

DOI:10.22144/ctu.jvn.2020.110

ĐÁNH GIÁ TỔNG SẢN LƯỢNG SƠ CẤP RỪNG RỪNG LÁ SỬ DỤNG MÔ HÌNH QUANG HỢP VÀ ẢNH VIỄN THĂM - TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU TẠI THÁI LAN

Phan Kiều Diễm^{1*}, Nguyễn Kiều Diễm¹ và Amnat Chithaisong²

¹ Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

²The Joint Graduate School of Energy and Environment, Center of Excellence on Energy Technology and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Phan Kiều Diễm (email: pkdiem@ctu.edu.vn)

ABSTRACT

This study aims to compare the estimated gross primary productivity (GPP) of dry dipterocarp forest at Ratchaburi, Thailand by using vegetation photosynthesis model (GPP_{VPM}) and remote sensing data MODIS MOD17A2 (GPP_{MODIS}) with observed GPP (GPP_{Obs}) in the period of 2010 – 2011. Data collected at eddy flux tower including the incident photosynthetically active radiation (PAR), temperature used to calculate temperature scalar in VPM model, net ecosystem exchange used to calculate the GPP_{Obs} . The land surface water index (LSWI) and enhance vegetation index (EVI) extracted from remote sensing imagery has been used to estimate water scalar (W_{Scalar}) and phenology scalar (P_{Scalar}), respectively in GPP of VPM model. In the other hand, GPP_{MODIS} has been extracted from MODIS MOD17A2 and removed the unreliable pixels. The results of comparison of GPP_{VPM} and GPP_{MODIS} with GPP_{Obs} showed that the VPM was more efficient ($R^2 = 0.75$; $RMSE = 2.34$; $MAE = 2.06$; $p < 0.001$) than the MODIS in estimating the GPP ($R^2 = 0.26$; $RMSE = 22.44$; $MAE = 18.45$). The further research on application of VPM to estimate GPP for different land use types should be concerned.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm so sánh giá trị tổng sản lượng sơ cấp (GPP) của đối tượng rừng rụng lá tại Ratchaburi, Thái Lan sử dụng mô hình quang hợp thực vật (GPP_{VPM}) và dữ liệu viễn thám MODIS MOD17A2 (GPP_{MODIS}) với dữ liệu thực đo (GPP_{Obs}) giai đoạn 2010 – 2011. Số liệu quan sát thu được từ tháp quan trắc bao gồm các dữ liệu về lượng bức xạ tới dùng trong quang hợp (PAR), nhiệt độ được sử dụng để tính toán ảnh hưởng của yếu tố nhiệt độ trong mô hình quang hợp thực vật (VPM), tổng sản lượng sơ cấp thuần để tính toán GPP_{Obs} . Các chỉ số nước bề mặt (LSWI), chỉ số thực vật tăng cường (EVI) trích xuất từ dữ liệu viễn thám phục vụ cho tính toán ảnh hưởng của nước (W_{scalar}) và giai đoạn phát triển của cây (P_{scalar}) đến GPP trong mô hình VPM. Song song, GPP_{MODIS} được trích xuất từ sản phẩm MOD17A2 và loại bỏ các điểm ảnh không đáng tin cậy. So sánh kết quả của hai phương pháp ước tính GPP với giá trị thực đo cho thấy mô hình VPM cho hiệu quả cao hơn ($R^2 = 0,75$; $RMSE = 2,34$; $MAE = 2,06$; $p < 0,001$) so với MODIS trong việc ước tính GPP ($R^2 = 0,26$; $RMSE = 22,44$; $MAE = 18,45$). Nghiên cứu tiếp theo về ứng dụng mô hình VPM tính toán GPP cho các đối tượng thực phủ khác nên được quan tâm.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 23/04/2020

Ngày nhận bài sửa: 08/06/2020

Ngày duyệt đăng: 28/10/2020

Title:

Evaluating the gross primary productivity of dry dipterocarp forest using vegetation photosynthesis model and remote sensing data: Case study in Thailand

Từ khóa:

Mô hình quang hợp, rừng rụng lá, tổng sản lượng sơ cấp, tỉnh Ratchaburi

Keywords:

Vegetation photosynthesis model, dry dipterocarp forest, gross primary production, Ratchaburi province

Trích dẫn: Phan Kiều Diễm, Nguyễn Kiều Diễm và Amnat Chithaisong, 2020. Đánh giá tổng sản lượng sơ cấp rừng rụng lá sử dụng mô hình quang hợp và ảnh viễn thám - Trường hợp nghiên cứu tại Thái Lan. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 56(5A): 42-51.

1 GIỚI THIỆU

Biến đổi khí hậu (BĐKH) bắt nguồn từ sự gia tăng các hoạt động tạo ra các chất thải khí nhà kính, các hoạt động khai thác quá mức các bể hấp thụ và bể chứa khí nhà kính như sinh khối, rừng, các hệ sinh thái biển, ven bờ và đất liền khác. Theo báo cáo khoa học lần thứ 4 của Ban liên chính phủ về BĐKH, nồng độ CO₂ đã lên đến 397ppm vào năm 2005 và đến nay đã lên đến 450ppm, nồng độ trung bình tăng là 1,4ppm mỗi năm vào thời kỳ 1960-2005 và 1,9ppm vào 10 năm 1995-2005, nay thì khoảng 2,0ppm (IPCC, 2007). Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra, trong các năm cực đoan như hạn hán, nhiệt độ tăng cao có thể làm thời điểm bắt đầu mùa vụ sinh trưởng của cây trồng trễ hơn so với năm bình thường khác (Cavaleri *et al.*, 2017), gây chết cây trồng hoặc khí hạn hán ở mức nghiêm trọng làm giảm năng suất sinh khối, giảm nhanh khả năng hấp thụ carbon của cây trồng (Cavaleri *et al.*, 2017). Tổng sản lượng sơ cấp (GPP) là tổng lượng hấp thụ carbon của thực vật thông qua quá trình quang hợp trên một đơn vị diện tích trong một khoảng thời gian nhất định (Nguyễn Văn Thêm, 2008). Sản lượng này được thực hiện từ sự chuyển đổi năng lượng ánh sáng thành sinh khối thực vật. Việc tính toán tổng sản lượng sơ cấp giúp cung cấp thông tin làm tăng cường sự hiểu biết của con người về phản ứng của hệ sinh thái trong điều kiện BĐKH hiện nay.

