

Assessing the degradation potential of pineapple stems and leaves by *Trichoderma* spp.

Trong D. Nguyen¹, Xuan T. N. Ly², Nhan C. Tran², Bao C. Mai², Tam M. H. Le², Hiep C. Phan¹,
Nguyen K. T. Tran¹, Thu M. T. Le¹, & Khuong Q. Nguyen^{1*}

¹Faculty of Crop Science, College of Agriculture, Can Tho University, Can Tho, Vietnam

²An Giang University; Vietnam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

Research Paper

Received: May 27, 2024

Revised: January 19, 2025

Accepted: February 24, 2025

Keywords

Biocomposting

Organic fertilizer

Pineapple by-product

Trichoderma spp.

*Corresponding author

Nguyen Quoc Khuong

Email:

nqkhuong@ctu.edu.vn

ABSTRACT

The study aimed to determine suitable substrate ratios and humidities to produce organic fertilizer from the stems and leaves of pineapples using *Trichoderma* spp. strains (TC). A completely randomized 6 x 3 factorial design was used. The factor (A) was the different supplementation of cellulose-degrading fungi (no supplementation, Tricho-DHCT, TC1, TC2, TC3, and a mixture of TC1, TC2, and TC3). The factor (B) was three levels of humidity (50%, 60%, and 70%). The experiment used 3 different substrate ratios (pineapple stem leaves, sugarcane filter cake, and cow dung corresponding to 7:1.5:1.5 (KBB7); 8:1:1 (KBB8); and 9:0.5:0.5 (KBB9)). The results showed that the substrate ratios KBB7, KBB8, and KBB9 supplemented with the mixed *Trichoderma* strains (TC1 + TC2 + TC3) exhibited a greater total P content than the treatments supplemented with individual strains (0.574% vs. 0.389 - 0.463% for KBB7, 0.507% vs. 0.351 - 0.380% for KBB8, and 0.422% vs. 0.303 - 0.427%, respectively). Likewise, in all three substrate ratios, KBB7, KBB8, and KBB9, the control treatment had a greater C/N ratio than the other treatments supplemented with *Trichoderma* spp. or Tricho-DHCT (43.8 vs. 28.3 - 35.1 for KBB7, 47.8 vs. 31.6 - 35.2 for KBB8, and 54.8 vs. 34.2 - 37.1 for KBB9, respectively). The total C content also showed a similar trend. In general, the substrate ratio of 7:1.5:1.5 at a humidity of 50 or 60% is suitable to produce organic fertilizer.

Cited as: Nguyen, T. D., Ly, X. T. N., Tran, N. C., Mai, B. C., Le, T. M. H., Phan, H. C., Tran, N. K. T., Le, T. M. T., & Nguyen, K. Q. (2026). Assessing the degradation potential of pineapple stems and leaves by *Trichoderma* spp. *The Journal of Agriculture and Development* 25(1), 1-14.

Đánh giá khả năng phân hủy thân và lá khóm của nấm *Trichoderma* spp.

Nguyễn Đức Trọng¹, Lý Ngọc Thanh Xuân², Trần Chí Nhân², Mai Chí Bảo², Lê Hiền Minh Tâm²,
Phan Chấn Hiệp¹, Trần Trọng Khôi Nguyên¹, Lê Thị Mỹ Thu¹ & Nguyễn Quốc Khương^{1*}

¹Khoa Khoa Học Cây Trồng, Trường Nông Nghiệp, Trường Đại Học Cần Thơ, Cần Thơ

²Trường Đại Học An Giang, Đại Học Quốc Gia TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN BÀI BÁO

Bài báo khoa học

Ngày nhận: 27/05/2024

Ngày chỉnh sửa: 19/01/2025

Ngày chấp nhận: 24/02/2025

Từ khóa

Phân hữu cơ

Phụ phẩm trồng khóm

Trichoderma spp.

Ủ phân

*Tác giả liên hệ

Nguyễn Quốc Khương

Email:

nqkhuong@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm mục tiêu xác định tỷ lệ vật liệu và độ ẩm phù hợp để sản xuất phân hữu cơ từ thân, lá khóm bằng *Trichoderma* spp. (TC). Thí nghiệm 2 nhân tố được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên, nhân tố (A) là bổ sung nấm *Trichoderma* spp. phân hủy cellulose gồm (i) Không bổ sung, (ii) Tricho-ĐHCT, (iii) TC1, (iv) TC2, (v) TC3 và (vi) hỗn hợp 3 dòng TC1, TC2, TC3, nhân tố (B) là ẩm độ gồm: (i) 50%, (ii) 60% và (iii) 70%. Thí nghiệm được thực hiện trên 3 tỷ lệ vật liệu khác nhau (khóm:bã bùn mía:phân bò, với tỷ lệ 7:1,5:1,5 (KBB7); 8:1:1 (KBB8); 9:0,5:0,5 (KBB9)). Kết quả cho thấy vật liệu ủ KBB7 và KBB8 có hàm lượng P tổng số của nghiệm thức bổ sung hỗn hợp 3 dòng nấm *Trichoderma* spp. TC1, TC2 và TC3 cao hơn các nghiệm thức bổ sung dòng đơn *Trichoderma* spp. TC1, TC2, TC3, với 0,574 so với 0,389 - 0,463%; 0,507 so với 0,351 - 0,380%, và 0,422 so với 0,303 - 0,427% theo thứ tự. Tương tự, tỷ lệ C/N ở cả 3 tỷ lệ vật liệu KBB7, KBB8 và KBB9 nghiệm thức đối chứng có tỷ lệ C/N cao hơn nghiệm thức có bổ sung nấm *Trichoderma* spp. và nghiệm thức bổ sung Tricho-ĐHCT, lần lượt là 43,8 so với 28,3 - 35,1, 47,8 so với 31,6 - 35,2 và 54,8 so với 34,2 - 37,1. Hàm lượng C tổng số cũng cho kết quả tương tự. Tỷ lệ vật liệu 7:1,5:1,5 (KBB7) ở ẩm độ 50 - 60% phù hợp cho ủ phân hữu cơ.

