



DOI:10.22144/ctu.jsi.2021.030

## ẢNH HƯỞNG CỦA BIOCHAR VÀ KỸ THUẬT QUẢN LÝ NƯỚC LÊN MỘT SỐ ĐẶC TÍNH HÓA HỌC VÀ SINH HỌC ĐẤT CUỐI VỤ LÚA TẠI QUẬN BÌNH THỦY-THÀNH PHỐ CẦN THƠ

Đỗ Thị Xuân<sup>1\*</sup>, Trần Sỹ Nam<sup>2</sup>, Nguyễn Hữu Chiếm<sup>2</sup>, Nguyễn Quốc Khương<sup>3</sup> và Phạm Thị Hải Nghi<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>3</sup>Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

\*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: 18/10/2021

Ngày duyệt đăng: 15/11/2021

### Title:

Effects of biochar amendments and water management regimes on some soil chemical and biological characteristics in paddy soil at Binh Thuy district, Can Tho city

### Từ khóa:

Biochar, khô - ngập luân phiên, ngập liên tục, nấm rễ nội cộng sinh arbuscular mycorrhiza

### Keywords:

Alternative wetting and drying, arbuscular mycorrhizal fungi, biochar, continuous flooding

### ABSTRACT

The aim of this study was to investigate effects of biochar and water management on some soil chemical and biological parameters as well as rice yields grown on the early winter-spring crop in 2019-2020 at Binh Thuy district, Can Tho city. The field experiment was set up as a randomized complete block (RCB) design with a total of six treatments (n=3) from two factors including biochar kinds/types and water management regimes. Results showed that biochar amendments as well as water management regimes increased soil pH, organic matter content in soil (%C) and decreased EC parameters significantly in comparison to those of the control treatment. Presence of arbuscular mycorrhizal fungal community as well as the density of phosphorus solubilizing bacteria were affected by either biochar amendments or/and water management regimes. The density of the total bacteria, total fungi, free nitrogen-fixing bacteria, cellulolytic bacteria, and rice yield were not affected by these factors in this study.

### TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của biochar và kỹ thuật quản lý nước lên một số đặc tính hóa học và sinh học đất cũng như năng suất lúa vụ Đông Xuân sớm 2019 – 2020 tại Bình Thủy, Cần Thơ. Thí nghiệm đồng ruộng được bố trí khối hoàn toàn ngẫu nhiên với tổng cộng 6 nghiệm thức (n=3) từ hai nhân tố bao gồm loại biochar và kỹ thuật quản lý nước. Kết quả phân tích cho thấy bổ sung biochar hoặc quản lý nước tưới và sự kết hợp của biochar và quản lý nước giúp gia tăng giá trị pH đất, tăng hàm lượng chất hữu cơ trong đất, giảm EC, ảnh hưởng sự hiện diện của nấm rễ nội cộng sinh (AM) và mật số vi khuẩn khóa tan lân. Mật số vi khuẩn tổng số, mật số nấm tổng số, nhóm vi khuẩn cố định đạm, vi khuẩn phân hủy cellulose và năng suất lúa ở các nghiệm thức chưa thể hiện sự khác biệt so với nghiệm thức đối chứng không bổ sung biochar cũng như trong kỹ thuật quản lý nước.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Vi sinh vật có vai trò quan trọng tham gia vào các chu trình sinh địa hóa trong đất và giúp cân bằng hệ sinh thái trong đất (Hill et al., 2000). Những thay đổi về thành phần và số lượng của vi sinh vật trong đất phản ánh sự thay đổi chất lượng đất (Franchini et al., 2007). Vi sinh vật có lợi trong đất như cộng đồng nấm rễ nội cộng sinh, vi khuẩn hòa tan lân, vi khuẩn cố định đạm có vai trò quan trọng trong việc huy động và cung cấp chất dinh dưỡng cho cây trồng (Sahu et al., 2018). Sự cân bằng của quần thể vi sinh vật trong đất thường bị tác động bởi nhiều yếu tố, trong đó có hoạt động trong canh tác nông nghiệp. Do đó, việc duy trì sự cân bằng sinh học trong hệ sinh thái đất canh tác có ý nghĩa quan trọng giúp duy trì độ phì nhiêu đất, giúp canh tác nông nghiệp bền vững và thân thiện với môi trường (Alori & Babalola, 2018).

Biochar (than sinh học) được biết đến là chất cải tạo đất (Lehmann et al., 2006). Theo Woolf et al. (2010), biochar có tiềm năng trong việc làm giảm biến đổi khí hậu thông qua quá trình cố định nguồn carbon và giảm sự phát thải nitơ. Bổ sung biochar vào đất có thể làm thay đổi đặc tính hóa học, sinh học đất, tăng khả năng giữ dinh dưỡng, nước và bảo vệ cộng đồng vi sinh vật trong đất. Một số nghiên cứu xác định tác dụng của than sinh học đối với sinh trưởng và năng suất cây trồng đạt cao hơn khi bón kết hợp biochar với phân khoáng hợp lý (Ishii & Kadoya, 1994; Lehmann et al., 2003; Warnock et al., 2007).

Trong những năm gần đây, biến đổi khí hậu đã và đang ảnh hưởng trực tiếp đến canh tác lúa ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Hiện tượng thiếu

nước vào mùa khô gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến các vùng chuyên canh trồng lúa nước, tác động và làm thay đổi đặc tính hóa, lý và sinh học đất. Mô hình quản lý nước khô ngập luân phiên (Alternate Wetting and Drying - AWD) trong canh tác lúa được xem như phương pháp thích ứng trong canh tác lúa tại một số nơi ở ĐBSCL và được sử dụng như một phương pháp tiết kiệm nước trong canh tác lúa ở nhiều quốc gia trên thế giới (Cabangon et al., 2012; Chapagain & Yamaji, 2010; Dong et al., 2011; Rejesus et al., 2011). Tuy nhiên việc quản lý nước trong quá trình canh tác lúa khô ngập luân phiên ảnh hưởng đến các chu trình dinh dưỡng cũng như một số đặc tính sinh học đất (Gordon et al., 2008; Tan et al., 2017). Việc bổ sung vật liệu hữu cơ như biochar được xem như một trong các phương pháp giúp giảm thiểu phát thải khí nhà kính và cải thiện chất lượng đất (Glaser, 2007; Liang et al., 2017; Nguyen et al., 2020; Warnock et al., 2007). Do đó nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu đánh giá ảnh hưởng của hai loại biochar và phương pháp quản lý nước trong canh tác lúa đến một số đặc tính hóa học, sinh học và năng suất lúa.