Trong số các mô hình tính toán GPP, mô hình quang hợp thực vật (VPM) được coi là mô hình tiềm năng đang được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu như ước tính GPP tại khu vực rừng lá rộng Harvard, Hoa Kỳ (Xiao *et al.*, 2004); ước tính trao đổi Carbon giữa khí quyển với các hệ sinh thái khác nhau khu vực phía Nam Hoa Kỳ (Mahadevan *et al.*, 2005); đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến quang hợp trong các hệ sinh thái rừng thường xanh, rừng hỗn giao, rừng rụng lá ở Thượng Hải, Trung Quốc (Jia *et al.*, 2016). Mặt khác, với sự phát triển của công nghệ viễn thám hiện nay, các ảnh chụp từ vệ tinh cho phép

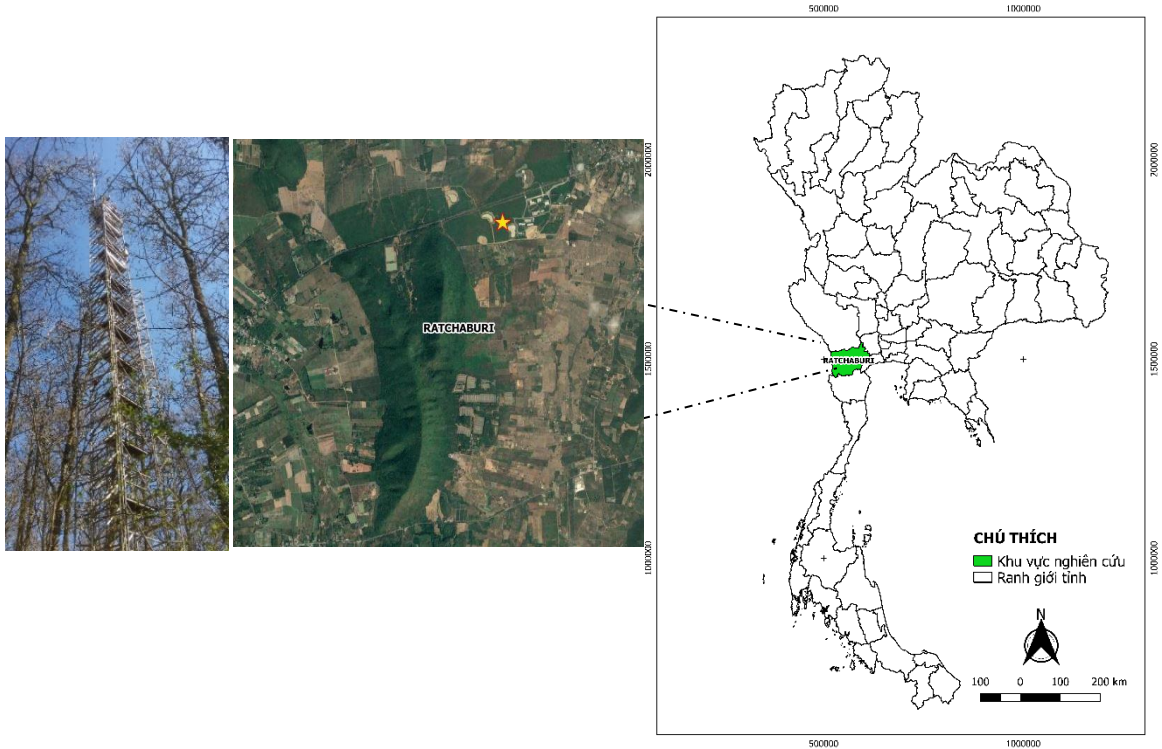
mô tả cấu trúc thảm thực vật (MODIS MOD15A2), ước tính giá trị GPP (MOD17A2) trên diện rộng và liên tục trong nhiều thời điểm, theo dõi sự hấp thụ CO₂ của bề mặt (Xiao *et al.*, 2010; Hanes, 2014; Wang *et al.*, 2010). Do đó, việc áp dụng và tìm ra phương pháp đánh giá biến đổi GPP của hệ sinh thái ở khu vực nhiệt đới là cần thiết.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Khu vực nghiên cứu

Thái Lan hiện đang vận hành một mạng lưới các tháp quan trắc sử dụng để đo lường khí như hơi nước, carbon dioxide (CO₂), dòng năng lượng trao đổi giữa hệ sinh thái và khí quyển trên mặt đất. Một số thông số khí tượng bao gồm tốc độ gió, hướng gió, độ ẩm tương đối và nhiệt độ cũng được đo đạc tại các tháp này. Hoạt động đo đạc được thực hiện theo nguyên lý hiệp phương sai (EC) (Kumar *et al.*, 2017), kỹ thuật này đã trở thành một công cụ phổ biến để đánh giá trao đổi CO₂ ròng (hoặc các loại khí khác) từ hệ sinh thái vào khí quyển. Ratchaburi là tỉnh nằm ở phía tây Thái Lan với diện tích khoảng 5.196,5 km², diện tích rừng rụng lá vào khoảng 88,9 ha, rừng ở độ tuổi 6 – 7 tuổi, trung bình chiều cao cây là 5,97 m và đường kính ngang ngực 6,59 cm. Tháp quan trắc nằm ở vị trí 13° 35' 13.3" N, 99° 30' 3.9" E, được xây dựng với chiều cao 11 m so với mặt đất, nhiệt độ và lượng mưa trung bình trong suốt giai đoạn nghiên cứu lần lượt là 27°C và 1.042 mm (Sanwangsri *et al.*, 2017) (Hình 1). Loại thực phủ rừng khộp và nửa rụng lá chiếm ưu thế tại khu vực với các loài như *Dipterocarpus intricatus*, *D. obtusifolius*, *D. tuberculatus*, *Shorea obtusa*, và *S. siamensis* (Dipterocarpaceae).

Nghiên cứu này thực hiện ước tính GPP tại rừng rụng lá Ratchaburi sử dụng hai phương pháp khác nhau, từ mô hình VPM và từ dữ liệu MODIS MOD17A2 nhằm so sánh và đánh giá độ chính xác của từng phương pháp so với số liệu thực đo tại vị trí quan trắc cùng thời điểm.



Hình 1: Mô tả khu vực nghiên cứu và tháp quan trắc tại tỉnh Ratchaburi, Thái Lan

2.2 Dữ liệu

2.2.1 Dữ liệu đo từ tháp quan trắc tại Ratchaburi

Dữ liệu thu được tại trạm quan trắc phục vụ trong đề tài bao gồm:

- Nhiệt độ cao nhất, nhiệt độ thấp nhất được dùng để tính ảnh hưởng của nhiệt độ trong quá trình quang hợp (T_{scalar}) trong mô hình VPM.
- Lượng bức xạ tới dùng trong quang hợp (PAR).
- Sản lượng CO_2 trao đổi thuần (NEE, net ecosystem exchange) và lượng hô hấp hệ sinh thái (RE, Ecosystem respiration) được sử dụng để tính GPP_{Obs} .

