



Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ

Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu

website: ctujsvn.ctu.edu.vn



DOI:10.22144/ctu.jsi.2021.042

ẢNH HƯỞNG CỦA BIOCHAR VÀ PHÂN HỮU CƠ KẾT HỢP VỚI PHÂN HÓA HỌC LÊN MỘT SỐ ĐẶC TÍNH SINH HỌC, HÓA HỌC ĐẤT TRONG MÔ HÌNH CHUYÊN LÚA VỤ ĐÔNG XUÂN TẠI HUYỆN TRẦN ĐỀ, SÓC TRĂNG

Đỗ Thị Xuân^{1*}, Trần Sỹ Nam², Nguyễn Phúc Tuyên¹, Nguyễn Phạm Anh Thi¹, Cao Thị Mỹ Tiên¹, Phan Thị Kim Ba³, Mitsunori Tarao⁴ và Bùi Thị Minh Diệu¹

¹Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

³Sinh viên Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Cần Thơ

⁴Tokyo University of Agriculture and Technology

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Đỗ Thị Xuân (email: dtxuan@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 12/04/2021

Ngày nhận bài sửa: 11/11/2021

Ngày duyệt đăng: 15/11/2021

Title:

Effects of biochar and organic fertilizer in combination with inorganic fertilizer on some biological and chemical parameters of soil under rice monoculture in winter- spring season at Tran De district, Soc Trang province

Từ khóa:

Biochar, mật số vi khuẩn, mô hình chuyên lúa, phát thải khí CH₄, phân gà, tính chất hóa học đất

Keywords:

Chicken manure, density of culturable bacteria, methane emission, rice husk biochar, rice monoculture system, soil chemical parameters

ABSTRACT

The field study is aimed at evaluating the effects of organic matter amendments on soil biological and chemical parameters during the rice plant growth at Tran De district, Soc Trang province. The field experiment was set up as a randomized complete block design with three treatments (NT) (n=3). The results showed that treatments applied by either NT2-Biochar or NT3- chicken manure (PHC) in combination with the inorganic fertilizers increased significantly the densities of the culturable fungi and bacteria as well as nitrogen fixing bacteria, phosphorus solubilizing bacteria, cellulolytic bacteria compared to those of the NT1-inorganic fertilizer regime (KC). In addition, NT2-Biochar increased soil total organic matter, P availability and total phosphorus. The total amount of CH₄ gaseous emission from the NT2-Biochar was the least and was significantly different compared to that of the other treatments. However, rice yields did not differ among treatments. The results showed that the application of organic matters together with inorganic fertilizers helped increasing beneficial functional bacterial groups and some soil chemical parameters and biochar amendment mitigated CH₄ emission in the rice monoculture system in winter-spring crop of the year 2018-2019.

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu đánh giá ảnh hưởng của vật liệu hữu cơ lên quần thể vi sinh vật, sự phát thải khí methane và một số đặc tính dinh dưỡng đất theo giai đoạn sinh trưởng của cây lúa tại huyện Trần Đề. Thí nghiệm được bố trí khối hoàn toàn ngẫu nhiên với ba nghiệm thức (NT) (n=3). Kết quả thí nghiệm cho thấy NT2-Biochar hoặc NT3-bổ sung phân gà (PHC) giúp gia tăng mật số nấm tổng số, vi khuẩn tổng số, nhóm vi khuẩn phân hủy cellulose, cố định đạm, hòa tan lân cao hơn so với NT1-khuyến cáo (KC). Hàm lượng chất hữu cơ, P dễ tiêu, P_t trong đất ở NT2-Biochar đạt cao hơn so với các NT còn lại. Tổng lượng khí CH₄ phát thải từ NT2-Biochar đạt thấp hơn so với các NT còn lại. Tuy nhiên năng suất lúa của các NT khác biệt không có ý nghĩa thống kê. Kết quả của nghiên cứu cho thấy việc bổ sung biochar hoặc phân gà kết hợp với phân vô cơ theo khuyến cáo giúp gia tăng quần thể vi sinh vật có lợi, giúp cải thiện một số tính chất đất trồng lúa chuyên canh và bổ sung biochar giúp giảm lượng khí CH₄ phát thải trong vụ Đông Xuân 2018-2019.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lúa là cây trồng chủ lực của nước ta, để tăng năng suất lúa cũng như tăng độ phì nhiêu cho đất trồng lúa thì yếu tố quan trọng quyết định chính là duy trì độ phì nhiêu đất. Tuy nhiên, thực trạng canh tác lúa hiện nay là ít hoặc không sử dụng phân hữu cơ và tăng việc sử dụng phân bón hóa học quá mức trong quá trình canh tác. Điều này có thể dẫn đến suy thoái đất canh tác, đồng thời cũng ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái đất, làm giảm đáng kể cộng đồng vi sinh vật trong đất (Đỗ Thị Xuân và ctv., 2018) từ đó ảnh hưởng đến năng suất cây trồng.

Phân hữu cơ được xem là giải pháp bổ sung dinh dưỡng và duy trì độ phì nhiêu của đất nông nghiệp một cách an toàn và hiệu quả. Trước tình hình trên, mục tiêu lâu dài được đặt ra là hướng tới một nền sản xuất nông nghiệp an toàn, bền vững, thân thiện với môi trường, tăng cường sử dụng vật liệu hữu cơ đã được ủ hoại như rơm rạ, bã bùn mía, cây phân xanh, phân chuồng làm phân hữu cơ bón cho cây trồng để thay thế dần cho phân hóa học, giúp tăng cường hoạt động của vi sinh vật có ích trong đất, duy trì cung cấp dinh dưỡng cho cây trồng, cải thiện môi trường đất (Châu Minh Khôi và ctv., 2014; Đặng Duy Minh và ctv., 2020).

