MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM QUANG HỢP CỦA CÂY ĐƯỚC ĐÔI (*Rhizophora apiculata* Blume) TRONG RỪNG NGẬP MẶN CẦN GIỜ, THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

ĐỖ PHONG LƯU [(1)], ZHIRENKO NIKOLAY GEORGIEVICH [(2)], NGUYỄN THÁI SƠN [(3)], NGUYỄN TRUNG ĐỨC [(1)], HUỲNH ĐỨC HOÀN [(4)], NGUYỄN VĂN THỊNH [(1)]

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng ngập mặn (RNM) phân bố ở 123 quốc gia và vùng lãnh thổ, bao phủ khoảng 152000 km^2, chiếm 0,5% diện tích vùng ven biển toàn cầu [1]. Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng, RNM có thể lưu trữ tới 1083±378 MgC/ha [2], lớn gấp 3 đến 5 lần so với rừng trên cạn [3]. Tuy nhiên, các hoạt động dân sinh đang làm cho hệ thống khí hậu toàn cầu ấm lên, gây gia tăng sự biến đổi nhiệt độ và nồng độ CO_2 trong không khí. Sự thay đổi các yếu tố môi trường này là một trong những nguyên nhân trực tiếp tác động đến quá trình phát triển của RNM [4].

Sự phụ thuộc của tốc độ đồng hóa CO_2 ròng qua lá của thực vật trên cạn A_n (μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) vào các thông số môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ CO_2 trong không khí...) là một trong những thành phần quan trọng nhất thể hiện phản hồi của thực vật và yếu tố môi trường [5]. Trong khi các nghiên cứu về phản ứng quang hợp với nhiệt độ của các loài cây ôn đới tương đối phổ biến thì đối với các loài cây nhiệt đới và các hệ sinh thái RNM vẫn chưa được quan tâm đúng mức. Tuy nhiên cũng đã có một số mô hình toán học mô phỏng và thực nghiệm liên quan đến các yếu tố môi trường khác nhau với quá trình sinh lý ở thực vật ngập mặn. Cụ thể là sự thoát hơi nước, sự dẫn truyền của khí khổng, quá trình quang hợp hoặc hô hấp [6, 7].

Với diện tích 32466 ha, trong đó trên 17000 ha diện tích Đước đôi (*Rhizophora apiculata* Blume) [8], RNM Cần Giờ (TP. Hồ Chí Minh) có vai trò quan trọng duy trì cân bằng sinh thái và cải thiện môi trường, thích ứng với biến đổi khí hậu (BĐKH). Tuy đã có một số nghiên cứu đánh giá năng lực hấp thụ CO_2 và trữ lượng các bon của cây Đước đôi tại hệ sinh thái RNM Cần Giờ [9, 10] nhưng hầu hết các nghiên cứu đều chưa đánh giá được ảnh hưởng của quá trình nóng lên toàn cầu đến năng lực tích luỹ các bon của đối tượng thực vật này để dự đoán phản hồi của quần thể thực vật trong bối cảnh BĐKH.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về năng suất quang hợp ở loài Đước đôi phân bố trong vùng lõi của RNM Cần Giờ thông qua các phân tích dữ liệu thu được từ các phép đo quang hợp ban ngày nhằm ước lượng sự thay đổi tốc độ quang hợp của Đước đôi theo sự biến đổi nhiệt độ và nồng độ CO_2.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

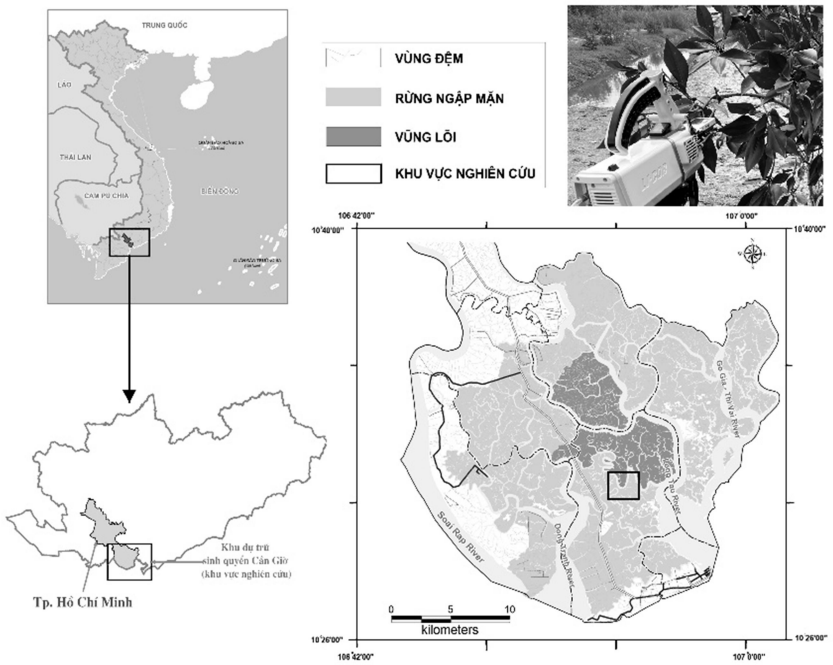
2.1. Đối tượng nghiên cứu

RNM Cần Giờ, được UNESCO công nhận là khu dự trữ sinh quyển đầu tiên ở Việt Nam vào năm 2000 [11], nằm trong quần thể bãi triều cửa sông, nơi sông Vàm Cỏ, sông Sài Gòn và sông Đồng Nai đổ ra Biển Đông (hình 1). Khu vực này bị ảnh hưởng bởi chế độ bán nhật triều không đều với biên độ trung bình 2 m, đạt cực đại

đến 4 m vào mùa xuân. Khí hậu có đặc trưng là chế độ gió mùa, với mùa khô kéo dài từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau và mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11. Lượng mưa trung bình năm là 1816 mm với phần lớn tập trung vào mùa mưa và có tới 154 ngày mưa trong năm. Nhiệt độ trung bình năm 27,4°C, cao nhất (37,6°C) vào tháng 10 và thấp nhất (21,7°C) vào tháng 2. Độ ẩm trung bình năm 86%, song thường dao động từ 80,8% đến 91,4% [11].

