

XỬ LÝ CHẤT THẢI CHĂN NUÔI CÔNG NGHIỆP: MỘT GIẢI PHÁP TỪ THAN SINH HỌC

Nguyễn Văn Thao¹, Đặng Thị Lệ¹, Hoàng Quốc Việt¹,
Nguyễn Xuân Hòa¹, Cao Việt Hà¹, Phạm Văn Cường^{2*}

¹Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

²Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

*Tác giả liên hệ: pvcuong@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 22.07.2025

Ngày chấp nhận đăng: 20.01.2026

TÓM TẮT

Nghiên cứu đánh giá hiệu quả sử dụng than sinh học trong xử lý chất thải chăn nuôi công nghiệp (bò, gà, lợn) với các tỷ lệ phối trộn khác nhau (v/v). Thí nghiệm được bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên (CRD) với 3 lần lặp lại. Kết quả cho thấy, phối trộn than sinh học giúp đồng ù duy trì nhiệt độ cao trên 50°C từ ngày thứ 6 sau ủ và kéo dài liên tục 8-12 ngày. Cùng tỷ lệ phối trộn than sinh học, phân gà có nhiệt độ đồng ù cao hơn phân bò, phân lợn và công thức đối chứng không phối trộn. Với chất thải chăn nuôi gà công nghiệp, tỷ lệ phối trộn $\geq 10\%$ than sinh học, sau 45 ngày ủ, sản phẩm tạo thành có tỷ lệ C/N < 12; các yếu tố hạn chế (As, Pb, Cd, Hg, *E. coli*, *Salmonella*) nằm trong giới hạn cho phép; hàm lượng đạm tổng số (1,85-2,10%), lân hữu hiệu (1,45-1,63%), kali hữu hiệu (1,88-2,24%) cao hơn đối chứng; chi phí 1kg phân thành phẩm là 1.183 VNĐ. Sau ủ 45 ngày, với chất thải chăn nuôi bò, lợn công nghiệp, tỷ lệ phối trộn $\geq 20\%$ than sinh học cho ra sản phẩm có tỷ lệ C/N ≤ 12 ; hàm lượng chất hữu cơ, đạm tổng số, lân hữu hiệu, kali hữu hiệu cao hơn đối chứng; chi phí 1kg phân thành phẩm lần lượt là 1.206 VNĐ và 1.252 VNĐ; kim loại nặng, vi sinh vật gây hại đáp ứng quy định của Bộ NN&PTNT (2019).

Từ khóa: Phân hữu cơ, tỷ lệ trộn, ủ hảo khí, chi phí sản xuất.

Industrial Livestock Waste Treatment: A Solution from Biochar

ABSTRACT

This study evaluated the efficacy of biochar application in treating industrial livestock wastes, including cattle, poultry, and swine manure, at different mixing ratios (v/v). The experiment was designed using a completely randomized design (CRD) with 3 replications. The results indicated that biochar amendment facilitated the maintenance of thermophilic temperatures above 50°C starting from the sixth day of composting, with a duration sustained for 8-12 days. At an equivalent mixing ratio, poultry manure treatments exhibited significantly higher pile temperatures compared to cattle and swine manure, as well as the non-biochar control. Regarding industrial poultry manure, a biochar mixing rate of $\geq 10\%$ after 45 days of composting yielded a final product characterised by a C/N ratio < 12, with limiting factors such as heavy metals (As, Pb, Cd, Hg) and pathogenic microorganisms (*E. coli*, *Salmonella*) remaining within permissible safety limits. Furthermore, this treatment enhanced the nutrient profile, achieving total nitrogen (1.85-2.10%), available phosphorus (1.45-1.63%), and available potassium (1.88-2.24%) contents superior to the control, with a calculated production cost of 1,183 VND/kg. For industrial cattle and swine manure, a biochar mixing rate of $\geq 20\%$ after 45 days resulted in finished composts with a C/N ratio of ≤ 12 and higher concentrations of organic matter, total nitrogen, available phosphorus, and available potassium compared to the control. The production costs for these treatments were 1,206 VND/kg and 1,252 VND/kg, respectively, while all heavy metal and harmful microorganisms meet the regulations of the Ministry of Agriculture and Rural Development (2019).

Keywords: Organic fertilizer, mixing ratios, aerobic compost, production costs.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo Báo cáo công tác bảo vệ môi trường ngành nông nghiệp, mỗi năm Việt Nam phát

sinh trên 60 triệu tấn chất thải rắn chưa được xử lý. Trong đó, trên 50% lượng chất thải rắn từ trâu, bò, gia cầm và khoảng 28% chất thải từ chăn nuôi lợn vẫn chưa được xử lý đúng cách

(Bộ NN&PTNT, 2023). Sự gia tăng nhanh chóng của chăn nuôi công nghiệp cùng với việc sử dụng chủ yếu thức ăn công nghiệp và ít hoặc không sử dụng chất độn chuồng đã làm phát sinh lượng chất thải lớn, có hàm lượng dinh dưỡng cao nhưng nghèo chất hữu cơ, gây mùi hôi nặng và khó xử lý hơn so với chất thải chăn nuôi truyền thống. Nếu không có biện pháp xử lý phù hợp, nguồn chất thải này sẽ trở thành nguyên nhân gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe cộng đồng và an sinh xã hội.

Trong những năm gần đây, than sinh học (biochar) được xem là vật liệu tiềm năng trong xử lý và tái chế chất thải chăn nuôi. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng việc phối trộn than sinh học vào nguyên liệu ủ có thể rút ngắn thời gian phân hủy, tăng cường hoạt động của vi sinh vật có lợi (Vandecasteele & cs., 2016; Awasthi & cs., 2020), đồng thời cân bằng tỷ lệ C/N, tăng độ tơi xốp và hạn chế thất thoát dinh dưỡng trong quá trình ủ (Zhang & cs., 2014; Mahapatra & cs., 2022). Một số phụ phẩm nông nghiệp khác như thân cây ngô (Bello & cs., 2020), thân lúa mì (Sun & cs., 2024), bã mía (Lu & cs., 2024) cũng được sử dụng với mục đích tương tự. Tuy nhiên, việc ứng dụng các nguồn nguyên liệu này vào sản xuất phân hữu cơ gặp khó khăn do tính thời vụ, khó bảo quản và chi phí vận chuyển lớn. Tại Việt Nam, một số nhà máy hiện đang sử dụng trấu, mùn cưa, gỗ tạp để đốt yếm khí ở nhiệt độ 300-350°C, vừa tạo ra nhiệt năng vừa sinh ra than sinh học có hàm lượng cacbon tổng số cao nhưng hàm lượng đạm thấp. Trong khi đó, chất thải chăn nuôi công nghiệp không chất độn lại chứa hàm lượng cacbon thấp và đạm cao. Do vậy, phối trộn hai nguồn nguyên liệu này không chỉ cân bằng tỷ lệ C/N và nâng cao khả năng giữ dinh dưỡng trong quá trình ủ (Jindo & cs., 2016; Mahapatra & cs., 2022) mà còn giảm thiểu ô nhiễm môi trường cho ngành dệt nhuộm, đồng thời mở ra hướng đi mới cho xử lý chất thải chăn nuôi công nghiệp; hướng tới mô hình kinh tế tuần hoàn nông nghiệp - công nghiệp bền vững.

