

飼糧粗蛋白質含量對生長肥育豬生長性能 及糞便成分之影響⁽¹⁾

蘇天明⁽²⁾ 劉威志⁽²⁾ 翁義翔⁽²⁾ 鍾承訓⁽²⁾ 歐修汶⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：113 年 9 月 16 日；接受日期：113 年 12 月 27 日

摘 要

本研究旨在探討生長肥育豬飼餵不同粗蛋白質含量飼糧，飼養於水簾刮糞式豬舍，對豬隻生長性能、糞便成分及豬舍用水量、廢水量與廢水水質之影響。將平均體重約 39 kg 的 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) 及 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] 生長肥育豬各 224 頭飼養於水簾刮糞式豬舍，對照組 (HCP 組) 與試驗組 (LCP 組) 各 8 欄、每欄 28 頭，分別飼餵高粗蛋白質與低粗蛋白質 (調降飼糧粗蛋白質含量 3% 並添加必需胺基酸) 飼糧。試驗期間飼糧任飼、飲用水充分供應，至平均體重約 120 kg 結束試驗，測定豬隻生長性能、糞便成分及豬舍用水量、廢水量與廢水水質。結果顯示，HCP 組豬隻生長期的採食量較 LCP 組為大 ($P < 0.001$)。豬隻生長期 LCP 組糞便的總氮濃度約較 HCP 組降低 18.0%，肥育期則減少 17.2%。肥育期豬舍用水量及廢水量分別為 22.23 與 6.13 L/d/head，皆顯著地較生長期的 15.63 與 3.57 L/d/head 為多，肥育期廢水的化學需氧量、生化需氧量、懸浮固體、總氮、總磷、鋅、鉀、鈉及鎂濃度皆較生長期為高 ($P < 0.05$)。綜上，飼餵 LCP 組飼糧不影響生長肥育豬生長性能，且可降低糞便總氮濃度，而應用水簾刮糞式豬舍具有節省用水量及減少廢水量的效果。

關鍵詞：糞便成分、生長肥育豬、生長性能、低粗蛋白質飼糧。

緒 言

蛋白質是動物生長所需之重要營養素。目前國內豬隻飼糧大多以玉米—大豆粕為主要原料，在蛋白質的供應方面多以飼糧的粗蛋白質 (crude protein, CP) 含量估算，致可能造成胺基酸不平衡而無法被豬隻充分利用；業者為確保蛋白質足供動物所需，而提供超出營養需求的飼糧，直接造成飼養成本提高和營養分的浪費，且未被利用的氮經由糞尿排泄，也會造成環境污染與河川水質優養化等環保問題 (Giannuzzi *et al.*, 2011)。Portejoie *et al.* (2004) 以 CP 20、16 及 12% 的飼糧飼餵平均體重 52.8 – 54.5 kg 的豬隻，結果 CP 20% 組糞尿中氮的濃度以及氮的總排泄量皆顯著地較飼餵 CP 12% 飼糧組豬隻為高。Yen *et al.* (2004) 使用離胺酸 (lysine) 和羥丁胺酸 (threonine) 調整飼糧成分飼餵體重 91.0 kg 的豬隻，測得氮表面消化率和表面滯留率分別為 86.9% 和 41.9%，而 Pettey *et al.* (2002) 以未額外添加必需胺基酸 (essential amino acid, EAA) 的飼糧飼餵體重 93 kg 的豬隻，測得氮表面消化率為 80.8%。顯示飼糧中添加 EAA 有助於提高氮的利用效率，惟對豬隻生長之影響有待評估。

廢水如未經充分處理而排放，對水環境會造成負面影響 (Shin *et al.*, 2005)，將造成水源與土壤污染、溫室氣體排放，並且對人類健康產生負面影響 (Dennehy *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2020)。養豬業長久以來是臺灣農業單項產值最高的產業，也是畜牧產業主要的廢水來源，因此臺灣省畜產試驗所 (1993) 以實地面豬舍每一個動物單位 (種豬及體重 100 kg 的肉豬) 每日廢水量 30 L 估算，從民國 79 年開始輔導養豬場建置廢水處理設施。蘇等人比較實地面 (SOF)、高床糞尿溝式部分條狀 (PSF) 及高床糞尿溝式全條狀 (TSF) 等三種地面結構肉豬舍的用水量與廢水量，結果在熱季 (蘇等, 2016) 豬隻生長期與肥育期 SOF、PSF 及 TSF 豬舍的用水量分別為 42 與 40 L/d/head、35 與 29 L/d/head 及 18 與 14 L/d/head，廢水量則為 34 與 35 L/d/head、29 與 27 L/d/head 及 16 與 14 L/d/head，涼季 (蘇等, 2018) 豬隻生長期與肥育期 SOF、PSF 及 TSF 豬舍的用水量分別為 29 與 39 L/d/head、22 與 24 L/d/head 及 15 與 16 L/d/head，廢水量則為 26 與 37 L/d/head、20 與 23 L/d/head 及 14 與 16 L/d/head。顯示相較於臺灣省畜產試驗所 (1993)

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2810 號。

(2) 農業部畜產試驗所畜產經營組。

(3) 通訊作者，E-mail: hwou@mail.tlri.gov.tw。

的估算量，應用高床糞尿溝式豬舍具有較實地面豬舍節省用水量、減少廢水量效果，其主要原因是高床糞尿溝式豬舍平日不沖洗豬舍地面使然。

本試驗於高床刮糞式豬舍進行，豬隻糞尿係以刮糞板清理不需用水，有別於糞尿溝式採取沖水清理，應較糞尿溝式更具節水效果，而大部分豬隻糞便藉由刮糞板清理未含於廢水中，其豬舍用水量、廢水量及廢水水質皆有待評估。綜上，本試驗旨在探討生長肥育豬飼料低粗蛋白質飼糧，飼養於水簾刮糞式肉豬舍，對豬隻生長性能、糞便成分及豬舍用水量、廢水量與廢水水質的影響。

