

調整材組成對蛋雞排泄物堆肥化處理之影響⁽¹⁾

蘇天明⁽²⁾⁽⁴⁾ 翁義翔⁽²⁾ 鍾承訓⁽²⁾ 蕭庭訓⁽²⁾ 程梅萍⁽³⁾

收件日期：106 年 9 月 1 日；接受日期：106 年 9 月 28 日

摘 要

本試驗旨在探討蛋雞排泄物中添加不同稻殼與稻蒿比例之碳源調整材，作為堆肥原料，對堆肥化處理過程和堆肥成品成分之影響。在新鮮的蛋雞排泄物中添加 4 種不同稻殼及稻蒿容積比例的調整材，A 組 (對照組 100 : 0)、B 組 (75 : 25)、C 組 (50 : 50) 及 D 組 (25 : 75)，混合後進行 40 天的堆肥化處理，分析堆肥化前、堆肥化第 14 天及堆肥化後之成分變化。結果顯示，堆肥化期間各組皆有連續 15 天以上發酵溫度達 55°C 以上，堆肥化第 14 天時，除了 C 組油菜種子相對發芽率 (relative seed germination, RSG) 僅 69.54% 外，不論苜蓿或油菜種子的 RSG 皆達 80% 以上，而堆肥化後各組苜蓿及油菜種子的 RSG 皆達 90% 以上。A 組與 B 組堆肥化期間乾物質損失率較 C 組與 D 組為低。堆肥化處理後，各組的含水率和有機碳含量皆較堆肥化前及堆肥化第 14 天降低，pH 值皆隨著堆肥化日數增加而提高，而氮、磷、鉀、鈣、鈉及有機碳含量與碳氮比則與堆肥化第 14 天相近。各組堆肥化後銅濃度約為堆肥化前的 1.14 – 1.25 倍，鋅濃度則為堆肥化前的 1.14 – 1.53 倍。綜合以上結果，利用稻蒿替代稻殼作為蛋雞排泄物之碳源調整材，對堆肥化過程並無明顯之影響。

關鍵詞：蛋雞排泄物、調整材、堆肥化。

緒 言

依據農業統計資料，臺閩地區民國 103 年生物性農產廢棄物產量約 479 萬公噸，其中稻殼及稻蒿分別約 34.6 及 173 萬公噸，而約有 3.5 萬公噸的稻殼供為堆肥使用 (行政院農業委員會，2014)。稻蒿年產量達稻殼的 5 倍，其中利用於作物栽培覆蓋、倉庫墊料、育苗栽培介質及堆肥者，分別約 17.1、2.8、5.5 及 2.6 萬公噸，大約有 80% 的稻蒿採取就地翻耕掩埋 (135.1 萬公噸) 或焚燒 (6.7 萬公噸) 處理。稻蒿埋置於農田，會產生二氧化碳及甲烷排放至大氣而增加溫室效應，焚燒處理除二氧化碳的排放外，也會產生粒狀污染物及濃煙，而影響空氣品質及造成環境污染問題。