Biochar (than sinh học) là sản phẩm của quá trình nhiệt phân vật liệu hữu cơ trong điều kiện yếm khí và ở áp suất cao để carbon sinh khối không bị chuyển hóa hoàn toàn mà chuyển sang dạng giữa khoáng và hữu cơ và có khả năng tồn tại lâu trong đất và giúp gia tăng hàm lượng carbon trong đất. Nhiều nghiên cứu cho thấy việc bổ sung biochar trong đất giúp gia tăng hàm lượng chất hữu cơ trong đất, tăng động thái N trong đất, thay đổi cộng đồng vi sinh vật đất (Demisie et al., 2014; Lin et al., 2012; Nelissen et al., 2012;) và giúp hạn chế giảm phát thải khí nhà kính theo nhiều cơ chế như: hạn chế sự hình thành amonia, giảm lượng phát thải N₂O trong đất, ngoài ra vai trò của biochar còn giúp tăng sự hấp thụ CH₄ trong đất trồng lúa, hạn chế phát thải khí nhà kính (Khan et al., 2013; Lehmann et al., 2006; Li et al., 2018). Trong điều kiện đất bị nhiễm mặn, biochar giúp hỗ trợ cây trồng giảm hấp thụ Na, tăng hấp thụ K và giúp cây trồng hấp thụ được nước trong điều kiện đất bị nhiễm mặn (Ali et al., 2017).

Một số nghiên cứu cho thấy bổ sung phân hữu cơ giúp giảm phát thải khí CH₄ nhưng tăng sự phát thải khí N₂O trong đất (Schlesinger, 1999). Tương tự việc bổ sung biochar kết hợp với phân bón vô cơ giúp gia tăng năng suất lúa, giảm phát thải khí N₂O và tăng lượng phát thải khí CO₂ (Wang et al., 2012).

Tuy nhiên, ảnh hưởng của phân gà hoặc biochar lên khả năng hỗ trợ dinh dưỡng cũng như khả năng phát thải khí nhà kính trong đất trồng lúa bị nhiễm mặn tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng vẫn chưa được nghiên cứu. Do đó, nghiên cứu đã được thực hiện với mục tiêu đánh giá ảnh hưởng của vật liệu hữu cơ lên một số đặc tính sinh học, hóa học đất trong mô hình chuyên lúa vụ Đông Xuân tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Các vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm phân gà thương mại 35% humic (công ty Phân bón Sài Gòn Mekong) được sử dụng theo khuyến cáo (1 tấn/ha), biochar vỏ trấu (Công ty Mai Anh, Đồng Tháp) với liều lượng 15 tấn/ha, lúa giống IR50404 được cung cấp bởi Phòng Nông nghiệp huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng với mật độ sạ là 15 kg/1000 m². Phân vô cơ đơn được sử dụng bao gồm phân đạm (46%N), phân lân (16% P₂O₅), phân kali (61% K₂O) theo công thức phân khuyến cáo (105N-30P₂O₅- 50K₂O) của Phòng Nông nghiệp huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng. Các loại phân vô cơ do Công ty cổ phần Phân bón và Hóa chất dầu khí Tây Nam Bộ sản xuất.

Đất thí nghiệm: Thí nghiệm đồng ruộng được thực hiện trên nền đất phù sa bị nhiễm mặn từ tháng 03 đến tháng 05 hàng năm, được canh tác 2 vụ lúa/năm và đất có thời gian canh tác lúa trên 10 năm.

Môi trường nuôi cấy vi sinh vật: Môi trường TSA sử dụng 30 g tryptic soy broth (TSB, Himedia) có bổ sung 2% agar/L; môi trường PDA sử dụng 24 g Potato dextrose agar (PDB, Himedia) có bổ sung 1,5 % agar/L; môi trường Burk không đạm (Park *et al.*, 2005) (g/L): 10 g glucose, 0,41 g KH₂PO₄, 0,52 g K₂HPO₄, 0,05 g Na₂SO₄, 0,2 g CaCl₂, 0,1 g MgSO₄.7H₂O, 0,005 g FeSO₄.7H₂O, 0,0025 g Na₂MoO₄ 2H₂O, 18 g agar; môi trường NBRI (Nautiyal, 1999) với 10 g glucose, 5 g Ca₃(PO₄)₂, 5 g MgCl₂.6H₂O, 0,25 g MgSO₄.7H₂O, 0,2 g KCl, 0,1 g (NH₄)₂SO₄, 20 g agar; môi trường cellulose-Carboxymethyl cellulose (CMC) (Ryckeboer et al., 2002) với 1 g (NH₄)₂SO₄, 1 g K₂HPO₂, 0,5 g MgSO₄, 0,009 g NaCl, 10 g CMC (carboxymethylcellulose), 0,2 g cycloheximide, 20 g agar, môi trường được điều chỉnh về pH= 6,8.

Thiết bị thu mẫu khí CH₄: Sử dụng phương pháp thu mẫu khí buồng kín (closed chamber method) (Minamikawa, 2015).

