

# 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<sup>(1)</sup>

蘇天明<sup>(2)(6)</sup> 劉士銘<sup>(2)</sup> 李恒夫<sup>(3)</sup> 蕭庭訓<sup>(2)</sup> 廖宗文<sup>(4)</sup> 郭猛德<sup>(5)</sup>

收件日期：100 年 3 月 9 日；接受日期：100 年 11 月 29 日

## 摘要

本研究旨在探討飼糧添加不同型式或不同量之銅或鋅化合物，對生長肥育豬生長性能和屠體性狀之影響。選取平均體重  $30.5 \pm 2.5$  kg 之 LYD 肉豬 72 頭，閹公豬和肉女豬各 36 頭，依體重逢機分置於 4 種不同銅和鋅含量或型式的飼糧處理組，飼養至平均體重 110 kg 結束。對照組（A 組）豬隻在生長期基礎飼糧中分別添加硫酸鹽型式的銅及鋅，使飼糧中銅和鋅的含量分別為 35 mg/kg 及 120 mg/kg，肥育期也添加相同化學型式的銅及鋅，使飼糧中的銅和鋅含量分別為 35 mg/kg 及 100 mg/kg；B 組及 C 組在生長期與肥育期基礎飼糧中，分別添加硫酸鹽型式及蛋白質螯合型式的銅 6 與 4 mg/kg，及鋅 60 與 50 mg/kg；D 組則餵飼基礎飼糧。試驗開始、生長期結束及肥育期結束時採集血液，分析血清中鹼性磷酸酶（Alkaline phosphatase, ALP; EC 3.1.3.1）活性，以及銅和鋅的濃度；生長試驗結束後，每組逢機選取 8 頭豬，閹公豬和肉女豬各 4 頭屠宰，測定屠體性狀，並且採集豬毛、豬皮、肝、腎、脾、胰、膽汁及背最長肌樣品，分析銅和鋅的蓄積量。結果顯示，飼糧添加不同型式的銅和鋅，對豬隻日增重（Average daily gain, ADG）、飼料效率（GVF）屠體性狀，未有顯著影響。D 組的平均飼料採食量（Average daily feed intake, ADFI）顯著地較 A 組為少。試驗開始時各組血清中 ALP 的活性相近，而於生長期及肥育結束時，A 組豬隻血清中 ALP 的活性顯著地（ $P < 0.05$ ）較 D 組為高，而 B 組豬隻在生長期結束時血清的銅濃度顯著地（ $P < 0.05$ ）較 A 組和 D 組為高。銅的蓄積以 C 組豬肝臟的 35.07 mg/kg 濃度最高，鋅則以 A 組肝臟的 202.49 mg/kg 蓄積濃度最高。試驗結果顯示，在體重介於 30-110 kg 之生長肥育期肉豬飼糧中，添加硫酸鹽或蛋白質螯合型式的銅 6 與 4 mg/kg 及鋅 60 與 50 mg/kg，皆不會影響豬隻的生長及屠體性狀。

關鍵詞：鹼性磷酸酶、銅、生長肥育豬、鋅。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1707 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) 行政院農業委員會畜產試驗所營養組。

(5) 已退休，前行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

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

## 緒言

植物性飼料原料中含有植酸成分，植酸在中性酸鹼度下可與二價礦物質離子如銅、鎂、鈣、鐵、鋅等結合，形成穩定且不溶性的植酸鹽（Oberlaeas and Harland, 1996），使豬隻（單胃動物）無法有效利用飼糧中的礦物質成分，其中又以銅和鋅的結合能力為最強。銅和鋅都是動物生長所需之必要元素，通常會在飼糧之礦物質預拌物中額外添加或添加可改善銅和鋅利用效率之添加劑。NRC（1998）之豬隻銅及鋅的建議需要量分別為：體重 3—10 kg 為 6 及 100 ppm；10—20 kg 為 5 及 80 ppm；20—50 kg 為 4 及 60 ppm；50—80 kg 為 3.5 及 50 ppm；80-120 kg 為 3 及 50 ppm。我國國家標準—配合飼料（經濟部中央標準局，2000）規定，生長期及肥育期豬之飼糧中銅和鋅的限量在 35 和 120 ppm 及 35 和 100 ppm 以下。研究指出，飼糧中添加 250 ppm 硫酸銅有類似抗生素的效果（Cromwell, 1991, 1997；Coffey *et al.*, 1994；Apgar *et al.*, 1995），但飼糧中添加硫酸銅型式的銅 250 ppm，豬隻對銅之吸收率僅約 10-30%。Buff *et al.*（2005）也證實，保育豬對鋅的吸收率亦僅約 10-30%，而蓄積率更低（9.6—24.2%）。動物不斷地採食超過營養需要量的銅和鋅，會蓄積於體組織，尤其會堆積於肝臟（Luo and Dove, 1996），未被蓄積的銅和鋅大部分則藉由糞便排泄。Hsu and Lo（2001）指出，豬糞在堆肥化過程中，隨著豬糞中有機物被分解，堆肥銅和鋅濃度較堆肥化前提高了 2.7 倍；Tiquia（2010）的研究，堆肥化後銅和鋅的濃度分別約較堆肥化前提高了 1.20—1.26 倍和 1.23—1.41 倍。此與堆肥化期間有機質和有機碳（Parkinson *et al.*, 2004；Tiquia, 2010）被分解，以及氮被分解產生  $\text{NH}_3$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  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（He *et al.*, 2009）有關。含銅和鋅的排泄物利用於土壤，易使土壤的重金屬含量增加，造成二次污染（潘，2003；Muehlenbein *et al.*, 2001）。

