日及全期之每日飼料採食量 ($P < 0.05$)。

CS 效應顯示，添加 CS 顯著提高 7 至 14 日及全期每日增重 ($P < 0.05$)，亦顯著提高 7 至 14 日及全期每日飼料採食量 ($P < 0.01$)。

飼糧中添加 MCT 與 CS 與否對離乳仔豬之飼料利用效率並無影

表 7. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬生長性能之影響¹ (試驗一)

Table 7. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the growth performances of weanling pigs¹ (trial 1)

Item	Treatments ²				SEM	MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M+CS		-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Avg. daily gain, g														
d 0 to 3	115.2	88.0	108.9	103.0	15.36	112.0	95.5	10.88	101.6	105.9	11.06	0.314	0.792	0.545
d 3 to 7	103.8	100.0	117.6	105.1	16.86	110.7	102.5	11.94	101.9	111.3	12.14	0.643	0.603	0.820
d 7 to 14	128.1 ^{ab}	114.7 ^a	154.2 ^{ab}	181.8 ^b	16.51	141.1	148.2	11.70	121.4	168.0	11.89	0.680	0.026	0.291
d 0 to 14	118.4 ^{ab}	104.7 ^a	134.0 ^b	143.0 ^b	7.90	126.2	123.9	5.60	111.6	138.5	5.69	0.776	0.011	0.229
Avg. daily feed intake, g														
d 0 to 3	163.1 ^b	138.2 ^a	160.2 ^b	152.4 ^b	5.35	161.6	145.3	3.79	150.7	156.3	3.86	0.016	0.343	0.183
d 3 to 7	219.5	182.8	225.2	206.9	13.51	222.4	194.8	9.57	201.1	216.1	9.73	0.077	0.317	0.553
d 7 to 14	240.9 ^{ab}	207.9 ^a	264.4 ^b	267.0 ^b	11.09	252.6	237.4	7.86	224.4	265.7	8.00	0.210	0.007	0.183
d 0 to 14	218.1 ^b	185.8 ^a	230.9 ^b	225.3 ^b	6.33	224.5	205.5	4.48	201.9	228.1	4.56	0.018	0.004	0.091
Gain/feed														
d 0 to 3	0.689	0.590	0.674	0.660	0.119	0.681	0.625	0.084	0.640	0.667	0.085	0.649	0.828	0.752
d 3 to 7	0.471	0.529	0.527	0.502	0.065	0.499	0.516	0.046	0.500	0.515	0.047	0.802	0.833	0.577
d 7 to 14	0.531	0.540	0.581	0.681	0.051	0.556	0.611	0.036	0.535	0.631	0.036	0.314	0.106	0.436
d 0 to 14	0.541	0.580	0.560	0.635	0.027	0.561	0.597	0.021	0.551	0.607	0.021	0.254	0.103	0.608

¹5.9 kg-7.69 kg (21-35 day of age).

²C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

^{ab} Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

響。

二、存活率及下痢評分

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬存活率及下痢評分之影響如表 8 所示。

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳仔豬存活率、下痢評分及下痢頭數並無影響。

三、腸道內容物 pH 值及菌相

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬腸道 pH 值及菌相之影響如表 9 及表 10 所示。

胃、盲腸及大腸內容物 pH 值於各處理組間無顯著差異，但單獨添加 CS 顯著降低小腸內容物 pH 值，MCT 與 CS 之交互作用顯著 ($P < 0.05$)。

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬對胃、小腸及盲腸內容物之乳酸菌 (L) 菌落數、大腸桿菌 (E) 菌落數、乳酸菌與大腸桿菌總菌數 (L+E) 及其比值 (L/E) 均無影響。

單獨添加 CS 及同時添加 MCT 與 CS 處理組，較對照組顯著降低離乳豬大腸內容物 L 菌落數、E 菌落數及 L+E，並提高 L/E ($P < 0.05$)。

表 8. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬存活率及下痢評分之影響¹ (試驗一)

Table 8. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the diarrhea score of weanling pigs¹ (trial 1)

Item	Treatments ²				SEM	MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M+CS		-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Survival rate	0.970	0.985	1.000	0.985	0.020	0.985	0.985	0.014	0.978	0.993	0.014	1.000	0.472	0.472
Diarrhea score ³														
d 0 to 3	3.70	3.07	3.79	3.52	0.31	3.74	3.29	0.23	3.38	3.65	0.23	0.211	0.435	0.608
d 3 to 7	4.10	4.06	4.20	4.03	0.22	4.15	4.04	0.16	4.08	4.11	0.16	0.645	0.869	0.775
d 7 to 14	4.19	4.06	3.79	3.62	0.24	3.99	3.84	0.17	4.12	3.71	0.17	0.533	0.113	0.947
d 0 to 14	4.06	3.87	3.92	3.71	0.18	3.99	3.79	0.13	3.96	3.81	0.13	0.287	0.435	0.963
Average diarrhea number ⁴ , pig/d														
d 0 to 3	0.33	0.25	0.33	0.40	0.09	0.33	0.32	0.06	0.29	0.36	0.06	0.923	0.438	0.438
d 3 to 7	1.20	1.36	1.26	1.28	0.22	1.23	1.32	0.16	1.28	1.27	0.16	0.693	0.965	0.767
d 7 to 14	1.37	0.95	1.05	0.92	0.23	1.21	0.94	0.16	1.16	0.99	0.16	0.255	0.458	0.536
d 0 to 14	1.10	0.91	0.93	0.92	0.15	1.01	0.91	0.11	1.00	0.92	0.11	0.507	0.600	0.558

¹5.9 kg-7.69 kg (21-35 day of age).

² C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

³Diarrhea score: 1, normal feces; 2, moist feces; 3, mild diarrhea; 4, severe diarrhea; 5, watery diarrhea.

⁴Number of pig per pen per day had diarrhea (16 pigs/pen).

表 9. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道內容物 pH 值之影響 (試驗一)

Table 9. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the pH of digestive tract contents of weanling pigs (trial 1)

Item	Treatments ¹				MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value			
	C	M	CS	M + CS	SEM	-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Stomach	3.29	4.70	4.60	4.16	0.39	3.94	4.43	0.29	3.99	4.38	0.29	0.271	0.380	0.057
Small intestine	7.41 ^b	7.12 ^b	6.89 ^a	7.22 ^b	0.10	7.15	7.17	0.08	7.27	7.05	0.08	0.864	0.087	0.025
Cecum	6.89	6.62	6.63	6.71	0.14	6.76	6.67	0.10	6.76	6.67	0.10	0.542	0.564	0.268
Large intestine	7.01	6.79	7.00	6.99	0.14	7.01	6.89	0.10	6.90	7.00	0.10	0.442	0.522	0.502

¹ C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

^{ab} Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

表 10. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道菌相之影響 (試驗一)

Table 10. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the microbial counts in digestive tract contents of weanling pigs (log₁₀ CFU/g fresh content) (trial 1)

Item	Treatments ¹					MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M + CS	SEM	-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Stomach														
<i>Lactobacillus</i>	5.52	6.53	6.56	5.76	0.43	6.04	6.14	0.30	6.02	6.16	0.30	0.815	0.754	0.062
<i>E. coli</i>	3.57	5.14	4.80	3.53	0.61	4.19	4.34	0.48	4.36	4.17	0.50	0.830	0.798	0.069
L+E	9.09	11.67	11.45	8.75	0.83	10.27	10.21	0.65	10.38	10.10	0.67	0.946	0.776	0.021
L/E	1.17	1.30	1.38	1.55	0.24	1.53	1.42	0.186	1.49	1.46	0.189	0.692	0.936	0.326
Small intestine														
<i>Lactobacillus</i>	7.79	7.22	7.61	7.10	0.37	7.70	7.16	0.26	7.51	7.35	0.26	0.175	0.681	0.939
<i>E. coli</i>	6.35	6.35	6.75	6.84	0.45	6.97	6.53	0.32	6.77	6.79	0.32	0.428	0.962	0.323
L+E	14.99	13.57	14.35	13.94	0.81	14.67	13.75	0.57	14.28	14.14	0.57	0.285	0.870	0.547
L/E	1.10	1.14	1.13	1.04	0.032	1.11	1.09	0.023	1.12	1.08	0.023	0.457	0.273	0.065
Cecum														
<i>Lactobacillus</i>	8.17	8.00	8.19	7.87	0.21	8.18	7.94	0.15	8.09	8.03	0.15	0.283	0.789	0.746
<i>E. coli</i>	7.96	7.01	6.93	6.34	0.57	7.45	6.68	0.40	7.49	6.64	0.40	0.211	0.172	0.759
L+E	16.13	15.02	15.12	14.21	0.74	15.63	14.61	0.52	15.57	14.67	0.52	0.202	0.249	0.891
L/E	1.04	1.15	1.19	1.27	0.072	1.11	1.21	0.051	1.10	1.23	0.051	0.215	0.108	0.827
Large intestine														
<i>Lactobacillus</i>	9.00 ^c	8.70 ^{bc}	8.50 ^{ab}	8.06 ^a	0.15	8.75	8.38	0.11	8.85	8.28	0.11	0.041	0.005	0.659
<i>E. coli</i>	8.41 ^c	7.44 ^{bc}	6.81 ^{ab}	5.89 ^a	0.43	7.61	6.66	0.30	7.93	6.35	0.30	0.055	0.005	0.957
L+E	17.40 ^c	16.14 ^{bc}	15.31 ^{ab}	13.95 ^a	0.55	16.35	15.04	0.39	16.77	14.63	0.39	0.042	0.004	0.934
L/E	1.09 ^a	1.18 ^{ab}	1.25 ^{bc}	1.37 ^c	0.051	1.17	1.27	0.036	1.13	1.31	0.036	0.070	0.007	0.812

¹C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

^{abc}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

MCT 效應顯示，添加 MCT 顯著降低離乳豬大腸內容物 L 菌落數及 L+E (P<0.05)。

CS 效應顯示，添加 CS 顯著降低離乳豬大腸內容物 L、E 菌落數及 L+E，並提高 L/E (P<0.01)。

飼糧中添加 MCT 與 CS 於胃內容物之 L+E 交互作用顯著 (P<0.05)。

四、血漿組成

飼糧添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬血漿組成之影響如表 11 所示。

飼糧中有無添加 MCT 或 CS 對離乳豬血漿中膽固醇、葡萄糖及尿素氮濃度皆無顯著差異。血漿中之三酸甘油酯濃度低於最低測定極限，故無法測得。

五、肝臟重量及肝糖含量

飼糧有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬肝臟肝糖含量之影響如表 12 所示。

飼糧中有無添加 MCT 或 CS 對肝臟重量、肝臟/體重比率、每克肝臟肝糖含量及肝臟總肝糖含量皆無顯著差異。飼糧中添加 MCT 及 CS 於肝臟重量交互作用顯著 (P=0.05)。

表 11. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬血漿組成之影響 (試驗一)

Table 11. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the blood plasma composition of weanling pigs (trial 1)

Item ²	Treatments ¹				SEM	MCT Effect (M)			SEM	CS Effect (CS)		SEM	P-value		
	C	M	CS	M + CS		-	+	-		+	M		CS	M × CS	
CHOL, mg/dL	70.00	65.44	67.75	74.25	8.13	68.88	69.85	6.05	67.72	71.00	6.05	0.913	0.712	0.537	
GLU, mg/dL	95.00	105.00	107.75	126.25	10.99	101.38	115.63	7.77	100.00	117.00	7.77	0.227	0.156	0.708	
BUN, mg/dL	9.25	8.00	7.75	7.00	0.89	8.50	7.50	0.63	8.63	7.38	0.63	0.290	0.194	0.785	

¹ C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

²TG: triglyceride, CHOL: cholesterol, GLU: glucose, BUN: blood urea nitrogen (TG below the detection limit).

表 12. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬肝臟重量及肝糖含量之影響 (試驗一)

Table 12. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on liver weight and glycogen content of weanling pigs (trial 1)

Item	Treatments ¹					MCT Effect (M)			CSEffect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M+CS	SEM	-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Liver weight, g	249	234	230	264	10.93	239	249	7.7	241	246	7.7	0.396	0.612	0.050
Liver weight/ body weight, %	3.03	2.99	2.80	2.91	0.097	2.91	2.94	0.069	3.01	2.85	0.069	0.727	0.145	0.418
Liver glycogen content, mg/g	33.08	36.73	40.03	33.68	2.95	36.6	35.2	2.08	34.9	36.9	2.08	0.652	0.517	0.107
Total liver glycogen, g	8.23	9.07	9.01	9.14	1.28	8.62	9.11	0.91	8.65	9.08	0.91	0.719	0.752	0.790

¹ C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

試驗二：

一、生長性能

飼料有無添加不同濃度 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬生長性能之影響如表 13 所示。

MCT 效應顯示，添加 MCT 具改善 3 至 7 天之每日增重及飼料利用效率之趨勢 ($P < 0.10$)。

CS 效應顯示，添加 CS 未顯著影響離乳豬之每日增重、飼料採食量及飼料利用效率。

二、存活率及下痢評分

飼料有無添加不同濃度 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬存活率及下痢評分之影響如表 14 所示。

同時添加 1% MCT 與 CS，顯著降低 4 至 7 日間下痢評分 ($P < 0.05$)。
單獨添加 1% MCT 亦顯著降低 0 至 13 日間下痢評分 ($P < 0.05$)。

單獨添加 3% MCT 及同時添加 3% MCT 與 CS，與對照組及單獨添加 2% MCT 處理組相較顯著降低 0 至 3 日間下痢豬隻頭數 ($P < 0.05$)。

MCT 效應顯示，添加 MCT 具降低 0 至 3 日下痢豬隻頭數之趨勢 ($P < 0.10$)。

表 13. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬生長性能之影響¹(試驗二)

Table 13. Effect of dietary supplementation of antibiotic and medium-chain triglycerides on the growth performances of weanling pigs¹ (trial 2)