2.2.2 Dữ liệu ảnh MODIS

Sản phẩm MODIS MOD17A2

Sản phẩm MODIS MOD17A2 cung cấp thông tin về tổng sản lượng sơ cấp (GPP) tổ hợp 8 ngày, với kích thước điểm ảnh 500 m. Sản phẩm MOD17A2 bao gồm 3 lớp thông tin chứa dữ liệu về tổng sản lượng sơ cấp (GPP), tổng sản lượng sơ cấp thuần (NPP) và lớp kiểm soát chất lượng ảnh (QC). Sản phẩm MOD17A2 chỉ cung cấp thông tin lượng

hấp thụ Carbon cho các điểm ảnh có thực vật bao phủ trên bề mặt và trực tiếp loại bỏ vị trí trên bề mặt chứa các đối tượng không hấp thụ carbon.

MODIS MOD09

Nghiên cứu sử dụng sản phẩm MODIS phản xạ bề mặt (MOD09) với MOD09Q1 độ phân giải không gian 250 m và MOD09A1 độ phân giải không gian 500 m tổ hợp 8 ngày giai đoạn 2010 - 2011. MOD09 bị ảnh hưởng bởi che phủ mây làm hạn chế khả năng khai thác thông tin từ mặt đất, do đó phương pháp loại bỏ mây che và thay thế các điểm ảnh bị ảnh hưởng được áp dụng (Hoan *et al.*, 2013) nhằm cung cấp bộ dữ liệu ảnh đã xử lý mây. Các chỉ số EVI, LSWI là các thông số trong mô hình quang hợp thực vật (VPM) được tính toán từ ảnh viễn thám sau khi xử lý mây và được giải thích chi tiết trong phần phương pháp (Phần 2.3.1).

2.3 Phương pháp tính toán GPP

2.3.1 Ước tính GPP sử dụng mô hình quang hợp thực vật (GPP_{VPM})

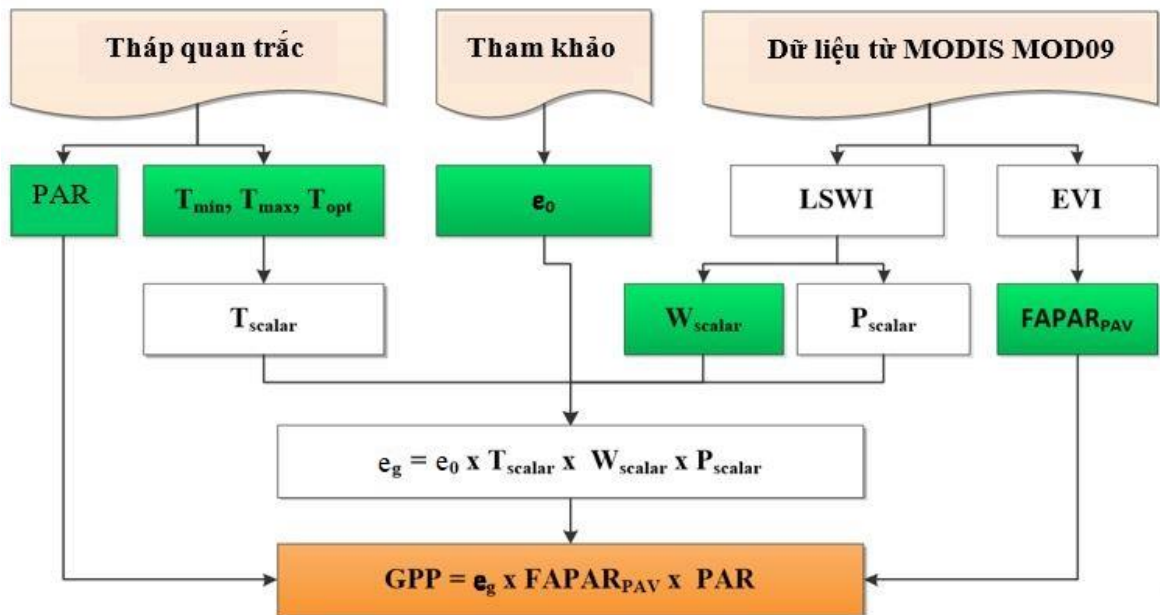
Kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy các chỉ số thực vật có thể sử dụng hiệu quả làm thông số đầu vào cho những mô hình tính toán thay đổi Carbon hàng năm (Mahadevan *et al.*, 2005; Jia *et al.*, 2016).

Các mô hình ước tính tổng sản lượng sơ cấp (GPP) sử dụng kết hợp các thông số như lượng ánh sáng hữu ích trong quang hợp (LUE), yếu tố ảnh hưởng của nhiệt độ, nước trong các giai đoạn phát triển của cây trồng đã được ứng dụng rộng rãi (Behrenfeld *et al.*, 2001; Potter *et al.*, 1993). Mô hình quang hợp thực vật (VPM) được đánh giá là mô hình phù hợp được đề xuất bởi Xiao *et al.* (2004) để ước tính GPP trong giai đoạn thực vật sinh trưởng và phát triển. Theo Xiao *et al.* (2004), thực vật gồm có các bộ phận có khả năng quang hợp như tán lá (PAV, bộ phận chứa các lục lạp) và bộ phận không tham gia quá trình quang hợp (NPV, chủ yếu là bộ phận cành và thân cây). Sự hấp thụ bức xạ sử dụng cho cây trồng (FAPAR) bao gồm lượng bức xạ tới dùng trong quang hợp (PAR) được hấp thụ bởi tán cây $FAPAR_{PAV}$ và bộ phận khác $FAPAR_{NPV}$ (1):

$$FAPAR = FAPAR_{PAV} + FAPAR_{NPV} \quad (1)$$

Trong đó: $FAPAR_{PAV}$ và $FAPAR_{NPV}$ đại diện cho một phần của PAR hấp thụ bởi bộ phận tán lá (PAV) và bộ phận khác (NPV) của cây. Lưu ý, chỉ phần năng lượng hấp thụ bởi PAV ($FAPAR_{PAV}$) được sử dụng cho quang hợp và được xem xét trong mô hình.

Dựa trên sự phân chia khái niệm của NPV và PAV trong lá và tán cây, Xiao *et al.* (2004) đã đề xuất mô hình VPM với một số thông số trích xuất từ dữ liệu vệ tinh để ước tính GPP trong giai đoạn thực vật hoạt động quang hợp. Mô hình được mô tả chi tiết trong Hình 2, công thức 2 và GPP được tính toán từ mô hình được ký hiệu là GPP_{VPM} .



Hình 2: Mô hình VPM tính toán tổng sản lượng sơ cấp (GPP_{VPM}) sử dụng dữ liệu viễn thám và dữ liệu khí tượng tại điểm nghiên cứu

Mô hình đã được thử nghiệm tại vị trí tháp quan trắc ở tỉnh Ratchaburi cho đối tượng rừng rụng lá giai đoạn 2010 – 2011.

$$GPP_{VPM} = e_g \times FAPAR_{PAV} \times PAR \quad (2)$$

Trong đó:

– PAR là lượng bức xạ dùng trong quang hợp ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), dữ liệu được thu thập tại tháp quan trắc.

