



國立臺灣大學生物資源暨農學院動物科學技術學系

碩士論文

Department of Animal Science and Technology

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master's Thesis

白肉雞利用棕櫚油粉所含能量之探討

To investigate the energy utilization of palm oil powder
in broiler chickens

李冠緯

Kuan-Wei Lee

指導教授： 魏恒巍 博士

Advisor: Hen-Wei Wei, Ph.D.

中華民國一十四年六月

June, 2025

誌謝



首先，我要向我的導師魏恒巍老師表達最深的感謝。在我遇到研究困難時，他總是耐心地給予指導，幫助我在研究方向上找到清晰的思路。在我迷茫或遇到挑戰時，魏恒巍老師的鼓勵和專業建議讓我得以克服學術上的瓶頸，並堅持完成論文。特別感謝口試委員王翰聰老師、李滋泰老師與謝宗霖學長。感謝理樂股份有限公司支持完成這項研究，感謝宗霖與昱成學長在實驗上提供許多幫助。感謝系上曾經教導與關心的老師們，也感謝系辦游位育學長、廖奕雯學姊與陳宜鴻學長在行政事務上的幫助。

其次，我要感謝我的學長們。特別是郭東隴（東東）與威廷學長，他們在我研究的不同階段提供了寶貴的經驗和技術支持。他們不僅幫助我解決了實驗過程中的技術難題，還與我分享了許多他們在學術寫作和論文發表方面的經驗，這些建議讓我在學術道路上受益匪淺。感謝丁煜軒（火車）、昱成學長抽空指導。同時，我也要感謝我的學弟妹們，奕翔、宛庭、阿嫻、士凱、博凱、宇浩、意仁、家瑜、光祥、尊睿，他們在研究過程中提供了諸多協助，無論是協助整理數據還是討論實驗設計，他們的熱心參與讓我的研究能夠更加順利地進行。學弟妹們的積極態度和合作精神讓這段學術旅程變得更加豐富。也要感謝為實驗犧牲的蛋公雞與白肉雞們。

最後，我要深深感謝我的家人。他們的理解、支持和鼓勵是我度過這段繁忙而艱難的時期的堅實後盾。無論在我研究遇到困難時，還是在我感到壓力和疲憊時，家人們始終在背後給予我無條件的支持，讓我能夠專注於學術工作並最終完成論文。

「拾穗」的精神從實驗室魏老師始終重複開示著，學習老師與學長姐的經驗，不再犯下重複的錯誤。感謝所經歷過的一切，期望可以抱著積極正向與謙虛的態度邁向下一段旅程。

摘要



隨著白肉雞產業的快速發展，對高效能量來源的需求日益增加。棕櫚油因其高能量密度及改善飼料嗜口性的特性，在家禽飼料中具有重要應用價值。而棕櫚油粉在保育豬飼糧中已展現優異表現，然其在家禽飼糧中的應用效果尚待評估。本研究旨在探討白肉雞對棕櫚油粉所含能量的利用能力。

研究分為三個試驗：試驗一以全糞收集法檢測能量之消化率，選用 39 週齡來亨蛋公雞，測定棕櫚油、含游離甘油棕櫚油粉與不含游離甘油棕櫚油粉的氮矯正真可代謝能 (TME_n) 濃度，結果分別為 8683.77、7063.70 與 8489.60 cal/g，三者均呈現高達 90% 的能量消化率。試驗二採用指示劑法，以 0 日齡 Ross 308 白肉雞為實驗動物，將生長階段分為育雛期、生長期與肥育期，評估不同油脂來源對能量消化率的影響。結果顯示，隨著白肉雞生長，各組飼糧之能量消化率均呈現上升趨勢。棕櫚油在育雛期、生長期和肥育期的 AME 分別為 5492.4、6784.4 與 7683.2 kcal/kg；含游離甘油棕櫚油粉分別為 2227.8、4994.4 與 6583.9 kcal/kg；不含游離甘油棕櫚油粉則為 2012.2、3743.9 與 7853.2 kcal/kg。試驗三進行生長試驗，評估不同油脂來源對白肉雞生長性能的影響。結果顯示，棕櫚油組展現最佳生長表現，體重增加達 2108 克，飼料轉換率為 1.29。

本實驗結果顯示，白肉雞對油脂的利用呈現明顯的階段性差異：早期生長階段因消化系統發育不完全，對長鏈飽和脂肪酸的消化吸收效率較低；隨著生長進入後期，不同油脂來源的能量利用效率則趨於一致。此發現說明成熟蛋公雞 AME_n 濃度不宜直接作為白肉雞早期飼糧配方設計的唯一依據。儘管棕櫚油粉在保育豬飼糧中具有良好效果，但證實不適合做為白肉雞飼糧油脂來源。含游離甘油處理組雖未達顯著差異，但在最終上市體重方面呈現正面趨勢。建議實務應用上應採取更精確的分階段營養策略飼養白肉雞，特別是在油脂來源的選擇上，應依據白肉雞不同生長階段的生理特性進行調整。

關鍵字：白肉雞、棕櫚油粉、消化率、可代謝能濃度、真可代謝能濃度

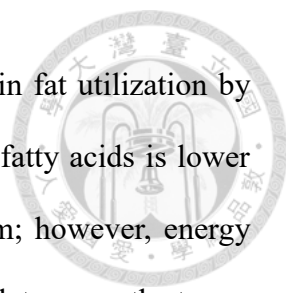


ABSTRACT



With the rapid development of the broiler industry, the demand for high-efficiency energy sources is increasing. Palm oil holds significant application value in poultry feed due to its high energy density and ability to improve feed palatability. While palm oil powder (POP) has shown excellent performance in nursery pig diets, its effectiveness in poultry feed requires evaluation. This study aimed to investigate the ability of broiler chickens to utilize the energy contained in POP.

The research comprised three experiments. Experiment 1 determined the nitrogen-corrected true metabolizable energy (TME_n) concentration of palm oil, POP containing free glycerol, and POP without free glycerol using the total excreta collection method with 39-week-old Leghorn roosters. The TME_n values were 8683.77, 7063.70, and 8489.60 cal/g, respectively, with all exhibiting high energy digestibility exceeding 90%. Experiment 2 employed the indicator method using day-old Ross 308 broiler chickens, divided into starter, grower, and finisher phases, to evaluate the effect of different fat sources on energy utilization. Results showed that the apparent metabolizable energy (AME) of diets in all groups increased as the broilers grew. The AME values (kcal/kg) for palm oil during the starter, grower, and finisher phases were 5492.4, 6784.4, and 7683.2, respectively; for POP containing free glycerol, they were 2227.8, 4994.4, and 6583.9, respectively; and for POP without free glycerol, they were 2012.2, 3743.9, and 7853.2, respectively. Experiment 3 conducted a growth trial to assess the impact of different fat sources on broiler growth performance. Results indicated that the palm oil group exhibited the best growth performance, with a body weight gain (BWG) of 2108 g and a feed conversion ratio (FCR) of 1.29.



The results demonstrate significant age-dependent differences in fat utilization by broilers: efficiency of digesting and absorbing long-chain saturated fatty acids is lower during the early growth stage due to the immature digestive system; however, energy utilization efficiency from different fat sources tends to converge in later growth stages. This finding suggests that TME_n values determined in adult roosters should not be the sole basis for formulating diets for early-stage broilers. Despite its effectiveness in nursery pig diets, POP proved unsuitable as a fat source for broiler feed. Although the treatment including free glycerol (POP containing free glycerol) did not show significant differences, it exhibited a positive trend regarding final market body weight. It is recommended that practical applications adopt more precise phase-feeding strategies, particularly in selecting fat sources adjusted according to the physiological characteristics of broilers at different growth stages.

Keywords: Broiler, palm oil powder, digestibility, apparent metabolizable energy, true metabolizable energy

目次



誌謝	I
摘要	II
ABSTRACT	IV
目次	VI
圖次	IX
表次	X
壹、前言	1
貳、文獻探討	3
一、白肉雞簡介與營養需求趨勢	3
二、動物不同階段營養需求與消化道發育情形	5
(一)、反芻動物(牛)營養需求與消化道發育	5
(二)、單胃動物(豬)營養需求與消化道發育	6
(三)、肉雞營養需求與消化道發育	8
三、飼料能量代謝與消化率	10
(一)、能量之利用	10
(二)、飼料能量評估與氮矯正可代謝能分析	10
(三)、消化率測定方法與指示劑法	12
四、棕櫚油加工對飼料應用之影響	14
(一)、棕櫚油製作過程	14
(二)、棕櫚油加工製品用於動物飼料中	16
(三)、棕櫚油粉的利用性	18
(四)、棕櫚油的經濟效應	19
(五)、棕櫚油粉的經濟效應	21

五、脂肪對經濟動物之利用與應用	24
(一)、消化	24
(二)、吸收	26
(三)、油脂在飼糧之應用	28
參、研究與試驗	31
第一章、以成熟蛋公雞為動物模式，檢測棕櫚油粉之氮矯正可代謝能濃度	31
一、前言	31
二、材料與方法	32
(一)、試驗用成熟蛋公雞之試驗操作	32
(二)、樣品之水分測定與蛋白質測定	32
(三)、油脂脂肪酸組成分析	34
(四)、表面消化率之檢測	34
(五)、表面可代謝能濃度與真可代謝能濃度之測定	35
(六)、統計分析	35
三、結果	37
(一)、棕櫚油、含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉脂肪酸比 例分析	37
(二)、玉米粉、混合原料與排泄物營養分含量與氮蓄積分析	39
(三)、不同油脂來源之混合原料表面消化率、AME、AME _n 、TME、TME _n 與 能量消化率	42
(四)、不同油脂分別以比例或是能量消化率計算之 AME、AME _n 、TME 與 TME _n	44
四、討論	46
第二章、以白肉雞為動物模式，檢測棕櫚油粉之可代謝能濃度	51
一、前言	51



二、材料與方法	52
(一)、白肉雞之試驗操作	52
(二)、表面消化率之檢測	53
(三)、表面可代謝能濃度計算	54
(四)、統計分析	54
三、結果	57
(一)、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞生長表現之影響	57
(二)、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞不同生長階段之能量消化率	60
(三)、不同油脂對白肉雞不同生長階段之 AME 與能量消化率	62
四、討論	67
第三章、棕櫚油粉對白肉雞生長表現之評估	70
一、前言	70
二、材料與方法	71
(一)、白肉雞之飼養管理	71
(二)、統計分析	72
三、結果	76
(一)、不同油脂來源對白肉雞生長表現之影響	76
四、討論	79
肆、綜合討論	82
伍、結論	84
陸、參考文獻	85

圖次

圖 1、1957 年、1978 年未選種的阿爾伯塔大學肉雞對照組與 Ross 308 (2005) 肉雞在 0、28、56 日齡的體型比較 (混合性別體重與正面照片)	4
圖 2、2000/2001 年至 2014/2015 年全球主要植物油按不同植物油種類的產量	21
圖 3、預試驗收集並凍乾的排泄物樣本	50

表次



表 1、含游離甘油之棕櫚油粉之組成分 (%)	36
表 2、油脂之脂肪酸組成 (%)	38
表 3、玉米粉與混合原料之營養分分析 [#]	40
表 4、不同油脂來源冷凍乾燥後排泄物之營養分分析 [#]	40
表 5、不同油脂來源氮含量分析	41
表 6、不同油脂來源之混合原料表面消化率、AME、AME _n 、TME、TME _n 與能量消化率	43
表 7、不同油脂分別以比例或是能量消化率計算之 AME, AME _n , TME 與 TME _n	45
表 8、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值	55
表 9、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞生長表現之影響	59
表 10、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞不同生長階段之能量消化率 [#]	61
表 11、不同油脂對白肉雞不同生長階段之 AME [#]	64
表 12、不同油脂對白肉雞不同生長階段之能量消化率 [#]	65
表 13、白肉雞在不同生長階段之 AME 與蛋公雞測得所測得棕櫚油或油粉們之 AME 對蛋公雞所測得之 AME _n 的百分比值 [#]	66
表 14、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值，0-10 日齡	73
表 15、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值，10-21 日齡	74
表 16、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值，21-35 日齡	75
表 17、不同油脂來源對白肉雞生長表現之影響	78

壹、前言



近年來，白肉雞因其生長速度快、飼料轉換效率高，已成為全球主要的肉類來源之一，其對能量供應的需求也隨之顯著提升 (Maharjan et al., 2021; Choi et al., 2023)。棕櫚油作為一種高能量來源，不僅能有效提高飼料的能量密度，還能改善飼料嗜口性，在家禽飼料中具有重要應用價值 (Saminathan et al., 2022)。棕櫚油經加工後可製成棕櫚油粉，其含有高濃度的棕櫚酸，並在常溫下呈粉狀形態，利於儲存、運輸及與飼料混合。值得注意的是，棕櫚油粉已在保育豬教槽料與飼料中展現出優異的表現，具有高消化率與良好的嗜口性 (Yang et al., 2018; Ren et al., 2020)，但在家禽飼糧中之應用價值，並無任何文獻可供參考。

目前，家禽飼料的能量濃度計算方法，乃是依賴於成熟蛋公雞代謝試驗的數據，並以熱能為單位。成熟蛋公雞其能量需求主要用於維持，因此試驗結果能提供穩定且可靠且經過氮矯正的可代謝能濃度。然而，這些數據直接使用於快速生長的白肉雞飼料時是否恰當？值得深思。剛孵化之白肉雞雛雞的消化道功能尚未臻極，但隨著日齡增加而逐漸完善，方能分泌更多的消化液與膽鹽 (bile acids)，從而提升消化能力 (Tanchaoenrat et al., 2014)，故白肉雞在飼養過程中之消化能力，無法與成熟蛋公雞相對穩定的消化能力類比。因此，如何精確測定棕櫚油粉在白肉雞中的能量利用效率，並考慮其在不同生長階段的消化率變化，是評估其在白肉雞飼糧應用價值的關鍵。

本研究旨在探討棕櫚油與棕櫚油粉在白肉雞飼糧中的可代謝能濃度與其對白肉雞生長性能的影響。試驗分為三個階段進行：第一階段利用成熟蛋公雞測定棕櫚油、含甘油之棕櫚油粉與不含甘油之棕櫚油粉的氮矯正可代謝能濃度 (AMEn)，以評估其基礎能量特性；第二階段檢測生長中白肉雞對上述三種油脂所含熱能的消化率，並分析其是否隨日齡增加而改變；第三階段以前述三種油脂分別進行白肉雞之生長試驗，評估彼等對其生長表現的影響，進而驗證棕櫚油粉的特性，是否能

提升白肉雞之生產效益。通過本研究，希冀能為棕櫚油粉在白肉雞飼料中的應用性提供科學依據。





貳、文獻探討

一、白肉雞簡介與營養需求趨勢

白肉雞 (Broiler Chicken) 係指四個經遺傳育種篩選過能快速生長之純品系種雞相互雜交後所生產之商品肉雞，其特徵為肌肉生長速率顯著高於傳統品種 (Havenstein et al., 2003)。作為全球家禽產業的關鍵商用品種，白肉雞所貢獻之肉類產量佔全球禽肉總產量的八成 (FAO, 2023)，此主導地位源於三項關鍵技術突破：遺傳育種之改良、飼料效率 (feed conversion ratio, FCR) 之優化與飼養管理之改善。經過長期育種選拔，現代商用白肉雞展現出優異的生產性能，相較於 1957 年的雞隻，現代商用白肉雞在 56 日齡時的體重可達前者的 4 倍，飼料轉換效率提升約 50%，同時也具備更高的胸肉產量 (Schmidt et al., 2009; Zuidhof et al., 2014)。

隨著生長速度的提升，現代商用白肉雞對營養分之需求也隨之增加，不僅蛋白質需求量較舊時商用白肉雞者為高，對離胺酸、甲硫胺酸等必需胺基酸的比例平衡要求也更為嚴格 (Baker and Han, 1994; Havenstein et al., 2003)。特別是在生長前期 (0-21 日齡)，適當的營養分供給對於肌肉發展與骨骼形成極為重要 (Leeson and Summers, 2008)。此階段若未能滿足營養分之需求，不僅會影響後續生長表現，更可能導致骨骼發育不良、免疫力下降等問題 (Dibner et al., 1998)。此外，現代商用白肉雞對能量的需求也相應提升，研究顯示其日均可代謝能需求較舊時商用白肉雞約增加 25-30% (Leeson and Summers, 2008; Tallentire et al., 2016)。

近年來，對白肉雞的營養需求之研究趨勢已從單純追求生長速度，轉朝精準營養的方向發展。精準營養強調根據動物生長階段、生理狀態與環境條件，提供最適當的營養分配方，以優化生產效率並減少營養浪費 (Moss et al., 2021)。除了基本的能量與蛋白質外，維生素、礦物質等微量營養素的重要性逐漸受到重視，這些營養素與免疫力的提升密切相關 (Kidd, 2004)。此外，精準營養的概念也應用於消化道健康的調控，透過餵飼特定營養分如中鏈脂肪酸、有機酸等，可有效改善腸道微

生物菌相與黏膜完整性，進而提升養分之吸收效率與加強免疫之功能（Dibner and Richards, 2004; Sugiharto, 2016）。

然而，為了確保營養分的有效利用，必須考量白肉雞在不同生長階段的生理特性與消化道發育情形。研究指出，雞雞的消化生理功能會隨生長階段而改變，從初生時期的消化酶活性不足、腸道菌相未建立，到生長後期需要應對快速生長的營養分需求，都顯示出不同階段有其獨特的生理特性（Sklan and Noy, 2000; Uni et al., 2003）。因此，針對各生長時期的特性制定合適的營養策略，對提升飼養效率至關重要。

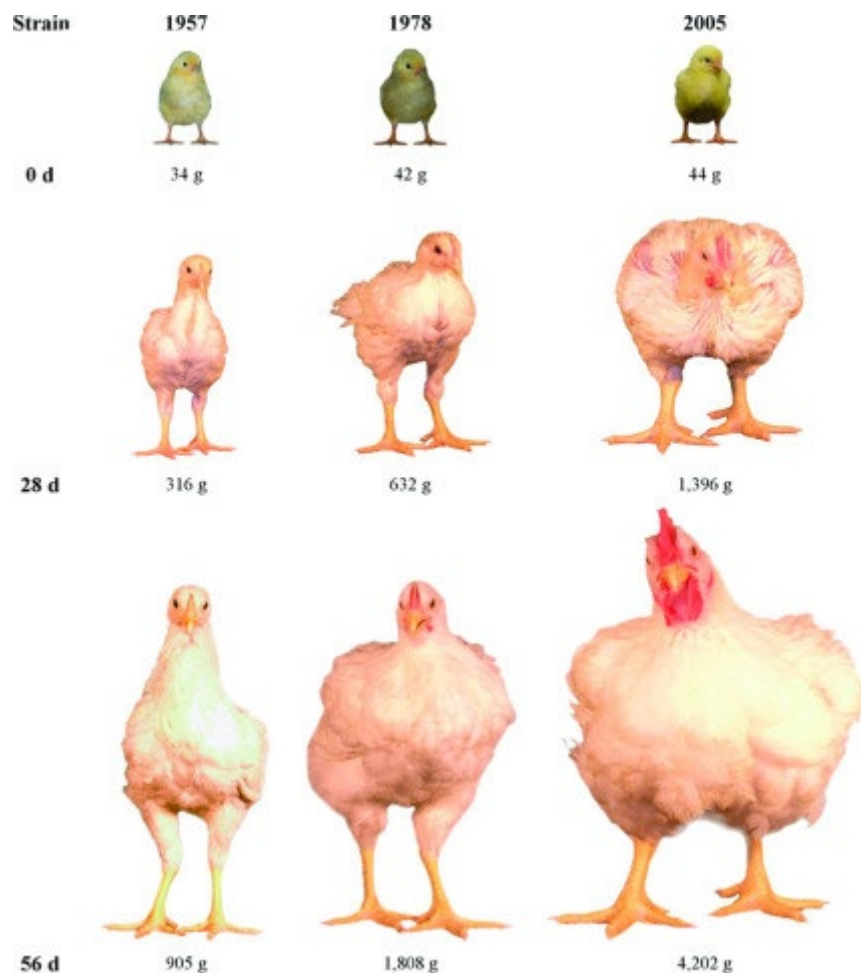


圖 1、1957 年、1978 年未選種的阿爾伯塔大學肉雞對照組與 Ross 308 (2005) 肉雞在 0、28、56 日齡的體型比較（混合性別體重與正面照片）

Figure 1. Size development comparison of unselected meat control strains (University of Alberta, 1957 and 1978) and Ross 308 broilers (2005) at 0, 28, and 56 days of age (mixed-sex body weight and frontal view)

(Zuidhof et al., 2014)



二、動物不同階段營養需求與消化道發育情形

動物體在不同生長階段會因生理機能的發展而有不同的營養需求。Ravindran and Abdollahi (2021) 指出，動物從出生到成熟期間，其消化系統的發育與營養吸收能力會隨年齡產生顯著的變化。特別是在幼年期，消化道的發育程度直接影響營養物質的利用效率，進而決定生長表現 (Pluske et al., 2018)。此外，營養、胃腸道黏膜與微生物群之間存在著複雜的相互作用，這種動態平衡對動物的生長發育和健康狀態具有重要影響 (Conway, 1994)。因此，根據動物生長階段的特性來調整飼糧配方，對於提升飼養效率和維持動物健康至關重要。

(一)、反芻動物（牛）營養需求與消化道發育

反芻動物的消化系統發育具有獨特性，從單胃動物型態逐漸轉變為反芻型消化系統。新生小牛初期主要依賴皺胃（第四個胃）進行消化，瘤胃尚未發育完全 (Davis and Drackley, 1998)。犢牛的營養需求可分為初生及過渡兩個關鍵階段。在初生階段，犢牛必須攝取初乳以獲得被動免疫力，此時期的蛋白質需求約為 20-22%，而脂肪需求則在 10-20% 之間，主要來自乳脂的供應。由於瘤胃尚未發育完全，消化作用主要仰賴皺胃進行 (NRC, 2001)。

在犢牛的營養分需求中，脂肪的品質與組成扮演著關鍵角色。牛初乳 (colostrum) 的脂肪含量約為 6-10%。相較於成熟乳 (mature milk)，初乳含有比較高的長鏈飽和脂肪酸，特別是棕櫚酸 (C16:0) 和肉豆蔻酸 (C14:0)，其含量分別高出 16% 和 27% (Wilms et al., 2022)。此外，初乳中的不飽和脂肪酸

(Unsaturated fatty acids, UFA) 比例也顯著高於成熟乳，約高出 40%。這種獨特的脂肪酸組成，特別是較高比例的 UFA，被認為特別適合初生犢牛的消化與營養需求 (Wilms et al., 2022)。

隨著犢牛逐漸成長進入消化系統之過渡期，其胃部開始產生顯著變化。此階段最重要的特徵是瘤胃的發育，需要透過逐步添加固體飼料(精料搭配切細之乾草)來刺激瘤胃發育，同時協助瘤胃建立微生物菌相。這個時期的營養分之供給逐漸從以乳製品為主，轉變為能夠被消化之粗糧的營養型態。精料中的易發酵性碳水化合物可促進瘤胃乳酸菌的生長，產生的丁酸可刺激瘤胃絨毛發育，進而提升營養吸收效率 (Hill et al., 2007; Van Amburgh et al., 2015)。在這個轉變過程中，脂肪的來源也逐漸從乳脂轉變為飼料中的植物性油脂。此時飼糧中飽和脂肪酸 (Saturated fatty acids, SFA) 比例 (SFA : UFA)，必須被維持在 65:35 左右。但值得注意的是，過多的 UFA 可能會抑制採食 (Wilms et al., 2024)，因此在配製飼糧時需要特別注意不同脂肪酸型態間的平衡。這些營養調控對於日後反芻動物的消化功能發展具有重要意義 (Khan et al., 2016)。