MCT, %	0				1				2				3				MCT Effect (M)					CS Effect (CS)			P-value		
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	SEM	0	+	SEM	M	CS	M × CS				
CS ²	-								+								SEM										
Avg. daily gain, g																											
0 to 3 d	67.8	88.8	117.1	102.8	104.8	144.7	114.8	126.7	23.08	86.3	116.8	116.0	114.8	16.73	94.1	122.7	12.06	0.497	0.123	0.647							
3 to 7 d	130.0 ^{ab}	126.6 ^{ab}	149.3 ^{ab}	161.1 ^b	102.2 ^a	170.2 ^b	142.1 ^{ab}	157.6 ^b	16.44	116.1 ^a	148.4 ^{ab}	145.7 ^{ab}	159.4 ^b	11.91	141.8	143.0	8.59	0.092	0.923	0.205							
7 to 14 d	185.3	198.4	160.5	175.1	162.6	210.0	164.7	185.9	19.90	173.9	204.2	162.6	180.5	14.42	179.8	180.8	10.40	0.244	0.949	0.805							
0 to 14 d	144.3	154.4	148.0	155.6	132.9	184.6	147.5	165.1	15.83	138.6	169.5	147.8	160.4	11.47	150.6	157.6	8.28	0.251	0.573	0.609							
Avg. daily feed intake, g																											
0 to 3 d	163.4	167.9	189.2	175.5	181.4	189.3	187.0	180.3	12.97	172.4	178.6	188.1	177.9	9.40	174.0	184.5	6.78	0.682	0.306	0.780							
3 to 7 d	199.2	200.3	215.8	216.2	193.1	229.9	220.9	221.1	13.35	196.1	215.1	218.3	218.6	9.67	207.9	216.2	6.98	0.309	0.425	0.600							
7 to 14 d	304.5	304.2	308.6	303.4	277.0	327.8	291.0	315.3	20.54	290.7	316.0	299.8	309.3	14.89	302.8	305.2	10.74	0.636	0.881	0.571							
0 to 14 d	244.2	245.3	256.5	251.0	232.5	270.2	248.7	259.4	15.45	238.3	257.7	252.6	255.2	11.19	249.3	252.7	8.07	0.603	0.775	0.633							
Gain/feed																											
0 to 3 d	0.424	0.483	0.618	0.603	0.581	0.739	0.593	0.711	0.108	0.502	0.611	0.605	0.657	0.078	0.532	0.656	0.056	0.561	0.153	0.634							
3 to 7 d	0.638 ^{ab}	0.611 ^{ab}	0.689 ^b	0.736 ^b	0.513 ^a	0.740 ^b	0.632 ^{ab}	0.707 ^b	0.051	0.576 ^a	0.676 ^{ab}	0.660 ^{ab}	0.722 ^b	0.037	0.669	0.648	0.026	0.065	0.603	0.113							
7 to 14 d	0.602	0.638	0.518	0.568	0.578	0.646	0.559	0.584	0.043	0.590	0.642	0.539	0.576	0.031	0.582	0.592	0.022	0.162	0.759	0.902							
0 to 14 d	0.586	0.611	0.577	0.616	0.564	0.684	0.583	0.632	0.036	0.575	0.648	0.580	0.624	0.026	0.598	0.616	0.018	0.152	0.508	0.602							

¹6.32 kg-8.47 kg (24-38 day of age).

²CS: 0 or 40 ppm colistin sulfate.

^{ab}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

表 14. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬存活率及下痢評分之影響 (試驗二)

Table 14. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the diarrhea score of weanling pigs (trial 2)

MCT, %	0				1				2				3				MCT Effect (M)					CS Effect (CS)			P-value			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	SEM	0	+	SEM	M	CS	M × CS					
CS ¹	-								+								SEM	0	1	2	3	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Survival rate	0.97	0.95	1.00	1.00	0.97	1.00	0.99	1.00	0.019	0.97	0.98	0.99	1.00	0.013	0.98	0.99	0.009	0.379	0.551	0.401								
Diarrhea score ²																												
0 to 3 d	3.41	3.16	3.01	3.07	2.81	2.73	3.18	2.83	0.24	3.11	2.94	3.10	2.95	0.17	3.16	2.89	0.12	0.839	0.122	0.437								
4 to 7 d	3.60 ^b	3.50 ^{ab}	3.44 ^{ab}	3.19 ^{ab}	3.22 ^{ab}	2.62 ^a	3.03 ^{ab}	2.96 ^{ab}	0.32	3.41	3.06	3.23	3.08	0.22	3.43	2.95	0.16	0.661	0.046	0.764								
8 to 13 d	3.21	3.59	3.23	3.60	3.39	2.68	3.59	3.14	0.29	3.30	3.13	3.41	3.37	0.20	3.41	3.20	0.14	0.788	0.317	0.134								
0 to 13 d	3.37 ^b	3.46 ^b	3.25 ^{ab}	3.33 ^{ab}	3.20 ^{ab}	2.66 ^a	3.31 ^{ab}	3.01 ^{ab}	0.23	3.29	3.06	3.28	3.17	0.16	3.35	3.05	0.12	0.735	0.078	0.326								
Average diarrhea number ³ , pig/d																												
0 to 3 d	0.95 ^b	0.69 ^{ab}	0.95 ^b	0.41 ^a	0.70 ^{ab}	0.53 ^{ab}	0.61 ^{ab}	0.42 ^a	0.17	0.82 ^b	0.61 ^{ab}	0.78 ^b	0.41 ^a	0.12	0.75	0.56	0.09	0.099	0.139	0.760								
4 to 7 d	0.99	1.05	0.91	0.88	1.15	0.50	0.59	0.58	0.25	1.07	0.77	0.75	0.73	0.18	0.96	0.70	0.13	0.512	0.172	0.576								
8 to 13 d	0.98	1.05	0.93	1.48	1.12	0.46	1.27	1.09	0.29	1.05	0.75	1.10	1.29	0.21	1.11	0.99	0.15	0.348	0.553	0.352								
0 to 13 d	0.96	0.97	0.93	1.05	1.03	0.49	0.91	0.78	0.20	1.00	0.73	0.92	0.91	0.14	0.98	0.80	0.10	0.604	0.227	0.525								

¹CS: 0 or 40 ppm colistin sulfate.

²Diarrhea score: 1, normal feces; 2, moist feces; 3, mild diarrhea; 4, severe diarrhea; 5, watery diarrhea.

³Number of pig per pen per day had diarrhea (16-18 pigs/pen).

^{ab}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

CS 效應顯示，添加 CS 顯著降低 4 至 7 日下痢評分 ($P < 0.05$)，並具降低全期下痢評分之趨勢 ($P < 0.10$)。

三、腸道內容物 pH 值及菌相

餵飼有無添加不同濃度 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬腸道內容物 pH 值及菌相之影響如表 15 及表 16 所示。

同時添加 1% MCT 與 CS 處理組胃內容物 pH 值，顯著高於對照組、單獨添加 CS 以及單獨添加 1% MCT 處理組 ($P < 0.05$)。單獨添加 1% MCT 與對照組及單獨添加 CS 處理組無差異，但顯著低於其他處理組 ($P < 0.05$)。

添加不同濃度 MCT 或 CS 不影響離乳豬小腸、盲腸及大腸內容物 pH 值。

單獨添加 1% MCT 處理組小腸內容物 L 菌落數，顯著高於單獨添加 CS、單獨添加 2% MCT 及同時添加 3% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。單獨添加 CS 則顯著低於單獨添加 1% MCT 及單獨添加 3% MCT 處理組 ($P < 0.05$)。單獨添加 1% MCT 處理組小腸內容物之 L+E，亦顯著高於單獨添加 CS、單獨添加 2% MCT、同時添加 2 或 3% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。

同時添加 2 或 3% MCT 與 CS 處理組盲腸內容物 E 菌落數，顯著低

表 15. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道內容物 pH 值之影響 (試驗二)

Table 15. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the pH of digestive tract contents of weanling pigs (trial 2)

MCT, %	0				1				2				3				MCT Effect (M)				CSEffect (CS)			P-value		
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	SEM	-	+	SEM	M	CS	M×CS			
CS ¹	-				+				SEM				0	1	2	3	SEM	-	+	SEM	M	CS	M×CS			
Stomach	3.78 ^{ab}	3.25 ^a	4.57 ^{bc}	4.05 ^{bc}	3.97 ^{ab}	5.10 ^c	4.63 ^{bc}	4.75 ^{bc}	0.41	3.88	4.18	4.60	4.40	0.29	3.91	4.61	0.21	0.344	0.020	0.131						
Small intestine	6.74	6.75	6.66	6.73	6.76	6.82	6.69	6.88	0.08	6.75	6.78	6.67	6.80	0.06	6.72	6.79	0.04	0.426	0.235	0.850						
Cecum	5.88	6.00	5.90	5.77	6.15	5.84	6.00	5.94	0.10	6.01	5.92	5.95	5.85	0.07	5.89	5.98	0.05	0.513	0.203	0.191						
Large intestine	6.15	6.09	5.98	5.88	6.14	6.05	5.98	6.12	0.09	6.14	6.07	5.98	6.00	0.06	6.02	6.07	0.05	0.261	0.451	0.421						

¹CS: 0 or 40 ppm colistin sulfate.

^{abc}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

表 16. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯和可利斯汀對離乳豬腸道菌相之影響 (試驗二)

Table 16. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the microbial counts in digestive tract contents of weanling pigs (\log_{10} CFU/g fresh content) (trial 2)

MCT, %	0				1				2				3				MCT Effect (M)					CS Effect (CS)			P-value		
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	SEM	0	+	SEM	M	CS	M × CS				
CS ¹	-				+				SEM																		
Stomach																											
<i>Lactobacillus</i>	5.99	5.58	5.49	6.05	5.47	6.52	5.92	5.41	0.35	5.73	6.05	5.70	5.73	0.25	5.78	5.83	0.17	0.722	0.827	0.098							
<i>E. coli</i>	4.34	4.63	4.38	4.62	4.79	5.14	4.39	4.33	0.37	4.56	4.88	4.39	4.47	0.23	4.49	4.66	0.21	0.631	0.588	0.743							
L+E	10.33	10.21	9.87	10.65	10.63	11.66	10.61	10.04	0.57	10.48	10.93	10.24	10.35	0.46	10.26	10.73	0.33	0.693	0.337	0.449							
L/E	1.48	1.46	1.33	1.38	1.24	1.41	1.59	1.34	0.16	1.36	1.43	1.46	1.36	0.13	1.41	1.39	0.09	0.924	0.884	0.636							
Small intestine																											
<i>Lactobacillus</i>	7.72 ^{abc}	8.18 ^c	7.17 ^{ab}	7.89 ^{bc}	6.82 ^a	7.53 ^{abc}	7.48 ^{abc}	6.96 ^{ab}	0.34	7.27	7.85	7.32	7.43	0.24	7.74	7.20	0.17	0.318	0.033	0.245							
<i>E. coli</i>	7.22	8.26	6.42	7.07	6.58	7.03	6.76	6.51	0.45	6.90	7.64	6.59	6.79	0.32	7.24	6.72	0.22	0.130	0.116	0.394							
L+E	14.94 ^{ab}	16.43 ^b	13.59 ^a	14.96 ^{ab}	13.41 ^a	14.57 ^{ab}	14.24 ^a	13.47 ^a	0.73	14.17	15.50	13.91	14.21	0.52	14.98	13.92	0.37	0.164	0.055	0.323							
L/E	1.08	1.00	1.14	1.15	1.04	1.08	1.12	1.08	0.05	1.06	1.04	1.13	1.11	0.04	1.09	1.08	0.03	0.266	0.732	0.521							
Cecum																											
<i>Lactobacillus</i>	8.43	8.20	8.40	8.45	7.67	7.60	8.48	7.29	0.45	8.05	7.90	8.44	7.87	0.32	8.37	7.76	0.23	0.569	0.069	0.578							
<i>E. coli</i>	7.32 ^{ab}	7.62 ^b	6.57 ^{ab}	6.90 ^{ab}	6.27 ^{ab}	6.93 ^{ab}	6.03 ^a	5.87 ^a	0.55	6.79	7.27	6.30	6.38	0.40	7.10	6.27	0.28	0.306	0.050	0.958							
L+E	15.75	15.81	14.97	15.35	13.94	14.52	14.51	13.72	0.84	14.84	15.17	14.74	14.53	0.61	15.47	14.17	0.43	0.906	0.046	0.862							
L/E	1.17 ^{ab}	1.08 ^a	1.34 ^{ab}	1.27 ^{ab}	1.27 ^{ab}	1.10 ^{ab}	1.46 ^b	1.42 ^{ab}	0.11	1.22 ^{ab}	1.09 ^a	1.40 ^b	1.35 ^b	0.08	1.21	1.31	0.06	0.058	0.248	0.944							
Large intestine																											
<i>Lactobacillus</i>	9.07 ^{ab}	8.80 ^{ab}	9.31 ^b	9.13 ^{ab}	8.43 ^{ab}	8.31 ^{ab}	8.73 ^{ab}	7.91 ^a	0.47	8.75	8.55	9.02	8.52	0.33	9.08	8.34	0.23	0.698	0.037	0.861							
<i>E. coli</i>	7.64 ^{bc}	8.04 ^c	7.75 ^{bc}	7.34 ^{bc}	6.59 ^{abc}	7.19 ^{bc}	6.28 ^{ab}	5.59 ^a	0.52	7.12	7.62	7.01	6.46	0.36	7.69	6.41	0.26	0.202	0.002	0.813							
L+E	16.71 ^b	16.84 ^b	17.06 ^b	16.47 ^b	15.03 ^{ab}	15.50 ^{ab}	15.00 ^{ab}	13.50 ^a	0.90	15.87	16.17	16.03	14.99	0.64	16.77	14.76	0.45	0.566	0.005	0.822							
L/E	1.21 ^{ab}	1.12 ^a	1.24 ^{abc}	1.26 ^{abc}	1.29 ^{abc}	1.17 ^a	1.41 ^{bc}	1.46 ^c	0.08	1.25 ^{ab}	1.14 ^a	1.33 ^b	1.36 ^b	0.06	1.21	1.33	0.04	0.054	0.037	0.759							

¹CS: 0 or 40 ppm colistin sulfate.