1. Đặt Vấn Đề

Trong tự nhiên có nhiều nhóm vi sinh vật có khả năng phân giải cellulose nhờ hệ enzyme cellulase ngoại bào (López-Mondéjar & ctv., 2016; Polman & ctv., 2021). Trong đó, vi nấm là nhóm có khả năng phân giải cellulose mạnh bằng cách tiết ra môi trường một lượng lớn enzyme cellulase (Strakowska & ctv., 2014; Feng & ctv., 2021). *Trichoderma* spp. là nấm dạng sợi

tiết ra các hợp chất phân giải cellulose, giúp thủy phân hiệu quả các cellulose thành chuỗi glucose đơn phân (Organo & ctv., 2022). *Trichoderma* spp. cũng có khả năng phân hủy chất thải nông nghiệp và không tạo ra mùi hôi (Ilias & ctv., 2005; Rahman & ctv., 2011). Nấm *Trichoderma* spp. tiết ra cellulase, enzyme chitinolytic và pectic, được biết đến như một chất phân giải cellulose mạnh (Wan & ctv., 2020; He & ctv., 2022).

Bên cạnh đó, sinh khối khóm được xem như chất thải nông nghiệp hiếm khi được tái sử dụng làm phân bón vì hàm lượng lignin trong khóm làm chậm quá trình phân hủy, hàm lượng polyme trong lá khóm chứa 43,5% cellulose, 21,9% hemicellulose và 13,9% lignin. Tương tự, trong thân khóm chứa 24,6% cellulose; 28,6% hemicellulose và 5,8% lignin và vỏ khóm chứa 40,6% cellulose; 28,7% hemicellulose và 10,0% lignin (Cassellis & ctv., 2014; Irawan & ctv., 2023). Hàm lượng polyme trong chất thải từ việc trồng khóm khá cao và để đẩy nhanh quá trình phân hủy các rác thải nông nghiệp này cần có các chất hoạt hóa sinh học từ vi sinh vật có khả năng sinh enzyme phân giải cellulose, lignin và polysaccharide (Berenguer & ctv., 2023; Irawan & ctv., 2023).

Tuy nhiên, để sản xuất phân bón hữu cơ vi sinh, chất mang và chất nền có vai trò quan trọng trong việc duy trì hiệu quả của vi sinh vật và rút ngắn thời gian ủ (Gong & ctv., 2022; Bolan & ctv., 2023; Ren & ctv., 2023). Nghiên cứu trước đây cho thấy sử dụng *Trichoderma harzianum* kết hợp *Eisenia fetida* và phân bò dẫn đến giảm tỷ lệ C:N 33,1% (Sharma & ctv., 2023). Ngoài ra, tốc độ phân hủy rơm là 45,2% trong 10 ngày và tốc độ phóng thích N, P, K tương ứng là 48,3; 60,3; và 72,1% sau 90 ngày ủ với *Trichoderma viride* và một số vi sinh vật khác (Gao & ctv., 2023). Thêm vào đó, độ ẩm ảnh hưởng đến hoạt động của vi sinh vật cũng như cấu trúc vật lý trong quá trình ủ phân và ảnh hưởng quan trọng đến quá trình phân hủy sinh học của vật liệu hữu cơ (Makan & ctv., 2013), độ ẩm thấp gây hạn chế hoạt động của vi sinh vật trong đồng ủ (Yeh & ctv., 2020). Độ ẩm cao ảnh hưởng đến độ xốp của chất nền và tính thấm khí của chất nền, hạn chế sự vận chuyển oxy cần thiết vào khu vực trung tâm đồng ủ (Zhu & ctv., 2021; Mahapatra & ctv., 2022). Vì vậy, nghiên cứu được thực hiện nhằm mục tiêu

xác định tỷ lệ phụ phẩm và độ ẩm thích hợp trong việc ủ phân hữu cơ.

2. Vật Liệu và Phương Pháp

2.1. Vật liệu

Thí nghiệm được thực hiện vào tháng 6 năm 2021 đến tháng 12 năm 2021 tại khu thí nghiệm thực hành, Trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

Các dòng nấm *Trichoderma* spp. TC1, TC2 và TC3 có khả năng phân giải cellulose được phân lập và lưu trữ tại phòng thí nghiệm vi sinh, khu thí nghiệm thực hành, Trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

2.2. Phương Pháp Nghiên Cứu

Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm 2 nhân tố được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên, nhân tố (A) gồm: Không bổ sung nấm *Trichoderma* spp. (TC), bổ sung nấm Tricho-ĐHCT, bổ sung dòng đơn *Trichoderma* sp. TC1, bổ sung dòng đơn *Trichoderma* sp. TC2, bổ sung dòng đơn *Trichoderma* sp. TC3 và bổ sung hỗn hợp 3 dòng TC1, TC2, TC3; nhân tố (B) gồm: Ẩm độ 50, 60 và 70%. Thí nghiệm được thực hiện trên 3 tỷ lệ vật liệu khác nhau (khóm:bã bùn mía:phân bò, với tỷ lệ 7:1,5:1,5 (KBB7); 8:1:1 (KBB8); 9:0,5:0,5 (KBB9). Thí nghiệm bao gồm 18 tổ hợp nghiệm thức và mỗi tổ hợp nghiệm thức có 3 lần lặp lại.

Ủ mẫu: Cho các túi vật liệu đã sấy (1 kg) vào tủ cấy vi sinh, sau đó cho liều lượng nấm *Trichoderma* sp. đã tăng sinh (100 mL nấm ở mật số 1×10^8 CFU/mL) tương đương ẩm độ ở từng nghiệm thức. Mẫu được ủ trong 4 tuần và tiến hành lấy chỉ tiêu định kỳ giữa các tuần gồm tỷ lệ C/N, hàm lượng N (ni tơ), P (phospho) và C (carbon) tổng số.

Phương pháp phân tích: Vô cơ hóa mẫu bằng H_2SO_4 đậm đặc + axit salicylic với chất xúc tác H_2O_2 . Hàm lượng N và P được đo theo các phương pháp của Houba & ctv. (1995). N tổng số được xác định bằng phương pháp Kjeldahl, hàm lượng P tổng số được đo màu ở bước sóng 880 nm; cacbon tổng số (%): Dùng phương pháp nung để xác định hàm lượng C tổng số theo TCVN 6642:2000 (MOST, 2000).

