

飼糧銅鋅含量對蛋雞第二產蛋週期產蛋性能 及銅鋅排泄量之影響⁽¹⁾

蘇天明⁽²⁾⁽⁴⁾ 翁義翔⁽²⁾ 劉士銘⁽²⁾ 蕭庭訓⁽²⁾ 劉曉龍⁽³⁾

摘要：本試驗旨在探討餵飼第二產蛋週期蛋雞不同銅和鋅含量飼糧，對產蛋性能以及銅、鋅排泄量的影響。採用在第72週齡產蛋率90%以上的海蘭 W-36品系雞隻192隻，逢機分置於2種銅含量 × 3種鋅含量的6種飼糧處理組。基礎飼糧以玉米—大豆粕為主要原料，含粗蛋白17%及代謝能2,900 kcal/kg；試驗飼糧在基礎飼糧中添加0 (Cu-0組)或10 mg/kg (Cu-10組)硫酸銅型式的銅，及硫酸鋅型式的鋅30 mg/kg (Zn-30組)、60 mg/kg (Zn-60組)或90 mg/kg (Zn-90組)。試驗期間24週 (72–95週齡)，飼糧及飲用水皆任飼。結果顯示，飼糧銅和鋅含量對雞隻採食量、蛋重、產蛋率、產蛋量、飼料換蛋率、蛋殼厚度及蛋殼強度皆無顯著差異 ($P > 0.05$)。Cu-10組雞隻排泄物乾物量 ($P < 0.001$)及排泄物乾物質的銅 ($P < 0.001$)、磷 ($P < 0.05$)和鉀 ($P < 0.1$)含量皆較Cu-0為高。Zn-60組雞隻排泄物乾物量極顯著地 ($P < 0.001$)較Zn-90組和Zn-30組為高。Zn-90組排泄物乾物質鋅含量極顯著地 ($P < 0.001$)較Zn-60組和Zn-30組為高，而銅含量則較Zn-30組為低 ($P < 0.05$)。綜上所述，蛋雞餵飼基礎玉米—大豆粕飼糧，添加銅0或10 mg/kg與鋅30、60或90 mg/kg，對第二產蛋週期蛋雞的產蛋性能無顯著影響，而排泄物乾物質銅和鋅含量隨著銅和鋅攝取量增加而提高，排泄物乾物質銅含量約為飼糧的5.60–6.99倍，鋅含量則約提高5.53–6.28倍。

(關鍵語：銅、排泄量、蛋雞、產蛋性能、鋅)

緒 言

銅和鋅都是蛋雞必需的微量元素。NRC (1994)對產蛋期雞隻飼糧鋅推薦含量，依採食量不同而異，白殼蛋系採食量 80 g/d、100 g/d 和 120 g/d 者，飼糧的鋅推薦含量分別為 44、35 和 29 mg/kg，

⁽¹⁾行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第1948號。

⁽²⁾行政院農業委員會畜產試驗所經營組，71246臺南市新化區牧場112號。

⁽³⁾行政院農業委員會畜產試驗所產業組，71246臺南市新化區牧場112號。

⁽⁴⁾通訊作者，E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw

但對於銅含量則未有具體建議。Baumgartner et al. (1978)以脫脂乳粉—玉米油為主要原料、含 0.72 μg Cu/g 的飼糧，餵飼產蛋期雞隻，發現雞隻有銅缺乏現象，包括蛋重、蛋殼重及蛋殼厚度皆顯著地較餵飼添加 25 μg Cu/g 飼糧者為小；Skřivan et al. (2005)指出，產蛋期雞隻飼糧銅含量 9.0 mg/kg 即足供所需，Mabe et al. (2003)證實，餵飼添加 10 mg Cu/kg (銅含量 10.87 mg /kg)飼糧的蛋雞，其蛋殼強度較未添加銅者 (銅含量 4.95 mg /kg)顯著提高。目前蛋雞飼糧多以植物性原料調製，植物性飼糧原料含有植酸成分，植酸在酸鹼度中性下會與礦物質離子結合，形成穩定且不溶性的植酸鹽 (Oberlacas and Harland, 1996)，可能導致雞隻無法充分利用飼糧的礦物質，業者為確保銅和鋅足供雞隻所需常超量供應，造成飼養成本提高及營養分的浪費，並有環境污染之疑慮。

為了降低畜禽糞堆肥因銅、鋅含量太高對農地所造成的危害 (Dozier et al., 2003; Muehlenbein et al., 2001)，肥料種類品目及規格 (2010)規定，畜禽糞堆肥 (品目 5-09)的銅及鋅含量必須在 100 ppm 及 500 ppm 以下，經濟部 (2010)公告雞隻飼糧中銅和鋅的最高限量分別為 30 和 120 ppm。蘇等 (2014)以玉米—大豆粕為主要原料，分別在飼糧中添加 0 或 10 mg Cu/kg 及 30、60 或 90 mg Zn/kg 餵飼 28-56 週齡的產蛋期雞隻，結果排泄物乾物質銅和鋅含量分別較飼糧提高 2.81–3.91 倍和 4.21–5.32 倍。沈 (2006)以銅和鋅含量 50 和 574 ppm 的全蛋雞糞進行 4 個月堆肥化處理後，銅和鋅含量分別為堆肥化前的 2.8 和 1.9 倍；蘇等 (2013)以白肉雞墊料經堆肥化後，銅和鋅含量分別為堆肥化前的 1.00–1.41 倍和 1.54–1.81 倍，Parkinson et al. (2004)和 Tiquia (2010)皆認為係因畜禽糞便在堆肥化期間有機質和有機碳被分解，及氮被分解產生 NH_3 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 逸散 (Bernal et al., 2009)，堆肥原料總量因而減少，致礦物質元素的濃度被濃縮而相對提高 (Miaomiao et al., 2009)。

