

飼糧銅型式及含量對生長肥育豬生長、屠體與銅排泄量之影響⁽¹⁾

蘇天明⁽²⁾⁽⁶⁾ 李恒夫⁽³⁾ 蕭庭訓⁽²⁾ 劉士銘⁽²⁾
陳國隆⁽⁴⁾ 盧金鎮⁽⁴⁾ 廖宗文⁽⁵⁾

收件日期：98年7月30日；接受日期：98年12月3日

摘要

本試驗旨在探討於生長肥育期豬隻飼糧中添加不同型式及含量的銅化物，對豬隻生長性能、屠體性狀、臟器中銅蓄積及排泄物中銅含量之影響。本試驗使用體重 41.3 ± 1.3 kg 的 LD 雜交肉豬 48 頭，閹公豬及肉女豬各半，逢機分置於 A、B、C 及 D 等 4 種以玉米—大豆粕為主要原料之飼糧處理組。A 組（對照組）在生長期和肥育期分別餵飼含粗蛋白質 15.5% 和 14.0%，銅 16 mg/kg 和 9.6 mg/kg，消化能均為 3,250 kcal/kg 之基礎飼糧。B 組、C 組和 D 組在生長期分別餵飼在基礎飼糧中額外添加硫酸銅 (Cu 25.1%)、蛋白質螯合銅 (Cu 10%) 或 γ -聚麩胺酸銅 (Cu 35.6%) 型式的銅 35 mg/kg 的飼糧；肥育期 B 組或 C 組在基礎飼糧中分別額外添加硫酸銅型式的銅 35 或 5 mg/kg，D 組則額外添加蛋白質螯合銅型式的銅 5 mg/kg。生長期每處理 3 重複，每重複（欄）4 頭，試驗期間 4 週；生長期結束後，每處理逢機擇取 4 頭閹公豬進行代謝試驗，餵飼與生長期相同飼糧；代謝試驗結束後進行肥育期試驗，試驗動物與分組同生長期，豬隻採個飼，試驗進行至豬隻平均體重 100 kg 時結束。生長肥育期飼糧與飲用水均採任食。試驗結束後逢機擇半屠宰測定屠體性狀，採集肝、腎、脾、胰、膽汁、背最長肌及血液，分析銅含量。結果顯示，各組間豬隻之生長性能、屠體性狀和糞尿排泄量均相近。A 組每日攝取銅量、糞便排泄銅量和糞便中銅的濃度，均顯著地 ($P < 0.05$) 較其他三組為低。在銅的蓄積方面，各處理組肝臟中銅含量的濃度相近 (27-33 mg/kg)，而胰臟、脾臟、膽汁及血清中銅的濃度均以 B 組最高。試驗所得結論，生長肥育豬餵飼以玉米—大豆粕為主要原料而不額外添加銅的飼糧，不會影響豬隻生長性能及屠體性狀，然而糞便中銅含量的濃度和每日排泄銅量均隨著銅攝取量增加而提高。

關鍵詞：生長肥育豬、銅、排泄量。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1544 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

(3) 行政院農業委員會畜產試驗所產業組。

(4) 國立嘉義大學動物科學系（所）。

(5) 行政院農業委員會畜產試驗所營養組。

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

緒言

植物性飼料原料中含植酸，植酸在中性酸鹼度下可與礦物質離子結合，例如： Cu^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 等，其中又以和 Cu^{2+} 與 Zn^{2+} 的結合能力最強，形成穩定且不溶性的植酸鹽（Oberlaeas and Harland, 1996），使豬隻無法有效利用飼糧中的礦物質。

我國國家標準（2000）規定，肉豬飼糧中銅的含量訂在 35 ppm 以下。研究（Cromwell, 1991; Coffey *et al.*, 1994; Apgar *et al.*, 1995）指出，飼糧中添加 250 ppm 硫酸銅有類似抗菌劑的效果，可促進豬隻生長、預防疾病及改善飼料效率，但豬隻對硫酸銅之吸收及利用率僅約 10-30%，使排泄物中銅含量相對提高並影響農作物的生產（Kornegay and Harper, 1997; Dozier *et al.*, 2003）。Armstrong *et al.* (2004) 指出，餵飼保育豬 125 ppm 檸檬酸銅，其排泄物中銅濃度較 250 ppm 硫酸銅減少。Veum *et al.* (2004) 指出，以 50 ppm 蛋白銅螯合物餵飼保育豬，相較添加 250 ppm 硫酸銅組提高銅的吸收及蓄積，並減少 23% 之銅排泄量。因此，使用有機銅似可減少銅添加量、降低環境負擔，並提升動物對銅之生物可利用性。李等（2005）以 1 mg/mL γ -聚麩胺酸（ γ -PGA）混合 10 mM $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 在 pH 6-7 的條件下，產出 γ -PGA 態之有機銅，其結合率為 90%，經模擬仔豬胃腸道試驗後，解離率為 10%。將 γ -PGA 與 Cu^{2+} 混合，降低 Cu^{2+} 與腸道內其他的陰離子結合形成沉澱而由糞便中排出的量，延長在腸道停留時間進而提高對銅的吸收率，以有效提高 Cu^{2+} 之生物可利用性。