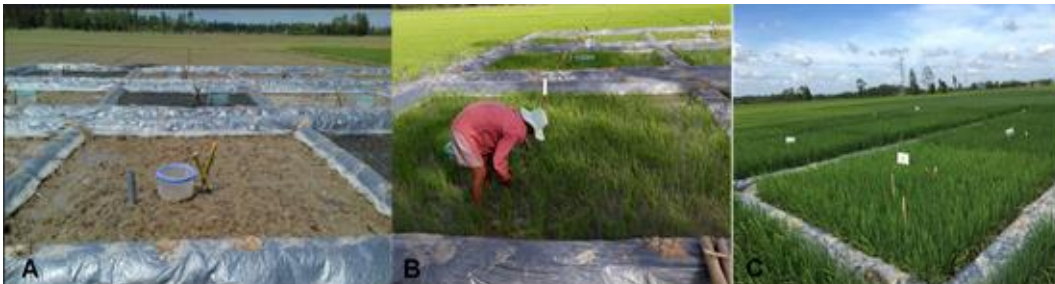
2.2. Bố trí thí nghiệm đồng ruộng

Chuẩn bị đất: Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 9/2018 đến tháng 01/2019 của vụ Đông-Xuân sớm trên nền đất phù sa (52,77% sét, 44,29% thịt và 2,94% cát) tại hộ canh tác chuyên lúa, ấp Thanh Nhân, xã Thạnh Thới An, huyện Trần Đề. Khi kết thúc vụ Hè Thu, ruộng thí nghiệm được tiến hành cày xới đất, phân lô thí nghiệm (5 m x 5,04 m), đắp bờ bao với chiều cao bờ bao là 60 cm và được phủ bạt bao quanh bờ bao nhằm ngăn không cho nước thấm lậu giữa các lô (Hình 1). Giữa các khối có các rãnh dẫn nước vào các lô với chiều rộng rãnh nước khoảng 50- 60 cm. Sau khi chia lô và đắp bờ bao, phân hữu cơ hoặc biochar được bón lót cho các lô thí nghiệm và tiến hành sạ lúa.

Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm được bố trí theo thể thức khối hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 nghiệm thức và 3 lần lặp lại với tổng cộng 9 lô thí nghiệm và diện tích mỗi lô là 25,2 m². Các nghiệm thức bao gồm: i) NT1-KC: Đối chứng bón phân vô cơ (105N-30P₂O₅- 50K₂O) theo khuyến cáo; ii) NT2-Biochar: Bón phân vô cơ theo khuyến cáo + Biochar (15 tấn/ha); và iii) NT3-PHC: Bón phân vô cơ theo khuyến cáo + phân gà thương mại chứa 35% humic

(PHC). Thành phần hóa học của biochar, phân hữu cơ và qui trình bón phân cho lúa được thực hiện như mô tả ở Bảng 1.

Các chỉ tiêu theo dõi: Tại các thời điểm 15, 35, 55 và 85 ngày sau khi sạ (NSKS), trong mỗi lô, các mẫu đất được lấy ngẫu nhiên ở độ sâu 0-20 cm và trộn đều thành 1 mẫu đại diện cho mỗi lô. Các mẫu đất được thu trước khi bón phân cho lúa, được trữ mát và chuyển về Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Cần Thơ. Các mẫu đất sau khi thu về được xử lý và tiến hành phân tích mật số vi sinh vật đất. Với các chỉ tiêu hóa học đất, mẫu đất sau khi xử lý được phơi khô không khí, nghiền qua mắt rây 2 mm và 0,5 mm và tiến hành phân tích pH_{H2O} và EC (tỉ lệ đất: nước là 1:2,5) đo bằng pH kế (Hanna HI 8314) và EC kế (Schott Prolab 2000 – Đức), chất hữu cơ (%C, Walkley Black). Thành phần hóa học đất được phân tích vào giai đoạn đầu và cuối vụ lúa và năng suất lúa. Các chỉ tiêu hóa học đất được phân tích theo qui trình phân tích chuẩn của phòng thí nghiệm Hóa học đất, Bộ môn Khoa học đất, Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ.



Hình 1: Thí nghiệm đồng ruộng với A: Chuẩn bị các lô thí nghiệm và biochar được vùi trong đất, B: lúa được 15 NSKS, C: Lúa được 55NSKS

Bảng 1: Lượng phân bón được sử dụng cho thí nghiệm

Đợt bón phân	Loại phân bón	Lượng phân theo khuyến cáo (g/lô thí nghiệm)		
		NT1-KC	NT2-Biochar	NT3-PHC
Đợt 1: 1 NTKS ¹	Biochar	-	37.500	-
	Lân	781,25	781,25	781,25
Đợt 2: 10 NSKS ²	Đạm	97,83	97,83	97,83
	Kali	83,33	83,33	83,33
	PHC ³	-	-	1.000
Đợt 3: 22 NSKS	Đạm	195,65	195,65	195,65
	PHC	-	-	750
Đợt 4: 45 NSKS	Đạm	195,65	195,65	195,65
	Kali	83,33	83,33	83,33
	PHC	-	-	750

Ghi chú: ¹: ngày trước khi sạ; ²: ngày sau khi sạ; ³: phân gà chứa 35% humic

2.3. Phương pháp phân tích các thành phần sinh học, hóa học đất và năng suất lúa

Phân tích chỉ tiêu sinh học đất: Mật số vi khuẩn (VK) tổng số, mật số nấm tổng số sử dụng môi trường tryptic soya agar (TSA) và môi trường potato dextrose agar (PDA) cho từng nhóm. Mật số các nhóm VK chức năng có lợi bao gồm: nhóm VK phân giải cellulose, VK cố định đạm và nhóm VK có khả năng hòa tan lân được xác định sử dụng các môi trường chuyên biệt cho từng nhóm VK bao gồm: môi trường CMC, Burk và NBRIP. Mật số vi sinh vật hiện diện trong đất thí nghiệm tại các thời điểm thu mẫu được xác định và qui đổi về mật số vi sinh vật hiện diện trong mẫu đất khô kiệt. Các phương pháp xác định mật số vi sinh vật được thực hiện theo Đỗ Thị Xuân và ctv. (2018).

Phương pháp xác định các chỉ tiêu hóa học đất: Các mẫu đất được thu trước khi bố trí thí nghiệm và tại thời điểm thu hoạch lúa được thu và xử lý phơi khô không khí. Các mẫu đất sau đó được nghiền với kích thước là 0,5 mm và phân tích các chỉ tiêu pH (với tỉ lệ đất và nước là 1: 2,5), EC (1: 2,5), đạm tổng số (Nts), lân tổng số (Pts) và chất hữu cơ theo qui trình chuẩn tại phòng thí nghiệm Hóa học đất, Bộ môn Khoa học đất, Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ.