銅和鋅是雞隻必需的營養分，如果為符合堆肥規範致影響雞隻經濟性狀，則應予以適度調整，而業者也該以銅和鋅含量足供雞隻所需為度，以提高排泄物再利用率，並達到農、牧雙贏目標。NRC (1998)建議體重 3–5 kg 的豬隻飼糧銅和鋅含量分別為 6 和 100 mg/kg，體重 80–120 kg 時則為 3 和 80 mg/kg；NRC (1994)建議在白殼蛋系蛋雞育成階段，0–6 週齡期間飼糧中銅和鋅含量分別為 5 和 40 mg/kg，而 6–18 週齡期間的建議含量則為 4 和 35 mg/kg。顯示產蛋期雞隻的銅和鋅需要量也可能因年齡之不同而異，故本試驗提供蛋雞不同銅和鋅含量飼糧，探討對雞隻第二產蛋週期產蛋性能及其排泄物銅和鋅含量的影響。

材料與方法

一、試驗動物及飼糧處理

(一) 採用蘇等 (2014)使用的來亨蛋雞海蘭品系 (Hy-Line W-36)雞隻，進行第二產蛋週期試驗。記錄經強制換羽後在第67–71週齡期間之產蛋數，選取平均產蛋率90%以上的雞隻192隻，隨機分置在2種銅含量 \times 3種鋅含量的6種飼糧處理組。試驗於雞隻72–95週齡間進行，參照NRC (1994)雞隻粗蛋白及代謝能需要量調製基礎飼糧 (表1)。試驗飼糧在基礎飼糧添加硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, GR級, Merck, Germany; 含銅量25.1%)型式的銅0 (Cu-0組)或10 mg/kg (Cu-10組)，以及添加硫酸鋅 ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, GR級, Merck, Germany; 含鋅量 35.6%)型式的鋅30 mg/kg (Zn-30組)、60 mg/kg (Zn-60組)和90 mg/kg (Zn-90組)。

(二) 雞隻飼養在三層階梯式雞籠 (長 \times 寬 \times 高 = 365 \times 225 \times 305 mm)之開放式雞舍，每籠飼養1隻。試驗期間飼糧與飲用水 (自來水)皆採任飼。飼糧於每日下午2:00–3:00人工撿蛋

後補充，飲用水則以乳頭式飲水器充分供應。每週取足量飼糧置於86 L附蓋之塑膠桶中秤重，隔週先秤取飼糧剩餘料後再予補充，記錄飼糧消耗量。

- (三) 本試驗涉及之動物試驗於畜產試驗所執行，動物之使用、飼養及實驗內容，皆依據畜產試驗所動物實驗管理小組審查同意文件及試驗準則進行。

二、測定及分析項目

- (一) 飼糧：試驗期間共調製4次飼糧，每次先調製基礎飼糧，再依銅和鋅添加量調製試驗飼糧，並採集各組飼糧進行成分分析。

- (二) 產蛋性能：記錄個別雞隻產蛋情形及蛋重，依下列公式計算各組產蛋率 (egg production)、產蛋量 (egg mass) 及飼料換蛋率 (feed efficiency)：

1. 產蛋率 (%) = 產蛋數 ÷ 產蛋雞數 ÷ 產蛋天數 × 100。
2. 產蛋量 (g/d) = 產蛋數 × 蛋重 ÷ 產蛋天數。
3. 飼料換蛋率 = 產蛋量 ÷ 隻日採食量。

- (三) 雞蛋及排泄物採集：試驗開始及試驗期間每6週，各組逢機採集12隻雞隻之雞蛋，測定蛋殼厚度和蛋殼強度；排泄物每週清除一次，並於採集雞蛋同時採集排泄物樣品。

1. 蛋殼厚度：依 Nordskog and Farnsworth (1953) 的方法，在蛋的鈍端、尖端及赤道部各取一片蛋殼，以微測器 (FHK, Japan) 測定，每片蛋殼逢機測定 3 點，以 9 個測定值平均為觀測值。

2. 蛋殼強度：以桌上型電子電動式拉壓力機 (HT-8115D, 弘達) 測定之。

表 基礎飼糧組成

Table 1 The composition of basal diet

Ingredients	%
Corn meal, CP 7.8%	52.8
Soybean meal, CP 44%	28.0
Wheat bran	6.0
Limestone, pulverized	6.0
Dicalcium phosphate	1.2
Choline chloride, 50%	0.1
Vitamin premix ¹	0.2
Mineral premix ²	0.2
Soybean oil	5.0
Salt	0.3
DL-Methionine	0.2
Total	100.0
Calculated value	
ME, kcal/kg	2,891
CP, %	17.38
Cu, mg/kg	5.89

Zn, mg/kg	30.88
Ca, %	4.10
Total phosphorus, %	0.62
Non-phytate phosphorus, %	0.34
Analyzed value	
CP, %	17.32
Total phosphorus, %	0.61
Ca, %	4.58
Cu, mg/kg	5.81
Zn, mg/kg	28.24

1 Supplied per kilogram of diet: Vitamin A, 6,000 IU; Riboflavin, 4 mg; Pyridoxine, 1mg; Vitamin B12, 0.02 mg; Vitamin D3, 800 IU; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K3, 4 mg; Biotin, 0.1 mg; Folic acid, 0.5 mg; Niacin, 30 mg; Pantothenic acid, 16 mg.

