

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG CÔNG CỤ VIỄN THÁM VÀ BỘ CHỈ SỐ GIÁM SÁT CÂY TRỒNG - PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ THÍ ĐIỂM NĂNG SUẤT CHO KHU TƯỚI THUỘC TỈNH NINH THUẬN

Trần Đức Trinh, Vũ Thị Thủy, Nguyễn Hương Giang

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Lương Tuấn Trung

Viện Khoa học khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu

Lưu Anh Tuấn

Công ty TNHH MTV Khai thác công trình thủy lợi Ninh Thuận

Đặng Thanh Nam

Viện Hàng hải – Đại học Giao thông vận tải Tp. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Giám sát viễn thám ngày càng phổ biến với việc đưa vào các hệ thống cảm biến và vệ tinh độ phân giải cao ngày càng nhiều. Có rất nhiều nghiên cứu và ứng dụng đã tận dụng được công cụ ngày càng mạnh mẽ của các hệ thống thông tin vệ tinh để đưa ứng dụng vào trong các ngành môi trường, tài nguyên, khoa học trái đất. Việc xây dựng các công cụ giải đoán dựa trên phổ ảnh tương quan với quá trình sinh trưởng của cây trồng đã được ứng dụng trên rất nhiều loại cây trồng trên thế giới với mức độ thành công rất cao. Tuy nhiên việc xây dựng được các đánh giá dự báo về diễn biến cây trồng và năng suất mùa vụ còn phụ thuộc nhiều vào các điều kiện canh tác tại chỗ, như nguồn nước, chất đất, chăm sóc do đó các nghiên cứu đều cần phải có quá trình đánh giá cụ thể cho từng khu vực dựa trên các thông tin giám sát lịch sử. Nghiên cứu này xây dựng các công cụ giải đoán ảnh vệ tinh Sentinel để phân tách vùng trồng lúa, đánh giá chu kỳ sinh trưởng của lúa và giải thuật dự báo năng suất lúa với các biến động trong chu kỳ sinh trưởng. Các kết quả nghiên cứu cho thấy tương quan rất lớn của các giải thuật phân tích (với sai số dự báo năng suất nhỏ ở mức 3.3%) cho vùng tưới hồ Bà Râu - Ninh Thuận. Phương pháp phân tích và kết quả cho phép mở rộng kết quả nghiên cứu cho các vùng khác của Việt Nam và các loại cây trồng khác.

Từ khóa: Viễn thám; Giám sát cây trồng; Năng suất lúa; Cân bằng nước; Google Earth Engine.

Summary: Remote sensing monitoring is increasingly popular with the commissioning of high-resolution sensor systems. There are many research and applications that have leverage the increasingly powerful tools of satellite observing systems to bring applications into the fields of environment, natural resources, and earth sciences. The construction of predictive tools based on the remote-sensed spectrum correlated with the phenotype of plants has been applied to many crops in the world with a very high degree of success. However, the development of predictive assessments of rice phenotype and crop yield is highly dependent on local farming conditions, such as water resource, soil quality, and agriculture extension. There must be a insitu assessment based on historical time series. This study developed algorithm for Sentinel satellite image interpretation to separate rice growing areas, assess rice growth cycle and predict rice yield corresponding with the growth cycle. Results show a very high correlation of the analysis algorithms (with a small prediction error at 3.3% for the yield) for the irrigation area of Ba Rau reservoir - Ninh Thuan. The analytical method, algorithm and results allow to replicate the research results to other regions of Vietnam and other crops.

Keywords: Remote sensing; Crop monitoring; Yield prediction; Water Balance; Google Earth Engine.

1. GIỚI THIỆU

Mục tiêu phát triển bền vững của Liên hợp quốc năm 2015 nhấn mạnh các chỉ tiêu về đảm bảo an ninh lương thực, thúc đẩy các hệ thống nông nghiệp bền vững và giảm đói nghèo. Mặc dù đã có những tiến bộ trong sản xuất nông nghiệp

những năm gần đây, lĩnh vực này vẫn đặt ra thách thức không nhỏ do môi trường tác phức tạp giữa mùa vụ và các yếu tố biến động thời tiết, khan hiếm nước hay thiên tai. Trong một thập kỷ trở lại đây trên thế giới và Việt Nam đã chứng kiến những thay đổi bất thường của các

Ngày nhận bài: 22/6/2021

Ngày thông qua phản biện: 15/7/2021

Ngày duyệt đăng: 19/7/2021

yếu tố thời tiết, nguồn nước làm đảo lộn nhiều yếu tố thị trường của các loại nông sản (như ngô, gạo, lúa mì). Đối với một quốc gia hay một ngành sản xuất, việc đánh giá được hiện trạng sản xuất và dự báo được sản lượng là hết sức cần thiết để có những hoạch định và ứng phó trong chuỗi cung ứng và giảm thiểu các tác động bất lợi đến xã hội và mục tiêu phát triển bền vững. Do đó, việc có được một hệ thống giám sát mùa vụ kết nối với nhu cầu và khả năng nguồn nước trong điều kiện sản xuất được đặt ra cho nhiều nước, và vùng lãnh thổ [1].

Do đặc thù của sản xuất nông nghiệp có biến động rất lớn theo mùa với quá trình sinh trưởng và các yếu tố thời tiết, quản lý canh tác khác nhau và điều kiện thổ nhưỡng (đất, dinh dưỡng). Các yếu tố tác động đến sản xuất nông nghiệp có xu hướng biến động theo không gian và thời gian. Ngoài ra yếu tố phụ thuộc về nguồn nước cho canh tác cũng là một yếu tố được đề cập cần quan tâm để đánh giá được phát triển mùa vụ và dự báo sản lượng. Vì vậy yếu tố cập nhật là rất cần thiết do biến động nhanh của sức khỏe cây trồng (các cây lương thực, ngắn ngày) với các điều kiện bất lợi [2].