堆肥原料的碳氮比和水分含量攸關堆肥化處理之成敗，多篇研究 (Bishop and Godfrey, 1983; Eiland *et al.*, 2001; Sweeten and Auvermann, 2008; Bernal *et al.*, 2009) 推薦，畜禽糞堆肥化處理其原料理想的碳氮比在 16 – 35，碳氮比太高會造成碳源浪費 (Bishop and Godfrey, 1983)、延長堆肥腐熟時間 (Tuomela *et al.*, 2000)，碳氮比太低則造成氮源浪費而轉變成氨氣逸散 (Tuomela *et al.*, 2000; Bernal *et al.*, 2009)。國內產蛋雞飼養目前尚以籠飼為主，林 (1998) 指出，雞糞的碳氮比為 9 – 10，蘇等 (2014b) 也指出蛋雞排泄物的碳氮比為 11.13，明顯較畜禽糞堆肥化理想碳氮比 16 – 35 為低。如果在堆肥化前添加高碳氮比的調整材料，有助於減少處理期間氮浪費 (Tiquia *et al.*, 1997; Tiquia, 2010)。堆肥原料水分含量會影響微生物活性及其結構 (Ahn, 2008)，在低水分含量狀況下會降低微生物活性，而低水分含量則可能造成堆肥原料結塊，並降低堆肥原料孔隙度、空氣流通和滲透性，進而影響有機質的分解能力 (Miller, 1989; Richard *et al.*, 2002; Richard *et al.*, 2004)。Ahn (2008) 指出，堆肥原料含水率在 25 – 80% 皆可進行堆肥發酵，其他研究 (Bishop and Godfrey, 1983; Richard *et al.*, 2002; Cronjé *et al.*, 2004) 則推薦堆肥化理想的含水率為 50 – 70%。de Bertoldi *et al.* (1983) 推薦，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 則負責堆肥發酵之微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，堆肥化過程由於有機質、有機碳及氮被分解而造成量的損失，但腐熟過程可以將對植物有害物質 (phototoxic

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2578 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主任秘書室。

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

metals) 之性質趨於穩定 (Tiquia *et al.*, 1997; Tiquia, 2010), 以維護施用作物之生長。藉由種子發芽率測定, 常可用來評估堆肥的腐熟度 (Ros *et al.*, 2006; Miaomiao *et al.*, 2009; Tiquia, 2010)。

目前國產稻蒿已少量被應用於堆肥製作, 但稻蒿與稻殼的容積密度 (蘇等, 2015) 和化學組成分 (蘇等, 2016) 皆不同, 對堆肥化過程及堆肥成品可能造成影響。Cobb Broiler Management Guide (2013) 建議, 平飼雞舍以稻殼作為鋪設深度必須達 5 cm。為提高稻蒿利用率並考量後續之應用性, 本試驗嘗試以不同稻殼與稻蒿容積比例添加於蛋雞排泄物作為碳源調整材料, 探討對蛋雞排泄物堆肥化處理過程及其成分之影響。

材料與方法

I. 堆肥化原料來源及調製

- (i) 蛋雞排泄物：來自臺南市六甲區某蛋雞場, 以刮糞機每日收集之蛋雞排泄物。
- (ii) 碳源調整材料：使用稻殼及切段長度 1 cm 之稻蒿, 稻殼容積密度 127.2 kg/m³, 稻蒿容積密度 66.8 kg/m³。
- (iii) 原料調製：各組蛋雞排泄物、稻殼及稻蒿使用量, 如表 1 所示。首先以水分分析儀 (Ohaus MB 45, Switzerland) 測定蛋雞排泄物、稻殼及稻蒿之含水率 (表 2) 後, 參考蘇等 (2014a) 海蘭 W-36 品系蛋雞排泄物之乾物量 (以 18 g/bird/day 計), 以及蘇等 (2016) 平飼雞隻稻殼及稻蒿使用量, 即在蛋雞排泄物中添加稻殼: 稻蒿比例分別為 100:0 (A 組; 對照組)、75:25 (B 組)、50:50 (C 組) 及 25:75 (D 組) 等 4 種不同稻殼及稻蒿容積比例的堆肥原料。

表 1. 蛋雞排泄物、稻殼及稻蒿用量

Table 1. Used quantity of layer excreta, rice hull and rice straw

Items	Group A*	Group B	Group C	Group D
	----- kg -----			
Layer excreta	510	530	480	540
Bulking agents				
Rice hull	108	81	54	27
Rice straw	—	14	28	42
Total weight	618	625	562	609

* With different volume ratio of rice hull and rice straw i.e., Group A = 100% rice hull, Group B = 75% rice hull + 25% rice straw, Group C = 50% rice hull + 50% rice straw and Group D = 25% rice hull + 75% rice straw.