Phương pháp xác định CH₄: Các mẫu khí được thu ở các giai đoạn cây lúa được 12 NSKS cho đến kết thúc thí nghiệm. Chu kỳ thu mẫu là 1 lần.tuần⁻¹ vào lúc 9 giờ sáng cho đến khi cây lúa được 47 ngày tuổi, sau đó khí được thu theo chu kỳ 10 ngày.lần⁻¹. Mẫu khí được thu theo phương pháp buồng thu mẫu kín (closed chamber method) tại thời điểm 0, 10, 20, và 30 phút sau khi đặt chamber, sau đó bơm 30 ml khí vào các ống chuyên dụng chứa mẫu khí. Các chai khí được trữ mát và chuyển về phòng thí nghiệm của Bộ môn Khoa học Môi trường, Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên. Phương pháp thu mẫu và phân tích mẫu theo hướng dẫn của Minamikawa et al. (2015), được phân tích bằng máy sắc ký khí (Model SRI 8610C, Haye Sept-N) với đầu dò FID và ECD. Tổng phát thải CH₄ được tính cộng gộp từ các đợt thu mẫu với nhau và được tính theo phương pháp của Mai Văn Trinh (2016).

Phương pháp xác định chỉ số chlorophyll: Hàm lượng chlorophyll được đo ở 3 vị trí trên lá (cuống lá, phần lá, chóp lá) ở 3 lá trên cùng của mỗi cây bằng máy đo chlorophyll thuộc Bộ môn Khoa học đất, Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ tại thời điểm 35 NSKS, 55 NSKS. Tại mỗi lô thí nghiệm đo ngẫu nhiên 15 cây lúa và tính trung bình cho mỗi lần lặp lại.

Năng suất lúa: Thu toàn bộ hạt chắc trong lô thí nghiệm, xác định trọng lượng hạt chắc của mỗi lô và qui về trọng lượng hạt chắc ở ẩm độ 14% và tính năng suất lúa thực tế (tấn/ ha).

Khối lượng lúa ở ẩm độ 14%: Gặt lúa trong từng lô, đem cân trọng lượng hạt chắc trên 5 m², phơi khô rồi làm sạch, cân trọng lượng của mẫu và đo ẩm độ sau khi cân rồi quy về trọng lượng ở ẩm độ 14%. Ký hiệu W14% (kg).

$$W14\% = \frac{W_{thu\ hoạch} \times (100 - H_{thu\ hoạch})}{86} \times 100$$

Trong đó:

W14%: khối lượng lúa ở ẩm độ 14%

H: ẩm độ lúa (%)

Năng suất thực tế (tấn/ha):

$$(W14\% / 1000) \times (10000 \text{ m}^2 / 5 \text{ m}^2) = W14\% \times 2 \text{ (tấn/ha)}$$

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu thí nghiệm được tổng hợp sử dụng phần mềm Excel (Microsoft office 10). Các số liệu mật số vi sinh vật được chuẩn hóa về logx trước khi xử lý số liệu. Khác biệt trung bình giữa các nghiệm thức thí nghiệm được tính toán thống kê theo phương pháp phân tích phương sai một nhân tố (One-way ANOVA), sử dụng phần mềm Minitab 17 và kiểm định Tukey với khác biệt ở mức ý nghĩa p<0,05.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mật số vi sinh vật theo giai đoạn sinh trưởng của lúa

Mật số nhóm nấm và VK tổng: Mật số nấm tổng số có xu hướng giảm dần từ giai đoạn 15 NSKS đến 35 NSKS sau đó mật số nhóm nấm này duy trì và tăng trở lại ở giai đoạn thu hoạch lúa. Mật số nấm tổng ở NT3-PHC cao và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với NT1-KC và NT2- Biochar (p<0,05) trừ giai đoạn thu hoạch ở NT2- Biochar (Bảng 2). Tương tự, mật số VK tổng số ở NT3- PHC cao và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với NT1-KC qua các giai đoạn sinh trưởng của lúa nhưng khác biệt không có ý nghĩa thống kê so với NT2- Biochar từ sau giai đoạn 15 NSKS (Bảng 2). Nhìn chung, mật số VK, nấm tổng số cũng như nhóm VK chức năng thay đổi theo giai đoạn sinh trưởng của lúa. Đối với mật số của nhóm nấm tổng số có xu hướng đạt cao nhất ở giai đoạn thu hoạch lúa do ở giai đoạn này bề mặt ruộng ẩm nên đây là điều kiện thích hợp cho cộng đồng nấm phát triển trở lại còn ở các giai đoạn còn lại đất bị ngập nước và đây có thể là điều kiện không thích hợp cho nhóm nấm hiếu khí bắt buộc phát triển.

Bảng 2. Mật số vi sinh vật tổng số qua các giai đoạn sinh trưởng, phát triển của cây lúa

Nghiệm thức	Mật số vi sinh vật tổng số (log CFU/g đất khô kiệt)							
	15 NSKS		35 NSKS		55 NSKS		85 NSKS	
	Nằm	VK	Nằm	VK	Nằm	VK	Nằm	VK
NT1-KC	4,40 ^c	6,04 ^c	4,13 ^c	6,61 ^b	4,36 ^b	6,05 ^b	5,12 ^b	5,48 ^b
NT2-Biochar	4,61 ^b	6,26 ^b	4,42 ^b	6,80 ^{ab}	4,44 ^b	6,18 ^{ab}	5,36 ^a	5,68 ^a
NT3-PHC	4,75 ^a	6,53 ^a	4,51 ^a	6,94 ^a	4,72 ^a	6,32 ^a	5,44 ^a	5,75 ^a
Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	3,52	3,39	3,98	2,35	3,73	2,09	2,94	2,25

Ghi chú: Trong cùng một cột, những số có các ký tự theo sau khác nhau thì có khác biệt ý nghĩa thống kê qua phép kiểm định Tukey; *: khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; NSKS: ngày sau khi sạ.

