

Bài báo khoa học

## Sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong giám sát sự phát triển của cây lúa tại tỉnh Đồng Tháp, Việt Nam

Lê Thị Thu Hà<sup>1,2\*</sup>, Giang Thị Phương Thảo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất; lethithuha@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mở - Địa chất; lethithuha@humg.edu.vn

<sup>3</sup> Viện Địa lý tài nguyên thành phố Hồ Chí Minh, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; gtpthao@hcmig.vast.vn

\*Tác giả liên hệ: lethithuha@humg.edu.vn; Tel.: +84-983115967

Ban Biên tập nhận bài: 22/3/2024; Ngày phản biện xong: 30/4/2024; Ngày đăng bài: 25/8/2024

**Tóm tắt:** Sản xuất nông nghiệp toàn cầu đang phải đối mặt với áp lực ngày càng tăng bao gồm: gia tăng dân số, nhu cầu dinh dưỡng, và điều kiện khí hậu khắc nghiệt. Để đối phó với những thách thức này, yêu cầu cấp thiết là phải giám sát lúa một cách chính xác, trên quy mô rộng lớn, với tần suất đều đặn. Nghiên cứu này đề xuất một phương pháp mới để ước tính các chỉ số hóa sinh đặc trưng cho sự phát triển của cây lúa, từ dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ và bộ xử lý hóa sinh thực vật PROSAIL. Kết quả của nghiên cứu đã thành lập bản đồ chỉ số hóa sinh theo các giai đoạn phát triển của cây lúa ở tỉnh Đồng Tháp dựa trên chuỗi ảnh vệ tinh Sentinel-2 từ tháng 10/2022 đến tháng 12/2023. Nghiên cứu đã sử dụng thuật toán phân loại học máy Random Forest và 994 điểm thực địa đã phản ánh chính xác về điều kiện canh tác lúa thực tế ở tỉnh Đồng Tháp. Từ đó cho phép giám sát theo thời gian các mô hình trồng lúa trên quy mô không gian đối với các khu vực có lịch canh tác riêng biệt. Định lượng các biến số hóa sinh và áp dụng để quan sát trên chuỗi dữ liệu vệ tinh đa thời gian cho phép hiểu biết sâu sắc trong canh tác lúa tại đồng bằng sông Cửu Long của lãnh thổ Việt Nam.

**Từ khóa:** Sự phát triển của cây lúa; Sentinel-2; Mô hình PROSAIL; Đồng Tháp.

### 1. Giới thiệu

Lúa là thực phẩm chính cho hơn một nửa dân số trên thế giới - với 90% sản lượng trồng và tiêu thụ trên thế giới được sản xuất tại châu Á [1, 2]. Vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), được biết đến là khu vực cung cấp sản lượng lúa phục vụ nhu cầu an ninh lương thực không những cho quốc gia, mà còn cho khu vực và quốc tế [3, 4]. Sản xuất lúa ở ĐBSCL nói chung và của Đồng Tháp nói riêng đóng vai trò quan trọng trong sản xuất nông nghiệp của Việt Nam, do đó việc giám sát được các giai đoạn sinh trưởng và phát triển của cây lúa dựa vào các chỉ số sinh học sẽ giúp cho việc quản lý sản xuất nông nghiệp được kịp thời, giúp cho nông hộ cũng như nhà quản lý có kế hoạch cụ thể cho sản xuất. Tuy nhiên, việc điều tra thực tế về sinh trưởng của cây lúa tốn rất nhiều thời gian cũng như chi phí. Do đó, các biện pháp giám sát lúa một cách chính xác, trên quy mô khu vực rộng lớn, với tần suất đều đặn là rất cần thiết để đảm bảo vấn đề ổn định và gia tăng lương thực toàn cầu [5].

Các tham số của quá trình sinh trưởng của cây lúa (chiều cao, khối lượng khô, chỉ số diện tích lá, v.v.) chủ yếu được giám sát thông qua hai phương pháp, bao gồm: phương pháp đo lường trực tiếp bởi những người nông dân và thu thập thông tin từ dữ liệu viễn thám [5–7]. Trong khi việc đo lường trên thực địa mất thời gian, viễn thám có thể thực hiện việc đo

lượng các tham số của lúa trên quy mô lớn mà không cần tiếp xúc trực tiếp với cây trồng [8, 9]. Phương pháp nghiên cứu về đặc tính hóa sinh của thực vật bằng dữ liệu viễn thám đã được nhiều nghiên cứu trên thế giới chứng minh có tính hiệu quả trong theo dõi quá trình sinh trưởng của lúa [10–22]. Sử dụng dữ liệu viễn thám nhằm nghiên cứu về đặc tính hóa sinh của thực vật có thể chia ra 3 phương pháp khác nhau [5]: (1) Mô hình dựa trên thực nghiệm (empirical based model) sử dụng chỉ số thực vật, phương pháp đánh giá tương quan hoặc các thuật toán học máy (machine learning) để nghiên cứu mối quan hệ giữa các tham số đo đặc thực tế và giá trị tính toán trên ảnh viễn thám; (2) Mô hình dựa trên vật lý (*physical based model*) dựa trên các quy luật vật lý như đặc tính phổ phản xạ để ước tính các chỉ số và đặc tính sinh hóa của thực vật; (3) Phương pháp kết hợp cả cách thức tiếp cận dựa trên lý thuyết và thực nghiệm. Hướng ứng dụng dựa trên các mô hình vật lý trong nhiều năm trở lại đây đang ngày càng phổ biến khi số lượng cơ sở dữ liệu về đặc tính thực vật ngày càng nhiều hơn cũng như nhằm giảm thiểu việc điều tra thực địa chi tiết trên từng khu vực nghiên cứu cụ thể mà vẫn đảm bảo độ chính xác [12]. Cùng với sự phát triển của viễn thám, nhiều mô hình tính toán đã sử dụng nguồn số liệu về bức xạ thu nhận từ dữ liệu vệ tinh để tính toán truy xuất các đặc tính sinh hóa của từng loài thực vật cụ thể một cách chính xác [12, 13].

Bắt đầu từ những nghiên cứu đầu tiên những năm 80 cho tới nay, đã có một số lượng lớn các nghiên cứu, với đa dạng dữ liệu sử dụng như đa phổ, siêu phổ, cho đến áp dụng các thuật toán mô hình khác nhau như. Một số mô hình chuyển đổi bức xạ được áp dụng phổ biến như *PROSPECT*, *Scattering by Arbitrary Inclined Leaves - SAIL*, *Fast Canopy Reflectance - FCR*, *SAIL-2*, *4SAIL2*, *Soil Canopy Observation Photochemistry and Energy fluxes - SCOPE*, hoặc *GEOSAIL* [19]. Trong số các mô hình này, mô hình chuyển đổi bức xạ *PROSPECT* (cấp độ lá) và *SAIL* (cấp độ tán) được sử dụng nhiều nhất [18, 22]. *PROSAIL* cũng được sử dụng để phát triển các phương pháp mới nhằm lấy về đặc tính sinh học của thực vật [20]. Nó liên kết sự thay đổi phổ phản xạ ở cấp độ tán tới hàm lượng sinh hóa của lá và cấu trúc tán cây cũng như tương tác giữa đối tượng đất và thực phủ. Liên kết này là chìa khóa để ước tính mô phỏng các tham số sinh hóa và cấu trúc tán cây ứng dụng trong nông nghiệp, sinh hóa thực vật, hoặc sinh thái, với các quy mô khác nhau.

Trong phạm vi nghiên cứu này, tại Việt Nam mới có một số nghiên cứu điển hình tại đồng bằng sông Cửu Long có thể kể đến nghiên cứu [26] đã sử dụng ảnh độ phân giải trung bình MODIS 250 m × 250 m, chu kỳ 8 ngày cho nghiên cứu theo dõi các tiến độ xuống giống, các giai đoạn phát triển và hiện trạng sâu bệnh cây lúa khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Hoàng Phi Phụng đã đề xuất quy trình xác định tuổi của cây lúa, ngày gieo trồng, ngày thu hoạch bằng cách sử dụng chuỗi ảnh Sentinel 1 trên toàn bộ vùng đồng bằng sông Cửu Long [27].

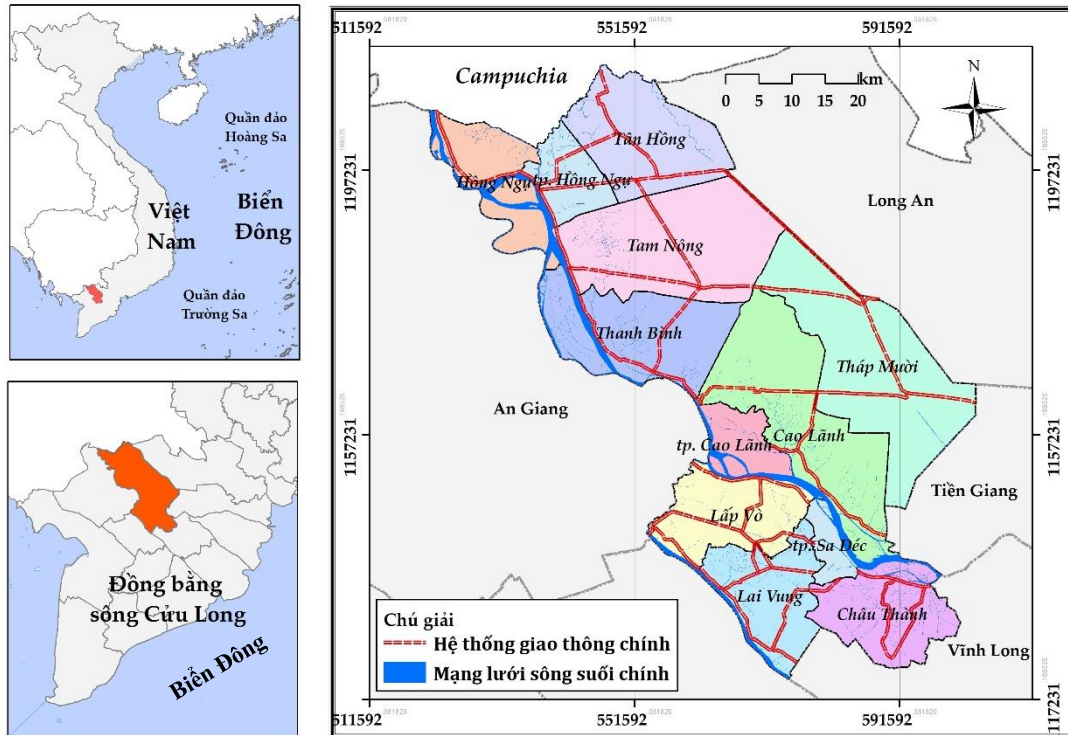
Nghiên cứu [23] đã tiến hành đánh giá về hiện trạng canh tác sản xuất nông nghiệp tại khu vực Đồng Tháp Mười, trong đó có tỉnh Đồng Tháp giai đoạn 30 năm trở lại đây (1990-2020). Kết quả nghiên cứu cho thấy trong giai đoạn 30 năm, diện tích đất trồng lúa tăng mạnh trở thành cây trồng chủ lực chiếm 45,1% tổng diện tích toàn vùng Đồng Tháp Mười năm 2020, chứng minh ưu thế của cây lúa tại khu vực nghiên cứu. Như vậy, tại Việt Nam, các công trình công bố về việc mô hình hóa không gian các đặc tính sinh lý của cây trồng nông nghiệp hiện nay gần như chưa được thực hiện [23]. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào việc sử dụng các chỉ số thực vật như NDVI để thành lập bản đồ và phân tích sự sinh trưởng phát triển của cây trồng, thành lập các bản đồ hiện trạng để đánh giá về sự phân bố không gian các loại hình nông nghiệp chủ yếu, hoặc phân tích biến động sự thay đổi diện tích đất nông nghiệp theo thời gian [23–25].