**2. PHƯƠNG TIỆN PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**2.1. Phương tiện**

Thí nghiệm đồng ruộng được thực hiện trên đất phù sa có tính phèn nhẹ (Thionic Gleysols) theo hệ thống phân loại của WRB/FAO (2006) với một số đặc tính hóa học đất được trình bày ở Bảng 1. Giống lúa IR50404 có thời gian sinh trưởng 90 - 95 ngày. Phân được bón theo khuyến cáo 80N - 40P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 40K<sub>2</sub>O kg ha<sup>-1</sup> (Vo et al., 2017) và chia thành 3 lần bón vào các giai đoạn 9, 23 và 38 ngày sau khi sạ.

**Bảng 1: Đặc tính hoá học đất đầu vụ**

Nghiệm thức	pH	Dung trọng (g.cm <sup>-3</sup> )	Tỷ trọng (g.cm <sup>-3</sup> )	Độ xốp (%)	CHC (%C)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )
ĐC -AWD	4,8	0,98 ± 0,09	2,22 ± 0,13	55,9 ± 5,3	3,18	43,6 ± 9,1
Biochar trâu- AWD	5,3	0,70 ± 0,03	2,02 ± 0,07	65,1 ± 2,1	4,76	50,0 ± 7,8
Biochar tràm AWD	4,7	0,71 ± 0,005	1,91 ± 0,0	62,9 ± 4,2	4,50	57,4 ± 6,4
ĐC-CF	4,8	1,01 ± 0,13	2,44 ± 0,01	58,79 ± 5,3	4,06	40,61 ± 9,3
Biochar trâu -CF	4,5	0,86 ± 0,03	2,04 ± 0,06	57,90 ± 2,1	4,08	50,52 ± 15,3
Biochar tràm - CF	5,2	0,86 ± 0,10	1,93 ± 0,10	55,59 ± 3,3	3,96	51,76 ± 10,6

Ghi chú: Thanh sai số chỉ thị sai số chuẩn (±SD) của nghiệm thức. CF- Ngập liên tục, AWD – Khô ngập luân phiên. ĐC – nghiệm thức không bổ sung biochar, Biochar trâu – 10 tấn biochar trâu.ha<sup>-1</sup>, Biochar tràm – 10 tấn biochar tràm/ha<sup>-1</sup>. Đặc tính đất đầu vụ của thí nghiệm được tham khảo từ nghiên cứu của Trần Sỹ Nam và ctv. (2020), Hồ Minh Nhựt (2020) và Nguyễn Ngọc Bảo Trâm (2020).

Biochar sử dụng trong thí nghiệm bao gồm 2 loại: biochar trâu (Công ty Mai Anh, Đồng Tháp) và biochar tràm (Phụng Hiệp, Hậu Giang) với một số

đặc tính hóa học của biochar được trình bày ở Bảng 2.

**Bảng 2: Một số đặc tính hóa học của biochar được sử dụng trong nghiên cứu (Trần Sỹ Nam và ctv, 2020; Hồ Minh Nhật, 2020; Nguyễn Ngọc Bảo Trâm, 2020)**

Nguồn biochar	pH	EC (μS/cm)	CEC (cmol.kg <sup>-1</sup> )	Ptot (g/kg)	Ntot (g/kg)	C (g/kg)	Chỉ số I <sub>2</sub> (mg/g)
Biochar trâu	9,56	1836	13,2	0,13	3,26	253,5	515,2
Biochar tràm	7,54	722	9,55	0,33	2,50	291,8	449,1

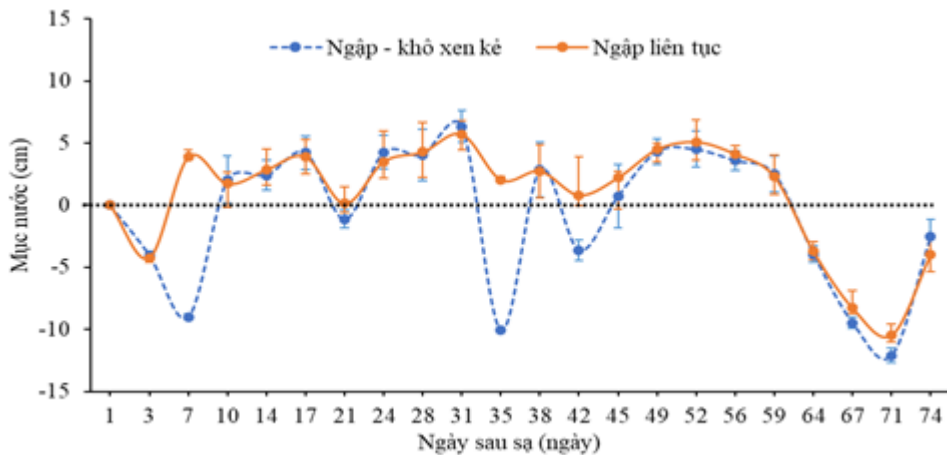
Thiết bị được sử dụng gồm bộ rây mẫu đất (Ø = 8 cm) với 5 mắt rây 500 μm, 300 μm, 210 μm, 106 μm và 25 μm, giấy lọc có chia ô của hãng Sartorius, kính hiển vi quang học Olympus (Model CX21FS1), kính hiển vi soi nổi Olympus (Japan, S2-ST). Các hóa chất được sử dụng nghiên cứu bao gồm acetic acid (CH<sub>3</sub>COOH), boric acid (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) 2,4%, lactic acid (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), dung dịch Melzer sử dụng cho nhuộm bảo tử nấm AM, đường sucrose 50%, FeSO<sub>4</sub> 0,5N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> đậm đặc, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1N, KOH, trypan blue 0,05% được sử dụng cho nhuộm rễ lúa được xử lý.

**2.2. Phương pháp**

Thí nghiệm đồng ruộng được thực hiện tại phường Thới An Đông, quận Bình Thủy, thành phố Cần Thơ vào vụ Đông Xuân năm 2020. Thí nghiệm được bố trí theo thể thức khối hoàn toàn ngẫu nhiên với tổng cộng sáu nghiệm thức và ba lần lặp lại, hai nhân tố bao gồm loại biochar của trâu và biochar tràm (nhân tố A) và biện pháp quản lý nước là tưới khô ngập luân phiên (AWD) và tưới ngập liên tục (continuously flooded - CF). Toàn bộ rơm rạ vụ

trước được vùi lại trong đất, tiến hành làm đất và chuẩn bị gieo sạ. Diện tích mỗi lặp lại là 20 m<sup>2</sup> với khối lượng lúa được sạ là 150 g/20m<sup>2</sup>.