2 Supplied per kilogram of diet: Fe (FeSO₄ · 7H₂O), 50 mg; Mn (MnSO₄ · H₂O), 25 mg.

(四) 血液採集與分析

1. 血液採集：試驗結束時每組逢機選取 12 隻採集血液樣品，使用含抗凝血劑 (EDTA 1.6 mg/mL blood, Sarstedt, Germany) 的採血管，從翼下靜脈採集 10 mL 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，取血漿凍存於 -20°C 冷凍庫備檢。
2. 血液分析：以血液生化分析儀 (Hitachi 7150, Japan)，配合 Roche 公司之商業套組，分析血漿中鹼性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP; EC 3.1.3.1) 活性、總膽固醇 (cholesterol, CHOL)、三酸甘油酯 (triglyceride, TG) 及血糖 (blood glucose, GLU) 濃度。以原子吸收光譜儀 (Spectrophotometer Z8100, Hitachi) 測定血漿中鈣、銅及鋅含量。

(五) 飼糧及排泄物成分分析

1. 水分、氮及磷含量分析：參照 AOAC (1990) 方法測定水分含量後，分別以凱氏氮法及比色法分析氮及磷含量。
2. 灰分、鉀、鈣、銅及鋅含量分析：經水分測定的飼糧及排泄物樣品精秤後放入灰化爐 (NEYTECH-2-525)，在 550–650°C 溫度下灰化約 6 小時。樣品灰化、冷卻、精秤後，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 號濾紙過濾及定量，以原子吸收光譜儀 (Spectrophotometer Z8100, Hitachi) 測定鉀、鈣、銅及鋅含量。

三、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)。產蛋性能以隻為試驗單位，飼糧採食量及排泄量以各處理組的平均值，飼糧成分以每次採集樣品進行 3 重複分析的平均值，排泄物以每次採集進行 2 重複分析的平均值為試驗單位。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，再以特奇公正顯著差異法 (Tukey's honest significant difference, HSD)，檢定各處理組間的差異顯著性 ($\alpha=0.05$)，以及

飼糧銅含量 × 鋅含量的交感效應。

結果與討論

(一) 飼糧成分分析

基礎飼糧原料組成及成分，如表 1 所示。雞隻如果以基礎飼糧餵飼，採食量必須達 125 g/d，鋅攝取量始達到 NRC (1994) 推薦的 3.5 mg/d 營養需要量。NRC (1994) 未推薦產蛋期蛋雞銅需要量，而本試驗基礎飼糧銅含量為 5.81 mg/kg，高於 Baumgartner et al. (1978) 所述可能導致產蛋期雞隻銅缺乏的量。本試驗基礎飼糧皆由植物性原料組成，Oberlaeas and Harland (1996) 指出，植物性原料含植酸成分，植酸與礦物質元素結合，可能導致雞隻無法充分利用飼糧所含的銅和鋅，因此本試驗於基礎飼糧額外添加銅和鋅，以提供蛋雞營養之需。為減少飼糧品質因貯存造成的變異，試驗期間共調製 4 次試驗飼糧，化學成分分析結果，如表 2 所示。Cu-0 組和 Cu-10 組飼糧乾物率相近。Zn-30 組與 Zn-60 組飼糧乾物率相差僅約 0.5%，但由於各組每次調製的試驗飼糧皆使用相同之基礎飼糧調製，飼糧乾物率變異小 (SE=0.06)，致 Zn-60 組飼糧乾物率極顯著地 ($P < 0.001$) 高於 Zn-30 組。Cu-0 組銅含量 7.5 mg/kg，較 Baumgartner et al. (1978) 指出的 0.72 μg Cu/g 為高，各組飼糧鋅含量皆高於 NRC (1994) 對採食量 80 g/d 的產蛋雞建議含量，其他成分各處理組間相近。

(二) 飼糧銅和鋅含量對雞隻產蛋性能之影響

飼糧銅和鋅含量對雞隻產蛋性能無顯著交感效應。餵飼不同銅和鋅含量飼糧，對雞隻的採食量、蛋重、產蛋率、產蛋量、飼料換蛋率、蛋殼厚度和蛋殼強度，皆無顯著差異 (表 3)。Cu-0 組雞隻餵飼含 7.5 mg Cu/kg 飼糧，Cu-10 組飼糧則含 13.9 mg Cu/kg (表 2)，結果兩組間不論蛋殼厚度和蛋殼強度皆相近 ($P > 0.1$)。蘇等 (2014) 以 28–56 週齡的海蘭 W-36 蛋雞進行試驗，結果 Cu-10 組雞隻 (含 16.57 mg Cu/kg) 蛋殼厚度極顯著地 ($P < 0.01$) 較 Cu-0 組 (含 10.49 mg Cu/kg) 飼糧組為厚，蛋殼強度和產蛋量皆有較 Cu-0 組為大之趨勢 ($P < 0.1$)。Mabe et al. (2003) 以二種銅含量飼糧分別餵飼 60–73 週齡及 69–82 週齡的產蛋雞，結果在 60–73 週齡時餵飼添加 10 mg Cu/kg (含 10.87 mg Cu/kg) 飼糧組雞隻的蛋殼強度顯著地 ($P < 0.05$) 較飼糧未添加銅 (含 4.95 mg Cu/kg) 組為大，但餵飼 69–82 週齡的產蛋雞其蛋殼強度無顯著差異，推測產蛋期雞隻銅的需要量可能因年齡不同而有所差異。Zn-30 組採食量 85.4 g/d、飼糧鋅含量 61 mg/kg，超出 NRC (1994) 採食量 80 g/d、飼糧鋅 44 mg/kg 之推薦含量，其產蛋性能與 Zn-60 組和 Zn-90 組皆無顯著差異，顯示飼糧添加 30 mg Zn/kg，其鋅含量足以提供海蘭 W-36 蛋雞第二產蛋週期正常產蛋之需。