Nghiên cứu trước của Nguyễn Văn Thao & cs. (2025) đã chứng minh rằng, với hỗn hợp 10% than sinh học và 90% chất thải chăn nuôi công nghiệp không chất độn (theo thể tích) nên áp dụng quá trình ủ hiếu khí. Điều kiện xử lý hiếu khí giúp tăng hàm lượng dinh dưỡng, rút ngắn thời gian xử lý và sản phẩm phân hữu cơ đạt tiêu chuẩn theo QCVN 01-189:2019. Tuy nhiên, khoảng trống nghiên cứu cần bổ sung là chưa có nhiều dữ liệu về ảnh hưởng của các tỷ lệ phối trộn khác giữa than sinh học (phụ phẩm công nghiệp lò hơi) và chất thải chăn nuôi công nghiệp (không chất độn) đến tốc độ phân hủy và chất lượng phân bón sau ủ.

Xuất phát từ thực tiễn và khoảng trống nêu trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của các tỷ lệ phối trộn than sinh học khác nhau trong quá trình ủ hiếu khí chất thải chăn nuôi công nghiệp không chất độn, qua đó xác định tỷ lệ tối ưu giúp rút ngắn thời gian ủ, nâng cao chất lượng sản phẩm phân hữu cơ. Đây là cơ sở khoa học để các cơ sở sản xuất phân hữu cơ xem xét sử dụng phụ phẩm than sinh học từ lò hơi trong xử lý chất thải chăn nuôi công nghiệp không chất độn với mục tiêu vừa có sản phẩm phân hữu cơ tốt vừa góp phần giảm ô nhiễm môi trường và thúc đẩy phát triển nông nghiệp tuần hoàn bền vững.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và thời gian

Chất thải chăn nuôi công nghiệp không chất độn chuồng (bò sữa, lợn thịt và gà đẻ) tại các trang trại tập trung thuộc tập đoàn Dabaco, Hạp Lĩnh, Bắc Ninh.

Than sinh học thu được từ quá trình đốt yếm khí hỗn hợp các vật liệu trấu, mùn cưa, gỗ tạp... phục vụ cung cấp hơi trong nhà máy của Công ty TNHH Dệt nhuộm Trung Thu, Như Quỳnh, Hưng Yên.

Đặc điểm hoá học chính của than sinh học và chất thải thể hiện ở bảng 1.

Thời gian thực hiện thí nghiệm từ tháng 8/2024 đến tháng 01/2025.

Bảng 1. Một số chỉ tiêu hóa học và thành phần của các nguyên liệu ủ phân

Nguyên liệu	Than sinh học	Phân Bò	Phân Gà	Phân Lợn
pH _{H₂O}	7,9 ± 0,2	6,5 ± 0,1	8,0 ± 0,3	6,9 ± 0,2
Khối lượng riêng (g/cm ³)	0,373 ± 0,006	0,830 ± 0,008	0,864 ± 0,005	0,901 ± 0,009
Độ ẩm (%)	7,8 ± 0,1	70,5 ± 0,2	71,2 ± 0,1	74,6 ± 0,2
OC (%)	45,19 ± 0,22(*)	22,87 ± 0,15	19,07 ± 0,19	21,09 ± 0,25
N (%)	0,37 ± 0,02	2,02 ± 0,03	2,63 ± 0,04	2,20 ± 0,03
P ₂ O ₅ hh (%)	0,29 ± 0,01	1,36 ± 0,04	1,61 ± 0,03	1,21 ± 0,02
K ₂ O _{hh} (%)	0,78 ± 0,02	1,92 ± 0,03	2,22 ± 0,02	1,91 ± 0,03
As (ppm)	7,38	0,61	3,56	4,00
Pb (ppm)	31,12	2,93	8,37	5,85
Cd (ppm)	1,84	0,14	1,67	1,52
Hg (ppm)	0,09	0,67	0,54	0,39

Ghi chú: *: Tổng hàm lượng Cacbon có trong than sinh học.

Nguồn: Nguyễn Văn Thao & cs. (2025).

Bảng 2. Công thức thí nghiệm

Chất thải chăn nuôi	Tỷ lệ trộn than sinh học (v/v)			
	10%	20%	30%	0%
Bò	CT1	CT4	CT7	ĐC1
Gà	CT2	CT5	CT8	ĐC2
Lợn	CT3	CT6	CT9	ĐC3

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Bố trí thí nghiệm ủ phân

Nghiên cứu bố trí thí nghiệm hai nhân tố và tiến hành trong mùa Hè Thu năm 2024. Nhân tố thứ nhất là loại chất thải chăn nuôi (bò, lợn, gà); nhân tố thứ hai là các tỷ lệ phối trộn than sinh học theo thể tích. Thí nghiệm được bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên (CRD), mỗi công thức có 3 lần lặp lại và được so sánh với 3 công thức đối chứng. Nghiên cứu bổ sung 0,2 lít chế phẩm EMINA cho 100kg hỗn hợp chất thải chăn nuôi, than sinh học và đựng trong các thùng nhựa có nắp đậy thể tích 150 lít.

Nhóm nghiên cứu đục lỗ ở đáy thùng ủ, kê cao lên khỏi mặt đất 10cm để thoát nước và lưu dẫn không khí từ ngoài vào trong. Mỗi thùng ủ được đặt một ống nhựa có đục lỗ xung quanh tại vị trí trung tâm để đưa nhiệt kế vào theo dõi nhiệt độ trong quá trình xử lý.

Hỗn hợp vật liệu ủ được đưa vào thùng mà không nén chặt, sau đó tưới chế phẩm vi sinh vật và đậy kín nắp. Quá trình đảo trộn vật liệu ủ được thực hiện định kỳ 5 ngày 1 lần cho đến khi kết thúc thí nghiệm (45 ngày sau ủ). Thao tác đảo trộn được tiến hành đều từ dưới lên trên, từ trong ra ngoài.