Tùy theo mục đích khác nhau của các hệ thống giám sát cây trồng mà hệ thống giám sát cây trồng sử dụng các loại dữ liệu nên, dữ liệu vệ tinh khác nhau để có thể đưa ra được dự báo, đánh giá cho người dùng. Phổ biến nhất hiện tại là các hệ thống đánh giá cho toàn cầu như GIEWS, FEWS NET, CROPWATCH. GIEWS được xây dựng đầu những năm 70 của thế kỷ XX, là một trong những nguồn thông tin toàn cầu cơ bản đầu tiên hỗ trợ thông tin về an ninh lương thực trong tổ chức FAO. Hệ thống GIEWS thường xuyên giám sát sản lượng lương thực của thế giới, nhu cầu lương thực sử dụng các dữ liệu không gian như là một đầu vào quan trọng để phát hiện các vấn đề liên quan đến thời tiết có tác động xấu tới sản xuất nông nghiệp của các quốc gia thành viên [3].

Ngoài ước tính lượng mưa và Chỉ số chuẩn hóa khác biệt thực vật (NDVI), GIEWS sử dụng Chỉ số căng thẳng nông nghiệp (ASI), được thông qua vào năm 2013, một chỉ số để xác định sớm các khu vực nông nghiệp có thể bị ảnh hưởng bởi các đợt khô hạn [4], được thiết kế để hỗ trợ khoảng trống thông tin trong hệ thống cảnh báo sớm về nông nghiệp hiện có. Hệ thống ASI tạo ra một bản đồ (theo tần suất 10 ngày) cho thấy các điểm nóng nơi cây trồng bị ảnh hưởng bởi áp lực thiếu nước trong thời kỳ phát triển, sau đó chỉ số được xác minh bởi dữ liệu từ các tổ chức công cộng hoặc sử dụng các mô hình khí tượng nông nghiệp dựa trên dữ liệu thu được từ các mạng khí tượng quốc gia [5].

Từ năm 1985, hệ thống FEWS NET2 được Cơ quan hỗ trợ phát triển Hoa Kỳ (USAID) khởi xướng để cung cấp hỗ trợ quyết định cho các chương trình hỗ trợ thực phẩm và các cơ quan cứu trợ. FEWS NET do đó xây dựng các hệ thống hỗ trợ định lượng cả những thay đổi trong diện tích trồng cũng như năng suất cây trồng nhưng không giám sát trực tiếp quá trình sản xuất [6]. Hệ thống FEWS NET sử dụng dữ liệu từ đánh giá thực địa, khí hậu nông nghiệp, giám sát thị trường/giá cả, giám sát dinh dưỡng và xung đột được kết hợp để xây dựng các kịch bản, thực hiện phân tích sinh kế và đưa ra thông tin để hỗ trợ quyết định hiệu quả. FEWS NET sử dụng rất nhiều dữ liệu khí hậu nông nghiệp để phân tích an ninh lương thực, chủ yếu dựa vào phân tích dị thường [7].

CropWatch, được phát triển bởi Viện Viễn thám và Kỹ thuật số trái đất tại Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc, đánh giá quốc gia và sản xuất cây trồng toàn cầu. Bắt đầu vào năm 1998, mục tiêu của hệ thống này là cung cấp dự báo kịp thời, đáng tin cậy và độc lập về điều kiện cây trồng và sản xuất, cả ở Trung Quốc và toàn cầu, để lên kế hoạch trồng trọt, nhập khẩu, xuất khẩu, và giá cả và đảm bảo an ninh lương thực quốc gia [8]. Kể từ năm 2013, CropWatch đã phát hành bản tin quốc tế. Bốn cấp độ không gian được xem xét: toàn cầu, khu vực, quốc gia

(31 quốc gia bao gồm Trung Quốc) và địa phương. Các mô hình toàn cầu về điều kiện sinh trưởng được phân tích bằng các chỉ số về lượng mưa, nhiệt độ, bức xạ quang hợp (PAR) cũng như sinh khối tiềm năng. Ở quy mô khu vực, các chỉ số khác như chỉ số sức khỏe thực vật (VHI) và Chỉ số điều kiện thảm thực vật (VCI) được sử dụng để mô tả tình trạng cây trồng, mức độ thâm canh và căng thẳng cây trồng. CropWatch cũng thực hiện chi tiết phân tích điều kiện ở quy mô quốc gia và địa phương với một loạt các biến và chỉ số toàn diện để đưa ra ước tính sản xuất lương thực [8, 9].

Ở cấp độ quốc gia và vùng canh tác, các đánh giá ở các nước cũng cho thấy mức độ tin cậy và tính khả dụng của các giám sát vệ tinh với các bộ chỉ số để đánh giá năng suất cây trồng. Ở Argentina và Brazil, các đánh giá dùng chỉ số dị biệt của NDVI, EVI, NDWI cho thấy có tương quan lớn giữa thay đổi năng suất đậu tương và các dị biệt trong các hệ chỉ số [10]. Ở Tây nguyên Việt Nam, dự báo năng suất đánh giá kết hợp số liệu thống kê và chỉ số bốc thoát hơi ET_a (từ nguồn số liệu vệ tinh) landsat 5, landsat 7 và landsat 8 cho cây cà phê đến cấp độ trang trại cho mức độ sai lệch dự báo năng suất từ 8-13% [11]. Ở Canada, NDVI và sản lượng lúa mì, lúa mạch, cây họ đậu của các vùng canh tác (giá trị tương quan đánh giá theo chỉ số R^2 từ 0.55 đến 0.6), đối với một số vùng bán khô hạn giá trị tương quan lên đến 0.8 và 0.9 [12]. Tại Ethiopia với việc áp dụng các chỉ số giám sát viễn thám trong hệ thống CROPWATCH và mô hình tăng trưởng cây trồng WOFOST [13] cho phép dự báo năng suất lúa mì với độ chính xác tăng hơn 30% (từ 0.5 khi không có mô hình sinh trưởng và 0.8 với mô hình sinh trưởng).

Như đã chỉ ra ở trên các chỉ số giám sát vệ tinh có nhiều lợi thế trong việc cung cấp các chuỗi dữ liệu theo không gian và thời gian cho một diện tích khu vực từ cánh đồng đến vùng canh tác và quy mô toàn cầu. Tuy nhiên, đối với việc sinh trưởng cây trồng ở các vùng đánh giá khác

nhau, thì việc hiệu chỉnh là cần thiết [8, 12, 14]. Để từ đó việc sử dụng các chỉ số và tương quan với tăng trưởng, năng suất cây trồng được điều chỉnh phản ánh được đặc điểm từng vùng địa lý, điều kiện và tập quán canh tác. Bài báo này do đó giới thiệu ứng dụng của các bộ chỉ số giám sát vệ tinh cùng với thông số thống kê năng suất cho một vùng tưới của tỉnh Ninh Thuận để làm nền tảng cho các đánh giá sâu hơn liên kết các bộ chỉ số giám sát với quy trình vận hành hệ thống tưới sau này.