Nghiên cứu này đề xuất quy trình tích hợp dữ liệu vệ tinh quan sát trái đất đa thời gian theo chu kỳ từng tháng và mô hình *PROSAIL* trong giám sát sự phát triển của cây lúa tại tỉnh Đồng Tháp thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long, Việt Nam. Việc định lượng được các biến số hóa sinh và áp dụng để quan sát trên chuỗi dữ liệu vệ tinh đa thời gian cho phép hiểu biết sâu sắc trong canh tác lúa tại đồng bằng sông Cửu Long.

## 2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Giới thiệu về khu vực thực nghiệm

Đồng Tháp là một trong 13 tỉnh thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long và là tỉnh duy nhất có địa bàn ở cả hai bờ sông Tiền, có diện tích tự nhiên là 3375,4 km<sup>2</sup>. Đồng Tháp nằm ở tọa độ 10°07'-10°58' vĩ độ Bắc và 105°12'-105°56' kinh độ Đông, phía bắc giáp tỉnh Prây Veng (Cam pu chia) trên chiều dài biên giới 48,7 km với 4 cửa khẩu: Thông Bình, Dinh Bà, Mỹ Cần và Thường Phước, phía nam giáp Vĩnh Long và thành phố Cần Thơ, phía tây giáp An Giang, phía đông giáp Long An và Tiền Giang (Hình 1). Tỉnh lỵ của Đồng Tháp hiện nay là thành phố Cao Lãnh, cách thành phố Hồ Chí Minh 165 km về phía Tây Nam [28].

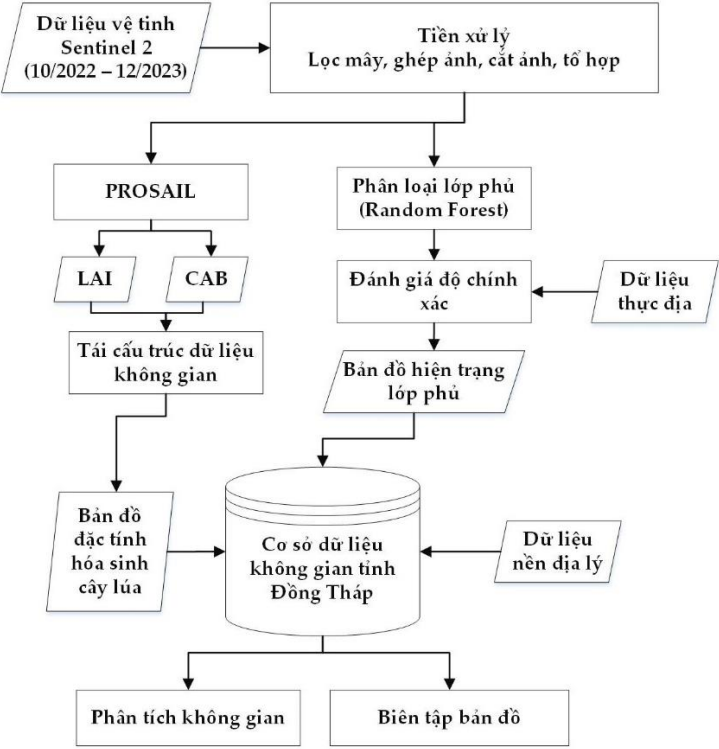


Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

Đồng Tháp nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới với 2 mùa rõ rệt mưa (tháng 5 đến tháng 11 hàng năm) và khô (tháng 12 đến tháng 4 năm sau). Các đặc điểm khí hậu điển hình bao gồm độ ẩm trung bình năm 82,5%, số giờ nắng trung bình 6,8 giờ/ngày, lượng mưa trung bình 1.170-1.520 mm với 90-95% lượng mưa tập trung vào mùa mưa, tạo điều kiện thuận lợi cho canh tác sản xuất nông nghiệp. Đồng Tháp có 4 nhóm đất chính: (1) đất phù sa (diện tích khoảng 191.769 ha, chiếm 59,06% diện tích đất tự nhiên); (2) đất phèn (84.382 ha, 25,99%); (3) đất xám (28.150 ha, 8,67%); và (4) nhóm đất cát (120 ha, 0,04%). Đất đai của Đồng Tháp có kết cấu mặt bằng kém bền vững lại tương đối thấp, nên làm mặt bằng xây dựng đòi hỏi kinh phí cao, nhưng rất phù hợp cho sản xuất lương thực. Với lợi thế là nguồn nước ngọt và nguồn lao động dồi dào, Đồng Tháp là một trong những địa phương sản xuất lúa lớn nhất Việt Nam. Đồng Tháp cũng là tỉnh có tổng số cánh đồng mẫu lớn, lớn nhất cả nước. Cây lúa vẫn là cây trồng chiếm ưu thế trong sản xuất nông nghiệp của tỉnh, chiếm tỷ trọng lớn và có giá trị sản xuất toàn ngành nông nghiệp. Tuy vậy, năng suất lúa của tỉnh Đồng Tháp trong giai đoạn 10 năm trở lại đây cho thấy các dấu hiệu biến động thất thường. Trong đó, giai đoạn 2014 đến 2017 chứng kiến sự suy giảm năng suất lúa từ 62,42 tạ/ha xuống thấp nhất 59,57 tạ/ha [23]. Mặc dù so với 10 năm trước đây, năng suất lúa đã tăng lên gần 5 tạ/ha, tuy vậy việc theo dõi sự sinh trưởng và phát triển của cây lúa, đảm bảo sản lượng và năng suất vẫn là một công tác quan trọng đối với một địa phương có diện tích trồng lúa lớn như Đồng Tháp.

2.2. Quy trình nghiên cứu

Sơ đồ quy trình nghiên cứu tổng thể của nghiên cứu này được thực hiện dựa trên nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2, nguồn dữ liệu thực địa, nguồn dữ liệu nền địa lý tỉnh Đồng Tháp. Ảnh vệ tinh thông qua các bước tiền xử lý được đưa vào mô hình ước tính các đặc tính hóa lý thực vật để tính toán các chỉ số diện tích lá (*Leaf Area Index - LAI*) và hàm lượng diệp lục (*Chlorophyll<sub>a+b</sub> - Cab*). Bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp cũng được thành lập từ nguồn dữ liệu vệ tinh này. Các sản phẩm được đánh giá độ chính xác, sau đó tính toán cho toàn bộ tệp dữ liệu ảnh, tái cấu trúc dữ liệu để hoàn chỉnh bộ sản phẩm. Các sản phẩm này được trình bày bản đồ và sử dụng để phân tích thống kê trên quy mô không gian. Chi tiết các bước được trình bày dưới đây (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ quy trình tổng thể của nghiên cứu.

2.3. Số liệu sử dụng

a) Dữ liệu ảnh viễn thám

Chùm vệ tinh Sentinel-2 (2A và 2B) bao gồm hình ảnh quang học hai dải không gian rộng, độ phân giải trung bình - cao (10, 20 và 60 m), tần suất quan sát 5-10 ngày. Toàn bộ 280 cảnh ảnh giai đoạn tháng 10/2022 đến tháng 12/2023 trên khu vực nghiên cứu được thu thập. Vị trí của khu vực nghiên cứu nằm trong khu vực cận nhiệt đới ẩm của Nam Bộ với điều kiện có nhiều mây kéo dài hàng năm. Trong số 13 band với độ phân giải khác nhau từ 10-60 m, 10 band đã được chọn. Trong nghiên cứu này, band với độ phân giải 60 m được loại khỏi phân tích. Mười band còn lại được tái chia mẫu về cùng độ phân giải thành 10 m.

Bảng 1. Thông số ảnh vệ tinh Sentinel-2.

| Kênh | Min   | Max   | Bước sóng trung tâm | FWHM | SNR |
|------|-------|-------|---------------------|------|-----|
| 2    | 457,5 | 522,5 | 490                 | 65   | 154 |
| 3    | 542,5 | 577,5 | 560                 | 35   | 168 |
| 4    | 650   | 680   | 665                 | 30   | 142 |
| 5    | 697,5 | 712,5 | 705                 | 15   | 117 |
| 6    | 732,5 | 747,5 | 740                 | 15   | 89  |
| 7    | 773   | 793   | 783                 | 20   | 105 |

| Kênh | Min   | Max   | Bước sóng trung tâm | FWHM | SNR |
|------|-------|-------|---------------------|------|-----|
| 8    | 784,5 | 899,5 | 842                 | 115  | 174 |
| 8a   | 855   | 875   | 865                 | 20   | 72  |
| 11   | 1565  | 1655  | 1610                | 90   | 100 |
| 12   | 2100  | 2280  | 2190                | 180  | 100 |

FWHM (*Full width at half maximum*) là độ rộng toàn phần tại nửa cực đại. SNR (*Signal-to-noise ratio*) là tỷ số tín hiệu cực đại trên nhiễu.