(二)、單胃動物 (豬) 營養需求與消化道發育

豬隻的消化系統發育過程相對單純，但離乳轉換期是重要的生理挑戰。哺乳仔豬從出生開始就面臨重要的營養分需求挑戰。在出生後的頭三天，初乳的攝取對仔豬之營養與免疫至關重要。研究顯示，母豬飲食中添加魚油能有效提升初乳品質，特別是增加初乳中的 IgG 和 IgA 含量，這些免疫球蛋白為仔豬提供關鍵的被動免疫保護。同時，初乳中的 n-3 脂肪酸與其衍生物，對仔豬免疫系統的發展也扮演重要角色 (Llaurado-Calero et al., 2025)。

哺乳期間仔豬對營養分之獲取主要依賴母乳。這個階段的仔豬消化系統尚未完全發育，特別適合消化乳製品，其胃蛋白酶系統搭配凝乳酶 (rennin) 專門針對酪蛋白 (Casein) 進行水解 (Walker, 2009)；胃中的胃解脂酶 (gastric lipase) 與腸



道中胰解脂酶（pancreatic lipase）應對乳脂肪的消化；而腸道具有顯著的乳糖酶（Lactase）活性則擔任消化乳糖之功能。補充中鏈脂肪酸（Medium-chain fatty acids, MCFA）對這個階段的仔豬特別有益，因為 MCFA 可以直接被門靜脈吸收，為腸細胞提供即時能量。根據 Lauridsen（2020）的研究，MCFA 還具有類似短鏈脂肪酸的抗菌特性，有助於預防腸道病原菌的過度生長。

約從 7 日齡開始，農場會開始實施教槽（creep feeding）的餵飼計畫。其目的是讓仔豬的消化系統逐步接觸並適應固體飼料，為即將到來的離乳做準備。教槽料的餵飼不僅可以刺激消化酶的分泌，還能促進消化系統的整體發育，藉由此循序漸進的過程，讓仔豬的消化系統有足夠時間適應固態飼料。

當仔豬接近離乳日齡（21-28 日齡）時，其消化系統已經有了顯著發展。消化酶活性增加，腸道微生物群逐漸趨於穩定，對固體飼料的耐受度也明顯提升。由於受限於母豬之泌乳能力，日益成長的仔豬必須逐步減少對母乳的依賴，同時增加固體飼料的攝入量，以確保仔豬能夠順利度過離乳期的營養轉換。根據 Lalles et al.（2007）的研究，仔豬的消化系統發育與飼料型態密切相關，因此在整個哺乳期間，適當的營養管理策略對確保仔豬健康生長具有決定性作用。透過合理的飼養管理，包括適時補充 MCFA、實施教槽餵飼等措施，能夠有效降低離乳壓力，幫助仔豬順利完成這個重要的生理發展階段。

在哺乳仔豬的營養補充策略中，除了 MCFA 的應用，L-麩醯胺酸（L-glutamine）的補充也具有重要意義。研究表明，作為一種營養補充劑，L-麩醯胺酸在維持腸道完整性和促進腸道發育方面發揮關鍵作用。這種胺基酸不僅能增強腸道屏障功能，還可以調節免疫反應，提升仔豬的生長性能。特別是在應對離乳壓力時，L-麩醯胺酸的補充能有效減少腸道損傷，維持腸道絨毛的結構完整性，進而提升營養物質的吸收效率（Arnaud et al., 2023）。

隨著仔豬進入離乳階段，其生理機能產生顯著變化。首先，其消化系統開始逐步發育成熟，體內的消化酶活性明顯提升。與此同時，腸道內的微生物生態系統也

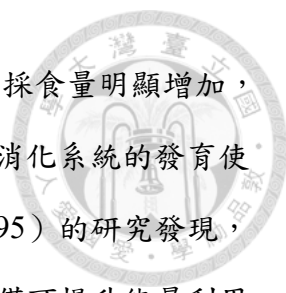


開始建立。在此階段選擇飼料原料時，必須特別注意其消化率，確保仔豬能夠有效吸收攝取的營養物質。除此之外，UFA 在仔豬的生長發育中扮演著重要角色。特別是必需脂肪酸亞麻油酸 (Linoleic acid, LA)，對於維持腸道健康與增強免疫功能具有顯著效果。根據 Lauridsen (2020) 的研究指出，適量添加此營養素，能夠有效促進仔豬的健康發展。因此，在規劃離乳仔豬的營養方案時，應當全面考慮這些因素，以確保其健康成長。根據劉等 (2004) 的營養建議，離乳仔豬由於消化酶系統尚未完全發育，若提供含 22% 蛋白質與 6% 大豆油之飼糧，可致使較佳的生長表現。Cera et al. (1989) 研究發現，離乳仔豬對椰子油的消化率在離乳第一週明顯優於玉米油和牛油，但此優勢將隨週齡之增加而逐漸減弱，至離乳後第四週時，仔豬對三種油脂的消化率已無顯著差異，此意味著仔豬消化系統的發育進程。

綜上所述，離乳仔豬的營養管理需要根據其消化系統生理發育階段而進行相應的調整。在離乳初期，應選用消化率較高的原料，如椰子油等含 MCFA 的油脂來源；隨著消化系統逐漸成熟，可逐步過渡到其他油脂來源。同時，適量添加 UFA，並維持適當的蛋白質水準（約 22%），對促進仔豬健康生長具有重要意義。妥善的營養配置不僅能確保仔豬的生長性能，更能為其日後的生產潛力奠定良好基礎。

(三)、肉雞營養需求與消化道發育

肉雞因生長速度快，其消化道發育與營養需求變化更為明顯。肉雞的生長發育可分為三個主要階段，每個階段的營養需求和消化能力都有顯著差異。在育雛期（0-10 日齡），雛雞的消化系統尚未完全發育，消化酶和膽汁分泌量有限，需要提供高消化率的原料，並維持 23% 的蛋白質含量。根據 Tancharoenrat et al. (2014) 研究指出，此時期對脂肪的消化率普遍較差，特別是長鏈飽和脂肪酸 (Long-chain saturated fatty acids, LCSFA，如棕櫚酸與硬脂酸)。Ravindran et al. (2016) 建議在育雛期添加 MCFA 的油脂，因其無需依賴膽汁鹽即可被吸收，具有較高的消化率。



進入生長期（10-21 日齡）後，雛雞的消化功能逐漸成熟，採食量明顯增加，此時飼料中蛋白質濃度降至 21%，但對能量的需求相對提高。消化系統的發育使其對各類油脂的消化能力明顯提升。根據 Leeson and Atteh（1995）的研究發現，在生長期添加 UFA 含量較高的植物油（如大豆油、玉米油），不僅可提升能量利用效率，還能改善飼料轉換率。這主要是因為 UFA 較易形成微膠粒（micelle），且容易被胰解脂酶水解，有助於脂肪的消化吸收。

到了肥育期（21-35 日齡），雞隻的消化系統已經接近發育完全，蛋白質需求進一步降低至 19%。此階段由於肉雞快速生長，體重顯著增加，導致基礎代謝率上升，加上體溫調節及活動所需的能量消耗增加，使其對各種緊迫因素更加敏感。根據 Lin et al.（2019）的研究指出，過高的代謝熱會增加熱緊迫（heat stress）的風險，特別是在環境溫度較高時。為了降低飼料引起的熱增值（Heat increment），可透過提高飼料能量濃度，並適當調整蛋白質對能量比例（Leeson and Summers, 2019）。這個時期的脂肪消化能力已趨於穩定，可靈活運用各種油脂來源以優化飼料配方，同時也要注意避免過高的能量濃度造成脂肪沉積過多的問題。在高溫環境下，棕櫚油的添加對肉雞具有多重效益。由於棕櫚油具有較高的能量濃度且熱增值較低，可減輕高溫環境下肉雞的代謝壓力。棕櫚油中豐富的棕櫚酸（C16:0）和油酸（C18:1）有利於消化吸收，這些脂肪酸所形成的油脂，在組織中的沉積，能提升肉品的氧化穩定性。整體而言，棕櫚油的添加可有效改善高溫環境下肉雞的生長表現和肉品品質。

總結來看，肉雞在不同生長階段對油脂的消化能力和需求各異。育雛期適合添加易消化的 MCFA，生長期可使用 UFA 含量較高的植物油，而在肥育期則可根據環境條件靈活運用各種油脂來源。透過對各階段營養需求的深入了解，並針對性地選擇適當的油脂來源，可有效提升肉雞的生產效能和肉品品質。這種因應不同生長階段調整油脂使用策略的方法，不僅能確保肉雞的健康生長，更能實現經濟效益的最大化。



三、飼料能量代謝與消化率

(一)、能量之利用

在營養學上，飼料所含可被消化之能量本身並非指六大營養分中的任一種營養分，而是使由碳水化合物、脂質與蛋白質等營養分，在代謝過程中能形成高能磷酸鍵之化學能（淨能）與所釋放之熱能（熱增值）的統稱。這些營養分在異化代謝過程中，透過檸檬酸循環（TCA cycle）所產生的還原力（NADH 與 FADH_2 ），其電子經由電子傳遞鏈將氧還原為水，同時將營養分中的化學能轉化為磷酸高能鍵（ATP）。此過程釋放的能量可分為兩部分：一部分驅動動物生理活動，另一部分則透過同化代謝重新合成營養素（化學能儲存形式）。以脂質為例，飼糧或體內貯存的三酸甘油酯可被脂肪酶水解為甘油與脂肪酸。甘油有兩個代謝路徑產生 ATP，分別產生 21 與 22 個 ATP。脂肪酸作為脂質中能量的主要來源，經 β -氧化產生乙醯輔酶 A，乙醯輔酶 A 進入 TCA cycle，透過電子傳送鏈產生 ATP，以棕櫚酸為例可以產生 129 個 ATP，脂肪酸鏈長越長產生之 ATP 越多，反之越少。

(二)、飼料能量評估與氮矯正可代謝能分析

總能（gross energy），係指單位重量物質經完全氧化（燃燒）後所釋放之熱量值，將飼料中化學能完全氧化（燃燒）轉換為熱能，再測熱產量而獲得。飼料原料中總能主要源自於其所含的碳水化合物、蛋白質與脂質，故此三種營養分之含量決定飼料原料之總能含量。然而，總能僅是理論上飼糧的能量上限，並未考慮動物消化與代謝過程中的損失。

可消化能（digestible energy, DE）是總能扣除糞便排出的能量後所得。糞能包含兩部分：未消化的飼料殘渣，與動物本身的代謝性廢物，例如腸道脫落細胞、黏液、消化酶、膽汁和腸道中微生物。若僅扣除糞便中的總能量，所得為表面可消化能（apparent digestible energy）；若要更精確計算，則需進一步扣除內源性糞能（又

稱代謝性糞能，metabolic fecal energy)，此部分可透過禁食試驗或餵飼完全可消化飼料（如純葡萄糖）來測定，最終得到真可消化能（true digestible energy）。

將動物攝取之總能扣除由糞便排出之糞能、由尿排出之尿能（urinary energy）與由氣體排出之氣體能（gaseous energy），便可得到可代謝能（metabolizable energy, ME）。在家禽中，由於氣體能極低，且糞尿混合排出，因此通常直接以 ME 表示飼料的能量濃度。與 DE 類似，ME 亦因有無考慮到內源性能量的排泄，分為表面可代謝能（apparent metabolizable energy, AME）和真可代謝能（true metabolizable energy, TME），後者需校正內源性代謝損失，包含代謝性糞能與代謝性尿能。

此外，由於蛋白質代謝會產生含氮廢物（如尿酸），部分能量會隨之流失，因此發展出氮矯正可代謝能（nitrogen-corrected metabolizable energy; ME_n ），特別是在以成熟動物作為動物模式。在雞隻中，由於以蛋白型式蓄積之能量，在體內經異化作用代謝產生能量時，需要進行轉胺或是脫胺作用去除其胺基，部分能量以尿酸型式排出體外，無法被動物利用，故需要進行矯正。尿酸中每公克氮之總能（燃燒熱）為 8.22 千卡。氮矯正的必要性在於動物處於分解蛋白質狀態時，如維持狀態中的成年動物，若是餵飼單一飼糧原料，能量無法滿足動物，體內胺基酸會降解進行異化作用產生能量，此時就需要進行氮矯正。

然而，對於生長階段的動物，在測定飼料能量時，情況有所不同。實驗通常採用 AME 的測定方法，並且使用的是提供接近其營養需求、能量與蛋白質充足的混合飼糧，而非單一原料。這是因為生長中動物的主要目標是最大化增重，其飼糧配方設計本身就旨在促進蛋白質的蓄積。因此，這些動物通常處於正氮平衡狀態，攝入的大部分蛋白質被有效用於合成新的身體組織。這與評估單一飼料原料，或動物處於維持、負氮平衡狀態顯著不同。在生長中動物攝取混合飼糧時，只有相對較少比例的蛋白質會進入異化代謝途徑產生能量，因而經由尿酸排泄所造成的能量損失也相對較小。

對於處於正氮平衡（蛋白質蓄積）的生長動物，在進行氮矯正以計算可代謝能（AME_n）時，會根據排泄物中測得的氮含量，以尿酸形式來扣除相應的能量值。然而，由於這些動物實際上正在儲存氮，而非僅僅維持平衡，此校正過程會導致計算出的 AME_n 值低於實際測得的 AME 值。因此，儘管 AME_n 提供了標準化的比較基礎，但在評估生長效能時，AME 更能直接體現飼糧支持蛋白質蓄積的總能量價值（Aardsma et al., 2017）。

Sibbald（1979）提出一套適用於雞隻的 TME 測定方法，利用成熟雄性蛋雞進行短期（48 小時）排泄物收集。此方法可以使用少量動物與短時間測得 TME，相較於 AME 更適合用於飼糧配方，之所以認為 TME 更適用於某些評估，關鍵在於 AME 的測定結果與動物的實際採食量緊密相連，而 TME 則基本上不受此因素影響。例如，Sibbald（1975）該研究測定玉米油的 TME 值為 9.40 kcal/g，並指出其 AME 值會隨攝取量而變化。此方法的優勢在於個體變異小，因能量僅用於維持，不需要用於生長或是產蛋。然而，若目標動物（如幼禽或不同品種）的消化率與蛋雞差異顯著，則此方法的適用性可能受限。

（三）、消化率測定方法與指示劑法

消化率之定義係指動物體內所吸收之某種營養分，佔該營養分攝取總量之百分比，因此在計算上，會將所吸收之營養分，表示為攝取量扣除糞便中排泄量。若不進行外科手術，雞隻的尿酸與雞糞無法分別收集，故才表示為攝取量扣除排泄物量。同理，能量消化率也能被表示為動物體對能量之吸收量佔能量攝取量的百分比。其中包含內源性的能量來源（代謝性糞能與代謝性尿能），因此會低估雞隻對飼糧所含能量的消化率，此種能量消化率被稱為表面能量消化率（apparent energy digestibility）：

$$\text{表面能量消化率（\%）} = \frac{\text{能量攝取量} - \text{排泄物能量排泄量}}{\text{能量攝取量}} \times 100$$

將排泄物中代謝性糞能與代謝性尿能扣除後，得到真能量消化率（true energy digestibility）：

真能量消化率（％）

$$= \frac{\text{能量攝取量} - (\text{排泄物能量排泄量} - \text{代謝性糞能} - \text{代謝性尿能})}{\text{能量攝取量}} \times 100$$

測定方法主要分為全糞收集法（total collection method）與指示劑法（indicator method）。全糞收集法要求完整收集中試驗期間所有排泄物，例如成熟雄性蛋雞之氮矯正表面可代謝能（AME_n）測定即屬此類。指示劑法則透過添加不被消化且不影响其他營養分吸收之惰性物質（如二氧化鈦 TiO₂、三氧化二鉻 Cr₂O₃或二氧化矽 SiO₂），利用其排泄物中濃度反推總排泄量，無需全量收集，只需試驗期間間隔性收集部分排泄物樣品即可，藉以避免消化時序差異所導致之誤差。此方法基於兩項關鍵假設：指示劑不會與飼糧成分產生交互作用，且完全不會被消化與吸收。實務應用中，Barbehenn（2011）曾採用矽砂（主要成分 SiO₂）作為指示劑，成功評估舞毒蛾（*Lymantria dispar*）幼蟲對草料之消化率。



四、棕櫚油加工對飼料應用之影響

(一)、棕櫚油製作過程

棕櫚油是從油棕樹 (*Elaeis guineensis*) 的果實中提取出來的植物油，從果實的採收到最終的精煉，其製作過程包括多個步驟。首先，油棕果實在成熟且呈橙紅色時，以整串形式進行採收。為避免果實中的油脂因酶促反應而發生酸敗，採收後的新鮮果串 (fresh fruit bunch, FFB) 必須迅速運送至加工廠進行處理。在加工廠內，果串首先被置於高壓蒸氣蒸煮設備中藉由蒸煮 (sterilisation)，進行殺青。此步驟旨在軟化果實、使酶失活，並促進果實與果串的分離。蒸煮完成後，果串通過脫粒機械進行脫粒 (stripping)，將果實從果梗上分離，獲得單獨的油棕果實。

隨後，果實進入「消化」階段。在此過程中，果實被送入消化器，通過內部轉軸與槳臂的持續性攪拌與碾壓，同時輔以蒸汽加熱，將溫度控制在約 80°C 至 100°C 之間。高溫環境不僅能軟化果皮，還能降低油脂黏度，促使果皮內含油細胞破裂，從而釋放出油脂。經過消化處理後，果實轉化為由油脂、水分與固體殘渣所組成的混合物。

接下來，該混合物被送入壓榨機進行固液分離。壓榨過程中，油脂從混合物中被擠壓出，形成粗棕櫚油 (crude palm oil, CPO)。壓榨後的固體殘渣 (press cake)，主要包括果肉纖維 (mesocarp fiber, MF) 與棕櫚仁 (palm kernel)，被分離出來作為副產品，後續可進一步加工或利用。

提取出的粗棕櫚油隨後進行初步淨化處理，包括過濾與沉降，以去除其中的水分與雜質，獲得相對純淨的 CPO。然而，粗棕櫚油仍含有部分不穩定成分，需進一步精煉以提升品質。精煉過程包括脫膠、脫酸、脫色與脫臭等多道工序。脫膠步驟乃是為了去除磷脂質與膠質物質；脫酸則降低油脂的酸價；脫色目的為去除油中的色素；脫臭則通過高溫蒸汽處理去除異味。經過精煉後，棕櫚油品質顯著提升，也稱為精煉棕櫚油 (refined, bleached, and deodorized palm oil, RBDPO)，適用於食品、化妝品與工業等多種用途。



RBDPO 可根據特定需求進一步進行分餾 (fractionation) 處理，這是一項關鍵的加工技術，旨在將棕櫚油分離為不同組分，以滿足多樣化的產業應用需要。在分餾過程中，棕櫚油可被分離為硬質棕櫚油 (palm stearin)、軟質棕櫚油 (palm olein)。棕櫚中間餾分物 (palm mid fraction, PMF) 是將這兩種初級餾分再次進行分餾所得到的產物，來源於硬質棕櫚油中較軟的部分以與軟質棕櫚油中較硬的部分。這些組分因其脂肪酸組成與物理特性差異，廣泛應用於食品、製藥及化妝品等領域。

與其他主要植物油 (如大豆油、菜籽油或葵花籽油) 相比，棕櫚油的獨特之處在於其天然含有較高比例的 SFA (如棕櫚酸和硬脂酸)，同時也包含一定量的單元不飽和脂肪酸 (MUFA，如油酸) 以與少量的多元不飽和脂肪酸 (PUFA，如亞麻油酸)。這種脂肪酸組成的多樣性賦予棕櫚油在分餾過程中能產生不同脂肪酸比例產品的能力，從而實現針對性之應用。例如，硬質棕櫚油因其高熔點特性，適合作為起酥油、肥皂與蠟燭的原料；軟質棕櫚油則因其低熔點與良好流動性，廣泛用作食用油，特別是在煎炸食品中表現優異；而 PMF 因其熔點介於前兩者之間，並具有類似可可脂的熔化特性，能夠提供適合的口感和熔化感，成為巧克力替代品之理想原料 (Jin et al., 2018)。

在整個生產過程中，除棕櫚油外，還會產生多種副產品。MF 可作為飼料或生物燃料的原料，而棕櫚仁則可進一步加工提取棕櫚仁油 (palm kernel oil, PKO)，其中含有約 40% 的月桂酸 (Valencia et al., 1993)，廣泛應用於食品與非食品領域。棕櫚仁粕 (palm kernel cake, PKC) 為俗稱的棕櫚粕，主要用於反芻動物飼糧之原料。

綜上所述，棕櫚油的生產過程從油棕果實的採收開始，經過蒸煮、脫粒、消化、壓榨與精煉等多道工序，最終製成高品質的 RBDPO。通過分餾技術，棕櫚油可進一步分離為硬質棕櫚油、軟質棕櫚油與 PMF 等多種組分，滿足食品、化妝品與工業等領域的多元需求。其獨特的脂肪酸組成賦予了棕櫚油廣泛的應用價值，而生產過程中生成的副產品，如棕櫚仁油與棕櫚粕，也為具備利用價值。棕櫚油產業不僅在經濟上具有重要意義，更在全球植物油市場中佔據不可替代的地位。



(二)、棕櫚油加工製品用於動物飼料中

CPO 未經過精煉，含有較多雜質，如磷脂質與游離脂肪酸 (FFA)，通常不直接用於飼料中，因其易發生水解酸敗 (hydrolytic rancidity) 與氧化酸敗 (oxidative rancidity)。水解酸敗乃是由黴菌、細菌外泌或是由油脂內含的脂解酶所引發，將三酸甘油酯水解，產生不良風味。氧化酸敗不僅生成異味，還顯著降低脂質營養價值；由 UFA 的雙鍵氧化形成過氧化物或過氧化氫，將引發連鎖反應 (chain reaction)，進一步氧化脂肪酸，生成醛、酮與低分子量酸，造成酸敗異味。過氧化物、醛類與酮類對細胞具損害性，甚至可能引發病變。氧化酸敗是飼糧品質下降的主要原因，並會破壞脂溶性維生素 A 與 E (Desbruslais and Wealleans, 2022)。因此，CPO 通常需經過精煉處理，以去除雜質並提升穩定性，而非直接應用於飼料中。

棕櫚油脂肪酸之餾出物 (palm fatty acid distillate, PFAD) 為棕櫚油精煉過程中脫酸後的副產品，富含 FFA，價格相對較低，常用於動物飼料。Jimenez-Moya et al. (2021) 指出 PFAD 對育雛期雛雞的脂肪酸消化率會造成負面影響，並且降低飼糧中的 AME，但是，在肥育期提供 FFA 不超過 30% 且 UFA:SFA 不低於 2.6 的 PFAD，將其與大豆油混合所形成之油脂，可以用於生長期飼糧中，不會造成負面效果，且隨著雞隻日齡增加，對 FFA 的消化率會逐步改善。然而，Krogh et al. (2017) 則指出，以 PFAD 作為脂肪來源，相較於大豆油，對母豬的脂肪與能量消化率會出現負面影響，無法滿足能量需求。因此，PFAD 在動物飼料中的應用，必須根據動物種類、成長階段與飼糧配方進行謹慎選擇，以確保家畜、禽之健康與生產效能。

硬質棕櫚油為 RBDPO 經初步分餾後所遺留在常溫下的固體，顏色通常為黃白色，熔點較高。其主要成分為棕櫚酸與硬脂酸，約占總脂肪酸的 70%。由於高 SFA 的特性，硬質棕櫚油可作為反芻動物的過瘤胃脂肪，不易被瘤胃中的細菌消化利用 (Chamberlain and DePeters, 2016)。