Mật số VK có khả năng phân hủy cellulose đạt cao nhất ở NT3-PHC và khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$) so với hai nghiệm thức còn lại đến giai đoạn 55NSKS. Mật số nhóm VK có khả năng phân hủy cellulose khác biệt không có ý nghĩa thống

kê giữa NT1-KC và NT2-Biochar. Đến giai đoạn thu hoạch thì mật số nhóm VK có khả năng phân hủy cellulose không khác biệt ở cả 3 nghiệm thức (Bảng 3).

Bảng 3. Mật số VK có khả năng phân hủy cellulose qua các giai đoạn sinh trưởng của lúa

Nghiệm thức	Mật số nhóm VK phân hủy cellulose (log CFU/ g đất khô kiệt)		
	35 NSKS	55 NSKS	85 NSKS
NT1-KC	5,07 ^b	5,53 ^b	5,39
NT2-Biochar	5,26 ^b	5,61 ^b	5,62
NT3-PHC	5,53 ^a	5,79 ^a	5,72
Mức ý nghĩa	*	*	ns
CV (%)	4,01	2,32	3,45

Ghi chú: Trong cùng một cột, những số có ký tự theo sau khác nhau thì có khác biệt ý nghĩa thống kê qua phép kiểm định Tukey; *: khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; ns: không khác biệt ý nghĩa thống kê; NSKS: ngày sau khi sạ.

Nhóm VK cố định đạm (VK-N) tự do trong đất: Nhìn chung, mật số VK có khả năng cố định đạm (N) tự do trong ruộng lúa tăng dần từ giai đoạn 15 NSKS đến 35 NSKS và đạt mật số cao nhất. Sau đó, mật số nhóm VK này có xu hướng giảm dần sau 35 NSKS. Mật số nhóm VK cố định N tự do ở NT3-PHC đạt cao nhất và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với NT1-KC ($p < 0,05$) ở các giai đoạn thu mẫu nhưng chỉ khác biệt với NT2-Biochar từ giai đoạn 55NSKS đến giai đoạn thu hoạch lúa (Bảng 3). Nghiệm thức NT2-Biochar có mật số VK cố định đạm cao và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với NT1-KC ở giai đoạn 35 và 55 NSKS (Bảng 4).

Mật số nhóm VK hòa tan lân (VK-P): Mật số của nhóm VK VK-P đạt cao nhất ở giai đoạn 15 NSKS sau đó mật số nhóm VK này giảm ở và duy trì ở giai đoạn 35- 55 NSKS và mật số của nhóm này sau đó giảm dần đến giai đoạn thu hoạch lúa. NT3- PHC có mật số VK-P đạt cao nhất và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với NT1-KC qua các giai đoạn và chỉ khác biệt với NT2-Biochar ở giai đoạn 15-35 NSKS ($p < 0,05$). Mật số VK-P ở NT2-Biochar chỉ khác biệt với NT1-KC ở giai đoạn 35 NSKS ($p < 0,05$) (Bảng 4).

Bảng 4. Mật số nhóm VK có lợi qua các giai đoạn sinh trưởng và phát triển của cây lúa

Nghiệm thức	Mật số nhóm VK chức năng (log CFU/g đất khô kiệt)							
	15 NSKS		35 NSKS		55 NSKS		85 NSKS	
	VK-N	VK-P	VK-N	VK-P	VK-N	VK-P	VK-N	VK-P
NT1-KC	1,94 ^b	6,07 ^b	6,09 ^b	5,95 ^c	5,91 ^c	5,96 ^b	5,12 ^b	5,10 ^b
NT2-Biochar	2,06 ^{ab}	6,13 ^b	6,41 ^a	6,07 ^b	6,15 ^b	6,06 ^{ab}	5,23 ^b	5,30 ^{ab}
NT3-PHC	2,23 ^a	6,35 ^a	6,62 ^a	6,41 ^a	6,29 ^a	6,33 ^a	5,38 ^a	5,42 ^a
Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	7,11	2,21	3,94	3,44	2,81	3,36	2,29	3,16

Ghi chú: Trong cùng một cột, những số có các ký tự theo sau khác nhau thì có khác biệt ý nghĩa thống kê qua phép kiểm định Tukey; *: khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; NSKS: ngày sau khi sạ.

Đối với mật số của nhóm VK tổng số cũng như nhóm VK chức năng, sự hiện diện của các nhóm này đạt cao nhất ở các giai đoạn khác nhau của cây lúa nhưng nhìn chung đối với nhóm VK tổng số, VK-N, VK-P có mật số đạt cao nhất ở giai đoạn 35 NSKS. Ở giai đoạn 35 NSKS, cây lúa nảy chồi tích cực, hệ rễ phát triển mạnh và các dịch tiết từ rễ phóng thích vào vùng rễ nhiều. Đây chính là nguồn thức ăn thu hút được các nhóm vi sinh vật vùng rễ cũng như các nhóm vi sinh vật chức năng hoạt động tích cực. Kết quả được thể hiện ở các nhóm VK được xác định trong nghiên cứu này. Các kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Đỗ Thị Xuân và ctv. (2019) và Yu et al. (2011) về sự thay đổi của cộng đồng VK trong suốt vụ lúa ở các mô hình canh tác lúa khác nhau và cũng kết luận rằng thành phần vi sinh vật hiện diện trong đất trồng lúa ở giữa vụ có xu hướng cao hơn so với giai đoạn cuối vụ. Nhóm VK phân hủy cellulose có mật số đạt cao hơn ở giai đoạn 55 NSKS do có thể ở giai đoạn này một số đoạn rễ lúa và các lá lúa bị chết và trả lại trong đất và đây là nguồn thức ăn cho nhóm VK này phát triển.