材料與方法

I. 試驗動物及飼糧處理

- (i) 採用 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) 及 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] 2 種品種組成的保育結束豬隻 (平均體重約 39 kg) 共 448 頭，平均分置於 16 個豬欄，LD 及 LYD 各 8 欄，每欄飼養 28 頭，每頭豬擁有 1.04 m² 飼養面積，在平均體重 120 kg 結束生長試驗。
- (ii) 飼糧以玉米—大豆粕為主要原料，消化能含量皆為 3,400 kcal/kg，銅與鋅含量符合 NRC (1998) 營養推薦量並在飼糧中添加 500 U/kg 植酸酶，飼糧與飲用水皆採任食。對照組 (HCP 組) 在豬隻生長期 (試驗開始至平均體重 60 kg) 與肥育期 (平均體重 60 kg 至 120 kg) 分別提供粗蛋白質 (CP) 含量 16 與 13% 飼糧，試驗組 (LCP 組) 則分別提供 CP 含量 13% + 必需胺基酸和 CP 含量 10% + 必需胺基酸，即補充離胺酸、甲硫胺酸、賴丁胺酸和色胺酸，使分別與 HCP 組豬隻生長期與肥育期飼糧必需胺基酸含量相近，並符合 NRC (1998) 營養推薦量，飼糧組成，如表 1 所示。
- (iii) 試驗參考蘇等 (2023a)，在 2023 年 5 月至同年 8 月間進行，豬隻飼養在相同之豬舍，其內部構造、豬舍內微氣候、空氣品質及水簾通風自動控制系統操作等，悉如蘇等 (2023a) 所述。動物之使用、飼養及實驗內容，皆依據農業部畜產試驗所實驗動物照護及使用委員會核准文件 (IACUCNo.112-7) 進行。

II. 調查項目

- (i) 生長性能：豬隻在試驗開始、生長期結束及試驗結束時分別磅重 1 次，記錄生長期與肥育期飼糧消耗量，計算日增重 (average daily gain, ADG)、採食量 (average daily feed intake, ADFI) 與飼料換肉率 (feed conversion rate, FCR; feed/gain)。
- (ii) 採集試驗期間每次調製之飼糧樣品，並於飼糧採集後第 3 — 5 日撿拾各欄糞便，進行水分 (moisture)、灰分 (ash)、總氮 (total nitrogen, TN)、總磷 (total phosphorus, TP)、銅 (copper, Cu)、鋅 (zinc, Zn)、鉀 (potassium, K) 及鈉 (sodium, Na) 等成分分析。
- (iii) 用水量與廢水量調查：在豬舍用水端安裝水表，每週二及週三上午 10 時日分別記錄水表讀數，計算用水量；每週二排空廢水儲存池，翌日同時量測廢水儲存池長度、寬度與廢水深度，計算廢水量。
- (iv) 水簾蒸發水量調查：在 3 個水簾供水處安裝水表，記錄水表開始讀數後，每週記錄水表讀數，計算水簾蒸發水量。
- (v) 廢水水質分析：每次廢水量調查同時採集廢水，測定氫離子濃度 (pH 值) 和電導度 (electrical conductivity, EC)，分析化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD)、總固形物 (total suspended solids, TS)、揮發性固形物 (volatile solids, VS)、TN、TP、Cu、Zn、K、Na 及 Mg 濃度。

III. 測定與分析方法

(i) 飼糧及糞便

1. 水分：依照農業部 (2020) 公告之肥料種類品目及規格 AFS 2901-1 方法分析之。
2. 總氮及總磷：依照農業部 (2020) 公告之肥料種類品目及規格 AFS1110-1 及 AFS1120-1 鉬黃法分析之。
3. 灰分、銅、鋅、鉀、鈉及鎂：樣品經水分測定後，取樣放入灰化爐 (NEYTECH-2-525)，在 550 — 650℃ 溫度下灰化約 6 小時。樣品灰化、冷卻後，加入 3 N 的鹽酸 10 mL，以錶玻璃覆蓋置 350℃ 電熱板進行酸解、過濾並定量後，以原子吸收光譜儀 (Atomic absorption spectrometer Z8100, Hitachi) 測定之。

(ii) 廢水

1. pH 值及 EC：依照環境部公告之 NIEA W424.53A (環境部國家環境研究院，2019a) 及 NIEA W203.52C (環境部國家環境研究院，2023a) 測定之。

表 1. 試驗飼糧組成 (飼飼基)

Table 1. The compositions of experimental diet (as fed basis)

Items	Growing period		Finishing period	
	CP group	AA group	CP group	AA group
Ingredients, kg				
Corn meal, CP 7.5%	723.9	798.8	777.9	842.0
Soybean meal, CP 43.5%	196.0	115.0	152.0	70.0
Fish meal, CP 60%	30.0	30.0	—	—
Molasses	20.0	20.0	20.0	25.0
Wheat bran	—	—	20.0	25.0
Soybean oil	6.0	7.0	5.0	8.0
Limestone, pulverized	6.0	7.0	8.0	7.0
Dicalcium phosphate	11.0	10.0	10.0	11.0
Choline chloride, 50%	1.0	1.0	1.0	1.0
Salt	4.0	4.0	4.0	4.0
Vitamin premix ¹	1.0	1.0	1.0	1.0
Mineral premix ²	1.0	1.0	1.0	0.8
Phytase, 5,000 U/g	0.1	0.1	0.1	0.1
L- Lysine, 78%	—	2.7	—	2.8
DL- Methionine, 99%	—	0.8	—	0.8
L- Threonine, 99%	—	1.2	—	1.0
L- Tryptophan, 98%	—	0.4	—	0.5
Total	1,000	1,000	1,000	1,000
Calculated value				
Digestible energy, kcal/kg	3,404	3,404	3,407	3,410
Crude protein, %	16.00	13.04	13.02	10.06
Lysine, %	0.91	0.91	0.65	0.66
Methionine, %	0.30	0.35	0.23	0.27
Threonine, %	0.64	0.64	0.51	0.49
Tryptophan, %	0.19	0.18	0.14	0.15
Copper, mg/kg	10.0	9.6	9.7	8.9
Zinc, mg/kg	64.4	62.8	62.1	52.5