– e_g là lượng ánh sáng hữu ích dùng trong quang hợp. e_g chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố nhiệt

độ (T), lượng nước (W) và quá trình sinh trưởng của thực vật theo mùa (P) và được tính theo công thức:

$$e_g = \epsilon_0 * T_{\text{scalar}} * W_{\text{scalar}} * P_{\text{scalar}} \quad (3)$$

– Lượng ánh sáng tối ưu cho cây trồng (ϵ_0), trong mô hình VPM ϵ_0 được ước tính cho từng quần xã sinh vật bằng cách sử dụng kết hợp chỉ số EVI (EVI_{max}) và suất phản chiếu (Albedo_{min}) (Wang *et al.*, 2010). Suất phản chiếu và chỉ số EVI được tính toán từ 3 kênh phổ nhìn thấy của ảnh MODIS MOD09A1: kênh xanh dương (459 - 478 nm), kênh đỏ (620 - 670 nm) và kênh cận hồng ngoại (841 - 875 nm) theo công thức:

$$\text{Albedo} = 0,331\text{Blue} + 0,42 \text{ Red} + 0,246 \text{ NIR} \quad (4)$$

$$\text{EVI} = 2,5 \frac{\text{NIR}-\text{RED}}{1+\text{NIR}+6\text{RED}-7,5\text{BLUE}} \quad (-1 \leq \text{EVI} \leq 1) \quad (5)$$

$$\epsilon_0 = \exp(1,428 \text{EVI}_{\max} - 6,295\text{Albedo}_{\min} - 1,211) \quad (6)$$

Giá trị EVI tối đa (EVI_{\max}) và giá trị tối thiểu của suất phản chiếu (Albedo_{\min}) trong mùa sinh trưởng được trích xuất từ dữ liệu viễn thám MOD09A1 sau khi đã loại bỏ và thay thế các điểm ảnh bị mây. Các chỉ số được trích xuất và tính toán cho 3x3 pixels (1,5x1,5 km²) lấy tọa độ tháp quan trắc làm trung tâm (Wang *et al.*, 2010). Qua tham khảo từ các nghiên cứu có liên quan (Diem *et al.*, 2018), giá trị lượng ánh sáng tối ưu cho rừng rụng lá $\epsilon_0 = 0,036 \mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol PAR}$ ($\epsilon_0 = 0,43\text{gC}/\mu\text{mol PAR}$) tại vị trí Ratchaburi được sử dụng trong nghiên cứu này.

– T_{Scalar} đại lượng thể hiện cho ảnh hưởng của nhiệt độ đến lượng ánh sáng hữu ích sử dụng trong quá trình quang hợp của thực vật. T_{Scalar} được ước tính dựa vào nhiệt độ tại mỗi thời điểm tính toán (T), nhiệt độ cao nhất (T_{\max}), thấp nhất (T_{\min}) và nhiệt độ tối ưu của cây trồng (T_{opt}) (Raich *et al.*, 1991):

$$T_{\text{Scalar}} = ((T-T_{\min})(T-T_{\max}))/((T-T_{\min})(T-T_{\max}) - (T-T_{\text{opt}})^2) \quad (7)$$

– P_{Scalar} thể hiện cho ảnh hưởng của mỗi giai đoạn mùa vụ sinh trưởng của cây đến quá trình quang hợp. P_{Scalar} được tính theo 2 giai đoạn (Xiao *et al.*, 2004) trong quá trình đâm chồi cho đến giai đoạn tán lá khép kín trong một mùa sinh trưởng ($P_{\text{scalar}} = (1+\text{LSWI})/2$) và giai đoạn về sau ($P_{\text{scalar}} = 1$)

– W_{Scalar} là chỉ số thể hiện sự ảnh hưởng của lượng nước mà thực vật sử dụng trong quá trình quang hợp, đại lượng này thay đổi theo mùa, và được tính bởi công thức (Xiao *et al.*, 2004)

$$W_{\text{scalar}} = (1 + \text{LSWI})/(1 + \text{LSWI}_{\max}) \quad (8)$$

LSWI_{\max} là giá trị cực đại của chỉ số nước bề mặt. Chỉ số nước bề mặt (LSWI) được tính theo công thức:

$$\text{LSWI} = \frac{\text{NIR}-\text{SWIR}}{\text{NIR}+\text{SWIR}} \quad (-1 \leq \text{LSWI} \leq 1) \quad (\text{Xiao et al., 2004}) \quad (9)$$

Mô hình VPM giả thuyết thực vật gồm có các bộ phận có khả năng quang hợp như tán lá (PAV, bộ phận chứa các lục lạp) và bộ phận không tham gia

quá trình quang hợp (NPV, chủ yếu là bộ phận cành và thân cây). Sự hấp thụ bức xạ sử dụng cho cây trồng (FAPAR) bao gồm lượng bức xạ tới dùng trong quang hợp (PAR) được hấp thụ bởi tán cây $\text{FAPAR}_{\text{PAV}}$ và bộ phận khác $\text{FAPAR}_{\text{NPV}}$:

$$\text{FAPAR} = \text{FAPAR}_{\text{PAV}} + \text{FAPAR}_{\text{NPV}} \quad (10)$$

Trong đó: $\text{FAPAR}_{\text{PAV}}$ và $\text{FAPAR}_{\text{NPV}}$ đại diện cho một phần của PAR hấp thụ bởi bộ phận tán lá (PAV) và bộ phận khác (NPV) của cây. Chỉ phần năng lượng hấp thụ bởi PAV ($\text{FAPAR}_{\text{PAV}}$) được sử dụng cho quang hợp và được xem xét trong mô hình.

– $\text{FAPAR}_{\text{PAV}}$ là lượng bức xạ tới hấp thụ bởi thành phần cây trồng trong giai đoạn hoạt động quang hợp, nghiên cứu này $\text{FAPAR}_{\text{PAV}}$ thể hiện bởi chỉ số thực vật tăng cường EVI được tính theo công thức (5) của Xiao *et al.* (2004).

2.3.2 Ước tính GPP sử dụng sản phẩm ảnh MODIS MOD17A2

Sản phẩm MODIS MOD17A2 được tải từ trang web <https://earthexplorer.usgs.gov> để trích xuất tổng sản lượng sơ cấp, sử dụng lớp kiểm soát chất lượng (QC) để kiểm tra và loại bỏ tất cả các điểm ảnh không đáng tin cậy trên lớp dữ liệu chứa giá trị GPP. Chỉ những điểm ảnh chứa dữ liệu $\text{GPP}_{\text{MODIS}}$ đáng tin cậy được giữ lại và sử dụng trong các tính toán, đánh giá tiếp theo.