Trong nghiên cứu này, toàn bộ các cảnh ảnh Sentinel-2 trong giai đoạn từ 1/10/2022 đến 31/12/2023 được thu thập phủ trùm khu vực nghiên cứu tỉnh Đồng Tháp, với lý do các mùa canh tác sẽ bắt đầu từ tháng 10 hoặc 11 năm trước.

#### b) Nguồn dữ liệu khác

Ngoài ra, các dữ liệu bổ trợ cũng được sử dụng như dữ liệu thực địa, dữ liệu nền địa lý và các số liệu khác bao gồm: dữ liệu về nền địa lý, địa hình, số liệu thống kê kinh tế xã hội, số liệu khí tượng thủy văn được sử dụng để đánh giá điều kiện tự nhiên của khu vực nghiên cứu, cũng như hỗ trợ cho việc thành lập các bản đồ chuyên đề cho tỉnh Đồng Tháp.

Cơ sở dữ liệu được lưu trữ dưới định dạng geodatabase (\*.gdb). Các lớp thông tin trong CSDL được thiết kế trong hệ quy chiếu và hệ tọa độ chuẩn Quốc gia VN-2000. Trong quá trình thực nghiệm, để phù hợp các lớp thông tin có thể được chuyển đổi về hệ tọa độ WGS84 phục vụ chồng xếp với kết quả phân tích từ ảnh viễn thám.

### 2.4. Phương pháp nghiên cứu

#### a) Phân loại lớp phủ

Khu vực nghiên cứu trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp bao gồm nhiều loại hình lớp phủ khác nhau như thực vật (nông nghiệp, rừng), công trình xây dựng, mặt nước... Trong khi đó để tiến hành giám sát lúa trên quy mô không gian, một trong những vấn đề tiên quyết là phải xác định được các khu vực trồng lúa một cách chính xác. Chính vì vậy mà bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp được thành lập. Từ đó có thể triết tách và thành lập bản đồ hiện trạng canh tác lúa tỉnh Đồng Tháp phục vụ cho các phân tích tiếp theo. Theo đó, ảnh Sentinel-2 tính trung bình năm 2023 toàn tỉnh Đồng Tháp sẽ được sử dụng để phân loại thành lập bản đồ hiện trạng lớp phủ.

Dữ liệu thực địa bao gồm 994 điểm thể hiện cho 7 loại hình lớp phủ chủ yếu được điều tra trên toàn tỉnh Đồng Tháp bao gồm: (1) lúa, (2) dân cư, (3) thủy hệ, (4) rừng, (5) cây ăn trái, (6) hoa màu, (7) đất trống cây bụi. Trong số điểm dữ liệu thực địa này, 70% (696 điểm) sẽ được dùng để huấn luyện mô hình và thực hiện phân loại và 30% (298 điểm) còn lại được dùng để đánh giá độ chính xác sau phân loại. Phương pháp phân loại sử dụng thuật toán học máy *Random Forest* trên nền tảng *Google Earth Engine*.

Phương pháp ma trận sai số, độ chính xác nhà sản xuất ( $\text{ĐCXS}_x$ ) độ chính xác người dùng ( $\text{ĐCX}_{nd}$ ), độ chính xác tổng thể ( $\text{ĐCX}_{tt}$ ), được sử dụng để đánh giá độ chính xác sau phân loại. Độ chính xác nhà sản xuất là xác suất mà một loại lớp phủ nhất định trên ảnh vệ tinh được phân loại đúng với loại hình lớp phủ đó ở ngoài thực địa, còn độ chính xác người dùng là xác suất mà một loại hình lớp phủ nhất định trên thực tế được xác định trùng khớp với chính nó trên kết quả phân loại ảnh vệ tinh.

$$\text{ĐCXS}_x = \frac{n_{ij}}{n_{+j}}; \quad \text{ĐCX}_{nd} = \frac{n_{ij}}{n_{+i}}; \quad \text{ĐCX}_{tt} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij}}{n} \quad (1)$$

Trong đó k: số lớp ( $k = 7$ ); n: tổng số điểm thực địa được dùng để đánh giá độ chính xác;  $n_{ij}$ : tổng số điểm thuộc lớp i ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) trên ảnh được phân loại vào lớp j ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) ngoài thực tế, đây là những điểm được phân loại đúng;  $n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij}$  là tổng số mẫu từ kết quả phân loại ảnh vệ tinh;  $n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij}$  là tổng số mẫu có được từ dữ liệu tham khảo.



#### b) Ước tính các đặc tính hóa sinh

Mô hình chuyển đổi bức xạ (*Radiative Transfer Model-RTM*) đã được biết đến rộng rãi, trong đó có PROSAIL [20], là sự kết hợp của mô hình đặc tính quang học của lá PROSPECT và mô hình phản xạ hai chiều của tán lá SAIL và đã được sử dụng để nghiên cứu quang phổ và phản xạ định hướng của tán cây trong miền mặt trời. Sentinel cung cấp một giải pháp cho phép tính toán các chỉ số sinh hóa của thực vật ở cấp độ tán cây thông qua ảnh vệ tinh, chính là phần mềm ESA SNAP (*Sentinel Application Platform*). SNAP là công cụ được phát triển bởi ESA nhằm xử lý và phân tích chuyên biệt cho ảnh Sentinel level 2 tức là ảnh đã được hiệu chỉnh khí quyển. SNAP cung cấp một kiến trúc chung cho tất cả các Toolbox của Sentinel, cũng như các toolbox để xử lý dữ liệu từ các nguồn vệ tinh khác nhằm hiệu chỉnh khí quyển để tạo ra ảnh với mức xử lý level 2. Trong các công cụ xử lý của SNAP, có bộ công cụ tính toán và xử lý sinh hóa (*Biophysical Processor*) được sử dụng để tính toán các chỉ số bao gồm chỉ số diện tích lá LAI và sắc tố diệp lục Cab thông qua phổ phản xạ của ảnh vệ tinh Sentinel.

LAI (*Leaf area index*): Chỉ số diện tích lá là tỉ lệ giữa tổng diện tích lá còn xanh (tính bằng  $m^2$ ) trên tổng diện tích đất ruộng (tính bằng  $m^2$ ). Chỉ số diện tích lá thay đổi theo loài và giống cây trồng, mùa vụ trồng và trình độ thâm canh. Chỉ số này tăng dần trong quá trình sinh trưởng của cây, đạt đến đỉnh cao rồi giảm dần khi sắp thu hoạch. Đối với lúa, chỉ số diện tích lá thường cao nhất khi lúa sắp trổ. Chỉ số diện tích lá nói lên mức độ hấp thụ chất dinh dưỡng trong đất canh tác nhằm tạo ra sản phẩm sinh học trong cây trồng [17, 18].

Cab (*leaf chlorophyll content*): Hàm lượng chất diệp lục trong lá Chlorophyll. Chlorophyll có ý nghĩa vô cùng quan trọng đối với sự sống trên Trái Đất. Nhờ có chlorophyll, quá trình quang hợp được thực hiện, tạo ra năng lượng nuôi sống tất cả sinh vật trên Trái Đất bù đắp lại những chất hữu cơ đã tiêu hao trong quá trình sống; cân bằng khí  $CO_2$  và  $O_2$  trong không khí; quang hợp liên quan đến mọi hoạt động sống kinh tế của con người. Hàm lượng chất diệp lục là một chỉ số đánh giá rất tốt cho tình trạng sức khỏe của thực vật [15, 18].

#### c) Thuật toán tái cấu trúc dữ liệu không gian

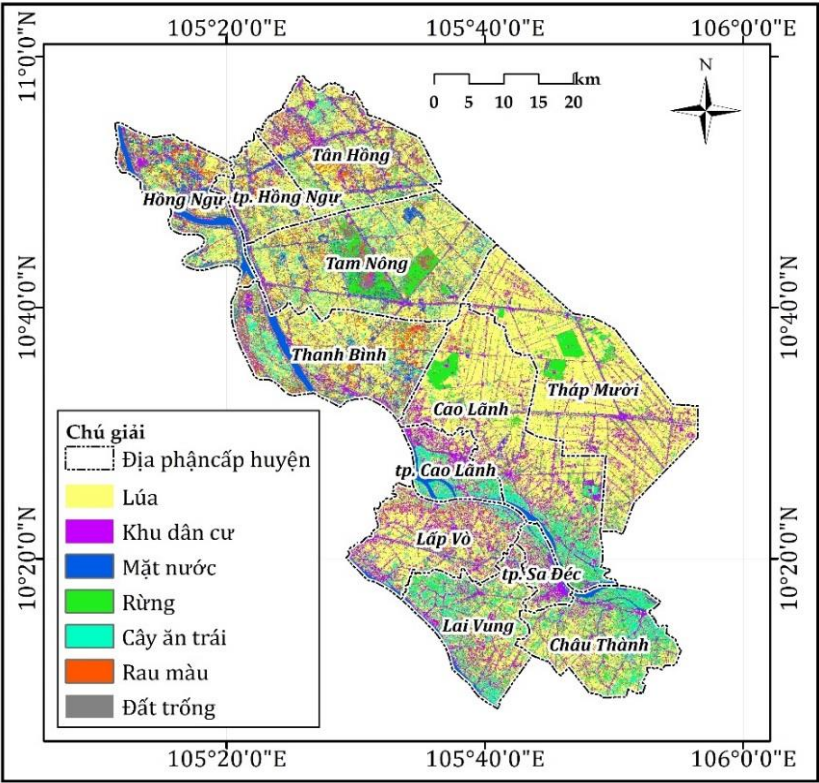
Một trong những vấn đề dẫn đến việc thất bại trong các nghiên cứu viễn thám sử dụng ảnh vệ tinh quang học là sự ảnh hưởng bởi mây che phủ. Trong điều kiện khí hậu điển hình nhiệt đới gió mùa tại Việt Nam, mây thường xuất hiện với tần suất cao. Điều này dẫn đến các sản phẩm bản đồ thường không đầy đủ trên quy mô không gian. Vì vậy, cần áp dụng các thuật toán tái cấu trúc dữ liệu để phục hồi đầy đủ thông tin không gian trên từng pixel cho các sản phẩm viễn thám trên khu vực nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, thuật toán tái cấu trúc chuỗi dữ liệu Whittaker được áp dụng cho chuỗi bản đồ đặc tính hóa sinh LAI và Cab. Whittake sử dụng hệ số  $\lambda$  để xác định mức độ làm mượt sau quá trình tái cấu trúc dữ liệu. Trong nghiên cứu này thử nghiệm  $\lambda$  lần lượt là 0,1; 1; và 10 và so sánh với chuỗi dữ liệu gốc để tiến hành chọn giá trị  $\lambda$  phù hợp [29, 30].

