

MÔ HÌNH HÓA SỰ DAO ĐỘNG CỦA NĂNG SUẤT SINH HỌC SƠ CẤP SỬ DỤNG ẢNH VỆ TINH

Doãn Hà Phong

Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường

Năng suất sinh học sơ cấp (Net Primary Productivity) được xem như một mắt xích quan trọng trong chu trình tuần hoàn Carbon trên toàn cầu, đại lượng này được xác định trong quá trình trao đổi CO₂ giữa khí quyển và thực vật. Trên cơ sở sử dụng mô hình CASA (Carnegie Ames Stanford Approach), dữ liệu khí tượng và dữ liệu chỉ số thực vật NDVI (AVHRR), lớp phủ thực vật (MODIS). Bài báo đã bước đầu nghiên cứu sự biến động của năng suất sơ cấp qua 2 thời kỳ 1982-1986 và 2002-2006. Kết quả cho thấy năng suất sinh học sơ cấp thể hiện xu thế tăng rõ rệt (100 - 300 gC/m²/năm) ở hầu hết vùng canh tác nông nghiệp trên lãnh thổ Việt Nam, trong khi một số vùng đất rừng thể hiện xu thế giảm (-150 - 0 gC/m²/năm) sau hai mươi năm.

1. Mở đầu

Năng suất sinh học sơ cấp (Net Primary Productivity – NPP) là lưu lượng carbon từ khí quyển chuyển đổi thành carbon hữu cơ ở thực vật sau hai quá trình quang hợp và hô hấp trên một đơn vị diện tích và thời gian nhất định [2,3]. Sự trao đổi CO₂ giữa khí quyển và thực vật được phản ánh rõ nét ở giá trị NPP trên phạm vi toàn cầu cũng như phạm vi vùng miền. Do tính tương tác lẫn nhau của các thành phần trong các hệ sinh thái, sự biến đổi không gian và thời gian của NPP chịu chi phối của nhiều nhân tố bao gồm khí hậu, đất, đặc tính của từng loại thực vật và con người [2]. Do đó, sự dao động của NPP là một chỉ tiêu nhạy cảm trong việc nghiên cứu ảnh hưởng của dao động khí hậu hàng năm và sự thay đổi môi trường tới thực vật [7].

Nhận thức được tầm quan trọng của NPP trong vòng tuần hoàn carbon, nhiều nghiên cứu nhằm mô hình hóa NPP trên phạm vi toàn cầu và cấp vùng đã được tiến hành với nhiều hướng tiếp cận khác nhau. Do tính phức tạp của mối quan hệ giữa NPP và các nhân tố chi phối, hầu hết các mô hình chỉ chú trọng vào một số yếu tố nhằm đơn giản hóa. Nhờ sự phát triển của công nghệ viễn thám từ đầu thập niên 70, chỉ số thực vật NDVI sử dụng như một yếu tố đầu vào trong các mô hình NPP chú trọng tới bức xạ mặt trời trong quá trình quang hợp [2].

Mô hình CASA đã được Potter đề xuất năm 1993 [4] nhằm mục tiêu mô hình hóa NPP trên phạm vi toàn cầu dựa trên cơ sở sử dụng bức xạ quang hợp hấp thụ (Absorbed Photosynthetically Active Radiation – APAR), hệ số quang hợp hiệu dụng (Light Use Efficiency – LUE) và các điều kiện thời tiết chi phối quá trình quang hợp. Bài báo đã tính toán và phân tích sự biến đổi của NPP ở các hệ sinh thái thực vật khác nhau trên phạm vi toàn thế giới, chú trọng khu vực Việt Nam, trong hai thời kỳ 1982-1986 và 2002-2006.