Vùng nghiên cứu được lựa chọn là khu tưới độc lập thuộc hạ lưu của hồ chứa thủy lợi Bà Râu – Ninh Thuận. Vùng nghiên cứu thuộc Huyện Thuận Bắc nằm trong khu vực khô hạn của cả nước, có nền khí hậu nhiệt đới gió mùa bán khô hạn điển hình với đặc trưng là khô nóng, ít mưa bão, nắng và gió quanh năm. Nhiệt độ trung bình hàng năm 27°C , lượng mưa hàng năm từ 700-800mm, mùa mưa thường bắt đầu vào tháng 9 và kết thúc vào tháng 11 hàng năm.



Hình 1: Bản đồ lưu vực hồ chứa nước Bà Râu - Ninh Thuận và khu tưới

Hồ Bà Râu: Hồ Bà Râu đã đưa vào sử dụng cuối năm 2012 với dung tích chứa 4,7 triệu m^3 , diện tích lưu vực là 29 km^2 . Hồ Bà Râu bảo đảm cung cấp nước tưới cho 300 ha đất sản xuất nông nghiệp thuộc xã Lợi Hải, Phước Kháng và cấp nước sinh hoạt trong vùng đồng thời cung cấp đủ 1.000 m^3 nước/ngày cho khu công nghiệp Du Long. Khu tưới của hồ Bà Râu nằm trong khu vực: Xã Phước Kháng, Lợi Hải, với trên 3000 hộ dân và dân số khoảng trên 13.400

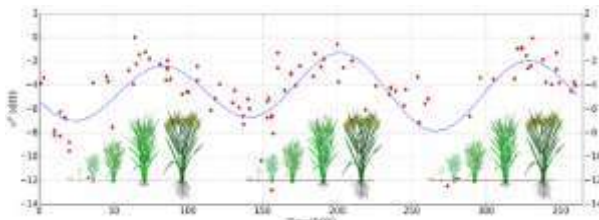
dân (năm 2018).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để xây dựng được hệ thống tích hợp chỉ số giám sát, tăng trưởng và năng suất cho vùng lúa của tỉnh Ninh Thuận, nghiên cứu này sử dụng các phương pháp về phân tách lúa từ ảnh vệ tinh, giám sát sinh trưởng cho lúa bằng chỉ số NDVI, và cuối cùng là phương pháp xây dựng quan hệ giữa chỉ số giám sát và năng suất lúa.

2.1. Mô hình phân tách lúa

Trong nghiên cứu này, mô hình phân tách lúa bằng ảnh radar được xây dựng dựa trên các đặc tính sinh trưởng theo thời vụ của cây lúa. Hình thái (giai đoạn sinh trưởng) của cây lúa bắt đầu bằng việc gieo trồng, trổ và kết thúc bằng thu hoạch [15]. Ngày gieo trồng phụ thuộc vào nhiệt độ đất, độ ẩm của đất, điều kiện thời tiết và tập quán của người nông dân. Sau khi trồng, trời là giai đoạn phát triển sinh dưỡng đầu tiên và là yếu tố đầu tiên dự báo thành công của vụ mùa. Biết được sự xuất hiện của cây trồng ở thời kỳ sinh trưởng sớm là rất quan trọng cho việc lập bản đồ cây trồng sớm và theo dõi tình trạng cây trồng. Thu hoạch là giai đoạn sinh trưởng cuối cùng và thể hiện sự kết thúc của mùa vụ đối với các loại cây trồng, và là thời điểm xác định sinh khối và năng suất của cây trồng.



Hình 2: Minh họa phản xạ sóng radar theo từng thời kỳ sinh trưởng của lúa theo mùa vụ [15]

Vệ tinh viễn thám cung cấp các quan sát thường xuyên về các đặc tính bề mặt đất, có thể mô tả đặc điểm của cây trồng và thảm thực vật. Thời gian và cường độ phản xạ các sóng điện từ có mối quan hệ với hình thái sinh trưởng từng thời kỳ của cây lúa. Các chỉ số về phản xạ sóng điện

từ có thể cung cấp các thông tin về cây trồng tại các thời điểm sinh trưởng cụ thể của thực vật, cũng như các đặc điểm chuỗi thời gian khác như cực tiểu, cực đại, biên độ. Hình thái cụ thể của cây trồng đóng vai trò là thông tin ưu tiên để hợp nhất với dữ liệu viễn thám được quan sát. Dữ liệu hợp nhất sau đó được sử dụng để ước tính các hình thái đặc trưng của cây trồng trong thời điểm hiện tại.

Các phương pháp lập bản đồ từ ảnh viễn thám có thể được phân loại theo nhiều cách khác nhau, trong đó có thể kể đến hai hướng tiếp cận chủ yếu là phân loại dựa trên đường cong tham chiếu (curve-based) và phân loại dựa trên xu hướng (trend-based)[16]. Phương pháp tiếp cận dựa trên đường cong yêu cầu thông tin diễn biến thảm thực vật từ các năm lịch sử làm thông tin phụ trợ cho năm hiện tại. Trong các cách tiếp cận này, các đường cong tiêu chuẩn cho cùng một loại lớp phủ từ các năm lịch sử được sử dụng để khớp với các quan sát viễn thám của năm hiện tại.

Không giống như phương pháp dựa trên đường cong, phương pháp dựa trên xu hướng chỉ sử dụng dữ liệu viễn thám gần đây được quan sát từ mùa vụ hiện tại. Trong hướng đi này, yếu tố quan trọng cần xác định đó là xu hướng thay đổi từ chuỗi thời gian giá trị phản xạ sóng và phát hiện các ngày chuyển đổi cho thấy sự thay đổi đáng kể. Reed và cộng sự [17] đã sử dụng phương pháp tiếp cận đường trung bình động để phát hiện đặc tính sức khỏe của cây trồng trong mùa từ chuỗi thời gian AVHRR. Gao và cộng sự [16] đã sử dụng phương pháp phân kỳ hội tụ trung bình động làm chỉ báo để phát hiện xu hướng tăng hoặc giảm trong chuỗi thời gian dữ liệu Sentinel-2. Các phương pháp tiếp cận dựa trên xu hướng không phụ thuộc vào đường cong cây trồng hoặc điều kiện từ những năm trước và không cần thông tin về loại cây trồng.