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

#### 3.1. Kết quả xây dựng bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp

Mô hình phân loại dựa trên thuật toán học máy RF được thực hiện tự động trên nền tảng điện toán đám mây GEE nhằm mục đích xử lý các dữ liệu viễn thám một cách nhanh chóng. Toàn bộ các bước xử lý sẽ được lập trình chạy từ động và cho ra kết quả tức thời. Đánh giá độ chính xác với tệp số liệu kiểm định thực địa (298 điểm) đại diện cho 7 loại hình lớp phủ chủ yếu tại Đồng Tháp, 246 điểm được phân loại vào đúng với lớp phủ của nó. Đối với độ chính xác nhà sản xuất, loại hình đạt độ chính xác cao nhất là rừng (92,86%), theo sau là lúa (88,51%), trong khi loại hình đạt độ chính xác thấp nhất là rau màu (76,92%) và đất trống (76,47%). Trong khi đó, độ chính xác người dùng đạt được cao nhất là lúa (86,52%), trong khi thấp nhất lại là rừng (74,29%). Độ chính xác theo các hạng mục đều trên 74%, cho thấy

mức độ tin cậy của mô hình phân loại. Lúa, đối tượng nghiên cứu chính, là loại hình có độ chính xác cao nhất. Mô hình phân loại học máy đạt độ chính xác tổng thể cao (82,55%) (Bảng 3).



Hình 1. Bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp năm 2023.

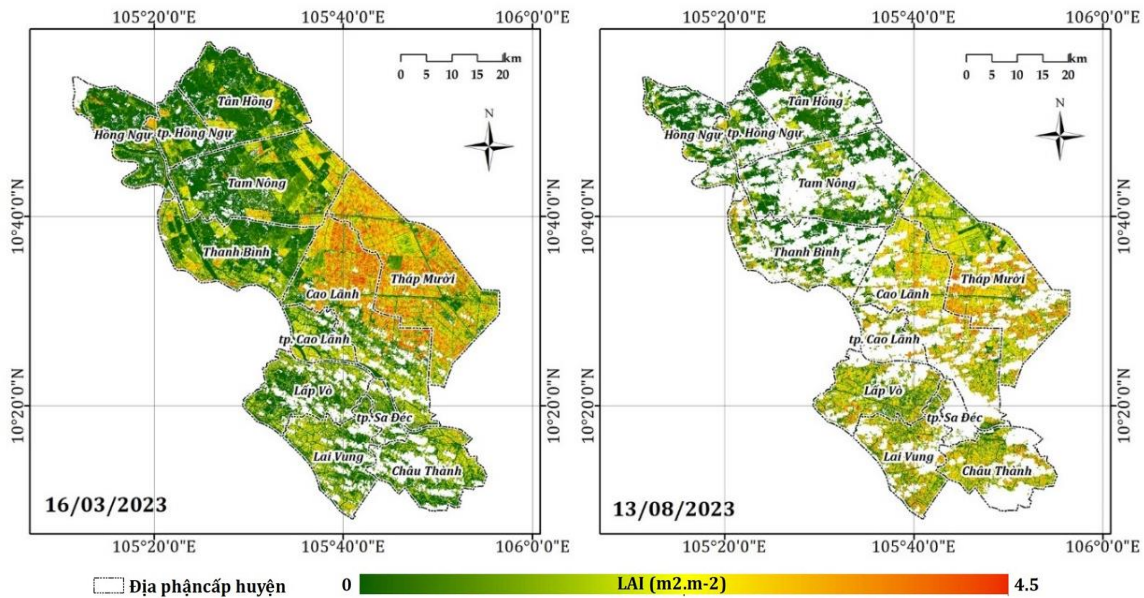
Bảng Error! No text of specified style in document.. Độ chính xác của phương pháp phân loại hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp năm 2023.

| Loại hình                            | Lúa   | Dân cư | Mặt nước | Rừng  | Cây ăn trái | Rau màu | Đất trống | Tổng số | ĐCXd  |
|--------------------------------------|-------|--------|----------|-------|-------------|---------|-----------|---------|-------|
| Lúa                                  | 77    | 1      | 0        | 1     | 3           | 3       | 2         | 87      | 88,51 |
| Dân cư                               | 1     | 28     | 1        | 1     | 2           | 2       | 1         | 36      | 77,78 |
| Mặt nước                             | 1     | 2      | 19       | 1     | 1           | 0       | 0         | 24      | 79,17 |
| Rừng                                 | 0     | 0      | 1        | 26    | 1           | 0       | 0         | 28      | 92,86 |
| Cây ăn trái                          | 5     | 0      | 0        | 3     | 40          | 0       | 2         | 50      | 80,00 |
| Rau màu                              | 3     | 1      | 0        | 2     | 2           | 30      | 1         | 39      | 76,92 |
| Đất trống                            | 2     | 2      | 2        | 1     | 0           | 1       | 26        | 34      | 76,47 |
| Tổng số                              | 89    | 34     | 23       | 35    | 49          | 36      | 32        | 298     |       |
| ĐCXS                                 | 86,52 | 82,35  | 82,61    | 74,29 | 81,63       | 83,33   | 81,25     |         |       |
| Độ chính xác tổng thể (ĐCXt): 82,55% |       |        |          |       |             |         |           |         |       |

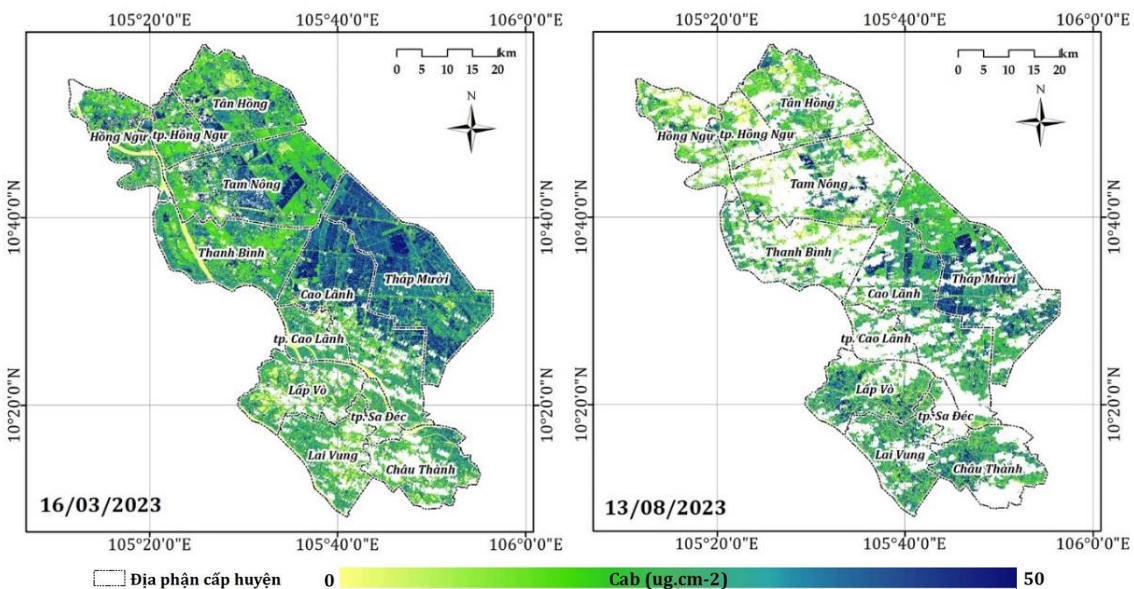
Với kết quả đánh giá độ chính xác như trên, sản phẩm được tạo ra từ dữ liệu viễn thám hoàn toàn đáp ứng độ chính xác theo yêu cầu. Bản đồ hiện trạng lớp phủ tỉnh Đồng Tháp năm 2023 cho thấy phần lớn hiện trạng diện tích của tỉnh Đồng Tháp tập trung vào canh tác lúa, với phân bố hầu hết toàn tỉnh (Hình 3). Các loại hình lớp phủ còn lại mặc dù có diện tích không nhiều nhưng được phân biệt khá rõ ràng, bao gồm rừng, khu dân cư, mặt nước và hệ thống sông suối. Hai loại hình canh tác nông nghiệp còn lại của Đồng Tháp bao gồm cây ăn trái và rau màu cũng được phân biệt khá rõ ràng đối với diện tích trồng lúa.

### 3.2. Kết quả mô hình ước tính đặc tính hóa sinh thực vật PROSAIL

Các kết quả của mô hình ước tính đặc tính hóa sinh thực vật PROSAIL trên công cụ SNAP bao gồm chỉ số diện tích lá LAI và hàm lượng diệp lục tổ Cab. Các sản phẩm được ước tính cho toàn bộ dữ liệu ảnh Sentinel-2 từ tháng 10/2022 đến tháng 12/2023. Theo các kết quả cho ngày 16/03/2023 và 13/08/2023 có thể nhận thấy các khu vực có chỉ số LAI cao tập trung tại các huyện Tháp Mười và Cao Lãnh, trong khi thấp hơn ở các khu vực khác (Hình 4).