表2 試驗飼糧成分分析值

Table 2 The analyzed value of experimental diets

Items	Copper ¹ (Cu)		Zinc (Zn)			SE	Significance ³		
	Cu-0	Cu-10	Zn-30	Zn-60	Zn-90		Cu	Zn	Cu×Zn
No. of samples	12	12	8	8	8				
DM ² , %	89.18	89.20	88.93	89.45	89.19	0.06	NS	***	***
Ash, %	13.63	14.14	13.73	14.18	13.74	0.97	NS	NS	NS
TN ² , %	2.74	2.79	2.76	2.78	2.75	0.02	NS	NS	NS

TP ² , %	0.60	0.64	0.62	0.63	0.60	0.02	NS	NS	NS
K, %	0.71	0.72	0.72	0.70	0.73	0.02	NS	NS	NS
Ca, %	4.66	4.62	4.68	4.64	4.59	0.11	NS	NS	NS
Cu, mg/kg	7.5	13.9	10.3	10.8	10.9	1.0	***	NS	NS
Zn, mg/kg	79.4	84.4	61.0	82.5	102.0	4.0	NS	***	NS
Fe, mg/kg	155	156	158	155	154	11	NS	NS	NS
Mn, mg/kg	46.2	47.5	46.7	46.9	47.0	3.5	NS	NS	NS

¹ The basal diet with various Cu and/or Zn supplements, i.e. without (Cu-0) and with 10 mg Cu/kg (Cu-10) and with 30 (Zn-30), 60 (Zn-60) and 90 (Zn-90) mg Zn/kg, by adding CuSO₄ and ZnSO₄, respectively.

² DM: dry matter; TN: total nitrogen; TP: total phosphorus.

³ NS: $P > 0.1$; *** $P < 0.001$.

(三) 飼糧銅和鋅含量對蛋雞血液性狀之影響

餵飼不同銅和鋅含量飼糧對雞隻血漿的 CHOL、TG、GLU、鈣、銅和鋅濃度，以及 ALP 活性皆無顯著的交感效應。Cu-10 組雞隻血漿銅濃度極顯著地 ($P < 0.01$)較餵飼 Cu-0 飼糧者為高，CHOL 較低 ($P < 0.01$)，而鈣濃度有較 Cu-0 組為低的趨勢 ($P < 0.1$ ；表 4)。血液中銅和鈣濃度愈高，表示吸收率愈佳，Cu-10 組雞隻血漿銅濃度較 Cu-0 組為高，可能係由於飼糧銅含量較高，致吸收量相對提高，而鈣濃度較 Cu-0 組為低，可能係由於 Cu-10 飼糧銅含量較高，致鈣被吸收時鍵結位置相對較少 (Southern and Baker, 1983; Santon et al., 2002)使然。飼糧鋅含量對血漿的 CHOL、TG、GLU、鈣、銅和鋅濃度，以及 ALP 活性沒有顯著的影響。鋅離子是 ALP 的組成分之一 (白等, 1996)，因此常以 ALP 活性作為鋅缺乏指標，本試驗雖然各組間血漿 ALP 活性互有不同，但多介於白等 (1996)指出禽類血漿正常的 ALP 活性 28-269 U/L 之間。Zn-30 組雞隻每日約攝取 5.2 mg 的鋅 (飼糧含 61 mg Zn/kg × 採食量 85.4 g/d)，已超出 NRC (1994)建議的 3.5 mg/day 營養需要量，其採食量及產蛋性能亦與 Zn-60 組和 Zn-90 組雞隻無顯著差異。

GLU、CHOL 及 TG 皆可作為動物能量供應充裕或營養不良之指標 (白等, 1996)，本試驗飼糧雖採任食，但考量蛋雞飼養於開放式雞舍，其採食量可能受環境影響，故各處理組在試驗結束時測定血漿 CHOL、TG 及 GLU 濃度。結果 Cu-0 組血漿 CHOL 濃度極顯著地 ($P < 0.01$)較 Cu-10 為高，各處理組 TG 及 GLU 濃度皆相近 ($P > 0.1$)，而 CHOL 及 GLU 濃度分別介於 119-150 mg/dL 及 214-219 mg/dL 之間，與白等 (1996)所述禽類血液 CHOL 及 GLU 濃度介於 129-298 mg/dL 及 209-308 mg/dL 間相似，但 TG 濃度 1,572-1,667 mg/dL 較白等 (1996)所述 68-170 mg/dL 為高，而 Peebles et al. (2009)指出，56 週齡產蛋雞的 TG 濃度 2,698 mg/dL，則較本試驗所得數據為高。

表3 不同銅鋅含量飼糧對蛋雞產蛋性能及蛋品質之影響

Table 3 Effects of dietary copper and zinc levels on laying performance and egg quality of layer hen

Items	Copper ¹ (Cu)		Zinc (Zn)			SE	Significance ³		
	Cu-0	Cu-10	Zn-30	Zn-60	Zn-90		Cu	Zn	Cu×Zn
Laying performance									
No. of birds	96	96	64	64	64				
Feed intake, g/d	88.3	87.1	85.4	87.0	90.9	3.2	NS	NS	NS
Egg weight, g	66.1	65.9	65.8	66.6	65.7	0.4	NS	NS	NS
Egg production ² , %	88.38	88.20	88.71	87.34	88.81	1.11	NS	NS	NS
Egg mass, g/d	58.5	58.2	58.5	58.3	58.4	1.1	NS	NS	NS
Feed efficiency ²	0.67	0.67	0.68	0.67	0.65	0.04	NS	NS	NS
Egg quality									
No. of samples	180	180	120	120	120				
Shell thickness, mm	0.344	0.341	0.343	0.338	0.346	0.004	NS	NS	NS
Shell breaking strength, kg/cm ²	1.72	1.71	1.74	1.69	1.71	0.06	NS	NS	NS

¹ The basal diet with various Cu and/or Zn supplements, i.e. without (Cu-0) and with 10 mg Cu/kg (Cu-10) and with 30 (Zn-30), 60 (Zn-60) and 90 (Zn-90) mg Zn/kg, by adding CuSO₄ and ZnSO₄, respectively.