Việc bổ sung phân gà và biochar vào đất trồng lúa cho thấy đã tác động đến cộng đồng vi sinh vật đất (Đỗ Thị Xuân và ctv., 2019). Sự bổ sung phân gà vào trong đất góp phần bổ sung nguồn thức ăn cho vi sinh vật cũng như các dưỡng chất cho cây lúa,

giúp cây lúa hấp thu dinh dưỡng tích cực ở giai đoạn sinh trưởng, từ đó có thể giúp hỗ trợ cây lúa phát triển ở các giai đoạn tiếp theo. Bên cạnh đó, bổ sung biochar trâu vào trong đất trồng lúa góp phần làm cho đất thoáng khí hơn do diện tích bề mặt của biochar có nhiều lỗ hổng nên có thể đây là nơi ở cho vi sinh vật và giúp tăng pH đất trồng lúa. Đó có thể là nguyên nhân giúp thu hút được nhiều nhóm vi sinh vật hiện diện ở vùng rễ lúa so với nghiệm thức đối chứng. Trong kết quả nghiên cứu này, NT3-PHC có mật số các nhóm VK tổng số, VK có khả năng phân giải cellulose, nhóm VK cố định đạm, hòa tan lân cao và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức NT1-KC ($p < 0,05$). Tuy nhiên, đối với NT2-Biochar thì cộng đồng vi sinh vật đất thể hiện khác biệt ở 2 giai đoạn hoặc 35 NSKS hoặc 55 NSKS so với NT1-KC.

3.2. Một số đặc tính hóa học đất

Kết quả phân tích Bảng 5 cho thấy ngoại trừ giá trị pH, hàm lượng Nts, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, các giá trị EC, CHC, Pts và Pdt của nghiệm thức NT2-Biochar ở giai đoạn cuối vụ đạt cao và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với mẫu đất đầu vụ và so với NT1-KC. Tuy nhiên, việc bổ sung phân gà ở nghiệm thức NT3-PHC chưa thể hiện sự khác biệt về thành phần dinh dưỡng trong đất so với mẫu đất đầu vụ và so với nghiệm thức đối chứng.

Bảng 5. Tóm tắt một số đặc tính hóa học đất tại thời điểm đầu vụ và cuối vụ

Nghiệm thức	pH _(H2O; 1:2,5)	EC _(H2O; 1:2,5) $\mu\text{S/cm}$	CHC (%CHC)	P _{ts} (%P ₂ O ₅)	P để tiêu (mgP/kg)	N _{ts} (%N)	N hữu dụng (mgNH ₄ ⁺ -N/kg)
Đất đầu vụ	5,45 ^a	619 ^b	3,02 ^c	0,070 ^b	1,67 ^b	0,163	15,9
Cuối vụ							
NT1-KC	4,71 ^b	713 ^b	3,83 ^{bc}	0,090 ^b	2,56 ^b	0,171	20,9
NT2-Biochar	5,54 ^a	938 ^a	4,90 ^a	0,222 ^a	20,8 ^a	0,169	21,1
NT3-PHC	4,81 ^b	779 ^{ab}	3,90 ^b	0,087 ^b	2,90 ^b	0,170	19,2
Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	ns	ns
CV (%)	3,63	2,94	8,4	5,09	5,31	5,03	17,0

Ghi chú: Trong cùng một cột, những số có các ký tự theo sau khác nhau thì có khác biệt ý nghĩa thống kê qua phép kiểm định Tukey; *: khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; ns: không khác biệt ý nghĩa thống kê; NSKS: ngày sau khi sạ.

Kết quả phân tích một số chỉ tiêu hóa học đất cho thấy khi bổ sung biochar giúp cải thiện các đặc tính hóa học và một số chỉ tiêu sinh học đất trong nghiên cứu này. Một số nghiên cứu cho thấy việc bổ sung biochar giúp gia tăng P hữu dụng trong đất do biochar giúp gia tăng pH đất, giúp hấp thu các nguyên tố Ca, Mg hoặc vi Fe, Al từ đó làm gia tăng sự hữu dụng của P trong đất (Brady et al., 2008; Chen et al., 2015; Shepherd et al., 2017; Yao et al., 2013). Tuy nhiên, sự bổ sung phân gà ở NT3-PHC chưa thể hiện sự khác biệt về các chỉ tiêu hóa học trong đất so với nghiệm thức đối chứng NT1-KC. Điều này có thể được giải thích do lượng phân hữu

cơ bón vào đất ít (1 tấn/ha) nên chưa thấy được sự thay đổi của hàm lượng chất hữu cơ trong nghiệm thức bón phân gà so với nghiệm thức đối chứng nhưng phân gà giúp gia tăng mật số vi sinh vật có lợi trong đất trồng lúa (hiệu quả ngắn hạn). Tuy nhiên, lượng biochar được bổ sung cho đất (15 tấn/ha) đã làm tăng hàm lượng chất hữu cơ trong đất so với hai nghiệm thức còn lại. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Amlinger et al. (2007) cho rằng bón phân hữu cơ trên 10 tấn/ha mới có thể cải thiện được hàm lượng chất hữu cơ trong đất. Thêm vào đó, khi bổ sung biochar có giá trị pH cao (pH=8,1) giúp gia tăng pH đất và với đặc tính của

biochar có cấu trúc là các lỗ rỗng giúp đất thoáng khí hơn và là nơi cho các vi sinh vật cư trú nên có thể giúp hỗ trợ hoạt động của vi sinh vật tham gia vào các chu trình dinh dưỡng trong đất (Đỗ Thị Xuân và ctv., 2019; Lehman et al., 2011; Novak et al., 2009).

