

堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥銅鋅含量之影響⁽¹⁾

蘇天明⁽²⁾⁽⁴⁾ 鍾承訓⁽²⁾ 蕭庭訓⁽²⁾ 劉曉龍⁽³⁾ 林義福⁽³⁾ 程梅萍⁽²⁾

收件日期：103 年 5 月 27 日；接受日期：103 年 7 月 21 日

摘 要

本試驗旨在探討堆肥原料的銅和鋅含量及碳氮比，對堆肥銅和鋅含量之影響。蛋雞以 3 種銅與鋅添加量飼糧 (即 T1、T2、T3 組分別添加硫酸鹽型式的銅 0、5、10 mg/kg，與 25、50、75 mg/kg 的鋅) 餵飼後，分別收集排泄物，再以稻殼分別調整碳氮比 (C1 組：不添加稻殼、C2 組：碳氮比 20 ± 3 、C3 組：碳氮比 30 ± 3)，使形成 9 種堆肥原料，進行為期 65 天的堆肥化處理。結果各組堆肥發酵溫度皆可連續 5 天達 55°C 以上，堆肥化後 C1 組、C2 組及 C3 組的碳氮比分別較堆肥化前降低約 3、9 及 15，乾物質損失率在 32 – 37% 間，堆肥化後除了 C1T3 組的苜蓿種子相對發芽率僅 88.46% 外，其他不論苜蓿或油菜的種子相對發芽率皆達 90% 以上，且明顯較堆肥化前為高。堆肥化處理後各組銅和鋅濃度皆符合畜禽糞堆肥規範，銅濃度約為堆肥化前的 1.39 – 2.00 倍，鋅濃度約為堆肥化前的 1.30 – 1.53 倍，氮、磷、鉀和鈣濃度皆較堆肥化前為高，而有機質與有機碳濃度和碳氮比，則較堆肥化前為低。試驗結果顯示，蛋雞飼糧銅與鋅含量 16 與 112 mg/kg，以其排泄物直接製成堆肥尚可符合畜禽糞堆肥規範，而蛋雞排泄物未經堆肥化處理確會影響種子發芽。

關鍵詞：碳氮比、堆肥、銅、蛋雞排泄物、鋅。

緒 言

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)，行政院農業委員會農糧署 (2010) 肥料種類品目及規格規定，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。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，但未推薦飼糧銅含量。Baumgartner *et al.* (1978) 以脫脂乳粉—玉米油為主要原料、含 $0.72 \mu\text{g Cu/g}$ 的飼糧，餵飼產蛋期雞隻，發現雞隻有銅缺乏現象；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 飼糧 (銅含量 10.87 mg/kg) 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。

堆肥原料的碳氮比及水分含量攸關堆肥化成敗。多位研究者對於以畜禽糞製作堆肥所建議的碳氮比皆相近，Bishop and Godfrey (1983) 及 Bernal *et al.* (2009) 都推薦碳氮比為 25 – 35，Sweeten and Auvermann (2008) 推薦在 20 – 30 間；Eiland *et al.* (2001) 指出，純豬糞堆肥化理想的碳氮比為 16，Zhu (2007) 則認為，豬糞堆肥化理想的碳氮比與使用的調整材料有關，若以稻藎 (rice straw) 為調整材，碳氮比 20 即可生產高品質的堆肥。Bishop and Godfrey (1983) 指出，氮和碳依 1 : 30 的比例結合為微生物細胞，如果碳氮比太高將造成碳源浪費，並延長堆肥腐熟時間，碳氮比太低則會造成氮轉變成氨氣逸散 (Tuomela *et al.*, 2000)。在水分含量方面，Gajalakshmi and Abbasi (2008) 指出，畜禽糞堆肥化理想的含水率在 50 – 60%，含水率太高會阻斷氧氣供應，使堆肥化過程變為厭氣發酵。de Bertoldi *et al.* (1983) 指出，雞糞堆肥化期間發酵溫度以 40 – 65°C 為宜，溫度超過 55°C 就有殺死有害微生物的效果，但發酵溫度超過 63°C 負責堆肥發酵的微

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2126 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) 通訊作者，E-mail：tmsu@mail.tlri.gov.tw。

生物活性會開始降低，若超過 72°C 微生物會完全失去活性。此外，堆肥化過程會因為有機質、有機碳及氮被分解而造成量的損失，但在腐熟過程可使對植物有害物質性質趨於穩定 (Tiquia *et al.*, 1997; Tiquia, 2010)，維護施用作物生長，因此也常藉由種子發芽率測定以評估堆肥的腐熟度 (Ros *et al.*, 2006; Miaomiao *et al.*, 2009; Tiquia, 2010)。