Revy *et al.*（2006）研究指出，當鋅的供應量低於需要量的三分之一時，將導致保育期仔豬的鋅缺乏（zinc deficiency）。部分研究指出，鋅缺乏會抑制豬隻飼料採食量（Miller *et al.*, 1968；Whitenack *et al.*, 1978；Revy *et al.*, 2006）、增重及飼料效率（Miller *et al.*, 1968；Prasad *et al.*, 1969；Revy *et al.*, 2006）。Lallès *et al.*（2007）使用與 Revy *et al.*（2006）相同的飼糧，餵飼體重 6.30—11.02 kg 的保育期仔豬，發現兩組間飼料採食量（ $P=0.91$ ）和結束體重（ $P=0.84$ ）皆相近。Hoekstra *et al.*（1967）使用鋅含量分別為 30-34 ppm 及 100 ppm 的飼糧，餵飼 5-8 月齡的女豬，發現兩組間的增重並沒有顯著的差異。此外，Liptrap *et al.*（1970）在基礎飼糧中分別添加 29、48 及 70 ppm 的鋅，使飼糧鋅含量分別為 30、60 及 90 ppm 的三種飼糧處理組，餵飼體重約 15-90 kg 間之公豬、閹公豬和女豬，發現各處理組間的平均採食量（ $P=0.69$ ）和飼料效率（ $P=0.41$ ）皆相近，而基礎飼糧中添加 48 及 70 ppm 鋅的兩組，其日增重顯著地較添加 29 ppm 鋅者為大。另外研究也指出，鋅缺乏會導致肝臟（Miller *et al.*, 1968；Prasad *et al.*, 1969）、脾臟、胰臟及血液（Prasad *et al.*, 1969）的鋅濃度降低。van Heugten *et al.*（2003）在對照組離乳豬飼糧中添加  $\text{ZnSO}_4$  型式的鋅 80 ppm（飼糧鋅含量 104 ppm），試驗組則分別在對照組飼糧中再添加不同化學型式（ $\text{ZnSO}_4$  80 ppm、 $\text{ZnMet}$  80 ppm、 $\text{ZnLys}$  80 ppm 及  $\text{ZnMet}$  40 ppm +  $\text{ZnLys}$  40 ppm）的鋅 80 ppm，與添加  $\text{ZnSO}_4$  型式的鋅 160 ppm 進行各器官（肝、胰、脾）鋅濃度測定，結果對照組和添加  $\text{ZnSO}_4$  型式的鋅 160 ppm 組的飼料效率較其他四組為佳，而飼糧採食量、體增重，和肝臟、脾臟及胰臟等組織的鋅濃度，各組間無顯著差異。此外許多研究（Hoekstra *et al.*, 1967；Prasad *et al.*, 1969；Maust *et al.*, 1972；Revy *et al.*, 2006；Lallès *et al.*, 2007）皆證實，鋅缺乏會導致血液的鹼性磷酸酶（Alkaline phosphatase, ALP; EC 3.1.3.1）活性減弱。Maust *et al.*（1972）指出，原來已經有鋅缺乏現象的保育豬，補充足量的鋅 7 天後，血清的 ALP 活性即恢復到與原來獲得足量鋅的豬隻相近的活性；綜上，ALP 的活性常作為鋅缺乏與否的生理指標。

目前飼糧中所添加的銅和鋅通常係屬無機型式。Veum *et al.*（2004）指出，以蛋白質整合型式的銅 50 ppm 餵飼保育豬，比添加硫酸鹽型式的銅 250 ppm 組有較高之銅的吸收及蓄積，減少 23% 之銅排泄

量。Buff *et al.* (2005) 也證實，在飼糧中分別添加氧化鋅型式的鋅 2,000 ppm 與多醣類螯合型式的鋅 (Zn-polysaccharide) 450 ppm，餵飼 36—56 日齡的保育豬，而餵飼添加多醣類螯合型式的鋅組的豬隻，鋅排泄量較添加氧化鋅型式組降低 76%。

為改善豬隻排泄物銅和鋅污染問題，本研究在探討生長肥育豬飼糧中添加不同化學型式和不同添加量的銅和鋅，對豬隻生長性能和屠體性狀的影響，研究結果可作為擬訂銅和鋅國家標準之參考依據。