¹ Each kilogram of vitamin premix contains: Vitamin A, 6000 IU; Vitamin D₃, 800 IU; Vitamin B₁₂, 0.02 mg; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K₃, 4 mg; Riboflavin, 4 mg; Pantothenic acid, 16 mg; Niacin, 30 mg; Pyridoxine, 1mg; Folic acid, 0.5 mg; and Biotin, 0.1 mg.

² Each kilogram of vitamin premix contains: Fe (FeSO₄ · 7H₂O), 80 mg; Cu (CuSO₄ · 5H₂O), 5 mg; Mn (MnSO₄), 6 mg; Zn (ZnO), 40 mg; and I (KI), 0.20 mg.

2. COD 及 BOD 濃度：依照環境部公告之 NIEA W515.55A (環境部國家環境研究院，2018) 及 NIEA W510.55B (環境部國家環境研究院，2011) 方法分析之。

3. TS 及 VS 濃度：依照環境部公告之 NIEA W210.58A (環境部國家環境研究院，2013) 方法分析之。

4. TN：依照環境部公告之 NIEA W423.53C (環境部國家環境研究院，2023b) 公式計算，即水中 TN 濃度 = 水中硝酸鹽氮濃度 + 水中亞硝酸鹽氮濃度 + 水中凱氏氮濃度。水中硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮及凱氏氮之測定，分別參照環境部國家環境研究院 NIEA W419.51A (2006)、NIEA W418.54C (2019b) 及 NIEA W451.52A (2023c) 方法分析之。

5. TP：依照環境部公告之 NIEA W423.52C27.53B (環境部國家環境研究院，2010) 方法分析之。

6. Cu、Zn、K、Na 及 Mg：參考蘇等 (2020) 方法，將水樣定量 50 mL 後加入 3 N 的鹽酸 10 mL，以錶玻璃

覆蓋置 350°C 電熱板進行酸解後，以原子吸收光譜儀 (Spectrophotometer Z8100, Hitachi, Japan) 分析之。

IV. 統計分析

豬隻生長性能以欄平均為試驗單位，其餘各項目以每次測定或分析值為試驗單位，利用 SAS 統計分析套裝軟體的一般線性模式程序 (General linear model procedure) 進行變方分析 (SAS, 2002)，以 LSMEANS 統計模式估計各處理組的最小平方平均值及標準機差，各處理間如有差異，再以鄧肯氏新多變域測定法 (Duncan's New Multiple Range Test)，檢定各處理組間的差異顯著性。

結果與討論

I. 豬隻生長性能

試驗係採取自動餵飼、豬隻群養方式，無法測定個別豬隻採食量，故以每次入料量依下列公式估計豬隻採食量：採食量 = 飼糧消耗量 / 餵飼日數 / 豬隻頭數。結果顯示試驗期間飼糧與品種組成間無顯著交感效應 (表 2)。HCP 組豬隻生長期 ADFI 顯著地較 LCP 組為多，試驗結束體重有較 LCP 組為大趨勢 ($P < 0.1$)。在品種比較方面，LD 組試驗開始日齡和體重皆較 LYD 為大 ($P < 0.001$)，生長期 ($P < 0.001$) 和試驗全期 ($P < 0.01$) 的 ADG 皆較 LYD 為小，FCR 顯著地較 LYD 為差，而飼糧與品種對肥育期豬隻 ADG、ADFI 及 FCR 皆無顯著影響。蘇等 (2012a) 以不同銅鋅含量飼糧餵飼體重 30 – 110 kg 的 LYD 肉豬，試驗期間 ADG、ADFI 與飼料效率 (feed efficiency, G/F) 分別為 0.78 – 0.81 kg/d、2.33 – 2.67 kg/d 與 0.30 – 0.34，採用不同粗蛋白質含量飼糧餵飼體重 42 – 110 kg 的 LYD 肉豬，試驗期間的 ADG、ADFI 與 G/F 則為 0.76 – 0.81 kg/d、2.45 – 2.53 kg/d 與 0.31 –

表 2. 飼糧與品種組成對豬隻生長性能之影響

Table 2. Effects of diets and breeds composition on pig growth performance

Items	Diet (D)		Breed (B)		SEM	Significance ¹	
	LCP	HCP	LYD	LD		D	B
No. of pens	8	8	8	8			
Initial							
Age, day	102.5	101.8	101.7	103.9	0.2	NS	***
BW, kg	40.0	36.9	37.6	43.5	1.2	NS	***
Grower period ²							
Age, day	130.5	129.8	129.7	131.9	0.2	NS	***
BW, kg	63.0	60.6	62.0	63.3	1.4	NS	NS
ADG, kg	0.82	0.84	0.87	0.71	0.03	NS	***
ADFI ³ , kg	1.83	1.66	1.76	1.83	—	—	—
FCR	2.36	2.13	2.14	2.76	0.12	NS	***
Finisher period							
Age, day	192.3	191.2	191.4	193.7	1.6	NS	NS
BW, kg	120.9	118.8	120.5	119.6	1.2	†	NS
ADG, kg	0.94	0.96	0.96	0.92	0.02	NS	NS
ADFI, kg	2.93	2.95	2.93	2.94	—	—	—
FCR	3.16	3.12	3.11	3.26	0.09	NS	NS
Overall							
ADG, kg	0.91	0.92	0.93	0.85	0.02	NS	**
ADFI, kg	2.57	2.53	2.55	2.58	—	—	—
FCR	2.89	2.80	2.79	3.08	0.08	NS	*

¹ NS: $P > 0.05$; †: $P < 0.1$; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$.