在我們過去的研究，曾以添加不同型式或不同量的銅和鋅的飼糧，餵飼生長肥育豬、白肉雞及蛋雞，調查飼糧銅和鋅含量對畜禽生長或產蛋性能 (蘇等, 2010; 蘇等, 2011; 蘇等, 2012a; 蘇等, 2014a; 蘇等, 2014b)、屠體性狀 (蘇等, 2010; 蘇等, 2012a)、糞便 (排泄物) 銅、鋅含量 (蘇等, 2010; 蘇等, 2012b; 蘇等, 2014a; 蘇等, 2014b)，以及堆肥銅和鋅含量 (蘇等, 2012b) 之影響，結果試驗全期餵飼不同型式或不同量的銅和鋅的飼糧對豬隻生長性能和屠體性狀、肉雞生長性能，以及蛋雞產蛋性能沒有顯著影響，糞便 (排泄物) 及堆肥的銅、鋅含量皆隨著飼糧銅和鋅含量的增加而提高。此外蘇等 (2013) 以白肉雞之雞糞墊料 (稻殼) 經堆肥化處理後，銅和鋅含量分別為堆肥化前的 1.00 – 1.41 倍和 1.54 – 1.81 倍。林 (1998) 指出，雞糞 (排泄物) 的碳氮比為 9 – 10，明顯較多位研究者 (Bishop and Godfrey, 1983; Bernal *et al.*, 2009; Eiland *et al.*, 2001; Sweeten and Auvermann, 2008) 所推薦的，畜禽糞堆肥化理想碳氮比 16 – 35 為低，且飼糧的銅、鋅含量也會影響堆肥所含銅、鋅量。因此，本試驗收集餵飼不同銅和鋅添加量飼糧的蛋雞排泄物，以稻殼調整排泄物的碳氮比後進行堆肥化處理，冀瞭解如何調整蛋雞飼糧銅、鋅含量及堆肥原料碳氮比，可製成符合現行法令規範之堆肥。

材料與方法

I. 慣行飼養蛋雞飼糧、糞便及稻殼成分分析

採集行政院農業委員會畜產試驗所 (以下簡稱畜產試驗所) 慣行飼養 (conventional feeding) 之蛋雞飼糧、排泄物、廢菇包及稻殼進行成分分析，分析項目包括水分、灰分、銅、鋅、氮、磷、鉀、鈣及有機碳，作為堆肥試驗水分及碳氮比調整參考。

II. 蛋雞飼養管理

- (i) 在玉米—大豆粕為主要原料，含粗蛋白 17% 及代謝能 2,900 kcal/kg 基礎飼糧中，添加飼料級硫酸鹽型式的銅與鋅分別為 0 與 25 mg/kg (T1 組)、5 與 50 mg/kg (T2 組) 及 10 與 75 mg/kg (T3 組) 的 3 種試驗飼糧。為考量飼糧新鮮度，每批調製量以足供蛋雞 10 – 14 日採食為度。
- (ii) 使用來亨蛋雞 900 隻，每組 300 隻，飼養於三層階梯式雞籠 (長 × 寬 × 高 = 365 × 225 × 305 mm) 之開放式雞舍個飼試驗飼糧，飲用水以自來水充分供應。
- (iii) 每週清理排泄物 1 次，各組分別平鋪在鋁鋅板屋頂的水泥地面風乾並儲存備用。

III. 雞糞堆肥化處理

- (i) 收集的蛋雞排泄物採 3 × 3 進行堆肥化處理，即餵飼 T1、T2、T3 組飼糧的蛋雞排泄物，分別添加稻殼調整為 3 種 (C1 組：全雞糞，碳氮比 11、C2 組：碳氮比 = 20 ± 3、C3 組：碳氮比 = 30 ± 3) 碳氮比，共形成 9 種 (T1C1、T1C2、T1C3、T2C1、T2C2、T2C3、T3C1、T3C2、T3C3) 堆肥原料。而後調整含水率至 60%，發酵槽採用配置送風管之堆肥桶。
- (ii) 堆肥化處理期間在各堆肥桶中心點配置溫度計，每日上午 08:30 – 09:00 以人工記錄發酵溫度 1 次，以作為初步判定堆肥腐熟度依據。當中心溫度低於 40°C 時即予以翻堆，經翻堆 2 次、中心溫度低於 40°C 後，平鋪在鋁鋅板屋頂的水泥地面風乾至含水率低於 40%，即完成堆肥製作。
- (iii) 採集堆肥化前、後樣品，進行種子相對發芽率 (relative seed germination, RSG) 測定及化學成分分析，項目包括水分、灰分、銅、鋅、氮、磷、鉀、鈣及有機碳。