為改善豬隻排泄物重金屬污染問題，本試驗於豬隻飼糧中添加不同型式的銅化物，俾了解豬隻對不同型式的銅之吸收利用率，以及對豬隻生長性能和屠體性狀的影響，以及降低排泄物中銅含量的效果。

材料與方法

I. 動物試驗及分組

試驗採完全隨機設計（Completely Randomized Design, CRD），選取體重 41.3 ± 1.3 kg 的 LD 雜交肉豬 48 頭，閹公豬及肉女豬各半，隨機分置於 A、B、C 及 D 等 4 種以玉米—大豆粕為主要原料調配之飼糧處理組（飼糧組成示於表 1），試驗期間飼糧與飲水均採任食。A 組（對照組）在生長期和肥育期分別餵飼含粗蛋白質 15.5% 和 14.0%，消化能均為 3,250 kcal/kg 的基礎飼糧。B 組、C 組及 D 組在生長期分別餵飼在基礎飼糧中額外添加硫酸銅（ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, GR 級, Merck, Germany；含銅量 25.1%）、蛋白質螯合銅（歐替靈—銅[®], Trouw, Nutrition；含銅量 10%）或 γ -PGA（依李等（2005）方法製作，含銅量 35.6%）型式銅 35 mg/kg 的飼糧。肥育期 B 組或 C 組在基礎飼糧中分別額外添加硫酸銅型式的銅 35 或 5 mg/kg，D 組則額外添加蛋白質螯合銅型式的銅 5 mg/kg。生長期每處理 3 重複，每重複（欄）4 頭，試驗期間 4 週；生長期結束後，每處理隨機擇取 4 頭閹公豬進行代謝試驗；代謝試驗結束後開始進行肥育期試驗，豬隻採個飼，至平均體重 100 kg 時結束（ 160.7 ± 3.8 日齡），動物分組方式同生長期。本試驗動物於畜試所產業組豬場內飼養，動物之使用、飼養及實驗內容，通過畜試所「實驗動物審查小組」審查。

表 1. 試驗飼糧組成

Table 1. The composition of experimental diets (kg)

Ingredients	Grower	Finisher
Yellow corn (CP 7.5%)	670.0	690.0
Soybean meal (CP 43.5%)	190.0	196.0
Fish meal (CP 60%)	30.0	—
Wheat bran	60.0	60.0
Molasses	20.0	20.0
Limestone	6.0	10.0
Dicalcium phosphate	13.0	14.0
Choline chloride (50%)	1.0	1.0
Salt	5.0	4.0
Vitamin premix *	1.0	1.0
Mineral premix	4.0**	4.0***
Total	1,000	1,000

* Vitamin premix provided per kilogram of diet as following: Vitamin A, 6,000 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, 0.5mg; Biotin, 0.1mg.

** Mineral premix provided per kilogram of diet as following: Fe, 140 mg; Mn, 20 mg; Zn, 70 mg; I, 0.45 mg ; No addition of Cu in A diet, B, C and D were added 35 mg Cu as copper sulfate, Cu-proteinate and Cu- γ PGA, respectively.

*** Mineral premix provided per kilogram of diet as follows: Fe, 140 mg; Mn, 20 mg; Zn, 70 mg; I, 0.45 mg ; No addition of Cu in A diet, B and C were added 35 mg and 5 mg Cu as copper sulfate, respectively, D diet was added 5 mg Cu as Cu-proteinate.

II. 代謝試驗

- (i) 生長期結束時各組擇取體重相近之閹公豬 4 頭置於代謝架，全期餵飼與生長期相同之飼糧 2 kg/d (任食量 80%)，分上、下午各半供應，飲用水任食。餵飼前先收集前次餵飼之剩餘料，並加以秤量記錄後，再餵飼飼料、扣除剩餘料，以計算實際採食量。
- (ii) 豬隻上架前秤重，先給予 3 天的適應期、紀錄豬隻任食量，第 4-6 天於飼糧中添加 0.6% 之 Cr₂O₃，集尿桶中加入 40 mL、6 N 之 HCl，進行全糞尿收集。
- (iii) 收集試驗第 4-6 天之尿液，記錄排尿量並採樣凍存。
- (iv) 第 6 天採集血液樣品 10 mL/ 頭，分離血清後凍存。
- (v) 觀察豬隻糞便排泄，自排出綠色糞便開始收集，至糞便恢復正常顏色為止 (第 8 天下