Hình 2. Kết quả ước tính chỉ số LAI thực vật toàn tỉnh Đồng Tháp.



Hình 3. Kết quả ước tính hàm lượng diệp lục tổ Cab tỉnh Đồng Tháp.

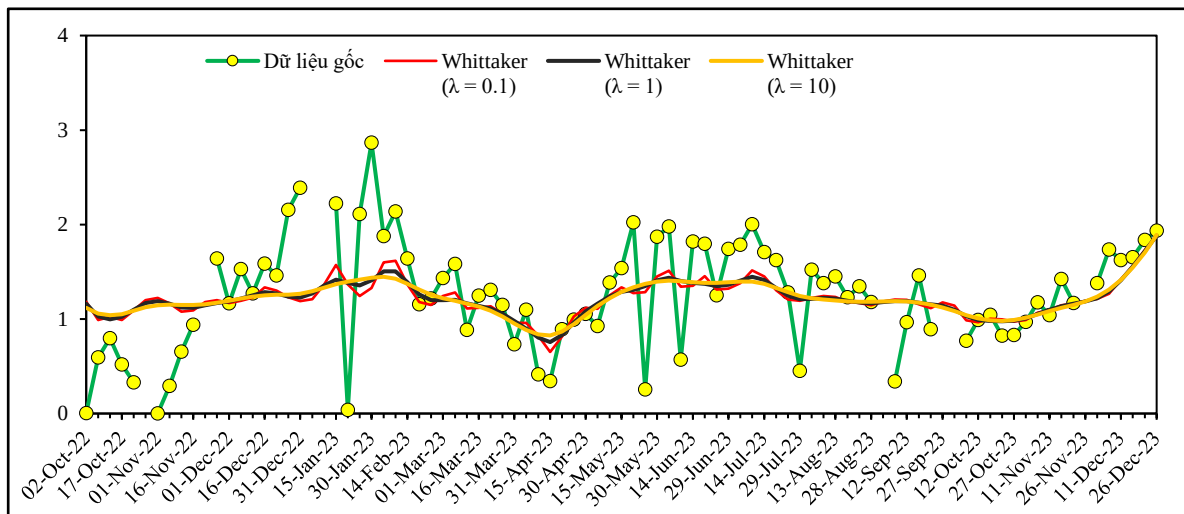
Tương tự các sản phẩm ước tính hàm lượng diệp lục tổ Cab cũng cho kết quả tương tự (Hình 5). Có thể nhận thấy rằng, dù là mùa khô (ví dụ ngày 16/03/2023) hay mùa mưa (ví dụ 13/08/2023) toàn bộ các sản phẩm đều bị khuyết dữ liệu. Điều này là do trong quá trình tiền xử lý, ảnh Sentinel-2 cần phải loại bỏ các pixel ảnh hưởng bởi mây do điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa khiến tần suất mây che phủ xuất hiện ở hầu hết các khoảng thời gian trong năm, đặc biệt là trong mùa mưa. Trong điều kiện khí hậu điển hình nhiệt đới gió mùa tại Việt Nam, mây thường xuất hiện với tần suất cao. Điều này dẫn đến các sản phẩm bản đồ thường không



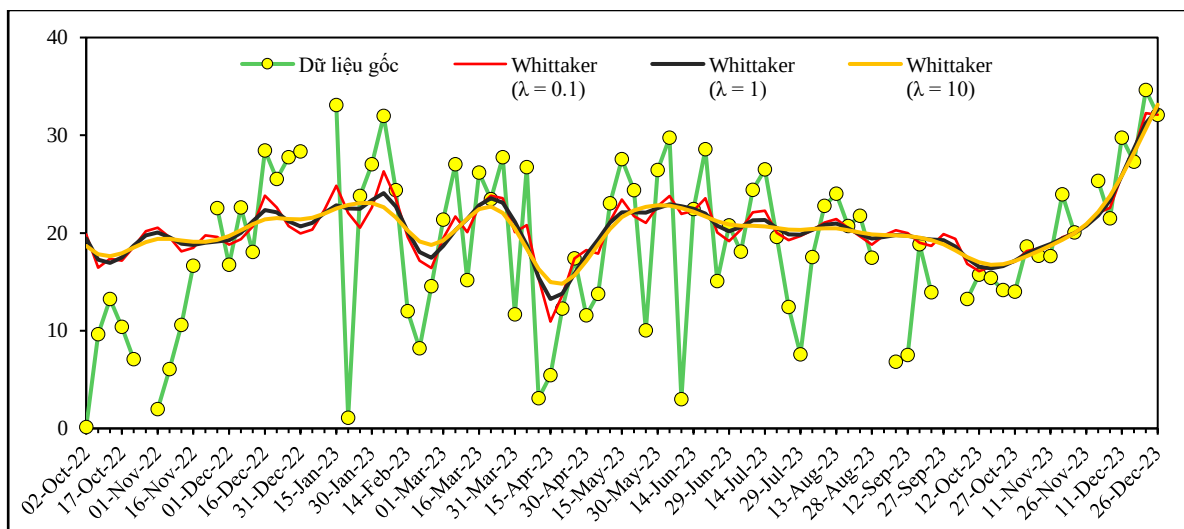
đầy đủ trên quy mô không gian. Vì vậy, cần áp dụng các thuật toán tái cấu trúc dữ liệu để phục hồi đầy đủ thông tin không gian trên từng pixel cho các sản phẩm viễn thám trên khu vực nghiên cứu.

### 3.3. Tái cấu trúc dữ liệu

Quy trình tái cấu trúc dữ liệu được thử nghiệm với các mức hệ số lần lượt là 0,1, 1 và 10. Mục đích của việc này là hoàn thành các sản phẩm viễn thám bị ảnh hưởng bởi mây che phủ. Biểu đồ cho thấy giá trị trung bình của dữ liệu raster LAI và Cab khi so sánh giữa giá trị ban đầu trước khi tái cấu trúc và các sản phẩm tái cấu trúc tương ứng với các mức hệ số (Hình 6, Hình 7). Nhìn chung khi tái cấu trúc dữ liệu khi sử dụng cái hệ số Lamda khác nhau thì dữ liệu cũng có mức độ sai khác lớn dần so với dữ liệu gốc. Dữ liệu gốc cũng xuất hiện những giá trị bất thường có thể do ảnh hưởng của chất lượng ảnh vệ tinh và mô hình ước tính.



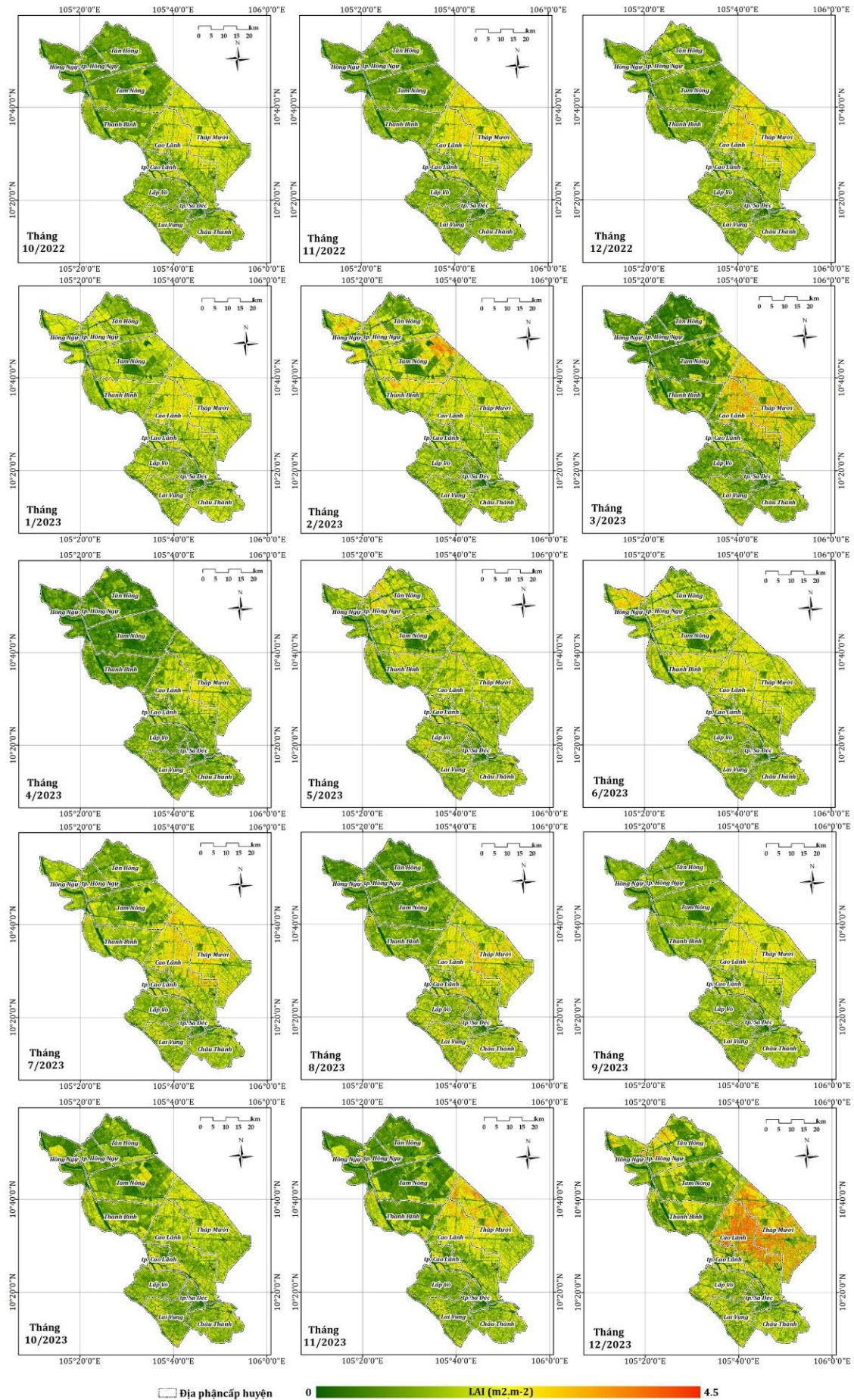
Hình 6. Kết quả tái cấu trúc dữ liệu LAI toàn tỉnh Đồng Tháp.