IV. 分析方法

- (i) 種子相對發芽率測定：參考 Tiquia *et al.* (1996) 及 Tiquia (2010) 之方法，以油菜及苜蓿種子，測定各組堆肥萃取液和對照組的 RSG，測定方法如下：
 1. 取烘乾的堆肥樣品磨成粉末狀。每樣品 4 重複，取 5 g 的樣品於小燒杯中，加入 50 mL 的蒸餾水 (水溫約 75 – 80°C)，攪拌均勻後，靜置 3 小時。

2. 培養皿平舖 90 nm 孔徑的濾紙，放入 100 顆種子。
 3. 取各組過濾後濾液 8 mL 於培養皿中，對照組加入 8 mL 蒸餾水，於 25°C 恆溫箱中放置 5 天，計算發芽種子數。
 4. 計算公式： $RSG(\%) = \text{處理組平均發芽數} \div \text{對照值平均發芽數} \times 100\%$ 。
- (ii) 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。
- (iii) 灰分、鉀、鈣、銅及鋅含量分析：樣品經水分測定精秤後，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，記錄灰分含量後，加入 3N 的鹽酸 10 mL，以鍍玻璃覆蓋置 350°C 電熱板進行酸解。酸解後以 1 號濾紙過濾並定量，以原子吸收光譜儀 (Spectrophotometer Z8100, Hitachi) 測定鉀、鈣、銅及鋅含量。
- (iv) 有機質含量估算：灰分含量測定後，依照 Nolan *et al.* (2011) 方法，有機質 = $(1 - \text{灰分含量}) \times 100$ 估算之。
- (v) 有機碳分析：樣品以 105°C 烘乾後精秤，以元素分析儀 (Multi EA 4000, Analytik-jena, Germany) 測定之。

結果與討論

I. 慣行飼養蛋雞飼糧、糞便、廢菇包及稻殼成分

本試驗原規劃以廢菇包作為蛋雞糞堆肥化時調整碳氮比之用，因此先利用一個月時間，每週採集畜產試驗所慣行飼養蛋雞之飼糧及糞便，以及廢菇包和稻殼，進行成分分析，結果如表 1 所示。蛋雞採食銅和鋅含量 18 和 74 mg/kg 的飼糧，糞便乾物質的銅和鋅含量分別為 83 和 638 mg/kg，較飼糧的銅和鋅含量分別提高 4.61 和 8.62 倍，較蘇等 (2010) 的 2.86 – 3.91 倍及 4.67 – 5.32 倍，以及 Skřivan *et al.* (2005) 的 2.37 – 2.85 倍及 2.48 – 3.10 倍皆高；畜禽糞在堆肥化期間因有機質和有機碳 (Parkinson *et al.*, 2004; Tiquia, 2010) 被分解，以及氮被分解逸散 (Bernal *et al.*, 2009)，致礦物質元素的濃度被濃縮而提高 (Miaomiao *et al.*, 2009)。行政院農業委員會農糧署 (2010) 規定畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 銅及鋅含量限制在 100 ppm 及 500 ppm 以下，蘇等 (2012) 以豬糞進行堆肥化處理，結果堆肥化後的銅濃度提高為堆肥化前的 1.21 – 1.41 倍，鋅濃度也提高為 1.04 – 1.13 倍。此外，廢菇包與蛋雞排泄物的銅、鋅、氮及有機碳分別為 8 與 83 mg/kg、59 與 638 mg/kg、2.12 與 3.00% 及 43.96 與 33.38%，碳氮比則分別為 20.84 與 11.50，倘若以廢菇包作為調整碳氮比之調整材，無法將碳氮比調整至 30，欲調整至 20 則無法達畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 主原料必須達 50% 以上之品目標準，且利用廢菇包作為調整材以降低堆肥銅、鋅含量的效果也較小。綜合上述考量，本試驗改以稻殼為調整材。

表 1. 慣行飼養蛋雞飼糧、糞便、廢菇包及稻殼成分分析值

Table 1. The analyzed value of layer diets of conventional feeding, feces, spent mushroom substrates and rice hull

Items	Diets (n = 10)	Feces (n = 12)	Spent mushroom substrates (n = 4)	Rice hull (n = 4)
Moisture, %	10.88	74.48	39.55	10.09
----- Dry matter basis -----				
Ash, %	11.73	34.25	8.95	9.89
K, %	0.59	2.45	0.79	0.04
Ca, %	3.17	9.53	0.52	0.10
N, %	2.67	3.00	2.12	0.77
P, %	0.63	0.63	0.68	0.77
Organic carbon, %	—	33.38	43.96	81.04
C/N ratio ¹	—	11.13	20.74	105.25
Cu, mg/kg	17.8	82.9	7.6	0.8
Zn, mg/kg	74.0	638.1	59.1	1.1

¹ C/N ratio = organic carbon (%) ÷ nitrogen (%).