² BW: body weight; ADG: average daily gain; ADFI: average daily feed intake; FCR: feed conversion rate (feed/gain).

³ ADFI = feed consumption/number of experimental feeding days/number of experimental pigs.

0.33(蘇等, 2012b), 蘇等(2016)在熱季使用平均體重 48 – 115 kg 的 LD 肉豬, 試驗期間 ADG、ADFI 及 G/F 分別為 0.70 kg/d、2.28 kg/d 及 0.31 (即 FCR 約 3.22), 上述三項研究豬隻皆群飼在開放式豬舍。本試驗獲致結果 LYD 組豬隻的 ADG 及 ADFI 分別為 0.93 及 2.55 kg/d, LD 組則為 0.85 及 2.58 kg/d, 不論 LYD 或 LD 豬隻生長性能皆明顯較上述三項研究(蘇等, 2012a; 蘇等, 2012b; 蘇等, 2016)為多, FCR 也較佳, 推測與豬隻飼養於密閉水簾豬舍具有較佳的生長環境(蘇等, 2023a)有關。

II. 飼糧及糞便成分分析

生長期 HCP 組與 LCP 組飼糧粗蛋白質含量分別約為 16 與 13% (以總氮含量 $\times 6.25$ 估算), 肥育期則為 13 與 10% (表 3), 皆與估計值(表 1)相近。在飼糧銅和鋅含量方面, 生長期 HCP 組飼糧乾基的銅和鋅含量分別為 10 和 70 mg/kg, LCP 組為 10 和 62 mg/kg, 肥育期則分別為 10 和 62 mg/kg 與 9 和 56 mg/kg, 飼糧銅和鋅含量皆低於經濟部(2010)公告的 25 ppm 和 110 (生長期)與 100(肥育期) ppm 之最高限量。每次調製飼糧後 4 – 5 日撿拾各欄豬隻糞便進行成分分析(表 4), 結果生長期和肥育期飼糧 LCP 飼糧的豬隻糞便中總氮(TN)和總磷(TP)濃度皆顯著較 HCP 組為低, 生長期糞便中 TN 和 TP 濃度約較 HCP 組降低 18.0 及 10.6%, 肥育期則減少 17.2 及 18.5%。肥育期飼糧 HCP 組飼糧的豬隻糞便中銅及鋅濃度較 LCP 組高 ($P < 0.05$), 此與本試驗在肥育期時 HCP 組 (1 kg/t) 礦物質預拌物添加量較 LCP 組 (0.8 kg/t) 為多應有關係, 而不論 HCP 組或 LCP 組肥育期糞便的銅及鋅濃度皆較生長期為高。NRC (1998) 對豬隻飼糧中銅及鋅的推薦量分別為: 體重 20 – 50 kg 為 4 及 60 ppm, 50 – 80 kg 為 3.5 及 50 ppm, 80 – 120 kg 則為 3 及 50 ppm, 本試驗飼糧銅及鋅含量仍較 NRC (1998) 推薦量高(表 3), 但在無法確定植物性飼料原料中植酸態的銅及鋅可完全被豬隻消化利用下, 為滿足豬隻生長需求, 飼糧中含量稍高仍屬必要。

表 3. 試驗飼糧成分

Table 3. Compositions of experimental diet

Items	Grower stage		Finisher stage		SEM
	HCP	LCP	HCP	LCP	
No. of samples	3	3	5	5	
Moisture, %	13.5 ^{bc}	13.1 ^c	14.2 ^{ab}	14.7 ^a	0.3
----- dry matter basis -----					
Ash, %	5.53 ^a	4.86 ^b	5.19 ^{ab}	5.20 ^{ab}	0.14
TN ¹ , %	2.62 ^a	2.09 ^b	2.12 ^b	1.60 ^c	0.03
TP, %	0.52	0.51	0.59	0.57	0.03
K, %	0.75	0.74	0.74	0.72	0.02
Na, %	0.39 ^a	0.39 ^a	0.24 ^b	0.23 ^b	0.01
Cu, mg/kg	10.32 ^a	9.64 ^{ab}	9.80 ^{ab}	9.07 ^b	0.33
Zn, mg/kg	70.2 ^a	62.0 ^b	62.3 ^b	56.0 ^c	0.8

¹ TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; K: potassium; Na: sodium; Cu: copper; Zn: zinc.