## 材料與方法

### I. 試驗動物及處理

- (i) 本研究於 2008 年 5-8 月間進行，選取平均體重  $30.5 \pm 2.5$  豬隻 72 頭，閹公豬和肉女豬各 36 頭，依體重逢機分置在 A、B、C、D 等 4 種不同化學型式或不同銅和鋅含量的飼糧處理組。A 組在生長期與肥育期豬隻的基礎飼糧，添加硫酸鹽型式的銅和鋅，使飼糧中的銅含量皆為 35 mg/kg，鋅含量則分別為 120 mg/kg 與 100 mg/kg；B 組或 C 組分別在生長期與肥育期基礎飼糧，添加硫酸鹽型式或蛋白質螯合型式的銅 6 與 4 mg/kg 及鋅 60 與 50 mg/kg；D 組則餵飼基礎飼糧。各組豬隻飼養至平均體重 110 kg 結束。
- (ii) 每欄 (3.1 m x 1.3 m) 飼養同性別豬隻 3 頭，每處理 6 欄，試驗期間飼糧與飲用水均採任食。生長期 (試驗開始—平均體重 70 kg) 與肥育期 (平均體重 70 kg—試驗結束) 豬隻基礎飼糧的組成及成分，如表 1 所示。
- (iii) 生長試驗在畜產試驗所產業組豬舍進行，動物使用、飼養及實驗內容，通過畜產試驗所「實驗動物審查小組」審查。

### II. 生長性能測定

試驗期間紀錄飼料採食量，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，計算每日平均飼料採食量 (average daily feed intake, ADFI)、日增重 (average daily gain, ADG) 及飼料效率 (gain/feed, G/F)。

### III. 血液性狀

於試驗開始、生長期結束及肥育期結束時，全部豬隻各採集血液 10 mL。豬隻從採血前 1 日下午 4:00 開始禁食 (僅供應飲水) 至翌日上午 9:00，從頸靜脈採集血液，靜置 2 小時後置入離心機 (Centronix C1236-V)，以 3,000 rpm 轉速、離心 30 分鐘後，收集血清凍存於 -20°C 冷凍庫。以血液生化分析儀 (Hitachi 7150, Japan) 分析血清的鹼性磷酸酶 (Alkaline phosphatase, ALP; EC 3.1.3.1) 活性；以原子吸收光譜儀 (Atomic absorption spectrophotometer, Z8100, Hitachi) 分析血清的銅及鋅含量。

### IV. 屠體性狀測定與樣品分析

- (i) 生長試驗結束後，擇取日齡相近、體重達 110 kg 的豬隻 32 頭，每處理組 8 頭，閹公豬和肉女豬各 4 頭，依照蘇等 (2005) 參考台灣區肉品發展基金會 (1988) 之方法，進行屠體性狀測定。
- (ii) 屠宰前 1 日絕食、提供飲水，先剃取豬毛 (肩胛骨至後腿骨之間，距背中線左、右各 10 cm 區域)，屠宰後取回頸部的豬皮、肝臟、腎臟、胰臟、脾臟、膽汁 (先取膽囊再以 10 mL 塑膠針筒抽取膽汁)，屠宰翌日取回左側屠體第 4-11 肋骨之間的背最長肌樣品。

表 1. 基礎飼糧組成

Table 1. The composition of basal diets

Items	Grower	Finisher
Ingredients, %		
Yellow corn ( CP 7.5% )	67.87	70.29
Soybean meal ( CP 43.5% )	18.00	16.00
Wheat bran	2.00	3.00
Fish meal ( CP 60% )	3.00	—
Alfalfa meal	3.00	6.00
Soybean oil	1.50	—
Choline chloride ( 50% )	0.08	0.06
Molasses	2.00	2.00
Limestone	0.60	0.60
Dicalcium phosphate	1.30	1.40
Salt	0.40	0.40
Vitamin premix <sup>1</sup>	0.10	0.10
Mineral premix <sup>2</sup>	0.15	0.15
Total	100.00	100.00
Calculated value		
Crude protein, %	16.02	14.02
Digestible energy, kcal/kg	3,402	3,267
Analyzed value		
Copper, mg/kg	13.2	14.1
Zinc, mg/kg	27.8	28.9

<sup>1</sup> Vitamin premix provided per kilogram of diet as following: Vitamin A, 6,000 IU; Vitamin D<sub>3</sub>, 800 IU; Vitamin B<sub>12</sub>, 0.02 mg; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K<sub>3</sub>, 4 mg; Riboflavin, 4 mg; Pantothenic acid, 16 mg; Niacin, 30 mg; Pyridoxine, 1mg; Folic acid, 0.5mg; Biotin, 0.1mg.

<sup>2</sup> Mineral premix provided per kilogram of diet as follows: Fe (FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O), 40 mg and 20 mg of grower and finisher, respectively; Mn (MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O), 5.6 mg.

