

## Rừng ngập mặn trong những kiểu rừng giàu trữ lượng các-bon nhất ở vùng nhiệt đới

Daniel C. Donato<sup>a</sup>, J. Boone Kauffman<sup>b</sup>, Daniel Murdiyarso<sup>c</sup>, Sofyan Kurnianto<sup>c</sup>, Melanie Stidham<sup>d</sup> và Markku Kanninen<sup>e</sup>

Rừng ngập mặn phân bố dọc theo bờ biển vùng nhiệt đới. Chúng cung cấp rất nhiều loại dịch vụ sinh thái, trong đó có sản xuất thủy sản và chu trình dinh dưỡng. Tuy nhiên, trong nửa thế kỷ qua, diện tích rừng ngập mặn đã giảm 30-50% do các hoạt động phát triển vùng duyên hải, mở rộng nuôi trồng thủy sản và khai thác quá mức<sup>1-4</sup>. Hiện vẫn chưa rõ được lượng phát thải khí các-bon do mất rừng ngập mặn là bao nhiêu, một phần vì không có số liệu tổng thể về trữ lượng các-bon trong các hệ sinh thái này, nhất là lượng các-bon trong đất<sup>5</sup>.

Trong công trình này, chúng tôi xác định trữ lượng các-bon của toàn bộ hệ sinh thái bằng cách đo sinh khối cây đứng và cây chết, hàm lượng các-bon trong đất và độ sâu của đất tại 25 ô mẫu trên toàn vùng Ấn Độ - Thái Bình Dương, kéo dài trên 30 độ vĩ tuyến và 70 độ kinh tuyến, nơi rừng ngập mặn có diện tích lớn nhất và cũng đa dạng nhất<sup>4,6</sup>.

Các số liệu này cho thấy rừng ngập mặn là một trong những kiểu rừng có trữ lượng các-bon cao nhất tại vùng nhiệt đới, chứa bình quân 1023 Mg các-bon trên mỗi héc-ta. Đất giàu chất hữu cơ phân bố tại độ sâu từ 0,5 m đến 3 m dưới mặt đất và chiếm tới 49-98% trữ lượng các-bon trong các hệ sinh thái này. Kết hợp số liệu của chúng tôi với những thông tin đã xuất bản khác, chúng tôi ước tính việc phá rừng ngập mặn sẽ phát thải 0,02-0,12 Pg các-bon mỗi năm – chiếm khoảng 10% lượng phát thải do phá rừng toàn cầu dù diện tích rừng ngập mặn chỉ chiếm 0,7% tổng diện tích rừng nhiệt đới<sup>6,7</sup>.

Nạn phá rừng và sự thay đổi mục đích sử dụng đất hiện đang đóng góp 8-20% lượng khí các-bon đi-ô-xít (CO<sub>2</sub>) phát thải toàn cầu do hoạt động của con người, chỉ sau việc đốt cháy nhiên liệu hóa thạch<sup>7,8</sup>. Những điều ước quốc tế gần đây về khí hậu đều nhấn mạnh đến Chương trình Giảm Phát thải do Phá rừng và Suy thoái rừng (REDD+) như một sự lựa chọn chính và tương đối hiệu quả về chi phí nhằm làm giảm tác động của biến đổi khí hậu; chiến lược này nhằm bảo tồn trữ lượng các-bon (C) trên mặt đất bằng những hình thức khuyến khích tài chính cho việc bảo tồn rừng (ví dụ như tín chỉ các-bon). REDD+ và những chương trình tương tự đều đòi hỏi sự giám sát và đánh giá nghiêm túc các bể chứa và lượng khí các-bon phát thải<sup>8,9</sup>, trong đó chú trọng những số liệu ước tính về trữ lượng các-bon ở các loại rừng khác nhau, đặc biệt là những loại rừng mà ở đó có sự kết hợp giữa mật độ các-bon cao và chế độ sử dụng đất thay đổi trên diện rộng<sup>10</sup>.

Rừng trên các vùng đất ngập nước nhiệt đới (ví dụ, vùng đất than bùn) có lớp đất giàu chất hữu cơ dày tới khoảng vài mét và có trữ lượng các-bon lớn nhất trong hệ sinh quyển trên cạn<sup>11-13</sup>. Sự bất tương xứng về tầm quan trọng của đất than bùn trong mối liên kết giữa sử dụng đất và biến đổi khí hậu đã nhận được nhiều sự quan tâm đáng kể từ năm 1997, khi các vụ cháy than bùn do khai hoang ở In-đô-nê-xi-a đã làm tăng tổng lượng phát thải CO<sub>2</sub> toàn cầu do sử dụng nhiên liệu hóa thạch trong không khí thêm 13-40%<sup>11</sup>. Sự kiện này đã ngay lập tức báo động nhu cầu phải giải quyết vấn đề về đất than bùn nhiệt đới trong các chiến lược quốc tế về giảm nhẹ biến đổi khí hậu<sup>7,13</sup>.

a Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA). Cục Lâm nghiệp, Trạm Nghiên cứu Tây Nam Thái Bình Dương, 60 Nowelo, Hilo, Hawaii 96720, Hoa Kỳ. Thư điện tử: [ddonato@wisc.edu](mailto:ddonato@wisc.edu).

b Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA). Cục Lâm nghiệp, Trạm Nghiên cứu miền Bắc, 271 đường Mast, Durham, New Hampshire 03824, Hoa Kỳ.

c Tổ chức Nghiên cứu Lâm nghiệp Quốc tế (CIFOR), PO Box 0113 BOCBD, Bogor 16000, In-đô-nê-xi-a.

d Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA). Cục Lâm nghiệp, Các Chương trình Quốc tế, 1099 đường 14 NW, Dãy 5500W, Washington, District of Columbia 20005, Hoa Kỳ.

e Viện Tài nguyên Nhiệt đới Viikki (VITRI), Đại học Helsinki (Phần Lan), Hộp thư số: 27, FIN-00014, Finland.

Nhưng quá trình thảo luận này đã chỉ tập trung vào đăm lầy than bùn mà không tính đến các vùng rừng ngập mặn ven biển nằm kể các đại dương tại 118 quốc gia và chiếm khoảng 30-35% tổng diện tích rừng ở các vùng ngập nước nhiệt đới toàn cầu<sup>4,6,12</sup>.

Mặc dù được biết đến rộng rãi nhờ hàng loạt các dịch vụ hệ sinh thái như cung cấp nguồn lợi thủy sản và sợi thực vật, điều hòa trầm tích, phòng chống bão và sóng thần, nhưng rừng ngập mặn đang bị suy giảm nhanh chóng do khai hoang, mở rộng nuôi trồng thủy sản, khai thác quá mức và các hoạt động phát triển khác<sup>2-6</sup>. Việc 30-50% diện tích rừng ngập mặn biến mất trong nửa thế kỷ qua đã dẫn đến lo ngại rằng chúng có thể sẽ không còn khả năng cung cấp các chức năng sinh thái chỉ trong vòng 100 năm nữa (xem tài liệu tham khảo số 1 và 2). Hiện tượng nước biển dâng nhanh trong thế kỷ 21 được xem như mối đe dọa chủ yếu đối với rừng ngập mặn<sup>14</sup>, dù rừng ngập mặn đã từng ứng phó với sự thay đổi mực nước biển bằng cách di thực về phía đất liền hoặc đến nơi cao hơn<sup>15</sup>.

Mặc dù rừng ngập mặn được biết đến với tốc độ đồng hóa và tốc độ lưu chuyển các-bon cao<sup>16-22</sup>, điều đáng ngạc nhiên là chưa hề có số liệu về trữ lượng các-bon trong toàn hệ sinh thái này – đây là lượng được giả định sẽ được giải phóng khi chuyển đổi mục đích sử dụng đất. Hiện chỉ có thông tin về một vài hợp phần trong tổng trữ lượng các-bon rừng ngập mặn, chủ yếu là thông tin về sinh khối cây đứng<sup>17,18</sup>, nhưng cứ liệu thu được về lớp đất giàu hữu cơ rất dày<sup>22-25</sup> cho thấy rằng những ước tính này đã bỏ sót phần lớn tổng lượng các-bon trong hệ sinh thái.

Đất rừng ngập mặn có một lớp nửa yếm khí (thường được gọi là 'than bùn' (*peat*) hoặc "mùn" (*muck*)) ngập triều với độ dày khác nhau tạo điều kiện cho quá trình phân hủy kỵ khí và có nồng độ các-bon dao động từ trung bình đến cao<sup>16,20,21</sup>. Không dễ để đo trữ lượng các-bon dưới tầng đất rừng ngập mặn<sup>5,21</sup>, và không đơn giản chỉ là đo tốc độ luân chuyển các-bon, vì thực tế còn phải tính đến hàng nghìn năm phân hủy, chuyển hóa và bào mòn cùng sự dao động mực nước biển cũng như những biến động qua các thời kỳ<sup>15</sup>. Hiện chưa có tài liệu nghiên cứu nào đưa ra được phương pháp tính toán chính xác cho tổng trữ lượng các-bon ở rừng ngập mặn cho các khu vực địa lý rộng lớn.

Trong công trình nghiên cứu này, chúng tôi lượng hóa trữ lượng các-bon trên toàn hệ sinh thái rừng ngập mặn trên một địa bàn rộng lớn trên khắp khu vực Ấn Độ - Thái Bình Dương, nơi phân bố chính và có độ đa dạng cao về rừng ngập mặn (40% diện tích rừng ngập mặn thế giới)<sup>4,6</sup>.