^{a, b} Means within the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

本試驗肥育期飼糧玉米粉及大豆粕皆屬植物性原料, Humer *et al.* (2015) 指出, 磷主要以植酸鹽形式儲存在植物種子中, 由於植酸鹽是一種陰離子, 會和陽離子尤其是鈣、鐵和鋅陽離子 (Sohail and Roland, 1999)、碳水化合物和胺基酸 (Sebastian *et al.*, 1996; Ravindran *et al.*, 1999) 及酵素 (Sebastian *et al.*, 1998) 螯合為不溶解性的植酸鹽, 必須仰賴植酸酶予以水解利用, 但是單胃動物自體無法產生植酸酶, 必須靠外源 (exogenous) 獲得 (Cowieson *et al.*, 2006)。Kristoffersen *et al.* (2021) 指出, 飼糧添加植酸酶可提高仔豬生長性能和空腸磷消化率、磷和鈣的總消化率及骨礦化, 而蛋白質和植酸鹽交互作用會降低蛋白質 (胺基酸) 利用率 (Selle *et al.*, 2012), 此外研究 (Cowieson *et al.*, 2006; Cowieson *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2008) 也證實, 飼糧添加植酸酶可提高胺基酸的消化率和礦物質的吸收率。本試驗 LCP 組飼糧減量添加礦物質預拌物並添加 500 U/kg 的植酸酶, 主要是希望降低糞便的銅及鋅濃度並提高氮及磷的消化率。

國內豬隻糞便大多採取堆肥化處理以資源化利用, 農業部 (2020) 規定禽畜糞堆肥 (5-09) 中銅和鋅含量以 100 和 500 ppm 為上限, 此即本試驗希望降低糞便銅及鋅濃度的原因。堆肥化期間有機質和有機碳 (Parkinson *et*

al., 2004; Tiquia, 2010) 會被分解，氮也會被分解產生 NH_3 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 等而逸散 (Bernal *et al.*, 2009)，致使礦物質元素的濃度被濃縮而相對提高 (Miaomiao *et al.*, 2009)。Tiquia (2010) 的研究，堆肥化後銅和鋅的濃度分別約提高為堆肥化前的 1.20 – 1.26 倍和 1.23 – 1.41 倍，蘇等 (2012c) 則指出，堆肥化後銅濃度約提高為堆肥化前的 1.21 – 1.41 倍，鋅濃度則提高為 1.04 – 1.13 倍。參考上述文獻，本試驗 HCP 組豬糞若無添加調整材而用於製作禽畜糞堆肥 (品目編號 5-09)，堆肥成品的鋅含量有超出品目標準之虞。

表 4. 試驗豬隻糞便成分

Table 4. Feces components of experimental pigs

Items	Grower stage		Finisher stage		SEM
	HCP	LCP	HCP	LCP	
No. of samples	3	3	5	5	
Moisture, %	81.7 ^a	78.1 ^b	78.2 ^b	76.6 ^b	0.68
----- dry matter basis -----					
OM ¹ , %	85.7	86.2	86.2	85.7	0.25
TN ² , %	3.87 ^a	3.18 ^c	3.44 ^b	2.85 ^d	0.06
TP, %	2.40 ^a	2.14 ^b	2.25 ^b	1.83 ^c	0.05
K, %	0.91 ^a	0.91 ^a	0.85 ^{ab}	0.77 ^b	0.03
Na, %	0.16	0.16	0.15	0.14	0.01
Cu, mg/kg	51.6 ^c	54.3 ^c	72.5 ^a	64.2 ^b	1.1
Zn, mg/kg	375 ^b	352 ^c	414 ^a	367 ^{bc}	6

¹ Refer to Nolan *et al.* (2011) formula to estimate, OM (organic matter, %) = (1 - Ash) × 100.

² TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; K: potassium; Na: sodium; Cu: copper; Zn: zinc.

a, b, c, d Means within the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

III. 豬舍用水量、廢水量及廢水水質

本試驗豬舍用水主要是提供豬隻飲用水、水簾循環水補充及空氣污染防治設施所需，皆以自來水供應。豬隻肥育期平均用水量 22.23 L/d/head 顯著地較生長期的 15.63 L/d/head 為多 (表 5)。NRC (1998) 指出，採取任食或限食的非哺乳期母豬，其飲水量分別約為飼糧採食量的 2.5 或 3.7 倍，Li *et al.* (2005) 指出，生長肥育豬平均飲水量為 4.01 – 5.38 L/d/head，蘇等 (2016, 2018) 測定生長期與肥育期豬隻飲水量介於 5 – 6 L/d/head。本試驗豬隻採取任食，生長期與肥育期的 ADFI 分別約 1.8 與 2.9 kg/d/head (表 2)，參考 NRC (1998) 飲水量約為飼糧採食量的 2.5 倍估算，豬隻生長期與肥育期飲水量分別約為 4.5 與 7.3 L/d/head。水簾運作每日分別補充 0.66 與 1.07 m³ 水量，即每頭豬約需分攤因水簾蒸發之用水量 1.31 與 2.14 L/d。空氣污染防治設施下設置 11.7 m (長) × 3.55 m (寬) 的水池，水深 0.45 – 0.50 m，即每次約注入 18.7 m³ 的自來水，以循環水淋洗方式去除豬舍內之空氣污染物，每 3 – 4 日換水一次，估計空氣污染防治設施的用水量約介於 10.4 – 15.5 L/d/head 之間。

本試驗於糞尿分離的高床刮糞式豬舍進行，試驗期間無沖洗豬舍，豬隻飲水係以碗式飲水器供應，廢水主要由豬隻飲水溢漏及尿液產生，而豬隻肥育期的廢水量 (6.13 L/d/head) 顯著較生長期 (3.57 L/d/head) 多 (表 5)。臺灣省畜產試驗所 (1993) 以體重 100 kg 的豬隻為一個動物單位 (animal unit, AU)，糞 (1.7 kg)、尿 (3.3 L) 排泄量以 5 kg/d/AU 計，豬舍沖洗用水量則以糞尿排泄量 5 倍計算，估計廢水產生量為 30 L/d/AU，若以一貫式養豬場豬之平均體重 60 kg、0.82 AU 估算 (臺灣省畜產試驗所，1993)，廢水產生量約為 25 L/d/head。蘇等於熱季 (蘇等，2016) 及涼季 (蘇等，2018) 以實地面、高床糞尿溝式部分條狀及高床糞尿溝式全條狀等 3 種型式之肉豬舍，進行豬舍用水量與廢水量之比較。結果實地面 (SOF)、部分條狀 (PSF) 及全條狀 (TSF) 豬舍的沖洗水量分別為 42 – 29 L/d/head、35 – 22 L/d/head 及 18 – 15 L/d/head，廢水量則為 34 – 26 L/d/head、29 – 20 L/d/head 及 16 – 14 L/d/head，豬隻飼養於 PSF 及 TSF 分別約較 SOF 豬舍可節省 16 – 23% 及 49 – 57% 的沖洗水量，減少 15 – 22% 及 47 – 51% 的廢水量。本試驗生長期與肥育期的廢水量分別僅約臺灣省畜產試驗所 (1993) 估計量的 14 與 25%，以及全條狀地面糞尿溝式的 22 – 44% (蘇等，2016；蘇等，2018)，顯示肉豬飼養於水簾高床刮糞式豬舍，因糞尿清理不需用水，較實地面與糞尿溝式豬舍具較佳的節水減廢效果。