軟質棕櫚油為 RBDPO 初步分餾後的液體部分，熔點較低，常溫下呈現液體，其中 SFA 約占總脂肪酸的 50%。由於 UFA 比例較高，軟質棕櫚油更容易被消化吸

收。相較於添加魚油與豬油，Hodzic et al. (2008) 在蛋雞飼糧中添加 3% 的軟質棕櫚油，可顯著地降低採食量、蛋黃總膽固醇與總脂質含量。此外，相較於飽和脂肪酸比例相似的豬油，飼糧中添加軟質棕櫚油能減少白肉雞腹部脂肪的沉積 (Ai et al., 2025)。

PKO 是從棕櫚果仁中提取的油脂，其脂肪酸組成與棕櫚油不同，SFA 含量高達 80%，含有高比例的 MCFA，其中以月桂酸和肉豆蔻酸為主。根據 Castro et al. (2022) 的研究，將 PKO 加入羊的精糧中，可有效提高粗脂肪與粗蛋白的消化率，且隨著 PKO 添加量的增加，飼料效率 (feed conversion) 也獲得進一步的改善。此外，Seo et al. (2015) 指出，在離乳仔豬的飼糧中添加 20% 棕櫚粕搭配玉米-大豆飼糧，有助於降低下痢的發生趨勢。

棕櫚油粉 (palm oil powder, POP)，也稱為棕櫚脂肪粉，是棕櫚油經過分餾後的硬質棕櫚油，透過再酯化去改變脂肪酸組成，再利用噴霧乾燥法 (spray drying) 或載體吸附法 (carrier adsorption) 製成穩定的粉末形態。其 SFA 比例較高，組成與硬質棕櫚油相似。相較於液態油，粉末形態更容易與飼糧中其他原料混合均勻；同時能提高嗜口性，使仔豬更易於接受並喜好採食飼糧 (Sá et al., 2018)。此外，粉末狀棕櫚油在包裝、運輸和存儲上更為便利，可採用袋裝形式保存，即使意外洩漏也較易回收，且相對於液態油也不易氧化酸敗。其高含量的 SFA 還有助於脂溶性維生素的吸收。

在製程方面，噴霧乾燥法是將棕櫚油與水混合形成乳化液，通過噴嘴霧化成細小液滴，乾燥後形成棕櫚油粉。而載體吸附法則需選用適當的賦形物作為載體，在特定條件下 (如溫度、攪拌速度) 進行混合，使棕櫚油被吸附，並附著於載體表面，進而製成穩定的粉末形態。

Yang et al. (2018) 表明，相較於棕櫚油，以 POP 餵飼離乳仔豬可顯著提升增重與飼料效率，且胰解脂酶活性較高，進而改善生長表現與脂肪消化率。Ren et al. (2020) 亦指出，POP 餵飼組的 AME 高於棕櫚油組，並能降低離乳仔豬下痢發生

率。添加 POP 可提高泌乳牛乳產量、乳脂含量與飼料效率，但乳蛋白含量則無顯著變化 (Zhang et al., 2020)。

棕櫚油與其衍生產品在動物飼料中具有多樣化的應用價值與潛力。這些產品因脂肪酸組成與物理性質的差異，對不同動物種類與成長階段展現出不同的營養效益與生產效果，例如提升飼料效率、改善脂肪消化率、增加乳產量與降低下痢發生率等。然而，其應用需謹慎考慮動物需求、飼糧配方與加工處理對品質的影響，以避免潛在的負面效應，如氧化酸敗或能量消化率下降。

(三)、棕櫚油粉的利用性

POP 作為動物飼料中重要的固態脂肪來源，具有顯著的應用價值，但其效益受到脂肪酸組成特性的限制。POP 中含有大量 LCSFA，這類脂肪酸在常溫下呈固態，難以乳化，影響脂肪酶的作用效率。相較於中、短鏈脂肪酸或 UFA，LCSFA 需要更多的膽鹽與脂肪酶參與消化，對消化系統尚未發育完全的幼年家禽而言尤為挑戰。然而，對於哺乳仔豬來說，POP 之消化率反而高，因為其主要以母乳為生長來源，母乳中提供的膽鹽與相關消化酶的分泌能在一定程度上支持 LCSFA 的乳化和消化 (Zeisel, 2006)。此外，相較於棕櫚油，POP 中富含棕櫚酸，而豬隻對油酸與棕櫚酸的利用效率較高，這可能是因為棕櫚酸、硬脂酸、油酸三種脂肪酸佔豬隻脂肪組織總脂肪酸的 70-85%，是脂肪沉積中最主要的成分 (Lizardo et al., 2002)。因此，POP 的利用效率比棕櫚油更高。

為了解決 POP 在雛禽飼糧應用中的限制，添加功能性物質以提升其能量消化率成為重要策略，其中乳化劑的應用扮演關鍵角色。乳化劑能降低油水界面張力 (oil-water interfacial tension)，將較大的油滴分散成微小油滴，增加油脂與消化酶的接觸面積，從而提高油脂的消化吸收效率，對改善 POP 中 LCSFA 的消化效果顯著 (Guerreiro Neto et al., 2011; Guo et al., 2017)。



在此基礎上，添加游離甘油與乳化劑作為輔助物質，能進一步提升 POP 的能量利用效率。游離甘油不僅可作為快速能量來源，更重要的是它能在消化道中與游離脂肪酸重新結合，形成具有優異乳化特性的單酸甘油酯。這種內源性乳化劑與外加乳化劑產生協同作用，強化脂肪的乳化效果 (Baião and Lara, 2005)。此外，游離甘油通過強化乳化作用，促進脂溶性營養素（如維生素 A、D、E、K）在腸道的吸收效率 (Omer and Chiodi, 2024)。使 POP 不僅是能量來源，更成為營養吸收的重要載體。

研究也支持乳化劑在雛禽飼料中的應用效益。Liu et al. (2020) 指出，餵飼白肉雞複合乳化劑（如乳酸硬脂酸鈉 (sodium stearyl lactate, SSL) 與 1,3-雙酸甘油酯的混合），可顯著提升其生長期與肥育期的生長表現。

綜上所述，游離甘油在 POP 中的應用已超越單純的能量補充功能。通過提升消化效率與促進營養分吸收等多重機制，游離甘油與乳化劑的添加為克服棕櫚油粉在實際應用中的限制提供了有效的解決方法。

(四)、棕櫚油的經濟效應

在全球植物油市場的長期發展歷程中，棕櫚油一直扮演著關鍵角色。根據 Priyati and Tyers (2016) 的研究，如圖 2 所示，從 2006 年至 2015 年間，全球植物油產量經歷了顯著增長，其中棕櫚油憑藉其高產能和成本效益，逐步崛起為市場主導者，佔據了全球總產量的 35%。在這段時期，植物油的應用已不再侷限於傳統食品領域，而是擴展到工業製造和生物燃料等範疇，這使得植物油市場與能源市場，尤其是原油市場，逐漸形成更緊密的整合關係。

Priyati and Tyers (2016) 進一步根據主要植物油的終端用途和價格行為，將其分類為三個群組。第一群組包括椰子油與棕櫚仁油，主要用於工業製造；第二群組涵蓋棕櫚油、大豆油、菜籽油和葵花油，這些油種兼具食品與工業用途，且多用於生物柴油；第三群組則包含棉籽油與花生油，主要用於食品領域。其中，棕櫚油、



大豆油、菜籽油和葵花油被歸入第二群組，這個群組的特點在於這些油種不僅用於食用，還廣泛應用於工業，並作為生物柴油的主要原料。因此，它們的價格不僅彼此之間高度相關，還與原油價格呈現出明顯的正相關性。這種分類框架有助於更深入地理解市場的基礎結構。

然而，自 2022 年以來，一連串重大事件已促使這個市場結構發生轉變。透過比較 2022 年中與 2025 年上半年的國際市場價格，可以觀察到這一變化。首先，棕櫚油與大豆油的價格關係出現調整。傳統上，棕櫚油因成本優勢而價格低於大豆油，但近期這一模式被打破。USDA（2025）顯示，大豆油價格從 2022 年 8 月的約 1,518 美元/噸，下降至 2025 年的約 1,150 美元/噸，這主要歸因於南美洲大豆產量預期增加的影響。相對之下，棕櫚油價格則從 2022 年 8 月的約 1,036 美元/噸，上漲至 2025 年的約 1,200 美元/噸。這一上漲主要受印尼生物柴油政策（B40）的推動，該政策增加了國內消耗，並透過國內市場義務（Domestic market obligation, DMO）限制出口，從而造成供應趨緊。結果，棕櫚油不僅價格上漲，還超過了大豆油，形成相對較高的市場定位。

與此同時，葵花油的價格定位也經歷了調整。在烏克蘭與俄羅斯衝突爆發後，隨著戰事逐漸緩和，烏克蘭為了維持經濟運作而增加庫存釋放，這導致葵花油價格從衝突前的高位回落，至 2025 年維持在 800-1,000 美元/噸的範圍內，從而成為四大主要植物油中價格最低的品種，改變了其原有的市場形象。

另一方面，菜籽油則維持了相對穩定的高價位。由於其種植區域較為集中（如加拿大和歐洲），加上食用與生物燃料需求的穩定，供應始終相對有限。USDA（2025）顯示，其價格從 2022 年中約 1,632 美元/噸，調整至 2025 年的約 1,380 美元/噸，仍高於其他主要植物油。

綜合這些數據，全球植物油市場的價格位階在過去兩年中已發生變化。目前的排序為菜籽油（約 1,380 美元/噸）高於棕櫚油（約 1,200 美元/噸），接著是大豆油（約 1,150 美元/噸），而葵花油（約 800-1,000 美元/噸）位居最低。這一結構調整

對飼料產業帶來影響。過去依賴棕櫚油作為低成本能源來源的策略需重新檢視，企業可考慮替代品評估機制，根據即時價差—例如葵花油的相對優勢，以及棕櫚油與大豆油間的價差變化—來動態調整配方，以適應市場波動並實現成本優化。

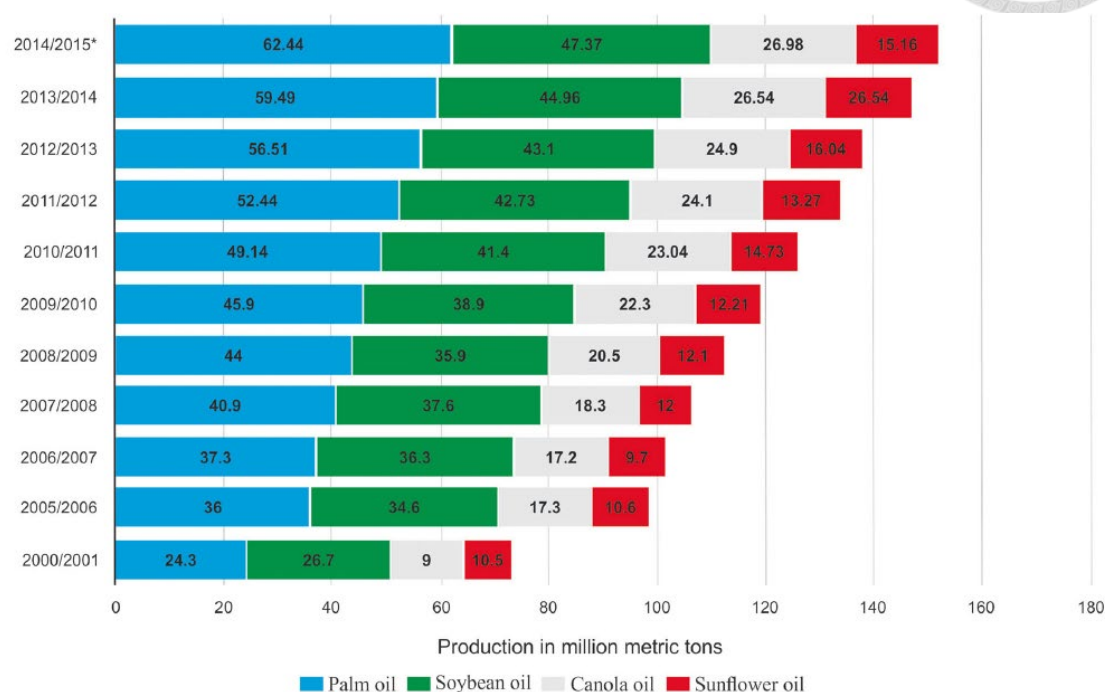


圖 2、2000/2001 年至 2014/2015 年全球主要植物油按不同植物油種類的產量

Figure 2. World production of major vegetable oils from 2000/2001 to 2014/2015 by different vegetable oil types

(Priyati and Tyers, 2016)

(五)、棕櫚油粉的經濟效應

POP 作為一種高附加價值的飼料添加劑，其市場定位並非傳統的大宗原物料，而是專注於提升動物營養效率的加工產品。因此，目前相較於棕櫚油的單價，POP 是較為昂貴的。POP 透過加工技術轉化為粉末形式。相較於液態油，粉末形態更容易與飼糧中其他原料混合均勻 (Saensukjaroenphon, 2016)；同時能提高嗜口性，使仔豬更易於接受並喜好採食飼糧 (Sá et al., 2018)。此外，粉末狀 POP 在包裝、運

輸和存儲上更為便利，可採用袋裝形式保存。將從市場定位、目標客群與經濟效益分析三個面向，論述其獨特定位與經濟價值。

在市場定位與目標客群方面，POP 主要聚焦於離乳仔豬與需要補充過瘤胃脂肪的泌乳牛，這些群體在生長或生產階段面臨獨特的營養挑戰，而這些市場痛點成為 POP 切入的關鍵機會。對於剛離乳的仔豬來說，由於離乳帶來的緊迫，它們常常會拒食或出現下痢。如果在飼料中添加不飽和脂肪酸含量較高的植物油，在天氣炎熱時容易因氧化酸敗而變質，仔豬食用後可能會加重下痢的情況。此外，含有較高長鏈飽和脂肪酸的 POP 因其濃郁的香味，容易吸引仔豬採食，因此是離乳仔豬能量補充的理想選擇之一。為進一步提升仔豬對 POP 的採食量與吸收效率，故在 POP 中添加游離甘油與乳化劑，幫助仔豬更好地攝取能量。對於泌乳牛而言，在熱季、產奶高峰期或食慾下降時，為確保能量攝取，常需補充脂肪粉。泌乳牛使用的 POP 無需額外添加游離甘油與乳化劑，因為其長鏈飽和脂肪酸較不易被瘤胃中的細菌分解，可作為過瘤胃脂肪直接發揮作用，無需進一步提升吸收效率。憑藉這些優勢，POP 不僅被定位為機能性添加劑，更成為養殖業者用以優化特定動物健康與生產性能的策略工具。特別是在豬與牛產業中，POP 佔據了利基市場，滿足了高效飼養的需求。

在價格與經濟效益分析方面，雖然 POP 的價格高於棕櫚油，但其「物超所值」之處在於綜合的經濟效益與投資回報率（return on investment, ROI），而非單純的單位成本比較。ROI 的計算公式為（投資淨損益 / 投資成本）× 100%，其中投資淨損益為投資的最終價值減去投入的成本。單純比較「每公斤棕櫚油」與「每公斤 POP」的價格並無意義，因為前者忽略了加工轉化所帶來的附加價值。相反，養殖戶應聚焦於 ROI，即額外投入的成本是否能帶來更高的回報。

具體而言，使用 POP 可帶來多項效益。例如，POP 能顯著提高離乳仔豬的存活率，透過減少腹瀉與死亡率來降低損失（Ren et al., 2020）；同時增加採食量與日增重，使動物更早達到上市體重，縮短飼養週期，並改善飼料效率（feed conversion

ratio, FCR), 讓每公斤飼料轉換成更多的體重, 從而提升整體生產效率 (Yang et al., 2018)。同時, 存活率的提升也能為每批仔豬帶來額外的利潤回報。

綜上所述, POP 的經濟價值體現在其對養豬業的高 ROI, 證明其高價位是基於實證效益的合理定位。



五、脂肪對經濟動物之利用與應用

(一)、消化

1. 豬隻與兔的脂肪消化

豬隻與兔的脂肪消化過程始於胃腺分泌的胃解脂酶 (gastric lipase)。此酶具有抵抗胃蛋白酶的水解作用以與胃酸引起的蛋白質變性能力，從而在酸性環境中仍能發揮作用 (Borel et al., 1991; Zentek et al., 2011)。胃解脂酶初步分解飼糧中的脂質，為後續小腸中的消化奠定基礎。

2. 家禽的脂肪消化

家禽的脂肪消化起始於肌胃中的機械研磨作用。通過研磨、混合與腸道反流 (gut refluxes) 等過程，脂肪被初步處理後進入小腸，進行進一步的消化與吸收 (Degolier et al., 1997)。

3. 反芻動物的脂肪消化

反芻動物的瘤胃是脂肪消化的主要部位。在此，進入的脂質會被微生物迅速水解，轉化為游離脂肪酸、單酸甘油酯、甘油與半乳糖。其中，半乳糖主要來源於植物葉綠體中的半乳糖脂，例如半乳糖二亞麻油酸酯，這是植物中含量最豐富的脂質之一。甘油與半乳糖在瘤胃中被微生物發酵為揮發性脂肪酸 (volatile fatty acids, VFAs)，並由瘤胃壁吸收。而游離脂肪酸中的 UFA 大部分會被瘤胃微生物氫化為 SFA (Harfoot, 1978)。

4. 膽鹽與脂肪乳化的角色

膽鹽由肝臟中的膽固醇所合成，隨後被濃縮並儲存在膽囊中。當膽囊收縮素 (cholecystokinin) 濃度升高時，膽囊收縮，釋放膽鹽進入小腸 (Langlois et al., 1989)。食糜進入小腸後，立即與膽汁和胰液混合，脂肪被乳化為微小脂滴。膽鹽是形成微

膠粒 (micelles) 的必要條件，但其物理性質會阻斷胰解脂酶與脂滴的直接接觸，從而抑制酶的活性。此時，輔酶 (colipase) 與胰解脂酶結合，突破膽鹽的抑制作用，促進脂肪分解 (Van Tilbeurgh et al., 1999)。

豬隻與牛的膽汁中含有牛磺酸 (taurine)，而家禽的膽汁中則不含牛磺酸。牛磺酸的添加需要適量控制。Liu et al. (2014) 研究指出，在飼糧中補充 0.3% 的牛磺酸有助於改善離乳仔豬的生長表現；然而，若添加量提高至 1.5 甚至 3%，則會對離乳仔豬的生長表現產生負面影響。此外，Huang et al. (2014) 發現，在白肉雞飼糧中添加牛磺酸 (5 g/kg) 會導致小腸長度、重量、絨毛寬度、表面積與十二指腸與空腸的腺窩深度減少，對白肉雞反而具有毒性作用。

5. 乳化劑的輔助作用

乳化劑 (emulsifiers) 在功能上與膽鹽類似，能將脂肪團塊乳化為微小脂滴，並穩定這些脂滴以防止其重新聚集 (Guo et al., 2017)。研究顯示，在飼糧中添加乳化劑能顯著提高脂肪的消化率與胰解脂酶的活性。這主要是因為乳化劑改善了微小脂滴的利用效率，進而增加了對胰解脂酶的需求，刺激其分泌 (Guerreiro Neto et al., 2011)。

6. 胰解脂酶的分解機制與微膠粒形成

當胰解脂酶附著於脂滴表面時，特別針對長鏈脂肪酸，會選擇性水解三酸甘油酯在 sn-1 和 sn-3 位置的酯鍵，生成兩個游離脂肪酸以與一個在 sn-2 位置具有脂肪酸的單酸甘油酯 (Borgstrom and Erlanson, 1973)。隨後，單酸甘油酯與長鏈脂肪酸被納入微膠粒中，並與脂溶性維生素、磷脂與膽固醇自發性 (spontaneously) 相互作用共同形成混合微膠粒 (mixed micelles)，以利於後續的吸收 (Krogdahl, 1985)。



(二)、吸收

1. 微膠粒形成與脂肪吸收機制

微膠粒的形成顯著提高了脂肪通過腸腔表面未攪拌水層 (unstirred water layer) 的能力。由於濃度梯度的存在，脂質能夠以非能量依賴的被動擴散方式從刷狀緣 (brush border) 進入腸上皮細胞中 (Sallee and Dietschy, 1973; Schulthess et al., 1994)。當腸腔內脂肪含量較低時，吸收機制則轉為載體依賴的主動運輸，此過程需要消耗能量，以促進脂肪的吸收。

2. 不同類型脂肪的吸收特性

甘油、短鏈脂肪酸與 MCFA 可通過被動擴散直接進入腸上皮細胞 (Sallee and Dietschy, 1973)。然而，長鏈飽和脂肪酸因其熔點高於體溫，在腸道中呈固態，難以形成微膠粒。此外，這類脂肪酸易與腸道中的鈣或鎂離子結合，形成不溶性鹽類 (即肥皂)，從而降低其自身的消化率，同時也影響鈣和鎂的吸收效率。

3. 混合微膠粒的後續處理與三酸甘油酯的再酯化

混合微膠粒進入腸黏膜細胞後，脂肪酸與長鏈單酸甘油酯會被再酯化為三酸甘油酯。在哺乳動物中，吸收後的三酸甘油酯以乳糜微粒 (chylomicrons) 的形式進入淋巴系統。然而，家禽的淋巴系統不如哺乳動物發達，因此吸收的三酸甘油酯主要以門脈微粒 (portomicrons) 形式進入肝門脈，或以極低密度脂蛋白 (very low density lipoprotein, VLDL) 形式進行運輸 (Krogdahl, 1985)。

4. 反芻動物與非反芻動物的吸收差異

反芻動物的脂質吸收過程與非反芻動物基本相似，但其在腸細胞中再酯化形成三酸甘油酯的途徑有所不同。反芻動物主要依賴甘油-3-磷酸途徑 (Glycerol-3-phosphate pathway)，而單酸甘油酯途徑則為次要途徑。此外，反芻動物對不同類

型脂質消化率的差異較非反芻動物為小，這主要歸因於反芻動物對飽和脂肪酸的消化率較高，而對不飽和脂肪酸的消化率則相對較低。





(三)、油脂在飼糧之應用

1. 油脂在飼糧中的營養功能

在飼糧中添加油脂可為動物提供必需脂肪酸與 AME。油脂提供的 AME 與相關營養成分（如脂溶性維生素）的利用效率受多種因素所影響，包括動物品種、性別與年齡、飼糧原料組成與鈣含量、油脂的添加量、飽和程度、脂肪酸組成、游離脂肪酸含量、氧化酸敗程度、乳化狀態與雜質含量等。

2. 油脂種類及其 AME 值

油脂主要分為植物性油脂和動物性油脂兩大類。植物性油脂中，粗萃大豆油和棕櫚油是常用於動物飼糧的種類，其 AME 值分別為 8650-9510 kcal/kg 和 7200-8000 kcal/kg（NRC, 1994; Leeson and Summers, 2008）。動物性油脂的脂肪酸組成因批次而異：食用級豬油的 AME 值介於 7337-10236 kcal/kg，家禽油脂的 AME 值介於 8200-10186 kcal/kg，而牛油的 AME 值則較低，為 6683-8000 kcal/kg（NRC, 1994; Leeson and Summers, 2008）。植物性油脂中 UFA 比例較高，而動物性油脂中 SFA 比例較高。脂肪酸的水溶性是決定消化率的主要因素，碳鏈越短且飽和度越低的脂肪酸其水溶性越高，消化率也越高（Sibbald, 1978）。

3. 油脂添加量的影響

關於油脂添加量，NRC（1994）列舉了各種油脂的營養組成，但未對添加上限提出明確建議。Leeson and Summers（2008）指出，粒狀飼料中油脂含量不應超過 5%，以避免粒料組織鬆散或變質。研究顯示，提高飼糧中油脂添加量（0-30%）可線性減緩食糜通過消化道的速率，從而改善其他營養成分的消化率，進而提升整體能量利用效率（Mateos et al., 1982）。