午)，每天上、下午各收集一次。收集並記錄糞便重量，置於烘箱烘至恆重後，置於防潮箱中備檢。

III. 血液採集

肥育期試驗結束磅重後，豬隻自下午 4:00 開始禁食（供應飲水）至翌日上午 9:00，採集血液樣品 15 mL/ 頭，其中 5 mL 以新鮮全血進行血液學分析，另 10 mL 則分離血清後凍存。

IV. 屠宰試驗

生長試驗結束後逢機擇取豬隻 24 頭，每處理 6 頭，閹公豬及肉女豬各半，分兩批（間隔 7 日）送屠宰進行屠體性狀資料收集。屠宰後立即採集肝、腎、胰、脾及膽汁（從膽囊中抽取），翌日將左側屠體大、小分切後，採集第 10-11 肋骨間背最長肌凍存。

V. 測定項目及方法

(i) 生長性能

記錄試驗期間飼糧攝食量，試驗前期每 2 週秤重 1 次，後期（達屠宰體重前 5-10 kg）則每週秤重 1 次，依據增重情形及飼糧攝食量，計算平均每日攝食量（average daily feed intake, ADFI）、平均日增重（average daily gain, ADG）及飼料效率（gain/feed, G/F）。

(ii) 屠體性狀

依照蘇等（2005）參考台灣區肉品發展基金會（1988）之方法測定。

(iii) 樣品分析

1. 水分測定

參照 AOAC（1990）方法，測定飼糧、糞便、肝臟、脾臟、胰臟、腎臟、背最長肌、膽汁及血清之水分含量。

2. 樣品灰化

水分測定完成後，將含樣品之坩堝放入灰化爐（NEYTECH-2-525）在 550-650°C 溫度下灰化約 6 小時，直到無黑碳狀出現，關閉電源並冷卻後，置於玻璃乾燥皿中，進行秤重並記錄。

3. 銅含量測定

樣品灰化冷卻後，加入 3N 的鹽酸 10 mL，以錶玻璃覆蓋置 350°C 電熱板進行酸解。酸解後以 #1 濾紙過濾及定量，以原子吸收光譜儀（Spectrophotometer Z8100, Hitachi）測定銅含量。

VI. 統計分析

生長性能以欄為試驗單位（將欄平均視為觀測值），代謝試驗則以每頭豬為試驗單位，採用以下數學模式進行分析： $Y = \mu + T + E$ ，其中 Y 代表觀測值， μ 代表族群平均，T 代表飼糧中銅含量效應，E 代表機差。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均方平均值及標準機差，再以鄧肯新多域顯著性測驗法（Duncan's New Multiple Range Test），比較各處理間的差異顯著性。

結果與討論

本試驗飼料粉狀飼料經採樣分析結果，示於表 2。生長期和肥育期基礎飼糧（A組）中銅含量分別為 15.7 及 16.0 mg/kg，而 B、C 及 D 組生長期飼糧中銅的含量則分別為 58.5、56.9 及 46.2 mg/kg，肥育期則分別為 59.7、28.0 及 27.3 mg/kg。

表 2. 試驗飼糧成分

Table 2. The composition of experimental diets

Items	Growing period				Finishing period			
	A *	B	C	D	A	B	C	D
Calculated value								
CP ¹ , %	15.5	15.5	15.5	15.5	14.0	14.0	14.0	14.0
DE, kcal/kg	3267	3267	3267	3267	3268	3268	3268	3268
Copper ² , mg/kg	16.0	51.0	51.0	51.0	9.6	44.6	14.6	14.6
Zinc ² , mg/kg	103.5	103.5	103.5	103.5	101.7	101.7	101.7	101.7
Analyzed value								
DM, %	88.2	88.2	88.4	87.9	87.2	87.3	87.6	87.4
CP, %	15.3	15.2	15.3	15.4	14.2	14.1	14.0	14.1
Copper ³ , mg/kg	15.7	58.5	56.9	46.2	16.0	59.7	28.0	27.3
Zinc ³ , mg/kg	124.0	115.0	126.8	116.0	111.8	117.2	119.5	125.8

* Growing period: No addition of Cu in A diet, B, C and D were fed basal diet with 35 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, Cu-proteinates or γ -PGA-Cu, respectively; Finishing period: No addition of Cu in A diet, B and C were fed basal diet with 35 mg and 5 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, respectively, D diet was added 5 mg Cu/kg as Cu-proteinates.

¹ CP: crude protein (N \times 6.25); DE: digestible energy; DM: dry matter.