2.2.2. Chỉ tiêu theo dõi và phương pháp phân tích

Nghiên cứu theo dõi nhiệt độ đồng ủ bằng cách sử dụng nhiệt kế thủy tinh đặt trong ống nhựa có đục lỗ (Hình 1b) để đo nhiệt độ tại vị trí trung tâm của thùng ủ với tần suất 2 ngày 1 lần. Đồng thời, chúng tôi ghi nhận nhiệt độ môi trường không khí tại cùng thời điểm đo nhiệt độ đồng ủ.

Các chỉ tiêu phân tích đối với than sinh học, phân bò, phân lợn, phân gà và hỗn hợp sau ủ bao gồm: độ ẩm theo TCVN 9297:2012; tỷ trọng theo TCVN 13263-10:2020; pH_{H₂O} theo

TCVN 13263-9:2020; chất hữu cơ (OM) theo TCVN 9294:2012; đạm tổng số (Nts) theo TCVN 10682:2015; lân hữu hiệu (P_2O_5 hh) theo TCVN 8559:2010; kali hữu hiệu (K_2O hh) theo TCVN 8560:2018. Việc lấy mẫu được thực hiện tại các thời điểm 0, 15, 30 và 45 ngày sau ủ.

Nghiên cứu xác định các chỉ tiêu yếu tố hạn chế bao gồm: asen (As) theo TCVN 11403:2016; cadimi (Cd) theo TCVN 9291:2018; chì (Pb) theo TCVN 9290:2018; thủy ngân (Hg) theo TCVN 10676:2015; *E. coli* theo TCVN 13875:2023; *Salmonella* theo TCVN 10780-1:2017 (ISO 6579-1:2017). Các chỉ tiêu này được phân tích một lần tại thời điểm kết thúc thí nghiệm (45 ngày sau ủ).

Nghiên cứu xác định chi phí vật liệu (VNĐ/kg) là tổng chi phí các loại nguyên liệu tiêu tốn để ủ ra 1kg phân thành phẩm. Nghiên cứu tính chi phí cho 1kg chất dinh dưỡng (A) theo công thức:

$$A = \frac{B}{C} \times 100 \text{ (VNĐ)}$$

Trong đó: B là chi phí cho 1kg chất dinh dưỡng; C là hàm lượng chất dinh dưỡng (%); 100: hệ số chuyển đổi tỷ lệ%.

2.2.3. Phân tích thống kê

Các số liệu trong nghiên cứu được xử lý bằng chương trình Excel và phân tích phương sai hai nhân tố (ANOVA) trên phần mềm CropStat 7.2,

kết hợp với phép so sánh cặp đôi các giá trị trung bình bằng phương pháp $LSD_{0,05}$ (Least Significant Difference) ở mức ý nghĩa 95%.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diễn biến ẩm độ, nhiệt độ trong quá trình ủ phân

Kết quả ở hình 2 cho thấy, ban đầu, độ ẩm của các công thức dao động từ 52-75%, trong đó phân lợn có độ ẩm cao nhất, tiếp đến là phân gà và thấp nhất là phân bò. Tốc độ giảm ẩm mạnh nhất diễn ra trong 15 ngày đầu (giảm 7,9-14,8%), trong khi giai đoạn 30-45 ngày tốc độ giảm ẩm chậm hơn (4,0-10%). Các công thức đối chứng có độ ẩm cao hơn so với các công thức có bổ sung than sinh học tại cùng thời điểm theo dõi.

Cùng một loại chất thải, khi tăng tỷ lệ phối trộn than sinh học, độ ẩm của hỗn hợp có xu hướng giảm. Nguyên nhân là do than sinh học có khả năng hấp phụ nước và tăng độ thoáng khí, giúp hơi ẩm thoát nhanh hơn (Awasthi & cs., 2020). Ở cùng một tỷ lệ phối trộn, tốc độ giảm ẩm giữa các các loại chất thải giảm dần theo thứ tự: bò > gà > lợn. Sau 45 ngày ủ, độ ẩm của sản phẩm vẫn còn > 35%, do đó cần có giải pháp làm giảm ẩm độ để đạt yêu cầu ẩm độ $\leq 30\%$ theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNT mà ít làm suy giảm các chất dinh dưỡng.

