

NGHIÊN CỨU TỔNG SINH KHỐI RỄ CẨM SẢN SINH HÀNG NĂM CHO RỪNG TỰ NHIÊN LÁ RỘNG THƯỜNG XANH TẠI KHU BẢO TỒN THIÊN NHIÊN COPIA

Trần Văn Đô¹, Nguyễn Toàn Thắng¹, Đặng Văn Thuyết¹,
Trần Quang Trung², Trần Hoàng Quý¹, Nguyễn Thị Thu Phương¹, Bùi Hữu Thường³

¹Viện Nghiên cứu Lâm sinh

²Trung tâm Khoa học Lâm nghiệp Tây Bắc

³Viện Nghiên cứu Công nghiệp rừng

TÓM TẮT

Từ khóa: Cân bằng sinh khối, rễ cám, rừng lá rộng thường xanh, sinh khối sản sinh

Rễ cám ($\phi \leq 2\text{mm}$) đóng vai trò quan trọng đối với cây, đảm nhiệm chức năng hút nước và chất dinh dưỡng. Rễ cám cũng đóng vai trò quan trọng đối với chu trình các bon trong hệ sinh thái rừng, đặc biệt đối với quá trình hoàn trả lại chất dinh dưỡng cho đất. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu đã xác định được tổng sinh khối rễ cám sản sinh cho rừng nguyên sinh và rừng phục hồi 34 năm sau canh tác nương rẫy tại khu bảo tồn thiên nhiên Cobia, Thuận Châu - Sơn La. Kết quả chỉ ra rằng, có 65% rễ cám phân bố ở tầng đất mặt (0 - 20cm) trong rừng nguyên sinh và 76,6% trong rừng phục hồi. Tổng lượng rễ cám sản sinh ra trong 1 năm đạt 3,7 tấn/ha đối với rừng nguyên sinh và 1,3 tấn/ha đối với rừng phục hồi. Lượng rễ cám chết đi đạt 0,26 tấn/ha cho rừng nguyên sinh và 0,12 tấn/ha cho rừng phục hồi. Lượng rễ cám chết đi bị phân hủy hoàn toàn đạt 0,11 tấn/ha cho rừng nguyên sinh và 0,04 tấn/ha cho rừng phục hồi. Tổng lượng sinh khối rễ cám sản sinh ra cho rừng lá rộng thường xanh tại nghiên cứu này thấp hơn rất nhiều so với các nghiên cứu khác trên thế giới.

Fine root production estimation for natural evergreen broadleaved forests in Cobia Natural Reserve, Vietnam

Keywords: Evergreen broadleaved forest, fineroot, mass-balanced model, production