Thực vật được dùng làm đối tượng nghiên cứu là cây trưởng thành có nguồn gốc tự nhiên của loài Đước đôi (*Rhizophora apiculata* Blume), họ Rhizophoraceae. Chiều cao trung bình của cây là 5,0±0,5 m, đường kính trung bình ở độ cao 1,3 m là 11,3±0,5 cm.

01 ô tiêu chuẩn kích thước 20 x 20 m đã được thiết lập để tiến hành nghiên cứu. Vị trí khu vực nghiên cứu được chỉ ra tại hình 1.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phép đo trao đổi khí

Trong nghiên cứu này, năng suất đồng hóa CO_2 ròng qua lá của cây Đước đôi được đo bằng Hệ thống quang hợp di động LI-6800 (LI-6800, Li-Cor, Lincoln, NE, Hoa Kỳ). Ngoài hệ thống này, một nguồn sáng nhân tạo đã được sử dụng trong quá trình nghiên cứu (LI-6800-02, Li-Cor, Lincoln, NE, Hoa Kỳ). Độ chính xác của các phép đo nồng độ CO_2 trên 200 μmol mol^{-1} của hệ thống nằm trong khoảng 1%. Độ chính xác của phép đo nhiệt độ giao động trong khoảng ±0,5°C. Độ chính xác của cảm biến PAR trong buồng lá của hệ thống không thấp hơn ±5%.

Các mẫu lá của Đước đôi trưởng thành, không có khiếm khuyết, nằm ở vòng lá thứ 2 của chồi lá được sử dụng làm đối tượng đo năng suất quang hợp trực tiếp. Các lá mẫu sau khi lựa chọn được đặt vào buồng lá của Hệ thống Li-6800 có khẩu độ 3x3 cm. Các thông số cần thiết cho mỗi loại nghiệm thức đo thực nghiệm gồm: cường độ của PAR, nhiệt độ và độ ẩm của không khí, nồng độ CO_2 trong không khí - được thiết lập cho buồng lá thông qua hệ thống máy chủ. Năng suất quang hợp ứng với mỗi nghiệm thức riêng lẻ được đo trên 2-4 lá khác nhau. Các giá trị được tính trung bình, các hàm tương quan được khảo sát và xây dựng từ các giá trị thực nghiệm.

Để xác định động lực quang hợp theo ngày của Đước đôi một cách toàn diện, điều quan trọng là phải đo năng suất quang hợp trên toàn bộ mặt cắt dọc của tán cây, vì các nhánh trên và dưới có các đặc điểm, tiếp xúc với ánh sáng, môi trường khác nhau và có thể phản ứng không giống nhau với nhiệt độ. Trong thực tế, điều kiện ánh sáng rất biến động theo chiều dọc tán cây do mật độ tán lá trên cao hạn chế khả năng tiếp cận ánh sáng ở các tán thấp hơn. Vì sự phân bố ánh sáng thường tăng theo chiều cao tán, nhiệt độ của lá cũng tăng theo. Vì lẽ đó, để đo cường độ quang hợp ở các phần khác nhau của tán cây, một hệ thống giàn giáo đã được lắp đặt gần một trong những cây nghiên cứu (hình 2). Với sự trợ giúp của hệ thống này, động lực ngày của cường độ quang hợp ở các phần trên, giữa và dưới của tán cây Đước đôi đã được thu thập.

Hình 2. Xác định cường độ quang hợp và PAR của Đước đôi

Các phép đo khảo sát sự phụ thuộc của cường độ quang hợp và thoát hơi nước vào nhiệt độ và nồng độ CO_2 được thực hiện trên các đoạn cành dài 15-30 cm, được cắt từ phần đỉnh tán của cây Đước đôi.

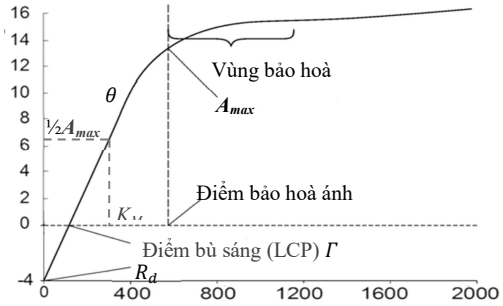
2.2.2. Mô hình toán học của các phản ứng quang hợp với sự biến động của các yếu tố môi trường

Các thông số của mô hình quang hợp Farquhar- von Caemmerer - Berry (FvCB) [12] thường được sử dụng để mô tả các mối quan hệ sinh hóa cơ bản của tỷ lệ đồng hóa CO_2 ròng của thực vật, đồng thời mô hình hóa tác động môi trường đến năng suất quang hợp thực vật [13]. Mô hình quang hợp FvCB đã được chứng minh là một phương pháp sinh hóa hữu ích cho quá trình quang hợp ở thực vật C3 và đã được trích dẫn hơn 5000 lần trong 35 năm qua [14].

$$\theta A_g{}^2 - A_g(a_i Q + A_{max})J + a_i Q A_{max} = 0 \quad (1)$$

Năng suất quang hợp thuần được tính bởi:

$$A_n = A_g - R_d \quad (2)$$



Hình 3. Đường cong bão hòa ánh sáng thể hiện phản ứng của năng suất quang hợp đối với PAR

Trong đó: a_i là hiệu suất lượng tử ban đầu (mol mol^{-1}); Q bức xạ hoạt động quang hợp (µmol photon m^{-2} s^{-1}); A_n(µmol m^{-2} s^{-1}) là năng suất quang hợp thuần; A_g (µmol m^{-2} s^{-1}) là tổng năng suất quang hợp; R_d (µmol m^{-2} s^{-1}) là lượng CO_2 sinh ra từ quá trình hô hấp của lá tại Q = 0 (hô hấp tối); A_{max} (µmol m^{-2} s^{-1}) là năng suất quang hợp tối đa tại điểm bão hòa ánh sáng, và θ là độ cong của đường cong phản ứng lượng tử của sự vận chuyển điện tử tiềm năng (phản ánh mức độ uốn của đường cong quang hợp).