² The levels of copper and zinc in basal diets (diets DM basis) for growing or finishing period were 16.0 and 33.5 mg/kg, and 9.6 and 31.7 mg/kg, respectively.

³ Dry matter basis.

飼糧添加不同型式之銅化物對豬隻生長性能之影響，列於表 3。各組豬隻在生長期的飼料效率相近，除 D 組（添加 γ -PGA 型式的銅）外每天均可增長 1 kg 以上，此與 D 組之 ADFI 顯著地 ($P < 0.05$) 較其他三組為少應有關係。各組豬隻於 130 日齡時體重均達 70 kg 以上並開始進行肥育期試驗，試驗結束時除 D 組外平均體重均可達 100 kg，各組豬隻於試驗期間的 ADG、ADFI 及 G/F 則相近。NRC (1998) 指出，生長肥育期豬隻（體重 20-120 kg）每日銅需要量在 7.42-9.23 mg 間，而本試驗 A 組採用以玉米—大豆粕為主之基礎飼糧（表 1），經分析生長期和肥育期每公斤飼糧

中分別含 15.7 及 16.0 mg/kg 的銅，其平均 ADFI 介於 2.50-2.60 kg 之間（表 3），推估從飼糧中可攝取 39-42 mg/d 的銅。就整個試驗期而言，飼糧中是否額外（0-35 mg/kg diet）添加銅或銅的添加型式（有機或無機），均不影響各組間的生長性能（ADG、ADFI 及 G/F），此與 Creech *et al.* (2004) 使用體重約 59-109 kg 的豬隻飼糧中分別添加 25、5（無機型式）和 5 mg/kg（有機型式）的銅，結果不同飼糧處理組間 ADG、ADFI 及 G/F 均相近之結果一致。顯示生長肥育期豬隻餵飼以玉米—大豆粕為主要原料的飼糧，不需額外添加銅即符合該生長階段豬隻之營養需要量。

表 3. 飼糧添加不同型式之銅化合物對豬隻生長性能之影響

Table 3. Effect of adding various forms of copper to diet on growth performance of pigs

Groups	A *	B	C	D	SE
Growing period (BW 41.1-64.9 kg)					
ADG ¹ , kg/d	1.00	1.04	1.04	0.99	0.04
ADFI ¹ , kg/d	2.50 ^a	2.49 ^a	2.53 ^a	2.38 ^b	0.04
G/F ¹ , kg/kg	0.40	0.42	0.41	0.42	0.02
Finishing period (BW 72.7-100.0 kg)					
ADG, kg/d	0.99	0.94	0.95	0.92	0.04
ADFI, kg/d	3.23	3.07	3.24	3.12	0.08
G/F, kg/kg	0.31	0.31	0.30	0.30	0.01
Overall period (BW 41.1-100.0 kg)					
ADG, kg/d	0.96	0.92	0.95	0.93	0.04
ADFI, kg/d	2.60	2.54	2.60	2.49	0.05
G/F, kg/kg	0.37	0.36	0.37	0.37	0.02

* Growing period: No addition of Cu in A diet, B, C and D were fed basal diet with 35 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, Cu-proteinate or γ -PGA-Cu, respectively; Finishing period: No addition of Cu in A diet, B and C were fed basal diet with 35 mg and 5 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, respectively, D diet was added 5 mg Cu/kg as Cu-proteinate.

¹ ADG: average daily gain; ADFI: average daily feed intake; G/F: gain/feed.

^{a, b} Means within the same row without the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

生長期試驗結束後，各組逢機擇取 4 頭閹公豬進行代謝試驗，結果列於表 4。各組的糞便排泄量、糞便含水率及尿液排泄量均相近，介於 732-812 g/d 和 3.21-4.81 L/d 間。台灣省畜產試驗所（1993）編撰的「豬糞尿處理設施工程設計、施工手冊」以體重 100 kg 的肉豬代表一個動物生產單位(animal production unit, APU)，並以每日糞及尿之排泄量約 1.7 kg 及 3.3 L 估算，洪及郭（2001）指出體重 100 kg 的豬隻每日糞及尿之排泄量約 1.54- 1.66 kg 及 3.26 L。本試驗豬隻在代謝試驗期間的平均體重約 65 kg，估算其糞及尿之排泄量約為 1.43 kg/d 及 2.77 L/d（依該手冊

以 0.84 APU 估計之），惟與本試驗實測值明顯相左，顯示隨著養豬設備及飼料組成均有精進改良之同時，豬隻糞尿排泄量亦隨之改變。A 組糞便乾物質中銅濃度顯著地較其他各組為低，D 組糞便銅濃度也較 B 組及 C 組為少，應係飼糧中銅含量較低使然。各組 ADFI 及糞便排泄量均相近，亦致使各組每日銅攝取量及排泄量呈與糞便中銅濃度相同趨勢，此與李等（1992）及 Creech *et al.* (2004) 研究指出，糞便銅濃度隨著飼糧銅含量增加而提高之結果相符，亦顯示體內無法利用的銅主要係由糞便排出（Underwood, 1977），而經由尿液排出並不明顯。