Xem xét tính sẵn có của dữ liệu cho khu vực nghiên cứu, nghiên cứu đã chọn thực hiện phương pháp phân tích tán xạ ngược đa thời

gian trên dữ liệu SAR Sentinel-1A band C để lập bản đồ lúa. Sau các bước tiền xử lý gồm lọc bỏ nhiễu, hiệu chỉnh bức xạ, lọc đốm ảnh và nắn chỉnh hình học, để tạo một chuỗi thời gian đủ dày cho việc lập bản đồ lúa, các dữ liệu Sentinel 1A được tổng hợp từ năm 2016 (thời điểm dữ liệu Sentinel bắt đầu ổn định) thành một tập dữ liệu. Các dữ liệu về thời gian thu nhận ảnh được chuyển đổi sang số thứ tự ngày trong năm (DOY) và bỏ qua năm hình ảnh được chụp để có thể tìm ra quy luật biến đổi chung của dữ liệu phản xạ theo các mùa vụ trong một năm (đông xuân, hè thu, vụ mùa). Chuỗi giá trị σ^0 đại diện cho đặc trưng phản xạ của vùng nghiên cứu trong khoảng thời gian từ 2016 đến 2020 với khoảng cách thời gian thu nhận trung bình là 12 ngày.

Thông thường, các chuỗi dữ liệu phản xạ sẽ gặp phải nhiễu động do thay đổi sử dụng đất, chuyển dịch trong các mùa trồng trọt, điểm bắt đầu và kết thúc mùa vụ, cũng như độ dài của thời gian canh tác. Các loại lỗi này được cho là có tính chất ngẫu nhiên và do đó để làm mượt chuỗi giá trị phản xạ, bộ lọc Gaussian được chọn để lọc theo thời gian vì có thể đồng nhất các dữ liệu thành đường cong phù hợp với quá trình sinh trưởng của cây lúa, với các giá trị đỉnh riêng biệt và chuyển tiếp rõ ràng.

Hàm Gaussian được biểu thị bằng công thức:

$$y = Ae^{-(x-\mu)^2/2\sigma}$$

Hàm này có thể được biểu diễn bằng đồ thị đường cong hình chuông đối xứng tâm ở vị trí $x=\mu$, với A là chiều cao của đỉnh và σ đặc trưng chiều rộng của đáy đồ thị. Bài toán đặt ra ở đây đó là các định các tham số A, μ và σ tối ưu nhất.

Với lưu ý rằng một hàm Gaussian là cấp số nhân của một hàm bậc hai, một phương pháp đơn giản hơn đã được đề xuất bởi Caruana và cộng sự, với việc tính toán logarit tự nhiên của dữ liệu trước tiên và sau đó khớp các kết quả với một đường parabol. Với ưu điểm xử lý nhiễu trong dữ liệu quan sát cũng như độ chính xác ít phụ

thuộc vào dải biên độ của giá trị, thuật toán này được xem xét áp dụng trong nghiên cứu này.

Thuật toán của Caruana dựa trên thực tế là một hàm Gaussian là tích lũy thừa của một hàm bậc hai. Lấy logarit tự nhiên của hàm Gaussian cho kết quả:

$$\begin{aligned}\ln(y) &= \ln(A) + \frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \\ &= \ln(A) - \frac{\mu^2}{2\sigma^2} + \frac{2\mu x}{2\sigma^2} - \frac{x^2}{2\sigma^2} \\ &= a + bx + cx^2,\end{aligned}$$

Bằng cách này, phương trình phi tuyến với các ẩn số A, μ và σ được biến đổi thành một phương trình tuyến tính với các ẩn số là a, b và c, do đó làm giảm độ phức tạp tính toán. Trong đó:

$$a = \ln(A) - \mu^2/2\sigma^2, \quad b = \mu/\sigma^2, \quad c = -1/2\sigma^2$$

Sau khi các đường đồng nhất được xây dựng cho chuỗi giá trị phản xạ của từng điểm ảnh trên dữ liệu Sentinel-1A, mỗi đồ thị Gaussian sẽ đặc trưng cho hình thái phản xạ của từng đối tượng trên bề mặt đất. Dựa vào sự khác nhau giữa các tham số đồ thị (A, μ và σ), có thể phân loại các đối tượng này thành các loại thảm phủ khác nhau. Khu vực nghiên cứu được phân loại các loại thảm phủ thành bốn nhóm chính gồm: nước, đất trống, lúa và các thực vật khác. Việc phân loại này sẽ được sử dụng hàm phân loại K-means.

K-means là một thuật toán phân cụm đơn giản thuộc loại không giám sát (tức là không có tệp dữ liệu tham chiếu do người dùng định sẵn) và được sử dụng để giải quyết bài toán phân loại, trong đó số lượng nhóm được cho trước là k. Công việc phân nhóm được xác lập dựa trên nguyên lý: Các điểm dữ liệu trong cùng 1 cụm thì phải có cùng 1 số tính chất nhất định. Tức là giữa các điểm trong cùng 1 cụm phải có sự liên quan lẫn nhau. Thông thường, các điểm trong 1 cụm đó sẽ là các điểm dữ liệu gần nhau.

Như vậy, với phương pháp phân loại dựa trên đặc tính phản xạ của từng đối tượng theo chuỗi thời gian trong năm, một điểm ảnh có thể được

phân loại vào các nhóm trùng với xu thế của đường đồ thị tương ứng.

2.2. Phương pháp chỉ số giám sát lúa

Bộ số liệu giám sát cây trồng Cropwatch được lựa chọn để giám sát tình trạng cây lúa. Các số liệu bao gồm: NDVI, VCI.