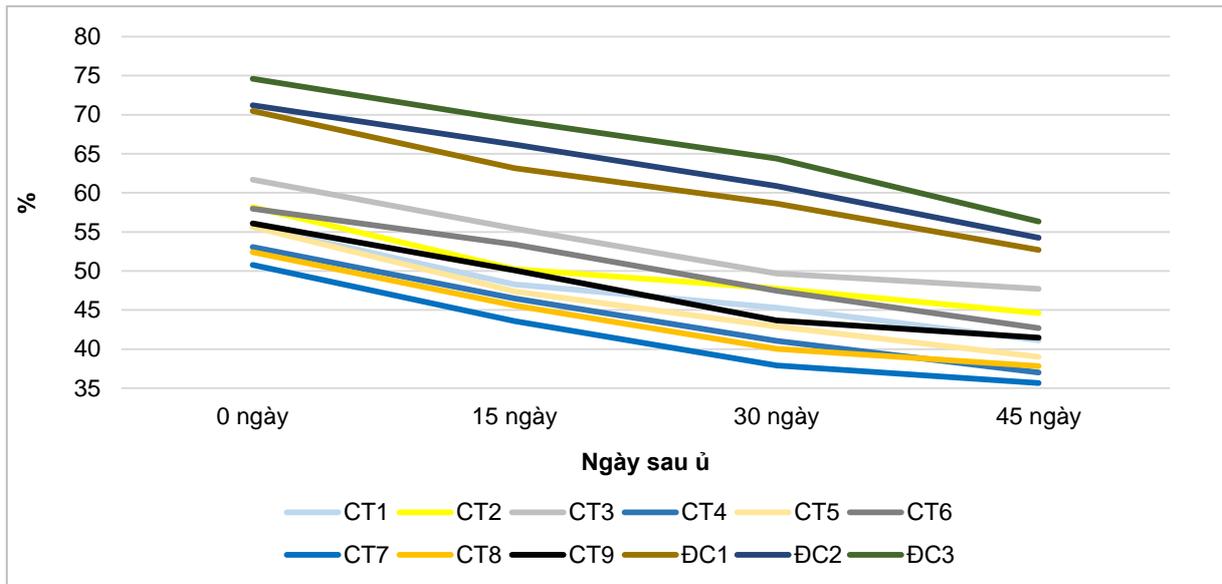


a. Phối trộn

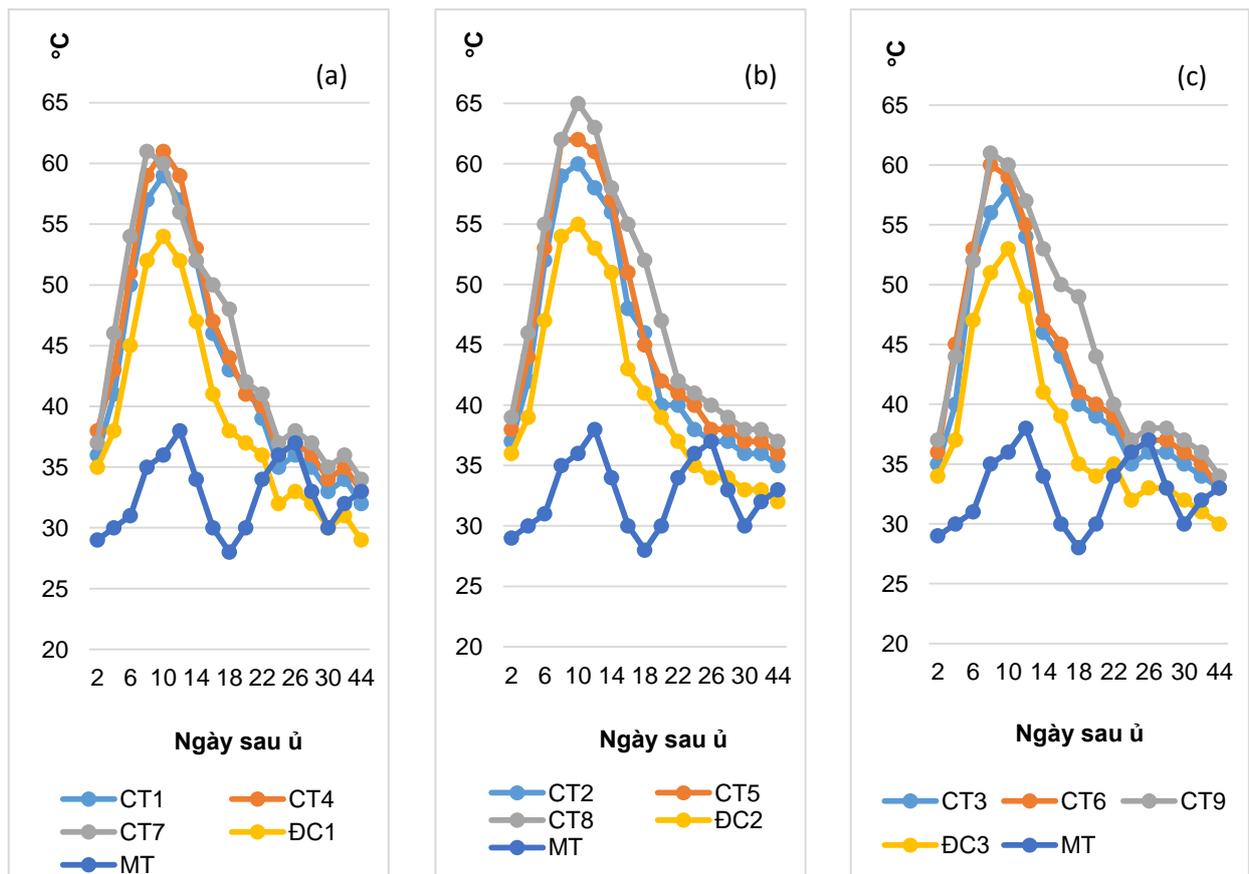


b. Theo dõi nhiệt độ

Hình 1. Bố trí thí nghiệm



Hình 2. Diễn biến độ ẩm của các công thức thí nghiệm



Hình 3. Diễn biến nhiệt độ của các công thức thí nghiệm đối với:
 (a) Các hỗn hợp ủ từ phân bò và than sinh học; (b) Các hỗn hợp ủ từ phân gà và than sinh học; (c) Các hỗn hợp ủ từ phân lợn và than sinh học

Theo dõi diễn biến nhiệt độ (Hình 3) cho thấy nhiệt độ của các công thức tăng liên tục, đạt trên 50°C từ ngày thứ 6 và kéo dài đến ngày thứ 14-18. Đây là giai đoạn nhiệt cao (thermophilic) có vai trò quyết định trong phân hủy nhanh OM và tiêu diệt vi sinh vật gây hại như *E. coli* và *Salmonella* (Feachem & cs., 1983). Nhiệt độ đạt cực đại 65°C ở công thức CT8 (30% than + 70% phân gà) vào ngày thứ 10, sau đó giảm dần và tiệm cận nhiệt độ môi trường từ ngày thứ 20 trở đi. Ở cùng loại chất thải chăn nuôi, nhiệt độ đồng ử tăng tỷ lệ thuận với lượng than sinh học bổ sung do than sinh học tạo môi trường tối xốp, giúp oxy khuếch tán tốt hơn và tăng hoạt tính vi sinh vật hiếu khí (Vandecasteele & cs., 2016). Tuy nhiên, nhiệt độ cao cũng có thể làm thất thoát một phần đạm bay hơi, điều này được thể hiện trong bảng 3 với hàm lượng N tổng số giảm dần theo thời gian ủ.

3.2. Diễn biến một số chỉ tiêu chất lượng theo thời gian ủ

Kết quả ở bảng 3 cho thấy, giữa các loại chất thải chăn nuôi có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$) về các chỉ tiêu OM, Nts, P_2O_5 hh, K_2O hh. Phân bò có hàm lượng OM cao nhất nhưng Nts thấp. Ngược lại, phân gà có Nts, P_2O_5 hh, K_2O hh cao hơn, nhưng hàm lượng OM thấp hơn. Sau 45 ngày ủ, phân bò vẫn giữ ưu thế về OM, trong khi phân gà vượt trội về các nguyên tố dinh dưỡng đa lượng. Khi tăng tỷ lệ phối trộn than sinh học, hàm lượng OM, Nts, P_2O_5 hh và K_2O hh đều tăng so với công thức đối chứng không phối trộn. Điều này được giải thích là do than sinh học có khả năng hấp phụ và giữ lại dinh dưỡng trong quá trình ủ, giảm thất thoát do bay hơi hoặc rửa trôi (Dias & cs., 2010; Zhang & cs., 2014).

