

盤固草生物炭或雞糞墊料生物炭對畜禽糞堆肥異味 去除研究⁽¹⁾

王舒愷⁽²⁾⁽⁵⁾ 劉信宏⁽²⁾ 游翠凰⁽²⁾ 鍾承訓⁽³⁾ 李秀蘭⁽⁴⁾

收件日期：110 年 5 月 13 日；接受日期：110 年 8 月 13 日

摘 要

本研究係集合近年以盤固草生物炭 (pangolagrass biochar, PB, 以下簡稱草炭) 或肉雞場雞糞墊料生物炭 (poultry litter biochar, PLB, 以下簡稱墊料炭) 進行的多個試驗, 評估應用生物炭對畜禽糞堆肥化的除臭效果。試驗 1 調查草炭直接覆蓋於雞糞墊料上的氨氣釋出情形, 結果發現氨氣釋出量隨添加草炭的比例增加而降低, 1、2 及 4% 處理組 1 h 的氨氣去除率介於 10.3 – 46.2%, 24 h 的氨氣去除率介於 5.9 – 40.2%。試驗 2 調查草炭及複合型除臭劑 (結合行政院農業委員會畜產試驗所, 以下簡稱畜試所) 自篩之氨氧化菌 (ammonia oxidizing bacteria, AOB) 與草炭) 對雞糞墊料氨氣去除的效果, 在依添加劑含水率調整至與 5% (鮮重比) 草炭相同乾物量下, 二種複合型除臭劑: 草炭+AOB 及草炭粉+AOB 處理的氨氣去除率分別為 52.4% 及 36.0%, 優於草炭及草炭粉之 23.6% 及 20.2%。試驗 3 比較添加不同量墊料炭與草炭對雞場墊料堆肥的影響, 結果發現對照組 (無添加) 的氨氣與三甲胺濃度在全期的總釋出量較高, 顯示生物炭處理能降低堆肥化過程二種異味氣體的散發, 添加量高者的效果較低者略佳, 草炭的去除效果略優於墊料炭。試驗 4 則是以固液分離後豬糞為主材料, 比較添加 5% 草炭對豬糞堆肥的影響, 結果草炭組之氨氣與硫化氫釋出總去除率達 65.0% 及 72.0%, 顯示具減少異味之效。本研究四項試驗結果均顯示, 添加草炭或墊料炭對畜禽糞堆肥異味去除具正向效果, 額外添加相關微生物效果更佳, 可提供畜牧場應用參考。

關鍵詞：盤固草生物炭、雞糞墊料生物炭、畜禽糞堆肥、除臭。

緒 言

生物炭是生物質 (biomass) 在低氧環境下高溫裂解 (pyrolysis) 的固體產物。燒炭的歷史起源極早, 主要為取得能源, 但近年在減緩全球暖化議題的推升下, 相關的研究與應用快速發展, 除能源外也已擴展至環境維護、農業生產等多元化利用 (Lehannes and Joseph, 2009; Windeatt *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2017)。由於生物質中的碳聚合物 (纖維素、半纖維素、木質素等) 在高溫下裂解及縮合會形成各種不同程度的孔洞與官能基, 使生物炭具有多孔性、高比表面積及特殊的吸附能力, 可在污染物質去除及除臭等方面發揮明顯效果 (Agyarko-Mintah *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2017), 同時, 這些孔洞也可作為微生物的居所, 增加施用生物炭土壤的生物豐富度, 以及改善土壤的保水、通氣與團粒結構 (Lehannes and Joseph, 2009)。另外高溫炭化的生物炭結構穩定不易礦化, 估計可以留存百年以上, 具土壤碳匯 (carbon sink) 之效, 可做為減碳措施之一 (Windeatt *et al.*, 2014)。

木材、竹材與各種高碳含量的農業廢棄物 (稻殼、修剪枝、田間殘株、廢墊料、畜禽糞、廢草等) 是生物炭主要的材料來源, 此外, 工業與都市廢棄物如廢紙漿、污泥等, 甚至藻類、廚餘等高含水分的材料都有製作生物炭的紀錄。由於生物炭的應用範圍很廣, 炭化被視為解決廢棄物問題、促進物質循環與增值的手段之一, 因此相關的研究發展在近年也愈來愈多樣 (Oliveria *et al.*, 2017; Kalus *et al.*, 2019)。Tomczyk *et al.* (2020) 的回顧顯示材料種類與炭化溫度是影響生物炭特性的主要因子。炭化的方法可以大致分為慢速熱裂解、快速熱裂解與氣化等, 設施由可以自行組裝的簡易設備到複雜的整廠設備, 操作可以為實驗規模至大量生產規模, 差異極大, 加上各種不同材料種類, 因此產製的生物炭種類繁多, 特性亦均不同。這些特性包括組成、pH 值、陽離子吸附性、灰分、比表面積等, 而不

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2675 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

(4) 行政院農業委員會畜產試驗所產業組。

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

同的特性則會進一步影響生物炭的應用，如動物糞肥生物炭或污泥生物炭的養分含量較高較適宜提供作物生長，其高離子含量有益於無機污染物的去除，而植物性生物炭的高碳含量較能提供碳滙，高比表面積則對有機污染物的去除較有效 (Oliveria *et al.*, 2017)。