▪ Giải thuật phân tích NDVI:

Chỉ số thực vật chuẩn hóa (NDVI) được trung bình hóa trong một chuỗi số liệu theo thời gian sẽ là công cụ cơ bản để giám sát sự thay đổi trạng thái thực vật. Chỉ số NDVI được tính theo công thức sau:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Trong đó NIR, R là phổ phản xạ của bề mặt ở dải sóng cận hồng ngoại và dải đỏ. Giá trị của NDVI là dãy số -1 đến +1; Giá trị NDVI thấp thể hiện nơi đó NIR (near infrared) và R có độ phản xạ gần bằng nhau, chỉ thị độ phủ thực vật thấp. Giá trị NDVI có giá trị âm cho thấy R có độ phản xạ cao hơn độ phản xạ của NIR (near infrared), do đó thảm phủ không phải thực vật mà có thể là mặt nước hoặc do mây phủ.

Trong phạm vi nghiên cứu này sử dụng dữ liệu ảnh quang học Landsat và Sentinel 2A để tính toán cho chỉ số NDVI.

▪ Giải thuật phân tích chỉ số VCI:

Chỉ số trạng thái thực vật được xem là thước đo để đánh giá trạng thái sinh trưởng và phát triển của lớp phủ thực vật với thứ nguyên là phần trăm (%). Giá trị VCI dao động trong khoảng 50% - thực vật phát triển bình thường, VCI > 50% - thực vật phát triển tốt và khi VCI đạt gần mức 100% là khi thực vật phát triển tốt nhất. Công thức tính:

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

Để tính toán được công thức VCI, một chuỗi dữ liệu NDVI lịch sử để tham chiếu sẽ được tính toán từ các tập ảnh vệ tinh Landsat và Sentinel 2A theo thời gian như đã trình bày ở trên. Dựa trên chuỗi NDVI này, các giá trị cực đại và cực

tiểu sẽ được xác định cho từng điểm ảnh. Mỗi khi có dữ liệu NDVI mới, dữ liệu này sẽ được cập nhật vào chuỗi NDVI tham chiếu, đảm bảo chuỗi này luôn được ở trạng thái động (các giá trị cực đại, cực tiểu luôn được cập nhật).

▪ Giải thuật dự báo năng suất lúa

Sự thay đổi năng suất cho mỗi loại cây trồng được hiệu chỉnh dựa trên chuỗi thời gian NDVI, sử dụng phương trình sau:

$$\Delta Y_i = f(NDVI_i, NDVI_{i-1})$$

trong đó $NDVI_i$ và $NDVI_{i-1}$ được lấy từ chuỗi thời gian của trung bình không gian của NDVI của lúa cho thời điểm hiện tại và trước đó. ΔY_i được tính toán bằng hồi quy so với NDVI trung bình hoặc cao nhất (tùy theo giá trị nào cho kết quả hồi quy tốt nhất), xem xét đặc điểm mùa vụ của từng loại cây trồng đối với từng khu vực cụ thể.

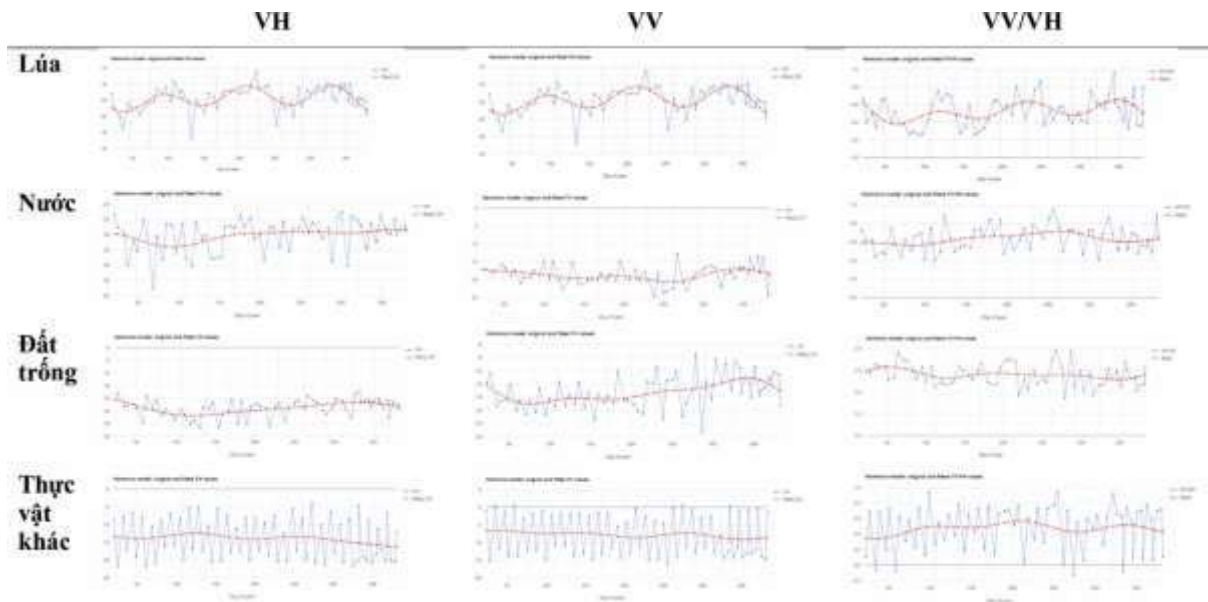
Nghiên cứu thử nghiệm các giá trị NDVI được sử dụng ở các thời điểm:

- Giai đoạn I: giữa thời kỳ gieo và trở đồng (NDVI có xu hướng đi lên)
- Giai đoạn II: thời kỳ trở đồng (NDVI cực đại)
- Giai đoạn III: giữa thời kỳ trở đồng – thu hoạch (NDVI có xu hướng đi xuống).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