^{abc} Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

於單獨添加 1% MCT 處理組 ($P < 0.05$)。而單獨添加 1% MCT 處理組 L/E 則顯著低於同時添加 2% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。

同時添加 3% MCT 與 CS 處理組大腸內容物 L 菌落數，顯著低於單獨添加 2% MCT 處理組 ($P < 0.05$)。同時添加 3% MCT 與 CS 處理組較對照組、單獨添加 1% MCT、單獨添加 2% MCT、單獨添加 3% MCT 及同時添加 1% MCT 與 CS 處理組具顯著較低的 E 菌落數 ($P < 0.05$)。單獨添加 1% MCT 則顯著高於同時添加 2 或 3% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。同時添加 3% MCT 與 CS 處理組 L+E 顯著低於對照組、單獨添加 1% MCT、單獨添加 2% MCT、單獨添加 3% MCT 處理組 ($P < 0.05$)。同時添加 3% MCT 與 CS 處理組，在 L/E，顯著高於對照組、單獨添加 1% MCT 及同時添加 1% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。同時添加 2% MCT 與 CS 處理組則是高於單獨添加 1% MCT 及同時添加 1% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。

MCT 效應顯示，添加 MCT 具降低盲腸及大腸內容物 L/E 之趨勢 ($P < 0.10$)。

CS 效應顯示，添加 CS 提高離乳豬胃內容物 pH 值及大腸內容物 L/E ($P < 0.05$)，並降低了小腸內容物 L 菌落數、盲腸內容物 E 菌落數及 L+E，以及大腸內容物 L 菌落數、E 菌落數及 L+E ($P < 0.05$)。

四、血漿組成

餵飼有無添加不同濃度 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬血漿組成之影響

如表 17 所示。

飼糧中添不同濃度 MCT 加或 CS 不影響血漿三酸甘油酯、膽固醇及尿素氮含量。

單獨添加 2% MCT 處理組，在離乳豬血漿葡萄糖含量，顯著高於同時添加 3% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。

CS 效應顯示，飼糧中添加 CS 具降低血漿葡萄糖含量之趨勢 ($P < 0.10$)。

五、肝臟重量及肝醣含量

飼養有無添加不同濃度 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬肝臟重量及肝醣含量之影響如表 18 所示。

單獨添加 2% MCT 處理組每克肝臟肝醣含量，顯著高於對照組，同時添加 1, 2 或 3% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。同時添加 1% MCT 與 CS 則顯著低於對照組、單獨添加 CS、單獨添加 1, 2 或 3% MCT 處理組 ($P < 0.05$)。

單獨添加 2% MCT 處理組總肝臟肝醣含量，顯著高於對照組，同時添加 1, 2 或 3% MCT 與 CS 處理組 ($P < 0.05$)。同時添加 1% MCT 與 CS 則顯著低於對照組，單獨添加 1, 2 或 3% MCT 處理組 ($P < 0.05$)。

MCT 效應顯示，添加 MCT 具降低每克肝臟肝醣含量之趨勢

表 17. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬血漿組成之影響 (試驗二)

Table 17. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the plasma composition of weaning pigs (trial 2)

MCT, %	0				1				2				3				MCT Effect (M)				CS Effect (CS)			P-value		
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	SEM	-	+	M	CS	M × CS				
CS ¹	-				+				SEM																	
TG ² , mg/dL	31.01	28.90	30.47	34.25	26.02	29.70	35.45	27.63	SEM	28.51	29.30	32.96	30.94	3.28	31.16	29.70	2.32	0.804	0.659	0.584						
CHOL ³ , mg/dL	72.63	69.92	66.02	66.38	66.38	66.25	66.88	66.50	4.33	69.50	68.08	67.95	66.44	3.31	68.73	67.25	2.34	0.918	0.657	0.708						
GLU ⁴ , mg/dL	113.63 ^{ab}	110.50 ^{ab}	120.25 ^b	116.13 ^{ab}	109.25 ^{ab}	103.50 ^{ab}	111.25 ^{ab}	98.25 ^a	7.35	111.44	107.00	115.75	107.19	5.20	115.13	105.56	3.68	0.595	0.071	0.813						
BUN ⁵ , mg/dL	7.38	6.75	8.13	6.75	7.00	7.38	7.50	6.88	0.67	7.19	7.06	7.81	6.81	0.48	7.25	7.19	0.34	0.501	0.896	0.798						

¹CS: 0 or 40 ppm colistin sulfate.

²TG: triglyceride.

³CHOL: cholesterol.

⁴GLU: glucose.

⁵BUN: blood urea nitrogen.

^{abc}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

表 18. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬肝臟重量及肝醣之影響 (試驗二)

Table 18. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on liver weight and glycogen content of weanling pigs (trial 2)

MCT, %	0				1				2				3				MCT Effect (M)				CS Effect (CS)			P-value		
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS			
CS ¹	-				+				SEM				0	1	2	3	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS			
Liver weight, g	250	272	275	280	262	262	257	247	17.6	256	267	266	263	12.44	269	257	8.8	0.922	0.339	0.646						
Liver weight/ body weight, %	2.89	3.00	3.04	3.17	2.95	2.82	3.14	2.97	0.149	2.92	2.91	3.09	3.07	0.150	3.02	2.97	0.074	0.495	0.604	0.660						
Liver glycogen content, mg/g	27.20 ^b	29.18 ^{bc}	33.90 ^c	28.52 ^{bc}	28.97 ^{bc}	17.19 ^a	23.90 ^{ab}	24.25 ^{ab}	2.03	28.09 ^b	23.18 ^a	28.90 ^b	26.38 ^{ab}	1.57	29.70	23.58	1.11	0.065	0.0004	0.014						
Total liver glycogen, g	6.51 ^{ab}	7.57 ^{bc}	10.22 ^c	8.15 ^{bc}	7.64 ^{bc}	4.33 ^a	6.06 ^{ab}	5.59 ^{ab}	1.00	7.07	5.95	8.14	6.87	0.77	8.11	5.91	0.55	0.290	0.012	0.117						

¹CS: 0 or 40 ppm colistin sulfate.

^{abc}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

($P < 0.10$)，其中添加 1% MCT 處理組較對照組及 2% MCT 處理組，具較低的每克肝臟肝醣含量 ($P < 0.05$)。

CS 效應顯示，添加 CS 顯著降低每克肝臟肝醣含量 ($P < 0.01$) 及總肝臟肝醣含量 ($P < 0.05$)。

MCT 與 CS 在每克肝臟肝醣含量方面具交互作用 ($P < 0.05$)。

六、空腸絨毛高度及腺窩深度

飼餉有無添加不同濃度 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬之空腸絨毛高度及腺窩深度影響如表 19 所示。

飼糧中添加不同濃度 MCT 或 CS 並不影響離乳豬空腸絨毛高度、腺窩深度以及絨毛高度與腺窩深度比值。

表 19. 飼糧添加不同濃度中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬空腸絨毛高度及腺窩深度之影響 (試驗二)

Table 19. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on jejunum morphology of weanling pigs (trial 2)

MCT, %	0				1				2				3				MCT Effect (M)					CS Effect (CS)			P-value		
	SEM	0	1	2	SEM	0	1	2	SEM	0	1	2	SEM	0	1	2	SEM	0	1	2	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
CS ¹			-				+																				
Villus height, μm	299	300	287	309	302	286	298	276	9.90	300	293	292	292	7.00	298	290	4.95	0.805	0.259	0.154							
Crypt depth, μm	354	357	349	381	361	350	352	350	11.79	357	354	350	366	8.33	360	353	5.89	0.606	0.415	0.379							
V/C ratio ²	0.843	0.840	0.820	0.808	0.845	0.815	0.848	0.793	0.033	0.844	0.828	0.834	0.800	0.023	0.828	0.825	0.016	0.586	0.915	0.861							

¹CS: 0 or 40 ppm colistin sulfate.

²V: Villus height; C: Crypt depth.

試驗一與二合併：

因兩試驗飼養期間，豬隻生長速率不一，個體差異大，導致數據變異大，使統計不易達顯著差異，且大部分測定項目在試驗一及二間交互作用並不顯著。因此，將兩試驗中對照組，單獨添加 3%MCT，單獨添加 40 ppm CS，同時添加 3%MCT 與 40 ppm CS 之四處理合併，每處理重複數由 4 增加至 8，以提高統計力度。

一、生長性能

飼餵有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬生長性能之影響如表 20 所示。

飼糧中同時添加 MCT 與 CS，較對照組顯著提高離乳豬全期之飼料利用效率 ($P < 0.05$)。

MCT 效應顯示，添加 MCT 顯著改善 3 至 7 日及全期飼料利用效率 ($P < 0.05$)。

飼糧添加 MCT 及 CS 與否對離乳仔豬之每日增重及每日飼料採食量並無顯著影響。

二、存活率及下痢評分

飼餵有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬存活率及下痢評分之影響

表 20. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬生長性能之影響¹ (試驗一與二合併)

Table 20. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the growth performances of weanling pigs¹ (trial 1 and 2 combined)

Item	Treatments ²				SEM	MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M + CS		-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Avg. daily gain, g														
d 0 to 3	89.7	96.2	106.8	113.3	13.11	98.2	104.7	9.31	93.0	110.0	9.28	0.628	0.208	1.000
d 3 to 7	113.3	128.9	108.7	135.0	12.58	111.0	132.0	8.94	121.1	121.8	8.91	0.112	0.952	0.675
d 7 to 14	153.7	147.2	158.2	177.0	13.37	155.9	162.1	9.50	150.4	167.6	9.47	0.652	0.214	0.356
d 0 to 14	128.4	131.0	133.0	151.4	9.14	130.7	141.2	6.49	129.7	142.2	6.47	0.268	0.188	0.402
Avg. daily feed intake, g														
d 0 to 3	161.1	158.0	170.8	164.4	8.27	165.9	161.2	5.87	159.6	167.6	5.86	0.578	0.343	0.844
d 3 to 7	207.9	199.8	208.6	211.0	9.89	208.2	205.4	7.02	203.8	209.8	7.00	0.779	0.554	0.600
d 7 to 14	270.2	256.7	270.0	285.7	12.51	270.1	271.2	8.89	263.5	277.9	8.86	0.932	0.263	0.261
d 0 to 14	229.0	219.3	231.2	238.4	9.34	230.1	228.8	6.64	224.2	234.8	6.61	0.894	0.269	0.380
Gain/feed														
d 0 to 3	0.553	0.599	0.627	0.678	0.074	0.590	0.638	0.052	0.576	0.653	0.052	0.518	0.308	0.971
d 3 to 7	0.542	0.624	0.516	0.630	0.044	0.529	0.627	0.031	0.583	0.573	0.031	0.036	0.827	0.716
d 7 to 14	0.560	0.561	0.581	0.620	0.031	0.571	0.591	0.022	0.561	0.600	0.022	0.533	0.217	0.546
d 0 to 14	0.556 ^a	0.590 ^{ab}	0.572 ^{ab}	0.632 ^b	0.021	0.564	0.611	0.015	0.573	0.602	0.015	0.035	0.181	0.530

¹6.10 kg- 8.01 kg (23-37 day of age).

² C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

^{ab} Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

如表 21 所示。

單獨添加 MCT 處理組，較對照組顯著降低對離乳豬 0 至 3 日下痢頭數 ($P < 0.05$)。

MCT 效應顯示，飼糧中添加 MCT 具降低 0 至 3 日下痢頭數之趨勢 ($P < 0.10$)。

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧，對離乳豬存活率及下痢評分並無顯著影響。

三、腸道內容物 pH 值及菌相

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬腸道內容物 pH 值及菌相之影響如表 22 及表 23 所示。

飼糧中單獨添加 MCT 及單獨添加 CS 處理組，較對照組有顯著較高之胃內容物 pH 值 ($P < 0.05$)。飼糧中單獨添加 CS 較對照組顯著降低小腸內容物 pH 值 ($P < 0.05$)。

盲腸及大腸內容物 pH 值於各處理組間無顯著差異。

單獨添加 MCT 處理組，較對照組顯著提高胃內容物 L 菌落數 ($P < 0.05$)。同時添加 MCT 及 CS 處理組較單獨添加 MCT 處理組顯著降低胃內容物 L+E ($P < 0.05$)。

單獨添加 CS 處理組較對照組顯著降低離乳豬大腸內容物 E 菌落

表 21. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬存活率及下痢評分之影響¹ (試驗一與二合併)

Table 21. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the survival rate and diarrhea score of weanling pigs¹ (trial 1 and 2 combined)

Item	Treatments ²				SEM	MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M + CS		-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Survival rate	0.970	0.993	0.985	0.993	0.012	0.978	0.993	0.008	0.981	0.989	0.008	0.211	0.526	0.526
Diarrhea score ³														
d 0 to 3	3.55	3.10	3.30	3.17	0.18	3.42	3.14	0.13	3.33	3.23	0.13	0.124	0.610	0.380
d 3 to 7	3.85	3.62	3.71	3.49	0.18	3.78	3.56	0.13	3.74	3.60	0.13	0.232	0.455	0.978
d 7 to 14	3.70	3.83	3.59	3.38	0.23	3.65	3.60	0.16	3.76	3.48	0.16	0.850	0.239	0.478
d 0 to 14	3.72	3.60	3.56	3.36	0.16	3.64	3.48	0.11	3.66	3.46	0.11	0.310	0.226	0.790
Average diarrhea number ⁴ , pig/d														
d 0 to 3	0.64 ^b	0.33 ^a	0.52 ^{ab}	0.41 ^{ab}	0.10	0.58	0.37	0.07	0.49	0.46	0.07	0.056	0.813	0.342
d 3 to 7	1.10	1.12	1.20	0.93	0.14	1.15	1.03	0.10	1.11	1.07	0.10	0.395	0.775	0.312
d 7 to 14	1.18	1.22	1.09	1.01	0.22	1.13	1.11	0.15	1.20	1.05	0.15	0.928	0.494	0.785
d 0 to 14	1.03	0.98	0.98	0.85	0.12	1.01	0.91	0.09	1.01	0.91	0.09	0.440	0.446	0.746

¹6.10 kg- 8.01 kg (23-37 day of age).

