

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XỬ LÝ TÍNH THẨM ĐỐI VỚI CỐT LIỆU BÊ TÔNG CŨ CỦA VI KHUẨN TẠO KẾT TỦA CALCITE PHÂN LẬP TẠI VIỆT NAM

Trần Trung Kiên^{1,2}, Dương Thị Hồng Đào², Lê Quỳnh Loan², Vũ Thị Tuyết Nhung²,
Trần Thị Mỹ Ngọc², Trần Bình Tân³, Phan Văn Dân², Nguyễn Hoàng Dũng^{1,2*}

¹Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Viện Sinh học Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³HTX Sản xuất - Thương mại - Dịch vụ Nông nghiệp Đông Gò Công

*Email: dung0018034@gmail.com

Ngày nhận bài: 09/3/2023; Ngày chấp nhận đăng: 05/5/2023

TÓM TẮT

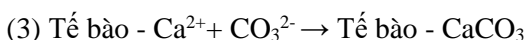
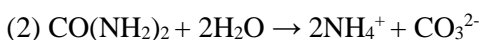
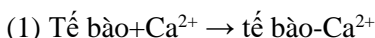
Kết tủa calcite do vi sinh vật (Microbially Induced Carbonate Precipitation - MICP) là một hướng tiếp cận mới cho các ứng dụng thực tiễn. Mục tiêu nhằm cải thiện tính chất của cốt liệu bê tông cũ (Recycled Aggregate Concrete - RAC), tái sử dụng cũng như giải quyết các vấn đề nghiêm trọng mang tính toàn cầu như thảm họa chất thải xây dựng và các vấn đề ô nhiễm môi trường ngày càng tăng. Trong nghiên cứu này, trọng tâm chính là đánh giá khả năng xử lý tính thấm đối với cốt liệu bê tông cũ RAC của vi sinh vật, chủ yếu là quy trình xử lý MICP theo con đường thủy phân urease nhằm nâng cao chất lượng và tính ứng dụng của RAC. Đồng thời, xác định tính hiệu quả của quy trình xử lý MICP được đề xuất và đánh giá mức độ cải thiện đặc tính xử lý tính thấm của cốt liệu tái chế. Sau khi thực hiện quy trình xử lý MICP, bổ sung nguồn Ca^{2+} , lặp lại 3 chu kỳ với thời gian xử lý mỗi chu kỳ là 24 giờ, đánh giá cấu trúc lỗ rỗng với cấp độ vi mô. Kết quả cho thấy, hoạt tính enzyme urease tỷ lệ thuận với khả năng tạo kết tủa calcite, tương quan với khả năng cải thiện tính thấm của chủng vi khuẩn *Bacillus thuringiensis* QN_7 (*B. thuringiensis* QN_7) với RAC thông qua sự tăng về khối lượng 13,04% và làm giảm tính thấm nước 43,15% so với mẫu đối chứng.

Từ khóa: *Bacillus thuringiensis* QN_7, RAC, kết tủa calcite do vi sinh vật (MICP), tính thấm, SEM.

1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, chúng ta đang phải đối mặt với một vấn đề nghiêm trọng mang tính toàn cầu đó chính là nguồn tài nguyên thiên nhiên đang bị cạn kiệt, bên cạnh đó là các vấn đề ô nhiễm môi trường ngày càng tăng. Điều này gây ảnh hưởng to lớn đến nền kinh tế, đặc biệt đối với ngành sản xuất vật liệu xây dựng. Theo thống kê, trên thế giới có khoảng 32 đến 50 tỷ tấn cát và sỏi được tiêu thụ hàng năm [1] do đó, một lượng lớn chất thải xây dựng và phá dỡ từ các công trình được tạo ra dẫn đến thảm họa xử lý chất thải toàn cầu [2]. Vì vậy, vấn đề đặt ra ở đây là các nhà sản xuất vật liệu xây dựng phải tìm ra một giải pháp mới, tạo ra những vật liệu mới vừa có thể giảm nguồn nguyên liệu đầu vào, vừa thân thiện với môi trường. Trong vài thập kỷ qua, việc sử dụng RAC trong sản xuất bê tông tái chế làm vật liệu xây dựng bền vững đã thu hút sự chú ý đáng kể [3]. Tuy nhiên, các tính chất cơ lý của RAC nhìn chung kém hơn so với cốt liệu tự nhiên do lớp vữa cũ xốp bám dính trên bề mặt [4,5] do vậy có thể ảnh hưởng đến tính chất cơ học, độ bền của bê tông và các ứng dụng kỹ thuật trong xây dựng [6,7,8].