表 2. 蛋雞排泄物、稻殼及稻蒿之化學組成

Table 2. Chemical compositions of layer excreta, rice hull and rice straw

Items	Layer excreta	Rice hull	Rice straw
Moisture, %	76	106	126
OM*, %	666	876	896
pH value	6.33	6.52	6.56
	----- dry matter basis -----		
TN*, %	3.77	0.40	0.78
TP*, %	2.16	0.14	0.27
K, %	2.06	0.35	0.39
Ca, %	12.50	0.40	0.05
Na, %	1.85	0.25	0.16
Cu, mg/kg	42	3	2
Zn, mg/kg	560	39	34
OC, %	335	405	40
C/N ratio	8.8	100	51

* Estimated value, OM (organic matter) = (1 - ash) × 100 (Nolan *et al.*, 2011); TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; OC: organic carbon; C/N ratio = OC ÷ TN.

II. 堆肥化處理

- (i) 堆肥化原料調製後，先進行 14 天之堆積送風式發酵，以 0.5 HP 鼓風機每 3 小時供氣 2 分鐘，並於堆肥化第 4、7、11 及 14 天以鏟裝機 (CASE 1825B) 翻堆 1 次。
- (ii) 堆肥化期間在各堆肥槽中心點配置溫度計，每日上午 08:30 – 09:00 以人工記錄發酵溫度，並配置溫度計記錄環境溫度。
- (iii) 堆肥化第 14 天各組分別翻堆後，採集各組樣品以水分分析儀 (Ohaus MB 45, Switzerland) 測定含水率，再調整水分至約 60%，繼續依 (i) 相同方式進行堆肥化處理。當堆肥中心溫度低於 45°C 時即予以翻堆，經翻堆 2 次、中心溫度不再變化且趨近環境溫度，即完成堆肥化處理。
- (vi) 採集堆肥化前、堆肥化第 14 天與堆肥化後樣品，進行含水率、灰分、pH 值、氮、磷、鉀、鈣、鈉、銅、鋅及有機碳等化學成分分析，以及種子相對發芽率測定。

III. 分析項目與方法

- (i) 水分、氮及磷含量：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。
- (ii) pH 值：以純水：樣品 = 1:1 混合，經攪拌、靜置 1 小時後再攪拌，立即利用 pH 電極 (Multi 9420, WTWInolab) 測定。
- (iii) 種子相對發芽率 (relative seed germination, RSG) 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，方法如下：
 1. 取各組堆肥化前、堆肥化第 14 天及堆肥化後的烘乾樣品磨成粉狀後，各取 5 g 的樣品於小燒杯中，加入 50 mL 水溫約 75 – 80°C 的蒸餾水，攪拌均勻後，靜置 3 小時。每樣品 4 重複。
 2. 在培養皿上平鋪 90 μm 孔徑的濾紙，放入 100 顆油菜或苜蓿種子。
 3. 取各組過濾後之堆肥萃取液 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 (%) = 處理組平均發芽數 ÷ 對照組平均發芽數 × 100%。
- (iv) 灰分、鉀、鈣、鈉、銅及鋅含量分析：樣品經水分測定精秤後，放入灰化爐 (MF-40L, Channel, Taiwan)，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 3 N 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, Japan) 測定鉀、鈣、鈉、銅及鋅含量。
- (v) 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 – 灰分含量) × 100 估算之。
- (vi) 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. 蛋雞排泄物及調整材之化學組成