- (iii) 參考 Means *et al.* (1987) 的方法，以色差計 (Color reader, Minolta Co., Ltd., Japan) 測定第 10-11 肋骨間背最長肌表面之亮度值 (Lightness, L value)、紅色值 (Redness, a value) 和黃色值 (Yellowness, b value)，每樣品重複 2 次，每重複測定不同的 3 點，取其平均值。
- (iv) 豬毛、豬皮、肝臟、腎臟、胰臟、脾臟及第 9-10 肋骨間背最長肌樣品經乾燥、灰化 (NEYTECH-2-525 灰化爐) 及酸解 (坩堝加入 3N 的 HCl 10 mL，以錶玻璃覆蓋置 350℃ 電熱板進行酸解)，膽汁則經灰化及酸解；全部經酸解後的樣品，以 #1 濾紙過濾後定量，以原子吸收光譜儀 (Atomic absorption spectrophotometer Z8100, Hitachi) 測定銅和鋅含量。

## V. 統計分析

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)，除生長性能以欄平均為試驗單位外，其他項目均以每頭豬為試驗單位。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

飼糧添加不同化學型式或不同添加量之銅和鋅，對生長肥育豬生長性能之影響，如表 2 所示。各處理組的 ADG 均相近。不論在生長期、肥育期或整個試驗期間，A 組豬隻的 ADFI 皆較 D 組為多，C 組在肥育期的 ADFI 極顯著地較 D 組為高 ( $P < 0.01$ )。D 組在生長期和整個試驗期間的 G/F 有較 A 組為佳之趨勢。部分研究指出，當鋅缺乏時會抑制豬隻飼料採食量 (Miller *et al.*, 1968; Whitenack *et al.*, 1978)、增重及飼料效率 (Miller *et al.*, 1968; Prasad *et al.*, 1969)，但 Lallès *et al.* (2007) 使用鋅含量分別為 33 ppm 及 115 ppm 的飼糧，餵飼體重 6.30-11.02 kg 的保育期仔豬，發現兩組間飼料採食量和結束體重皆相近。Hoekstra *et al.* (1967) 使用鋅含量分別為 30-34 ppm 及 100 ppm 的飼糧，餵飼 5-8 月齡的女豬，發現兩組間豬隻的增重也沒有差異。Liptrap *et al.* (1970) 在基礎飼糧中分別添加 29、48 及 70 ppm 的鋅，使飼糧鋅含量分別為 30、60 及 90 ppm，餵飼體重約 15 kg 到約 90 kg 間之公豬、閹公豬和女豬，發現各處理組間的平均飼料採食量和飼料效率皆相近，而基礎飼糧中添加 29 ppm 鋅者，其日增重顯著地較其他兩組為小。綜上，豬隻的生長性能可能無法作為鋅缺乏與否的指標。

各組豬隻在試驗開始時血清 ALP 的活性相近，生長期結束時 D 組豬隻血清的 ALP 活性顯著地較其他三組為低 ( $P < 0.05$ )，試驗結束時 D 組豬隻血清的 ALP 活性則較 A 組及 B 組顯著為低 ( $P < 0.05$ )，也有較 C 組豬隻為低的趨勢 (表 3)。NRC (1998) 針對體重 50-120 kg 的豬隻其飼糧中鋅的建議含量為 50-60 mg/kg，而本試驗餵飼 D 組豬隻的生長期和肥育期飼糧中僅分別含 27.8 及 28.9 mg/kg 的鋅，雖然飲用水 (未列於表中) 中含有 0.38 mg/L 的鋅，但也僅約提供 NRC (1998) 推薦鋅需要量的 1/2。從表 3 發現，D 組豬隻在生長期和肥育期血液的 ALP 活性皆較 A 組及 B 組顯著為低 ( $P < 0.05$ )，也有較 C 組豬隻為低的趨勢；研究證實，鋅缺乏會導致血液的 ALP 活性減弱 (Hoekstra *et al.*, 1967; Prasad *et al.*, 1969; Maust *et al.*, 1972; Revy *et al.*, 2006; Lallès *et al.*, 2007)，因此推測 D 組豬隻有鋅缺乏之虞。飲用水銅的含量未檢出 ( $< 0.0001$  mg/L)，但是由基礎飼糧提供給 D 組豬隻的銅，已達到 NRC (1998) 建議的需要量。

飼糧添加不同化學型式及添加量的銅和鋅，對豬隻屠體性狀及背最長肌肉色之影響，如表 4 所示。除了 B 組的屠體重顯著地 ( $P < 0.05$ ) 較 D 組為重外，不論活體重、屠宰率、屠體長、背脂厚度、屠體瘦肉率或脂肪率，各處理組間皆相近 (表 4)，顯示本研究各組飼糧的銅和鋅含量，對豬隻的屠體性狀沒有顯著的影響。Ward *et al.* (1991) 及 Myer *et al.* (1992) 皆指出，飼糧中銅含量 (以試驗飼糧中銅含量 0 vs. 250 ppm 者進行比較) 不影響豬隻屠體性狀之結果相似。此外，各組豬隻背最長肌的肉色 L, a, b 值差異皆無顯著。表 2. 飼糧添加不同化學型式及添加量的銅和鋅對豬隻生長性能之影響\*

飼糧添加不同化學型式及不同的銅和鋅添加量對豬毛、豬皮、背最長肌、膽汁及臟器中銅和鋅濃度之影響，如表 5 所示。各組間腎臟、脾臟、胰臟、膽汁及背最長肌中銅的濃度相近，而豬毛、豬皮、膽汁及背最長肌中鋅的濃度無顯著差異。雖然餵飼 A 組豬隻的飼糧中銅和鋅含量最高，但只有豬毛的銅