²C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

³Diarrhea score: 1, normal feces; 2, moist feces; 3, mild diarrhea; 4, severe diarrhea; 5, watery diarrhea.

⁴Number of pig per pen per day had diarrhea (16-18 pigs/pen).

^{ab}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

表 22. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道內容物 pH 值之影響 (試驗一與二合併)

Table 22. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the pH of digestive tract contents of weanling pigs (trial 1 and 2 combined)

Item	Treatments ¹				MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value			
	C	M	CS	M + CS	SEM	-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Stomach	3.53 ^a	4.38 ^b	4.28 ^{ab}	4.46 ^b	0.28	3.91	4.42	0.20	3.95	4.37	0.20	0.085	0.153	0.244
Small intestine	7.11 ^b	6.89 ^{ab}	6.81 ^a	6.99 ^{ab}	0.08	6.96	6.94	0.06	7.00	6.90	0.06	0.772	0.245	0.028
Cecum	6.43	6.14	6.38	6.25	0.12	6.40	6.19	0.09	6.28	6.31	0.09	0.115	0.800	0.554
Large intestine	6.58	6.34	6.57	6.50	0.10	6.58	6.42	0.07	6.46	6.54	0.07	0.138	0.456	0.428

¹ C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

^{ab}Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

表 23. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬腸道菌相 (試驗一與二合併)

Table 23. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the microbial counts in digestive tract contents of weanling pigs (log10 CFU/g fresh content) (trial 1 and 2 combined)

Item	Treatments ¹					MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M+ CS	SEM	-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Stomach														
<i>Lactobacillus</i>	5.75	6.29	6.02	5.58	0.41	5.89	5.93	0.29	6.02	5.80	0.29	0.904	0.591	0.243
<i>E. coli</i>	3.96 ^a	5.13 ^b	4.89 ^{ab}	4.02 ^{ab}	0.42	4.42	4.58	0.28	4.54	4.46	0.28	0.700	0.827	0.018
L+E	9.71 ^{ab}	11.43 ^b	11.34 ^{ab}	9.69 ^a	0.61	10.52	10.56	0.41	10.57	10.52	0.41	0.947	0.929	0.008
L/E	1.58	1.24	1.36	1.49	0.17	1.47	1.36	0.11	1.41	1.42	0.11	0.534	0.925	0.162
Small intestine														
<i>Lactobacillus</i>	7.76	7.56	7.22	7.03	0.31	7.49	7.29	0.22	7.66	7.12	0.22	0.534	0.093	0.986
<i>E. coli</i>	7.21	6.71	6.66	6.68	0.34	6.94	6.69	0.24	6.96	6.67	0.24	0.481	0.407	0.461
L+E	14.96	14.26	13.88	13.70	0.60	14.42	13.98	0.42	14.61	13.79	0.42	0.473	0.182	0.665
L/E	1.09	1.15	1.08	1.06	0.04	1.08	1.10	0.03	1.12	1.07	0.03	0.710	0.282	0.334
Cecum														
<i>Lactobacillus</i>	8.30	8.23	7.93	7.58	0.32	8.11	7.90	0.23	8.26	7.75	0.23	0.517	0.126	0.670
<i>E. coli</i>	7.64 ^b	6.95 ^{ab}	6.60 ^{ab}	6.09 ^a	0.40	7.12	6.52	0.29	7.30	6.34	0.28	0.152	0.027	0.825
L+E	15.94 ^b	15.18 ^{ab}	14.53 ^{ab}	14.01 ^a	0.52	15.23	14.60	0.38	15.56	14.27	0.38	0.246	0.024	0.824
L/E	1.10	1.21	1.23	1.35	0.09	1.17	1.28	0.06	1.16	1.29	0.06	0.212	0.160	0.937
Large intestine														
<i>Lactobacillus</i>	9.03	8.87	8.46	7.99	0.40	8.75	8.43	0.29	8.95	8.22	0.29	0.442	0.085	0.696
<i>E. coli</i>	8.02 ^c	7.39 ^{bc}	6.73 ^b	5.74 ^a	0.34	7.38	6.56	0.24	7.71	6.23	0.24	0.024	<0.001	0.603
L+E	17.05 ^c	16.26 ^{bc}	15.19 ^{ab}	13.72 ^a	0.60	16.12	14.99	0.42	16.66	14.46	0.42	0.072	0.001	0.577
L/E	1.15 ^a	1.21 ^{ab}	1.27 ^{ab}	1.41 ^b	0.08	1.21	1.31	0.05	1.18	1.34	0.05	0.177	0.051	0.599

¹ C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

^{abc} Values in the same row with different superscript letters were significantly different ($P < 0.05$).

數及 L+E ($P<0.05$)。

同時添加 MCT 與 CS 處理組顯著降低離乳豬盲腸內容物 E 菌落數及 L+E ($P<0.05$)，降低大腸內容物中 E 及 L+E ($P<0.05$)，並顯著提高 L/E ($P<0.05$)。

MCT 效應顯示，飼糧中添加 MCT 顯著降低大腸內容物 E 菌落數 ($P<0.05$)，並具降低大腸內容物 L+E 之趨勢 ($P<0.10$)。

CS 效應顯示，飼糧中添加 CS 顯著降低盲腸內容物 E 菌落數及 L+E ($P<0.05$)、大腸內容物 E 菌落數及 L+E ($P<0.01$)，並具降低小腸及大腸內容物中 L 菌落數，及提高大腸內容物 L/E 之趨勢 ($P<0.10$)。

飼糧中添加 MCT 及 CS 在胃內容物 E 及 L+E，小腸內容物 pH 值具交互作用 ($P<0.05$)。

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬胃、小腸及盲腸內容物之 L 及 L/E，以及小腸內容物之 E 及 L+E 均無影響。

四、血漿組成

餵飼添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬血漿組成之影響如表 24 所示。

飼糧中有無添加 MCT 或 CS 對離乳豬血漿中膽固醇、葡萄糖及尿素氮濃度皆無顯著影響。血漿中之三酸甘油酯濃度由於試驗一部分低於最低測定極限，無法測得，故無與試驗二合併計算。

表 24. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬血漿組成之影響 (試驗一與二合併)

Table 24. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on the blood plasma composition of weanling pigs (trial 1 and 2 combined)

Item ²	Treatments ¹				MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value			
	C	M	CS	M + CS	SEM	-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
CHOL, mg/dL	71.31	65.96	65.06	70.38	4.19	68.19	68.17	3.02	68.64	67.72	3.02	0.997	0.832	0.225
GLU, mg/dL	104.31	110.56	106.63	112.25	7.31	105.47	111.41	5.17	107.44	109.44	5.17	0.425	0.787	0.966
⊗ BUN, mg/dL	8.31	7.38	7.38	6.94	0.52	7.84	7.16	0.37	7.84	7.16	0.37	0.202	0.202	0.637

¹C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

²CHOL: cholesterol, GLU: glucose, BUN: blood urea nitrogen.

五、肝臟重量及肝醣含量

餵飼有無添加 MCT 或 CS 飼糧對離乳豬肝臟重量及肝醣含量之影響如表 25 所示。

飼糧中有無添加 MCT 或 CS 對離乳豬肝臟重量、肝臟/體重比率、每克肝臟肝醣含量及肝臟總肝醣含量皆無顯著影響。

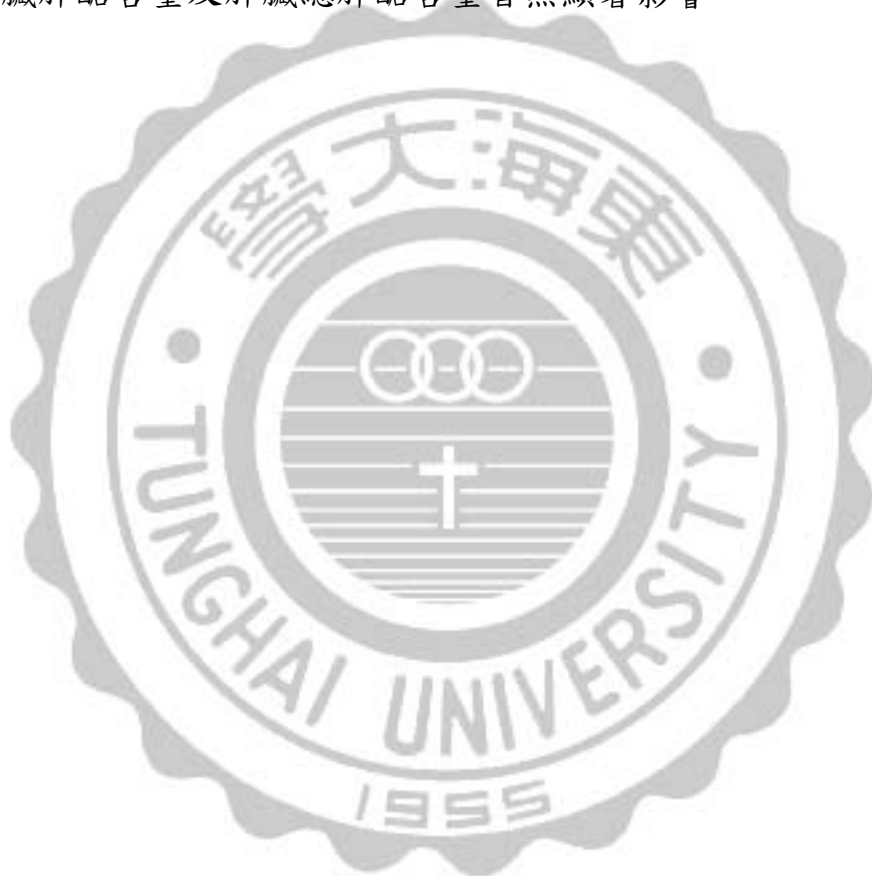


表 25. 飼糧添加中鏈三酸甘油酯或可利斯汀對離乳豬肝臟重量及肝醣含量之影響 (試驗一與二合併)

Table 25. Effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides and colistin sulfate on liver weight and glycogen content of weanling pigs (trial 1 and 2 combined)

Item	Treatments ¹				SEM	MCT Effect (M)			CS Effect (CS)			P-value		
	C	M	CS	M+CS		-	+	SEM	-	+	SEM	M	CS	M × CS
Liver weight, g	249	257	246	255	10.75	247	256	7.60	253	251	7.60	0.433	0.832	0.913
Liver weight/ body weight, %	2.96	3.08	2.87	2.94	0.08	2.92	3.01	0.059	3.02	2.91	0.059	0.281	0.197	0.780
Liver glycogen content, mg/g	31.37	33.70	35.35	29.35	2.22	33.36	31.52	1.80	32.53	32.35	1.80	0.470	0.943	0.112
Total liver glycogen, g	7.63	9.01	8.70	7.69	0.67	8.16	8.35	0.54	8.32	8.19	0.54	0.805	0.866	0.129

¹ C: control; M: MCT (3%); CS: 40 ppm colistin sulfate; M+CS: MCT+colistin sulfate.

討論

試驗一及二在存活率，腸道內容物 pH 值與菌相，血漿膽固醇與尿素氮濃度及肝臟重量方面，所得結果一致。惟在生長性能，下痢評分，血漿葡萄糖濃度及肝臟肝糖含量，所得結果並不一致。另外，由於離乳豬之各種表現受到甚多因素影響，使得測得數據差異大，故將試驗一及二合併，以增加重複數，提升統計力度，並方便討論。

試驗一及二合併後顯示，飼糧中添加 MCT 傾向於改善離乳豬飼料利用效率 (0.565 vs. 0.610; $P=0.051$)，但不影響增重。先前在仔豬亦發現相同結果 (賴, 2010; Cera et al., 1990)。Dierick et al. (2002b) 則發現，飼糧中添加 MCT 改善離乳豬飼料利用效率，但改善增重。飼糧中添加 MCT 改善禽畜飼料利用效率之結果，值得注意。

MCT 有較高之熱增值 (Baba et al., 1982; Mascioli et al., 1991)，使得 MCT 在較低環境溫度下，較易產熱對抗冷緊迫，進而提高飼料利用效率。賴 (2010) 於飼糧中添加 MCT，不影響仔豬增重及飼料採食量，但改善飼料利用效率，該試驗於冬季進行，室外溫度約 15.8°C ，而飼糧中添加 MCT，可能有助於提高仔豬熱產生量，以利體溫維持，進而改善飼料利用效率。本研究試驗二於冬季進行，飼糧中添加 MCT 改善離乳豬飼料利用效率，試驗一於夏季進行，飼

糧中添加 MCT 無法改善離乳豬飼料利用效率。

此外，飼糧中添加 MCT，被指出可提高肉雞體蛋白質含量（姜等，1990），增加蛋白質蓄積（Mabayo et al., 1993; Zheng et al., 2006），及提高仔豬（賴，2010; Hanczakowska et al., 2011）與肉雞（賴，2010）粗蛋白質消化率。此與 MCT 可能提高 CCK 分泌有關。Isaacs et al. (1987) 於人，Stubbs and stabile (1985) 及 Douglas et al. (1990) 於大鼠，Mabayo et al. (1992) 於雞，Takada et al. (1994) 於豬及 Nordrum et al. (2000) 於鮭魚之實驗提出，飼糧中所含之 MCFA 可刺激 CCK 分泌。CCK 則可促進蛋白酶及胜肽酶分泌（Tortora and Anagnostakos, 1984），而可能提高蛋白質消化率，進而改進飼料利用效率。MCT 在胃中被水解釋出 MCFA，理應降低胃內容物 pH 值，促進胃蛋白酶活性，而可能提高蛋白質消化率，惟本研究並未發現飼糧中添加 MCT 降低胃內容物 pH 值。