Xử lý số liệu: Số liệu được nhập bằng phần mềm Microsoft Excel 2017 và sử dụng phần mềm SPSS 13.0 để tiến hành phân tích thống kê. Ở từng thời điểm thu mẫu (tuần), phân tích phương sai hai yếu tố (two-way ANOVA) được sử dụng để so sánh sự khác biệt về giá trị trung bình giữa các nghiệm thức. Kiểm định Duncan ở mức ý nghĩa 5% được dùng để so sánh sự khác biệt giữa các mức của hai yếu tố thí nghiệm. Do hầu hết sự tương tác giữa hai yếu tố không có ý nghĩa thống kê, nên giá trị trung bình của các mức của từng yếu tố được so sánh và trình bày trong các bảng.

3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Hàm lượng C, N, P và tỷ lệ C/N trong phân ủ của tỷ lệ vật liệu ủ khóm:bã bùn mía:phân bò với tỷ lệ 7:1,5:1,5

Hàm lượng C tổng số giữa các dòng năm khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% ở 4 tuần sau ủ (TSU). Cụ thể, nghiệm thức đối chứng có hàm lượng C cao hơn nghiệm thức bổ sung Trico-ĐHCT,

TC1, TC2, TC3, hỗn hợp TC1, TC2, TC3, với dao động 76,7% so với 54,9 - 57,4%, theo thứ tự. Trong khi đó, giữa các ẩm độ hàm lượng C tổng số khác biệt không có ý nghĩa thống kê (Bảng 1).

Hàm lượng N tổng số của nghiệm thức bổ sung Trico-ĐHCT, TC2, TC3 và hỗn hợp TC1, TC2, TC3 có hàm lượng N tổng số tương đương nhau ở 1 TSU, với dao động 1,45 - 1,61%. Ở 2 TSU, bổ sung hỗn hợp TC1, TC2, TC3 đạt hàm lượng N tổng số cao hơn bổ sung Trico-ĐHCT, TC2, TC3 và đối chứng không bổ sung năm, với hàm lượng 1,84% so với 1,33 - 1,55%, theo thứ tự. Ngoài ra, giữa các độ ẩm, hàm lượng N tổng số khác biệt không có ý nghĩa thống kê sau 4 tuần ủ, dao động 1,71 - 1,87% (Bảng 1).

Nghiệm thức đối chứng đạt tỷ lệ C/N cao nhất sau 4 tuần ủ, với giá trị 43,8. Hơn nữa, giữa các ẩm độ có tỷ lệ C/N khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% ở 1 và 3 TSU. Trong đó, tỷ lệ C/N ở ẩm độ 70% đạt cao nhất, với giá trị lần lượt là 59,4 và 44,6 (Bảng 1).

Vào 4 TSU, hàm lượng P tổng số ở nghiệm thức bổ sung hỗn hợp TC1, TC2, TC3 đạt cao nhất (0,574%). Đối với ẩm độ 50 và 60% cho hàm lượng P tổng đạt cao hơn so với ẩm độ 70% tại 4 TSU, với hàm lượng lần lượt là 0,519; 0,498 so với 0,421% (Bảng 1).

3.2. Hàm lượng C, N, P và tỷ lệ C/N trong phân ủ của tỷ lệ vật liệu ủ khóm:bã bùn mía:phân bò với tỷ lệ 8:1:1

Bảng 1. Ảnh hưởng của các dòng nấm *Trichoderma* spp. và độ ẩm của vật liệu ủ khóm: bã bùn mía:phân bò, với tỷ lệ 7:1,5:1,5 (KBB7) đến hàm lượng carbon tổng số, đạm tổng số, tỷ lệ C/N và lân tổng số

Nhân tố	C tổng số				N tổng số				C/N				P tổng số			
	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4
Đôi chứng	81,5 ^a	77,5 ^a	78,9 ^a	76,7 ^a	1,39 ^{bc}	1,50 ^{cd}	1,54	1,79	61,8 ^a	53,1 ^a	51,6 ^a	43,8 ^a	0,163 ^d	0,122 ^c	0,307 ^{ab}	0,521 ^b
Trico-DHCT	72,2 ^b	66,1 ^d	59,7 ^b	56,0 ^b	1,57 ^{ab}	1,55 ^{bc}	1,50	1,90	46,8 ^b	43,2 ^b	40,6 ^{bc}	29,6 ^c	0,249 ^{abc}	0,158 ^c	0,258 ^b	0,484 ^{bc}
Nấm TC1	74,8 ^b	67,1 ^{cd}	61,8 ^b	55,5 ^b	1,20 ^c	1,66 ^{ab}	1,61	1,60	64,5 ^a	41,4 ^b	39,4 ^{bc}	35,1 ^b	0,196 ^{cd}	0,194 ^{ab}	0,290 ^b	0,465 ^c
TC2	75,1 ^b	70,4 ^b	62,5 ^b	55,6 ^b	1,54 ^{ab}	1,33 ^d	1,48	1,78	49,4 ^b	53,4 ^a	42,7 ^b	31,4 ^{bc}	0,304 ^a	0,159 ^{bc}	0,301 ^{ab}	0,442 ^c
TC3	72,6 ^b	69,4 ^{bc}	62,3 ^b	57,4 ^b	1,45 ^{ab}	1,40 ^{cd}	1,55	1,68	51,4 ^b	50,0 ^a	40,2 ^{bc}	34,3 ^b	0,267 ^{ab}	0,218 ^a	0,282 ^b	0,389 ^d
Hỗn hợp TC1, TC2, TC3	74,1 ^b	68,3 ^{cd}	62,5 ^b	54,9 ^b	1,61 ^a	1,84 ^a	1,70	2,06	46,6 ^b	37,5 ^b	37,1 ^c	28,3 ^c	0,228 ^{cd}	0,194 ^{ab}	0,359 ^a	0,574 ^a
Âm độ (B)	74,6	69,0	64,8	59,7	1,50 ^a	1,56	1,66 ^a	1,82	50,6 ^b	44,9	39,8 ^b	33,3	0,254 ^a	0,184	0,331 ^a	0,519 ^a
60	74,8	69,5	64,1	59,4	1,56 ^a	1,56	1,57 ^{ab}	1,87	50,3 ^b	46,7	41,3 ^b	33,4	0,261 ^a	0,170	0,297 ^{ab}	0,498 ^a
70	75,7	70,9	64,9	58,9	1,31 ^b	1,52	1,47 ^b	1,71	59,4 ^a	47,7	44,6 ^a	34,7	0,188 ^b	0,165	0,271 ^b	0,421 ^b
Mức ý nghĩa (A)	*	*	*	*	*	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (B)	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	*
Mức ý nghĩa (A x B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	4,00	3,56	4,38	4,47	14,2	12,2	10,1	18,1	14,9	12,3	10,4	12,5	27,8	24,0	21,4	10,2