4. 動物年齡對油脂消化的影響

動物年齡是影響油脂消化能力的重要因素。年幼動物由於膽鹽分泌不足、胰解脂酶活性較低與腸細胞發育未臻成熟，其消化油脂之能力受到限制。例如，Jeanson and Kellogg (1992) 指出，幼雛消化道中胰脂肪酶濃度較低，可能與其肝門循環系統尚未成熟有關。針對此問題，Ge et al. (2019) 的研究顯示在飼糧中補充膽鹽可顯著改善肉雞的脂質代謝能力、生長性能與屠體品質。

5. 游離脂肪酸含量對油脂品質與消化的影響

油脂中游離脂肪酸含量高通常反映著油脂品質較差或儲存過久，並會降低動物對油脂的消化吸收能力。Leeson and Summers (2008) 指出，油脂中游離脂肪酸含量為 0-10% 時，其相對 AME 比中性油脂高約 2%；含量為 10-20% 時，則與中性油脂相當；隨著含量進一步提高，AME 值則逐漸下降。高游離脂肪酸含量還會降低飼糧的嗜口性與動物之採食量 (Jimenez-Moya et al., 2021)，並影響膽汁分泌與微膠粒的形成效率 (Sklan, 1978)。然而，若在高游離脂肪酸飼糧中添加甘油，則有助於促進腸道中單酸甘油酯的形成，從而改善消化 (Sklan, 1978)。

6. 甘油的應用與效益

甘油主要源於生質柴油生產過程的副產物，可被動物快速吸收與利用。研究顯示，甘油在肉雞中的 AME_n 為 3434 kcal/kg，與其總能值相差不大 (Dozier et al., 2008)。甘油具有吸濕特性，因其分子中三個羥基的強親水性，可與環境中的水分子結合，從而減少飼糧粉塵並提高嗜口性。此外，甘油有助於粒料生產，減少揚塵並延長保存期限 (Best, 2006)。在反芻動物中，甘油可被瘤胃微生物發酵為丙酸，快速補充能量。根據 Madrid et al. (2013) 的研究，在製粒前將甘油加入飼料中，可以增加顆粒的耐久性並改善生產效率。另一方面，Kijora et al. (1995) 建議在肥育豬飼糧中添加 10% 甘油則可獲得最佳每日增重，並因其甜味與改善的物理特性

而提高採食量。在雞隻中，Mandalawi et al. (2014) 提出在肉雞飼糧中添加 10% 甘油可獲得最佳飼料效率，且不影響體重增長。對於產蛋雞，添加 6% 甘油不會對產蛋表現、蛋品質與能量消化率產生不利影響 (Swiatkiewicz and Koreleski, 2009)。

7. 油脂與熱增值的關係

熱增值 (heat increment) 指動物進食後額外增加的熱生成量。相較於碳水化合物與蛋白質，油脂的熱增值較低。因此，在炎熱天氣下，增加飼糧中油脂含量可減少肉雞因消化代謝產生的額外熱量，從而降低熱緊迫。而在寒冷天氣下，進食與營養代謝產生的熱增值可用於維持體溫。研究顯示，與 UFA 含量高的油脂相比，SFA 含量高的油脂能更顯著降低熱增值。在高溫環境下，餵飼 8% 棕櫚油的肉雞死亡率顯著低於餵飼大豆油的組別 (Zulkifli et al., 2006)。

參、研究與試驗



第一章、以成熟蛋公雞為動物模式，檢測棕櫚油粉之

氮矯正可代謝能濃度

一、前言

棕櫚油含有高比例的 SFA，在常溫下呈液態應用上更為便利，與牛油相比更易於與飼料配製。棕櫚油粉進一步提升了使用的靈活性，便於直接添加入飼料中；若再加入甘油，則能改善其流動性，進一步提升混合飼料的效率。棕櫚油中所含的棕櫚酸是一種優質的 SFA，具有良好的能量供應特性，有助於促進動物的生長，因此特別適合應用於快速生長的白肉雞飼料中。為了評估棕櫚油與棕櫚油粉在白肉雞飼料中的實際應用效果，需精確計算其能量利用，進一步確定對白肉雞生長性能的影響與最佳添加方式。

飼料配方的能量計算通常參考成熟蛋公雞試驗數據。成熟蛋公雞已完成生長且不會產蛋，其能量需求主要用於生命維持，故試驗數據無需考慮生長或產蛋方面的能量消耗。透過補充內源性能量損失，可計算出吸收的完整能量，稱為「真可代謝能濃度」。此外，為提高計算準確性，試驗需對能量數據進行氮矯正，以考慮氮排泄對能量計算的影響。

本章試驗旨在評估棕櫚油粉在白肉雞飼料配方中的應用效果。試驗期間，雞隻可自由飲用乾淨的水，並通過禁食以避免其他飼料的干擾影響測試結果。同時，設置一組雞隻餵食葡萄糖以滿足其基本能量需求，該組數據用於計算內源性能量損失。試驗過程中需完整收集雞隻排泄物，並通過以下步驟計算經氮矯正的真可代謝能：首先測量雞隻攝取原料的總能量，扣除排泄物總能量；接著補充內源性能量損失；最後進行氮矯正，以排除氮代謝對能量計算的影響。通過這些步驟，可準確獲得原料的真可代謝能濃度，為後續飼料配方設計提供科學依據。



二、材料與方法

(一)、試驗用成熟蛋公雞之試驗操作

本試驗所使用之雄性單冠白色龍門蛋雞 (Lohmann) 均購自台灣哈巴股份有限公司。雞隻於 0 日齡飼養於平飼環境，並於 20 週齡轉為籠飼。在成年後，於 39 週齡，平均體重為 1817 ± 72 g，進行管餵試驗。試驗期間，所有雞隻均單獨飼養於個別籠中，並提供自由飲用之乾淨飲水。試驗操作流程參考 Hong et al. (2002) 與 Aardsma et al. (2017) 之方法。試驗開始前 48 小時，對雞隻進行禁食，以排空其消化道之內容物。禁食期間，於第 24、30 小時分別管餵予每隻雞隻 25 g 葡萄糖，以維持其基本能量需求。管餵操作時，將雞隻進行保定，並將管餵器沿食道緩慢置入嗉囊，隨後緩慢倒入樣品，確保樣品不外撒。禁食後第 48 小時，依試驗設計分組進行管餵。各組管餵樣品包括：30 g 玉米粉、棕櫚油與玉米粉混合物、含甘油之棕櫚油粉與玉米粉混合物、不含甘油之棕櫚油粉與玉米粉混合物、或葡萄糖（作為內源性能量排出之對照組）。其中，各組玉米粉混合物之配比为 10% 油脂與 90% 玉米粉。葡萄糖組（6 隻）除外，其餘各組試驗使用 7 隻蛋公雞。試驗期間，雞隻可自由飲用清水。管餵後，對雞隻進行全糞收集。使用人工造口袋 (Super C-100, Lapack, Japan)，貼於雞隻泄殖腔，以收集排泄物，並每 6 小時更換一次造口袋，直至管餵後 48 小時停止收集。每隻雞隻之排泄物均單獨收集，經冷凍乾燥 (Freeze dryer, Heto LyoLab 3000, Thermo Fisher, USA) 後以供後續分析使用。

(二)、樣品之水分測定與蛋白質測定

1. 樣品前處理

試驗樣品在分析前均經過標準化處理以確保一致性。首先，使用採樣棒對樣品進行九宮格法均勻採樣，隨後以粉碎機（粉碎機 DM-6，祐麒機械，台灣）進行粉碎均質處理，使樣品能夠通過 20 mesh 的篩網。對於含水量較高的樣品（如排泄物樣品），則先進行冷凍乾燥處理，以去除水分，隨後再進行粉碎均質步驟，確保樣

品適合後續分析。



2. 水分測定

參考 Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1984, Methods 7.003) 之方法進行測定。使用洗淨並烘乾之秤量皿，秤取大約 2 g 的樣品。將樣品連同秤量皿置於 105°C 的烘箱 (OVP-60, YI FENG, Taiwan) 中加熱 2 小時，迅速蓋上蓋子後取出，並立即移入乾燥器中冷卻至室溫，隨後進行秤重。接著，將樣品再次放入 105°C 烘箱烘乾 30 分鐘，並取出置於乾燥器冷卻後秤重，重複此步驟直至重量達到恆重。恆重判斷標準為：若前後兩次秤重之重量持續減少，且差值小於 3 mg，則以最後一次秤得的重量作為乾燥至恆重的重量；若烘乾後重量增加，推測為部分物質氧化增重，則以前一次秤得的重量視為恆重。最後，恆重重量依照下方公式計算樣品水分含量。

水分含量 (%)

$$= [(\text{起始樣品之重量} - \text{樣品乾燥至恆重之重量}) / \text{起始樣品之重量}] \times 100\%$$

3. 粗蛋白質測定

參考 Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1984, Methods 7.033-7.037) 之凱氏定氮法進行測定。首先，分別秤取約 0.3 g 之待測樣品或標準品 (ammonium iron sulfate, hexahydrate)，用秤藥紙包裹後置入個別之消化管中；同時設置一個僅放入秤藥紙的消化管作為空白組。後續在每個消化管中加入一枚催化錠 (Kjeldahl tablet, Merck) 與 10 mL 濃硫酸，然後將消化管置入分解消化器 (SpeedDigester K-436, Buchi, Switzerland) 中加熱 1 小時，加熱完成待冷卻後取出消化管。隨後，使用蒸餾器 (Kjelflex K-360, Buchi, Switzerland) 向消化管中注入 40 mL 蒸餾水與 60 mL 之 33% 氫氧化鈉溶液，進行蒸餾反應。反應所產生的氨氣

以 25 mL 4% 硼酸指示劑（含甲基紅與溴甲酚綠，pH 值調整為 7.0）接收。最後，使用 0.1 N 硫酸進行滴定（titrator, 775 Dosimat, Metrohm, Switzerland），直至溶液顏色從綠色轉為紫紅色為滴定終點，並根據以下公式計算樣品之粗蛋白質含量。

粗蛋白質含量（%）

$$= [(\text{滴定樣品之硫酸量 (mL)} - \text{滴定空白組織硫酸量 (mL)}) \times \text{硫酸當量} \times 0.01401 \times 6.25 / \text{樣品重量 (g)}] \times 100\% / \text{回收率}$$

回收率（%）

$$= [(\text{滴定標準品之硫酸量 (mL)} - \text{滴定空白組織硫酸量 (mL)}) \times \text{硫酸當量} \times 0.01401 / (\text{標準品重量 (g)} \times 0.07145)] \times 100\%$$

(三)、油脂脂肪酸組成分析

本試驗所使用的棕櫚油、含甘油之棕櫚油粉與不含甘油之棕櫚油粉，均委託中央畜產會進行脂肪酸組成分析，而含游離甘油之棕櫚油粉的組成分如表 1 所示。分析方法依據衛生福利部公告之食品脂肪酸檢驗規範（MOHWO0014.00）執行。首先，使用乙醚在 60-70°C 水浴條件下進行脂肪酸萃取，萃取後以減壓濃縮方式去除乙醚，隨後以正己烷回溶並定量。接著，加入 1N 氫氧化鈉甲醇溶液，並於加熱器（HB-1, WealTec, USA）中以 80°C 進行皂化反應 15 分鐘，冷卻後加入 14% 三氟化硼甲醇溶液，於加熱器中以 110°C 進行酯化反應 15 分鐘。酯化完成後冷卻，加入正己烷充分混合，再加入飽和氯化鈉溶液，靜置分層後取上層液體，經濾膜過濾處理，最後使用氣相層析儀（PerkinElmer Clarus 500 Gas Chromatograph, USA）進行脂肪酸組成的分析。

(四)、表面消化率之檢測

消化率試驗所使用之混合原料與所收集之蛋公雞排泄物，分別進行以下檢測，包括乾物質、氮含量與能量之含量分析。

$$\text{表面消化率 (\%)} = [(A \times B - C \times D) / (A \times B)] \times 100\%$$

A：混合原料中營養分濃度 (%)。 B：混合原料管餵量 (g)。

C：排泄物中營養分濃度 (%)。 D：排泄物總量 (g)。

(五)、表面可代謝能濃度與真可代謝能濃度之測定

在進行混合原料及蛋雞排泄物的能量分析時，秤取約 1 g 之樣品，使用打錠機 (2811 Pellet Press, Parr, USA) 壓製成錠狀。隨後，將樣品錠置入燃燒式彈卡計 (Isoperibol bomb calorimeter-1261, Parr, USA) 中，測定其總能含量。最後，根據以下公式計算各混合原料之代謝能濃度。

- a. 表面可代謝能濃度 (apparent metabolizable energy, AME) = $(EI - EO) / FI$
- b. 真可代謝能濃度 (true metabolizable energy, TME) = $AME + (FEL / FI)$
- c. 氮矯正表面可代謝能濃度 (nitrogen-corrected apparent metabolizable energy, AMEn) = $AME - (8.22 \times ANR / FI)$
- d. 氮矯正真可代謝能濃度 (nitrogen-corrected true metabolizable energy, TMEn) = $TME - (8.22 \times ANR / FI) - (8.22 \times FNL / FI)$

EI：攝入總能；EO：排出總能；FI：混合原料採食量 (g)；

FEL：內源性的能量損失 (即葡萄糖組雞隻排泄物中所含總能)；

ANR：氮蓄積 (雞隻攝入氮含量與排泄物中氮含量之差值)；

FNL：內源性的氮損失 (即葡萄糖組雞隻排泄物中氮含量)

(六)、統計分析

試驗數據使用 SAS 統計分析軟體 (Statistical Analysis System, Ver 9.4, for

Windows10, 2018, USA) 進行處理，所得數據透過一般線性模式 (General Linear Models procedure, GLM) 進行變方分析 (ANOVA)。當 P-value 小於 0.05 時，視為存在顯著差異，隨後採用特奇氏公正顯著差異法 (Tukey's honest significant difference, HSD) 對各處理間的均值進行比較。

表 1、含游離甘油之棕櫚油粉之組成分 (%)

Table 1. Composition of palm oil powder with free glycerol (%)

Composition	Content (%)	Percentage in the fatty acids (%)
Re-esterified long-chain fatty acids	80	
C16:0 Palmitic acid		71-73
C18:0 Stearic acid		4-6
C18:1 Oleic acid		13-17
C18:2 Linoleic acid		4-6
Free glycerol	13	
Sodium stearoyl lactylate + Porous silica	7	

Reference: <https://ecolexanimalnutrition.com/>



三、結果

(一)、棕櫚油、含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉脂肪酸比例分析

本試驗所使用的油脂經採樣分析後，其脂肪酸組成比例如表 2 所示。結果顯示，兩種棕櫚油粉的 SFA 中，棕櫚酸 (palmitic acid) 的比例分別為 74.11 和 74.68%，顯著高於棕櫚油的 40.18%。相反地，在 UFA 方面，兩種棕櫚油粉的油酸比例 (15.51 和 15.04%) 與亞麻油酸比例 (3.01 和 3.20%) 均低於棕櫚油 (分別為 40.92 和 11.12%)。棕櫚油本身含有較高比例的不飽和脂肪酸 (如油酸和亞麻油酸)，然而在加工製成棕櫚油粉後，這些不飽和脂肪酸的含量顯著減少。此外，兩種棕櫚油粉在 UFA：SFA 上 (分別為 0.24 和 0.24) 也低於棕櫚油的 1.06。

表 2、油脂之脂肪酸組成 (%)

Table 2. Fatty acid composition in oils (%)

Fatty acid	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol
Saturated fatty acids			
C12:0 Lauric acid	0.20	0.09	0.07
C14:0 Myristic acid	0.93	1.17	1.09
C16:0 Palmitic acid	38.54	74.65	74.92
C18:0 Stearic acid	4.08	4.86	4.75
C21:0 Heneicosanoic acid	4.64	-	-
C24:0 Lignoceric acid	0.08	0.08	0.07
Unsaturated fatty acids			
C16:1 Palmitoleic acid	0.17	0.07	0.06
C18:1 Elaidic acid	0.05	-	-
C18:1 Oleic acid	39.25	15.62	15.09
C18:1 Vaccenic acid	0.68	-	0.29
C18:2 Linoleic acid	10.67	3.03	3.21
C18:3 Linolenic acid	0.51	0.37	0.36
C20:1 Eicosenoic acid	0.13	0.05	0.04
C20:3 Eicosatrienoic acid	0.07	-	0.05
Saturated fatty acids	48.47	80.85	80.90
Unsaturated fatty acids	51.53	19.15	19.10
Total fatty acids	100	100	100
Proportion of unsaturated to saturated fatty acids	1.06	0.24	0.24

¹palm oil powder



(二)、玉米粉、混合原料與排泄物營養分含量與氮蓄積分析

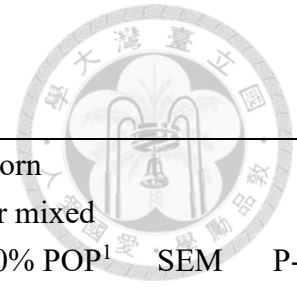
試驗所使用的玉米粉與混合原料，經採樣分析後的營養成分含量平均值如表 3 所示。結果顯示，玉米粉的總能與 NRC (1994) 檢測值相差不大。在總能方面，棕櫚油＋玉米粉之混合物組和不含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組顯著高於其他組別；其次為含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組，而玉米粉組的總能量則顯著最低 ($P < 0.05$)。乾物質含量方面，棕櫚油＋玉米粉之混合物組和不含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組顯著高於玉米粉組，而含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組則與其他各組間差異不顯著。氮含量分析結果顯示，玉米粉組顯著高於其他三組 ($P < 0.05$)。

各處理組排泄物的營養成分含量平均值經採樣分析後如表 4 所示。在總能方面，含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組和不含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組顯著高於玉米粉組和棕櫚油＋玉米粉之混合物組 ($P < 0.05$)。乾物質含量方面，各組間差異不顯著 ($P > 0.05$)。氮含量分析顯示，雖然玉米粉組的氮含量數值上較高，而含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組較低，但各組間的差異無顯著差異存在 ($P > 0.05$)。

各組間的氮蓄積含量分析結果如表 5 所示。玉米粉組之氮排出量，顯著高於不含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組者，而棕櫚油＋玉米粉之混合物組和含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組的氮排出量，與前述兩組者之差異皆不顯著 ($P < 0.05$)。所有組別均呈現負氮平衡，所排出的氮含量均高於攝取的氮含量，且不含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組之負氮平衡，顯著低於玉米粉組者和含甘油之棕櫚油粉＋玉米粉之混合物組者 ($P < 0.05$)，但與棕櫚油＋玉米粉之混合物者之間則差異不顯著 ($P > 0.05$)。其餘三組間之負氮平衡也無顯著差異存在 ($P > 0.05$)。

表 3、玉米粉與混合原料之營養分分析[#]

Table 3. Composition of intubation samples [#]



Group [#]	Corn powder	90% Corn powder mixed with 10% palm oil	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ containing free glycerol	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
Gross energy (cal/g)	4071.37 ^c	4559.93 ^a	4407.93 ^b	4556.23 ^a	20.73	0.021
Dry matter (%)	86.80 ^b	88.11 ^a	87.75 ^{ab}	88.11 ^a	0.35	0.032
Nitrogen content (%)	1.15 ^a	1.04 ^b	1.04 ^b	1.04 ^b	0.01	0.025

[#]Measured values, n = 6.

*a-c indicates significant differences within the same row (P < 0.05).

¹palm oil powder

表 4、不同油脂來源冷凍乾燥後排泄物之營養分分析[#]

Table 4. Composition of freeze-dried excreta samples from different oil sources [#]

Group [#]	Corn powder	90% Corn powder mixed with 10% palm oil	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ containing free glycerol	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
Gross energy (cal/g)	3288.82 ^b	3417.48 ^b	3529.11 ^a	3693.80 ^a	64.60	0.031
Dry matter (%)	91.89	91.23	92.19	91.66	0.01	0.928
Nitrogen content (%)	14.10	13.29	12.77	12.01	0.64	0.649

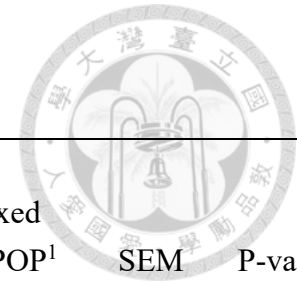
[#]Measured values, n = 6.

*a-b indicates significant differences within the same row (P < 0.05).

¹palm oil powder

表 5、不同油脂來源氮含量分析

Table 5. Nitrogen retention from different oil sources



Group [#]	Corn powder	90% Corn powder mixed with 10% palm oil	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ containing free glycerol	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
N intake, g	0.300 ^a	0.275 ^b	0.274 ^b	0.275 ^b	0.0001	< 0.001
N output, g	1.08 ^a	0.87 ^{ab}	1.03 ^{ab}	0.75 ^b	0.07	0.026
N retention ² , g	-0.78 ^b	-0.59 ^{ab}	-0.76 ^b	-0.47 ^a	0.07	0.031

[#]Measured values, n = 6.

*a-b indicates significant differences within the same row (P < 0.05).

¹palm oil powder

²Nitrogen retention is calculated as the difference between nitrogen intake and output.

(三)、不同油脂來源之混合原料表面消化率、AME、AME_n、TME、TME_n與能量消化率

不同油脂來源之混合原料的表面消化率、AME、AME_n、TME、TME_n與能量消化率的結果如表 6 所示。其中，不含甘油之棕櫚油粉+玉米粉之混合物組別的乾物質消化率，顯著高於含甘油之棕櫚油粉+玉米粉之混合物組者 ($P < 0.05$)，但與其餘二組者之間則無顯著差異存在 ($P > 0.05$)，且後三組之乾物質消化率間也是差異不顯著 ($P > 0.05$)。

在 AME 方面，棕櫚油+玉米粉之混合物組顯著最高 ($P < 0.05$)，而玉米粉組則顯著最低 ($P < 0.05$)，但其餘兩組之間則無顯著差異存在 ($P > 0.05$)。玉米粉組之 AME_n 顯著低於其餘三組者 ($P < 0.05$)，且含甘油之棕櫚油粉+玉米粉之混合物組者也顯著低於其餘兩組者 ($P < 0.05$)，但此二組者間卻差異不顯著 ($P > 0.05$)。

各組間 TME 值與 TME_n 值之比較結果，與上述 AME_n 值之比較情形雷同。至於能量消化率，各組之間並無顯著差異存在 ($P > 0.05$)。

表 6、不同油脂來源之混合原料表面消化率、AME、AME_n、TME、TME_n 與能量消化率

Table 6. Dry matter digestibility, AME, AME_n, TME, TME_n Concentration, and energy digestibility of mixed samples from different oil sources

Group [#]	Corn powder	90% Corn powder mixed with 10% palm oil	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ containing free glycerol	90% Corn powder mixed with 10% POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
dry matter digestibility (%)	78.19 ^{ab}	80.84 ^{ab}	75.92 ^b	81.76 ^a	1.19	0.033
AME ² (cal/g)	3568.67 ^c	4046.17 ^a	3879.99 ^b	3985.68 ^b	22.51	<0.001
AME _n ³ (cal/g)	3569.22 ^c	4046.52 ^a	3918.79 ^b	3985.94 ^a	22.52	<0.001
TME ⁴ (cal/g)	3921.79 ^c	4397.74 ^a	4232.92 ^b	4336.25 ^a	23.21	<0.001
TME _n ⁵ (cal/g)	3922.42 ^c	4398.17 ^a	4233.61 ^b	4336.58 ^a	23.17	<0.001
energy digestibility (%)	96.33	96.44	94.97	95.17	0.35	0.537

[#]Measured values, n = 6.