Nhiều phương pháp cải thiện các đặc tính của RAC trước khi ứng dụng vào bê tông được đề xuất nhằm loại bỏ lớp vữa cũ bám dính trên bề mặt bằng cách mài cơ học [9], mài nhiệt [10], làm sạch bằng nước [11], ngâm trong axit [12] hay gia cố độ bền chắc bằng natri silicat [13], bùn pozzolana [14], cacbonat hóa [15] và vật liệu nano [16]. Trên cơ sở dựa vào hoạt động trao đổi chất của một số vi sinh vật đã tạo ra một số khoáng chất giúp thay đổi tính chất của vật liệu, cải thiện tính bền vững, kết tủa calcite do vi sinh vật tạo tủa (MICP) cũng được nghiên cứu để xử lý RAC, phương pháp này được đề xuất như một chiến lược mới để tái chế cốt liệu, góp phần làm giảm lượng chất thải xây dựng. Cơ chế của quy trình xử lý MICP dựa trên quá trình thủy phân urê được mô tả bởi các phương trình (1), (2), (3) [17]:



Trên thực tế, phương pháp xử lý MICP đã được áp dụng trong lĩnh vực kỹ thuật dân dụng. Cơ chế tự chữa lành vốn có này đã được biết đến từ lâu và được gọi là sửa chữa tự sinh, bao gồm khả năng tự làm liền vết nứt của vi sinh vật và xử lý bề mặt vật liệu bê tông. Nhiều nghiên cứu nhận thấy rằng, các sinh vật trung gian này giúp tăng độ cứng, độ bền, làm giảm tính thấm của vật liệu, giảm khả năng nén, tăng khoáng cho đất, củng cố di sản và củng cố công trình. Năm 2012, Chahal và cộng sự đã phát hiện ra khả năng hấp thụ nước giảm từ 4 đến gần 8 lần do sự lấp đầy các lỗ rỗng bên trong bê tông với tác dụng tự liền của MICP [18]. Năm 2009, Qian và cộng sự cũng chứng minh hiệu quả xử lý MICP trên bề mặt các mẫu bê tông dựa trên khả năng làm giảm tính thấm nước và sự tấn công của axit đáng kể [19].

Từ triển vọng tự làm liền và xử lý bề mặt, phương pháp xử lý MICP đã được nghiên cứu để cải tạo RAC. Năm 2014, Qiu và cộng sự đã xác định lượng kết tủa đạt cực đại ở pH 9,5, tỷ lệ thuận với nhiệt độ môi trường nuôi cấy, mật độ tế bào vi khuẩn và nồng độ Ca^{2+} cung cấp, RAC sau xử lý thể hiện sự tăng trọng lượng và giảm khả năng hấp thụ nước [20]. Năm 2017, Wang và cộng sự cũng chứng minh quá trình xử lý MICP tối ưu qua hai lần xử lý làm tăng trọng lượng, giảm thấm nước và cải thiện khả năng chống phân mảnh. Bên cạnh đó, báo cáo cho rằng các tính chất của bê tông với RAC cải tiến gần như tương tự với bê tông với cốt liệu tự nhiên về độ bền, độ cứng và cường độ nén [21]. Zeng và cộng sự (2019) đã đề xuất một phương pháp MICP bằng cách bão hòa RAC và vi khuẩn trong môi trường nuôi cấy không có mầm bệnh, bổ sung nguồn Ca^{2+} theo chu kỳ ở điều kiện tĩnh; kết quả kết luận RAC sau xử lý có sự giảm hấp thụ nước và bê tông với RAC sau xử lý cũng thể hiện cường độ nén cao hơn do độ cứng vi mô được lấp đầy [22]. Mặc dù có nhiều công trình đánh giá về các đặc tính của RAC sau xử lý bằng MICP được công bố trên thế giới, nhưng hiện nay tại Việt Nam, các nghiên cứu này vẫn chưa phổ biến, các nghiên cứu đã công bố chủ yếu tập trung vào việc nghiên cứu ứng dụng vi khuẩn tạo kết tủa calcite để cải thiện vết nứt trên vật liệu bê tông bằng các chủng vi sinh vật có nguồn gốc từ nước ngoài, do đó các ứng dụng của vi khuẩn tạo tủa calcite bản địa xử lý MICP nhằm cải thiện chất lượng của RAC, phù hợp với điều kiện khí hậu tại Việt Nam vẫn còn hạn chế. Xuất phát từ những lý do trên, nghiên cứu này được thực hiện gồm hai phần chính là xử lý MICP để cải thiện tính chất của RAC theo quy trình đã được đề xuất và đánh giá khả năng cải thiện tính thấm của RAC sau khi xử lý MICP, góp phần giảm thiểu các tác động môi trường và tiết kiệm về mặt kinh tế.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu và hóa chất

Chủng vi khuẩn *B. thuringiensis* QN_7 có khả năng tạo kết tủa CaCO_3 với sản lượng đạt 18,6 g/L được phân lập từ mẫu đất, đá tại vùng núi đá vôi tại Quảng Ninh do phòng Vi Sinh, Viện Sinh học Nhiệt đới cung cấp. Vi khuẩn được hoạt hóa trong môi trường nuôi cấy tăng

trường Luria Bertani lỏng (10 g/L peptone, 5 g/L yeast extract, 10 g/L NaCl, pH 7,5) đã được khử trùng ở 121 °C trong 20 phút trước khi thí nghiệm với tốc độ lắc 120 vòng/phút ở 37 °C. Mật độ tế bào vi khuẩn được xác định dựa trên phương pháp đo độ đục ở bước sóng 600 nm bằng máy quang phổ Jasco V-730 Spectrophotometer sau 24 giờ nuôi cấy, mật độ 10^8 CFU/mL được sử dụng trong nghiên cứu này.