2. Chuẩn bị dữ liệu

Dữ liệu đầu vào của mô hình CASA bao gồm dữ liệu viễn thám và dữ liệu khí tượng, ở khuôn dạng ô lưới (grid) trong thời gian 10 năm được liệt kê dưới đây (bảng 1). Trước khi đưa vào mô hình, tất cả các biến đầu vào được đưa về cùng một độ phân giải không gian (8km x 8km), cùng một phạm vi không gian (toàn cầu) và toàn bộ dữ liệu thô được đưa về các tham số vật lý với thứ nguyên tương ứng. Ngoài ra, hệ số quang phổ hiệu dụng cực đại LUE_{max} (gC/MJ) cho từng loại hình thảm phủ được tham khảo từ nghiên cứu của Yu Deyong, 1999 [7] và dữ liệu thực địa NPP được sử dụng trong quá trình kiểm nghiệm độ chính xác.

Bảng 1. Dữ liệu đầu vào

Tên dữ liệu	Độ phân giải thời gian	Độ phân giải không gian	Đơn vị	Nguồn	Thời gian nghiên cứu
NDVI (NOAA/AVHRR)	tháng	8km x 8km	-	GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) - GLCF	1982-1986 2002-2006
Land cover (MODIS)	1 năm	5600m x 5600m	-	LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) – NASA and USGS	2006
Nhiệt độ không khí trung bình tháng	tháng	0,5° x 0,5°	Celsius	NCEP (National Centers for Environmental Prediction)	1982-1986 2002-2006
Tổng lượng bức xạ thẳng (Insolation)	tháng	1° x 1°	MJ/m² /tháng	Global Land Data Assimilation System NASA- (GLDAS)	1982-1986 2002-2006
Bốc thoát hơi trung bình tháng	tháng	1° x 1°	mm/ngày	Global Land Data Assimilation System NASA- (GLDAS)	1982-1986 2002-2006
Bốc thoát hơi tiềm năng trung bình tháng	tháng	0,5° x 0,5°	mm/ngày	Climatic Research Unit (CRU)	1982-1986 2002-2006
In situ NPP	-	-	-	Oak Ridge National Laboratory (ORNL)	Đa thời gian

3. Phương pháp

Mô hình CASA đầu tiên được Potter đề xuất năm 1993, nhằm mục tiêu nghiên cứu tổng thể quá trình trao đổi chất giữa các hệ sinh thái thực vật, dinh dưỡng trong đất và trao đổi các khí nhà kính với khí quyển. Để đáp ứng mục tiêu nghiên cứu, bài báo chỉ sử dụng một hợp phần mô hình hóa NPP của mô hình CASA với một vài cải tiến so với nghiên cứu đi trước, Cải tiến thứ nhất là tránh được sự bất đồng nhất của dữ liệu độ ẩm đất ở tỉ lệ lớn nhờ sử dụng dữ liệu bốc thoát hơi (Evapotranspiration - ET) và bốc thoát hơi tiềm năng (Potential Evapotranspiration - PET) sẵn có, thay cho việc tính toán thông qua mô hình độ ẩm đất như mô hình CASA ban đầu, Cải tiến thứ hai là sử dụng các giá trị LUE_{max} đặc trưng cho mỗi loại hình thảm phủ thay vì chỉ sử dụng một giá trị LUE_{max} như ở mô hình năm 1993 [4],

Dựa trên lý thuyết và kiểm chứng thực tiễn [2,4], mô hình CASA khẳng định rằng năng suất sinh học sơ cấp (NPP) là sản phẩm của bức xạ quang hợp hấp thụ (APAR) và hệ số quang hợp hiệu dụng (ϵ), NPP ở vị trí x (pixel x) và thời điểm t được tính theo công thức:

$$NPP(x,t) = APAR(x,t) * \epsilon(x,t) \quad (1)$$

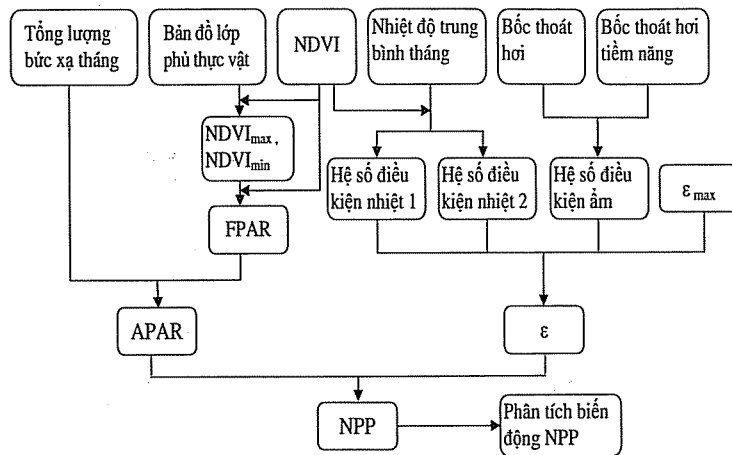
Trong đó APAR đặc trưng cho lượng năng lượng