飼糧中添加 MCT，僅控制大腸 L，L+E，並改善菌相（提高 L/E），顯示 MCFA 並非快速地在消化道前端被吸收，而失去抑菌作用。此結果與 Boyen et al. (2008) 所得結果不符。他們發現，未包膜 C8:0 無法抑制豬隻扁桃腺，肝臟，脾臟及糞便中沙門氏桿菌菌落數，而包膜 C8:0 則可抑制。MCFA 或持續在小腸，盲腸及大腸中抑菌，而大腸為其累積之結果。賴 (2010) 發現，飼糧中添加 MCT 對全腸道

內容物菌落數皆有抑制作用。

飼糧中添加 MCT，抑制腸道內容物中微生物，此近似抗生素改善動物腸道健康，減少微生物消耗營養分，使動物可利用營養分增加，且降低維持腸道免疫之能量需求量，而改善動物生長性能 (Visek, 1978; Vervaeke et al., 1979; Dierick et al., 1986ab; Jensen, 1993; Chesson, 1994; Anderson et al., 1999)。

Bassaganya-Riera et al. (2001) 亦指出，哺乳仔豬之生長表現，處於乾淨環境者優於髒亂環境者。而改善大腸內容物菌相 (L/E 提高)，則可能因降低下痢離乳仔豬頭數，而改善生長性能。

試驗一及二之結果皆發現，飼糧中添加 CS 明顯降低腸道，尤其是盲腸或大腸微生物菌落數，並提高 L/E 比值，改善菌相。CS 因較能抑制革蘭氏陰性菌，如大腸桿菌之生長 (Falagas and Kasiakou, 2005; Landman et al., 2008)，減少腸道內容物 E 菌落數，對革蘭氏陽性菌如 L 則影響較小，而提高 L/E 比值。惟僅試驗一改善離乳豬之增重，飼料採食量，並具改善飼料利用效率之趨勢；而試驗二則無影響。Torrallardona et al. (2003) 指出，飼糧中添加 CS 顯著降低離乳豬迴腸 E 與盲腸內容物腸球菌及 E，並改善飼料利用效率。Choi et al. (2011) 則指出，飼糧中添加 CS 較林可黴素更能夠降低離乳豬盲腸雙叉乳桿菌，芽孢梭菌及大腸桿菌群菌落數。

飼糧中添加 MCT 或 CS，並不影響血漿三酸甘油酯，膽固醇，葡萄糖或尿素氮濃度。由於 CS 不被腸道吸收，惟可能透過調節腸道菌相而間接影響血漿組成，但仍須證實。MCT 經水解釋出之 MCFA 進行 β -氧化作用，導致之過量乙醯輔酶 A 產生，可活化肝臟脂肪合成作用 (Cera et al., 1989; Hill et al., 1989; Sinohara et al., 2005)，導致血中三酸甘油酯濃度增加。MCT 可提供能量，並促進葡萄糖新生成作用，增加血中葡萄糖濃度 (Peogorier et al. 1983; Turlan and Girard, 1983; Odle et al., 1989; Tholstrup et al., 2004)。MCT 亦可能因吸收方式減少固醇類之吸收 (Bach and Babayan, 1982) 而降低血中膽固醇濃度。Cera et al. (1989; 1990) 在離乳豬，Hallebeek and Beyen (2003) 在小馬，Tholstrup et al. (2004) 在人，皆提出，飼糧中添加 MCT 或 MCFA 提高血中三酸甘油酯濃度。Traul et al. (2000) 提到，MCT 添加在人或大鼠食物可降低血中膽固醇濃度。St-Onge et al. (2008) 食物中添加 MCT 並不影響人類血中總膽固醇濃度。Matulka et al. (2009) 於犬，則傾向於提高血中總膽固醇濃度。Cera et al. (1989; 1990) 餵飼離乳豬添加有 MCT 飼糧及 Benevenga et al. (1989) 灌餵初生仔豬 MCT，可顯著降低血清尿素氮濃度，可能與改善能量及胺基酸利用有關。

在小腸絨毛高度方面，試驗二中，飼糧中添加不同濃度 MCT 或

CS 並不影響離乳豬空腸絨毛高度、腺窩深度以及絨毛高度與腺窩深度比值。Dierick et al. (2003) 於離乳豬試驗，餵飼含雪茄花籽 (含 20-24% C10:0) 及外源性解脂酶之飼糧，可提高小腸末端絨毛高度，降低前端與末端腺窩深度，並提高前端及後端絨毛高度對腺窩深度 (V/C) 比值。Hanczakowska et al. (2011) 亦指出，餵飼離乳豬含 MCT 飼糧，可提高迴腸絨毛高度，但亦提高腺窩深度。

Torrallardona et al. (2003) 餵飼離乳豬含 CS 飼糧，傾向於提高小腸絨毛高度，但未影響腺窩深度。腸絨毛高度及腺窩深度，可作為腸道黏膜組織於病理改變及損傷之特徵 (Kik, 1991)。較高之 V/C 比值通常視為腸道擁有較健康且具功能之黏膜組織，可提高對營養分之吸收。

本研究中，除胃內容物 E 及 L+E 外，其他測定項目 MCT 與 CS 之交互作用皆不顯著，而具加成作用。此結果顯示，MCT 與 CS 抑菌之機制不同。

MCFA 之 pK_a 值介於 4.88 至 5.02 (Hsiao and Siebert, 1999; Palaprat et al., 2005)，於胃以外腸道環境，可解離釋出氫離子，降低腸道 pH 值而抑制微生物生長 (Rossi et al., 2010)。

非解離態 MCFA 可因其非極性結構，進入細菌細胞膜或細胞壁肽聚醣層中，形成孔洞間隙，並造成膜蛋白或雙層磷脂質膜流失，改

變細胞膜通透性或完整性 (Bergsson et al., 1998; Nair et al., 2005; Desbois and Smith, 2010)。部分進入細菌細胞質中之 MCFA，解離釋出氫離子，造成細胞內 pH 值降低 (Sun et al., 1998; Decuypere and Dierick, 2003)，抑制酵素活性 (Viegas and Sa-Correia, 1991; Canibe et al., 2002; Decuypere and Dierick, 2003)，抑制胺基酸運輸 (Freese et al., 1973)，強制細菌耗費能量排出氫離子，回復細胞質 pH 值以利正常運作 (Canibe et al., 2002; Rossi et al., 2010)，使 ATP 驅動型幫浦 (ATP-driven pumps) 去連結 (uncoupled) (Desbois and Smith, 2010)，導致細菌死亡。而 MCFA 解離時產生之陰離子 ($R-COO^-$)，在細胞內堆積，亦可能對細菌造成毒性 (Russell, 1992; Russell and Diez-Gonzales, 1998; Canibe et al., 2002)。

CS 則與革蘭氏陰性菌細胞壁外膜上之 LPS 結合，取代 Mg^{2+} 與 Ca^{2+} ，干擾 LPS 分子安定性，造成外膜通透性增加，細胞質外洩，導致細菌死亡 (Falagas and Kasiakou, 2005; Landman et al., 2008)。

綜合以上，MCT 可替代 CS 作為離乳豬之生長促進劑；MCT 與 CS 共用時，其抑菌及生長促進效果尤佳。

結論

飼糧中添加 3% MCT 抑制離乳豬大腸內容物大腸桿菌菌落數，改善菌相，並改善離乳豬飼料利用效率。

飼糧添加 40 ppm CS 抑制離乳豬盲腸及大腸內容物乳酸菌，大腸桿菌，乳酸菌與大腸桿菌總菌數，改善大腸內容物乳酸菌對大腸桿菌比值，但對生長性能並無影響。

飼糧添加 MCT，可替代 CS 作為離乳豬之生長促進劑。MCT 與 CS 在生長性能及小腸，盲腸及大腸內容物菌相方面，皆無交互而具加成作用，顯示 MCT 與 CS 共用時效果尤佳。

參考文獻

- 余碧。2010。酵素。摘自：夏良宙主編。畜牧要覽飼料與營養篇。381-402 頁。中國畜牧協會。屏東縣。
- 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 19:11-18。
- 姜樹興編著。2009。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。
- 黃麗文校閱。2006。從抗生素到臨床用藥。譯自：Jehl, F., M. Chomarat, M. Weber and A. Gerard。From antibiogram to prescription。藝軒圖書出版社。新北市。
- 詹建良。1998。灌餵中鏈三酸甘油酯降低初生仔豬活力及吮乳活力原因之再探討。碩士論文。東海大學畜產研究所。
- 賴韋綱。2010。飼糧中添加中鏈三酸甘油酯對仔豬及肉雞生長性能、腸道菌相或脛骨強度之影響。碩士論文。東海大學畜產研究所。
- Allee, G. L., D. R. Romsos, G. A. Leveille and D. H. Baker. 1972. Metabolic consequences of dietary medium-chain triglycerides in the pig. Proc. Biol. Med. 139:422-431.
- Anderson, D. B., V. J. McCracken, R. I. Aminov, J. M. Simpson, R. I. Mackie, M. W. A. Verstegen and H. R. Gaskins. 1999. Gut microbiology and growth-promoting antibiotics in swine. Pig News and Inform. 20:115N-122N.
- Angulo, F. J. 2004. Impacts of antimicrobial growth promoter termination in Denmark. In: Proceedings of the 53rd Western Poultry Disease Conference, pp. 16-19. Sacramento, CA.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis (14th ed.). Association of official

analytical chemists, Washington, DC.

- Baba, N., E. F. Bracco and S. A. Hashim. 1982. Enhanced thermogenesis and diminished deposition of fat in response to overfeeding with diets containing medium chain triglyceride. *Amer. J. Clin. Nutr.* 35:678-682.
- Bach, A. 1978. Oxaloacetate deficiency in MCT-induced ketogenesis. *Arch. Int. Physiol. Biochim.* 86:1133-1142.
- Bach, A. C. and V. K. Babayan. 1982. Medium-chain triglycerides: An update. *Am. J. Clin. Nutr.* 36:950-962.
- Bager, F., M. Madsen, J. Christensen and F. M. Aarestrup. 1997. Avoparcin used as a growth promoter is associated with the occurrence of vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* on Danish poultry and pig farms. *Prev. Vet. Med.* 31:95-112.
- Bailey, J. S., L. C. Blankenship and N. A. Cox. 1991. Effect of fructo-oligosaccharide on *Salmonella* colonization of the chicken intestine. *Poultry Sci.* 70:2433-2438.
- Barbera, R., M. Peracchi, F. Brighenti, B. Cesana, P. A. Bianchi and G. Basilisco. 2000. Sensations induced by medium and long chain triglycerides: role of gastric tone and hormones. *Gut* 46:32-36.
- Bassaganya-Riera, J., R. Hontecillas-Magarzo, K. Bregendahl, M. J. Wannemuehler and D. R. Zimmerman. 2001. Effects of dietary conjugated linoleic acid in nursery pigs of dirty and clean environments on growth, empty body composition and immune competence. *J. Anim. Sci.* 79:714-721.
- Bedford, M. R. and H. Schulze. 1998. Exogenous enzymes for pigs and poultry. *Nutr. Res. Revs.* 11:91-114.
- Begley, M., C. Hill and C. G. M. Gahan. 2006. Bile salt hydrolase activity in probiotics. *Appl. Environ. Microbiol.* 72:1729-1738.
- Benevenga, N. J., J. K. Steinman-Goldsworthy, T. D. Crenshaw and J. Odle. 1989. Utilization of medium-chain triglycerides by neonatal pigs: I. Effects on milk

- consumption and body fuel utilization. *J. Anim. Sci.* 67:3331-3339.
- Bergsson, G., J. Arnfinnsson, S. M. Karlsson, O. Steingrímsson, and H. Thormar. 1998. In vitro inactivation of *Chlamydia trachomatis* by fatty acids and monoglycerides. *Antimicrob. Agents Chemother.* 42:2290-2294.
- Bergsson, G., O. Steingrímsson and H. Thormar. 2002. Bacteriocidal effects of fatty acids and monoglycerides on *Helicobacter pylori*. *Int. J. Antimicrob. Agents* 20:258-262.
- Biagi, G., A. Piva, M. Moschini, E. Vezzali and F. X. Roth. 2007. Performance, intestinal microflora, and wall morphology of weanling pigs fed sodium butyrate. *J. Anim. Sci.* 85:1184-1191.
- Birk, R. and P. M. Brannon. 2004. Regulation of pancreatic lipase by dietary medium chain triglycerides in weanling rat. *Pediatr. Res.* 55:921-926.
- Boyen, F., F. Haesebrouck, A. Vanparys, J. Volf, M. Mahu, F. Van Immerseel, I. Rychlik, J. Dewulf, R. Ducatelle and F. Pasmans. 2008. Coated fatty acids alter virulence properties of *Salmonella Typhimurium* and decrease intestinal colonization of pigs. *Vet. Microbiol.* 132:319-327.
- Bremer, J. 1980. Carnitine and its role in fatty acid metabolism. *Trends Biochem. Sci.* 2:205-209.
- Caine, W. R., W. C. Sauer, S. Tamminga, M. W. A. Verstegen and H. Schulze. 1997. Apparent ileal digestibilities of amino acids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. *J. Anim. Sci.* 75:2962-2969.
- Canibe, N., R. M. Engberg and B. B. Jensen. 2002. An overview of the effect of organic acids on gut flora and gut health. Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Foulum, Denmark.
- Casewell, M., C. Friis, E. Macro, P. McMullin and I. Phillips. 2003. The European ban on growth-promoting antibiotics and emerging consequences for human and animal health. *J. Antimicrob. Chemother.* 52:159-161.
- Cera, K. R., D. C. Mahan and G. A. Reinhart. 1989. Postweaning swine performance

and serum profile responses to supplemental medium-chain free fatty acids and tallow. *J. Anim. Sci.* 67:2048-2055.