表 4. 飼糧添加不同型式之銅化合物對豬隻糞尿排泄量之影響

Table 4. Effect of adding various forms of copper to diet on feces and urine excretion of pigs

Groups	A*	B	C	D	SE
IBW ¹ , kg	63.4	66.3	65.8	63.9	2.9
DMI ¹ , g/d	1764	1720	1761	1697	25
Fecal					
Excretion, g/d	812	732	873	736	58
Moisture, %	69.03	69.01	68.99	68.62	1.08
DM ¹ , g/d	250	225	271	231	16
Copper (DM), mg/kg	56.7 ^c	168.4 ^a	155.0 ^a	129.0 ^b	6.2
Copper					
Intake, mg/d	28.2 ^c	102.8 ^a	104.2 ^a	88.8 ^b	1.4
Fecal, mg/d	14.2 ^c	37.8 ^{ab}	42.0 ^a	30.1 ^b	2.7
Digestibility, %	49.70 ^b	63.2 ^a	59.74 ^{ab}	66.18 ^a	3.32
Urinary excretion, L/d	4.81	4.78	3.21	3.85	1.10

* Growing period: No addition of Cu in A diet, B, C and D were fed basal diet with 35 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, Cu-proteinate or γ -PGA-Cu, respectively; Finishing period: No addition of Cu in A diet, B and C were fed basal diet with 35 mg and 5 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, respectively, D diet was added 5 mg Cu/kg as Cu-proteinate.

¹ IBW: initial body weight; DMI: dry matter intake; DM: dry matter.

^{a, b} Means within the same row without the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

肥育期試驗結束時採集豬隻血液，分析血液性狀。結果除了銅的濃度之外，各組間血液中之鐵、鐵蛋白、紅血球及血紅素含量均相近（表 5），而 A 組（未額外添加銅）血清中的銅濃度與其他三組均相近，顯示飼糧以玉米—大豆粕為主要原料的飼糧，不額外添加銅不致影響豬隻血液中之鐵、鐵蛋白、紅血球及血紅素含量。B 組和 C 組豬隻飼糧中分別額外添加硫酸銅型式的銅 35 和 5 mg/kg，經分析飼糧中銅含量則為 58.5 和 28.0 mg/kg（表 2），而 B 組豬隻血清中的銅濃度顯著地較 C 組為高（表 5），與 Veum *et al.* (2004) 研究之結果，血漿中之銅濃度隨著飼糧中的銅含量（0 vs. 250 ppm）增加而提高，李等（1992）在玉米—酪蛋白飼糧（含 3.56 ppm 的銅）中分別額外添加硫酸銅型式的銅 0、5、10、30 及 50 mg/kg 飼養肥育期豬隻，亦獲致血漿中之銅濃度隨著飼糧中的銅含量增加而顯著提高之結論，以及 Creech *et al.* (2004) 在體重約 59-109 kg 的豬隻飼糧中分別

添加 25（無機型式）、5（無機型式）和 5 mg/kg（有機型式）的銅，結果飼飼添加 25 mg/kg 飼糧組豬隻，在肥育期血漿中銅濃度顯著地較其他二組為高之研究結果均相符。本試驗豬隻血清中銅的濃度介於 200-300 $\mu\text{g/dL}$ ，較 Lillie *et al.* (1977) 指出，豬隻在體重 10-100 kg 時，血漿中的銅濃度介於 1.27-1.41 ppm（即 127-141 $\mu\text{g/dL}$ ）間者為高。

表 5. 飼糧添加不同型式之銅化物對豬隻血液性狀之影響

Table 5. Effect of adding various forms of copper to diet on blood trait of pigs

Groups	A*	B	C	D	SE
Cu, $\mu\text{g/dL}$	249 ^{ab}	301 ^a	198 ^b	239 ^{ab}	35
Fe, $\mu\text{g/dL}$	121	130	127	111	9
Ferritin, ng/mL	21	23	20	22	3
RBC, $\times 10^6/\mu\text{L}$	7.1	7.2	6.9	7.0	0.2
Hemoglobin, g/dL	12.7	13.4	12.8	12.8	0.3

* Growing period: No addition of Cu in A diet, B, C and D were fed basal diet with 35 mg Cu/kg by adding of CuSO_4 , Cu-proteinate or γ -PGA-Cu, respectively; Finishing period: No addition of Cu in A diet, B and C were fed basal diet with 35 mg and 5 mg Cu/kg by adding of CuSO_4 , respectively, D diet was added 5 mg Cu/kg as Cu-proteinate.