本試驗使用之蛋雞排泄物，其乾物質的總氮及有機碳含量分別為 3.77% 及 33%。Bishop and Godfrey (1983) 指出，堆肥原料若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)，而多篇研究 (Bishop and Godfrey, 1983; Eiland *et al.*, 2001; Sweeten and Auvermann, 2008; Bernal *et al.*, 2009) 推薦，畜禽糞堆肥化處理原理想碳氮比在 16 – 35 之間，因此必須適量添加高碳氮比的調整材。本試驗使用的蛋雞排泄物銅和鋅含量分別為 42 和 560 mg/kg (表 2)，參考先前的研究 (Tiquia, 2010; 蘇等, 2014b)，堆肥化後銅和鋅含量分別約為堆肥化前的 1.20 – 2.00 倍和 1.23 – 1.53 倍，如果沒有添加低銅和低鋅濃度的調整材，堆肥化後成品的鋅含量極可能超出畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 鋅含量必須在 500 mg/kg 以下的規定 (行政院農業委員會農糧署, 2010)。蘇等 (2014b) 使用銅和鋅添加量分別為 0 和 25 mg/kg、5 和 50 mg/kg 及 10 和 75 mg/kg 的三種飼糧餵飼蛋雞，結果蛋雞排泄物之銅和鋅含量皆隨著飼糧銅和鋅添加量的增加而提高，再以稻殼調整前述三種飼糧處理的蛋雞排泄物之碳氮比至大約 20 及 30 作為堆肥原料，其銅和鋅含量隨著碳氮比的提高而降低，顯示雞隻飼糧的銅和鋅含量及稻殼調整材的添加量，都會影響堆肥原料銅和鋅含量。本試驗使用的稻殼和稻蒿，氮、銅和鋅含量皆低，碳氮比分別為 100 和 53，適合作為蛋雞排泄物堆肥化的碳源調整材料。

蘇等 (2015) 指出，稻蒿切段長度分別為 1 cm、2 cm 和 3 cm 並浸泡於水中 240 分鐘後，吸水率皆介於 82 – 83%，且顯著地較稻殼的 79% 為高，而劉等 (2009) 使用稻蒿作為平飼雞隻替代墊料，因切段長度太長致雞糞墊

料在堆肥化過程有結塊現象，故本試驗使用切段長度 1 cm 作為調整材，主要是考量其吸水率和降低堆肥化過程結塊現象的發生。本試驗稻蒿係使用牧草切碎機切段，切段時僅稻桿部分可切段至 1 cm 規格，估算稻蒿成本約需 1,200 元 /m³，約為稻殼成本的 2 倍。所以如何降低稻蒿產製微調整材之成本，是能否推廣應用之重要因素。

II. 堆肥化過程重量變化

蛋雞排泄物添加稻殼與稻蒿不同容積比例調整材後，水分含量介於 64.18 – 68.32% 間 (表 3)，與諸研究推薦堆肥化理想的含水率 50 – 70% 相符 (Bishop and Godfrey, 1983; Richard *et al.*, 2002; Cronjé *et al.*, 2004)。經堆肥化處理後，獲得 170 – 220 kg 且含水率 29 – 33% 的堆肥成品，期間乾物質損失率在 30 – 36% 之間，堆肥製成率介於 30 – 36% 之間。本試驗 A 組與 B 組稻殼用量較多，堆肥化期間乾物質損失率均較 C 組與 D 組為低，堆肥製成率則較 C 組與 D 組為高。Richard *et al.* (2002) 及 Cronjé *et al.* (2004) 指出，微生物的呼吸速率與其對堆肥原料的分解作用有關，而呼吸速率會受到溫度、含水率及調整材材質所影響，A 組與 B 組乾物質損失率較 C 組與 D 組為低，可能因稻殼碳氮比較高及其表面存有蠟質，微生物較不易分解，致乾物質損失率較低。

表 3. 調整材組成對蛋雞排泄物在堆肥化過程重量變化之影響

Table 3. Effects of different bulking agents compositions on the weight change during the composting process of layer excreta

Items	Group A*	Group B	Group C	Group D
Before composting				
Total weight, kg	618	625	562	609
Moisture, %	64	66	66	68
Dry matter**, kg	221	214	190	193
After composting				
Total weight, kg	220	220	170	190
Moisture, %	32	33	29	32
Dry matter, kg	149	147	121	129
Loss of dry matter***, %	33	30	36	33
Yield***, %	36	35	30	31

* Described as in Table 1.

** Estimated value, Dry matter = Rice hull × (100% – 10.06%) + Rice straw × (100% – 12.21%) + Layer excreta × (100% – 75.57%).

*** Loss of dry matter = (dry matter weight before composting – dry matter weight after composting) ÷ dry matter weight before composting × 100; Yield = Total weight after composting ÷ Total weight before composting × 100.