Các điểm nghiên cứu bao gồm hàng loạt các kiểu rừng có cấu trúc và kích thước cây khác nhau (Hình 1, Bảng bổ sung S1), trải rộng trên 30 độ vĩ tuyến (8° vĩ Nam - 22° vĩ Bắc) và 73 độ kinh tuyến (90°-163° kinh Đông), bao gồm các khu vực Đông Micronesia (Kosrae); Tây Micronesia (Yap và Palau);



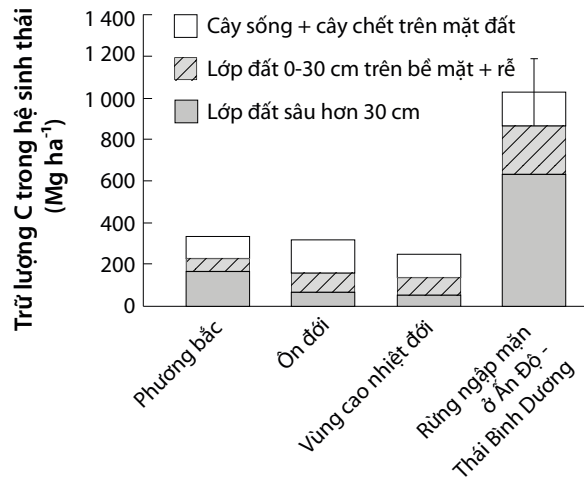
**Hình 1. Những ví dụ về rừng ngập mặn khu vực Ấn Độ-Thái Bình Dương.** Mẫu nghiên cứu khá đa dạng về kích thước cây trong lâm phần, thành phần rừng và độ sâu của đất. a) Ví dụ về mẫu cây rừng ngập mặn có kích thước lớn, mật độ cao ưu thế trội bởi Vẹt *Bruguiera* tại Borneo, Indonesia (chiều cao đến tán lá >15m, độ che phủ tán lá >90%, độ sâu của đất >3 m). b) Ví dụ về mẫu cây rừng ngập mặn kích thước nhỏ, mật độ thấp, ưu thế trội bởi Đước *Rhizophora* ở Sulawesi, Indonesia (chiều cao đến tán lá < 4m, độ che phủ tán lá < 60%, độ sâu của đất từ 0, 35 - 0,78 m). Cả rừng ngập mặn cửa sông và ven biển đều thể hiện những trạng thái này (xem Bảng bổ sung S1).

Sulawesi, Java, Borneo (Indonesia) và vùng Sundarban (châu thổ Ganges-Brahmaputra, Bangladesh). Dọc theo các tuyến điều tra được thiết lập từ đường bờ biển vào đất liền, chúng tôi kết hợp kỹ thuật sinh trắc đã có và phương pháp lấy mẫu đất để đánh giá sự biến thiên của các bể chứa các-bon trên và dưới mặt đất bằng hàm số đối với khoảng cách tới mép nước tại hai dạng địa mạo chính: (i) vùng đồng bằng châu thổ sông/cửa sông, và (ii) ven biển/ven rìa. Rừng ngập mặn cửa sông (n=10) phân bố trên các vùng đồng bằng châu thổ thường có một đăm phá được bảo vệ; rừng ngập mặn ven

biển (n=15) phân bố gần bờ biển, thường là bờ của các đảo có các dải san hô ven bờ. Khoảng cách tới mép nước và kiểu địa mạo có thể tác động tới động thái các-bon do có khác biệt về chế độ thủy triều và tầm quan trọng tương đối của việc kiểm soát quá trình tích lũy các-bon giữa trầm tích ngoại lai (trầm tích sông) so với trầm tích bản địa (lớp mục tại chỗ và sự sinh sản rêu)<sup>5,16</sup>.

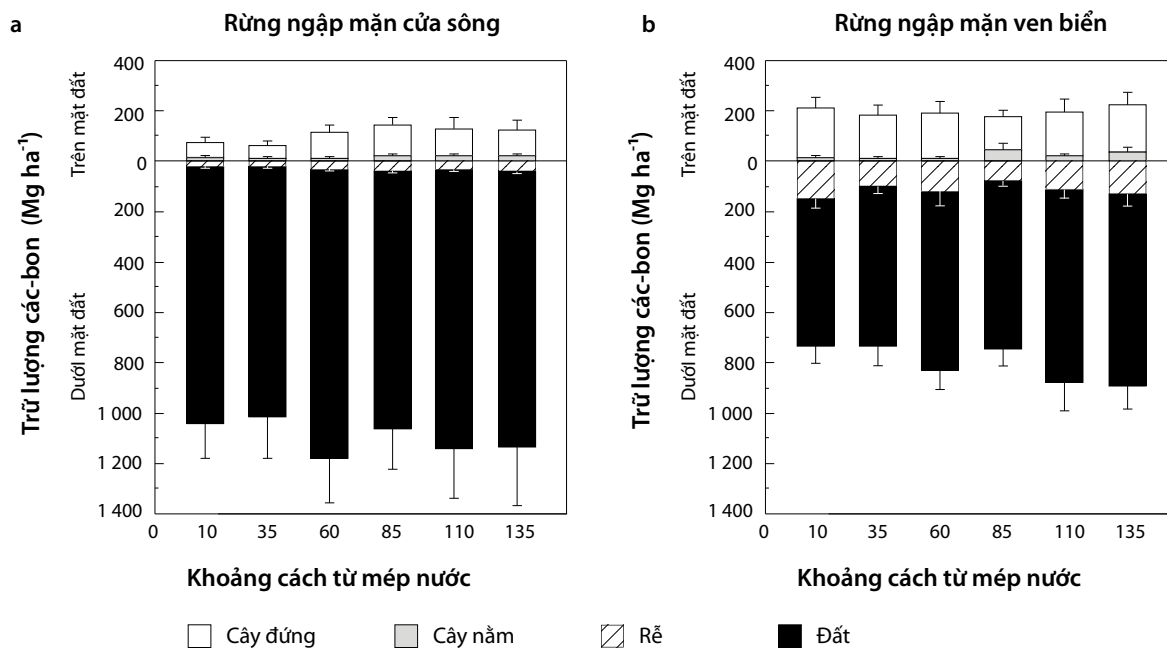
Chúng tôi phát hiện thấy rừng ngập mặn là một trong những kiểu rừng có mật độ các-bon cao nhất ở vùng nhiệt đới (giá trị bình quân cho các mẫu thu được: 1023 Mg C ha<sup>-1</sup> ± 88 s.e.m) và đặc biệt cao nếu so sánh với trữ lượng các-bon bình quân tại các khu vực rừng chính trên thế giới (Hình 2). Các vùng cửa sông có mật độ các-bon bình quân 1074 Mg C ha<sup>-1</sup> (± 171 s.e.m.); các vùng ven biển có mật độ 990 ± 96 Mg C ha<sup>-1</sup>. Các bể chứa các-bon trên mặt đất có mật độ khá lớn (bình quân 159 Mg C ha<sup>-1</sup>, cao nhất là 435 Mg C ha<sup>-1</sup>) nhưng con số này không đáng kể so với mật độ các-bon đất, chiếm từ 71-98% và 49-90% tổng trữ lượng lần lượt tại khu vực cửa sông và khu vực ven biển (Hình 2 và 3). Trữ lượng các-bon đất có mối tương quan tỷ lệ thuận yếu đối với trữ lượng các-bon trên mặt đất (R<sup>2</sup> = 0,21 đối với cửa sông và = 0,50 ở ven biển). Mặc dù trữ lượng tại các bể chứa các-bon trong đất có tăng nhẹ theo khoảng cách tới mép nước tại khu vực ven biển (do có sự tăng độ sâu của đất), nhưng sự thay đổi trữ lượng của các bể chứa các-bon trên và dưới mặt đất theo yếu tố khoảng cách có độ biến thiên cao và không có ý nghĩa nhiều về mặt thống kê (Hình 3).

Từ trước tới nay, việc lượng hóa trữ lượng các-bon đất tại rừng ngập mặn gặp nhiều khó khăn do không có số liệu đồng bộ về nồng độ các-bon trong đất, mật độ khối, độ sâu của đất và sự biến thiên về mặt không gian của các yếu tố này<sup>5,21</sup>. Chúng tôi nhận thấy nồng độ các-bon (% khối lượng khô) trong 1 mét đất trên cùng của mỗi phẫu diện đất (mặt cắt thổ nhưỡng) đều rất cao, và giảm xuống dần khi đi qua lớp này (Hình 4a). Nồng độ các-bon tại khu vực cửa sông (bình quân = 7,9%) thấp hơn so với khu vực ven biển (14,6%). Mật độ khối của các-bon trong đất (BD) không biến đổi lớn theo kiểu địa mạo hoặc khoảng cách tới mép nước (thường rơi vào khoảng 0,35-0,55 g cm<sup>-3</sup>) nhưng lại tăng theo độ sâu (Hình 4b). Kết hợp dữ liệu giữa nồng độ và mật độ khối của các-bon trong đất cho kết quả mật độ các-bon bình quân là 0,038 g C cm<sup>-3</sup> cho khu vực cửa sông và 0,061 g C cm<sup>-3</sup> cho khu vực ven biển. Độ sâu của lớp than bùn tại khu vực cửa sông và ven biển có sự khác biệt (Hình 4c) và là nhân tố chính quyết định sự biến thiên của trữ lượng các-bon đất (Hình 3). Rừng ngập mặn cửa sông phát triển trên lớp trầm tích phù sa dày, thường là hơn 3m; rừng ngập mặn ven biển có một lớp đất bề mặt bao phủ lớp san hô hoặc đá nền, với độ dày lớp than/bùn bình quân từ 1,2 m (± 0,2 s.e.m.) ở gần mép nước tới 1,7 m (± 0,2 s.e.m.) ở sâu 135 m trong đất liền (Hình 4c). Xét về tổng trữ lượng các-bon đất, lớp đất nông hơn tại rừng ngập mặn ven biển phần nào được bù đắp bởi nồng độ các-bon hữu cơ trong đất cao hơn (Hình 4a,c).