Cera, K. R., D. C. Mahan and G. A. Reinhart. 1990. Evaluation of various extracted vegetable oils, roasted soybean, medium-chain triglyceride and an animal-vegetable fat blend for postweaning swine. *J. Anim. Sci.* 68:2756-2765.

Chapman, M. A., M. F. Grahn, M. Hutton and N. S. Williams. 1995. Butyrate metabolism in the terminal ileal mucosa of patients with ulcerative colitis. *Br. J. Surg.* 82:36-38.

Cherrington, C. A., M. Hinton, G. C. Mead and I. Chopral. 1991. Organic acids: chemistry, antibacterial activity and practical applications. *Adv. Microb. Physiol.* 32:87-108.

Chesson, A. 1994. Probiotics and other intestinal mediators. In: D. Cole, (Ed.) *Principles of Pig Science*. pp. 197-214. Nottingham University Press, Loughborough, UK.

Choi, J. Y., P. L. Shinde, S. L. Ingale, J. S. Kim, Y. W. Kim, I. K. Kwon and B. J. Chae. 2011. Evaluation of multi-microbe probiotics prepared by submerged liquid or solid substrate fermentation and antibiotics in weaning pigs. *Livest. Sci.* 138:144-151.

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

Clark, S. B. 1968. Limiting factors in maximal steady state absorption of medium chain triglycerides. In: J. R. Senior, (Ed.) *Medium Chain Triglycerides*. pp. 69-79. The University of Pennsylvania Press, Philadelphia, USA.

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

Danish Intergrated Antimicrobial Resistance Monitoring and Research Programme (DANMAP). 2002. Use of antimicrobial agents and occurrence of

antimicrobial resistance in bacteria from food animals, foods and humans in Denmark. ISSN1600-2032.

- Decuypere, J. A. and N. A. Dierick. 2003. The combined use of triacylglycerols containing medium-chain fatty acids and exogenous lipolytic enzymes as an alternative to in-feed antibiotics in piglets: concept, possibilities and limitations. An overview. *Nutr. Res. Rev.* 16:193-209.
- Desbois, A. P. and V. J. Smith. 2010. Antibacterial free acids: activities, mechanisms of action and biotechnological potential. *Appl. Microbiol Biotechnol.* 85:1629-1642.
- De Smet, I., P. De Boever and W. Verstraete. 1998. Cholesterol lowering in pigs through enhanced bacterial bile salt hydrolase activity. *Br. J. Nutr.* 79:185-194.
- Dibner, J. J. and J. D. Richards. 2005. Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poultry Sci.* 84: 634-643.
- Dicklin, M. E., J. L. Robinson, X. Lin and J. Odle. 2006. Ontogeny and chain-length specificity of gastrointestinal lipases affect medium-chain triacylglycerol utilization by newborn pigs. *J. Anim. Sci.* 84:818-825.
- Dierick, N. A. 1989. Biotechnology aids to improve feed and feed digestion: Enzyme and fermentation. *Arch. Tierernahr.* 39:241-261.
- Dierick, N., I. Vervaeke, J. Decuypere and H. Henderickx. 1986a. Influence of the gut flora and of some growth-promoting feed additives in nitrogen metabolism in pigs. I. Studies in vitro. *Livest. Prod. Sci.* 14:161-176.
- Dierick, N., I. Vervaeke, J. Decuypere and H. Henderickx. 1986b. Influence of the gut flora of some growth-promoting feed additives in nitrogen metabolism in pigs. II. Studies in vivo. *Livest. Prod. Sci.* 14:177-193.
- Dierick, N. A. and J. A. Decuypere. 1994. Enzymes and growth in pigs. In: D. Cole, (Ed.) *Principles of Pig Science*. pp. 169-195. Nottingham University Press, Loughborough, UK.
- Dierick, N. A., J. A. Decuypere and I. Degeyter. 2003. The combined use of whole

cuphea seeds containing medium chain fatty acids and an exogenous lipase in piglet nutrition. Arch. Anim. Nutr. 57:49-63.

Dierick, N. A., J. A. Decuypere, K. Molly, E. Van Beek and E. Vanderbeke, 2002a. The combined use of triacylglycerols containing medium-chain fatty acids (MCFAs) and exogeneous lipolytic enzymes as an alternative for nutritional antibiotics in piglet nutrition: I. In vitro screening of the release of MCFAs from selected fat sources by selected exogenous lipolytic enzymes under simulated pig gastric conditions and their effects on the gut flora of piglets. Livest. Prod. Sci. 75:129-142.

Dierick, N. A., J. A. Decuypere, K. Molly, E. Van Beek and E. Vanderbeke, 2002b. The combined use of triacylglycerols containing medium-chain fatty acids (MCFAs) and exogeneous lipolytic enzymes as an alternative for 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.

Douglas, B. R., J. B. Jansen, A. J. de Jong and C. B. Lamers. 1990. Effects of various triglycerides on plasma cholecystokinin levels in rats. J. Nutr. 120:686-690.

Ecelbarger, G. L., J. B. Lasekam and D. M. Ney. 1991. In vivo triglyceride secretion and hepatic and plasma lipids in rats fed medium-chain triglycerides, tripelargonin or corn oil. J. Nutr. Biochem. 2:260-266.

Emborg, H. D., A. K. Ersboll, O. E. Heuer and H. C. Wegener. 2002. Effects of termination of antimicrobial growth promoter use for broiler health and productivity. In: Working Papers for the WHO International Review Panel's Evaluation, pp. 38-42. Document WHO/CDS/CPE/ZFK/2003.1a. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Falagas, M. E. and S. K. Kasiakou. 2005. Colistin: the revival of polymyxins for the management of multidrug-resistant gram-negative bacterial infections. Clin. Infect. Dis. 40:1333-1341.

Falcão-e-Cunha, L., L. Castro-Solla, L. Maertens, M. Marounek, V. Pinheiro, J. Freire and J. L. Mourão. 2007. Alternatives to antibiotic growth promoters in

rabbits feeding: a review. *World Rabbit Sci.* 15:127-140.

Fooks, L. J. and G. R. Gibson. 2002. In vitro investigations of the effect of probiotics and prebiotics on selected human intestinal pathogens. *FEMS Microbiol. Ecol.* 39:67-75.

Fooks, L. J. and G. R. Gibson. 2003. Mixed culture fermentation studies on the effects of synbiotics on the human intestinal pathogens *Campylobacter jejuni* and *Escherichia coli*. *Anaerobe* 9:231-242.

Freese, E., C. Sheu and E. Galliers. 1973. Function of lipophylic acids as antimicrobial food additives. *Nature* 241:321-325.

Fukata, T., Y. Hadate, E. Baba and A. Arakawa. 1991. Influence of bacteria on *Clostridium perfringens* infections in young chickens. *Avian Dis.* 35:224-227.

Fuller, R. 1989. Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.* 66:365-378.

Funderburke, D. W. and R. W. Seerley. 1990. The effects of postweaning stressors on pig weight change, blood, liver and digestive tract characteristics. *J. Anim. Sci.* 68:155-162.

Furuse, M., R. T. Mabayo, K. Kita and Okumura. 1992. Effect of dietary medium chain triglyceride on protein and energy utilization in growing chicks. *Br. Poult. Sci.* 33:49-57.

Furuse, M., R. T. Mabayo, Y. H. Choi, D. M. Denbow and J. Okumura. 1993. Feeding behaviour in chickens given diets containing medium chain triglyceride. *Br. Poult. Sci.* 34:211-217.

Gálfi, P. and J. Bokori. 1990. Feeding trial in pigs with a diet containing sodium n-butyrate. *Acta Vet. Hung.* 38:3-17.

Garcia, V., P. Catalá-Gregori, F. Hernández, M. D. Megías 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.

- Gebbink, G.A.R.K., A. L. Sutton, B. A. Williams, J. A. Patterson, B. T. Richert, D. T. Kellt and M. W. A. Verstegen. 2001. Effects of oligosaccharides in weanling pig diets on performance, microflora and intestinal health. In: J. E. Lindberg and B. Ogle (Ed.) *Digestive Physiology of Pigs*, pp. 269-271. Wallingford, Oxon: CABI publishing, UK.
- Gibson, G. R. and M. B. Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125:1401-1412.
- Gibson, G. R., H. M. Probert, J. V. Loo, R. A. Rastall and M. B. Roberfroid. 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutr. Res. Rev.* 17:259-275.
- Greko, C. 2001. Safety aspects on non-use of antimicrobials as growth promoters. In: A. Piva, K. E. Bach Knudsen and J. E. Lindberg (Ed.) *Gut Environment of Pigs*. pp. 219-230. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Gutiérrez, I., A. Espinosa, J. García, R. Carabaño and J. C. De Blas. 2000. Effects of exogenous phytase on phosphorous and nitrogen digestibility in growing-finishing rabbits. In *Proc.: 7th World Rabbit Congress*, pp. 277-281. Valencia, Spain.
- Hallebeek, J. M. and A. C. Beynen. 2003. Production and clearance of plasma triacylglycerols in ponies fed diets containing either medium-chain triacylglycerols or soya bean oil. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87: 188-195.
- Hanczakowska, E., A. Szewczyk and K. Okon. 2011. Effect of dietary caprylic and capric acids on piglet performance and mucosal epithelium structure of the ileum. *J. Anim. Feed Sci.* 20:556-565.
- Heo, K. N., X. Lin, I. K. Han and J. Odle. 2002. Medium-chain fatty acids but not L-Carnitine accelerate the kinetics of [¹⁴C]Triacylglycerol utilization by colostrum-deprived newborn pigs. *J. Nutr.* 132:1989-1994.
- Hernandez, A. and J. Pluske. 2008. Using dietary medium-chain triglycerides to improve post-weaning performance of pigs. Pork Co-operative Research Centre, Australia.

- Hermans, D., A. Martel, K. Van Deun, M. Verlinden, F. Van Immerseel, A. Garmyn, W. Messens, M. Heyndrickx, F. Haesebrouck and F. Pasmans. 2010. Intestinal mucus protects *Campylobacter jejuni* in the ceca of colonized broiler chickens against the bactericidal effects of medium-chain fatty acids. *Poult. Sci.* 89:1144-1155.
- Hill, J. O., J. C. Peters, D. Yang, T. Sharp, M. Kaler, N. N. Abumrad and H. L. Greene. 1989. Thermogenesis in humans during overfeeding with medium-chain triglycerides. *Metabolism* 38:641-648.
- Hilmarsson, H., H. Thormar, J. H. Thrainsson, E. Gunnarsson and S. Dadadottir. 2006. Effect of glycerol monocaprate (monocaprin) on broiler chickens: An attempt at reducing intestinal *Campylobacter* infection. *Poult. Sci.* 85:588-592.
- Homma N. 1988. Bifidobacteria as a resistance factor in human beings. *Bifidobact. Microflora* 7:35-43.
- Hsiao, C. and K. J. Siebert. 1999. Modeling the inhibitory effects of organic acids on bacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 47:189-201.
- Huang, R. L., Z. Y. Deng, C. B. Yang, Y. L. Yin, M. Y. Xie, G. Y. Wu, T. J. Li, L. L. Li, Z. R. Tang, P. Kang, Z. P. Hou, D. Deng, H. Xiang, X. F. Kong and Y. M. Guo. 2007. Dietary oligochitosan supplementation enhances immune status of broilers. *J. Sci. Food Agric.* 87:153-159.
- Isaacs, P. E. T., S. Ladas, I. C. Forgacs, R. H. Dowling, S. V. Ellam, T. E. Adrian and S. R. Bloom. 1987. Comparison of effects of ingested medium- and long-chain triglyceride on gallbladder volume and release of cholecystokinin and other gut peptides. *Dig. Dis. Sci.* 32:481-486.
- Jang, I. S., Y. H. Ko, S. Y. Kang and C. Y. Lee. 2007. Effect of a commercial essential oil on growth performance, digestive enzyme activity and intestinal microflora population in broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 134:304-315.
- Jean, K. B. and S. H. Chiang. 1999. Increased survival of neonatal pigs by supplementing medium-chain triglycerides in late-gestating sow diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76:241-250.

- Jensen, B. 1993. The possibility of manipulating the microbial activity in the digestive tract of monogastric animals. In: Proc. 44th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, p. 20. Aarhus, Denmark.
- Jiang, H.Q., L. M. Gong, Y. X. Ma, Y. H. He, D. F. Li and H.X. Zhai. 2006. Effect of stachyose supplementation on growth performance, nutrient digestibility and caecal fermentation characteristics in broilers. *Br. Poult. Sci.* 47:516-522.
- Jin, L. Z., Y. W. Ho, N. Abdullah and S. Jalaudin. 1998. Acid and bile tolerance of *Lactobacillus* isolated from chicken intestine. *Lett. Appl. Microbiol.* 27:183-185.
- Kik, M. 1991. Effects of lectins in legume seeds on the structure and functions of small intestinal mucosa. *Ph. D. Thesis*, 130 pp. *Rijksuniversiteit Utrecht*, The Netherlands.
- Knostantinov, S. R., A. Awati, H. Smidt, B. A. Williams, A. D. L. Akkermans and W. M. de Vos. 2004. Specific response of a novel and abundant lactobacillus amylovorus-like phylotype to dietary prebiotics in the guts of weaning piglets. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:3821-3830.
- Kohlert, C., G. Schindler, R. W. Marz, G. Abel, B. Brinkhaus, H. Derendorf, E. U. Grafe and M. Veit. 2002. Systemic availability and pharmacokinetics of thymol in humans. *J. Clin. Pharmacol.* 42:731-737.
- Koike M., K. Iida and T. Matsuo. 1969. Electron microscopic studies on mode of action of polymyxin. *J. Bacteriol.* 97:448-452.
- Lallès, J. P., P. Bossi, P. Janczyk, S. J. Koopmans and D. Torrallardona. 2009. Impact of bioactive substances on the gastrointestinal tract and performance of weaned piglets: a review. *Animal* 3:1625-1643.
- Landman, D., C. Georgescu, D. A. Martin and J. Quale. 2008. Polymyxins revisited. *Clin. Microbiol. Rev.* 21:449-465.
- 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.