過去國內常見的生物炭主要為木炭、竹炭及稻殼炭，近年研究日增，出現如廢菇包炭、果樹修枝炭、菱角殼炭等多種不同類型的生物炭，2020 年林業試驗所集結國內近年的研究編印「臺灣生物炭產製與農業應用指南」，是國內第一本介紹生物炭產製及應用的書籍，惟以農作的應用占多數 (江等, 2020)，尚缺生物炭應用於畜牧場的研究。國產盤固乾草每年都有部分會因為調製過程的天候影響或倉儲條件不佳而無法利用，行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所 (以下簡稱恆春分所) 利用自行開發的炭窯在無外加能源投入的條件下進行炭化，盤固草炭相較於木炭、竹炭，其灰分含量較高，草炭可應用於牧草生產與牧草地土壤改良，也有助於增加牧草地土壤碳滙 (王等, 2018a; 2018b)。

由於現代化集約飼養以及飼養規模擴大，異味是畜牧業經常被抱怨的問題，國內外均有許多研究致力由飼糧調整、畜舍設計、異味去除設備等各個方面減少異味發生 (周等, 2013; 蕭等, 2015; Janni, 2020)，以降低經營阻力。本報告以多個試驗探討生物炭對畜禽糞或其堆肥除臭的效果，期望能增加利用生物炭於畜牧場應用的更多嘗試，促使畜牧產業朝向更減碳與循環的方向邁進。

材料與方法

I. 生物炭

- (i) 草炭：自行生產，原料為盤固草乾草包，以自行設計的炭化窯進行炭化，設計原則參考慢速熱裂解方式 (Brown, 2009)。炭化最高溫度 (highest treatment temperature, HTT) 約 400 – 500°C，炭化時間約 10 h，本設施除可製備草炭外，尚可收集熱裂解過程的揮發氣體冷凝為草醋液。草炭的基本組成與特性如表 1。
- (ii) 墊料炭：恆春分所自行生產，原料購自臺南地區肉雞場，為肉雞育成後之出清廢棄物，內含雞糞、粗糠墊料及少量羽毛，外觀為粗糠與粗細不等團塊物體的混合體，購入時的水分含量為 30% 左右，隨堆置時間加長，水分含量逐漸降低，試驗期間打粒炭化材料的含水率為 15% 左右。原料經打粒為直徑 0.8 cm，長 1 – 1.5 cm 的柱狀顆粒，以上吸式氣化方式炭化 (Brown, 2009)，最高溫度約介於 700 – 800°C 間，炭化時間約 4 h。基本特性列如表 2。

表 1. 盤固草生物炭 (PB) 的組成及特性

Table 1. The compositions and properties of pangolagrass biochar (PB)

	pH	EC	C	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Ash
		mS/cm	----- % -----				----- mg/kg -----				%
Mean	9.6	5.0	64.2	1.7	2.0	3.8	0.2	0.4	15.7	8.7	12.9
Max.	9.9	7.5	73.0	2.3	2.3	4.8	0.3	0.5	20.8	10.8	14.1
Min.	8.7	2.9	54.2	1.0	1.5	2.7	0.1	0.3	10.8	7.5	12.1
CV.(%)	5.4	38.9	20.0	11.3	20.4	19.7	9.3	24.5	14.6	9.0	5.0

CV. (coefficient of variation), n = 13.

EC: Electrical conductivity.

表 2. 雞糞墊料生物炭 (PLB) 的組成及特性

Table 2. The compositions and properties of poultry litter biochar (PLB)

	pH	EC	C	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Ash
		mS/cm	----- % -----				----- mg/kg -----				%
Mean	9.8	12.7	40.4	2.8	7.4	12.5	1.5	2.3	270.5	165.5	50.9
Max.	10.2	14.4	51.3	3.6	10.5	14.9	1.7	2.8	318.8	187.5	55.1
Min.	9.5	11.8	32.9	1.9	2.2	10.6	1.3	1.9	231.3	118.8	45.2
CV.(%)	3.8	11.0	18.4	20.2	49.6	12.9	12.7	15.3	12.3	13.4	8.7

CV. (coefficient of variation), n = 6.

EC: Electrical conductivity.

- (iii) 生物炭特性分析：包括 pH 值、電導度 (electrical conductivity, EC) 及組成含量 (碳、氮、磷、鉀、鈣、鎂、銅、鋅及灰分)。pH 及 EC 為草炭 / 蒸餾水 (1/1) 萃取後之測值。碳以總碳分析儀測定 (Analytik Jena Multi EA 4000)。氮、磷、鉀、鈣、鎂、銅、鋅等元素分析是利用濃硫酸及 H_2O_2 ，於 $400^\circ C$ 高溫分解至澄清，稀釋定量後保存於冰箱中，再分別經凱式氮測定儀測定總氮，磷以鉬藍法呈色後以分光光度計測定，鉀、鈣、鎂、銅、鋅則以原子光譜儀測定 (Enders and Lehmann, 2012)。灰分為 $600^\circ C$ 下 6 h 的殘存重量比。

II. 草炭與複合型除臭雛型劑對雞糞墊料氨氣釋出的影響

- (i) 草炭添加量評估 (試驗 1)：試驗分為 1 對照組與 3 處理組，處理組分別為添加鮮重比 1%、2% 或 4% 之草炭，每處理採 3 重複，每組使用 1.2 kg 之白肉雞雞糞墊料，草炭直接添加於雞糞墊料上方做覆蓋處理，待草炭覆蓋後立即罩上壓克力採氣罩 ($L \times W \times D$, $30 \times 30 \times 60$ cm)，於 1 及 24 h 後採用氣體檢知器 (GV-100S, Gastec, Japan) 及北川式氨氣體檢知管 (No.105SC 及 No.105SD, KITAGAWA, Japan) 檢測罩內氨氣濃度 (圖 1)。對照組不施草炭，設置方式與氨氣檢測方式與試驗組相同，由試驗組及對照組之氨氣釋出差值計算氨氣去除率。去除率 $\% = (\text{對照組氨氣濃度} - \text{草炭組氨氣濃度}) \times 100 / (\text{對照組氨氣濃度})$ 。



圖 1. 草炭對雞糞墊料揮發性氨氣吸收試驗設置情形。左邊為採氣罩設置完成的處理現場，右邊為草炭覆蓋於雞糞墊料上的近照。

Fig. 1. The situation of experiment setting with applying PB for the absorption of volatile ammonia from chicken manure. Left: Set-up experiment site. Right: A close photo of PB covering on the top of chicken manure.