表 2. 飼糧添加不同化學型式及添加量的銅和鋅對豬隻生長性能之影響\*

Table 2. Effect of different chemical forms and levels of copper and zinc in diet on growth performance of pigs

Items	Group A	Group B	Group C	Group D	SE
Average daily gain, kg					
Grower	0.76	0.77	0.77	0.73	0.04
Finisher	0.86	0.82	0.80	0.82	0.03
Overall	0.81	0.80	0.79	0.78	0.03
Average daily feed intake, kg					
Grower	2.18 <sup>a</sup>	1.95 <sup>ab</sup>	1.98 <sup>ab</sup>	1.80 <sup>b</sup>	0.10
Finisher	3.17 <sup>x</sup>	2.96 <sup>yz</sup>	2.97 <sup>y</sup>	2.80 <sup>z</sup>	0.05
Overall	2.69 <sup>x</sup>	2.48 <sup>y</sup>	2.49 <sup>y</sup>	2.33 <sup>y</sup>	0.05
Gain/feed					
Grower	0.35	0.40	0.40	0.41	0.02
Finisher	0.27	0.28	0.27	0.29	0.01
Overall	0.30	0.33	0.32	0.34	0.01

\*Group A was fed the basal diet with copper at 35 mg/kg and zinc at 120 mg/kg and 100 mg/kg in grower and finisher period by adding CuSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub>, respectively. Groups B and C were fed the basal diet with two chemical forms of copper and zinc i.e., 6 mg Cu/kg and 60 mg Zn/kg and 4 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg in grower and finisher period by adding CuSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub> or Cu-proteinate or Zn-proteinate, respectively. No addition of Cu and Zn in experimental period of group D.

<sup>a,b</sup> Means within the same row without the common superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>x,y,z</sup> Means within the same row without the same superscript are highly significantly different ( $P < 0.01$ ).

濃度和肝臟與胰臟的鋅濃度較 D 組為高 ( $P < 0.01$ )，肝臟的銅濃度以 C 組極顯著地高於其他三組，B 組豬皮的銅濃度則較 C 及 D 組為高 ( $P < 0.05$ )，而豬隻腎臟的鋅濃度反以提供基礎飼糧組 (D 組) 顯著地較 B 組為高 ( $P < 0.05$ )。飼糧鋅的含量是否影響體組織的鋅濃度，文獻所得結論不一。van Heugten *et al.* (2003) 在對照組飼糧中添加  $\text{ZnSO}_4$  型式的鋅 80 ppm，試驗組則分別在對照組飼糧中再添加不同化學型式 ( $\text{ZnSO}_4$  80 ppm、 $\text{ZnMet}$  80 ppm、 $\text{ZnLys}$  80 ppm 及  $\text{ZnMet}$  40 ppm +  $\text{ZnLys}$  40 ppm) 的鋅 80 ppm，與再添加  $\text{ZnSO}_4$  型式的鋅 160 ppm 進行比較，結果各組間體組織 (肝、胰、脾) 的鋅濃度差異皆無顯著。Cheng *et al.* (1998) 飼予豬隻鋅缺乏的飼糧，Case and Carlson (2002) 則提供符合豬隻鋅需要量的飼糧，皆無法獲得豬隻飼糧中鋅的含量與體組織的鋅濃度呈正相關的結論，而 Prasad *et al.* (1969) 指出鋅缺乏時肝臟、脾臟及胰臟的鋅濃度皆會降低。各體組織中不論銅或鋅的濃度皆以肝臟最高，腎臟和脾臟次之。此與 Luo and Dove (1996) 證實，肝臟和腎臟是微量礦物質主要的蓄積部位之結果相似。

表 3. 飼糧添加不同化學型式及添加量的銅和鋅對豬隻血液性狀之影響\*

Table 3. Effect of adding different chemical forms and levels of copper and zinc to diet on serum alkaline phosphatase, copper and zinc of pigs

Items	Group A	Group B	Group C	Group D	SE
Alkaline phosphatase, U/L					
Initial	243.1	275.0	235.0	212.6	24.8
End of grower period	209.2 <sup>a</sup>	209.5 <sup>a</sup>	213.4 <sup>a</sup>	147.3 <sup>b</sup>	16.6
End of finisher period	219.3 <sup>a</sup>	204.5 <sup>a</sup>	196.8 <sup>ab</sup>	162.6 <sup>b</sup>	13.9
Copper, mg/L					
Initial	3.54	3.61	3.18	4.02	0.36
End of grower period	1.85 <sup>b</sup>	3.27 <sup>a</sup>	2.26 <sup>ab</sup>	1.94 <sup>b</sup>	0.40
End of finisher period	3.03	2.41	2.08	3.14	0.45
Zinc, mg/L					
Initial	7.37	5.51	8.60	6.27	1.29
End of grower period	5.37	5.21	3.56	3.24	1.18
End of finisher period	4.85	6.56	5.72	3.06	1.77

\*Group A was fed the basal diet with copper at 35 mg/kg and zinc at 120 mg/kg and 100 mg/kg in grower and finisher period by adding  $\text{CuSO}_4$  and  $\text{ZnSO}_4$ , respectively. Groups B and C were fed the basal diet with two chemical forms of copper and zinc i.e., 6 mg Cu/kg and 60 mg Zn/kg and 4 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg in grower and finisher period by adding  $\text{CuSO}_4$  and  $\text{ZnSO}_4$  or Cu-proteinates or Zn-proteinates, respectively. No addition of Cu and Zn in experimental period for group D.