Quản lý nước tưới: Trong mô hình tưới ngập liên tục, mực nước được kiểm soát trong khoảng 5 – 15 cm trên mặt ruộng trong suốt thời gian sinh trưởng của cây lúa. Giai đoạn 15 ngày trước lúc thu hoạch ruộng được rút nước và giữ ẩm. Ở mô hình tưới khô ngập luân phiên, mực nước được giữ trong ruộng ở độ sâu 3 - 5 cm đến giai đoạn cây lúa được 10 ngày tuổi (10 NSS) và tiến hành để nước cạn đến giai đoạn 15 NSS; khi mực nước giảm xuống -10 cm so với bề mặt đất ruộng thì tiến hành cho nước vào khoảng 5 cm so với bề mặt đất ruộng. Từ giai đoạn 15 NSS đến giai đoạn 45 NSS, nước được bơm 4 lần. Ở giai đoạn lúa từ 45 đến 60 NSS, lúa được giữ nước ngập liên tục ở độ sâu 5 cm so với mặt đất ruộng. Đến giai đoạn lúa được 70 NSS, lúa được thêm nước lần cuối với độ sâu của mực nước là 5 cm. Mười lăm ngày trước khi thu hoạch lúa nước được rút hết để thuận tiện cho thu hoạch (Hình 1).



**Hình 1: Diễn biến mực nước trong ruộng lúa của hai mô hình canh tác lúa vụ Đông Xuân năm 2019- 2020**

**2.3. Phương pháp thu mẫu**

Tại thời điểm thu hoạch lúa, mẫu đất vùng rễ lúa và rễ lúa được thu ở độ sâu 0 – 15 cm. Ở mỗi ô thí nghiệm, tiến hành thu ở 5 vị trí theo hình chữ Z, cho vào bịch trộn đều đại diện cho 1 mẫu đất và bảo quản trong điều kiện mát. Mẫu rễ được rửa sạch, loại bỏ

các rễ già và rễ có biểu hiện bất thường và được xử lý theo mô tả của Phạm Thị Hải Nghi và ctv. (2020). Đối với mẫu đất, loại bỏ xác bã thực vật, trộn đều. Mẫu đất được chia đều thành 2 phần, một phần sử dụng để xác định mật số vi sinh vật và phần còn lại phơi khô ở nhiệt độ phòng để xác định một số chỉ tiêu hóa học đất.

**2.4. Phương pháp đánh giá chỉ tiêu sinh học và hoá học đất**

Một số chỉ tiêu sinh học đất: Mẫu đất tươi sau khi xử lý được xác định mật số bào tử nấm rễ nội cộng sinh trong đất vùng rễ theo phương pháp mô tả của Phạm Thị Hải Nghi và ctv. (2020). Mật số vi sinh vật trong ruộng lúa được xác định sử dụng môi trường PDA (Potato Dextrose Agar) cho nhóm nấm tổng số, TSA (Trytone Soya Agar) cho nhóm vi khuẩn tổng số (Clark, 1965), môi trường NBRIP cho nhóm vi khuẩn hòa tan lân, môi trường Burk không đậm cho nhóm vi khuẩn cố định N tự do trong đất (Park et al., 2005) và môi trường CMC (Carboxyl Methy Cellulose) cho nhóm vi khuẩn có khả năng phân hủy cellulose (Ulrich et al., 2008). Mẫu đất phơi khô không khí được nghiền qua mắt rây 2 mm và 0,5 mm và tiến hành phân tích các chỉ tiêu hoá học đất bao gồm pH<sub>H2O</sub> 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).

**2.5. Phương pháp xử lí số liệu**

Sử dụng phần mềm Microsoft Excel (phiên bản 2016) để tổng hợp, xử lý các số liệu. Các chỉ tiêu hóa học và sinh học đất được đánh giá sử dụng phần mềm Minitab 16.2 để phân tích phương sai và sử dụng phép thử Tukey để đánh giá sự khác biệt giữa nhân tố trong nghiên cứu.

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Ảnh hưởng của biochar lên một số đặc tính hóa học đất**

Kết quả phân tích mẫu đất cuối vụ trồng lúa cho thấy sự thay đổi của một số tính chất hóa học đất không đáng kể giữa đất đầu vụ và đất cuối vụ trong cùng một nghiệm thức thí nghiệm. Tuy nhiên, tại thời điểm thu hoạch lúa, giá trị pH, EC, chất hữu cơ ở các nghiệm thức khác nhau bị ảnh hưởng bởi loại biochar, phương pháp quản lý nước cũng như sự tương tác của các nhân tố lên các đặc tính hóa học đất (Bảng 1 và Bảng 3).

**Bảng 3. Ảnh hưởng của kỹ thuật quản lí nước và hàm lượng biochar đến pH, EC và chất hữu cơ trong đất**

	Đôi chứng	Biochar trâu	Biochar tràm	Trung Bình (B)
<b>pH (đất) (tỉ lệ đất: nước= 1: 2,5)</b>				
CF	4,76 <sup>d</sup>	4,81 <sup>c</sup>	4,92 <sup>a</sup>	4,83Y
AWD	4,73 <sup>d</sup>	4,87 <sup>b</sup>	4,83b <sup>c</sup>	4,81Z
Trung bình (A)	4,74C	4,84B	4,87A	
F(A)				**
F(B)				*
F(A x B)				**
CV(%)				1,33
<b>EC(µS/cm) (tỉ lệ đất: nước= 1:2,5)</b>				
CF	428,7 <sup>b</sup>	422,0 <sup>bc</sup>	384,4 <sup>c</sup>	411,7Z
AWD	493,5 <sup>a</sup>	405,3 <sup>c</sup>	425,1 <sup>bc</sup>	441,3Y
Trung bình (A)	461,1A	413,7B	404,8B	
F(A)				**
F(B)				**
F(A x B)				**
CV(%)				1,38
<b>CHC (%C)</b>				
CF	3,82 <sup>cd</sup>	4,25 <sup>a</sup>	4,02 <sup>b</sup>	4,03Y
AWD	3,80 <sup>d</sup>	4,08 <sup>b</sup>	3,90 <sup>c</sup>	3,93Z
Trung bình (A)	3,81C	4,16A	3,96B	
F(A)				**
F(B)				**
F(A x B)				**
CV(%)				8,18

**Ghi chú:** Giá trị trung bình trong cùng một cột (FB), cùng một hàng F(A) và các số liệu trong ma trận của 6 nghiệm thức có những ký tự theo sau khác nhau thì khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 1% qua phép kiểm định Duncan. \*\*: khác biệt ở mức ý nghĩa 1%, \*: khác biệt ở mức ý nghĩa 5%, ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê. CF: ngập liên tục, AWD: khô ngập luân phiên.