Dựa vào công thức (1) và (2) cùng mô hình động học enzyme Michaelis - Menten [15] mô tả toán học các đường cong phản ứng ánh sáng của năng suất quang hợp được biểu diễn như sau: $A_n = A_{max} \cdot Q / (Q + K_M) - R_d$ (3)

Trong đó K_M là cường độ ánh sáng quang hợp tại đó cường độ quang hợp bằng một nửa mức cực đại A_n = ½ A_{max} (hình 3), các giá trị của K_M thường được các nhà nghiên cứu sử dụng khi so sánh các đặc điểm sinh lý của thực vật.

Điểm bù sáng (LCP) được xác định theo nghiên cứu Gardiner và Krauss (2001) [16]:

$$\text{LCP} = K_M R_d / (R_d - A_{max}) \quad (4)$$

Để đánh giá hiệu quả của quang hợp, đề xuất sử dụng hệ số góc của tiếp tuyến với đường cong của hàm (3) tại điểm tương ứng với K_M để phản ánh mức độ uốn của đường cong quang hợp (θ). Theo quan điểm vật lý, hệ số này phản ánh tốc độ thay đổi cường độ quang hợp với sự thay đổi PAR. Giải pháp này cho phép tiến hành phân tích so sánh các kết quả thu được trong nghiên cứu với kết quả nghiên cứu khác.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Động lực ngày của cường độ quang hợp và PAR

Để xác định các quy luật sinh lý xảy ra trong cây Đước đôi biến động ra sao theo các thời điểm trong ngày, vào ngày 16 tháng 6 năm 2020, đã đo thực nghiệm các động thái ngày cường độ quang hợp và PAR ở phần đỉnh ngọn (*ĐN*), giữa tán (*GT*) và dưới tán (*DT*) của cây trong điều kiện tự nhiên (hình 4). Trong quá trình đo, các thông số sau được duy trì trong buồng lá của thiết bị: nhiệt độ không khí 30^{o}C, độ ẩm không khí 70%, nồng độ CO_2 400 µmol·mol^{-1}. Tại điểm nghiên cứu có mưa nhẹ từ 10h30’ đến 11h40’. Giá trị của cường độ quang hợp trong mưa được coi là không. Tổng PAR ở *ĐN* là 22 mol·m^{-2}, ở *GT* là 7 mol·m^{-2}, ở phần *DT* là 6 mol·m^{-2}. Do đó, phần giữa và phần dưới của tán cây được nghiên cứu gần như ở cùng điều kiện liên quan đến độ chiếu sáng.

Bước đầu phân tích dữ liệu thu được cho thấy năng suất quang hợp ở phần đỉnh ngọn là lớn nhất $A_{ĐNmax}$ = 10,456 μmol $m^{-2}s^{-1}$ tại thời điểm 12h21' ứng với PAR = 1197 μmol photon m^{-2} s^{-1} (hình 4a), trong nửa thời gian đầu (thời điểm trước khi có mưa), năng suất quang hợp có liên quan chặt chẽ với PAR - hệ số tương quan R^2 qua ước tính là 0,86. Tuy nhiên, trong nửa thời gian sau, mối tương quan này giảm rõ rệt với giá trị R^2 = 0,54.

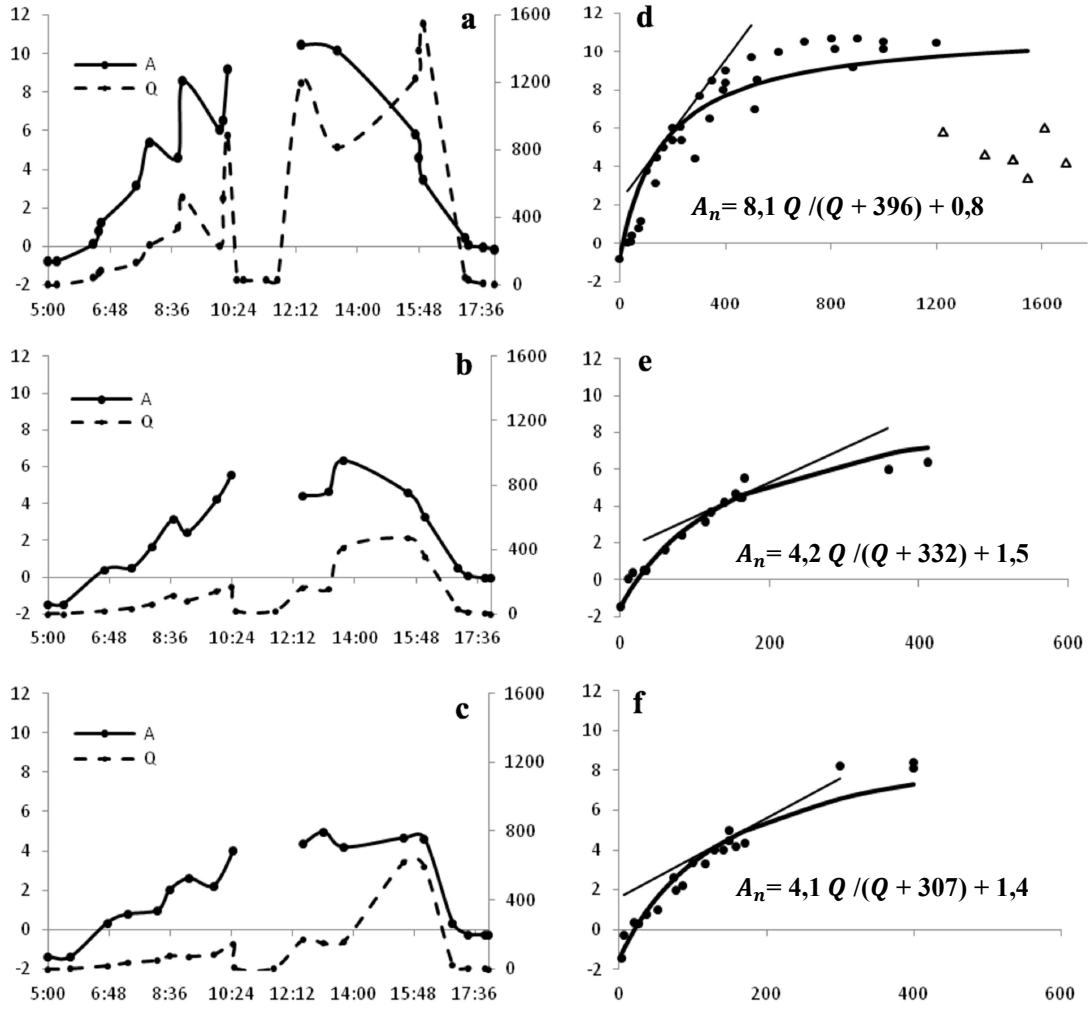
Ở khu vực giữa tán năng suất quang hợp cực đại A_{GTmax} = 6,36 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ở thời điểm 13h39' ứng với PAR = 411 μmol photon m^{-2} s^{-1} (hình 4b). Trong suốt thời gian quan trắc, cường độ quang hợp và PAR có mối liên hệ chặt chẽ, các hệ số tương quan lần lượt là 0,99 và 0,80.