Ghi chú: các chữ cái theo sau có giá trị trung bình giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê; *: khác biệt có ý nghĩa thống kê 5%; ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê.
Trico-DHCT: bổ sung nấm Trico-DHCT; TC1: bổ sung dòng đơn *Trichoderma* sp. TC1; TC2: bổ sung dòng đơn *Trichoderma* sp. TC2; TC3: bổ sung dòng đơn *Trichoderma* sp. TC3; Hỗn hợp TC1, TC2, TC3: bổ sung hỗn hợp 3 dòng TC1, TC2 và TC3.

Qua Bảng 2 cho thấy, 4 TSU dòng đơn TC1, TC2, TC3 có hàm lượng C tổng số tương đương dòng Tricho-ĐHCT và thấp hơn không bổ sung nấm, dao động 54,9 - 60,3 < 79,7%. Vào 1, 3 và 4 TSU, hàm lượng C tổng số ở ẩm độ 60% đạt thấp hơn so với điều kiện ẩm độ 50 và 70%, dao động 63,1 - 78,2% so với 59,8 - 74,9%. Bên cạnh đó, 2 TSU với ẩm độ 70% đạt hàm lượng C tổng số cao nhất (74,4%).

Nghiem thức bổ sung nấm TC1 (1,28%) có hàm lượng N thấp hơn đối chứng (1,57%) và Trico-ĐHCT (1,48%) vào 1 TSU. Vào 2 TSU, bổ sung hỗn hợp TC1, TC2, TC3 có N tổng số cao hơn bổ sung Trico-ĐHCT, dòng đơn TC1, TC2 và TC3, với 1,70% so với 1,18 - 1,51%. Ngoài ra, các nghiệm thức bổ sung nấm có hàm lượng N tổng số tương đương nhau vào 3 TSU, với dao động từ 1,47 đến 1,66%. Bên cạnh đó, hàm lượng N tổng số khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% giữa các ẩm độ vào 1 và 2 TSU. Cụ thể, ẩm độ 50% đạt N tổng số cao nhất vào 1 TSU (1,57%). Kể đến, vào 2 TSU, ẩm độ 60% có giá trị N tổng số thấp hơn ẩm độ 50 và 70%, với 1,38% so với 1,53 và 1,50%, theo thứ tự (Bảng 2).

Thời điểm 3 và 4 TSU tỷ lệ C/N dòng đơn

TC1, TC2, TC3 và hỗn hợp TC1, TC2, TC3 tương đương nghiệm thức bổ sung nấm Tricho-ĐHCT, với giá trị dao động 31,6 - 45,2. Tỷ lệ C/N giữa các ẩm độ ở 2 và 3 TSU khác biệt không có ý nghĩa thống kê, với 42,8 - 52,6. Vào 1 TSU, ẩm độ 70% đạt tỷ lệ C/N cao nhất, với 62,0. Tỷ lệ C/N ở ẩm độ 50% (36,2) tương đương ẩm độ 70% (38,4) và cao hơn so với tỷ lệ C/N ẩm độ 60% (34,1) (Bảng 2).

Vào thời điểm 4 TSU nghiệm thức bổ sung hỗn hợp TC1, TC2, TC3 có hàm lượng P tổng số tương đương nghiệm thức bổ sung nấm Tricho-ĐHCT, với 0,507 - 0,538% và cao khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% so với dòng đơn TC1, TC2 và TC3, với 0,351 - 0,380%. Ngoài ra, ẩm độ 50% ở 1 và 4 TSU có hàm lượng P tổng số cao khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% so với 60 và 70%, dao động 0,265 - 0,455% so với 0,166 - 0,420%. Hàm lượng P tổng số giữa các ẩm độ ở 2 và 3 TSU khác biệt không có ý nghĩa thống kê, với 0,142 - 0,293% (Bảng 2).

3.3. Hàm lượng C, N, P và tỷ lệ C/N trong phân ủ của tỷ lệ vật liệu ủ khóm:bã bùn mía:phân bò với tỷ lệ 9:0,5:0,5

Bảng 2. Ảnh hưởng của các dòng nấm *Trichoderma* spp. và độ ẩm của vật liệu ủ khóm:bã bùn mía:phân bò, với tỷ lệ 8:1:1 (KBB8) đến hàm lượng carbon tổng số, đạm tổng số, tỷ lệ C/N và lân tổng số