Giai đoạn 2010 – 2011, tổng cộng 92 ảnh MODIS MOD17A2 được thu thập và xử lý tính toán. $\text{GPP}_{\text{MODIS}}$ của điểm ảnh tại vị trí tháp quan trắc rừng rụng lá Ratchaburi được trích xuất theo chuỗi thời gian 8 mỗi ngày. Các giá trị số cần được chuyển đổi về đúng giá trị GPP bằng cách nhân với hệ số quy đổi (0,0001). Đồng thời, chuyển đổi đơn vị giá trị GPP từ kg C/m² sang đơn vị g C/m² nhằm phục vụ trong so sánh, đánh giá với kết quả thực đo.

2.3.3 Tính toán GPP tại trạm quan trắc

GPP tại trạm quan trắc GPP_{Obs} được tính theo công thức (11):

$$\text{GPP}_{\text{Obs}} = -\text{NEE} + \text{RE} \quad (\text{Yu et al., 2008}) \quad (11)$$

Trong đó, NEE là sản lượng CO₂ trao đổi thuần được đo bằng phương pháp phương sai rồi EC (eddy covariance) và RE là lượng CO₂ hô hấp của hệ sinh thái (Sanwangsri, 2017). Toàn bộ dữ liệu NEE và RE được xử lý và loại bỏ số liệu bất thường trước khi tính toán GPP hàng ngày, sau đó được tổng hợp theo khoảng thời gian 8 ngày phù hợp với dữ liệu ảnh MODIS tổ hợp 8 ngày. Giá trị GPP_{Obs} được sử dụng để đánh giá hiệu quả các phương pháp ước tính

GPP mô hình VPM và trích xuất từ MODIS MOD17A2.

2.4 Phương pháp đánh giá hiệu quả các mô hình ước tính GPP

Giá trị GPP thực đo từ tháp quan trắc (GPP_{Obs}) được sử dụng để so sánh và đánh giá sự phù hợp của GPP_{VPM} và GPP_{MODIS} . Các chỉ số RMSE (sai số bình phương trung bình gốc), MAE (sai số tuyệt đối trung bình) cho biết mức độ phân tán các giá trị dự đoán từ các giá trị thực tế, và R^2 (hệ số xác định) được sử dụng trong đánh giá (Wagle *et al.*, 2014). Giá trị các chỉ số RMSE và MAE được tính theo công thức:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_j (GPP_{Obs} - GPP_{VPM/MODIS})^2}{j}} \tag{11}$$

$$MAE = \left[\frac{\sum_j |GPP_{Obs} - GPP_{VPM/MODIS}|}{j} \right] \tag{12}$$

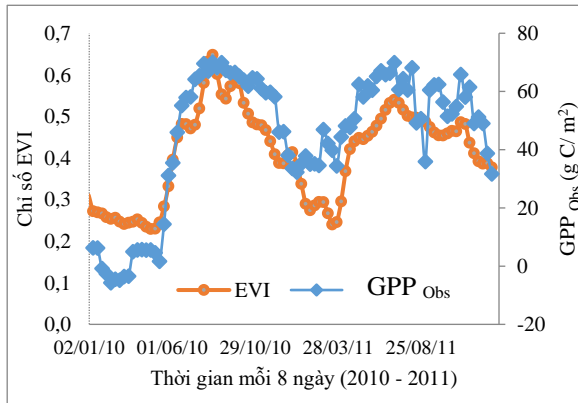
Trong đó, j là tổng số cặp giá trị quan sát. Hệ số xác định R^2 được tính dựa trên việc thành lập

phương trình hồi quy tuyến tính giữa GPP_{Obs} lần lượt với GPP_{MODIS} và GPP_{VPM} . R^2 biểu thị mức độ tương quan số liệu giữa GPP_{Obs} và GPP_{VPM} , giữa GPP_{Obs} và GPP_{MODIS} . Giá trị R^2 dao động từ 0 đến 1, trong đó nếu R^2 càng tiến gần 1 thì tương quan tuyến tính giữa 2 biến càng cao.

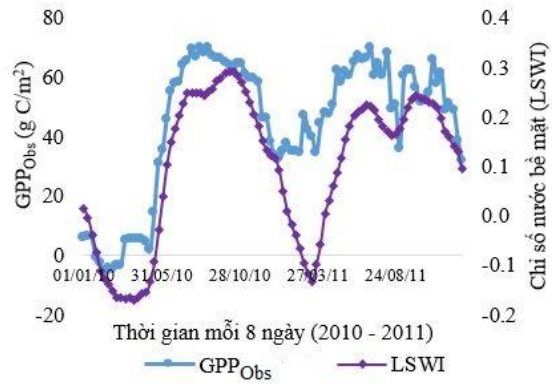
3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Đánh giá tổng sản lượng sơ cấp (GPP) từ mô hình VPM

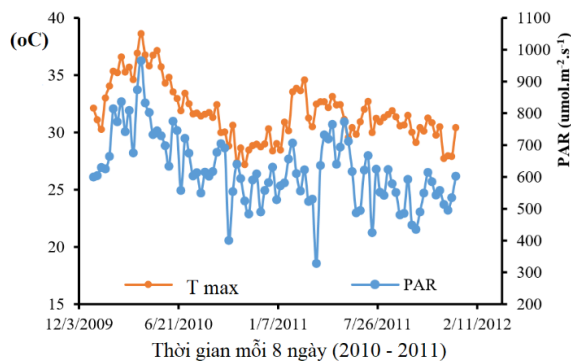
Quá trình sinh trưởng và phát triển của thực vật ảnh hưởng đến mức độ và khả năng hấp thu Carbon được đặc trưng bởi các chỉ số thực vật tăng cường (EVI), chỉ số nước bề mặt (LSWI), nhiệt độ không khí và lượng bức xạ tới dùng trong quang hợp (PAR). Kết quả tính toán chuỗi giá trị các chỉ số tại vị trí quan trắc Ratchaburi giai đoạn 2010 – 2011 được thể hiện qua Hình 3 nhằm đánh giá sự biến động từ các yếu tố trong môi liên hệ với sự thay đổi GPP.