豬隻生長期平均刮糞量與含水率為 238 kg/d 與 66.1%，刮取的糞便濕重與乾重分別為 476 及 160 g/d/head，肥育期平均刮糞量與含水率為 335 kg/d 與 68.5%，估算糞便濕重與乾重則為 786 及 246 g/d/head (表 5)。本試驗豬隻生長期與肥育期體重分別約介於 39 – 61 kg 及 61 – 119 kg，參考蘇等 (2009) 的研究，豬隻在體重 50 kg 及

100 kg 時的糞便濕重分別為 816 及 980 g/d/head，含水率 76.6% 及 67.7%，糞便乾物重約 190 及 317 g/d/head，估計豬隻生長期與肥育期糞便刮除效率分別約為 84 及 78%。

表 5. 豬隻生長期及肥育期豬舍用水量、水簾蒸發水量、廢水量及刮糞量比較

Table 5. Comparison of water consumption, wet-pad cooling system evaporation water volume (WCEW), wastewater volume, and amount of feces scraping in pig houses during the grower and finisher period of pigs

Items	Grower stage	Finisher stage	SEM
No. of samples	4	8	
Water consumption, L/d/head	15.63 ^b	22.23 ^a	2.23
WCEW			
Per day, m ³	0.66 ^b	1.07 ^a	0.09
Per head, L/d	1.31 ^b	2.14 ^a	0.18
Wastewater volume, L/d/head	3.57 ^b	6.13 ^a	0.24
Amount of feces scraped			
Gross weight, kg/d	238 ^b	335 ^a	22
Feces wet weight, g/d/head	476 ^b	786 ^a	49
Moisture, %	66.1	68.5	1.2
Feces dry weight, g/d/head	160 ^b	246 ^a	11

^{a, b} Means within the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

豬隻生長期與肥育期廢水的 pH 值和 EC 無顯著差異 (表 6)，而肥育期廢水的 COD、BOD、TS、VS、TN、TP、Cu、Zn、K、Na 及 Mg 濃度皆較生長期為高 ($P < 0.05$)，此與肥育期豬隻的 ADFI 較生長期為多，且 FCR 較生長期為差 (表 2) 應有關係。蘇等 (2023b) 沖洗糞尿溝的原廢水 COD、TS、VS、TN、TP、Cu 及 Zn 濃度分別為 21,000、20,100、13,500、3,600、2,000、2.03 及 17.8 mg/L，除 TN 濃度外廢水水質皆較本試驗明顯為高。糞尿溝式豬舍的原廢水包含豬隻糞便、尿液、飲水溢漏及豬舍沖洗水，本試驗由於大部分的豬隻糞便已刮除且無豬舍沖洗水，廢水所含成分主要由尿液及飲水溢漏貢獻，而氮主要是經由尿液排泄 (Yen *et al.*, 2004; Pomar *et al.*, 2008)，致 TN 濃度較蘇等 (2023b) 明顯為高。

表 6. 豬隻生長期及肥育期廢水水質比較

Table 6. Comparison of wastewater quality during the grower and finisher period of pigs

Items	Grower stage	Finisher stage	SEM
No. of samples	4	8	
Wastewater quality			
pH value	8.57	8.43	0.05
EC ¹ , mS/cm	18.3	19.2	0.28
	----- mg/L -----		
COD	8,303 ^b	10,024 ^a	331
BOD	3,272 ^b	3,916 ^a	116
TS	958 ^b	1,831 ^a	108
VS	843 ^b	1,607 ^a	85
TN	3,935 ^b	6,876 ^a	103
TP	65.1 ^b	79.4 ^a	3.03
Cu	0.27	0.25	0.02
Zn	1.11 ^b	1.39 ^a	0.07
K	1,845 ^b	2,116 ^a	31
Na	548 ^b	602 ^a	11
Mg	117 ^b	134 ^a	2

¹ EC: electrical conductivity; COD: chemical oxygen demand; BOD: biochemical oxygen demand; TS: total suspended solids; VS: volatile solids; TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; K: potassium; Na: sodium; Cu: copper; Zn: zinc; Mg: magnesium.