RAC được sử dụng trong nghiên cứu này được lấy từ một tòa nhà bê tông gạch đã bị phá hủy. Thành phần của RAC bao gồm vữa cũ, gạch, bê tông tổng hợp... Trong đó, gạch và vữa cũ được chọn làm vật mang vi khuẩn do cấu trúc xốp, phù hợp với sự bám dính của vi khuẩn trong quá trình xử lý MICP [23, 24]. Cốt liệu được sàng lọc trước để loại bỏ các hạt nhỏ hơn 0,6 mm và được giữ ở điều kiện khô ráo để đạt được khả năng hấp thụ dịch vi khuẩn tốt hơn [25].

2.2. Phương pháp định lượng hoạt tính enzyme urease

Hoạt tính của enzyme urease được xác định bằng số lượng ammonia giải phóng từ urea dựa theo phương pháp phenol-hypochlorite [26]. Tế bào vi khuẩn được thu nhận bằng cách ly tâm dịch vi khuẩn bằng máy ly tâm lạnh Hettich Rotina 380R tốc độ 6000 vòng/phút trong 10 phút và rửa hai lần bằng axit piperazine-1-ethanesulfonic 50 mM 4-(2-hydroxyethyl) (HEPES, pH 7,5; H3375-25 g). Tiếp tục phá tế bào ở 4 °C trong 20 phút bằng bể rung siêu âm Ultrasonic cleaner (vortex sau mỗi 5 phút). Ly tâm 6000 vòng/phút trong 10 phút ở 4 °C để thu dịch enzyme (0,5 mL). Phản ứng enzyme xảy ra khi bổ sung 0,5 mL dung dịch đệm urease (50 mM HEPES, 25 mM urea) và ủ ở 37 °C trong 20 phút. Thêm 1,5 mL dung dịch A (10 g/L phenol, 50 mg/L natri nitroprusside) và 1,5 mL dung dịch B (5 mg/mL NaOH, 0,044% v/v NaClO) trộn đều, ủ ở 37 °C trong 30 phút và đo mật độ quang học ở bước sóng 600 nm bằng máy đọc đĩa Elisa 96 giếng (SpectraMax iD3). Dựa vào đồ thị đường chuẩn Ammonium chloride để xác định lượng ammonia được tạo thành trong dung dịch – phản ứng. Hoạt độ enzyme được xác định bằng số lượng urea được sử dụng (tương ứng với lượng ammonia tạo thành sau phản ứng enzyme). Đơn vị hoạt độ enzyme (U) là lượng enzyme có khả năng xúc tác làm chuyển hóa 1 micromole (1 μ mol) cơ chất sau một phút ở điều kiện tiêu chuẩn: 1U = 1 μ mol cơ chất (10^{-6} mol)/phút.

2.3. Quy trình xử lý MICP

Quy trình xử lý MICP được thực hiện theo phương pháp tối ưu của Yuxi Zhao và cộng sự công bố năm 2021 [27], RAC sau khi sấy khô ở nhiệt độ 55 ± 5 °C được ngâm trực tiếp với dịch vi khuẩn. Hỗn hợp RAC và vi khuẩn được nuôi cấy tĩnh ở 30 °C trong 24 giờ, đạt mật độ 10^8 CFU/mL sau đó được lấy ra và phối trộn với môi trường nuôi cấy tạo tủa (3 g/L tryptone, 5 g/L NH_4Cl , 2,12g/L NaCO_3). Bổ sung nguồn Ca^{2+} bằng $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 0,5 mol/L, hỗn hợp tiếp tục được nuôi cấy trong điều kiện tĩnh ở nhiệt độ 30 °C trong 24 giờ. Sau đó được lấy ra và sấy đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ 55 ± 5 °C để thu được RAC đã qua xử lý. Chu kỳ xử lý được lặp lại 3 lần, thời gian thực hiện mỗi chu kỳ là 24 giờ (Hình 1).