^{a, b} Means within the same row without the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

生長試驗結束後，各處理組擇取體重相近之豬隻（閹公豬及肉女豬各半）分二批送往屠宰，進行屠體性狀測定，結果見表 6。不論屠宰日齡、屠宰體重、屠體重、屠體長、背脂厚度、屠體瘦肉率或脂肪率，各處理組間均相近，顯示在以玉米—大豆粕為主要原料的飼糧中額外添加 0-35 mg/kg 的銅，不致影響豬隻屠體性狀，此與 Ward *et al.* (1991) 及 Myer *et al.* (1992) 指出，飼糧中銅含量（0 vs. 250 ppm）不影響豬隻屠體性狀之結果相似。

飼糧添加不同型式之銅化物對豬隻臟器中銅蓄積量之影響，示於表 7，其中肝臟、脾臟及腎臟之銅蓄積量較多，與 Luo and Dove (1996) 證實肝臟和腎臟是銅主要的蓄積部位之結果一致。各組間肝臟、腎臟及背最長肌中銅的蓄積量相近，B 組膽汁、胰臟及脾臟中的銅蓄積量則分別顯著地較 A 與 D 組，D 組及 C 組為高。Luo and Dove (1996) 在保育豬飼糧中額外添加硫酸銅型式的銅 15 及 250 ppm，結果添加 250 ppm 組不論肝臟、胰臟或腎臟中的銅濃度均極顯著地較添加 15 ppm 組為高；de Lima *et al.* (1981) 則以額外添加硫酸銅型式的銅 0 及 250 ppm 飼糧，飼飼生長期豬隻，獲得飼糧添加 250 ppm 組其肝臟中的銅濃度較未額外添加者為高之結論，均與本試驗之結果相左，而 Prince *et al.* (1984) 指出，豬隻飼糧未額外添加銅，在體重 93 kg 時屠宰，其肝臟中銅的濃度為 32 ppm，則與本試驗結果相似。膽汁由肝臟製造、儲存於膽囊中，銅可由膽汁之分泌而排出體外，達成調節體內銅平衡的效果；本試驗發現，飼料添加 35 mg/kg 銅之 B 組，其膽汁中銅含量明顯比對照組為高（ $P < 0.05$ ）。本試驗在豬隻平均體重 100 kg 時屠宰、取樣，胰臟中銅的濃度介於 6.7-10.2 ppm、脾臟則介於 15.9-21.2 ppm 間，與 Luo and Dove (1996) 研究指出，保育豬飼糧銅含量 15 vs. 250 ppm 分別導致其胰臟中銅的濃度為 0.88 vs. 0.90 ppm，而脾臟中銅的濃度則均低於 0.08 ppm 之結果明顯較高。Lillie *et al.* (1977) 指出，全期飼飼以玉米—大豆粕為主要原料、未額

外添加銅的飼糧，在豬隻體重 100 kg 時屠宰，其肝臟、腎臟和背最長肌中的銅濃度分別為 26.0、33.9 和 1.5 ppm，則與本試驗結果相近。

表 6. 飼糧添加不同型式之銅化物對豬隻屠體性狀之影響

Table 6. Effect of adding various forms of copper to diet on carcass characteristics of pigs

Groups	A*	B	C	D	SE
Number of pigs	6	6	6	6	
Slaughter age, day	165.5	166.4	166.4	165.1	1.6
Slaughter weight, kg	108.0	107.7	105.7	106.4	1.5
Carcass weight, kg	89.1	89.7	87.6	87.9	1.10
Carcass length, cm	100.0	100.3	98.4	99.1	0.9
Backfat thickness, mm	22.4	22.6	23.1	26.2	1.6
Percentage lean, %	51.78	50.79	52.67	51.98	0.60
Percentage fat, %	12.67	13.82	13.49	13.02	0.84

* Growing period: No addition of Cu in A diet, B, C and D were fed basal diet with 35 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, Cu-proteinate or γ -PGA-Cu, respectively; Finishing period: No addition of Cu in A diet, B and C were fed basal diet with 35 mg and 5 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, respectively, D diet was added 5 mg Cu/kg as Cu-proteinate.