- (ii) 複合型除臭雛型劑製作：先將畜試所經營組自行篩選之氨氧化菌 (ammonia oxidizing bacteria, AOB) 置於專用培養基中活化增殖 ($10^5 - 10^6$ cfu/mL)，再加入草炭或草炭粉 (經磨碎成粉末，顆粒 < 1 mm) 進行共培養三週 (菌液：草炭 = 1：5 (體積比)，常溫好氣靜置培養)，製成二種除臭雛型劑，於下列試驗中進行氨氣去除效果評估。
- (iii) 氨氣去除效果評估 (試驗 2)：依添加量評估試驗的基準於實驗室採瓶杯試驗 (Jar test) 評估，使用 500 mL 錐形瓶作為氨氣量測瓶，每瓶含 20 g 雞糞墊料 (含水率 33.4%)，分為 5 種處理：對照組 (不添加)、草炭組、草炭粉組、草炭 + AOB 組及草炭粉 + AOB 組，每處理 4 重複。共進行二次試驗。第一次各處理組添加量皆採鮮重比 4%。由於添加的草炭 (粉) 與複合型除臭雛型劑的含水率差異大 (草炭及草炭粉含水率分別為 11.0% 及 7.7%，而草炭及草炭粉雛型除臭劑含水率則分別為 63.0% 及 38.4%)，第二次試驗時依含水率調整添加量使各組添加的生物炭乾物量相近，各組實際添加量為草炭組 (1 g)、草炭粉組 (1 g)、草炭 + AOB 組 (2.4 g) 及草炭粉 + AOB 組 (1.5 g)。各試驗處理置入雞糞墊料與添加物後充分混勻，再以石臘膜封住瓶口，於 $26^\circ C$ 下放置 24 h 後，使用北川氏氨氣體檢知管檢測瓶內氨氣濃度。由試驗組及對照組之氨氣釋出差值計算氨氣去除率。去除率計算同前。

III. 草炭與墊料炭添加對雞糞墊料堆肥化的影響 (試驗 3)

- (i) 試驗分組設計：草炭處理組共三種添加量，分別為添加鮮重比 0.5%、1% 及 2% (PB 0.5%、PB 1% 及 PB 2%)；墊料炭組為添加 0.5% 及 1% 二種處理組 (PLB 0.5% 及 PLB 1%)，對照組 (Control) 不添加生物炭，為有肉雞雞糞墊料。
- (ii) 堆肥處理：所有試驗組別雞糞墊料於堆置前各別磅重並記錄總重 (每組雞糞墊料重量約 540 kg)，並依各組試驗設計之添加量加入生物炭後混合均勻，再調整各組含水率約達到 60% 後，送入箱型式堆肥舍 ($L \times W \times D$, $2 \times 1 \times 0.6$ m) 進行 42 天靜態堆置堆肥化處理，並於堆肥化處理期間第 7、13、18、25 及 33 天進行翻堆。
- (iii) 發酵溫度測定：各處理組堆肥的中心點配置探針式溫度計，於每日上午及下午分別記錄各組中心發酵溫

度。

- (iv) 氨氣及三甲胺氣體濃度測定：採北川式氨氣體檢知管 (No.105SC 及 No.105SD, KITAGAWA, Japan) 及三甲胺氣體檢知管 (No. 105SE, KITAGAWA, Japan)，進行氣體濃度測定。

IV. 草炭添加對豬糞堆肥異味釋出的影響 (試驗 4)

- (i) 堆肥處理：以畜試所高雄種畜繁殖場之固液分離後豬糞為主要材料，進行試驗規模之堆肥試驗，每一處理約 100 kg 材料，堆置於鐵網圍成的直徑 38 cm 高度 1.2 m 直筒中，以靜置方式進行堆肥化。堆肥材料除豬糞外混入鮮重比 5% (w/w) 之細切盤固乾草以調整材料之含水率至 67% 左右。堆肥處理分為對照組 (CK，不含草炭) 及草炭組 (PB，含 5% (w/w) 草炭) 二組，每組二重複。堆置一個月。
- (ii) 發酵溫度測定：各處理組堆肥的中心點配置熱電偶記錄器 (HOBO® 4-channel thermocouple logger)，每 10 分鐘自動記錄發酵期間的溫度變化。
- (iii) 氣體檢測：利用攜帶式氣體偵測儀 (BW/GASALERT MICRO 5 PID, Mexico) 直接測定堆肥上端二氧化硫、硫化氫、氨氣及氧氣濃度。每週測三次。

結果與討論

I. 草炭對雞糞墊料氨氣釋出影響

(i) 炭直接覆蓋試驗 (試驗 1)