Nhân tố	C tổng số				N tổng số				C/N				P tổng số			
	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4
Đối chứng	84,6 ^a	81,4 ^a	80,8 ^a	79,7 ^a	1,54 ^a	1,57 ^{ab}	1,70 ^a	1,70	55,9 ^{bc}	52,5 ^b	54,1 ^a	47,8 ^a	0,171 ^b	0,122	0,230 ^b	0,424 ^b
Trico-DHCT	73,5 ^c	73,0 ^b	65,0 ^{bc}	60,2 ^b	1,48 ^{ab}	1,47 ^{bc}	1,47 ^c	1,78	50,4 ^c	50,7 ^b	44,7 ^{bc}	33,9 ^b	0,161 ^b	0,134	0,243 ^b	0,538 ^a
Nấm TC1	78,3 ^b	70,5 ^{bc}	65,8 ^b	59,8 ^b	1,28 ^c	1,18 ^d	1,48 ^c	1,71	63,0 ^a	61,3 ^a	45,2 ^b	35,2 ^b	0,175 ^b	0,157	0,238 ^b	0,369 ^c
Trichoderma TC2	75,5 ^{bc}	71,4 ^{bc}	65,1 ^{bc}	60,3 ^b	1,31 ^{bc}	1,51 ^{bc}	1,53 ^{bc}	1,79	58,5 ^{ab}	47,5 ^{bc}	42,7 ^{bc}	33,9 ^b	0,237 ^a	0,182	0,245 ^b	0,380 ^c
TC3	75,7 ^{bc}	71,8 ^{bc}	65,4 ^b	58,7 ^b	1,40 ^{abc}	1,40 ^c	1,66 ^{ab}	1,68	55,4 ^{bc}	51,8 ^b	39,8 ^c	35,0 ^b	0,240 ^a	0,164	0,325 ^a	0,351 ^c
Hỗn hợp TC1, TC2, TC3	74,1 ^c	68,3 ^c	62,5 ^c	54,9 ^c	1,38 ^{abc}	1,70 ^a	1,51 ^{bc}	1,87	57,5 ^{ab}	42,4 ^c	43,4 ^{bc}	31,6 ^b	0,246 ^a	0,157	0,341 ^a	0,507 ^a
Âm độ (B)	77,8 ^a	72,9 ^{bc}	68,4 ^a	63,9 ^a	1,57 ^a	1,53 ^a	1,58	1,81	50,8 ^c	49,6	45,2	36,2 ^{ab}	0,265 ^a	0,171	0,293	0,455 ^a
	74,9 ^b	71,0 ^b	66,0 ^b	59,8 ^b	1,34 ^b	1,38 ^b	1,61	1,77	57,5 ^b	52,6	42,8	34,1 ^b	0,184 ^b	0,142	0,268	0,410 ^b
	78,2 ^a	74,4 ^a	67,8 ^a	63,1 ^a	1,29 ^b	1,50 ^a	1,48	1,68	62,0 ^a	50,9	46,9	38,4 ^a	0,166 ^b	0,145	0,250	0,420 ^b
Mức ý nghĩa (A)	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*
Mức ý nghĩa (B)	*	*	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	*
Mức ý nghĩa (A x B)	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4,90	4,95	4,02	4,78	12,1	9,86	10,7	9,10	11,5	14,2	10,8	10,6	25,5	30,9	21,2	9,05

Ghi chú: các chữ cái theo sau có giá trị trung bình giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê; *: khác biệt có ý nghĩa thống kê 5%; ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê.
Trico-DHCT: bổ sung nấm Trico-DHCT; TC1: bổ sung dòng đơn Trichoderma sp. TC1; TC2: bổ sung dòng đơn Trichoderma sp. TC2; TC3: bổ sung dòng đơn Trichoderma sp. TC3; Hỗn hợp TC1, TC2, TC3: bổ sung hỗn hợp 3 dòng TC1, TC2 và TC3.

Đối với vật liệu ủ KBB9, hàm lượng C tổng số ở nghiệm thức đối chứng cao hơn các nghiệm thức bổ sung nấm Trico-ĐHCT, TC1, TC2, TC3 và hỗn hợp TC1, TC2, TC3 ở 4 TSU, với 62,0 - 642 < 81,9%. Bên cạnh đó, hàm lượng C tổng số khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% giữa các độ ẩm vào 4 TSU. Nghiệm thức có ẩm độ 50% đạt hàm lượng C tổng số (68,2%) cao hơn so với ẩm độ 60% (64,8%), và tương đương với ẩm độ 70% (66,6%) (Bảng 3).

Vào 4 TSU, các dòng nấm tuyển chọn đạt hàm lượng N cao hơn đối chứng và Trico-ĐHCT, với giá trị lần lượt là 1,75 - 1,87% so với 1,51 và 1,59%. Đối với ẩm độ, hàm lượng N tổng số ở ẩm độ 50% đạt cao nhất vào 4 TSU, với dao động 1,55 - 1,79% so với 1,35 - 1,68% (Bảng 3).

Kết quả Bảng 3 cho thấy, vào 3 và 4 TSU, nghiệm thức đối chứng có tỷ lệ C/N cao nhất, với giá trị lần lượt là 55,5 và 54,8%. Bên cạnh đó,

tỷ lệ C/N khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% giữa các mức ẩm độ tại 1 và 3 TSU. Trong đó, ẩm độ 60 và 70% có tỷ lệ C/N cao hơn ẩm độ 50% vào 1 TSU, với giá trị lần lượt là 61,6% so với 53,6%. Mặt khác, ở ẩm độ 70% đạt tỷ lệ C/N cao nhất (49,0%) ở 3 TSU.

Nghiệm thức bổ sung nấm Trico-ĐHCT đạt hàm lượng P cao nhất vào 4 TSU (0,503%). Đối với ẩm độ, hàm lượng P thấp nhất (0,140%) ở ẩm độ 70% vào 1 TSU. Vào 2 TSU, tại ẩm độ 50 và 70% hàm lượng P tương đương nhau và cao hơn ẩm độ 60%, với 0,121 - 0,139%. Thêm vào đó, vào 3 và 4 TSU, ẩm độ 50% cho hàm lượng P tổng số đạt cao nhất, với 0,262 và 0,414% so với 0,203 - 0,204% và 0,372 - 0,381%, theo thứ tự (Bảng 3).

Bảng 3. Ảnh hưởng của các dòng nấm *Trichoderma* spp. và độ ẩm của vật liệu ủ khóm: bã bùn mía:phân bò, với tỷ lệ 9:0,5:0,5 (KBB9) đến hàm