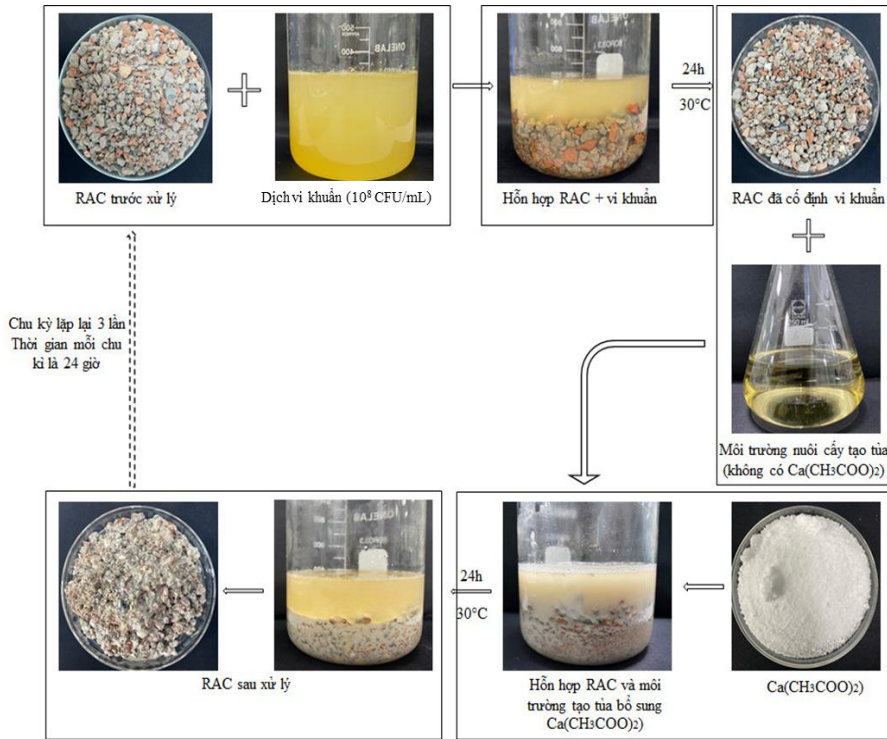
2.4. Phương pháp kiểm tra và đánh giá

2.4.1. Xác định trọng lượng của RAC sau khi xử lý MICP [21]

Trọng lượng của RAC ở trạng thái khô tuyệt đối (sấy khô đến khối lượng không đổi ở 55 ± 5 °C) trước và sau khi xử lý MICP được cân và kí hiệu m_2 và m_1 . Mức tăng trọng lượng Δm được tính bởi công thức như sau:

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$$

Trong đó Δm biểu thị mức tăng trọng lượng của RAC sau khi xử lý MICP.



Hình 1. Quy trình xử lý MICP.

2.4.2. Xác định tính thấm nước của RAC sau khi xử lý MICP [21]

RAC đã qua xử lý và sấy khô đến khối lượng không đổi được ngâm nước trong 24 giờ và lấy ra để kiểm tra độ hấp thụ nước. RAC được làm khô bằng máy thổi khí để loại bỏ độ ẩm trên bề mặt cho đến khi đạt đến trạng thái bão hòa bề mặt với khối lượng m_3 được ghi lại sau đó được sấy khô đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ $55 \pm 5^\circ\text{C}$, được ký hiệu là m_4 . Độ hấp thụ nước w được xác định bởi công thức như sau:

$$w = \frac{m_3 - m_4}{m_4} \times 100\%$$

Sự giảm hấp thụ nước của RAC đã xử lý so với RAC ban đầu Δw được xác định bởi công thức như sau:

$$\Delta w = \frac{w_2 - w_1}{w_2} \times 100\%$$

Trong đó w_2 và w_1 lần lượt biểu thị độ hấp thụ nước của RAC trước và sau khi xử lý MICP.

2.4.3. Xác định đặc tính thành phần kết tủa khoáng trên bề mặt RAC sau xử lý MICP

Đặc tính hình thái của kết tủa gắn trên bề mặt RAC được chụp bằng kính hiển vi điện tử soi nổi (DSX 1000 Olympus) và kính hiển vi điện tử quét (Scan Electron Microscopy - SEM, Hitachi TM3000). Trước khi quan sát SEM, RAC được sấy khô đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ $55 \pm 5^\circ\text{C}$, cố định trên băng dẫn điện và phủ một lớp bột vàng mỏng để tăng cường độ dẫn điện và cải thiện chất lượng hình ảnh.

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Giá trị số liệu được biểu thị ở giá trị trung bình \pm SD (standard derivation). Số liệu được xử lý bằng phần mềm Excel 2010.

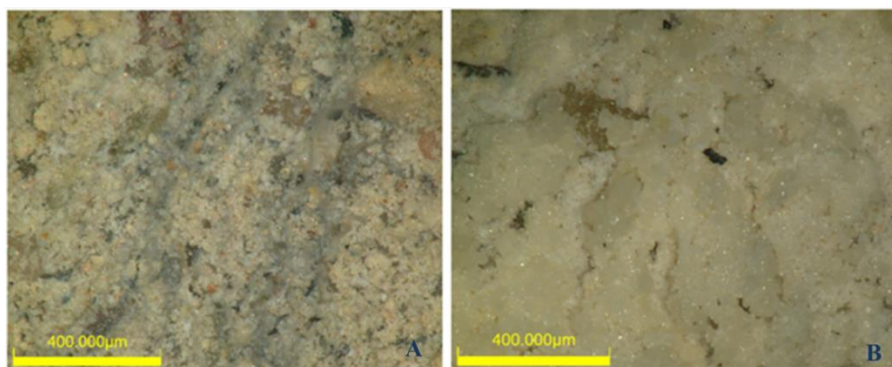
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả định lượng hoạt tính enzyme urease