<sup>a,b</sup> Means within the same row without the common superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

表 4. 飼糧添加不同化學型式及添加量的銅和鋅對豬隻屠體性狀及背最長肌肉色之影響\*

Table 4. Effect of adding different chemical forms and levels of copper and zinc to diet on carcass characteristics and color of *longissimus dorsi* muscle for pigs

Items	Group A	Group B	Group C	Group D	SE
Carcass					
Slaughter weight, kg	109.6	114.1	112.5	107.8	2.1
Carcass weight, kg	92.7 <sup>ab</sup>	96.7 <sup>a</sup>	93.9 <sup>ab</sup>	90.7 <sup>b</sup>	1.7
Dressing percentage, %	84.58	84.80	83.46	84.24	0.71
Carcass length, cm	87.4	88.4	88.0	87.3	1.1
Backfat thickness, mm	24.1	24.5	23.5	23.6	1.2
Lean, %	54.15	55.58	55.08	54.84	0.58
Fat, %	12.37	11.55	10.67	11.82	0.64
Color					
L value	57.34	58.54	56.34	57.68	1.06
a value	4.55	5.01	5.55	4.53	0.55
b value	12.14	12.48	12.31	12.10	0.29

\*Group A was fed the basal diet with copper at 35 mg/kg and zinc at 120 mg/kg and 100 mg/kg in grower and finisher period by adding CuSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub>, respectively. Groups B and C were fed the basal diet with two chemical forms of copper and zinc i.e., 6 mg Cu/kg and 60 mg Zn/kg and 4 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg in grower and finisher period by adding CuSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub> or Cu-proteinates or Zn-proteinates, respectively. No addition of Cu and Zn in experimental period for group D.

<sup>a,b</sup> Means within the same row without the common superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

許多研究皆指出，有機型式的銅和鋅消化吸收率較無機型式者為佳，但通常是以飼糧含較高量的無機銅和鋅，與含較低量的有機銅和鋅相比較，例如 Buff *et al.* (2005) 在飼糧中添加氧化鋅型式的鋅 2,000 ppm，與多醣類螯合型式的鋅 (Zn-polysaccharide) 450 ppm 相比較，而 Veum *et al.* (2004) 則在飼糧中添加硫酸鹽型式的銅 250 ppm 與添加蛋白質螯合型式的銅 0、50 及 100 ppm 相比較。本研究採用以玉米和大豆粕為主要原料的基礎飼糧，在 B 組和 C 組飼糧中參照 NRC (1998) 推薦之營養需要量，分別添加硫酸銅型式和蛋白質螯合型式的銅和鋅飼養生長肥育豬。除了 C 組豬隻肝臟的銅濃度 (35.07 mg/kg) 極顯著地 ( $P < 0.01$ ) 較 B 組 (27.54 mg/kg) 為高外，並無法從兩組的生長性能、屠體性狀和血液性狀等各方面，獲致添加有機型式的銅和鋅優於無機型式者之結果。此外，在國家標準—配合飼料 (經濟部中央標準局，2000) 的規範下，豬隻飼糧中亦無法如 Buff *et al.* (2005) 和 Veum *et al.* (2004) 般，添加高劑量的鋅和銅。



表 5. 飼糧添加不同化學型式及添加量的銅和鋅對背最長肌、膽汁及體組織銅和鋅濃度之影響\*

Table 5. Effect of different chemical forms and levels of copper and zinc in diet on concentrations of copper and zinc of *longissimus dorsi* muscle, bile and tissue of pigs

Items	Group A	Group B	Group C	Group D	SE
Copper, mg/kg					
Hair	10.95 <sup>x</sup>	7.06 <sup>yz</sup>	9.15 <sup>xy</sup>	5.72 <sup>z</sup>	0.94
Skin	8.19 <sup>ab</sup>	10.31 <sup>a</sup>	6.37 <sup>b</sup>	5.59 <sup>b</sup>	1.15
Liver	26.82 <sup>y</sup>	27.54 <sup>y</sup>	35.07 <sup>x</sup>	26.26 <sup>y</sup>	2.49
Kidney	13.94	12.90	12.48	15.56	1.70
Spleen	18.67	21.82	27.30	20.32	2.88
Pancreas	9.74	9.53	7.84	6.72	1.65
LM <sup>1</sup>	11.46	13.23	11.30	11.61	1.88
Bile	2.55	2.54	2.18	2.27	0.44
Zinc, mg/kg					
Hair	137.00	113.39	141.85	117.98	28.45
Skin	29.86	29.89	27.48	22.77	3.31
Liver	202.49 <sup>x</sup>	185.00 <sup>xy</sup>	175.51 <sup>yz</sup>	158.58 <sup>z</sup>	6.91
Kidney	126.03 <sup>ab</sup>	119.29 <sup>b</sup>	126.23 <sup>ab</sup>	142.24 <sup>a</sup>	6.11
Spleen	177.25	160.92	164.88	153.22	11.94
Pancreas	142.43 <sup>x</sup>	127.64 <sup>xy</sup>	127.73 <sup>xy</sup>	110.96 <sup>y</sup>	7.99
LM	71.38	78.00	78.16	72.48	5.98
Bile	2.51	1.17	3.83	1.62	0.98