Ở khu vực dưới tán, năng suất quang hợp cực đại A_{DTmax} = 4,97 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ở thời điểm 13h08' ứng với PAR = 150 μmol photon m^{-2} s^{-1} (hình 4c), mối liên hệ chặt chẽ giữa cường độ quang hợp và PAR được theo dõi trong nửa thời gian đầu, R^2=0,96, trong khi ở nửa thời gian sau, mối liên hệ này thấp hơn đáng kể, R^2 = 0,69.

Nhận thấy năng suất quang hợp chủ đạo của cây Đước đôi thuộc nhóm lá ở đỉnh tán, mối tương quan giữa cường độ quang hợp ở cây Đước đôi và cường độ bức xạ mặt trời phụ thuộc rất nhiều vào giá trị bức xạ. Tại các thời điểm giữa ngày khi bức xạ mặt trời tăng cao (lớn hơn 1200 μmol photon m-2 s-1), năng suất quang hợp của lá cây Đước đôi tại phần đỉnh tán (các biểu tượng tam giác trong hình 4a) có xu hướng giảm rõ rệt do sự gia nhiệt của bức xạ mặt trời khiến lá phải đóng các khí khổng nhằm bảo vệ tế bào và ngăn quá trình thoát hơi nước. Các lá cây tại phần giữa tán thuộc nhóm lá trong bóng râm, nhận được ít bức xạ mặt trời hơn nên năng suất quang hợp của nhóm lá này thấp hơn nhóm lá tại đỉnh tán và có mức độ tương quan cao trong ngưỡng bức xạ mặt trời tại khu vực giữa tán. Các lá ở phần dưới tán do thường xuyên nằm trong bóng râm của tán cây, khu vực nhận được ít ánh sáng nhất có xu hướng duy trì năng suất quang hợp thấp và ổn định ở mức bức xạ thấp. Do đó để tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình BĐKH mà cụ thể là sự gia tăng nhiệt độ môi trường và nồng độ CO_2 trong không khí đến năng suất quang hợp của cây Đước đôi, đã nghiên cứu sâu hơn về sự biến động năng suất quang hợp của nhóm lá tại đỉnh tán trong các điều kiện môi trường thực tế và giả định khác nhau.

3.2. Đường cong phản ứng ánh sáng

Hình 4 (d,e,f) cho thấy các giá trị của năng suất quang hợp phụ thuộc vào PAR, thu được từ các phép đo ở 3 khu vực khác nhau của tán lá Đước đôi, các đường cong của phản ứng ánh sáng là gần đúng xấp xỉ với các giá trị này được xây dựng theo phương trình (3), cũng như tiếp tuyến của các đường cong này tại các điểm tương ứng với các giá trị K_M.



Hình 4. Động lực ngày của năng suất quang hợp ròng - A_n, và PAR - Q thu được ở các phần trên (a), giữa (b) và dưới (c) của tán lá Đước đôi (ngày 16/6/2020).

Các giá trị cường độ quang hợp (điểm đánh dấu), đường cong phản ứng ánh sáng (đường đậm) và đường tiếp tuyến với điểm K_M (đường mảnh) thu được cho các phần trên (d), giữa (e) và dưới (f) của tán lá. Trục tung biểu thị cường độ quang hợp, (μmol$m^{-2}s^{-1}$), trên đồ thị (a), (b) và (c) biểu thị thời gian, HH: MM, trên đồ thị (d), (e) và (f) - biểu thị cường độ của PAR, μmol photon $m^{-2}s^{-1}$.

Đường cong phản ứng ánh sáng cho nhóm lá Đỉnh ngọn (hình 3d), dựa trên dữ liệu thu được vào buổi sáng. Các giá trị của cường độ quang hợp được thể hiện trong hình 3d với các điểm đánh dấu hình tam giác thu được vào buổi trưa với PAR lớn hơn 1200 μmol photon $m^{-2}s^{-1}$. Đường cong phản ứng ánh sáng cho phần giữa và phần dưới của tán lá. Hình 4e,f được xây dựng từ dữ liệu thu được trong ngày. Các chỉ số đặc trưng cho đặc điểm quang hợp của lá thu được ở các phần khác nhau của tán cây Đước đôi theo phương trình (3), cũng như giá trị tương quan R^2 cho các đường cong thu được và số lần đo n được chỉ ra trong bảng 1.

Bảng 1. Đặc điểm quang hợp của Đước đôi theo nhóm lá

Nhóm lá	Chỉ số quang hợp						
	A_{max}	K_M	R_d	LCP	θ	n	R^2
Đỉnh ngọn ***(ĐN)***	8,1±0,3	396	- 0,8±0,05	35,6	0,018	33	0,97
Giữa tán ***(GT)***	4,2±0,2	332	- 1,5±0,05	87,4	0,023	16	0,98
Dưới tán ***(DT)***	4,1±0,3	307	- 1,4±0,05	78,1	0,022	20	0,98

(Giá trị tương quan R^2 đối với các đường cong thu được, n số mẫu đo).

Đường cong phản ứng ánh sáng xây dựng từ trung bình của các giá trị đo thực nghiệm ở cả ba nhóm lá cho thấy năng suất quang hợp ròng và bức xạ quang hợp PAR của Đước đôi thể hiện mối quan hệ tuyến tính ở mức bức xạ dưới 400 µmol photon m^{-2} s^{-1}. Hiệu suất quang hợp (θ) có hệ số góc nhỏ thể hiện Đước đôi thuộc nhóm thực vật ưa sáng. Nhóm lá trên đỉnh tán năng suất quang hợp vượt trội hai nhóm lá giữa và dưới tán ở các cường độ bức xạ quang hợp vượt ngưỡng 400 µmol photon $m^{-2}s^{-1}$

A_{max} của Đước đôi trong nghiên cứu này thấp hơn so với nghiên cứu cây Đước vòi *Rhizophora stylosa* ở Úc (12,9 µmol photon m^{-2} s^{-1}) [15]. Sự giảm A_{max} từ trên xuống dưới của tán tương đồng với kết quả thu được từ nghiên cứu của Clough và cs. (1997) cũng trên đối tượng Đước đôi *R. apiculata* ở Malaysia [16]. Nghiên cứu của các tác giả này cho thấy giá trị trung bình của năng suất quang hợp ròng trong lá của *R. apiculata* giảm tuyến tính từ 10,9 µmol photon m^{-2} s^{-1} ở đỉnh tán xuống 4,9 µmol photon m^{-2} s^{-1} ở dưới tán. Giá trị thấp hơn so với nghiên cứu này có thể do thiết lập nhiệt độ ban đầu trong buồng lá ở 30°C chưa phải là nhiệt độ tối ưu cho quang hợp của Đước đôi. Có một số báo cáo lưu ý rằng, tỷ lệ quang hợp của RNM giảm trong điều kiện kém thuận lợi, thường liên quan đến độ mặn cao [17], hàm lượng nước trong đất thấp [18], hoặc tiếp xúc liên tục với bức xạ mặt trời ở cường độ cao [19].

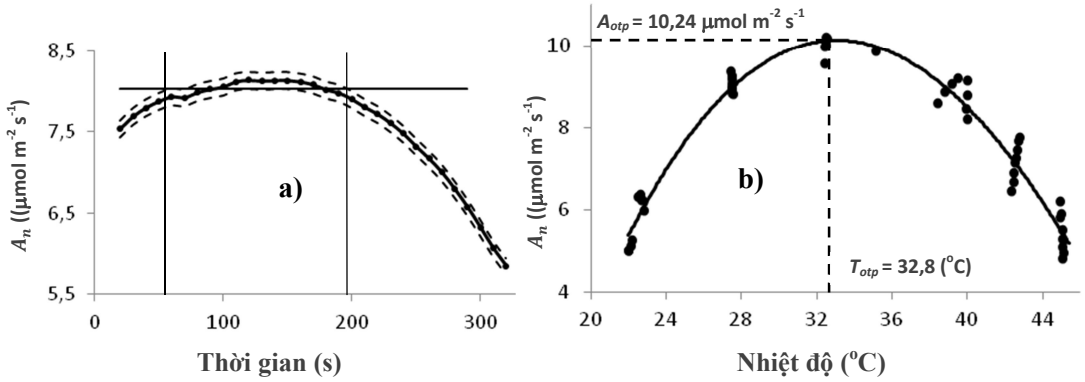
3.3. Xác định thời gian tối đa cho phép tiến hành các phép đo trao đổi khí trên cành đã cắt

Tính phức tạp và không ổn định của nền đất RNM gây khó khăn cho việc xây dựng các tháp đo di động để tiếp cận các nhóm lá. Một thí nghiệm đã được thực hiện để kiểm tra tính khả thi của việc đo năng suất quang hợp trên các cành đã cắt. Sử dụng các cành dài 15-30 cm được cắt từ phần trên của tán cây, cành được cắt bằng dụng cụ cắt tỉa cầm tay dạng ống lồng. Các phép đo được thực hiện ở chế độ tự động trong 5 phút, với khoảng cách mỗi lần đo là 10 giây.

Trong các phép kiểm định thời gian tối đa có thể đo quang hợp trên cành đã cắt, các thông số được duy trì trong buồng đo của thiết bị bao gồm: nhiệt độ 35°C, độ ẩm 60%, nồng độ CO_2 400 µmol·mol^{-1}, PAR 1.000 µmol m^{-2} s^{-1}. Hình 5a chỉ ra sự phụ thuộc của cường độ quang hợp vào thời gian của một trong những cành đỉnh

ngọn (dài 15 cm) của cây Đước đôi (thời điểm14h40’ trong ngày). Nghiên cứu cho thấy năng suất quang hợp của lá trên cành cắt có khả năng duy trì trạng thái ổn định trong khoảng 3 phút đầu tiên, sau đó năng suất quang hợp sụt giảm mạnh trong vài phút tiếp theo do nước trong hệ thống mao dẫn của cây thường tồn tại ở áp suất thấp hơn khí quyển, nên việc cắt cành gây sụt giảm áp suất thuỷ lực dẫn đến sự mất nước ở lá tại đỉnh ngọn nằm sau vết cắt. Cơ chế này được giải thích cụ thể trong báo cáo tổng hợp của Peter và cs. (2012) sau khi tiến hành nghiên cứu trên nhiều đối tượng thực vật khác nhau [20], tuy nhiên do tính đặc thù của thực vật ngập mặn vẫn cần tiếp tục thiết lập thêm các thí nghiệm khác trên đối tượng Đước đôi nhằm khẳng định giả thiết này.

Hình 5a cho thấy, nếu đã bao gồm cả sai số, thời gian đo cường độ quang hợp của lá trên cành đã cắt bắt đầu từ khoảng 50 giây sau khi được đặt vào buồng đo của hệ thống phân tích khí và kéo dài đến giây 190. Thời gian này đủ để thực hiện các phép đo đáng tin cậy trên 2-3 lá của cành đã cắt. Rõ ràng, khi lấy các nhánh có chiều dài lớn hơn, thời gian thực hiện các phép đo tăng lên, điều này có thể gây tác động xấu đến cây nhất là khi cần tiến hành đo trên một lượng lớn mẫu lá và chiều dài 15-30 cm là một kích thước hợp lý và thuận tiện cho thao tác.



Hình 5. Sự phụ thuộc của cường độ quang hợp của lá Đước đôi vào thời gian sau khi cắt khỏi cành từ phần đỉnh ngọn (a) và sự phụ thuộc của năng suất quang hợp của lá tại đỉnh tán vào nhiệt độ (b)

3.4. Sự phụ thuộc của cường độ quang hợp vào nhiệt độ

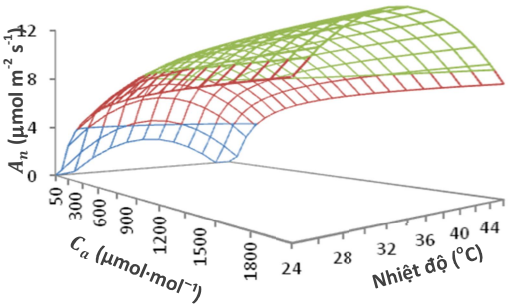
Hình 5b cho thấy sự phụ thuộc vào nhiệt độ T (°C) của năng suất quang hợp thuộc nhóm lá đỉnh ngọn của cây Đước đôi thu được từ các phép đo thực nghiệm. Để làm rõ xu thế biến đổi, dữ liệu được đặt trên một đường cong xu thế - đường cong gần đúng của quá trình đáp ứng nhiệt trong quang hợp cây Đước đôi được xây dựng theo phương trình đa thức bậc hai ($R^2 = 0,92$):

$$A_n(T_{leaf}) = -\ 0,20\ T_{leaf}{}^2 + 12,29\ T_{leaf} - 179,3 \qquad (5)$$

Phản ứng với nhiệt độ của quá trình đồng hóa ròng của lá Đước đôi tại đỉnh tán được đo ở độ ẩm không khí 60%, nồng độ CO_2 400 µmol mol^{-1}, PAR 1000 µmol m^{-2} s^{-1}. Chia khoảng nhiệt độ quan sát từ 23-45°C thành các khoảng 2°C. Trong phạm vi 23-32°C, sự đồng hóa ròng tăng tuyến tính theo nhiệt độ, tại nhiệt độ tối ưu T_{opt}=32,8°C ứng với các giá trị môi trường đã thiết lập năng suất quang hợp đạt giá trị cực đại là A_{opt} = 10,24 µmol $m^{-2}s^{-1}$, sau nhiệt độ tối ưu, năng suất quang hợp giảm tuyến tính theo đà tăng của nhiệt độ (hình 5b).

Theo quan điểm của sự phân bố sinh thái thực vật, việc giải thích đường cong phản ứng nhiệt độ của quang hợp cũng có thể cải thiện độ chính xác của việc ước tính khả năng cố định CO_2 của RNM [21]. Có một điểm cần chú ý là trong báo cáo của Moore và cs. (1973) [22] thì A_{otp} của thực vật họ Đước thu được ở nhiệt độ lá gần hoặc dưới 25°C. Tuy nhiên nghiên cứu này cho thấy mối quan hệ giữa tốc độ quang hợp thực và nhiệt độ của lá là một đỉnh rộng trong khoảng từ 30,8 đến 35,2°C, điều này tương tự với báo cáo của Okimoto và cs. (2007) [21]. Phát hiện này cho thấy mối quan hệ giữa năng suất quang hợp cực đại và nhiệt độ lá có khoảng rộng thể hiện tiềm năng dịch chuyển A_{otp} nhằm thích nghi với BĐKH của cây Đước đôi.

3.5. Sự phụ thuộc của cường độ quang hợp vào nồng độ CO_2 trong không khí



Hình 6. Mô hình phản hồi năng suất quang hợp *R. apiculata* theo biến thiên nhiệt độ và nồng độ CO_2 trong không khí

Quá trình đo biến động năng suất đồng hóa CO_2 ròng của lá Đước đôi tại đỉnh tán vào nồng độ CO_2 trong không khí được tiến hành với các thông số được duy trì ổn định trong buồng đo của thiết bị, bao gồm: độ ẩm 60%, nhiệt độ lá 30°C, PAR 1000 µmol $m^{-2}s^{-1}$. Qua các phép đo thực nghiệm, biểu thức toán học đường cong phụ thuộc của cường độ quang hợp vào nồng độ CO_2 trong không khí, gọi tắt là C_a (µmol·mol^{-1}), được mô tả dưới dạng phương trình bậc hai (R^2 = 1,00):

$$A_n(C_a) = -8 \cdot 10^{-6} \cdot (C_a)^2 + 0{,}0161 \cdot (C_a) - 0{,}5988 \quad (6)$$

Từ 2 phương trình (5) và (6), tiến hành xây dựng mô hình 3D mối tương quan của 2 biến môi trường là nhiệt độ lá và nồng độ CO_2 trong không khí đến năng suất quang hợp của lá Đước đôi tại đỉnh tán (hình 6).

Cho đến nay, Ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) đã thực hiện 5 lần xây dựng và cập nhật kịch bản BĐKH thông qua các lần báo cáo đánh giá (1990, 1995, 2001, 2007, 2013). Trong đó, sự thay đổi cơ bản của Báo cáo đánh giá lần thứ

5 (AR5 2014) là sự thay đổi của các kịch bản phát thải khí nhà kính. Để diễn tả các kịch bản phát triển kinh tế xã hội toàn cầu, thuật ngữ "Đường nồng độ khí nhà kính đại diện" (Representative Concentration Pathways - RCPs) được sử dụng. Theo đó, các RCPs được mô tả để dự đoán khí hậu trái đất trong tương lai đến năm 2100 bao gồm RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 và RCP8.5 tương ứng với nồng độ khí nhà kính quy đổi thành khí CO_2 là 490 ppm, 650 ppm, 850 và 1370 ppm [23]. Đối chiếu các kịch bản của RCPs với kết quả của nghiên cứu này chỉ ra rằng với sự gia tăng nồng độ CO_2 theo các kịch bản cường độ quang hợp của cây Đước đôi tăng tự nhiên theo phương trình (6) từ 10% đến 60%. Tuy rằng năng suất quang hợp của cây Đước đôi còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố môi trường khác (chế độ nước, độ mặn của nước, nồng độ muối trong đất, bức xạ mặt trời…) nhưng có thể nói xu hướng này cũng là một tín hiệu lạc quan để nhận định quần thể Đước đôi RNM Cần Giờ là một trong những nhân tố góp phần ổn định khí hậu.

4. KẾT LUẬN

- Nhóm lá phần trên đỉnh tán của cây Đước đôi có năng suất quang hợp cao nhất so với toàn bộ các tầng tán khác của cây. Vùng bão hoà ánh sáng ở mức từ 600 đến 1000 µmol photon m^{-2} s^{-1} cho thấy chúng thuộc nhóm lá ưa nắng cao. Ở các mức bức xạ cao hơn 1200 µmol photon m^{-2} s^{-1} lá cây bị suy giảm quang hợp.

- Phương pháp cắt cành 15-30 cm được chấp nhận trong việc đo năng suất của quang hợp trên 2-3 lá thuộc cành cắt. Thời gian để có được dữ liệu đáng tin cậy là từ 50 giây sau khi đặt lá vào buồng đo của hệ thống phân tích khí và kéo dài đến giây thứ 190.

- Kết quả đánh giá biến động năng suất đồng hóa CO_2 của lá Đước đôi tại đỉnh tán theo nhiệt độ đo được trên lá còn chỉ ra quang hợp của thực vật thuộc họ Đước nhạy cảm với nhiệt độ. Nhiệt độ tối ưu cho Đước đôi phát triển từ 30,8 đến 35,2°C.

- Với sự gia tăng nồng độ CO_2 trong không khí, năng suất quang hợp của Đước đôi cũng tăng lên một cách tự nhiên theo phương trình $A_n(C_a)$ = $-8\cdot10^{-6}\cdot(C_a)^2+0{,}0161\cdot(C_a)-0{,}5988$. Sử dụng mô hình này, có thể dự đoán năng suất thực của Đước đôi dưới những thay đổi khác nhau của các yếu tố môi trường.

- Yếu tố ức chế chính ảnh hưởng đến quang hợp trong nghiên cứu này là bức xạ quang hợp PAR vượt ngưỡng bão hòa và độ lệch của nhiệt độ không khí so với các giá trị tối ưu cho sự phát triển của cây Đước đôi.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ Tp. Hồ Chí Minh, trong khuôn khổ đề tài: "Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến khả năng dự trữ Carbon của các hệ sinh thái tự nhiên rừng ngập mặn Cần Giờ và đề xuất các giải pháp thích ứng" theo Hợp đồng số 25/2019/HĐ-QPTKHCN, ngày 03/6/2019.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Alongi D.M., *Present state and future of the world's mangrove forests*, Environ. Conserv., 2002, **29**:331-349.
2. Alongi D.M., *Carbon cycling and storage in mangrove forests*, Ann. Rev. Mar. Sci., 2014, **6**:195-219, doi:10.1146/ annurev-marine-010213-135020.
3. Donato D.C., Kauffman J.B., Murdiyarso D., Kurnianto S., Stidham M., Kanninen M., *Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics*, Nat. Geosci., 2011, **4**:293-297.
4. IPCC, *IPCC Fifth assessment report: Climate change 2013 - The physical science basis,* Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013, 1535 p.
5. Berry J., and Björkman O., *Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants*, Annu. Rev. Plant Physiol., 1980, **31**:491-543, doi: 10.1146/annurev.pp.31.060180.002423.
6. Kattge J., and Knorr W., *Temperature acclimation in a biochemical model of photosynthesis: a reanalysis of data from 36 species*, Plant, cell & environment, 2007, **30**:1176-1190.
7. Barr J.G., Fuentes J.D., Engel V., Zieman J.C., *Physiological responses of red mangroves to the climate in the Florida Everglades*, J. Geophys Res., 2009, **114**:G02008, doi:10.1029/2008JG0 00843.
8. Huỳnh Đức Hoàn, Cao Huy Bình, Nguyễn Tiến Hưng, Phan Văn Trung, Bùi Nguyễn Thế Kiệt, *Báo cáo Tổng kết 10 năm (giai đoạn 2010-2020) Khu Dự trữ Sinh quyển Rừng ngập mặn Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*, Tài liệu Hội thảo và Kỷ niệm 20 năm Quản lý và Phát triển khu Dự trữ Sinh quyển Rừng ngập mặn Cần Giờ (2000-2020), Cần Giờ, 7/2020, tr. 9-50.
9. Huỳnh Đức Hoàn, Bùi Thế Kiệt, Phạm Văn Trung, Viên Ngọc Nam, *Trữ lượng các bon của quần thể Đước đôi (Rhizophora apiculata* Blume*) trồng tại Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh*, Tạp Chí Khoa Học & Công Nghệ/Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2018, **2**(24):123-129.
10. Viên Ngọc Nam và Vũ Thị Thủy, *Xây dựng ô định vị để giám sát lượng carbon của rừng Đước đôi (Rhizophora apiculate* Blume*) trồng tại Trung tâm Nghiên cứu rừng ngập mặn Cần Giờ, thành Phố Hồ Chí Minh*, Tạp chí Rừng và Môi trường, 2015, **74**:36-41.
11. Tri N.H., Hong P.N., Manh M.N.T., Tuan M.L.X., Anh M.P.H., Tho M.N.H., Cuc M.N.K., Giang M.L.H., Tuan M.L.D., *Valuation of the mangrove ecosystem in Can Gio mangrove biosphere reserve, Vietnam,* Unesco/MAB programme national committee, center for natural resources and environmental studies (CRES), Hanoi University of economics (HUE) and management board of Can Gio mangrove biosphere reserve, 2000, Hanoi.

12. Farquhar G.D. and Von Caemmerer S., *Modelling of photosynthetic response to environmental conditions*, In physiological plant ecology II: Water relations and carbon assimilation, Encyclopedia of plant physiology, New Series, Springer-Verlag, Berlin, 1982, **12 B**:549-587.

13. Michaelis L. and Menten M., *Die Kinetik der Invertinwirkung*, Biochem. Z., 1913, **49**:333-369.

14. Gardiner E.S. and K.W. Krauss, *Photosynthetic light response of flooded cherrybark oak (Quercus pagoda) seedlings grown intwo light regimes*, Tree Physiol., 2001, **21**:1103-1111.

15. Clough B., *Mangrove forest productivity and biomass accumulation in Hinchinbrook channel, Australia*, Mang. Salt Marsh., 1998, **2**:191-198.

16. Clough B.F., Ong J.E. and Gong W.K., *Estimating leaf area index and photosynthetic production in canopies of the mangroves Rhizophora apiculata*, Mar. Ecol. Prog. Ser., 1997, **159**:285-292.

17. Sobrado M.A., *Leaf photosynthesis of the mangrove Avicennia germinans as affected by NaCl*, Photosynthetica, 1999, **36**:547-555.

18. Lin G. and Sternberg L.S.L., *Comparative study of water uptake and photosynthetic gas exchange between scrub and fringe red mangrove, Rhizophora mangle*. Oecologia, 1992, **90**:399-403.

19. Clough B.F. and Sim R.G., *Changes in gas exchange characteristics and water use efficiency of mangrove in response to salinity and vapour pressure deficit*. Oecologia, 1989, **79**:38-44.

20. Peter J. et al., *Measurements of stem xylem hydraulic conductivityin the laboratory and field,* Methods in Ecology and Evolution, 2012, **3**:685-694.

21. Okimoto Y., Nose A., Katsuta Y., Tateda Y., Agarie S., Ikeda K, *Gas exchange analysis for estimating net CO_2 fixation capacity of mangrove (Rhizophora stylosa) forest in the mouth of river Fukido, Ishigaki Island, Japan*. Plant Production Science, 2007, **10**:303-313.

22. Moore R.T., Miller P.C., Ehlinger J., Lawrence W., *Seasonal trends in gas exchange characteristics of three mangrove species*. Photosynthetica, 1973, **7**:387-394.

23. Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Kịch bản Biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam*, NXB. Tài nguyên môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2016, 170 tr.

SUMMARY

PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF *Rhizophora apiculata* Blume IN CAN GIO MANGROVE FOREST, HO CHI MINH CITY

The aim this research work was to assess the intensity of photosynthesis at the leaf level of an adult tree *Rhizophora apiculata* Blume, natural origin in a Can Gio mangrove forest. The diurnal dynamics of the intensity of photosynthesis and PAR (Photosynthetic Active Radiation) for different parts of the tree crown were investigated. The Michaelis - Menten equation was used to describe the dependence of photosynthesis on PAR. The coefficients equation was used to assess the photosynthetic characteristics of the tree leaf. It was shown that the depression of photosynthesis in the upper part of the crown of a tree might be caused by a violation of the water balance in the leaves. The dependences intensity of photosynthesis on leaf temperature and CO_2 concentration were obtained. Furthermore, the optimum temperature for the growth of *R. apiculata* was ranging from 30.8 to 35.2°C, while an increase in CO_2 concentration, the rate of photosynthesis also increased. Based on the obtained dependences, a mathematical model of the intensity of photosynthesis as a function of PAR, leaf temperature and CO_2 concentration in air was developed. Overall, the results highlighted that the inhibitory factor affecting photosynthesis process might be an elevated level of photosynthetic radiation from permitted level and deviation of leaf temperature from the values optimal for *R. apiculata* growth.

Keywords: *Leaf gas exchange, photosynthesis, Rhizophora apiculata* Blume*, Can Gio mangrove forest, Li-6800, trao đổi khí qua lá, quang hợp, Đước đôi, rừng ngập mặn Cần Giờ.*

Nhận bài ngày 06 tháng 12 năm 2020

Phản biện xong ngày 12 tháng 12 năm 2020

Hoàn thiện ngày 15 tháng 12 năm 2020

(1) Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

(2) A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences

(3) Viện Tài nguyên Môi trường, Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

(4) Ban Quản lý rừng phòng hộ Cần Giờ