II. 試驗飼糧成分分析

試驗期間共調製 10 批試驗飼糧，以各組每批試驗飼糧成分分析值為觀測值，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)，並以鄧肯氏新多變域測定法 (Duncan's new multiple range test)，比較各項成分差異顯著性 ($\alpha = 0.05$)。結果各組飼糧的水分、灰分、氮、磷、鉀及鈣的含量，皆無顯著差異 (表 2)，而 T3 組的銅 (16 mg/kg) 和鋅 (112 mg/kg) 含量皆顯著地 ($P < 0.05$) 較 T1 及 T2 組為高，主因 T3 組飼糧銅和鋅添加量較其他二組為高使然。

表 2. 試驗飼糧分析值

Table 2. The analyzed value of experimental diets

Items	Group T1 ¹	Group T2	Group T3	SE
Moisture, %	11.08	11.28	11.19	0.39
----- Dry matter basis -----				
Ash, %	10.68	10.64	10.48	0.33
K, %	0.58	0.59	0.58	0.03
Ca, %	3.73	3.72	3.54	0.60
Na, %	0.31	0.31	0.30	0.01
N, %	2.73	2.75	2.75	0.04
P, %	0.60	0.60	0.60	0.01
Cu, mg/kg	7 ^c	11 ^b	16 ^a	2
Zn, mg/kg	60 ^c	76 ^b	112 ^a	3

¹ Groups T1, T2 and T3 were fed the basal diet with three levels of copper and zinc i.e., 0 mg Cu/kg and 25 mg Zn/kg, 5 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg and 10 mg Cu/kg and 75 mg Zn/kg by adding CuSO₄ or ZnSO₄, respectively.

III. 堆肥化期間發酵溫度之變化

蛋雞排泄物經調整碳氮比及水分後開始進行堆肥化處理，在各處理組堆肥的中心點配置溫度計，每日記錄溫度 1 次，測定發酵溫度作為堆肥腐熟度初步判定依據，並在堆肥化第 21 天及第 38 天分別予以翻堆，在堆肥化第 59 天各組溫度皆降至 40°C 以下，因此在第 65 天完成堆肥化處理。試驗開始及第一次翻堆前並利用紅外線水分分析儀測定含水率後，再添加水至含水率 60% (表 3)。

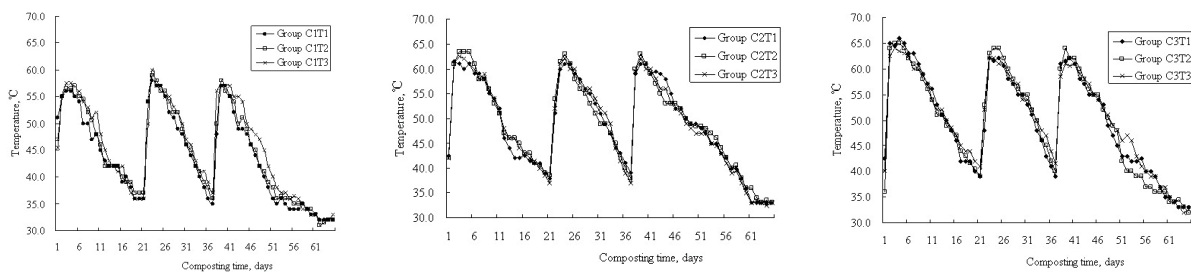
圖 1. 堆肥化期間溫度變化¹。

Fig. 1. The temperature change during composting period.

¹ Groups C1, C2 and C3 were all layer feces, 20 ± 3 of C/N ratio and 30 ± 3 of C/N ratio, respectively; Groups T1, T2 and T3 were fed the basal diet with three levels of copper and zinc i.e., 0 mg Cu/kg and 25 mg Zn/kg, 5 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg and 10 mg Cu/kg and 75 mg Zn/kg by adding CuSO₄ or ZnSO₄, respectively.

結果試驗開始、第一次翻堆及第二次翻堆後各組發酵溫度皆可達 55°C 以上 (圖 1)，而除了 C3T1 組於試驗開始第 4 天發酵溫度達 66°C 外，堆肥化處理期間發酵溫度皆於 65°C 以下。de Bertoldi *et al.* (1983) 指出，雞糞堆肥化期間發酵溫度以 40 – 65°C 為宜，超過 55°C 就有殺死有害微生物的效果，但發酵溫度超過 63°C 負責堆肥發酵的微生物活性就會開始降低，倘若超過 72°C 微生物會完全失去活性。