**Hình 2. So sánh trữ lượng các-bon rừng ngập mặn (bình quân ± 95% khoảng tin cậy) với trữ lượng các-bon tại các kiểu rừng cơ bản khác trên thế giới. Trữ lượng các-bon bình quân theo khu vực được trình bày tại tài liệu tham khảo<sup>9</sup>, bao gồm các giá trị mặc định về cây đứng, lớp mục, cây nằm, tỉ lệ rễ/nhánh và đất với giả thiết lớp đất 30 cm trên bề mặt chứa 50% lượng các-bon trong đất<sup>9</sup>, ngoại trừ trường hợp các rừng phương bắc (25%). Các số liệu được đưa ra là mức bình quân của khu vực, tuy nhiên có một vài loại trong mỗi kiểu có trữ lượng các-bon cao hơn hoặc thấp hơn<sup>9,10</sup>. Nhìn chung, lớp đất 30 cm trên bề mặt chứa các-bon được coi là dễ bị tổn thương trước sự thay đổi về mục đích sử dụng. Tuy nhiên với đất than bùn nửa yếm khí, việc rút nước, đào xới và quá trình ô-xy hóa có thể ảnh hưởng tới những lớp đất sâu hơn.**

Những số liệu này chỉ ra rằng năng suất và tốc độ luân chuyển các-bon cao tại rừng ngập mặn<sup>16-22</sup> liên quan đến trữ lượng các-bon cao, đặc biệt ở hệ sinh thái dưới mặt đất. Trữ lượng các-bon cao trên mỗi héc-ta cùng với việc phân bố trong vùng liên nhiệt đới (tổng diện tích khoảng 14 triệu ha<sup>46</sup>) chứng tỏ rằng rừng ngập mặn là một kho dự trữ các-bon bề mặt có tầm quan trọng toàn cầu. Mặc dù mẫu của chúng tôi không nhằm đại diện cho tất cả các kiểu rừng ngập mặn (hạn chế áp dụng cứng nhắc đối với các kiểu rừng khác), một số khiên cưỡng trong việc tính toán trữ lượng các-bon toàn cầu có nguồn gốc từ sự kết hợp giữa khoảng dao động về số liệu theo dõi của chúng tôi (tức là các giá trị trữ lượng các-bon ở phân vị thứ 5 và phân vị thứ 95) với các số liệu toàn cầu bổ sung về nồng độ các-bon trong đất, độ sâu của đất và sinh khối tức thời<sup>16, 17, 21, 23, 24</sup> (xem các phương pháp trong phần Thông tin Bổ sung). Cách tiếp cận này cho kết quả ước tính là 4,0–20 Pg C trên phạm vi toàn cầu. Con số ước lượng này chắc chắn cần được tiếp tục hoàn thiện, nhưng cũng đã cho thấy rừng ngập mặn đóng góp một phần quan trọng trong trữ lượng các-bon tại các khu rừng trên các vùng đất ngập nước nhiệt đới (ví dụ, vùng than bùn nhiệt đới: 82–92 Pg C; xem tài liệu tham khảo 12).



**Hình 3. Đánh giá các bể chứa cac-bon trên và dưới mặt đất tại rừng ngập mặn Ấn Độ - Thái Bình Dương theo khoảng cách tới đường bờ biển.** a) Rừng ngập mặn cửa sông phân bố tại các vùng phù sa châu thổ lớn; b) Rừng ngập mặn ven biển phân bố gần bờ biển, ví dụ, bờ biển xung quanh các đảo. Các bể chứa cac-bon trong đất đóng góp 71-98% lượng cac-bon hệ sinh thái ở các địa bàn cửa sông, và 49-90% ở vùng ven biển. Tổng trữ lượng cac-bon không có sự khác biệt lớn theo khoảng cách tới đường bờ biển kể cả khi có số lượng mẫu lớn ( $P > 0,10$  cho các bể chứa cac-bon trên mặt đất, dưới mặt đất, và tổng trữ lượng cac-bon theo phương pháp giải tích hàm (FDA, xem phần Phương pháp nghiên cứu); 95% CIs cho tỷ lệ thay đổi và vào khoảng - 1,2 đến 3,9 Mg C/ha với mỗi mét khoảng cách từ mép nước).

Vấn đề phát thải khí cac-bon từ chuyển đổi sử dụng đất trong rừng ngập mặn hiện vẫn chưa được làm rõ. Số liệu mà chúng tôi thu được cho thấy khả năng tiềm tàng phát thải khí nhà kính do trạng thái không ổn định của lượng dự trữ cac-bon lớn. Tương lai của các bể chứa cac-bon dưới mặt đất vẫn chưa được nghiên cứu, nhưng những cứ liệu hiện có cho thấy hoạt động khai hoang, tháo nước, chuyển đổi rừng ngập mặn thành đầm nuôi trồng thủy sản ngoài việc ảnh hưởng nghiêm trọng đến sinh khối của thảm thực vật còn làm giảm đáng kể lượng cac-bon trong đất<sup>15,22,26-28</sup>.

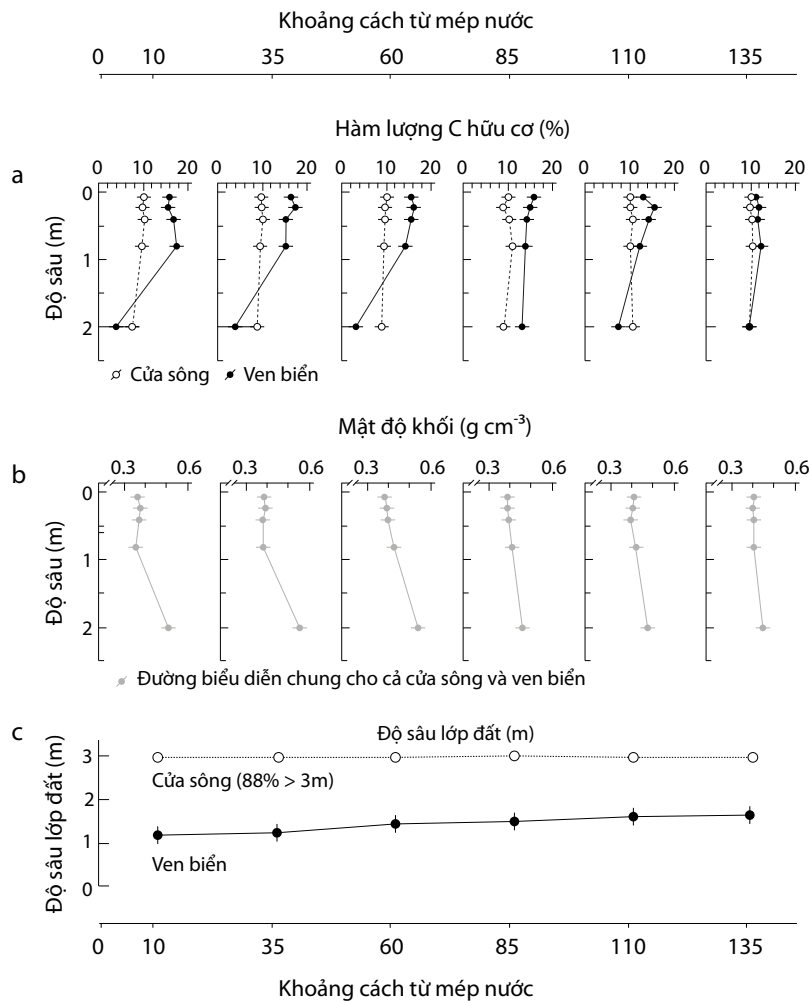
Ở các khu rừng vùng cao, lớp đất 30 cm trên bề mặt thường rất nhạy cảm với việc chuyển đổi mục đích sử dụng đất; tuy nhiên tại các khu rừng ở vùng đất ngập nước, sự rút nước và quá trình ô-xy hóa đối với tầng đất nửa yếm khí cũng ảnh hưởng tới các lớp đất sâu hơn<sup>29</sup>. Để xác định các yếu tố ảnh hưởng đến lượng phát thải ước tính, chúng tôi cũng sử dụng thuật toán lan truyền độ dao động (*uncertainty propagation*), trong đó kết hợp sử dụng các giá trị về dự trữ cac-bon mà chúng tôi có được với các số liệu toàn cầu khác<sup>16,17</sup> và áp dụng một số giả định liên quan đến các tác động của việc thay đổi mục đích sử dụng đất tới các bể chứa cac-bon nằm trên và dưới và mặt đất (xem phần Thông tin Bổ sung).

Phương pháp này đưa ra được một kết quả đáng tin cậy là 112–392 Mg C phát thải trên mỗi héc-ta phát quang, phần

lớn phụ thuộc vào độ sâu của lớp đất bị thay đổi mục đích sử dụng. Kết hợp với số liệu đã công bố về tỉ lệ rừng ngập mặn bị phá (1-2%<sup>1,4</sup>) và tổng diện tích toàn cầu (13,7-15,2 triệu héc-ta, xem tài liệu tham khảo 4,6), cho kết quả ước tính lượng phát thải trên toàn cầu là 0,02-0,12 Pg C/năm. Tỷ lệ này cao hơn đáng kể so với con số thường được trích dẫn về lượng phát thải từ đất than bùn (0,30 Pg C/năm) và phát thải do phá rừng trên toàn cầu (1,2 Pg C/năm, xem tài liệu tham khảo 7) dù mới tính đến phần mất đi của trữ lượng tức thời, mà chưa tính tới các ảnh hưởng khác của việc chuyển đổi sử dụng đất rừng ngập mặn như sự giảm tốc độ hấp thụ cac-bon, hiệu suất chôn cac-bon và sự chuyển dịch ra biển<sup>16,18</sup>, kể cả sự tăng lên của lượng methan sinh học trong các tầng đất có biến động<sup>16,27</sup>.