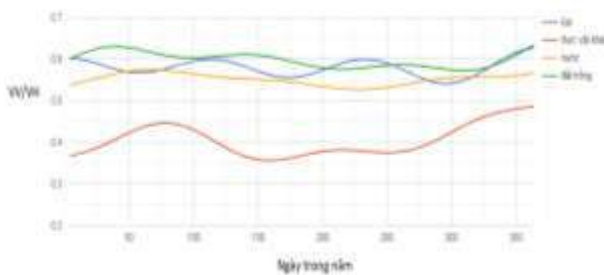
Như đã trình bày trong phần trên, các chuỗi giá trị phản xạ sóng điện từ với các kênh VV, VH và VV/VH được xây dựng với 4 nhóm đối tượng thảm phủ chủ yếu là lúa, nước, đất trống và các thực vật khác. Mô hình chỉ ra các đối tượng này có đặc tính phản xạ sóng khác nhau theo các khoảng thời gian trong năm. Cụ thể, với các đối tượng là lúa, biến thiên đồ thị chỉ rõ 3 chu kỳ riêng biệt với 3 đỉnh rõ ràng, phù hợp với thực tế canh tác lúa 3 vụ trên địa bàn tỉnh Ninh Thuận. Trong khi đó, các đối tượng là đất trống và mặt nước gần như có tính phản xạ ổn định trong suốt chiều dài của năm. Các đối tượng là thực vật khác (cây, cỏ ...) thì có tỷ lệ phản xạ nhỏ hơn so với lúa và thường có xu

hướng phản xạ mạnh vào mùa mưa và phản xạ thấp vào mùa khô.

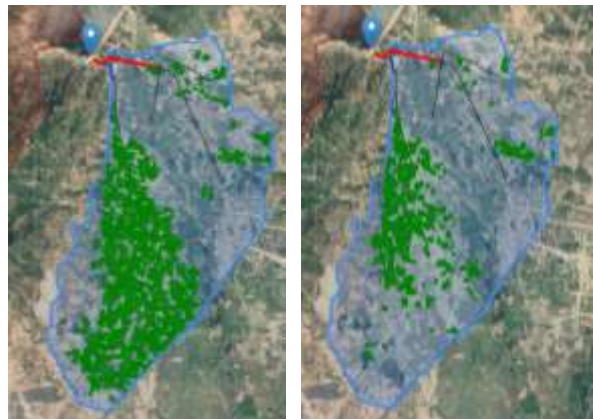


Hình 3: Hình thái phản xạ sóng điện từ của một số đối tượng nghiên cứu với chuỗi thời gian trong năm sau khi được đồng nhất

Dựa vào kết quả của mô hình đồng nhất chuỗi phản xạ sóng radar của các đối tượng, có thể thấy rõ các giá trị điểm ảnh đại diện cho vùng trồng lúa có sự khác biệt rất rõ rệt về biên độ và chu kỳ dao động trong năm. Đặc biệt, kênh sóng VV/VH thể hiện mạnh nhất sự khác biệt giữa các đối tượng, vì vậy kênh ảnh này được sử dụng làm đầu vào cho mô hình phân tách lúa với thuật toán K-means.



Hình 4: Tổng hợp đường đặc tính phản xạ VV/VH của một số thảm phủ trích xuất từ ảnh Sentinel-1A.



Hình 5: Khu vực trồng lúa (màu xanh) tại các thời điểm khác nhau được phân tách từ ảnh Sentinel-1A bằng phương pháp Gaussian fitting và K-means

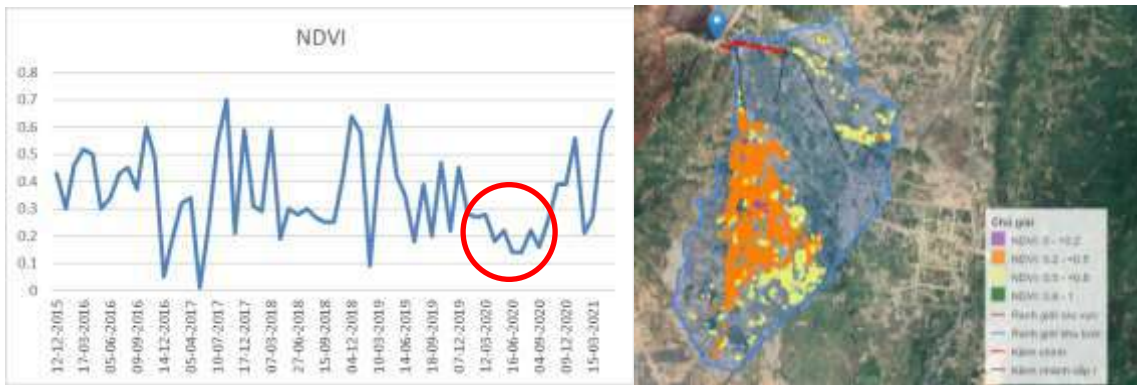
Kết quả phân lớp lúa được đánh giá với số liệu thống kê thu thập được với khu vực thí điểm là khu tưới hồ Bà Râu được thể hiện trong bảng. Số liệu so sánh là tổng diện tích gieo trồng lúa trong cả năm từ năm 2016 đến 2020. Sai số giữa số liệu thống kê và diện tích nằm trong khoảng dưới 10%, trong đó tính toán từ mô hình có xu hướng thiên thấp so với dữ liệu thực tế.

Bảng 1: So sánh kết quả sử dụng mô hình mà dữ liệu thực tế đánh giá diện tích gieo trồng lúa khu vực Hồ Bà Râu

| Năm | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diện tích thống kê (ha) | 515 | 747.4 | 471 | 458.6 | 218.3 |
| Diện tích từ mô hình (ha) | 498.8 | 682.4 | 459.4 | 419.5 | 200.8 |
| Sai số (%) | 3.2 | 9.5 | 2.5 | 9.3 | 8.7 |

Phân tích chỉ số NDVI tại mỗi thời điểm được tính bằng trung bình tất cả các giá trị NDVI của các pixel đặc trưng cho lúa. Chuỗi giá trị NDVI thể hiện được xu thế sinh trưởng của cây lúa: tăng dần từ đầu vụ đến khi đạt đỉnh và bắt đầu giảm đến lúc thu hoạch, phù hợp với diễn biến

mức độ “xanh” của cây lúa. Đặc biệt, chỉ số NDVI xuống rất thấp dưới 0.2 trong một khoảng thời gian dài (vụ hè thu 2018-2019, đông xuân và hè thu 2020) phản ánh đúng việc khu vực hồ Bà Râu ngừng trồng lúa vì tình trạng thiếu nước do khô hạn.