lượng cacbon tổng số, đậm tổng số, tỷ lệ C/N và lân tổng số

Nhân tố	C tổng số			N tổng số			C/N			P tổng số		
	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4	Tuần 1	Tuần 2	Tuần 3	Tuần 4
Đối chứng	84,4 ^a	83,2 ^a	83,3 ^a	81,9 ^a	1,46 ^b	1,49 ^b	1,52 ^b	1,51 ^b	58,2 ^{bc}	56,2 ^{ab}	55,5 ^a	54,8 ^a
Trico-DHCT	81,4 ^b	76,2 ^b	65,6 ^b	64,0 ^b	1,46 ^b	1,44 ^{bc}	1,65 ^a	1,59 ^b	56,2 ^{bc}	55,1 ^{ab}	40,1 ^d	40,3 ^b
Năm	81,8 ^{ab}	75,3 ^b	69,2 ^b	62,0 ^b	1,25 ^c	1,30 ^c	1,51 ^b	1,82 ^a	67,6 ^a	58,9 ^a	46,6 ^{bc}	34,2 ^c
Trichoderma	80,2 ^b	74,5 ^b	67,9 ^b	63,3 ^b	1,30 ^{bc}	1,45 ^{bc}	1,40 ^b	1,77 ^a	62,6 ^{ab}	52,6 ^{ab}	48,0 ^b	35,9 ^c
spp.	80,4 ^b	75,8 ^b	68,9 ^b	64,2 ^b	1,65 ^a	1,51 ^b	1,77 ^a	1,75 ^a	49,7 ^c	50,4 ^{bc}	39,3 ^d	37,1 ^{bc}
(A)	81,9 ^{ab}	76,2 ^b	69,8 ^b	63,8 ^b	1,40 ^{bc}	1,70 ^a	1,66 ^a	1,87 ^a	59,0 ^{ab}	44,8 ^c	42,4 ^{cd}	34,4 ^c
TC1, TC2, TC3												
50	82,0	77,6	71,1	68,2 ^a	1,55 ^a	1,57 ^a	1,67 ^a	1,79 ^a	53,6 ^b	50,1	43,1 ^b	39,0
60	81,4	76,4	70,4	64,8 ^b	1,36 ^b	1,43 ^b	1,61 ^b	1,68 ^b	61,6 ^a	55,2	44,1 ^b	39,0
70	81,6	76,6	71,0	66,6 ^{ab}	1,35 ^b	1,45 ^b	1,47 ^b	1,68 ^b	61,6 ^a	53,6	49,0 ^a	40,4
Mức ý nghĩa (A)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mức ý nghĩa (B)	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns	*	*
Mức ý nghĩa (A x B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5,73	5,74	10,6	8,76	21,2	19,4	14,6	12,0	26,0	21,5	20,0	16,5
									37,4	24,0	29,4	15,5

Ghi chú: các chữ cái theo sau có giá trị trung bình giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê; *: khác biệt có ý nghĩa thống kê 5%; ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê.
Trico-DHCT: bổ sung nấm Tricho-DHCT; TC1: bổ sung dòng đơn Trichoderma sp. TC1; TC2: bổ sung dòng đơn Trichoderma sp. TC2; TC3: bổ sung dòng đơn Trichoderma sp. TC3; Hỗn hợp TC1, TC2, TC3: bổ sung hỗn hợp 3 dòng TC1, TC2 và TC3.

4. Thảo Luận

Ở cả 3 tỷ lệ vật liệu, các nghiệm thức có bổ sung nấm *Trichoderma* spp. có tỷ lệ C/N thấp hơn nghiệm thức đối chứng (Bảng 1, 2 và 3). Tỷ lệ C/N của vật liệu là thước đo tốc độ phân hủy và khoáng hóa của đồng ủ. Sau khi ủ vật liệu có tỷ lệ C/N cao được xem là phân có chất lượng thấp và ngược lại tỷ lệ C/N thấp thì phân có chất lượng cao và có khả năng phân hủy cao hơn (Bird & ctv., 2001; Organo & ctv., 2022). Tỷ lệ C/N nhỏ hơn 20 thường được sử dụng như là chỉ số về độ hoai mục của phân ủ (Pandit & ctv., 2012). Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, đồng ủ nhỏ, nên tỷ lệ C/N cao (Bảng 1, 2 và 3). Qua 4 TSU, hàm lượng P tổng số ở nghiệm thức bổ sung hỗn hợp 3 dòng nấm TC1, TC2 và TC3 cao hơn nghiệm thức đối chứng ở cả 3 tỷ lệ vật liệu, 0,574 so với 0,521%; 0,507 so với 0,424% và 0,442 so với 0,315%, theo thứ tự (Bảng 1, 2 và 3). N, P và K, là những dưỡng chất thiết yếu cho sự phát triển tối ưu của cây trồng (Negi & Suthar, 2018; Arora & Kaur, 2019). Sự tổng hợp và khoáng hóa P là do phosphatase liên quan đến hệ vi sinh vật trong đồng ủ (Estrada-Bonilla & ctv., 2021). Ngoài ra, nấm *Trichoderma* spp. cũng có khả năng hòa tan P trong quá trình ủ phân (Kapri & Tewari, 2010; Khan & ctv., 2010). Theo Sharma & ctv. (2023) hàm lượng P tăng 123,8% quá trình ủ phân hữu cơ. Hệ vi sinh vật đóng vai trò làm giàu N trong quá trình ủ phân, là do các sản phẩm bài tiết, chất nhầy giàu C tiết ra và enzyme (Suthar & ctv., 2017). Hơn nữa, sự di chuyển liên tục của vi sinh vật và côn trùng gây ra tình trạng sục khí cao dẫn đến điều kiện hiếu khí, do đó giảm thiểu sự thất thoát N trong quá trình nitrate hóa (Sharma & ctv., 2023). Bên cạnh đó, hoạt động của vi sinh vật và độ ẩm trong nguyên liệu ủ phân có mối

liên hệ chặt chẽ với nhau giống như nước có trong nguyên liệu thô được vi sinh vật sử dụng để vận chuyển chất dinh dưỡng và năng lượng qua màng tế bào của chúng. Độ ẩm trong vật liệu ủ phân thay đổi tùy theo kích thước của các vật liệu ủ, điều kiện vật lý của vật liệu và hệ thống ủ phân. Ẩm độ 50 và 60% ở tỷ lệ vật liệu KBB7 có hàm lượng P tổng số cao hơn ẩm độ 70% (Bảng 1). Độ ẩm lý tưởng trong vật liệu ủ phân là khoảng 55% (Meena & ctv., 2021). Thêm vào đó, nhiệt độ là một phép đo quan trọng ảnh hưởng đến quá trình ủ phân và hoạt động của vi sinh vật trong quá trình ủ phân (Zhao & ctv., 2016; Sun & ctv., 2017; Alkarimiah & Suja, 2019). Theo Wong & ctv. (2001) nhiệt độ 60°C là điều kiện lý tưởng nhất trong quá trình ủ phân. Hơn nữa, Joos & ctv. (2020) cho thấy mật số *T. harzianum* giảm, mật số trở nên ổn định vào 6 hoặc 8 TSU. Quá trình ủ phân bao gồm nhiều yếu tố tương tác bao gồm chất dinh dưỡng, độ ẩm, nhiệt độ và sự đa dạng cộng đồng vi sinh vật (Li & ctv., 2014; Deng & ctv., 2020).