\*Group A was fed the basal diet with copper at 35 mg/kg and zinc at 120 mg/kg and 100 mg/kg in grower and finisher period by adding CuSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub>, respectively. Groups B and C were fed the basal diet with two chemical forms of copper and zinc i.e., 6 mg Cu/kg and 60 mg Zn/kg and 4 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg in grower and finisher period by adding CuSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub> or Cu-proteinate or Zn-proteinate, respectively. No addition of Cu and Zn in experimental period of group D.

<sup>1</sup> LM: *longissimus dorsi* muscle between 9<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> rib of left side carcass.

<sup>a,b</sup> Means within the same row without the common superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>x, y, z</sup> Means within the same row without the common superscript are highest significantly different ( $P < 0.01$ ).

## 結論

本研究採用以玉米和大豆粕為主要原料的飼糧，並添加硫酸鹽型式的銅和鋅，使飼糧中銅和鋅含量達到 2000 年國家標準的最高限量，餵飼生長肥育期豬隻，結果不論日增重、飼料效率、屠體性狀和血清 ALP 活性，皆與參照 NRC（1998）推薦之營養需要量添加銅、鋅的 B 組和 C 組顯著無差異。提供 D 組豬隻未添加銅和鋅的飼糧，銅含量已符合 NRC（1998）推薦需要量，但鋅含量僅含 NRC（1998）推薦需要量的 1/2，血清 ALP 活性亦較其他三組為低，推測 D 組豬隻有鋅缺乏現象。

## 參考文獻

- 台灣區肉品發展基金會。1988。台灣肉豬屠體評級手冊，台北市。
- 經濟部中央標準局。2000。中國國家標準－配合飼料。經濟部中央標準局編印。
- 潘淑芬。2003。醫學生物化學。藝軒圖書出版社。pp.72-75。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。
- 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.
- Bernal, M. P., J. A. Alburquerque and R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 100: 5444-5453.
- Buff, C. E., D. W. Bollinger, M. R. Ellersieck, W. A. Brommelsiek and T. L. Veum. 2005. Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide. *J. Anim. Sci.* 83: 2380-2386.
- Case, C. L. and M. S. Carlson. 2002. Effect of feeding organic and inorganic sources of additional zinc on growth performance and zinc balance in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 1917-1924.
- Cheng, J., E. T. Kornegay and T. Schell. 1998. Influence of dietary lysine on the utilization of zinc from zinc sulfate and a zinc-lysine complex by young pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 1064-1074.
- 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.
- Cromwell, G. L. 1991. Antimicrobial agents. In: E. R. Miller, D. E. Ullrey, and A. J. Lewis (Ed.) *Swine Nutrition*. pp. 297-314. Butterworth-Heinemann, Stoneham, MA.
- Cromwell, G. L. 1997. Copper as a nutrient for animals. In: H. W. Richardson (Ed.) *Handbook of Copper Compounds and Applications*. pp 177-202. Marcel Dekker, Inc., New York.
- He, M., W. Li, X. Liang, D. Wu and G. M. Tian. 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.
- Hoekstra, W. G., E. C. Faltin, C. W. Lin, H. F. Roberts and R. H. Grummer. 1967. Zinc deficiency in reproducing gilts fed a diet high in calcium and its effect on tissue zinc and blood serum alkaline phosphatase. *J. Anim. Sci.* 27: 1348-1357.
- Hsu, J. H. and S. L. Lo. 2001. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environ. Pollut.* 114: 119-127.
- Lallès, J. P., C. Favier and C. Jondreville. 2007. A diet moderately deficient in zinc induces limited intestinal alterations in weaned pigs. *Livest. Sci.* 108: 153-155.
- Liptrap, D. O., E. R. Miller, D. E. Ullrey, D. L. Whitenack, B. L. Schoepke and R. W. Luecke. 1970. Sex influence on the zinc requirement of developing swine. *J. Anim. Sci.* 30: 736-741.
- 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.
- Maust, L. E., W. G. Pond and M. L. Scott. 1972. Energy value of a cassava-rice bran diet with and without supplemental zinc for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 35: 953-957.
- Means, W. J., A. D. Clark and J. N. Sofos. 1987. Binding, sensory and storage properties of algin/calcium structured beef steaks. *J. Food Sci.* 52: 252-256.