*a-c indicates significant differences within the same row (P < 0.05).

¹palm oil powder

²AME : apparent metabolizable energy

³AME_n : nitrogen-corrected apparent metabolizable energy

⁴TME : true metabolizable energy

⁵TME_n : nitrogen-corrected true metabolizable energy

(四)、不同油脂分別以比例或是能量消化率計算之 AME、AME_n、TME 與 TME_n

各油脂以比例或能量消化率計算之 AME、AME_n、TME 與 TME_n 的結果如表 7 所示。在總能方面，棕櫚油和不含甘油之棕櫚油粉的總能量相近，顯著高於含甘油之棕櫚油粉。

以比例計算法分析，棕櫚油的 AME 和 AME_n 值與不含甘油之棕櫚油粉之間無顯著差異，但均顯著高於含甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)。在 TME 和 TME_n 方面，棕櫚油顯著高於含甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)，而含甘油之棕櫚油粉則與其他兩組間無顯著差異 ($P > 0.05$)。

以能量消化率計算法分析，三種油脂來源間的差異更為明顯。棕櫚油的 AME 和 AME_n 值顯著高於不含甘油之棕櫚油粉，而後者又顯著高於含甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)。同樣地，在 TME 和 TME_n 方面，棕櫚油顯著高於不含甘油之棕櫚油粉，而後者又顯著高於含甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)。

比較兩種計算方法，以比例計算法所得之各項代謝能值的標準誤差 (SEM) 均較大 (267.03-267.35)，而以能量消化率計算法所得之相應值的標準誤差則明顯較小 (31.07-48.18)，顯示後者提供了更穩定且精確的評估結果。

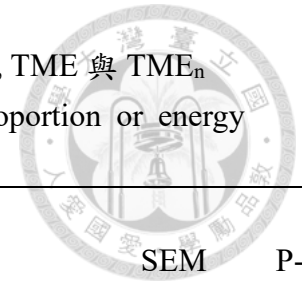


表 7、不同油脂分別以比例或是能量消化率計算之 AME, AME_n, TME 與 TME_n

Table 7. AME, AME_n, TME and TME_n of different oil calculated by proportion or energy digestibility

Group [#]	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
Gross energy (cal/g)	8957.43 ^a	7437.47 ^b	8920.53 ^a	7.81	0.026
Calculated by proportion					
AME (cal/g)	8343.70 ^a	6681.88 ^b	7738.75 ^a	267.35	0.005
AME _n (cal/g)	8347.20 ^a	6687.50 ^b	7741.40 ^a	267.31	0.005
TME (cal/g)	8676.38 ^a	7028.70 ^b	8061.41 ^{ab}	267.08	0.008
TME _n (cal/g)	8679.89 ^a	7034.32 ^b	8064.06 ^{ab}	267.03	0.008
Calculated by energy digestibility					
AME (cal/g)	7947.83 ^a	6546.26 ^c	7802.99 ^b	48.18	<0.001
AME _n (cal/g)	7948.18 ^a	6546.82 ^c	7803.26 ^b	48.18	<0.001
TME (cal/g)	8638.42 ^a	7063.14 ^c	8489.33 ^b	31.07	<0.001
TME _n (cal/g)	8638.77 ^a	7063.70 ^c	8489.60 ^b	31.07	<0.001

[#]Measured values, n = 6.

*a-c indicates significant differences within the same row (P < 0.05).

¹palm oil powder



四、討論

隨著飼料原料多元化發展，新興飼料原料的營養價值評估變得越來越重要。本研究採用成熟蛋公雞模式評估不同油脂來源的代謝能，結果顯示此模式具有良好的實用性。成熟蛋公雞具備完整的消化能力，包括充足的消化酶、膽鹽分泌，以及發育成熟的消化道系統，能有效消化與吸收添加 10% 油脂的玉米粉混合飼糧。本研究測得之棕櫚油 TME 與 TME_n 與先前文獻之數值相近 (NRC, 1994; Leeson and Summers, 2008)，證實了此模式的可靠性。三種油脂的能量消化率均超過 90% 且彼此間無顯著差異。兩種油粉消化率之間沒有顯著差異，可能是因為成熟蛋公雞消化道成熟，乳化劑與游離甘油的影響不大。乳化劑在功能上類似膽鹽，能夠將脂肪團塊乳化為微小脂滴，並穩定這些脂滴以防止其重新聚集，從而提高脂肪的消化率並提升胰解脂酶的活性 (Guerreiro Neto et al., 2011; Guo et al., 2017)。然而，在成熟蛋公雞的完整消化系統中，由於自身膽鹽分泌充足，已能有效處理油脂的乳化過程，因此額外添加的乳化劑所提供的輔助作用相對有限。這意味著，乳化劑的效益在這種生理成熟的動物模式中並未顯著增強消化之效率。另一方面，游離甘油作為一種快速吸收與利用的能量來源，能夠提供額外的能量補充。然而，在成熟蛋公雞的發育完備消化道下，游離甘油的這些額外效益對整體消化率的影響亦不明顯。總體而言，這一現象表明，因為成熟蛋公雞的消化系統功能完善，已能充分乳化和消化油脂，因此乳化劑與游離甘油等成分的額外益處變得有限，導致兩種油粉之間的消化率沒有顯著差異。

本研究採用混合物之方法而非直接管餵油脂，此設計具有堅實的理論基礎。單純餵飼油脂無法完整反映其在實際應用中的營養價值，因為油脂具有增強其他營養成分吸收的協同效應。這種現象主要通過延長食糜在腸道的停留時間來實現 (Baião and Lara, 2005; Tanchaoenrat et al., 2013)。混合餵飼更能模擬實際飼養條件下油脂的消化吸收過程。

選擇 10% 的油脂添加比例而非 30% 是基於多方面考量：首先，過高比例的



油脂可能超出動物體的吸收能力；其次，Sibbald (1975) 的研究指出，雖然油脂的 AME 值隨攝入量增加而上升，但存在上限值。這與 Aardsma et al. (2017) 採用 10% 油脂添加比例的實驗設計相符。本研究前期嘗試直接餵飼 30 g 油脂的經驗進一步支持了這一選擇。該預試驗發現，蛋公雞不僅排泄物收集時間長達 96 小時，其排泄物亦呈現油狀（如圖 3），且測得的 AME 值與能量消化率極低。此結果推測是過量油脂未能被充分消化吸收所致。

氮矯正是代謝能評估中的關鍵步驟，尤其當使用成熟動物進行實驗時更顯重要。根據文獻與本研究結果，若動物僅攝取單一飼糧原料而導致能量攝入不足，身體便會分解蛋白質（異化作用）以獲取能量。在此過程中，胺基酸需經過轉胺或脫胺作用去除胺基，這些氮最終主要以尿酸形式排出體外。若動物因此處於負氮平衡（氮排出量大於攝入量）表示體內或飼糧原料提供之蛋白質正被分解以提供能量。氮矯正的目即是為了校正這部分已被利用的能量損失，但未能從排泄物中總能測得之能量。因此，氮排出量越多（通常代表負氮平衡越嚴重），顯示該單一飼料原料越無法滿足動物的維持需求，其測得的 AME 值與校正後的 AME_n 值之間的差異也就會越大。在本研究中，觀察到不同處理組間的氮排出量有所差異，推測這可能與測試物質的組成有關。例如，雖然油脂本身不含氮，但正如 Baião and Lara (2005) 指出，其消化吸收過程或效率，仍可能間接影響蛋白質的利用效率，進而影響氮的排出量。

AME_n 與 TME_n 的主要區別在於是否考慮內源性能量損失。 TME_n 扣除了內源性糞能和尿能，理論上更接近飼料的真實能量價值。然而，以飢餓方式測定 TME_n 存在一些缺點：首先，飢餓狀態下的代謝與正常攝食狀態不同，可能高估內源性能量損失；其次，飢餓可能改變腸道功能，影響測定結果的準確性（Sibbald, 1976）。

為了避免傳統飢餓法可能對動物造成的生理壓力與負面影響，其中回歸法與指示劑法是兩種主要的替代途徑。回歸法的核心概念是建立待測飼料原料在飼糧



中的添加比例與該飼糧整體 AME 之間的量化關係。將欲測飼糧原料之取代率(x)與各相對飼糧之 AME 值(y)，進行直線迴歸分析。最終，透過得到的迴歸方程式，利用外插法(extrapolation)將直線延伸，推算當取代率達到 100% 時所對應的 AME 預測值，此數值便被視為該待測原料本身的 AME 估計值。例如，Lee and Chiang (1994) 便曾透過在飼糧中添加不同劑量的中鏈三酸甘油酯，並運用直線迴歸的方法來估算其 AME 值。這種方法的主要優點在於無需讓動物經歷飢餓，從而排除了飢餓狀態對實驗結果的潛在干擾；然而，其缺點是需要設計並執行多個不同取代比例的試驗組別，這意味著需要投入更多的試驗動物與飼養管理資源。

另一方面，指示劑法則是利用在飼糧中添加少量、已知濃度且不能被動物消化吸收的指示劑(如二氧化鈦、三氧化二鉻或二氧化矽)藉由精確測定飼料中以及後續收集到的動物排泄物樣本中指示劑的濃度，比較兩者濃度的變化比例，便能間接推算出飼料中養分的消化率或整體的代謝能值。指示劑法的主要優勢在於操作相對簡便，特別是它不需要收集動物在試驗期間排出的所有排泄物，僅需採集部分具有代表性的樣本進行分析即可，大大減輕了收集和處理樣品的工作量。然而，此方法的準確性高度依賴於所採集樣本的代表性。由於動物的排泄量和成分在不同時間點可能有所不同，因此採樣的時段和頻率需要精心設計，以確保收集到的樣本能真實反映整個測定期間的平均狀況，這對結果的可靠度至關重要。

在實際的飼料配方應用中，儘管 TME_n 理論上被認為更能貼近飼料原料的真實能量含量，但 AME_n 卻是更常被採用的指標。這主要有兩個原因：第一， AME_n 的測定方法相對簡單，不需要像測定 TME_n 那樣額外設置飢餓處理組或使用特殊的無氮飼糧；第二，也是最關鍵的一點，目前廣泛使用的家禽營養需要量標準，絕大多數是基於 AME 或 AME_n 的數值所建立的。因此，若在配方中使用 TME_n 值，反而會因為無法直接與這些既有的需要量數據對接，而導致實際應用上的困難與不便。

然而，在探討如何更精確地『評估』特定原料(尤其是油脂)的能量價值時，



本研究的結果則提供了重要的參考。研究數據顯示，相較於透過簡單的比例取代或添加量差異來推算 AME 或 TME 的方法，採用基於『能量消化率』進行計算所得到的能量值，其標準誤差顯著較小。這意味著利用能量消化率來評估能量價值，結果更為穩定且可靠。

此結論呼應了 Sibbald and Price (1977) 與 Dale and Fuller (1982) 的早期研究，他們指出油脂 TME 在飼料混合物中常不具加成性。這種非加成性現象，解釋了為何依賴加成性假設的比例取代或添加量差異易產生較大誤差。

此一發現特別適用於油脂能量的評估。由於油脂在飼料中可能與其他營養成分產生複雜的交互作用，進而影響整體的能量利用效率，單純以比例增減計算可能無法完全捕捉這些效應 (Aardsma and Parsons, 2017)。相對地，基於能量消化率的計算方法，更能整合性地反映這些交互作用對最終能量吸收利用的影響。因此，本研究結果明確指出，在評估含有油脂的飼料或油脂本身的能量價值時，優先選擇基於能量消化率的計算方法，將能獲得更為精確可靠的評估結果。

總體而言，本研究不僅提供了不同油脂來源的 AME、 AME_n 、TME 與 TME_n ，為飼料配方設計提供了參考依據，同時也驗證了成熟蛋公雞模式在評估新興飼料原料能量價值方面的適用性，並為油脂能量評估方法的優化提供了新的思路。這些發現對於提高飼料配方的精確性和經濟效益，與促進飼料原料多元化發展具有重要意義。



圖 3、預試驗收集並凍乾的排泄物樣本

Figure 3. Pre-trial collected and freeze-dried excreta sample

第二章、以白肉雞為動物模式，檢測棕櫚油粉之

可代謝能濃度



一、前言

白肉雞作為快速生長的家禽，在不同的日齡階段，由於幼齡動物膽汁分泌不足、胰脂肪酶活性較低，以及腸道細胞發育尚未完全，會限制其對脂質的消化能力 (Leeson and Summers, 2008)。根據前述文獻探討，棕櫚油粉含有高比例的 SFA，其利用效率在成熟的蛋公雞與未成熟的白肉雞之間存在差異。此外，甘油在肉豬飼糧中有助於提升採食量，而在白肉雞方面，對於提高油脂消化率及促進生長表現的效果則需進一步評估。因此，有必要研究棕櫚油粉對白肉雞在不同年齡階段的能量消化率是否存在差異，並評估含甘油與不含甘油之棕櫚油粉是否適合作為白肉雞飼糧中的油脂來源。

本章試驗旨在評估棕櫚油、含甘油之棕櫚油粉與不含甘油之棕櫚油粉三種油脂對白肉雞在不同生長階段的可代謝能 (AME) 與能量消化率的影響。試驗共分為四組，其中一組為基礎飼糧組，不額外添加油脂；其餘三組分別為 95%基礎飼糧搭配 5%棕櫚油、含或不含甘油之棕櫚油粉。通過計算混合飼糧的 AME，並扣除基礎飼糧的 AME 後，反推油脂比例以得出油脂的 AME 值。藉由這種方式，可獲得油脂對白肉雞在不同生長階段的 AME 與能量消化率數據，並與試驗一的 AME_n 結果進行比較，以探討是否成熟蛋公雞所測得的 AME_n 值適用於白肉雞的生長階段。



二、材料與方法

(一)、白肉雞之試驗操作

本試驗以 0 日齡之白肉雞 (Ross 308, 不分公母) 進行試驗, 採用隨機區集設計 (randomized complete block design, RCBD)。試驗開始前, 所有雞隻均進行秤重與打翅號, 平均體重為 39.92 ± 2.13 g, 隨後進行分組。試驗為期 35 日, 分為三個飼養階段 (0-10、10-21、21-35 日齡)。試驗組別共分為 4 組, 每組 6 欄, 每欄 6 隻, 分別為基礎飼糧對照組 (不額外添加油脂)、95%基礎飼糧搭配 5%棕櫚油、5%含游離甘油之棕櫚油粉或 5%不含游離甘油之棕櫚油粉的處理組。飼糧配方主要參考 Ross 308 Broiler Nutrition Supplement (2019) 針對第一階段的營養推薦量, 並結合 NRC (1994) 中白肉雞的營養需求進行配方計算, 以玉米、大豆粕為主要原料, 並添加 0.3%矽砂作為指示劑, 透過飼料混合機製備飼糧, 且三個飼養階段皆使用相同的飼糧配方 (見表 8)。

0-21 日齡期間, 雞隻飼養於巴特利籠 (battery cage, 60 x 90 cm) 中。入雞時溫度控制在 38°C, 隨後每隔 4 天降低 2°C, 直至 3 週齡時達到約 25°C。期間自 1 日齡起, 每隔一日對新鮮排泄物進行收集。每次收集前均更換糞盤上的錫箔紙, 收集時間為 6 小時。每次收集新鮮排泄物後, 立即將其放入塑膠材質之尖底離心管中並加蓋, 隨後將離心管插入碎冰塊中, 確保碎冰完全覆蓋離心管, 以期將微生物作用對樣本的影響降至最低。

21-35 日齡則改為平面飼養, 以粗糠作為墊料, 環境溫度維持在約 25°C。於 29、31 與 33 日齡時, 採用人工造口袋, 貼附於雞隻泄殖腔, 進行排泄物收集, 並於 6 小時後取回造口袋。

光照管理方面, 雞隻於 3 日齡前採用每日 24 小時光照, 3 日齡後調整為每日 23 小時光照, 1 週齡後則為每日 20 小時光照。試驗期間, 飼料與飲用水均採自由採取方式供應。試驗於每個飼養階段的最後一天 (第 10、21、35 日齡) 進行雞隻體重與剩餘飼料的秤重。秤重前, 雞隻需禁食 4 小時, 以獲得空腹體重。隨後經由

雞隻體增重與採食量之計算，獲得各欄位之飼料效率。



(二)、表面消化率之檢測

飼料原料與所收集之白肉雞排泄物，進行水分的測定，方法同第一章材料與方法所述。飼料原料使用採樣棒進行均勻採樣，並在均質混合後進行分析，具體方法與試驗一中所述的材料與方法一致。另外，為測定白肉雞排泄物總量，以矽砂作為指示劑進行分析。秤取 0.5 g 樣品置於乾淨之 30 mL 之鐵坩堝（Iron Crucible, 3948001, SABP, Japan）中，將樣品置於灰化爐（Maxthermo MC-2838, Dengyng, Taiwan）以 600°C 加熱 4 小時進行灰化，放涼後以 20% NaOH 溶液進行溶解，並過濾至 100 mL 塑膠定量瓶中，完成定量後，並將部分定量液儲存於塑膠瓶（Narrow Mouth Bottle PP, Tarsons, India）中，以備後續分析。依照環境檢驗所公告之水中矽酸鹽檢測方法-鉬矽酸鹽比色法（NIEA W450.50B）應用矽鉬黃法（yellowish silicomolybdenum complex）以分光光度計（SP-830 Plus, Metertech, Taiwan）測量經序列稀釋並定量之標準液的吸光值，建立二氧化矽（SiO₂）濃度與吸光值之間的標準曲線。根據標準曲線與樣品溶液的吸光值數據，推算樣品中矽的濃度，進而估算排泄物總量。

透過矽鉬黃法可以量測水中矽酸鹽的濃度。此法的基礎是：在酸性環境中，矽酸鹽會與鉬酸鹽反應形成一種帶有黃色的矽鉬黃雜多酸（Heteropoly acid）。這種黃色物質的生成量與水中矽酸鹽的濃度成正比。因此，藉由分光光度計在 410 nm 波長偵測其吸光度，便能得知水中矽酸鹽的濃度。

對消化率試驗中所使用的飼糧以及所收集的白肉雞排泄物樣品，分別進行近似分析檢測。檢測項目包括乾物質含量及能量含量。

$$\text{表面消化率 (\%)} = [(A \times B - C \times D) / (A \times B)] \times 100\%$$

A：混合原料中營養分濃度（%）。 B：採食量（g）。

C：排泄物中營養分濃度（%）。 D：排泄物總量（g）。



(三)、表面可代謝能濃度計算

總能測定方式如同試驗一，根據下列公式計算表面可代謝能濃度：

$$\text{表面可代謝能 (kcal/kg)} = (\text{採食量 (g)} \times \text{飼料總能 (kcal/kg)}) - (\text{排泄物總量 (g)} \times \text{排泄物總能 (kcal/kg)})$$

棕櫚油之可代謝能如下：

$$\frac{\text{棕櫚油混合飼料之可代謝能} - 0.95 \times \text{基礎飼料之可代謝能}}{0.05}$$

含甘油之棕櫚油粉之可代謝能如下：

$$\frac{\text{含甘油之棕櫚油粉飼料之可代謝能} - 0.95 \times \text{基礎飼料之可代謝能}}{0.05}$$

不含甘油之棕櫚油粉之可代謝能如下：

$$\frac{\text{不含甘油之棕櫚油粉飼料之可代謝能} - 0.95 \times \text{基礎飼料之可代謝能}}{0.05}$$

(四)、統計分析

試驗數據使用 SAS 統計分析軟體 (Statistical Analysis System, Ver 9.4, for Windows10, 2018, USA) 進行處理，所得數據透過一般線性模式 (General Linear Models procedure, GLM) 進行變方分析 (ANOVA)。當 P-value 小於 0.05 時，視為存在顯著差異，隨後採用特奇氏公正顯著差異法 (Tukey' s honest significant difference, HSD) 對各處理間的均值進行比較。

表 8、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值

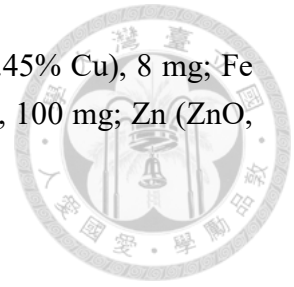
Table 8. Nutrient composition and analyzed value of diets for broiler

Ingredients, %	Basal diet	5% Palm oil	5% POP ¹	5%POP ¹
		plus 95% Basal diet	with free glycerol plus 95% Basal diet	without free glycerol plus 95% Basal diet
Corn meal	55.24	52.47	52.47	52.47
Soybean meal	35.62	33.84	33.84	33.84
Fish meal	5.00	4.75	4.75	4.75
Palm oil	0	5	0	0
POP ¹	0	0	5	0
with free glycerol				
POP ¹	0	0	0	5
without free glycerol				
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (21%)	1.04	0.99	0.99	0.99
CaCO ₃	1.09	1.03	1.03	1.03
DL-Methionine	0.32	0.30	0.30	0.30
Lysine-HCl	0.19	0.18	0.18	0.18
NaCl	0.30	0.29	0.29	0.29
Vitamin premix ²	0.30	0.29	0.29	0.29
Mineral premix ³	0.20	0.19	0.19	0.19
Choline-Chloride (50%)	0.15	0.14	0.14	0.14
Coccidiosis medicines	0.05	0.05	0.05	0.05
Silica sand	0.50	0.48	0.48	0.48
Calculated value				
Crude protein (%)	23.0	21.9	21.9	21.9
AME _n (kcal/kg)	2900	3187	3108	3180
Analyzed				
Dry matter (%)	88.14	88.86	89.57	89.86
Crude protein (%)	22.94	21.79	21.80	21.80

¹palm oil powder

²Vitamin premix supplied per kilogram of diet: Vitamin A, 9,000 IU; Vitamin D3, 3,000 ICU; Vitamin E, 30 IU; Vitamin K3, 2.2 mg; Vitamin B1, 2.2 mg; Vitamin B2, 8.0 mg; Vitamin B6, 4.4 mg; Ca-pantothenate, 12.0 mg; Niacin, 66 mg; Biotin, 0.2 mg; Golic acid, 1.0 mg; vitamin B12, 0.02 mg.

³Mineral premix supplied per kilogram of diet: Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 25.45% Cu), 8 mg; Fe ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20.09% Fe), 100 mg; Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 32.49% Mn), 100 mg; Zn (ZnO , 80.35% Zn), 75 mg; Se (NaSeO_3 , 45.56% Se), 0.30 mg.