試驗開始及第一次翻堆併同調整水分，發酵溫度在第 3 – 4 天達到最高，而第二次翻堆不再調整水分在第 2 天即達到最高之發酵溫度，並從第 5 天發酵溫度開始下降。C1 組在堆肥化期間的最高發酵溫度皆較 C2 組及 C3 組為低，可能係由於 C1 組是以全雞糞進行堆肥化處理，碳源不足，致微生物活性相對較低、有機物分解較差，所以發酵溫度相對較低。而 T1、T2 及 T3 組間的發酵溫度較為相近。

表 3. 堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥化過程成分之影響

Table 3. Effects of different levels of copper and zinc and C/N ratio of compost material on composition change during composting process

Items	Group C1 ¹			Group C2			Group C3		
	Group T1	Group T2	Group T3	Group T1	Group T2	Group T3	Group T1	Group T2	Group T3
Before content adjustment									
Fecal weight, kg	89	92	91	47	47	47	36	36	36
Fecal moisture, %	60	60	63	65	68	69	65	67	69
Added									
Rice hull, kg	—	—	—	25.00	25.00	25.00	36.00	36.00	36.00
Water, kg	—	—	—	25.30	25.48	25.53	40.53	40.34	40.28
After content adjustment									
Total weight, kg	89.38	91.59	91.02	97.20	97.42	97.66	112.61	111.89	112.48
Moisture, %	60.38	59.61	60.56	59.94	59.64	59.60	60.40	60.02	59.75
Dry matter, kg	35.41	36.99	34.04	39.03	38.14	38.68	43.50	43.18	44.61
Organic matter ² , %	65.81	66.89	67.23	68.73	69.78	68.97	70.67	70.73	70.77
Organic carbon, %	35.03	35.33	35.19	37.75	37.82	37.73	37.13	37.3	37.26
C/N ratio	11.30	11.51	11.10	22.28	22.55	21.85	29.96	30.49	29.42
After composting									
Total weight, kg	36.14	41.36	34.36	44.13	42.21	44.87	55.02	46.32	52.02
Moisture, %	38.10	42.82	37.35	43.72	41.90	41.71	47.10	38.63	44.84
Dry matter, kg	22.37	23.65	21.52	24.84	24.53	26.16	29.11	28.43	28.69
Organic matter, %	51.82	52.26	51.08	53.06	51.2	54.0	55.85	54.46	54.32
Organic carbon, %	26.51	27.44	25.86	27.37	27.34	27.05	28.6	26.95	27.19
C/N ratio	8.07	8.42	7.25	13.08	12.42	14.42	19.59	12.27	14.18
Yield percentage ³ , %	40.43	45.16	37.74	45.40	43.33	45.95	48.86	41.40	46.25
Loss of dry matter ⁴ , %	36.83	36.07	36.77	36.36	35.69	32.39	33.09	34.16	35.68

¹ Groups C1, C2 and C3 were all layer feces, 20 ± 3 of C/N ratio and 30 ± 3 of C/N ratio, respectively; Groups T1, T2 and T3 were fed the basal diet with three levels of copper and zinc i.e., 0 mg Cu/kg and 25 mg Zn/kg, 5 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg and 10 mg Cu/kg and 75 mg Zn/kg by adding CuSO_4 or ZnSO_4 , respectively.

² Estimated value, Organic matter (%) = $(1 - \text{ash}) \times 100$.

³ Yield percentage = compost weight of after composting \div compost weight of before composting $\times 100$.

⁴ Loss of dry matter = (dry matter weight of before composting – dry matter weight of after composting) \div dry matter weight of before composting $\times 100$.

IV. 堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥化過程成分之影響

本試驗參照表 1 所列稻殼與蛋雞排泄物有機碳含量及含水率，進行堆肥處理前原料調製。結果

C1、C2 及 C3 組堆肥原料的含水率皆約 60%，碳氮比則分別約為 11、22 及 30 (表 3)。堆肥化處理後各組的含水率降到 40% 左右，堆肥製成率 40 – 50%，與林 (1998) 的試驗結果相似。堆肥化後 C1、C2 及 C3 組的碳氮比降為 8、13 及 15，期間的乾物質損失率在 32 – 37%，主因是堆肥化期間由於部分有機質被分解成 CO₂ (Parkinson *et al.*, 2004; Tiquia, 2010)，氮形成 NH₃ 而逸散 (Bernal *et al.*, 2009) 使然，而 C3 組碳氮比下降明顯較 C1 組和 C2 組為多，可能係由於在堆肥化期間有機質和有機碳被分解比率較大，而氮被分解逸散的比率相對較小使然。

表 4. 堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥化處理前後種子相對發芽率之影響

Table 4. Effects of levels of copper and zinc and C/N ratio of compost material on RSG before and after composting