Fine roots ($\phi \leq 2\text{mm}$) function as absorbing water and nutrients to sustain tree's life and play an important role in carbon cycle and carbon deposit to the soil in forest ecosystem. In this study, fine root production, mortality, and decomposition were estimated for old-growth forest and secondary forest recovered after 34 years shifting cultivation in Northwestern, Vietnam. The results indicated that there was 65% and 76.6% fine roots distributing in 0-20 cm soil surface in old-growth forest and secondary forest, respectively. Annual fine root production achieved 3.7 tons/ha in old-growth forest and 1.3 tons/ha in secondary forest, respectively. Meanwhile, annual fine root mortality was 0.26 tons/ha and 0.12 tons/ha and annual fine root decomposition was 0.11 ton/ha and 0.04 ton/ha for old-growth forest and secondary forest, respectively. Fine root production in evergreen broadleaved forest in northwest, Vietnam in this study was much lower than that in other forests around the world.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trước những năm 1990s, các nhà sinh thái học (Vogt *et al.*, 1996) đều phân loại rễ có đường kính (ϕ) ≤ 5 mm là rễ cám (fine root). Tuy nhiên, khoảng 10 năm trở lại đây chỉ những rễ có $\phi \leq 2$ mm được phân loại là rễ cám vì chúng có chức năng hút nước và chất dinh dưỡng nuôi cây (Osawa và Aizawa, 2012). Rễ cám luôn đồng thời sinh ra, chết đi và phân hủy trong cùng thời điểm. Phần lớn rễ cám có vòng đời rất ngắn từ vài tuần đến vài tháng tuổi (Vogt *et al.*, 1996). Các nghiên cứu về tổng sinh khối quang hợp (Net Primary Production/NPP) trong hệ sinh thái rừng cũng cho thấy, rễ cám trong hệ sinh thái rừng nhiệt đới có thể đóng góp tới 50% NPP hàng năm (Jackson *et al.*, 1997). Từ thực tế đó để hiểu biết được chu trình các bon và lượng các bon/dinh dưỡng trả lại cho đất trong hệ sinh thái rừng thì việc xác định NPP hàng năm của rễ cám là rất cần thiết. Đây cũng là cơ sở chính để xác định được tiềm năng tích lũy các bon hàng năm (Net Ecosystem Production/NEP) của các hệ sinh thái rừng. Đến nay có khá nhiều phương pháp xác định NPP rễ cám như: khoan đất (Persson, 1980; Ostonen *et al.*, 2005), ống sinh trưởng/ingrowth core (Finér *et al.*, 1997; Ostonen *et al.*, 2005), ống quan sát rễ/minirhizotron (Hendrick và Pregitzer, 1993) và cân bằng các bon (Ågren *et al.*, 1980). Mỗi phương pháp có những ưu, nhược điểm, yêu cầu về trang thiết bị dẫn đến độ chính xác khác nhau. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này phương pháp khoan đất được áp dụng nhằm xác định sinh khối rễ cám sản sinh ra cho hai đối tượng là rừng nguyên sinh và rừng thứ sinh phục hồi sau canh tác nương rẫy tại khu bảo tồn thiên nhiên Cópia, Thuận Châu - Sơn La.

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 106-NN.06-2013.01.

II. ĐỊA ĐIỂM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện tại khu bảo tồn thiên nhiên Cópia, Thuận Châu - Sơn La (21°23'N-103°38'E). Đối tượng nghiên cứu là: (1) Rừng nguyên sinh, được xác định là rừng chưa có sự tác động đáng kể nào của con người như chặt phá, khai thác và (2) Rừng thứ sinh phục hồi khoảng 34 năm sau khai thác nương rẫy. Tuổi của rừng thứ sinh được xác định bằng phương pháp khoan tăng trưởng và đếm vòng năm (Tran *et al.*, 2010, 2011). Khu vực nghiên cứu có tổng lượng mưa hàng năm là 1.227mm, chủ yếu tập trung vào mùa hè từ tháng 5 đến tháng 7. Nhiệt độ trung bình vào mùa hè từ 21 đến 23°C và mùa đông từ 12 đến 16°C. Độ ẩm không khí trung bình 80%.

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

- *Xác định một số đặc điểm cấu trúc rừng:* Tại mỗi đối tượng rừng, tiến hành lập 1 ô tiêu chuẩn điển hình có kích thước 30m \times 30m (900m²). Tiến hành đo đếm $D_{1.3}$ của tất cả các cây có $D_{1.3} \geq 5$ cm và xác định tên loài.
- *Xác định phân bố rễ cám trong rừng:* Dùng ống thép hình trụ có đường kính 36cm đóng xuống đất tới các độ sâu khác nhau, thu đất, rửa sạch để xác định trọng lượng rễ cám sống ở các cấp độ sâu.
- *Xác định sinh khối rễ cám sản sinh bằng phương pháp khoan đất:* Dùng ống thép có đường kính 34mm đóng xuống đất tới độ sâu 21cm để thu mẫu đất. Vị trí đóng được xác định hệ thống trên 2 đường chéo có khoảng cách 1m trong ÔTC 900m². Đất được thu tại 4 thời điểm khác nhau; tháng 3, 7, 12 năm 2014 và tháng 4 năm 2015. Tại mỗi thời điểm 30 mẫu đất được lấy cho mỗi ÔTC. Sau khi đóng xuống đất đến độ sâu 21cm, tiến hành rút ống lên, lấy đất ra và cho vào từng túi nilon riêng biệt. Đất được rửa bằng nước, sau đó lọc qua sàng có kích thước lỗ 0,1mm để thu toàn bộ rễ

có trong đất. Rễ thu được sẽ được phân thành rễ chết và rễ sống. Rễ chết thường là những rễ có màu đen, dễ đứt gãy. Trong khi đó rễ sống là những rễ có màu sáng, dai, khó đứt gãy. Sau khi phân loại, rễ được hong khô ngoài không khí rồi sấy ở nhiệt độ 80°C cho tới trọng lượng không đổi, cân để xác định sinh khối rễ chết và sống cho mỗi ống khoan đất.