表 3 結果為利用草炭直接覆蓋於肉雞糞墊料上的氨氣釋出情形，氨氣釋出量隨添加草炭的比例增加而降低，1 h 的氨氣去除率介於 10.3 – 46.2% 之間，24 h 的氨氣去除率介於 5.9 – 40.2% 之間，顯示草炭有降低雞糞墊料氨氣釋出的效果。Ritz *et al.* (2011) 仿照雞糞改良劑 (litter amendments) 的施用方式，改以生物炭處理於商業飼養雞舍，結果發現二種酸化處理的生物炭 (pH 2.0) 能降低氨氣揮發且具劑量效果，而花生殼炭 (pH 9.2) 對氨氣釋出的效果與對照無異，表示低 pH 應是影響關鍵。黃 (2018) 探討相同炭化條件下多種農業廢棄物生物炭特性與吸附水中氨氮之關聯性。結果顯示，生物炭對氨氮吸附量範圍為 0.5 – 2.2 mg/g，而其中以銀合歡吸附效果最好 (2.15 mg/g)，菱角殼次之 (1.94 mg/g)，椰殼纖維吸附能力最差 (0.53 mg/g)。Ro *et al.* (2015) 的研究顯示不同種類生物炭對氨氣的吸附能力在 0.15 – 1.59 mg N/g 間，與黃 (2018) 以水中氨氮吸附之研究結果近似，並表示生物炭對氨氣的吸附能力與其比表面積的大小關係不大，而經磷酸化活化過程可以大幅增加生物炭對氨氣的吸附能力，顯示可能與其表面酸性含氧官能基團 (acidic oxygen surface groups) 增加有關。Liang *et al.* (2016) 則表示包括炭對氨的吸附與其理化結構及組成特性有關，施用的 pH、生物炭劑量、粒徑的大小、氨的濃度均會影響，另外生物炭經過改造活化可以增強其吸附效能。

表 3. 不同草炭添加量對雞糞墊料氨氣釋出的影響 (試驗 1)

Table 3. Effect of PB on removal of volatile ammonia from chicken manure (experiment 1)

Duration	Treatment*	Ammonia	Removal rate
		ppm	%
1 hr	Control	130.0 ± 4.1	
	PB, 1%	116.7 ± 6.2	10.3
	PB, 2%	98.3 ± 8.5	24.4
	PB, 4%	70.0 ± 0.0	46.2
24 hr	Control	170.0 ± 4.1	
	PB, 1%	160.0 ± 4.1	5.9
	PB, 2%	133.3 ± 4.7	21.6
	PB, 4%	101.7 ± 6.2	40.2

* PB: pangolagrass biochar.

(ii) 炭與氨氧化菌的效果 (試驗 2)

表 4 為以畜試所自篩氨氧化菌與草炭 / 草炭粉製作雛型除臭添加劑的第一次氨氣去除試驗結果，草炭與雛型除臭劑的氨氣去除效果相近，未顯出添加分解微生物的加乘效果。考量草炭 / 草炭粉與雛型除臭劑

間的含水率差異，調整為相同乾物基礎的添加量再進行第二次試驗，結果見表 5，雛型除臭劑的效果明顯較前試驗顯現，草炭 +AOB 及草炭粉 +AOB 處理的氨氣去除率分別為 52.4% 及 36.0%，優於草炭及草炭粉 (23.6% 及 20.2%) 的結果。Zhang *et al.* (2020) 的研究同樣發現添加分解微生物有增加玉米桿生物炭降低蛋雞糞堆肥氨氣的效果。

表 4. 添加 4% 不同除臭劑型對雞糞墊料氨氣釋出的影響 (試驗 2)

Table 4. Effect of adding 4% PB, PB powder and different prototype odorant on removal of volatile ammonia from chicken manure (experiment 2)

Duration	Treatment*	Ammonia	Removal rate
		ppm	%
1 hr	Control	245.0 ± 7.1	
	PB, 4%	196.3 ± 22.1	19.9
	PB powder, 4%	205.0 ± 5.8	16.3
	PB with AOB, 4%	192.5 ± 5.5	21.4
	PB powder with AOB, 4%	195.0 ± 5.8	20.4
24 hr	Control	103.8 ± 7.5	
	PB, 4%	88.8 ± 6.3	14.5
	PB powder, 4%	98.8 ± 2.5	4.8
	PB with AOB, 4%	82.5 ± 8.7	20.5
	PB powder with AOB, 4%	91.3 ± 6.3	12.1

* PB: pangolagrass biochar; AOB: ammonia oxidizing bacteria.

表 5. 調整至相同生物炭乾物量下，不同除臭劑型處理 24 h 對雞糞墊料氨氣釋出的影響 (試驗 2)

Table 5. Effect of adding different odorants on the removal of volatile ammonia from chicken manure in 24 hours period. The addition was adjusted based on the same dry weight of biochar (experiment 2)

Treatment*	Ammonia	Removal rate
	ppm	%
Control	111.3 ± 7.5	
PB, 4%	85.0 ± 4.1	23.6
PB powder, 4%	88.8 ± 11.1	20.2
PB with AOB, 4%	53.0 ± 3.6	52.4
PB powder with AOB, 4%	71.3 ± 7.5	36.0

* PB: pangolagrass biochar; AOB: ammonia oxidizing bacteria.