Hình 7. Kết quả tái cấu trúc dữ liệu Cab toàn tỉnh Đồng Tháp.

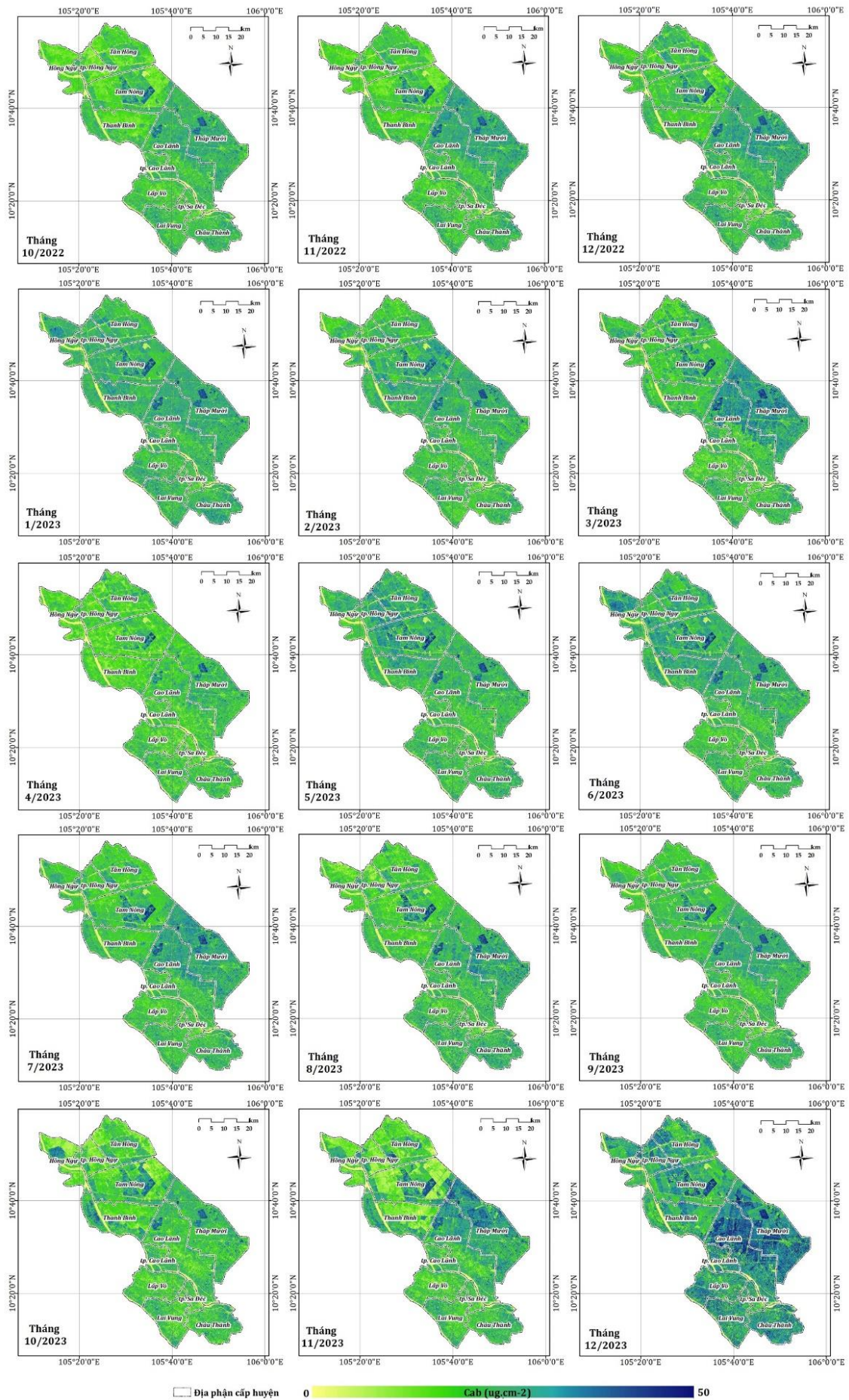
Để phục vụ cho việc phân tích đặc tính vụ mùa tỉnh Đồng Tháp theo các giai đoạn và phân bố không gian khác nhau, nghiên cứu lựa chọn ngưỡng  $\lambda = 10$  để áp dụng cho chuỗi dữ liệu đặc tính hóa sinh tỉnh Đồng Tháp. Ngưỡng này đảm bảo cho chuỗi dữ liệu được hài hòa loại bỏ các giá trị nhiễu cũng như giữ nguyên được xu thế thay đổi của đặc tính hóa sinh thực vật. Sau quá trình tính toán, các bản đồ trung bình tháng từ 10/2022 đến tháng 12/2023 được xây dựng (Hình 8, Hình 9). Ngoài việc tái cấu trúc dữ liệu, thuật toán Whittaker cũng cho

phép làm mượt chuỗi dữ liệu để khắc phục một số giá trị ước tính cao hoặc thấp bất thường. Nhằm mục đích là tái cấu trúc dữ liệu và giữ lại các giá trị sau tái cấu trúc dữ liệu ít bị thay đổi nhất, nghiên cứu lựa chọn bộ dữ liệu sau tái cấu trúc với hệ số 10 phục vụ mục đích thành lập bản đồ và phân tích không gian.



Hình 8. Bản đồ trung bình tháng LAI tỉnh Đồng Tháp giai đoạn 10/2022 - 12/2023.





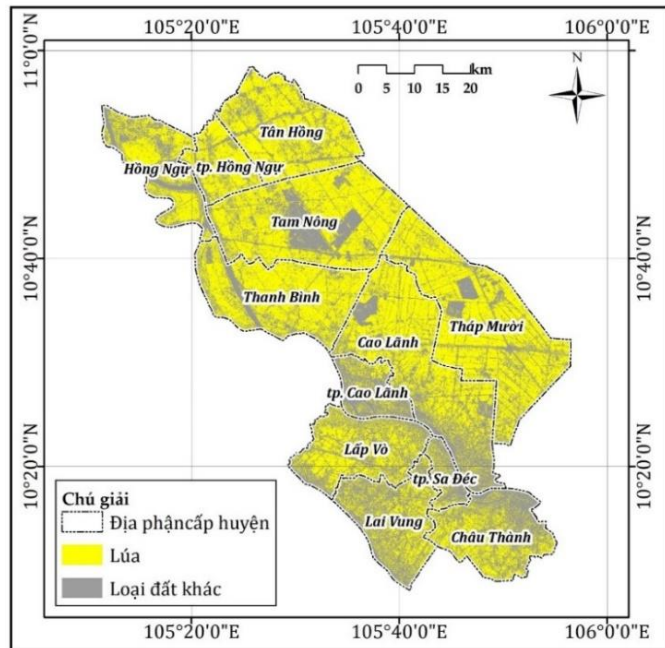
Hình 9. Bản đồ trung bình tháng Cab tỉnh Đồng Tháp giai đoạn 10/2022 - 12/2023.



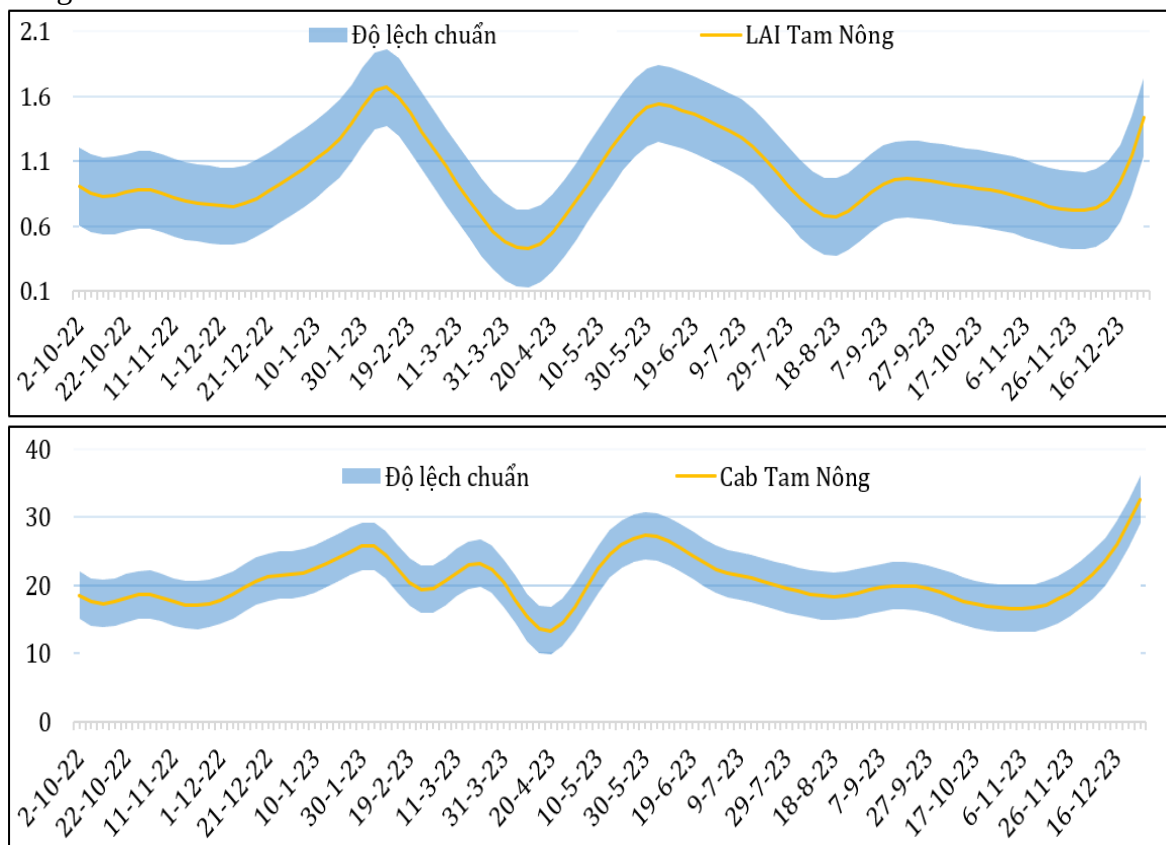
### 3.4. Phân tích đặc tính canh tác vụ mùa tỉnh Đồng Tháp

Các đặc tính hóa sinh ước tính trong nghiên cứu này khả dụng cho loại hình lớp phủ là cây lúa, tuy nhiên không khả dụng cho loại hình lớp phủ khác như thủy hệ, dân cư, thậm chí là đối tượng rừng (do đặc tính phân bố của rừng là tán cây không đồng nhất). Vì vậy, cần tiến hành loại bỏ các khu vực được nhận diện không phải là khu vực trồng lúa. Trong nghiên cứu này, kết quả hiện trạng lớp phủ và hiện trạng trồng lúa tỉnh Đồng Tháp đã được xây dựng nhằm mục đích tạo mặt nạ chồng xếp lên các bản đồ đặc tính hóa sinh của cây lúa. Từ đó, các bản đồ đặc tính hóa sinh dành riêng cho cây lúa tỉnh Đồng Tháp được thành lập.