III. 堆肥化期間發酵溫度之變化

本試驗 A、B、C 及 D 組分別在堆肥化期間的前 21 天、22 天、18 天及 19 天，發酵溫度都在 55°C 以上 (圖 1)，de Bertoldi *et al.* (1983) 指出，雞隻排泄物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。雖在堆肥化第 24 天及第 30 天予以翻堆，但各組的發酵溫度皆無法達 55°C 以上，分別從堆肥化第 31 天、32 天、25 天及 31 天開始，發酵溫度已降至 40°C 以下，並趨近環境溫度，而於第 41 天結束堆肥化處理。Chefetz *et al.* (1996) 指出，堆肥化期間發酵溫度變化可分為三個階段：堆肥化開始的前 2 天為中溫期，發酵溫度會達到 45°C；而後的 4 週是為高溫期，發酵溫度會高達 72°C，而堆肥化 60 天後發酵溫度即趨近於環境溫度。本試驗在堆肥化第 6 – 8 天時各組的發酵溫度達到最高 (70 – 74°C)，此與 Jiang *et al.* (2015) 之堆肥化處理期間第 4 – 8 天的發酵溫度最高的研究結果相似。

IV. 堆肥化期間之種子相對發芽率

堆肥化過程可以將對植物有害物質之性質趨於穩定 (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)。本試驗除以發酵溫度判斷堆肥腐熟度外，亦選用苜蓿及油菜種子進行相對發芽率 (relative seed germination, RSG) 測定。堆肥化前各組苜蓿 (7.2 – 36.7%) 及油菜 (7.1 – 57.1%) 的 RSG 皆低於 60% (表 4)；堆肥化第 14 天時，除了 C 組油菜種子 RSG 僅約 70% 外，不論苜蓿或油菜種子的 RSG 皆達 80% 以上，而堆肥化後各組苜蓿及油菜種子的 RSG 皆達 90% 以上。蘇等 (2016) 以雞糞墊料為原料製作堆肥，不論堆肥化前、堆肥化第 14 天及堆肥化後之堆

肥成品，苜蓿及油菜的 RSG 皆較本試驗為高，尤其堆肥化前各組苜蓿及油菜的 RSG 皆達 75% 以上，但本試驗堆肥化前各組的 RSG 均低於 60%。Ahn(2008) 研究指出，堆肥原料水分含量會影響微生物活性及結構，而含水率在 25 – 80% 即可進行堆肥發酵，推測在肉雞飼養期間雞糞墊料即部分被微生物分解使然。

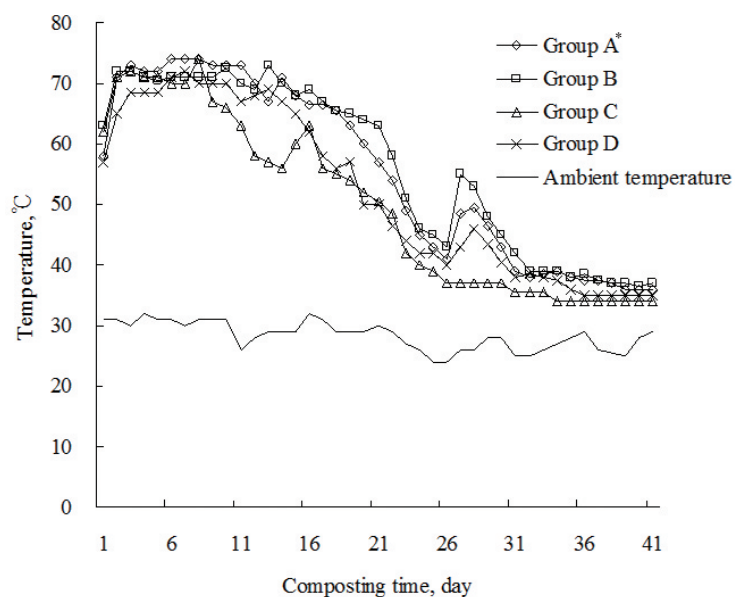


圖 1. 堆肥化期間溫度變化。

Fig. 1. The temperature change during composting period.