Cụ thể, sau 45 ngày ủ, các loại chất thải chăn nuôi bò, gà, lợn có hàm lượng OM, Nts, P_2O_5 hh, K_2O hh tăng tỷ lệ thuận với tỷ lệ trộn than sinh học. Với phân bò, tỷ lệ phối trộn 20-30% than sinh học giúp chỉ tiêu Nts đạt 1,68-1,81%, P_2O_5 hh 1,22-1,32%, K_2O hh 1,66-1,72% cao hơn đối chứng, nhưng chỉ tiêu

OM đạt 43,88-45,97% chỉ tương đương. Với phân gà, chỉ cần 10% than sinh học đã giúp các chỉ tiêu Nts (1,85-2,10%), P_2O_5 hh (1,45-1,63%) và K_2O hh (1,88-2,24%) tăng đáng kể so với đối chứng. Tuy nhiên hàm lượng OM chỉ cao hơn đối chứng ở tỷ lệ phối trộn 30% (OM = 38,06%). Với phân lợn, sự cải thiện chỉ tiêu OM chỉ rõ ở tỷ lệ phối trộn 20-30%, trong khi các chỉ tiêu Nts, P_2O_5 hh, K_2O hh đều cao hơn đối chứng ngay từ tỷ lệ phối trộn 10%. Như vậy, hiệu quả hấp phụ và giữ dinh dưỡng của than sinh học rõ nhất ở phân gà và phân lợn ngay từ tỷ lệ phối trộn 10%, còn với phân bò, tác động có ý nghĩa thống kê chỉ xuất hiện ở tỷ lệ phối trộn $\geq 20\%$.

Bộ NN&PTNT (2019) quy định tỷ lệ C/N, các kim loại nặng (As, Cd, Pb, Hg) và vi sinh vật gây hại (*E. coli*; *Salmonella*) là những chỉ tiêu đánh giá chất lượng phân hữu cơ. Kết quả phân tích các chỉ tiêu trên của các công thức thí nghiệm tại thời điểm 45 ngày sau ủ được thể hiện ở bảng 4.

Kết quả phân tích thành phần của các nguyên liệu trước khi ủ (Bảng 1) cho thấy, các loại chất thải chăn nuôi có hàm lượng cacbon hữu cơ thấp (19,1-22,9%), than sinh học có chỉ tiêu này cao hơn. Do vậy, khi bắt đầu ủ, than sinh học đã làm tăng giá trị C/N so với đối chứng không sử dụng. Kết quả ở bảng 4 cho thấy tỷ lệ C/N của hỗn hợp sau ủ thay đổi theo loại phân và tỷ lệ phối trộn. Đối với phân bò, tỷ lệ C/N tăng trong 30 ngày đầu, sau đó giảm dần. Ngược lại, phân gà và phân lợn duy trì tỷ lệ C/N tương đối ổn định trong suốt thời gian ủ. Ở các công thức đối chứng, tỷ lệ C/N tăng dần theo thời gian do sự hao hụt nitơ nhanh hơn sự phân hủy chất hữu cơ. Sau 45 ngày, các công thức trộn 20-30% than sinh học với phân bò và phân lợn cho $C/N \leq 12$, đạt yêu cầu là phân hữu cơ theo quy định của Bộ NN&PTNT (2019), trong khi phân gà đạt chuẩn ở cả ba tỷ lệ phối trộn. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Jindo & cs. (2016), cho rằng than sinh học giúp nâng tỷ lệ C/N ban đầu, duy trì trạng thái cân bằng dinh dưỡng trong ủ hiếu khí.

Bảng 3. Ảnh hưởng của các nhân tố thí nghiệm tới một số chỉ tiêu chất lượng

Nhân tố 1	OM (%)				N (%)				P ₂ O ₅ hh (%)				K ₂ Ohh (%)			
	Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ			
	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45
Bò	54,20 ^a	48,14 ^a	45,27 ^a	43,79 ^a	2,10 ^c	2,01 ^c	1,66 ^c	1,53 ^c	1,42 ^b	1,32 ^b	1,25 ^b	1,17 ^b	2,02 ^b	1,88 ^b	1,64 ^b	1,55 ^b
Gà	46,48 ^c	40,75 ^c	36,65 ^c	35,17 ^c	2,70 ^a	2,33 ^a	2,05 ^a	1,93 ^a	1,77 ^a	1,66 ^a	1,56 ^a	1,48 ^a	2,51 ^a	2,33 ^a	2,11 ^a	1,94 ^a
Lợn	49,81 ^b	44,40 ^b	41,17 ^b	39,97 ^b	2,27 ^b	2,09 ^b	1,83 ^b	1,63 ^b	1,28 ^c	1,21 ^c	1,12 ^c	1,07 ^c	1,96 ^c	1,78 ^c	1,62 ^b	1,51 ^b
LSD _{0,05}	1,47	0,95	0,89	0,73	0,05	0,07	0,07	0,07	0,06	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,06	0,05
Nhân tố 2	Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ			
	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45
	0%	46,22 ^c	44,77 ^b	43,23 ^a	40,50 ^b	2,29 ^c	2,14 ^c	1,62 ^d	1,47 ^d	1,39 ^c	1,31 ^c	1,15 ^d	1,08 ^d	2,02 ^c	1,81 ^d	1,56 ^d
10%	46,64 ^c	41,83 ^c	37,52 ^c	36,31 ^c	2,25 ^c	1,99 ^d	1,72 ^c	1,56 ^c	1,44 ^{bc}	1,34 ^c	1,28 ^c	1,19 ^c	2,05 ^c	1,87 ^c	1,69 ^c	1,66 ^c
20%	51,77 ^b	44,06 ^b	40,48 ^b	39,67 ^b	2,39 ^b	2,16 ^b	1,96 ^b	1,82 ^b	1,50 ^b	1,43 ^b	1,36 ^b	1,31 ^b	2,22 ^b	2,09 ^b	1,85 ^b	1,79 ^b
30%	56,01 ^a	47,06 ^a	42,87 ^a	42,09 ^a	2,50 ^a	2,28 ^a	2,08 ^a	1,93 ^a	1,59 ^a	1,50 ^a	1,45 ^a	1,38 ^a	2,36 ^a	2,21 ^a	2,05 ^a	1,89 ^a
LSD _{0,05}	1,69	1,10	1,02	0,85	0,05	0,08	0,07	0,08	0,07	0,03	0,03	0,03	0,06	0,05	0,07	0,06
Tương tác 2 nhân tố	OM (%)				N (%)				P ₂ O ₅ hh (%)				K ₂ Ohh (%)			
	Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ				Số ngày sau ủ			
	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45
CT1	52,44 ^c	48,54 ^d	46,71 ^{cd}	42,62 ^d	2,06 ^f	1,83 ^d	1,53 ^e	1,37 ^{de}	1,39 ^e	1,27 ^f	1,22 ^f	1,11 ^g	1,95 ^g	1,82 ^f	1,59 ^d	1,59 ^{ef}
CT2	45,65 ^d	41,68 ^f	37,12 ^j	34,13 ^g	2,60 ^b	2,12 ^b	1,90 ^c	1,84 ^{bc}	1,72 ^{ab}	1,62 ^c	1,57 ^c	1,45 ^c	2,34 ^c	2,10 ^c	1,93 ^c	1,88 ^c
CT3	50,52 ^c	45,15 ^e	41,13 ^{hi}	39,69 ^e	2,19 ^e	1,95 ^{cd}	1,72 ^d	1,45 ^d	1,22 ^f	1,13 ^h	1,06 ^h	0,99 ^h	1,88 ^g	1,71 ^g	1,56 ^{de}	1,50 ^f
CT4	58,97 ^b	55,04 ^b	49,01 ^b	45,21 ^{bc}	2,15 ^e	2,01 ^c	1,77 ^d	1,72 ^c	1,42 ^{de}	1,36 ^e	1,30 ^e	1,22 ^{ef}	2,07 ^f	1,98 ^{de}	1,68 ^d	1,66 ^{de}
CT5	50,87 ^c	46,75 ^e	40,91 ⁱ	36,62 ^f	2,79 ^a	2,33 ^a	2,19 ^{ab}	2,00 ^a	1,78 ^a	1,68 ^b	1,63 ^b	1,58 ^b	2,63 ^b	2,49 ^b	2,19 ^b	2,07 ^b
CT6	52,76 ^c	48,22 ^d	44,20 ^{ef}	41,67 ^d	2,31 ^d	2,05 ^{bc}	1,87 ^c	1,76 ^{bc}	1,30 ^{ef}	1,25 ^{fg}	1,14 ^g	1,12 ^g	1,96 ^g	1,81 ^f	1,69 ^d	1,63 ^{de}
CT7	63,71 ^a	58,14 ^a	52,93 ^a	48,94 ^a	2,26 ^d	2,14 ^b	1,93 ^c	1,87 ^b	1,51 ^{cd}	1,43 ^d	1,39 ^d	1,32 ^d	2,13 ^{de}	2,01 ^d	1,82 ^c	1,72 ^d
CT8	56,20 ^b	49,69 ^d	42,00 ^{gh}	39,41 ^e	2,87 ^a	2,44 ^a	2,25 ^a	2,10 ^a	1,84 ^a	1,74 ^a	1,69 ^a	1,63 ^a	2,86 ^a	2,71 ^a	2,48 ^a	2,24 ^a
CT9	56,96 ^b	51,89 ^c	45,41 ^{de}	44,39 ^c	2,44 ^c	2,19 ^b	2,07 ^{bc}	1,87 ^b	1,41 ^{de}	1,34 ^e	1,27 ^e	1,19 ^f	2,09 ^{ef}	1,92 ^e	1,84 ^c	1,70 ^d
ĐC1	50,32 ^c	48,54 ^d	47,07 ^c	46,44 ^b	2,02 ^f	1,96 ^{cd}	1,40 ^f	1,27 ^e	1,36 ^e	1,21 ^g	1,08 ^h	1,00 ^h	1,92 ^g	1,73 ^g	1,45 ^e	1,23 ^g
ĐC2	41,96 ^e	40,84 ^f	39,58 ⁱ	38,32 ^e	2,63 ^b	2,36 ^a	1,85 ^{cd}	1,74 ^{bc}	1,61 ^{bc}	1,58 ^c	1,35 ^d	1,26 ^e	2,22 ^d	2,01 ^d	1,83 ^c	1,58 ^{ef}
ĐC3	46,39 ^d	44,94 ^e	43,04 ^{fg}	42,19 ^d	2,20 ^e	2,11 ^b	1,62 ^{de}	1,39 ^{de}	1,21 ^f	1,14 ^h	1,02 ^h	0,97 ^h	1,91 ^g	1,69 ^g	1,40 ^e	1,19 ^g
LSD _{0,05}	2,93	1,91	1,77	1,47	0,09	0,14	0,13	0,14	0,12	0,05	0,05	0,05	0,11	0,08	0,12	0,10

Ghi chú: LSD_{0,05}: Sai khác nhỏ nhất có ý nghĩa thống kê ở mức 95%

Xử lý chất thải chăn nuôi công nghiệp: Một giải pháp từ than sinh học

Bảng 4. Tỷ lệ C/N, hàm lượng kim loại nặng và mật độ vi sinh vật gây hại ở các công thức thí nghiệm

CTTN	Tỷ lệ C/N				Kim loại nặng và vi sinh vật gây hại						
	Ngày sau ủ				As	Cd	Pb	Hg	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i>	
	0 ngày	15 ngày	30 ngày	45 ngày							(mg/kg)
CT1	11,6	12,0	13,9	14,2	1,2	1,3	5,3	0,6	KPH	KPH	
CT2	8,0	8,9	8,9	8,4	2,2	2,0	12,1	0,8	KPH	KPH	
CT3	10,5	10,5	10,9	12,4	1,2	2,1	8,3	1,0	KPH	KPH	
CT4	12,4	12,5	12,6	12,0	1,1	1,8	8,0	0,6	KPH	KPH	
CT5	8,3	9,1	8,5	8,3	2,2	2,6	15,2	1,1	KPH	KPH	
CT6	10,4	10,7	10,8	10,8	2,1	2,9	10,3	1,0	KPH	KPH	
CT7	12,8	12,4	12,5	11,9	1,3	1,6	11,5	0,7	KPH	KPH	
CT8	8,9	9,3	8,5	8,5	2,0	2,2	16,2	1,1	KPH	KPH	
CT9	10,6	10,8	10,0	10,8	2,6	3,1	12,9	1,2	KPH	KPH	
ĐC1	11,3	11,2	15,3	16,6	0,6	0,1	2,9	0,7	KPH	KPH	
ĐC2	7,2	7,9	9,7	10,0	3,6	1,7	8,4	0,5	KPH	KPH	
ĐC3	9,6	9,7	12,1	13,8	4,0	1,5	5,6	0,4	KPH	KPH	
QCVN 01-189-2019			≤ 12		≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 200,0	≤ 2,0	≤ 1,1 x 10 ³	KPH	

Ghi chú: CTTN: Công thức thí nghiệm; KPH: Không phát hiện.