5. Kết Luận

Tỷ lệ C/N của các nghiệm thức có bổ sung các dòng nấm thấp hơn nghiệm thức đối chứng không bổ sung nấm ở tỷ lệ vật liệu KBB7 (7:1,5:1,5), với 28,3 - 35,1 so với 43,8. Bổ sung hỗn hợp 3 dòng nấm TC1, TC2 và TC3 có hàm lượng P cao nhất (0,574%). Tương tự, ở tỷ lệ vật liệu KBB8 (8:1:1) hàm lượng C tổng số đạt thấp nhất ở nghiệm thức bổ sung hỗn hợp 3 dòng nấm TC1, TC2 và TC3 (54,9%) và hàm lượng P tổng số ở nghiệm thức bổ sung hỗn hợp 3 dòng TC1, TC2 và TC3 cao hơn nghiệm thức không bổ sung nấm; 0,507 > 0,424%. Bên cạnh đó, tỷ lệ vật liệu KBB9 (9:0,5:0,5) nghiệm thức bổ sung

dòng đơn TC1, TC2, và TC3 hoặc hỗn hợp 3 dòng có hàm lượng N cao hơn đối chứng, với 1,75 - 1,82 so với 1,51%. Thêm vào đó, tỷ lệ vật liệu KBB7 được xem là tốt hơn 2 tỷ lệ vật liệu KBB8 và KBB9 do có hàm lượng N và P tổng số cao hơn ở thời điểm 4 TSU. Hơn nữa, ẩm độ 50 - 60% luôn cho các thông số tốt hơn ở ẩm độ 70%. Đề nghị sử dụng vật liệu KBB7 (7:1,5:1,5) ở ẩm độ 50 - 60%.

Lời Cam Đoan

Chúng tôi cam đoan nghiên cứu do nhóm tác giả thực hiện và không có bất kỳ mâu thuẫn nào giữa các tác giả.

Lời Cảm Ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Hậu Giang đã tài trợ kinh phí để nghiên cứu này được thực hiện.

Tài liệu tham khảo (References)

- Alkarimiah, R., & Suja, F. (2019). Effects of technical factors towards achieving the thermophilic temperature stage in composting process and the benefits of closed rector system compared to conventional method - a mini review. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(4), 9979-9996. https://doi.org/10.15666/aeer/1704_99799996.
- Arora, M., & Kaur, A. (2019). *Azolla pinnata*, *Aspergillus terreus*, and *Eisenia fetida* for faster recycling of nutrients from wheat straw. *Environmental Science and Pollution Research* 26, 32624-32635. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06362-x>.
- Berenguer, C. V., Perestrelo, R., Pereira, J. A., & Câmara, J. S. (2023). Management of agri-food waste based on thermochemical processes towards a circular bioeconomy concept: The case study of the Portuguese industry. *Processes* 11(10), 2870. <https://doi.org/10.3390/pr11102870>.
- Bird, J. A., Horwath, W. R., Eagle, A. J., & van Kessel, C. (2001). Immobilization of fertilizer nitrogen in rice: effects of straw management practices. *Soil Science Society of America Journal* 65(4), 1143-1152. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541143x>.
- Bolan, S., Hou, D., Wang, L., Hale, L., Egamberdieva, D., Tammeng, P., Li, R., Wang, B., Xu, J., Wang, T., Sun, H., Padhye, L. P., Wang, H., Siddique, K. H. M., Rinklebe, J., Kirkham, M. B., & Bolan, N. (2023). The potential of biochar as a microbial carrier for agricultural and environmental applications. *Science of The Total Environment* 886, 63968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163968>.
- Cassellis, M. E. R., Pardo, M. E. S., López, M. R., & Escobedo, R. M. (2014). Structural, physicochemical and functional properties of industrial residues of pineapple (*Ananas comosus*). *Cellulose Chemistry and Technology* 48(7-8), 633-641.
- Deng, W., Zhang, A., Chen, S., He, X., Jin, L., Yu, X., Yang, S., Li, B., Fan, L., Ji, L., Pan, X., & Zou, L. (2020). Heavy metals, antibiotics and nutrients affect the bacterial community and resistance genes in chicken manure composting and fertilized soil. *Journal of Environmental Management* 257, 109980. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109980>.

- Estrada-Bonilla, G. A., Durrer, A., & Cardoso, E. J. (2021). Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. *Applied Soil Ecology* 157, 103760. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103760>.
- Feng, X., Sun, J., & Xie, Y. (2021). Degradation of Shanxi lignite by *Trichoderma citrinoviride*. *Fuel* 291, 120204. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120204>.
- Gao, X., Liu, W., Li, X., Zhang, W., Bu, S., & Wang, A. (2023). A novel fungal agent for straw returning to enhance straw decomposition and nutrients release. *Environmental Technology and Innovation* 30, 103064. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103064>.
- Gong, Y. Z., Niu, Q. Y., Liu, Y. G., Dong, J., & Xia, M. M. (2022). Development of multifarious carrier materials and impact conditions of immobilised microbial technology for environmental remediation: A review. *Environmental Pollution* 314, 120232. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120232>.
- He, J., Zhu, N., Xu, Y., Wang, L., Zheng, J., & Li, X. (2022). The microbial mechanisms of enhanced humification by inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma longibrachiatum* during biogas residues composting. *Bioresource Technology* 351, 126973. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126973>.
- Houba, V. J. G., Novozamsky, I., & der Lee, J. J. V. (1995). Influence of storage of plant samples on their chemical composition. *Science of The Total Environment* 176(1-3), 73-79. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04831-M](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04831-M).
- Ilias, G. N. M., Rahman, M. A., Molla, A. H., Begum, M. F., & Alam, M. F. (2005). Composting of municipal garbage by using *Trichoderma* - a new approach in context of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Genetics and Biotechnology* 6(1), 75-78.
- Irawan, B., Jabbar, S. K., & Farisi, S. (2023). Application of *Trichoderma* sp. in pineapple biomass composting. *Magna Scientia Advanced Biology and Pharmacy* 9(02), 048-053. <https://doi.org/10.30574/msabp.2023.9.2.0048>.
- Joos, L., Herren, G. L., Couvreur, M., Binnemans, I., Oni, F. E., Höfte, M., Debode, J., & Steel, H. (2020). Compost is a carrier medium for *Trichoderma harzianum*. *BioControl* 65, 737-749. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10034-7>.
- Kapri, A., & Tewari, L. (2010). Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. *Brazilian Journal of Microbiology* 41, 787-795. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000300031>.
- Khan, M. S., Zaidi, A., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. A. (2010). Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi—current perspective. *Archives of Agronomy and Soil Science* 56(1), 73-98. <https://doi.org/10.1080/03650340902806469>.
- Li, R., Li, L., Huang, R., Sun, Y., Mei, X., Shen, B., & Shen, Q. (2014). Variations of culturable thermophilic microbe numbers and bacterial communities during the thermophilic phase of composting. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 30, 1737-1746. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1596-4>.
- López-Mondéjar, R., Zühlke, D., Becher, D., Riedel, K., & Baldrian, P. (2016). Cellulose and hemicellulose decomposition by forest soil