Hoạt tính của urease được sử dụng để đánh giá hiệu quả của MICP [28]. Kết quả thí nghiệm cho thấy chủng *B. thuringiensis* QN_7 có hoạt tính enzyme urease đạt 26,4 U/mL, tương đương với sản lượng tủa đạt 18,6 g/L. So sánh với kết quả nghiên cứu trước đây thì vi khuẩn *Lysinibacillus fusiformis* 5.1 tại khu vực rừng ngập mặn tỉnh Rayong và *Lysinibacillus xylanilyticus* 4.3 được phân lập vùng bãi biển tỉnh Rat, Thái Lan có hoạt tính enzyme urease và sự hình thành kết tủa CaCO₃ đạt lần lượt là 4,4 U/mL; 24,15 g/L và 3,93U/mL; 22,85 g/L [29]; so sánh với các chủng vi khuẩn bản địa *Oceanobacillus* sp KG_15.3; *Staphylococcus cohnii* KG_72.2 và *Bacillus cereus* KG_54.1 được phân lập tại vùng núi đá vôi tỉnh Kiên Giang, Việt Nam [30] thu được tủa CaCO₃ lần lượt là 10,04 g/L; 8,4 g/L và 3,6 g/L tương ứng với hoạt tính enzyme urease đạt 52,27 U/mL; 24, 32 U/mL và 14,85 U/mL. Có thể kết luận rằng quá trình thủy phân urea có hiệu quả đối với sự hình thành kết tủa calcite. Cơ chế này phụ thuộc vào sự bài tiết và hoạt động của enzyme urease dẫn đến việc sản xuất NH₄⁺ và CO₃²⁻. CO₃²⁻ liên kết với ion Ca²⁺ trong môi trường dẫn đến sự hình thành các tinh thể calcite. Điều này góp phần củng cố giả thuyết con đường chuyển hóa tạo khoáng CaCO₃ của các chủng vi khuẩn *B. thuringiensis* QN_7 là thông qua quá trình thủy phân urea bằng enzyme urease, với sản lượng tủa CaCO₃ và hoạt tính urease tương đối cao.

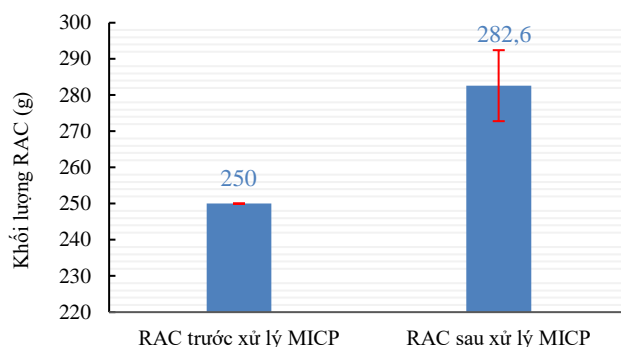
3.2. Kết quả quá trình xử lý MICP

Kết quả chụp hình RAC trước và sau xử lý MICP bằng kính hiển vi soi nổi ở vật kính x10 được thể hiện trong Hình 2 (A, B), các lỗ rỗng không khí và vết nứt nhỏ trên bề mặt RAC trước khi xử lý MICP do sự không đồng nhất trong cấu trúc bê tông gốc và hư hỏng do mài cơ học trong quá trình sản xuất, dẫn đến độ xốp và độ hút nước cao hơn của RAC đã qua xử lý.



Hình 2. Ảnh chụp bề mặt của RAC bằng kính hiển vi soi nổi DSX 1000 Olympus.
A: RAC trước xử lý; B: RAC sau xử lý.

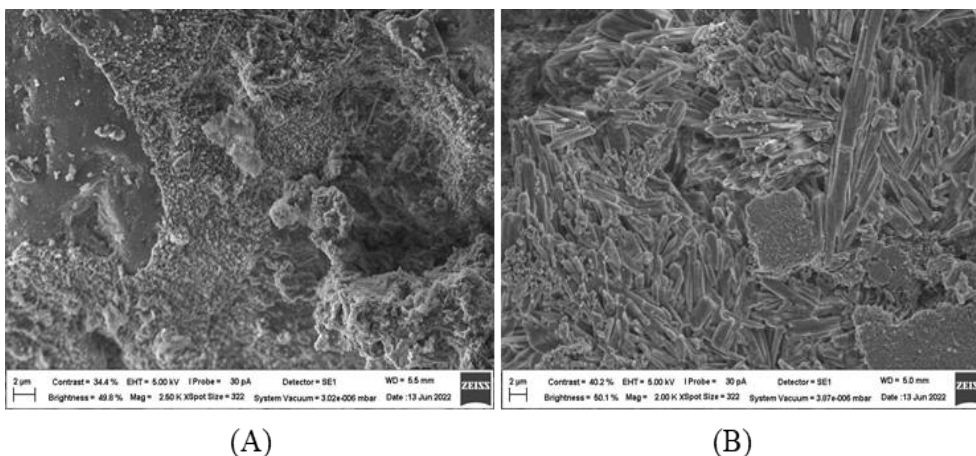
Sự tăng trưởng của vi khuẩn trong quá trình xử lý MICP cùng với việc bổ sung Ca²⁺ làm cho khối lượng của RAC tăng lên đáng kể, từ 250 ± 1,5 g RAC ban đầu, qua quá trình xử lý MICP bởi dịch vi khuẩn *B. thuringiensis* QN_7 thì khối lượng đạt 282,6 ± 1,7 g, cụ thể tăng 13,04% (Hình 3).