表 7. 飼糧添加不同型式之銅化物對豬隻臟器、背最長肌及血清中銅含量之影響

Table 7. Effect of dietary supplementation with various forms of copper on viscera, *Longissimus dorsi* muscle and bile copper concentration for pigs

Groups	A*	B	C	D	SE
----- mg/kg dry matter -----					
Liver	27.0	27.8	32.1	32.7	2.0
Pancreas	9.1 ^{ab}	10.2 ^a	8.1 ^{ab}	6.7 ^b	1.0
Spleen	20.5 ^{ab}	21.2 ^a	15.9 ^b	18.4 ^{ab}	1.6
Kidney	37.5	44.1	36.2	45.8	3.5
Bile	4.2 ^b	7.1 ^a	5.7 ^{ab}	3.9 ^b	0.9
<i>Longissimus dorsi</i> muscle	1.0	1.0	0.9	0.9	0.3

* Growing period: No addition of Cu in A diet, B, C and D were fed basal diet with 35 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, Cu-proteinate or γ -PGA-Cu, respectively; Finishing period: No addition of Cu in A diet, B and C were fed basal diet with 35 mg and 5 mg Cu/kg by adding of CuSO₄, respectively, D diet was added 5 mg Cu/kg as Cu-proteinate.

^{a, b} Means within the same row without the same superscript are significantly different ($P < 0.05$).

結論

本試驗在飼糧中添加不同型式的銅（硫酸銅、蛋白質螯合銅及 γ -PGA 銅），對銅的消化率沒有顯著影響。基礎飼糧中的銅含量，已超出 NRC (1998) 對體重 20-120 kg 豬隻的銅建議需要量（4-3 mg/kg diet），每日攝取量（28.2 mg/day）亦較需要量（7.42-9.23 mg/day）為多，其生長性能、血液性狀和屠體性狀均與其他三組相近，顯示生長肥育期豬隻飼料玉米—大豆粕為主要原料之飼糧，不需額外添加銅即符合豬隻營養需求。

參考文獻

- 中國國家標準—配合飼料。2000。經濟部中央標準局編印。
- 台灣區肉品發展基金會。1988。台灣肉豬屠體評級手冊，台北市。
- 台灣省畜產試驗所。1993。豬糞尿處理設施工程設計、施工手冊修訂本，p. B。台灣省畜產試驗所專輯第21號。
- 李應煌、余裴文、洪炎明。1992。飼糧中銅含量對仔豬生長性能、血液性狀及排泄物含銅量之影響。中畜會誌 21(3):239-246。
- 李筱玲、柯瑋玲、謝佳雯、陳國隆。2005。以 *Bacillus natto* 生產之 γ -PGA-Cu²⁺ 複合物之探討。中畜會誌 34(增刊):117。
- 洪嘉謨、郭猛德。2001。豬糞尿處理與資源化。畜牧要覽養豬篇（增修版），p.329。中國畜牧學會編印。台北。
- 蘇天明、劉建甫、蔡金生、廖宗文、盧金鎮。2005。不同品種與屠宰體重肉豬之生長性能、屠體性狀及體脂蓄積能力之探討。畜產研究 38 (4):247-258。
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Apgar, G. A., E. T. Kornegay, M. D. Lindemann and D. R. Notter. 1995. Evaluation of copper sulfate and a copper lysine complex as growth promoters for weanling swine. J. Anim. Sci. 73:2640-2646.
- Armstrong, T. A., D. R. Cook, M. M. Ward, C. M. Williams and J. W. Spears. 2004. Effect of dietary copper source (cupric citrate and cupric sulfate) and concentration on growth performance and fecal copper excretion in weanling pigs. J. Anim. Sci. 82:1234-1240.
- Coffey, R. D., G. L. Cromwell and H. J. Monegue. 1994. Efficacy of a copper-lysine complex as a growth promotant for weanling pigs. J. Anim. Sci. 72:2880-2886.
- Creech, B. L., J. W. Spears, W. L. Flowers, G. M. Hill, K. E. Lloyd, T. A. Armstrong and T. E. Engle. 2004. Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. J. Anim. Sci. 82:2140-2147.
- Cromwell, G. L. 1991. Antimicrobial agents. In: E. R. Miller, D. E. Ullrey and A. J. Lewis (ed.) Swine Nutrition. pp 297-314.
- de Lima, R. F., T. S. Stahly and G. L. Cromwell. 1981. Effects of copper, with and without ferrous sulfide, and antibiotics on the performance of pigs. J. Anim. Sci. 52:241-247.
- Dozier, W. A. 3rd, A. J. Davis, M. E. Freeman and T. L. Ward. 2003. Early growth and environmental implications of dietary zinc and copper concentrations and sources of broiler chicks. Br. Poult. Sci. 44: 726-731.