- bacteria proceeds by the action of structurally variable enzymatic systems. *Scientific Reports* 6(1), 25279. <https://doi.org/10.1038/srep25279>.
- Mahapatra, S., Ali, M. H., & Samal, K. (2022). Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. *Energy Nexus* 6, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100062>.
- Makan, A., Assobhei, O., & Mountadar, M. (2013). Effect of initial moisture content on the in-vessel composting under air pressure of organic fraction of municipal solid waste in Morocco. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering* 10, 1-9. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-10-1>.
- Meena, A. L., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, R. P. (2021). Composting: phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter* 1, 85-90.
- MOST (Ministry of Science and Technology). (2000). TCVN 6642:2000 (ISO 10694:1995) issued on December 20, 2000. Soil quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion (elemental analysis). Issued on December 20, 2000. Retrieved January 25, 2018, from <https://tieuchuan.vsqi.gov.vn/tieuchuan/view?id=1418>.
- Negi, R., & Suthar, S. (2018). Degradation of paper mill wastewater sludge and cow dung by brown-rot fungi *Oligoporus placenta* and earthworm (*Eisenia fetida*) during vermicomposting. *Journal of Cleaner Production* 201, 842-852. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.068>.
- Organo, N. D., Granada, S. M. J. M., Pineda, H. G. S., Sandro, J. M., Nguyen, V. H., & Gummert, M. (2022). Assessing the potential of a Trichoderma-based compost activator to hasten the decomposition of incorporated rice straw. *Scientific Reports* 12(1), 448. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04430-y>.
- Pandit, N. P., Ahmad, N., & Maheshwari, S. K. (2012). Vermicomposting biotechnology an eco-loving approach for recycling of solid organic wastes into valuable biofertilizers. *Journal of Biofertilizers and Biopesticides* 3, 1-8. <https://doi.org/10.4172/2155-6202.1000134>.
- Polman, E. M., Gruter, G. J. M., Parsons, J. R., & Tietema, A. (2021). Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: A review. *Science of The Total Environment* 753, 141953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141953>.
- Rahman, A., Begum, M. F., Rahman, M., Bari, M. A., Illias, G. N. M., & Alam, M. F. (2011). Isolation and identification of *Trichoderma* species from different habitats and their use for bioconversion of solid waste. *Turkish Journal of Biology* 35(2), 183-194. <https://doi.org/10.3906/biy-0901-21>.
- Ren, X., Jiao, M., Chen, X., Liu, T., Zhang, Y., & Zhang, Z. (2023). Role of bulking agents and additive on composting. In Pandey, A., Awasthi, M., & Zhang, Z. (Eds.), *Current developments in biotechnology and bioengineering* (127-142). Amsterdam, Netherlands: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91874-9.00015-2>.
- Sharma, N., Singh, J., Singh, B., & Malik, V. (2023). Improving the agronomic value of paddy straw using *Trichoderma harzianum*, *Eisenia fetida* and cow dung. *Fermentation* 9(7), 671. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070671>.
- Strakowska, J., Błaszczyk, L., & Chełkowski, J. (2014). The significance of cellulolytic enzymes produced by *Trichoderma* in opportunistic lifestyle of this

- fungus. *Journal of Basic Microbiology* 54(S1), S2-S13. <https://doi.org/10.1002/jobm.201300206>.
- Sun, Q., Wu, D., Zhang, Z., Zhao, Y., Xie, X., Wu, J., Lu, W., & Wei, Z. (2017). Effect of cold-adapted microbial agent inoculation on enzyme activities during composting start-up at low temperature. *Bioresource Technology* 244, 635-640. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.130>.
- Suthar, S., Pandey, B., Gusain, R., Gaur, R. Z., & Kumar, K. (2017). Nutrient changes and biodynamics of *Eisenia fetida* during vermicomposting of water lettuce (*Pistia* sp.) biomass: a noxious weed of aquatic system. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 199-207. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7771-4>.
- Wan, L., Wang, X., Cong, C., Li, J., Xu, Y., Li, X., Hou, F., Wu, Y., & Wang, L. (2020). Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw. *Bioresource Technology* 301, 122730. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122730>.
- Wong, J. W. C., Mak, K. F., Chan, N. W., Lam, A., Fang, M., Zhou, L. X., Wu, Q. T., & Liao, X. D. (2001). Co-composting of soybean residues and leaves in Hong Kong. *Bioresource Technology* 76(2), 99-106. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00103-6).
- Yeh, C. K., Lin, C., Shen, H. C., Cheruiyot, N. K., Camarillo, M. E., & Wang, C. L. (2020). Optimizing food waste composting parameters and evaluating heat generation. *Applied Sciences* 10(7), 2284. <https://doi.org/10.3390/app10072284>.
- Zhao, X., He, X., Xi, B., Gao, R., Tan, W., Zhang, H., & Li, D. (2016). The evolution of water extractable organic matter and its association with microbial community dynamics during municipal solid waste composting. *Waste Management* 56, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.031>.
- Zhu, P., Shen, Y., Pan, X., Dong, B., Zhou, J., Zhang, W., & Li, X. (2021). Reducing odor emissions from feces aerobic composting: additives. *RSC Advances* 11(26), 15977-15988. <https://doi.org/10.1039/D1RA00949D>.