Items	Control	Group C1 ¹			Group C2			Group C3		
		Group T1	Group T2	Group T3	Group T1	Group T2	Group T3	Group T1	Group T2	Group T3
Before composting										
Alfalfa										
No. of germination, plant	88	10.5	8.0	25.5	17.5	39.5	29.0	25.0	29.5	18.0
RSG ² , %	100	11.93	9.09	28.98	19.89	44.89	32.95	28.41	33.52	20.45
Rapeseed										
No. of germination, plant	91	61.0	47.5	45.5	70.0	52.0	68.0	69.5	50.5	49.5
RSG, %	100	70.11	54.60	52.30	80.46	59.77	78.16	79.89	58.05	56.90
After composting										
Alfalfa										
No. of germination, plant	91	84.0	83.0	80.5	82.0	85.0	89.0	87.5	91.0	92.0
RSG, %	100	92.31	91.21	88.46	90.11	93.41	97.80	96.15	100.00	101.10
Rapeseed										
No. of germination, plant	83	82.5	83.0	81.5	86.0	87.0	91.5	81.5	87.5	85.0
RSG, %	100	99.40	100.00	98.19	103.61	104.82	110.24	98.19	105.42	102.41

¹ Groups C1, C2 and C3 were all layer feces, 20 ± 3 of C/N ratio and 30 ± 3 of C/N ratio, respectively; Groups T1, T2 and T3 were fed the basal diet with three levels of copper and zinc i.e., 0 mg Cu/kg and 25 mg Zn/kg, 5 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg and 10 mg Cu/kg and 75 mg Zn/kg by adding CuSO₄ or ZnSO₄, respectively.

² RSG: number of seeds germinated in litter extract ÷ number of seeds germinated in control × 100.

V. 堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥化處理前後種子相對發芽率之影響

雞糞堆肥化期間由於有機質和有機碳及氮被分解而造成量的損失，但在腐熟過程可以將對植物有害物質 (phtotoxic metals) 之性質趨於穩定 (Tiquia *et al.*, 1997; Tiquia, 2010)，以維護施用作物生長，因此常藉由種子發芽率測定來評估堆肥的腐熟度 (Ros *et al.*, 2006; Miaomiao *et al.*, 2009; Tiquia, 2010)。本試驗經初步以發酵溫度判斷堆肥腐熟度後，選用苜蓿及油菜種子進行相對發芽率測定，結果示於表 4。由表 4 結果顯示，堆肥化前各組苜蓿 (9.09 – 44.89%) 及油菜 (52.30 – 80.46%) 的 RSG 數值甚為參差，而堆肥化後除了 C1T3 組苜蓿種子 RSG 僅 88.46% 外，不論苜蓿或油菜種子的 RSG 皆達 90% 以上，且數值明顯較使用堆肥化前原料測定者為高，顯示施用未經堆肥化處理的雞糞，確實影響作物發芽。蘇等 (2012b) 選用結球甘藍及苜蓿種子進行 RSG 測定，結果結球甘藍及苜蓿的 RSG 各組間皆相近，結球甘藍僅 16 – 20%，苜蓿的 RSG 皆達 98% 以上。Kim *et al.* (2008) 選用結球甘藍及大白菜進行堆肥腐熟度評估，結果各試驗組結球甘藍的 RSG 僅 0 – 40.0%，大白菜卻高達 104.0 – 164.4%，因此 Kim *et al.* (2008) 認為此與結球甘藍及大白菜種籽對堆肥中的銅及鋅的耐受度有關。Tiquia and Tam (1998) 指出，RSG 介於 80 – 100% 可視為完成堆肥化處理。

表 5. 堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥化前後化學成分變化之影響

Table 5. Effects of different levels of copper and zinc and C/N ratio of compost material on chemical composition change before and after composting

Items	Group C1 ¹			Group C2			Group C3		
	Group T1	Group T2	Group T3	Group T1	Group T2	Group T3	Group T1	Group T2	Group T3
Before composting									
N, %	3.1	3.07	3.17	1.69	1.68	1.73	1.24	1.22	1.27
P, %	0.44	0.55	0.42	0.41	0.32	0.41	0.37	0.37	0.32
K, %	1.61	1.51	1.6	1.5	1.36	1.39	1.31	1.67	1.4
Ca, %	11.29	13.12	12.97	11.15	12.77	11.94	9.92	11.11	10.37
Cu, mg/kg	30	38	48	20	25	36	15	20	28
Zn, mg/kg	180	230	356	135	186	321	110	155	320
After composting									
N, %	3.29	3.26	3.57	2.09	2.2	1.88	1.46	2.2	1.92
P, %	0.82	0.80	0.80	0.80	0.78	0.76	0.76	0.73	0.72
K, %	3.41	3.18	3.47	3.36	2.34	3.21	2.43	2.69	2.27
Ca, %	3.35	3.32	3.59	2.28	2.15	2.09	2.14	2.09	2.21
Cu, mg/kg	45	53	67	36	43	56	30	38	46
Zn, mg/kg	253	345	487	202	254	449	168	226	417