Kết quả xác định tổng lượng phát thải khí CH₄ đo được đến giai đoạn thu hoạch lúa cho thấy nghiệm thức bổ sung biochar kết hợp phân vô cơ theo khuyến cáo có hàm lượng CH₄ phát thải thấp hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại (p<0,05) (Bảng 6). Nhiều nghiên cứu chứng minh sự phát thải CH₄ trong đất ngập nước trồng lúa là tác nhân chủ yếu đóng góp vào sự phát thải khí nhà kính toàn cầu (Forster et al., 2007; Zhang et al., 2010). Bổ sung biochar vào đất trồng lúa góp phần giảm lượng phát thải CH₄ do biochar (1) giúp tăng điều kiện hiếu khí cho đất, điều này làm chuyển hoá CH₄ trong đất; (2) cung cấp oxy ức chế VK sinh CH₄; và (3) tăng sinh khối vi sinh vật carbon và carbon hữu cơ Stephen et al. (2018). Xu et al. (2016) cũng cho rằng biochar làm tăng tiềm năng oxy hoá CH₄ và giảm hoạt động của

vi sinh vật sinh khí CH₄. Kết quả trong nghiên cứu này có sự tương đồng với nghiên cứu của Feng et al. (2012), Nguyen et al. (2020) và Wang et al. (2019).

3.3. Hàm lượng chlorophyll và năng suất lúa

Qua kết quả phân tích được trình bày ở Bảng 6 cho thấy hàm lượng chlorophyll của nghiệm thức có bổ sung biochar hoặc phân hữu cơ kết hợp với phân hóa học thì hàm lượng chlorophyll trong lá lúa của các nghiệm thức này có xu hướng cao hơn so với NT1-KC ở giai đoạn 35-55 NSKS. Ở giai đoạn 55 NSKS, hàm lượng chlorophyll ở NT3-PHC cao và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với NT1-KC nhưng khác biệt không có ý nghĩa thống kê so với NT2-Biochar. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc bón kết hợp Biochar hoặc PHC làm tăng mật số nhóm vi sinh vật có lợi giúp cây lúa hấp thu được nhiều dinh dưỡng hơn, từ đó có thể đã làm gia tăng diện tích lá và tăng khả năng quang hợp của lá lúa. Sự gia tăng hàm lượng chlorophyll trong lá lúa ở giai đoạn 55 NSKS có ý nghĩa quan trọng giúp gia tăng cung cấp nguồn C cho hạt lúa và giúp gia tăng năng suất lúa (Nguyễn Ngọc Đệ, 2008; Peng, 2008).

Bảng 6. Chỉ tiêu chlorophyll qua các giai đoạn sinh trưởng của lúa

Nghiệm thức	CH ₄ (kg.ha ⁻¹ vụ ⁻¹)	Chlorophyll		Năng suất lúa (tấn/ha)
		35NSKS	55NSKS	
NT1-KC	164,9±53,2 ^a	8,65	17,59 ^b	5,49
NT2-Biochar	122,6±15,9 ^a	9,60	18,83 ^{ab}	5,83
NT3-PHC	36,6±7,7 ^b	9,68	19,75 ^a	6,02
Mức ý nghĩa	*	ns	*	ns
CV(%)	20,97	7,00	6,32	7,28

Ghi chú: Trong cùng một cột, những số có các ký tự theo sau khác nhau thì có khác biệt ý nghĩa thống kê qua phép kiểm định Tukey; *: khác biệt ở mức ý nghĩa 5%; ns: không khác biệt ý nghĩa thống kê; NSKS: ngày sau khi sạ.

Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy năng suất NT3-PHC và NT2-Biochar lần lượt là 6,02 và 5,83 tấn/ha và có xu hướng cao hơn năng suất lúa ở NT1-KC (5,49 tấn/ha). Sự chênh lệch về năng suất lúa ở các nghiệm thức có thể giải thích do sự hiện diện của nhóm VK chức năng hiện diện trong đất của NT3-PHC, NT2-Biochar góp phần hỗ trợ sự sinh trưởng của cây lúa giúp cây lúa hấp thu dinh dưỡng tốt hơn và kết quả là năng suất của lúa đạt cao hơn so với nghiệm thức NT1-KC. Trong mô hình lúa-tôm, việc bón bổ sung biochar hoặc phân hữu cơ kết hợp với phân bón hóa học theo khuyến cáo giúp cải thiện đặc tính sinh học, hóa học đất và giúp tăng năng suất lúa khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức chỉ bón phân hóa học (Đỗ Thị Xuân và ctv., 2019). Tuy nhiên, trong mô hình chuyên lúa, việc bổ sung biochar hoặc phân hữu cơ kết hợp phân hóa học theo khuyến cáo chưa làm gia tăng năng suất lúa đáng kể so với nghiệm thức bón phân hóa

học theo khuyến cáo nhưng giúp cải thiện được đặc tính sinh học cũng như một số chỉ tiêu dinh dưỡng đất so với nghiệm thức chỉ bón phân vô cơ theo khuyến cáo trong nghiên cứu này.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc kết hợp bón phân vô cơ theo khuyến cáo với phân gà hoặc với biochar giúp cải thiện mật số VK tổng số, VK cố định đạm, VK hòa tan lân, nhóm VK phân giải cellulose đồng thời cải thiện được một số tính chất dinh dưỡng đất trồng lúa nhưng năng suất lúa chưa khác biệt giữa các nghiệm thức. Bổ sung biochar kết hợp phân bón vô cơ theo khuyến cáo giúp giảm sự phát thải CH₄ trong ruộng lúa.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Dự án Nâng cấp trường Đại học Cần Thơ VN14-P6 bằng nguồn vốn