### Giá trị pH

Kết quả trình bày ở Bảng 3 cho thấy việc sử dụng loại biochar và biện pháp quản lý nước cũng như sự kết hợp của hai nhân tố này đã ảnh hưởng đáng kể đến giá trị pH đất ( $p < 0,05$ ). Giá trị pH đất của các nghiệm thức dao động từ 4,74 – 4,87 và được đánh giá là chua vừa theo thang đánh giá pH đất của Lê Văn Căn (1978). Nghiệm thức sử dụng biochar trầm có giá trị pH cao hơn và khác biệt ý nghĩa thống kê ( $p < 0,01$ ) so với các nghiệm thức sử dụng biochar trấu trong điều kiện tưới CF và AWD. Nghiệm thức sử dụng biochar trầm có giá trị pH đạt cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức bổ sung biochar trấu và nghiệm thức đối chứng không bổ sung biochar. Kỹ thuật tưới AWD có giá trị pH thấp hơn so với kỹ thuật tưới CF ( $p < 0,01$ ). Kết quả này cho thấy khi bổ sung biochar giúp giảm sự chua hóa của đất do bản chất của biochar là kiềm, từ đó giúp gia tăng pH đất ở giai đoạn cuối vụ lúa (Curaqueo et al., 2014; Gul et al., 2015; Liu et al., 2011; Peng et al., 2011).

### Độ dẫn điện (EC)

Độ dẫn điện (EC) trong đất bị ảnh hưởng bởi loại biochar sử dụng trong đất và kỹ thuật quản lý nước trong canh tác lúa ( $p < 0,01$ ). Giá trị EC của các nghiệm thức dao động từ 384,4 đến 493,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  và được đánh giá là không ảnh hưởng đến năng suất cây trồng (Eswaran, 1985). Các nghiệm thức bón biochar có giá trị EC thấp hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ) khi so sánh với nghiệm thức đối chứng (không bón biochar). Mô hình quản lý nước AWD dẫn đến giá trị EC đạt cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với phương pháp quản lý nước ngập liên tục. Sự tương tác của hai nhân tố này ảnh hưởng lên độ dẫn điện (EC) trong đất ( $p < 0,01$ ) (Bảng 3). Kết quả nghiên cứu này phù hợp với nghiên cứu của Vũ Văn Long và ctv. (2016) và Đỗ Thị Xuân và ctv. (2019) khi bổ sung biochar giúp giảm giá trị EC trong đất trồng lúa.

### Chất hữu cơ (CHC)

Tương tự như giá trị pH và EC trong đất, hàm lượng chất hữu cơ trong đất của các nghiệm thức bị ảnh hưởng bởi loại biochar và phương pháp quản lý nước trong ruộng. Các nghiệm thức bón biochar có hàm lượng CHC đạt cao hơn và khác biệt ý nghĩa thống kê ( $p < 0,01$ ) khi so sánh với nghiệm thức ĐC. Trong đó, nghiệm thức bón biochar trấu có hàm lượng chất hữu cơ cao nhất đạt 4,16 %C so với các nghiệm thức còn lại (Bảng 3). Nhiều nghiên cứu đã chứng minh hàm lượng chất hữu cơ trong đất được tăng thêm là do bón bổ sung thêm biochar (Keith et

al., 2011; Liang et al., 2017). Phương pháp giữ nước ngập liên tục CF trong ruộng giúp duy trì hàm lượng chất hữu cơ cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,01$ ) so với phương pháp quản lý nước AWD. Nguyên nhân trong giai đoạn ngập – khô trong canh tác lúa đã giúp thúc đẩy tiến trình phân hủy chất hữu cơ nhanh hơn so với quá trình canh tác lúa giữ nước ngập liên tục. Đây có thể là nguyên nhân trong canh tác lúa khô ngập luân phiên có hàm lượng chất hữu cơ trong đất ít hơn so với mô hình canh tác ngập liên tục (Moyano et al., 2013; Oliver et al., 2019). Kết quả thí nghiệm cho thấy sự bổ sung biochar trấu trong điều kiện quản lý nước CF giúp gia tăng hàm lượng CHC so với các nghiệm thức còn lại.

### 3.2. Ảnh hưởng của loại biochar và kỹ thuật quản lý nước lên đặc tính sinh học đất

Kết quả thí nghiệm cho thấy sự bổ sung biochar cũng như kỹ thuật quản lý nước tưới đã ảnh hưởng đến tỉ lệ xâm nhiễm cũng như số lượng của bào tử nấm AM trong đất trồng lúa.

#### Tỉ lệ xâm nhiễm của nấm rễ nội cộng sinh

Kết quả Bảng 4 cho thấy tỉ lệ xâm nhiễm của nấm AM vào rễ lúa ở các nghiệm thức dao động trong khoảng 60,5- 91%. Tỉ lệ xâm nhiễm trong rễ lúa ở nghiệm thức đối chứng không bón biochar đạt cao nhất và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức bổ sung biochar trấu và biochar trầm trong điều kiện tưới CF và AWD, tuy nhiên không có sự khác biệt thống kê giữa tỉ lệ xâm nhiễm của nấm AM trong rễ lúa ở nghiệm thức bổ sung biochar trấu hoặc biochar trầm. Mặt khác, kỹ thuật tưới AWD có tỉ lệ xâm nhiễm của nấm AM đạt cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với kỹ thuật tưới ngập liên tục ( $p < 0,01$ ). Nhìn chung, sự kết hợp của kỹ thuật tưới với việc bổ sung biochar đã ảnh hưởng đến tỉ lệ xâm nhiễm của nấm AM trong rễ lúa (Bảng 4).

Kết quả này cho thấy có thể việc bổ sung biochar ảnh hưởng đến sự xâm nhiễm của nấm rễ nội cộng sinh vào trong rễ cây lúa. Một số nghiên cứu đã kết luận việc bổ sung biochar ảnh hưởng đến sự hiện diện của nấm rễ nội cộng sinh trong điều kiện đất có hàm lượng dinh dưỡng cao do việc bổ sung than sinh học có thể thay đổi tính hữu dụng của dưỡng chất trong đất, ảnh hưởng đến các đặc tính lý hóa của đất từ đó ảnh hưởng đến sự hiện diện của nấm rễ AM (DeLuca et al., 2006, Gundale & DeLuca, 2006; Matsubara et al., 2002; Warnock et al., 2007). Theo Nguyễn Quốc Khương và ctv. (2013), sử dụng biochar trên đất trồng lúa giúp gia tăng hiệu quả sử

dụng đạm, từ đó bộ rễ của cây trồng sẽ hấp thu trực tiếp N từ đất mà không thông qua hệ thống nấm rễ (Wang et al., 2018). Vì thế, khi bổ sung biochar vào

đất trồng lúa có thể gây hạn chế sự xâm nhiễm của nấm rễ AM vào rễ lúa trong phạm vi nghiên cứu này.

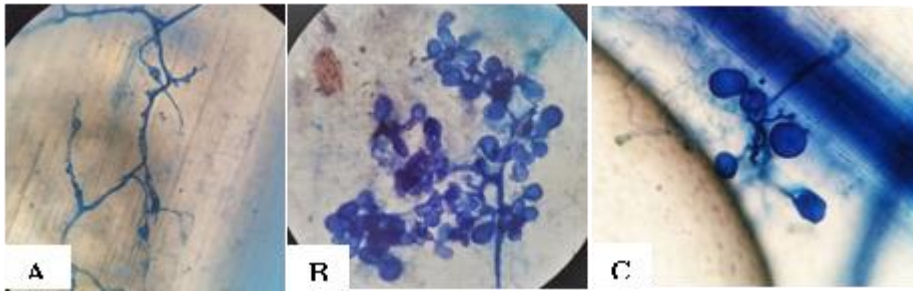
**Bảng 4: Ảnh hưởng của hàm lượng biochar và kỹ thuật canh tác lúa đến sự hiện diện của nấm rễ AM**

Tỷ lệ xâm nhiễm của nấm rễ AM trong rễ lúa (%)				
	Đối chứng	Biochar trâu	Biochar tràm	Trung Bình (B)
CF	91,00 <sup>a</sup>	68,67 <sup>b</sup> <sup>c</sup>	60,50 <sup>c</sup>	73,39Z
AWD	90,00 <sup>a</sup>	76,00 <sup>b</sup>	76,50 <sup>b</sup>	80,83Y
Trung bình (A)	90,5A	72,33B	68,5B	
F(A)				**
F(B)				**
F(A x B)				**
CV(%)				15,05
Số lượng bào tử (bào tử/ 100g đất khô kiệt)				
CF	1002 <sup>a</sup>	687 <sup>b</sup>	552 <sup>c</sup>	750Z
AWD	965 <sup>a</sup>	744 <sup>b</sup>	712 <sup>b</sup>	807Y
Trung bình (A)	983A	721B	632B	
F(A)				**
F(B)				**
F(A x B)				**
CV(%)				21,05
Chi <i>Glomus</i> (%)				
CF	94,60 <sup>a</sup>	69,75 <sup>b</sup>	65,26 <sup>b</sup>	76,54Z
AWD	92,02 <sup>a</sup>	88,43 <sup>a</sup>	85,38 <sup>a</sup>	88,61Y
Trung bình (A)	93,31A	79,09B	75,33B	
F(A)				**
F(B)				**
F(A x B)				**
CV(%)				14,83
Chi <i>Acaulospora</i> (%)				
CF	5,07 <sup>b</sup>	30,08 <sup>a</sup>	34,72 <sup>a</sup>	23,29Y
AWD	7,66 <sup>b</sup>	11,57 <sup>b</sup>	14,38 <sup>b</sup>	11,20Z
Trung bình (A)	6,37B	20,83A	24,55A	
F(A)				**
F(B)				**
F(A x B)				**
CV(%)				28,06
Chi khác (%)				
CF	0,33	0,17	0,00	0,17
AWD	0,33	0,00	0,23	0,19
Trung bình (A)	0,32	0,08	0,12	
F(A)				ns
F(B)				ns
F(A x B)				ns
CV(%)				33,25

**Ghi chú:** Giá trị trung bình trong cùng một cột (FB), cùng một hàng F(A) và các số liệu trong ma trận của 6 nghiệm thức có những ký tự theo sau khác nhau thì khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% qua phép kiểm định Duncan. \*\*: khác biệt ở mức ý nghĩa 1%, ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê, CF: ngập liên tục, AWD: khô ngập luân phiên.

Do đặc tính sinh học của cây lúa có hệ thống ống thở trong bộ rễ từ đó giúp cho sự cộng sinh của nấm rễ AM vào bên trong rễ lúa được thực hiện dễ dàng. Vì vậy, ở cả hai mô hình canh tác đều có sự hiện diện của nấm rễ AM. Thêm vào đó, do nấm rễ AM là cộng đồng nấm cộng sinh hiếu khí (Vallino et al.,

2009) nên trong điều kiện canh tác AWD, lượng oxy cung cấp cho vùng rễ đạt nhiều hơn so với phương pháp quản lý nước ngập liên tục nên có thể ảnh hưởng đến sự phân bố của nấm rễ AM, do đó tỉ lệ xâm nhiễm ở mô hình canh tác AWD (80,83%) cao hơn so với mô hình CF (73,39%).



**Hình 2: Cấu trúc xâm nhiễm của nấm AM trong rễ lúa ở độ phóng đại 400X**

Ghi chú: A – Dạng sợi; B, C - Dạng túi

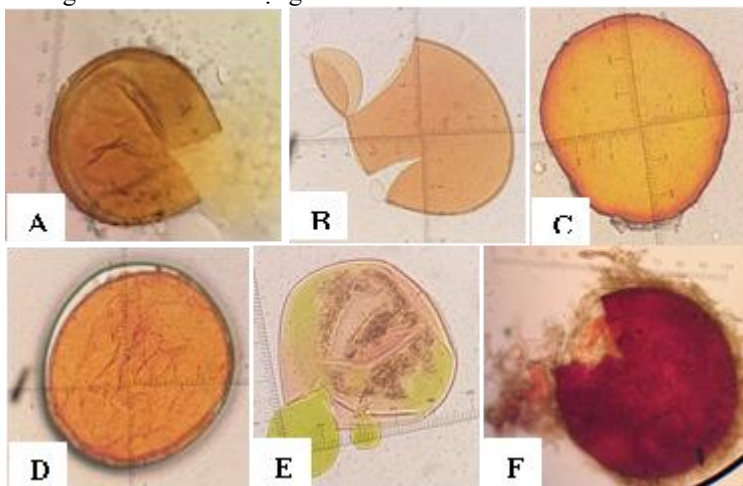
Cấu trúc xâm nhiễm chủ yếu của nấm AM trong rễ lúa là dạng sợi nấm không vách ngăn (Hình 2A) và dạng túi (Hình 2B-C). Các cấu trúc xâm nhiễm này giúp hỗ trợ cây trồng hấp thu một số nguyên tố dinh dưỡng trong điều kiện đất canh tác thiếu hụt dinh dưỡng do hệ sợi nấm rễ phân nhánh ra bên ngoài rễ cây trồng và với hệ thống các túi bên trong rễ cây, giúp dự trữ dinh dưỡng, muối và kim loại nặng, hỗ trợ cây chống chịu được với những điều kiện bất lợi của môi trường và đây cũng là cấu trúc phổ biến nhất của nấm AM (Smith & Read, 2008; Bernaola et al., 2018).

*Số lượng bào tử nấm rễ nội cộng sinh*

Tương tự kết quả tỉ lệ xâm nhiễm của nấm AM, số lượng bào tử nấm rễ AM bị ảnh hưởng bởi loại biochar và kỹ thuật quản lí nước tưới. Số lượng bào tử nấm AM hiện diện ở các nghiệm thức dao động từ 632 – 983 bào tử/100g đất khô kiệt. Nghiệm thức đối chứng không bổ sung biochar có số lượng bào

tử đạt cao nhất và khác biệt ý nghĩa thống kê ( $p < 0,01$ ) so với các nghiệm thức còn lại trong cả hai kỹ thuật quản lí nước tưới cũng như sự bổ sung loại biochar cho thí nghiệm ( $p < 0,01$ ). Số lượng bào tử nấm AM ở phương pháp tưới AWD cao hơn và khác biệt ý nghĩa thống kê ( $p < 0,01$ ) so với phương pháp tưới CF.

Đối với sự hiện diện của bào tử thuộc chi *Glomus*, nghiệm thức đối chứng có số lượng bào tử *Glomus* đạt cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức bổ sung biochar trong điều kiện đất ngập liên tục nhưng khác biệt không có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức bổ sung biochar trong điều kiện tưới AWD. Kết quả đánh giá sự tương tác giữa kỹ thuật tưới và bổ sung biochar cho thấy số lượng bào tử thuộc chi *Glomus* bị ảnh hưởng bởi kỹ thuật tưới và kỹ thuật tưới ngập liên tục làm giảm số lượng bào tử ở các nghiệm thức có bổ sung biochar (Bảng 4).



**Hình 3: Bào tử thuộc các chi nấm VAM trong mẫu đất vùng rễ lúa ở độ phóng đại 400X**

Chi *Glomus*, B- Chi *Acaulospora*, C- Chi *Gigaspora*; D-F: Chi chưa định danh

Với chi *Acaulospora*, số lượng bào tử thuộc chi *Acaulospora* ở các nghiệm thức được bổ sung biochar trâu hoặc biochar tràm trong điều kiện tưới ngập liên tục đạt cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức được bổ sung biochar trong điều kiện tưới AWD ( $p < 0,01$ ). Các nhân tố biochar, kỹ thuật tưới cũng như sự tương tác của hai nhân tố đã ảnh hưởng đến sự xâm nhiễm của nấm AM, từ đó có thể ảnh hưởng đến sự hình thành bào tử thuộc chi *Acaulospora* trong nghiên cứu này. Đối với các nhóm bào tử chưa được định danh thì sự bổ sung biochar cũng như kỹ thuật tưới chưa thể hiện sự khác biệt giữa các nghiệm thức với nhau.

Nhìn chung, việc bổ sung biochar đã làm giảm số lượng bào tử nấm rễ AM trong đất vùng rễ. Sự hình thành bào tử phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó sự xâm nhiễm nấm AM vào rễ lúa là một trong những yếu tố quyết định đến sự hình thành bào tử nấm AM trong đất vùng rễ. Các nghiệm thức trồng lúa tại quận Bình Thủy đều có sự hiện diện của bào tử thuộc các chi nấm AM là chi *Glomus* (Hình 3A), *Acaulospora* (Hình 3B), *Gigaspora* (Hình 3C) và 3 dạng bào tử chưa được định danh (Hình 3D-F). Đây là các nhóm nấm rễ phổ biến trong đất canh tác lúa (Phạm Thị Hải Nghi và ctv., 2020).

*Mật số vi khuẩn và nấm*

Kết quả trình bày ở Bảng 5 cho thấy mật số vi khuẩn tổng, nấm tổng số, vi khuẩn cố định đạm và

vi khuẩn phân hủy cellulose không bị ảnh hưởng bởi loại biochar cũng như kỹ thuật quản lý nước. Tuy nhiên, kỹ thuật quản lý nước AWD có ảnh hưởng đến nhóm vi khuẩn có khả năng hòa tan lân và quản lý nước CF giúp mật số vi khuẩn hòa tan lân đạt cao hơn so với phương pháp quản lý nước AWD. Sohi et al. (2009) kết luận rằng biochar sản xuất từ phế phẩm nông nghiệp (như lúa mạch đen, ngô) phân giải sucrose và rong biển là sản phẩm có sức bền cơ học thấp, do đó chúng giàu dinh dưỡng nên đây là nguồn thức ăn cho các nhóm vi sinh vật trong đất. Kết quả nghiên cứu của Anderson et al. (2014) cho thấy sự hiện diện của biochar làm tăng sự đa dạng vi khuẩn được phát hiện nhưng không có tác động đáng kể đến cấu trúc cộng đồng vi sinh vật trong đất trồng trọt. Từ kết quả đánh giá ảnh hưởng của biochar đến các chỉ tiêu sinh học đất cho thấy sự hiện diện của biochar chưa ảnh hưởng đến mật số của vi khuẩn tổng số, nấm tổng số và các nhóm vi khuẩn cố định đạm, vi khuẩn phân giải cellulose nhưng ảnh hưởng đến nhóm vi khuẩn hòa tan lân và nhóm nấm rễ AM. Bên cạnh đó, phương pháp quản lý nước AWD có ảnh hưởng đến nhóm vi khuẩn có khả năng hòa tan lân cũng như nhóm nấm rễ AM và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với quản lý nước ngập liên tục (Bảng 5). Hai nhóm vi sinh vật này tham gia vào chu trình lân trong đất, do đó sự thay đổi về thành phần lân trong đất có thể ảnh hưởng đến sự hiện diện của hai nhóm này.

**Bảng 5: Ảnh hưởng của hàm lượng biochar và kỹ thuật canh tác đến mật số vi sinh vật trong mẫu đất vùng rễ cây lúa**

Mật số vi sinh vật hiện diện trong đất ( $10^3$ cfu/gkk)				
Vi khuẩn tổng số				
Đối chứng	Biochar trâu	Biochar tràm	Trung Bình (B)	
CF	16,60	9,24	16,4	14,1
AWD	24,20	15,80	14,80	18,3
Trung bình (A)	20,39	12,52	15,60	
F(A)				ns
F(B)				ns
F(A x B)				ns
CV(%)				66,64
Nấm tổng số				
CF	1,49	1,88	1,17	1,51
AWD	2,10	2,18	1,12	1,80
Trung bình (A)	1,80	2,03	1,15	
F(A)				ns
F(B)				ns
F(A x B)				ns
CV(%)				31,82
Vi khuẩn hòa tan lân				
CF	0,78	1,00	0,70	0,87Y
AWD	0,20	0,20	0,16	0,18Z



Trung bình (A)	0,49	0,6	0,43	
F(A)				ns
F(B)				**
F(A x B)				ns
CV(%)				74,51
<b>Vi khuẩn cố định đạm</b>				
CF	1,47	1,10	1,04	1,20
AWD	1,64	1,72	1,81	1,72
Trung bình (A)	1,56	1,38	1,45	
F(A)				ns
F(B)				ns
F(A x B)				ns
CV(%)				29,65
<b>Vi khuẩn phân hủy cellulose</b>				
CF	2,12	1,30	1,62	1,68
AWD	2,05	1,21	1,24	1,50
Trung bình (A)	2,08	1,25	1,43	
F(A)				ns
F(B)				ns
F(A x B)				ns
CV(%)				36,45

**Ghi chú:** Giá trị trung bình trong cùng một cột (FB), cùng một hàng F(A) và các số liệu trong ma trận của 6 nghiệm thức có những ký tự theo sau khác nhau thì khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% qua phép kiểm định Duncan. \*\*: khác biệt ở mức ý nghĩa 1%, ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê, CF: ngập liên tục, AWD: khô ngập luân phiên.

### 3.3. Năng suất lúa

Năng suất lúa thực tế của các nghiệm thức dao động trong khoảng 5,58 – 5,83 tấn.ha<sup>-1</sup> (Bảng 6) và kết quả thí nghiệm cho thấy khi bổ sung biochar hoặc thay đổi phương pháp quản lý nước trong ruộng lúa chưa ảnh hưởng đáng kể đến năng suất lúa. Tuy nhiên, xét về hiệu quả kinh tế, nghiệm thức có bổ sung biochar trầm trong mô hình CF đều cho năng suất lúa cao hơn so với nghiệm thức đối chứng không bổ sung biochar; ở mô hình AWD, việc bổ sung biochar trâu hoặc biochar trầm thì hiệu quả

kinh tế đạt được cao hơn so với nghiệm thức đối chứng (số liệu không trình bày).

Kết quả phù hợp với kết quả của Pandey et al. (2014) bón biochar vào ruộng 6,67 – 11,21 tấn.ha<sup>-1</sup> cho năng suất khác biệt không có ý nghĩa giữa các nghiệm thức. Tuy chưa có sự khác biệt về năng suất trong nghiên cứu này nhưng năng suất lúa ở các nghiệm thức bổ sung biochar có xu hướng tăng, về lâu dài sẽ có tác động tích cực đến chất lượng đất và hiệu quả sử dụng phân đạm (Nguyễn Quốc Khương và ctv., 2013), có thể làm tăng năng suất lúa và duy trì chất lượng đất trồng lúa tại Bình Thủy.

**Bảng 6: Ảnh hưởng của hàm lượng biochar và kỹ thuật canh tác đến năng suất lúa**

	Năng suất lúa thực tế (tấn/ha)			
	Đối chứng	Biochar trâu	Biochar trầm	Trung Bình (B)
CF	5,91	5,48	6,09	5,83
AWD	5,21	6,18	5,50	5,63
Trung bình (A)	5,58	5,83	5,79	
F(A)				ns
F(B)				ns
F(A x B)				ns
CV(%)				7,45

**Ghi chú:** ns: không có khác biệt ý nghĩa thống kê, CF: ngập liên tục, AWD: khô ngập luân phiên.

### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc bổ sung biochar và kỹ thuật quản lý nước trong canh tác lúa

trong điều kiện thí nghiệm đồng ruộng làm thay đổi giá trị pH đất, EC, hàm lượng chất hữu cơ, mật số vi khuẩn hòa tan lân và nấm rễ AM nhưng biochar hoặc

phương pháp quản lý nước chưa thể hiện sự thay đổi mật số vi khuẩn tổng số, nấm tổng số, vi khuẩn cố định đạm, vi khuẩn phân giải cellulose và năng suất lúa tại quận Bình Thủy, thành phố Cần Thơ.

### 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 từ chính phủ Nhật Bản. Học viên Phạm Thị Hải Nghi, mã số: VINIF.2020.ThS.96 được tài trợ bởi Quỹ VINIF thuộc tập đoàn Vingroup và được hỗ trợ bởi chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VinIF), Viện Nghiên cứu Dữ liệu lớn (VinBigdata).

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alori, E. T., & Babalola, O. O. (2018). Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2213.
- Anderson, C. R., Hamonts, K., Clough, T. J., & Condron, L. M. (2014). Biochar does not affect soil N-transformations or microbial community structure under ruminant urine patches but does alter relative proportions of nitrogen cycling bacteria. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 63-72.
- Bernaola, L., Cange, G., Way, M. O., Gore, J., Hardke, J., & Stout, M. (2018). Natural colonization of rice by arbuscular mycorrhizal fungi in different production areas. *Rice Science*, 25(3), 169-174.
- Cabangon, R., Lampayan, R., Bouman, B., & To, P. T. (2012). Water saving technologies for rice production in the Asian region. *Extension Bulletin-Food & Fertilizer Technology Center*, (648).
- Chapagain, T., & Yamaji, E. (2010). The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. *Paddy and Water Environment*, 8(1), 81-90.
- Clark, F.E. (1965). Agar-plate method for total microbial count. C.A. Black, Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E. and Clark, F.E. (Eds). *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison*, 1460-1466.
- Curaqueo, G., Meier, S., Khan, N., Cea, M., & Navia, R. (2014). Use of biochar on two volcanic soils: effects on soil properties and barley yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4), 911-924.
- DeLuca, T. H., MacKenzie, M. D., Gundale, M. J., & Holben, W. E. (2006). Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 448-453.
- Đỗ Thị Xuân, Bùi Thị Minh Diệu, Nguyễn Phạm Anh Thi, Phan Thị Thủy Trang, Phan Thị Kim Ba, Nguyễn Phúc Tuyên & Cao Thị Mỹ Tiên. (2019). Sử dụng vật liệu hữu cơ cải thiện dinh dưỡng và đặc tính sinh học đất nhiễm mặn trồng lúa tại huyện trần đề, tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Đất*, 56, 35-38.
- Dong, N. M., Brandt, K. K., Sørensen, J., Hung, N. N., Van Hach, C., Tan, P. S., & Dalsgaard, T. (2012). Effects of alternating wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer nitrogen fate in rice fields in the Mekong Delta, Vietnam. *Soil Biology and Biochemistry*, 47, 166-174.
- Eswaran, H. (1985). Physical and chemical soil condition. Soil physical and rice. International rice research institute Losbanos, Languna Philippine. p. 42.
- Franchini, J. C., Crispino, C. C., Souza, R. A., Torres, E., & Hungria, M. (2007). Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2), 18-29.
- Glaser, B. (2007). Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1478), 187-196.
- Gordon, H., Haygarth, P. M., & Bardgett, R. D. (2008). Drying and rewetting effects on soil microbial community composition and nutrient leaching. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(2), 302-311.
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46-59.
- Gundale, M. J., & DeLuca, T. H. (2006). Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management*, 231(1-3), 86-93.
- Hill, G. T., Mitkowski, N. A., Aldrich-Wolfe, L., Emele, L. R., Jurkonie, D. D., Ficke, A., ... & Nelson, E. B. (2000). Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 25-36.
- Hồ Minh Nhật. (2020). *Ảnh hưởng của bổ sung than trâu, than tràm kết hợp quản lý nước ngập khô luân phiên đến phát thải khí CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O và năng suất lúa vụ xuân hè ở Bình Thủy-TP. Cần Thơ*. Luận văn cao học. Trường Đại học Cần Thơ.