¹ Groups C1, C2 and C3 were all layer feces, 20 ± 3 of C/N ratio and 30 ± 3 of C/N ratio, respectively; Groups T1, T2 and T3 were fed the basal diet with three levels of copper and zinc i.e., 0 mg Cu/kg and 25 mg Zn/kg, 5 mg Cu/kg and 50 mg Zn/kg and 10 mg Cu/kg and 75 mg Zn/kg by adding CuSO₄ or ZnSO₄, respectively.

VI. 堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥化前後化學成分變化之影響

堆肥化後銅濃度約為堆肥化前的 1.39 – 2.00 倍，鋅濃度約為堆肥化前的 1.30 – 1.53 倍，堆肥化後氮、磷、鉀和鈣濃度皆較堆肥化前為高，而有機質與有機碳濃度和碳氮比則較堆肥化前為低 (表 5)。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 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 1.20 – 1.26 倍和 1.23 – 1.41 倍。蘇等 (2012b) 指出，豬糞堆肥化後銅的濃度約較堆肥化前提高 1.21 – 1.41 倍，鋅的濃度也提高 1.04 – 1.13 倍。本試驗堆肥化期間乾物質損失率達 32 – 37%，碳氮比也降低約 3 – 15 (表 3)，推測堆肥化後氮濃度較堆肥化前為高，係由於堆肥化期間氮的逸散損失較有機質相對為低使然。行政院農業委員會農糧署 (2010) 規定，畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 必須以禽畜糞為主原料 (50% 以上)，銅及鋅含量限制在 100 ppm 及 500 ppm 以下，全氮 1.0% 以上、4.0% 以下，全磷酐 (P₂O₅) 1.0% 以上、6.0% 以下，全氧化鉀 (K₂O) 0.5% 以上、5.0% 以下。本試驗堆肥原料為了能夠達到 C/N 30 的規格，C3 組使用的雞糞僅能符合畜禽糞堆肥原料 50% 的最低要求。完成堆肥化處理後，各組不論銅或鋅濃度雖然皆可符合畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 之規範，但 C1T3 組飼糧銅與鋅含量在 16 和 112 mg/kg，製成的堆肥鋅含量已接近畜禽糞堆肥限量，若飼糧依照國家標準 (銅和鋅分別為 30 和 120 ppm) 調製，其排泄物製成之堆肥可否符合規範，有待評估。

結論與建議

蛋雞糞應用稻殼調整原料碳氮比至 30，稻殼用量已接近畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 規定的主原料 (禽畜糞) 必須在 50% 以上的規範。本試驗飼糧銅和鋅含量在 16 和 112 mg/kg，製成的堆肥鋅含量尚可符合畜禽糞堆肥規範，但飼糧銅和鋅若達國家標準最高限量 (分別為 30 和 120 ppm)，依本試驗結果堆肥化後銅濃

度約為堆肥化前的 1.39 – 2.00 倍，鋅濃度約為堆肥化前的 1.30 – 1.53 倍估算，則堆肥化後銅和鋅含量皆可能超過畜禽糞堆肥品目規範。綜合試驗結果，建議畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 的銅和鋅限量，宜配合蛋雞飼糧銅和鋅限量標準予以提高。