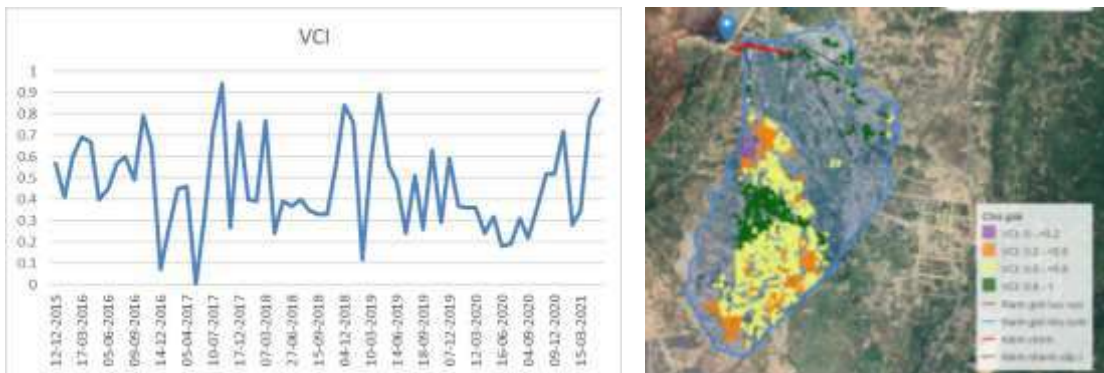


Hình 6: Diễn biến NDVI và phân bố NDVI theo không gian của vùng trồng lúa tại Hồ Bà Râu

▪ Phân tích chỉ số VCI

Nhìn chung, xu hướng chỉ số VCI có tương quan và bám sát xu hướng của NDVI, tuy nhiên chỉ số này có tính đến giá trị cực đại và cực tiểu của NDVI, do

đó phản ánh tốt tình trạng của cây trồng, đặc biệt trong thời kỳ khô hạn xảy ra. Khoảng dao động của giá trị VCI cũng lớn hơn, vì vậy thể hiện các đặc trưng của cây trồng chi tiết hơn.



Hình 7: Diễn biến VCI và phân bố VCI theo không gian của vùng trồng lúa tại Hồ Bà Râu

Với mô hình dự báo năng suất lúa được mô tả và xây dựng, xu thế năng suất lúa cho vùng

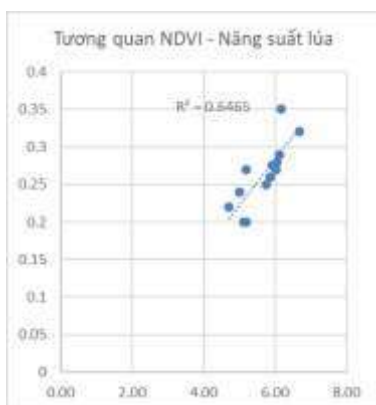
được nghiên cứu được xác định bằng cách chọn từ một loạt hàm số theo các dạng tuyến tính, phi

tuyến tính, trung bình trượt với các bước trượt khác nhau sao cho phù hợp nhất với năng suất thực tế của các vùng đã chọn. Các dữ liệu biến động của NDVI được giả định có mối tương

quan với biến thiên về năng suất lúa. Kết quả tính toán NDVI cho từng mùa vụ của từng năm giai đoạn 2016 - 2019 tại khu vực hồ Bà Râu được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 2: Năng suất lúa các vụ hồ Bà Râu và giá trị NDVI trung bình tương ứng

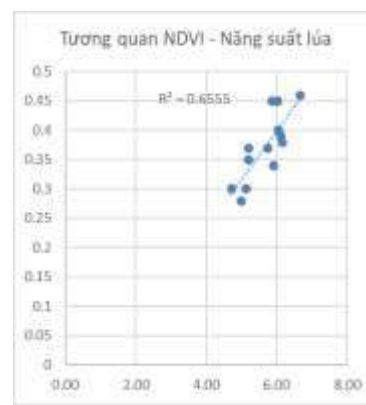
| Năng suất (tấn/ha) thống kê | NDVI giai đoạn I | NDVI giai đoạn II | NDVI giai đoạn III |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| 6,02 | 0,27 | 0,6 | 0,45 |
| 5,75 | 0,25 | 0,42 | 0,37 |
| 5,20 | 0,2 | 0,41 | 0,37 |
| 6,04 | 0,28 | 0,58 | 0,4 |
| 5,92 | 0,275 | 0,55 | 0,34 |
| 5,13 | 0,2 | 0,42 | 0,3 |
| 6,67 | 0,32 | 0,63 | 0,5 |
| 5,87 | 0,26 | 0,5 | 0,45 |
| 4,71 | 0,22 | 0,4 | 0,3 |
| 6,16 | 0,38 | 0,57 | 0,4 |
| 5,00 | 0,24 | 0,5 | 0,28 |
| 6,11 | 0,29 | 0,53 | 0,39 |
| 5,20 | 0,23 | 0,47 | 0,35 |
| 5,82 | 0,26 | 0,51 | 0,33 |



a)



b)



c)

Hình 8: Tương quan giữa năng suất (trục x) và giá trị NDVI (trục y) của các giai đoạn I (a), giai đoạn II (b), giai đoạn III (c)

Dựa trên đồ thị tương quan NDVI – năng suất lúa, các phương trình tỷ lệ được xác định như sau:

- Giai đoạn I (từ lúc gieo đến lúc trổ đòng): $y = 0.0611x - 0.0833$, $R^2 = 0.6465$

- Giai đoạn II (thời đoạn trổ đòng): $y = 0.1136x$

- 0.1386, $R^2 = 0.6917$

- Giai đoạn III (sau khi trổ đòng đến lúc thu hoạch): $y = 0.0834x - 0.1009$, $R^2 = 0.6555$

Trong đó y là giá trị NDVI, x là năng suất lúa (tấn/ha), R^2 là hệ số tương quan.

Như vậy, có thể thấy giá trị NDVI ở các thời đoạn sinh trưởng của lúa tại khu vực hồ Bà Râu có sự tương quan với năng suất lúa với tỷ số tương quan trên 0,6. Trong đó, NDVI thời điểm trở đồng (đạt giá trị cực đại) sẽ thể hiện rõ nhất xu thế của năng suất cây lúa tại khu vực nghiên cứu.