II. 添加生物炭對畜禽糞堆肥化的影響

(i) 添加生物炭於雞糞墊料的堆肥試驗 (試驗 3)

本試驗利用 0.5 – 2% 的草炭或 0.5 – 1% 的墊料炭添加於雞糞墊料中進行堆肥化，可以發現堆肥會在翻堆之後快速升溫，生物炭處理組在堆肥化初期的升溫反應較對照組高，持續四週後，對照組翻堆後的升溫反而較生物炭處理組較高 (圖 2)，顯示添加生物炭處理組的初期有機質分解反應較對照組活躍。由圖 3 及圖 4 發現對照組的氨氣與三甲胺濃度在堆肥化初期 (2 週) 較低，但之後二種氣體的釋出增高，全期的總釋出量也較高，顯示生物炭處理能降低堆肥化過程的氨氣與三甲胺散發，添加量高者的效果較低者略佳，草炭的吸附力略優於墊料炭。

(ii) 添加草炭於固液分離後豬糞的堆肥試驗 (試驗 4)

圖 5 為固液分離豬糞堆肥化第一個月的溫度變化，由開始堆置至 1 週，草炭處理組即出現明顯溫度上升，2 天時達最高溫 69.1℃，之後逐漸降至 50℃ 左右；對照組則在升溫至 50℃ 左右後一直維持，持續 1 週。之後二組溫度即逐漸降至與環境溫度相近。顯示草炭添加可以促進堆肥化升溫，可能與草炭增加堆肥材料的通氣性有關。氣體方面，草炭組之氨氣與硫化氫釋出均較對照組低 (圖 6)，草炭處理組各別氨氣去

除率介於 37 – 79% 之間，堆置一個月的總氨氣去除率為 65%；各別硫化氫去除率介於 40 – 87% 之間，總去除率為 72%，顯示添加草炭具減少豬糞堆肥化過程氨氣與硫化氫釋出之效果。

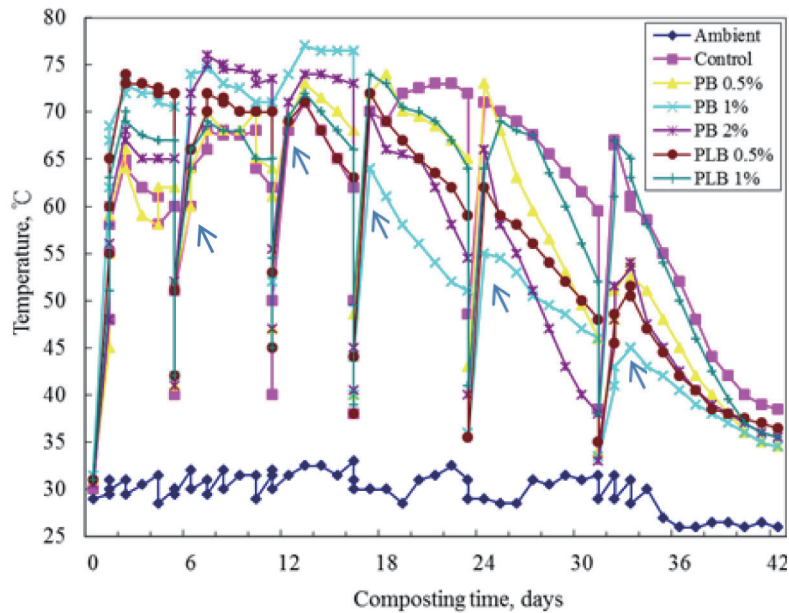


圖 2. 雞糞墊料堆肥化期間溫度變化圖。Control：無添加對照、PB 0.5%：0.5% 草炭添加、PB 1%：1% 草炭添加、PB 2%：2% 草炭添加、PLB 0.5%：0.5% 墊料炭添加、PLB 1%：1% 墊料炭添加。箭頭表示於第 7、13、18、25 及 33 日進行翻堆。(試驗 3)

Fig. 2. Temperature variations of different broiler litter composts treatments. Control: no additive, PB 0.5%: 0.5% pangolagrass biochar added, PB 1%: 1% pangolagrass biochar added, PB 2%: 2% pangolagrass biochar added, PLB 0.5%: 0.5% poultry litter biochar added, PLB 1%: 1% poultry litter biochar added. Arrows indicate the turning over on the 7th, 13th, 18th, 25th and 33rd day. (experiment 3)

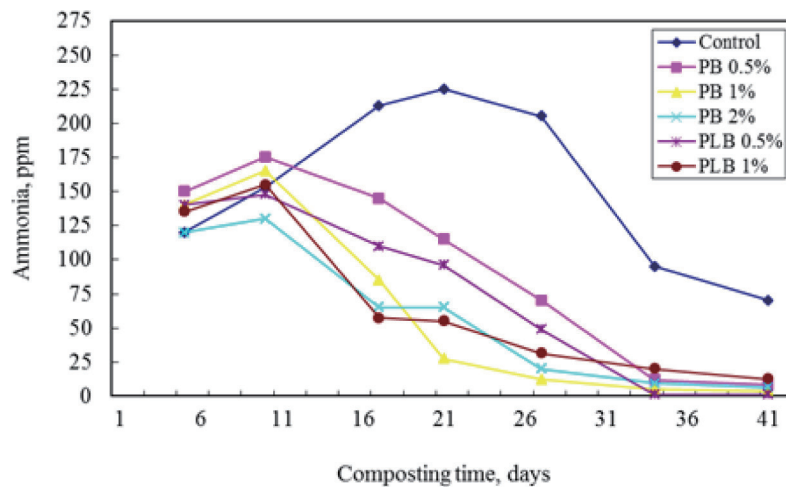


圖 3. 雞糞墊料堆肥化期間氨氣濃度變化圖。Control：無添加對照、PB 0.5%：0.5% 草炭添加、PB 1%：1% 草炭添加、PB 2%：2% 草炭添加、PLB 0.5%：0.5% 墊料炭添加、PLB 1%：1% 墊料炭添加。(試驗 3)

Fig. 3. Volatile ammonia content variations of different broiler litter composts treatments. Control: no additive, PB 0.5%: 0.5% pangolagrass biochar added, PB 1%: 1% pangolagrass biochar added, PB 2%: 2% pangolagrass biochar added, PLB 0.5%: 0.5% poultry litter biochar added, PLB 1%: 1% poultry litter biochar added. (experiment 3)