誌 謝

本試驗之研究經費，承蒙行政院國家科學技術發展基金 NSC 101-3111-Y-061-004 計畫補助，謹致謝忱。

參考文獻

- 行政院農業委員會農糧署。2010。肥料種類品目及規格。http://www.afa.gov.tw/laws_index.asp?CatID=228，中華民國 99 年 7 月 29 日修正，102 年 5 月 20 日下載。
- 林財旺。1998。優良禽畜糞堆肥製作。臺灣省畜產試驗所四十週年所慶畜牧經營及廢棄物處理研討會論文專輯。臺灣省畜產試驗所編印。pp.23-32。
- 蘇天明、李恒夫、蕭庭訓、劉士銘、陳國隆、盧金鎮、廖宗文。2010。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。畜產研究 43 (2)：115-127。
- 蘇天明、劉士銘、劉曉龍、施柏齡、郭猛德。2011。白肉雞銅鋅排泄量之研究。畜產研究 44 (2)：163-174。
- 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 (1)：55-66。
- 蘇天明、劉士銘、李恒夫、蕭庭訓、廖宗文、郭猛德。2012b。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 (2)：107-120。
- 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 (2)：97-108。
- 蘇天明、翁義翔、劉士銘、蕭庭訓、劉曉龍。2014a。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 (4)：(刊印中)。
- 蘇天明、翁義翔、劉士銘、蕭庭訓、劉曉龍。2014b。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。中畜會誌 43 (4)：(刊印中)。
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, 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.
- Bishop, P. L. and C. Godfrey. 1983. Nitrogen variations during sludge composting. Bio. Cycle 24: 34-39.
- de Bertoldi, FM., G. Vallini and A. Pera. 1983. The biology of composting: a review. Waste Manage. Res. 1: 157-176.
- Dozier, W. A. 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. Bri. Poult. Sci. 44: 726-731.
- Eiland, F., M. Leth, M. Klamer, A. M. Lind, H. E. K. Jensen and J. J. L. Iversen. 2001. C and N turnover and lignocellulose degradation during composting of Miscanthus straw and liquid pig manure. Compost Sci. Util. 9: 186-196.
- Gajalakshmi, S. and S. A. Abbasi. 2008. Solid waste management by composting: state of the art. Crit. Rev. Environ Sci. Technol. 38: 311-400.
- 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.

- Kim, K. Y., H. W. Kim, S. K. Han, E. J. Hwang, C. Y. Lee and H. S. Shin. 2008. Effect of granular porous media on the composting of swine manure. *Waste Manag.* 28: 2336-2343.
- 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.
- 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.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. (9th rev. ed.) National Academy Press, Washington, DC.
- 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.
- Ros, M., C. Garcia and T. Hernandez. 2006. A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: kinetic changes in chemical and microbial properties. *Waste Manag.* 26: 1108-1118.
- 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.
- Sweeten, J. M. and B. W. Auvermann. 2008. Composting manure and sludge. *Agrilife Extension E-479*: 6-8.
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere.* 79: 506-512.
- Tiquia, S. M. and N. F. Y. Tam. 1998. Elimination of phytotoxicity during co-composting of pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresour. Technol.* 65: 43-49.
- Tiquia, S. M., N. F. Y. Tam and I. J. Hodgkiss. 1996. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. *Environ. Pollut.* 93: 249-256.
- Tiquia, S. M., N. F. Y. Tam and I. J. Hodgkiss. 1997. Composting of spent pig litter at different seasonal temperatures in subtropical climate. *Environ. Pollut.* 98: 97-104.
- Tuomela, M., M. Vikman, A. Hatakka and M. Itavaara. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour. Technol.* 72: 169-183.
- Zhu, N. 2007. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresour. Technol.* 98: 9-13.

Effect of levels of copper and zinc and carbon: nitrogen ratio of compost materials on copper and zinc concentration of compost⁽¹⁾

Tein-Ming Su ⁽²⁾⁽⁴⁾ Cheng-Hsun Chung ⁽²⁾ Ting-Hsun Hsiao ⁽²⁾
Hsiao-Lung Liu ⁽³⁾ Yih-Fwu Lin ⁽³⁾ and Mei-Ping Cheng ⁽²⁾

Received: May 27, 2012; Accepted: Jul. 21, 2013

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of levels of copper and zinc and carbon: nitrogen ratio (C/N ratio) of compost materials on copper and zinc concentration of compost. Layer hens fed with three levels of copper and zinc i.e., groups T1, T2 and T3 fed with 0, 5, 10 mg/kg of added copper as CuSO₄, and 25, 50, 75 mg/kg of added zinc as ZnSO₄, respectively. Collected excreta were mixed with rice hull to adjust C/N ratio at three levels i.e., groups C1, C2 and C3 were all excreta, C/N ratio = 20 ± 3 and C/N ratio = 30 ± 3, respectively and moisture content was adjusted to 60% before 65 days of composting process. The results showed that fermentation temperature can reach 55°C for 5 consecutive days in each group. During composting period, C/N ratios of C1, C2 and C3 reduced 3, 9 and 15, respectively and losses of dry matter were between 32 and 37%. After composting, alfalfa relative seed germination (RSG) of group C1T3 was 88.46%, while alfalfa and rapeseed RSG all reached over 90% in others groups. Significantly higher RSG were found after composting than those before composting. Copper and zinc concentrations of compost were 1.50-1.69 and 1.26-1.47 times of those before composting. Concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium were higher after composting than those before composting. Organic matter, organic carbon and C/N ratio were lower after composting than those before composting. In conclusion, copper and zinc concentrations of compost could meet the national quality standards of excreta compost when dietary copper and zinc were 16 and 112 mg/kg, respectively. It indicated that excreta of layer hens without composting could inhibit seed germination.

Key words: Carbon: nitrogen ratio, Compost, Copper, Excreta of layer hen, Zinc.

(1) Contribution No. 2126 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

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

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

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