

Bài báo khoa học

Khảo sát khả năng hấp phụ xử lý nước của than sinh học tạo thành từ sinh khối phụ phẩm nông nghiệp

Nguyễn Công Mạnh¹, Nguyễn Tri Quang Hưng², Đoàn Quang Trí³, Bùi Thị Cẩm Nhi², Nguyễn Minh Kỳ^{2,4*}

¹ Viện Nghiên cứu Công nghệ sinh học và Môi trường, Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; congmanh@hcmuaf.edu.vn

² Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; quanghungmt@hcmuaf.edu.vn

³ Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com

⁴ Bộ môn Môi trường và Tài nguyên, Phân hiệu Gia Lai, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; nmky@hcmuaf.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nmky@hcmuaf.edu.vn; Tel.: +84–916121204

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2022; Ngày phản biện xong: 30/5/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả áp dụng than sinh học sản xuất từ phụ phẩm nông nghiệp để hấp phụ xanh methylene (MB) trong môi trường chất lỏng. Biochar tạo thành từ sinh khối phụ phẩm nông nghiệp có diện tích bề mặt riêng lớn, hàm lượng thành phần nguyên tố carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O) và nitrogen (N) chiếm tỷ lệ cao. Đối với việc ứng dụng than sinh học vào xử lý môi trường cho thấy khả năng hấp phụ màu và bước đầu đã đạt những kết quả khả quan. Mẫu than sinh học từ phụ phẩm rơm rạ nhiệt phân ở nhiệt độ 400°C được lựa chọn để khảo sát khả năng hấp phụ xanh methylene. Kết quả cho thấy dung lượng hấp phụ gia tăng và đạt cực đại ở nồng độ xanh methylene 200 mg/L. Than sinh học với kích thước mịn (biochar 212 μm) thể hiện hiệu quả hấp phụ xanh methylene tốt nhất ở ngưỡng hấp phụ bão hòa 6,3 mg/g. Khả năng hấp phụ xanh methylene có thể đạt hiệu quả > 75%. Nguyên nhân có thể lý giải bởi ưu thế diện tích bề mặt riêng lớn, sự đa dạng hệ thống kích thước lỗ xốp bên trong cấu trúc than sinh học và bề mặt của chúng có thể cung cấp nhóm chức quan trọng như –OH, C=O. Như vậy, nghiên cứu ứng dụng than sinh học tạo thành từ sinh khối phụ phẩm nông nghiệp trong xử lý nước ô nhiễm chỉ ra tiềm năng trong tương lai.

Từ khóa: Hấp phụ; Than sinh học; Xử lý nước; Nông nghiệp; Sinh khối.

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm môi trường nước là một trong những vấn đề quan trọng cần được quan tâm giải quyết trong bối cảnh hiện nay [1–3]. Thực tế cho thấy trước các áp lực hoạt động của phát triển kinh tế – xã hội, các nguồn nước đã bị ô nhiễm và có dấu hiệu suy thoái [4]. Do đó, nhu cầu cấp thiết nghiên cứu áp dụng các biện pháp nhằm đề xuất khắc phục sự ô nhiễm theo hướng phát triển xanh, bền vững sinh thái và thân thiện môi trường [5–6]. Đặc biệt như các sản phẩm biochar có nguồn gốc từ sinh khối hay phụ phẩm nông nghiệp đóng vai trò hấp phụ và vật liệu mang sinh học thân thiện có khả năng loại bỏ hợp chất hữu cơ, các chất hoạt động bề mặt, chất ô nhiễm dinh dưỡng (N, P) từ các loại nước thải khác nhau [7–8]. Quá trình ứng

dụng biochar từ các sản phẩm sinh khối nông nghiệp để ứng dụng hấp thu các kim loại độc đã được thực hiện [9]. Kết quả thể hiện khả năng thay thế các vật liệu hấp phụ xử lý ô nhiễm môi trường hiệu quả. Hơn nữa, biochar còn có khả năng xử lý nguồn kháng sinh trong nước nhiễm bẩn, ngăn ngừa các mối nguy rủi ro về sức khỏe [10].

Trong lĩnh vực xử lý môi trường nước, hiện có nhiều nỗ lực ứng dụng biochar vào việc loại bỏ, xử lý các thành phần, tác nhân nhiễm bẩn trong nước thải [8, 11, 12]. Biochar được xem như là tác nhân hấp phụ tốt đối với các loại nước thải như chăn nuôi, giết mổ gia súc/gia cầm và điển hình là các tác nhân ô nhiễm hữu cơ [13]. Theo nghiên cứu khác cho thấy hiệu quả loại trừ các chất ô nhiễm như COD, TN, NH_4^+ , PO_4^{3-} , TP và đặc biệt có thể đạt hiệu suất cao trên 90% đối với COD [14]. Tương tự, nghiên cứu về khả năng xử lý NH_4^+ bằng than sinh học có nguồn gốc từ lõi ngô cho thấy sự hấp phụ tuân theo cơ chế vật lý/hóa học và tùy thuộc vào pH môi trường [15]. Gần đây, nghiên cứu trên đối tượng than trấu đã công bố về loại than sinh học giàu nguồn carbon, và được biến tính bởi các cách hoạt hóa khác nhằm gia tăng hiệu suất xử lý các hợp thành phần ô nhiễm hữu cơ trong nước [16]. Trong đó, các thử nghiệm được thiết kế dạng mẻ đánh giá hiệu quả khử màu của than trấu từ tính được kết hợp với nano sắt (Fe_0) hóa trị zero (BC600-mag-nZVI) cho đối tượng nước thải ngành dệt nhuộm, bao gồm các loại thuốc nhuộm hoạt tính như: đỏ (RR195), vàng (RY145), và xanh (RB19) [16].