^{a, b} Means within the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

結 論

本研究生長肥育豬餵飼低粗蛋白質飼糧，其生長性能與高粗蛋白質組沒有顯著差異，且可降低糞便的氮濃度，預期亦可減少氧化亞氮 (N_2O) 排放、環境污染與河川優養化等環保問題。豬隻飼養於水簾刮糞式肉豬舍、輔以碗式飲水器，具節省用水量、減少廢水量效果。廢水氮濃度較實地面及糞尿溝式豬舍為高，後續可評估應用於產製液態氮肥原料之可行性。

參考文獻

- 臺灣省畜產試驗所。1993。豬糞尿處理設施工程設計、施工手冊 (修訂本)，p. C。臺灣省畜產試驗所專輯第 21 號，臺南新化。
- 農業部。2020。肥料種類品目及規格。中華民國 109 年 4 月 24 日農授糧字第 1091068958A 號公告修正發布。
https://law.coa.gov.tw/glsnewsout/Law_Content.aspx?id=FL014452。
- 環境部國家環境研究院。2006。水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法 (NIEA W419.51A)。中華民國 95 年 8 月 8 日環署檢字第 0950062980 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2010。水中磷檢測方法—分光光度計 / 維生素丙法 (NIEA W427.53B)。中華民國 99 年 9 月 15 日環署檢字第 0990084224 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2011。水中生化需氧量檢測方法 (NIEA W510.55B)。中華民國 100 年 1 月 27 日環署檢字第 1000009050 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2013。水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103 ~ 105°C 乾燥 (NIEA W210.58A)。中華民國 102 年 1 月 15 日環署檢字第 1020004998 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2018。水中化學需氧量檢測方法—重鉻酸鉀 (NIEA W515.55A)。中華民國 107 年 11 月 22 日環署授檢字第 1070007386 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2019a。水之氫離子濃度指數 (pH 值) 測定方法—電極法 (NIEA W424.53A)。中華民國 108 年 1 月 22 日環署授檢字第 1080000393 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2019b。水中亞硝酸鹽氮檢測方法—比色法 (NIEA W418.54C)。中華民國 108 年 7 月 30 日環署授檢字第 1080004541 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2023a。水中導電度測定方法—導電度計法 (NIEA W203.52C)。中華民國 112 年 8 月 15 日環署授檢字第 1120006576 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2023b。水中總氮檢測方法 (NIEA W423.53C)。中華民國 112 年 8 月 15 日環署授檢字第 1127106488 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2023c。水中凱氏氮檢測方法 (NIEA W451.52A)。中華民國 111 年 10 月 7 日環署授檢字第 1117106230 號公告。
- 經濟部。2010。CNS 3027 國家標準配合飼料 (家畜、家禽用)。經濟部 99 年 5 月 28 日經授標字第 09920050420 號公告。
- 蘇天明、李免蓮、吳遵文、蕭庭訓、李恒夫、廖宗文、郭猛德。2009。不同體重肉豬糞尿排泄量及其成分調查。中畜會誌 38：97-107。
- 蘇天明、劉士銘、李恒夫、蕭庭訓、廖宗文、郭猛德。2012a。不同型式銅鋅及其用量之飼糧對生長肥育豬生長性能及屠體性狀之影響。畜產研究 45：55-66。
- 蘇天明、劉士銘、翁義翔、蕭庭訓、李恒夫、郭猛德。2012b。以飼糧調控降低豬隻氮排泄量。畜產研究 45：341-354。
- 蘇天明、劉士銘、李恒夫、蕭庭訓、廖宗文、郭猛德。2012c。不同銅鋅含量飼糧對生長肥育豬糞便及堆肥中銅鋅含量之影響。畜產研究 45：107-120。
- 蘇天明、翁義翔、鍾承訓、鄭閔謙、蕭庭訓、程梅萍。2016。地面結構對熱季豬隻生長性能及豬舍用水量、廢水量之影響。畜產研究 49：26-34。
- 蘇天明、翁義翔、鍾承訓、蕭庭訓、程梅萍。2018。地面結構對涼季豬隻生長性能與豬舍廢水量。畜產研究 51：75-83。
- 蘇天明、鍾承訓、蕭庭訓、程梅萍。2020。三段式處理對不同濃度養豬廢水之處理效果。畜產研究 53：82-90。