Ngoài tác động trực tiếp đối với việc giảm độ che phủ rừng, các hoạt động sử dụng đất còn ảnh hưởng tới phản ứng của rừng ngập mặn đối với nước biển dâng<sup>14,15</sup>. Rừng ngập mặn vốn chống chịu rất hiệu quả khi nước biển tăng đột biến (5–15 mm/năm) trong Phần đại Đế tứ vừa qua (0–18.000 năm trước) do: (1) sự di thực về phía đất liền và (2) các thay đổi tự sinh theo độ cao so với mực nước biển trên mặt đất thông qua quá trình sản xuất chất hữu cơ dưới đất hoặc do bồi lắng<sup>15</sup>. Với xu hướng biến đổi khí hậu như hiện nay, mực nước biển được dự đoán sẽ tăng 18-79 cm trong giai đoạn từ năm 1999-2099 (và sẽ còn cao hơn nếu





**Hình 4. Lượng các-bon trong đất xác định tại các bể chứa các-bon dưới mặt đất ở rừng ngập mặn khu vực Ấn Độ - Thái Bình Dương.** a) Nồng độ các-bon trong đất tại rừng ngập mặn ven biển (bình quân 14,6%) lớn hơn rừng ngập mặn cửa sông (bình quân 7,9%) ( $P = 0,001$ ) và giảm theo độ sâu ( $P < 0,0001$ ; sự thay đổi diễn ra mạnh hơn tại khu vực rừng ngập mặn ven biển). Sự thay đổi nồng độ các-bon theo khoảng cách tính từ bờ biển là không lớn. b) Mật độ khối các-bon trong đất không khác biệt lớn ( $P = 0,79$ ); vì thế, chỉ cần một đường đồ thị trình bày tổng hợp cho cả 2 dạng địa mạo. Mật độ khối tăng theo độ sâu của đất ( $P < 0,0001$ ) nhưng không thay đổi lớn theo khoảng cách tới bờ biển ( $P = 0,20$ ), sự tương tác giữa khoảng cách và độ sâu cũng không ảnh hưởng lớn ( $P = 0,47$ ). c) Độ sâu của đất tăng theo khoảng cách tới bờ biển tại rừng ngập mặn ven biển (kết quả giải tích hàm:  $P = 0,002$ . 95% CI đối với tốc độ thay đổi = tăng 21 – 65cm cho mỗi đoạn 100 m tính từ đường bờ biển).

tình trạng băng tan tiếp tục diễn biến nhanh hơn)<sup>8,30</sup>, báo trước một tỷ lệ bình quân cho cả thời kỳ là ~1.8–7.9 mm/năm, bất chấp những biến thiên cục bộ và dao động phi tuyến theo thời gian. Dù tỷ lệ này không phải là chưa từng có trong lịch sử, nhưng đến nay vẫn chưa rõ liệu rừng ngập mặn có thể thay đổi kịp theo mực nước biển hay không<sup>14,15</sup>. Những tác động mà con người tạo ra có thể cản trở khả năng phục hồi khi nước biển dâng, do những hoạt động phát triển vùng ven biển (như xây dựng đường sá, cơ sở hạ tầng) làm hạn chế quá trình di cư thực vật về phía đất liền, việc sử dụng đất ở vùng cao (ví dụ như xây đập nước, phá rừng) gây thay đổi lượng trầm tích và lượng nước xả xuống hạ lưu, cũng như sự suy thoái rừng ngập mặn làm giảm năng suất dưới đất<sup>14</sup>. Sự tương hợp về tác động của tình hình sử

dụng đất và biến đổi khí hậu thể hiện sự bất ổn về tương lai cũng như việc quản lý các kho chứa các-bon ven biển trong tương lai.

Tính chất bất ổn sẽ càng cao nếu không cải thiện được việc ước tính trữ lượng các-bon trong rừng ngập mặn và lượng khí phát thải do sử dụng đất. Trong số đó, sự biến thiên về địa lý theo độ sâu của đất là một thông số quan trọng nhưng lại chưa có số liệu ở hầu hết các khu vực<sup>5,21</sup>. Tương tự như vậy, cũng chưa có số liệu quan trắc về những tác động của sử dụng đất, nhất là đối với tầng đất sâu (xem mục 26-28). Bên cạnh đó, rất cần có các con số ước lượng về diện tích tương đối của rừng ngập mặn cửa sông/đồng bằng châu thổ và rừng ngập mặn ven biển/ven rìa, một việc hầu như chưa

được đề cập trong các tài liệu phân tích về diện tích rừng ngập mặn<sup>46</sup>. Do hai hệ thống này dự trữ các-bon trong đất theo những cách thức khác nhau, nên nếu có những số liệu không gian tốt hơn sẽ giúp cải thiện đáng kể việc ước tính chính xác trữ lượng các-bon toàn cầu và lượng phát thải do những biến động gây ra.

Số liệu của chúng tôi cho thấy cần phải bổ sung rừng ngập mặn vào nội dung thảo luận về tầm quan trọng của rừng ở các vùng đất ngập nước nhiệt đới trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Các vùng đất than bùn tại Đông Nam Á hiện đang được coi là một trong những hợp phần quan trọng trong các chiến lược giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu như REDD+ (xem 7,13), mặt khác rừng ngập mặn cũng có nhiều đặc trưng phù hợp với các chiến lược này như: tầng đất giàu hữu cơ dày, trữ lượng các-bon lớn, nạn phá rừng hoặc suy thoái rừng diễn ra trên quy mô lớn dẫn tới nguy cơ phát thải khí nhà kính ở mức độ cao. Do các dịch vụ hệ sinh thái và phân bố địa lý của rừng ngập mặn đã được nghiên cứu kỹ<sup>14</sup>, các chiến lược giảm thiểu tập trung vào rừng ngập mặn có thể sẽ rất hiệu quả trong việc cung cấp các lợi ích phụ cũng như mang đến các cơ hội tiềm năng cho REDD+ tại nhiều quốc gia nhiệt đới. Do việc sử dụng đất tại các vùng rừng ngập mặn không chỉ ảnh hưởng tới trữ lượng các-bon tức thời mà còn ảnh hưởng tới phản ứng của hệ sinh thái đối với nước biển dâng, việc lưu giữ các kho chứa các-bon đòi hỏi phải thực hiện các biện pháp giảm nhẹ tại chỗ (ví dụ, giảm tỷ lệ rừng bị chuyển đổi) cũng như tạo điều kiện để thích ứng với nước biển dâng. Loại thách thức sau khá đặc thù đối với công tác quản lý rừng ven biển, vốn đòi hỏi phải có sự tiếp cận ở quy mô lưu vực, ví dụ như cảnh quan đệm để thúc đẩy quá trình di cư thực vật về phía đất liền ở những nơi có thể và duy trì các dòng trầm tích rất quan trọng từ thượng nguồn, và ngăn chặn sự suy giảm năng suất rừng ngập mặn do ô nhiễm và các tác động từ bên ngoài<sup>14-15</sup>.

## Phương pháp

Chúng tôi chọn mẫu tại 25 điểm nghiên cứu rừng ngập mặn ( $n = 10$  ở cửa sông và  $n = 15$  ở ven biển) trên toàn khu vực Ấn Độ - Thái Bình Dương ( $8^{\circ}\text{S} - 22^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ} - 163^{\circ}\text{E}$ ), sử dụng lát cắt vuông góc từ đường bờ biển vào đất liền. Để đạt được quy mô và tính đại diện lớn nhất, chúng tôi phân loại mẫu dựa trên tình trạng lâm phần, từ kích thước nhỏ ở các khu vực và lớp đất nông (chiều cao đến tán lá  $< 4$  m hoặc đường kính thân cây  $< 10$  cm, độ sâu của đất  $< 0.5$  m) cho tới các cây có kích thước lớn và có lớp đất sâu (chiều cao tán lá  $> 15$  m hoặc đường kính thân cây  $> 20$  cm, độ sâu của đất  $> 3$  m) (Bảng bổ sung S1). Các đặc điểm về kích thước cây và độ sâu của đất như vậy là các yếu tố quyết định đối với việc dự trữ các-bon, thậm chí trên thực tế còn quan trọng hơn cả sự khác biệt về môi trường và vùng địa lý. Các vị trí đầu tiên trên lát cắt nghiên cứu cụ thể được lựa chọn trước một cách ngẫu nhiên từ phân tích ảnh không ảnh, dù những khó khăn trong tiếp cận khu vực nghiên cứu và quyền sở hữu đất. Với 6 ô

mẫu hình tròn cách nhau 25 m được thiết lập dọc theo mỗi lát cắt, chúng tôi đo sinh khối tức thời của các cây đứng và cây nằm (cây chết nằm trên bề mặt rừng) bằng các kỹ thuật sinh trắc cơ bản (khảo sát thân cây, tuyến phân cắt phẳng) sau đó áp dụng các phương trình chung về tương quan sinh trưởng cụ thể cho từng khu vực hay tỷ lệ chuyển đổi C/ Sinh khối cho cả phần sinh khối trên và dưới mặt đất. Chúng tôi đo độ sâu của đất bằng cách đóng một cọc thăm bằng nhôm có chia độ tại 3 vị trí được xác định có hệ thống tại mỗi lô nghiên cứu (giới hạn sâu 3 m). Chúng tôi lấy một mẫu đất tại tâm của mỗi ô nghiên cứu bằng một mũi khoan có đường kính 6,4 cm trên vùng đất than bùn lộ thiên để giảm thiểu khả năng đất bị pha tạp hay nén chặt, sau đó phẫu diện đất (mặt cắt thổ nhưỡng) được phân loại có hệ thống theo các độ sâu thu mẫu khác nhau. Các mẫu phụ cũng được thu từ mỗi tầng đất. Các mẫu phụ được sấy khô đến một khối lượng không đổi và được cân để tìm mật độ khối, sau đó tìm nồng độ các-bon bằng phương pháp đốt (bằng lò nung). Sai số chuẩn của tổng hệ sinh thái được tính toán thông qua việc áp dụng thuật toán lan truyền đối với sai số chuẩn của các bộ phận cấu thành. Với mỗi điểm rừng ngập mặn cửa sông và ven biển, chúng tôi phân tích sự thay đổi trong độ sâu của đất và các bể chứa các-bon theo khoảng cách tính từ bờ biển bằng cách sử dụng phương pháp giải tích hàm (tính toán hồi quy ở cấp độ điểm nghiên cứu đối với tốc độ thay đổi theo khoảng cách, tiếp đó thực hiện test thông số theo 1 mẫu cho tất cả các tỷ lệ thay đổi âm hoặc dương).

Chúng tôi đã sử dụng các mô hình hồi quy ảnh hưởng hỗn hợp, qua đó đánh giá các ảnh hưởng cố định của độ sâu, khoảng cách đến bờ biển và kiểu địa mạo với một ảnh hưởng ngẫu nhiên của địa điểm nghiên cứu để thể hiện sự phụ thuộc nội tại cho từng điểm nghiên cứu. Các khoảng biến thiên trong trữ lượng các-bon toàn cầu và tốc độ phát thải thu được theo thống kê ở phân vị thứ 5 và bình quân và phân vị thứ 95 trong nghiên cứu này (tính đến khả năng mà sinh khối và bể chứa các-bon trong đất trên toàn cầu có khác biệt (cao hoặc thấp hơn) giá trị bình quân mà chúng tôi đưa ra) cùng với việc điều chỉnh mật độ các-bon trong đất dựa theo một tài liệu phân tích gần đây<sup>16</sup> về các-bon toàn cầu, kết hợp với các số liệu mới công bố ước tính từ thấp đến cao về tổng diện tích và tốc độ mất rừng ngập mặn trên thế giới<sup>14,6</sup>. Xem mô tả phương pháp đầy đủ tại phần Thông tin Bổ sung).