mặt trời được thực vật hấp thụ (đơn vị MegaJun/m²/tháng), APAR được tính theo công thức $APAR(x,t) = FPAR(x,t) * S(x,t) * r$, trong đó S là tổng lượng bức xạ mặt trời tháng (incoming solar radiation) (MegaJun/m²/tháng), FPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation) là hàm của NDVI sẽ được đề cập ở phần sau. Độ thực vật chỉ hấp thụ ánh sáng thị phổ (0,4 - 0,7 μ m) cho quang hợp, nên hằng số r đặc trưng cho phần năng lượng này trong toàn bộ dải sóng của năng lượng mặt trời, $r = 0,5$.

Hệ số quang hợp hiệu dụng LUE (ϵ – đơn vị gram Carbon/MegaJun) là nhân tố chuyển đổi năng lượng mặt trời thành vật chất hữu cơ ở thực vật sau quá trình quang hợp, LUE được tính theo công thức $\epsilon(x,t) = \epsilon_{max} * T_1(x,t) * T_2(x,t) * W(x,t)$, trong đó ϵ_{max} là giá trị LUE khi môi trường có điều kiện tối ưu cho quá trình quang hợp, T_1 , T_2 , W lần lượt là hai hệ số điều kiện nhiệt độ và hệ số điều kiện ẩm, giá trị biến thiên từ 0 đến 1. Khi điều kiện nhiệt và ẩm không đạt tối ưu cho thực vật sinh trưởng, các hệ số này nhận giá trị nhỏ hơn 1.

Do đó NPP được mô hình hóa bằng công thức sau:

$$NPP(x,t) = S(x,t) * FPAR(x,t) * r * \epsilon_{max} * T_1(x,t) * T_2(x,t) * W(x,t) \quad (2)$$



Hình 1, Sơ đồ quy trình mô hình hóa NPP

a. Phương pháp tính FPAR

FPAR là đại lượng phản ánh phần năng lượng mặt trời được thực vật hấp thụ trên tổng lượng năng lượng mặt trời ở một đơn vị diện tích, FPAR được quyết định bởi tính chất riêng của từng loại thực vật và hiện trạng sinh trưởng của thực vật. Bằng mô hình kinh nghiệm, nhiều nghiên cứu đi trước đã thiết lập FPAR như một hàm số của NDVI [4,5]:

$$F(x, t) = \frac{[(NDVI)(x, t) - (NDVI)_{i,min}] \times (F_{max} - F_{min})}{NDVI_{i,max} - NDVI_{i,min}} + F_{min} \quad (3)$$

Trong đó, NDVI_{max} và NDVI_{min} là giá trị NDVI cực đại và cực tiểu trong suốt phạm vi thời gian nghiên cứu, F_{max} và F_{min} lần lượt là giá trị FPAR cực đại và cực tiểu tương ứng với từng loại hình thảm phủ (bảng 2), Bản đồ thảm phủ thực vật toàn cầu của dữ liệu MODIS tuân theo phân loại của IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme),

Bảng 2. Giá trị FPAR_{max}, FPAR_{min}, ε_{max} và T_{opt} tương ứng với từng loại thảm phủ