Bảng 5. Khái toán chi phí vật chất của phân bón của các công thức thí nghiệm

CTTN	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	ĐC1	ĐC2	ĐC3
Tỷ trọng (g/cm ³)	0,785	0,843	0,869	0,716	0,795	0,808	0,665	0,721	0,746	0,830	0,864	0,901
Khối lượng CTCN (kg)	95,242	95,572	95,702	89,573	90,611	90,753	83,160	84,456	84,981	100,000	100,000	100,000
Khối lượng than (kg)	4,758	4,428	4,298	10,427	9,389	9,247	16,840	15,544	15,019	0	0	0
Khối lượng sau ủ (kg)	84,174	78,144	80,079	81,644	75,794	77,672	79,196	73,519	75,343	89,491	84,686	88,023
Chi phí than (VNĐ)	8.564	7.971	7.736	18.768	16.899	16.644	30.312	27.980	27.035	0	0	0
Chi phí CTCN (VNĐ)	76.194	76.457	76.562	71.659	72.489	72.603	66.528	67.565	67.984	80.000	80.000	80.000
Chi phí chế phẩm (VNĐ)	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Tổng chi vật liệu (VNĐ)	92.758	92.428	92.298	98.427	97.389	97.247	104.840	103.544	103.019	88.000	88.000	88.000
Chi phí vật liệu (VNĐ/kg)	1.102	1.183	1.153	1.206	1.285	1.252	1.324	1.408	1.367	983	1.039	1.000
Chi phí OM (VNĐ/kg)	2.586	3.466	2.904	2.666	3.509	3.005	2.705	3.573	3.080	2.117	2.712	2.369
Chi phí Nts (VNĐ/kg)	80.501	64.224	79.246	70.227	64.281	71.227	70.918	67.066	72.946	77.504	59.613	71.761
Chi phí P ₂ O ₅ hh (VNĐ/kg)	99.552	80.593	114.932	97.691	81.974	112.170	101.073	86.954	114.331	97.955	82.690	103.188
Chi phí K ₂ O _{nh} (VNĐ/kg)	69.349	62.575	77.500	71.732	61.344	78.672	76.850	62.663	80.367	79.964	65.692	84.109

Ghi chú: Giá chất thải chăn nuôi 800 đồng/kg ; giá than sinh học: 1.800 đồng/kg; giá chế phẩm 40.000/lít; CTTN: Công thức thí nghiệm

Về hàm lượng kim loại nặng (As, Cd, Pb, Hg), tất cả các công thức đều nằm trong giới hạn cho phép, không vượt ngưỡng theo quy định. Mật độ vi sinh vật gây hại (*E. coli*, *Salmonella*) đều không phát hiện (KPH), chứng tỏ giai đoạn nhiệt cao (50-65°C, kéo dài liên tục 8-12 ngày) đã tiêu diệt phần lớn mầm bệnh - kết quả tương đồng với Feachem & cs. (1983) và Nguyễn Văn Thao & cs. (2015).

3.3. Khái toán chi phí vật liệu

Khái toán chi phí vật liệu bao gồm: than sinh học, chất thải chăn nuôi, chế phẩm và khối lượng phân thu được sau ủ 45 ngày, thu được kết quả ở bảng 5.

Kết quả cho thấy chi phí cho 1kg thành phẩm hoặc 1kg OM tăng tỷ lệ thuận với lượng than sinh học phối trộn, do giá than sinh học (1.800 đ/kg) cao hơn nhiều so với chất thải chăn nuôi (800 đ/kg). Chi phí cho 1kg thành phẩm với từng loại phân là khác nhau cụ thể: phân bò 983-1.324 VNĐ, phân gà 1.039-1.408 VNĐ; phân lợn 1.000-1.367 VNĐ. Phân gà có chi phí cho 1kg OM cao nhất (2.712-3.573 VNĐ), kế đến là phân lợn (2.369-3.080 VNĐ) và thấp nhất là phân bò (2.117-2.705 VNĐ). Ngược lại, cùng một loại chất thải chăn nuôi, chi phí cho 1kg K_2O_{hh} ở các công thức có trộn than sinh học là thấp hơn so với đối chứng không trộn. Trong các tỷ lệ phối trộn, chi phí cho 1kg Nts thấp nhất: với phân gà trộn 10% than sinh học (64.224 đ/kg), phân bò và lợn trộn 20% than sinh học (70.227 đ/kg và 71.227 đ/kg). Chi phí cho 1kg $P_2O_5_{hh}$ thấp nhất khi tỷ lệ trộn than sinh học với phân gà (10%), phân bò (20%), phân lợn (20%).

Với phân bò và phân lợn, sau ủ 45 ngày, tỷ lệ phối trộn 20-30% (v/v) than sinh học có tỷ lệ C/N ≤ 12 . Tuy nhiên, chi phí cho 1kg thành phẩm, 1kg chất dinh dưỡng (OM, Nts, $P_2O_5_{hh}$, K_2O_{hh}) ở tỷ lệ phối trộn 20% thấp hơn so với tỷ lệ 30%. Do vậy, chúng tôi đề xuất tỷ lệ phối trộn 20% (v/v) than sinh học khi xử lý chất thải chăn nuôi lợn, bò công nghiệp không chất độn.

Sau 45 ngày, với chất thải chăn nuôi gà công nghiệp đều đạt C/N ≤ 12 ở cả ba tỷ lệ phối trộn với than sinh học. Nhưng, chi phí cho 1kg

thành phẩm, 1kg chất dinh dưỡng (OM, Nts, $P_2O_5_{hh}$, K_2O_{hh}) ở tỷ lệ phối trộn 10% là thấp nhất. Vì vậy, tỷ lệ (v/v) trộn 10% than sinh học với chất thải chăn nuôi gà công nghiệp không chất độn mang lại lợi thế cạnh tranh hơn về giá so với các tỷ lệ khác.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

4.1. Kết luận

(1) Than sinh học giúp cải thiện môi trường ủ, tăng khả năng thoát khí và hấp phụ ẩm, duy trì thời gian có nhiệt cao (trên 50°C) từ ngày thứ 6 sau ủ và kéo dài liên tục 8-12 ngày. Trong cùng tỷ lệ trộn than sinh học, phân gà có nhiệt độ đồng ủ cao hơn phân bò và phân lợn. Xử lý chất thải chăn nuôi có phối trộn than sinh học giúp nhiệt độ đồng ủ cao hơn so với đối chứng không phối trộn.