² Egg production = total number of eggs produced ÷ total hen number of days ÷ experimental days × 100; Feed efficiency = egg mass ÷ feed intake.

³ NS: $P > 0.1$.

(四) 飼糧銅和鋅含量對雞隻排泄物成分之影響

飼糧銅和鋅含量對雞隻排泄物成分，除排泄物乾物量 (excreta dry matter, EDM)外皆無顯著交感效應 (表 5)。Cu-10 組 EDM 極顯著地 ($P < 0.001$)較 Cu-0 組為高，含水率則較低 ($P < 0.001$)，而排泄物量則無顯著差異。Cu-10 組雞隻 EDM 的銅 ($P < 0.001$)和磷 ($P < 0.05$)含量皆顯著地較 Cu-0 組為高，鉀含量也有較高的趨勢 ($P < 0.1$)，而兩組間 EDM 灰分、氮、鈣、鋅、鐵及錳含量皆無顯著差異。Zn-90 組雞隻排泄物含水率皆極顯著地較 Zn-30 組和 Zn-60 組為高，Zn-30 組排泄物含水率亦較 Zn-60 組為高 ($P < 0.001$)；Zn-60 組 EDM 極顯著地較 Zn-90 組和 Zn-30 組為高，Zn-90 組雞隻 EDM 也較 Zn-30 組為高 ($P < 0.001$)，而排泄物量各組間沒有顯著差異。Zn-30 組、Zn-60 組和 Zn-90 組雞隻 EDM 的灰分、氮、磷、鉀、鈣、鐵和錳含量皆無顯著差異，Zn-90 組鋅含量極顯著地 ($P < 0.001$)較 Zn-60 組和 Zn-30 組為高，銅含量則顯著 ($P < 0.05$)較 Zn-30 組為低；Zn-60 組 EDM 的鋅含量極顯著地較 Zn-30 組為高，銅含量則無顯著差異。研究 (Van Campen and Scaife, 1967; Southern and Baker, 1983)指出，飼糧中的銅和鋅之間具拮抗作用，高量的鋅會抑制銅在小腸的吸收和肝臟的蓄積，致發生銅缺乏 (Fischer et al., 1981; Gonzalez et al., 2005)，而高量的銅也會抑制鋅的吸收 (Van Campen, 1969; Evans et al., 1974)；Oestreicher and Cousins (1985)和 Santon et al. (2002)證實，係由於銅和鋅在小腸被吸收時，互相競爭鍵結位置所致，推測 Zn-90 組 EDM 銅含量顯著地 ($P < 0.05$)較 Zn-30 組低，可能係因銅和鋅發生拮抗所致。

表4 不同銅鋅含量飼糧對蛋雞血液性狀之影響

Table 4 Effects of dietary copper and zinc levels on plasma traits of layer hen

Items	Copper ¹ (Cu)		Zinc (Zn)			SE	Significance ³		
	Cu-0	Cu-10	Zn-30	Zn-60	Zn-90		Cu	Zn	Cu×Zn
No. of samples	36	36	24	24	24				
ALP ² , U/L	365	313	269	360	388	133	NS	NS	NS
CHOL, mg/dL	150	119	131	144	128	14	**	NS	NS
TG, mg/dL	1,667	1,572	1,615	1,610	1,635	161	NS	NS	NS
GLU, mg/dL	214	219	215	217	217	4	NS	NS	NS
Ca, mg/dL	5.62	4.32	5.66	4.25	5.01	0.82	†	NS	NS
Cu, µg/dL	5.44	6.48	5.89	5.61	6.39	0.44	**	NS	NS
Zn, µg/dL	42.07	32.96	36.72	35.06	40.78	8.59	NS	NS	NS

¹ The basal diet with various Cu and/or Zn supplements, i.e. without (Cu-0) and with 10 mg Cu/kg (Cu-10) and with 30 (Zn-30), 60 (Zn-60) and 90 (Zn-90) mg Zn/kg, by adding CuSO₄ and ZnSO₄, respectively.

² ALP: alkaline phosphatase; EC 3.1.3.1; CHOL: cholesterol; TG: triglyceride; GLU: blood glucose.

³ NS: $P > 0.1$; † $P < 0.1$; ** $P < 0.01$.