* Described as in Table 1.

表 4. 調整材組成對蛋雞排泄物堆肥化處理期間種子相對發芽率之影響

Table 4. Effects of different bulking agents compositions on the relative seed germination rates during the composting process of layer excreta

Items	Control	Group A*	Group B	Group C	Group D
Alfalfa seed					
Before composting					
No. of germination, plant	90	33	29	6.5	7.5
RSG**, %	100	37	32	7.2	8.3
14th day of composting					
No. of germination, plant	89	77	82	74	74
RSG, %	100	86	92	83	83
After composting					
No. of germination, plant	83	83	81	77	83
RSG, %	100	99	97	92	99
Rapeseed seed					
Before composting					
No. of germination, plant	91	52	40	13	6.5
RSG, %	100	57	43	14	7
14th day of composting					
No. of germination, plant	87	74	71	61	72
RSG, %	100	85	82	70	83
After composting					
No. of germination, plant	86	83	79	81	79
RSG, %	100	96	91	94	92

* Described as in Table 1.

** RSG (relative seed germination) = number of seeds germinated in sample ÷ number of seeds germinated in control × 100.

V. 堆肥化前後化學成分變化之影響

堆肥化前各組原料的含水率及 pH 值介於 64 – 68% 及 7.05 – 7.18，而氮、磷、鉀、鈣、鈉，以及銅和鋅濃度則分別介於 1.47 – 1.88%、1.76 – 2.15%、1.61 – 2.18%、9.83 – 12.21%、1.36 – 1.45%，以及 31 – 42 mg/kg 和 329 – 405 mg/kg，有機質和有機碳分別為 66 – 70% 和 33 – 33%，而碳氮比則介於 17 – 23 之間 (表 5)。堆肥化第 14 天，各組的含水率、有機碳含量與碳氮比皆降低，而 pH 值與磷、鉀、鈣、鈉、銅和鋅含量提高，氮含量則與堆肥化前相近。堆肥化第 41 天結束時，各組的含水率和有機碳含量皆較堆肥化前及堆肥化第 14 天低，氮、磷、鉀、鈣、鈉及有機碳含量與碳氮比則與堆肥化第 14 天相近，pH 值則較堆肥化前及堆肥化第 14 天為高。

各組堆肥前原料的鈣含量較蘇等 (2016) 為高，有機質、氮、磷、鉀、鈉、銅和鋅含量則較低，此與雞隻種類及飼糧組成不同應有關係。蘇等 (2016) 使用的堆肥原料係飼養白肉雞後的雞糞墊料，而本試驗則以蛋雞排泄物添加碳源調整材作為堆肥原料。Bernhart *et al.* (2010) 指出，雞糞墊料為累積雞隻排泄物、羽毛、殘餘飼料與鋪設墊料的混合物；NRC (1994) 指出，白肉雞粗蛋白和鈣需要量分別為 18 – 23% 和 0.80 – 1.00%，而蛋雞則為 12.5 – 18.8% 和 2.71 – 4.06%，白肉雞粗蛋白需要量明顯較蛋雞為高，鈣需要量則較低，而營養需要量、殘餘飼料量和營養分消化率不同，都可能造成排泄物成分之差異。各組 pH 值皆隨著堆肥化日數增加而提高，此與 Said-Pullicino *et al.* (2007) 之結果，堆肥化期間因有機酸降解和氨氣揮發致 pH 值提高之研究結果相符，而有機質和有機碳含量皆隨著堆肥化日數增加而降低，Tiquia *et al.* (1997) 及 Tiquia (2010) 指出，堆肥化過程由於有機質、有機碳和氮被微生物分解，而造成量的損失。本試驗 A 組與 B 組在堆肥化第 14 天堆肥成分與堆肥化結束時相近，且 RSG 皆達 80% 以上 (表 4)，C 組與 D 組在堆肥化第 41 天結束時 RSG 皆達 90% 以上。Tiquia and Tam (1998) 指出，RSG 介於 80 – 100% 可視為完成堆肥化處理。