Hình 3. Khối lượng RAC trước và sau khi xử lý MICP.

3.3. Đặc tính kết tủa trên bề mặt RAC sau xử lý MICP

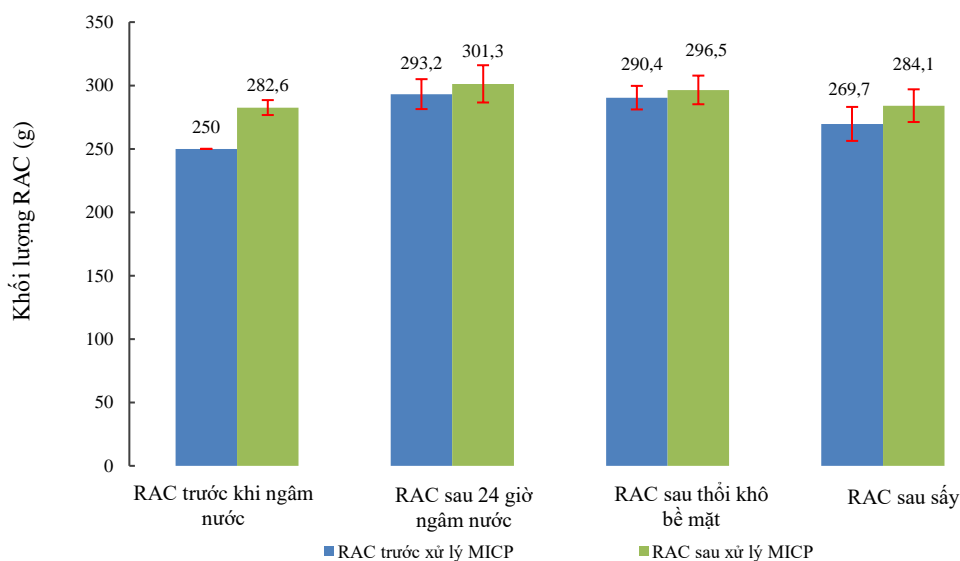
Bề mặt của RAC sau khi xử lý được bao phủ chặt chẽ bởi một lượng lớn kết tủa hình cầu và hình trụ, Hình 4 (A, B). Kích thước hạt của tinh thể kết tủa đơn là khoảng 1 μm đến 50 μm . Kết tủa đóng vai trò như một lớp màng dày đặc không thấm nước, liên kết chặt chẽ với nhau và liên kết tốt với bề mặt RAC. Ngoài ra, một số lỗ do vi khuẩn chết để lại trên bề mặt tinh thể kết tủa đã được quan sát phù hợp với công bố cho rằng vi khuẩn đóng vai trò tạo mầm trong quá trình xử lý MICP. Cụ thể, do bề mặt thành tế bào mang điện tích âm nên Ca^{2+} mang điện tích dương có thể bị vi khuẩn thu hút, phản ứng với các sản phẩm của quá trình thủy phân urê và tạo thành chất không tan kết tủa tinh thể.



Hình 4. Ảnh chụp bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM). A: mẫu trước xử lý, B: mẫu sau xử lý.

3.4. Kết quả đánh giá khả năng xử lý tính thấm của RAC sau xử lý MICP

Bên cạnh việc khối lượng RAC tăng lên sau quá trình xử lý MICP thì tính thấm nước của RAC cũng giảm đáng kể. Dựa vào khối lượng RAC được sấy khô đến khối lượng không đổi sau khi ngâm nước trong 24 giờ để xác định độ hấp thụ nước. Cụ thể, đối với RAC chưa qua xử lý MICP, khối lượng tăng từ $m_3 = 290,4$ g lên $m_4 = 269,7$ g, tương đương độ hấp thụ nước đạt 7,67%. Khi đó, khối lượng RAC đã xử lý MICP tăng từ $m_3 = 295,5$ lên $m_4 = 284,2$, tương đương độ hấp thụ nước đạt 4,36%. Điều này cho thấy sự giảm hấp thụ nước hay khả năng xử lý tính thấm của RAC đã xử lý MICP so với RAC ban đầu là 43,15%. So với kết quả nghiên cứu của Yuxi Zhao và cộng sự vào năm 2021, sau quá trình xử lý MICP, tỷ lệ tăng khối lượng và giảm hấp thụ nước lần lượt là 11,50% và 50,47%. Điều này cho thấy chủng vi khuẩn *B. thuringiensis* QN_7 có khả năng làm giảm tính thấm tương đối cao. Kết quả được trình bày ở Hình 5.



Hình 5. Kết quả đánh giá tính thấm của RAC trước và sau xử lý MICP.