## Tài liệu tham khảo

1. Duke, N. C. và ctv. Một thế giới không có rừng ngập mặn? *Science* 317, 4142 (2007).
2. Polidoro, B. A. và ctv. Tồn thất loài: Nguy cơ tuyệt chủng cây rừng ngập mặn và các khu vực địa cầu đáng quan ngại. *PLoS ONE* 5, e10095 (2010).
3. Alongi, D. M. Hiện trạng và tương lai của các khu rừng ngập mặn trên thế giới. *Environ. Conserv.* 29, 331349 (2002).
4. Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hiệp Quốc (FAO). Rừng ngập mặn trên thế giới 19802005 (FAO Forestry Paper 153. FAO, 2007).

5. Bouillon, S., Rivera-Monroy, V. H., Twilley, R. R., Kairo, J. G. & Mangroves. Quản lý các bể các-bon tự nhiên ven biển (biên tập: Laffoley, D. & Grimsditch) (IUCN, 2009).
6. Giri, C. và ctv. Thực trạng và sự phân bố rừng ngập mặn thế giới, sử dụng các dữ liệu vệ tinh quan sát trái đất. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20, 154159 (2011).
7. van der Werf, G. R. và ctv. Khí CO<sub>2</sub> phát thải do mất rừng. *Nature Geosci.* 2, 737738 (2009).
8. Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu. Báo cáo đánh giá số 4 –Biến đổi Khí hậu 2007 (biên tập: Pachauri, R. K. & Reisinger, A.) (IPCC, 2007).
9. Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC). Hướng dẫn Biện pháp Thực hành tốt về sử dụng đất, Thay đổi Mục đích Sử dụng đất và Lâm nghiệp (biên tập: Penman, J. và ctv.) (Viện Chiến lược Môi trường Toàn cầu, 2003).
10. Keith, H., Mackey, B. G. & Lindenmayer, D. B. Đánh giá lại trữ lượng các-bon sinh khối rừng và những bài học từ các khu rừng giàu các-bon nhất thế giới. Kỳ yếu Viện Hàn lâm Khoa học Hoa Kỳ. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, 1163511640 (2009).
11. Page, S. E. và ctv. Lượng các-bon giải phóng do cháy than bùn và cháy rừng ở In-đô-nê-xi-a năm 1997. *Nature* 420, 6165 (2002).
12. Page, S. E., Rieley, J. O. & Banks, C. J. Tầm quan trọng toàn cầu và khu vực của bể chứa các-bon ở vùng đất than bùn nhiệt đới. *Glob. Change Biol.* 17, 798818 (2011).
13. Murdiyarso, D. M., Hergoualch, K. & Verchot, L. V. Cơ hội giảm phát thải khí nhà kính trong đất than bùn nhiệt đới. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 107, 1965519660 (2010).
14. Gilman, E. L., Ellison, J., Duke, N. C. & Field, C. Những mối đe dọa đối với rừng ngập mặn do biến đổi khí hậu và các giải pháp lựa chọn cho việc thích ứng. *Aquat. Bot.* 89, 237250 (2008).
15. Alongi, D. M. Mangrove forests: Khả năng tự phục hồi, phòng chống sóng thần và ứng phó với biến đổi khí hậu toàn cầu. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 76, 113 (2008).
16. Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T. & Marchand, C. Động thái các-bon hữu cơ trong các hệ sinh thái rừng ngập mặn. *Aquat. Bot.* 89, 201219 (2008).
17. Komiyama, A., Ong, J. E. & Pongparn, S. Tương quan sinh trưởng, sinh khối và năng suất của rừng ngập mặn. *Aquat. Bot.* 89, 128137 (2008).
18. Twilley, R. R., Chen, R. H. & Hargis, T. Các bể các-bon trong rừng ngập mặn và những tác động của chúng đối với quỹ các-bon của các hệ sinh thái ven biển vùng nhiệt đới. *Water Air Soil Pollut.* 64, 265288 (1992).
19. Bouillon, S. và ctv. Bể các-bon và sản lượng rừng ngập mặn: Chính lý số liệu ước tính về quỹ các-bon toàn cầu. *Glob. Biogeochem. Cycles* 22, GB2013 (2008).
20. Alongi, D. M. và ctv. Tích lũy trầm tích và dòng chất hữu cơ trong hệ sinh thái rừng ngập mặn có kiểm soát: Ước lượng mức trao đổi giữa đất, biển và khí quyển ở bán đảo Ma-lai-xi-a. *Mar. Geol.* 208, 383402 (2004).
21. Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R. & Lynch, J. C. Hấp thụ các-bon toàn cầu trong đất ngập mặn vùng triều. *Glob. Biogeochem. Cycles* 17, 1111 (2003).
22. Eong, O. J. Bể các-bon và nguồn các-bon rừng ngập mặn. *Chemosphere* 27, 10971107 (1993).
23. Golley, F., Odum, H. T. & Wilson, R. F. Cấu trúc và sự trao đổi chất vào tháng 5 tại một vùng rừng ngập mặn ở Puerto Rico. *Ecology* 43, 919 (1962).
24. Fujimoto, K. và ctv. Trữ lượng các-bon dưới đất tại các khu rừng ngập mặn ở Micronesia. *Ecol. Res.* 14, 409413 (1999).
25. Matsui, N. Trữ lượng các-bon hữu cơ ước tính trong trầm tích và rễ cây rừng ngập mặn dọc kênh Hinchinbrook, Úc. *Mangr. Salt Marsh.* 2, 199204 (1998).
26. Sjöling, S., Mohammed, S. M., Lyimo, T. J. & Kyaruzi, J. J. Đa dạng vi khuẩn đất và các quá trình dinh dưỡng ở rừng ngập mặn: Tác động của nạn phá rừng. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 63, 397406 (2005).
27. Strangmann, A., Bashan, Y. & Giani, L. Methan trong đất ở rừng ngập mặn nguyên sinh bị tàn phá – những hiệu ứng mà nó có thể gây ra đối với cơ sở sản xuất giống cây rừng ngập mặn. *Biol. Fertil. Soils* 44, 511519 (2008).
28. Granek, E. & Ruttenberg, B. I. Những thay đổi trong các quá trình hữu sinh và vô sinh sau khi phát quang rừng ngập mặn. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 80, 555562 (2008).
29. Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H. & Page, S. PEAT-CO<sub>2</sub>: Đánh giá lượng khí CO<sub>2</sub> phát thải trong các vùng đất than bùn cận nước ở Đông Nam Á. *Delft Hydraulics Report Q3943* (2006).
30. Church, J. A. và ctv. Tìm hiểu mực nước biển toàn cầu: Quá khứ, hiện tại và tương lai. *Sustain. Sci.* 3, 922 (2008).

## Lời cảm ơn

Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn tới rất nhiều đối tác quốc tế và các cán bộ thực địa đã trợ giúp hậu cần và thu thập dữ liệu, trong đó có: Phòng Quản lý Tài nguyên Đảo Kosrae; Cục Lâm nghiệp Bang Yap; Quỹ quốc tế Orangutan; Tổng cục Bảo vệ rừng và Bảo tồn Thiên nhiên In-đô-nê-xi-a; Đại học Manado và Đại học Nông nghiệp Bogor, In-đô-nê-xi-a; Cục Lâm nghiệp Băng-la-đét; và KPSKSA (Cilacap, In-đô-nê-xi-a). Chúng tôi cũng xin cảm ơn K.Gerow đã hỗ trợ thống kê số liệu, R.Mackenzie, C.Kryss và J.Bonham đã giúp đỡ hiệu đính số liệu thu từ các điểm nghiên cứu. Đồng thời, chúng tôi xin cảm tạ Cục Lâm nghiệp thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ và Cơ quan Phát triển Quốc tế Úc (AusAID) đã tài trợ chương trình này.

## Vai trò đóng góp của các tác giả

D.C.D. cùng tham gia thiết kế nghiên cứu, thu thập và phân tích số liệu, và đảm trách vai trò chính trong việc viết báo cáo này. J. B. K. định hướng, tham gia thu thập số liệu và viết báo cáo nghiên cứu. D.M cũng đóng góp vào việc định hướng cho đề tài nghiên cứu, tổ chức và thu thập số liệu, tham gia viết báo cáo. S.K tham gia thu thập, phân tích số liệu và viết báo cáo. M.S thu thập số liệu và viết báo cáo. M.K tham gia định hướng nghiên cứu và viết báo cáo.

## Thông tin thêm

Nhóm tác giả không đòi hỏi quyền lợi tài chính đối với tài liệu này. Thông tin bổ sung về công trình nghiên cứu này có thể tìm trên trang web [www.nature.com/naturegeoscience](http://www.nature.com/naturegeoscience). Để có thông tin về giấy phép và tái bản xin vào trang web <http://npg.nature.com/reprintsandpermissions>. Các thư từ và yêu cầu cung cấp tài liệu xin gửi về D.C.D.

## Thông tin bổ sung

### Phương pháp

**Địa điểm lấy mẫu.** Tại mỗi điểm trong 25 điểm nghiên cứu phân bố khắp khu vực Ấn Độ - Thái Bình Dương (8° vĩ Nam - 22° vĩ Bắc, 90°-163° kinh Đông), chúng tôi thực hiện một lát cắt mẫu từ đường bờ biển vào đất liền vuông góc với mép nước. Việc thu mẫu được tiến hành trong 2 năm 2008-2009. Chúng tôi phân loại mẫu dựa trên nhiều tiêu chí về điều kiện làm phần - bao gồm các làm phần có kích thước cây nhỏ và tầng đất nông (chiều cao đến tán lá <4 m hoặc đường kính trung bình thân cây đứng <10 cm, độ dày tầng đất <0,5 m), kích thước lớn, tầng đất sâu (chiều cao tán lá >15 m hoặc đường kính thân cây đứng >20 cm, độ sâu của đất >3 m) (Bảng bổ sung S1). Các đặc điểm có tính cấu trúc như vậy về kích thước cây đứng của rừng và độ sâu của đất là các yếu tố quyết định đối với việc dự trữ các-bon, thậm chí còn quan trọng hơn so với sự khác biệt về môi trường và vùng địa lý. Việc phân loại đảm bảo được tính đại diện của một tập hợp các kiểu rừng trên một phổ rộng về địa lý cũng như các môi trường cửa sông và ven biển (Bảng bổ sung S1, S2).

Những điểm đầu của từng lát cắt được lựa chọn một cách ngẫu nhiên từ phân tích ảnh không thám, mặc dù có những khó khăn về việc tiếp cận và quyền sở hữu đất. Sáu ô mẫu cách nhau 25 m được thiết lập dọc theo mỗi lát cắt và cách đường bờ biển lần lượt là 10, 35, 60, 85, 110 và 135 m. Khoảng cách lát cắt này đảm bảo sự nhất quán trong việc lấy mẫu của cả những ô hẹp và rộng. (Lưu ý rằng các ô tiêu chuẩn tại vùng Sundarban được bố trí khác do yêu cầu phải đảm bảo nhất quán với hồ sơ điều tra rừng của địa phương, trong đó 4 ô phía ngoài cách ô ở giữa là 50 m theo bốn hướng chính, nằm cách dòng nước <150 m. Các điểm nghiên cứu này được loại ra ngoài những phân tích liên quan đến khoảng cách từ mép ô). Rừng ngập mặn cửa sông (n=10) phân bố trên các đồng bằng châu thổ rộng lớn, thường có một đầm phá được bảo vệ; rừng ngập mặn ven biển (n=15) phân bố gần bờ biển, thường là bờ của các đảo có các rạn san hô ngầm. Các khu rừng được thu mẫu có những loài cây ưu thế như Đước (*Rhizophora*), Vẹt (*Bruguiera*) hoặc Bần (*Sonneratia*). Ngoài ra còn có các loài Su (*Xylocarpus*) và Mắm (*Avicennia*) (rừng ngập mặn tại vùng Sundarban có các loài ưu thế như Cui (*Heritiera*) và Giá (*Excoecaria*) (xem Bảng bổ sung S1). Phạm vi nghiên cứu của chúng tôi bao gồm cả các bề mặt chứa các-bon trên và dưới mặt đất với độ sâu tối đa 3 m. Do đó, các kết quả về trữ lượng các-bon sẽ không suy rộng được ra cho các trường hợp có lớp đất hữu cơ sâu trên 3 m.

Tại mỗi ô trong 6 ô tại cùng điểm nghiên cứu, chúng tôi đo tất cả các cây có đường kính thân cây >5 cm trong một phạm vi có bán kính 7 m, ghi nhận loài, tình trạng cây (sống/ chết), và đường kính thân ở vị trí 1,4 m từ mặt đất hoặc

30 cm trên điểm cao nhất của bành vè hoặc rễ khí sinh<sup>31</sup>. Các cây non (đường kính thân cây dưới 5 cm) đều được đo đạc trong bán kính 2 m. Chúng tôi đo đạc cả trữ lượng các cây nằm (cây chết nằm trên bề mặt rừng), bằng phương pháp phân cắt phẳng (*planar intercept*)<sup>32</sup> dọc theo bốn tuyến phụ dài 12 m bắt đầu từ mỗi ô tiêu chuẩn lệch một góc 45° so với tuyến chính. Tầng dưới tán của rừng ngập mặn<sup>33</sup> thường không phát triển và do vậy không được lấy mẫu. Chúng tôi đo độ sâu của đất bằng cách đóng một cọc thăm bằng nhôm có chia độ vào nền đất cho tới khi chạm tới lớp nền đáy (đá/san hô) tại 3 vị trí được xác định ở gần tâm của mỗi ô nghiên cứu (cọc thăm đất dài 3 m, tương ứng với giới hạn suy của công trình nghiên cứu).

Chúng tôi lấy một mẫu đất tại tâm của mỗi ô nghiên cứu bằng một khoan mũi khoan có đường kính 6,4 cm trên nền than bùn lộ thiên, để giảm thiểu khả năng đất bị pha tạp hay nén chặt trong quá trình lấy mẫu. Phẫu diện đất (mặt cắt thổ nhưỡng) được phân loại một cách có hệ thống theo các độ sâu thu mẫu, phù hợp với một số tài liệu đã được xuất bản về phẫu diện đất rừng ngập mặn ở khu vực Ấn Độ-Thái Bình Dương<sup>34</sup>: 0-15, 15-30, 30-50, và 50-100 cm, và một mẫu đất tầng sâu với khoảng cách khác nhau, phụ thuộc vào độ sâu của lớp san hô/đá nền. Các mẫu phụ có thể tích 76,7 cm<sup>3</sup> từ mỗi tầng cũng được thu và sấy khô ngay ở nhiệt độ 60°C đến khối lượng không đổi.

**Phân tích mẫu và số liệu.** Chúng tôi đã tiến hành tính toán sinh khối cây trên mặt đất và dưới mặt đất đối với mỗi lô riêng rẽ được đo, bằng cách sử dụng các phương trình về tương quan sinh trưởng và mật độ rừng cụ thể của từng khu vực<sup>17,35,36</sup>. Số cây nằm cũng được chuyển thành sinh khối thông qua đại lượng tỷ trọng gỗ theo khu vực, phân loại kích cỡ và kiểu phân hủy thông qua việc thu thập số liệu trong quá trình nghiên cứu<sup>32</sup>. Các giá trị sinh khối của cây đứng và cây nằm được tính bằng một hệ số chuyển đổi bảo toàn, theo đó tỷ lệ giữa trữ lượng các-bon đối với sinh khối là 0,464. Để xác định trữ lượng các-bon trong đất, các mẫu đất khô được cân để tính mật độ khối, sau đó nghiền, loại bỏ tạp chất, sàng qua rây có kích thước mắt 2 mm, và phân tích nồng độ các-bon bằng phương pháp đốt. Lượng các-bon vô cơ (các-bon-nát) là không đáng kể trong trầm tích ở các khu rừng ngập mặn khu vực Ấn Độ - Thái Bình Dương và không được tách riêng ra để nghiên cứu. Tuy nhiên phương pháp sử dụng a-xít loãng để lọc các-bon-nát được áp dụng đối với một số mẫu tại các khu vực nghiên cứu nơi có nhiều mảnh vỡ san hô v.v...<sup>37,38</sup>. Chúng tôi cũng tính được ước lượng mật độ khối của đất thu được qua việc sấy khô ở 60°C bằng khoảng 1% kết quả thu được qua sấy khô ở 105°C.



Việc tính mật độ khối và nồng độ các-bon được kết hợp với đo độ sâu đất tại các ô cụ thể để xác định lượng các-bon đất trên mỗi đơn vị diện tích. Trữ lượng các-bon trong hệ sinh thái được tính trên tổng sinh khối từ các bộ phận cả cây, rễ, gỗ và đất. Sai số chuẩn chung được tính trên sai số chuẩn của các bộ phận cấu thành<sup>39</sup>.

Chúng tôi sử dụng phương pháp giải tích hàm (FDA) để phân tích sự thay đổi theo độ sâu của đất và các bể chứa các-bon theo khoảng cách tính từ bờ biển. Trong công trình nghiên cứu này, FDA cũng được dùng để đánh giá tỷ lệ thay đổi theo khoảng cách giữa các điểm bằng phương pháp hồi quy tuyến tính, tiếp đó là thực hiện test thông số đối với mức độ mà ở đó tổng mẫu của các tỷ lệ thay đổi khác 0. Các đợt test ở vùng cửa sông và ven biển được tiến hành riêng rẽ. Chúng tôi phân tích sự biến đổi của sự tập trung và mật độ khối các-bon bằng mô hình tuyến tính ảnh hưởng hỗn hợp (*mixed-effects regression*), trong đó đánh giá ảnh hưởng của độ sâu, khoảng cách đến bờ biển và các kiểu địa mạo (cửa sông và ven biển). Mô hình ảnh hưởng hỗn hợp thể hiện một cách linh hoạt cấu trúc hiệp biến nhờ gộp số liệu (trong trường hợp này là các ô tại các khu vực nghiên cứu) bằng cách kết hợp các ảnh hưởng ngẫu nhiên đối với việc quan sát có hệ số phân loại ở cùng một cấp độ<sup>40</sup>. Như vậy, việc phân tích được tiến hành tại các ô nghiên cứu một cách ngẫu nhiên để phản ánh sự phụ thuộc nội tại ở các điểm nghiên cứu; các thông số được ước lượng bằng phương pháp REML (tính toán khả năng tối đa có hạn chế). Mô hình cũng tính đến các điều kiện về tương tác qua lại, và khi cần thiết, số liệu được lấy lô-ga-rít ( $\log_e$ ) để đáp ứng giả định về biến thiên cố định và tính chuẩn tắc.

**Ước tính số liệu toàn cầu.** Ước lượng trữ lượng các-bon trên toàn cầu và sự phát thải do sử dụng đất tại rừng ngập mặn là một việc hữu ích. Tuy nhiên điều này rất khó do việc thiếu số liệu về trữ lượng các-bon dưới mặt đất (gồm các số liệu tổng hợp về nồng độ, mật độ khối và độ sâu) tại hầu hết các khu vực cũng như các ảnh hưởng do chuyển đổi sử dụng đất đối với các bể chứa các-bon. Số liệu từ công trình nghiên cứu này có thể sử dụng cho các ước lượng trên. Tuy nhiên, dù công trình nghiên cứu này được thực hiện trên diện rộng, nhưng không nên xem số mẫu thu được ở đây có thể đại diện đầy đủ cho về tất cả các loại rừng ngập mặn trên toàn cầu. Chúng tôi đã giải quyết vấn đề này bằng 2 phương pháp: phương pháp hàm truyền bất định và điều chỉnh dựa theo các bộ số liệu toàn cầu khác.

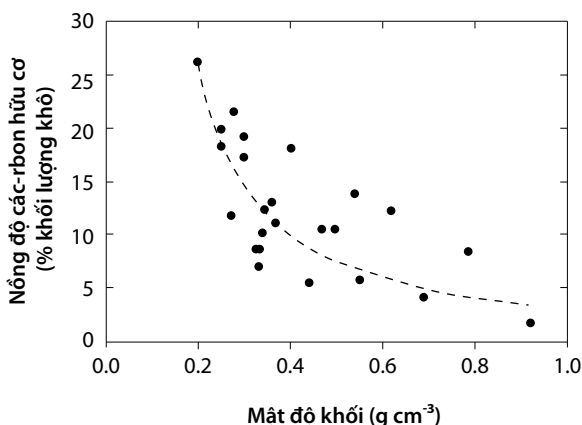
Đối với phương pháp hàm truyền bất định, đầu tiên chúng tôi suy rộng trữ lượng các-bon toàn cầu từ các số liệu ở phân vị thấp (phân vị thứ 5) trong chuỗi phân phối của chúng tôi – ví dụ sinh khối thấp, đất nông (do đó hàm lượng các-bon thấp) – theo đó giả định rằng các cánh rừng ngập mặn trên toàn thế giới đều có kích thước cây nhỏ. Chúng tôi lặp lại các phương pháp tính trên với các số liệu ở phân vị cao (phân vị thứ 95) - ví dụ, sinh khối cao, đất sâu (do đó có trữ lượng các-

bon cao) – theo đó giả định rằng các cánh rừng ngập mặn có kích thước cây lớn. Việc sử dụng phân vị thứ 5 và 95 nhằm tránh các ảnh hưởng tiêu cực từ các giá trị ngoại lệ theo các hướng khác nhau.

Xét riêng ra, cả 2 cách thái cực này đều đem lại các kết quả có độ tin cậy không thực sự cao nhưng kết hợp cả 2 kết quả nhiều khả năng sẽ đưa ra được con số tin cậy về trữ lượng các-bon mỗi héc-ta trên toàn cầu, kể cả khi rừng mẫu của chúng tôi có tính chất khác biệt với quần thể cây rừng ngập mặn toàn cầu. Chúng tôi sử dụng hàm truyền bất định, bằng cách kết hợp sử dụng cả kết quả đã công bố về ước lượng thấp nhất đối với diện tích rừng trên toàn cầu (13,8 triệu héc-ta) và cả ước lượng cao nhất (15,2 triệu héc-ta). Cuối cùng, chúng tôi sử dụng một hệ số điều chỉnh cho mật độ các-bon dựa trên bộ số liệu toàn cầu toàn diện nhất về mật độ các-bon đất ở rừng ngập mặn (% các-bon hữu cơ theo khối lượng). Những số liệu thu được đã cho giá trị trung vị của nồng độ các-bon là 2,2% ở rừng ngập mặn – giá trị này khi kết hợp với quan hệ tỷ lệ nghịch giữa nồng độ các-bon và mật độ khối BD (ví dụ, từ số liệu trong nghiên cứu này để rút ra được mối quan hệ định lượng giữa 2 đại lượng trên,  $[\%OC=3,0443*BD^{-1.313}]$ ,  $R^2=0,62$ , Hình bổ sung S1) có thể tìm ra mật độ đại diện của các-bon trong đất vào khoảng  $0,028 \text{ g} \cdot \text{C} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Kết quả này thấp hơn khoảng 35% so với kết quả chúng tôi thu được ở khu vực Ấn Độ - Thái Bình Dương (bình quân  $0,043 \text{ g} \cdot \text{C} \cdot \text{cm}^{-3}$  cho toàn khu vực). Vì vậy, khi đánh giá khoảng sai số được miêu tả ở trên, chúng tôi nhân giá trị C trong đất với một hệ số chuyển đổi trong khoảng (1-0,35) để thu được một ước lượng đáng tin cậy về trữ lượng các-bon. (Kết quả cuối cùng của việc suy rộng giá trị cho toàn cầu: phân vị thứ 5:  $32,6 \text{ Mg} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-1}$  sinh khối và  $256 \text{ Mg} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-1}$  đất, phân vị thứ 95:  $501 \text{ Mg} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-1}$  sinh khối và  $813 \text{ Mg} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-1}$  đất). Cần lưu ý rằng sự điều chỉnh này chỉ được áp dụng cho việc suy rộng ra toàn cầu mà không áp dụng cho các kết quả ở cấp khu vực như được thể hiện trong các hình 2-4 (chỉ có thể suy ra cho khu vực Ấn Độ-Thái Bình Dương).

Việc ước lượng mức phát thải toàn cầu do thay đổi mục đích sử dụng đất cũng được thực hiện bằng phương pháp lan hàm truyền bất định, áp dụng một số giả thiết đơn giản nhưng đáng tin cậy về tương lai của các bể chứa các-bon gắn với tác động của việc chuyển đổi rừng ngập mặn. Một lần nữa, chúng tôi kết hợp số liệu ước tính về bể chứa các-bon của mình với các kết quả cho toàn cầu đã công bố. Sau đó, để ước tính với kỳ vọng thấp của tác động quy đổi, chúng tôi giả định tỷ lệ hao hụt sinh khối là 50%, hao hụt các-bon trong đất là 25% đối với lớp đất 30 cm trên bề mặt và không có hao hụt nào ở các lớp đất sâu hơn. Để ước tính với kỳ vọng cao của tác động quy đổi, chúng tôi giả định tỷ lệ 100% hao hụt sinh khối, 75% hao hụt các-bon trong đất ở lớp đất 30cm trên bề mặt, và hao hụt 35% từ các lớp đất sâu hơn. Số liệu ước tính ở ở mức kỳ vọng thấp thường do nguyên nhân khai thác quá mức hoặc do biến động thổ nhưỡng ở mức trung bình, trong khi ở mức kỳ vọng cao có

thể là do những hoạt động ở mức độ nghiêm trọng hơn như nuôi tôm - thường dẫn đến hiện tượng phát quang toàn bộ, đào xới hay đóng cọc ở lớp đất từ 50-100 cm trên bề mặt. Nhờ đó, chúng tôi thu được kết quả ước lượng đáng tin cậy là 112-392 Mg C sẽ được giải phóng trên mỗi héc-ta bị ảnh hưởng. Tiếp đó, chúng tôi kết hợp khoảng này với các khoảng giá trị đã công bố về tổng diện tích rừng ngập mặn trên thế giới (13,8-15,2 triệu héc-ta) và tốc độ phá rừng (1-2%/năm), trong đó dùng hàm truyền đổi với các con số ước lượng với kỳ vọng thấp để tìm cực tiểu và kỳ vọng cao để tìm cực đại. Chúng tôi đã sử dụng một chuỗi các giá trị về diện tích rừng ngập mặn bởi hầu hết các nguồn tư liệu gần đây mới chỉ đưa ra được kết quả ước lượng khiến cường cho tổng diện tích, và do các kết quả về tỉ lệ phát thải không chỉ sử dụng số liệu diện tích hiện tại mà còn sử dụng số liệu tổng diện tích thu được từ những thập kỷ trước - trên thực tế các số liệu này đã bị giảm do ảnh hưởng của phá rừng.



**Hình phụ S1. Mối quan hệ giữa nồng độ các-bon hữu cơ và mật độ khối trên đất rừng ngập mặn qua phân tích 25 mẫu lâm phần mẫu ở khu vực Ấn Độ - Thái Bình Dương**

## Tài liệu tham khảo

31. Komiyama, A., Pongparn, S. & Kato, S. Các phương trình sinh trắc học phổ biến trong ước tính sinh khối rừng ngập mặn. *J. Trop. Ecol.* 21, 471-477 (2005).
32. Harmon, M.E. & Sexton, J. Hướng dẫn tính toán lượng mùn gỗ trong các hệ sinh thái rừng. Ấn phẩm số 21, United States Long Term Ecological Research Network Office, Seattle (1996).
33. Snedaker, S.C. & Lahmann, E.J. Sự biến mất của các tầng dưới tán rừng ngập mặn: một kết quả tiến hóa. *J. Trop. Biol.* 4, 311-314 (1988).
34. United States Department of Agriculture (USDA). Khảo sát đất tại đảo Kosrae, Liên bang Micronesia. Soil Conservation Service, Hawaii (1983).
35. Kauffman, J.B. & Cole, T.G. Cấu trúc và thành phần rừng ngập mặn ở Micronesia thích ứng với các trận bão nhiệt đới nghiêm trọng. *Wetlands* 30, 1077-1084 (2010).
36. Cole, T.G., Ewel, K.C. & Devoe, N.N. Cấu trúc cây và rừng ngập mặn ở Micronesia. *For. Ecol. Manage.* 117, 95-109 (1999).
37. Schumacher, B. Phương pháp xác định tổng các-bon hữu cơ (TOC) trong đất và trầm tích. NCEA-C- 1282, EMASC-001, United States Environmental Protection Agency, Las Vegas (2002).
38. Harris, D., Horwath, W.R., van Kessel, C. Tẩy a-xít (thau chua) đất để loại bỏ các-bo-nát trước khi phân tích tổng các-bon hữu cơ hoặc các-bon đồng vị 13. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 1853-1856 (2001).
39. Pearson, T., Walker, S., & Brown, S. Sách thông tin về sử dụng đất, biến động sử dụng đất và các dự án lâm nghiệp. Báo cáo của BioCF và Winrock International. [www.winrock.org/ecosystems/tools.asp?BU=9086](http://www.winrock.org/ecosystems/tools.asp?BU=9086), (2005).
40. Insightful Corporation, Sổ tay người sử dụng S-Plus, [www.insightful.com](http://www.insightful.com) (2001).