三、結果

(一)、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞生長表現之影響

不同油脂來源混合飼糧對白肉雞生長表現之影響如表 9 所示。在初始體重 (0 日齡) 方面，四組處理間無顯著差異 ($P > 0.05$)，顯示試驗開始時各組雞隻體重分配均勻。至 10 日齡時，95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組之體重顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)，而基礎飼糧組與 95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組則介於兩者之間，且與任一組間均無顯著差異 ($P > 0.05$)。在 21 日齡與 35 日齡時，四組處理間體重均無顯著差異存在 ($P > 0.05$)。

在體增重方面，0-10 日齡期間，95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)，而其餘兩組則介於中間且與任一組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。10-21 日齡期間，各處理組間體重增加量無顯著差異 ($P > 0.05$)。21-35 日齡期間，95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組 ($P < 0.05$)，而基礎飼糧組與 95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組則介於兩者之間且與任一組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。然而，整體試驗期間 (0-35 天) 之總體重增加量，四組處理間並無顯著差異 ($P > 0.05$)。

在採食量方面，0-10 日齡期間，95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)，而其餘兩組則介於中間且與任一組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。10-21 日齡期間，各處理組間採食量無顯著差異 ($P > 0.05$)。21-35 日齡期間，95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組 ($P < 0.05$)，而其餘兩組則介於中間且與任一組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。在整體試驗期間 (0-35 日齡)，95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組之總採食量顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組 ($P < 0.05$)，而基礎飼糧組與 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組則介於兩者之間且與任一組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。



在飼料轉換率 (FCR) 方面，0-10 日齡期間，95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組顯著優於基礎飼糧組與 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)，而 95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組則介於中間且與任一組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。10-21 日齡、21-35 日齡與整體試驗期間 (0-35 日齡) 之 FCR，各處理組間均無顯著差異存在 ($P > 0.05$)。

在歐洲生產效率指數 (European efficiency factor, EPI) 方面，於 35 日齡時，四組處理間無顯著差異 ($P > 0.05$)，顯示不同油脂來源之混合飼糧對白肉雞整體生產效率影響相近。

表 9、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞生長表現之影響

Table 9. Effects of different oil sources in mixed diets on the growth performance of broiler chickens

Group [#]	Basal diet	5% Palm oil plus 95% Basal diet	5% POP ¹ with free glycerol plus 95% Basal diet	5%POP ¹ without free glycerol plus 95% Basal diet	SEM	P-value
BW ² , g						
0 d	39.92	39.97	39.89	39.89	0.95	0.999
10 d	225.08 ^{ab}	247.78 ^a	204.52 ^b	220.23 ^{ab}	7.56	0.008
21 d	824.68	880.63	805.17	845.27	24.85	0.220
35 d	2012.61	2021.44	2073.97	2071.64	44.76	0.797
BWG ³ , g						
0-10 d	185.16 ^{ab}	207.81 ^a	164.63 ^b	180.34 ^{ab}	7.38	0.005
10-21 d	599.60	632.85	600.65	625.04	19.15	0.670
21-35 d	1187.93 ^{ab}	1140.81 ^b	1268.8 ^a	1226.37 ^{ab}	30.92	0.044
0-35 d	1972.69	1981.47	2034.08	2031.75	44.32	0.708
Intake, g						
0-10 d	227 ^{ab}	236 ^a	204 ^b	216 ^{ab}	5.63	0.008
10-21 d	1223	1235	1249	1248	27.41	0.928
21-35 d	1694 ^{ab}	1543 ^b	1711 ^{ab}	1822 ^a	59.15	0.030
0-35 d	3145 ^{ab}	3015 ^b	3164 ^{ab}	3286 ^a	65.01	0.038
FCR ⁴						
0-10 d	1.23 ^a	1.14 ^b	1.24 ^a	1.20 ^{ab}	0.02	0.024
10-21 d	2.04	1.95	2.08	2.00	0.03	0.236
21-35 d	1.43	1.35	1.35	1.49	0.04	0.342
0-35 d	1.59	1.52	1.56	1.62	0.03	0.254
EPI ⁵						
35 d	361.42	379.77	381.19	367.04	11.89	0.661

[#]Measured values, n = 6.

*a-b indicates significant differences within the same row (P < 0.05).

¹palm oil powder

²BW: body weight

³BWG: body weight gain

⁴FCR: feed intake/ body weight gain

⁵EPI: European Performance Index, [(Survival Rate (%) × Body Weight (kg)) / (FCR × Days to Market)] × 10,000

(二)、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞不同生長階段之能量消化率

不同油脂來源混合飼糧對白肉雞不同生長階段之能量消化率結果如表 10 所示。在育雛期 (0-10 日齡)，基礎飼糧組之能量消化率顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組與 95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)，而 95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組則介於基礎飼糧組與 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組之間，與兩者均無顯著差異 ($P > 0.05$)。

在生長期 (10-21 日齡)，基礎飼糧組、95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組與 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組之能量消化率均顯著高於 95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)，而前三組之間則無顯著差異 ($P > 0.05$)。

在肥育期 (21-35 日齡)，四組處理間之能量消化率無顯著差異 ($P > 0.05$)。

從生長階段的比較來看，所有處理組的能量消化率均隨著雞隻生長而顯著提高 ($P < 0.05$)，肥育期 (21-35 日齡) 的能量消化率顯著高於育雛期 (0-10 日齡) 和生長期 (10-21 日齡) ($P < 0.05$)。此外，95% 基礎飼糧 + 5% 棕櫚油組與 95% 基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組在生長期的能量消化率顯著高於育雛期 ($P < 0.05$)。然而，基礎飼糧組與 95% 基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組在生長期的能量消化率與育雛期無顯著差異 ($P > 0.05$)。

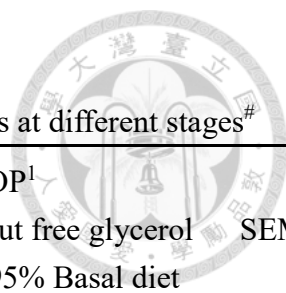


表 10、不同油脂來源混合飼糧對白肉雞不同生長階段之能量消化率[#]

Table 10. Feed energy digestibility of different oil sources in broiler chickens at different stages[#]

	Stage	Basal diet	5% Palm oil	5% POP ¹	5%POP ¹	SEM	P-value
			plus 95% Basal diet	with free glycerol plus 95% Basal diet	without free glycerol plus 95% Basal diet		
energy digestibility (%)	Starter (0-10 days)	73.49 ^{ay}	70.85 ^{abz}	68.17 ^{bcz}	67.11 ^{cy}	0.62	<0.001
	Grower (10-21 days)	74.41 ^{ay}	73.21 ^{ay}	73.11 ^{ay}	70.84 ^{by}	0.57	<0.001
	Finisher (21-35 days)	76.80 ^x	76.39 ^x	77.24 ^x	76.91 ^x	0.38	0.568
	SEM	0.54	0.71	0.84	0.92		
	P-value	0.008	<0.001	<0.001	<0.001		

[#]n = 6

*a-c Significant differences within the same row (P < 0.05).

*x-z Significant differences within the same column (P < 0.05).

¹palm oil powder



(三)、不同油脂對白肉雞不同生長階段之 AME 與能量消化率

棕櫚油、含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉對白肉雞不同生長階段之 AME 如表 11 所示。在育雛期 (0-10 日齡)，棕櫚油組的 AME 顯著高於含甘油與不含甘油的棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)。

在生長期 (10-21 日齡)，棕櫚油之 AME 值顯著高於不含游離甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)，而含游離甘油之棕櫚油粉則介於兩者之間，與其餘兩組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。

在肥育期 (21-35 日齡)，不含游離甘油之棕櫚油粉之 AME 值與棕櫚油均顯著高於含游離甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)，而棕櫚油與不含游離甘油之棕櫚油粉之間則無顯著差異 ($P > 0.05$)。

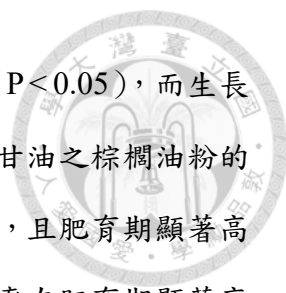
另外，從生長階段的比較來看，三種油脂來源的 AME 值均隨著雞隻生長而有所提高。棕櫚油的 AME 值在肥育階段顯著高於育雛期 ($P < 0.05$)，而生長階段則介於兩者之間，與任一階段均無顯著差異 ($P > 0.05$)。含游離甘油之棕櫚油粉的 AME 值在生長期和肥育期均顯著高於育雛期 ($P < 0.05$)。不含游離甘油之棕櫚油粉的 AME 值在肥育期顯著高於育雛期和生長期 ($P < 0.05$)。

三種油脂對白肉雞不同生長階段之能量消化率如表 12 所示。在育雛期，棕櫚油之脂肪能量消化率顯著高於含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)，而後兩者之間則無顯著差異 ($P > 0.05$)。

在生長期，棕櫚油之脂肪能量消化率顯著高於不含游離甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)，而含游離甘油之棕櫚油粉則介於兩者之間，與其餘兩組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。

在肥育期，三種油脂來源之脂肪能量消化率均無顯著差異 ($P > 0.05$)，分別為棕櫚油 85.78%、含游離甘油之棕櫚油粉 88.53% 與不含游離甘油之棕櫚油粉 88.42%。

從生長階段的比較來看，三種油脂來源的脂肪能量消化率均隨著雞隻生長而



顯著提高。棕櫚油的脂肪能量消化率在肥育期顯著高於育雛期 ($P < 0.05$)，而生長期則介於兩者之間，與任一期均無顯著差異 ($P > 0.05$)。含游離甘油之棕櫚油粉的脂肪能量消化率在生長期和肥育期均顯著高於育雛期 ($P < 0.05$)，且肥育期顯著高於生長期 ($P < 0.05$)。不含游離甘油之棕櫚油粉的脂肪能量消化率在肥育期顯著高於育雛期和生長期 ($P < 0.05$)，而生長期與育雛期之間則無顯著差異 ($P > 0.05$)。

三種油脂在白肉雞不同階段所得之 AME 與試驗一中管餵蛋公雞所得之 TME_n 相比之百分比如表 13 所示。這個比值反映了白肉雞在不同生長階段對油脂能量利用效率與成熟蛋公雞的比較。

在育雛期，棕櫚油的 AME/AME_n 百分比顯著高於含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)，而後兩者之間則無顯著差異 ($P > 0.05$)。這表明初生雛雞對棕櫚油的能量利用效率約為成熟蛋公雞的 69%，而對棕櫚油粉的利用效率僅為成熟蛋公雞的 28-34%。

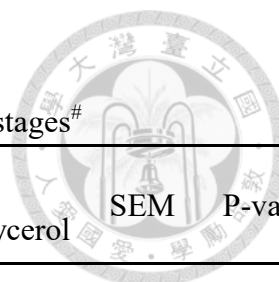
在生長期，棕櫚油的 AME/AME_n 百分比顯著高於不含游離甘油之棕櫚油粉 ($P < 0.05$)，而含游離甘油之棕櫚油粉則介於兩者之間，與其餘兩組均無顯著差異 ($P > 0.05$)。此時白肉雞對棕櫚油的能量利用效率已達成熟蛋公雞的 85% 左右。

在肥育期，三種油脂來源之 AME/AME_n 百分比均無顯著差異 ($P > 0.05$)，分別為棕櫚油 96.69%、含游離甘油之棕櫚油粉 100.56% 與不含游離甘油之棕櫚油粉 101.08%。值得注意的是，此時白肉雞對油脂的能量利用效率已接近或略高於成熟蛋公雞。

從生長階段的比較來看，三種油脂來源的 AME/AME_n 百分比均隨著雞隻生長而顯著提高。棕櫚油的 AME/AME_n 百分比在肥育期顯著高於育雛期 ($P < 0.05$)，而生長期則介於兩者之間，與任一階段均無顯著差異 ($P > 0.05$)。含游離甘油之棕櫚油粉的 AME/AME_n 百分比在生長期和肥育期均顯著高於育雛期 ($P < 0.05$)。不含游離甘油之棕櫚油粉的 AME/AME_n 百分比在肥育期顯著高於育雛期和生長期 ($P < 0.05$)，而生長期與育雛期之間則無顯著差異 ($P > 0.05$)。

表 11、不同油脂對白肉雞不同生長階段之 AME[#]

Table 11. AME of different oil sources in broiler chickens at different stages[#]



	Stage	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
	Starter (0-10 days)	5492.40 ^{ay}	2227.78 ^{by}	2210.77 ^{by}	465.86	<0.001
AME (cal/g)	Grower (10-21 days)	6784.40 ^{axy}	4994.35 ^{abx}	4622.55 ^{by}	390.54	0.002
	Finisher (21-35 days)	7683.23 ^{abx}	6583.88 ^{bx}	7887.22 ^{ax}	258.76	<0.001
	SEM	364.23	422.56	442.95		
	P-value	0.002	<0.001	<0.001		

[#]n = 6

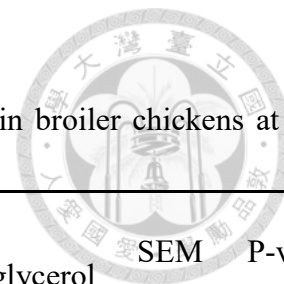
*a-b Significant differences within the same row (P < 0.05).

*x-y Significant differences within the same column (P < 0.05).

¹palm oil powder

表 12、不同油脂對白肉雞不同生長階段之能量消化率[#]

Table 12. Fat energy digestibility of different oil sources measured in broiler chickens at different stages[#]



	Stage	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
Fat energy digestibility ² (%)	Starter (0-10 days)	61.32 ^{ay}	29.96 ^{by}	24.78 ^{by}	7.13	<0.001
	Grower (10-21 days)	75.74 ^{axy}	67.16 ^{abx}	51.82 ^{by}	6.33	<0.001
	Finisher (21-35 days)	85.78 ^x	88.53 ^x	88.42 ^x	3.72	0.561
	SEM	6.75	7.18	7.16		
	P-value	<0.001	<0.001	<0.001		

[#]n = 6

*a-b Significant differences within the same row (P < 0.05).

*x-y Significant differences within the same column (P < 0.05).

¹palm oil powder

²Fat energy digestibility: AME of fat / gross energy of fat

表 13、白肉雞在不同生長階段之 AME 與蛋公雞測得所測得棕櫚油或油粉們之 AME 對蛋公雞所測得之 AME_n 的百分比值[#]

Table 13. Percentage of AME of oil from different oil sources in broiler chickens at different growth stages to AME_n of oil in roosters[#]

	Stage	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
Percentage of AME to AME _n (%)	Starter (0-10 days)	69.10 ^{ay}	34.03 ^{by}	28.33 ^{by}	7.48	<0.001
	Grower (10-21 days)	85.36 ^{axy}	76.28 ^{abx}	59.24 ^{by}	6.64	<0.001
	Finisher (21-35 days)	96.69 ^x	100.56 ^x	101.08 ^x	3.91	0.473
	SEM	6.92	7.57	7.53		
	P-value	<0.001	<0.001	<0.001		

[#]n = 6

*a-b Significant differences within the same row (P < 0.05).

*x-y Significant differences within the same column (P < 0.05).

¹palm oil powder



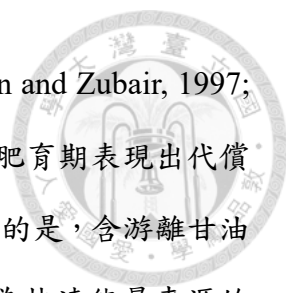
四、討論

在評估白肉雞的能量代謝時，本研究選擇不進行氮矯正，此決定基於白肉雞的生理特性與生長速度。由於白肉雞為快速生長的動物，在餵飼營養均衡飼糧的情況下，其攝入的胺基酸與能量主要用於生長，而非維持代謝。這與成年蛋公雞有顯著差異，後者因維持代謝需求而可能產生較多尿酸。Abdollahi et al. (2021) 的研究亦指出，對白肉雞的 AME 進行氮矯正可能導致能量價值的低估。這一發現強調了在不同生長階段動物的能量評估方法應當有所區別。

本研究在實驗設計上採用不額外添加油脂之基礎飼糧作為計算油脂 AME 的基準，並在此基礎上添加 5% 油脂。這種方法設計的主要考量是最小化其他原料配比的變動，從而降低原料間交互作用對能量消化率的影響。這一方法選擇是基於對替代方案的審慎評估：若採用固定飼糧中 5% 為可變動成分的方式，即使其他原料配比保持不變，基礎飼糧組中仍需要添加填充物（如矽砂或纖維素）。儘管這些填充物在少量使用時不影響生長表現，但 5% 的添加量可能對消化率造成影響。因此，本研究最終採用 Tancharoenrat et al. (2013) 的實驗方法，通過比較基礎飼糧與添加不同油脂的飼糧來評估油脂對白肉雞的 AME 貢獻。

本研究觀察到油粉處理組在早期生長階段（10 日齡）呈現體重較輕的現象，儘管不含游離甘油之棕櫚油粉處理組未達統計顯著水準。此生長差異在 35 日齡時趨於消失，此現象可歸因於兩個主要生理機制。

首要因素為消化系統發育程度與脂肪酸組成之間的關聯性。研究結果顯示，當飼糧中長鏈飽和脂肪酸比例較高時，幼年期白肉雞因消化酶與膽鹽分泌不足，導致脂肪消化吸收效率受限。隨著消化道逐漸發育成熟，膽鹽與消化酶分泌量增加，顯著改善了飽和脂肪酸的消化吸收效率 (Baião and Lara, 2005; Tancharoenrat et al., 2014)。此發現對現行以成熟蛋公雞 AME_n 值作為飼糧配方依據的實務提出重要警示，特別是在評估早期生長階段飼糧的營養價值時，有必要考量幼年期消化能力的生理限制。



次要因素涉及代償性生長機制 (Summers et al., 1990; Leeson and Zubair, 1997; Zubair and Leeson, 2019)。研究發現，早期營養限制導致動物在肥育期表現出代償性採食行為，最終達到與對照組相當的上市體重。特別值得注意的是，含游離甘油之棕櫚油粉處理組最終達到最高體重，此現象可歸因於甘油作為快速能量來源的特性 (Mandalawi et al., 2014)。然而，這種代償性生長模式雖然使最終體重達標，但從能量利用效率與動物福利的角度來看，可能並非最理想的生長策略。

為了釐清本試驗中兩種油粉組別生長表現無顯著差異的原因，以下將敘述 Liu et al. (2020) 對白肉雞飼糧添加乳化劑的研究結果與本試驗設計之間的差異，並分析潛在影響因素。

Liu et al. (2020) 的研究比較了添加 0.1% 乳化劑的組別與對照組，結果顯示在第二期與第三期，添加乳化劑的組別生長表現與對照組有顯著差異。這一可比較性主要歸因於兩組之間攝取的飼糧能量相同，因此能夠直接歸因於乳化劑的影響，而不會受到能量差異的干擾。

相較之下，本試驗的設計存在能量不一致的問題：對照組與額外添加油脂的處理組之間飼糧能量濃度不同，這使得兩組之間的生長表現差異難以明確斷定原因，因為能量濃度變數可能掩蓋其他因素的效應。在本試驗中，基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組別的乳化劑比例為 0.35%，相當於 Liu et al. (2020) 所用劑量的 3.5 倍，理論上應能提供更強的輔助作用，提升油脂消化率並改善生長表現。

然而，能量差異成為關鍵影響因素：基礎飼糧 + 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組別的能量較基礎飼糧 + 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組別高出 70 kcal/kg。根據 Leeson et al. (1996) 的研究，隨著飼糧能量增加，雞隻的生長表現通常更好，主要原因是體脂肪的堆積增加。這一能量優勢可能提升不含游離甘油組別的雞隻生長表現，從而抵消含游離甘油組別的乳化劑優勢，導致兩種油粉組別之間的生長表現無顯著差異。此外，從油脂能量消化率的角度來看，兩種油粉組別在三個不同時期的消化率均無顯著差異，這也可能是造成兩組生長表現無顯著差異的原因之一。



總體而言，本試驗雖然含游離甘油之油粉組別在乳化劑比例上具有理論優勢，但能量差異透過促進體脂肪堆積而平衡了結果。這強調了試驗設計中維持能量一致性的的重要性，以避免混淆因素影響結果解讀。雖然生長表現並非本試驗最主要討論的指標，但若未來研究需比較不同組別的生長表現，則應注意維持飼糧配方中能量的一致性，以更精確評估乳化劑與游離甘油的獨立效果。

在後期生長階段，研究結果呈現出兩個重要發現：首先，從表 13 可見，白肉雞肥育期測得的油脂 AME 值與成熟蛋公雞測得的 AME_n 值比例接近或略高於 100%（棕櫚油為 96.69%、含游離甘油之棕櫚油粉為 100.56%、不含游離甘油之棕櫚油粉為 101.08%），顯示此階段白肉雞對油脂能量的利用效率已與成熟蛋公雞相當；其次，在白肉雞之肥育期，不同飽和程度的油脂（包括 SFA 比例較低的棕櫚油與 SFA 比例較高的油粉）均展現相似的能量消化率，表 13 顯示三種油脂來源之間無顯著差異（ $P > 0.05$ ）。這些發現與 Baião and Lara（2005）的結果相互印證，確認了在後期生長階段，油脂飽和程度對其消化吸收的影響程度降低。這項發現具有重要的實踐意義，不僅驗證了使用成熟蛋公雞測定的 AME_n 值可作為白肉雞後期（21-35 日齡）飼糧配方設計的可靠參考依據，同時也為後期飼糧油脂來源的選擇提供了更大的彈性空間，允許飼料配方師根據市場價格和供應情況，在不同飽和程度的油脂間進行更靈活的替換。

綜合上述發現，本研究強調了白肉雞在不同生長階段，對油脂利用效率的顯著差異，並突顯出現行飼料評價體系，可能需要根據動物生長階段，進行調整的必要性。這些結果對飼料配方設計提供了重要的理論基礎，建議在實務應用時採取更細緻的分階段營養策略。

第三章、棕櫚油粉對白肉雞生長表現之評估



一、前言

棕櫚油作為家禽飼糧的主要脂質來源之一，能提供高能量，並供應必需脂肪酸，以滿足生長需求，而棕櫚油可進一步加工成棕櫚油粉，其在白肉雞生長表現的影響尚不明確。據文獻顯示，棕櫚油粉在離乳仔豬的 AME 濃度高，且能改善下痢狀況 (Ren et al., 2020)。本研究前一階段實驗結果顯示，白肉雞在前兩期的棕櫚油粉 AME 及能量消化率均低於棕櫚油，但這些結果是在不同能量處理下獲得的。因此，在相同能量與蛋白質處理條件下，仿照商業配方模式進行飼養，比較不同油脂對生長表現的差異為何，值得探討。

因此，本試驗以棕櫚油、含與不含甘油之棕櫚油粉作為油脂來源，仿照商業配方模式進行飼養，配製三期各組間均為等能量與粗蛋白濃度的飼糧，檢測各期白肉雞的生長表現，以評估這些油脂來源對雞隻生長是否具有益處。



二、材料與方法

(一)、白肉雞之飼養管理

本試驗以 0 日齡之白肉雞 (Ross 308, 不分公母) 進行生長試驗, 採用隨機區集設計 (randomized complete block design, RCBD)。試驗開始前, 所有雛雞均進行秤重與打翅號, 平均體重為 44.41 ± 2.61 g, 隨後進行分組。試驗為期 35 日, 分為三個飼養階段 (0-10、10-21、21-35 日齡)。試驗組別共分為 3 組, 每組 6 欄, 每欄 10 隻, 分別為棕櫚油對照組、含游離甘油之棕櫚油粉處理組與不含游離甘油之棕櫚油粉處理組。飼糧設計模擬商業飼糧 (第一期飼糧中添加 5% 魚粉、第二、三期添加 5% 肉骨粉)。飼糧配方主要參考 Ross 308 Broiler Nutrition Supplement (2019) 之營養推薦量, 並結合 NRC (1994) 中白肉雞的營養需求進行配方計算, 以玉米、大豆粕為主要原料, 透過飼料混合機製備符合白肉雞營養需求之等能量、等蛋白質濃度飼糧 (見表 14 至 16), 各飼料原料之能量濃度乃以蛋公雞之 AME_n 為依據。

欄位以粗糠作為墊料進行平面飼養, 並使用保溫燈調控環境溫度。入雛時將保溫燈中心下方墊料的表層溫度調整為 38°C , 隨後每隔 4 天透過調整保溫燈高度將溫度降低 2°C , 直至 3 週齡時達到環境溫度 (約 25°C), 並停止保溫。光照管理部分, 雞隻 3 日齡前採用每日 24 小時光照, 之後調整為每日 23 小時光照, 1 週齡後採用每日 20 小時光照。實驗期間採任飼、任飲。試驗於每個飼養階段的最後一天 (第 10、21、35 日齡) 進行雞隻體重與剩餘飼料的秤重, 並更換符合下一階段營養需求的飼糧。秤重前, 雞隻需禁食 4 小時, 以獲得空腹體重。隨後經由雞隻體重與採食量之計算, 獲得各欄位之飼料效率。

$$\text{飼料效率 (Feed conversion ratio, FCR)} = \text{雞隻採食量 (g)} / \text{雞隻體增重 (g)}$$

(二)、統計分析

試驗數據使用 SAS 統計分析軟體 (Statistical Analysis System, Ver 9.4, for Windows10, 2018, USA) 進行處理，所得數據透過一般線性模式 (General Linear Models procedure, GLM) 進行變方分析 (ANOVA)。當 P-value 小於 0.05 時，視為存在顯著差異，隨後採用特奇氏公正顯著差異法 (Tukey's honest significant difference, HSD) 對各處理間的均值進行比較。

表 14、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值，0-10 日齡

Table 14. Nutrient composition and analyzed value of diets for broiler, 0-10 day-old

Ingredients, %	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol
Corn meal	52.35	50.73	52.24
Soybean meal	36.14	36.42	36.15
Fish meal	5.00	5.00	5.00
Palm oil	2.92	0	0
POP ¹ with free glycerol	0	4.25	0
POP ¹ without free glycerol	0	0	3.01
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (21%)	1.05	1.06	1.05
CaCO ₃	1.08	1.07	1.08
DL-Methionine	0.32	0.32	0.32
Lysine-HCl	0.19	0.19	0.19
NaCl	0.30	0.30	0.30
Vitamin premix ²	0.30	0.30	0.30
Mineral premix ³	0.20	0.20	0.20
Choline-Chloride (50%)	0.15	0.15	0.15
Calculated value			
Crude protein (%)	23.0	23.0	23.0
AME _n (kcal/kg)	3000	3000	3000
Analyzed			
Dry matter (%)	87.76	88.53	88.76
Crude protein (%)	23.30	22.87	23.33

¹palm oil powder

²Vitamin premix supplied per kilogram of diet: Vitamin A, 9,000 IU; Vitamin D3, 3,000 ICU; Vitamin E, 30 IU; Vitamin K3, 2.2 mg; Vitamin B1, 2.2 mg; Vitamin B2, 8.0 mg; Vitamin B6, 4.4 mg; Ca-pantothenate, 12.0 mg; Niacin, 66 mg; Biotin, 0.2 mg; Golic acid, 1.0 mg; vitamin B12, 0.02 mg.