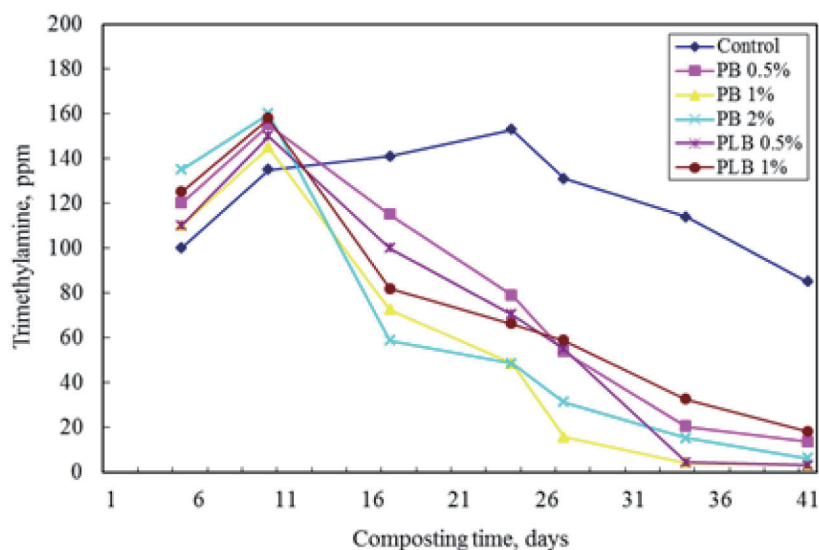


圖 4. 雞糞墊料堆肥化期間三甲胺濃度變化圖。Control：無添加對照、PB 0.5%：0.5% 草炭添加、PB 1%：1% 草炭添加、PB 2%：2% 草炭添加、PLB 0.5%：0.5% 墊料炭添加、PLB 1%：1% 墊料炭添加。(試驗 3)

Fig. 4. Trimethylamine content variations of different broiler litter composts treatments. Control: no additive, PB 0.5%: 0.5% pangolagrass biochar added, PB 1%: 1% pangolagrass biochar added, PB 2%: 2% pangolagrass biochar added, PLB 0.5%: 0.5% poultry litter biochar added, PLB 1%: 1% poultry litter biochar added. (experiment 3)

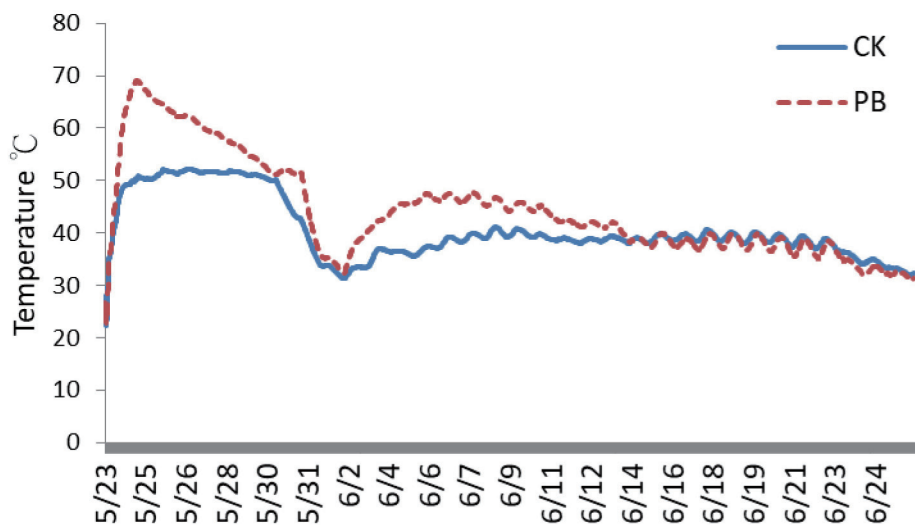


圖 5. 固液分離後豬糞堆肥化過程之溫度變化。CK：對照、PB：5% 草炭添加。(試驗 4)

Fig. 5. Temperature variations of solid-liquid separated pig manure composting. CK: control, PB: added 5% pangolagrass biochar. (experiment 4)

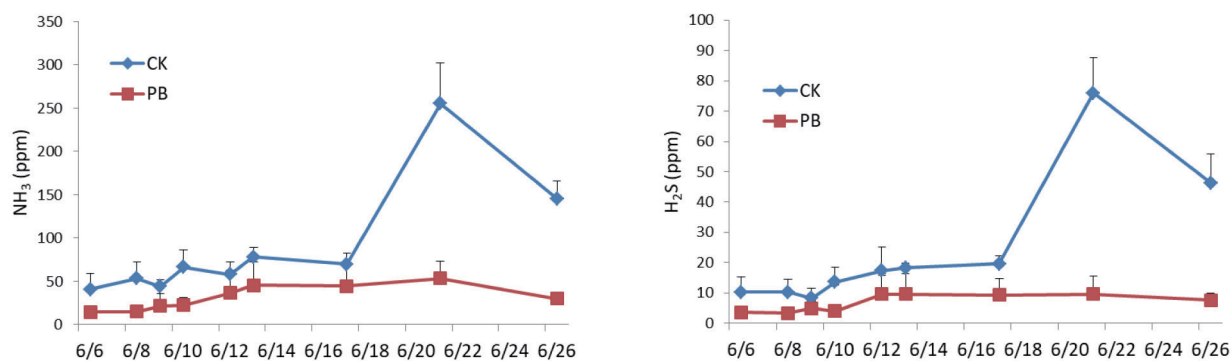


圖 6. 固液分離豬糞堆肥化過程之氨氣與硫化氫釋放。CK：對照、PB：5% 草炭添加。(試驗 4)