Kiểm nghiệm và đánh giá kết quả dự báo năng suất lúa để xác định mức độ tin cậy của mô hình dự báo và đánh giá khoảng dao động của sai số dự báo là được áp dụng cho số liệu thống kê vụ mùa 2020 của hồ Bà Râu. Mức độ phù hợp của kết quả tính năng suất theo mô hình so với năng suất thực được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 3: So sánh kết quả dự báo năng suất và năng suất thực tế

| | Giai đoạn I | Giai đoạn II | Giai đoạn III |
|------------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| NDVI | 0,26 | 0,51 | 0,33 |
| Năng suất ước tính (tấn/ha) | 5,62 | 5,71 | 5,2 |
| Năng suất thực tế (tấn/ha) | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| Sai số (%) | 5% | 3,3% | 13,5% |

Như vậy, sai số lớn nhất 13,5% xảy ra với trường hợp sử dụng NDVI trung bình của giai đoạn III, trong khi NDVI tại thời điểm lúa sinh trưởng mạnh nhất cho sai số nhỏ nhất 3,3% tương đương 0,2 tấn/ha. Kết quả phân tích và đánh giá này cho thấy có sự đồng thuận rất lớn với các nghiên cứu khác sử dụng các dạng chỉ số từ nguồn ảnh viễn thám và các bộ chỉ số CROPWATCH trong việc đánh giá sinh trưởng và năng suất cây trồng cho các dạng cây trồng khác trên thế giới (như đậu tương, ngô, khoai, lúa mì) [10, 12].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng các giải thuật và công cụ để sử dụng các chỉ số giám sát bằng viễn thám áp dụng cho vùng trồng lúa ở khu vực không hạn chế ảnh hưởng nặng về yếu tố khí hậu và các điều kiện canh tác. Các đánh giá phân tích diện tích cây trồng, đánh giá chỉ số tăng trưởng cây trồng cho khu vực tưới của hồ chứa Bà Râu Ninh Thuận cho thấy các chỉ số phản ánh rất sát với tăng trưởng thực tế của cây trồng. Việc xây dựng các công cụ để có thể áp dụng với ảnh Sentinel và Landsat với độ phân giải cao cho

TÀI LIỆU THAM KHẢO

phép phương pháp nghiên cứu áp dụng rộng rãi hơn cho các vùng khác với các mảnh ruộng khu tưới bé hơn và kém đồng nhất trong cây trồng hơn là các vùng thâm canh lúa khác trên cả nước.

Phân tích và đánh giá trong nghiên cứu cho thấy có sự tương quan giữa năng suất lúa và giá trị NDVI tại khu vực hồ Bà Râu trong giai đoạn từ 2016 đến nay, tuy nhiên, chuỗi dữ liệu lịch sử chưa được thu thập đủ dài, do đó tương quan này có khả năng chưa phản ánh đầy đủ và tối ưu mối quan hệ giữa hai đại lượng này. Bên cạnh đó, phương pháp mới chỉ áp dụng cho khu vực hồ Bà Râu, và cần kiểm nghiệm thêm với các dạng chỉ số khác liên quan đến bốc thoát hơi nước, và mức đáp ứng nguồn nước khu tưới để đưa ra được các giải pháp sớm cho canh tác lúa và vận hành hệ thống thủy lợi trong điều kiện mới. Kết quả của nghiên cứu có thể làm nền tảng cho việc xây dựng một hệ thống thông tin giám sát cây trồng (cây lương thực và công nghiệp) và vận hành tài nguyên nước thời gian thực.

- [1] Atzberger, C., *Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs*. Remote sensing, 2013. **5**(2): p. 949-981.
- [2] Basso, B., D. Cammarano, and E. Carfagna. *Review of crop yield forecasting methods and early warning systems*. in *Proceedings of the first meeting of the scientific advisory committee of the global strategy to improve agricultural and rural statistics, FAO Headquarters, Rome, Italy*. 2013.
- [3] Fritz, S., et al., *A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps*. Agricultural systems, 2019. **168**: p. 258-272.
- [4] Rojas, O., A. Vrieling, and F. Rembold, *Assessing drought probability for agricultural areas in Africa with coarse resolution remote sensing imagery*. Remote sensing of Environment, 2011. **115**(2): p. 343-352.
- [5] Rojas, O., *Protocol for Country-Level ASIS: Calibration and National Adaptation Process*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
- [6] Brown, M.E., *Famine early warning systems and remote sensing data*. 2008: Springer Science & Business Media.
- [7] Senay, G., et al., *Drought monitoring and assessment: remote sensing and modeling approaches for the famine early warning systems network*, in *Hydro-meteorological hazards, risks and disasters*. 2015, Elsevier. p. 233-262.
- [8] Wu, B., et al., *Global Crop Monitoring: A Satellite-Based Hierarchical Approach*. Remote Sensing, 2015. **7**(4): p. 3907-3933.
- [9] Wu, B., et al., *Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system*. International Journal of Digital Earth, 2014. **7**(2): p. 113-137.
- [10] Nolasco, M., et al., *Estimating soybean yield using time series of anomalies in vegetation indices from MODIS*. International Journal of Remote Sensing, 2021. **42**(2): p. 405-421.
- [11] Kouadio, L., et al., *Probabilistic yield forecasting of robusta coffee at the farm scale using agroclimatic and remote sensing derived indices*. Agricultural and Forest Meteorology, 2021. **306**: p. 108449.
- [12] Mkhabela, M.S., et al., *Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data*. Agricultural and Forest Meteorology, 2011. **151**(3): p. 385-393.
- [13] Van Diepen, C.v., et al., *WOFOST: a simulation model of crop production*. Soil use and management, 1989. **5**(1): p. 16-24.
- [14] Beyene, A.N., et al., *Coupling remote sensing and crop growth model to estimate national wheat yield in Ethiopia*. Big Earth Data, 2021: p. 1-18.
- [15] Inteti, R.S., et al., *Analysis of Rice Crop Phenology Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Data*, in *Advances in Geotechnical and Transportation Engineering*. 2020, Springer. p. 257-266.
- [16] Gao, F. and X. Zhang, *Mapping crop phenology in near real-time using satellite remote sensing: Challenges and opportunities*. Journal of Remote Sensing, 2021. **2021**.
- [17] Reed, B.C., et al., *Measuring phenological variability from satellite imagery*. Journal of vegetation science, 1994. **5**(5): p. 703-714.