各組堆肥化處理結束時，銅和鋅含量分別為堆肥化前的 1.14 – 1.25 倍和 1.14 – 1.53 倍。多篇研究 (Hsu and Lo, 2001; Tiquia, 2010; 蘇等, 2012; 蘇等, 2014b; 蘇等, 2016) 亦指出，堆肥化後銅含量約為堆肥化前的 1.20 – 2.70 倍，鋅含量則為堆肥化前的 1.04 – 2.70 倍。Hsu and Lo (2001) 和 Tiquia (2010) 皆證實，堆肥化過程由於原料的有機物被微生物分解，致堆肥後成品的礦物質含量皆較堆肥化前為高。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) 必須以禽畜糞為主原料 (50% 以上)，堆肥成品主成分包括有機質必須在 40% 以上，全氮 1.0% 以上、4.0% 以下，全磷酐 (P_2O_5) 1.0% 以上、6.0% 以下，全氧化鉀 (K_2O) 0.5% 以上、5.0% 以下，銅及鋅含量則限制必須在 100 mg/kg 及 500 mg/kg 以下。檢視本試驗堆肥化後成品，各組的有機質、氮、全磷酐及全氧化鉀成分皆符合畜禽糞堆肥 (品目 5-09) 規定，而 C 組和 D 組的鋅含量則超過畜禽糞堆肥品目標準。

表 5. 調整材組成對蛋雞排泄物堆肥化期間化學成分之影響
 Table 5. Effects of different bulking agents compositions on the chemical composition during the composting period of layer excreta

Items	Before composting*				Day 14 of composting				After composting			
	Group A	Group B	Group C	Group D	Group A	Group B	Group C	Group D	Group A	Group B	Group C	Group D
Moisture, %	64	66	67	69	36	49	35	51	32	36	29	32
----- dry matter basis -----												
OM**, %	70	69	69	66	66	62	64	61	62	58	56	58
pH value	7.13	7.18	7.12	7.05	8.06	8.19	8.08	8.20	8.40	8.58	8.63	8.56
N, %	1.47	1.71	1.63	1.88	1.62	1.58	1.65	1.83	1.48	1.55	1.82	1.97
P, %	1.76	1.95	1.99	2.15	2.27	2.31	2.26	2.39	2.15	2.23	2.41	2.53
K, %	1.61	1.79	1.91	2.18	1.78	1.98	2.28	2.57	1.96	2.06	2.54	2.98
Ca, %	9.83	10.68	10.46	12.21	10.48	10.77	10.98	12.05	11.60	12.05	12.06	12.77
Na, %	1.38	1.36	1.45	1.41	1.50	1.39	1.35	1.42	1.49	1.99	1.54	1.53
Cu, mg/kg	31	32	37	42	32	38	40	45	36	40	42	49
Zn, mg/kg	329	376	384	405	354	394	456	549	375	482	550	619
P ₂ O ₅ , %	4.02	4.47	4.55	4.92	5.19	5.29	5.18	5.47	4.93	5.31	5.52	5.79
K ₂ O, %	1.95	2.17	2.31	2.64	2.15	2.39	2.76	3.11	2.37	2.49	3.07	3.60
OC**, %	33	33	33	33	32	31	32	30	31	29	28	29
C/N ratio**	23	19	20	17	20	20	19	117	21	19	15	15

* Described as in Table 1.

** Estimated value, OM (organic matter) = $(1 - \text{ash}) \times 100$ (Nolan *et al.*, 2011); P₂O₅ = $P \times 2.29$; K₂O = $K \times 1.21$; OC: organic carbon; C/N ratio = $OC \div TN$.