• *Xác định phân hủy rễ bằng phương pháp túi phân hủy:* Túi phân hủy được dùng bằng loại vải đặc biệt (root-impermeable water-permeable sheet/RIWP, Toyobo Co., Osaka, Japan) có kích thước lỗ nhỏ (6µm). Với kích thước này, cho phép nước, đất, vi sinh vật đất, nấm xuyên qua nhưng không cho rễ cắm xuyên qua. Túi có kích thước 10cm × 10cm, cho khoảng 1,2 - 1,7g rễ cắm khô vào trong và gắn túi lại bằng nhiệt ở khoảng 90°C. Túi rễ được chôn vào tháng 3 năm 2014, số lượng túi rễ được chôn là 40 túi, chia làm 8 điểm, mỗi điểm chôn 5 túi, chôn ở độ sâu 20cm và được thu vào tháng 7, 12 năm 2014 và tháng 4 năm 2015. Tại mỗi lần, tiến hành thu 5 - 7 túi để xác định tỷ lệ phân hủy cho từng giai đoạn tương ứng. Trước khi chôn các túi rễ được ngâm trong nước 24 giờ nhằm đảm bảo độ ẩm của rễ trong túi như với độ ẩm của rễ ngoài hiện trường.

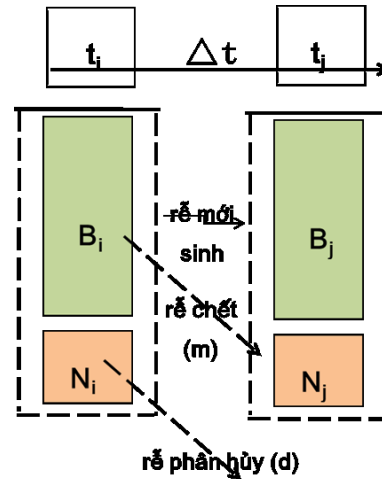
2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Sau khi thu, rễ còn lại trong túi được rửa sạch, sấy khô để xác định tỷ lệ phân hủy rễ chết (γ) cho từng giai đoạn tương ứng theo công thức (1):

$$\gamma_{ij} = (\text{sinh khối ban đầu} - \text{sinh khối còn lại}) / \text{sinh khối ban đầu} \quad (1)$$

Xác định tổng sinh khối sản sinh, chết đi và phân hủy

Phương pháp của Osawa và Aizawa (2012) được áp dụng dựa trên nguyên lý về cân bằng sinh khối theo biểu đồ 1. Biểu đồ 1 thể hiện rễ cắm sinh ra, chết đi, phân hủy liên tục và đồng thời.



Biểu đồ 1. Diễn biến rễ cắm trong đất.

Công thức xác định tổng sinh khối rễ cắm sản sinh (g), rễ cắm chết đi (m) và rễ cắm phân hủy (d) như sau:

$$g = (B_j - B_i) + (N_j - N_i) + d \quad (2)$$

$$d = -(N_j - N_i) - [(N_j - N_i) / \gamma + N_i] * \ln(1 - \gamma_{ij}) \quad (3)$$

$$m = (N_j - N_i) + d \quad (4)$$

Trong đó: Bi và Bj là rễ cắm sống trong một đơn vị thể tích đất tại thời điểm ti và tj (tj > ti), Ni và Nj là rễ cắm chết trong cùng một đơn vị thể tích đất tại thời điểm ti và tj. γij là tỷ lệ phân hủy rễ chết trong thời gian Δt. Dùng ống thép như đã trình bày ở trên để xác định các giá trị Bi, Bj, Ni và Nj. Và dùng túi phân hủy để xác định γij.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Cấu trúc rừng điều tra

Kết quả bảng 1 cho thấy tại đối tượng rừng nguyên sinh có tổng số 88 cây thuộc 40 loài được ghi nhận trong ÔTC 900m². Trong khi đó có 96 cây thuộc 28 loài được xác định trong ÔTC trên đối tượng rừng phục hồi (Bảng 1). Đường kính bình quân có sự khác nhau rõ rệt giữa rừng nguyên sinh (D_{1.3} = 15,5cm) và rừng phục hồi (D_{1.3} = 13,0cm). Cây lớn nhất ghi nhận được trong rừng nguyên sinh có D_{1.3} = 52,5cm

trong khi đó cây lớn nhất ở rừng phục hồi chỉ có $D_{1.3} = 30,9\text{cm}$. Từ sự khác nhau rõ rệt về $D_{1.3}$ bình quân dẫn đến sự khác nhau rõ rệt về tổng tiết diện ngang.

Bảng 1. Đặc điểm chung cấu trúc rừng điều tra

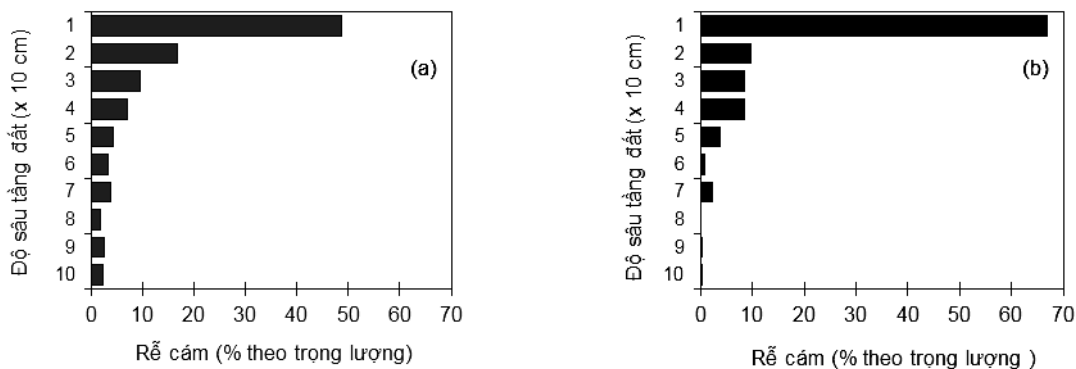
Chỉ số điều tra	Rừng nguyên sinh	Rừng phục hồi
Mật độ (cây/900 m ²)	88 ± 5	96 ± 6
$D_{1.3}$ bình quân (cm)	15,5 ± 1,3 ^a	13,0 ± 0,7 ^b
$D_{1.3}$ lớn nhất (cm)	52,5	30,9
Tiết diện ngang (m ² 900m ⁻²)	2,64 ± 0,5 ^a	1,63 ± 0,3 ^b
Số loài (900m ⁻²)	40	28
Tổng sinh khối rễ cám sản sinh (tấn ha ⁻¹ năm ⁻¹)	3,7	1,3

^{a, b} các chữ khác nhau trong cùng hàng chỉ sự khác nhau của giá trị trung bình theo so sánh t-test.

3.2. Phân bố rễ cám

Phần lớn rễ cám có phân bố ở tầng đất mặt, là tầng có hàm lượng mùn và dinh dưỡng cao trong rừng. Trong 0 - 20cm tầng đất mặt có 65% rễ cám phân bố tại rừng nguyên sinh và 76,6% phân bố tại rừng phục hồi (Biểu đồ 2). Sự khác biệt đáng kể của rễ cám phân bố ở tầng đất mặt giữa rừng nguyên sinh và rừng thứ sinh là do hàm lượng mùn và dinh dưỡng của đất ở 2 đối tượng rừng này khác nhau. Rừng nguyên sinh có quá trình phát triển lâu dài, các tầng đất sâu vẫn có hàm lượng dinh dưỡng và mùn cao là nguyên nhân dẫn đến nhiều rễ cám phân bố ở độ sâu hơn 20cm. Trong khi đó tại rừng phục hồi, trải qua quá trình canh tác nương rẫy dẫn đến quá trình xói mòn, rửa trôi làm cho hàm lượng dinh dưỡng đất thấp do đó rễ cám tập trung nhiều vào tầng mặt để hút chất dinh

dưỡng và nước nuôi cây. Đây là tầng đất với hàm lượng mùn có được nhờ quá trình phục hồi của tầng cây cao. Trong khi đó thời gian phục hồi khoảng 30 năm là quá ngắn cho hệ sinh thái phục hồi lại dinh dưỡng đất ở các tầng sâu hơn, vì thế hàm lượng dinh dưỡng của nó là rất thấp so với cùng độ sâu ở rừng nguyên sinh (Tran *et al.*, 2010, 2011). Kết quả này cho thấy ở bất kỳ đối tượng nghiên cứu nào cũng có tới hơn 65% rễ cám phân bố trên lớp đất mặt. Do vậy tùy điều kiện cho phép, trong nghiên cứu về rễ cám có thể tiến hành lấy đất tới các độ sâu khác nhau. Nếu lấy càng sâu, việc rửa đất và phân loại rễ càng đòi hỏi chi phí cao. Từ thực tế đó hầu hết các nghiên cứu trên thế giới về sinh khối rễ cám đều được thực hiện ở độ sâu 20cm (Tran *et al.*, 2015; Osawa và Aizawa 2012; Vogt *et al.*, 1996).



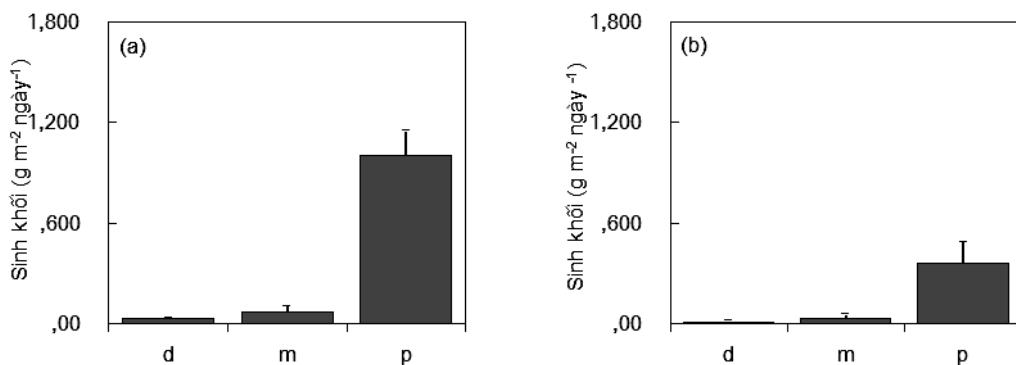
Biểu đồ 2. Phân bố rễ cám theo chiều thẳng đứng

Ghi chú: Rừng nguyên sinh (a) và rừng phục hồi (b).

3.3. Sinh khối rễ cám sản sinh, chết đi và phân hủy

Tại rừng nguyên sinh, sinh khối rễ cám sản sinh ra bình quân cho 1 năm đạt 1 g/m²/ngày, sinh khối rễ cám chết đi đạt 0,07 g/m²/ngày và sinh khối rễ chết bị phân hủy hoàn toàn đạt 0,03 g/m²/ngày (Biểu đồ 3a). Trong khi đó các giá trị tại rừng phục hồi khá thấp, sinh khối rễ cám sản sinh đạt 0,36 g/m²/ngày, sinh khối rễ cám chết đi đạt 0,03 g/m²/ngày, và sinh khối rễ chết bị phân hủy hoàn toàn đạt 0,01 g/m²/ngày (Biểu đồ 3b). Kết quả bảng 1 cũng cho thấy mặc dù rừng nguyên sinh có mật độ cây thấp hơn nhưng sinh khối rễ sản sinh ra lớn gấp 3 lần của rừng phục hồi. Điều này được giải thích do có sự khác nhau của độ phì đất và độ ẩm đất giữa rừng nguyên

sinh và thứ sinh. Những kết quả tương tự cũng đã được kết luận cho các đối tượng rừng khác nhau trên thế giới (Tran *et al.*, 2015; Osawa và Aizawa 2012). Nhìn chung, rễ cám sinh trưởng và phát triển mạnh trên đất có hàm lượng dinh dưỡng và độ ẩm thích hợp để tối đa hóa chức năng hút dinh dưỡng và nước cho duy trì sự sống và phát triển của cây. Đồng thời với sự phát triển mạnh của nó là sự chết đi và phân hủy nhanh chóng nhằm trả lại dinh dưỡng cho đất. Ngược lại, trong rừng phục hồi, do dinh dưỡng và độ ẩm đất thấp, chỉ cần với số lượng rễ nhỏ chúng vẫn có thể duy trì sự sống cho cây từ việc hút lượng dinh dưỡng nghèo nàn trong đất. Do đó lượng rễ chết đi và bị phân hủy cũng ít hơn rất nhiều so với rừng nguyên sinh.



Biểu đồ 3. Sinh khối rễ cám sản sinh (p), chết đi (m) và phân hủy (d) tại rừng nguyên sinh (a) và rừng thứ sinh (b).

3.4. So sánh tổng sinh khối rễ cám sản sinh giữa các trạng thái rừng

Từ kết quả bảng 2 cho thấy có sự biến động rất lớn giữa sinh khối rễ cám sản sinh ở các loại rừng. Rừng rụng lá tại Mỹ có sinh khối rễ cám sản sinh ra lớn nhất đạt 22,6 tấn/ha/năm, tiếp đến là rừng nhiệt đới tại Costa Rica đạt 13 tấn/ha/năm, rừng trồng 80 tuổi loài *Chamaecyparis obtusa* đạt 11,8 tấn/ha/năm, rừng nguyên sinh tại Amazon đạt 7,6 tấn/ha/năm, rừng hỗn giao cây lá rộng tại Canada đạt 6,9 tấn/ha/năm. Các đối tượng rừng khác đạt từ 2,2 đến 5 tấn/ha/năm. Như vậy rừng nguyên sinh lá rộng thường xanh tại

Tây Bắc đạt ở mức thấp (3,7 tấn/ha/năm) so với các rừng khác trên thế giới. Trong khi đó rừng phục hồi sau canh tác nương rẫy 34 năm đạt ở mức rất thấp chỉ 1,3 tấn/ha/năm.

Ngoài ra, sinh khối rễ cám sản sinh phụ thuộc vào đối tượng rừng, khu vực nghiên cứu, tuổi rừng, điều kiện khí hậu, thổ nhưỡng. Như vậy, những nghiên cứu về sinh khối rễ cám sản sinh ra nên được thực hiện cho từng đối tượng rừng, trên các vùng khí hậu thổ nhưỡng khác nhau. Do đó thì hiểu biết về sinh khối rễ cám sản sinh ra, vai trò của rễ cám đối với hệ sinh thái, cũng như chu trình các bon trong hệ sinh thái rừng mới được đầy đủ và hoàn thiện.

Bảng 2. Tổng sinh khối rễ cám sản sinh dưới đất rừng Copia so sánh với các rừng khác trên thế giới

Đơn vị: tấn/ha/năm

Vị trí	Đối tượng rừng	Tổng sinh khối rễ cám sản sinh	Nguồn tham khảo
Tây Bắc, Việt Nam (21°23'N-103°38'E)	Rừng nguyên sinh	3,7	<i>Kết quả nghiên cứu này</i>
	Rừng phục hồi 34 tuổi	1,3	
Tsukuba, Nhật Bản (36°00'N, 104°07'E)	Rừng trồng dẻ (<i>Quercus serrata</i>)	2,2	Tran <i>et al.</i> , 2015
Ontario, Canada (49°27' N, 89°54' W)	Rừng hỗn giao cây lá rộng	6,9	Yuan and Chen 2013
Indiana, Mỹ	Rừng rụng lá	22,6	Idol <i>et al.</i> , 2000
Thuringia, Đức	Rừng ôn đới lá rộng	5,0	Meinen <i>et al.</i> , 2009
Ohtsu, Nhật Bản (34°58'N, 135°56'E)	Rừng trồng 80 tuổi (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	11,8	Osawa and Aizawa 2012
Fujia, Trung Quốc (26°11'N, 117°26'E)	Rừng cận nhiệt đới	4,3	Yang <i>et al.</i> , 2007
Vùng Atlantic, Costa Rica (10°26'N, 83°59'W)	Rừng nhiệt đới	13,0	Valverde-Barrantes <i>et al.</i> , 2007
Rừng Amazon	Rừng nguyên sinh nhiệt đới	7,6	Aragão <i>et al.</i> , 2009

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ågren G I, Axelsson B, Flower-Ellis JGK, Linder S, Persson H, Staaf H, Troeng E, 1980. Annual carbon budget for a young Scots pine. In Structure and Function of Northern Coniferous Forests - An Ecosystem Study. Ed. T Persson. Ecol. Bull. (Stockholm) 32. Pp 307-313.
- Aragão LEOC, Malhi Y, Metcalfe DB, Silva-Espejo JE, *et al.*. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. Biogeosciences 6:2759-2778.
- Finér L, Messier C, De Grandpré L, 1997. Fine-root dynamics in mixed boreal conifer- broad-leafed forest stands at different successional stages after fire. Can J For Res 27:302- 314.
- Idol TW, Pope PE, Jr FP, 2000. Fine root dynamics across a chronosequence of upland temperate deciduous forests. Forest Ecology Management 127:153-167.
- Jackson RB, Money HA, Schulzer ED, 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. Proceedings of National Academy of Sciences, USA 94: 736:7366.
- Meinen C, Herte D, Leuschner C, 2009. Root growth and recovery in temperate broad-leaved forest stands differing in tree species diversity. Ecosystems 12:1103-116.
- Osawa A, Aizawa R, 2012. A new approach to estimate fine root production, mortality, and decomposition using litter bag experiments and soil core techniques. Plant and Soil 355: 167-181.
- Ostonen I, Lohmus K, Pajuste K, 2005. Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middleaged Norway spruce forest: Comparison of soil core and ingrowth core methods. Forest Ecology Management 212:264-277.
- Persson H, 1980. Spatial distribution of fine-root growth, mortality and decomposition in a young scots pine stand in central Sweden. Oikos 34:77-87.
- Tran Van Do, Akira Osawa, Nguyen Toan Thang, 2010. Recovery process of a mountain forest after shifting cultivation in Northwestern Vietnam. Forest Ecology and Management 259:1650-1659.

11. Tran Van Do, Akira Osawa, Nguyen Toan Thang, Nguyen Ba Van, Bui Thanh Hang, Cam Quoc Khach, Le Thi Thao, Diep Xuan Tuan, 2011. Population changes of early successional forest species after shifting cultivation in Northwestern Vietnam. *New Forests* 41:247-262.
12. Tran Van Do, Tamotsu Sato, Osamu Kozan, 2015. A new approach for estimating fine root production in forests: A combination of ingrowth core and scanner. *Tree: Structure and Functions*, in Press.
13. Valverde-Barrantes OJ, Raich JW, Russel AE, 2007. Fine-root mass, growth and nitrogen content for six tropical tree species. *Plant and Soil* 290:357-370.
14. Vogt KA, Vogt DJ, Palmiotto PA, Boon P, O' Hara J, Asbjornsen H, 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* 187:159-219.
15. Yang YS, Chen GS, Guo JF, Xie JS, Wang XG, 2007. Soil respiration and carbon balance in subtropical native forest and two managed plantations. *Plant Ecology* 193:71-84.
16. Yuan ZY, Chen YH, 2013. Simplifying the decision matrix for estimating fine root production by the sequential soil coring approach. *Acta Oecologia* 48:54-61.

Người thẩm định: PGS.TS. Nguyễn Huy Sơn