- Miller, E. R., R. W. Luecke, D. E. Ullrey, B. V. Baltzer, B. L. Bradley and J. A. Hoefer. 1968. Biochemical, skeletal and allometric changes due to zinc deficiency in the baby pig. *J. Nutr.* 95: 278-286.
- Muehlenbein, E. L., D. R. Brink, G. H. Deutscher, M. P. Carlson and A. B. Johnson. 2001. Effects of inorganic and organic copper supplemented to first-calf cows on cow reproduction and calf health and performance. *J. Anim. Sci.* 79: 1650-1659.
- 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*. (10<sup>th</sup> Ed.) National Academic Press, Inc., NY, USA.
- Oberlaeas, D. and B. F. Harland. 1996. Impact of phytic acid on nutrient availability. In: B. C. Michael and E. T. Kornegay. (Ed.) *Phytase in animal nutrition and waste management*. pp 77-84.
- 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.
- Prasad, A. S., D. Oberlaeas, P. Wolf, J. P. Horwitz, E. R. Miller and R. W. Luecke. 1969. Changes in trace elements and enzyme activities in tissues of zinc-deficient pigs. *Am. J. Clin. Nutr.* 22: 628-637.
- Revy, P. S. C. Jondreville, J. Y. Dourmad and Y. Nys. 2006. Assessment of dietary zinc requirement of weaned piglets fed diets with or without microbial phytase. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 90: 50-59.
- SAS. 2002. *SAS procedure guide for personal computers*. Version 6<sup>th</sup> Ed. SAS Institute Inc. Cary, NC. U.S.A.
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*. 79: 506-512.
- van Heugten, E., J. W. Spears, E. B. Kegley, J. D. Ward and M. A. Qureshi. 2003. Effects of organic forms of zinc on growth performance, tissue zinc distribution, and immune response of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 2063-2071.
- 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.
- Whitenack, D. L., C. K. Whitehair and E. R. Miller. 1978. Influence of enteric infection on zinc utilization and clinical signs and lesions of zinc deficiency in young swine. *Am. J. Vet. Res.* 39: 1447-1454.

# Effect of adding copper and zinc to diet on growth performance and carcass characteristics for growing-finishing pigs<sup>(1)</sup>

Tein-Ming Su<sup>(2)(6)</sup> Shine-Ming Liou<sup>(2)</sup> Herng- Fu Lee<sup>(3)</sup>  
Ting Hsun Hsiao<sup>(2)</sup> Chung-Wen Liao<sup>(4)</sup> and Meeng-Ter Koh<sup>(5)</sup>

Received : Mar. 9, 2011 ; Accepted : Nov. 29, 2011

## Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of dietary supplementation of different chemical forms and levels of copper and zinc on the growth, carcass characteristics of growing-finishing pigs. A total of seventy-two LYD pigs, half barrows and half gilts, were assigned to four dietary treatments when their average body weights were  $30.5 \pm 2.5$  kg. Pigs in the group A was the control which was provided with the basal diet containing 35 mg copper/kg by the addition of  $\text{CuSO}_4$  and 120 mg or 100 mg zinc/kg by adding the  $\text{ZnSO}_4$  during grower or finisher stage. The pigs of groups B and C were fed basal diet supplemented with 6 and 4 mg copper/kg and 60 and 50 mg zinc/kg by adding sulfuric or proteinate forms during grower or finisher stage, respectively. Group D is the basal diet without providing extra copper and zinc during grower-finisher stage. Pigs were fed diet and water *ad libitum*. Blood samples were collected when experiment started, at the end of grower period and finisher period for analyzing alkaline phosphatase (ALP) activity and copper and zinc concentration. The feeding trial was terminated when the body weight of pigs reached 110 kg. At the end of feeding trial, a total of 32 pigs, half barrows and half gilts, were randomly chosen and slaughtered. The growth performance, carcass characteristics, and copper and zinc concentration of hair, skin, liver, pancreas, spleen, kidney, bile, *Longissimus dorsi* muscle between 9-10 rib and blood serum were measured. The result showed that the chemical forms or levels of copper and zinc did not significantly affect the average daily gain, gain/feed or carcass characteristics of the pigs, but the average daily feed intake for pigs in group D were reduced ( $P < 0.05$ ). The ALP activity was similar when the experiment started. Nevertheless, the pigs of group A had higher ( $P < 0.05$ ) ALP activity than the group D in grower period and finisher period. Group B had significantly higher serum copper concentration than groups A and D during grower period. The pigs of group C had higher ( $P < 0.01$ ) copper concentration (35.07 mg/kg) in liver than other groups, and group A had significantly higher concentration of zinc (202.49 mg/kg) in liver when compared with the pigs of group D. In conclusion, pigs fed diets adding 6 and 4 mg copper/kg and 60 and 50 mg zinc/kg by using either sulfate or proteinate forms did not significantly affect the growth performance or carcass characteristics of grower-finisher pigs.

**Key words:** Alkaline phosphatase, Copper, Grower-finisher pig, Zinc

(1) Contribution No. 1707 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Livestock Management Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, 712, Taiwan, R. O. C.

(3) Animal Industry Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, 712, Taiwan, R. O. C.

(4) Nutrition Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, 712, Taiwan, R. O. C.

(5) Retired from Livestock Management Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, 712, Taiwan, R. O. C.

(6) Corresponding author, E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw