

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CẦN THƠ**

HUỲNH THỊ THU HƯƠNG

**SỬ DỤNG ẢNH VIỄN THÁM MODIS THEO DÕI ẢNH HƯỞNG
CỦA KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ ĐẾN CƠ CẤU MÙA VỤ LÚA
DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU
Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ
NGÀNH MÔI TRƯỜNG ĐẤT VÀ NƯỚC
MÃ SỐ: 62440303**

Cần Thơ, năm 2017

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CẦN THƠ**

HUỲNH THỊ THU HƯƠNG

**SỬ DỤNG ẢNH VIỄN THÁM MODIS THEO DÕI ẢNH HƯỞNG
CỦA KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ ĐẾN CƠ CẤU MÙA VỤ LÚA
DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU
Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ
NGÀNH MÔI TRƯỜNG ĐẤT VÀ NƯỚC
MÃ SỐ: 62440303**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC
PGS. TS. VÕ QUANG MINH
PGS. TS. LÊ ANH TUẤN**

Cần Thơ, năm 2017

LỜI CẢM TẠ

Trong suốt thời gian học tập và nghiên cứu hoàn thành luận án tiến sĩ, tôi đã nhận được sự động viên và giúp đỡ vô cùng to lớn của tập thể Quý Thầy/Cô và Anh, Chị, Em đồng nghiệp.

Đầu tiên, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành nhất đến Thầy hướng dẫn, PGs. Ts. Võ Quang Minh, đã hỗ trợ không mệt mỏi cho tôi về các mặt công tác lẫn chuyên môn. Thầy đã có những ý kiến đóng góp hết sức giá trị và thiết thực cho luận án của tôi. Nếu không có sự giúp đỡ tuyệt vời của Thầy tôi sẽ không thể hoàn thành luận án tiến sĩ đến ngày hôm nay.

Tôi cũng gửi lời cảm tạ sâu sắc tới Thầy đồng hướng dẫn luận án, PGs, Ts. Lê Anh Tuấn, đã tư vấn đồng thời cung cấp cho tôi nhiều tài liệu và dữ liệu quý báu phục vụ cho luận án này.

Cảm ơn quý Thầy/Cô Bộ môn Khoa Học Môi Trường đã giảng dạy và truyền tải cho tôi nhiều kiến thức bổ ích trong suốt thời gian tôi tham gia học tập và nghiên cứu vừa qua.

Trân trọng biết ơn gửi đến tập thể quý Thầy/Cô lãnh đạo Khoa Môi trường & TNTN và Trường Đại Học Cần Thơ đã luôn quan tâm hỗ trợ về thủ tục, chế độ chính sách để tạo điều kiện thuận lợi cho các cán bộ nữ đang công tác tại Trường như tôi có cơ hội để phấn đấu nâng cao trình độ chuyên môn.

Xin gửi lời cảm ơn chân thành của tôi đến quý Thầy/Cô, và các Anh, Chị, Em đồng nghiệp trong Bộ môn Tài nguyên Đất đai _Đại gia đình thân thương của tôi, đã luôn hỗ trợ tinh thần và cả những ý kiến chuyên môn, giúp tôi vượt qua tất cả các giai đoạn khó khăn khi thực hiện công trình nghiên cứu này. Dù tôi không nêu tên hết ở đây nhưng tận đáy lòng tôi sẽ luôn ghi nhớ và biết ơn!

Cảm ơn thật nhiều đến các bạn Trương Chí Quang, Trần Thanh Dân, Trần Thị Hiền, Trần Thanh Thi, Nguyễn Hồng Quyên, Mai Văn Thọ, Ngô Thanh Thoảng, Cao Quốc Đạt và Phạm Công Hậu là những nhân tố đóng góp sức lực cùng tôi tìm tòi và nghiên cứu kể từ khi hình thành ý tưởng đến khi hoàn thành phương pháp nghiên cứu và đạt được kết quả hoàn chỉnh cho mục tiêu nghiên cứu này.

Trong quá trình thực hiện luận án tôi cũng đã nhận được sự giúp đỡ hết sức nhiệt tình và tận tâm của các cán bộ công tác tại địa phương. Xin cảm ơn chú Huỳnh Ngọc Vân _Sở NN&PTNT tỉnh Sóc Trăng; anh Nguyễn Phước Thành _Chi cục BVTV tỉnh An Giang; bạn Huỳnh Văn Quốc _UBND tỉnh Trà Vinh cùng các bạn học viên cao học đã hỗ trợ tôi hoàn thành công tác thực địa, điều tra phỏng vấn phục vụ cho mục tiêu nghiên cứu đề tài.

Sau cùng, cảm ơn gia đình thân yêu của tôi luôn là điểm tựa và động lực lớn lao cho tôi phấn đấu vượt qua hành trình học tập và nghiên cứu trong thời gian qua.

Trân trọng!

Huỳnh Thị Thu Hương

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm mục tiêu (1) Đánh giá ảnh hưởng của khô hạn và ngập lũ đến hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL dưới tác động của biến đổi khí hậu; (2) Đánh giá khả năng ứng dụng của dữ liệu ảnh viễn thám MODIS (*Moderate Resolution Spectroradiometer*) trong theo dõi hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa cũng như vấn đề khô hạn và lũ lụt ở ĐBSCL; và (3) Định hướng nghiên cứu mô hình sản xuất phù hợp trên các phân vùng sinh thái và giải pháp giám sát góp phần giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa do tác động của khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL.

Phương pháp tiếp cận của đề tài bao gồm ứng dụng chỉ số khác biệt thực vật NDVI (Tucker *et al.*, 1991, Gross, 2005) để giám sát biến động cơ cấu mùa vụ; chỉ số khô hạn TVDI (Sandholt *et al.*, 2002 ; Han *et al.*, 2010) để ước lượng độ ẩm của đất bề mặt thông qua sự kết hợp của nhiệt độ bề mặt (LST) và chỉ số khác biệt thực vật (NDVI); kế thừa phương pháp nghiên cứu của Islam *et al.* (2009) cho việc thành lập bản đồ ngập lũ, trong đó phân loại chuỗi các giá trị EVI, LSWI và DVEL theo 4 nhóm đối tượng vùng không ngập, vùng ngập, vùng hỗn hợp và vùng ngập nước dài hạn; Sau cùng, thực hiện xây dựng bản đồ phân vùng sinh thái canh tác lúa từ 03 bản đồ hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa, bản đồ khô hạn và bản đồ ngập lũ để làm cơ sở đề xuất các mô hình canh tác phù hợp cho vùng ĐBSCL. Với chuỗi thời gian quan sát trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2011 và nguồn dữ liệu chính là ảnh viễn thám MODIS, nghiên cứu đã đạt được các kết quả sau:

1) Đã xác định được các vùng canh tác lúa chịu ảnh hưởng của khô hạn như vùng núi tỉnh An Giang, vùng ven biển các tỉnh Long An, Bến Tre, Tiền Giang, Trà Vinh, Kiên Giang và Sóc Trăng. Vùng chịu ảnh hưởng của ngập lũ bao gồm vùng ngập sớm và kéo dài ở các tỉnh đầu nguồn An Giang, Đồng Tháp; vùng ngập trễ và thời gian ngắn ở các tỉnh Kiên Giang, Đồng Tháp, Vĩnh Long, Cần Thơ, Hậu Giang. Xây dựng bản đồ và xác định cụ thể các kiểu chuyển đổi hệ thống canh tác lúa ở ĐBSCL giai đoạn 2000 đến 2011 chủ yếu là vùng Lúa 2 vụ chuyển sang Lúa 3 vụ hay Lúa Tôm; vùng Lúa 1 vụ chuyển sang sử dụng khác (Chuyên Tôm), Lúa Tôm hay Lúa 2 vụ.

2) Đã ứng dụng được ảnh viễn thám MODIS theo dõi hiện trạng cơ cấu mùa vụ, giám sát khô hạn và lũ lụt ở ĐBSCL: (i) Bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa được xây dựng từ dữ liệu ảnh MOD09Q1 250m, tổ hợp 8 ngày đạt mức độ chi tiết cấp vùng, với độ tin cậy cao ($Kappa = 0,88$); (ii) Bản đồ nhiệt độ bề mặt đất có sự tương quan với dữ liệu nhiệt độ không khí quan trắc từ các trạm KTTV tại mặt đất và bản đồ phân vùng khô hạn theo chỉ số khô hạn TVDI được xây dựng từ dữ liệu ảnh MODIS phù hợp với chỉ số khô hạn WDI; (iii) Dữ liệu ảnh MODIS đã phản ánh khá tốt diễn tiến ngập lũ của vùng nghiên cứu về không gian và thời gian thông qua hệ số xác định giữa diện tích ngập và mực nước thực đo tại các trạm thủy văn (với R^2 đạt từ 0,79 – 0,90).

3) Đề xuất được mô hình canh tác lúa phù hợp trên 9 vùng sinh thái nông nghiệp đồng thời đưa ra giải pháp theo hướng tiếp cận mới đó là áp dụng tích hợp các thuật toán tính các chỉ số NDVI, TVDI và LSWI để giám sát và tìm ra các biến động về cơ cấu mùa vụ liên quan đến khô hạn và ngập lũ nhằm có biện pháp giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa ở ĐBSCL.

Các kết quả về cơ cấu mùa vụ, khô hạn và ngập lũ vùng ĐBSCL đạt được từ kết quả nghiên cứu của đề tài cùng với hệ thống các giải pháp theo dõi và giám sát cơ cấu mùa vụ, khô hạn và ngập lũ được xây dựng là hữu ích và có thể áp dụng được trong thực tiễn quản lý tài nguyên, qui hoạch và quản lý sử dụng đất nông nghiệp ở ĐBSCL.

Từ khóa: Viễn thám, MODIS, cơ cấu mùa vụ, khô hạn, ngập lũ, ĐBSCL, biến đổi khí hậu

ABSTRACT

This study aims to (1) Assess the effects of drought and flood to rice cropping pattern in Mekong Delta under climate change; (2) Evaluate MODIS imagery for monitoring the rice cropping pattern as well as drought and flood issues in Mekong Delta; (3) Propose the suitable rice cropping pattern on agricultural ecology zones as well as the solutions to minimize the damage to rice production by drought and flood in Mekong Delta.

The research approach of this study is to use the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for monitoring the rice cropping calendar; Temperature Vegetation Dryness Index (TDVI), generated from both Land Surface Water Index (LSWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) using for evaluating the land surface moisture. The research approach for mapping flood distribution developed by Islam et al (2009) was applied in this study. Time series of EVI, LSWI and DVEL were used to delineate flood distribution at 4 flooding depth levels including Non-Flood, Flood, Mixture (flooding and vegetation), Water bodies (river, canal, pond). The combination of three map including rice cropping system, drought and flooding was used to propose the suitable cultivation system in the study areas. Time series data extracted from MODIS images from 2000 to 2011 was analyzed. The results were obtained from this research as follow:

(1) This study has delineated rice cultivation areas affecting by drought included mountainous areas in An Giang province, and along coastal zone as Long An, Ben Tre, Tien Giang, Tra Vinh, Kien Giang and Soc Trang. Rice cultivation areas affecting by early and long inundation duration were delineated in upper Mekong river as An Giang and Dong Thap provinces; Rice areas affecting by late and short duration inundation were found in Kien Giang, Dong Thap, Vinh Long, Can Tho and Hau Giang provinces; The rice cropping pattern changing under drought and flood in Mekong Delta period 2000-2011 was delineated. The major changes of rice cropping from double to triple rice crop or rice-shrimp; Mono rice crop to other land use types (shrimp farming), rice-shrimp or double rice crop.

(2) MODIS images are suitable to monitor rice cropping system changes and also drought and flooding in the Mekong Delta. (i) The rice cropping system was delineated by using MODIS data (MOD09Q1, 250 meters spatial resolution) with high accuracy (kappa coefficient = 0,88); (ii) Map of drought patterns created by TVDI index, which extracted from MOD11A2 images has high correlation with Water Deficit Index (WDI). There was a strong correlation between land surface and air temperature observed from the ground stations; (iii) MOD09A1 product has demonstrated that it could be applied to monitor flood in terms of spatial and temporal in the study areas. The good relation between flooded areas and water levels collected from hydrological stations is significant with R^2 from 0.79 to 0.90.

(3) This study proposed the suitable rice farming systems for 9 agricultural ecology zones as well as the solutions to integrate different indices as NDVI, TVDI and LSWI for monitoring rice cropping system related to drought and flood impacts.

The data-sets of rice farming system, drought and flood in Mekong region and the solution systems achieved from this research are helpful information that can be applied for agriculture management and land use planning in the Mekong Delta.

Keywords: Remote sensing, MODIS, rice cropping system, drought, flood, Mekong Delta, climate change

CAM KẾT KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tôi xin cam kết luận văn này được hoàn thành dựa trên các kết quả nghiên cứu của bản thân.

Ngày tháng năm

MỤC LỤC

| | |
|--|----|
| Chương 1. GIỚI THIỆU | 1 |
| 1.1 Tính cấp thiết của đề tài..... | 1 |
| 1.2 Mục tiêu nghiên cứu | 2 |
| 1.2.1 Mục tiêu cụ thể | 2 |
| 1.2.2 Cấu trúc của luận án..... | 2 |
| 1.2.3 Giả thuyết và câu hỏi nghiên cứu | 3 |
| 1.3. Ý nghĩa thực tiễn của luận án | 3 |
| 1.4 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu | 3 |
| 1.5 Điểm mới của luận án..... | 3 |
| Chương 2. TỔNG QUAN TÀI LIỆU | 5 |
| 2.1 SƠ LƯỢC VỀ ĐẶC ĐIỂM SẢN XUẤT NÔNG NGHIỆP Ở ĐBSCL..... | 5 |
| 2.2 NHỮNG TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN THAY ĐỔI CƠ CẤU MÙA VỤ ĐBSCL | 7 |
| 2.2.1 Kết quả mô hình phỏng đoán sự thay đổi nhiệt độ, lượng mưa và nước biển dâng ở các giai đoạn (2030s, 2040s, 2050s)..... | 7 |
| 2.2.2 Mối quan hệ giữa biến đổi khí hậu và cơ cấu mùa vụ | 10 |
| 2.3 PHƯƠNG PHÁP VIỄN THÁM TRONG GIÁM SÁT VÀ THEO DÕI CÁC TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN SẢN XUẤT LÚA Ở ĐBSCL..... | 10 |
| 2.3.1 Ứng dụng ảnh viễn thám trong theo dõi chuyển đổi cơ cấu mùa vụ lúa | 10 |
| 2.3.2 Ứng dụng ảnh viễn thám theo dõi khô hạn..... | 18 |
| 2.3.3 Ứng dụng ảnh viễn thám theo dõi lũ lụt | 23 |
| 2.4 NHỮNG THỂ MẠNH TRONG SỬ DỤNG TƯ LIỆU ẢNH VIỄN THÁM MODIS..... | 26 |
| Chương 3. PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU | 33 |
| 3.1 PHƯƠNG TIỆN NGHIÊN CỨU | 33 |
| 3.1.1 Phạm vi khảo sát..... | 33 |
| 3.1.2 Dữ liệu | 33 |
| 3.2 NỘI DUNG NGHIÊN CỨU..... | 34 |
| 3.3 CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐƯỢC SỬ DỤNG..... | 35 |
| 3.3.1 Phương pháp xây dựng bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa và biến động canh tác mùa vụ lúa ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 dựa trên chỉ số thực vật NDVI..... | 37 |
| 3.3.2 Phương pháp xây dựng bản đồ phân vùng khô hạn và biến động khô hạn ở ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 dựa trên chỉ số khô hạn TVDI | 40 |

| | | |
|--------------------------------------|---|----|
| 3.3.3 | Phương pháp xây dựng bản đồ phân vùng ngập lũ và diễn tiến lũ ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 dựa trên chỉ số EVI, SLWI và DVEL | 43 |
| 3.3.4 | Xác định vùng canh tác lúa chịu sự ảnh hưởng của khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL..... | 45 |
| 3.3.5 | Đề xuất các giải pháp..... | 45 |
| Chương 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN | | 46 |
| 4.1 | ẢNH HƯỞNG CỦA KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ ĐẾN THAY ĐỔI CƠ CẤU MÙA VỤ DƯỚI TÁC ĐỘNG BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU Ở ĐBSCL..... | 46 |
| 4.1.1 | Những tác động của nhiệt độ và khô hạn ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011 | 46 |
| 4.1.2 | Những tác động ngập lũ ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011..... | 53 |
| 4.1.3. | Thay đổi cơ cấu mùa vụ lúa khu vực ĐBSCL giai đoạn từ năm 2000 đến 2011 | 59 |
| 4.2 | KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG ẢNH VIỄN THÁM MODIS TRONG THEO DÕI CƠ CẤU MÙA VỤ LÚA, KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ Ở ĐBSCL..... | 64 |
| 4.2.1 | Khả năng ứng dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi cơ cấu mùa vụ lúa..... | 64 |
| 4.2.2 | Khả năng xây dựng bản đồ phân vùng khô hạn từ dữ liệu ảnh viễn thám MODIS ở ĐBSCL..... | 70 |
| 4.2.3 | Khả năng xây dựng bản đồ phân vùng ngập lũ từ dữ liệu ảnh viễn thám MODIS ở ĐBSCL..... | 73 |
| 4.3 | CÁC ĐỀ XUẤT NHẪM GIẢM THIỂU THIẾT HẠI CHO SẢN XUẤT LÚA DO KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ Ở ĐBSCL | 74 |
| 4.3.1 | Đề xuất mô hình canh tác lúa phù hợp điều kiện tự nhiên theo vùng sinh thái..... | 74 |
| 4.3.2 | Các đề xuất theo hướng giải pháp cho nhu cầu thông tin về hệ thống canh tác lúa, thông tin về vùng khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL | 85 |
| 5.1 | KẾT LUẬN..... | 92 |
| 5.2 | ĐỀ NGHỊ..... | 93 |
| Tài liệu tham khảo | | 95 |

DANH SÁCH HÌNH

| Hình | Tên hình | Trang |
|-----------|---|-------|
| Hình 2.1 | Lượng mưa năm 2012 tại các trạm đo ở ĐBSCL..... | 5 |
| Hình 2.2 | Biến động nhiệt độ trung bình/ngày từ tháng 6/2012 đến tháng 5/2013..... | 5 |
| Hình 2.3 | Biến động nhiệt độ và lượng mưa tương ứng mùa vụ lúa ở ĐBSCL..... | 7 |
| Hình 2.4 | Sự thay đổi nhiệt độ lớn nhất trung bình thập niên 2030 so với thập niên 1980..... | 8 |
| Hình 2.5 | Sự thay đổi lượng mưa tháng ở ĐBSCL thập niên 2030 so với thập niên 1980..... | 9 |
| Hình 2.6 | Phòng đoán sự thay đổi diện tích ngập vào thập niên 2030 so với thập niên 1980..... | 9 |
| Hình 2.7 | Mối tương quan giữa hệ số phản xạ với năng suất và chiều cao của cây lúa..... | 11 |
| Hình 2.8 | Tương quan giữa hệ số phản xạ sóng radar với các thông lúa trên cây lúa | 12 |
| Hình 2.9 | Mối liên hệ giữa trung bình hệ số phản xạ RADARSAT và độ phủ thực vật..... | 13 |
| Hình 2.10 | Mối tương quan giữa giá trị phản xạ trên ảnh SAR và sinh khối cây lúa tại xã Hải Vĩnh, huyện Hải Lăng, tỉnh Quảng Trị..... | 15 |
| Hình 2.11 | Biến đổi theo thời gian của σ_0 của dữ liệu SAR trong các vùng lúa ba vụ | 16 |
| Hình 2.12 | Biến đổi theo thời gian của NDVI trong các vùng lúa ba vụ | 16 |
| Hình 2.13 | Biến đổi theo thời gian của σ_0 của dữ liệu SAR trong các vùng lúa hai vụ | 16 |
| Hình 2.14 | Biến đổi theo thời gian của NDVI trong các vùng lúa hai vụ (ĐX- HT) | 16 |
| Hình 2.15 | Biến đổi theo thời gian của σ_0 của dữ liệu SAR trong các vùng lúa một vụ Mùa | 16 |
| Hình 2.16 | Biến đổi theo thời gian của NDVI trong các vùng lúa một vụ Mùa | 16 |
| Hình 2.17 | Biến động chỉ số NDVI qua các năm vùng đồng bằng Sông Hồng | 17 |
| Hình 2.18 | Biến động chỉ số NDVI qua các năm vùng đồng bằng sông Cửu Long | 17 |
| Hình 2.19 | Hình minh họa nguyên lý xây dựng bản đồ TVDI dựa trên nguyên tắc ứng dụng tam giác không gian [T_s , NDVI] trong dự báo khô hạn nông nghiệp.. .. | 19 |
| Hình 2.20 | Thuật toán xử lý ảnh viễn thám thành lập bản đồ ngập lũ theo Sakamoto <i>et al.</i> (2007)..... | 24 |
| Hình 3.1 | Các nội dung nghiên cứu chính của luận án..... | 35 |
| Hình 3.2 | Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động khô hạn và ngập lũ ảnh hưởng đến cơ cấu mùa vụ lúa ĐBSCL..... | 36 |
| Hình 3.3 | Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động cơ cấu mùa vụ lúa ĐBSCL..... | 37 |
| Hình 3.4 | Sự thay đổi giá trị NDVI theo thời gian của cây lúa ở cơ cấu lúa 2 vụ HT và ĐX. | 38 |
| Hình 3.5 | Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động khô hạn ĐBSCL..... | 41 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Hình 3.6 | Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động ngập lũ ở ĐBSCL..... | 43 |
| Hình 4.1 | Biểu đồ biến thiên nhiệt độ trung bình tháng bề mặt đất được tính toán từ ảnh viễn thám MODIS và nhiệt độ trung bình tháng trong không khí từ các trạm đo mặt đất tỉnh Sóc Trăng qua các tháng trong năm 2004 đến 2007..... | 47 |
| Hình 4.2 | Biến động nhiệt độ bề mặt đất trung bình và cao nhất/ngày trong năm ở ĐBSCL..... | 47 |
| Hình 4.3 | Xu hướng biến thiên nhiệt lớp phủ bề mặt khu vực ĐBSCL quan sát giai đoạn từ 2000 đến 2011 phân tích từ ảnh MODIS LST..... | 48 |
| Hình 4.4 | Phân bố không gian vùng khô hạn khu vực ĐBSCL qua các mùa khô từ năm 2000 đến 2011..... | 49 |
| Hình 4.5 | Xu hướng biến thiên diện tích vùng xuất hiện khô hạn ở các mùa khô từ năm 2000 đến 2011 ở khu vực ĐBSCL..... | 50 |
| Hình 4.6 | Phân bố vùng canh tác lúa bị ảnh hưởng khô hạn trong mùa khô 2010-2011 ở ĐBSCL..... | 50 |
| Hình 4.7 | Biến động diện tích ngập lũ hàng năm ở lưu vực hạ lưu sông Mekong từ năm 2000 đến 2011..... | 53 |
| Hình 4.8 | Biến động diện tích ngập lũ tương ứng với mực nước đo trên sông ở một số tỉnh ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011..... | 54 |
| Hình 4.9 | Bản đồ phân vùng ngập lũ khu vực ĐBSCL ở các năm 2000, 2005, 2010 và 2011..... | 55 |
| Hình 4.10 | Diễn tiến ngập lũ trong năm ở ĐBSCL qua các giai đoạn khảo sát từ năm 2000 đến 2011..... | 56 |
| Hình 4.11 | Diễn tiến phân vùng ngập lũ ở ĐBSCL giai đoạn khảo sát từ năm 2000 đến 2011..... | 57 |
| Hình 4.12 | Diễn tiến ngập lũ trong mùa lũ năm 2011 ở ĐBSCL được phân tích từ ảnh viễn thám..... | 58 |
| Hình 4.13 | Hiện trạng canh tác lúa vùng ngập lũ năm 2011 ở ĐBSCL..... | 58 |
| Hình 4.14 | Biến động diện tích 05 cơ cấu mùa vụ lúa điển hình ở ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 từ số liệu giải đoán ảnh MODIS..... | 60 |
| Hình 4.15 | Phân bố vùng có sự chuyển đổi cơ cấu canh tác lúa ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011..... | 61 |
| Hình 4.16 | Phân bố các vùng chuyển đổi cơ cấu canh tác lúa chủ yếu ở ĐBSCL giai đoạn quan sát từ năm 2000 đến 2011..... | 62 |
| Hình 4.17 | Biến đổi của giá trị NDVI trong năm tương ứng với các cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL..... | 65 |
| Hình 4.18 | Bản đồ hiện trạng sử dụng đất ở ĐBSCL năm 2011 giải đoán từ ảnh MODIS..... | 66 |
| Hình 4.19 | Tương quan diện tích mùa vụ trên ảnh MODIS với dữ liệu Niên giám thống kê Việt Nam..... | 69 |
| Hình 4.20 | Mối quan hệ giữa chỉ số khô hạn TVDI và lượng mưa ở tỉnh Sóc Trăng, Trà Vinh và Bến Tre trong mùa khô 2010-2011..... | 70 |
| Hình 4.21 | Sự biến thiên WDI và TVDI theo thời gian (11/2010-4/2011) ở các tỉnh Sóc Trăng, Bến Tre và Trà Vinh..... | 71 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Hình 4.22 | Phân bố không gian giá trị TVDI và WDI ngày 7/4/2011 ở các tỉnh ĐBSCL..... | 72 |
| Hình 4.23 | Tương quan giữa diện tích ngập tỉnh An Giang và mực nước thực đo tại trạm Châu Đốc mùa lũ năm 2011..... | 73 |
| Hình 4.24 | Bản đồ hiện trạng cơ cấu canh tác lúa năm 2011 ở ĐBSCL xây dựng từ ảnh viễn thám MODIS. | 74 |
| Hình 4.25 | Bản đồ phân bố các vùng có tần xuất xảy ra khô hạn cao ở ĐBSCL..... | 75 |
| Hình 4.26 | Bản đồ phân bố vùng có chế độ ngập khác nhau năm 2011 | 76 |
| Hình 4.27 | Bản đồ phân vùng sinh thái trên đất lúa ở ĐBSCL năm 2011. | 77 |
| Hình 4.28 | Vùng sinh thái Ia | 78 |
| Hình 4.29 | Vùng sinh thái Ib | 79 |
| Hình 4.30 | Vùng sinh thái IIa | 80 |
| Hình 4.31 | Vùng sinh thái IIb..... | 81 |
| Hình 4.32 | Vùng sinh thái IIc | 81 |
| Hình 4.33 | Vùng sinh thái IId..... | 82 |
| Hình 4.34 | Vùng sinh thái IIIa..... | 83 |
| Hình 4.35 | Vùng sinh thái IIIb | 84 |
| Hình 4.36 | Vùng sinh thái IIIc..... | 85 |
| Hình 4.37 | Quy trình đề xuất xây dựng các bản đồ chuyên đề hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp và cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL. | 86 |
| Hình 4.38 | Quy trình đề xuất xây dựng các bản đồ hiện trạng khô hạn và diễn tiến khô hạn theo thời gian ở ĐBSCL..... | 87 |
| Hình 4.39 | Quy trình đề xuất xây dựng các bản đồ hiện trạng và diễn tiến ngập lũ theo thời gian ở ĐBSCL..... | 88 |
| Hình 4.40 | Lưu đồ cơ sở dữ liệu và quy trình nhập, xử lý và truy xuất kết quả xây dựng các bản đồ phân vùng sinh thái canh tác lúa ở ĐBSCL | 91 |

DANH SÁCH BẢNG

| Bảng | Tên bảng | Trang |
|----------|---|-------|
| Bảng 2.1 | Diện tích canh tác lúa giai đoạn 2000 đến 2011 ở ĐBSCL | 6 |
| Bảng 2.2 | Các hệ thống canh tác lúa ở đồng bằng sông Cửu Long..... | 6 |
| Bảng 2.3 | Các thông số kỹ thuật của vệ tinh MODIS | 27 |
| Bảng 2.4 | Đặc tính và ứng dụng chính của 7 băng MODIS phản xạ bề mặt đất..... | 28 |
| Bảng 2.5 | Đặc tính và ứng dụng chính của 2 băng MODIS bức xạ và nhiệt độ bề mặt đất. | 28 |
| Bảng 2.6 | Khả năng phân cấp các đối tượng ngập lũ theo phương pháp của Islam et al. (2009) tương ứng cho các kiểu ngập ở ĐBSCL | 32 |
| Bảng 3.1 | Các kênh phổ sản phẩm ảnh MOD09Q1 sử dụng trong việc tính toán chỉ số thực vật (NDVI) phục vụ xây dựng bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa và bản đồ phân vùng khô hạn ở ĐBSCL..... | 33 |
| Bảng 3.2 | Các kênh phổ của sản phẩm MOD11A2 được sử dụng trong việc tính toán nhiệt độ lớp phủ bề mặt (LST)..... | 33 |
| Bảng 3.3 | Các kênh phổ của sản phẩm MOD09A1 được sử dụng trong xây dựng bản đồ ngập lũ..... | 34 |
| Bảng 3.4 | Bảng tính ma trận sai số phân loại theo Lê Văn Trung (2005). | 40 |
| Bảng 3.5 | Ngưỡng các giá trị phân loại tình trạng khô hạn theo chỉ số SPI..... | 44 |
| Bảng 4.1 | Kết quả tính toán sự tương quan của số liệu nhiệt độ trung bình tháng bề mặt tính toán từ ảnh viễn thám MODIS và nhiệt độ trung bình tháng trong không khí đo đạc từ trạm đo mặt đất tại tỉnh Sóc Trăng qua các tháng trong năm 2004 đến 2007 | 46 |
| Bảng 4.2 | Diện tích cơ cấu mùa vụ trong năm ở ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 được tính toán từ ảnh MODIS | 55 |
| Bảng 4.3 | Diện tích biến động ngập ở ĐBSCL qua từng giai đoạn khảo sát (ĐVT: nghìn ha). | 56 |
| Bảng 4.4 | Diện tích cơ cấu mùa vụ trong năm ở ĐBSCL qua các năm 2000, 2005, 2010 và 2011..... | 60 |
| Bảng 4.5 | Các kiểu chuyển đổi cơ cấu canh tác lúa ở ĐBSCL giai đoạn từ năm 2000 đến 2011 phân tích được từ ảnh viễn thám MODIS | 60 |
| Bảng 4.6 | Kết quả tính ma trận sai số phân loại | 67 |
| Bảng 4.7 | Kết quả tính giá trị tích của hàng và cột biên từ ma trận sai số | 67 |
| Bảng 4.8 | Bảng tính toán độ chênh lệch diện tích các vụ canh tác lúa hàng năm ở ĐBSCL từ kết quả giải đoán ảnh viễn thám MODIS với dữ liệu thống kê hàng năm..... | 68 |
| Bảng 4.9 | Diện Các đơn vị sinh thái đất canh tác lúa năm 2011 với 3 đơn tính hiện trạng, khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL..... | 76 |

DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT

| Từ viết tắt | Tiếng Anh | Tiếng Việt |
|--------------------|---|--|
| AVHRR | Advanced Very High Resolution Radiometer | |
| DN | Digital Number | Giá trị độ xám trên ảnh |
| DOY | Day of year | Thứ tự ngày trong năm |
| DVEL | Difference Value between EVI and LSWI | Độ khác biệt giá trị giữa chỉ số EVI và LSWI |
| ĐBSCL | Vietnamese Mekong Delta | Đồng bằng sông Cửu Long |
| ĐX | Winter-Spring season | Vụ Đông Xuân |
| ENVI | The Environment for Visualizing Images | Phần mềm chuyên dụng xử lý phân tích dữ liệu địa không gian |
| EVI | Enhanced Vegetation Index | Chỉ số thực vật tăng cường |
| HDF | Hierarchical Data Format | Khuôn dạng dữ liệu phân cấp |
| HDF-EOS | Hierarchical Data Format – Earth Observing System | Khuôn dạng dữ liệu phân cấp – Hệ thống quan sát trái đất |
| HEG | Hdf-Eos to GIS Conversion Tool | Chức năng chuyển đổi định dạng dữ liệu viễn thám gốc tương thích với GIS |
| HT | Summer-Autumn season | Vụ Hè Thu |
| IR | Infrared | Kênh sóng hồng ngoại |
| ISIN | Integerized Sinusoidal | |
| KTNN | | Khí tượng nông nghiệp |
| LST | Land Surface Temperature | Nhiệt độ bề mặt đất |
| LSWI | Land Surface Water index | Chỉ số nước của lớp phủ bề mặt |
| MODIS | Moderate Resolution Spectroradiometer | Thiết bị đo bức xạ quang phổ có độ phân giải thấp |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration | Cơ quan Hàng Không và Vũ trụ Hoa Kỳ |
| NDVI | The Normalized Difference Vegetation Index | Chỉ số khác biệt thực vật |
| NIR | Near-infrared | Kênh sóng hồng ngoại gần |
| R | Red | Kênh sóng đỏ |
| SIN | Sinusoidal | |
| SPI | Standardized Precipitation Index | Chỉ số chuẩn hóa giáng thủy |
| SWIR | Short Wave Infrared | Kênh sóng ngắn hồng ngoại |
| TĐ | Autumn-Winter Season | Vụ Thu Đông |
| TVDI | Temperature Vegetation Dryness Index | Chỉ số khô hạn – thực vật |
| UTM | Universal Transverse Mercator | Phép chiếu hình trụ ngang |
| WGS-84 | World Geodetic System 84 | Hệ tọa độ trắc địa thế giới năm 1984 |

Chương 1. GIỚI THIỆU

1.1 Tính cấp thiết của đề tài

Biến đổi khí hậu liên quan đến thiên tai như lũ lụt, bão và hạn hán đã là một mối đe dọa liên tục với cuộc sống và tài sản của Việt Nam nói chung và ĐBSCL nói riêng. Các thông tin dưới đây cho thấy những trận thiên tai đã xảy ra tác động to lớn đến đời sống cư dân ở vùng ĐBSCL (Dasgupta *et al.*, 2007):

- Trận bão Linda vào đầu tháng 11 năm 1997 xảy ra khu vực ven biển miền Nam Việt Nam, một vùng rộng lớn nuôi trồng thủy sản mà hiếm khi ảnh hưởng bởi cơn bão. Cơn bão Linda gây thiệt hại lớn cho đời sống con người và đúng cách. Hàng ngàn ngư dân đã thiệt mạng và hàng ngàn tàu cá và tàu thuyền bị hư hỏng hoặc bị đánh chìm.
- Trận lũ lụt lịch sử năm 2000 ảnh hưởng tới khoảng 4 triệu người và gây thiệt hại kinh tế khoảng 3 tỷ USD trong khu vực ĐBSCL. Lũ lụt kéo dài hơn 3 tháng gây ra sự gián đoạn nghiêm trọng đến hoạt động kinh tế-xã hội.
- Lũ lớn xảy ra năm 2001-2002 ở ĐBSCL. Mặc dù mức đỉnh lũ thấp hơn so với năm 2000 nhưng tình trạng ngập úng kéo dài ảnh hưởng đến sinh sống của 2 triệu người và gây thiệt hại kinh tế khoảng 100 triệu USD vào năm 2000 và 50 triệu USD vào năm 2001.
- Hạn hán ở các vùng canh tác lúa thuộc các tỉnh ven biển ĐBSCL năm 2002 dẫn đến xâm nhập mặn trong phạm vi 70 km vào trong đất liền và mất mùa thiệt hại ước tính khoảng 250 triệu USD.

Theo báo cáo của Bộ NN và PTNT năm 2000 thì dự báo đến năm 2060, biến đổi khí hậu toàn cầu sẽ làm môi trường tự nhiên, kinh tế - xã hội ĐBSCL thay đổi lớn. Nước biển sẽ dâng cao làm ngập lụt phần lớn ĐBSCL vốn đã bị ngập lụt hàng năm, dẫn đến mất nhiều đất nông nghiệp. Hạn hán sẽ xuất hiện nhiều hơn, nước lũ sẽ cao hơn và thời gian ngập lũ cũng kéo dài hơn hiện nay. Việc tiêu thoát nước mùa mưa lũ cũng khó khăn (Thế Đạt, 2001). Tình hình nhiệt độ gia tăng, mưa giảm, diện tích lũ mở rộng và mực nước biển dâng cao sẽ tác động rất lớn đến hệ sinh thái và sản xuất nông nghiệp cũng như tạo ra các vấn đề khó khăn cho sự phát triển kinh tế - xã hội khu vực. Nếu nước biển dâng cao thêm 1m thì khoảng 70% diện tích đất ở ĐBSCL bị xâm nhập mặn, mất khoảng hai triệu hecta đất nông nghiệp (Huỳnh Quang Đức, 2011). Lúc đó, diện tích một số cây trồng, trong đó có diện tích lúa sẽ bị sụt giảm nghiêm trọng. Khi mực nước biển dâng, nước lũ có thể bị dồn ứ lại, rút chậm hơn, thời điểm xuống giống sẽ bị ảnh hưởng. Khi xâm nhập mặn đi vào sâu hơn và sớm hơn, thời gian canh tác hai, ba vụ trong năm như trước đây có thể không còn. Vì vậy, việc thay đổi cơ cấu cây trồng, kỹ thuật canh tác: việc lựa chọn chủng loại, cơ cấu giống cây trồng phải thay đổi phù hợp với điều kiện thực tế. Các quy trình kỹ thuật, biện pháp thâm canh, hệ thống canh tác... cũng phải được điều chỉnh hợp lý để đảm bảo hiệu quả cho sản xuất.

Việc nghiên cứu những tác động của biến đổi khí hậu như lũ lụt và khô hạn đến sự biến động của hiện trạng, cơ cấu sử dụng đất hết sức cần thiết nhằm đánh giá được mức độ ảnh hưởng và từ đó đề xuất các giải pháp ứng phó kịp thời. Để đạt được mục tiêu trên, cần thiết phải có những giải pháp hiệu quả, nhanh chóng, chính xác và tiết kiệm chi phí. Trước đây ở Việt Nam, việc đánh giá phân vùng ngập lũ và hạn hán chủ yếu dựa vào các số liệu quan trắc ở các trạm khí tượng thủy văn. Trong khi đó, các trạm khí tượng thủy văn này lại cách xa nhau. Theo thống kê của Nguyễn Ngọc Thạch (2010), cả nước chỉ có khoảng 200 trạm khí tượng thủy văn (KTTV), bình quân mỗi trạm đại diện cho khoảng

1.650km² lãnh thổ. Vì vậy việc sử dụng số liệu của các trạm KTTV trong việc theo dõi, đánh giá và phân bố ngập lũ cũng như khô hạn là không thể đầy đủ.

Ngày nay, việc sử dụng các số liệu từ các vệ tinh quan trắc trái đất rất có ích và rất đáng được quan tâm, các dữ liệu vệ tinh viễn thám luôn có sẵn và có thể được sử dụng để phát hiện sự khởi đầu của khô hạn và ngập lũ, cả về thời gian và cường độ. Bộ cảm MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometers) đặt trên vệ tinh TERRA và AQUA cung cấp hàng ngày tư liệu với nhiều kênh phổ được ứng dụng rất rộng rãi, có thể cung cấp thông tin về bề mặt trái đất, có chu kỳ thời gian ngắn hơn và phần phủ mặt đất lớn hơn. Đặc biệt là mức độ chi tiết của kết quả từ ảnh viễn thám được thể hiện trên toàn vùng, hiệu quả hơn so với chỉ số đo tại điểm quan trắc, do đó viễn thám có thể được xem là phương pháp thay thế ưu việt cho phương pháp đo đạc truyền thống từ các trạm quan trắc khí tượng hiện nay.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Với giải pháp sử dụng dữ liệu viễn thám và công nghệ GIS kết hợp với các số liệu được đo đạc từ các trạm KTTV nhằm xác định được vùng có nguy cơ xảy ra khô hạn và ngập lũ, và tác động của nó đến sự thay đổi cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL.

1.2.1 Mục tiêu cụ thể

(1) Đánh giá ảnh hưởng của khô hạn và ngập lũ đến hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL dưới tác động của biến đổi khí hậu

(2) Đánh giá khả năng ứng dụng của ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi hiện trạng, cơ cấu mùa vụ lúa cũng như vấn đề khô hạn và lũ lụt ở ĐBSCL.

(3) Định hướng nghiên cứu mô hình sản xuất phù hợp phân vùng sinh thái và giải pháp giám sát góp phần giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa do tác động của khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL.

1.2.2 Cấu trúc của luận án

Cấu trúc của luận án bao gồm 5 chương như sau:

Chương 1. Giới thiệu

Trình bày về tính cấp thiết của đề tài, mục tiêu nghiên cứu, các giả thuyết và câu hỏi nghiên cứu, ý nghĩa thực tiễn và các điểm mới của luận án.

Chương 2. Tổng quan tài liệu

Sơ lược khu vực nghiên cứu, lược khảo các kết quả nghiên cứu và các báo cáo có liên quan đến các mục tiêu nghiên cứu hiện có. Chương này cũng nêu những khoảng trống của những nghiên cứu hiện có để có cơ sở vững chắc về cơ sở lý thuyết cho việc xây dựng phương pháp nghiên cứu xác định khô hạn và lũ lụt ảnh hưởng đến cơ cấu mùa vụ lúa dựa vào dữ liệu vệ tinh.

Chương 3. Phương tiện và phương pháp nghiên cứu

Phần phương tiện nghiên cứu tập trung mô tả khu vực nghiên cứu và chuẩn bị dữ liệu bao gồm mô tả cơ cấu mùa vụ lúa, đặc điểm khí tượng thủy văn, lý do lựa chọn khu vực nghiên cứu và công tác thu thập dữ liệu.

Phần phương pháp nghiên cứu cung cấp các thuật toán được sử dụng để ước lượng khô hạn, ngập lũ và lập bản đồ canh tác lúa sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám MODIS.

Chương 4. Kết quả và thảo luận

Chương này tập trung trình bày 03 nội dung chính sau:

- Phân tích những tác động của biến đổi khí hậu đến thay đổi cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL, trong đó tập trung chủ yếu vào vấn đề khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL
- Phân tích khả năng ứng dụng của ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi hiện trạng, cơ cấu mùa vụ lúa cũng như vấn đề khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL
- Phân vùng canh tác lúa chịu ảnh hưởng của khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL trên cơ sở các bản đồ xây dựng từ dữ liệu ảnh viễn thám đồng thời trình bày các định hướng cho mô hình sản xuất phù hợp với từng phân vùng có điều kiện canh tác và khô hạn hay ngập lũ khác nhau nhằm giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa ở ĐBSCL. Bên cạnh đó, đề xuất giải pháp sử dụng công nghệ GIS và viễn thám giám sát cơ cấu mùa vụ, khô hạn và lũ lụt nhằm làm cơ sở cho các biện pháp giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa ở ĐBSCL.

Chương 5. Kết luận và kiến nghị

Chương này trình bày các kết quả đã đạt được của luận án theo 03 mục tiêu nghiên cứu và các đề xuất ứng dụng kết quả cụ thể cho vùng ĐBSCL.

1.2.3 Giả thuyết và câu hỏi nghiên cứu

Những nội dung được phân tích và trình bày trong luận án nhằm làm rõ câu hỏi sau:

- 1) Tác động của BĐKH trên cơ sở khô hạn và lũ lụt đến chuyển đổi cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL như thế nào?
- 2) Việc ứng dụng dữ liệu ảnh viễn thám MODIS có khả năng hỗ trợ công tác quản lý và theo dõi nhằm giảm thiểu những tác động của biến đổi khí hậu đến sản xuất lúa ở ĐBSCL được hay không?
- 3) Những mô hình sản xuất nào phù hợp trong điều kiện hiện tại và giải pháp giám sát hiệu quả ở điều kiện cụ thể ở ĐBSCL là gì?

1.3. Ý nghĩa thực tiễn của luận án

- Kết quả nghiên cứu của đề tài về biến động và tác động của khô hạn và ngập lũ đến cơ cấu mùa vụ lúa có thể áp dụng được trong thực tiễn quản lý tài nguyên, qui hoạch và quản lý sử dụng đất nông nghiệp ở ĐBSCL.
- Hệ thống các giải pháp theo dõi và giám sát cơ cấu mùa vụ, khô hạn và ngập lũ được đề xuất có thể hỗ trợ nhà quản lý đề xuất các giải pháp và ra quyết định nhằm giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa vùng ĐBSCL

1.4 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: diễn biến của khô hạn và lũ lụt theo thời gian dưới tác động của biến đổi khí hậu trên vùng đất canh tác lúa khu vực ĐBSCL
- Phạm vi nghiên cứu: Vùng sản xuất lúa khu vực ĐBSCL từ năm 2000 đến năm 2011.

1.5 Điểm mới của luận án

So với các công trình nghiên cứu gần đây, nghiên cứu để tìm ra một số điểm mới cơ bản như sau:

- + Đã có cách tiếp cận khoa học trong việc áp dụng tích hợp các thuật toán tính toán các chỉ số NDVI, TVDI và LSWI để giám sát và tìm ra các biến động về cơ cấu mùa vụ, khô hạn và ngập lũ cụ thể cho vùng ĐBSCL. Trong khi các công trình nghiên cứu khác chỉ phân tích từng vấn đề riêng lẻ, luận án đã kết hợp phân tích cùng lúc 03 vấn đề về biến động cơ cấu mùa vụ lúa, khô hạn và ngập lũ nhằm tìm ra sự tác động qua lại của chúng trên cùng một khu vực nghiên cứu ở ĐBSCL.
- + Đã ứng dụng phân tích chuỗi dữ liệu MODIS với thời gian 12 năm (từ 2000 đến 2011) trong giám sát biến động cơ cấu mùa vụ, khô hạn và ngập lũ trong điều kiện cụ thể ở ĐBSCL. Đề tài đã ứng dụng phân tích chuỗi dữ liệu đa thời gian nhằm tìm ra được qui luật biến động của các đối tượng quan sát trong từng năm và qua các năm ở khu vực nghiên cứu. Kết quả đã cho thấy sự biến động và tác động rõ rệt về cơ cấu mùa vụ lúa, khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL từ đó đề tài đã có những kết luận mới hơn so với các công trình nghiên cứu trước đây.
- + Đã nêu được định hướng mô hình canh tác lúa phù hợp trên từng vùng sinh thái nông nghiệp ở ĐBSCL và giải pháp theo hướng tiếp cận mới đó là sử dụng công nghệ viễn thám và GIS trong theo dõi, giám sát cơ cấu mùa vụ lúa cũng như vấn đề khô hạn và lũ lụt nhằm làm cơ sở cho các biện pháp giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa ở ĐBSCL.

Chương 2. TỔNG QUAN TÀI LIỆU

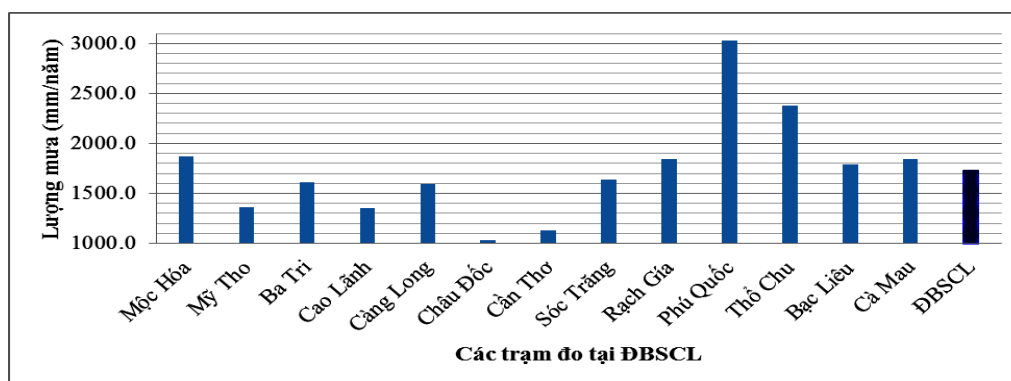
Nhằm có cơ sở cho việc xây dựng phương pháp nghiên cứu phù hợp trong trường hợp ở đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), nội dung Chương 2 sẽ xem xét, tổng hợp các tài liệu, nghiên cứu và các báo cáo có liên quan đến các mục tiêu nghiên cứu của Luận án. Chương này cũng nêu bật những khoảng trống của những nghiên cứu hiện có để đạt được sự hiểu biết vững chắc về cơ sở lý thuyết, các phương pháp nghiên cứu về phân loại mùa vụ, khô hạn và lũ lụt dựa vào ảnh vệ tinh. Nội dung chủ yếu của Chương 2 liên quan đến các vấn đề sau:

- i) Các đặc điểm sản xuất nông nghiệp chủ yếu ở ĐBSCL.
- ii) Những tác động của biến đổi khí hậu đến thay đổi cơ cấu mùa vụ ĐBSCL.
- iii) Lược khảo những phương pháp và kết quả theo dõi và giám sát các tác động của khô hạn và lũ lụt đến sản xuất nông nghiệp đã có trên thế giới và ở Việt Nam đến thời điểm hiện tại.
- iv) Những thế mạnh trong việc sử dụng tư liệu ảnh viễn thám MODIS.

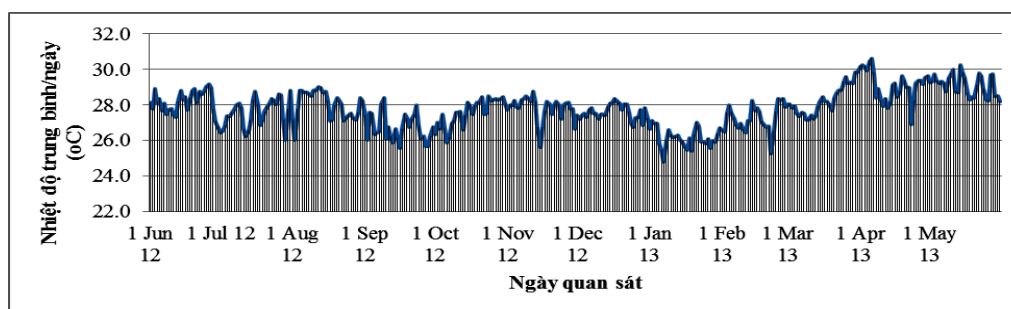
2.1 SƠ LƯỢC VỀ ĐẶC ĐIỂM SẢN XUẤT NÔNG NGHIỆP Ở ĐBSCL

Theo số liệu của Tổng cục thống kê Việt Nam (2011), ĐBSCL có diện tích 39.747km², chiếm trên 12% diện tích của cả nước. Đây là một vùng đất ngập nước điển hình với trên 90% diện tích ngập nước theo mùa mưa lũ và theo thủy triều thuộc lưu vực sông Mê Công đổ ra biển Đông. Với vai trò là một vùng kinh tế sinh thái điển hình của quốc gia, ĐBSCL có vai trò cực kỳ quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội đất nước.

Vùng ĐBSCL nổi tiếng với sản phẩm lúa gạo và thủy sản do điều kiện khí hậu thuận lợi. Mùa mưa và mùa khô của khu vực cũng được xác định rõ rệt trong năm. Vùng đồng bằng này nhận một lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 1.800 mm, trong đó 90% xảy ra trong mùa mưa (từ tháng năm đến tháng mười một). Nhiệt độ trung bình hàng ngày của khu vực là khoảng 27°C (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2009).



Hình 2.1 Lượng mưa năm 2012 tại các trạm đo ở ĐBSCL (Nguồn: Trạm KTTV ĐBSCL, 2013).



Hình 2.2 Biến động nhiệt độ trung bình/ngày từ tháng 6 năm 2012 đến tháng 5 năm 2013 ở ĐBSCL (Nguồn: Trạm KTTV ĐBSCL, 2013).

Có khoảng 2,6 triệu ha diện tích đất được sử dụng để phát triển nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản chiếm 65% tổng diện tích ĐBSCL. Trong quỹ đất nông nghiệp, đất trồng cây hàng năm chiếm trên 50%, trong đó chủ yếu đất lúa trên 90%. Đất chuyên canh các loại cây màu và cây công nghiệp ngắn ngày khoảng 150.000 ha, đất cây lâu năm chiếm trên 320.000 ha, khoảng 8,2% diện tích tự nhiên. Cây lúa từ lâu đã được coi là cây trồng chủ lực của nông dân ĐBSCL. Hằng năm, diện tích gieo cấy lúa của nông dân Nam bộ khoảng 4,4 triệu ha, trong đó trên 93% là ở ĐBSCL. Có ba vụ lúa chính trong năm gồm lúa Đông Xuân, Hè Thu, và Thu Đông hay lúa Mùa (Tổng cục thống kê Việt Nam, 2013).

Bảng 2.1 Diện tích canh tác lúa giai đoạn 2000 đến 2013 ở ĐBSCL (ĐVT: Nghìn hecta).

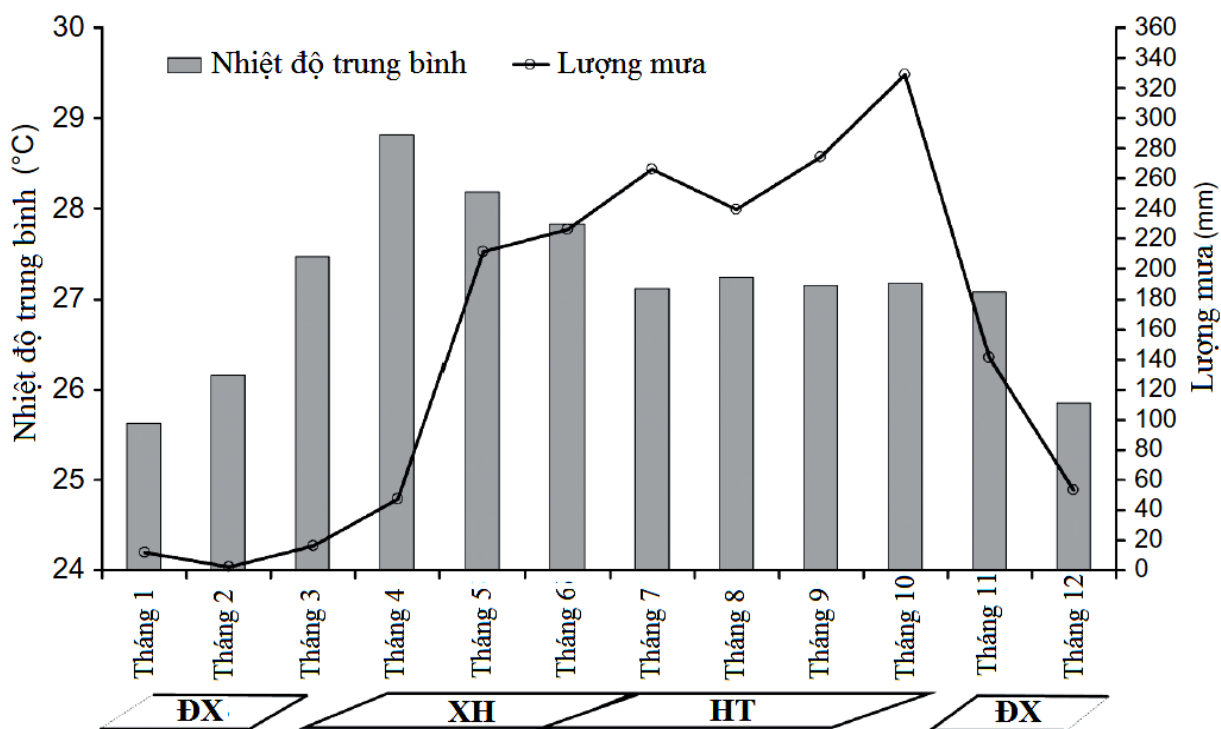
| Năm | Mùa vụ | | | Tổng diện tích/năm |
|-------------|--------|-------|--------|--------------------|
| | ĐX | HT | TĐ/Mùa | |
| 2000 | 1.521 | 1.882 | 544 | 3.946 |
| 2001 | 1.538 | 1.812 | 443 | 3.792 |
| 2002 | 1.514 | 1.901 | 420 | 3.835 |
| 2003 | 1.499 | 1.911 | 378 | 3.788 |
| 2004 | 1.467 | 1.958 | 391 | 3.816 |
| 2005 | 1.478 | 1.975 | 372 | 3.826 |
| 2006 | 1.500 | 1.910 | 364 | 3.774 |
| 2007 | 1.507 | 1.799 | 377 | 3.683 |
| 2008 | 1.527 | 1.940 | 393 | 3.859 |
| 2009 | 1.549 | 1.911 | 411 | 3.870 |
| 2010 | 1.565 | 2.005 | 376 | 3.946 |
| 2011 | 1.568 | 2.151 | 375 | 4.094 |
| 2012 | 1.580 | 2.213 | 391 | 4.184 |
| 2013 | 1.564 | 2.370 | 406 | 4.340 |

(Nguồn: Tổng cục thống kê Việt Nam, 2013).

Các hệ thống canh tác lúa ở khu vực ĐBSCL là 1) Lúa một vụ nước trời; 2) Lúa 2 vụ nước trời; 3) Lúa 2 vụ có tưới; và 4) Lúa 3 vụ có tưới. Vùng canh tác lúa có tưới thường sử dụng giống lúa ngắn ngày (90-110 ngày). Vùng canh tác lúa một vụ nước trời thường sử dụng giống dài ngày (160-180 ngày) trên những vùng mà vấn đề tưới tiêu là trở ngại chính cho việc trồng lúa ngắn ngày. Hệ thống lúa 2-3 vụ có tưới canh tác trên những vùng nhận nước tưới dễ dàng. Đối với hệ thống lúa 3 vụ, nếu ở khu vực có điều kiện thủy lợi thuận lợi có thể được trồng xen vào những cây trồng phụ. Đối với 2 vụ lúa nước tận dụng nước mưa thường phân bố dọc các khu vực ven biển là nơi có lượng mưa và điều kiện thủy lợi là trở ngại chính cho việc trồng lúa ngắn ngày (Son, 2011). Bảng 2.2 trình bày các hệ thống canh tác lúa ở ĐBSCL (Son, 2011) và Hình 2.3 cho thấy sự thay đổi hàng tháng về nhiệt độ và lượng mưa, trung bình từ 11 trạm (2003-2008), kết hợp với các mùa thu hoạch lúa (Ha *et al.*, 2010).

Bảng 2.2 Các hệ thống canh tác lúa ở đồng bằng sông Cửu Long (Son, 2011).

| Hệ thống canh tác lúa | Mùa vụ lúa |
|------------------------|-------------------------------|
| Một vụ lúa nước trời | Mùa mưa |
| Hai vụ lúa nước trời | Hè Thu – Thu Đông |
| Hai vụ lúa có tưới | Đông Xuân – Hè Thu |
| Ba vụ lúa có tưới (I) | Đông Xuân – Hè Thu – Thu Đông |
| Ba vụ lúa có tưới (II) | Đông Xuân – Xuân hè – Hè Thu |



Hình 2.3 Biến động nhiệt độ và lượng mưa tương ứng mùa vụ lúa ở ĐBSCL (Ha *et al.*, 2010).

Đồng bằng sông Cửu Long nằm ở khu vực hạ lưu sông Mekong, có vai trò quan trọng trong nền nông nghiệp nói chung của Việt Nam, đặc biệt là sản xuất lúa (chiếm khoảng 50% diện tích nông nghiệp của toàn đồng bằng và 90% sản lượng xuất khẩu gạo cả nước). Lúa trồng nhiều nhất ở các tỉnh Kiên Giang, An Giang, Đồng Tháp, Long An, và Sóc Trăng. Diện tích và sản lượng lúa thu hoạch chiếm hơn 50% so với cả nước. Bình quân lương thực đầu người gấp 2,3 lần so với lương thực trung bình cả nước. Nhờ vậy nên ĐBSCL là nơi xuất khẩu gạo chủ lực của quốc gia (Tổng cục Thống kê Việt Nam, 2013).

Trong những năm gần đây, việc thiếu hụt lượng mưa xảy ra thường xuyên hơn đã gây ra thâm hụt độ ẩm của đất cũng như xâm nhập mặn, ảnh hưởng tiêu cực và cây lúa ở khu vực. Xâm nhập mặn sẽ trở thành nghiêm trọng hơn như là một hệ quả tất yếu của việc tăng nước tưới trong mùa khô (White *et al.*, 1996). Sự giảm lưu lượng nước của sông Mekong trong mùa khô tiếp tục làm trầm trọng thêm bởi việc xây dựng các nhà máy thủy điện của các quốc gia vùng thượng lưu (Ủy ban sông Mekong, 2002), và khả năng do tác động của sự nóng lên toàn cầu dự báo sẽ gây ra sự gia tăng của mực nước biển ở khu vực Đông Nam Á ở mức độ 2mm/năm (Tường, 2001).

2.2 NHỮNG TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN THAY ĐỔI CƠ CẤU MÙA VỤ ĐBSCL

2.2.1 Kết quả mô hình phỏng đoán sự thay đổi nhiệt độ, lượng mưa và nước biển dâng ở các giai đoạn (2030s, 2040s, 2050s)

Dasgupta và các cộng sự (2007) đã công bố một nghiên cứu chính sách do Ngân hàng Thế giới - WB - xuất bản đã xếp Việt Nam nằm trong nhóm 5 quốc gia chịu ảnh hưởng cao nhất do biến đổi khí hậu. Tại Việt Nam, hai đồng bằng sông Hồng và ĐBSCL chịu ảnh hưởng nặng nhất. Khi nước biển dâng cao 1 mét, ước chừng 5,3% diện tích tự nhiên, 10,8% dân số, 10,2% GDP, 10,9% vùng đô thị, 7,2% diện tích nông nghiệp và 28,9% vùng đất thấp sẽ bị ảnh hưởng. Rủi ro ở ĐBSCL, bao gồm cả hạn hán và lũ lụt, sẽ gia tăng với các trận mưa có cường độ cao và các ngày hạn kéo dài (Peter và Greet, 2008).

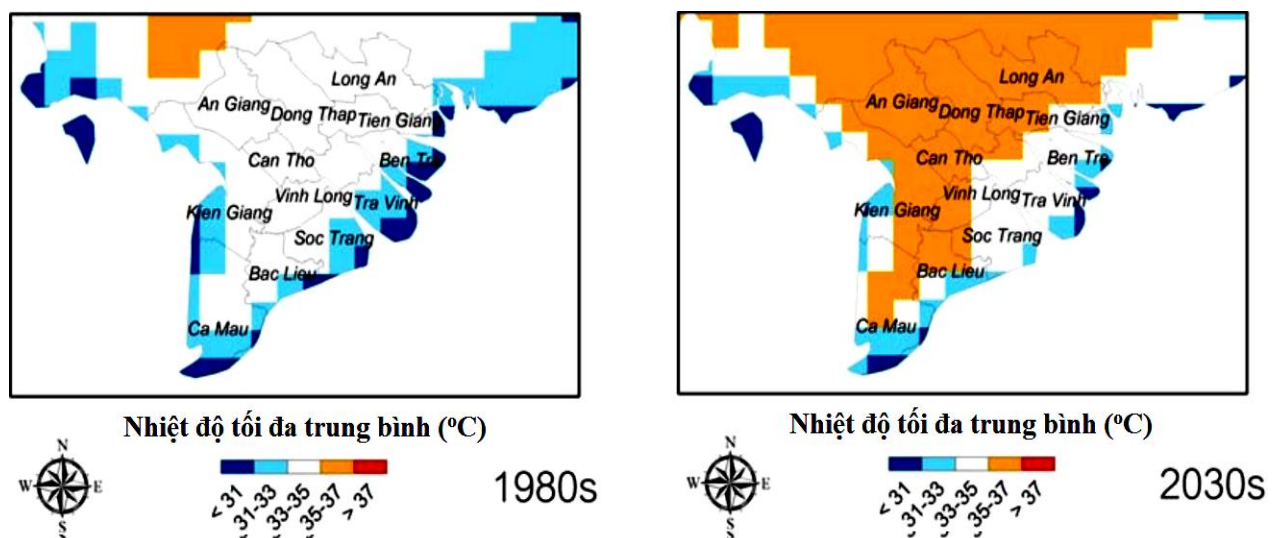
Hanh và Furukawa (2007) dựa vào những ghi nhận ở trạm đo thủy triều ở Việt Nam đã có những kết luận về những bằng chứng của sự dâng lên của mực nước biển: trung bình mỗi năm mực nước biển ở Việt Nam đã tăng trong khoảng 1,75 – 2,56 mm/năm.

Năm 2009, Trung tâm START vùng Đông Nam Á (Đại học Chulalongkorn, Thái Lan) và Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu - Đại học Cần Thơ đã phối hợp chạy mô hình khí hậu vùng PRECIS với kịch bản A2 và B2, dựa vào chuỗi số liệu khí hậu giai đoạn 1980-2000 để phỏng đoán giai đoạn 2030-2040. Kết quả mô hình cho thấy nhiều khu vực của ĐBSCL sẽ bị tác động sau (Tuan and Supparkorn, 2009):

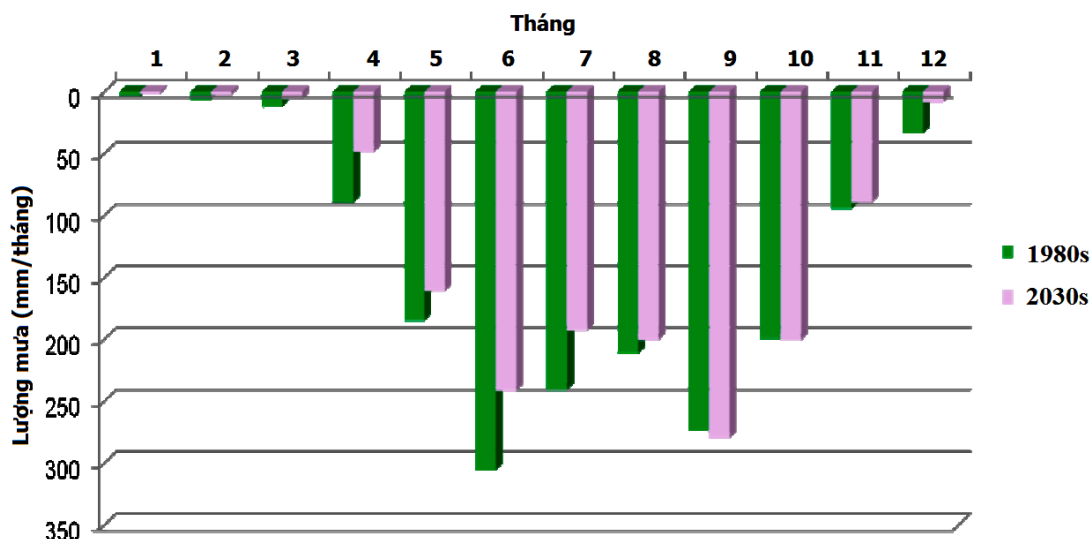
- Nhiệt độ cao nhất trung bình trong mùa khô sẽ gia tăng từ 33-35°C lên 35-37°C (Hình 2.4).
- Lượng mưa đầu vụ Hè Thu (15/4 - 15/5) sẽ giảm chừng 10-20%.
- Sự phân bố mưa tháng sẽ có khuynh hướng giảm vào đầu và giữa vụ Hè Thu nhưng gia tăng một ít vào cuối mùa mưa (Hình 2.5).
- Tổng lượng mưa năm tại An Giang, Cần Thơ và Sóc Trăng sẽ giảm chừng 20%, đồng thời thời kỳ bắt đầu mùa mưa sẽ trễ hơn khoảng 2 tuần lễ.
- Diện tích ngập ở ĐBSCL do lũ sẽ gia tăng (Hình 2.6).

Dự báo đến năm 2060, biến đổi khí hậu toàn cầu sẽ làm môi trường tự nhiên, kinh tế - xã hội ĐBSCL thay đổi lớn. Nước biển sẽ dâng cao trên dưới 1m, làm ngập lụt phần lớn ĐBSCL vốn đã bị ngập lụt hàng năm, dẫn đến mất nhiều đất nông nghiệp. Sẽ có từ 15.000 – 20.000 km² đất thấp ven biển bị ngập hoàn toàn. Lưu lượng nước sông Mê Kông giảm từ 2 – 24% trong mùa khô, tăng từ 7- 15% vào mùa lũ. Hạn hán sẽ xuất hiện nhiều hơn, nước lũ sẽ cao hơn và thời gian ngập lũ cũng kéo dài hơn hiện nay. Việc tiêu thoát nước mùa mưa lũ cũng khó khăn (Thế Đạt, 2001).

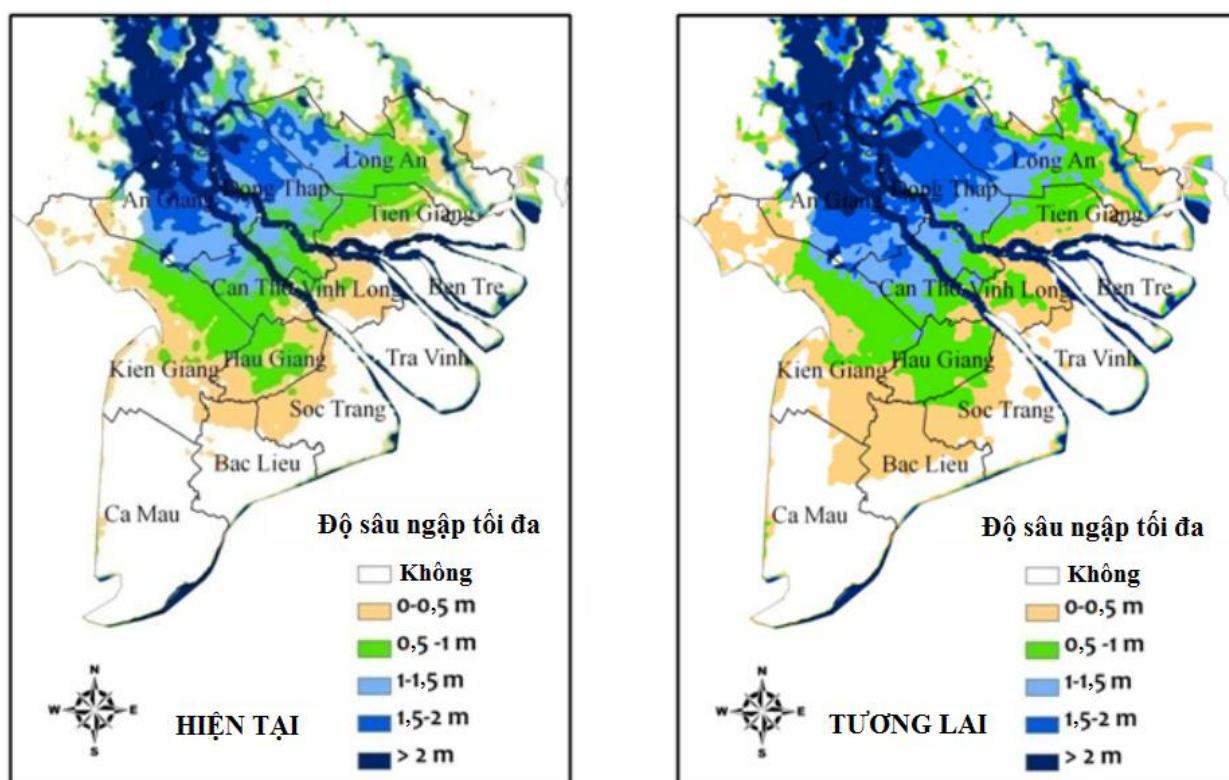
Tình hình nhiệt độ gia tăng, mưa giảm, diện tích lũ mở rộng và mực nước biển dâng cao sẽ tác động rất lớn đến hệ sinh thái và sản xuất nông nghiệp cũng như tạo ra các vấn đề khó khăn cho sự phát triển kinh tế - xã hội khu vực.



Hình 2.4 Sự thay đổi nhiệt độ lớn nhất trung bình thập niên 2030 so với thập niên 1980 (Lê Anh Tuấn, 2009)



Hình 2.5 Sự thay đổi lượng mưa tháng ở ĐBSCL thập niên 2030 so với thập niên 1980 (Lê Anh Tuấn, 2009).



Hình 2.6 Phỏng đoán sự thay đổi diện tích ngập vào thập niên 2030 so với thập niên 1980 (Lê Anh Tuấn, 2009).

Sự suy giảm tài nguyên nước sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất nông nghiệp. Diện tích rừng ngập mặn và một số vùng đất ngập nước sẽ bị giảm. Nước biển dâng cao sẽ làm thay đổi môi trường sống của nhiều loài sinh vật biển, các mô hình nuôi thủy sản có nguy cơ bị phá sản. Quá trình xâm nhập mặn vào nội đồng sẽ sâu hơn, tập trung tại các tỉnh Cà Mau, Bạc Liêu, Sóc Trăng, Trà Vinh, Bến Tre, Tiền Giang, Long An và nước ngọt sẽ khan hiếm. Bờ biển, bờ sông sẽ bị xâm thực mạnh hơn. Nếu không có giống mới chịu mặn, nền nông nghiệp sẽ suy thoái, trước hết là cây lúa. Năng suất cây trồng, vật nuôi, sản lượng sản phẩm nông nghiệp sẽ giảm sút. Hoạt động sản xuất kinh doanh, dịch vụ khác cũng bị ảnh hưởng lớn, gây xáo trộn tới đời sống người dân (Cục Quản lý Tài nguyên nước, 2013).

2.2.2 Môi quan hệ giữa biến đổi khí hậu và cơ cấu mùa vụ

Theo Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (2009), nếu nước biển dâng cao thêm 1m thì khoảng 70% diện tích đất ở Đồng bằng sông Cửu Long bị xâm nhập mặn, mất khoảng hai triệu ha đất nông nghiệp. Lúc đó, diện tích một số cây trồng, trong đó có diện tích lúa sẽ bị sụt giảm nghiêm trọng. Nhiệt độ tăng làm nhu cầu nước cho sản xuất trồng trọt cũng tăng theo. Theo tính toán, khi nhiệt độ tăng lên 1⁰C thì nhu cầu nước tăng lên 10%, trên thực tế vượt quá mức đáp ứng của hệ thống thủy lợi hiện nay. Nhiệt độ tăng cũng làm giảm nghiêm trọng năng suất cây trồng. Nhiệt độ tăng lên 1⁰C làm giảm 10% năng suất lúa, giảm 5-20% năng suất bắp, các loại cây họ đậu cũng ở tình trạng tương tự.

Thời tiết thay đổi thất thường, hạn hán làm tăng áp lực dịch hại trên cây trồng. Mật số sâu bệnh tăng cao thậm chí có thể phát sinh một số loại sâu bệnh mới gây hại trong sản xuất cũng như trong quá trình bảo quản, sơ chế (Huỳnh Quang Đức, 2011).

• Xu thế thay đổi cơ cấu mùa vụ

- Diện tích canh tác nông nghiệp như lúa, màu, cây ăn trái và nuôi trồng thủy sản sẽ bị thu hẹp.
- Đề giảm rủi ro liên quan đến ngập lụt và hạn hán, những nơi thâm canh từ 3 vụ có thể giảm xuống còn 2 vụ năm.
- Các khu vực dùng nước trời: phát triển các hệ thống canh tác tận dụng tối đa nguồn nước mưa.
- Các khu vực dễ ngập úng: phát triển hệ thống lúa-nuôi trồng thủy sản.
- Các khu vực nhiễm mặn: phát triển hệ thống lúa-tôm và hệ thống lúa-cây trồng khác.
- Các hệ thống cho đất phèn: phát triển hệ thống lúa – cây chịu phèn.

• Phân tích mặt tích cực và tiêu cực khi phải thay đổi cơ cấu mùa vụ

Việc gia tăng nhiệt độ bất thường, lụt lội, hạn hán thường xuyên, nước mặn xâm nhập sẽ làm giảm năng suất lúa, cũng như làm giảm diện tích canh tác lúa trên toàn vùng. Việc giảm diện tích đất canh tác lúa sẽ giảm tiềm năng phát sinh khí nhà kính từ ruộng lúa, nhưng để đảm bảo cung cấp đủ lương thực, tăng thâm canh và năng suất nông nghiệp cũng sẽ diễn ra. Khi nhiệt độ gia tăng, năng suất hạt các loại thực vật nhóm C3 như lúa có nguy cơ giảm sút, nhưng nhóm thực vật C4 như mía, bắp, sorgho,... và nhóm thực vật CAM (Crassulacean Acid Metabolism) như thơm, khóm, thanh long,... ở vùng ĐBSCL lại có cơ hội gia tăng năng suất. Các loại thực vật có củ như khoai lang, khoai mì, ... cũng hưởng lợi trong việc hâm nóng toàn cầu. Cây ăn trái ở ĐBSCL cũng sẽ trĩu quả hơn vì lục hóa gia tăng (qua gia tăng 1⁰C và gấp đôi lượng CO₂), kết hoa tượng nhiều trái hơn vì nhờ nắng hạn gia tăng và mưa trề đầu mùa. Vì vậy, một khi việc canh tác lúa không còn thuận lợi, cần phải chuyển hướng đến các loại hoa màu khác, hay nhóm cây khác, hay chăn nuôi thủy sản có lợi hơn (Nguyễn Phước Tuyên, 2011).

2.3 PHƯƠNG PHÁP VIỄN THÁM TRONG GIÁM SÁT VÀ THEO DÕI CÁC TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN SẢN XUẤT LÚA Ở ĐBSCL

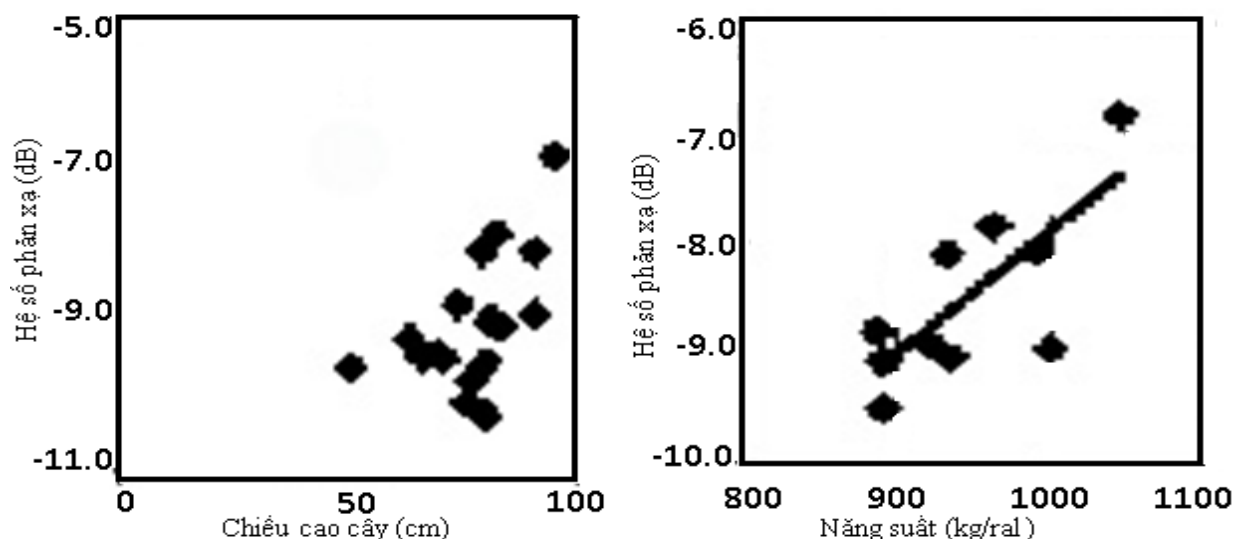
2.3.1 Ứng dụng ảnh viễn thám trong theo dõi chuyển đổi cơ cấu mùa vụ lúa

2.3.1.1 Một số nghiên cứu trên thế giới

Cây lúa là một trong những loại cây lương thực quan trọng trên thế giới. Hiện tại, sự gia tăng dân số kéo theo nhu cầu về lương thực cũng tăng theo, do đó vấn đề an ninh lương

thực trở nên được quan tâm nhiều hơn. Đã có nhiều nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám theo dõi cây lúa nhằm đưa ứng dụng viễn thám vào việc hỗ trợ quan sát, quản lý tình hình sản xuất lúa. Năm 1993, Kurosu *et al.* đã chỉ ra được mối liên hệ giữa hệ số phản xạ năng lượng sóng radar với các thông số về cây lúa. Năm 1995, Kurosu đã tiếp tục theo dõi mùa vụ và sự tăng trưởng của cây lúa sử dụng band-C của ERS-1 (Kurosu *et al.*, 1995).

Năm 1995, Aschbacher *et al.* đã nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám ERS-1 SAR xây dựng bản đồ ruộng lúa và theo dõi mùa vụ ở tỉnh Kanchanaburi khu vực phía Tây Thái Lan. Nghiên cứu cho thấy bộ cảm biến Radar có khả năng theo dõi sự tăng trưởng của cây lúa mà không bị ảnh hưởng của thời tiết. Sự tán xạ của của cây lúa có mối quan hệ với tình trạng phát triển cây lúa. Nghiên cứu đã tìm được mối tương quan giữa chiều cao của cây lúa và tán xạ radar [dB] với hệ số tương quan $r = 0,77$ và mối tương quan với năng suất hệ số $r = 0,87$ (Hình 2.7). Kết quả cho thấy trong các loại cây trồng trong nông nghiệp thì việc sử dụng ERS-1 SAR có hiệu quả nhất trên cây lúa. Sử dụng các thông số ảnh hưởng đến năng suất, mối tương quan giữa hệ số phản xạ và chiều cao của cây, cho phép xác định tình trạng sinh trưởng và thời gian thu hoạch (Aschbacher *et al.*, 1995).