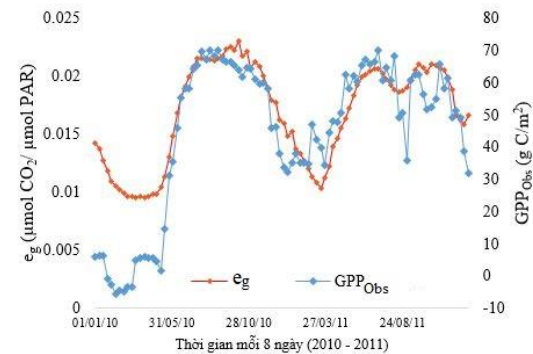
a) Chỉ số EVI



b) Chỉ số LSWI



c) T (°C) và PAR

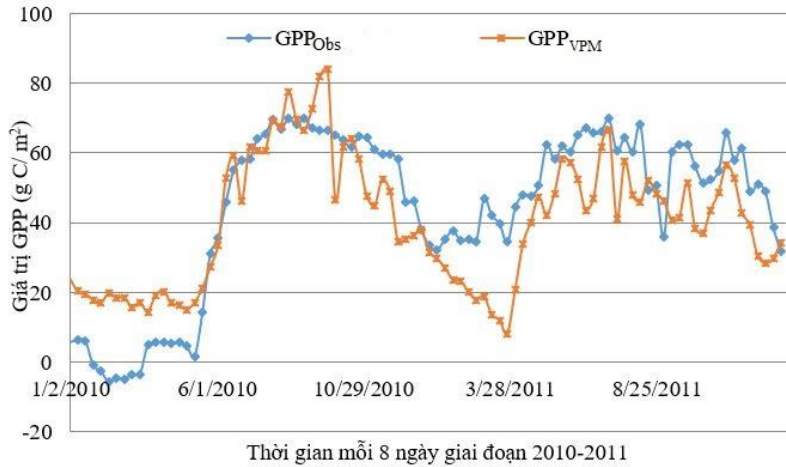


d) Hiệu quả sử dụng ánh sáng (e_g)

Hình 3: Diễn biến theo mùa của GPP_{Obs} và các chỉ số EVI, LSWI, PAR, T(°C), e_g

Giai đoạn 2010 - 2011, tại vị trí rừng rụng lá Ratchaburi, GPP_{Obs} tăng dần từ tháng 5 và đạt giá trị cao nhất vào khoảng tháng 7. GPP_{Obs} tại các tháng mùa khô giảm mạnh so với các thời điểm còn lại trong năm. Kết quả đã chỉ ra giá trị GPP_{Obs} giảm khi chỉ số nước bề mặt (LSWI) và chỉ số thực vật (EVI) ở mức giá trị thấp, $LSWI < 0$ và $0,2 < EVI < 0,3$

(Hình 3a, 3b), đồng thời từ tháng 1 đến tháng 4 nhiệt độ tăng cao hơn so với mức bình thường, đỉnh điểm ở mức $38,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 3c), vào thời gian này cây gân như rụng lá hoàn toàn để tránh hiện tượng mất nước do bốc thoát qua lá cây, do vậy lượng ánh sáng dùng trong quá trình quang hợp và GPP cũng giảm đáng kể (Hình 3d).



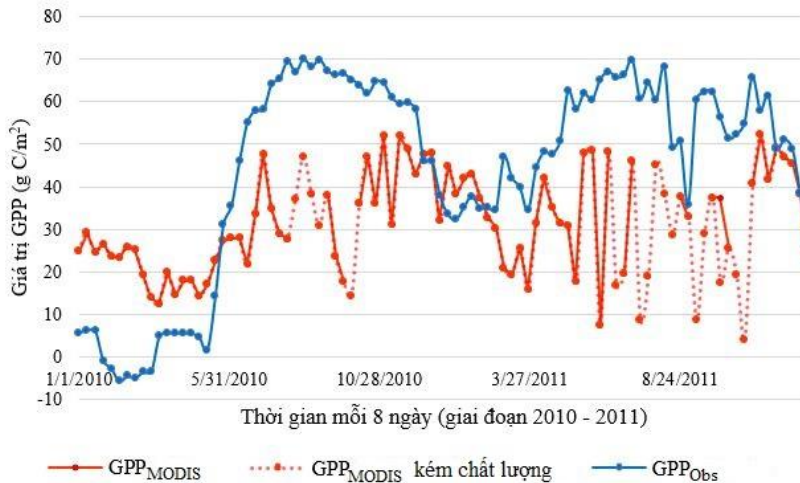
Hình 4: Biến động giá trị GPP_{VPM} và GPP_{Obs} tại vị trí nghiên cứu Ratchaburi giai đoạn 2010 – 2011

Trong năm 2010 (năm hạn hán, El Niño), nhiệt độ tăng cao bất thường tại thời điểm tháng 2 – tháng 4 mùa khô diễn ra mạnh mẽ, giá trị GPP_{VPM} và GPP_{Obs} đều giảm đến thấp nhất (Hình 4). Một số nghiên cứu cho thấy nhiệt độ tăng cao bất thường được tìm thấy vào năm 2010 trong giai đoạn El Nino yếu, sau đó nó giảm xuống vào năm 2011 trong giai đoạn La Niña yếu (Friedl *et al.*, 2014; Wolf *et al.*, 2016). Giá trị GPP_{Obs} tăng dần từ tháng 5 và đạt cao nhất vào cuối tháng 7 đầu tháng 8 (GPP tương đương 70 g C/m^2) trong khi mô hình VPM ước tính được GPP vào khoảng 80 g C/m^2 cùng thời điểm

quan sát. Đây là thời gian thực vật phát triển tốt nhất trong điều kiện nhiệt độ và lượng mưa phù hợp.

3.2 Đánh giá tổng sản lượng sơ cấp GPP từ dữ liệu ảnh MODIS

Chuỗi dữ liệu GPP được trích xuất từ sản phẩm ảnh MODIS MOD17A2 (GPP_{MODIS}) tại vị trí nghiên cứu Ratchaburi bao gồm 92 ảnh tổ hợp 8 ngày trong giai đoạn 2010 – 2011. Đường cong các giá trị được thể hiện trong biểu đồ Hình 5 và được đánh giá như sau:



Hình 5: Biến động chuỗi giá trị GPP_{MODIS} so với GPP_{Obs}

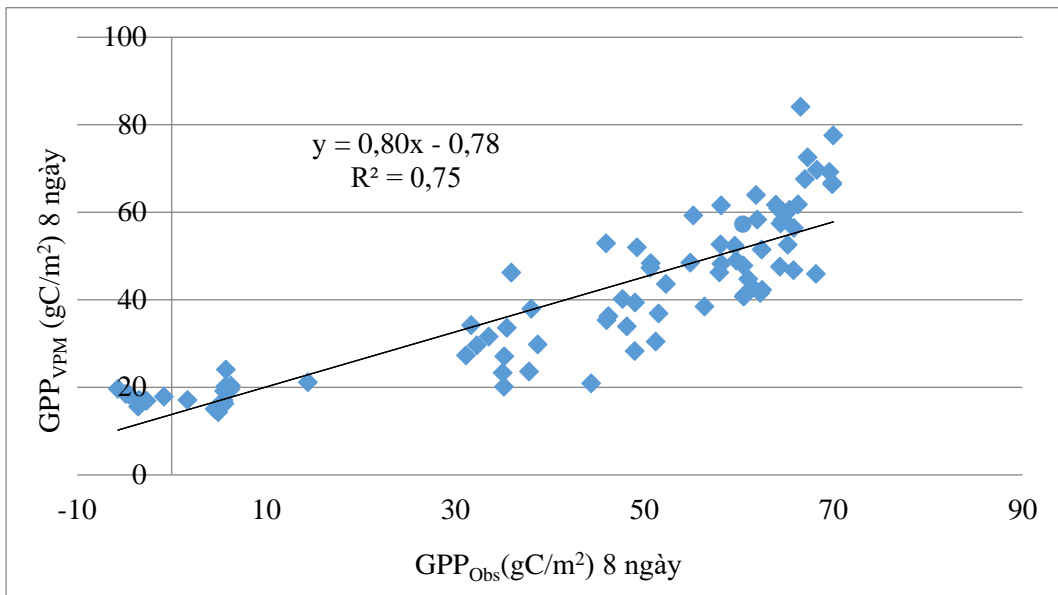
Vào các tháng mùa khô (từ tháng 1 – tháng 4), dữ liệu ảnh được thu nhận liên tục và GPP_{MODIS} (đường màu đỏ) tính được dao động ở khoảng giá trị thấp (20 – 30 g C/m²). Trong khi đó, GPP_{MODIS} bắt đầu tăng trở lại trong giai đoạn chuyển đổi sang mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 11), tuy nhiên điểm ảnh kém chất lượng trong giai đoạn này khá nhiều do ảnh hưởng của thời tiết như mây, mưa nên tương quan so với GPP_{Obs} nhìn chung khá thấp. Cụ thể, trong quá trình loại bỏ các điểm ảnh không đáng tin cậy, có tổng cộng 13 trong tổng số 92 giá trị điểm ảnh nằm ở vùng dữ liệu chất lượng kém (đường nét đứt trên biểu đồ) đã được xác nhận bởi lớp kiểm soát chất lượng (QC), thời điểm tập trung vào mùa mưa đang kéo dài và đỉnh điểm (từ tháng 7 đến tháng 10)

ảnh hưởng lớn đến chất lượng ảnh chụp kéo theo sự biến động GPP không theo một quy luật cụ thể.

3.3 Đánh giá tương quan kết quả GPP_{Obs} so với các phương pháp ước tính GPP_{VPM} và GPP_{MODIS}

* GPP_{Obs} và GPP_{VPM}

Tại một số thời điểm trên biểu đồ, các cặp giá trị GPP lại có sự chênh lệch. Do đó, đánh giá hiệu quả sử dụng mô hình tính toán để xem xét tương quan số liệu và hiệu quả sử dụng mô hình thông qua phương trình hồi quy tuyến tính và tính toán các sai số RMSE, MAE được thực hiện. Có tổng 92 cặp giá trị GPP_{Obs} và GPP_{VPM} trong giai đoạn 2010 – 2011 được sử dụng trong phương trình (Hình 6).



Hình 6: Phương trình hồi quy tuyến tính giữa GPP_{VPM} và GPP_{Obs} tại điểm nghiên cứu Ratchaburi giai đoạn 2010 – 2011

Kết quả đánh giá cho thấy hiệu quả tương đối cao của việc sử dụng mô hình VPM tính toán GPP đối với GPP_{Obs} với hệ số xác định $R^2 = 0,75$, $RMSE=2,34$, $MAE=2,06$, $N=92$, $p<0,001$ tại điểm nghiên cứu Ratchaburi.

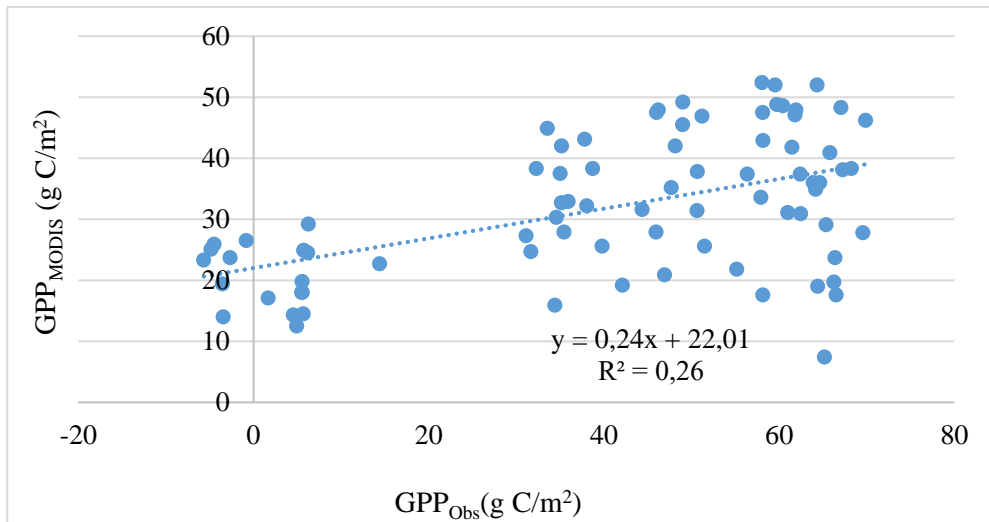
* GPP_{Obs} và GPP_{MODIS}

GPP_{MODIS} bị ảnh hưởng tiêu cực bởi điều kiện thời tiết và khí hậu. Có 79 cặp giá trị dữ liệu được sử dụng đánh giá tương quan giữa GPP_{MODIS} và GPP_{Obs} nhằm xem xét khả năng tính toán GPP khi sử dụng phương pháp ảnh viễn thám, 13 cặp giá trị chất lượng trong vùng chất lượng kém không được sử dụng trong đánh giá tương quan, kết quả phương trình hồi quy tuyến tính thể hiện trong Hình 7.

Kết quả thể hiện mối quan hệ thấp giữa 2 biến, mức độ kém hiệu quả khi sử dụng ảnh MODIS tính toán giá trị GPP so với GPP_{Obs} tại trạm quan trắc. Các cặp giá trị phân tán ở các khu vực khác nhau thay vì phân bố dọc theo đường hồi quy tuyến tính. Do đó, kết quả đã chỉ ra hiệu quả thấp ($R^2 = 0,26$; $RMSE = 22,44$; $MAE = 18,45$) khi sử dụng MODIS tính toán GPP trong giai đoạn này. Nguyên nhân của sự sai lệch của dữ liệu GPP_{MODIS} còn chịu ảnh hưởng bởi sự thay đổi điều kiện thời tiết thất thường trong giai đoạn xảy ra hiện tượng El Niño và La Niña (2010 – 2011). Tuy nhiên, so sánh tương quan giữa GPP_{MODIS} với GPP_{Obs} trong mùa khô từ tháng 1 đến tháng 5 cho thấy hệ số tương quan khá cao ($R^2 = 0,68$), điều này cho thấy GPP_{MODIS} nên được cân nhắc để sử dụng trong trường hợp không có dữ liệu

khác tin cậy hơn nhưng cần quan tâm chọn lọc các điểm ảnh chất lượng và xem xét thời điểm thu ảnh. Do giới hạn về số liệu, đề tài này chỉ sử dụng số liệu tại một trạm quan trắc nên chưa thấy rõ mối tương

quan của GPP_{MODIS} và GPP_{Obs} , các nghiên cứu đánh giá hiệu quả số liệu GPP_{MODIS} nên được quan tâm và thực hiện tại nhiều trạm quan trắc hơn và trên nhiều đối tượng cây trồng khác nhau.



Hình 7: Phương trình hồi quy tuyến tính giữa GPP_{MODIS} và GPP_{Obs}

4 KẾT LUẬN

Các phương pháp sử dụng ước tính giá trị GPP đã thể hiện được biến động chuỗi giá trị GPP trên hiện trạng rừng rụng lá giai đoạn 2010 – 2011 tại Ratchaburi. Trong đó, GPP_{Obs} thể hiện rõ mối quan hệ chặt chẽ giữa các yếu tố thành phần sử dụng trong mô hình VPM (LSWI, EVI, PAR và lượng ánh sáng hữu ích dùng trong quang hợp), chứng tỏ các tham số của mô hình VPM là phù hợp. Kết quả đánh giá biến động GPP năm 2010-2011 từ cả hai phương pháp cho thấy, GPP bắt đầu tăng trong khoảng thời gian từ tháng 5, 6 kéo dài đến tháng 12, sau đó giảm dần và GPP thấp nhất và khoảng tháng 3, 4, và tháng 5, thời gian nóng nhất trong năm. GPP ước tính từ ảnh MODIS MOD17A2 xu hướng tăng giảm theo hướng tương tự như GPP trong mô hình VPM. Tuy nhiên, suốt thời gian mùa mưa diễn ra mạnh mẽ, chất lượng ảnh chụp chịu tác động từ thời tiết và khí hậu, GPP_{MODIS} không được đánh giá cao. So sánh kết quả GPP_{VPM} và GPP_{MODIS} với giá trị GPP_{Obs} cho thấy hiệu quả sử dụng mô hình VPM đạt hiệu quả cao hơn so với dữ liệu từ ảnh MODIS. GPP_{VPM} có thể hỗ trợ trong việc theo dõi phản ứng của cây trồng trong điều kiện biến đổi khí hậu đặc biệt là hiện tượng cực đoan xảy ra ngày càng nhiều.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., McClain, C. R., et al., 2001. Biospheric primary production during an ENSO transition. *Science*, 291, 2594–2597

Cavaleri, M. A., Coble, A. P., Ryan, M. G., et al., 2017. Tropical rainforest carbon sink declines during El Niño as a result of reduced photosynthesis and increased respiration rates. *The New Phytologist*. 216(1): 136–149. <https://doi.org/10.1111/nph.14724>

Diem, P K., Chidthaisong, A., Varnakovid, P., and Kaewthongrach, R., 2018. Estimating the gross primary production of secondary dry dipterocarp forest using vegetation photosynthesis model. In 7th International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2018): Technology & Innovation for Global Energy Revolution 28-30 November 2018, Bangkok, Thailand. pp. 397–400

Friedl, M. a, Gray, J. M., Melaas, E. K., et al., 2014. A tale of two springs: using recent climate anomalies to characterize the sensitivity of temperate forest phenology to climate change. *Environmental Research Letters*. 9(5): 054006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/5/054006>

Hanes, J. M., 2014. *Biophysical Applications of Satellite Remote Sensing. Remote Sensing of Forest Biomass*. Springer. Berlin. 236. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25047-7>

Hoan, N. T., and Tateishi, R., 2013. *Global MODIS 250 m dataset for 10 years (2003- 2012)*. User’s manual. Center for Environmental Remote Sensing (CEReS) Chiba University. pp. 20.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the*

- Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Jia, W. X., Liu, M., She, Q. N., et al., 2016. Optimization and evaluation of key photosynthesis parameters in forest ecosystems based on FLUXNET data and VPM model. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 27(4): 1095–1102. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201604.010>
- Kumar, A., Bhatia, A., Fagodiya, R.K., Malyan, S.K., and Meena, B.L., 2017. Eddy covariance flux tower: a promising technique for greenhouse gases measurement. *Advances in Plants and Agriculture Research*. 7(4): 337-340. DOI: 10.15406/apar.2017.07.00263
- Mahadevan, P., Matross, D. M., Wofsy, S. C., et al., 2005. Modeling Large-Scale Biosphere NEE by Integrating Satellite Images and Climate Data – Vegetation Photosynthesis and Respiration Model (VPRM). In the AGU Fall Meeting Abstracts. 2005. A41C–0055.
- Nguyễn Văn Thêm, 2008. Giáo trình Rừng và môi trường. Trường Đại học Bình Dương.
- Potter, C. S., Randerson, J. T., Field, C. B., et al., 1993. Terrestrial ecosystem production—a process model-based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles*, 7, 811–841.
- Sanwangsri, M., Hanpattanakit, P., and Chidthaisong, A., 2017. Variations of energy fluxes and ecosystem evapotranspiration in a young secondary dry dipterocarp forest in Western Thailand. *Atmosphere*. 8(8):152. <https://doi.org/10.3390/atmos8080152>
- Wang, H., Jia, G., Fu, C., Feng, J., Zhao, T., and Ma, Z., 2010. Deriving maximal light use efficiency from coordinated flux measurements and satellite data for regional gross primary production modeling. *Remote Sensing of Environment*. 114(10): 2248–2258. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.001>
- Wang, Q., Zhu, X., Yu, G., et al., 2014. Seasonal dynamics of water use efficiency of typical forest and grassland ecosystems in China. *Journal of Forest Research*. 19(1): 70-76. DOI: 10.1007/s10310-013-0390-5
- Wagle, P., Xiao, X., Torn, M. S., et al., 2014. Sensitivity of vegetation indices and gross primary production of tallgrass prairie to severe drought. *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc. 152: 1–14. doi: 10.1016/j.rse.2014.05.010.
- Wolf, S., Baldocchi, D., Wolf, S., et al., 2016. Warm spring reduced carbon cycle impact of the 2012 US summer drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 24 May, 2016. National Academy of Sciences (NAS). USA. 113 (21): 5880-5885. doi: 10.1073/pnas.1519620113
- Xiao, X., Zhang, Q., Braswell, B., et al., 2004. Modeling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. *Remote Sensing of Environment*. 91(2): 256–270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.010>
- Xiao, J., Zhuang, Q., Law, B. E., et al., 2010. A continuous measure of gross primary production for the conterminous United States derived from MODIS and AmeriFlux data. *Remote Sensing of Environment*. 114(3): 576–591. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.013>
- Yu, G., Song, X., Wang, Q., et al., 2008. Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables. *The New Phytologist*. 177(4): 927-937. doi:10.1111/j.1469-8137.2007.02316.