³Mineral premix supplied per kilogram of diet: Cu (CuSO₄·5H₂O, 25.45% Cu), 8 mg; Fe (FeSO₄·7H₂O, 20.09% Fe), 100 mg; Mn (MnSO₄·H₂O, 32.49% Mn), 100 mg; Zn (ZnO, 80.35% Zn), 75 mg; Se (NaSeO₃, 45.56% Se), 0.30 mg.

表 15、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值，10-21 日齡

Table 15. Nutrient composition and analyzed value of diets for broiler, 10-21 day-old

Ingredients, %	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol
Corn meal	55.33	53.38	55.20
Soybean meal	33.69	34.03	33.71
Meat and bone meal	5.00	5.00	5.00
Palm oil	3.52	0	0
POP ¹ with free glycerol	0	5.12	0
POP ¹ without free glycerol	0	0	3.63
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (21%)	0.46	0.47	0.46
CaCO ₃	0.52	0.52	0.52
DL-Methionine	0.36	0.36	0.36
Lysine-HCl	0.13	0.13	0.13
NaCl	0.30	0.30	0.30
Vitamin premix ²	0.30	0.30	0.30
Mineral premix ³	0.20	0.20	0.20
Choline-Chloride (50%)	0.15	0.15	0.15
Coccidiosis medicines	0.05	0.05	0.05
Calculated value			
Crude protein (%)	21.5	21.5	21.5
AME _n (kcal/kg)	3100	3100	3100
Analyzed			
Dry matter (%)	89.24	88.97	88.82
Crude protein (%)	21.56	21.48	21.62

¹palm oil powder

²Vitamin premix supplied per kilogram of diet: Vitamin A, 9,000 IU; Vitamin D3, 3,000 ICU; Vitamin E, 30 IU; Vitamin K3, 2.2 mg; Vitamin B1, 2.2 mg; Vitamin B2, 8.0 mg; Vitamin B6, 4.4 mg; Ca-pantothenate, 12.0 mg; Niacin, 66 mg; Biotin, 0.2 mg; Golic acid, 1.0 mg; vitamin B12, 0.02 mg.

³Mineral premix supplied per kilogram of diet: Cu (CuSO₄·5H₂O, 25.45% Cu), 8 mg; Fe (FeSO₄·7H₂O, 20.09% Fe), 100 mg; Mn (MnSO₄·H₂O, 32.49% Mn), 100 mg; Zn (ZnO, 80.35% Zn), 75 mg; Se (NaSeO₃, 45.56% Se), 0.30 mg.

表 16、白肉雞飼糧配方組成與營養分分析值，21-35 日齡

Table 16. Nutrient composition and analyzed value of diets for broiler, 21-35 day-old

Ingredients, %	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol
Corn meal	60.55	58.29	60.39
Soybean meal	28.29	28.68	28.31
Meat and bone meal	5.00	5.00	5.00
Palm oil	4.07	0	0
POP ¹ with free glycerol	0	5.92	0
POP ¹ without free glycerol	0	0	4.19
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (21%)	0.19	0.20	0.19
CaCO ₃	0.42	0.41	0.42
DL-Methionine	0.35	0.35	0.35
Lysine-HCl	0.19	0.19	0.19
NaCl	0.30	0.30	0.30
Vitamin premix ²	0.30	0.30	0.30
Mineral premix ³	0.20	0.20	0.20
Choline-Chloride (50%)	0.15	0.15	0.15
Calculated value			
Crude protein (%)	19.5	19.5	19.5
AME _n (kcal/kg)	3200	3200	3200
Analyzed			
Dry matter (%)	88.43	89.72	89.46
Crude protein (%)	19.54	19.26	19.38

¹palm oil powder

²Vitamin premix supplied per kilogram of diet: Vitamin A, 9,000 IU; Vitamin D3, 3,000 ICU; Vitamin E, 30 IU; Vitamin K3, 2.2 mg; Vitamin B1, 2.2 mg; Vitamin B2, 8.0 mg; Vitamin B6, 4.4 mg; Ca-pantothenate, 12.0 mg; Niacin, 66 mg; Biotin, 0.2 mg; Golic acid, 1.0 mg; vitamin B12, 0.02 mg.

³Mineral premix supplied per kilogram of diet: Cu (CuSO₄·5H₂O, 25.45% Cu), 8 mg; Fe (FeSO₄·7H₂O, 20.09% Fe), 100 mg; Mn (MnSO₄·H₂O, 32.49% Mn), 100 mg; Zn (ZnO, 80.35% Zn), 75 mg; Se (NaSeO₃, 45.56% Se), 0.30 mg.



三、結果

(一)、不同油脂來源對白肉雞生長表現之影響

本階段試驗模擬商業飼糧，滿足各生長階段所需的營養推薦量，以棕櫚油、含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉作為油脂來源，旨在探討其對雞隻生長表現的影響，結果如表 17 所示。

在體重方面，0 日齡時三組雞雞的起始體重相近，無顯著差異 ($P > 0.05$)。然而，從 10 日齡開始，棕櫚油組的體重顯著高於含游離甘油之棕櫚油粉組和不含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)。這種差異持續至試驗結束，在 21 日齡時棕櫚油組體重顯著高於其他兩組，35 日齡時棕櫚油組體重達到 2152.47 g，顯著高於含游離甘油之棕櫚油粉組 1991.13 g 和不含游離甘油之棕櫚油粉組 1918.20 g ($P < 0.05$)。

體重顯示，在 0-10 日齡期間，棕櫚油組顯著高於其他兩組 ($P < 0.05$)。在 10-21 日齡期間，棕櫚油組與含游離甘油之棕櫚油粉組之間無顯著差異 ($P > 0.05$)，含游離甘油之棕櫚油粉組與不含游離甘油之棕櫚油粉組之間也無顯著差異 ($P > 0.05$)，但棕櫚油組顯著高於不含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)。在 21-35 日齡期間，棕櫚油組顯著高於不含游離甘油之棕櫚油粉組 ($P < 0.05$)，但與含游離甘油之棕櫚油粉組之間無顯著差異，且兩種棕櫚油粉組間也無顯著差異。整個試驗期間 (0-35 日齡) 的總體重增加量，棕櫚油組顯著高於其他兩組 ($P < 0.05$)。

飼料採食量方面，在各生長階段與整個試驗期間，三組之間均無顯著差異 ($P > 0.05$)。

飼料效率方面，在 0-10 日齡和 10-21 日齡期間，三組之間無顯著差異 ($P > 0.05$)。然而，在 21-35 日齡期間，棕櫚油組顯著低於其餘兩組 ($P < 0.05$)，表明棕櫚油組具有更好的飼料利用效率。整個試驗期間的飼料效率，棕櫚油組 (1.29) 顯著低於其他兩組 (1.41 和 1.42) ($P < 0.05$)。

歐洲生產指數是綜合評估肉雞生產性能的指標，在 35 日齡時，棕櫚油組的 EPI 值 (476.49) 顯著高於含游離甘油之棕櫚油粉組 (385.72) 和不含游離甘油之棕櫚

油粉組 (386.57) ($P < 0.05$)，表明棕欖油組的整體生產性能優於其他兩組。



表 17、不同油脂來源對白肉雞生長表現之影響

Table 17. Effects of different fat sources on the growth performance of broiler chickens

Group [#]	Palm oil	POP ¹ with free glycerol	POP ¹ without free glycerol	SEM	P-value
BW ² , g					
0 d	44.42	44.43	44.37	0.47	0.998
10 d	271.65 ^a	243.01 ^b	247.66 ^b	3.68	<0.001
21 d	931.14 ^a	845.18 ^b	813.25 ^b	19.90	<0.001
35 d	2152.47 ^a	1991.13 ^b	1918.20 ^b	35.49	<0.001
BWG ³ , g					
0-10 d	229.65 ^a	200.93 ^b	205.44 ^b	3.01	<0.001
10-21 d	657.60 ^a	599.82 ^{ab}	563.44 ^b	17.57	<0.001
21-35 d	1221.33 ^a	1145.95 ^{ab}	1104.95 ^b	25.60	<0.001
0-35 d	2108.00 ^a	1946.70 ^b	1873.80 ^b	34.72	<0.001
Intake, g					
0-10 d	265	241	250	5.28	0.216
10-21 d	732	729	716	25.04	0.904
21-35 d	1719	1772	1693	40.75	0.252
0-35 d	2717	2743	2661	62.26	0.503
FCR ⁴					
0-10 d	1.15	1.20	1.22	0.03	0.130
10-21 d	1.12	1.22	1.27	0.04	0.068
21-35 d	1.41 ^b	1.55 ^a	1.53 ^a	0.03	0.004
0-35 d	1.29 ^b	1.41 ^a	1.42 ^a	0.03	0.002
EPI ⁵					
35 d	476.49 ^a	385.72 ^b	386.57 ^b	12.33	<0.001

[#]n = 6

*a-b indicates significant differences within the same row (P < 0.05).

¹palm oil powder

² BW: body weight

³ BWG: body weight gain

⁴ FCR: feed intake/ body weight gain

⁵ EPI: European Performance Index, [(Survival Rate (%) × Body Weight (kg)) / (FCR × Days to Market)] × 10,000



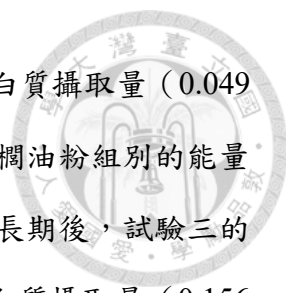
四、討論

本研究通過一系列試驗，系統性地探討了不同油脂來源對白肉雞生長表現的影響。表 17 的結果顯示，棕櫚油組展現出最優異的體重增加（2108 g）與飼料轉換率（1.29），明顯優於含游離甘油之棕櫚油粉組（1946 g，1.41）和不含游離甘油之棕櫚油粉組（1873 g，1.42）。值得注意的是，儘管各處理組的飼料攝取量在統計上無顯著差異（ $P > 0.05$ ），但兩組油粉處理組的生長表現相對較低，且未出現代償性生長現象。

在生長過程中，育雛期體重與對照組的差異若達到 15-25%，則有可能引發代償性採食。根據 Leeson et al.（1991）的研究，利用粗糠稀釋飼料中的能量與蛋白質，在 4-11 日齡期間將試驗組分為餵飼正常能量與蛋白質濃度的對照組，和低能量與低蛋白質濃度的處理組，隨後在 11-42 日齡期間兩組均餵飼正常能量與蛋白質濃度的飼糧。結果顯示，在 11 日齡（育雛期）時，體重差異達到 25%，但在 42 日齡時，各組體重無顯著差異，表明確實發生代償性生長。Zhan et al.（2007）也指出，在 0-21 日齡期間限制採食，而在 21-63 日齡期間提供自由採食與飲水，結果在 21 日齡時對照組與限制採食組的體重差異達 15%，但在 63 日齡時兩組體重無顯著差異。

在本次試驗二中，95% 基礎飼糧混合 5% 棕櫚油的組別與基礎飼糧混合棕櫚油粉的組別，在育雛期的體重差異達到 15%，這可能是引發代償性採食與生長的原因。然而，在試驗三中，棕櫚油組與兩組棕櫚油粉組在育雛期的體重差異僅為 10%，可能因此未能引發代償性生長。

進一步比較試驗二與試驗三在不同生長階段的採食量、能量攝取量與蛋白質攝取量表現，結果顯示兩試驗間存在差異。試驗二在生長期展現出較高的採食量，其三種額外添加油脂組別的生長期平均採食量約為 1.2 kg，高於試驗三三組處理組的生長期平均採食量約 0.7 kg。此差異進一步帶動試驗二在總能量與總蛋白質攝取量上高於試驗三。



具體而言，試驗三在育雛期的能量攝取量（650 kcal）與蛋白質攝取量（0.049 kg）表現較佳，三個處理組的攝取量均高於試驗二中額外添加棕櫚油粉組別的能量攝取量（550 kcal）與蛋白質攝取量（0.038 kg）。然而，進入生長期後，試驗三的採食量與營養攝取表現下降，其能量攝取量（2250 kcal）與蛋白質攝取量（0.156 kg）均低於試驗二中額外添加棕櫚油粉組別的能量攝取量（3925 kcal）與蛋白質攝取量（0.272 kg）。到了肥育期，兩試驗在能量與蛋白質攝取量上的差異則趨於縮小，表現相對接近。

上述差異反映了試驗設計（實驗全期一致性飼糧 vs. 商業飼糧）以及營養供應策略（代償性採食 vs. 基本滿足）對動物採食行為及營養攝取表現的深遠影響。未來研究可進一步探討不同飼糧配方在各生長階段的適配性，以優化能量與蛋白質的利用效率，進而提升動物的生長潛力。

本研究透過系統性的試驗設計，深入探討了白肉雞對不同油脂來源的利用效率與其生長表現的關聯。表 17 中的階段性數據清楚顯示，白肉雞對油脂的利用呈現明顯的階段性特徵。在早期生長階段（0-10 日齡），棕櫚油組的體重增加量顯著高於其餘兩組油粉處理組（ $P < 0.05$ ），反映出幼雛期對不同油脂來源的消化吸收能力存在顯著差異。這可能是因為早期生長階段，消化系統發育尚未完全，消化酶與膽鹽分泌不足，導致對油脂特別是長鏈飽和脂肪酸的消化吸收效率較低（Tancharoenrat et al., 2013）。

值得注意的是，表 17 數據顯示含游離甘油之棕櫚油粉組在各階段的表現略優於不含游離甘油之棕櫚油粉組，尤其在整體體重增加量（1946 g vs 1873 g）方面，雖然統計上並未達到顯著差異（ $P > 0.05$ ）。這表明添加游離甘油確實對改善棕櫚油粉的利用效率有一定幫助，可能是由於游離甘油提供了更易被吸收利用的能量來源（Sklan, 1978; Ghayas et al., 2023）。然而，飽和脂肪酸對幼雛的消化吸收障礙效應仍然顯著，掩蓋了添加甘油所帶來的改善效果。特別是在 0-10 日齡階段，即使添加了游離甘油，棕櫚油粉組的表現仍顯著低於棕櫚油組。



隨著生長進入後期（21-35 日齡），表 17 顯示棕櫚油組的飼料效率（1.41）顯著優於含游離甘油之棕櫚油粉組（1.55）和不含游離甘油之棕櫚油粉組（1.53）（ $P < 0.05$ ），但在體增重方面，棕櫚油組僅顯著高於不含游離甘油之棕櫚油粉組（ $P < 0.05$ ），與含游離甘油之棕櫚油粉組則無顯著差異。這一結果表明，隨著消化系統逐漸成熟，不同油脂來源的能量利用效率差距縮小，但棕櫚油的整體利用效率仍然優於棕櫚油粉，同時，數據也顯示添加游離甘油確實能提高棕櫚油粉的利用效率，雖然改善效果尚未能完全彌補與棕櫚油的差距。

這項發現對現行以成熟蛋公雞 AME_n 值作為飼糧配方依據的實務提出重要警示。研究證實，成熟蛋公雞 AME_n 值僅適合作為評估後期飼糧的參考依據，在配製早期飼糧時，必須充分考量幼年期消化能力的生理限制。特別是在選擇油脂來源時，應避免使用飽和度較高的棕櫚油粉，即使添加游離甘油也無法完全彌補其對早期生長的不利影響，最終導致整體生產效率的降低，這一點從表 17 中歐洲生產指數的數據可以清楚看出，棕櫚油組顯著高於兩種棕櫚油粉組（ $P < 0.05$ ），而兩種棕櫚油粉組之間則無顯著差異。

基於試驗結果，建議在實務應用上採取更為精確的分階段營養策略，特別是在油脂來源的選擇上，應依據白肉雞不同生長階段的生理特性進行調整，以優化生長性能並提升飼料利用效率。這些發現對飼料配方設計提供了重要的實踐指導：建議採用分階段營養策略，特別是在選擇油脂來源時，應充分考慮不同生長階段的生理特性。同時，本研究也為未來相關研究提供了新的方向，特別是在探討如何優化早期營養策略以避免代償性生長帶來的潛在負面影響方面。

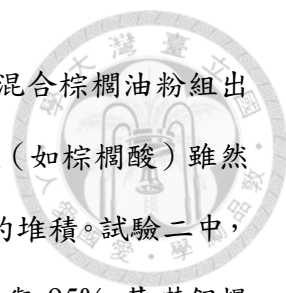


肆、綜合討論

飼糧油脂來源的選擇不僅影響動物生長表現，更直接關聯經濟效益與整體健康指標。棕櫚油作為一種常見的植物油脂，以其適當的不飽和脂肪酸與飽和脂肪酸比例及價格優勢，被廣泛應用於肉雞飼糧配方中。本文基於試驗結果，探討棕櫚油與其加工產品含游離甘油之棕櫚油粉、不含游離甘油之棕櫚油粉，對白肉雞生長、經濟效應與其他生理指標的影響，旨在強調其在飼養實務中的潛力與侷限。

試驗結果顯示，棕櫚油相較於含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉，在白肉雞的生長表現上展現顯著優勢。其適當的 UFA:SFA 比例有助提升不同生長階段的能量利用效率，促進體重增加，同時價格相對低廉，使其在經濟效益上居於首位。此與相關研究相符，棕櫚油的脂肪酸組成不僅能優化能量代謝，因其相較於動物油脂含有較高比例的 UFA，同時還具備成本競爭力，優於其他動物油脂 (Baião and Lara, 2005)。此外，如表 17 所示，雖然含游離甘油的棕櫚油粉組在生長表現上顯著低於棕櫚油組 ($P < 0.05$)，但其添加游離甘油與乳化劑可改善上市體重，顯示棕櫚油加工產品在特定條件下仍有應用價值。然而，本試驗未與大豆油等其他植物油比較，未來可擴大探討其經濟應用。

儘管棕櫚油在生長表現上表現優異，其脂肪酸鏈長或飽和度對肉雞免疫功能與屠體性狀的影響亦不容忽視。轉而觀之，短鏈脂肪酸能促進免疫細胞活性、增強抗病能力 (Vinolo et al., 2011)。短鏈脂肪酸與中鏈脂肪酸皆可以穿透細菌細胞膜，破壞細胞膜完整性並降低胞內 pH 值，抑制或殺死多種致病菌 (Szabó et al., 2023)。例如，Smink et al. (2010) 發現餵食棕櫚油可增加胸肌中棕櫚酸含量，而 Long et al. (2019) 指出飼糧中添加棕櫚油對肉雞血清中抗炎細胞激素 (anti-inflammatory cytokines) (如 interleukin-10, IL-10、transforming growth factor- β , TGF- β) 與促炎細胞激素 (proinflammatory cytokine) (如 IL-1 β 、IL-6、tumour necrosis factor- α , TNF- α) 有調節作用。顯示棕櫚油在免疫調節上的優勢。本試驗雖未檢測相關指標，但未來研究應納入免疫與屠體評估，可以更全面評估飼糧中效益。再者，脂肪酸飽和程度



比例對代償性採食與生長的影響亦值得關注。試驗中，基礎飼糧混合棕櫚油粉組出現代償性採食現象。然而，Ayed et al. (2015) 指出，飽和脂肪酸（如棕櫚酸）雖然有助於提升能量利用效率，但若其比例過高，可能導致腹部脂肪的堆積。試驗二中，如表 9 所示，95% 基礎飼糧混合 5% 含游離甘油之棕櫚油粉組與 95% 基礎飼糧混合 5% 不含游離甘油之棕櫚油粉組，在 21 至 35 日齡階段，皆出現代償性採食與生長，生長表現優於單純 95% 基礎飼糧混合 5% 棕櫚油，顯示飽和脂肪酸比例高在肥育期有助提升能量利用效率與生長表現。此轉折強調，生長表現並非唯一標準，需考量脂肪酸比例的精細調控，以避免潛在負面效應。

綜上所述，棕櫚油在肉雞飼糧中的應用不僅展現經濟與生長優勢，更透過脂肪酸組成影響免疫與屠體品質，凸顯其多功能性。然而，脂肪酸飽和比例的調控與其他油脂的比較仍有待深化研究。未來可針對不同生長階段進行脂肪酸調整，並驗證其在商業飼養中的長期效益，以優化肉雞產業的永續發展。

伍、結論



本試驗棕櫚油、含游離甘油之棕櫚油粉與不含游離甘油之棕櫚油粉之 AME_n 值分別為 7948.18、6546.82 與 7803.26 kcal/kg，三者在成熟蛋公雞體內均呈現高達 90% 的能量消化率。然而，此結果僅適用於消化系統發育完全的成熟雞隻，不宜直接作為白肉雞早期飼糧配方設計的唯一依據。白肉雞對油脂的利用效率呈現顯著的階段性差異。早期生長階段因消化系統發育不完全，消化酶與膽鹽分泌不足，導致對長鏈飽和脂肪酸的消化吸收效率較低；隨著生長進入後期，消化系統逐漸成熟，不同油脂來源的能量利用效率則趨於一致。儘管棕櫚油粉在保育豬飼糧中具有良好效果，但本研究證實其不適合作為白肉雞飼糧油脂來源，相較之下，棕櫚油組展現最佳生長表現。值得注意的是，含游離甘油之棕櫚油粉處理組雖未達顯著差異，但在體增重和飼料效率均優於不含游離甘油之棕櫚油粉組，表明添加游離甘油確實能在一定程度上改善棕櫚油粉的利用效率，特別是在雞隻生長後期階段。這一發現為棕櫚油粉產品的改良提供了重要方向。基於上述發現，建議實務應用採取更精確的分階段營養策略，特別是在油脂來源的選擇上，應依據白肉雞不同生長階段的生理特性進行調整。

陸、參考文獻



劉芳爵、李恆夫、許晉賓、嚴世俊、徐阿里。2004。蛋白質和脂肪含量對離乳仔豬生長性能、胰脂肪和胰輔脂肪活性發展之影響。畜產研究 37: 1-14。

衛生福利部。2013。食品中脂肪酸之檢驗方法。部授食字第 1021950978 號公告。

環境檢驗所。2003。水中矽酸鹽檢測方法－鉬矽酸鹽比色法。環署檢字第 0920080856 號公告。

Aardsma, M. P., R. D. Mitchell and C. M. Parsons. 2017. Relative metabolizable energy values for fats and oils in young broilers and adult roosters. Poult. Sci. 96: 2320-2329.