Fig. 6. Variation of the released ammonia and hydrogen sulfide contents in solid-liquid separated pig manure composting. CK: control, PB: added 5% pangolagrass biochar. (experiment 4)

Agyarko-Minta *et al.* (2017) 利用 12% 的庭園廢棄物 (green waste) 生物炭或雞場墊料生物炭與墊料雞糞一起進行堆肥化 (co-composting)，發現二種生物炭處理可較對照 (無添加) 減少氨氣釋出 60% 及 55%，並增加堆肥中保存的氮含量。伴隨著較低濃度的可溶有機碳及較高的 β -葡萄糖苷酶 (β -glucosidase) 與白胺酸胺肽酶 (leucine-aminopeptidase) 活性，Agyarko-Minta *et al.* (2017) 推測庭園生物炭處理組較低的氨氣釋出除與其具高表面積外，也可能與較高的微生物活性有關。Janczak *et al.* (2017) 的試驗結果同樣發現，以 5% 及 10% 木質生物炭處理雞糞堆肥可以減少氨氣釋放 30% 及 44%。Duan *et al.* (2019) 的豬糞堆肥試驗顯示，生物炭與微生物菌群共同處理的效果較生物炭單獨處理更佳。Akdeniz (2019) 的研究回顧則分別說明生物炭對畜禽糞堆肥的各項影響，多數的研究報告顯示生物炭具有改善堆肥化過程的效果，如延長堆肥過程的高溫階段，降低堆肥材料的 pH，防止滲濾液形成，並減少氨、甲烷和氧化亞氮的排放等。此外，添加生物炭尚有降低畜禽糞堆肥內銅、鋅移動性的效果，可減少後續施用於土壤易發生重金屬累積的風險。Chen *et al.* (2010) 的試驗顯示，添加 9% 竹炭可以顯著較對照組豬糞堆肥降低銅及鋅移動性達 35% 及 39%。

Kalus *et al.* (2019) 的回顧列出許多不同生物炭的炭化條件與其特性間的關聯，如生物炭的碳含量會隨裂解溫度升高而提高，但製成率會降低，比表面積通常在高溫炭化下較高，可能與高溫下碳的縮合石墨化有關，糞肥炭化的碳含量低，灰分含量高。本研究中華炭與墊料炭的組成分析 (表 1 及表 2) 也大致與文獻結果相似 (Cantrell *et al.*, 2012; Sadaka *et al.*, 2014)。

除草炭外，畜試所尚有牛糞 (鄭等, 2014)、羊糞 (恆春分所未發表資料) 及肉雞廢墊料曾有炭化的嘗試，唯目前僅有草炭達試量產階段，其餘均為實驗規模。牧草炭窯是依牧草特性設計，採用適當技術 (appropriate technology) 原則，具經濟、規模彈性與方便操作性，可以簡單地生產平價的盤固草炭及炭醃液。依初步的試驗結果，草炭具備相當的畜牧場應用潛力。結合炭化技術與畜牧廢物處理具有多種好處，包括廢棄物減量、減少污染、加值利用以及降低溫效氣體排放等，值得持續進階研究與應用。

結 論

本研究發現草炭對氨氣具吸附能力，添加草炭或墊料炭明顯降低堆肥過程之氨氣、三甲胺、硫化氫等異味氣體之釋出，四項試驗結果均顯示，添加草炭或墊料炭對畜禽糞堆肥異味去除具正向效果，額外添加相關微生物效果更佳，可提供畜牧場應用參考。

參考文獻

- 王紓愍、劉信宏、游翠鳳、陳嘉昇。2018a。盤固草生物炭的特性研究與對牧草生長的影響。畜產研究 51：209-216。
- 王紓愍、劉信宏、游翠鳳、盧啟信、陳嘉昇。2018b。牧草生物炭研究 II：盤固草生物炭的分解與碳固定效應研究。中國畜牧學會會誌 47：123-134。
- 江汶錦、吳有恒、吳羽婷、吳耿東、李宜映、林文風、林裕仁、邱祈榮、倪禮豐、徐英綺、張敬宜、張廖伯勤、梁瑩如、陳韋辰、陳綺玲、陳鴻堂、黃文益、楊爵因、劉俊宏、蔡正賢、鄭美如、龍暉、薛佑光、簡士豪。2020。臺灣生物炭產製與農業應用指南。行政院農業委員會林業試驗所、臺灣農業科技資源運籌管理學會，臺北市。
- 周明顯、張筱瑜、李尚娟。2013。畜牧場及堆肥場臭味控制技術手冊。國立中山大學，高雄市。
- 黃懋宸。2018。生物炭特性與吸附水中氨氮能力關聯性之研究。國立交通大學環境工程研究所，碩士論文，新竹市。
- 鄭閔謙、蘇天明、蕭庭訓、蕭宗法、劉主欣、程梅萍。2014。牛糞固形物產製活性碳之評估。畜產研究 47：205-212。
- 蕭庭訓、蘇天明、陳水財、黃裕益、李超陽、程梅萍。2015。滴濾設施去除密閉式豬舍逸散之粉塵、氨氣及異味。畜產研究 48：36-44。
- Agyarko-Mintah, E., A. Cowie, L. Van Zwieten, B. P. Singh, R. Smillie, S. Harden, and F. Fornasier. 2017. Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting. Waste Manage. 61: 129-137.
- Akdeniz, N. 2019. A systematic review of biochar use in animal waste composting. Waste Manage. 88: 291-300.
- Brown, R. 2009. Biochar production technology. Biochar for environmental management: science and technology. MPG