- Ishii, T., & Kadoya, K. (1994). Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular-arbuscular mycorrhizal development. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 63(3), 529-535.
- Keith, A., Singh, B., & Singh, B. P. (2011). Interactive priming of biochar and labile organic matter mineralization in a smectite-rich soil. *Environmental Science & Technology*, 45(22), 9611-9618.
- Lê Văn Căn. (1978). *Giáo trình nông hóa và thổ nhưỡng*. Nhà xuất bản Giáo dục, tr 78-80.
- Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249(2), 343-357.
- 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.
- Liang, J., Yang, Z., Tang, L., Zeng, G., Yu, M., Li, X., ... & Luo, Y. (2017). Changes in heavy metal mobility and availability from contaminated wetland soil remediated with combined biochar-compost. *Chemosphere*, 181, 281-288.
- Liu, Y., Yang, M., Wu, Y., Wang, H., Chen, Y., & Wu, W. (2011). Reducing CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from waterlogged paddy soil with biochar. *Journal of Soils and Sediments*, 11(6), 930-939.
- Matsubara, Y., Hasegawa, N., & Fukui, H. (2002). Incidence of Fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 71(3), 370-374.
- Moyano, F. E., Manzoni, S., & Chenu, C. (2013). Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. *Soil Biology and Biochemistry*, 59, 72-85.
- Nguyễn Ngọc Bảo Trâm. (2020). *Ảnh hưởng của bổ sung than trâu, than tràm trong điều kiện quản lý nước theo phương pháp truyền thống đến phát thải CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O và năng suất vụ Xuân Hè tại Bình Thủy-TP. Cần Thơ*. Luận văn tốt nghiệp Cao học. Chuyên ngành Khoa học môi trường. Trường Đại học Cần Thơ.
- Nguyễn Quốc Khương, Nguyễn Minh Đông & Lê Tấn Lợi. (2013). Ảnh hưởng của biện pháp tưới lên hiệu quả sử dụng phân đạm, năng suất lúa trên đất phù sa và đất phèn ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 26, 255 - 261.
- 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.
- Oliver, V., Cochrane, N., Magnusson, J., Brachi, E., Monaco, S., Volante, A., & Teh, Y. A. (2019). Effects of water management and cultivar on carbon dynamics, plant productivity and biomass allocation in European rice systems. *Science of the Total Environment*, 685, 1139-1151.
- Pandey, A., Vu, D. Q., Bui, T. P. L., Mai, T. L. A., Jensen, L. S., & de Neergaard, A. (2014). Organic matter and water management strategies to reduce methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in Vietnam. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 196, 137-146.
- Park, M., Kim, C., Yang, J., Lee, H., Shin, W., Kim, S., & Sa, T. (2005). Isolation and characterization of diazotrophic growth promoting bacteria from rhizosphere of agricultural crops of Korea. *Microbiological Research*, 160(2), 127-133.
- Peng, X. Y. L. L., Ye, L. L., Wang, C. H., Zhou, H., & Sun, B. (2011). Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 159-166.
- Phạm Thị Hải Nghi, Lê Thị Yến Phi, Trang Thị Hồng Đoàn, Diệp Quỳnh Uyên, Nguyễn Phúc Tuyên & Đỗ Thị Xuân. (2020). Khảo sát ảnh hưởng của một số tính chất hóa học đất lên sự hiện diện của nấm rễ nội cộng sinh trong đất trồng lúa tại tỉnh Hậu Giang. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 56(Số chuyên đề Khoa học đất), 24-31.
- Phong, V.T., Dao, N.T.A., Hoa, N.M., 2017. Effects of nitrogen fertilizer types and alternate wetting and drying irrigation on rice yield and nitrous oxide emission in rice cultivation. *Can Tho University Journal of Science*, 6, 38-46. DOI: 10.22144/ctu.jen.2017.025).
- Rejesus, R. M., Palis, F. G., Rodriguez, D. G. P., Lampayan, R. M., & Bouman, B. A. (2011). Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: evidence from rice producers in the Philippines. *Food Policy*, 36(2), 280-288.
- Sahu, A., Bhattacharjya, S., Mandal, A., Thakur, J. K., Atoliya, N., Sahu, N., ... & Patra, A. K. (2018). Microbes: a sustainable approach for enhancing nutrient availability in agricultural soils. In *Role of Rhizospheric microbes in soil* (pp. 47-75). Springer, Singapore.
- Smith, S.E., and Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego.

- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., & Bol, R. (2009). Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. *CSIRO Land and Water Science Report*, 5(09), 17-31.
- Tan, Z., Lin, C. S., Ji, X., & Rainey, T. J. (2017). Returning biochar to fields: A review. *Applied Soil Ecology*, 116, 1-11.
- Trần Sỹ Nam, Hồ Minh Nhựt, Nguyễn Ngọc Bảo Trâm, Huỳnh Văn Thảo, Đỗ Thị Xuân & Nguyễn Hữu Chiêm. (2020). Ảnh hưởng của hai loại biochar trâu đến sự phát thải khí CH<sub>4</sub> và NO<sub>2</sub> từ đất phù sa trong điều kiện phòng thí nghiệm. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 56(Số chuyên đề: Khoa học đất), 109-118.
- Ulrich, A., Klimke, G., & Wirth, S. (2008). Diversity and activity of cellulose-decomposing bacteria, isolated from a sandy and a loamy soil after long-term manure application. *Microbial ecology*, 55(3), 512-522.
- Vallino, M., Greppi, D., Novero, M., Bonfante, P., & Lupotto, E. (2009). Rice root colonisation by mycorrhizal and endophytic fungi in aerobic soil. *Annals of Applied Biology*, 154(2), 195-204.
- Vũ Văn Long, Châu Minh Khôi, Nguyễn Minh Đông & Nguyễn Văn Quý. (2016). Ảnh hưởng của kỹ thuật tưới ngập – khô xen kẽ đến một số tính chất hoá học đất và năng suất lúa trên nền đất nhiễm mặn tại huyện Hoà Bình, tỉnh Bạc Liêu. *Tạp chí Khoa học Đất*, 47, 26 -31.
- Wang, X. X., Wang, X., Sun, Y., Cheng, Y., Liu, S., Chen, X., ... & Kuyper, T. W. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi negatively affect nitrogen acquisition and grain yield of maize in a N deficient soil. *Frontiers in Microbiology*, 9, 418.
- Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., & Rillig, M. C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 300(1), 9-20.
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1(1), 1-9.