Aardsma, M. P. and C. M. Parsons. 2017. A slope-ratio precision-fed rooster assay for determination of relative metabolizable energy values for fats and oils. Poult. Sci. 96: 108-117.

Abdollahi, M. R., M. Wiltafsky-Martin and V. Ravindran. 2021. Application of Apparent Metabolizable Energy versus Nitrogen-Corrected Apparent Metabolizable Energy in Poultry Feed Formulations: A Continuing Conundrum. Animals (Basel). 11.

Ai, H., Y. Y. Lee, Y. Lu, C. P. Tan, O. M. Lai, A. Li, Y. Zhang, Y. Wang and Z. Zhang. 2025. Effect of structured lipids as dietary supplements on the fatty acid profile, carcass yield, blood chemistry, and abdominal fat deposition of female broilers. Poult. Sci. 104: 104579.

AOAC. 1984. Official methods of analysis. 14th edition. Association of official Analytical Chemist, Arlington, VA.

Arnaud, E. A., G. E. Gardiner and P. G. Lawlor. 2023. Selected Nutrition and Management Strategies in Suckling Pigs to Improve Post-Weaning Outcomes. Animals (Basel). 13.

Aviagen. 2019. Ross 308 Broiler Management Handbook. Aviagen Incorporated. USA.

Aviagen. 2019. Ross 308 Broiler Nutrition Specification. Aviagen Incorporated. USA.

Ayed, H. B., H. Attia and M. Ennouri. 2015. Effect of oil supplemented diet on growth performance and meat quality of broiler chickens. *Adv. Tech. Biol. Med.* 4: 1–4.

Baião, N. C. and L. J. C. Lara. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 7: 129-141.

Baker, D. H. and Y. Han. 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poult. Sci.* 73: 1441-1447.

Barbehenn, R. V. 2011. Silicon: an indigestible marker for measuring food consumption and utilization by insects. *Entomol. Exp. Appl.* 67: 247-251.

Best, P. 2006. Increased Biofuel Production Will Grow Supplies of By-Products: Glycerine Gives an Energy Option. *Feed International*: 27 (10): 20–21.

Borel, P., M. Armand, M. Senft, M. Andre, H. Lafont and D. Lairon. 1991. Gastric lipase: evidence of an adaptive response to dietary fat in the rabbit. *Gastroenterology* 100: 1582-1589.

Borgstrom, B. and C. Erlanson. 1973. Pancreatic lipase and co-lipase. Interactions and effects of bile salts and other detergents. *Eur. J. Biochem.* 37: 60-68.

Castro, D. P. V., P. R. S. Pimentel, J. M. da Silva Junior, G. F. Virginio Junior, E. A. de Andrade, A. M. Barbosa, E. S. Pereira, C. Ribeiro, L. R. Bezerra and R. L. Oliveira. 2022. Effects of Increasing Levels of Palm Kernel Oil in the Feed of Finishing Lambs. *Animals (Basel)*. 12.

Cera, K. R., D. C. Mahan and G. A. Reinhart. 1989. Apparent Fat Digestibilities and Performance Responses of Postweaning Swine Fed Diets Supplemented with Coconut Oil, Corn Oil or Tallow. *J. Anim. Sci.* 67.

Chamberlain, M. B. and E. J. DePeters. 2016. Impacts of feeding lipid supplements high in palmitic acid or stearic acid on performance of lactating dairy cows. *J. Appl. Anim. Res.* 45: 126-135.

Choi, J., B. Kong, B. C. Bowker, H. Zhuang and W. K. Kim. 2023. Nutritional Strategies to Improve Meat Quality and Composition in the Challenging Conditions of Broiler Production: A Review. *Animals (Basel)*. 13.



Conway, P. 1994. Function and Regulation of the Gastrointestinal Microbiota of the Pig. Proceedings of the 6th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs. 231-240.

Dale, N. M. and H. L. Fuller. 1982. True metabolizable energy of fats at low level dietary inclusion. Poult. Sci. 61: 2415-2420.

Davis, C. L. and J. K. Drackley. 1998. The development, nutrition, and management of the young calf. Ames : Iowa State University Press.

Degolier, T. F., G. E. Duke and R. E. Carraway. 1997. Neurotensin decreases pepsin output and gastrointestinal motility in chickens. Poult. Sci. 76: 1435-1439.

Desbruslais, A. and A. Wealleans. 2022. Oxidation in Poultry Feed: Impact on the Bird and the Efficacy of Dietary Antioxidant Mitigation Strategies. Poultry 1: 246-277.

Dibner, J. J., C. D. Knight, M. L. Kitchell, C. A. Atwell, A. C. Downs and F. J. Ivey. 1998. Early Feeding and Development of the Immune System in Neonatal Poultry. J. Appl. Poult. Res. 7: 425-436.

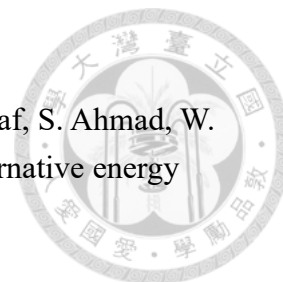
Dibner, J. J. and J. D. Richards. 2004. The Digestive System: Challenges and Opportunities. J. Appl. Poult. Res. 13: 86-93.

Dozier, W. A., 3rd, B. J. Kerr, A. Corzo, M. T. Kidd, T. E. Weber and K. Bregendahl. 2008. Apparent metabolizable energy of glycerin for broiler chickens. Poult. Sci. 87: 317-322.

Ecolex Animal Nutrition. 2005. Monogastric Lipo NEO. Ecolex Sdn. Bhd. Malaysia. Web.

FAO. 2023. Meat market review. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

Ge, X. K., A. A. Wang, Z. X. Ying, L. G. Zhang, W. P. Su, K. Cheng, C. C. Feng, Y. M. Zhou, L. L. Zhang and T. Wang. 2019. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. Poult. Sci. 98: 887-895.



Ghayas, A., J. Hussain, S. Ahmad, H. M. Ishaq, Z. Kamran, M. Yousaf, S. Ahmad, W. Ishaq, S. Munir, I. Ahmed and H. I. Ahmad. 2023. Glycerine: an alternative energy source for poultry. *World's Poult. Sci. J.* 79: 467-484.

Guerreiro Neto, A. C., A. C. Pezzato, J. R. Sartori, C. Mori, V. C. Cruz, V. B. Fascina, D. F. Pinheiro, L. A. Madeira and J. C. Gonçalves. 2011. Emulsifier in broiler diets containing different fat sources. *Rbgv-rev. Bras. Gest.* 13: 119-125.

Guo, Q., A. Ye, N. Bellissimo, H. Singh and D. Rousseau. 2017. Modulating fat digestion through food structure design. *Prog. Lipid. Res.* 68: 109-118.

Harfoot, C. G. 1978. Lipid metabolism in the rumen. *Prog. Lipid. Res* 17: 21-54.

Havenstein, G. B., P. R. Ferket and M. A. Qureshi. 2003. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.* 82: 1500-1508.

Hill, T. M., J. M. Aldrich, R. L. Schlotterbeck and H. G. Bateman. 2007. Effects of Changing the Fat and Fatty Acid Composition of Milk Replacers Fed to Neonatal Calves. *A. A. S.* 23: 135-143.

Hodzic, A., M. Hamamdžic, A. Gagic, M. Mihaljevic, M. Vegara and J. Krnic. 2008. The influence of dietary palm olein, fish oil and lard on the egg yolk and plasma lipid composition, and performances of laying hens. *Pol. J. Vet. Sci* 11: 1-7.

Hong, D., D. Ragland and O. Adeola. 2002. Additivity and associative effects of metabolizable energy and amino acid digestibility of corn, soybean meal, and wheat red dog for White Pekin ducks. *J. Anim. Sci.* 80: 3222-3229.

Huang, C., Y. Guo and J. Yuan. 2014. Dietary taurine impairs intestinal growth and mucosal structure of broiler chickens by increasing toxic bile acid concentrations in the intestine. *Poult. Sci.* 93: 1475-1483.

Jeanson, S. E. and T. F. Kellogg. 1992. Ontogeny of taurocholate accumulation in the terminal ileal mucosal cells of young chicks. *Poult. Sci.* 71: 367-372.

Jimenez-Moya, B., A. C. Barroeta, A. Tres, M. D. Soler and R. Sala. 2021. Soybean Oil

Replacement by Palm Fatty Acid Distillate in Broiler Chicken Diets: Fat Digestibility and Lipid-Class Content along the Intestinal Tract. *Animals (Basel)*. 11.

Jin, J., L. Jie, L. Zheng, M. Cheng, D. Xie, Q. Jin and X. Wang. 2018. Characteristics of palm mid-fractions produced from different fractionation paths and their potential usages. *Int. J. Food Prop.* 21: 58-69.

Khan, M. A., A. Bach, D. M. Weary and M. A. G. von Keyserlingk. 2016. Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 99: 885-902.

Kidd, M. T. 2004. Nutritional modulation of immune function in broilers. *Poult. Sci.* 83: 650-657.

Kijora, C., H. Bergner, R. D. Kupsch and L. Hagemann. 1995. Glycerol as a feed component in fattening pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 47: 345-360.

Krogdahl, A. 1985. Digestion and absorption of lipids in poultry. *J. Nutr.* 115: 675-685.

Krogh, U., T. S. Bruun, J. Poulsen and P. K. Theil. 2017. Impact of fat source and dietary fibers on feed intake, plasma metabolites, litter gain and the yield and composition of milk in sows. *Animal*. 11: 975-983.

Lalles, J. P., P. Bosi, H. Smidt and C. R. Stokes. 2007. Nutritional management of gut health in pigs around weaning. *Proc. Nutr. Soc* 66: 260-268.

Langlois, A., T. Corring, J. C. Cuber, A. M. Gueugneau, F. Levenez and J. A. Chayvialle. 1989. Effects of pancreatic polypeptide on the pancreatic exocrine secretion stimulated by secretin and cholecystokinin in the conscious pig. *Regul. Pept* 24: 55-65.

Lauridsen, C. 2020. Effects of dietary fatty acids on gut health and function of pigs pre- and post-weaning. *J. Anim. Sci.* 98.

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.

Leeson, S., J.D. Summers And L. Caston. 1991. Diet Dilution and Compensatory Growth in Broilers. *Poult. Sci.* 70:867-873.

Leeson, S. and J. O. Atteh. 1995. Utilization of fats and fatty acids by turkey poults. *Poult. Sci.* 74: 2003-2010.

Leeson, S., L. Caston And J.D. Summers. 1996. Broiler response to diet energy. *Poult. Sci.* 75:529-535.

Leeson, S. and J. D. Summers. 2008. Commercial poultry nutrition. 3th edition. Nottingham University Press.

Leeson, S. and A. K. Zubair. 1997. Nutrition of the broiler chicken around the period of compensatory growth. *Poult. Sci.* 76: 992-999.

Lin, H., H. C. Jiao, J. Buyse and E. Decuyper. 2019. Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's Poult. Sci. J.* 62: 71-86.

Liu, X., K.-S. Yun and I.-H. Kim. 2020. Evaluation of Sodium Stearoyl-2-Lactylate and 1, 3-Diacylglycerol Blend Supplementation in Diets with Different Energy Content on the Growth Performance, Meat Quality, Apparent Total Tract Digestibility, and Blood Lipid Profiles of Broiler Chickens. *J. Poultry Sci.* 57: 55-62.

Liu, Y., X. Mao, B. Yu, J. He, P. Zheng, J. Yu, J. Luo and D. Chen. 2014. Excessive dietary taurine supplementation reduces growth performance, liver and intestinal health of weaned pigs. *Livest. Sci.* 168: 109-119.

Lizardo, R., J. van Milgen, J. Mourot, J. Noblet and M. Bonneau. 2002. A nutritional model of fatty acid composition in the growing-finishing pig. *Livest. Prod. Sci.* 75: 167-182.

Llaurado-Calero, E., J. Garcia-Gudino, F. I. Hernandez-Garcia, M. Izquierdo, R. Lizardo, D. Torrallardona, E. Esteve-Garcia and N. Tous. 2025. Effect of fish oil in Iberian sow diets on fatty acid, oxylipins and immune traits of colostrum and milk, and suckling piglets' growth performance. *Animal.* 19: 101430.

Long, G. L., W. X. Hao, L. F. Bao, J. H. Li, Y. Zhang and G. H. Li. 2019. Effects of dietary inclusion levels of palm oil on growth performance, antioxidative status and serum cytokines of broiler chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 103: 1116-1124.

Madrid, J., C. Villodre, L. Valera, J. Orengo, S. Martinez, M. J. Lopez, M. D. Megias

and F. Hernandez. 2013. Effect of crude glycerin on feed manufacturing, growth performance, plasma metabolites, and nutrient digestibility of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 3788-3795.

Maharjan, P., D. A. Martinez, J. Weil, N. Suesuttajit, C. Umberson, G. Mullenix, K. M. Hilton, A. Beitia and C. N. Coon. 2021. Review: Physiological growth trend of current meat broilers and dietary protein and energy management approaches for sustainable broiler production. *Animal*. 100284.

Mandalawi, H. A., M. V. Kimiaetalab, V. Obregon, D. Menoyo and G. G. Mateos. 2014. Influence of source and level of glycerin in the diet on growth performance, liver characteristics, and nutrient digestibility in broilers from hatching to 21 days of age. *Poult. Sci.* 93: 2855-2863.

Mateos, G. G., J. L. Sell and J. A. Eastwood. 1982. Rate of food passage (transit time) as influenced by level of supplemental fat. *Poult. Sci.* 61: 94-100.

Moss, A. F., P. V. Chrystal, D. J. Cadogan, S. J. Wilkinson, T. M. Crowley and M. Choct. 2021. Precision feeding and precision nutrition: a paradigm shift in broiler feed formulation? *Anim Biosci.* 34: 354-362.

NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. National Academy Press. Washington, D.C.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. seventh revised edition. National Research Council. Washington, D.C.

Omer E. and C.Chiodi. 2024. Fat digestion and absorption: Normal physiology and pathophysiology of malabsorption, including diagnostic testing. *Nutr. Clin. Pract.* 39: 6-16.

Pluske, J. R., D. L. Turpin and J. C. Kim. 2018. Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig. *Anim. Nutr.* 4: 187-196.

Priyati, R. and R.Tyers. 2016. Price Relationships in Vegetable Oil and Energy Markets. *Economics discussion papers.* 16: 11.

Ravindran, V. and M. R. Abdollahi. 2021. Nutrition and Digestive Physiology of the

Broiler Chick: State of the Art and Outlook. *Animals* (Basel). 11.

Ravindran, V., P. Tanchaoenrat, F. Zaefarian and G. Ravindran. 2016. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 213: 1-21.

Ren, C. X., Y. J. Wang, X. F. Lin, F. Yang, J. Chen, H. Q. Song, K. Shi, J. S. Song, F. Chen, S. H. Zhang and W. T. Guan. 2020. Palm oil encapsulated by homogenizing and spray drying enhances nutrient digestibility and attenuates diarrhoea of piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 266.

Saensukjaroenphon, M. 2016. The effect of ingredient properties, liquid system and mix time on uniformity of mix and testing of uniformity of mix. Doctoral dissertation. Kansas State University.

Sá, R., M. Gandarillas, A. P. Schinckel, D. Kuppenheim, J. Salgado, C. M. Cox, R. E. Larraín and E. Vargas-Bello-Pérez. 2018. Utilisation of a mix of powdered oils as fat supplement in nursery- and growing-pig diets. *Anim. Prod. Sci.* 58.

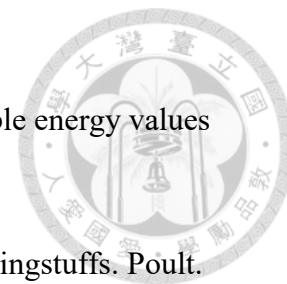
Sallee, V. L. and J. M. Dietschy. 1973. Determinants of intestinal mucosal uptake of short- and medium-chain fatty acids and alcohols. *J. Lipid Res.* 14: 475-484.

Saminathan, M., W. N. W. Mohamed, M. Noh, N. A. Ibrahim, M. A. Fuat and S. K. Ramiah. 2022. Effects of dietary palm oil on broiler chicken productive performance and carcass characteristics: a comprehensive review. *Trop. Anim. Health Prod.* 54: 64.

Schmidt, C. J., M. E. Persia, E. Feierstein, B. Kingham and W. W. Saylor. 2009. Comparison of a modern broiler line and a heritage line unselected since the 1950s. *Poult. Sci.* 88: 2610-2619.

Schulthess, G., G. Lipka, S. Compassi, D. Boffelli, F. E. Weber, F. Paltauf and H. Hauser. 1994. Absorption of monoacylglycerols by small intestinal brush border membrane. *Biochemistry-US.* 33: 4500-4508.

Seo, J., W. Kim, J. Kim, J. K. Kim, S. C. Kim, Y. Jang, K. Jang, K. Kim, B. Kim, S. Park, I. Park, M. K. Kim, K. S. Seo, H. B. Kim, I. H. Kim, S. Seo and M. Song. 2015. Effects of Palm Kernel Expellers on Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Blood Profiles of Weaned Pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28: 987-992.



Sibbald, I. R. 1975. The effect of level of feed intake on metabolizable energy values measured with adult roosters. Poult. Sci. 54: 1990-1997.

Sibbald, I. R. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. Poult. Sci. 55: 303-308.

Sibbald, I. R. 1978. The True Metabolizable Energy Values of Mixtures of Tallow with Either Soybean Oil or Lard. Poult. Sci. 57: 473-477.

Sibbald, I. R. 1979. Effects of Level of Feed Input, Dilution of Test Material, and Duration of Excreta Collection on True Metabolizable Energy Values. Poult. Sci. 58: 1325-1329.

Sibbald, I. R. and K. Price. 1977. The Effects of Level of Dietary Inclusion and of Calcium on the True Metabolizable Energy Values of Fats. Poult. Sci. 56: 2070-2078.

Sklan, D. 1978. Digestion and Absorption of Lipids in Chicks Fed Triglycerides or Free Fatty Acids: Synthesis of Monoglycerides in the Intestine.

Sklan, D. and Y. Noy. 2000. Hydrolysis and absorption in the small intestines of posthatch chicks. Poult. Sci. 79: 1306-1310.

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

Sugiharto, S. 2016. Role of nutraceuticals in gut health and growth performance of poultry. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 15: 99-111.

Summers, J. D., D. Spratt and J. L. Atkinson. 1990. Restricted Feeding and Compensatory Growth for Broilers. Poult. Sci. 69: 1855-1861.

Swiatkiewicz, S. and J. Koreleski. 2009. Effect of crude glycerin level in the diet of laying hens on egg performance and nutrient utilization. Poult. Sci. 88: 615-619.

Szabó, R. T., M. Kovács-Weber, Á. Zimborán, L. Kovács, and M. Erdélyi. 2023. Effects of Short- and Medium-Chain Fatty Acids on Production, Meat Quality, and Microbial



Attributes—A Review. *Molecules*. 28: 4956.

Tallentire, C. W., I. Leinonen and I. Kyriazakis. 2016. Breeding for efficiency in the broiler chicken: A review. *Agron. Sustainable Dev.* 36.

Tancharoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian and G. Ravindran. 2013. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 186: 186-192.

Tancharoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian and G. Ravindran. 2014. Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93: 371-379.

USDA. 2025. Soybeans and Oil Crops. U. S. Department of Agriculture. United States. Web.

Uni, Z., E. Tako, O. Gal-Garber and D. Sklan. 2003. Morphological, molecular, and functional changes in the chicken small intestine of the late-term embryo. *Poult. Sci.* 82: 1747-1754.

Valencia, M. E., S. E. Watkins, A. L. Waldroup, P. W. Waldroup and D. L. Fletcher. 1993. Utilization of crude and refined palm and palm kernel oils in broiler diets. *Poult. Sci.* 72: 2200-2215.

Van Amburgh, M. E., E. A. Collao-Saenz, R. J. Higgs, D. A. Ross, E. B. Recktenwald, E. Raffrenato, L. E. Chase, T. R. Overton, J. K. Mills and A. Foskolos. 2015. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *J. Dairy Sci.* 98: 6361-6380.

Van Tilbeurgh, H., S. Bezzine, C. Cambillau, R. Verger and F. Carriere. 1999. Colipase: structure and interaction with pancreatic lipase. *Biochim. Biophys. Acta.* 1441: 173-184.

Vinolo, M.A.R., H.G. Rodrigues, R.T. Nachbar and R. Curi. 2011. Regulation of Inflammation by Short Chain Fatty Acids. *Nutrients*. 3:858-876.

Walker, D. M. 2009. The development of the digestive system of the young animal II. Carbohydrase enzyme development in the young pig. *J. Agr. Sci.* 52: 357-363.

Wilms, J. N., K. S. Hare, A. J. Fischer-Tlustos, P. Vahmani, M. E. R. Dugan, L. N. Leal and M. A. Steele. 2022. Fatty acid profile characterization in colostrum, transition milk, and mature milk of primi- and multiparous cows during the first week of lactation. *J. Dairy Sci.* 105: 4692-4710.

Wilms, J. N., V. van der Nat, M. H. Ghaffari, M. A. Steele, H. Sauerwein, J. Martin-Tereso and L. N. Leal. 2024. Fat composition of milk replacer influences growth performance, feeding behavior, and plasma fatty acid profile in ad libitum-fed calves. *J. Dairy Sci.* 107: 2797-2817.

Yang, F., S. Zhang, S. W. Kim, C. Ren, M. Tian, L. Cheng, J. Song, J. Chen, F. Chen and W. Guan. 2018. Fat encapsulation enhances dietary nutrients utilization and growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 96: 3337-3347.

Zhan, X. A., M. Wang, H. Ren, R. Q. Zhao, J. X. Li and Z. L. Tan. 2007. Effect of early feed restriction on metabolic programming and compensatory growth in broiler chickens. *Poult. Sci.* 86:654-660.

Zeisel, S. H. 2006. Choline: critical role during fetal development and dietary requirements in adults. *Annu. Rev. Nutr.* 26: 229-250.

Zentek, J., S. Buchheit-Renko, F. Ferrara, W. Vahjen, A. G. Van Kessel and R. Pieper. 2011. Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-chain fatty acids in piglets. *Anim. Health Res. Rev.* 12: 83-93.

Zhang, Z., S. K. La, G. W. Zhang, H. S. Du, Z. Z. Wu, C. Wang, Q. Liu, G. Guo, W. J. Huo, J. Zhang, Y. L. Zhang, C. X. Pei and S. L. Zhang. 2020. Diet supplementation of palm fat powder and coated folic acid on performance, energy balance, nutrient digestion, ruminal fermentation and blood metabolites of early lactation dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 265.

Zubair, A. K. and S. Leeson. 2019. Compensatory growth in the broiler chicken: a review. *World's Poult. Sci. J.* 52: 189-201.

Zuidhof, M. J., B. L. Schneider, V. L. Carney, D. R. Korver and F. E. Robinson. 2014. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult. Sci.* 93: 2970-2982.

Zulkifli, I., N. N. Htin, A. R. Alimon, T. C. Loh and M. Hair-Bejo. 2006. Dietary Selection of Fat by Heat-stressed Broiler Chickens. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 20: 245-251.