- Books, pp. 127-146. UK.
- Cantrell, K. B., P. G. Hunt, M. Uchimiya, J. M. Novak, and K. S. Ro. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresour. Technol.* 107: 419-428.
- Chen, Y. X., X. D. Huang, Z. Y. Han, X. Huang, B. Hu, D. Z. Shi, and W. X. Wu. 2010. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere* 78: 1177-1181.
- Duan, Y., S. K. Awasthi, T. Liua, and Z. Zhang. 2019. Evaluation of integrated biochar with bacterial consortium on gaseous emissions mitigation and nutrients sequestration during pig manure composting. *Bioresour. Technol.* 291: 121880.
- Enders, A. and J. Lehmann. 2012. Comparison of wet-digestion and dry-ashing methods for total elemental analysis of biochar. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43: 1042-1052.
- Janczak, D., K. Malin'ska, W. Czekala, R. Cáceres, A. Lewicki, and J. Dach. 2017. Biochar to reduce ammonia emissions in gaseous and liquid phase during composting of poultry manure with wheat straw. *Waste Manage.* 66: 36-45.
- Janni, K. 2020. Reflections on odor management for animal feeding operations. *Atmosphere* 11: 453.
- Kalus, K., J. A. Koziel, and S. Opaliński. 2019. A review of biochar properties and their utilization in crop agriculture and livestock production. *Appl. Sci.* 9: 3494.
- Lehannes, J. and S. Joseph. 2009. *Biochar for environmental management: science and technology*. MPG Books, UK.
- Liang, P., H. Yu, J. Huang, Y. Zhang, and H. Cao. 2016. The review on adsorption and removing ammonia nitrogen with biochar on its mechanism. *MATEC Web Conf.* 67: 07006.
- Oliveira, F. R., A. K. Patel, D. P. Jaisi, S. Adhikari, H. Lu, and S. K. Khanal. 2017. Environmental application of biochar: Current status, and perspectives. *Bioresour. Technol.* 246: 110-122.
- Ritz, C. W., A. S. Tasistro, D. E. Kissel, and B. D. Fairchild. 2011. Evaluation of surface-applied char on the reduction of ammonia volatilization from broiler litter. *J. Appl. Poult. Res.* 20: 240-245.
- Ro, K. S., I. M. Lima, G. B. Reddy, M. A. Jackson, and B. Gao. 2015. Removing gaseous NH₃ using biochar as an adsorbent. *Agriculture* 5: 991-1002.
- Sadaka, S. M. A. Sharara, A. Ashworth, P. Keyser, and F. Allen. 2014. Characterization of Biochar from Switchgrass Carbonization. *Energies* 7: 548-567.
- Tomczyk, A., Z. Sokołowska, and P. Boguta. 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 19: 191-215.
- Windeatt, J. H., A. B. Ross, P. T. Williams, P. M. Forster, M. A. Nahil, and S. Singh. 2014. Characteristics of biochars from crop residues: Potential for carbon sequestration and soil amendment. *J. Environ. Manage.* 146: 189-197.
- Zhang, H., J. N. Marchant-Forde, X. Zhang, and Y. Wang. 2020. Effect of cornstalk biochar immobilized bacteria on ammonia reduction in laying hen manure composting. *Molecules* 25: 1560.

Study on the odor removal of livestock manure compost by pangolagrass biochar or poultry litter biochar ⁽¹⁾

Shu-Min Wang ^{(2) (5)} Hsin-Hung Liu ⁽²⁾ Tsui-Huang Yu ⁽²⁾ Cheng-Hsun Chung ⁽³⁾ and Hsiu-Lan Lee ⁽⁴⁾

Received: May 13, 2021; Accepted: Aug. 13, 2021

Abstract

This report has collected several experiments conducted in recent years to evaluate the effect of pangolagrass biochar (PB) or poultry litter biochar (PLB) on the odor removal of livestock manure compost. The first experiment was to investigate the effect of covering PB on the release of ammonia from broiler manure. Results showed that the released amount of ammonia decreased with the increased proportion of PB added. The ammonia removal rate in 1 hour was between 10.3 - 46.2%, and the ammonia removal rate in 24 hours was between 5.9 - 40.2%. The second experiment aimed to evaluate the ammonia removal rate of the prototype deodorants which combined PB/PB powder with ammonia oxidizing bacteria (AOB, strains selected by the Livestock Research Institute). The addition was adjusted based on the same dry matter base, the ammonia removal rate of the deodorant treatments, PB+AOB and PB powder+AOB, were 52.4% and 36%, respectively, which performed better than the 23.6% and 20.2% of PB and PB powder. The third experiment aimed to evaluate the effect of PB on ammonia removal from broiler litter compost. The results showed that the total amounts of ammonia and trimethylamine released in the control (without addition) during the entire compost period were higher than those of PB and PLB treatments, indicating that the biochar treatments could reduce the odor emission during the composting process. The effect of odor removal increased with increased addition of biochar. The odor removals of PB treatments were slightly better than those of PLB treatments. The forth experiment aimed to evaluate the effect of PB on the odor removal of solid-liquid separated pig manure compost. Results showed that the total removal rate of ammonia and hydrogen sulfide of PB treatment reached 65% and 72%, respectively. All results in this study showed that adding PB and PLB had a positive effect on the odor removal, which could be used as a reference for livestock farm applications.

Key words: Pangolagrass biochar, Poultry litter biochar, Livestock manure compost, Odor removal.

(1) Contribution No. 2675 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 94644, Taiwan, R. O. C.

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

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

(5) Corresponding author, E-mail: smwang@mail.tlri.gov.tw.