vay ODA-E3 từ Chính phủ Nhật và Công ty cổ phần phân bón Sài Gòn Mekong đã tài trợ phân gà 35% phục vụ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Ibrahim, M., Riaz, M., & Shahzad, A. N. (2017). Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12700-12712.
- Amlinger, F., Peyr, S., Geszti, J., Dreher, P., Karlheinz, W., & Nortcliff, S. (2007). Beneficial effects of compost application on fertility and productivity of soils. *Federal Ministry for Agriculture and Forestry, Environment and Water Management. Lebensministerium*.
- Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils. *Upper Saddle River*, 13, 662-710.
- Châu Minh Khôi, Đỗ Bá Tân & Nguyễn Văn Sự. (2014). Hiệu quả của vùi cây điền điền (*Sesbania sesban*) và bón vôi đối với độ phì nhiêu đất và năng suất lúa, bắp nếp trồng trong điều kiện nhà lưới. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 3, 1-8.
- Chen, T., Zhou, Z., Han, R., Meng, R., Wang, H., & Lu, W. (2015). Adsorption of cadmium by biochar derived from municipal sewage sludge: impact factors and adsorption mechanism. *Chemosphere*, 134, 286-293.
- Demisie, W., Liu, Z., & Zhang, M. (2014). Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. *Catena*, 121, 214-221.
- Đặng Duy Minh, Trần Bá Linh, Trần Anh Đức & Châu Minh Khôi. (2020). Hiệu quả của chế phẩm cải tạo đất trong cải thiện đặc tính đất và sinh trưởng của lúa trong điều kiện đất nhiễm mặn. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 56, 159-168.
- Đỗ Thị Xuân, Cao Thị Mỹ Tiên, Nguyễn Phúc Tuyên, Nguyễn Phạm Anh Thi, Bùi Thị Minh Diệu & Phan Thị Thùy Trang. (2019). Sử dụng vật liệu hữu cơ cải thiện dinh dưỡng và đặc tính đất nhiễm mặn trồng lúa tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học đất*, 56, 35-38.
- Feng, Y., Xu, Y., Yu, Y., Xie, Z., & Lin, X. (2012). Mechanisms of biochar decreasing methane emission from Chinese paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 80-88.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D. W. & Van Dorland, R. (2007). *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing*. Chapter 2. In Climate change 2007. The physical science basis.
- Khan, S., Chao, C., Waqas, M., Arp, H. P. H., & Zhu, Y. G. (2013). Sewage sludge biochar influence upon rice (*Oryza sativa* L) yield, metal bioaccumulation and greenhouse gas emissions from acidic paddy soil. *Environmental science & technology*, 47(15), 8624-8632.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403-427.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Li, Y., Hu, S., Chen, J., Müller, K., Li, Y., Fu, W. & Wang, H. (2018). Effects of biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissions: a review. *Journal of Soils and Sediments*, 18(2), 546-563.
- Lin, Y., Munroe, P., Joseph, S., Henderson, R., & Ziolkowski, A. (2012). Water extractable organic carbon in untreated and chemical treated biochars. *Chemosphere*, 87(2), 151-157.
- Mai Văn Trinh. (2016). *Sổ tay hướng dẫn đo phát thải khí nhà kính trong canh tác lúa*. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
- Minamikawa, K., Tokida, T., Sudo, S., Padre, A., & Yagi, K. (2015). Guidelines for measuring CH₄ and N₂O emissions from rice paddies by a manually operated closed chamber method. *National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan*, 76.
- Nautiyal C. S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 170, 265-270.
- Nelissen, V., Rütting, T., Huygens, D., Staelens, J., Ruyschaert, G., & Boeckx, P. (2012). Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 55, 20-27.
- Nguyễn Ngọc Đệ. (2008). *Giáo trình cây lúa*, Nxb. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- Nguyen, B. T., Trinh, N. N., & Bach, Q. V. (2020). Methane emissions and associated microbial activities from paddy salt-affected soil as influenced by biochar and cow manure addition. *Applied Soil Ecology*, 152, 103531.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105-112.
- Park, M., Kim, C., Yang, J., Lee, H., Shin, W., Kim, S., & Sa, T. (2005). Isolation and characterization of diazotrophic growth promotion bacteria from

- rhizosphere of agricultural crops of Korea. *Microbiological Research*, 160, 127 – 133.
- Peng, S., Khush, G. S., Virk, P., Tang, Q., & Zou, Y. (2008). Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. *Field Crops Research*, 108(1), 32-38.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K. & Swings, J. (2003). Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied microbiology*, 94(1), 127-137.
- Schlesinger, W. H. (1999). Carbon sequestration in soils. *Science*, 284(5423), 2095- 2098.
- Shepherd, J. G., Joseph, S., Sohi, S. P., & Heal, K. V. (2017). Biochar and enhanced phosphate capture: Mapping mechanisms to functional properties. *Chemosphere*, 179, 57-74.
- Stephen, Y., Shirley, L., Liqun, C., & Min, S. (2018). Short-term effects of biochar amendment on greenhouse gas emissions from rainfed agricultural soils of the semi–arid Loess Plateau Region. *Agronomy*, 8(74), 1-12.
- Wang, C., Shen, J., Liu, J., Qin, H., Yuan, Q., Fan, F., ... & Wu, J. (2019). Microbial mechanisms in the reduction of CH₄ emission from double rice cropping system amended by biochar: A four-year study. *Soil Biology and Biochemistry*, 135, 251-263.
- Wang, J., Pan, X., Liu, Y., Zhang, X., & Xiong, Z. (2012). Effects of biochar amendment in two soils on greenhouse gas emissions and crop production. *Plant and Soil*, 360(1), 287-298.
- Xu, X., Chen, C. & Xiong, Z. (2016). Effects of biochar and nitrogen fertilizer amendment on abundance and potential activity of methanotrophs and methanogens in paddy field. *Acta Pedol. Sin.*, 53, 1517–1527.
- Yao, Y., Gao, B., Chen, J., & Yang, L. (2013). Engineered biochar reclaiming phosphate from aqueous solutions: mechanisms and potential application as a slow-release fertilizer. *Environmental Science & Technology*, 47(15), 8700-8708.
- Yu, X., Liu, X., Zhu, T. H., Liu, G. H., & Mao, C. (2011). Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization. *Biology and Fertility of Soils*, 47(4), 437-446.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., ... & Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(4), 469-475.