各組間雞隻排泄物量無顯著差異，而排泄物的含水率和 EDM 有極顯著地 ($P < 0.001$) 的交感效應 (表 5)。餵飼 Cu-0 飼糧者排泄物含水率皆顯著地 ($P < 0.05$) 較餵飼 Cu-10 的 3 種不同鋅含量飼糧組為高 (表 6)。餵飼 Cu-0 飼糧的組別中，以 Cu-0、Zn-30 組排泄物的含水率顯著地 ($P < 0.05$) 較餵飼 Cu-0、Zn-60 及 Cu-0、Zn-90 飼糧者為高，Cu-0、Zn-90 組也較 Cu-0、Zn-60 組高 ($P < 0.05$)；餵飼 Cu-10 飼糧者則以 Cu-10、Zn-90 顯著地 ($P < 0.05$) 較餵飼 Cu-10、Zn-30 及 Cu-10、Zn-60 飼糧者為高 ($P < 0.05$)，Cu-10、Zn-30 組排泄物含水率也顯著地 ($P < 0.05$) 較 Cu-10、Zn-60 組高，致各組雞隻排泄物含水率具顯著的交感效應。各組雞隻排泄物的 EDM 在 15.15-21.30 g/d 間，餵飼 Cu-10 飼糧的 3 組 EDM 皆顯著地 ($P < 0.05$) 較餵飼 Cu-0 飼糧的組別為大。餵飼 Cu-0 飼糧的組別中 Cu-0、Zn-90 飼糧組的 EDM 顯著地 ($P < 0.05$) 較 Cu-0、Zn-30 和 Cu-0、Zn-60 飼糧組為大，而餵飼 Cu-10 飼糧者，則以 Cu-10、Zn-60 顯著地 ($P < 0.05$) 較餵飼 Cu-10、Zn-30 及 Cu-10、Zn-90 飼糧者為大，致各組雞隻的 EDM 具顯著的交感效應。

表5 不同銅鋅含量飼糧對雞隻排泄物成分影響之主效應

Table 5 Main effects of dietary copper and zinc levels on excretion composition of layer hen

Items	Copper ¹ (Cu)		Zinc (Zn)			SE	Significance ³		
	Cu-0	Cu-10	Zn-30	Zn-60	Zn-90		Cu	Zn	Cu×Zn
No. of samples	15	15	10	10	10				
Excreta, g/d	55.9	57.2	54.6	56.7	58.6	2.3	NS	NS	NS
Moisture, %	69.78	64.60	67.63 ^b	66.04 ^c	67.88 ^a	0.03	***	***	***

EDM ² , g/d	16.90	20.32	17.74 ^c	19.28 ^a	18.81 ^b	0.02	***	***	***
 Dry matter basis								
Ash, %	24.67	24.74	25.45	24.59	24.09	1.10	NS	NS	NS
N, %	4.06	4.00	3.99	4.12	3.98	0.13	NS	NS	NS
P, %	2.08	2.19	2.18	2.07	2.14	0.06	*	NS	NS
K, %	2.58	2.69	2.61	2.60	2.70	0.08	†	NS	NS
Ca, %	8.43	8.31	8.32	8.49	8.28	0.48	NS	NS	NS
Cu, mg/kg	46	88	72 ^a	68 ^{ab}	61 ^b	3	***	*	NS
Zn, mg/kg	460	484	383 ^c	470 ^b	564 ^a	28	NS	***	NS
Fe, mg/kg	884	817	826	813	912	111	NS	NS	NS
Mn, mg/kg	253	257	265	245	253	11	NS	NS	NS

¹ The basal diet with various Cu and/or Zn supplements, i.e. without (Cu-0) and with 10 mg Cu/kg (Cu-10) and with 30 (Zn-30), 60 (Zn-60) and 90 (Zn-90) mg Zn/kg, by adding CuSO₄ and ZnSO₄, respectively.

² EDM: excreta dry matter.

³ NS: $P > 0.1$; † $P < 0.1$; * $P < 0.05$; *** $P < 0.001$.

(五) 不同產蛋週期產蛋性能、蛋品質、血液性狀及排泄物銅鋅含量之比較

本試驗以蘇等 (2014) 使用的來亨蛋雞海蘭品系進行第二產蛋週期試驗，探討產蛋雞在不同年齡的銅和鋅需要量，再從飼糧進行源頭管理，以降低蛋雞糞的銅和鋅含量、提昇蛋雞糞堆肥品質，並兼顧產蛋性能及蛋品質。在第一產蛋週期 (蘇等, 2014) 蛋雞飼糧添加 10 mg Cu/kg 飼糧組有較佳之蛋殼厚度 ($P < 0.01$)、蛋殼強度 ($P < 0.1$) 和產蛋量 ($P < 0.1$)，而本試驗 (第二產蛋週期) 飼糧添加 0 或 10 mg Cu/kg 對蛋殼厚度、蛋殼強度和產蛋量之影響皆無顯著差異。第一產蛋週期雖然產蛋率較第二產蛋週期為高 (92.22–92.95%)，但由於蛋重 (61.14–61.92 g) 較小，故平均產蛋量較第二產蛋週期為少 (56.9 vs. 58.4 g/d)；第一產蛋週期的平均蛋殼強度較第二產蛋週期為大 (2.08 vs. 1.71 kg/cm²)，而平均蛋殼厚度則相近 (0.342 vs. 0.342 mm)。第一及第二產蛋週期飼糧不同鋅含量飼糧，對產蛋性能及蛋品質皆無顯著差異，排泄物的鋅含量皆隨著飼糧鋅含量提高而極顯著地 ($P < 0.001$) 增加，銅含量則隨著飼糧鋅添加量的增加而顯著地 ($P < 0.05$) 降低。第二產蛋週期平均採食量較第一產蛋週期少約 15 g/d，Cu-0 組 (7.5 vs. 10.49 mg/kg) 和 Cu-10 組 (13.9 vs. 16.57 mg/kg) 飼糧銅含量皆較第一產蛋週期為低，但 Cu-0 組 (46 vs. 30 mg/kg) 和 Cu-10 組 (88 vs. 59 mg/kg) 排泄物的銅含量皆較第一產蛋週期為高；第二產蛋週期 Zn-30 組 (61.67 vs. 61.0 mg/kg)、Zn-60 組 (79.05 vs. 82.5 mg/kg) 和 Zn-90 組 (101.66 vs. 102.0 mg/kg) 飼糧鋅含量皆與第一產蛋週期相近，但 Zn-30 組 (383 vs. 328 mg/kg)、Zn-60 組 (470 vs. 381 mg/kg) 和 Zn-90 組 (564 vs. 428 mg/kg)，排泄物的鋅含量皆較第一產蛋週期明顯為高。