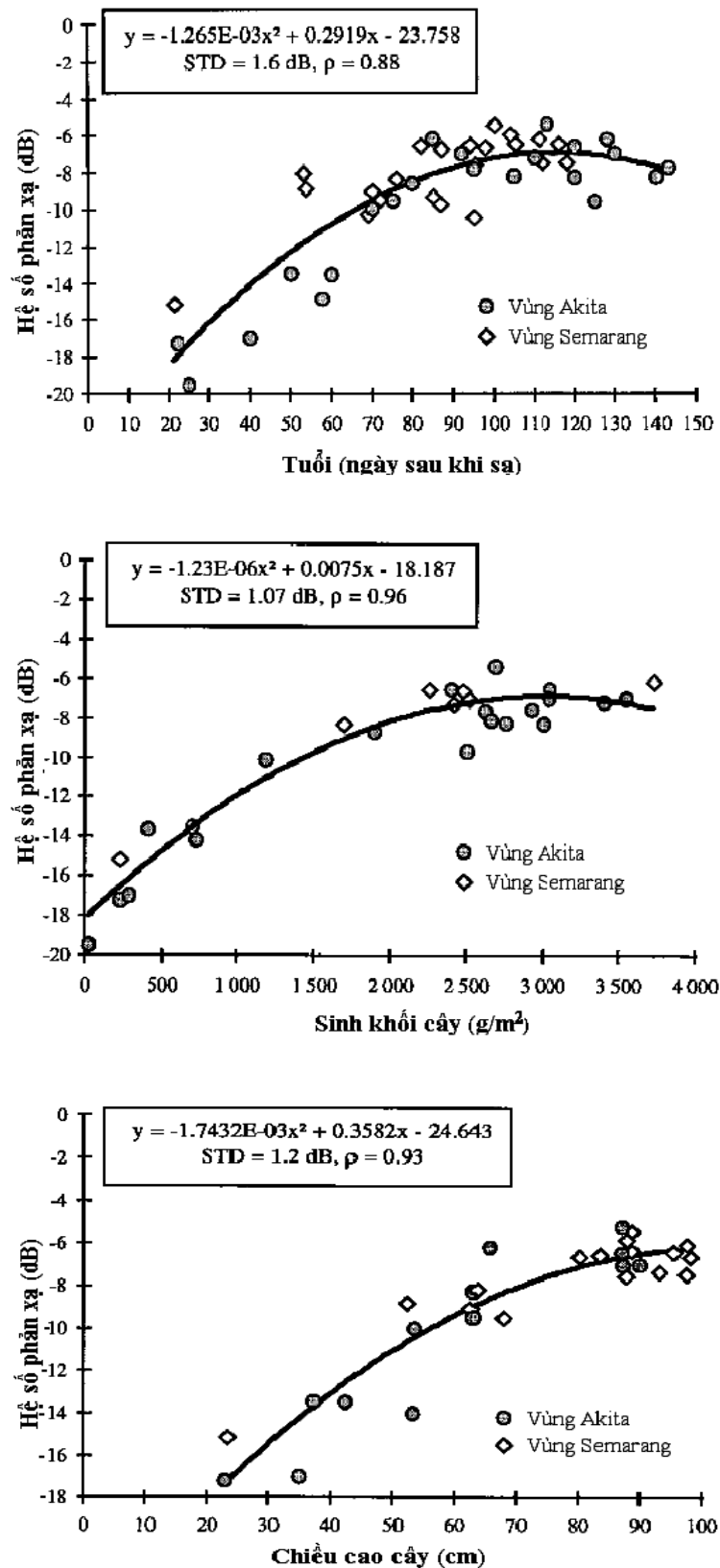


Hình 2.7 Mối tương quan giữa hệ số phản xạ với năng suất và chiều cao của cây lúa (Aschbacher *et al.*, 1995)

Năm 1997, Lê Toàn Thủy *et al.* đã nghiên cứu ứng dụng dữ liệu ảnh viễn thám ERS-1 SAR để tìm các thông số tương quan giữa cây lúa (độ cao và sinh khối) và hệ số tán xạ cho việc thành lập bản đồ phân vùng canh tác lúa thực hiện tại Nhật và Indonesia (Le Toan *et al.*, 1997). Sự kết hợp giữa dữ liệu ảnh SAR với mô hình khí tượng nông nghiệp ORYZA đã cung cấp chính xác kết quả ước đoán năng suất lúa. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá khả năng sử dụng dữ liệu ERS-1 SAR để thành lập bản đồ vùng lúa và tìm ra những thông số về cây lúa có liên quan chặt với hệ số tán xạ. Tổng hợp các dữ liệu thử nghiệm tại hai khu vực, một là khu vực nhiệt đới với giống lúa có chu kỳ ngắn (Semarang, Indonesia) và khu vực ôn đới với lúa chu kỳ dài (Akita, Nhật Bản).

Phân tích cho thấy ở cánh đồng lúa ngập nước có đặc tính phản xạ năng lượng sóng radar tăng theo thời gian. Hệ số phản xạ trên cánh đồng mẫu được phân tích tương quan với các đặc tính cây lúa như ngày tuổi, chiều cao và sinh khối được thể hiện ở Hình 2.8. Vào đầu vụ canh tác hệ số phản xạ thấp (-20 đến -15 dB) do đất bị ngập nước, ít thực vật. Sau đó hệ số phản xạ tăng dần đến giai đoạn cây sinh trưởng đạt cao nhất về chiều cao, sinh khối và mật độ phủ (diện tích lá) thì hệ số phản xạ đạt giá trị này đạt từ -8 đến -6 dB và

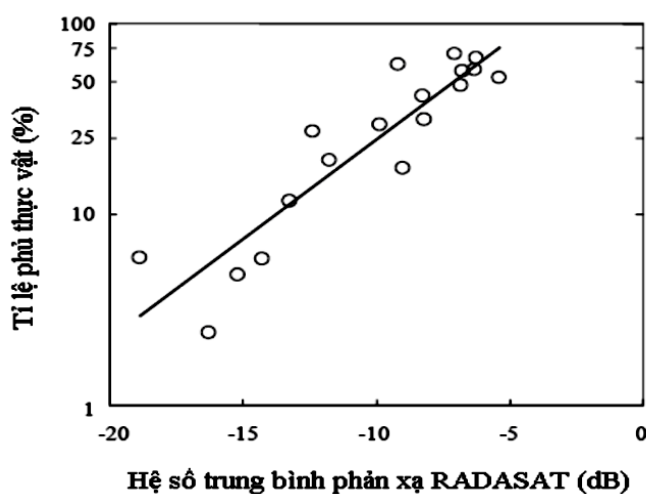
duy trì đến cuối vụ. Kết quả cho thấy rằng mặc dù có sự khác nhau điển hình trong giai đoạn đầu vụ do giữa điều kiện sinh trưởng của cây lúa ở Akita và Semarang khác nhau, nhưng hệ số phản xạ có mối hệ giống nhau giữa ngày tuổi, chiều cao cây và sinh khối lúa với hệ số phản xạ (dB) (Le Toan *et al.*, 1997).



Hình 2.8 Tương quan giữa hệ số phản xạ sóng radar với các thông lúa trên cây lúa (Le Toan *et al.*, 1997)

Dữ liệu ảnh RADARSAT cũng được sử dụng nghiên cứu theo dõi về cây lúa ở Trung Quốc. Năm 2001, Shao cùng các cộng sự đã sử dụng dữ liệu RADARSAT đa thời gian được thu thập vào năm 1996 và 1997 nghiên cứu theo dõi và ước lượng năng suất lúa. Nghiên cứu đã cho thấy khả năng sử dụng dữ liệu ảnh RADARSAT trong việc xây dựng được bản đồ diện tích phân bố 4 loại giống lúa có thời gian sinh trưởng khác nhau từ 80 đến 120 – 125 ngày. Bên cạnh đó, dữ liệu ảnh MODIS có độ phân giải không gian thấp nhưng lại có độ phân giải thời gian khá cao, thuận lợi cho việc theo dõi sự phát triển của cây lúa (Shao *et al.*, 2001).

Đến năm 2003, Kazuyoshi *et al.* tiếp tục nghiên cứu cho thấy tỷ lệ phủ của cây lúa có thể đánh giá được thực trạng phát triển của cây lúa thông qua chỉ số diện tích lá (LAI- leaf area index). Nghiên cứu được thực hiện tại Tyuetsu region, Niigata prefecture, Nhật Bản. Tiến hành phân tích mối quan hệ giữa độ phủ của cây lúa và hệ số phản xạ của sóng radar từ các ảnh RADARSAT đa thời gian. Mối liên hệ giữa trung bình hệ số phản xạ của RADARSAT và thực vật được thể hiện Hình 2.9.



Hình 2.9 Mối liên hệ giữa trung bình hệ số phản xạ RADARSAT và độ phủ thực vật (Kazuyoshi *et al.*, 2003)

Kết quả nghiên cứu đã tìm ra mối quan hệ giữa trung bình dữ liệu RADARSAT và độ phủ thực vật. Phương trình cân bằng được tính dựa trên mối liên hệ giữa trung bình hệ số phản xạ của RADARSAT và thực vật, với bình phương sai số của phương trình là 11.8 % (Kazuyoshi *et al.*, 2003):

$$\text{Log}_{10}\text{VCR} = 0,10 \times S + 2,43 \quad (1)$$

Trong đó: VCR là phần trăm độ phủ thực vật (%)

S trung bình hệ số phản xạ RADARSAT (dB)

Đến năm 2005, Xiao đã cùng các cộng sự sử dụng ảnh MODIS với độ phân giải không gian 500m, nghiên cứu xây dựng bản đồ vùng trồng lúa trên khu vực bao gồm 13 tỉnh phía nam Trung Quốc. Nghiên cứu phát triển thuật toán xây dựng bản đồ lúa gạo sử dụng chuỗi ảnh thời gian của ba chỉ số thực vật (LSWI, EVI, và NDVI) được phân tích từ dữ liệu ảnh MODIS để xác định các giai đoạn sinh trưởng của lúa. Các chỉ số được tính theo công thức bên dưới (Xiao *et al.*, 2005).

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2)$$

$$LWSI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{swir}}{\rho_{nir} + \rho_{swir}} \quad (3)$$

$$EVI = 2,5 \times \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + 6 \times \rho_{red} - 7,5 \times \rho_{blue} + 1} \quad (4)$$

Trong đó: ρ_{nir} : Phản xạ phổ kênh cận hồng ngoại;
 ρ_{red} : Phản xạ phổ kênh đỏ;
 ρ_{swir} : Phản xạ phổ kênh hồng ngoại sóng ngắn;
 ρ_{blue} : Phản xạ phổ kênh ánh sáng xanh.

Kết quả nghiên cứu của Xiao *et al.* (2005) cho thấy ảnh MODIS có khả năng theo dõi các giai đoạn sinh trưởng của cây lúa thông qua sự biến thiên có tính chu kỳ của giá trị chỉ số thực vật NDVI. Tuy nhiên kết quả nghiên cứu còn có một số yếu tố hạn chế có khả năng ảnh hưởng đến việc xác định và lập bản đồ phân vùng canh tác lúa khi sử dụng ảnh MODIS tổ hợp 8 ngày như sau:

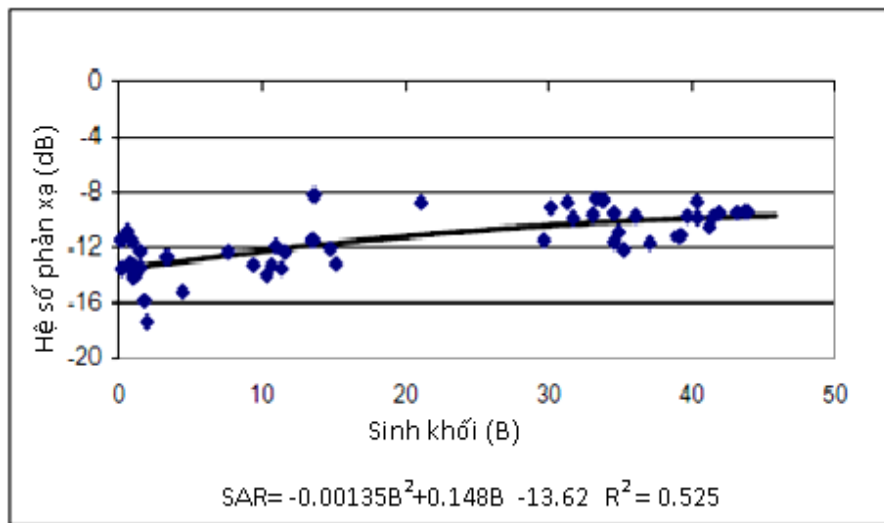
- Thứ nhất là về độ phân giải thời gian. Ảnh MODIS tổ hợp 8 ngày được tạo nên bằng cách chọn giá trị tối thiểu của băng xanh (điều kiện khí quyển rõ ràng) trong một khoảng thời gian 8-ngày cho mỗi điểm ảnh riêng lẻ. Điều này có thể bỏ qua một số quan sát liên quan đến lũ lụt/thời gian gieo sạ. Tuy việc sử dụng dữ liệu MODIS hàng ngày có thể khắc phục nhược điểm này nhưng nó sẽ yêu cầu các bộ dữ liệu lớn;
- Thứ hai, việc sử dụng dữ liệu MODIS thông thường phải có bộ dữ liệu bổ trợ có độ phân giải không gian tốt hơn nhằm có thể thành lập bản đồ chính xác hơn;
- Thứ ba là vẫn tồn tại một số ít điểm mây bao phủ còn sót lại trong ảnh MODIS 8-ngày.

Một nghiên cứu mới của Zhang *et al.* (2015) trong đó có sự kết hợp giữa lớp ảnh nhiệt bề mặt MODIS LST và lớp ảnh chỉ số thực vật MODIS NDVI để xác định các khoảng thời gian của lũ lụt và cây lúa ở các tỉnh Hắc Long Giang, Cát Lâm, Liêu Ninh thuộc vùng Đông Bắc Trung Quốc. Trong đó, các loại che phủ đất khác (như cây lâu năm, mặt nước thủy sản hay sông hồ, và các thảm thực vật thưa thớt) có khả năng ảnh hưởng đến việc nhận dạng đất canh tác lúa đã được loại bỏ nhờ vào việc chúng có đặc điểm biến động theo thời gian khác biệt so với cây lúa. Việc đánh giá độ chính xác của bản đồ kết quả thông qua sử dụng các dữ liệu ảnh có độ phân giải cao hơn cho thấy rằng bản đồ lúa xây dựng từ dữ liệu ảnh MODIS cho miền Đông Bắc Trung Quốc trong năm 2010 đã có một độ chính xác cao (độ chính xác phân loại và độ chính xác thực tế tương ứng đạt 92% và 96%,). Các bản đồ xây dựng từ dữ liệu ảnh MODIS nói trên cũng có sự tương quan với bộ dữ liệu bản đồ quốc gia năm 2010 của Trung Quốc (NLCD_ Landsat-based National Land Cover Dataset) cả về diện tích và mô hình không gian. Nghiên cứu này đã chứng minh rằng thuật toán cải tiến bằng cách sử dụng dữ liệu MODIS nhiệt và quang học cung cấp một cách tiếp cận tốt, đơn giản và tự động để nhận diện vùng canh tác lúa ở vùng khí hậu ôn đới và hàn đới Trung Quốc.

2.3.1.2 Một số nghiên cứu trong nước

Tại Việt Nam, Karjalainen và cộng sự (2001) đã sử dụng ảnh viễn thám SAR đa thời gian kết hợp với dữ liệu khí tượng trong đánh giá năng suất lúa tại miền Trung Việt Nam. Ước đoán năng suất lúa được tính dựa trên module tăng trưởng mùa vụ của phần mềm CROPWATN, module này sử dụng dữ liệu khí tượng, dữ liệu về đặc tính đất canh tác và mối quan hệ giữa tán xạ năng lượng và tăng trưởng cây lúa. Mối quan hệ này được

ngiên cứu dựa trên dữ liệu đo đạc từ 16 ruộng thí nghiệm trong vụ Đông Xuân năm 2000 (Hình 2.10). Việc kết nối với phần mềm GIS để kết quả ước đoán sản lượng lúa được phân vùng trên bản đồ theo ranh giới hợp lý nhằm thể hiện kết quả đến với người sử dụng (Karjalainen *et al.*, 2001).



Hình 2.10 Mối tương quan giữa giá trị phản xạ trên ảnh SAR và sinh khối cây lúa tại xã Hải Vĩnh, huyện Hải Lăng, tỉnh Quảng Trị (Karjalainen *et al.*, 2001)

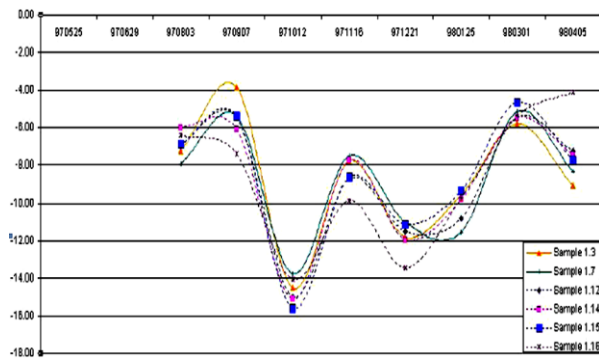
Năm 2003, Lâm Đạo Nguyên đã nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh SAR và NOAA-AVHRR trong theo dõi sự tăng trưởng của cây lúa tại tỉnh Sóc Trăng. Đối với dữ liệu SAR, sự biến đổi theo thời gian của tán xạ từ cây lúa liên quan đến sự phát triển của cây lúa trên ruộng trong suốt chu kỳ mùa vụ do sự gia tăng sinh khối. Sự biến đổi theo thời gian của giá trị tán xạ được đánh giá bởi tỉ số cường độ tán xạ của mỗi phần tử ảnh (pixel) giữa hai thời điểm chụp ảnh. Giá trị biến đổi tối đa theo thời gian (MTC - Maximum Temporal Change) được tính theo phương trình sau:

$$MTC_{i,j} = \frac{\text{Max}(I_{i,j,k})}{\text{Min}(I_{i,j,k})} \quad (5)$$

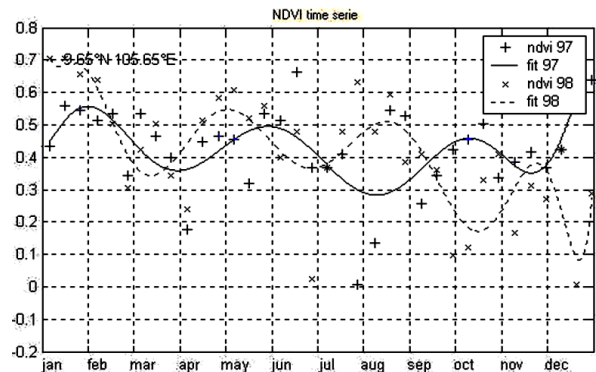
Trong đó: i và j : tọa độ dòng cột của pixel;
 K : số hiệu ảnh

Kết quả phân tích sự biến đổi σ_0 theo chu kỳ một năm trên các vùng mẫu khác nhau (bao gồm vùng lúa một, hai và ba vụ) và vẽ đường biến thiên thể hiện sự biến đổi này. Kết quả phân tích cho thấy giá trị tán xạ ngược σ_0 của vùng lúa trên ảnh radar thay đổi từ -18 đến -2dB trong suốt một năm quan sát. Vùng trồng lúa ba mùa vụ trong thời gian quan sát một năm của tư liệu ERS2-SAR và NOAA-AVHRR thể hiện ba đỉnh của đường cong (Hình 2.11 và Hình 2.12). Đỉnh thứ hai của đường cong thấp hơn hai đỉnh kia. Điều này có thể được giải thích là do đỉnh thực sự đã không quan sát được do chu kỳ thu ảnh của bộ cảm ERS2-SAR là 35 ngày. Đối với chu kỳ thu ảnh này, chỉ có hai ảnh được thu nhận cho vụ lúa sử dụng giống ngắn ngày. Hình 2.13 và Hình 2.14 thể hiện sự biến đổi về tán xạ ngược và NDVI của vùng trồng lúa hai vụ (Đông Xuân – Hè Thu). Trong trường hợp một mùa vụ lúa, giá trị biến đổi lớn nhất được quan sát là 12dB. Đường cong tán xạ ngược và NDVI được quan sát như trong Hình 2.15 và Hình 2.16 đại diện cho những vùng trồng lúa một vụ gần biển (Lâm Đạo Nguyên, 2003). Kết quả nghiên cứu nói trên đã chứng tỏ khả năng áp dụng tư liệu viễn thám ERS2-SAR để theo dõi sự tăng trưởng của cây lúa cho vùng ĐBSCL, nơi có hệ thống mùa vụ lúa khá phức tạp. Tư liệu viễn

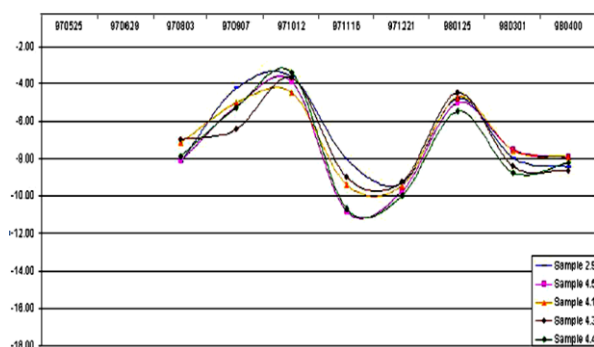
thăm quang học NOAA-AVHRR trong thí nghiệm cũng giúp xác định được mối quan hệ giữa chỉ số NDVI với sự tăng trưởng của cây lúa.



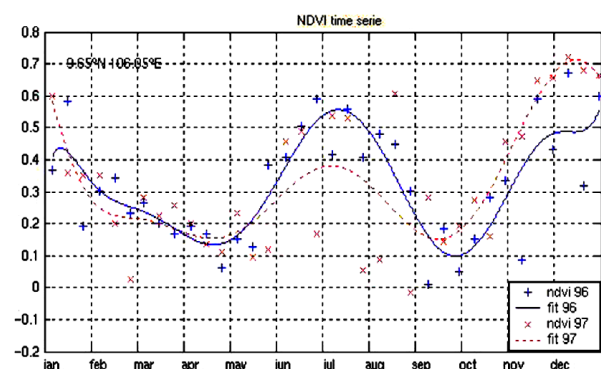
Hình 2.11 Biến đổi theo thời gian của σ_0 của dữ liệu SAR trong các vùng lúa ba vụ



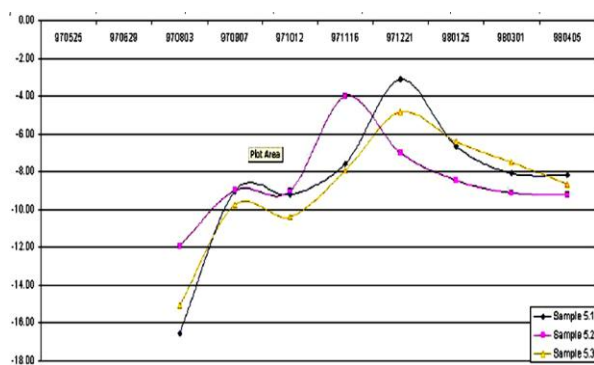
Hình 2.12 Biến đổi theo thời gian của NDVI trong các vùng lúa ba vụ



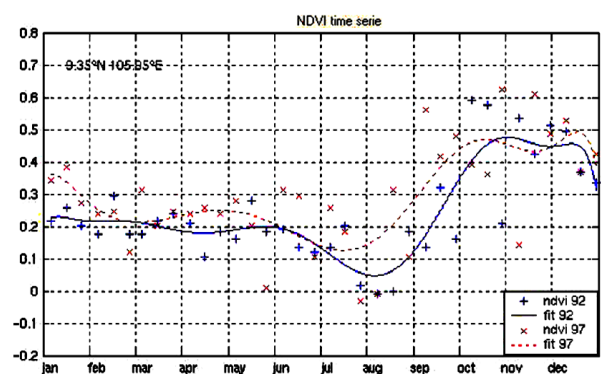
Hình 2.13 Biến đổi theo thời gian của σ_0 của dữ liệu SAR trong các vùng lúa hai vụ



Hình 2.14 Biến đổi theo thời gian của NDVI trong các vùng lúa hai vụ (ĐX-HT)



Hình 2.15 Biến đổi theo thời gian của σ_0 của dữ liệu SAR trong các vùng lúa một vụ Mùa



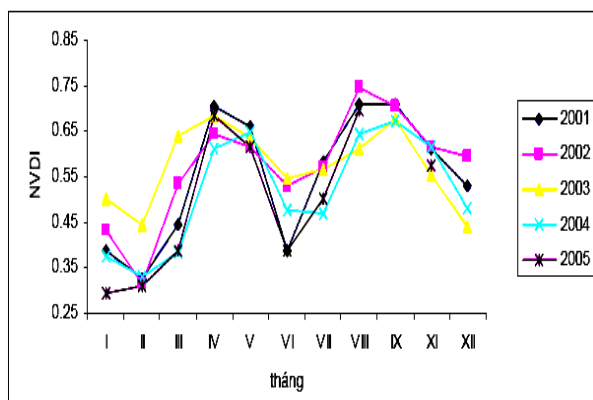
Hình 2.16 Biến đổi theo thời gian của NDVI trong các vùng lúa một vụ Mùa

Dương Văn Khảm (2007) đã 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 ĐBSCL. Nghiên cứu bước đầu ứng dụng tư liệu ảnh viễn thám MODIS tổ hợp 32 ngày (từ tháng 1 năm 2001 đến tháng 12 năm 2005) để tính toán các chỉ số thực vật (sử dụng 2 kênh phổ là kênh đỏ và cận hồng ngoại của đầu thu MODIS) và đánh giá sự biến động chỉ số thực vật NDVI, VCI và một số phân tích về thời vụ và trạng thái sinh trưởng của cây lúa ở đồng bằng Sông Hồng và ĐBSCL. Kết quả quan sát sự biến động chỉ số NDVI ở đồng bằng Sông Hồng và ĐBSCL như sau:

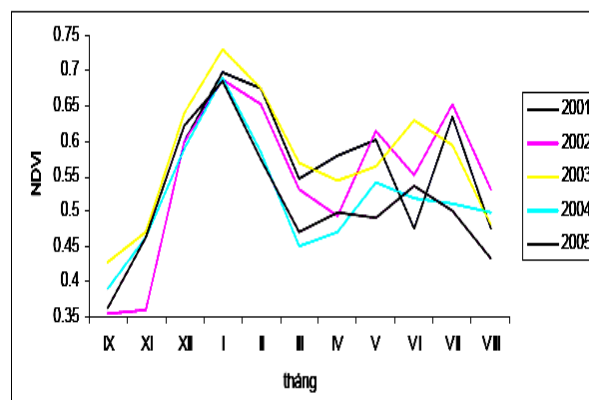
+ Biến động chỉ số thực vật ở đồng bằng Sông Hồng (Hình 2.17): Chỉ số NDVI của toàn bộ các năm nghiên cứu đều biến động theo một đồ thị hình Sin, xuất hiện cực đại ở hai

thời điểm trong năm khoảng tháng 4 - 5 và tháng 8 - 9 rõ ràng đây là hai thời kỳ lúa phát triển tốt nhất trong năm tương ứng là vụ lúa Đông Xuân và vụ lúa Mùa. Giá trị NDVI cực tiểu cũng xuất hiện vào hai thời điểm trong khoảng cuối năm trước đầu năm sau và trong khoảng tháng 6 - 7 đây là hai thời kỳ lúa đang thu hoạch hoặc đã thu hoạch xong.

+ Biến động chỉ số thực vật ở đồng bằng Sông Cửu Long (Hình 2.18): Sự biến động của chỉ số NDVI ở đây rất khác so với sự biến động chỉ số NDVI ở đồng bằng Sông Hồng, nguyên nhân chủ yếu là thời vụ gieo trồng ở hai vùng này rất khác nhau. Trong khoảng từ tháng 8 năm trước đến tháng 3 năm sau chỉ số NDVI của các năm nghiên cứu đều có chung một xu thế rất ổn định, giá trị NDVI đạt cực đại vào khoảng tháng 1-2 hàng năm đây là thời kỳ cây trồng phát triển tốt nhất, tương ứng với vụ Đông Xuân lúa đã kết thúc thời kỳ đẻ nhánh. Từ tháng 4 đến tháng tháng 8 chỉ số NDVI của các năm diễn biến phức tạp, mỗi năm giá trị NDVI xuất hiện cực đại ở các tháng khác nhau, nguyên nhân chủ yếu có thể ở mỗi địa phương trong giai đoạn này ngoài vụ lúa Hè Thu còn có thêm vụ lúa Mùa xen kẽ và thời vụ mỗi năm có sự thay đổi nhất định. Ở thời gian này, mỗi năm chỉ số NDVI biến động là khác nhau nhưng mỗi năm vẫn chỉ có một giá trị cực đại và hai giá trị cực tiểu hoàn toàn phù hợp với quy luật sinh trưởng và phát triển của cây lúa và chúng tỏ trong giai đoạn này vẫn chỉ có một vụ sản xuất lúa chính.



Hình 2.17 Biến động chỉ số NDVI qua các năm vùng đồng bằng Sông Hồng (Dương Văn Khảm, 2007)



Hình 2.18 Biến động chỉ số NDVI qua các năm vùng đồng bằng sông Cửu Long (Dương Văn Khảm, 2007)

Trong một nghiên cứu trên vùng canh tác lúa ở ĐBSCL của Sơn (2011), sử dụng phương pháp lọc mịn thời gian EMD để lọc chuỗi dữ liệu MODIS NDVI 250-m đa thời gian đã cho kết quả những mô hình NDVI phản ánh những thay đổi theo mùa của hệ thống canh tác lúa. Các bản đồ phân loại năm 2002 và 2006 được so sánh với các dữ liệu thực địa cho thấy việc lập bản đồ lúa trong khu vực từ dữ liệu MODIS NDVI 250m có độ tin cậy khá cao với độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa cho dữ liệu năm 2002 tương ứng là 84,0% và 0,79; và độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa cho dữ liệu của năm 2006 là 85,1% và 0,80. Kết quả so sánh bản đồ canh tác lúa từ dữ liệu MODIS và dữ liệu diện tích cung cấp bởi Tổng cục thống kê Việt Nam có sự tương quan cao ($R^2 > 0,85$). Kết quả nghiên cứu đã cho thấy, trong giai đoạn 2002 đến 2006, có sự gia tăng đáng kể diện tích lúa 2 vụ có tưới (từ 6,3% tăng lên 14,9%) và ba vụ có tưới (từ 9,9% tăng lên 16,3%) ở ĐBSCL. Nghiên cứu này đã chứng minh giá trị của việc sử dụng dữ liệu MODIS để nghiên cứu sự thay đổi hệ thống cây trồng lúa, có ý nghĩa quan trọng đối với quản lý cây trồng và quản lý nước tưới.

Nguyen Thi Thu Ha *et al.* (2012) đã xây dựng thành công bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa trong điều kiện nhiều mây ở ĐBSCL từ dữ liệu viễn thám quang học SPOT thông qua kỹ thuật phân tích chỉ số NDVI đa thời gian. Trong nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp phân

loại dựa trên thuật toán ISODATA để phân tích chuỗi dữ liệu SPOT NDVI 10 ngày. Kết quả đã xây dựng bản đồ với 77 nhóm đối tượng, trong đó có 26 nhóm đối tượng canh tác lúa có đặc điểm lịch thời vụ khác nhau. Kết quả bản đồ giải đoán nói trên được đối chiếu với 112 điểm khảo sát thực địa cho thấy bản đồ kết quả có độ chính xác cao (độ chính xác tổng thể đạt 94% và hệ số Kappa đạt 0,93). Nghiên cứu này chứng tỏ tiềm năng cao của dữ liệu quang học đa thời gian trong phân tích và thành lập bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa ở vùng canh tác lúa nước nhiều mây với độ chính xác cao.

Kết quả nghiên cứu của Trần Thị Hiền và cộng sự (2013) cũng cho thấy có thể sử dụng ảnh vệ tinh độ phân giải thấp đa thời gian MODIS-MOD09Q1 để xây dựng bản đồ hiện trạng trà lúa ở các vùng canh tác lúa ĐBSCL thông qua mối liên hệ chặt chẽ giữa chỉ số khác biệt thực vật NDVI với các giai đoạn tăng trưởng của cây lúa. Trường hợp nghiên cứu ở tỉnh An Giang từ năm 2012 đến 2013 cho thấy kết quả kiểm tra, đối chiếu bản đồ giải đoán với dữ liệu báo cáo tiến độ xuống giống tại địa phương có sự tương quan cao với $R^2=0,83$. Do đó, ngoài khả năng xây dựng bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa, dữ liệu MODIS NDVI 250m tổ hợp 8 ngày có thể xác định hiện trạng trà lúa dựa trên mối tương quan giữa chỉ số NDVI và các giai đoạn phát triển của cây lúa.

Tóm lại, các kết quả nghiên cứu đã cho thấy dữ liệu viễn thám quang học MODIS (Moderate Resolution Spectroradiometer) đa phổ, đa thời gian và có độ phủ rộng khá phù hợp cho việc theo dõi biến động lớp phủ bề mặt đất ở phạm vi lớn cấp khu vực. Từ các kết quả nghiên cứu này có thể chọn lựa dữ liệu ảnh MOD09Q1 250m, tổ hợp 8 ngày lập cho nghiên cứu các loại thực vật canh tác theo mùa vụ đặc biệt là cây lúa. Có thể dựa vào mối tương quan giữa giá trị chỉ số khác biệt thực vật NDVI với sự thay đổi của hiện trạng sinh trưởng của cây lúa theo không gian và thời gian sẽ giúp xác định được thời gian xuống giống, biến động không gian hiện trạng trà lúa và cơ cấu mùa vụ các vùng trồng lúa ở ĐBSCL.

2.3.2 Ứng dụng ảnh viễn thám theo dõi khô hạn

2.3.2.1 Một số nghiên cứu trên thế giới

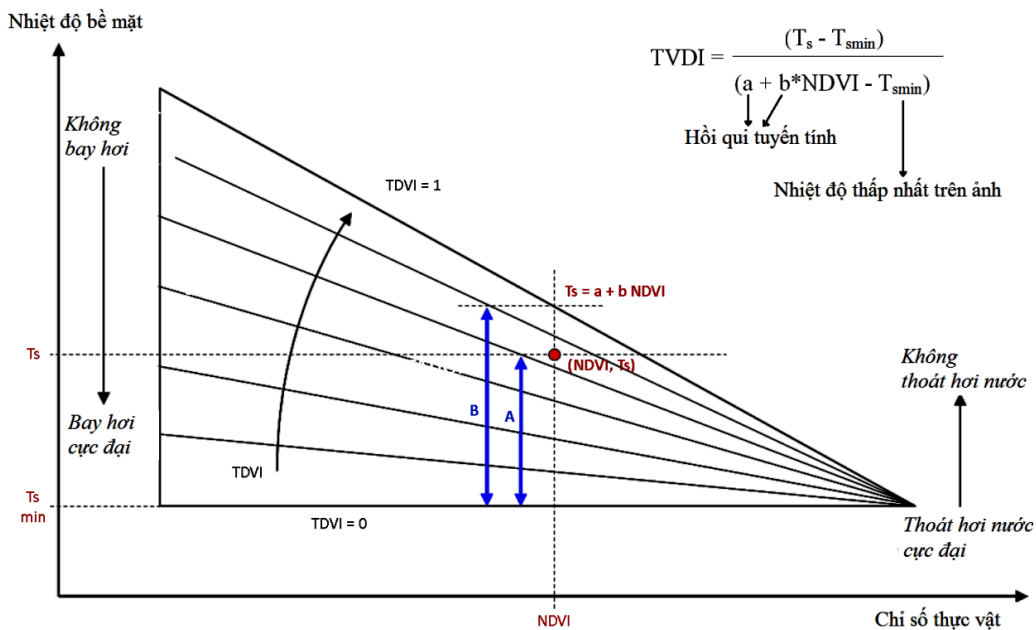
Hạn hán được đánh giá theo 3 đặc trưng nổi bật gồm: cường độ hoặc mức độ hạn; thời kỳ hạn (bắt đầu - kết thúc) và phạm vi không gian ảnh hưởng. Tùy theo mục đích sử dụng và đánh giá, cũng như dựa vào bản chất và hệ quả tác động mà chia ra các loại hạn như hạn khí tượng, hạn nông nghiệp, hạn thủy văn, hạn KTXH, chính trị. Các loại hạn có quan hệ mật thiết với nhau, trong đó hạn nông nghiệp, hạn thủy văn và hạn KTXH xuất hiện ít thường xuyên hơn hạn khí tượng do tác động trong các lĩnh vực có liên quan tới khả năng cung cấp nước mặt và nước ngầm; khi các điều kiện hạn liên quan đến thiếu hụt lượng mưa bắt đầu và được duy trì trong một thời gian nhất định (một vài tháng, mùa, vụ, ...) dẫn đến xuất hiện hạn nông nghiệp, thủy văn và kinh tế xã hội gây ra tác động liên quan tới lĩnh vực nông nghiệp, tài nguyên nước và kinh tế - xã hội (Nguyễn Văn Thắng, 2007).

Việc sử dụng dữ liệu viễn thám trong việc theo dõi mức độ khô hạn bề mặt đã được ứng dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia trên thế giới nhằm đáp ứng với nhu cầu thiết thực là kịp thời có những biện pháp hữu hiệu ứng phó với những tác hại do khô hạn gây ra tại khu vực. Đây sẽ là tiền đề để các nhà khoa học tiến hành nghiên cứu ứng dụng chỉ số khô hạn nhiệt độ/thực vật cho những khu vực khác nhau ở các quốc gia trong thời gian tới.

Nhiệt độ bề mặt trái đất (T_s) (Surface Temperature) có thể tăng lên rất nhanh khi thực vật thiếu nước và lớp phủ thực vật có tác động đáng kể đến việc xác định nhiệt độ bề mặt. Như vậy, T_s và NDVI kết hợp có thể cung cấp thông tin về điều kiện sức khỏe thực vật và độ

ẩm tại bề mặt trái đất (Sandholt *et al*, 2002). Khả năng chiết tách những thông tin về cân bằng năng lượng và nước bề mặt hoặc phân loại lớp phủ thông qua quan hệ giữa nhiệt độ bề mặt (T_s) và chỉ số thực vật chuẩn (NDVI) đã được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm (Gillies *et al*, 1997; Owen *et al*, 1998; Trần Hùng và Yasuoka, 2001)

Sandholt *et al*. (2002) đã đề xuất phương pháp viễn thám trong phân tích vùng có khả năng khô hạn dựa trên chỉ số khô hạn (TVDI) dựa trên mối quan hệ giữa chỉ số nhiệt độ bề mặt (T_s) và chỉ số khác biệt thực vật (NDVI). Trong đó, việc xác định giá trị chỉ số thực vật NDVI từ các bộ cảm biến nhìn thấy và hồng ngoại cùng với nhiệt độ bề mặt đất từ các cảm biến hồng ngoại nhiệt tạo nên một tam giác không gian (Hình 2.19). Tam giác không gian này được gọi là không gian [T_s -NDVI] có liên quan chặt chẽ đến sự bốc thoát hơi bề mặt (Evapotranspiration), độ ẩm mặt đất, độ bay hơi và mật độ bao phủ của thực vật. Do đó sự phân tán của các giá trị phần tử ảnh trong không gian [T_s -NDVI] sẽ cung cấp thông tin về điều kiện thực vật và độ ẩm bề mặt cũng như tình trạng hạn hán xảy ra.



Hình 2.19 Hình minh họa nguyên lý xây dựng bản đồ TVDI dựa trên nguyên tắc ứng dụng tam giác không gian [T_s , NDVI] trong dự báo khô hạn nông nghiệp. Chỉ số TVDI của một pixel ảnh [T_s , NDVI] được xác định như một tỷ lệ giữa đường A = ($T_s - T_{smin}$) và B = ($T_{smax} - T_{smin}$) theo công thức (8) (Sandholt *et al*, 2002).

Với cùng điều kiện khí hậu thì nhiệt độ bề mặt T_s sẽ nhỏ nhất tại những bề mặt có độ bay hơi cực đại do lượng nước bão hòa - tạo nên đường giới hạn ướt (Cold Edge) của tam giác không gian [T_s , NDVI]. Ngược lại, tại các bề mặt có độ bay hơi cực tiểu do bề mặt rất khô (dù có hay không có phủ thực vật) thì nhiệt độ bề mặt T_s sẽ tăng cực đại - tạo nên đường giới hạn khô (Warm Edge) của tam giác không gian [T_s , NDVI]. Cả hai đường giới hạn khô và giới hạn ướt nói trên được xác định bằng phương trình hồi quy tuyến tính sau :

$$\text{Giới hạn khô: } T_{s-max} = a_2 * \text{NDVI} + b_2 \quad (6)$$

$$\text{Giới hạn ướt: } T_{s-min} = a_1 * \text{NDVI} + b_1 \quad (7)$$

Từ đó, chỉ số khô hạn nhiệt độ - thực vật (TVDI) được xác định theo công thức sau:

$$\text{TVDI} = (T_s - T_{smin}) / (a + b * \text{NDVI} - T_{smin}) \quad (8)$$

Trong đó:

- T_s là nhiệt độ bề mặt quan sát tại một pixel cần tính;

- T_{min} là giá trị nhiệt độ bề mặt cực tiểu quan sát được trong tam giác xác định “rìa ướt”;
- Các tham số a, b được xác định bằng hàm hồi quy tuyến tính trên cơ sở các điểm ảnh với các giá trị nhiệt độ cực tiểu, cực đại đối với những khoảng giá trị NDVI cho một diện tích đủ lớn để đại diện cho toàn bộ phạm vi tình trạng độ ẩm bề mặt, từ ướt đến khô, và từ đất trống đến đất được phủ đầy thực vật bề mặt.

Giá trị TVDI dao động trong khoảng từ 0 đến 1, TVDI=1, tương ứng với “rìa khô”, TVDI=0 tương ứng với “rìa ướt”. Chỉ số TVDI càng lớn cho thấy khả năng xảy ra khô hạn càng cao. Dựa vào nguyên tắc trên, Han *et al* (2010) đã mô tả 5 cấp độ ẩm của đất theo chỉ số TVDI như sau:

- TVDI= 0,0 – 0,2: rất ẩm ướt
- TVDI= 0,2 – 0,4: ướt
- TVDI= 0,4 – 0,6: bình thường
- TVDI= 0,6 – 0,8: khô
- TVDI= 0,8 – 1,0: rất khô

Dựa trên nguyên lý được đề xuất bởi Sandholt *et al.* (2002), Z. Wan *et al.* (2004) đã tính toán chỉ số nhiệt độ bề mặt từ ảnh vệ tinh MODIS/TERRA kết hợp với dữ liệu lượng mưa đo tại bề mặt đất từ các tiểu bang Texas và Oklahoma khu vực phía nam Great Plains (Mỹ), để xây dựng phương pháp tiếp cận theo dõi khô hạn. Kết quả phân tích mối tương quan tuyến tính giữa chỉ số khô hạn nhiệt độ/thực vật từ ảnh vệ tinh MODIS/TERRA với tổng lượng mưa hàng tháng và lượng mưa trung bình tháng cho thấy chỉ số khô hạn không chỉ liên quan chặt chẽ đến lượng mưa hiện tại mà còn liên quan đến lượng mưa trước đó. Ngoài ra, tác giả còn chỉ ra rằng, chỉ số khô hạn phụ thuộc vào thời điểm theo dõi khô hạn và khu vực nghiên cứu cụ thể, nó hiệu quả hơn đối với những khu vực cây trồng theo mùa vụ. Vấn đề cần quan tâm trong việc tiếp cận phương pháp này là làm thế nào để xác định “giới hạn khô” và “giới hạn ướt” một cách đại diện cho khu vực nghiên cứu.

Bikash Ranjan Parida và Bakimchandra Oinam (2008) cũng đã sử dụng nguyên lý tam giác không gian TVDI (T_s , NDVI) từ các sản phẩm ảnh viễn thám MODIS/TERRA cho việc xác định các điều kiện và tình hình khô hạn ở hai khu vực phía Tây Visayas (Philippines) và khu vực Gujarat and Assam State (Ấn Độ). Kết quả cho thấy, có 14 huyện trong bang Assam có lượng mưa ít hơn 30% lượng mưa trong năm 2006 làm những cánh đồng lúa bị thiếu nước nghiêm trọng và hầu hết các hệ thống thủy lợi không thể hoạt động. Các kết quả tính toán TVDI đã giúp xác định chính xác những vị trí địa lý bị khô hạn, chủ yếu là những nơi thảm thực vật bị ảnh hưởng.

Qua kết quả nghiên cứu với năng suất cây trồng bị ảnh hưởng của khô hạn trên thực tế cho thấy rằng vệ tinh MODIS có thể phát hiện và theo dõi khô hạn chính xác. Chỉ số TVDI có thể là cách tiếp cận tốt để theo dõi khả năng xảy ra khô hạn, xây dựng các bản đồ khô hạn cho cấp độ khu vực và giúp nghiên cứu các mô hình không gian khô hạn xảy ra ở một vùng cụ thể. Nghiên cứu này đã cho thấy rằng TVDI nhạy cảm hơn đối với các giai đoạn mới nảy mầm của cây trồng. Điều này là do trên thực tế nhiệt độ bề mặt đất nhạy cảm đối với vùng khô hơn là vùng có độ ẩm cao trong đất. Các sản lượng cây trồng ở cả hai nước Philippines và Ấn Độ đã được sử dụng để kiểm chứng các kết quả thu được từ phương pháp xử lý ảnh vệ tinh. Qua đó, nghiên cứu khẳng định rằng TVDI là hữu ích cho lập bản đồ chính xác, kịp thời cho việc theo dõi khô hạn trong tiểu bang. Giúp nắm bắt những biến đổi tình hình khô hạn tại một khu vực một cách cụ thể và kịp thời cung

cấp thông tin cả về không gian và thời gian không hạn, giúp các nhà quản lý có biện pháp can thiệp tốt hơn cho sự tăng trưởng cây trồng trong tương lai.

N. R. Patel *et al.* (2009), đã kết hợp các thông tin thu được trong vùng ánh sáng nhìn thấy và ánh sáng hồng ngoại từ vệ tinh MODIS/TERRA (8 ngày) xác định chỉ số không hạn thực vật/nhiệt độ (TVDI) nhằm đánh giá trạng thái ẩm độ trong đất tại khu vực miền Tây Uttar Pradesh (Ấn Độ). Chỉ số TVDI được tính toán từ hai tham số NDVI và LST, sau đó tiến hành xem xét mối tương quan và phân tích hồi quy tuyến tính với dữ liệu ẩm độ trong đất được xác định bằng công cụ chuyên sâu trên thực địa tại một vị trí nhất định trong khoảng thời gian cao điểm (tháng Tư và đầu Tháng 10 giai đoạn tăng trưởng của cây mía). Kết quả cho thấy chỉ số không hạn TVDI và độ ẩm mặt đất tại chỗ có sự tương quan nghịch, đặc biệt là trong giai đoạn thực vật che phủ thưa thớt (NDVI thấp). Các tác giả kết luận, TVDI là chỉ số duy nhất được thu nhận từ các vệ tinh viễn thám có khả năng cung cấp thông tin độ phân giải cao về tình trạng độ ẩm đất.

Ở Trung Quốc, Jiyan Li *et al.* (2009), đã tận dụng lợi thế từ khả năng ứng dụng của công nghệ viễn thám trong dự báo không hạn, tiến hành nghiên cứu cách thức thiết lập hệ thống giám sát không hạn dựa trên nguyên lý xác định chỉ số không hạn TVDI từ vệ tinh MODIS kết hợp với các thông tin khí tượng thủy văn từ đo đạc thực tế trên mặt đất (độ ẩm, lượng mưa), qua nhiều giai đoạn và nhiều vùng miền khác nhau. Đầu tiên, các tác giả tìm ra một số yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ ẩm đất, cũng như mối quan hệ giữa các yếu tố này dựa trên cơ chế và quá trình xảy ra không hạn. Việc thành lập mô hình thực nghiệm đánh giá không hạn được tiến hành bằng cách sử dụng phương pháp thống kê dựa trên các yếu tố đánh giá không hạn. Để đánh giá mức độ khả thi của các mô hình, đề xuất mô hình dự báo không hạn phù hợp, khu vực thí điểm mô hình không hạn ở quy mô thời gian mười ngày được thành lập tại hai tỉnh Hồ Bắc và Hà Bắc của Trung Quốc. Kết quả chỉ ra rằng việc ứng dụng công nghệ viễn thám theo dõi không hạn hoàn toàn khả thi để thiết lập mô hình giám sát không hạn với khả năng dự báo linh hoạt, chính xác và thích hợp đối với các khu vực không hạn.

2.3.2.2 Một số nghiên cứu trong nước

Ở Việt Nam trước đây việc đánh giá phân vùng hạn hán chủ yếu dựa trên các số liệu quan trắc ở các trạm khí tượng thủy văn. Nhiều trạm khí tượng thủy văn lại cách xa nhau, theo thống kê của Nguyễn Ngọc Thạch (2010), cả nước chỉ có khoảng 200 trạm khí tượng thủy văn (KTTV), bình quân mỗi trạm đại diện cho khoảng 1.650km² lãnh thổ. Vì vậy, việc chỉ sử dụng số liệu từ các trạm KTTV trong việc đánh giá và phân bố hạn hán theo không gian và thời gian sẽ không kịp thời và chính xác.

Việc nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ viễn thám liên quan đến biến đổi khí hậu đặc biệt là trong vấn đề cảnh báo không hạn ở Việt Nam nói chung và ĐBSCL nói riêng hiện chưa được quan tâm nhiều. Trong khi đó, tác hại và mức độ nghiêm trọng của không hạn đang ngày càng ảnh hưởng đến nhiều mặt của đời sống xã hội và sản xuất nông-lâm-ngư nghiệp do các tình trạng thiếu nước trong sản xuất, xâm nhập mặn, cháy rừng, nhiệt độ tăng cao trong nhiều năm trở lại đây. Một số kết quả nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám còn mang tính riêng lẻ, chủ yếu ứng phó với hậu quả không hạn gây ra, được thể hiện qua một số hoạt động cũng như kết quả nghiên cứu sau:

Trong nghiên cứu khả năng ứng dụng của ảnh viễn thám trong cảnh báo nguy cơ cháy rừng của Nguyễn Hồng Quảng (2008), Cục kiểm lâm (Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn) đã lắp đặt và vận hành trạm thu ảnh viễn thám MODIS tại Hà Nội với mục đích chính là phát hiện sớm các điểm cháy rừng (Hot Spots) trên toàn lãnh thổ Việt Nam.

Hệ thống trạm thu của TeraScan đã tự động thu nhận, xử lý và sao lưu dữ liệu ảnh MODIS hàng ngày từ 2 vệ tinh TERRA và AQUA. Với kết quả hoạt động hiệu quả, trạm thu ảnh vệ tinh của Cục Kiểm Lâm đã chứng minh được khả năng ứng dụng công nghệ viễn thám trong quản lý tài nguyên môi trường, đặc biệt là trong hoạt động tác nghiệp quản lý lửa làm tăng xác suất phát hiện sớm điểm cháy rừng từ dữ liệu MODIS.

Trần Thị Vân và *ctv.* (2009), đã ứng dụng phương pháp viễn thám nhiệt đưa ra hướng tiếp cận nhằm xác định các yếu tố khí tượng liên quan đến quá trình nhiệt trong nghiên cứu biến đổi khí hậu. Đề tài nghiên cứu phương pháp xác định nhiệt độ bề mặt cho khu vực TP.HCM, có tính đến việc hiệu chỉnh kết quả tính toán thông qua việc xác định độ phát xạ bề mặt từ phương pháp NDVI, được thử nghiệm thực hiện trên 2 dòng ảnh vệ tinh Landsat và Aster có các kênh hồng ngoại nhiệt với độ phân giải không gian trung bình. Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp ước tính nhiệt độ bề mặt phản ánh một số vấn đề sau:

- Số đo nhiệt độ bề mặt thực tế của từng điểm quan trắc có sự khác biệt so với số đo tính từ phương pháp viễn thám. Điều này được lý giải bởi độ phân giải của ảnh vệ tinh, cụ thể các bộ cảm biến viễn thám cảm nhận vật thể trong mỗi phần tử ảnh (pixel). Nếu vật thể nào có kích thước bằng hoặc lớn hơn một pixel thì giá trị đo đạc từ viễn thám có thể so sánh với giá trị đo đạc thực địa khi không kể đến các yếu tố của điều kiện môi trường và khí quyển. Thường thì bên trong một pixel sẽ là hỗn hợp của vài đối tượng, do đó kết quả đo được là của hỗn hợp các đối tượng này.
- Tuy nhiên, trong thực tế ta khó có thể đo đạc nhiệt độ cho từng đối tượng trên một khu vực nghiên cứu, vì sẽ cần sử dụng nhiều công lao động, chi phí thực địa lại rất cao và nhu cầu thiết bị đo nhiều. Hơn nữa phương pháp đo đạc truyền thống từ các trạm quan trắc khí tượng cũng không thể thực hiện được bằng cách tăng dày mật độ trạm do chi phí thiết lập rất tốn kém. Vì vậy, viễn thám sẽ là giải pháp tối ưu.

Son *et al.* (2012) cũng đã công bố một kết quả nghiên cứu về khả năng ứng dụng của chỉ số TVDI để theo dõi hạn hán nông nghiệp ở hạ lưu sông Mê Kông vào mùa khô từ tháng 11 năm 2001 đến tháng tư năm 2010. Chỉ số khô hạn thực vật (TVDI), được tính từ mối quan hệ giữa MODIS NDVI và dữ liệu LST. Nghiên cứu này đã sử dụng dữ liệu độ ẩm đất cung cấp từ bộ cảm vi sóng AMSRM-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System) và dữ liệu lượng mưa hàng tháng từ các trạm đo mưa tại địa phương để kiểm chứng. Ngoài ra, hiệu quả của TVDI được so sánh với một chỉ số hạn hán thường được sử dụng, đó là chỉ số áp lực về nước cây trồng CWSI (Crop Water Stress Index). Các kết quả đạt được từ việc so sánh giữa TVDI và dữ liệu độ ẩm đất AMSRM-E đã chỉ ra mối tương quan chấp nhận được giữa hai bộ dữ liệu. Đồng thời có sự tương quan chặt chẽ giữa chỉ số khô hạn TVDI với số liệu mưa TRMM đã chỉ ra rằng TVDI là nhạy cảm với lượng mưa. Kết quả cũng cho thấy chỉ số TVDI tương quan chặt so với chỉ số CWSI. Tuy nhiên, chỉ số TVDI nhạy cảm với độ ẩm đất AMSRM-E hơn CWSI. Các kết quả phân tích cũng đã chỉ ra rằng hạn hán vừa và nặng được phân bố theo không gian rải rác trên toàn khu vực từ tháng mười một đến tháng ba, nhưng mở rộng hơn về phía đông bắc Thái Lan và Campuchia. Hạn hán nghiêm trọng đã được tìm thấy vào mùa khô năm 2003 và 2006 so với các năm khác phù hợp với những quan sát báo cáo của Ủy ban sông Mê Kông rằng khu vực này đã trải qua đợt hạn hán từ năm 2003 cho đến tháng sáu năm 2006. Các kết quả đạt được từ nghiên cứu này rất có ích phục vụ các cảnh báo cho các vùng canh tác nông nghiệp có nguy cơ hạn hán, quản lý nước tưới và lập kế hoạch sản xuất vụ mùa.

Tiếp theo, Huỳnh Thị Thu Hương và cộng sự (2012), ứng dụng dòng ảnh vệ tinh MOD11A2 (độ phân giải 1km, chu kỳ lặp 8 ngày) từ năm 2000 đến năm 2010 cho tính toán và đánh giá nhiệt độ bề mặt và chỉ số khô hạn. Kết quả đề tài đã xây dựng hoàn chỉnh qui trình tính toán nhiệt độ bề mặt và chỉ số khô hạn thực vật TVDI cho ĐBSCL từ ảnh MODIS. Kết quả số liệu tính toán được từ qui trình này bước đầu cho thấy có độ tin cậy cao thể hiện ở mối tương quan cao với các dữ liệu đo đạc thực địa. Ngoài ra, những vùng có chỉ số khô hạn TVDI cao trên bản đồ cũng phù hợp với kết quả khảo sát thực tế tại cùng thời điểm. Điều này cho thấy khả năng ứng dụng ảnh viễn thám nhiệt của vệ tinh MODIS với độ phân giải thấp (1km) và độ phân giải thời gian cao (8 ngày) để theo dõi và dự báo khô hạn cho toàn vùng ĐBSCL là phù hợp.

Nghiên cứu của Nguyễn Hồng Quyên và cộng sự (2013) về sử dụng ảnh viễn thám nhiệt của MODIS trong việc dự báo khô hạn khu vực ĐBSCL đã sử dụng chỉ số khô hạn nhiệt độ - thực vật (TVDI) được tính toán từ chuỗi ảnh MODIS - MOD09Q1 250m, tổ hợp 8 ngày và MOD11A2 1000m, 8 ngày lặp thời gian từ tháng 11/2010 đến tháng 8/2011. Kết quả tính toán cho thấy khô hạn xuất hiện cục bộ ít hơn 25 ngày phân bố chủ yếu vùng có địa hình cao tỉnh An Giang và vùng ven biển các tỉnh Tiền Giang, Sóc Trăng, Bạc Liêu. Đồng thời, kết quả giải đoán từ TVDI bước đầu cho thấy có độ tin cậy cao khi được so sánh với các chỉ số thiếu nước WDI và chỉ số chuẩn hóa lượng mưa SPI. Nghiên cứu cũng đã xác định được các khu vực canh tác lúa bị khô hạn ảnh hưởng đến nông nghiệp ở Đồng bằng Sông Cửu Long năm 2011. Kết quả cho thấy khả năng ứng dụng ảnh viễn thám nhiệt của MODIS để theo dõi và dự báo khô hạn cho vùng ĐBSCL là phù hợp. Đây là nghiên cứu đóng góp một hướng tiếp cận cho các nhà nghiên cứu giải quyết vấn đề xác định các khu vực khô hạn ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp để có thể lựa chọn kiểu sử dụng và lịch thời vụ phù hợp.

Trong bối cảnh của khu vực nghiên cứu là ĐBSCL, bước đầu đã có một vài nghiên cứu theo dõi độ ẩm đất bề mặt bằng cách sử dụng dữ liệu vệ tinh MODIS. Các kết quả nghiên cứu nói trên cho thấy việc sử dụng ảnh viễn thám nhiệt của MODIS LST chụp vào mùa mưa là không thể được do ảnh hưởng của các đám mây do đó cần được hỗ trợ thêm bằng ảnh viễn thám chủ động hay các dữ liệu đo đạc từ thực địa để khắc phục ảnh hưởng của mây. Việc kết hợp sử dụng số liệu lượng mưa trung bình đo đạc cùng với ảnh viễn thám nhiệt để dự báo khô hạn cũng là một trong những hướng nghiên cứu mới. Ngoài ra, cần có thêm những nghiên cứu về chỉ số khô hạn TVDI áp dụng trên nhiều loại ảnh viễn thám nhiệt của các vệ tinh khác nhau nhằm xác định có hay không sự khác biệt giá trị của chỉ số khô hạn TVDI trên các loại ảnh viễn thám nhiệt này. Mặc dù, còn vài hạn chế nhưng những kết quả nghiên cứu trên bước đầu cho thấy tiềm năng cao trong ứng dụng và phát triển khả năng sử dụng tư liệu viễn thám từ vệ tinh MODIS trong việc đánh giá và dự báo tình hình biến đổi khí hậu đặc biệt là nguy cơ khô hạn hiện nay. Do đó, việc có những nghiên cứu sâu hơn về độ ẩm bề mặt đất bằng ứng dụng phương pháp TVDI dựa trên các dữ liệu ảnh viễn thám quang học là hết sức cần thiết.

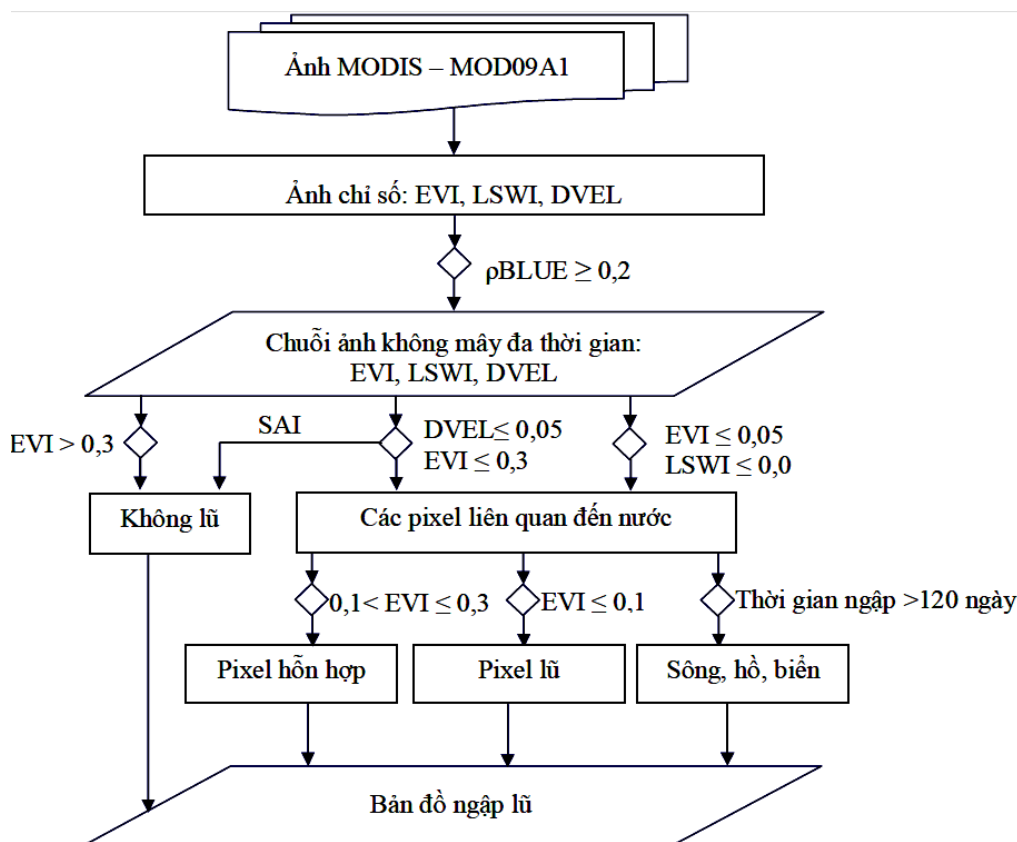
2.3.3 Ứng dụng ảnh viễn thám theo dõi lũ lụt

2.3.3.1 Một số nghiên cứu trên thế giới

Việc ứng dụng tư liệu viễn thám để theo dõi và phát hiện lũ lụt cũng đã được các nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm. Trong các nghiên cứu trước đây hầu hết đều sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám chủ động để theo dõi, giám sát lũ nhằm giải quyết hạn chế từ những đám mây. Cụ thể trong năm 2003, Tanaka *et al.* đã sử dụng cảm biến sóng cực ngắn (dữ liệu ảnh SSM/I) cho giám sát lũ lụt vùng Tonle Sap và lưu vực sông Mekong.

Dữ liệu chuỗi ảnh đa thời gian SSM/I đã phát hiện các giai đoạn chuyển đổi trong chu kỳ lũ lụt hạn hán từ 1997- 1999. Cùng thời điểm nói trên, Fujii *et al.* (2003) sử dụng dữ liệu RADARSAT để phát hiện diễn tiến của lũ lụt ở cánh đồng ngập lụt Campuchia thuộc vùng sông Mekong. Haruyama và Shida (2008) đã hình dung được lũ lụt của đồng bằng sông Cửu Long trong năm 1997 và 1998, và chuẩn bị một bản đồ phân loại đất địa mạo từ dữ liệu JERS-1 SAR7.

Trước đó, Sakamoto *et al.* (2007) đã tìm ra một cách tiếp cận mới để đánh giá tầm quan trọng về mặt không gian và thời gian của lũ lụt Mekong hàng năm. Phương pháp này được đặt tên là *the wavelet-based filter for detecting spatiotemporal changes in flood inundation* (WFFI). Thuật toán WFFI phân loại bề mặt nước thành hai loại, hỗn hợp và lũ lụt dựa trên sự xác định các chỉ số EVI, LSWI và DVEL. Điểm ảnh được phân loại như lũ lụt khi thỏa một trong hai điều kiện: Smoothed DVEL $\leq 0,05$ và smoothed EVI $\leq 0,1$ hoặc Smoothed LSWI ≤ 0 và smoothed EVI $\leq 0,05$ (Hình 2.20).



Hình 2.20 Thuật toán xử lý ảnh viễn thám thành lập bản đồ ngập lũ theo Sakamoto *et al.* (2007).

Bản đồ kết quả được xây dựng từ nghiên cứu nói trên đã giúp xác định khá chính xác ngày bắt đầu, ngày kết thúc, và thời gian lũ lụt hàng năm của khu vực nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu ở ĐBSCL cho thấy rằng diện tích lũ lụt trong năm 2000 là lớn nhất trong các năm 2000 – 2004. Ngược lại, diện tích bị ngập lũ năm 2003 là nhỏ nhất trong cùng giai đoạn khảo sát. Thời gian bắt đầu ngập lụt cũng khác nhau qua các năm, năm 2000 ngập lụt đến sớm nhất và tiếp theo đó là năm 2002, 2001, 2004 và thời gian ngập trễ nhất vào năm 2003. Đồng thời kết quả này cũng được kiểm chứng với kết quả giải đoán từ ảnh LANDSAT, RADARSAT cho thấy hệ số xác định R^2 dao động tương ứng từ 0,77 – 0,97 và 0,89 – 0,92 (Sakamoto *et al.*, 2007).

Một nghiên cứu gần đây của Ogilvie *et al.* (2015) đã ứng dụng hiệu quả bộ chuỗi dữ liệu ảnh vệ tinh quang học MODIS phục vụ giám sát động lực lũ vùng đồng bằng Niger trong suốt giai đoạn 2000 đến 2011. Nghiên cứu này đã phát triển một phương pháp khai thác bán tự động dữ liệu đa phổ MODIS tổ hợp 8 ngày, độ phân giải 500m theo dõi lũ lụt hàng năm ở vùng đất ngập nước lớn như đồng bằng Niger (diện tích 4.000.000ha). Kết quả nghiên cứu này đã cho thấy với một lượng lớn ảnh MODIS đa thời gian có thể được khai thác để theo dõi động thái lũ một cách chính xác và đầy đủ trong điều kiện không bị ảnh hưởng của các đám mây. Kết quả cũng giúp xác định một cách chính xác các thời điểm của đỉnh lũ và có sự tương quan tốt giữa diện tích ngập với mực nước dòng chảy thực tế. Thông tin cung cấp từ dữ liệu này đã được áp dụng để giải thích về những biến đổi không gian của lũ (thời điểm ngập, thời gian ngập, và phạm vi ngập) và có thể giúp tối ưu hóa quản lý nước nông nghiệp.

Claudia Kuenzer *et al.* (2015) cũng đã khai thác dữ liệu MODIS 250m đa thời gian để đồng thời theo dõi tình trạng ngập ở 5 vùng đồng bằng cửa sông khác nhau như đồng bằng sông Cửu Hoàng (Trung Quốc), đồng bằng sông Cửu Long (Việt Nam), đồng bằng sông Irrawaddy (Myanmar), đồng bằng sông Hằng-Brahmaputra (Bangladesh, Ấn Độ) và đồng bằng sông Mackenzie (khu vực tây bắc Canada) trong khoảng thời gian một năm (năm 2013) nhằm thảo luận về những ưu điểm và hạn chế của phương pháp tiếp cận của viễn thám quang học đối với các kiểu ngập nước. Kết quả nghiên cứu đã nhận định dữ liệu SAR với độ phân giải không gian cao sẽ luôn có ưu thế trong các nghiên cứu về lũ lụt ở độ chính xác cao, trong khi dữ liệu cảm biến quang học MODIS với độ phân giải thấp nhưng độ phân giải thời gian cao gần với thời gian thực lại phù hợp hơn trong những nghiên cứu về diễn biến ngập hàng năm với qui mô nghiên cứu cấp khu vực rộng lớn. Tuy nhiên, những thách thức sẽ có đó là một lượng lớn dữ liệu cần xử lý cũng như bộ dữ liệu kiểm chứng trực tiếp hay gián tiếp tương ứng.

2.3.3.2. Một số nghiên cứu trong nước

Đối với khu vực ĐBSCL bước đầu đã có một vài nghiên cứu sử dụng dữ liệu của vệ tinh viễn thám chủ động để giám sát lũ và những sự thay đổi môi trường. Ưu điểm của việc sử dụng các dữ liệu ảnh chủ động ở bước sóng cực ngắn (sóng radar) trong theo dõi lũ lụt ở ĐBSCL là tránh được ảnh hưởng của mây trong mùa mưa. Tuy nhiên những ảnh của vệ tinh này thường có chu kỳ lặp khá dài từ 16 đến trên 30 ngày nên không đáp ứng được nhu cầu dự báo lũ cho khu vực.

Phan Thanh Nhân và Võ Quang Minh (2011) đã nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh đa thời gian MODIS – MOD09A1 để theo dõi diễn tiến lũ ở khu vực sông MeKong trong năm 2009 và 2010 với độ tin cậy cao 80%. Kết quả đã thành lập được loạt bản đồ ngập trong giai đoạn mùa lũ thuộc khu vực nghiên cứu, làm cơ sở cho xây dựng phương pháp dự báo lũ áp dụng cho khu vực ĐBSCL. Với độ chính xác cao (khoảng 91%), phương pháp dự báo diễn biến lũ theo định kỳ 8 ngày đã mở ra hướng nghiên cứu mới về môi trường và thiên tai với nguồn ảnh phong phú và chi phí thấp. Trong thực tế, tuy dữ liệu ảnh MODIS có thể không phải là công cụ tốt nhất cho giám sát lũ lụt gần với thời gian thực vì chịu ảnh hưởng của các đám mây trong khu vực. Tuy nhiên, vì độ phủ thời gian cao nên ảnh ghép lại của các tấm ảnh nhiều ngày vẫn có thể được sử dụng lập bản đồ giám sát diễn tiến lũ lụt cấp vùng với độ tin cậy ở mức được chấp nhận (>80%).

Năm 2013, Ngô Thanh Thảo và Võ Quang Minh đã tiếp tục ứng dụng dữ liệu MODIS – MOD09A1 để theo dõi diễn biến lũ qua các năm ở khu vực hạ lưu sông Mekong giai đoạn 2000-2011. Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh vệ tinh MODIS (MOD09A1, độ phân

giải 500m, 8 ngày lập) ở khu vực hạ lưu sông Mekong chụp từ ngày 26/02/2000 đến ngày 27/12/2011 được sử dụng để theo dõi diễn biến lũ. Kết quả cho thấy, dữ liệu chuỗi ảnh đa thời gian MODIS–MOD09A1 có khả năng phát hiện những thay đổi lũ lụt cao ở cấp khu vực, có sự tương quan khá cao với số liệu mực nước thủy văn ghi nhận tại các trạm quan trắc (R^2 đạt từ 0,79 đến 0,90). Bản đồ hiện trạng ngập vào mùa lũ của khu vực nghiên cứu được thành lập đã giúp đánh giá được mức độ ngập lũ và đặc điểm thời gian lũ lụt giai đoạn 2000 đến 2011. Kết quả cho thấy diện tích ngập có xu hướng gia tăng theo hướng Đông Bắc và các tỉnh hạ nguồn ĐBSCL cũng có mực nước trên sông chính gia tăng theo thời gian. Qua đó, cho thấy khả năng ứng dụng cao của ảnh vệ tinh MODIS đa thời gian trong theo dõi sự biến động của đối tượng quan sát.

Tóm lại, dữ liệu viễn thám chủ động SAR cho kết quả có độ chính xác cao trong giám sát các vùng ngập nhờ có độ phân giải không gian cao và không chịu ảnh hưởng của các đám mây. Tuy nhiên, dữ liệu cảm biến quang học như trường hợp của dữ liệu vệ tinh MODIS với độ phân giải thấp nhưng độ phân giải thời gian cao và độ chụp phủ rộng sẽ phù hợp hơn trong những trường hợp khu vực nghiên cứu có diện tích rộng lớn. Trong thời gian tới phương pháp tiếp cận của viễn thám quang học này sẽ càng phù hợp hơn khi các bộ cảm biến Landsat và Sentinel-2 ngày càng được cải thiện về độ phân giải thời gian cũng như độ phân giải không gian. Đồng bằng châu thổ ven sông là một trong những hệ sinh thái có mật độ cư dân cao, năng động và dễ bị đe dọa nhất trên trái đất cho nên việc phân tích đa thời gian từ các bộ dữ liệu cảm biến từ xa nhằm có được sự thông tin tổng thể về các khu vực này là thật sự cấp thiết.

2.4 NHỮNG THÉ MẠNH TRONG SỬ DỤNG TƯ LIỆU ẢNH VIỄN THÁM MODIS

Theo John J. Qu và Menas Kafatos (2005), MODIS là bộ cảm đặt trên vệ tinh TERRA được phóng vào quỹ đạo tháng 12 năm 1999 và vệ tinh AQUA được phóng vào quỹ đạo tháng 5 năm 2002. Đây là hai vệ tinh nghiên cứu môi trường của NASA (Hoa Kỳ), mang đầu đo quang học là MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), với mục đích quan trắc, theo dõi các thông tin về mặt đất, đại dương và khí quyển trên phạm vi toàn cầu.

Vệ tinh TERRA mang đầu đo MODIS ban ngày đi từ Bắc xuống Nam, qua xích đạo khoảng 10h30' giờ địa phương, thời gian bay hết một vòng quanh trái đất xấp xỉ 1h40'. Về ban đêm, chiều bay của vệ tinh AQUA ngược lại. Do đó ở Việt Nam sẽ thu được ảnh MODIS hai lần trong một ngày vào lúc 10h30 sáng và 10h30 tối. Với đặc tính chụp phủ vùng rộng lớn (2.330 km), độ phân giải thời gian cao (1-2 ngày), cộng thêm nhiều kênh thiết kế chuyên để hiệu chỉnh ảnh hưởng khí quyển đã làm tăng khả năng sử dụng ảnh MODIS trong nghiên cứu những vùng nhiệt đới nhiều mây.

Các thông số kỹ thuật của dữ liệu ảnh MODIS được mô tả trong Bảng 2.3. Độ rộng của cảnh chụp MODIS là 2.330 km, gồm 36 băng phổ từ bước sóng 0,4 đến 14 micromet trong các dải phổ nhìn thấy, hồng ngoại gần và sóng ngắn và kênh nhiệt. Với độ phân giải không gian là 250m (băng 1 và 2), 500m (băng 3 đến băng 7) và 1.000m (băng 8 đến băng 36), được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực và tùy vào mục đích nghiên cứu có thể sử dụng các kênh phổ khác nhau. Các dữ liệu MODIS thường được sử dụng trong công tác theo dõi mây, nghiên cứu chất lượng khí quyển, chỉ số thực vật, nhiệt độ bề mặt lục địa, nhiệt độ mặt nước biển, ngập lụt, cháy rừng.

Bảng 2.3 Các thông số kỹ thuật của vệ tinh MODIS

| | |
|--------------------------------|--|
| Số băng phổ | 36 băng phổ |
| Độ cao bay | 705 km |
| Quỹ đạo | Đồng bộ mặt trời |
| Tốc độ quét | 20.3 rpm |
| Độ phủ | 2330 km |
| Kích thước | 1.0 x 1.6 x 1.0 m |
| Trọng lượng | 228.7 kg |
| Độ phân giải bức xạ | 12 bits |
| Độ phân giải không gian | 250 m (kênh 1, 2); 500 m (kênh 3-7); 1km (kênh 8-36) |
| Chu kỳ lặp | Ít nhất 1-2 ngày |
| Quy chiếu | ISIN, SIN |
| Dạng dữ liệu | HDF |
| Thời gian tồn tại trên quỹ đạo | 6 năm |

(Nguồn: Tổng hợp từ trang web <http://modis.gsfc.noaa.gov>)

Các dữ liệu MODIS cải thiện đáng kể sự hiểu biết về động thái toàn cầu và các quá trình xảy ra trên đất liền, trong các đại dương, và trong khí quyển. Nó đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của các mô hình hệ thống có thể dự đoán sự thay đổi toàn cầu một cách chính xác, đủ để hỗ trợ các nhà hoạch định chính sách trong việc đưa ra quyết định hợp lý liên quan đến việc bảo vệ môi trường. Hiện đã có 44 sản phẩm dữ liệu MODIS tiêu chuẩn mà các nhà khoa học đang sử dụng để nghiên cứu biến đổi toàn cầu. Những sản phẩm này đang được sử dụng bởi các nhà khoa học từ nhiều ngành khác nhau, bao gồm cả hải dương học, sinh học và khoa học khí quyển (Son, 2011). Trong đó sản phẩm MODIS phản xạ bề mặt (MOD09) và MODIS phát xạ và nhiệt độ bề mặt đất (MOD11A2) được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu về cơ cấu mùa vụ, khô hạn và ngập lũ.

Các sản phẩm MODIS phản xạ bề mặt (MOD09): được tính toán từ các băng phổ MODIS cấp 1B đất 1, 2, 3, 4, 5, 6, và 7 (với các bước sóng trung tâm lần lượt là 648nm, 858nm, 470nm, 555nm, 1.240nm, 1.640nm và 2.130nm). Mỗi sản phẩm dữ liệu MODIS cấp 1B đã được hiệu chỉnh đầy đủ về khí quyển (Vermote và Vermeulen, 1999); hiệu chỉnh bức xạ và định vị địa lý cho tất cả 36 băng (Zhang et al, 2003; Wardlow et al, 2007; NASA, 2011). Độ phân giải không gian của sản phẩm MOD09 là 250m (băng 1 và băng 2) và 500m (băng 1 đến băng 7). Các dữ liệu được lưu trữ ở định dạng dữ liệu phân cấp (.hdf). Bảng 2.4 trình bày các đặc tính của các băng MODIS phản xạ bề mặt đất.

Bảng 2.4 Đặc tính và ứng dụng chính của 7 băng MODIS phản xạ bề mặt đất.

| Băng | Độ dài sóng (nm) | Mô tả | Độ phân giải | Ứng dụng chính |
|------|------------------|----------------------|--------------|--|
| 1 | 620-670 | Băng đỏ | 250m | Biến đổi mật độ che phủ đất, hàm lượng diệp lục tố của thảm thực vật |
| 2 | 841-876 | Băng hồng ngoại gần | 250m | Lượng mây, biến đổi thảm thực vật che phủ đất |
| 3 | 459-479 | Băng xanh dương | 500m | Sự khác biệt của đất / thực vật |
| 4 | 545-565 | Băng xanh lá cây | 500m | Thực vật xanh |
| 5 | 1.230-1.250 | Hồng ngoại sóng ngắn | 500m | Sự khác biệt của lá / tán lá |
| 6 | 1.628-1.652 | Hồng ngoại sóng ngắn | 500m | Sự khác biệt của tuyết / đám mây |
| 7 | 2.105-2.155 | Hồng ngoại sóng ngắn | 500m | Đặc tính mây, đặc tính đất |

(Nguồn: Tổng hợp từ trang web <http://modis.gsfc.noaa.gov>)

Dữ liệu MODIS bức xạ và nhiệt độ bề mặt (MOD11A1): là dữ liệu 8 ngày được xử lý ở cấp độ 3 từ sản phẩm dữ liệu MODIS nhiệt độ bề mặt (LST_ Land Surface Temperature) hàng ngày, độ phân giải 1.000m và được lưu trữ trên lưới hình sin 1.000 m như là giá trị của LST 8 ngày ở điều kiện bầu trời không mây. Sản phẩm MOD11A2 (phiên bản 5) bao gồm các dữ liệu LST ban ngày và ban đêm, đạt chất lượng, thời gian quan sát và góc nhìn ở những ngày và đêm trời quang đãng. Sản phẩm MOD11A2 (phiên bản 5) cũng được hợp lệ hóa ở giai đoạn 2, có nghĩa là độ chính xác đã được đánh giá thông qua một tập hợp các vị trí thực địa phân bố rộng rãi và khoảng thời gian xác thực. Mặc dù có thể có các phiên bản sau được cải thiện hơn, các dữ liệu trên cũng đã sẵn sàng để sử dụng trong các ấn phẩm khoa học (Son, 2011)

Bảng 2.5 Đặc tính và ứng dụng chính của 2 băng MODIS bức xạ và nhiệt độ bề mặt đất.

| Băng | Độ dài sóng (μm) | Mô tả | Độ phân giải | Ứng dụng chính |
|------|-------------------------------|-------|--------------|---|
| 31 | 10,78-11,28 | Nhiệt | 1.000m | Nhiệt độ mây, lửa rừng và núi lửa, nhiệt độ bề mặt |
| 32 | 11,77-12,27 | Nhiệt | 1.000m | Chiều cao mây, lửa rừng và núi lửa, nhiệt độ bề mặt |

(Nguồn: Tổng hợp từ trang web <http://modis.gsfc.noaa.gov>)

Ảnh vệ tinh MODIS ngày nay cũng đã được sử dụng để nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Tuy nhiên, dữ liệu ảnh MODIS với độ phân giải thấp (250m, 500m và 1.000m) nên việc ứng dụng ảnh MODIS trong nghiên cứu môi trường thường ở cấp độ vĩ mô với quy mô cấp vùng, quy mô toàn cầu. Ngoài ra, với tần số thu nhận ảnh cao từ 1 – 2 ngày nên dữ liệu ảnh MODIS thích hợp cho việc dự báo các biến động do con người và thiên nhiên tạo nên.

Ở nước ta, với tần số thu và nhận ảnh, kích thước của ảnh và giá cả hợp lý của dữ liệu ảnh MODIS nên Việt Nam đã ứng dụng nhiều ảnh MODIS trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: cảnh báo cháy rừng, dự báo thời tiết, quan sát diễn biến ngập lụt (Tran Hung & Yasuoka, 2005).

Theo Low *et al.* (2005), việc phát sóng trực tiếp của dữ liệu MODIS từ vệ tinh TERRA và AQUA cung cấp những cơ hội mới cho việc giám sát môi trường với tính hiện thời và độ chính xác cao ở Khu vực Đông Nam Á. Hệ thống giúp thực hiện việc phát hiện những thảm họa môi trường xảy ra tại thời điểm gần nhất, chẳng hạn như điểm cháy, tảo nở hoa, khói, sương mù và lũ lụt. Nhiều nước trong khu vực trải qua lũ lụt theo mùa, đặc biệt là Thái Lan, Lào, Campuchia và Việt Nam trong thời gian gió mùa Tây Nam bắt đầu từ khoảng tháng sáu và kết thúc vào tháng mười.

Để theo dõi lâu dài về môi trường, dữ liệu phát sóng trực tiếp MODIS được xử lý với các sản phẩm đầu ra như nồng độ chất diệp lục, hệ số tán xạ ngược của bề mặt phản xạ. Những sản phẩm này đang được phức hợp trên cơ sở hàng ngày để tạo thành một bản đồ phân phối hàng tháng của các tham số quan tâm. Những thay đổi không gian và thời gian của các bản đồ hàng tháng đang được nghiên cứu để hiểu rõ hơn về môi trường khu vực cũng như bản đồ thay đổi theo mùa. Trên cơ sở này, các bản đồ hàng ngày được so sánh với bản đồ phân phối hàng tháng để tìm ra thay đổi có thể là tiền thân của mối nguy hiểm môi trường sắp xảy ra (Low *et al.*, 2005).

Tóm lại, qua kết quả lược khảo các công trình nghiên cứu trong nước và trên thế giới như trên, tác giả phân tích tóm tắt một số vấn đề chính phục vụ cho luận án như sau:

- Về đối tượng nghiên cứu liên quan đến biến đổi khí hậu ở ĐBSCL

Biến đổi khí hậu liên quan đến thiên tai như lũ lụt, bão, hạn hán và xâm nhập mặn ở ĐBSCL. Mục tiêu của đề tài nghiên cứu hai đối tượng thiên tai chính ngập lũ và khô hạn tác động đến sản xuất lúa ở ĐBSCL. Tuy vấn đề khô hạn gắn liền với xâm nhập mặn ở khu vực nhưng trong khuôn khổ nghiên cứu của luận án, với cách tiếp cận giám sát đối tượng trên nền dữ liệu ảnh viễn thám thì khả năng phát hiện vùng ngập mặn là có thể và đã làm được trong đề tài. Trong khi đó, việc phát hiện vùng bị xâm nhập mặn trên ảnh lại khó khả thi. Nguyên nhân do tác giả vẫn chưa đủ các cơ sở lý luận cũng như bộ dữ liệu phù hợp để tìm ra được các chỉ thị nhằm chỉ ra vùng chịu ảnh hưởng của xâm nhập mặn trên ảnh viễn thám. Tuy nhiên, tác giả cho rằng đây là một nội dung nghiên cứu rất cấp thiết cần được đề xuất cho hướng nghiên cứu tiếp theo của đề tài nhằm tăng hiệu quả ứng dụng thực tế của luận án ở ĐBSCL.

- Về chọn lựa dữ liệu viễn thám trong nghiên cứu:

Trong các nghiên cứu trước đây hầu hết đều sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám chủ động theo dõi, giám sát lũ/mùa vụ cây trồng nhằm giải quyết hạn chế từ những đám mây. Tuy nhiên, các dữ liệu ảnh này có chu kỳ quan sát dài và chi phí cho dữ liệu ảnh cao nên không được ứng dụng rộng rãi. Ngoài ra, các nghiên cứu gần đây cũng cho thấy việc sử dụng ảnh viễn thám quang học cho các ứng dụng tương tự cũng đã có những kết quả đáng tin cậy. Trong thực tế, tuy dữ liệu ảnh MODIS có thể không phải là công cụ tốt nhất cho giám sát đối tượng gần với thời gian thực vì chịu ảnh hưởng của các đám mây trong khu vực. Tuy nhiên, vì độ phủ thời gian cao nên ảnh ghép lại của các tấm ảnh nhiều ngày vẫn có thể được sử dụng giám sát diễn tiến lũ lụt hay mùa vụ cây trồng với qui mô cấp vùng. Do vậy, để phù hợp cho mục tiêu nghiên cứu của đề tài cụ thể trong điều kiện ở ĐBSCL, tác giả kế thừa các nguyên lý cơ bản của các kết quả nghiên cứu nói trên áp dụng cho dữ liệu viễn thám quang học MODIS vì những lý do sau:

- Dữ liệu ảnh vệ tinh MODIS là có sẵn.

- Độ phân giải thời gian ngắn (bao gồm hàng ngày, 8 ngày và 16 ngày) phù hợp cho quan sát đối tượng gần với thời gian thực tuy nó sẽ đòi hỏi bộ dữ liệu khá lớn. Trong nghiên

cứu này, tác giả chọn sử dụng bộ dữ liệu MODIS tổ hợp 8 ngày để theo dõi biến động của các đối tượng quan sát. Tuy dữ liệu tổ hợp 8 ngày có thể bỏ qua một số quan sát liên quan đến lũ lụt/thời gian gieo sạ nhưng đã được xử lý nhằm giảm hiệu quả của các đám mây bằng cách chọn giá trị tối thiểu của băng xanh trong một khoảng thời gian 8-ngày cho mỗi điểm ảnh riêng lẻ.

Một số nhược điểm của việc sử dụng dữ liệu ảnh MODIS cũng sẽ được tác giả lưu ý để khắc phục trong quá trình thực hiện đó là:

- Vấn đề về độ phân giải không gian của ảnh MODIS khi áp dụng cho khu vực ĐBSCL cần có bộ dữ liệu bổ trợ nhằm có thể thành lập bản đồ chính xác hơn như cần ảnh có độ phân giải không gian tốt hơn; tăng số lượng điểm khảo sát trong công tác thực địa; thu thập dữ liệu bổ trợ từ các bản đồ chuyên đề mới nhất ở các địa phương vùng nghiên cứu.
- Một số ít điểm mây bao phủ vẫn còn trong ảnh MODIS 8-ngày sẽ được vô hiệu hóa thông qua việc kỹ thuật xử lý lọc thời gian trên cơ sở chuỗi ảnh đa thời gian.

- Về cơ cấu mùa vụ lúa trong phân loại hệ thống canh tác nông nghiệp

Cơ cấu mùa vụ lúa trong năm ở ĐBSCL hết sức phức tạp, vì vậy cần thống nhất một lịch thời vụ cụ thể cho toàn vùng. Để thuận lợi cho việc đối chiếu với dữ liệu thống kê, về cơ bản tác giả thống nhất sự phân chia thời vụ theo Tổng cục thống kê Việt Nam. Cụ thể, ở ĐBSCL có 03 mùa vụ lúa chính đó là Đông Xuân (ĐX), Hè Thu (HT) và Thu Đông (TĐ) hay vụ Mùa. Về cơ cấu canh tác lúa chủ yếu gồm hệ thống canh tác lúa 3 vụ (ĐX-HT-TĐ); hệ thống canh tác lúa 2 vụ (ĐX-HT hay HT-TĐ); hệ thống canh tác lúa 1 vụ (gồm Lúa-Tôm và Lúa một vụ nước trời). Ngoài ra, tùy theo thời điểm xuống giống cụ thể ở từng địa phương, các vụ lúa còn được chia ra thành chính vụ, vụ sớm hay vụ muộn. Như vậy, tác giả sẽ thống nhất lịch thời vụ cơ bản ở ĐBSCL trong luận án như sau:

- Vụ Hè Thu: từ tháng 4 đến tháng 8 dương lịch
- Vụ Thu Đông từ tháng 8-9 đến tháng 11-12 dương lịch
- Vụ Đông Xuân từ tháng 11-12 đến tháng 3-4 dương lịch
- Vụ Xuân Hè (từ tháng 3 đến tháng 7 dương lịch) sẽ là vụ Hè Thu sớm

Riêng đối với hệ thống canh tác Lúa-Màu, với đặc điểm của hệ thống này là diện tích canh tác nhỏ lẻ đồng thời lịch thời vụ tương đối trùng với các hệ thống canh tác lúa 2 hoặc 3 vụ ở ĐBSCL, có khả năng phát hiện thấp trên dữ liệu ảnh viễn thám MODIS 250m và thường bị bỏ sót trên ảnh giải đoán. Đối với những vùng chuyên canh lớn, hệ thống Lúa-Màu sẽ được phân tách trên bản đồ nhờ vào dữ liệu bổ trợ là các bản đồ hiện trạng mới nhất ở địa phương cộng với công tác thực địa. Ngoài ra, vùng chuyên Màu cũng như các kiểu sử dụng đất khác được bỏ qua trong quá trình phân tích bằng cách xử lý che ảnh (mặt nạ) để tập trung quan sát vào các vùng canh tác lúa.

Một vấn đề khác cần làm rõ đó là đối với ảnh viễn thám quang học, có 2 chỉ số thực vật có giá trị tương quan tốt với các giai đoạn phát triển khác nhau của cánh đồng lúa là chỉ số thực vật NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) và EVI (Enhanced Vegetation Index), trong đó chỉ số EVI có ưu điểm loại bỏ được ảnh hưởng của khí quyển và nhạy hơn với điều kiện thực vật sinh trưởng ở mật độ cao so với chỉ số NDVI. Tuy nhiên, với dữ liệu ảnh MODIS, chỉ số NDVI được tính toán từ hai băng ảnh 1 (băng sóng đỏ) và 2 (băng hồng ngoại) với độ phân giải 250m trong khi chỉ số EVI được tính toán có sự tham gia của băng 3 (băng xanh dương) với độ phân giải 500m. Do vậy, tác

giả hướng đến việc chọn lựa dữ liệu có độ phân giải không gian cao hơn đó là chỉ số NDVI nhằm có thể phân tách đối tượng chi tiết hơn trong điều kiện vùng ĐBSCL.

- Về phương pháp ước lượng độ ẩm của bề mặt đất

Ảnh nhiệt độ lớp phủ bề mặt đất (LST) thông thường là để xác định nền nhiệt của mặt đất. LST là yếu tố rất hữu ích cho các thành phần trong mô hình cân bằng năng lượng và liên quan chặt chẽ với sự bốc thoát hơi Evapotranspiration - (ET). Sự ghi nhận LST bằng cách sử dụng các kênh (band) hồng ngoại nhiệt của các hình ảnh vệ tinh là cách cơ bản, hiệu quả nhất để xác định sự cân bằng năng lượng và bốc thoát hơi (ET) cho một khu vực. Nhiệt độ bề mặt được tính từ lớp *LST_Day/night time 1km* (Uint 16 bit Unsigned INT) của ảnh vệ tinh MODIS LST cũng thu được trong dãy bước sóng này.

Các phương pháp tiếp cận dựa trên sự kết hợp của nhiệt độ bề mặt (LST) và chỉ số thảm thực vật (NDVI) bằng cách sử dụng phương pháp TVDI là khá ưu thế để ước lượng độ ẩm của đất bề mặt trên một diện tích lớn. Do đó, phương pháp chỉ số khô hạn TVDI có thể được áp dụng để ước lượng độ ẩm của đất bề mặt trong khu vực nghiên cứu. Với cách lý giải nguyên lý của không gian LST-NDVI của Sandholt (Sandholt et al., 2002) và Han (Han et al., 2010) cho thấy phương pháp TVDI là khái niệm và tính toán đơn giản. Đây có thể là một phương pháp tốt để cung cấp thông tin về độ ẩm đất mặt phục vụ cho những hoạch định chính sách trong việc đưa ra các quyết định cho cây trồng và quản lý nước.

Thu thập dữ liệu hỗ trợ cho công tác ước lượng độ ẩm bề mặt đất khi áp dụng cho dữ liệu ảnh MODIS LST có thể là dữ liệu đo ẩm lớp đất bề mặt tại cùng địa điểm và thời gian chụp (10g30 tại địa phương) hoặc thu thập dữ liệu nhiệt độ quan trắc trong không khí tại các trạm đo ở các địa phương thuộc vùng nghiên cứu.

Đánh giá độ tin cậy cho kết quả ước lượng độ ẩm bề mặt bằng chỉ số TVDI có thể thực hiện thông qua việc chọn lựa so sánh với các chỉ số dự báo khô hạn khác (như chỉ số chuẩn hóa giáng thủy SPI, chỉ số khô hạn Palmer hay WDI,...) hay công tác thực địa kiểm chứng.

- Về phương pháp tiếp cận trong công tác phân vùng ngập lũ

Theo Trần Như Hối (2011), ở ĐBSCL thường có các kiểu ngập như sau:

- Ngập do lũ: nguồn nước từ thượng nguồn theo sông gây ngập trên diện rộng ở ĐBSCL. Đặc điểm ngập lũ thường ngập sâu (từ 1m ở vùng ngập nông đến 3,5m ở vùng ngập sâu) và ngập kéo dài liên tục (từ 2 tháng ở vùng ngập nông đến hơn 4 tháng ở vùng ngập sâu)
- Ngập do mưa: một dạng ngập cục bộ không liên tục và phân bố rải rác khó xác định về diện tích ngập và độ sâu ngập.
- Ngập do triều: bao gồm các vùng ven biển Đông là vùng trũng thấp xen kẽ các giồng cát cao ven biển hay các vùng đất mới lấn ra biển ở các cửa sông Vàm Cỏ, ven biển Trà Vinh, vùng cửa sông Mỹ Thanh, Gành Hào, vùng mũi Cà Mau, cửa sông Ông Đốc...
- Ngập chủ động do canh tác: bao gồm ao nuôi thủy sản, ruộng lúa nước, rừng ngập mặn, vùng canh tác lúa-tôm nước mặn

Theo cách tiếp cận mới của Sakamoto *et al.* (2007) và Islam *et al.* (2009), để xác định về mặt không gian và thời gian của lũ lụt ở khu vực ĐBSCL theo hướng phân loại các chỉ số EVI, LSWI và DVEL cho 4 nhóm đối tượng gồm vùng không ngập, vùng ngập lũ (không

lấn thực vật), vùng hỗn hợp (ngập lấn thực vật) và vùng ngập nước dài hạn. Tác giả kế thừa có chỉnh sửa cho phù hợp với điều kiện ĐBSCL, trong đó số ngày ngập liên tục để phân biệt giữa ngập lũ và ngập dài hạn (sông, hồ) ở ĐBSCL được chỉnh sửa thành 180 ngày thay vì 120 ngày theo Islam *et al.* (2009). Từ Bảng 2.6 cho thấy kết quả đối chiếu giữa đối tượng và điều kiện phân loại ngập lũ theo Islam (Islam *et al.*, 2009) với đặc điểm các kiểu ngập ở ĐBSCL để có cơ sở phân vùng ngập lũ ở ĐBSCL như sau:

Bảng 2.6 Khả năng phân cấp các đối tượng ngập lũ theo phương pháp của Islam *et al.* (2009) tương ứng với các kiểu ngập ở ĐBSCL

| Stt | Đối tượng ngập được phân loại theo Islam <i>et al.</i> (2009) | Kiểu ngập tương ứng ở ĐBSCL |
|------------|--|---|
| 1 | Không ngập lũ | Không ngập lũ |
| 2 | Ngập lũ | Ngập lũ |
| 3 | Ngập lấn thực vật | Ruộng lúa nước, rừng ngập mặn, vùng ngập do mưa |
| 4 | Sông, hồ... | Sông, hồ, ao nuôi thủy sản, vùng lúa-tôm nước mặn |

Ngoài ra, vùng ngập do triều với vị trí ngập ở các vùng ven biển Đông, nơi mà ngập do lũ ít có khả năng xảy ra, sẽ được tách khỏi bản đồ phân loại.

Chương 3. PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nội dung trong Chương 3 bao gồm:

- Mô tả khu vực nghiên cứu, công tác chuẩn bị và thu thập dữ liệu.
- Trình bày các phương pháp và các thuật toán được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm phân tích chuỗi MODIS NDVI phục vụ để phân loại các hệ thống canh tác lúa; Tính toán mô hình tam giác LST-NDVI để ước lượng độ ẩm của đất bề mặt liên quan đến khô hạn; và tính toán chỉ số nước bề mặt EVI, LSWI và DVEL để phân vùng ngập lũ.

3.1 PHƯƠNG TIỆN NGHIÊN CỨU

3.1.1 Phạm vi khảo sát

- Khu vực khảo sát: thuộc khu vực Đồng Bằng Sông Cửu Long giới hạn từ $8^{\circ}30'$ - 11° vĩ độ Bắc và từ $104^{\circ}30'$ - 107° kinh độ Đông; bao gồm 13 tỉnh thành như Long An, Tiền Giang, Bến Tre, Đồng Tháp, Vĩnh Long, An Giang, Cần Thơ, Hậu Giang, Sóc Trăng, Cà Mau, Bạc Liêu, Kiên Giang và Trà Vinh.
- Thời điểm quan sát: chuỗi thời gian liên tục từ năm 2000 đến năm 2011.
- Đối tượng quan sát: Cơ cấu canh tác, diễn tiến khô hạn và lũ lụt trên vùng đất canh tác lúa 1, 2 và 3 vụ/năm.

3.1.2 Dữ liệu

3.1.2.1 Dữ liệu ảnh viễn thám

Nguồn dữ liệu chính được sử dụng là ảnh viễn thám MODIS được chụp trong khoảng thời gian 12 năm từ năm 2000 đến năm 2011. Tất cả ảnh MODIS được thu thập từ vệ tinh quan trắc Trái Đất của NASA (website: reverb.echo.nasa.gov/reverb/). Ba loại ảnh được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm:

* Dữ liệu ảnh MODIS phản xạ bề mặt MOD09Q1: Ảnh này gồm có 2 kênh phổ là kênh đỏ (RED) và cận hồng ngoại (NIR); độ phân giải không gian 250m; ảnh tổ hợp 8 ngày; tọa độ thuộc hệ kinh/vĩ độ (Latitude/Longitude) (Bảng 3.1).

Bảng 3.1 Các kênh phổ sản phẩm ảnh MOD09Q1 sử dụng trong việc tính toán chỉ số thực vật (NDVI) phục vụ xây dựng bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa và bản đồ phân vùng khô hạn ở ĐBSCL.

| Stt | Kênh phổ | Bước sóng (μm) | Độ phân giải (m) |
|-----|----------|-----------------------------|------------------|
| 1 | RED | 0,620 – 0,670 | 250m |
| 2 | NIR | 0,841 – 0,876 | 250m |

(Nguồn: Tổng hợp từ <http://modis.gsfc.noaa.gov>)

* Dữ liệu ảnh MODIS nhiệt độ lớp phủ bề mặt MOD11A2: với chu kỳ quan sát 8 ngày/lần và độ phân giải không gian 1 km phục vụ tính toán nhiệt độ lớp phủ bề mặt đất và chỉ số khô hạn vùng đồng bằng sông Cửu Long (Bảng 3.2).

Bảng 3.2 Các kênh phổ của sản phẩm MOD11A2 được sử dụng trong việc tính toán nhiệt độ lớp phủ bề mặt (LST).

| Kênh MODIS (μm) | Bước sóng (μm) | Độ phân giải (km) |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 31 | 10,780 – 11,280 | 1km |
| 32 | 11,770 – 12,270 | 1km |

(Nguồn: Tổng hợp từ <http://modis.gsfc.noaa.gov>)

* Dữ liệu ảnh MODIS phản xạ bề mặt MOD09A1: ảnh tổ hợp 8 ngày, độ phân giải không gian 500m để theo dõi diễn biến lũ (Bảng 3.3).

Bảng 3.3 Các kênh phổ của sản phẩm MOD09A1 được sử dụng trong xây dựng bản đồ ngập lũ.

| Kênh MODIS (μm) | Bước sóng (μm) | Độ phân giải (m) |
|------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 (Red) | 0,620 – 0,670 | 250m |
| 2 (NIR) | 0,841 – 0,876 | 250m |
| 3 (Blue) | 0,459 – 0,479 | 500m |
| 4 (Green) | 0,545 – 0,565 | 500m |
| 5 | 1,230 – 1,250 | 500m |
| 6 (SWIR) | 1,628 – 1,652 | 500m |
| 7 | 2,105 – 2,155 | 500m |

(Nguồn: Tổng hợp từ <http://modis.gsfc.noaa.gov>)

Các ảnh thu thập được chụp từ tháng 01/01/2000 đến tháng 31/12/2011 từ cơ quan hàng không vũ trụ Hoa Kỳ (NASA). Khu vực ĐBSCL được phân bố trên hai tấm ảnh (scene). Do đó, mỗi năm sẽ thu thập được 46 bộ ảnh với chu kỳ 8 ngày/bộ. Riêng năm 2000 chỉ thu được 40 bộ ảnh do vệ tinh MODIS chỉ bắt đầu cung cấp ảnh vào ngày 18/02/2000.

3.1.2.2 Dữ liệu thống kê

Đề tài sử dụng số liệu thống kê về diện tích xuống giống lúa Đông Xuân, Hè Thu và lúa Mùa phân theo các địa phương trong khu vực ĐBSCL từ năm 2000 đến năm 2011 từ Tổng Cục Thống kê Việt Nam.

Ngoài ra, nghiên cứu này cũng sử dụng các số liệu quan trắc khí tượng và số liệu mực nước thủy văn ghi nhận tại các trạm quan trắc đặt tại ĐBSCL làm dữ liệu đối chiếu với kết quả giải đoán từ ảnh MODIS.

3.1.2.3 Dữ liệu bản đồ

Các dữ liệu bản đồ được sử dụng trong đề tài bao gồm bản đồ ranh giới hành chính và bản đồ hiện trạng sử dụng đất ở ĐBSCL. Trong đó:

- + Bản đồ ranh giới hành chính ĐBSCL, tỷ lệ 1/250.000 năm 2010 (Nguồn từ Bộ môn Tài nguyên Đất đai - Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên- Đại học Cần Thơ).
- + Bản đồ hiện trạng sử dụng đất ĐBSCL tỷ lệ 1/250.000 năm 2008 (Nguồn từ Bộ môn Tài nguyên Đất đai - Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên - Đại học Cần Thơ).

3.2 NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Để phân tích tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) thông qua sự khảo sát và đánh giá hai loại thiên tai chính là khô hạn và ngập lũ có ảnh hưởng như thế nào đến sản xuất nông nghiệp ở ĐBSCL, đề tài thực hiện các nội dung chính như sau (Hình 3.1):

- **Phân tích tác động của BĐKH đến sản xuất lúa ở ĐBSCL:** trong đó chủ yếu phân tích hai tác động do khô hạn và ngập lũ liên quan đến BĐKH xảy ra hàng năm ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011.

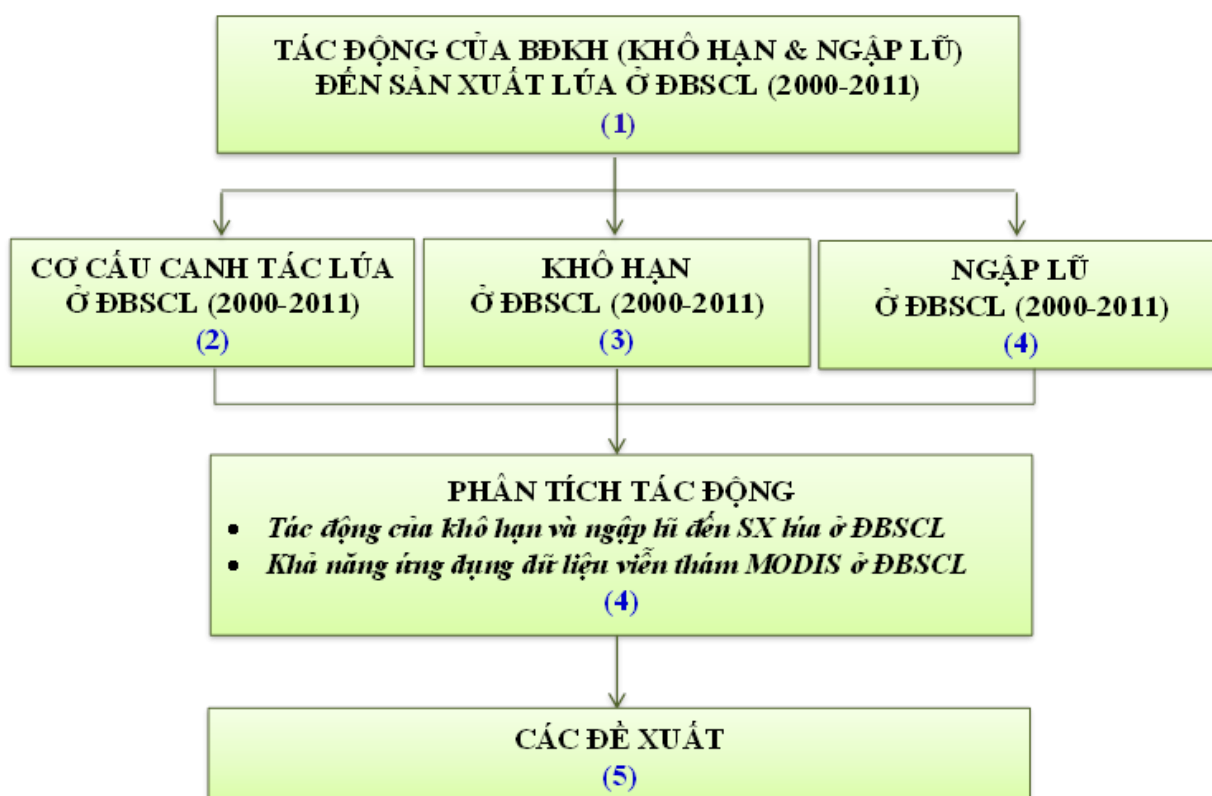
- **Phân tích cơ cấu canh tác lúa ở ĐBSCL:** nhằm xác định hiện trạng canh tác lúa ở ĐBSCL qua từng năm và phân tích biến động cơ cấu canh tác lúa qua các năm ở ĐBSCL giai đoạn từ năm 2000 đến năm 2011.

- **Phân tích tình hình khô hạn ở ĐBSCL:** Việc phân tích khô hạn nhằm khảo sát chế độ khô hạn trong từng mùa khô và diễn biến khô hạn thay đổi qua các năm ở ĐBSCL giai đoạn 2000 đến 2011.

- **Phân tích tình hình lũ lụt ở ĐBSCL:** Chủ yếu phân tích về diễn tiến lũ lụt trong năm và diễn tiến lũ lụt qua các năm giai đoạn từ năm 2000 đến 2011.

- **Phân tích tác động:** Phân tích ảnh hưởng của hai loại thiên tai chính là khô hạn và lũ lụt đến canh tác lúa ở ĐBSCL và đánh giá khả năng ứng dụng của dữ liệu ảnh viễn thám MODIS trong giám sát khô hạn và ngập lũ đến sản xuất lúa ở ĐBSCL.

- **Các đề xuất:** Từ các kết quả phân tích nói trên làm cơ sở đưa ra những đề xuất phù hợp cho việc quản lý, giám sát cũng như ứng phó với những bất lợi của khô hạn và ngập lũ nói riêng và BĐKH nói chung ở khu vực ĐBSCL.



Hình 3.1 Các nội dung nghiên cứu chính của luận án.

3.3 CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐƯỢC SỬ DỤNG

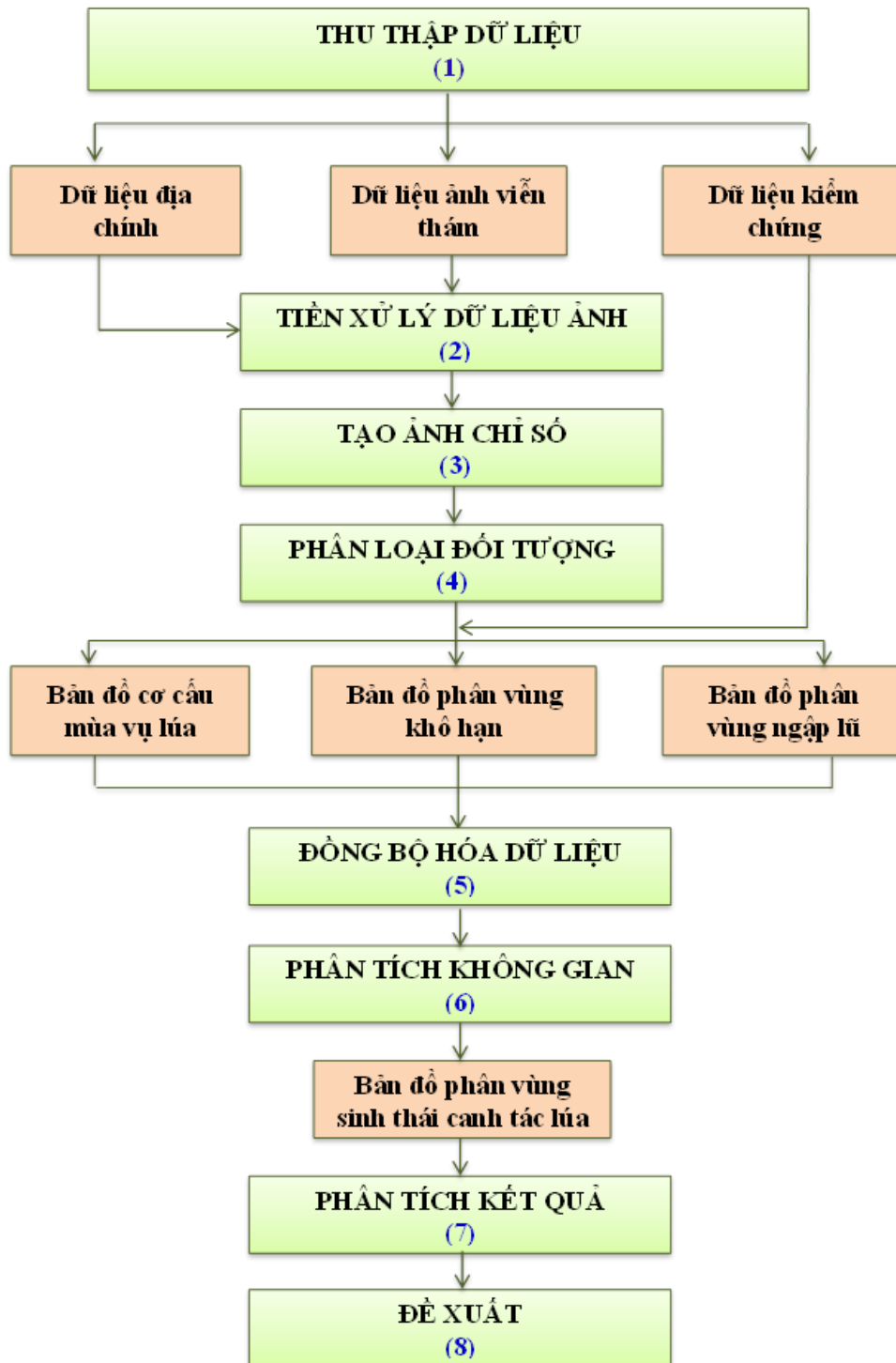
Đề tài thực hiện dựa trên phương pháp chủ yếu là ứng dụng phương pháp viễn thám và nguồn dữ liệu chính là ảnh viễn thám MODIS trên cơ sở kế thừa rất nhiều các công trình nghiên cứu của nhiều tác giả khác nhau ở trên thế giới và ở Việt Nam để áp dụng cụ thể cho khu vực ĐBSCL. Bao gồm các phương pháp chính như sau:

- **Phương pháp kế thừa:** áp dụng có chọn lọc sản phẩm khoa học và công nghệ hiện có trên thế giới/trong nước.
- **Phương pháp thực địa và điều tra nông hộ:** nhằm thu thập thông tin về cơ cấu mùa vụ, diễn biến hạn và lũ lụt, thiệt hại do hạn và lũ lụt gây ra và các biện pháp đã áp dụng để giảm nhẹ thiệt hại do khô hạn hay lũ lụt ở các địa phương trong khu vực.
- **Phương pháp viễn thám:** sử dụng ảnh viễn thám MODIS nhằm phân tích hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa dựa trên chỉ số NDVI đa thời gian; phân tích vùng có khả năng khô

hạn thực vật dựa trên chuỗi chỉ số khô hạn (TVDI) được phân tích từ lớp ảnh nhiệt độ bề mặt (LST) và chỉ số khác biệt thực vật chuẩn (NDVI); phân tích chỉ số nước EVI, LSWI và DVEL để phân vùng có khả năng ngập lũ.

- **Phương pháp hệ thống thông tin địa lý (GIS):** phân tích không gian ảnh hưởng của vùng có khô hạn và ngập lũ đến sản xuất lúa.
- **Phương pháp chuyên gia:** thực hiện các chuyên đề nghiên cứu liên quan đề tài để có sự đánh giá và góp ý của hội đồng chuyên đề cho luận án.

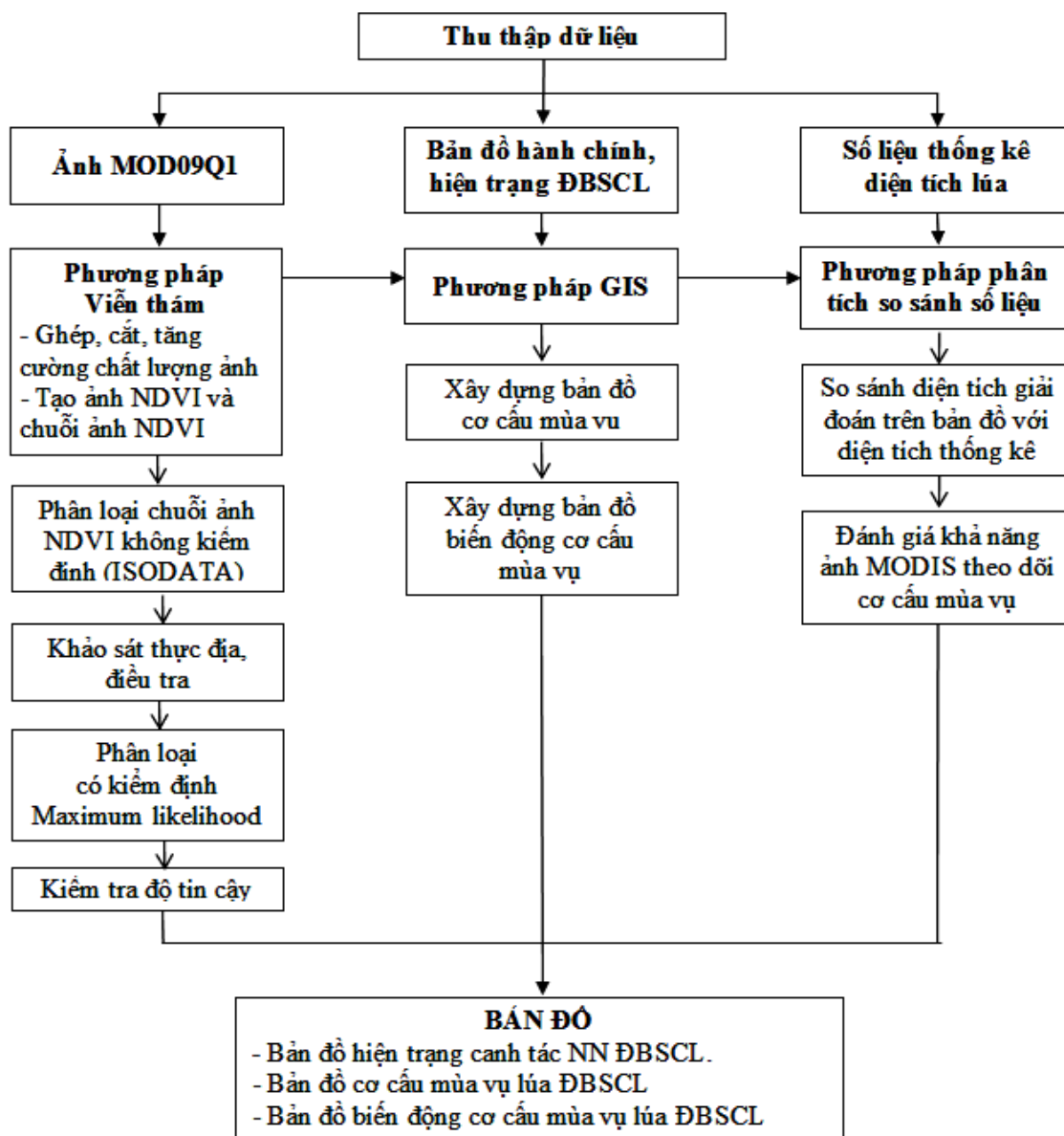
Một cách tổng quát, nghiên cứu được thực hiện qua 8 bước cơ bản như sau (Hình 3.2):



Hình 3.2 Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động khô hạn và ngập lũ ảnh hưởng đến cơ cấu mùa vụ lúa ĐBSCL

3.3.1 Phương pháp xây dựng bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa và biến động canh tác mùa vụ lúa ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 dựa trên chỉ số thực vật NDVI

Các hệ thống canh tác lúa từ năm 2000 đến năm 2011 được phân loại từ các dữ liệu chuỗi thời gian của MODIS NDVI với độ phân giải 250m (có nguồn gốc từ sản phẩm MOD09Q1). Hình 3.2 trình bày sơ đồ các bước phương pháp thực hiện nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động cơ cấu mùa vụ lúa ĐBSCL. Bao gồm các công tác chính như sau:



Hình 3.3 Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động cơ cấu mùa vụ lúa ĐBSCL

3.3.1.1 Phương pháp viễn thám

a) *Tiền xử lý ảnh viễn thám trước khi phân loại*: Dữ liệu MOD09Q1 là sản phẩm đã được tăng cường chất lượng như loại bỏ ảnh hưởng của mây và hiệu chỉnh khí quyển (Vermote *et al.*, 2008) do vậy bước xử lý này chỉ bao gồm các thao tác cắt ảnh, ghép ảnh, hiệu chỉnh hình học và che ảnh.

b) Tạo ảnh chỉ số thực vật NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

Chỉ số khác biệt thực vật NDVI là công cụ cơ bản để giám sát sự thay đổi trạng thái lớp phủ thực vật. Chỉ số NDVI được sử dụng trong nghiên cứu này nhằm phản ánh tình trạng phát triển của cây lúa tại mỗi thời điểm quan sát. Chỉ số thực vật NDVI được tính theo công thức sau (Tucker 1979, Jackson *et al.*, 1983, Tucker *et al.*, 1991):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (9)$$

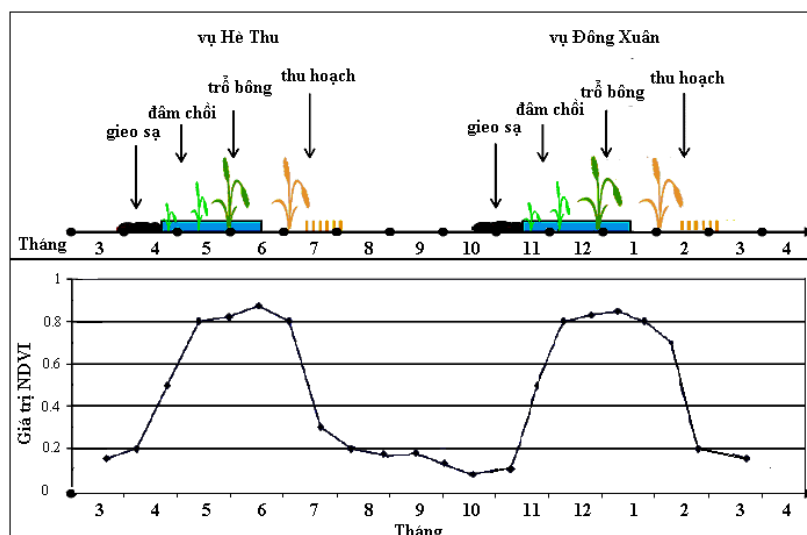
Trong đó, băng ảnh NIR và RED lần lượt thể hiện giá trị phổ phản xạ của đối tượng trên kênh cận hồng ngoại và kênh đỏ. Giá trị NDVI biến động trong khoảng $-1 < NDVI < +1$.

Khía cạnh thời gian sinh trưởng của cây lúa là hết sức quan trọng đối với sự biến động giá trị của chỉ số thực vật NDVI tương ứng ở các giai đoạn phát triển khác nhau của cánh đồng lúa. Có ba giai đoạn chính của một vụ lúa cần quan tâm trong phân tích chỉ số thực vật NDVI đó là (Le Toan *et al.*, 2003):

- 1) **Giai đoạn gieo:** hạt lúa được gieo ở mật độ cao, trực tiếp trong đất ngập nước 2-5cm.
- 2) **Giai đoạn sinh trưởng (sinh dưỡng, sinh sản và giai đoạn chín):** sự thay đổi của tốc độ tăng trưởng cây lúa từ giai đoạn sinh dưỡng sang giai đoạn sinh sản. Giai đoạn này được đặc trưng bởi sự gia tăng của chiều cao cây, số lượng chồi, và sự phát triển của lá. Sau khi trổ, sự tăng trưởng chiều cao và sinh khối dừng lại, lá bắt đầu khô héo và chết. Giai đoạn chín được đặc trưng bởi sự sụt giảm hàm lượng ẩm của lá và trong thân cây và giảm số lượng lá. Thời gian của giai đoạn sinh dưỡng là khoảng 60 ngày, giai đoạn sinh sản là 30 ngày, và giai đoạn chín 30 ngày (Yoshida, 1981; Sakamoto *et al.*, 2005.);
- 3) **Giai đoạn sau thu hoạch:** sau khi thu hoạch, ruộng lúa có thể là đất trống và khô nếu vào cuối mùa khô; hoặc phủ cỏ dại trong điều kiện ẩm ướt.

c) Tạo chuỗi ảnh NDVI:

Mỗi chuỗi ảnh NDVI gồm 46 ảnh/năm và được xây dựng theo từng năm kể từ năm 2000 đến năm 2011. Trong mỗi chuỗi ảnh, giá trị NDVI sẽ thay đổi theo tình trạng sinh trưởng của cây trồng. Hình 3.3 thể hiện dựa trên cơ sở lý thuyết chỉ số NDVI của vùng lúa ở ĐBSCL có giá trị thấp giai đoạn gieo sạ; tăng dần và đạt cao nhất vào lúc cây lúa ở giai đoạn sinh trưởng; và giảm khi cây lúa bắt đầu chín và thấp nhất khi đã thu hoạch.



Hình 3.4 Sự thay đổi giá trị NDVI theo thời gian của cây lúa ở cơ cấu lúa 2 vụ HT và ĐX.

d) Phân loại chuỗi ảnh NDVI thành lập bản đồ cơ cấu mùa vụ theo từng năm

Để phân loại chuỗi dữ liệu MODIS NDVI đa thời gian, thuật toán kỹ thuật phân tích dữ liệu ISODATA đã được sử dụng. ISODATA là một kỹ thuật phân loại không giám sát, trong đó tính toán trung bình lớp có phân bố đều trong không gian dữ liệu và lặp đi lặp lại các cụm điểm ảnh bằng cách sử dụng quy tắc khoảng cách tối thiểu (Tou và Gonzalez 1974). Ở mỗi lần lặp, trung bình nhóm sẽ được tính toán lại và sau đó thực hiện phân loại lại các điểm ảnh tương ứng với các giá trị trung bình mới. Bằng cách cung cấp các thông số ngưỡng, việc tách lớp, sáp nhập lớp và xóa lớp lặp đi lặp lại sẽ được thực hiện. Tất cả các điểm ảnh sẽ được phân loại vào các lớp gần nhất trừ khi độ lệch chuẩn hoặc khoảng cách ngưỡng tiêu chuẩn được quy định. Quá trình này được tiếp tục cho đến khi số lượng điểm ảnh trong từng lớp bằng hoặc ít hơn ngưỡng thay đổi điểm ảnh được chọn hoặc số lần lặp là đạt.

Lý do chính của việc sử dụng thuật toán phân loại ISODATA là do người giải đoán không có sẵn các kiến thức về số lượng lý tưởng của nhóm (Boudra, 1999). Để có được một số lượng tối ưu của các nhóm, việc ước tính số lượng của các nhóm từ dữ liệu quan sát hay kinh nghiệm của người giải đoán về khu vực nghiên cứu là hết sức cần thiết, và phải được đối chiếu với thực tế.

Thuật toán phân loại có kiểm soát cũng đã được sử dụng để phân loại các hệ thống canh tác lúa ở khu vực nghiên cứu. Cụ thể, nghiên cứu cũng sử dụng kỹ thuật phân loại theo khả năng tối đa (MLC_Maximum Likelihood Classification) là thuật toán đã được áp dụng khá phổ biến và được xem như là thuật toán chuẩn so với các thuật toán khác (Bolstad và Lillesand, 1991).

Kết quả phân loại sẽ là nhiều nhóm đối tượng khác nhau tương ứng với các kiểu che phủ khác nhau trên mặt đất. Sau đó, dựa trên số chu kỳ biến động và thời gian biến động của giá trị NDVI của từng nhóm đối tượng được phân loại để xác định các kiểu mùa vụ lúa khác nhau trong năm.

3.3.1.2 Phương pháp thực địa

Trên cơ sở bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa năm 2011 được giải đoán từ ảnh viễn thám, tiến hành phân tuyến khảo sát thực địa cho từng đơn vị bản đồ. Việc khảo sát sẽ tập trung trên các vùng đất trồng lúa. Tổng cộng gồm có 377 điểm khảo sát. Các chỉ tiêu cần thu thập trong công tác thực địa bao gồm vị trí điểm khảo sát xác định từ thiết bị định vị toàn cầu (GPS) và các thông tin về cơ cấu canh tác lúa thực tế (Phụ lục).

3.3.1.3 Phương pháp đánh giá độ tin cậy

Nhằm xác định độ tin cậy cho kết quả phân loại, nghiên cứu đã thực hiện tính toán mức độ chính xác hay phù hợp giữa dữ liệu ảnh được phân loại với bộ dữ liệu thực địa theo phương pháp xây dựng ma trận sai số để tính độ tin cậy của Lê Văn Trung (2005). Sử dụng phương pháp xây dựng ma trận sai số để đánh giá độ tin cậy của kết quả phân loại thông qua việc tính toán hai chỉ số độ chính xác toàn cục (T%) và chỉ số Kappa (K).

- Chỉ số Kappa:

$$K = \frac{(T - E)}{(1 - E)} \quad (10)$$

Trong đó:

- T: độ chính xác toàn cục cho bởi ma trận sai số. T=Tổng các đại lượng đường chéo/Tổng các đại lượng của dòng (cột).

- E: đại lượng thể hiện sự mong muốn (kỳ vọng) phân loại chính xác có thể dự đoán trước, nghĩa là E góp phần ước tính khả năng phân loại chính xác trong quá trình phân loại thực sự. Giá trị của E được tính theo tích của hàng và cột biên của ma trận sai số (S_{i+} và S_{+j}) nhằm ước tính số pixel được chỉ định vào từng vị trí (O_{ij}) trong ma trận sai số hay thể hiện cơ hội pixel được phân cho từng loại.

Bảng 3.4 Bảng tính ma trận sai số phân loại theo Lê Văn Trung (2005).

| Loại thực | Loại được giải đoán | | | | | |
|-----------|---------------------|------------|-----|--------------|------------|--|
| | 1 | 2 | ... | K-1 | K | Tổng cộng |
| 1 | O_{11} | O_{12} | ... | O_{1k-1} | O_{1k} | S_{1+} |
| 2 | O_{21} | O_{22} | ... | O_{2k-1} | O_{2k} | S_{2+} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| K-1 | O_{k-11} | O_{k-12} | ... | O_{k-1k-1} | O_{k-1k} | S_{k-1+} |
| K | O_{k1} | O_{k2} | ... | O_{kk-1} | O_{kk} | S_{k+} |
| Tổng cộng | S_{+1} | S_{+2} | ... | S_{+k-1} | S_{+k} | $n = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^K O_{ij}$ |

Trong đó:

S_{i+} : Tổng theo hàng.

S_{+j} : Tổng theo cột

n: Tổng số pixel trong bộ dữ liệu.

3.3.1.4 Phương pháp phân tích đối chiếu kết quả giải đoán với số liệu thống kê

- So sánh số liệu diện tích canh tác lúa ở ĐBSCL tính toán từ kết quả giải đoán ảnh viễn thám với số liệu Niên giám thống kê của Tổng cục thống kê từ năm 2000 đến năm 2011 nhằm xác định sự tương quan và mức độ chênh lệch giữa hai bộ dữ liệu từ đó đánh giá khả năng sử dụng ảnh viễn thám MODIS theo dõi cơ cấu mùa vụ.

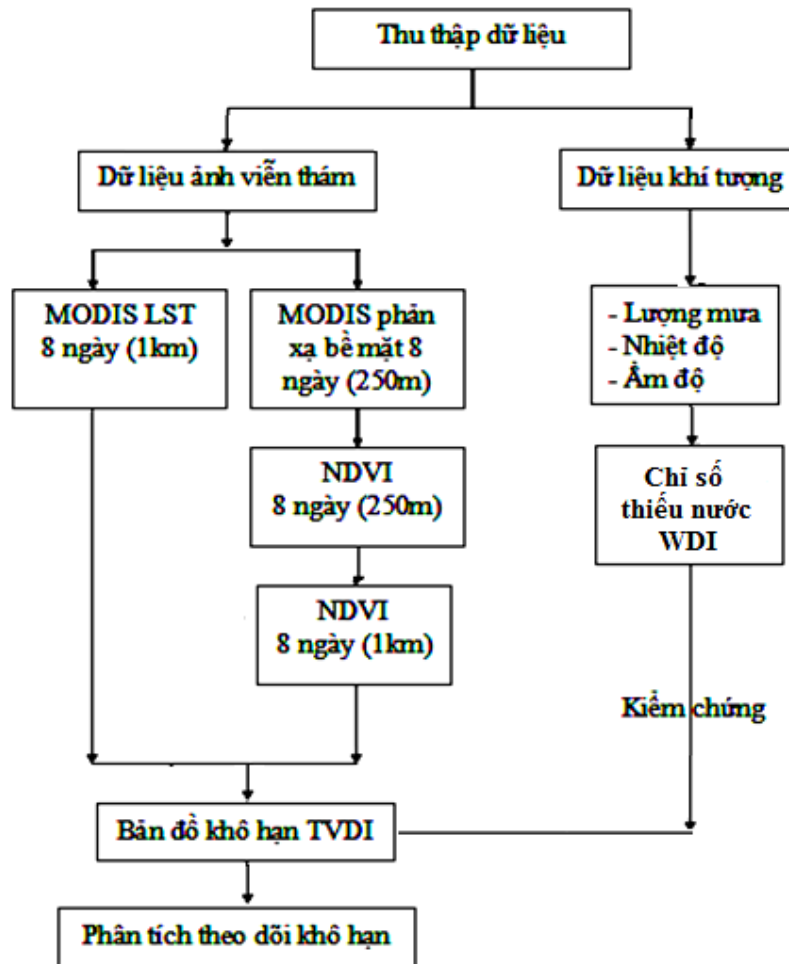
3.3.1.5 Phương pháp hệ thống thông tin địa lý (GIS)

Sử dụng phương pháp chồng lắp các bản đồ cơ cấu mùa vụ từng năm để tính toán diện tích và thành lập bản đồ biến động cơ cấu mùa vụ từ năm 2000 đến năm 2011.

3.3.2 Phương pháp xây dựng bản đồ phân vùng khô hạn và biến động khô hạn ở ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 dựa trên chỉ số khô hạn TVDI

Trong nghiên cứu này, chỉ số khô hạn TVDI dựa trên mối quan hệ giữa nhiệt độ bề mặt LST (có nguồn gốc từ sản phẩm MOD11A2) và chỉ số thực vật NDVI (có nguồn gốc từ sản phẩm MOD09A1) đã được sử dụng để ước lượng trạng thái độ ẩm đất bề mặt trong vùng nghiên cứu theo chu kỳ quan sát 8 ngày trong suốt mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4, từ năm 2000 đến năm 2011. Chỉ số khô hạn TVDI có liên quan đến tình trạng độ ẩm đất bề mặt. Các giá trị TVDI cao chỉ ra điều kiện khô và các giá trị TVDI thấp chỉ ra điều kiện ẩm ướt.

Giai đoạn từ tháng 11 đến tháng 4 được chọn để quan sát tình trạng độ ẩm của đất trong nghiên cứu này vì giai đoạn này thường phải đối mặt với lượng mưa ít hoặc không có mưa và nguồn nước tưới thiếu hụt từ các con sông hay kênh gây nên sự thiếu hụt độ ẩm của đất, ảnh hưởng xấu đến cây lúa trong khu vực.



Hình 3.5 Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động khô hạn ĐBSCL

3.3.2.1 Tạo ảnh nhiệt độ lớp phủ bề mặt LST (Land Surface Temperature) từ ảnh MOD11A2.

Phương pháp nghiên cứu dựa trên phép tính chuyển đổi nhiệt độ bề mặt từ giá trị độ xám trên ảnh vệ tinh thu nhận từ kênh nhiệt MODIS/Terra sang giá trị số (Digital Number - DN). Sau đó nhân với hệ số tỷ lệ “scale factor” của dòng sản phẩm MODIS LST được cung cấp từ NASA thông qua một số kỹ thuật xử lý ảnh. Tức là, khi đã thu nhận được dữ liệu ảnh, chỉ cần qua một số công đoạn xử lý và hiệu chỉnh ảnh bằng một số phần mềm chuyên biệt, kết quả nhiệt độ bề mặt sẽ được xác định khá chính xác cho từng phần tử ảnh (pixel), từng tọa độ trên ảnh cho một vùng.

- + **Chuyển đổi định dạng file ảnh:** Bộ dữ liệu MODIS khá lớn, hầu hết các file dữ liệu MODIS được lưu trữ với định dạng Hierarchical Data Format Earth Observing System (HDF-EOS), Để có thể xác định được nhiệt độ bề mặt, các hình ảnh định dạng HDF-EOS phải được chuyển đổi về định dạng GeoTIFF bằng cách sử dụng phần mềm Hdf-Eos to Gis Conversion Tool (HEG) được cung cấp miễn phí bởi NASA.
- + **Chuyển đổi về hệ thống quy chiếu phù hợp với vùng nghiên cứu:** Các dòng sản phẩm MODIS đất và đại dương được thể hiện trong một dạng quy chiếu bản đồ mới được gọi hệ quy chiếu Integerized Sinusoidal (ISIN) (John J. Qu and Menas Kafatos (2005)). Do đó, cần chuyển đổi về hệ quy chiếu Geographic coordinate tương thích cho khu vực ĐBSCL với hệ tọa độ và lưới chiếu chuẩn (UTM, Datum: WGS 84, 48N).

- + **Tách lớp dữ liệu chuyên biệt (Layer Stacking):** Dữ liệu ảnh MODIS LST có nhiều lớp dữ liệu được ghi nhận (MOD11A2 có 12 lớp) phục vụ cho các chức năng khác nhau. Để tính nhiệt độ bề mặt đất, lớp dữ liệu *LST_Day/Night_1km* (uint16) được chiết tách và chuyển về giá trị DN (digital numbers) 12 bit cho từng pixel. Việc chiết tách và chuyển đổi dữ liệu từ ảnh MODIS LST về giá trị LST digital numbers của từng pixel được thực hiện bằng phần mềm chuyên dùng Hdf-Eos to Gis Conversion Tool (HEG).
- + **Nhân với hệ số quy đổi (Multification factor):** đây là hệ số “scale factor” được cung cấp từ nhà sản xuất thông qua các thông số kỹ thuật được tính toán dựa trên thực nghiệm sử dụng các thuật toán xác định nhiệt độ từ nhiều phương pháp. Lớp dữ liệu *LST_Day/Night_1km* (uint 16 bit) được chuyển đổi về giá trị DN (12 bit) bằng cách nhân với hệ số “scale factor” sẽ cho ra kết quả nhiệt độ Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) và có thể chuyển về nhiệt độ Celcius ($^{\circ}\text{C}$). Việc tính toán sẽ được thực hiện thông qua “band math” bằng các phần mềm xử lý ảnh viễn thám chuyên biệt như Envi 4.7,

3.3.2.2 Xây dựng bản đồ chỉ số khô hạn TVDI

Xây dựng bản đồ chỉ số khô hạn TVDI dựa trên nguyên tắc ứng dụng tam giác không gian [T_s , NDVI] trong dự báo khô hạn nông nghiệp của Sandholt *et al*, 2002. Trong tam giác này, cả “rìa khô” (Warm Edge) và “rìa ướt” (Cold Edge) được xác định bằng phương trình hồi quy tuyến tính, từ các giá trị nhiệt độ bề mặt khác nhau đối với đất trống và bề mặt được bao phủ thảm thực vật trong điều kiện xảy ra sự thiếu nước (No Water Stress Condition). Trong đó, để lượng hóa quan hệ giữa chỉ số thực vật chuẩn và nhiệt độ bề mặt LST hay T_s , chỉ số TVDI của một pixel ảnh [T_s , NDVI] được xác định như một tỷ lệ giữa đường $A = (T_s - T_{smin})$ và $B = (T_{smax} - T_{smin})$ theo công thức số (8) của Sandholt (2002).

Quy trình xây dựng bản đồ chỉ số khô hạn TVDI có thể được trình bày qua các bước như sau:

- + **Ghép ảnh LST và NDVI tạo không gian tam giác [LST, NDVI]:** Trên cơ sở xác định được ảnh nhiệt độ bề mặt và ảnh chỉ số NDVI, tiến hành ghép 2 lớp giá trị LST và NDVI.
- + **Xác định đường “rìa khô” và “rìa ướt” trong không gian [LST, NDVI]:** xác định đường rìa khô và rìa ướt thông qua phương trình hồi quy tuyến tính với hai tham số là LST và NDVI, sau đó xác định tham số a, b, T_s và T_{smin} .
- + **Tính toán chỉ số TVDI:** theo công thức (8) bằng công cụ Band Math trong phần mềm viễn thám.
- + **Xây dựng bản đồ chỉ số khô hạn và chuỗi bản đồ chỉ số khô hạn (TVDI):** nhằm xác định khu vực có chỉ số TVDI lớn để xác định diễn biến khô hạn.

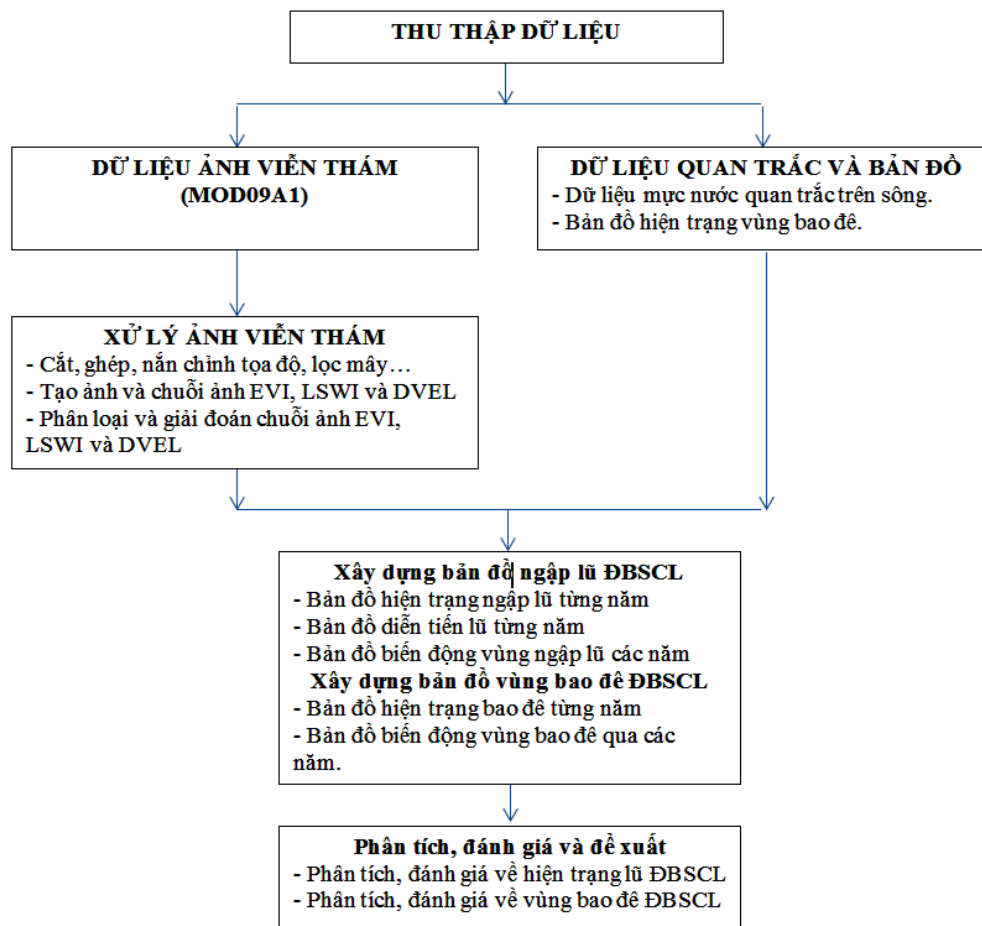
3.3.2.3 Kiểm chứng và hoàn chỉnh kết quả

Đối chiếu với kết quả điều tra, khảo sát thực địa và các bản đồ thu thập để chỉnh sửa và hoàn chỉnh bản đồ. Bao gồm 100 điểm khảo sát tập trung tại các khu vực được đánh giá có khả năng khô hạn cao từ kết quả phân tích từ ảnh viễn thám

- **Điều tra nông hộ:** bao gồm các nội dung điều tra về điều kiện đất canh tác, cơ cấu mùa vụ hiện tại, quá trình chuyển đổi cơ cấu mùa vụ trước đây và dự định chuyển đổi cơ cấu mùa vụ trong tương lai có liên quan đến vấn đề khô hạn

- **Khảo sát thực địa:** song song điều tra nông hộ, tiến hành khảo sát thực địa và định vị vị trí khảo sát. Nội dung khảo sát thực địa bao gồm ghi nhận hiện trạng canh tác hiện tại như loại và giống cây trồng, giai đoạn sinh trưởng, điều kiện thủy lợi, khả năng tưới, tình trạng độ ẩm đất... đồng thời định vị vị trí khảo sát trên bản đồ bằng GPS.

3.3.3 Phương pháp xây dựng bản đồ phân vùng ngập lũ và diễn tiến lũ ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 dựa trên chỉ số EVI, SLWI và DVEL



Hình 3.6 Lưu đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi biến động ngập lũ ở ĐBSCL

3.3.3.1 Tạo chuỗi ảnh chỉ số thực vật tăng cường (Enhanced Vegetation Index – EVI).

Chỉ số thực vật tăng cường (EVI) đã được phát triển như là một chỉ số thực vật thay thế để giải quyết một số hạn chế của các NDVI. Chỉ số thực vật tăng cường (EVI) được tính theo công thức (11) (Liu và Huete, 1995):

$$EVI = 2.5 * \frac{NIR - RED}{NIR + 6 * RED - 7.5 * BLUE + 1} \quad (11)$$

Trong đó:

RED: phổ phản xạ của băng đỏ;

NIR: phổ phản xạ của băng cận hồng ngoại;

BLUE: phổ phản xạ của băng xanh da trời.

Sau khi tạo ảnh chỉ số thực vật tăng cường (EVI), tiến hành tạo chuỗi ảnh chỉ số EVI đa thời gian nhằm đánh giá mối tương quan của các đặc điểm ảnh với lớp phủ thực vật bề mặt.

3.3.3.2 Tạo chuỗi ảnh chỉ số nước bề mặt (Land Surface Water Index – LSWI)

LSWI là chỉ số biểu thị mức độ thay đổi hàm lượng nước của lớp phủ bề mặt, đồng thời là một trong những chỉ số để đánh giá mức độ hạn hán của lớp phủ thực vật nói chung và cây trồng nói riêng, được xác định theo công thức số (12) (Ceccato et al. 2002; Gao, 1996):

$$LSWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (12)$$

Trong đó:

NIR: phổ phản xạ của băng cận hồng ngoại;

SWIR: phổ phản xạ băng hồng ngoại gần.

Sau khi tính toán chỉ số LSWI, tiến hành tạo chuỗi ảnh LSWI đa thời gian. Đây là công cụ để theo dõi sự thay đổi của lớp nước tồn tại trên bề mặt đất theo thời gian.

3.3.3.3 Tính toán chỉ số khác biệt DVEL từ chỉ số EVI và LSWI

Chỉ số DVEL được xem là sự khác biệt giữa chỉ số EVI và LSWI, DVEL được tính theo công thức số (13):

$$DVEL = EVI - LSWI \quad (13)$$

Sự kết hợp đồng thời hai chỉ số EVI và LSWI tạo nên bộ ảnh DVEL nhằm đánh giá một cách tổng quan hơn về mối tương quan của các đặc điểm ảnh với nhau, với lớp phủ thực vật và lớp nước trên bề mặt. Các chuỗi ảnh này sau đó dùng để giải đoán giúp cho việc đánh giá sự hiện diện và thay đổi của thảm thực vật cũng như lớp nước trên bề mặt đất theo thời gian, làm cơ sở cho việc xây dựng bản đồ ngập lũ vùng nghiên cứu.

3.3.3.4 Phân loại chuỗi ảnh chỉ số EVI, LSWI và DVEL thành lập bản đồ ngập lũ

Kế thừa có chỉnh sửa cho phù hợp với điều kiện ĐBSCL phương pháp nghiên cứu của Islam et al. (2009) cho việc thành lập bản đồ ngập lũ. Các đối tượng được phân loại từ chuỗi các giá trị EVI, LSWI và DVEL theo 4 nhóm đối tượng không ngập, vùng ngập, vùng hỗn hợp và vùng ngập nước dài hạn. Trong đó, số ngày ngập liên tục để phân biệt giữa trường hợp ngập lũ và ngập dài hạn (sông, hồ) ở ĐBSCL được chỉnh sửa thành 180 ngày thay vì 120 ngày theo Islam et al. (2009) (Bảng 3.5).

Bảng 3.5 Phân cấp các đối tượng ngập lũ theo phương pháp của Islam et al. (2009) có chỉnh sửa.

| Stt | Đối tượng phân loại | Điều kiện |
|-----|---------------------|---|
| 1 | Không ngập lũ | $EVI > 0,3$; hoặc $EVI \leq 0,3$ và $DVEL > 0,05$ |
| 2 | Ngập lũ | $EVI \leq 0,1$ và $DVEL \leq 0,05$ và liên tục < 180 ngày; hoặc $EVI \leq 0,05$ và $LSWI \leq 0,0$ và liên tục < 180 ngày |
| 3 | Ngập lẫn thực vật | $0,1 < EVI \leq 0,3$ |
| 4 | Sông, hồ... | $EVI \leq 0,3$ và $DVEL \leq 0,05$ và liên tục > 180 ngày; hoặc $EVI \leq 0,05$ và $LSWI \leq 0,0$ và liên tục > 180 ngày |

3.3.3.5 Đối chiếu kết quả giải đoán với số liệu quan trắc thực tế

Dữ liệu biến động diện tích ngập lũ theo thời gian tính toán được từ kết quả giải đoán ảnh MODIS sẽ được đối chiếu, tính toán sự tương quan với số liệu mực nước thủy văn đo đạc thực tế nhằm đánh giá mức độ tương quan giữa diện tích ngập lũ trên ảnh giải đoán với số liệu thủy văn ở cùng thời điểm.

3.3.4 Xác định vùng canh tác lúa chịu sự ảnh hưởng của khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL

Các bản đồ đơn tính được xây dựng như bản đồ hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa, bản đồ phân vùng khô hạn và bản đồ phân vùng ngập lũ sẽ được xử lý trong phần mềm GIS để phân tích và đưa ra những kết luận cụ thể về:

- Xác định khu vực có xảy ra khô hạn và lũ lụt ở ĐBSCL và diễn tiến của khô hạn và lũ lụt theo mùa trong năm và theo nhiều năm giai đoạn từ 2000 đến 2011 ở ĐBSCL.
- Cơ cấu mùa vụ lúa trên những vùng chịu ảnh hưởng của khô hạn và lũ lụt và diễn tiến thay đổi cơ cấu mùa vụ lúa ở những vùng này có liên quan đến khô hạn và lũ lụt ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011.

3.3.5 Đề xuất các giải pháp

- Trên cơ sở các bản đồ kết quả xây dựng từ ảnh viễn thám MODIS, thực hiện phân vùng sinh thái canh tác và đề xuất các mô hình canh tác lúa phù hợp với điều kiện của từng phân vùng có chế độ khô hạn và lũ lụt khác nhau ở ĐBSCL.
- Qua việc đánh giá khả năng ứng dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi và quản lý khô hạn và lũ lụt và phân tích các kết quả đạt được trong điều kiện khu vực ĐBSCL sẽ giúp có những nhận định và các đề xuất về biện pháp theo dõi diễn biến và quản lý thiên tai khô hạn và lũ lụt trên cơ sở kỹ thuật viễn thám thông qua việc đề xuất áp dụng và hệ thống hóa qui trình xử lý nguồn dữ liệu ảnh MODIS.

Chương 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Chương 4 tập trung trình bày 03 nội dung chính sau:

- Phân tích những tác động của biến đổi khí hậu đến thay đổi cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL, trong đó tập trung chủ yếu vào vấn đề khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL
- Phân tích khả năng ứng dụng của ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi hiện trạng, cơ cấu mùa vụ lúa cũng như vấn đề khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL
- Phân vùng canh tác lúa chịu ảnh hưởng của khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL trên cơ sở các bản đồ đơn tính xây dựng từ dữ liệu ảnh viễn thám và các đề xuất phù hợp với từng phân vùng có điều kiện canh tác và khô hạn hay ngập lũ khác nhau nhằm giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa ở ĐBSCL.

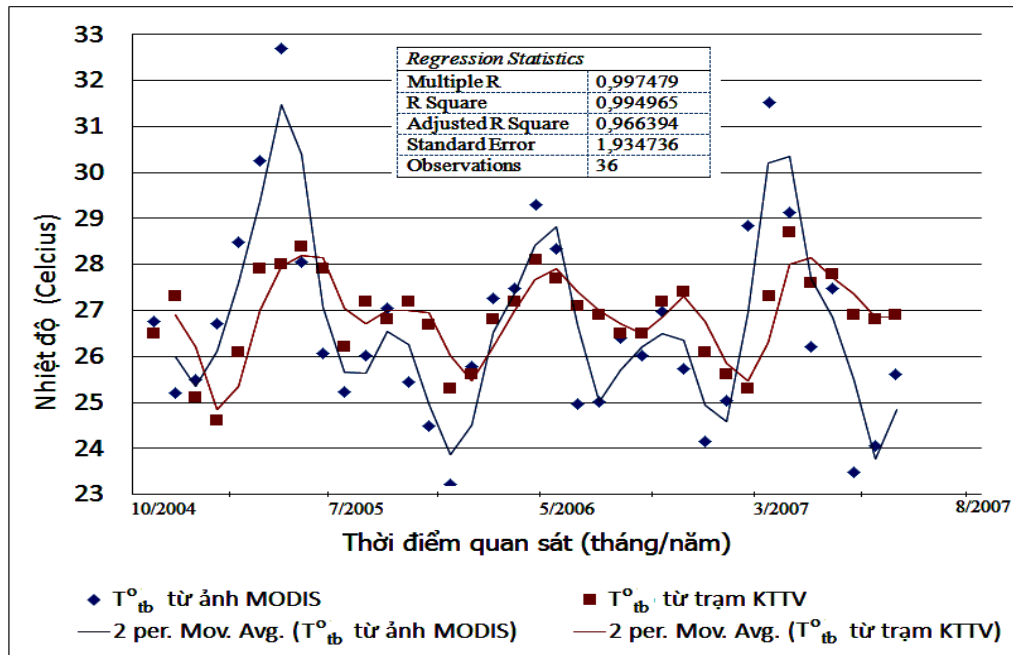
4.1 ẢNH HƯỞNG CỦA KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ ĐẾN THAY ĐỔI CƠ CẤU MÙA VỤ DƯỚI TÁC ĐỘNG BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU Ở ĐBSCL

4.1.1 Những tác động của nhiệt độ và khô hạn ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011

Bức xạ nhiệt từ lớp phủ mặt đất có sự tương quan với nhiệt độ không khí. Qua kết quả tính toán hồi qui tuyến tính từ ứng dụng excel giữa các giá trị biến động nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ đo trong không khí từ trạm quan trắc khí tượng ở tỉnh Sóc Trăng, là một trong những tỉnh có cả 03 kiểu canh tác lúa 1 vụ, 2 vụ và 3 vụ lúa trong năm và có xuất hiện khô hạn, cho thấy có sự tương quan cao giữa dữ liệu nhiệt độ quan trắc với dữ liệu nhiệt độ bề mặt với hệ số $R^2=0,99$ và sai số chuẩn là 1,9 (Bảng 4.1). Kết quả đánh giá sự tương quan giữa 2 bộ dữ liệu này được trình bày Phụ lục 5 và 6. Kết quả trình bày trên Hình 4.1 cho thấy xu hướng biến thiên nhiệt độ trong từng năm của cả hai bộ dữ liệu nhiệt độ là giống nhau. Tuy nhiên, nhiệt độ trung bình tháng trên bề mặt đất có khoảng biến động lớn hơn (khoảng 7°C - 10°C) so với nhiệt độ trung bình tháng trong không khí (khoảng 3°C - 5°C). Điều này có thể giải thích do các đối tượng trên bề mặt đất bao gồm đất đá, thực vật và nước có khả năng cân bằng nhiệt với môi trường xung quanh chậm hơn so với không khí trong khí quyển nên nhiệt độ của chúng thường có xu hướng cao (nóng) hay thấp (lạnh) hơn trong không khí. Ngoài ra, sự biến thiên nhiệt độ trung bình tháng bề mặt đất có xu hướng đạt điểm cực trị trước so với biểu đồ biến thiên nhiệt độ trung bình tháng đo trong không khí. Điều này cho thấy giữa nhiệt độ bề mặt đất và nhiệt độ không khí có ảnh hưởng lẫn nhau. Tuy nhiên, để có những kết luận chính xác và khách quan hơn về mối tương quan này, cần thí nghiệm thu thập và xử lý số liệu nhiệt độ đo đạc được của nhiều trạm đo ở các tỉnh, huyện thuộc khu vực ĐBSCL cũng như ở các thời điểm đo khác nhau trong ngày, trong nhiều năm để đối chiếu với số liệu nhiệt độ từ ảnh viễn thám.

Bảng 4.1 Kết quả tính toán hồi qui tuyến tính giữa số liệu nhiệt độ trung bình tháng bề mặt tính toán từ ảnh viễn thám MODIS và nhiệt độ trung bình tháng trong không khí đo đạc từ trạm đo mặt đất tại tỉnh Sóc Trăng qua các tháng trong năm 2004 đến 2007.

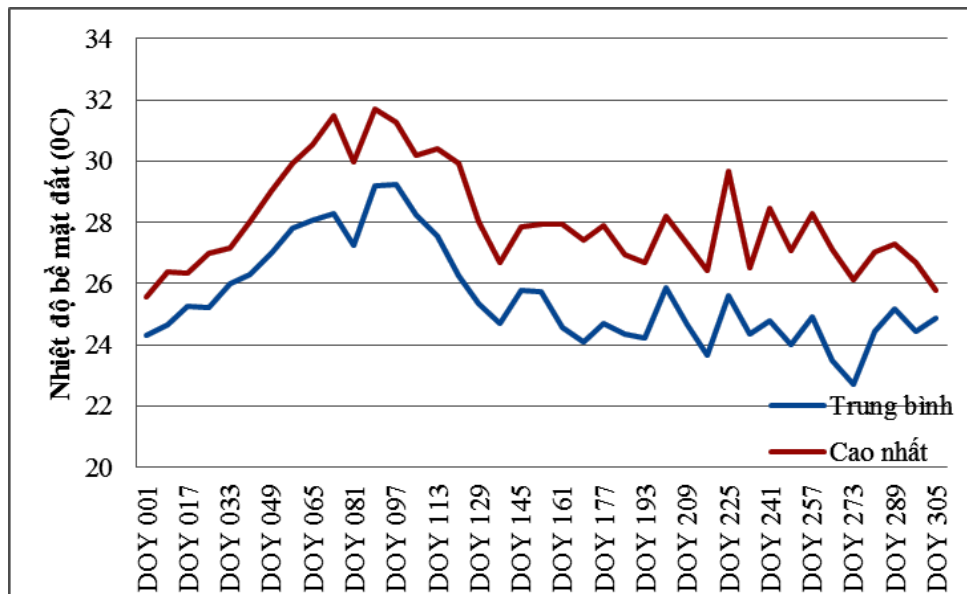
| <i>Thông số hồi quy</i> | |
|--|------|
| Hệ số tương quan bội R ($0 \leq R \leq 1$) | 0,99 |
| Hệ số xác định (R^2) | 0,99 |
| Hệ số xác định mẫu điều chỉnh | 0,96 |
| Sai số chuẩn | 1,93 |
| Số quan sát | 36 |



Hình 4.1 Biểu đồ biến thiên nhiệt độ trung bình tháng bề mặt đất được tính toán từ ảnh viễn thám MODIS và nhiệt độ trung bình tháng trong không khí từ các trạm đo mặt đất tỉnh Sóc Trăng qua các tháng trong năm 2004 đến 2007.

Xét trên toàn khu vực ĐBSCL, sự biến thiên nhiệt độ bề mặt đo được từ ảnh MODIS khu vực ĐBSCL cho thấy qui luật biến thiên nhiệt độ trong năm như sau (Hình 4.2):

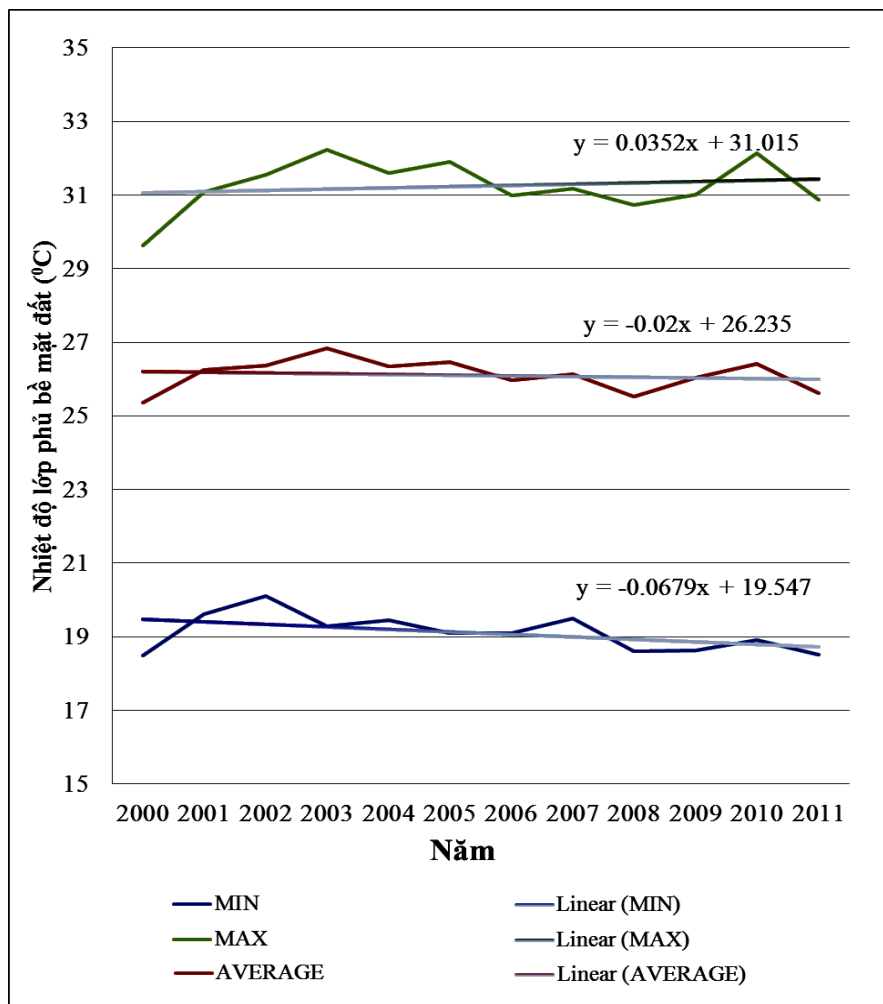
- Nhiệt độ tăng cao vào đầu mùa khô khoảng tháng 11 đến giữa tháng 12 năm trước, sau đó giảm nhẹ vào cuối tháng 12 sang đầu tháng 1 năm sau. Nhiệt độ tăng cao mạnh từ khoảng tháng hai và thường cao nhất tháng 3 và tháng 4. Tháng 5 nhiệt độ bắt đầu giảm do có mưa, tuy nhiên có những đợt nhiệt độ tăng cao bất thường trong thời gian ngắn từ tháng 6 đến tháng 8 tương ứng thời điểm thường xuất hiện hạn “Bà Chằng”.
- Nhiệt độ bề mặt ở ĐBSCL có hiện tượng tăng giảm cục bộ không theo qui luật và trong thời gian rất ngắn từ 1 đến 2 đợt quan sát tương ứng 8 đến 16 ngày.



DOY: ngày trong năm/365 ngày (Day of Year)

Hình 4.2 Biến động nhiệt độ bề mặt đất trung bình và cao nhất/ngày trong năm ở ĐBSCL từ dữ liệu ảnh MODIS LST.