- Ledeboer, M., A. A. M. Masclee, I. Biemond and C. B. H. W. Lamers. 1998. Effect of medium- and long-chain triglycerides on lower esophageal sphincter pressure: role of CCK. *Am. J. Physiol.* 274:G1160-1165.
- Lee, H. F. and S. H. Chiang. 1994. Energy value of medium-chain triglycerides and their efficacy in improving survival of neonatal pigs. *J. Anim. Sci.* 72:133-138.
- Lee, M. D. 2008. Managing disease resistance: applying advanced methods to understand gastrointestinal microbial communities. In: J. A. Taylor-Pickard and P. Spring (Ed.). *Gut Efficiency; the Key Ingredient in Pig and Poultry Production*. pp.109-124. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Lepine, A. J., R. D. Boyd, J. A. Welch and K. R. Roneker. 1989. Effect of colostrum or medium-chain triglyceride supplementation on the pattern of plasma glucose, non-esterified fatty acids and survival of neonatal pigs. *J. Anim. Sci.* 67:983-990.
- Lin, C. L., S. H. Chiang and H. F. 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.
- Loh, T. C., Y. S. low and Y. K. Chang. 2004. Effects of Orgacidstm on growth performance, gut microflora and pH and meat cholesterol in growing pigs. In: C. T. N. F. Iskandar et al. (Ed.) *Animal Health : A Breakpoint in Economic Development : 11th International for Tropical Veterinary Medicine & 16th Veterinary Association Malaysia*. pp. 392-394. Sunway Pyramid Convention Centre, Petaling Jaya, Malaysia.
- Mabayo, R. T., F. Mitsuhiro, Y. Sungik and O. Junichi. 1992. Medium-chain triglycerols enhance release of cholecystokinin in chicks. *J. Nutr.* 122:1702-1705.
- Mabayo, R. T., F. Mitsuhiro, K. Kita and O. Junichi. 1993. Improvement of dietary protein utilization in chicks by medium chain triglyceride. *Brit. Poult. Sci.* 34:121-130.
- Madsen, K., J. Doyle, M. Tavermini and R. Fedorak. 1999. *Lactobacillus* species

- prevents colitis in Interleukin 10 gene-deficient mice. *Gastroenterology* 116:1107-1114.
- Maenner, K., W. Vahjen and O. Simon. 2011. Studies on the effects of essential-oil-based feed additives on performance, ileal nutrient digestibility, and selected bacterial groups in the gastrointestinal tract of piglets. *J. Anim. Sci.* 89:2106-2112.
- Mascioli, E. A., S. Randall, K. A. Porter, G. Kater, S. Lopes, V. K. Babayan, G. L. Blackburn and B. R. Bistrain. 1991. Thermogenesis from intravenous medium chain triglycerides. *J. Parenter. Enteral Nutr.* 15:27-31.
- Matulka, R. A., D. V. M. L. Thompson and G. A. Burdock. 2009. Lack of toxicity by medium chain triglycerides (MCT) in canines during a 90-day feed study. *Food Chem. Toxicol.* 47:35-39.
- McGarry, J. D. and D. W. Foster. 1980. Regulation of hepatic fatty acid oxidation and ketone body production. *Ann. Rev. Biochem.* 49:395-420.
- McLaughlin, J., M. G. Lucà, M. N. Jones, M. D'Amato, Graham J. Dockray and D. G. Thompson. 1999. Fatty acid chain length determines cholecystokinin secretion and effect on human gastric motility. *Gastroenterology* 116:46-53.
- Messens, W. J. Goris, N. Dierick, L. Herman and M. Heyndrickx. 2010. Inhibition of *Salmonella typhimurium* by medium-chain fatty acids in an in vitro simulation of the porcine cecum. *Vet. Microbiol.* 141:73-80.
- Metcalf, J. H., A. M. Donoghue, K. Venkitanarayanan, I. Reyes-Herrera, V. F. Aguiar, P. J. Blore and D. J. Donoghue. 2010. Water administration of the medium-chain fatty acid caprylic acid produced variable efficacy against enteric *Campylobacter* colonization in broilers. *Poult. Sci.* 90:494-497.
- Moura, P., R. Barata, F. Carneiro, F. Girio, M. C. Loureiro-Dias and M. P. Esteves. 2007. In vitro fermentation of xylo-oligosaccharides from corn cobs autohydrolysis by Bifidobacterium and Lactobacillus strains. *LWT-Food Sci. Technol.* 40:963-972.
- Nair, M. K. M., J. Joy, P. Vasudevan, L. Hinckley, T. A. Hoagland and K. S.

- Venkitanarayanan. 2005. Antibacterial effect of caprylic acid and monocaprylin on major bacterial mastitis pathogens. *J. Dairy Sci.* 88:3488-3495.
- Nieman, C. 1954. Influence of trace amounts of fatty acids on the growth of microorganisms. *Bacteriol. Rev.* 18: 147-163.
- Nishi, Y., H. Hiejima, H. Hosoda, H. Kaiya, K. Mori, Y. Fukue, T. Yanase, H. Nawata, K. Kangawa and M. Kojima. 2005. Ingested medium-chain fatty acids are directly utilized for the acyl modification of ghrelin. *Endocrinology* 146:2255-2264.
- Neish, A. S. 2002. The gut microflora and intestinal epithelial cells: A continuing dialogue. *Microbes infect.* 4:309-317.
- Newport, M. J., J. E. Storry and B. Tuckley. 1979. Artificial rearing of pigs. 7. 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.
- Noguchi, O., H. Takeuchi, F. Kubota, H. Tsuji and T. Aoyama. 2002. Larger diet-induced thermogenesis and less body fat accumulation in rats fed medium-chain triacylglycerols than in those fed long-chain triacylglycerols. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 48:524-529.
- Nordrum, S., A. M. Bakke-McKellep, A. Krogh and R. K. Buddington. 2000. Effects of soybean meal and salinity on intestinal transport of nutrients in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol.* 125:317-335.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Odle, J., N. J. Benevenga and T. D. Crenshaw. 1989. Utilization of medium-chain triglycerides by neonatal piglets: II. Effects of even- and odd-chain triglyceride consumption over the first 2 days of life on blood metabolites and urinary nitrogen excretion. *J. Anim. Sci.* 67:3340-3351.
- O'Doherty, J. V. and S. Forde. 1999. The effect of protease and α -galactosidase

supplementation on the nutritive value of peas for growing and finishing pigs. *Ir. J. Agric. Food Res.* 38:217-226.

Ooyama, K., J. Wu., N. Nosaka, T. Aoyama and M. Kasai. 2008. Combined intervention of medium-chain triacylglycerol diet and exercise reduces body fat mass and enhances energy expenditure in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 54:136-141.

Ooyama, K., K. Keiichi, A. Toshiaki and T. Hiroyuki. 2009. Decrease of food intake in rats after ingestion of medium-chain triacylglycerol. *J. Nutr. Sci. Vit.* 55:423-427.

Palaprat, G., F. Ganachaud, M. Mauzac and P. Hemery. 2005. Cationic polymerization of 2, 4, 6, 8-tetramethylcyclotetrasiloxane processed by tuning the pH of the miniemulsion. *Polymer.* 46:11213-11218.

Papamandjaris, A. A., D. E. MacDougall and P. J. H. 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.

Partanen, K. 2001. Organic acids – their efficacy and modes of action of pigs. In: A. Piva, K. E. Bach Knudsen and J. E. Lindberg (Ed.) *Gut Environment of Pigs.* pp. 201-217. Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Pegorier, J. P., A. Leturque, P. Ferec, P. Patrice and J. Girard. 1983. Effects of medium chain triglyceride feeding on glucose homeostasis in the newborn rat. *Am. J. Physiol.* 244:E329-334.

Perez-Alonso, C., J. Cruz-Olivares, J. F. Barrera-Pichardo, M. E. Rodriguez-Huezo, J. G. Baez-Gonzalez and E. J. Vernon-Carter. 2008. DSC thermo-oxidative stability of red chili oleoresin microencapsulated in blended biopolymers matrices. *J. Food Eng.* 85:613-624.

Phillips, I., M. Casewell, T. Cox, B. De Groot, C. Friis, R. Jones, C. Nightingale, R. Preston, and J. Waddell. 2004. Does the use of antibiotics in food animals pose

a risk to human health? A critical review of published data. *J. Antimicrob. Chemother.* 53:28–52.

Pierce, J. and Z. Stevenson. 2008. Nutrition and gut microbiology: redirecting nutrients from the microbes to the host animal with SSF. In: J. A. Taylor-Pickard and P. Spring (Ed.). *Gut Efficiency; the Key Ingredient in Pig and Poultry Production*. pp.167-182. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Ricke, S. C. 2003. Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poultry Sci.* 82:632-639.

Roediger, W. E. 1980. Role of anaerobic bacteria in the metabolic welfare of the colonic mucosa in man. *Gut* 21:793–798.

Rolfe, R.D. 2000. The role of probiotic cultures in the control of gastrointestinal health. *J. Nutr.* 130:396S-402S.

Romero, C., P. G. Rebollar, L. Moscati, A. Dal Bosco, C. Castellini and R. Cardinali. 2012. Effect of substitution of medium-chain organic acids for zinc bacitracin in a diet containing colistin on performance and development of intestinal lymphoid tissues in growing rabbits experimentally infected with *Escherichia coli* O103 and *Clostridium perfringens* toxinotype A. *Anim. Feed Sci Technol.* 177:174-181.

Rossi, R., G. Pastorelli, S. Cannata and C. Corino. 2010. Recent advances in the use of fatty acids as supplements in pig diets: A review. *Anim. Feed Sci. Tech.* 162:1-11.

Russell, J. B. 1992. Another explanation for the toxicity of fermentation acids at low pH; anion accumulation versus uncoupling. *J. Appl. Bacteriol.* 73:363-370.

Russell, J. B. and F. Diez-Gonzales. 1998. The effects of fermentation acids on bacterial growth. *Adv. Microb. Physiol.* 39:205-234.

Sakata, T. 1988. Chemical and physical trophic effects of dietary fibre on the intestine of monogastric animals. In: L. Buraczewska, S. Buraczewski, B. Patuszewska and T. Zebrowska (Ed.) *Digestive Physiology in the Pig*, pp.

128-135. Polish Academy of Sciences, Jablonna.

Sakata, T., M. Adachi, M. Hashida, N. Sato and T. Kojima. 1995. Effect of n-butyric acid on epithelial cell proliferation of pig colonic mucosa in short-term culture. *Dtsch. Tierarztl. Wochenschr.* 102:163-164.

Sanders, M. E. 1993. Effect of consumption of lactic cultures on human health. *Adv. Food Nutr. Res.* 37:67-130.

SAS, 2000. *SAS User's Guide*. Statistical Analysis Institute, Inc., Cary, NC.

Seaton, T. B., S. L. Well, 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.

Shambaugh, G. E. 1985. Ketone body metabolism in the mother and fetus. *Fed. Proc.* 44:2347-2351.

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.

Si, W., J. Gong, C. Chanas, S. Cui, H. Yu, C. Caballero and R. M. Friendship. 2006a. In vitro assessment of antimicrobial activity of carvacrol, thymol and cinnamaldehyde towards *Salmonella* serotype Typhimurium DT104: effects of pig diets and emulsification in hydrocolloids. *J. App. Microbiol.* 101: 1282-1291.

Si, W., J. Gong, R. Tsao, T. Zhou, H. Yu, C. Poppe, R. Johnson and Z. Du. 2006b. Antimicrobial activity of essential oils and structurally related synthetic food additives towards selected pathogenic and beneficial gut bacteria. *J. Appl. Microbiol.* 100:296-305.

Simon, O., A. Jadamus, and W. Vahjen. 2001. Probiotics feed additives—effectiveness and expected modes of action. *J. Anim. Feed Sci.* 10:51-67.

Skřivanová, V. and M. Marounek, 2002. Effects of caprylic acid on performance and

mortality of growing rabbits. *Acta Vet. Brno* 71: 435-439.

Skrivanova, V. and M. Marounek. 2006. A note on the effect of triacylglycerols of caprylic and capric acid on performance, mortality, and digestibility of nutrients in young rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 127:161-168.

Skrivanova, E. Z. Molatova and M. Marounek. 2008. Effects of caprylic acid and triacylglycerols of both caprylic and capric acid in rabbits experimentally infected with enteropathogenic *Escherichia coli* O103. *Vet. Micro.* 126:372-376.

Skrivanova, E. Z. Molatova, V. Skrivanova and M. Marounek, 2009. Inhibitory activity of rabbit milk and medium-chain fatty acids against enteropathogenic *Escherichia coli* O128. *Vet. Micro.* 135:358-362.

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

Solis de los Santos, F., A. M. Donoghue, K. Venkitanarayanan, I. Reyes-Herrera, J. H. Metcalf, M. L. Dirain, V. F. Aguiar, P. J. Blore and D. J. Donoghue. 2008b. Therapeutic supplementation of caprylic acid in feed reduces *Campylobacter jejuni* in broiler chicks. *Appl. Environ. Microbiol.* 74:4564-4566.

Solis de los Santos, F., A. M. Donoghue, K. Venkitanarayanan, J. H. Metcalf, I. Reyes-Herrera, M. L. Dirain, V. F. Aguiar, P. J. Blore and D. J. Donoghue. 2009. The natural feed additive caprylic acid decreases *Campylobacter jejuni* colonization in market-aged broiler chickens. *Appl. Environ. Microbiol.* 88:61-64.

Stokstad, E. L.R., T. H. Jukes, J. Pierce, A. C. Page, Jr. and A. L. Frenklin. 1949. The multiple nature of the animal protein factor. *J. Biol. Chem.* 180:647-654.

St-Onge, M. P., A. Bosarge, L. L. T. Goree and B. Darnell. 2008. Medium chain triglyceride oil consumption as part of a weight loss diet does not lead to an adverse metabolic profile when compared to olive oil. *J. Am. Coll. Nutr.* 27: 547-552.

- Stubbs, R. S. and B. E. Stabile. 1985. Role of cholecystokinin in pancreatic exocrine response to intraluminal amino acids and fat. *Am. J. Physiol.* 11:G347-G352.
- Sukhija, P. S. and D. L. 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. Roberton. 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.
- Takada, R., Y. Kaji, M. Saitoh and T. Mori. 1994. Effects of dietary medium and long-chain triglycerides on the ileal digestibilities of amino acids in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 65:432-436.
- Takana, H., K. Doesburg, T. Iwasaki and I. Mierau. 1999. Screening of lactic acid bacteria for bile salt hydrolase activity. *J. Dairy Sci.* 82:2530-2535.
- Takeuchi, H., N. Osamu, S. Seiji, K. Aiko and A. Toshiaki. 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.
- Tekeli, A., L. Çelik, H. R. Kutlu and M. Gorgulu, 2006. Effect of dietary supplemental plant extracts on performance, carcass characteristics, digestive system development, intestinal microflora and some blood parameters of broiler chicks. XII European Poultry Conference, Italy, 10 – 14 Sept.
- Tholstrup, T., C. Ehnholm, M. Jauhiainen, M. Petersen, C. E. Hoy, P. Lund and B. Sandstrom. 2004. Effects of medium-chain fatty acids and oleic acid on blood lipids, lipoproteins, glucose, insulin, and lipid transfer protein activities. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 564-569.
- Thormar, H., H. Hilmarsson and G. Bergsson. 2006. Stable Concentrated Emulsions of the 1-Monoglyceride of Capric Acid (Monocaprin) with Microbicidal Activities against the Food-Borne Bacteria *Campylobacter jejuni*, *Salmonella* spp., and *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microb.* 72:522-526.

- Thormar, H. and H. Hilmarsson. 2007. The role of microbicidal lipids in host defense against pathogens and their potential as therapeutic agents. *Chem. Phys. Lipids* 150:1-11.
- Torrallardona, D., M. R. Conde, I. Badiola, J. Polo and J. Brufau. 2003. Effect of fishmeal replacement with spray-dried animal plasma and colistin on intestinal structure, intestinal microbiology, and performance of weanling pigs challenged with *Escherichia coli* K99. *J. Anim. Sci.* 2003. 81:1220-1226.
- Tortora, G. J. and N. P. Anagnostakos. 1984. *Principles of Anatomy and Physiology*. 4th ed. Harper and Row, Publishers. New York, USA.
- Touchburn, S. P., S. Sebastian and E. R. Chavez. 1999. Phytase in poultry nutrition. In: P. C. Garnsworthy and J. Wiseman (Ed.) *In Recent Advances in Animal Nutrition*, p. 147-164. Nottingham University Press, UK.
- Travis, D., A. Minenna and H. Frier. 1979. Effect of medium chain triglyceride on energy metabolism and body composition in the rat. *Fed. Proc.* 38:561 (Abstr.).
- Traul, K. A., A. Driedger, D. L. Ingle and D. Nakhasi. 2000. Review of the toxicologic properties of medium-chain triglycerides. *Food Chem. Toxicol.* 38:79-98.
- Turlan, P. and J. R. Girard. 1983. Evidence that medium-chain fatty acid oxidation can support an active gluconeogenesis in the suckling newborn rat. *Bio. Neonate* 43:103-108.
- Usman and A. Hosono. 1999. Viability of *Lactobacillus gasseri* and its choleseol-binding and antimutagenic activities during subsequent refrigerated storage in nonfermented milk. *J. Dairy Sci.* 82:2536-2542.
- Valdivieso, V. 1972. Absorption of medium-chain triglycerides in animals with pancreatic atrophy. *Am. J. Dig. Dis.* 17:129-136.
- Vanbelle, M. 2001. Current status and future perspectives in E. U. for antibiotics, probiotics, enzymes and organic acids in animal nutrition. In: A. Piva, K. E. Bach Knudsen and J. E. Lindberg (Ed.) *Gut Environment of Pigs*. pp. 231-256.

Nottingham University Press, Nottingham, UK.

- Van Immerseel, F. V., J. D. 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 *hilA* suppression shortly after infection of chickens with *Salmonella enterica* serovar enteritidis. *Appl. Environ. Microb.* 70:3582-3587.
- Vente-Spreuwenberg, M. A. M., J. M. A. Verdonk, A. C. Beynen and M. W. A. Verstegen. 2003. Interrelationships between gut morphology and faeces consistency in newly weaned piglets. *Anim. Sci.* 77:85-94.
- Verstegen, M. W. A. and B. A. Williams. 2002. Alternatives to the use of antibiotics as growth promoters for monogastric animals. *Anim. Biotechnol.* 13:113-127.
- Vervaeke, I., J. Decuypere, N. Dierick and H. Henderickx. 1979. Quantitative in vitro evaluation of the energy metabolism influenced by Virginiamycin and Spiramycin used as growth promoters in pig nutrition. *J. Anim. Sci.* 49:846-856.
- Viegas, C. A. and I. Sa-Correia. 1991. Activation of plasma membrane ATPase of *Saccharomyces cerevisiae* by octanoic acid. *J. Gen. Microbiol.* 137:645-651.
- Visek, W. J. 1978. The mode of growth promotion by antibiotic. *J. Anim. Sci.* 46:1447-1469.
- Waksman, S. A. 1953. Streptomycin: background, isolation, properties, and utilization. *Science* 118:259-266.
- Wang, R., D. Li and S. Bourne. 1998. Can 2000 years of herbal medicine history help us solve problems in the year 2000? In: *Biotechnology in the Feed Industry: Proceedings of Alltech's 14th Annual Symposium*, pp.273-291. Kentucky, USA.
- Warren, H. S., S. A. Kania and G. R. Siber. 1985. Binding and neutralization of bacterial lipopolysaccharide by colistin nonapeptide. *Antimicrob. Agents Chemother.* 28:107-112.

- Windisch, W. and A. Kroismayr. 2006. The effects of phytobiotics on performance and gut function in monogastrics. Accessed in 2006. www.feedinfo.com.
- World Health Organization. 2003. Impacts of antimicrobial growth promoter termination in Denmark. In: Document WHO/CDS/CPE/ZFK/2003.1, pp. 1-57. WHO, Foulum, Denmark.
- Xiao, J. Z., S. Kondo, N. Takahashi, K. Miyaji, K. Oshida, A. Hiramatsu, K. Iwatsuki, S. Kokubo and A. Hosono. 2003. Effects of milk products fermented by *Bifidobacterium longum* on blood lipids in rats and healthy adult male volunteers. *J. Dairy Sci.* 86:2452-2461.
- Xu, Z. R., C. H. Hu, M. S. Xia, X. A. Zhan and M. D. Wang. 2003. Effects of dietary fructooligosaccharides on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Sci.* 82:1030-1036.
- Yang, Y., P. A. Iji and M. Choct. 2009. Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *World's Poult. Sci. J.* 65:97-114.
- Zani, J.L., F. W. D. Cruz, A. F. D. Santos and C. Gil-Turnes. 1998. Effect of probiotic CenBiot on the control of diarrhoea and feed efficiency in pigs. *J. Appl. Microbiol.* 84:68-71.
- Zhang, W. F., D. F. Li, W. Q. Lu and G. F. Yi. 2003. Effects of isomaltoligosaccharides on broiler performance and intestinal microflora. *Poultry Sci.* 82:657-663.
- Zheng, C. T., H. Jorgensen, C. E. Hoy 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.

Abstract

Two trials were conducted to investigate the effect of dietary supplementation of medium-chain triglycerides (MCT) and colistin sulfate (CS) on growth performance and gut health of weanling pigs. Trial 1, 256 pigs (5.94 kg) weaned at 21 days were randomly allotted to 4 treatments, 4 replicates per treatment, 16 pigs per replicate. Pigs were fed diets supplemented with 0 or 3% MCT (C6:C8:C10=1:2:1) and 0 or 40 ppm CS in a 2 × 2 factorial design for 2 weeks. Trial 2, 544 pigs (6.32 kg) weaned at 26 days were randomly allotted to 8 treatments, 4 replicates per treatment, 16 to 18 pigs per replicate. Pigs were fed diets supplemented with 0, 1, 2 or 3% MCT and 0 or 40 ppm CS in a 4 × 2 factorial design for 2 weeks. Growth performances, survival rate, diarrhea score, pH and microbial counts of digestive tract contents, plasma composition, liver weight and glycogen content were measured in trial 1 and 2. Villus height and crypt depth of jejunum were measured in trial 2 only. Because of the inconsistency and large variation, the results of same treatment in two trials were combined. The combined results showed that dietary supplementation of MCT did not affect body weight gain and feed intake, but improved feed efficiency at 3 to 7 day and 0 to 14 day ($P < 0.05$), and tended to decrease average number of diarrhea pigs at 0 to 3 day after weaned ($P < 0.10$). Dietary supplementation of MCT decreased large intestine *E. coli* (E) count ($P < 0.05$), and tended to decrease large intestine total counts of *Lactobacillus* and *E. coli* (L+E) ($P < 0.10$). Dietary supplementation of CS did not affect body weight gain, feed intake and feed efficiency, decreased cecum E and L+E counts ($P < 0.05$), and large intestine E and L+E counts ($P < 0.05$), increased large intestine L/E ($P < 0.05$), and tended to decrease small intestine and large intestine *Lactobacillus* counts ($P < 0.10$), also tended to increase *Lactobacillus* to *E. coli* ratio ($P < 0.10$). Dietary supplementation of MCT or CS did not affect survival rate, diarrhea score, pH of digestive tract contents, plasma composition, liver weight and glycogen content, and villus height and crypt depth. No interaction but additive effects between MCT and CS in most of measurements were found indicating the mechanism for the measurements between MCT and CS are different. In conclusion, MCT can be used as an alternative of CS to improve the growth performance of weanling pigs. Their efficacy can be maximized by supplementing MCT and CS simultaneously in weanling pig diet.

Key words: Gut health, Growth performance, Medium-chain triglyceride, Antibiotic, Weanling pig

附錄 1. 脂肪酸甲基化處理

參考文獻：

Sukhija, P. S., and D. L. Palmquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 119:521-528.

原 理：

先將脂肪酸甲基化，使之更易揮發，再以氣相色層分析儀分析飼糧及迴腸內容物中之脂肪酸組成。

步 驟：

1. 取適量之樣品置於有蓋試管中。
2. 加入 2 mL benzene 及 3 mL 新鮮之 methanolic HCl (5%)。
3. 蓋緊後慢慢搖晃，於 70 °C 下水浴 2 小時。
4. 冷卻至室溫。
5. 加入 5 mL 6% K₂CO₃，再加入 2 mL benzene，使 pH 值至中性，以避免填充管之填充物被破壞。
6. 以 1500 rpm 離心 5 分鐘。
7. 取上層液以 anhydrous sodium sulphate 及 activated charcoal 過濾，即得甲基化之脂肪酸樣品。

附錄 2. 微生物培養

參考文獻：

Jin, L.Z., Ho, Y.W., Abdullah, N. and Jalaludin, S. 1998. Acid and bile tolerance of *Lactobacillus* isolated from chicken intestine. *Lett. Appl. Microbiol.* 27: 183-185.

原 理：

將樣品稀釋並以培養皿培養完成後，計算其菌落數。

步 驟：

1. 取 1 g 樣品，以 phosphate buffer saline (PBS)(含 0.14 M NaCl, 0.003 M KCl, 0.002 M K_2HPO_4 and 0.01 M Na_2HPO_4) 進行 10 倍數之連續稀釋。
2. 取菌落數介於 20-200 間稀釋倍數（先透過預備試驗測得）之 1 mL 稀釋液注入有蓋培養皿中，並加入不同之培養基。乳酸菌使用 MRS agar，大腸桿菌使用 chromocult coliform agar。
3. 將 MRS agar 置於恆溫培養箱中以 37 °C 培養 48 小時；chromocult coliform agar 則以 37 °C 培養 24 小時。
4. 計算培養皿中之菌落數。

附錄 3. 肝臟中肝醣含量測定方法

參考文獻：

Benevenga et al. 1989. Utilization of medium-chain triglyceride by neonatal piglet: 1. Effect on milk consumption and body fuel utilization. J. Anim. Sci. 67:3331-3339.

原 理：

先利用 amyloglucosidase 將肝醣分解為葡萄糖，再使用葡萄糖分析套件 (Sigma Chemical Co. St. Louis, MO. USA) 及光電比色計測定之。

步 驟：

1. 以均質機 (laboratory blender 7010G/51BL30, Waring Commercial, USA) 將肝臟均質化。
2. 秤取約 1 g 肝臟樣品，放入試管中。
3. 加入 20 mL 0.15 N Perchloric acid，混合均勻。
4. 將混合液以 800 × g 離心 20 分鐘，取上清液加入 4 倍水稀釋。
5. 取 0.025 mL 稀釋液，加入 0.23 mL 含 18 單位 amyoglucosidase 之 acetate buffer (pH 4.5)，以 37°C 水浴培養 30 分鐘。
6. 以葡萄糖分析套件測定分解出之葡萄糖含量。
7. 以商業用純肝醣做為標準，推算肝臟中肝醣含量，公式如下：

$$\frac{\text{肝臟中肝醣}}{\text{商業用肝醣}} = \frac{\text{肝臟中肝醣分解之葡萄糖量}}{\text{商業用肝醣分解之葡萄糖量}}$$

小傳

作者生於民國七十五年四月十七日，台灣省台南市人，先後畢業於台南市立大港國小、台南市立文賢國中、國立台南第一高級中學及私立東海大學畜產與生物科技學系。九十七年考取東海大學畜產與生物科技學研究所碩士班，師從 姜樹興博士研習禽畜營養迄今。