表6 不同銅鋅含量飼糧對蛋雞排泄物成分影響之交感效應

Table 6 Interactive effects of dietary copper and zinc levels on excretion composition of layer hen

Items	Cu-0 ¹			Cu-10			SE
	Zn-30	Zn-60	Zn-90	Zn-30	Zn-60	Zn-90	
No. of samples	5	5	5	5	5	5	
Moisture, %	71.21 ^a	68.84 ^c	69.28 ^b	64.05 ^e	63.25 ^f	66.49 ^d	0.03
EDM ² , g/d	15.15 ^f	17.27 ^e	18.29 ^d	20.34 ^b	21.30 ^a	19.33 ^c	0.02

¹ The basal diet with various Cu and/or Zn supplements, i.e. without (Cu-0) and with 10 mg Cu/kg (Cu-10) and with 30 (Zn-30), 60 (Zn-60) and 90 (Zn-90) mg Zn/kg, by adding CuSO₄ and ZnSO₄, respectively.

² EDM: excreta dry matter.

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

第一產蛋週期血漿 ALP 活性和鈣、銅及鋅濃度分別介於 67-301 U/L 和 5.89-32.16 mg/dL、0.50-8.17 mg/dL 及 11.0-91.29 mg/dL，除 ALP 活性明顯較本試驗 (269-388 U/L) 為低外，兩個產蛋週期血漿的鈣、銅和鋅濃度皆相近，而本試驗 GLU、CHOL 及 TG 濃度皆涵蓋於蘇等 (2014) 分析值之範圍內。蘇等 (2014) 與本試驗皆使用含 EDTA 的採血管採集血液，EDTA 會螯著銅、鋅、鐵、錳及鈷等金屬離子，白等 (1996) 指出，以 EDTA 作為血液抗凝劑會影響血漿鈣濃度和 ALP 活性測定值；Peebles et al. (2009) 指出，海蘭 W-36 雞隻在 22-43 週齡間，血清鈣濃度介於 20.3-25.0 mg/dL 間，56 週齡時則為 26.2 mg/dL，因此本試驗以血漿測定銅、鋅、鈣濃度和 ALP 活性，可能較實際值為低。

排泄物銅和鋅隨著銅和鋅攝取量的增加而顯著提高，EDM 的銅含量約為飼糧的 5.60-6.99 倍，鋅含量則約為飼糧的 5.53-6.28 倍，濃縮比例較蘇等 (2014) 試驗結果，銅含量提高為飼糧的 2.81-3.91 倍、鋅含量則提高為飼糧的 4.21-5.32 倍皆高。推測係因第一產蛋週期雞隻所攝取的銅和鋅必須提供雞隻生長之需，而本試驗攝取的銅和鋅主要在供應雞隻產蛋需求，需要量相對較少，致排泄量相對提高。本試驗 EDM 銅和鋅含量分別介於 46-88 mg Cu/kg 和 383-564 mg Zn/kg，參考沈 (2006) 與蘇等 (2013) 堆肥化後銅 (2.8 與 1.00-1.41 倍) 和鋅 (1.9 倍與 1.54-1.81 倍) 較堆肥化前之濃縮比例計算，各處理組以全雞糞製作堆肥皆有超出畜禽糞堆肥 (肥料種類品目及規格，2010) 最高限量之虞。

綜合以上結果，海蘭 W-36 蛋雞第二產蛋週期的飼糧銅和鋅含量在 7.5 ppm 和 61 ppm 即足供營養所需；但在排泄物堆肥化再利用方面，建議仍必需添加低銅和低鋅含量、高碳氮比的調整材，以期符合畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 銅和鋅限量之規範。

參考文獻

- 白火城、黃森源、林仁壽。1996。家畜臨床血液生化學，第33-117頁。立宇出版社，台南市。
- 沈韶儀。2006。優質雞糞有機肥之產製。行政院農業委員會畜產試驗所95年度科技計畫研究報告，pp. 6-8。
- 肥料種類品目及規格。2010。行政院農業委員會農糧署，
http://www.afa.gov.tw/laws_index.asp?CatID=228，中華民國99年7月29日修正，102

年8月12下載。

- 經濟部。2010。CNS國家標準配合飼料(家畜、家禽用)，經濟部99年5月18日經授標字第09920050420號公告。
- 蘇天明、翁義翔、劉士銘、蕭庭訓、劉曉龍。2013。飼糧粗蛋白及植酸酶含量對白肉雞生長性能與屠體性狀之影響。畜產研究46:97-108。
- 蘇天明、翁義翔、劉士銘、蕭庭訓、劉曉龍。2014。飼糧銅鋅含量對蛋雞生產性能及銅鋅排泄量之影響。中畜會誌43:(接受)。
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Baumgartner S., D. J. Brown, E. Jr Salevsky, and R. M. Jr Leach. 1978. Copper deficiency in the laying hen. J. Nutr. 108:804-11.
- 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.
- 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.
- Evans, G. W., C. I. Grace, and C. Hahn 1974. The effect of copper and cadmium on ⁶⁵zinc absorption in zinc-deficient and zinc-supplemented rats. Bioinorg. Chem. 3:115-123.
- Fischer, P. W. F., A. Giroux, and M. R. L'Abbe 1981. The effect of dietary zinc on intestinal copper absorption. Am. J. Clin. Nutr. 34:1670-1675.
- Gonzalez, B. P., R. Nino Fong, C. J. Gibson, I. C. Fuentealba, and M. G. Cherian 2005. Zinc supplementation decreases hepatic copper accumulation in LEC rat: A model of Wilson's disease. Biol. Trace Elem. Res. 105:117-134 (Abstr.).
- Mabe, I, C. Rapp, M. M. Bain, and Y. Nys. 2003. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. Poult. Sci. 82:1903-1913.
- 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.
- 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.
- Nordskog, A. W., and G. Fransworth, Jr. 1953. The problem of sampling for egg quality in breeding flock. Poult. Sci. 32:918-921.
- NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. (9th rev. ed.) National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. (10th ed.) National Academic Press, Washington, D.C.
- 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. BASF Corporation. New Jersey.
- Oestreicher, P., and R. J. Cousins 1985. Copper and zinc absorption in the rat: Mechanism of mutual antagonism. J. Nutr. 115:159-166.