(2) Để phân hữu cơ đáp ứng tiêu chuẩn của Bộ NN&PTNT (2019), với chất thải chăn nuôi gà công nghiệp không chất độn, tỷ lệ phối trộn $\geq 10\%$ than sinh học giúp sản phẩm sau ủ 45 ngày có OM tương đương công thức đối chứng, tỷ lệ C/N < 12 , các yếu tố hạn chế (As, Pb, Cd, Hg, *E. coli*, *Salmonella*) nằm trong giới hạn cho phép. Tuy nhiên, chỉ tiêu Nts (1,85-2,10%), $P_2O_5_{hh}$ (1,45-1,63%) và K_2O_{hh} (1,88-2,24%) cao hơn so với đối chứng. Chi phí cho 1kg phân thành phẩm là 1.183 VNĐ. Chi phí cho 1kg các chất dinh dưỡng như: OM - Nts - $P_2O_5_{hh}$ - K_2O_{hh} có giá trị lần lượt là 3.466 - 64.224 - 80.593 - 62.575 VNĐ.

(3) Với chất thải chăn nuôi bò, chăn nuôi lợn công nghiệp, tỷ lệ phối trộn $\geq 20\%$ than sinh học, sau ủ 45 ngày giúp sản phẩm tạo ra có tỷ lệ C/N ≤ 12 và các chỉ tiêu OM, Nts, $P_2O_5_{hh}$, K_2O_{hh} cao hơn đối chứng không trộn. Chi phí cho 1kg thành phẩm với phân bò là 1.206 VNĐ; phân lợn 1.252 VNĐ. Chi phí cho 1kg các chất dinh dưỡng như OM - Nts - $P_2O_5_{hh}$ - K_2O_{hh} có giá trị lần lượt với phân bò là 2.666 - 70.227 - 97.691 - 71.732 VNĐ; với phân lợn là 3.005 - 71.227 - 112.170 - 78.672 VNĐ. Ngoài ra, hàm lượng kim loại nặng (As, Pb, Cd, Hg) và mật độ vi sinh vật gây hại (*E. coli*, *Salmonella*) của các công thức không vượt quy định về phân hữu cơ của Bộ NN&PTNT (2019).

4.2. Đề nghị

(1) Các cơ sở sản xuất phân hữu cơ xem xét sử dụng phụ phẩm than sinh học từ lò hơi trong xử lý chất thải chăn nuôi công nghiệp không chất độn với tỷ lệ phối trộn 10-20% (v/v) (tùy loại chất thải) nhằm tối ưu thời gian xử lý và chất lượng sản phẩm.

(2) Hướng nghiên cứu tiếp theo là đánh giá tác động của sự phối hợp phân vô cơ với phân phân hữu cơ đến năng suất cây trồng và chất lượng đất, làm cơ sở hoàn thiện quy trình công nghệ xử lý chất thải chăn nuôi công nghiệp bằng than sinh học - phụ phẩm công nghiệp lò hơi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Awasthi M.K., Duan Y., Awasthi S.K., Liu T., Zhang Z., Kim S.H. & Pandey A. (2020). Effect of biochar on emission, maturity and bacterial dynamics during sheep manure composting. *Renewable Energy*. 152: 421-429. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.065>.
- Bộ NN&PTNT (2019). QCVN 01-189/2019-BNNPTNT. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng phân bón. Truy cập từ: https://www.vinacert.vn/pic/files/2-qcvn-01-189_2019-chat-luong-phan-bon-final.pdf ngày 01/06/2025.
- Bộ NN&PTNT (2023). Báo cáo công tác bảo vệ môi trường ngành nông nghiệp năm 2023. Hội nghị tổng kết năm 2023 và triển khai kế hoạch năm 2024 ngành nông nghiệp và phát triển nông thôn.
- Bello A., Han Y., Zhu H., Deng L., Yang W., Meng Q., Sun Y., Egbeagu U.U., Sheng S., Wu X., Jiang X. & Xu X. (2020). Microbial community composition, co-occurrence network pattern and nitrogen transformation genera response to biochar addition in cattle manure-maize straw composting. *Science of The Total Environment*. 712: 137759. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137759.
- Dias B.O., Silva C.A., Higashikawa F.S., Roig A. & Sanchez M.M.A. (2010). Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: effect on organic matter degradation and humification. *Bioresour Technol*. 101(4): 1239-46. Doi: 10.1016/j.biortech.2009.09.024.
- Feachem R.G., Bradley D.J., Garelick H. & Mara D.D. (1983). Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. Chichester: John Wiley & Sons. Truy cập từ <https://documents1.worldbank.org/curated/ar/704041468740420118/pdf/multi0page.pdf> ngày 01/06/2025.
- Jindo K., Sonoki T., Matsumoto K., Canellas L., Roig A. & Sanchez M.M.A. (2016). Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures. *Waste Management*. 49: 545-552.
- Lu M., Lin B., Zhang Y., Hao Y., Li K. & Huang Z. & Li J. (2024). Insight into the molecular transformation pathways of humic acid in the co-composting of bagasse and cow manure after adding compound microorganisms. *Process Biochemistry*. 143: 23-33. Truy cập từ <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.04.029>, ngày 01/06/2025.
- Mahapatra S., Ali Md. H. & Samal K. (2022). Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. *Energy Nexus*. 6: 100062. Truy cập từ <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100062> ngày 01/06/2025.
- Nguyễn Văn Thao, Nguyễn Thị Lan Anh, Nguyễn Thị Minh, Nguyễn Thu Hà & Đỗ Nguyên Hải (2015). Nghiên cứu chế phẩm vi sinh vật để sản xuất phân hữu cơ sinh học từ bã nầm và phân gà. *Tạp chí Khoa học và Phát triển*. 13(8): 1415-1423.
- Nguyễn Văn Thao, Nguyễn Xuân Hòa, Nguyễn Thọ Hoàng, Hoàng Quốc Việt, Cao Việt Hà & Phạm Văn Cường, (2025). Chất thải chăn nuôi công nghiệp: Một góc nhìn từ phương pháp xử lý. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 23(8):1080-1089. doi.org/10.31817/tckhnnvn.2025.23.8.10.
- Sun X., Awasthi M.K., Syed A. & Bahkali A.H. (2024). Effect of cyanobacteria biochar addition on humification, fungal dynamics and its mechanism of action in pig manure composting. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 12(5): 113755. doi.org/10.1016/j.jece.2024.113755.
- Vandecasteele B., Sinicco T., D'Hose T., Nest T. V., & Mondini C. (2016). Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. *Journal of Environmental Management*. 168: 200-209. doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.045.
- Zhang J., Lu F., Shao L. & He P. (2014). The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge. *Bioresour Technology*. 168: 252-258. doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.080.