Yi và cộng sự (2019) đã phát hiện ra rằng nồng độ vi khuẩn và nguồn Ca^{2+} có ý nghĩa cho việc tạo ra sự kết tủa CaCO_3 bằng cách bổ sung nguồn $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ trong giai đoạn xử lý ban đầu khi hoạt động tăng trưởng của vi khuẩn tương đối cao [31]. Việc tăng trọng lượng và giảm khả năng hấp thụ nước của RAC sau xử lý là do sự tồn tại của chất kết tủa, lấp đầy các lỗ xốp siêu nhỏ, khoảng trống không khí và các vết nứt của RAC. Chất kết tủa hoạt động như một màng chống nước dày đặc, kết nối chặt chẽ với nhau và liên kết tốt với chất nền. Nhìn chung, thí nghiệm có thể kết luận bổ sung nguồn canxi trong xử lý RAC bằng vi khuẩn tạo tủa calcite là cải thiện lớn nhất về tính giảm thấm của RAC.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu bước đầu đã chứng minh được rằng các chủng vi khuẩn *B. thuringiensis* QN_7 phân lập từ vùng núi đá vôi tỉnh Quảng Ninh có khả năng tạo kết tủa CaCO_3 lấp đầy vào các lỗ trống trên bề mặt RAC - phế phẩm của công trình xây dựng tại Việt Nam với hoạt tính enzyme đạt 26,4 U/mL (sản lượng kết tủa calcite đạt 18,6g/L theo con đường thủy phân enzyme urease). Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chứng minh được vai trò của quy trình MICP trong ứng dụng xử lý RAC; việc tạo kết tủa calcite có tác dụng cải thiện tính thấm của RAC, cụ thể tính giảm thấm đạt 43,15% so với RAC ban đầu. Những kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của chủng vi khuẩn *B. thuringiensis* QN_7 trong việc giảm thiểu chất thải xây dựng, góp phần bảo vệ môi trường và tiết kiệm về mặt kinh tế.

Lời cảm ơn: Kết quả nghiên cứu này được thực hiện từ nguồn kinh phí của Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Quốc gia (Mã số Đề tài: ĐTDL.CN-116/21).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Koehnken L., Rintoul M. - Impacts of sand mining on ecosystem structure, process and biodiversity in rivers, WWF, 2018.
2. Xiao J., Li W., Fan Y., Huang X. - An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). *Construction and Building Materials* **31** (2012) 364–383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.074>.

3. Akhtar A., Sarmah A.K. - Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective. *Journal of Cleaner Production* **186** (2018) 262-281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.085>.
4. Cuenca-Moyano G.M., Martín-Pascual J., Martín-Morales M., Valverde-Palacios I., Zamorano M. - Effects of water to cement ratio, recycled fine aggregate and air entraining /plasticizer admixture on masonry mortar properties. *Construction and Building Materials* **230** (2020) 116929. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116929>.
5. Mardani-Aghabaglou A., Beglarigale A., Yazıcı H., Ramyar K. - Transport properties and freeze-thaw resistance of mortar mixtures containing recycled concrete and glass aggregates. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* **23** (1) (2019) 53-69. <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1262289>.
6. Kou S.C., Poon C.S., Etxeberria M. - Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete. *Cement and Concrete Composites* **33** (2) (2011) 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.10.003>.
7. Mobili A., Giosue C., Corinaldesi V., Tittarelli F. - Bricks and concrete wastes as coarse and fine aggregates in sustainable mortars. *Advances in Materials Science and Engineering* 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8676708>.
8. Peng L., Zhao Y., Zhang H. - Flexural behavior and durability properties of recycled aggregate concrete (RAC) beams subjected to long-term loading and chloride attacks. *Construction and Building Materials* **277** (2021) 122277. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122277>.
9. Nagataki S., Gokce A., Saeki T., Hisada M. - Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Research* **34** (6) (2014) 965-971. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.008>.
10. Shima H., Tateyashiki H., Matsuhashi R., Yoshida Y. - An advanced concrete recycling technology and its applicability assessment through input-output analysis. *Journal of Advanced Concrete Technology* **3** (1) (2005) 53-67. <https://doi.org/10.3151/jact.3.53>.
11. Katz A. - Treatments for the improvement of recycled aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering* **16** (6) (2004) 597-603. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:6\(597\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(597)).
12. Akbarnezhad A., Ong K.C.G., Zhang M.H., Tam C.T. - Acid Treatment Technique for determining the mortar content of recycled concrete aggregates. *Journal of Testing and Evaluation* **41** (3) (2013) 441-450. <https://doi.org/10.1520/JTE20120026>.
13. Shayan A., Xu A. - Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate. *Aci Materials Journal* **100** (5) (2003) 371-380.
14. Kou S.C., Poon C.S. - Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. *Construction and Building Materials* **35** (2012) 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.032>.
15. Thiery M., Dangla P., Belin P., Habert G., Roussel N. - Carbonation kinetics of a bed of recycled concrete aggregates: a laboratory study on model materials. *Cement and Concrete Research* **46** (2013) 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.01.005>.
16. Ji T. - Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂. *Cement and Concrete Research* **35** (10) (2005) 1943-1947. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.07.004>.
17. Stocks-Fischer S., Galinat J.K., Bang S.S. - Microbiological precipitation of CaCO₃. *Soil Biology and Biochemistry* **31** (11) (2009) 1563-1571. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00082-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00082-6).