- 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.
- Peebles, E. D., A. M. Vance, S. L. Branton, S. D. Collier, and P. D. Gerard. 2009. Effects of time-specific F-strain *Mycoplasma gallisepticum* inoculation overlays on prelay ts-11-strain *M. gallisepticum* vaccination on blood characteristics of commercial laying hens. *Poult. Sci.* 88:911-916.
- Santon, A., S. Giannetto, G. C. Sturniolo, V. Medici, R. D’Inca, P. Irato, and V. Albergoni. 2002. Interactions between Zn and Cu in LEC rats, an animal model of Wilson’s disease. *Histochem. Cell Biol.* 117:275-281(Abstr.).
- SAS. 2002. SAS procedure guide for personal computers. Version 6th Ed. SAS Institute Inc. Cary, NC. U.S.A.
- Skřivan, M., V. Skřivanová, and M. Marounek. 2005. Effects of dietary zinc, iron, and copper in layer feed on distribution of these elements in eggs, liver, excreta, soil, and herbage. *Poult. Sci.* 84:1570-1575.
- Southern, L. L., and D. H. Baker. 1983. Zinc toxicity, zinc deficiency and zinc-copper interrelationship in *Eimeria acervulina*-infected chicks. *J. Nutr.* 113:688-696.
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere.* 79:506-512.
- Van Campen, D. R. 1969. Copper interference with the intestinal absorption of Zn-65 by rat. *J. Nutr.* 97:104-108.
- Van Campen, D. R., and P. V. Scaife. 1967. Zinc interference with copper absorption in rats. *J. Nutr.* 91:473-476.

Effect of dietary copper and zinc levels on laying performance and excretion of layer hen at the second egg-laying cycle ⁽¹⁾

Tein-Ming Su ⁽²⁾⁽⁴⁾, Yi-Hsiang Weng ⁽²⁾, Shine-Ming Liou ⁽²⁾,
Ting-Hsun Hsiao ⁽²⁾ and Hsiao-Lung Liu ⁽³⁾

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of dietary supplementation with different levels of copper and zinc on the laying performance and copper and zinc excretion in layer hens at the second egg-laying cycle. A total of 192 Hy-Line W-36 birds were used once the production rate was above 90% at 72 weeks of age. A corn-soybean meal diet without copper (Cu) and zinc (Zn) supplementation, containing 17% of CP and 2,900 kcal/kg of ME was used as the basal diet. A 2 × 3 factorial arrangement of treatments consisting of feeding the basal diet with two supplements of Cu and three supplements of Zn, i.e., without (Cu-0) or with 10 mg Cu/kg (Cu-10) and with 30 (Zn-30), 60 (Zn-60) or 90 (Zn-90) mg Zn/kg, by adding CuSO₄ and ZnSO₄, respectively. Feed and tap water were fed *ad libitum* during the experimental period from 72 to 95 weeks of age. The results showed that the different copper and zinc levels of diet did not affect the feed intake, egg weight, hen-day egg production, egg mass, feed efficiency, shell thickness or shell breaking strength. Layer hens fed with Cu-10 diet had higher excreta dry matter (EDM; $P < 0.001$), and concentrations of Cu ($P < 0.001$), total phosphorus ($P < 0.05$) and potassium ($P < 0.1$) of EDM than those fed with Cu-0 diet. Layer hens of Zn-60 group had very significantly higher ($P < 0.001$) EDM than birds fed with groups of Zn-90 and Zn-30. Birds fed with Zn-90 diet had very significantly higher ($P < 0.001$) Zn concentration of EDM than the groups of Zn-60 and Zn-30, but had lower ($P < 0.05$) Cu concentration of EDM than the Zn-30 group. In conclusion, corn-soybean meal basal diets added with 0 or 10 mg Cu/kg and 30, 60 or 90 mg Zn/kg did not affect the laying production in layer hens at the second egg-laying cycle. However, the Cu and Zn concentrations in EDM went up when Cu and Zn intakes were increased. The excreta Cu and Zn concentrations based on dry matter basis increased approximately 5.60 to 6.99-fold and 5.53 to 6.28-fold, than the dietary Cu and Zn levels, respectively.

(Key words: copper, excretion, layer hen, laying performance, zinc)

⁽¹⁾Contribution No. 1948 from Livestock Research Institute (LRI), Council of Agriculture (COA), Executive Yuan.

⁽²⁾Livestock Management Division, LRI, COA, 112 Farm Road, Hsinhua, Tainan, 71246, Taiwan, R.O.C.(

⁽³⁾Animal Industry Division, LRI, COA, 112 Farm Road, Hsinhua, Tainan, 71246, Taiwan, R.O.C.

⁽⁴⁾Corresponding author, E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw