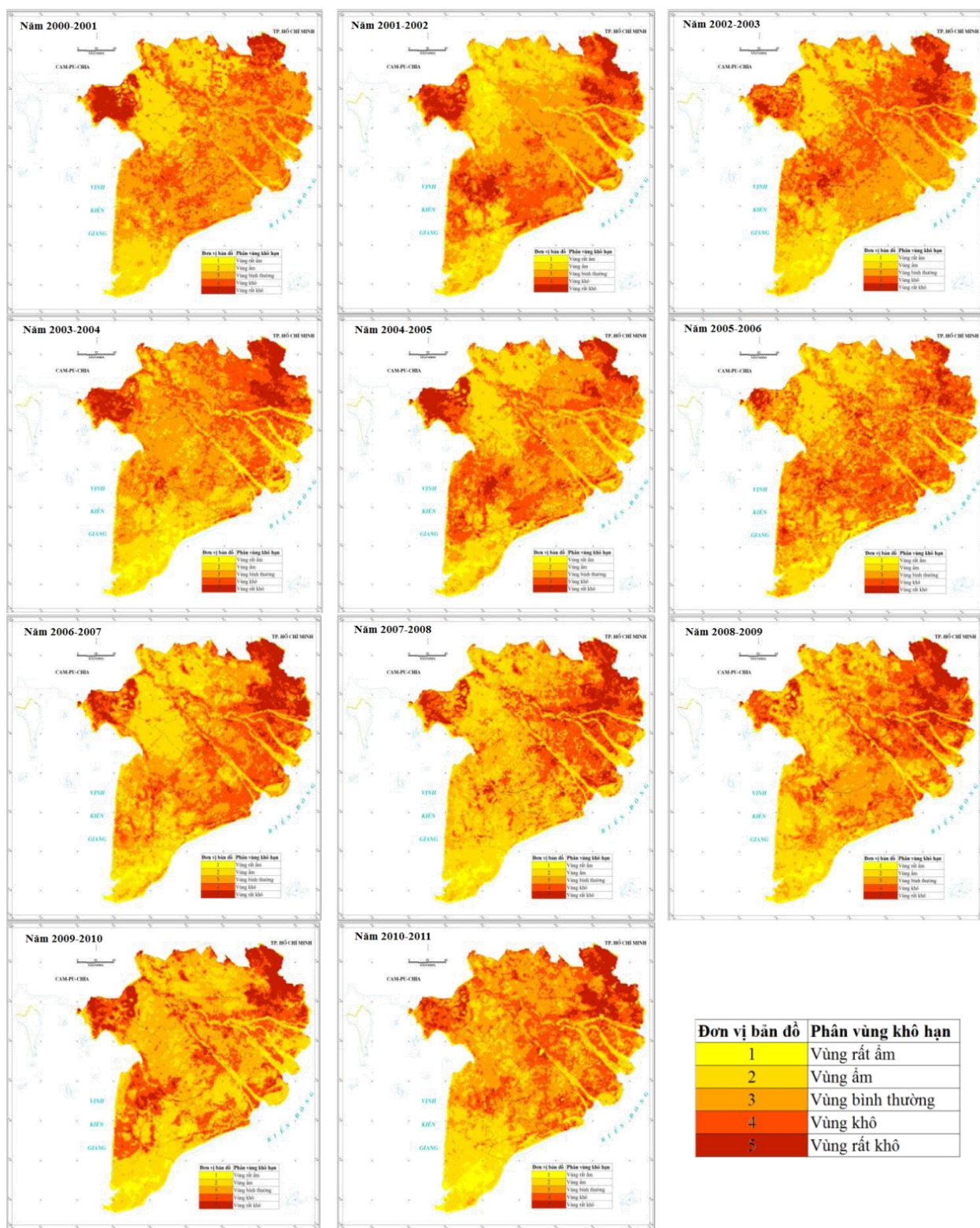
Kết quả quan sát nhiệt độ bề mặt cực tiểu, cực đại hay trung bình năm ở các năm hay các mùa khô cho thấy có sự biến động tăng giảm bất thường không theo qui luật. Tuy nhiên, qua kết quả tính toán trong khoảng thời gian 12 năm cho thấy nhiệt độ cực đại có xu hướng tăng trong khi nhiệt độ trung bình và nhiệt độ cực tiểu có xu hướng giảm (Hình 4.3). Điều này khá phù hợp với một số nhận định về xu hướng biến động nhiệt độ bề mặt trái đất dưới tác động của biến đổi khí hậu (IPCC, 2007; Lê Anh Tuấn, 2012).



Hình 4.3 Xu hướng biến thiên nhiệt lớp phủ bề mặt khu vực ĐBSCL quan sát giai đoạn từ 2000 đến 2011 phân tích từ ảnh MODIS LST.

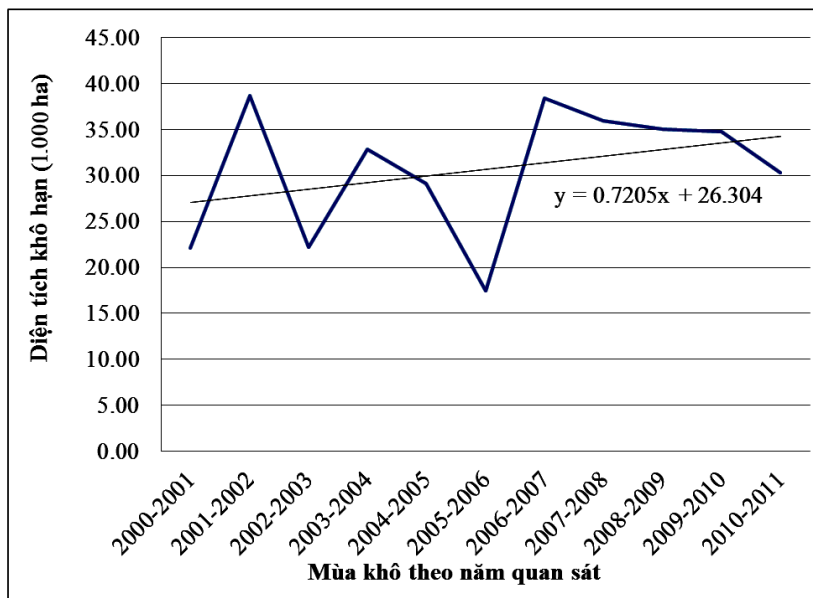
Để thấy rõ hơn sự phân bố các vùng được đánh giá khô và rất khô ở ĐBSCL, Hình 4.4 trình bày lần lượt các vùng có chế độ khô hạn khác nhau từ mùa khô 2000-2001 đến mùa khô 2010-2011. Kết quả cho thấy vùng được đánh giá là vùng có chế độ khô hạn cao và xuất hiện thời gian dài phân bố khá giống nhau ở cả 11 mùa khô quan sát đó là:

- Phân bố ở vùng đất núi ở An Giang và Kiên Giang và có xu hướng diện tích giảm dần. Đến mùa khô năm 2010-2011 diện tích khô hạn ở khu vực này hầu như còn rất ít.
- Phân bố ở các tỉnh trung tâm như Cần Thơ, Hậu Giang và Vĩnh Long chủ yếu trên các vùng đất không canh tác lúa như đất đô thị hay cây trồng khác không phải lúa và cũng có xu hướng tăng diện tích nhưng chậm.
- Sự phân bố vùng khô hạn ở các tỉnh ven biển Bạc Liêu, Cà Mau, Sóc Trăng, Trà Vinh, và Long An trên những vùng đất cao như giồng cát, vùng canh tác nhờ nước trời ở ven biển và sự tăng giảm diện tích bị khô hạn qua các năm ở vùng này khá biến động.

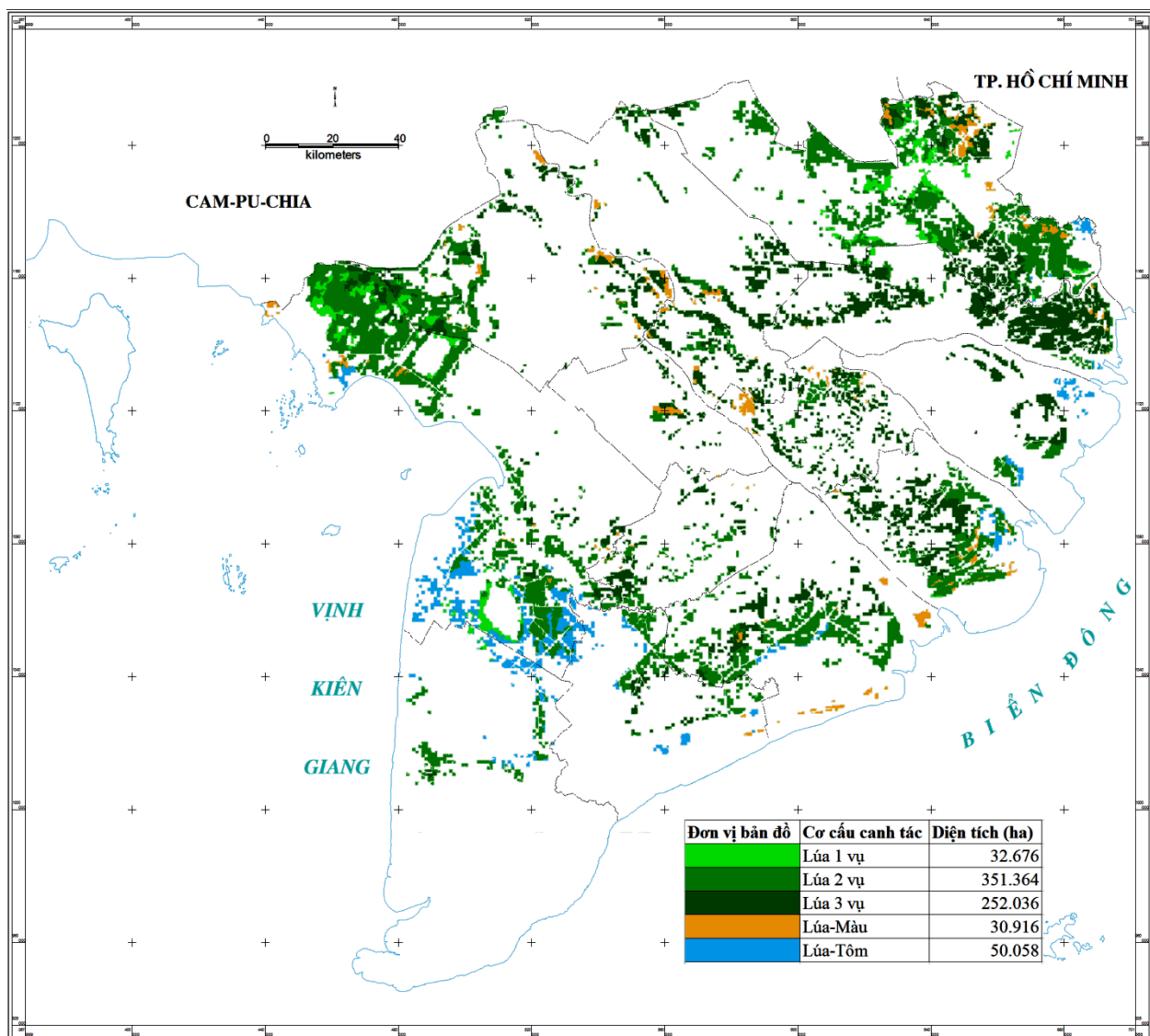


Hình 4.4 Phân bố không gian vùng khô hạn khu vực ĐBSCL qua các mùa khô năm 2000-2011 phân tích từ ảnh MODIS LST.

Hình 4.5 thể hiện xu hướng gia tăng diện tích vùng xuất hiện khô hạn ở các mùa khô từ năm 2000 đến 2011 ở khu vực ĐBSCL cho thấy có sự tương quan với xu hướng gia tăng nhiệt độ lớp phủ bề mặt đất hay nói khác đi sự gia tăng nhiệt độ theo thời gian dưới tác động của biến đổi khí hậu cũng dẫn đến sự gia tăng về diện tích khô hạn ở vùng nghiên cứu.



Hình 4.5 Xu hướng biến thiên diện tích vùng xuất hiện khô hạn ở các mùa khô từ năm 2000 đến 2011 ở khu vực ĐBSCL phân tích từ ảnh MODIS LST.



Hình 4.6 Phân bố vùng canh tác lúa bị ảnh hưởng khô hạn trong mùa khô 2010-2011 ở ĐBSCL phân tích từ ảnh MODIS LST.

Hình 4.6 xác định cụ thể trên bản đồ các khu vực canh tác lúa có khả năng bị ảnh hưởng bởi khô hạn ở ĐBSCL trong mùa khô 2010-2011. Đây là kết quả phân tích tổ hợp từ dữ liệu bản đồ phân vùng có chỉ số khô hạn cao trong mùa khô 2010-2011 với bản đồ hệ thống canh tác lúa năm 2011. Kết quả này giúp giải quyết vấn đề xác định các khu vực khô hạn ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp để có thể lựa chọn kiểu sử dụng và lịch thời vụ phù hợp.

Qua kết quả khảo sát 100 hộ trong vùng được xác định có khả năng chịu ảnh hưởng của khô hạn ở các tỉnh Bạc Liêu, Sóc Trăng và Trà Vinh và An Giang cho thấy, cơ cấu canh tác lúa bị ảnh hưởng bởi khô hạn ở khu vực có khả năng nhiễm mặn chủ yếu là hai vụ (Đông Xuân sớm – Hè Thu muộn) và lúa một vụ (Lúa-Tôm). Trên vùng đất lúa không nhiễm mặn, cơ cấu có khả năng bị ảnh hưởng bởi khô hạn chủ yếu là lúa một vụ ở vùng núi thuộc huyện Tri Tôn. Các vùng canh tác lúa 2 vụ hay 3 vụ ở An Giang ít chịu ảnh hưởng của khô hạn. Dưới đây là kết quả khảo sát ở các kiểu canh tác lúa.

- Kiểu canh tác lúa 1 vụ hay lúa-tôm: Kết quả khảo sát ở khu vực canh tác lúa một vụ sử dụng nước trời cho thấy thời gian canh tác chủ yếu từ tháng 8 đến tháng 12 dương lịch, gồm vụ Thu Đông hoặc vụ Mùa. Kiểu canh tác lúa một vụ chủ yếu khảo sát ở huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang. Đối với kiểu canh tác lúa-tôm ở ven biển tỉnh Bạc Liêu, kết quả điều tra nông hộ cho thấy ở những khu vực này, thời điểm xuống giống lúa có thể thay đổi theo năm tùy vào lượng mưa nhiều hay ít trong năm hay phụ thuộc sự xuất hiện nước mặn trên sông. Kết quả đối chiếu giữa thời gian canh tác lúa một vụ và thời gian khô hạn cho thấy:

+ Thời gian có chỉ số khô hạn TVDI cao là thời điểm đất bỏ trống không canh tác.

+ Đối với kiểu canh tác lúa một vụ, chỉ số khô hạn cao trong mùa khô kéo dài ảnh hưởng đến thời điểm xuống giống.

+ Đối với kiểu canh tác lúa-tôm, chỉ số khô hạn cao trong khoảng thời gian ngắn khi ruộng khô chờ mưa để xuống giống lúa, do đó thời gian có chỉ số khô hạn cao ở khu vực này cũng ảnh hưởng đến lịch gieo trồng lúa.

- Kiểu canh tác lúa 2 vụ: Chủ yếu là vụ Đông Xuân –Hè Thu. Trong đó vụ Đông Xuân canh tác từ đầu tháng 11/2010 đến cuối tháng 1 năm sau. Một số vùng được bao đê ngăn mặn ở tỉnh Sóc Trăng và Bạc Liêu, vụ Đông Xuân canh tác giống lúa dài ngày nên thời gian từ lúc sạ, cấy đến thu hoạch có thể kéo dài đến hết tháng 2/2011. Vụ Hè Thu thường bắt đầu từ đầu tháng 6 và kết thúc vào cuối tháng 8, nếu có mưa sớm vụ Hè Thu có thể gieo sạ từ tháng 4.

- Kiểu canh tác lúa 3 vụ: Kiểu canh tác này chủ yếu tập trung ở những vùng có hệ thống tưới đã được kiến thiết tốt, có nguồn nước ngọt dồi dào và đủ phương tiện cung cấp nước như tỉnh An Giang. Lịch xuống giống như sau:

+ Vụ Hè Thu từ tháng 4 đến tháng 8 dương lịch.

+ Vụ Thu Đông từ tháng 8-9 đến tháng 11-12 dương lịch.

+ Vụ Đông Xuân từ tháng 11-12 đến tháng 3-4 dương lịch.

Khả năng khô hạn xảy ra ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp ở những vùng canh tác 3 vụ là rất thấp do khu vực này thường có nguồn nước tưới dồi dào. Thời điểm được xác định có chỉ số khô hạn TVDI cao ở khu vực này thường rất ngắn và xuất hiện trong tháng 3 hàng năm, trùng với thời điểm chuẩn bị đất để canh tác vụ Hè Thu.

Từ kết quả đối chiếu giữa thời gian canh tác lúa và thời gian khô hạn cho thấy ở An Giang, thời gian chỉ số khô hạn TVDI cao chỉ kéo dài trong thời gian ngắn ở thời điểm chuyển vụ giữa vụ Đông Xuân (cuối tháng 2) và vụ Hè Thu (đầu tháng 4). Đây là khu vực nguồn nước tưới dồi dào, chỉ canh tác được hai vụ do chưa có đê bao và chịu ảnh hưởng của lũ. Khả năng vùng này chịu ảnh hưởng của khô hạn rất thấp.

Vùng canh tác hai vụ ĐX-HT ven biển tỉnh Sóc Trăng và Bạc Liêu với vụ Đông Xuân kết thúc sớm (tháng 1) và vụ Hè Thu trễ (tháng 5 hoặc 6). Do vậy, thời điểm chỉ số TVDI cao từ tháng 2 đến tháng 4 có thể ảnh hưởng đến tiến độ xuống giống vụ HT. Theo kết quả điều tra ở tỉnh Sóc Trăng cho thấy, những năm có mưa sớm nông dân tận dụng canh tác thêm vụ Thu Đông (tự phát) nên năng suất vụ này rất thấp do thiếu nước.

Ngoài ra, nghiên cứu đánh giá được tình hình khô hạn ở ĐBSCL khi xét các vùng canh tác lúa bị khô từ 11/2010-4/2011 (sử dụng thang đánh giá khô hạn của Hand et al., 2010). Phần lớn các vùng canh tác lúa ở ĐBSCL bị khô hạn cục bộ thời gian ngắn (8 ngày) chủ yếu từ cuối 2/2011 đến cuối 4/2011. Tuy nhiên đề tài cũng đánh giá thêm tình hình khô hạn thời gian từ 5/2011-8/2011 để có thể kết luận đầy đủ ảnh hưởng của khô hạn lên các vùng canh tác lúa ở ĐBSCL. Kết quả cho thấy các vùng canh tác lúa 2 vụ, 3 vụ, Lúa – Tôm, Lúa - Mầu bị khô hạn chủ yếu là tháng 7, phân bố ở các vùng đất ven biển như Bạc Liêu, Sóc Trăng, Trà Vinh và vùng đất cao – vùng đồi núi An Giang với diện tích không lớn. Nhưng do ảnh hưởng MODIS bị ảnh hưởng bởi mây che vào mùa mưa, ảnh hưởng đến kết quả giải đoán khô hạn, không có kết luận chính xác ảnh hưởng của khô hạn cục bộ tháng 7, tháng 8 đến cây trồng được canh tác trong thời gian mùa mưa năm 2011 này.

Kết quả giải đoán được kiểm tra thông qua điều tra hiện trạng canh tác lúa tại khu vực có chỉ số khô hạn TVDI cao ở An Giang, Sóc Trăng, Bạc Liêu cho thấy chỉ số TVDI tăng cao trong thời gian đất trồng không canh tác (chờ mưa vào tháng 7) hoặc trong thời gian canh tác nhưng cây trồng ở giai đoạn gần thu hoạch (cuối tháng 3) tưới ít hoặc không được tưới nước.

Tóm lại

Bức xạ nhiệt từ lớp phủ mặt đất có sự tương quan với nhiệt độ không khí. Qua kết quả so sánh sự biến động nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ đo trong không khí từ trạm quan trắc khí tượng ở tỉnh Sóc Trăng từ năm 2004 đến 2007 cho thấy có sự tương quan cao. Nhiệt độ bề mặt cực tiểu, cực đại và trung bình năm ở các năm tăng giảm bất thường không theo qui luật. Tuy nhiên, qua kết quả tính toán trong khoảng thời gian 12 năm cho thấy nhiệt độ cực đại có xu hướng tăng trong khi nhiệt độ trung bình và nhiệt độ cực tiểu có xu hướng giảm. Kết quả này phù hợp với các nhận định về xu hướng biến động nhiệt độ bề mặt trái đất dưới tác động của biến đổi khí hậu (IPCC, 2007; Lê Anh Tuấn, 2012).

Xu hướng gia tăng diện tích vùng xuất hiện khô hạn ở các mùa khô từ năm 2000 đến 2011 ở khu vực ĐBSCL cho thấy có sự tương quan với xu hướng gia tăng nhiệt độ lớp phủ bề mặt đất hay nói khác đi sự gia tăng nhiệt độ theo thời gian dưới tác động của biến đổi khí hậu cũng dẫn đến sự gia tăng về diện tích khô hạn ở vùng nghiên cứu.

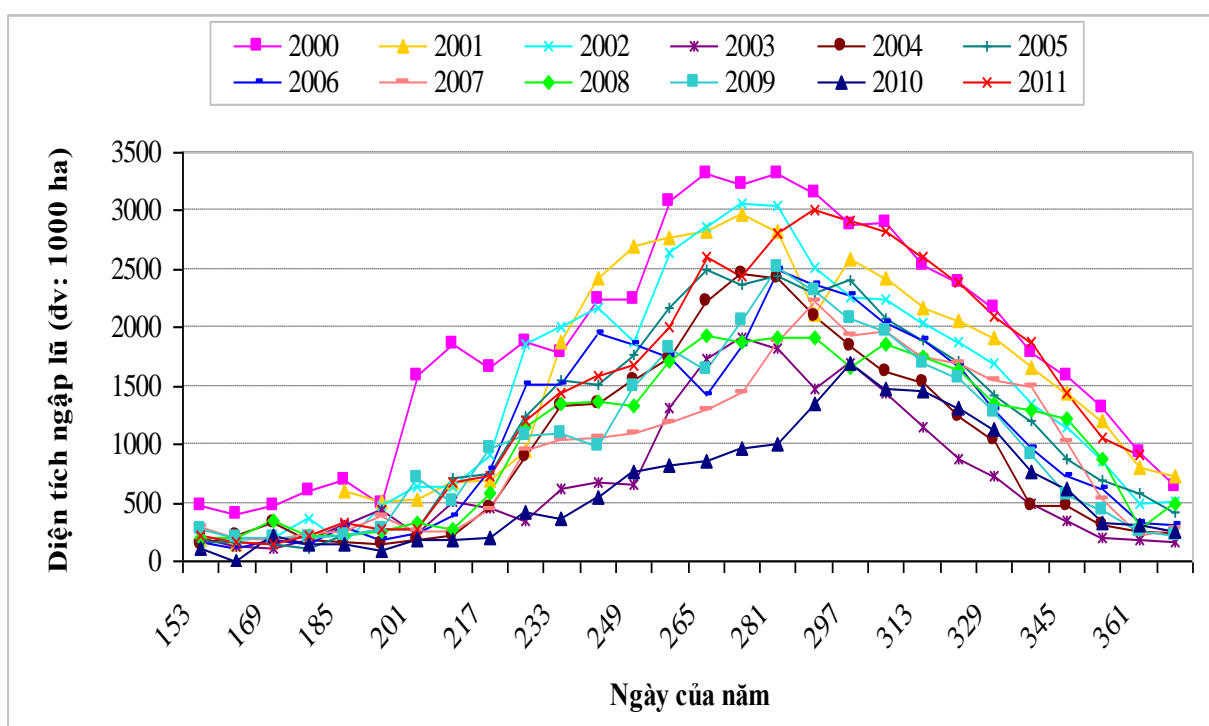
Kết quả khảo sát thực địa trong vùng được xác định có khả năng chịu ảnh hưởng của khô hạn ở các tỉnh Bạc Liêu, Sóc Trăng và Trà Vinh và An Giang cho thấy, cơ cấu canh tác lúa bị ảnh hưởng bởi khô hạn ở khu vực có khả năng nhiễm mặn chủ yếu là hai vụ (Đông Xuân sớm – Hè Thu muộn) và lúa một vụ (Lúa-Tôm). Trên vùng đất lúa không nhiễm mặn, cơ cấu có khả năng bị ảnh hưởng bởi khô hạn chủ yếu là lúa một vụ ở vùng núi

thuộc huyện Tri Tôn. Các vùng canh tác lúa 2 vụ hay 3 vụ ở An Giang ít chịu ảnh hưởng của khô hạn.

Tương tự như nhận định của Nguyễn Hồng Quyên và cộng sự (2013) về khô hạn ở ĐBSCL chủ yếu phân bố ở vùng địa hình núi cao và các tỉnh ven biển, kết quả khảo sát trong mùa khô năm 2010-2011 từ luận án cho thấy các tỉnh ven biển có diện tích lớn đất lúa có xảy ra khô hạn trên 130.000ha, bao gồm hai tỉnh Long An và Kiên Giang. Các tỉnh có diện tích đất lúa bị khô hạn trên 60.000ha bao gồm Tiền Giang, Trà Vinh và Sóc Trăng (Phụ lục 17).

4.1.2 Những tác động ngập lũ ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011

Xét trên cả lưu vực hạ lưu sông Mekong, diện tích ngập lũ có quy mô lớn nhất vào năm 2000, kế đến là năm 2001, 2002 và 2011. Với 8 năm liền (từ năm 2003 – 2010) lũ với quy mô trung bình và nhỏ, trong đó năm 2010 là năm có quy mô lũ nhỏ nhất so với 12 năm trong khoảng thời gian nghiên cứu (từ năm 2000 đến 2011) (Hình 4.7).

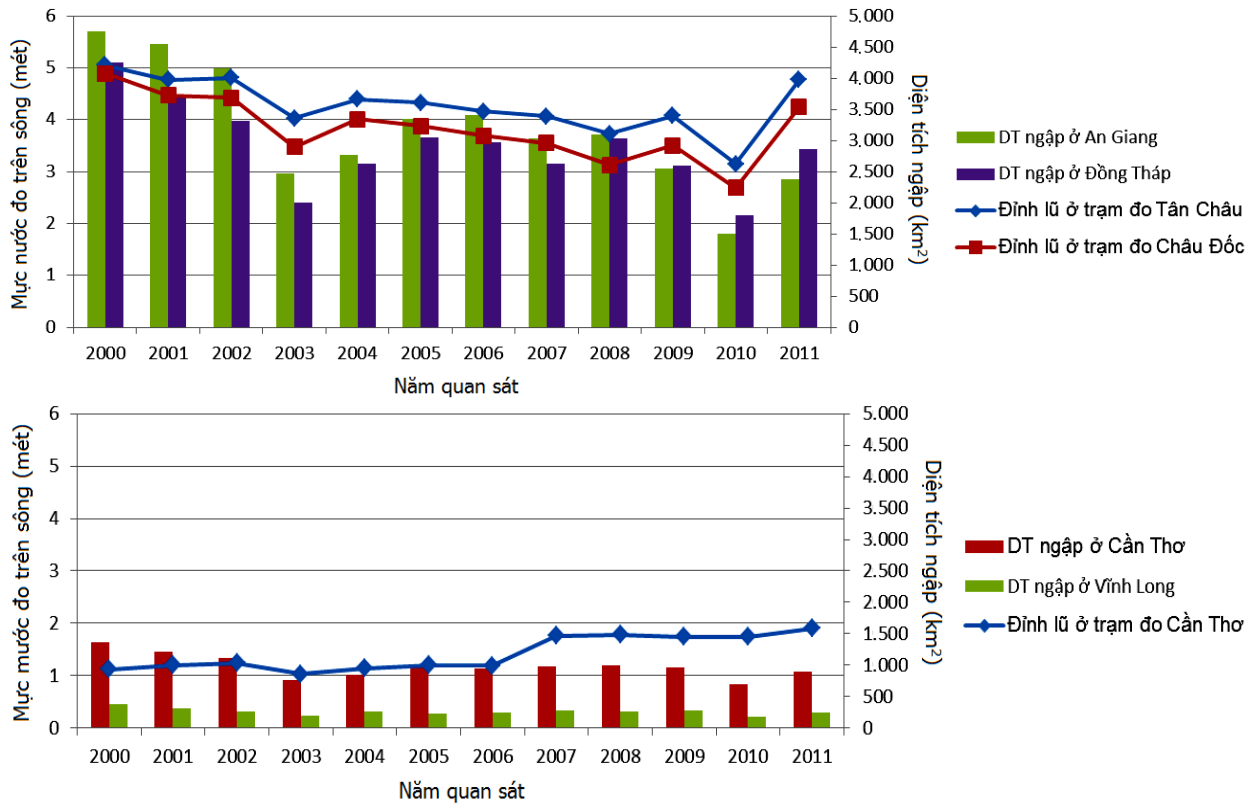


Hình 4.7. Biến động diện tích ngập lũ hàng năm lưu vực hạ lưu sông Mekong từ 2000 đến 2011 được tính toán từ ảnh MODIS.

Kết quả nghiên cứu cho thấy diễn biến diện tích ngập lũ ĐBSCL từ 2000 đến 2011 có sự biến động lớn giữa năm lũ lớn (năm 2000, 2001, 2002 và 2011) và năm lũ nhỏ (năm 2003 và 2010). Đến năm 2011, mực nước đo được trên sông chính cao nhưng diện tích ngập được giảm thiểu so với các năm cùng quy mô lũ do hiệu quả của các công trình đê bao ngăn lũ. Nước lũ có xu hướng gia tăng diện tích ngập ở các tỉnh phía Đông Bắc (tỉnh Đồng Tháp và Long An) và hạ nguồn ĐBSCL (tỉnh Cần Thơ) (Hình 4.8).

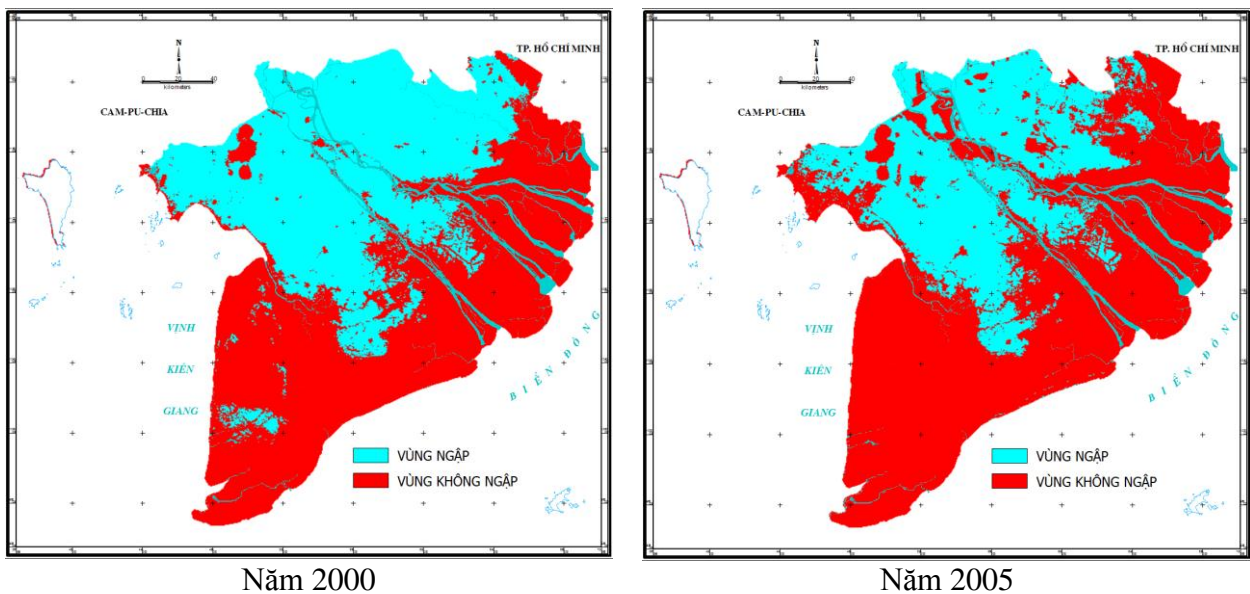
Kết quả phân tích cho thấy lũ ở ĐBSCL có xu hướng thay đổi về vị trí ngập theo thời gian. Mặc dù mực nước trên sông chính tại các tỉnh thượng nguồn cao nhưng diện tích ngập lại giảm so với những năm có cùng quy mô lũ (cụ thể mùa lũ năm 2011 so với các năm 2000, 2001 và 2002). Có thể các công trình thủy lợi đã có tác động thay đổi đáng kể đến tình trạng lũ lụt ở ĐBSCL. Bên cạnh lợi ích mang lại từ công trình nhằm giúp giảm thiểu diện tích ngập lũ, làm tăng diện tích canh tác góp phần tăng sản lượng lương thực thì các công trình này đã

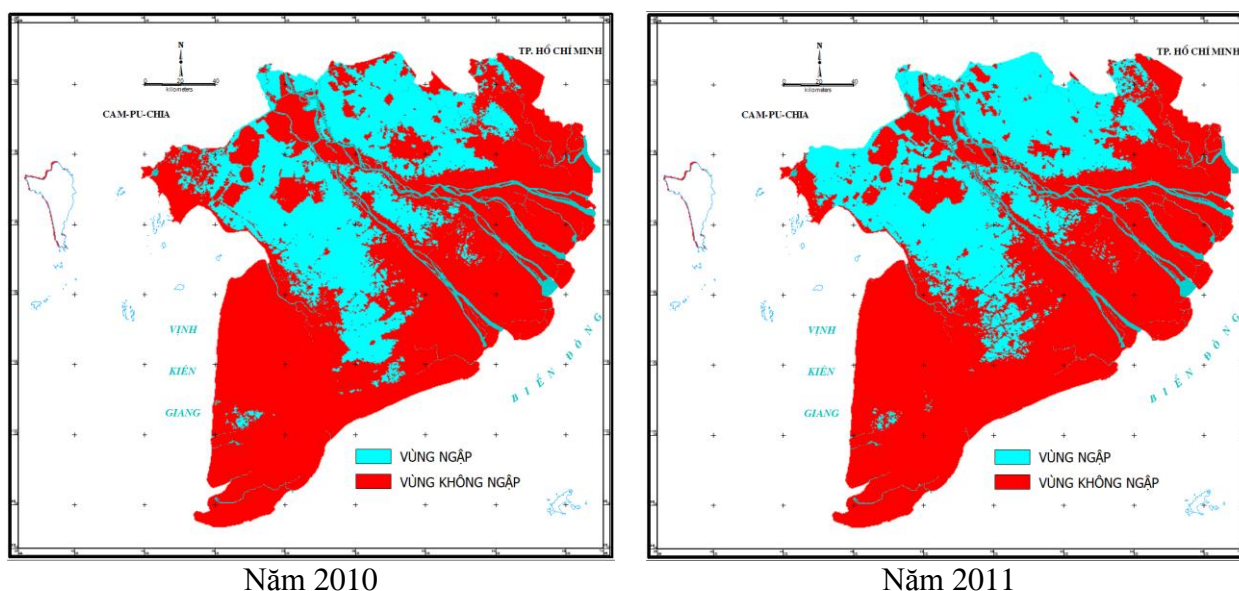
làm thay đổi tình trạng lũ lụt. Diện tích ngập lũ nội đồng giảm ở những vùng có đê bao, bờ bao ngăn lũ (như vùng An Giang và Đồng Tháp Mười) nhưng lại có xu hướng gia tăng mực nước lũ ở các tỉnh hạ nguồn (như tỉnh Hậu Giang, Cần Thơ, Tiền Giang) và vùng Long An.



Hình 4.8 Biến động diện tích ngập lũ tính toán từ ảnh MODIS tương ứng với mực nước đo trên sông ở một số tỉnh ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011.

Từ kết quả quan sát chuỗi ảnh ngập lũ theo thời gian, đề tài đã xây dựng được các bản đồ phân bố vùng có ngập lũ trong năm ở mỗi năm quan sát. Hình 4.9 trình bày đại diện sự phân bố vùng có xảy ra ngập lũ ở ĐBSCL ở các năm 2000, 2005, 2010 và 2011. Kết quả tính toán diện tích vùng ngập lũ ở ĐBSCL qua từng năm cũng được trình bày ở Bảng 4.2. Kết quả trình bày cho thấy diện tích vùng ngập lũ ở ĐBSCL đã giảm theo thời gian và chủ yếu ở khu vực 03 tỉnh đầu nguồn như An Giang, Đồng Tháp, Kiên Giang.





Hình 4.9 Bản đồ phân vùng ngập lũ khu vực ĐBSCL ở các năm 2000, 2005, 2010 và 2011.

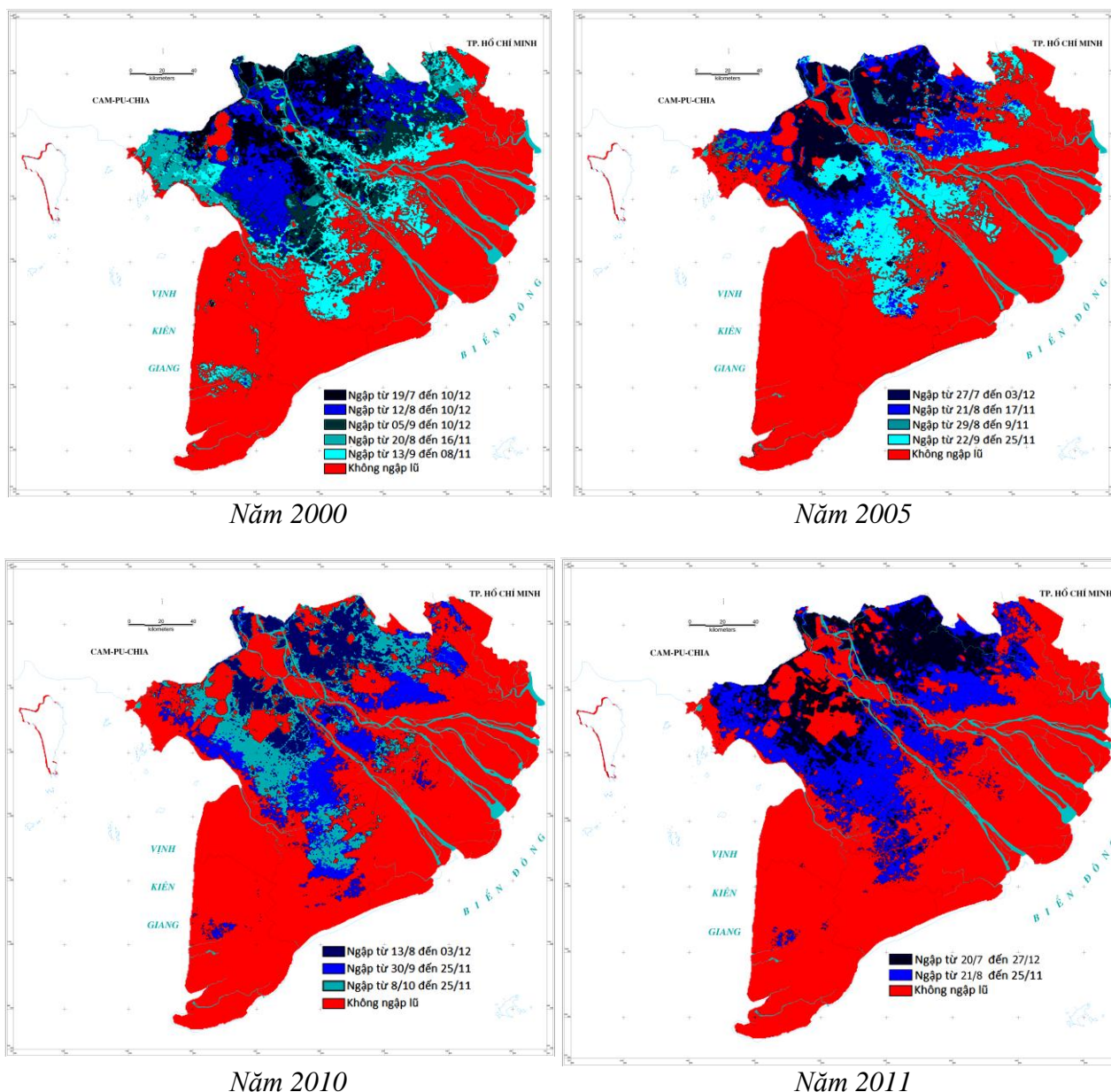
Bảng 4.2. Diện tích hiện trạng ngập ở ĐBSCL qua các năm (ĐVT: nghìn ha).

| Hiện trạng ngập | Năm 2000 | Năm 2005 | Năm 2010 | Năm 2011 |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Vùng ngập | 1.767 | 1.328 | 1.149 | 1.047 |
| Không ngập | 2.251 | 2.691 | 2.870 | 2.972 |

Kết quả trình bày ở Hình 4.10 cho thấy thời gian ngập lũ liên tục có sự thay đổi giữa các năm. Nhìn chung, những năm với quy mô lũ lớn luôn có thời gian ngập lũ dài hơn so với các năm quy mô lũ trung bình và nhỏ. Đặc biệt, thời gian ngập lũ dọc theo sông chính và các tỉnh đầu nguồn của Đồng Bằng Sông Cửu Long (gồm tỉnh An Giang, Đồng Tháp và Long An) luôn kết thúc trễ hơn so với các nơi khác.