**Bảng bổ sung S1. Tính chất chung của các rừng ngập mặn được chọn làm mẫu, phân loại theo kích thước cây<sup>a</sup>**

Điểm nghiên cứu <sup>b</sup>	Kích thước (cây) nhỏ (n=9)					Kích thước (cây) trung bình (n=5)					Kích thước (cây) lớn (n=11)						
	Kiểu địa mạo <sup>c</sup>	Vĩ tuyến, Kinh tuyến (độ)	Diện tích rừng (ha)	Biên độ triều (m) <sup>d</sup>	Kiểu che phủ <sup>e</sup>	Điểm nghiên cứu <sup>b</sup>	Kiểu địa mạo <sup>c</sup>	Vĩ tuyến, Kinh tuyến (độ)	Diện tích rừng (ha)	Biên độ triều (m) <sup>d</sup>	Kiểu che phủ <sup>e</sup>	Điểm nghiên cứu <sup>b</sup>	Kiểu địa mạo <sup>c</sup>	Vĩ tuyến, Kinh tuyến (độ)	Diện tích rừng (ha)	Biên độ triều (m) <sup>d</sup>	Kiểu che phủ <sup>e</sup>
Y1	Ven biển	9.55631 N 138.17981 E	10	1.5	S/R	Y2	Ven biển	9.51450 N 138.14933 E	70	1.5	S/R	K1	Ven biển	5.34919 N 162.96306 E	60	1.7	S
G1	Cửa sông	22.25585 N 89.62956 E	106	-	H/E	S5	Ven biển	1.29617 N 124.50681 E	80	2.5	S/R	K2	Ven biển	5.28219 N 162.96406 E	70	1.7	S/B
J1	Cửa sông	7.71289 S 108.95828 E	500	1.2	S/R	S6	Cửa sông	1.37225 N 124.55069 E	120	2.5	R	K3	Ven biển	5.32633 N 162.94497 E	90	1.7	S/B
J2	Cửa sông	7.72369 S 108.97044 E	2.700	1.2	S/R	G2	Cửa sông	22.31942 N 89.62878 E	106	-	H/E	K4	Ven biển	5.28328 N 162.91050 E	25	1.7	S/R
S1	Ven biển	1.74986 N 124.73622 E	220	2.5	R	B1	Cửa sông	2.73667 S 111.73775 E	500	3.0	R/B	Y3	Ven biển	9.55278 N 138.09983 E	15	1.5	S/B
S2	Ven biển	1.69453 N 124.95869 E	70	2.5	R/X						Y4	Ven biển	9.54253 N 138.09072 E	15	1.5	S/B	
S3	Ven biển	1.73781 N 124.75486 E	150	2.5	R						Y5	Ven biển	9.58842 N 138.12747 E	20	1.5	S/B	
S4	Ven biển	1.56733 N 124.80381 E	35	2.5	S/R						B2	Cửa sông	2.84886 S 111.73872 E	125	3.0	B/R	
P1	Ven biển	7.35211 N 134.53911 E	40	1.9	R						B3	Cửa sông	2.78389 S 111.69878 E	150	3.0	R	
											B4	Cửa sông	2.85594 S 111.73181 E	65	3.0	B/R	
											B5	Cửa sông	2.74128 S 111.71383 E	175	3.0	R	

a Kích thước cây được phân loại như sau: Nhỏ: Đường kính thân bình quân < 10 cm hoặc chiều cao đến tán lá dưới 4 m; Trung bình: Đường kính thân bình quân < 10 – 20 cm hoặc chiều cao đến tán lá từ 4 đến 15 m; Lớn: Đường kính thân trung bình > 20 cm hoặc chiều cao đến tán lá > 15 m

b Điểm nghiên cứu: B, Borneo; G, Đông bằng Ganges-Brahmaputra (vùng Sundarban, Băng-la-đét); J, Java; K, Kosrae; P, Palau; S, Sulawesi; Y, Yap.

c Kiểu địa mạo: Cửa sông; cửa sông hoặc đồng bằng châu thổ; Ven biển; vùng ven biển hoặc rạn san hô ngầm.

d Biên độ triều là các giá trị mức thủy triều của cả khu vực trong năm 2010, được sắp xếp theo thang bậc từ nhỏ đến lớn. Riêng số liệu thu ở các điểm nghiên cứu ở đồng bằng Ganges-Brahmaputra không được đưa vào đây, vì chế độ lũ trên sông (theo mùa) chiếm ưu thế hơn so với biên độ triều đã đo.

e Kiểu che phủ được xác định các chi thực vật ưu thế về diện tích gốc: B, *Bruguira* (Vet); E, *Excoecaria* (Già); H, *Heritiera* (Già); I, *Sonneratia* (Cui); S, *Sonneratia* (Đuối); X, *Xylocarpus* (Su).

**Bảng bổ sung S2. Số liệu về bể chứa các-bon tại mỗi kiểu ô thu mẫu**

Điểm (nghiên cứu) <sup>a</sup>	Kiểu địa mạo	Tổng trữ lượng các-bon trong hệ sinh thái	Tổng trữ lượng các-bon trên mặt đất	Tổng trữ lượng các-bon dưới mặt đất	Các-bon trong cây gỗ (thân, cành, lá)	Các-bon trong cây gỗ (rễ)	Trữ lượng các-bon cây nằm	Trữ lượng các-bon trong đất	Độ sâu đất (cm)	Mật độ khối của các-bon đất (g/cm <sup>3</sup> )	% các-bon hữu cơ trong đất
G1	Cửa sông	547.0	107.4	439.6	103.3	53.6	4.2	386.0	300	0.920	1.69
G2	Cửa sông	584.1	60.0	524.1	56.1	32.3	3.9	491.8	300	0.920	1.74
J1	Cửa sông	437.0	6.5	430.5	2.3	0.5	4.2	430.0	142	0.551	5.71
J2	Cửa sông	736.4	17.1	719.4	12.7	6.2	4.3	713.2	281	0.440	5.54
B1	Cửa sông	1044.2	78.3	965.9	67.1	22.4	11.2	943.5	300	0.326	8.63
B2	Cửa sông	1472.0	181.7	1290.3	145.1	55.8	36.7	1234.5	300	0.336	8.65
B3	Cửa sông	1307.5	196.6	1110.9	178.7	61.9	17.9	1049.0	300	0.339	10.1
B4	Cửa sông	1391.7	103.9	1287.8	84.8	32.8	19.0	1255.0	300	0.271	11.8
B5	Cửa sông	1016.2	154.8	861.5	145.8	47.6	9.0	813.9	300	0.330	7.09
S6	Cửa sông	2202.9	111.0	2091.8	89.1	28.2	21.9	2063.6	300	0.401	18.1
S1	Ven biển	734.0	145.8	588.2	93.2	27.5	52.6	560.7	81	0.785	8.42
S2	Ven biển	415.1	115.0	300.0	29.8	9.8	85.3	290.2	48	0.277	21.5
S3	Ven biển	774.6	68.0	706.6	44.0	10.5	24.0	696.0	122	0.300	19.3
S4	Ven biển	859.3	87.4	772.0	55.4	31.5	32.0	740.4	103	0.541	14.0
S5	Ven biển	716.0	97.7	618.2	56.7	36.9	41.1	581.3	80	0.616	12.2
P1	Ven biển	706.5	118.1	588.4	104.4	67.8	13.8	520.6	117	0.250	18.4
Y1	Ven biển	823.2	140.0	683.2	132.2	80.4	7.8	602.8	144	0.342	12.2
Y2	Ven biển	895.8	205.3	690.5	186.7	107.8	18.6	582.7	124	0.251	20.0
Y3	Ven biển	1345.7	280.5	1065.2	268.2	190.3	12.3	874.9	174	0.298	17.2
Y4	Ven biển	1046.4	246.5	799.9	238.5	168.3	8.0	631.6	144	0.371	11.2
Y5	Ven biển	1775.4	434.8	1340.7	418.5	263.1	16.3	1077.6	223	0.496	10.5
K1	Ven biển	870.6	247.2	623.4	237.9	195.9	14.0	427.5	74	0.359	13.0
K2	Ven biển	1676.0	250.1	1425.9	242.5	203.7	7.6	1222.3	275	0.472	10.6
K3	Ven biển	1172.4	303.1	869.3	248.1	194.0	55.1	675.3	299	0.690	4.23
K4	Ven biển	1032.8	223.8	809.0	193.0	86.7	30.8	722.3	155	0.196	26.2
Bình quân cho khu vực cửa sông		1073.9	101.7	972.2	88.5	34.1	13.2	938.1	282.3	0.483	7.9
Bình quân cho khu vực ven biển		989.6	197.6	792.0	169.9	111.6	28.0	680.4	144.2	0.416	14.6
Bình quân chung cho cả cửa sông và ven biển		1023.3	159.2	864.1	137.4	80.6	22.1	783.5	199.4	0.443	11.9

Các số liệu đều sử dụng chung đơn vị Mg C ha<sup>-1</sup> trừ khi có chú thích khác

a Các điểm nghiên cứu: B, Borneo; G, Ganges-Brahmaputra Delta (Sundarbans, Bangladesh); J, Java; K, Kosrae; P, Palau; S, Sulawesi; Y, Yap.

Bản tiếng Việt dịch từ bài báo: Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. và Kanninen, M. 2011 Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nature Geoscience. Xuất bản online: 3/4/2011. DOI: 10.1038/NGEO1123. Người dịch: Lê Ngọc Dũng, Biên tập: Phạm Quang Hoa, Đọc duyệt: Nguyen Song Ha và Nguyen Duc Tu.



INTERNATIONAL PROGRAMS  
US Forest Service, Department of Agriculture



Australian Government  
AusAID

[www.cifor.org](http://www.cifor.org)

[www.ForestsClimateChange.org](http://www.ForestsClimateChange.org)



#### Trung tâm Nghiên cứu Lâm nghiệp Quốc tế

CIFOR thúc đẩy sự phồn vinh cho nhân loại, bảo tồn môi trường và bình đẳng thông qua việc triển khai các hoạt động nghiên cứu nhằm cung cấp thông tin về chính sách và các phương thức hoạt động ảnh hưởng đến rừng ở các nước đang phát triển. CIFOR là một trong 15 trung tâm trực thuộc Nhóm Tư vấn Nghiên cứu Nông nghiệp Quốc tế (CGIAR). CIFOR có trụ sở đóng tại Bogor (Indonesia) và các văn phòng tại châu Á, châu Phi và Nam Mỹ.