Thứ tự lớp	Tên thảm phủ	FPAR max	FPAR min	ε _{max} (gC/MJ)	T _{opt} (°C)
1	Rừng thường xanh lá kim	0,845	0,304	0,389	15,84
2	Rừng thường xanh lá rộng	0,909	0,566	0,978	24,94
3	Rừng khộp lá kim	0,916	0,532	0,492	15,94
4	Rừng khộp lá rụng	0,916	0,532	0,664	23,30
5	Rừng hỗn giao	0,902	0,621	0,49	16,57
6	Cây bụi kín	0,859	0,473	0,541	20,15
7	Cây bụi mở	0,625	0,148	0,541	7,52 gần Bắc Cực và 18,40 ở bán cầu Nam
8	Xavan có cây thân gỗ	0,915	0,430	0,572	24,60
9	Xavan	0,744	0,208	0,557	23,92
10	Thảo nguyên	0,785	0,228	0,541	19,22
11	Đất ngập nước thường xuyên	0,777	-	0,541	26,47
12	Đất nông nghiệp	0,837	0,274	0,608	25,06
13	Đất đô thị và công trình	0,864	0,307	0,541	24,8
14	Đất nông nghiệp và thực vật tự nhiên hỗn giao	0,797	0,272	0,608	27,13
15	Đất băng tuyết	0,098	0,094	-	5,00
16	Đất trống hoặc thưa thực vật	0,098	0,096	0,541	25,00
17	Mặt nước	0,08	0,046	-	22,00

b. Phương pháp tính các hệ số điều kiện thời tiết

Cả hai hệ số điều kiện nhiệt là hàm của nhiệt độ trung bình tháng $T(x,t)$ và nhiệt độ tối ưu cho từng loại thảm phủ thực vật T_{opt} , Nhiệt độ tối ưu T_{opt} được định nghĩa là nhiệt độ trung bình của tháng mà NDVI đạt giá trị cực đại (bảng 2), Hệ số T1 đặc trưng cho khả năng ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình sinh trưởng thực vật ở vùng có khí hậu quá nóng hoặc quá lạnh [6,4], Hệ số T2 đặc trưng cho khả năng ảnh hưởng của nhiệt độ từng tháng khi giá trị nhiệt dịch chuyển khỏi giá trị tối ưu T_{opt} [1], Các hệ số này được tính theo các phương trình sau:

$$T_{E1}(x) = 0.8 + 0.02 T_{opt}(x) - 0.0005 (T_{opt}(x))^2 \quad (4)$$

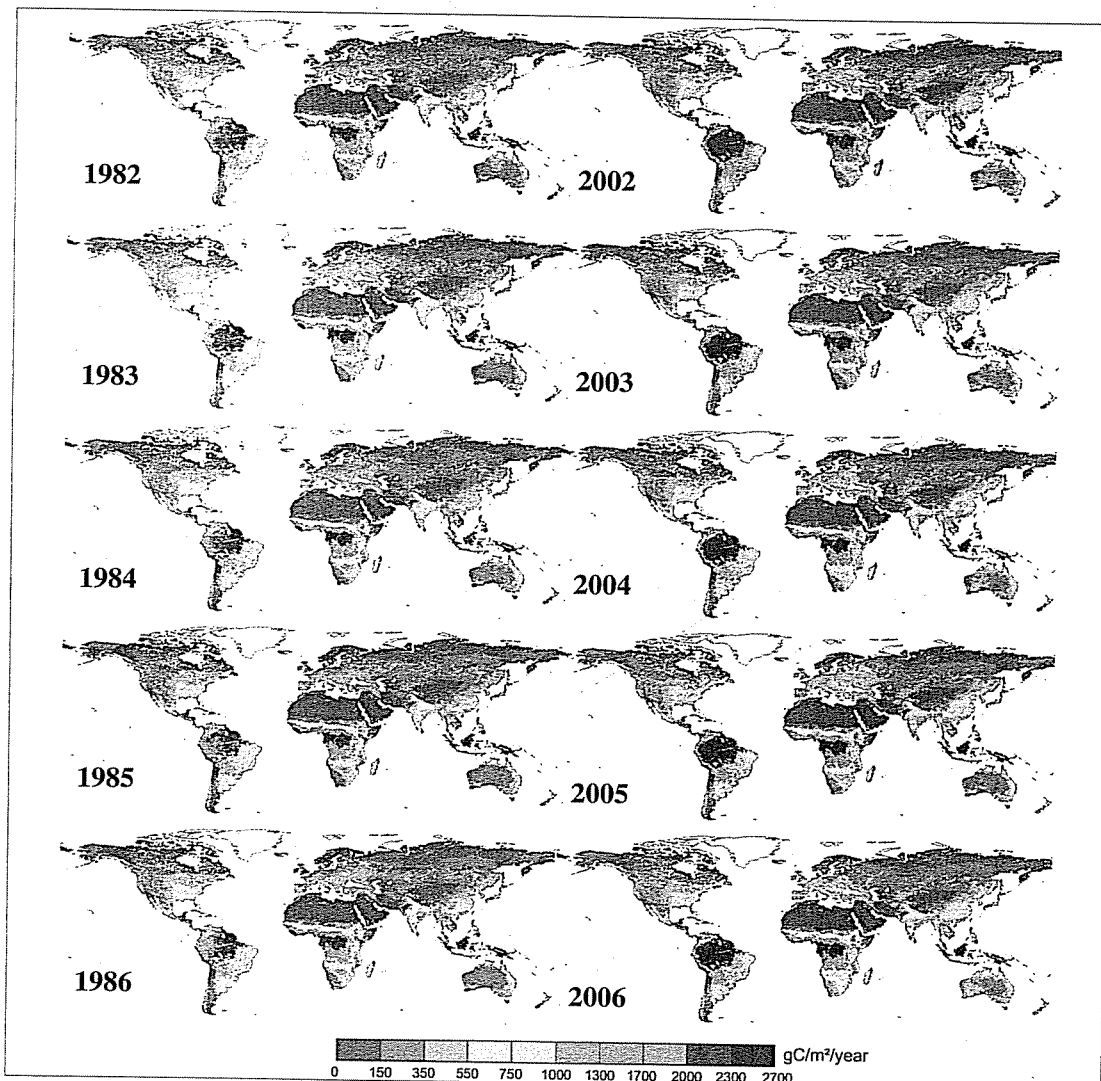
$$T_{E2}(x,t) = 1.1814 / \{1 + e^{[0.2 (T_{opt}(x) - 10 - T(x,t))]} / [1 + e^{[0.3 (-T_{opt}(x) - 10 + T(x,t))]}]\} \quad (5)$$

Hệ số điều kiện ẩm là hàm của bốc thoát hơi (ET – mm/ngày) và bốc thoát hơi tiềm năng (PET – mm/ngày) (Field, 1993),

$$W(x,t) = 0,5 + 0,5 * (ET(x,t)/PET(x,t)) \quad (6)$$

4. Kết quả và thảo luận

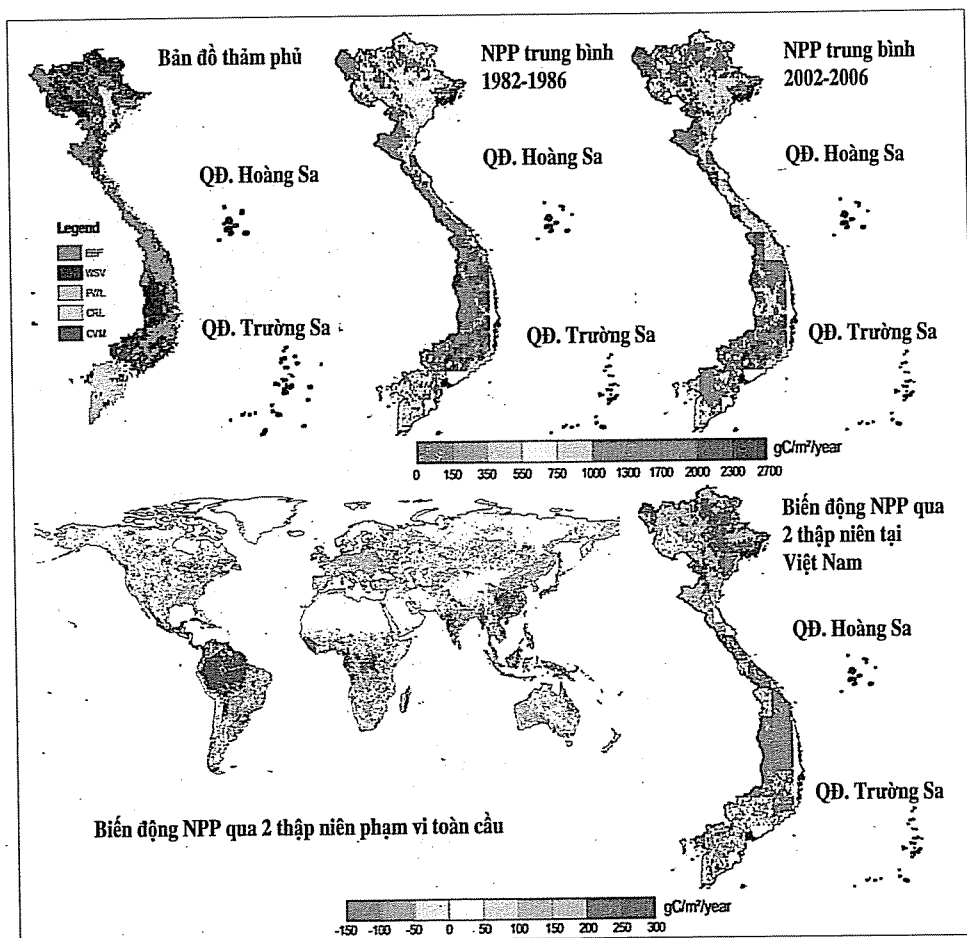
Sử dụng cơ sở dữ liệu với bước chạy theo tháng có độ phân giải không gian 8km qua hai thời kỳ 1982-1986 và 2002-2006, các bản đồ năng suất sinh học sơ cấp hàng năm trên phạm vi toàn cầu được thiết lập.



Hình 2. Năng suất sinh học sơ cấp hàng năm của hai thời kỳ 1982-1986 và 2002-2006

Các bản đồ kết quả cho thấy sự phân bố không gian của NPP là tương tự nhau qua từng năm, Vùng nhiệt đới, đặc biệt là khu vực Đông Nam Á, Amazon, Trung phi có giá trị NPP cao nhất khoảng từ 1700 – 2700 gC/m²/năm trong khi những vùng hoang mạc hoặc cận cực như sa mạc Sahara, sa mạc Gô bi, Cực Bắc thể hiện giá trị khoảng giá trị

NPP thấp nhất từ 0 - 150 gC/m²/năm. Để nghiên cứu sự thay đổi của NPP trong một thời kỳ dài, cụ thể ở bài báo này là hai thập niên, hai dữ liệu NPP trung bình 5 năm của hai thời kỳ được thiết lập và sau đó bản đồ biến đổi NPP giữa hai thập niên được xác định bằng hiệu số hai ảnh trung bình của hai thời kỳ 1982-1986 và 2002-2006.



Hình 3. NPP trung bình của từng thời kỳ và sự biến động NPP trên phạm vi toàn cầu và Việt Nam

Trên phạm vi toàn cầu, sự biến động NPP sau 20 năm thể hiện xu thế tăng rõ rệt với khoảng giá trị từ 200 đến 300 gC/m²/năm ở khu vực Amazon, Trung Phi, Ấn Độ, Đông Trung Hoa và hầu hết Đông Nam Á trong khi ở các khu vực Myanmar, phía Nam Việt Nam, phía Đông Australia, Mexico, NPP thể hiện xu thế giảm rõ rệt với khoảng giá trị từ -100 đến -50 gC/m²/năm.

Đối với lãnh thổ Việt Nam, sự biến động của NPP khác biệt nhau tùy theo loại hình thảm phủ thực vật (hình 3), Đất nông nghiệp có xu thế NPP gia tăng rõ rệt (200 – 300 gC/m²/năm) ở hai đồng bằng

châu thổ lớn nhất trong khi NPP của đất nông nghiệp ở dải ven biển thể hiện xu thế giảm rõ rệt (-150 đến -100 gC/m²/năm). Rừng kín thường xanh và Xavan có cây thân gỗ ở Nam Trung Bộ thể hiện xu thế giảm mạnh NPP (-150 đến -100 gC/m²/năm) qua hai thập niên nghiên cứu trong khi ở miền Bắc, hai loại hình thảm phủ này có giá trị NPP thể hiện xu thế tăng khá rõ (100 đến 300 gC/m²/năm).

Các số liệu thống kê về biến động NPP của từng loại hình thảm phủ chính trong phạm vi lãnh thổ Việt Nam được tổ chức thành hai tham số là giá trị NPP trung bình theo không gian (đơn vị

gC/m²/năm) và giá trị tổng lượng NPP (đơn vị 10¹² gC/year) (bảng 3). Kết quả cho thấy duy nhất rừng lá rộng thường xanh (EBF) có xu thế tăng ở cả hai tham số này với phần trăm biến đổi giữa thời kỳ 2002-2006 và 2982-1986 của giá trị NPP trung bình

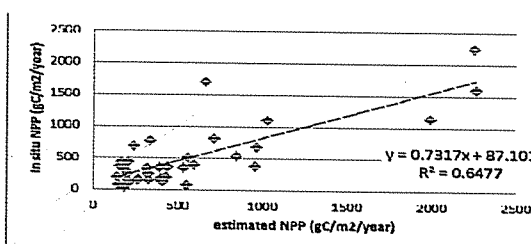
và tổng lượng NPP lần lượt là 6,1% và 7,9%, Hầu hết các loại hình thảm phủ khác đều cho thấy sự suy giảm cả hai giá trị NPP trung bình và tổng lượng NPP sau hai thập niên,

Bảng 3, NPP trung bình và tổng lượng NPP của các loại thảm phủ chính ở Việt Nam qua hai thời kỳ 1982-1986 và 2002-2006

Loại hình thảm phủ	Diện tích (1000 km ²)	NPP trung bình cho từng loại thảm phủ (gC/m ² /year)			Tổng lượng NPP của từng loại thảm phủ (10 ¹² gC/year)		
		Trung bình thời kỳ 1982-1986	Trung bình thời kỳ 2002-2006	Phần trăm biến đổi (%)	Trung bình thời kỳ 1982-1986	Trung bình thời kỳ 2002-2006	Phần trăm biến đổi (%)
Rừng lá rộng thường xanh (EBF)	119,8	1616,7	1715,5	6,1	194,83	210,14	7,9
Xavan có cây thân gỗ (WSV)	61,8	1108,3	990,4	-10,6	68,81	61,42	-10,7
Đất ngập nước thường xuyên (PWL)	13,2	697,2	636,8	-8,7	6,34	6,44	1,6
Đất nông nghiệp (CRL)	47,0	881,0	857,0	-2,7	34,23	33,84	-1,1
Đất nông nghiệp và thực vật tự nhiên hỗn giao (CVM)	76,4	994,4	866,8	-12,8	71,28	63,52	-10,9

Để kiểm chứng độ chính xác của mô hình, kết quả nghiên cứu đã được so sánh với dữ liệu NPP đo đạc thực địa (35 mẫu) từ nhiều loại thảm phủ trên thế giới (nguồn ORNL – bảng 1). Quá trình phân tích thống kê cho thấy hệ số tương quan (R) giữa số liệu NPP kết quả và số liệu thực đo là khá cao, R = 0,80 (R² = 0,647) (hình 4) và độ lệch trung tâm bias

= 65,1 gC/m²/năm, độ lệch chuẩn σ = 339 gC/m²/năm, Như vậy, độ chính xác của NPP tính toán so với dữ liệu thực địa có những số nhất định do nguyên nhân độ phân giải không gian và thời điểm lấy mẫu thực địa không trùng thời gian nghiên cứu, Tuy nhiên độ chính xác của kết quả mô hình hóa NPP là tương đối khả quan.



Hình 3. Sơ đồ lấy mẫu đo thực địa và biểu đồ kiểm nghiệm NPP

5. Kết luận

Dựa trên việc sử dụng mô hình sinh địa hóa CASA, dữ liệu viễn thám NDVI, bản đồ thảm phủ và dữ liệu khí tượng, năng suất sinh học sơ cấp (NPP) đã được mô hình hóa cho 10 năm ở hai thời kỳ 1982-1986 và 2002-2006 và sau đó sự biến động của NPP sau 20 năm được phân tích, Từ kết quả và

phân tích như trên, vài điểm kết luận chính có thể được rút ra như sau: 1) Trên phạm vi toàn cầu, NPP đạt giá trị cao ở vùng nhiệt đới với khoảng dao động từ 1700 – 2700 gC/m²/năm và đạt giá trị rất thấp ở vùng hoang mạc với khoảng dao động từ 0 - 150 gC/m²/năm, 2) Kết quả phân tích biến động sau 20 năm cho thấy tùy từng địa điểm NPP có thể tăng hoặc giảm với khoảng dao động từ -150 đến

300 gC/m²/năm trên phạm vi toàn cầu, 3) Đối với Việt Nam, NPP của đất nông nghiệp thể hiện giá trị tăng với khoảng biến thiên 200 – 300 gC/m²/năm ngoại trừ đất nông nghiệp ở dải ven biển thể hiện giá trị NPP giảm rõ rệt từ -150 đến -100 gC/m²/năm. Đối với đất rừng, vùng núi phía Bắc thể hiện giá trị

NPP tăng mạnh trong khi vùng Nam Trung Bộ thể hiện sự giảm mạnh giá trị NPP sau 20 năm (-150 đến -100 gC/m²/năm). Kết quả này đã củng cố bằng chứng về sự suy thoái rừng ngày một nghiêm trọng đang diễn ra ở Tây Nguyên và Nam Trung Bộ.

Tài liệu tham khảo

1. Berry, J., and Bjorkman, O, (1980), *Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants*, *Annu. Rev. Plant Physiol*, 31:491-543,
2. Field, C.B., Randerson, J.T, and Malmstrom, C.M., (1995), *Global net primary production: combining ecology and remote sensing*, *Remote Sensing of Environment*, 51, pp, 74–88,
3. Peng, S.L., Guo, Z.H, and Wang, B.S., (2000), *Use of GIS and RS to estimate the light utilization efficiency of the vegetation in Guangdong, China*, *Acta Ecologica Sinica*, 20, pp, 903–909,
4. Potter, C.S., Randerson, J.T., Field, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M., Mooney, H.A, and Klooster, S.A., (1993), *Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data*, *Global Biogeochemical Cycles*, 7, pp, 811–841,
5. Ruimy, A., Dedieu, G., and Saugier, B, (1994), *Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data*, *J. Geophys. Res*, 99:5263-5284,
6. Schulze, E.-D., and Chapin, F. S., III (1987), *Plant specialization to environments of different resource availability*, in *Potentials and Limitations in Ecosystem Analysis* (E. D. Schulze and H. Zwolfer, Eds.), Springer-Verlag, Berlin, pp, 120-148,
7. Yu, Deyong, Shi, Peijun, Shao, Hongbo, Zhu, Wenquan and Pan, Yaozhong (2009) 'Modeling net primary productivity of terrestrial ecosystems in East Asia based on an improved CASA ecosystem model', *International Journal of Remote Sensing*, 30: 18, 4851 — 4866

MODELING LONG TERM CHANGE OF NET PRIMARY PRODUCTIVITY USING SATELLITE DATA

Doan Ha Phong

Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology and Environment

Net Primary Productivity (NPP) is considered as one important component in global Carbon Cycle due to fact that this quantity indicates the exchange of CO₂ between atmosphere and vegetation, Based on using CASA (Carnegie Ames Stanford Approach) model, meteorological data and Normalized Difference Vegetation Index (AVHRR), the paper initially studies the changes of NPP over 2 periods 1982-1986 and 2002-2006, The results show that NPP performs a obviously increasing trend (100 - 300 gC/m²/year) in almost all cropland areas in Vietnam whereas in some forest lands in Vietnam, NPP shows a decreasing trend (-150 - 0 gC/m²/year) after 20 years.