結 論

利用切段稻藎替代稻殼作為蛋雞排泄物碳源調整材料，對堆肥化處理不會造成影響，但使用較高量（依容積比例替代 50% 和 75%）的稻藎替代稻殼，堆肥成品的鋅含量可能無法符合畜禽糞堆肥品目標準。建議可使用容積比例 25% 的稻藎替代稻殼，作為蛋雞排泄物碳源調整材料，此外透過源頭管理調整蛋雞飼糧之鋅含量，以減少蛋雞排泄物鋅含量，也是降低堆肥成品鋅含量的可行方式。

參考文獻

- 行政院農業委員會。2014。農業廢棄物排放量（民國 103 年）。<http://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/common/CommonStatistics.aspx>。
- 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。
- 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。
- 蘇天明、劉士銘、李恒夫、蕭庭訓、廖宗文、郭猛德。2012。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、翁義翔、劉士銘、蕭庭訓、劉曉龍。2014a。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)：51-64。
- 蘇天明、鍾承訓、蕭庭訓、劉曉龍、林義福、程梅萍。2014b。堆肥原料銅鋅含量及碳氮比對堆肥銅鋅含量之影響。畜產研究 47(3)：195-204。
- 蘇天明、劉曉龍、鍾承訓、蕭庭訓、林義福、程梅萍。2015。墊料材質對白肉雞生長及雞舍氨濃度之影響。畜產研究 48(4)：280-287。
- 蘇天明、翁義翔、鍾承訓、蕭庭訓、程梅萍。2016。墊料材質對雞糞墊料堆肥化處理之影響。畜產研究 49(3)：230-239。
- Ahn, H. K., T. L. Richard and T. D. Glanville. 2008. Optimum moisture levels for biodegradation of mortality composting envelope materials. *Waste Manag.* 28: 1411-1416.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- 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.
- Bernhart, M., O. O. Fasina, J. Fulton and C. W. Wood. 2010. Compaction of poultry litter. *Bioresour. Technol.* 101: 234-238.
- Bishop, P. L. and C. Godfrey. 1983. Nitrogen variations during sludge composting. *BioCycle* 24: 34-39.
- Chefetz, B., P. G. Hatcher, Y. Hadar and Y. Chen. 1996. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *J. Environ. Qual.* 25: 776-785.
- Cobb Broiler Management Guide. 2013. Accessed Nov. 15, 2013, from <http://www.cobb-vantress.com/products/guidelibrary/general/broiler-management-guide/pdf-downloads-languages>.
- Cronjé, A. L., C. Turner, A. G. Williams, A. J. Barker and S. Guy. 2004. The respiration rate of composting pig manure. *Compost Sci. Util.* 12: 119-129.
- de Bertoldi, F. M., G. Vallini and A. Pera. 1983. The biology of composting: a review. *Waste Manage. Res.* 1: 157-176.
- 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.
- 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.
- Jiang, Y., M. Ju, W. Li, Q. Ren, L. Liu, Y. Chen, Q. Yang, Q. Hou and Y. Liu. 2015. Rapid production of organic fertilizer by dynamic high-temperature aerobic fermentation (DHAF) of food waste. *Bioresour. Technol.* 197: 7-14.
- 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.
- Miller, F. C. 1989. Matric water potential as an ecological determinant in compost, a substrate dense system. *Microb. Ecol.* 18: 59-71.

- 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 ed. National Academy Press, Washington, DC. U.S.A.
- Richard, T. L., H. V. M. Hamelers, A. H. M. Veeken and T. Silva. 2002. Moisture relationships in composting processes. *Compost Sci. Util.* 10: 286-302.
- Richard, T. L., A. H. M. Veeken, V. D. Wilde and H. V. M. Hamelers. 2004. Air-filled porosity and permeability relationships during solid-state fermentation. *Biotechnol. Prog.* 20: 1372-1381.
- 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.
- Said-Pullicino, D., F. G. Erriquens and G. Giovanni. 2007. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresour. Technol.* 98: 1822-1831.
- 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., 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.
- 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.
- Tuomela, M., M. Vikman, A. Hatakka and M. Itavaara. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour. Technol.* 72: 169-183.