18. Chahal N., Siddique R., Rajor A. - Influence of bacteria on the compressive strength, water absorption and rapid chloride permeability of fly ash concrete. *Construction and Building Materials* **28** (1) (2012) 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.042>.
19. Qian C., Wang R., Zhan Q. - The basic of microbial mineralization applied in engineering. Beijing: Science Press 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106299>.
20. Qiu J., Tng D.Q.S., Yang E.H. - Surface treatment of recycled concrete aggregates through microbial carbonate precipitation. *Construction and Building Materials* **57** (2014) 144-150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.085>.
21. Wang J., Vandevyvere B., Vanhessche S., Schoon J., Boon N., Belie N.D. - Microbial carbonate precipitation for the improvement of quality of recycled aggregates. *Journal Cleaner Production* **156** (2017) 355-366. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.051>.
22. Zeng W., Zhao Y., Poon C.S., Feng Z., Lu Z., Shah S.P. - Using microbial carbonate precipitation to improve the properties of recycled aggregate. *Construction and Building Materials* **228** (2019) 116743. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116949>.
23. Pan Z.-Y., Li G., Hong C.-Y., Kuang H.-L., Yu Y., Feng F.-X., Liu D.-M., Du H. - Modified recycled concrete aggregates for asphalt mixture using microbial calcite precipitation. *RSC Advances* **5** (44) (2015) 34854-34863. <https://doi.org/10.1039/C5RA04203H>.
24. Alazhari M., Sharma T., Heath A., Cooper R., Paine K. - Application of expanded perlite encapsulated bacteria and growth medium for self-healing concrete. *Construction and Building Materials* **160** (2018) 610-619. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.086>.
25. Feng Z., Zhao Y., Zeng W., Lu Z., Shah S.P. - Using microbial carbonate precipitation to improve the properties of recycled fine aggregate and mortar. *Construction and Building Materials* **230** (2020) 116949. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116949>.
26. Weatherburn M.W. - Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry* **39** (1967) 971-974. <https://doi.org/10.1021/ac60252a045>.
27. Zhao Y., Peng L., Feng Z., Lu Z. - Optimization of microbial induced carbonate precipitation treatment process to improve recycled fine aggregate. *Cleaner Materials* **1** (2021) 100003. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100003>.
28. Hamad I.A., Talkhan F.N., Zoheir A.E. - Urease activity and induction of calcium calcium carbonate precipitation by *Sporosarcina pasterii* NCIMB 8841. *Journal of Applied Sciences Research* **9** (3) (2013) 1525-1533.
29. Leeprasert L., Chonudomkul D., Boonmak C. - Biocalcifying Potential of Ureolytic Bacteria Isolated from Soil for Biocementation and Material Crack Repair. *Microorganisms* **10** (5) (2022) 963. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050963>.
30. Le Q L, Huynh T D, Pham A V, Hoang Q K, Ngo D D, Tran T T, Than Q A H, Nguyen H D. - Isolation of microbial inducing calcium carbonate precipitation from soils and limestones at Kien Giang province. *Hội thảo khoa học Công nghệ sinh học toàn quốc 2018*.
31. Yi H., Zhan Q., Qian C. - Microbial-induced synthesis of mineralization products based on the capture of carbon dioxide: Characteristics, reaction kinetics, interfacial adhesion properties, and mechanism of action. *Journal of the Chinese Chemical Society* **66** (12) (2019) 1589-1596. <https://doi.org/10.1002/jccs.201900106>.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE WATER ABSORPTION DECREASE ABILITY TREATMENT ON RECYCLED AGGREGATE CONCRETE OF CALCITE PRECIPITATED BACTERIA ISOLATED IN VIETNAM

Tran Trung Kien^{1,2}, Duong Thi Hong Dao², Le Quynh Loan², Vu Thi Tuyet Nhung²,

Tran Thi My Ngoc², Tran Binh Tan³, Phan Van Dan², Nguyen Hoang Dung^{1,2*}

¹*Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology*

²*Institute of Tropical Biology, Vietnam Academy of Science and Technology*

³*Dong Go Cong Agricultural Production - Trade - Service Cooperative*

*Email: dung0018034@gmail.com

Microbially Induced Carbonate Precipitation (MICP) is recently viewed as one of the approaches for field applications. The goal is to improve the properties of recycled aggregate concrete (RAC), reuse them as well as solve serious global problems such as construction waste, dwindling natural resources, and environmental pollution problems. Typically, the bacteria involved in MICP create urease, causing calcite crystals to form on the surface of grains forming cementation bonds between particles that help in reducing soil permeability and increase overall compressive strength. In this study, the main focus is on assessing the microbial permeability treatment ability of RAC, mainly the MICP treatment process by urease hydrolysis to improve the quality and application of RAC. In addition, the effectiveness of the proposed MICP treatment was determined and the degree of improvement in the permeability treatment properties of the recycled aggregate was evaluated. After performing the MICP treatment, adding Ca²⁺ sources, repeating 3 cycles with a processing time of 24 hours each, evaluating the pore structure at the microscopic level. The results showed that the enzyme activity of urease was directly proportional to the ability to precipitate calcite, which correlated with the ability to improve the permeability of *Bacillus thuringiensis* strain to RAC through an increase in weight of 13.04% and a decrease in the 43.15% water absorption compared to the control sample.

Keywords: Bacillus thuringiensis QN_7, RAC, MICP, permeability, SEM.