- Kornegay, E. T. and A. F. Harper. 1997. Environmental nutrition: Nutrient management strategies to reduce nutrient excretion of swine. *Prof. Anim. Sci.* 13:99-111.
- Lillie, R. J., L. T. Frobish, N. C. Steele and G. Graber. 1977. Effect of dietary copper and tylosin and subsequent withdrawal on growth, hematology and tissue residues of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 45:100-107.
- Luo, X. G. and C. R. Dove. 1996. Effect of dietary copper and fat on nutrient utilization, digestive enzyme activities, and tissue mineral levels in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 74:1888-1896.
- Myer, R. O., J. W. Lamkey, W. R. Walker, J. H. Brendemuhl and G. E. Combs. 1992. Performance and carcass characteristics of swine when fed diets containing canola oil and added copper to alter the unsaturated:saturated ratio of pork fat. *J. Anim. Sci.* 70:1417-1423.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. (10th ed.) National Academic Press, Inc., NY, USA.
- Oberlaeas, D. and B. F. Harland. 1996. Impact of phytic acid on nutrient availability. In: *Phytase in animal nutrition and waste management*. B. C. Michael and E. T. Kornegay. (ed.). pp.77-84.
- Prince, T. J., V. W. Hays and G. L. Cromwell. 1984. Interactive effects of dietary calcium, phosphorus and copper on performance and liver stores of pigs. *J. Anim. Sci.* 58:356-361.
- SAS. 2002. *SAS procedure guide for personal computers*. Version 6th ed. SAS Institute Inc. Cary, NC. U.S.A.
- Underwood, E. J. 1977. *Trace elements in human and animal nutrition* (4th ed.), Western Australia.
- Veum, T. L., M. S. Carlson, C. W. Wu, D. W. Bollinger and M. R. Ellersieck. 2004. Copper proteinate in weanling pig diets for enhancing growth performance and reducing fecal copper excretion compared with copper sulfate. *J. Anim. Sci.* 82:1062-1070.
- Ward, T. L., K. L. Watkins, L. L. Southern, P. G. Hoyt and D. D. French. 1991. Interactive effects of sodium zeolite-A and copper in growing swine: growth, and bone and tissue mineral concentrations. *J. Anim. Sci.* 69:726-733.

Effect of dietary copper sources and levels on growth, carcass and fecal copper excretions in growing-finishing pigs ⁽¹⁾

Tein-Ming Su⁽²⁾⁽⁶⁾ Heng-Fu Lee⁽³⁾ Ting-Hsun Hsiao⁽²⁾
Shine-Ming Liou⁽²⁾ Kuo-Lung Chen⁽⁴⁾ Jin-Jen Lu⁽⁴⁾ and
Chung-Wen Liao ⁽⁵⁾

Received: Jul. 30, 2009 ; Accepted: Dec. 3, 2009

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of dietary supplementation with different forms or levels of copper on the growth, carcass quality and lean meat composition of growing-finishing pigs. A total of 48 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) pigs, half barrows and half gilts, were assigned to four dietary treatments when their body weights were 41.3 ± 1.3 kg. Group A (without extra Cu added) was control which was provided with the basal diet during growing-finishing stage. In the growing period, pigs in the groups B, C and D were fed basal diet (CP 15.5% and DE 3,250 kcal/kg) with 35 mg copper/kg by adding CuSO₄, Cu-proteinate or γ -PGA-Cu, respectively. The pigs in groups B and C were fed basal diet (CP 14% and DE 3,250 kcal/kg) with two levels of copper i.e. 35 mg/kg and 5 mg/kg from CuSO₄, and in group D was provided 5 mg/kg from Cu-proteinate during the finishing period. In this study, the pigs were fed *ad libitum* of diet and water. The feeding trial was terminated when the body weight of pigs reached 100 kg. Half of the pigs were randomly chosen and slaughtered. The growth performance, carcass characteristics and copper concentration of diet, feces, liver, pancreas, spleen, kidney, bile, *Longissimus dorsi* muscle and blood serum were measured. The result showed that the different forms of copper compounds did not affect the growth performance, carcass characteristics, fecal and urinary copper excretion of the pigs. The pigs of group A had lower ($P < 0.05$) daily Cu intake, Cu excretion and Cu concentration in feces than the other groups. Besides, the Cu concentration of liver ranged from 27-33 mg/kg, and no difference was observed among the treatments. Group B pigs had significantly higher ($P < 0.05$) Cu concentration in pancreas, spleen, bile and blood serum. In conclusion, pigs fed corn-soybean meal-based diets added different forms or levels of Cu did not affect the growth performance and carcass characteristics. However, the Cu concentration in feces and the excretion of Cu increased when daily Cu intake was increased.

Key words : Growing-finishing pigs, Copper, Fecal and urinary excretion.

-
- (1) Contribution No. 1544 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.
 - (2) Livestock Management Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, 712, Taiwan, R.O.C.
 - (3) Department of Animal Science, National Chiayi University, 300 University Road, Chiayi 600, Taiwan, R.O.C.
 - (4) Animal Industry Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, 712, Taiwan, R.O.C.
 - (5) Nutrition Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, 712, Taiwan, R.O.C.
 - (6) Corresponding author, E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw