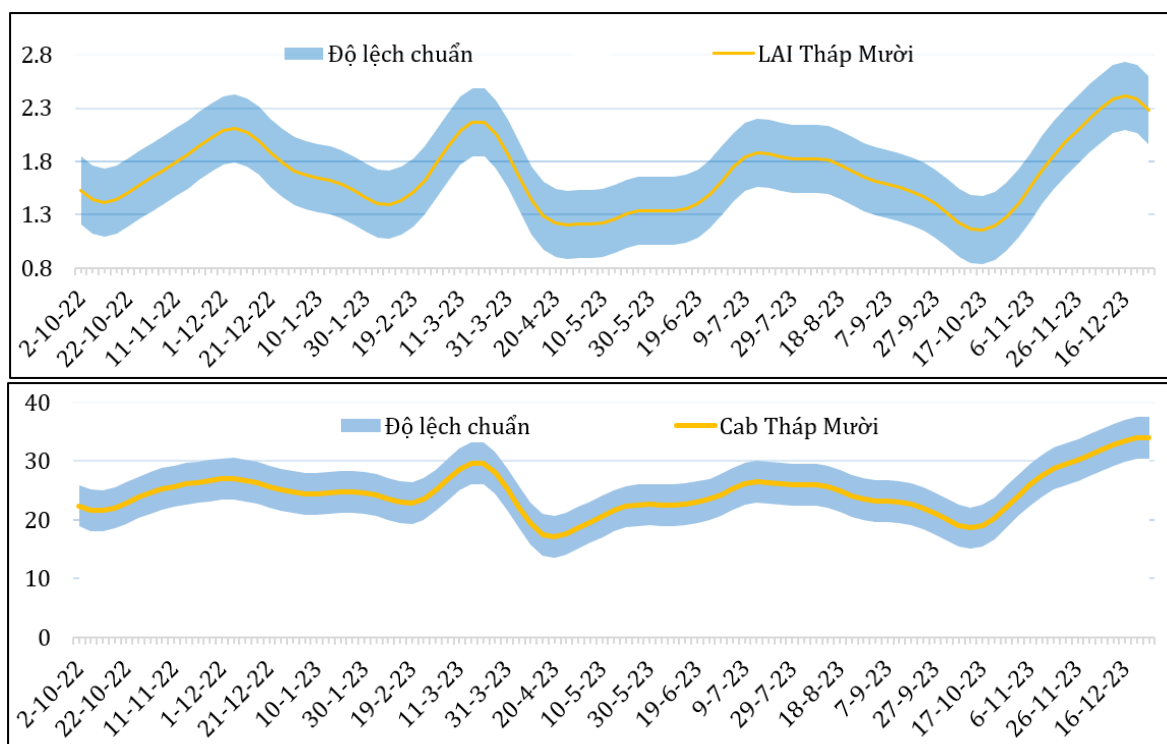
Chi tiết hơn, tại mỗi vùng, nghiên cứu lựa chọn một khu vực nhỏ hơn phục vụ phân tích. Ở vùng trên đại diện là huyện Tam Nông và vùng dưới là huyện Tháp Mười. Sở dĩ lựa chọn 2 huyện này làm đại diện cho việc tính toán là do Tam Nông là khu vực canh tác lúa 3 vụ và Tháp Mười là huyện canh tác lúa 2 vụ. Độ lệch chuẩn so với giá trị quan sát cũng đã được tính toán, từ đó đánh giá được mức ý nghĩa của giá trị quan sát so với độ lệch chuẩn của giá trị LAI và Cab của hai huyện là Tháp Mười và Tam Nông.



**Hình 10.** Hiện trạng phân bố vùng trồng lúa tỉnh Đồng Tháp năm 2023.



**Hình 11.** Chuỗi dữ liệu LAI và Cab vực huyện Tam Nông tỉnh Đồng Tháp.



**Hình 12.** Chuỗi dữ liệu LAI và Cab vực huyện Tháp Mười tỉnh Đồng Tháp.

Đối với huyện Tam Nông, do ảnh hưởng bởi mùa lũ vùng thượng nguồn đổ về hàng năm, nên địa phương chỉ canh tác 2 vụ lúa. Hai vụ lúa là Đông Xuân và Hè Thu thông thường bắt đầu từ cuối tháng 11 đầu tháng 12 năm trước đến hết tháng 7 năm sau. Lịch thời vụ cũng có thể bị điều chỉnh để phù hợp với thời gian mùa lũ đổ về hàng năm. Phân tích chuỗi dữ liệu giai đoạn 10/2022 - 12/2023 tại huyện Tam Nông (Hình 11) cho thấy LAI đạt đỉnh mùa vụ vào các thời điểm 9/2 và 4/6, trong khi Cab đạt đỉnh mùa vụ ngày 4/2 và 30/5. Ngược lại, huyện Tháp Mười thuộc vùng dưới của tỉnh Đồng Tháp, ít bị ảnh hưởng bởi lũ hơn nên thường canh tác 3 vụ lúa hàng năm, bao gồm vụ Đông Xuân, Hè Thu, và Thu Đông. Các kết quả phân tích chuỗi dữ liệu theo thời gian (Hình 12) đã cho thấy giá trị cao nhất theo mùa vụ của LAI và Cab đều rơi vào tháng 12, tháng 3 và tháng 7. Kết hợp phân tích chuỗi dữ liệu trên ảnh viễn thám và kiến thức thực tế trong quá trình thực địa tại địa phương, có thể nhận thấy việc sử dụng các biến số hóa sinh của cây lúa cho phép quan sát được diễn biến của mùa vụ theo quy mô không gian và thời gian.

Các thách thức trong nghiên cứu này bao gồm phương pháp ước tính và điều kiện cụ thể của khu vực nghiên cứu. Liên quan đến phương pháp, mô hình PROSAIL kết hợp với dữ liệu viễn thám đã được chứng minh có thể sử dụng cho mục đích giám sát nông nghiệp trên quy mô không gian - thời gian. Trong khi đó, đặc tính canh tác không đồng nhất tại Đồng Tháp nói riêng và đồng bằng sông Cửu Long nói chung là một thách thức đáng kể. Điều này liên quan cả đến các tác động của tự nhiên (mùa lũ hàng năm, hạn mặn) và con người (lịch thời vụ khác nhau), dẫn tới khó khăn hơn khi so sánh với việc giám sát trên các cánh đồng lớn áp dụng đồng bộ quy trình canh tác. Từ đó, các nghiên cứu trong tương lai cần phát triển mô hình ước tính riêng có kiểm định độ chính xác cho từng khu vực nghiên cứu cụ thể, hướng tới việc giám sát chính xác toàn bộ diện tích lúa vùng đồng bằng sông Cửu Long.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã áp dụng mô hình PROSAIL trên phần mềm SNAP để truy xuất chỉ số sinh hóa của lúa tại khu vực nghiên cứu, cụ thể ở đây là chỉ số diện tích lá - LAI và hàm lượng chất diệp lục trong lá - Cab. Việc ước tính thành công chỉ số sinh hóa diệp lục tố mở

ra các nghiên cứu tiếp theo trong việc xem xét định lượng các yếu tố sinh hóa khác như hàm lượng nước, hàm lượng khô, độ xám, mức độ dinh dưỡng của lá dựa trên tư liệu viễn thám.

Nghiên cứu đã áp dụng mô hình ước tính cho tổng số hơn 280 cảnh ảnh vệ tinh quang học Sentinel-2 quan sát phủ trùm toàn tỉnh Đồng Tháp. Kết hợp với bản đồ hiện trạng lúa đã được thành lập sử dụng sử dụng thuật toán Whittaker phục vụ cho việc tái cấu trúc dữ liệu cho thời với các giá trị Lambda khác nhau. Từ đó chọn ra giá trị Lambda phù hợp nhất, từ đó chuỗi bản đồ đã được thành lập trong giai đoạn từ tháng 10/2022 đến tháng 12/2023.

Các kết quả phân tích cho phép nâng cao hiểu biết về sự khác nhau trên quy mô không gian cũng như thời gian, cùng với đó cho phép nhìn nhận sự thay đổi theo từng mùa vụ trong năm. Việc nghiên cứu theo chuỗi thời gian của dữ liệu ảnh vệ tinh sẽ cho phép theo dõi theo thời gian các khu vực trồng lúa trên quy mô lớn để nâng cao kiến thức, sự hiểu biết về các thời điểm gieo trồng cụ thể để phục vụ cho mục đích nâng cao hiệu quả, năng suất cây trồng. Các sự thay đổi theo thời gian có thể hỗ trợ việc ra quyết định đối với các giải pháp quản lý toàn diện đối với cây lúa, là một loại cây lương thực quan trọng đối với sự phát triển kinh tế của đất nước.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.T.T.H., G.T.P.T.; Xử lý số liệu: G.T.P.T.; Viết bản thảo bài báo: L.T.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: G.T.P.T.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài thuộc các hướng KHCN ưu tiên cấp Viện Hàn lâm KHCNVN do Viện Hàn lâm KHCNVN là cơ quan chủ quản và Viện Địa lý tài nguyên thành phố Hồ Chí Minh là cơ quan chủ trì thực hiện với tên: “Nghiên cứu ước tính hàm lượng đạm (Nito) trong lúa dựa trên mô hình mô phỏng quang phổ vật lý và dữ liệu viễn thám phục vụ mục tiêu giảm thiểu phát thải khí nhà kính trong sinh kế nông nghiệp vùng đồng bằng sông Cửu Long: thí điểm tại tỉnh Đồng Tháp”, mã số VAST05.02/24-25.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

#### Tài liệu tham khảo

1. Le Toan, T.; Ribbes, F.; Wang, L.F.; Floury, N.; Ding, K.H.; Kong, J.A.; Fujita, M.; Kurosui, T. Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results. *IEEE Trans. Geo. Remote Sen.* **1997**, 35, 41–56.
2. Maclean, J.; Hardy, B.; Hettel, G. Rice Almanac. Proceeding of the 4<sup>th</sup> (Eds.): International Rice Research Institute: Los Bahos, Philippines, 2013, pp. 283. ISBN 978-971-22-0300-8.
3. Chen, C.F.; Son, N.T.; Chang, L.Y. Monitoring of rice cropping intensity in the upper Mekong Delta, Vietnam using time-series MODIS data. *Adv. Spa. Res.* **2012**, 49, 292–301.
4. Xuan, V.T. Rice Cultivation in the Mekong Delta. *Jpn. J. Sou. Asi. Stud.* **1975**, 13, 88–111.
5. Weiss, M.; Jacob, F.; Duveiller, G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sen. Environ.* **2020**, 236, 111402.
6. Avtar, R.; Herath, S.; Saito, O.; Gera, W.; Singh, G.; Mishra, B.; Takeuchi, K. Application of remote sensing techniques toward the role of traditional water bodies with respect to vegetation conditions. *Environ. Dev. Sus.* **2014**, 16, 995–1011.
7. Xiao, X.; Boles, S.; Frolking, S.; Li, C.; Babu, J.Y.; Salas, W.; Moore, B. Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images. *Remote Sen. Environ.* **2006**, 100, 95–113.
8. Dinesh Kumar, S.; Srinivasa Rao, S.; Sharma, J.R. Radar vegetation index as an alternative to NDVI for monitoring of soyabean and cotton. Proceedings of the Indian Cartographer, Jodhpur, India, 19–21 September 2013, XXXIII, pp. 91–96.



9. Ottinger, M.; Clauss, K.; Kuenzer, C. Opportunities and challenges for the estimation of aquaculture production based on earth observation data. *Remote Sen.* **2018**, *10*, 1076.
10. Jiang, T.; Liu, X.; Wu, L. Method for mapping rice fields in complex landscape areas based on pre-trained convolutional neural network from HJ-1 A/B data. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2018**, *7*, 418.
11. Avtar, R.; Suzuki, R.; Takeuchi, W.; Sawada, H. PALSAR 50 m mosaic data based national level biomass estimation in Cambodia for implementation of REDD+ mechanism. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e74807.
12. Qiu, B.; Li, W.; Tang, Z.; Chen, C.; Qi, W. Mapping paddy rice areas based on vegetation phenology and surface moisture conditions. *Eco. Ind.* **2015**, *56*, 79–86.
13. Darvishzadeh, R.; Matkan, A.A.; Ahangar, A.D. Inversion of a radiative transfer model for estimation of rice canopy chlorophyll content using a lookup-table approach. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2012**, *5*(4), 1222–1230.
14. Richter, K.; Atzberger, C.; Vuolo, F.; Weihs, P.; D'Urso, G. Experimental assessment of the Sentinel-2 band setting for RTM-based LAI retrieval of sugar beet and maize. *Can. J. Remote Sen.* **2009**, *35*(3), 230–247.
15. Baret, F.; Hagolle, O.; Geiger, B.; Bicheron, P.; Miras, B.; Huc, M.; Berthelot, B.; Niño, F.; Weiss, M.; Samain, O.; Roujean, J.L.; Leroy, M. LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION: Part 1: Principles of the algorithm. *Remote Sen. Environ.* **2007**, *110*(3), 275–286.
16. Atzberger, C.; Darvishzadeh, R.; Immitzer, M.; Schlerf, M.; Skidmore, A.; le Maire, G. Comparative analysis of different retrieval methods for mapping grassland leaf area index using airborne imaging spectroscopy. *Int. J. App. Ear. Obs. Geo.* **2015**, *43*, 19–31.
17. van der Tol, C.; Timmermans, J.; Verhoef, A.; Su, Z. An integrated model of soil-canopy spectral radiances, photosynthesis, fluorescence, temperature and energy balance. *Biogeosciences* **2009**, *6*(12), 3109–3129.
18. Bowyer, P.; Danson, F.M. Sensitivity of spectral reflectance to variation in live fuel moisture content at leaf and canopy level. *Remote Sen. Environ.* **2004**, *92*(3), 297–308.
19. Jacquemoud, S.; Verhoef, W.; Baret, F.; Bacour, C.; Zarco-Tejada, P.J.; Asner, G.P.; François, C.; Ustin, S.L. PROSPECT+SAIL models: A review of use for vegetation characterization. *Remote Sen. Environ.* **2009**, *113*, S56–S66.
20. Jacquemoud, S.; Baret, F. PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Remote Sen. Environ.* **1990**, *34*(2), 75–91.
21. Kuusk, A. A multispectral canopy reflectance model. *Remote Sen. Environ.* **1994**, *50*(2), 75–82.
22. Braswell, B.H.; Schimel, D.S.; Moore III, B.; Emery, W.J.; Sulzman, E.W.; Hudak, A.T. Extracting ecological and biophysical information from AVHRR optical data: An integrated algorithm based on inverse modeling. *J. Geo. Res.: Atm.* **1996**, *101*(D18), 23335–23348.
23. Binh, N.A.; Nhut, H.S.; An, N.N.; Phuong, T.A.; Hanh, N.C.; Thao, G.T.P.; Pham, T.T.; Hong, P.V.; Ha, L.T.T.; Bui, D.T.; et al. Thirty-year dynamics of LULC at the Dong Thap Muoi area, Southern Vietnam, using google earth engine. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2021**, *10*, 226.
24. Dương, V.K.; Chu, M.T.; Nguyễn, T.H.; Bùi, Đ.G. Sử dụng tư liệu viễn thám đa thời gian để đánh giá biến động chỉ số thực vật lớp phủ và một số phân tích về thời vụ và trạng thái sinh trưởng của cây lúa ở Đồng bằng sông Hồng và sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2010**, *595*, 36–42.

25. Vũ, T.T.; Bảo, L.T.; Nhân, N.T.; Khánh, N.V.; Tuấn, Đ.M.; Nhát, T.T. Đánh giá thiệt hại tiềm năng diện tích đất trồng lúa do hạn mặn năm 2018 ở khu vực huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 749, 1–11.
26. Hiền, T.T.; Minh, V.Q.; Hương, H.T.T.; Dân, T.T.; Chiên, H.V.; An, N.H.; Thành, N.P. Theo dõi hiện trạng trà lúa và cảnh báo dịch hại trên cơ sở sử dụng công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý GIS. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2013**, 143–151.
27. Hoang-Phi, P.; Nguyen, L.D.; Thong, N.H.; Thuy, L.T.; Apan, A.A. Monitoring rice growth status in the Mekong Delta, Vietnam using multitemporal Sentinel-1 data. *J. App. Remote Sen.* **2020**, 14(1), 1–23.
28. Trục tuyến: <https://dongthap.gov.vn/dieu-kien-tu-nhien-dong-thap>.
29. Atkinson, P.M.; Jeganathan, C.; Dash, J.; Atzberger, C. Inter-comparison of four models for smoothing satellite sensor time-series data to estimate vegetation phenology. *Remote Sen. Environ.* **2012**, 123, 400–417.
30. Atzberger, C.; Eilers, P.H.C. A time series for monitoring vegetation activity and phenology at 10-daily time steps covering large parts of South America. *Int. J. Digit. Earth* **2011**, 4(5), 365–386.

## **Integration of satellite earth observation data and PROSAIL model in monitoring the growth of rice in the Mekong Delta: A case study in Dong Thap province**

**Le Thi Thu Ha<sup>1,2\*</sup>, Giang Thi Phuong Thao<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Hanoi university of Mining and Geology; lethithuha@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Geomatics in Earth Sciences; lethithuha@humg.edu.vn

<sup>3</sup> Ho Chi Minh City Institute of Resources Geography, Vietnam Academy of Science and Technology; gtpthao@hcmig.vast.vn

**Abstract:** Global agricultural production has been facing mounting pressure due to a confluence of factors, including dynamic population growth, nutritional demands, and severe climate conditions. In response to these challenges, there is an urgent requirement for accurate, large-scale, and regular monitoring of rice paddies. Such an approach is crucial for ensuring the stability and augmentation of the global food supply. This study proposes a novel approach for modeling and estimating biochemical variables representative of rice growth, Leveraging multispectral satellite imagery and the radiative transfer model PROSAIL. The results successfully generated spatiotemporal maps depicting biochemical variables corresponding to various rice development stages within Dong Thap province following time series of Sentinel-2 satellite images captured between October 2022 and December 2023. Furthermore, a classification model was developed utilizing the Random Forest machine learning algorithm and incorporating a comprehensive dataset of nearly 700 field points, resulting in accurate characterizations of the prevailing rice cultivation conditions in Dong Thap province. This enabled the identification of temporal dynamics and cultivation patterns among areas with distinct crop calendars. Quantifying biochemical variables based on multi-temporal satellite series fosters a deeper understanding of rice cultivation over the Mekong Delta. This knowledge can serve the purpose of improving farming methods as well as optimizing productivity of this key crop.

**Keywords:** Rice Growth Map; Sentinel-2 satellite image; PROSAIL model; Dong Thap Province.