Xem xét bối cảnh Việt Nam cho thấy đặc thù của nước nông nghiệp, sản xuất nhiều loại lúa nước khác nhau phục vụ các nhu cầu như tiêu dùng, xuất khẩu. Hoạt động thu gom, tận dụng xử lý các phụ phẩm nông nghiệp để giảm nhẹ tác động ô nhiễm môi trường vẫn còn khá nhiều thách thức, khó khăn, nhất là ở các vùng lúa nước thuộc đồng bằng sông Cửu Long [17]. Đối diện với những mối nguy đó, nhu cầu cấp thiết tập trung nghiên cứu đề xuất giải pháp phù hợp hạn chế những ảnh hưởng tiêu cực của các quá trình thải bỏ, đốt cháy không kiểm soát những nguồn phụ phẩm rơm rạ này. Nghiên cứu trước đây đã bước đầu dùng rơm rạ để sản xuất thanh năng lượng [17] và sau đó chuyển đổi thành than sinh học để tạo ra nguồn năng lượng thay thế và nguồn thu nhập cho nông dân. Tuy vậy, hoạt động thu gom ứng dụng cho các mục đích xử lý, loại bỏ ô nhiễm môi trường vẫn còn bỏ ngỏ. Trên cơ sở đó, việc nghiên cứu thử nghiệm áp dụng biochar có nguồn gốc phụ phẩm nông nghiệp (rơm rạ) trong bối cảnh cụ thể ở đồng bằng sông Cửu Long sẽ đáp ứng tình hình và nhu cầu thực tiễn [18]. Mục đích chính của nghiên cứu bao gồm: (i) khảo sát quá trình sản xuất và đánh giá đặc điểm của than sinh học (biochar) từ phụ phẩm nông nghiệp; và (ii) tiến hành khảo sát khả năng ứng dụng than sinh học để xử lý tác nhân ô nhiễm nước-trường hợp điển hình hấp phụ xanh methylene (MB). Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa quan trọng không chỉ loại bỏ các chất ô nhiễm, bảo vệ môi trường mà còn góp phần tiếp cận phát triển nông nghiệp bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

* Đối tượng nghiên cứu: Sinh khối phụ phẩm nông nghiệp (rơm rạ) được thu gom ở địa bàn huyện Gò Công Tây, tỉnh Tiền Giang. Bảng 1 trình bày đặc điểm thanh nguyên liệu nén từ phụ phẩm rơm rạ sử dụng cho quá trình sản xuất than sinh học.

Bảng 1. Đặc điểm thanh nguyên liệu sản xuất than sinh học.

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Đường kính	mm	85–90
Chiều dài	mm	200–400
Độ ẩm	%	<10
Nhiệt lượng	kcal/kg	3986–4100
Khối lượng tro	%	<17

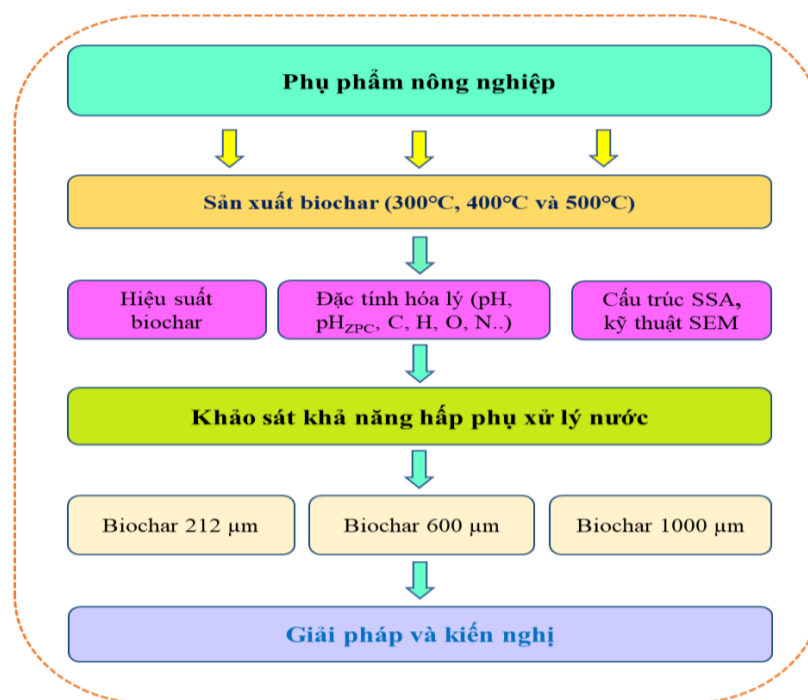
Thông số	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng	g/cm ³	1,05
Hàm lượng carbon	%	>65
Hàm lượng lưu huỳnh	%	<0,01
Hàm lượng nitơ	%	0,44

* Phạm vi nghiên cứu: Huyện Gò Công Tây, tỉnh Tiền Giang.

Với tọa độ địa lý từ 106°28'29"–106°41'47" kinh độ Đông và từ 10°13'47"–10°26'00" vĩ độ Bắc, Gò Công Tây là huyện nằm về phía Đông của Tiền Giang, nằm sâu trong nội địa. Trung tâm huyện nằm cách thành phố Mỹ Tho về hướng Đông 26 km, cách thị xã Gò Công về hướng Tây 12,2 km và thành phố Hồ Chí Minh khoảng 73 km. Huyện có tổng diện tích tự nhiên là 184,48 km² và quy mô dân số 127753 người.

Điều kiện khí hậu huyện Gò Công Tây có đặc trưng nền nhiệt cao, biên độ nhiệt ngày đêm nhỏ, khí hậu phân chia 2 mùa rõ rệt (mùa mưa: tháng 5–11 và mùa khô: tháng 12–4 năm sau). Nhiệt độ trung bình 27°C, chênh lệch giữa các tháng 3–5°C, lượng mưa trung bình thấp < 1300 mm/năm, độ ẩm trung bình 79–82%. Ngoài ra, số giờ nắng khá cao (2400–2600 giờ) và có sự phân hóa theo mùa.

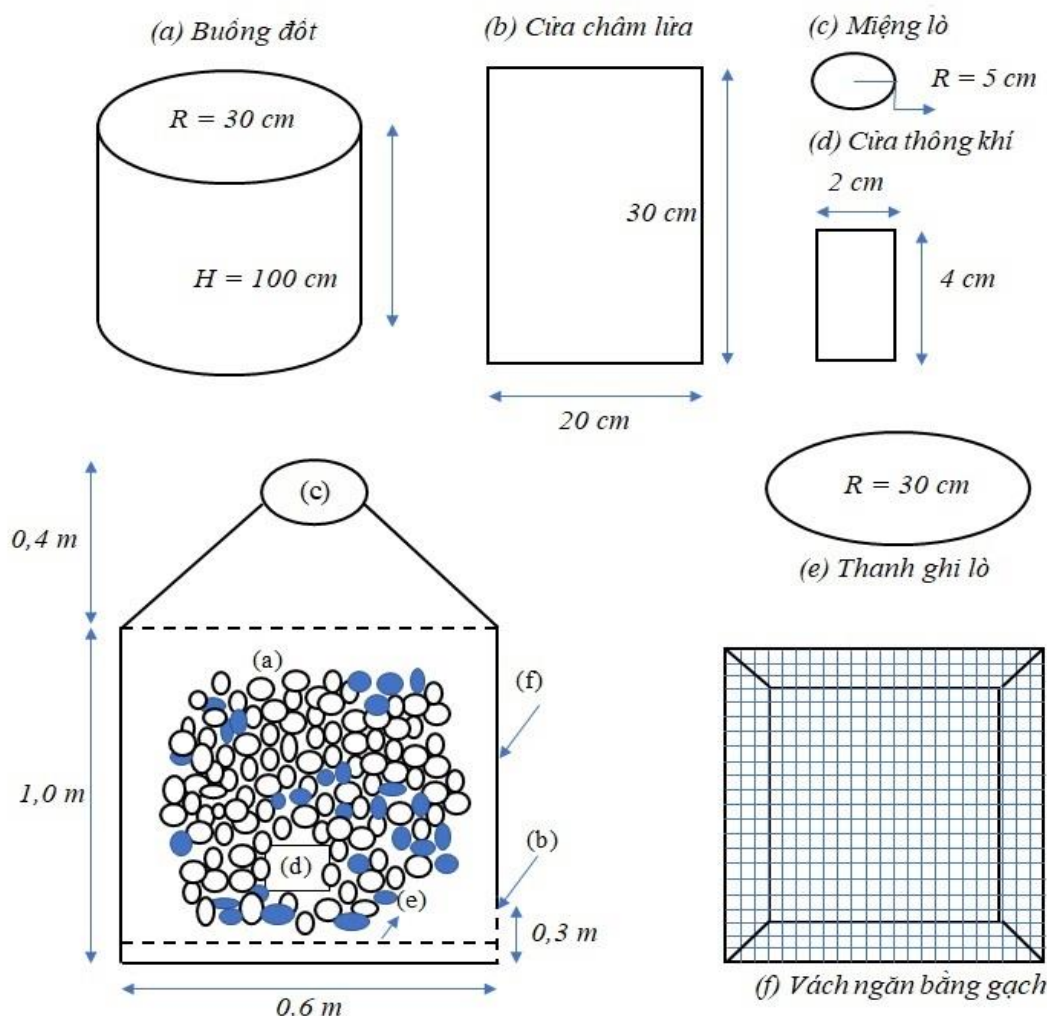
2.2. Quy trình sản xuất than sinh học



Hình 1. Khung cấu trúc nghiên cứu.

Liên quan đến quy trình sản xuất than sinh học, biochar thường nhiệt phân ở các điều kiện yếm khí, hạn chế oxy ở nhiệt độ thấp (< 700°C) [19]. Tương tự, biochar được thử nghiệm và tiến hành nhiệt phân phụ phẩm rơm rạ với các mức nhiệt độ 300°C, 400°C và 500°C [20]. [21] cũng đã thực hiện với các thực nghiệm ở các mức nhiệt phân lần lượt 300°C, 400°C, 500°C, 600°C và 700°C. Nhìn chung, với yếu tố nhiệt độ thích hợp sẽ duy trì hàm lượng thành phần nguyên tố carbon cần thiết nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm của biochar [22]. Trong nghiên cứu này, than sinh học (*biochar*) được sản xuất theo quy trình điều chế từ nghiên cứu [18]. Hình 2 thể hiện chi tiết sơ đồ cấu trúc lò đốt nhiệt phân than sinh học. Lò đốt có dạng hình trụ tròn, được xây bằng gạch nung, độ dày cách nhiệt bởi lớp tường 20 cm.

Than sinh học được sản xuất ở các nhiệt độ 300°C, 400°C và 500°C với chế độ đốt vận hành 6 giờ.



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo mô hình sản xuất than sinh học [18].

2.3. Khảo sát khả năng hấp phụ xử lý nước

Hoạt động nghiên cứu được bố trí ở điều kiện môi trường phòng thí nghiệm (lab-scale) với vật liệu than sinh học điều chế ở 3 mức nhiệt phân khác nhau (300°C, 400°C và 500°C). Các thí nghiệm được bố trí với nguyên tắc 3 lần lặp lại ở các điều kiện giống nhau: Cân chính xác 1,0 gram vật liệu hấp phụ cho vào các bình tam giác (dung tích $V = 100$ mL) chứa 50 mL các dung dịch xanh methylene nồng độ 0–300 mg/L ($\text{pH} = 7,5$); tiến hành lắc đều hỗn hợp và thực hiện tiến trình hấp phụ ở điều kiện nhiệt độ phòng; sau khoảng thời gian hấp phụ (90 phút), thu mẫu dung dịch bằng cách lọc hỗn hợp và tiến hành xác định nồng độ MB còn lại. Ngoài ra, nghiên cứu tiến hành lựa chọn 3 kích thước hạt vật liệu phổ biến (212 μm , 600 μm và 1000 μm) dựa theo tiêu chuẩn ASTM (*American Society for Testing and Materials*) để khảo sát quá trình hấp phụ MB. Qua đó, đánh giá khả năng hấp phụ của vật liệu lọc than sinh học dựa trên các loại kích cỡ khác nhau.

2.4. Phân tích phòng thí nghiệm

Đối với các thông số chỉ tiêu môi trường như pH, độ màu được xác định theo các phương pháp chuẩn TCVN và APHA [23]. Trong đó, chỉ số pH đo bằng máy cầm tay pH Meter S20

(Mettler Toledo SevenEasyTM), giá trị độ màu được xác định bằng máy quang phổ UV–VIS (Model: T80+, UK) ở bước sóng $\lambda = 650$ nm.

Các thông số hóa lý của than sinh học (biochar) xác định định lượng theo hướng dẫn của The International Biochar Initiative (IBI) [18]. Cấu trúc vật lý bề mặt biochar được xem xét, đánh giá bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM).

2.5. Phương pháp thống kê và xử lý số liệu

Dữ liệu nghiên cứu được thống kê, tính toán các giá trị trung bình (average) và độ lệch chuẩn ($\pm$ SD). Hiệu quả xử lý tác nhân ô nhiễm tính toán theo công thức: $H(\%) = [(C_0 - C_e)/C_0] \times 100$. Trong đó, C_0 và C_e (mg/L) lần lượt là hàm lượng tác nhân ô nhiễm trước và sau xử lý. Ngoài ra, để phát hiện sự khác biệt giữa các trị trung bình, nghiên cứu sử dụng phân tích ANOVA mức ý nghĩa $p < 0,05$. Tất cả số liệu được biên tập, xử lý bằng phần mềm phân tích thống kê SPSS 16.0 và biểu diễn đồ họa bằng phần mềm Origin 9.0.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

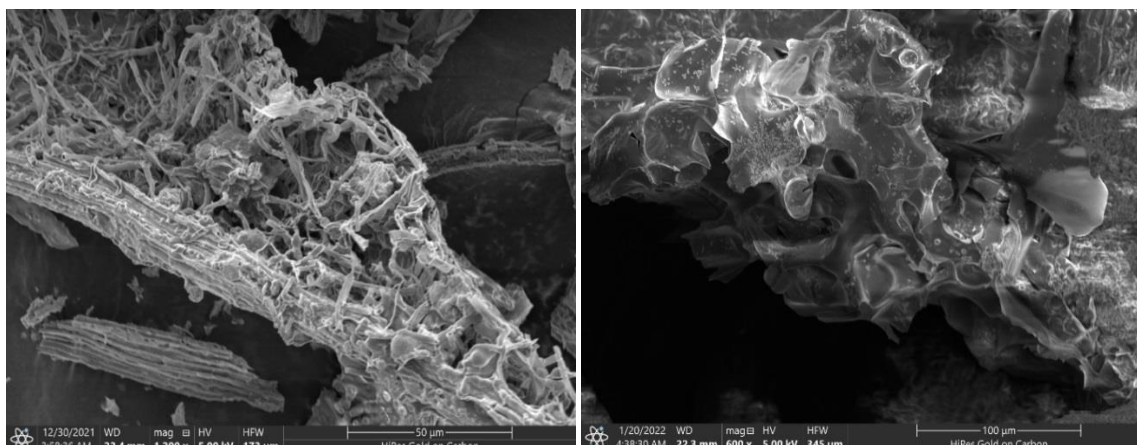
3.1. Khảo sát quá trình sản xuất và đặc điểm than sinh học

Bảng 2. Hiệu suất biochar tạo thành từ phụ phẩm rom rạ.

Nhiệt độ	Hiệu suất, %		Khối lượng riêng, g/cm ³		SSA, m ² /g
	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Trung bình	Độ lệch chuẩn	
300°C	54,43	2,03	1,07	0,07	31,6 $\pm$ 1,2
400°C	62,43	1,33	1,23	0,11	32,8 $\pm$ 5,6
500°C	45,54	2,66	0,91	0,04	30,5 $\pm$ 3,1

Chú thích: SSA– Diện tích bề mặt riêng.

Bảng 2 trình bày hiệu suất biochar tạo thành từ phụ phẩm rom rạ ở các điều kiện, quá trình nhiệt phân khác nhau. Đặc tính hóa lý quan trọng của than sinh học như pH, pH_{ZPC}, hàm lượng độ tro (%), và diện tích bề mặt riêng (SSA) được thể hiện ở các Bảng 2–3. Giá trị đo pH ở điểm điện tích zero (pH_{PZC}) của các loại than biochar xác định với các trị số 6,25 (biochar 300°C), 6,71 (biochar 400°C) và 8,51 (biochar 500°C). Kết quả này tương đồng với giá trị của các loại than hoạt tính đã được công bố trước đây [16, 24]. Tuy nhiên, hàm lượng tro (%) nằm trong khoảng giá trị thấp hơn hàm lượng so với một số nghiên cứu khác [16, 24]. Nhìn chung, hàm lượng tro thấp cho thấy khối lượng biochar thu được có xu hướng tốt hơn. Nội dung thông tin đặc điểm thành phần than sinh học điều chế ở các mức nhiệt phân khác nhau mô tả chi tiết ở Bảng 3.



Hình 3. Ảnh SEM bề mặt than sinh học trước ($\times 1200$ mag.) và sau hấp phụ ($\times 600$ mag.).

Ngoài ra, ảnh chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy diện tích bề mặt và kích thước lỗ rỗng cấu trúc than sinh học đạt yêu cầu. Cụ thể, Hình 3 cho thấy hình dáng bên ngoài cấu trúc bề mặt của hạt than sinh học. Phân tích cho thấy than sản xuất ở nhiệt độ 400°C có kết quả tốt với hàm lượng thành phần nguyên tố carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N) và oxygen (O) chiếm tỷ lệ cao với lần lượt 66,1%, 3,72%, 2,91% và 25,6%. Hơn nữa, hiệu suất tạo than biochar đạt tỷ lệ cao nhất (62,43±1,33%) ở chế độ nhiệt 400°C. Do đó, nghiên cứu sử dụng mẫu than nhiệt phân ở điều kiện 400°C để khảo sát, đánh giá khả năng hấp phụ, loại bỏ xanh methylene (MB).

Bảng 3. Thành phần than sinh học sử dụng trong thí nghiệm.

Biochar	Thành phần nguyên tố (trung bình ± độ lệch chuẩn)								pH	pH _{ZPC}
	C, %	H, %	N, %	O, %	H/C	O/C	(N+O)/C	Độ tro, %		
300°C	62,1±0,71	4,31±0,05	3,07±0,04	30,1±0,52	0,82	0,37	0,40	21,35±0,08	6,85±0,81	6,25
400°C	66,1±0,08	3,72±0,07	2,91±0,09	25,6±0,08	0,67	0,28	0,33	26,81±0,21	7,13±1,52	6,71
500°C	64,4±1,17	1,26±0,06	1,34±0,04	32,5±1,12	0,24	0,36	0,35	25,54±0,14	7,29±0,27	8,51

3.2. Đánh giá khả năng xử lý tác nhân ô nhiễm của than sinh học

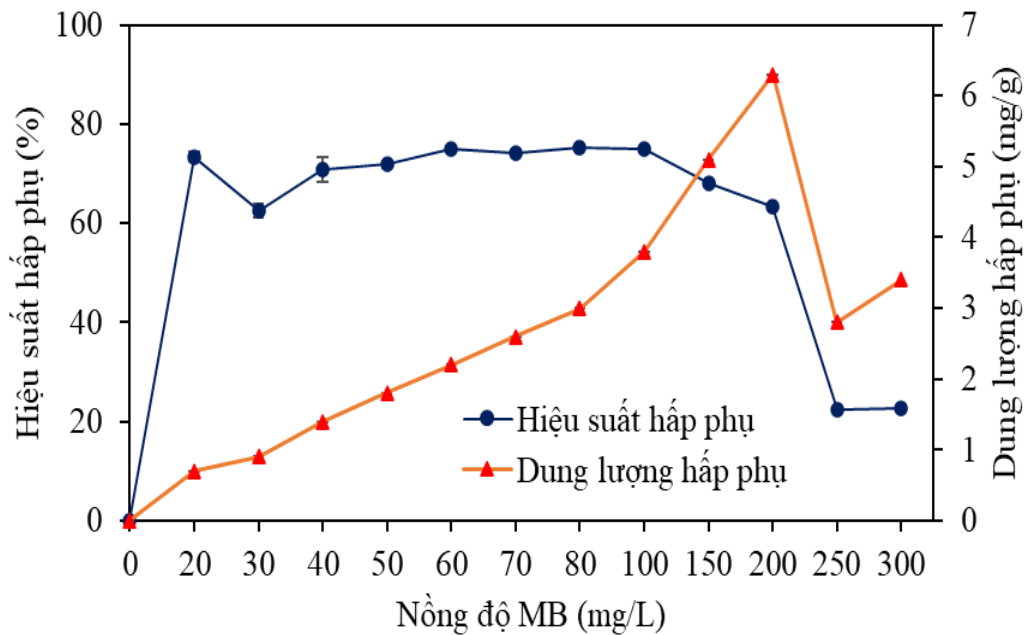
Biochar thường được xem xét sử dụng trong các hoạt động xử lý tác nhân ô nhiễm môi trường, bảo vệ sức khỏe [12, 25]. Để đánh giá khả năng hấp phụ tác nhân ô nhiễm màu (xanh methylene), nghiên cứu khảo sát với dãy nồng độ (C₀) dao động từ 0, 20, 30 đến 300 mg/L. Hàm lượng MB trước và sau thí nghiệm với các kích thước than sinh học (biochar 212 µm, biochar 600 µm và biochar 1000 µm) được tóm lược trong Bảng 4. Kết quả thử nghiệm cho thấy sự giảm rõ rệt nồng độ MB ở các hàm lượng khác nhau, đặc biệt từ 30–200 mg/L (biochar 212 µm), 20–100 mg/L (biochar 600 µm) và 20–80 mg/L (biochar 1000 µm). Như vậy có thể nhận thấy khả năng áp dụng chế phẩm than sinh học từ phụ phẩm nông nghiệp (rơm rạ) phục vụ việc giảm thiểu tác nhân ô nhiễm nước.

Bảng 4. Hàm lượng MB trước và sau thí nghiệm với các kích thước than sinh học.

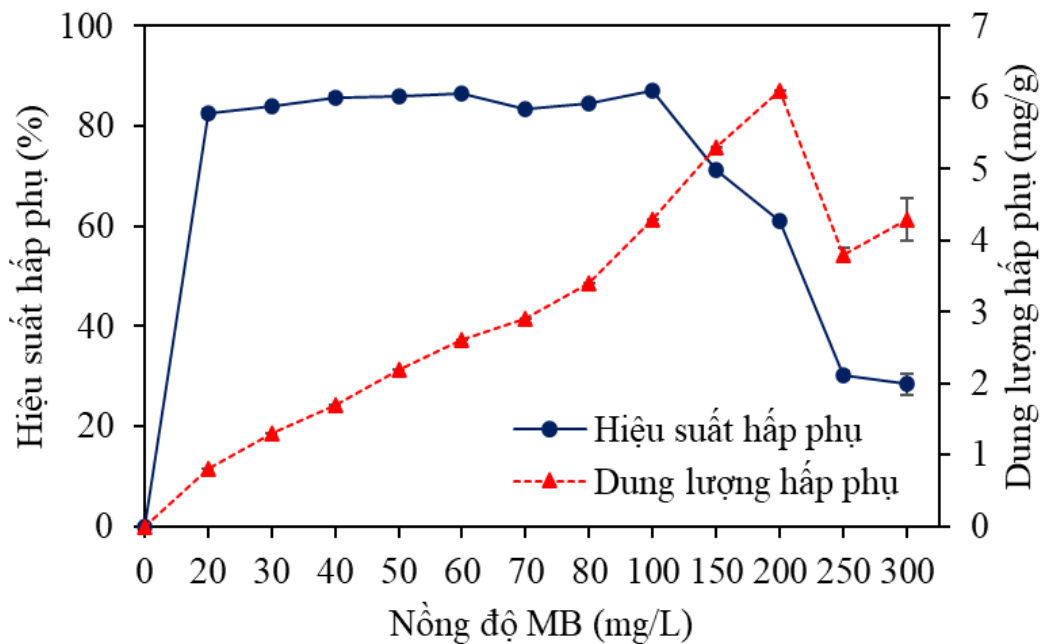
Nồng độ MB ban đầu (mg/L)	Biochar 212 µm		Biochar 600 µm		Biochar 1000 µm	
	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Trung bình	Độ lệch chuẩn
20	5,3	0,2	3,5	0,2	6,8	0,5
30	11,3	0,4	4,8	0,2	8,5	0,5
40	11,7	1,0	5,7	0,3	11,5	0,4
50	14,1	0,4	7,0	0,2	12,7	0,3
60	15,0	0,1	8,1	0,2	15,0	0,4
70	18,1	0,3	11,7	0,2	18,3	0,5
80	19,8	0,5	12,4	0,4	20,1	0,4
100	24,9	0,2	13,1	0,1	29,7	3,1
150	47,9	0,7	43,3	1,0	50,1	1,0
200	73,2	0,9	77,9	0,4	86,3	2,0
250	193,7	0,3	174,6	1,9	197,9	0,6
300	231,8	0,3	214,9	6,6	236,3	0,5

Chú thích: MB – Xanh methylene; các trị trung bình ± độ lệch chuẩn (SD) thể hiện kết quả sau thí nghiệm.

Nghiên cứu [26] đã sản xuất biochar từ rơm rạ xử lý nước thải với các chế độ 400°C, 600°C và 800°C. Kết quả chỉ thị chế độ đốt 400°C có hiệu quả hấp phụ NO_3^- tốt nhất, với hiệu suất 88%. Trong nghiên cứu này, hiệu suất hấp phụ MB và dung lượng tính toán đối với các loại kích thước than sinh học được thể hiện các Hình 3–5. Trong đó, đối với biochar 212 μm chỉ ra khả năng hấp phụ tốt đối với xanh methylene ở khoảng nồng độ dao động khá rộng, từ 20 đến 200 mg/L. So sánh với các kết quả trước đây chỉ ra quá trình hấp phụ tối ưu ở $\text{pH} \geq 7$, thời gian cân bằng hấp phụ đạt sau 60 phút, phù hợp mô hình đẳng nhiệt Langmuir cho quá trình hấp phụ NH_4^+ trên than biến tính, và dung lượng hấp phụ tối đa (q_{max}) là 16,6 mg/g [15]. Đối với thí nghiệm biochar 212 μm cho thấy dung lượng hấp phụ gia tăng và đạt giá trị cực đại ở nồng độ xanh methylene 200 mg/L. Ngưỡng hấp phụ bão hòa đối với biochar thu được tương đương 6,3 mg/g.

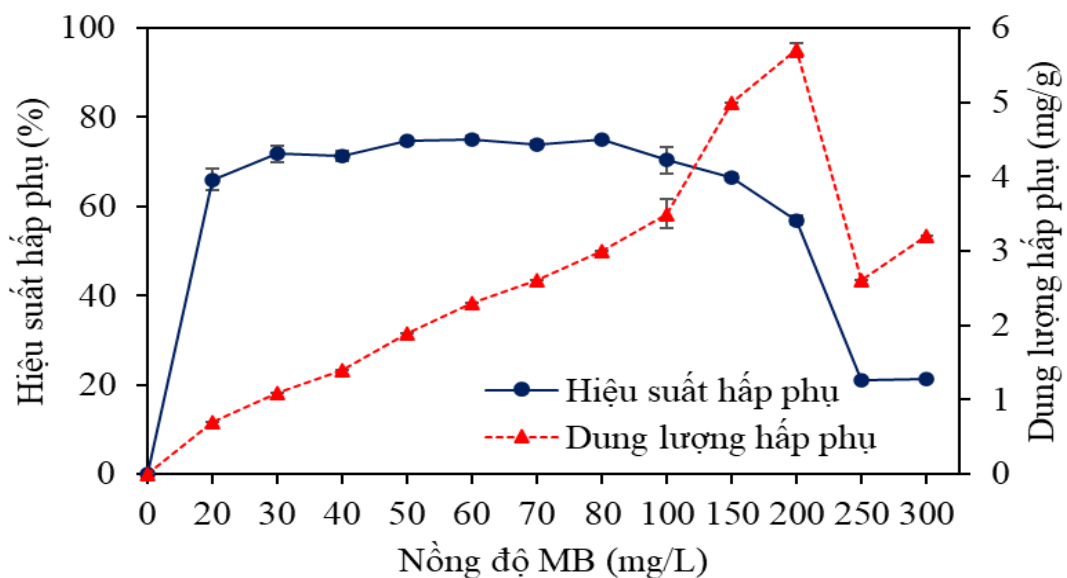


Hình 4. Hiệu suất hấp phụ xanh methylene (MB) của biochar 212 μm .



Hình 5. Hiệu suất hấp phụ xanh methylene (MB) của biochar 600 μm .

Kết quả tương tự đối với hấp phụ MB cho thấy khoảng giá trị biến thiên trong khoảng 20 đến 100 mg/L được hấp phụ tốt bởi than biochar kích thước 600 μm . Đối với than có kích thước lớn hơn (biochar 1000 μm), khả năng hấp phụ MB đạt hiệu suất cao, biến thiên từ 20 đến 80 mg/L. Đồng thời, quá trình hấp phụ chỉ thị hiệu quả cao và có thể đạt ngưỡng 87% (biochar 600 μm) và 75% (biochar 1000 μm). Như vậy, các kết quả khảo sát cho biết kích thước than càng mịn thì càng có khả năng hấp phụ chất nhuộm màu như xanh methylene. Điều này có thể lý giải bởi sự ưu thế liên quan đến diện tích bề mặt riêng lớn (30,5–32,8 m^2/g), sự đa dạng hệ thống kích thước lỗ hổng (lỗ xốp) bên trong cấu trúc than sinh học và bề mặt biochar có thể cung cấp nhóm chức quan trọng như $-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, v.v.. [12, 25, 27]. Thêm vào đó, biochar còn được xem như là vật liệu hấp phụ hữu hiệu, xử lý loại bỏ màu thân thiện môi trường và có chi phí thích hợp [25]. Có thể thấy quá trình loại bỏ màu (methyl) nhờ sự kết hợp của biochar đã thúc đẩy hiệu quả xử lý tác nhân ô nhiễm [28].



Hình 6. Hiệu suất hấp phụ xanh methylene (MB) của biochar 1000 μm .

Ngoài ra, so sánh năng lực hấp phụ loại bỏ MB của các loại than sinh học ở các kích thước hạt khác nhau cho thấy biochar có kích thước mịn (biochar 212 μm) đạt hiệu quả tốt nhất ($p < 0,05$). Điều này hứa hẹn triển vọng trong quá trình áp dụng để xử lý các nguồn nước bị nhiễm bẩn và là một trong những hướng tiềm năng có tính ứng dụng cho tương lai.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã cho thấy khối lượng than sinh học có nguồn gốc phụ phẩm rơm rạ có các đặc tính đáp ứng khả năng triển khai áp dụng xử lý nguồn nước nhiễm bẩn. Phương pháp sản xuất thỏa mãn yêu cầu tiêu chí đơn giản, dễ vận hành, phù hợp trong điều kiện quy mô hộ gia đình, với thời gian nhiệt phân tương đối ngắn. Các quá trình thí nghiệm biochar có kích thước mịn (biochar 212 μm) đạt hiệu quả hấp phụ xanh methylene. Cơ chế lọc dựa vào vật liệu hấp phụ biochar để khử các chất ô nhiễm phụ thuộc vào các yếu tố diện tích bề mặt riêng, độ rỗng cấu trúc vật liệu và liều lượng hấp phụ. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng sản xuất và ứng dụng biochar xử lý, làm sạch các nguồn nước bị ô nhiễm. Tuy nhiên, hạn chế của nghiên cứu chưa thực hiện khám phá khả năng xử lý hấp phụ tác nhân ô nhiễm màu đối với các mẫu nước thải thực, có mức độ ô nhiễm màu cao, điển hình như nước thải dệt nhuộm. Do đó, định hướng nghiên cứu trong thời gian tới rất cần những phát triển chuyên sâu nhằm giải quyết bài toán kiểm soát, quản lý và bảo vệ môi trường hiện nay.

Đóng góp của các tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.Q.H., N.C.M., N.M.K.; Phương pháp nghiên cứu: N.C.M., N.M.K., D.Q.T., B.T.C.N., N.T.Q.H.; Phân tích, đánh giá

kết quả: N.M.K., N.C.M., N.T.Q.H., D.Q.T., B.T.C.N.; Viết bản thảo bài báo: N.M.K., N.C.M.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.Q.H., N.M.K., D.Q.T.

Lời cảm ơn: Đề tài được thực hiện bởi sự tài trợ kinh phí từ Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam (B2020–NLS–04). Nhóm tác giả chân thành ơn Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Manh, C.N.; Minh, P.V.; Hung, N.T.Q.; Son, P.T.; Kỳ, N.M. Nghiên cứu đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ đất ngập nước kiến tạo xử lý nguồn nước mặt ô nhiễm. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Trái đất và Môi trường* **2019**, 35, 11–22.
2. Nhut, H.T.; Hung, N.T.Q.; Sac, T.C.; Bang, N.H.K.; Tri, T.Q.; Hiep, N.T.; Ky, N.M. Removal of nutrients and organic pollutants from domestic wastewater treatment by sponge-based moving bed biofilm reactor. *Environ. Eng. Res.* **2020**, 25, 652–658.
3. Ky, N.M.; Nhut, H.T.; Hiep, N.T.; Lap, B.Q.; Hung, N.T.Q.; Lin, C.; Tam, T.T.M.; Ozaki, A. Investigation of Nitrogen and Phosphorus Recovery from Swine Wastewater by Struvite Crystallization. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* **2022**, 67(1), 65–74.
4. Kỳ, N.M.; Mạnh, N.C.; Son, P.T.; Hung, N.T.Q.; Minh, P.V.; Đức, N.A. Hiện trạng áp lực xả thải và chất lượng nước mặt kênh rạch tại TP. Thuận An, Tỉnh Bình Dương. *Tạp chí KHCN và Thực phẩm* **2020**, 20 (1), 46–59.
5. Ky, N.M.; Hung, N.T.Q.; Manh, N.C.; Lap, B.Q.; Dang, H.T.T.; Ozaki, A. Assessment of nutrients removal by constructed wetlands using Reed Grass (*Phragmites australis* L.) and Vetiver Grass (*Vetiveria Zizanioides* L.). *J. Fac. Agr., Kyushu Univ* **2020**, 65, 149–156.
6. Kỳ, N.M.; Mạnh, N.C.; Hung, N.T.Q.; Lập, B.Q. Nghiên cứu ứng dụng sản phẩm Bakture (back to nature) xử lý nước mặt bị ô nhiễm. *Tạp chí Nông nghiệp và PTNT* **2021**, 13, 91–99.
7. Dalahmeh, S.S.; Jönsson, H.; Hylander, L.D.; Hui, N.; Yu, D.; Pell, M. Dynamics and functions of bacterial communities in bark, charcoal and sand filters treating greywater. *Water Res.* **2014**, 54, 21–32.
8. Tran, H.T.; Lin, C.; Bui, X.–T.; Nguyen, M.K.; Cao, N.D.T.; Mukhtar, H.; Hoang, H.G.; Varjani, S.; Ngo, H.H.; Nghiem, L.D. Phthalates in the environment: characteristics, fate and transport, and advanced wastewater treatment technologies. *Bioresour. Technol.* **2022**, 344, 126249.
9. Zhao, J.; Shen, X.–J.; Domene, X.; Alcañiz, J.–M.; Liao, X.; Palet, C. Comparison of biochars derived from different types of feedstock and their potential for heavy metal removal in multiple-metal solutions. *Sci. Rep.* **2019**, 9, 1–12.
10. Chen, Y.; Shi, J.; Du, Q.; Zhang, H.; Cui, Y. Antibiotic removal by agricultural waste biochars with different forms of iron oxide. *RSC Adv.* **2019**, 9, 14143–14153.
11. Ahmad, M.; Rajapaksha, A.U.; Lim, J.E.; Zhang, M.; Bolan, N.; Mohan, D.; Vithanage, M.; Lee, S.S.; Ok, Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere* **2014**, 99, 19–33.
12. Lap, B.Q.; Thịnh, N.V.D.; Hung, N.T.Q.; Nam, N.H.; Dang, H.T.T.; Ba, H.T.; Ky, N.M.; Tuan, H.N.A. Assessment of Rice Straw–Derived Biochar for Livestock Wastewater Treatment. *Water Air Soil Pollut.* **2021**, 232, 162.
13. Chen, B.; Chen, Z.; Lv, S. A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate. *Bioresour. Technol.* **2011**, 102, 716–723.

14. Perez–Mercado, L.F.; Lalander, C.; Berger, C.; Dalahmeh, S.S. Potential of biochar filters for onsite wastewater treatment: Effects of biochar type, physical properties and operating conditions. *Water* **2018**, *10*, 1835.
15. Vũ, T.M.; Trịnh, V.T. Nghiên cứu khả năng xử lý amoni trong môi trường nước của than sinh học từ lõi ngô biến tính bằng H_3PO_4 và NaOH. *JS: ESS* 2016, 32.
16. Trinh, B.S.; Chinh, P.T.K.; Tram, H.D. Color removal efficiency of rice husk biochar modified with magnetized iron oxides and nano zero valent iron for decolorization of dyeing wastewater. *STDJSEE* **2019**, *3*, 105–114.
17. Nguyen, T.Q.H.; Le Kien, T.; Nguyen, M.K.; Le Truong, N.H. Potential of biochar production from agriculture residues at household scale: a case study in Go Cong Tay district, Tien Giang province, Vietnam. *Nat. Resour. Environ.* **2018**, *16*, 68–78.
18. Hung, N.T.Q.; Thông, L.K.; Kỳ, N.M. Tiềm năng sinh khối phụ phẩm nông nghiệp và hiệu quả ứng dụng sản xuất than sinh học (biochar) quy mô hộ gia đình ở Gò Công Tây, tỉnh Tiền Giang. *STDJSEE* **2017**, *20*, 68–78.
19. Chen, X.; Chen, G.; Chen, L.; Chen, Y.; Lehmann, J.; McBride, M.B.; Hay, A.G. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresour. Technol.* **2011**, *102*, 8877–8884.
20. Wang, X.; Liu, N.; Liu, Y.; Jiang, L.; Zeng, G.; Tan, X.; Liu, S.; Yin, Z.; Tian, S.; Li, J. Adsorption removal of 17 β -estradiol from water by rice straw–derived biochar with special attention to pyrolysis temperature and background chemistry. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2017**, *14*, 1213.
21. Huang, H.J.; Yang, T.; Lai, F.Y.; Wu, G.Q. Co-pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2017**, *125*, 61–68.
22. Harvey, O.R.; Herbert, B.E.; Kuo, L.J.; Louchouart, P. Generalized two-dimensional perturbation correlation infrared spectroscopy reveals mechanisms for the development of surface charge and recalcitrance in plant–derived biochars. *Environ. Sci. Technol.* **2012**, *46*, 10641–10650.
23. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, DC, USA 2012.
24. Claoston, N.; Samsuri, A.W.; Ahmad Husni, M.H.; Mohd Amran, M.S. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Manag. Res.* **2014**, *32*, 331–339.
25. Liu, Y.; Zhao, X.; Li, J.; Ma, D.; Han, R. Characterization of bio–char from pyrolysis of wheat straw and its evaluation on methylene blue adsorption. *Desalin. Water Treat.* **2012**, *46*, 115–123.
26. Zhao, H.; Li, T.; Yao, X.; Yu, Z.; Zheng, S.; Wang, P. Effects of Environmental Conditions on Rice–straw Biochar Adsorption of Nitrate. Asia–Pacific Engineering and Technology Conference, 2017, 904–914.
27. Nguyen, M.K.; Lin, C.; Hoang, H.G.; Sanderson, P.; Dang, B.T.; Bui, X.T.; Nguyen, N.S.H.; Vo, D.V.N.; Tran, H.T. Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review. *Chemosphere* **2022**, *299*, 134488.
28. Han, L.; Xue, S.; Zhao, S.; Yan, J.; Qian, L.; Chen, M. Biochar supported nanoscale iron particles for the efficient removal of methyl orange dye in aqueous solutions. *PloS One* **2015**, *10*, e0132067.

Removal of contaminated water by adsorption using biochar derived from agricultural by-product biomass

Nguyen Cong Manh¹, Nguyen Tri Quang Hung², Doan Quang Tri³, Bui Thi Cam Nhi²,
Nguyen Minh Ky^{2,4*}

¹ Research Institute of Biotechnology and Environment, Nong Lam University of Ho Chi Minh City; congmanh@hcmuaf.edu.vn

² Faculty of Environment and Natural Resources, Nong Lam University of Ho Chi Minh City; quanghungmt@hcmuaf.edu.vn

³ Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtrikttv@gmail.com

⁴ Department of Environment and Natural Resources, Gia Lai Branch, Nong Lam University of Ho Chi Minh City; nmky@hcmuaf.edu.vn

Abstract: This paper presents biochar application derived from agricultural by-products for methylene blue (MB) adsorption in an aqueous solution. Biochar formed from agricultural by-product biomass has a large specific surface area (SSA), and high content of elemental components, including carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O), and nitrogen (N). The color adsorption capacity has achieved a good signal for biochar application to environmental treatment. Biochar samples from rice straw pyrolysis at 400°C were selected to investigate the adsorption capacity of methylene blue. The findings demonstrated that the adsorption capacity increased and peaked at the concentration of methylene blue at 200 mg/L. The fine-sized biochar (biochar 212 µm) achieved the best adsorption efficiency for methylene blue with a saturation adsorption threshold of 6.3 mg/g. Methylene blue adsorption capacity can reach > 75% efficiency. The reason can be explained by the advantage of large specific surface area, the diversity of pore size systems inside the biochar structure, and the biochar surface that can provide critical functional groups such as –OH, C=O. Thus, research on biochar application derived from agricultural by-products in polluted water treatment indicates their valuable potential in the future.

Keywords: Adsorption; Biochar; Water treatment; Agriculture; Biomass.