- 蘇天明、劉威志、翁義翔、蕭庭訓。2023a。水簾式肉豬舍熱季微氣候與空氣品質調查。畜產研究 56：208-219。
- 蘇天明、翁義翔、鍾承訓、劉威志、蕭庭訓。2023b。生長肥育豬飼養於水簾式豬舍對生長性能及廢水處理水質之影響。畜產研究 56：66-75。
- Bernal, M. P., J. A. Alburgue, and R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 100: 5444-5453.
- Cowieson, A. J., T. Acamovic, and M. R. Bedford. 2006. Phytic acid and phytase: Implications for protein utilization by poultry. *Poult. Sci.* 85: 878-885.
- Cowieson, A. J., V. Ravindran, and P. H. Selle. 2008. Influence of dietary phytic acid and source of microbial phytase on ileal endogenous amino acid flows in broiler chickens. *Poult. Sci.* 87: 2287-2299.
- Dennehy, C., P. G. Lawlor, Y. Jiang, G. E. Gardiner, S. Xie, L. D. Nghiem, and X. Zhan. 2017. Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques: a critical analysis. *Front. Environ. Sci. Eng.* 11: 11.
- Giannuzzi, L., D. Sedan, R. Echenique, and D. Andrinolo. 2011. An acute case of intoxication with cyanobacteria and cyanotoxins in recreational water in Salto Grande Dam, Argentina. *Mar. Drugs* 9: 2164-2175.
- Humer, E., C. Schwarz, and K. Schedle. 2015. Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 99: 605-25.
- Kristoffersen, S., T. Gjefsen, B. Svihus, and N. P. Kjos. 2021. The effect of reduced feed pH, phytase addition and their interaction on mineral utilization in pigs. *Livest. Sci.* 248: 104498.
- Li, Y. Z., L. Chenard, S. P. Lemay, and H. W. Gonyou. 2005. Water intake and wastage at nipple drinkers by growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 83: 1413-1422.
- Miaomiao, H., L. Wenhong, L. Xinqiang, W. Donglei, and T. Guangming. 2009. Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure. *Waste Manag.* 29: 590-597.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th ed. National Academic Press, Inc., NY, USA.
- Nolan, T., S. M. Troy, M. G. Healy, W. Kwapinski, J. J. Leahy, and P. G. Lawlor. 2011. Characterization of separated pig manure composted with a variety of bulking agents at low initial C/N ratios. *Bioresour. Technol.* 102: 7131-7138.
- Parkinson, R., P. Gibbs, S. Burchett, and T. Misselbrook. 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.* 91: 171-178.
- Petty, L. A., S. D. Carter, B. W. Senne, and J. A. Shriver. 2002. Effects of beta-mannanase addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 1012-1019.
- Pomar, C., F. Gagné, J. J. Matte, G. Barnett, and C. Jondreville. 2008. The effect of microbial phytase on true and apparent ileal amino acid digestibilities in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86: 1598-1608.
- Portejoie, S., J. Y. Dourmad, J. Martinez, and Y. Lebreton. 2004. Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.* 91: 45-55.
- Ravindran, V., S. Cabahug, G. Ravindran, and W. L. Bryden. 1999. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult. Sci.* 78: 699-706.
- Santos, F. R., M. Hruby, E. E. M. Pierson, J. C. Remus, and N. K. Sakomura. 2008. Effect of phytase supplementation in diets on nutrient digestibility and performance in broiler chicks. *J. Appl. Poult. Res.* 17: 191-201.
- SAS. 2002. *SAS/STAT User's Guide*, Release 6.03 edition. Cary, NC, U.S.A.
- Sebastian, S., S. P. Touchburn, and E. R. Chavez. 1998. Implications of phytic acid and supplemental microbial phytase in poultry nutrition: A review. *Worlds Poult. Sci. J.* 54: 27-47.
- Sebastian, S., S. P. Touchburn, E. R. Chavez, and P. C. Lague. 1996. The effects of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium, phosphorus, copper and zinc in broiler chickens fed corn-soybean diets. *Poult. Sci.* 75: 729-736.
- Selle, P. H., A. J. Cowieson, N. P. Cowieson, and V. Ravindran. 2012. Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. *Nutr. Res. Rev.* 25: 1-17.
- Sohail, S. S. and D. A. Roland. 1999. Influence of supplemental phytase on performance of broilers from four to six weeks of age. *Poult. Sci.* 78: 550-558.
- Shin, J. H., S. M. Lee, Y. J. Jung, C. Y. Chung, and H. S. Noh. 2005. Enhanced COD and nitrogen removals for the treatment of swine wastewater by combining submerged membrane bioreactor (MBR) and anaerobic upflow bed filter (AUBF)

- reactor. *Process Biochem.* 40: 3769-3776.
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere.* 79: 506-512.
- Wang, Z., Y. Jiang, S. Wang, Y. Zhang, Y. Hu, Z. H. Hu, G. Wu, and X. Zhan. 2020. Impact of total solids content on anaerobic co-digestion of pig manure and food waste: Insights into shifting of the methanogenic pathway. *Waste Manage.* 114: 96-106.
- Yen, J. T., J. E. Wells, and D. N. Miller. 2004. Dried skim milk as a replacement for soybean meal in growing-finishing diets: effects on growth performance, apparent total-tract nitrogen digestibility, urinary and fecal nitrogen excretion, and carcass traits in pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 3338-3345.

Effects of dietary crude protein content on growth performance and fecal compositions of grower-finisher pigs ⁽¹⁾

Tein-Ming Su ⁽²⁾ Wei-Zhi Liu ⁽²⁾ Yi-Hsiang Weng ⁽²⁾ Cheng-Hsun Chung ⁽²⁾ and Hsiu-Wen Ou ⁽²⁾⁽³⁾

Received: Sep. 16, 2024; Accepted: Dec. 27, 2024

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of feeding grower-finisher pigs with diets with different crude protein contents and raising them in wet-pad cooling feces scraped pig houses on pig growth performance, feces composition, water consumption, wastewater volume and wastewater quality in the pig house. A total of 224 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) and 224 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] grower-finisher pigs with an average weight of about 39 kg were raised in a wet-pad cooling feces scraped pig houses, and the control group (HCP group) and the experimental group (LCP group), 224 animals each, were divided into 8 pens and 28 animals per pen, and fed with high crude protein and low crude protein diets, (the crude protein content of the diet was reduced by 3% and essential amino acids were added), respectively. The feeding trial was terminated when pigs reached average body weight is about 120 kg and feed and water were provided ad libitum during the experimental period. The growth performance and feces compositions of the pig, water consumption, wastewater amount, and wastewater quality of the pig house were measured. The results showed that the feed intake of pigs in the HCP group during the growth period was greater ($P < 0.001$) than that of the LCP group. The total nitrogen concentration in the feces of the LCP group were approximately 18.0% lower than those of the HCP group during the pig grower period, and were reduced by 17.2% during the finisher period. The water consumption and wastewater amount of the pig house in the finisher period are 22.23 and 6.13 L/d/head respectively, both are significantly higher than the 15.63 and 3.57 L/d/head in the growth period. The concentrations of chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, suspended solids, total nitrogen, total phosphorus, zinc, potassium, sodium and magnesium of wastewater in the finisher period were all higher than those in the growth period ($P < 0.05$). In summary, feeding the LCP group diet has no significant impact on the growth performance of grower-finisher pigs, and can reduce the total nitrogen concentration of feces. The application of wet-pad cooling feces scraped pig houses has the effects of saving water consumption and reducing the amount of wastewater.

Key words: Fecal composition, Grower-finisher pig, Growth performance, Low crude protein diet.

(1) Contribution No. 2810 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Livestock Management Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: hwou@mail.tlri.gov.tw.