Đối với khu vực ĐBSCL, lũ lụt thường kéo dài từ cuối tháng 6 đến cuối tháng 12 hàng năm và được phân ra làm ba giai đoạn. Giai đoạn thứ nhất là lúc lũ lụt bắt đầu khi mực nước trên sông chính bắt đầu dâng cao và theo các kênh rạch chảy tràn vào vùng Tứ Giác Long Xuyên và Đồng Tháp Mười, khoảng đầu tháng 7 đến cuối tháng 8. Sau đó là giai đoạn đỉnh lũ, tùy theo từng năm lũ về sớm hay muộn mà đỉnh lũ cũng xuất hiện với thời gian tương ứng. Giai đoạn cuối cùng là thời điểm lũ rút, thường bắt đầu vào khoảng nửa cuối tháng 10 đến cuối tháng 12 thì mực nước hạ thấp dần.

Các tỉnh An Giang và Đồng Tháp luôn có thời gian ngập kéo dài hơn so với các tỉnh khác trong khu vực ĐBSCL. Những năm lũ lớn (năm 2000, 2001 và 2002) một số nơi trong tỉnh có thời gian ngập lũ kéo dài hơn 5 tháng. Riêng năm 2011 cũng là một trong những năm lũ lớn, đến thời điểm cuối năm mực nước vẫn chưa rút hoàn toàn, do đó thời gian ngập lũ năm 2011 cũng tương đương với những năm lũ lớn trước đó (từ năm 2000 đến 2002). Thông thường thời gian ngập lũ chỉ từ 4-4,5 tháng đối với những năm có quy mô lũ trung bình và chỉ ngập khoảng 4 tháng đối với năm lũ nhỏ nhất (năm 2010) với tổng diện tích ngập không đáng kể so với các mùa lũ còn lại.

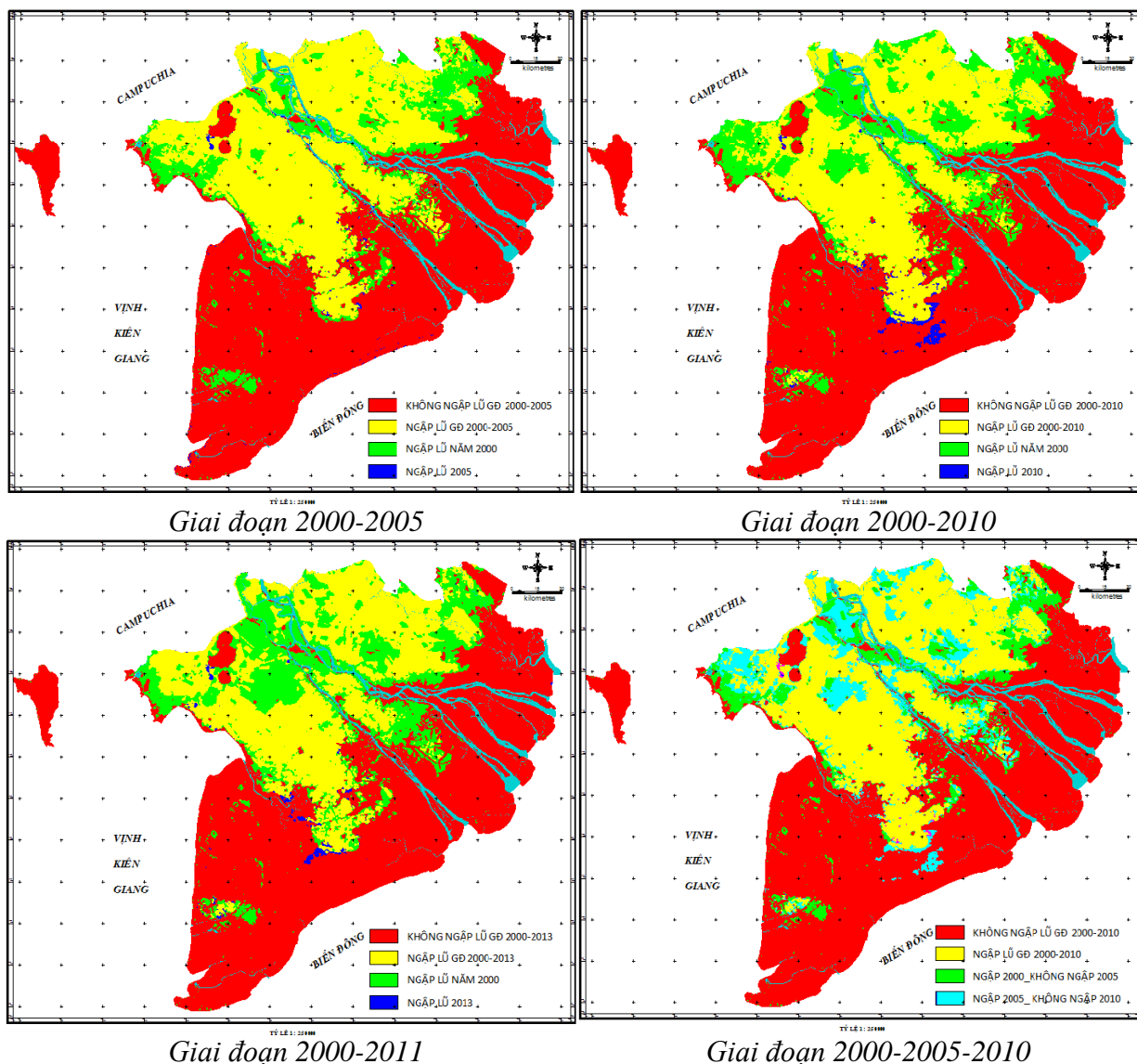


Hình 4.10 Diễn tiến ngập lũ trong năm ở ĐBSCL qua các giai đoạn khảo sát từ năm 2000 đến 2011 giải đoán từ ảnh viễn thám MODIS.

Để đánh giá được xu hướng ngập lũ qua các năm quan sát, đề tài đã xây dựng các bản đồ biến động vùng ngập lũ qua từng giai đoạn 2000-2005, giai đoạn 2000-2010 và giai đoạn 2000-2011 (Hình 4.11). Diện tích biến động ngập lũ ở từng giai đoạn nói trên cũng được tính toán và trình bày ở Bảng 4.3.

Bảng 4.3 Diện tích biến động ngập ở ĐBSCL qua từng giai đoạn khảo sát (ĐVT: nghìn ha).

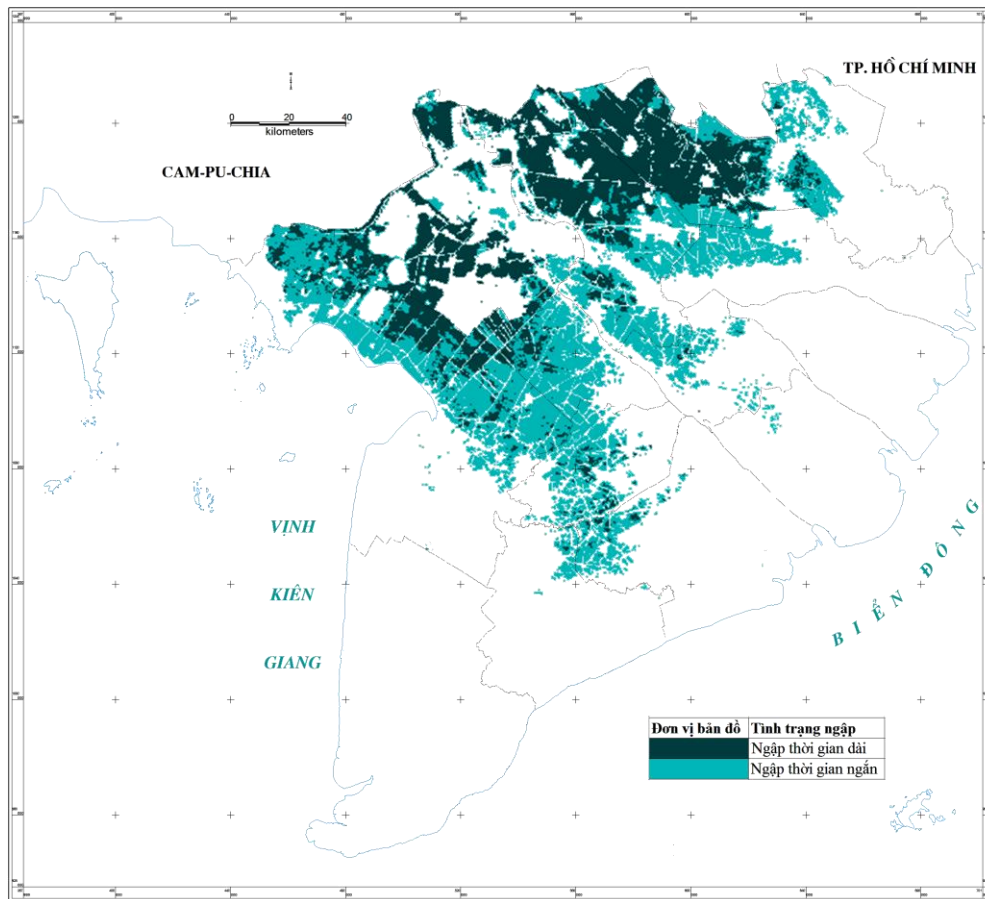
| Hiện trạng ngập | Giai đoạn 2000-2005 | Giai đoạn 2000-2010 | Giai đoạn 2000-2011 |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Không ngập | 2.231 | 2.219 | 2.234 |
| Vùng ngập | 1.305 | 1.123 | 1.035 |
| Vùng giảm ngập | 457 | 639 | 727 |
| Vùng ngập mới | 25 | 36 | 22 |



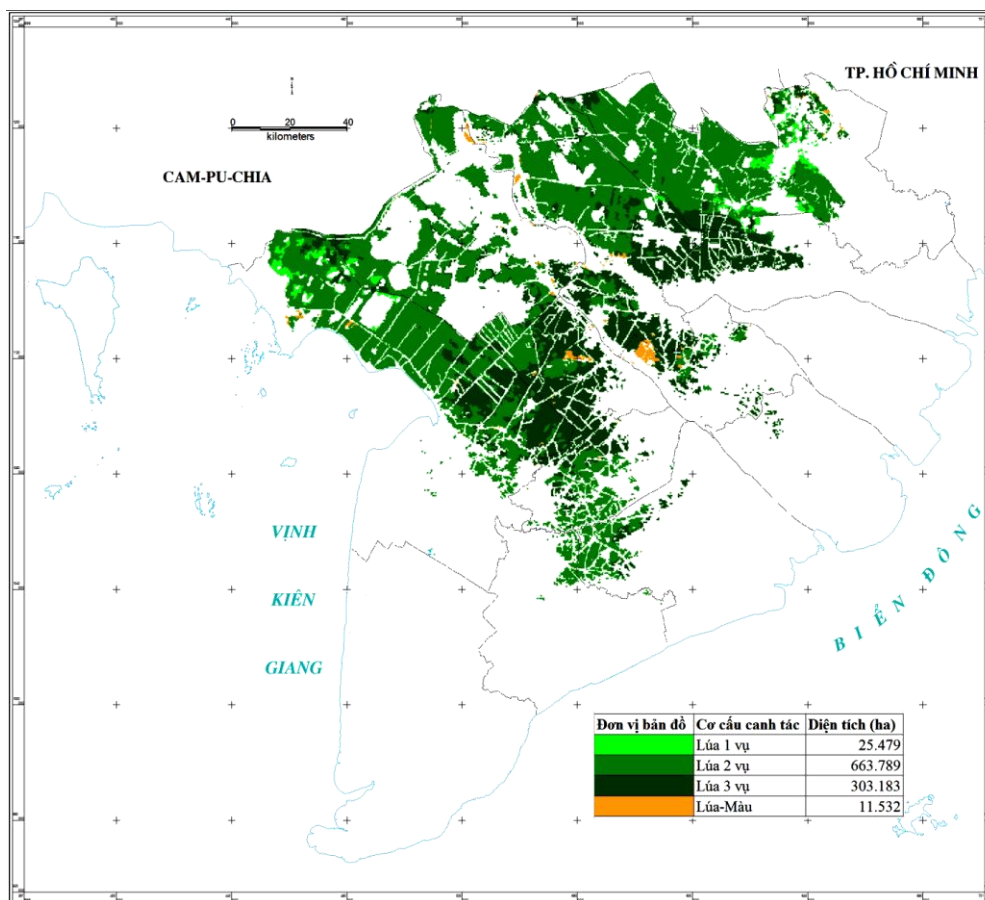
Hình 4.11 Diễn tiến phân vùng ngập lũ ở ĐBSCL giai đoạn khảo sát từ năm 2000 đến 2011 giải đoán từ ảnh viễn thám MODIS.

Kết quả đạt được cho thấy nhìn chung diện tích ngập lũ ở ĐBSCL ngày càng giảm theo thời gian. Trên bản đồ, vùng màu xanh lá cây là vùng đã không còn ngập lũ ở từng giai đoạn quan sát. Các vùng này được bao đê chống lũ và chuyển từ canh tác 2 vụ sang 3 vụ lúa trong năm phân bố chủ yếu ở An Giang, Kiên Giang và Đồng Tháp. Kết quả Bảng 4.3 cho thấy trong vòng 12 năm tính từ 2000 đến 2011, diện tích ngập lũ ở ĐBSCL đã giảm khoảng 700 nghìn ha chủ yếu do việc gia tăng diện tích vùng bao đê phục vụ thâm canh tăng vụ. Quan sát diễn tiến lũ trong mùa lũ năm 2011 (Hình 4.12) cho thấy có 02 vùng có chế độ ngập lũ khác nhau tương ứng các hệ thống canh tác lúa (Hình 4.13) khác nhau như sau:

Vùng ngập thời gian dài: Vùng này có thời gian ngập sớm và kéo dài hơn so với vùng còn lại. Khu vực Đồng Tháp Mười ngập hơn 5 tháng, từ 20/7/2011 đến 27/12/2011. Vùng Tứ Giác Long Xuyên ngập trễ hơn nhưng cũng kết thúc muộn từ 5/8/2011 đến 27/12, thời gian ngập khoảng 5 tháng. Cơ cấu canh tác chủ yếu ở vùng này là Lúa 2 vụ. Trên bản đồ Hình 4.13 cho thấy vùng này có rải rác một số khu vực vẫn canh tác Lúa 3 vụ. Kết quả điều tra khảo sát thời điểm cuối năm 2011 tại Châu Đốc, rỉnh An Giang cho thấy các vùng canh tác lúa 3 vụ tại đây có vụ Hè Thu đã mất trắng do không kịp thu hoạch trước khi lũ về.



Hình 4.12 Diễn tiến ngập lũ năm 2011 ở ĐBSCL được phân tích từ ảnh viễn thám MODIS.



Hình 4.13 Hiện trạng canh tác lúa vùng ngập lũ năm 2011 ở ĐBSCL giải đoán từ ảnh viễn thám MODIS.

Vùng ngập thời gian ngắn: Vùng này có thời gian ngập trễ và ngắn hơn. Vùng cận khu vực Đồng Tháp Mười ở Đồng Tháp tiếp giáp Long An bắt đầu ngập từ 21/8/2011 đến 25/11/2011, một số vùng ở Long An kết thúc vào khoảng cuối tháng 12. Vùng phía ven biển Tây thuộc Kiên Giang ngập từ 22/9/2011 đến 3/12/2011, thời gian ngập diễn ra tương tự ở khu vực thuộc Cần Thơ và vùng giữa sông Tiền và sông Hậu. Mức độ ngập có giảm dần khi đến khu vực thấp trũng tiếp giáp giữa Hậu Giang và Sóc Trăng, thời gian ngập từ 30/9/2011 đến 9/11/2011. Cơ cấu canh tác chủ yếu ở ngập nông có cả Lúa 2 vụ và Lúa 3 vụ. Tuy nhiên ở tỉnh Long An, Kiên Giang chỉ canh tác chủ yếu Lúa 2 vụ. Điều này có thể do độ sâu ngập cao làm ảnh hưởng đến chế độ canh tác ở hai tỉnh nói trên.

Tóm lại

Qua những kết quả phân tích từ dữ liệu ảnh viễn thám MODIS cho thấy lũ ở ĐBSCL có xu hướng thay đổi về vị trí ngập so với trước đây, kết quả này phù hợp với nhận định của Ngô Thanh Thoảng và Võ Quang Minh (2013) cho rằng diện tích ngập có xu hướng gia tăng theo hướng Đông Bắc và các tỉnh hạ nguồn ĐBSCL. Mặc dù mực nước trên sông chính tại các tỉnh thượng nguồn cao nhưng diện tích ngập lại giảm so với những năm có cùng quy mô lũ (cụ thể mùa lũ năm 2011 so với các năm 2000, 2001 và 2002). Điều này cho thấy các công trình thủy lợi đã có tác động thay đổi đáng kể đến tình trạng lũ lụt ở ĐBSCL.

Tương tự như kết quả nghiên cứu của Salamoto *et al.* (2007) ở ĐBSCL cho thấy giai đoạn 2000-2004 thì diện tích lũ lụt trong năm 2000 là lớn nhất trong các năm 2000 – 2004, diện tích bị ngập lũ năm 2003 là nhỏ nhất trong cùng giai đoạn khảo sát. Kết quả nghiên cứu của luận án cũng cho thấy giai đoạn từ 2000 đến 2011 thì những năm lũ lớn là năm 2000, 2001, 2002 và 2011 và những năm lũ nhỏ là năm 2003 và 2010.

Thời gian ngập lũ liên tục có sự thay đổi giữa các năm. Nhìn chung, những năm với quy mô lũ lớn luôn có thời gian ngập lũ dài hơn so với các năm quy mô lũ trung bình và nhỏ. Đặc biệt, thời gian ngập lũ dọc theo sông chính và các tỉnh đầu nguồn của ĐBSCL (gồm tỉnh An Giang, Đồng Tháp và Long An) luôn kết thúc trễ hơn so với các nơi khác.

Kết quả khảo sát mùa lũ năm 2011, bốn tỉnh có diện tích đất lúa bị ngập lũ cao nhất là tỉnh Kiên Giang (> 170.000ha), tỉnh Đồng Tháp (>170.000ha), tỉnh Long An (>150.000ha) và tỉnh An Giang (>110.000ha). Ngoài ra, hai tỉnh khác cũng có diện tích lúa bị ngập đáng kể là Cần Thơ (>70.000ha) và Hậu Giang (>45.000ha) (Phụ lục 18).

Nhìn chung diện tích ngập lũ ở ĐBSCL ngày càng giảm theo thời gian. Các vùng được bao đê chống lũ và chuyển từ canh tác 2 vụ sang 3 vụ lúa trong năm phân bố chủ yếu ở An Giang, Kiên Giang và Đồng Tháp. Kết quả cũng cho thấy trong vòng 12 năm tính từ 2000 đến 2011, diện tích ngập lũ ở ĐBSCL đã giảm khoảng 700 nghìn ha chủ yếu do việc gia tăng diện tích vùng bao đê phục vụ thâm canh tăng vụ.

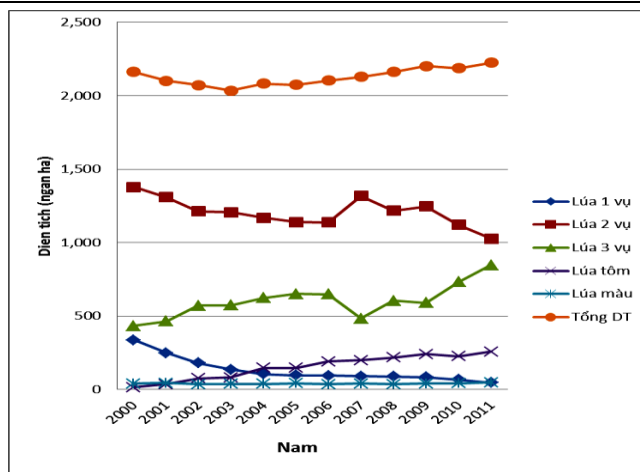
4.1.3. Thay đổi cơ cấu mùa vụ lúa khu vực ĐBSCL giai đoạn từ năm 2000 đến 2011

Cơ cấu mùa vụ thay đổi theo sự thay đổi điều kiện sinh thái của từng vùng cũng như sự phát triển của kinh tế nông nghiệp, hệ thống thủy lợi cung cấp nguồn nước tưới, đê bao ngăn lũ và tình hình xâm nhập mặn (Nguyễn Ngọc Đệ, 2009). Kết quả nghiên cứu cơ cấu mùa vụ ở ĐBSCL từ năm 2000 đến năm 2011 cũng cho thấy cơ cấu mùa vụ luôn thay đổi (Bảng 4.4). Tổng diện tích sản xuất lúa ở ĐBSCL tăng nhẹ trong khoảng thời gian từ 2000 đến 2011, khoảng 22.000ha. Tổng diện tích lúa thấp nhất vào năm 2003 (hơn 2,0 triệu ha) do diện tích canh tác Lúa 1 vụ giảm rõ rệt ở thời điểm này. Từ năm 2003 đến 2011 diện tích canh tác lúa nói chung tăng dần và đạt cao nhất năm 2011 (hơn 2,2 triệu ha). Biểu đồ ở Hình 4.14 cho thấy có sự tương quan nghịch giữa diện tích canh tác lúa 2

vụ và 3 vụ. Tuy nhiên xu hướng chung là diện tích lúa 2 vụ giảm để chuyển đổi qua cơ cấu lúa 3 vụ. Diện tích lúa 1 vụ cũng giảm nhiều để chuyển qua lúa 2 vụ và Lúa-Tôm.

Bảng 4.4 Diện tích cơ cấu mùa vụ trong năm ở ĐBSCL qua các năm 2000, 2005, 2010 và 2011 từ kết quả giải đoán ảnh MODIS (ĐVT: ngàn ha)

| Năm | Lúa 1 vụ | | | Lúa 2 vụ | Lúa 3 vụ | Tổng DT |
|------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|
| | Lúa 1 vụ | Lúa-Tôm | Lúa-Màu | | | |
| 2000 | 337 | 15 | 41 | 1,378 | 433 | 2,204 |
| 2005 | 97 | 145 | 42 | 1,139 | 650 | 2,073 |
| 2010 | 68 | 225 | 42 | 1,121 | 731 | 2,187 |
| 2011 | 46 | 258 | 48 | 1,026 | 848 | 2,226 |



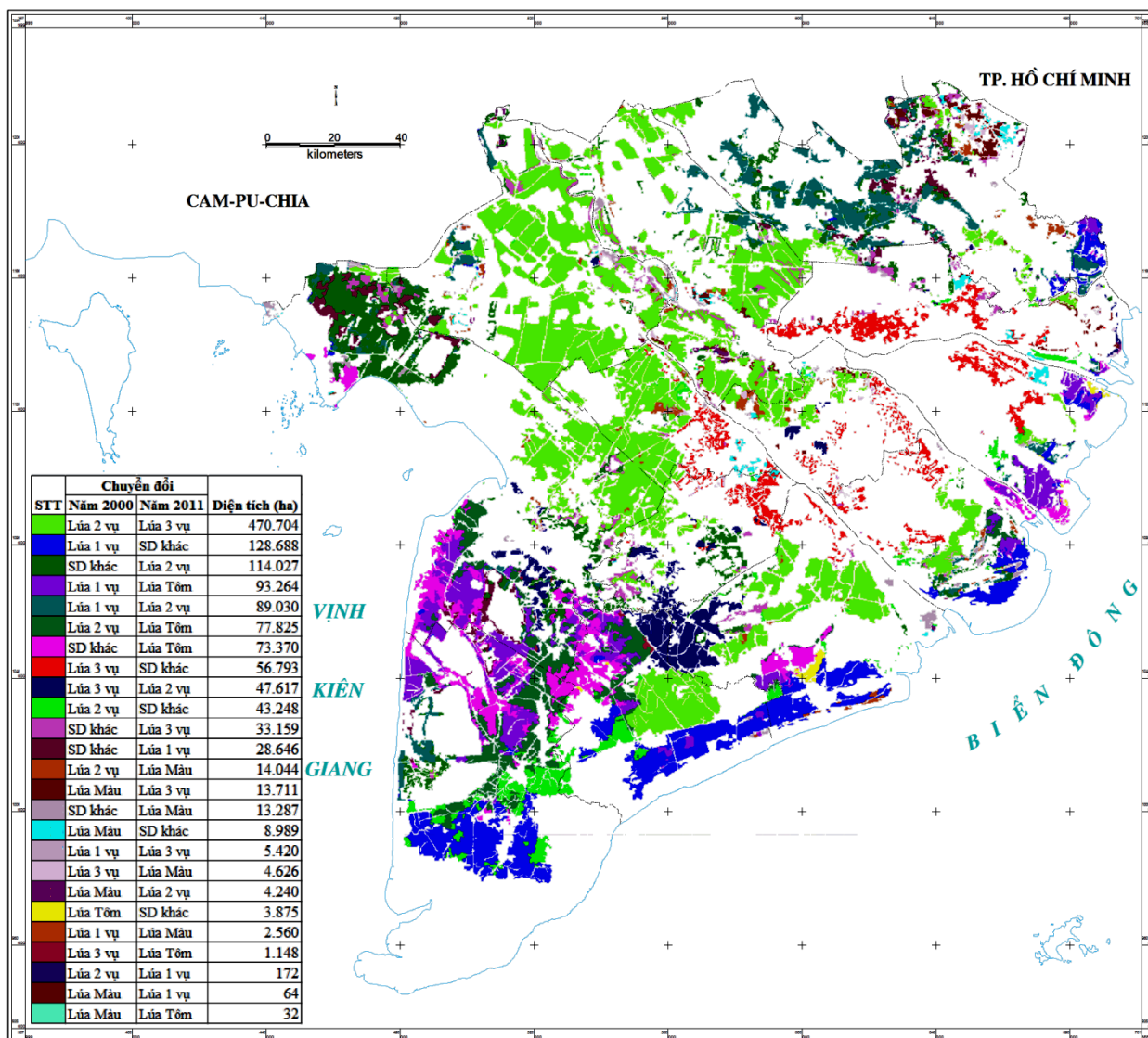
Hình 4.14 Biến động diện tích 05 cơ cấu mùa vụ lúa điển hình ở ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 từ số liệu giải đoán ảnh MODIS.

Năm 2007, diện tích lúa 3 vụ giảm mạnh chuyển sang lúa 2 vụ (do ảnh hưởng bởi dịch rầy này năm 2007) và do một số tỉnh trong khu vực ĐBSCL tiếp tục thực hiện chủ trương ngừng sản xuất lúa vụ 3, xả lũ vào đồng ruộng để cải tạo đất đai (Nguyễn Quang, 2007). Kết quả tính toán cho thấy diện tích lúa 3 vụ ĐX-HT-TĐ đã chuyển chủ yếu sang lúa 2 vụ ĐX-HT, không làm vụ TĐ hoặc chuyển vụ TĐ thành vụ Màu. Tuy nhiên, từ năm 2008 đến năm 2011, diện tích lúa 3 vụ đã tăng nhanh trở lại.

Để thấy được sự phân bố không gian của các vùng có chuyển đổi cơ cấu canh tác lúa, dữ liệu bản đồ cơ cấu mùa vụ năm 2000 và 2011 được xử lý theo phương pháp tổ hợp. Kết quả Hình 4.15 và Bảng 4.5 cho thấy trong vòng 12 năm từ 2000 đến 2011 đã có sự chuyển đổi mạnh mẽ trong các cơ cấu canh tác lúa như sau:

Bảng 4.5 Các kiểu chuyển đổi cơ cấu canh tác lúa chủ yếu ở ĐBSCL giai đoạn từ năm 2000 đến 2011 phân tích được từ ảnh viễn thám MODIS.

| Stt | Cơ cấu canh tác | | Diện tích chuyển đổi (ha) | Stt | Cơ cấu canh tác | | Diện tích chuyển đổi (ha) |
|-----|-----------------|----------|---------------------------|-----|-----------------|----------|---------------------------|
| | Năm 2000 | Năm 2011 | | | Năm 2000 | Năm 2011 | |
| 1 | Lúa 2 vụ | Lúa 3 vụ | 470.704 | 13 | Lúa 2 vụ | Lúa Màu | 14.044 |
| 2 | Lúa 1 vụ | SD khác | 128.688 | 14 | Lúa Màu | Lúa 3 vụ | 13.711 |
| 3 | SD khác | Lúa 2 vụ | 114.027 | 15 | SD khác | Lúa Màu | 13.287 |
| 4 | Lúa 1 vụ | Lúa Tôm | 93.264 | 16 | Lúa Màu | SD khác | 8.989 |
| 5 | Lúa 1 vụ | Lúa 2 vụ | 89.030 | 17 | Lúa 1 vụ | Lúa 3 vụ | 5.420 |
| 6 | Lúa 2 vụ | Lúa Tôm | 77.825 | 18 | Lúa 3 vụ | Lúa Màu | 4.626 |
| 7 | SD khác | Lúa Tôm | 73.370 | 19 | Lúa Màu | Lúa 2 vụ | 4.240 |
| 8 | Lúa 3 vụ | SD khác | 56.793 | 20 | Lúa Tôm | SD khác | 3.875 |
| 9 | Lúa 3 vụ | Lúa 2 vụ | 47.617 | 21 | Lúa 1 vụ | Lúa Màu | 2.560 |
| 10 | Lúa 2 vụ | SD khác | 43.248 | 22 | Lúa 3 vụ | Lúa Tôm | 1.148 |
| 11 | SD khác | Lúa 3 vụ | 33.159 | 23 | Lúa 2 vụ | Lúa 1 vụ | 172 |
| 12 | SD khác | Lúa 1 vụ | 28.646 | 24 | Lúa Màu | Lúa 1 vụ | 64 |



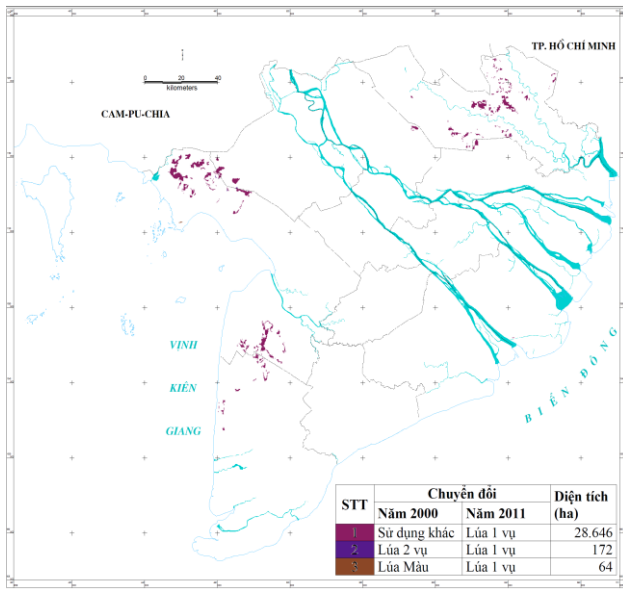
Hình 4.15. Phân bố vùng có sự chuyển đổi cơ cấu canh tác lúa ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011.

- Nhóm chuyển đổi sang cơ cấu canh tác Lúa 1 vụ:

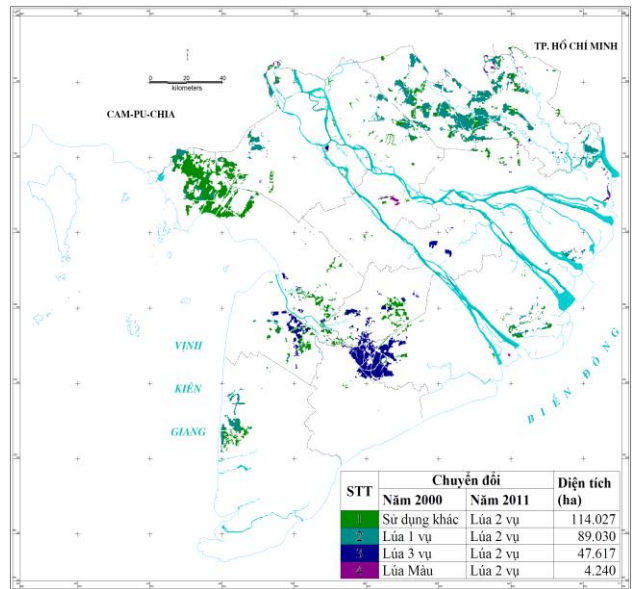
Chiếm diện tích nhỏ so với các nhóm chuyển đổi khác. Kiểu chuyển đổi chủ yếu là đất Sử dụng khác chuyển sang đất Lúa 1 vụ và chiếm hơn 26 ngàn hecta gồm đất chưa sử dụng được khai thác chuyển sang Lúa 1 vụ ở khu vực Hà Tiên và Hòn Đất, Kiên Giang và đất rừng tràm chuyển sang Lúa 1 vụ ở Long An và U Minh Thượng, Kiên Giang (Hình 4.16a).

- Nhóm chuyển đổi sang cơ cấu canh tác Lúa 2 vụ:

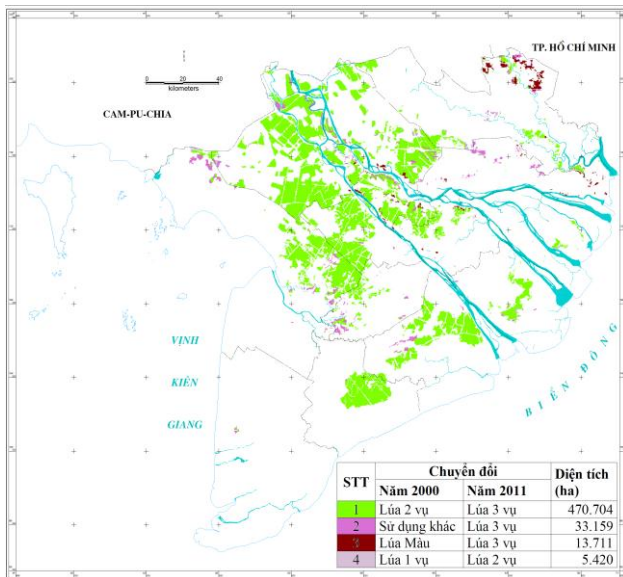
Bao gồm đất Sử dụng khác (đất rừng tràm, đất chưa sử dụng) chuyển sang canh tác Lúa 2 vụ chiếm hơn 114 ngàn hecta phân bố ở Kiên Giang, Cà Mau, rải rác ở Long An, Hậu Giang và vùng đất ven biển được ngọt hóa ở Trà Vinh, Bến Tre. Kiểu chuyển đổi thứ hai là đất Lúa 1 vụ (lúa Mùa) chuyển sang đất Lúa 2 vụ. Kiểu chuyển đổi này tập trung ở Long An và rải rác ở Kiên Giang và Cà Mau chiếm diện tích khoảng 89 ngàn hecta. Đặc biệt ở nhóm này có sự chuyển đổi từ Lúa 3 vụ (ĐX-HT-TĐ) sang Lúa 2 vụ (ĐX-HT) và bỏ vụ TĐ. Hình 4.16b cho thấy kiểu chuyển đổi này xuất hiện ở vùng trũng tiếp giáp giữa tỉnh Hậu Giang và Sóc Trăng, phía Bắc U Minh Thượng, Kiên Giang. Sự chuyển đổi này bắt đầu xuất hiện từ năm 2003 đến năm 2006 thì chuyển hẳn từ Lúa 3 vụ sang Lúa 2 vụ và chiếm diện tích khá lớn (hơn 47 ngàn hecta).



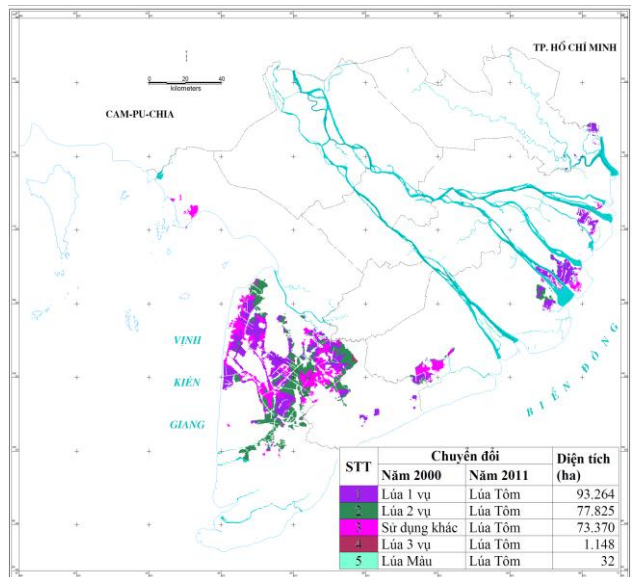
a) Nhóm cơ cấu chuyển sang Lúa 1 vụ



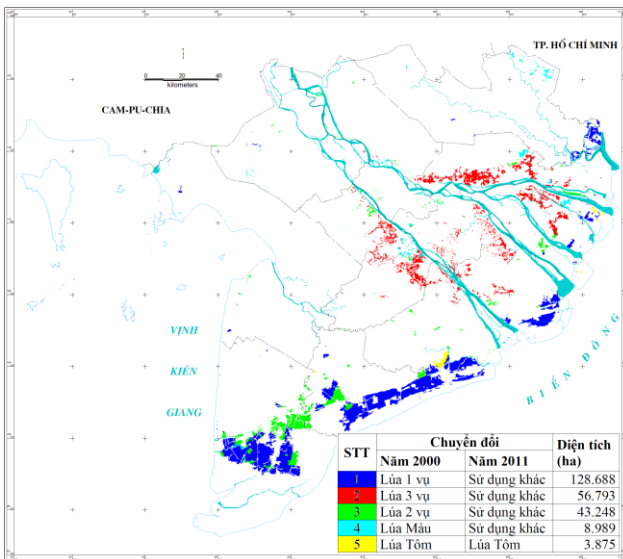
b) Nhóm cơ cấu chuyển sang Lúa 2 vụ



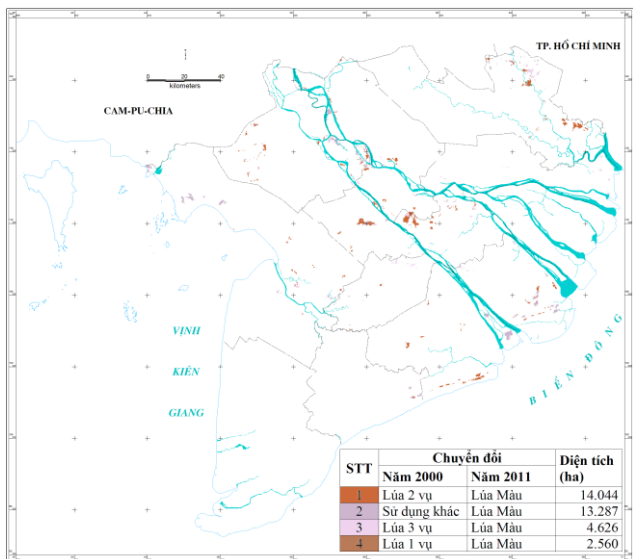
c) Nhóm cơ cấu chuyển sang Lúa 3 vụ



d) Nhóm cơ cấu chuyển sang Lúa Tôm



e) Nhóm cơ cấu chuyển sang Sử dụng khác



g) Nhóm cơ cấu chuyển sang Lúa-Mầu

Hình 4.16 Phân bố các vùng chuyển đổi cơ cấu canh tác lúa chủ yếu ở ĐBSCL giai đoạn quan sát từ năm 2000 đến 2011.

- Nhóm chuyển đổi sang cơ cấu canh tác Lúa 3 vụ:

Nhóm chuyển đổi này chiếm diện tích lớn nhất và chủ yếu là kiểu chuyển đổi từ lúa 2 vụ sang 3 vụ với hơn 470 ngàn hecta (Hình 4.16c). Nguyên nhân chuyển đổi với diện tích lớn do tiến trình bao đê ngăn lũ phục vụ thâm canh tăng vụ ở các tỉnh chịu ảnh hưởng của ngập lũ hàng năm ở ĐBSCL như An Giang, Đồng Tháp, Kiên Giang và Cần Thơ.

Riêng đối với các tỉnh ven biển thì gia tăng diện tích từ 2 vụ nước trời lên 3 vụ trên vùng ngọt hóa chủ yếu ở Sóc Trăng, Bạc Liêu và Trà Vinh. Ngoài ra, diện tích lúa 3 vụ tăng lên do các kiểu chuyển đổi từ đất Sử dụng khác (33 ngàn hecta), Lúa Màu chuyển sang (13 ngàn hecta) và Lúa 1 vụ chuyển sang (hơn 5 ngàn hecta).

- Nhóm chuyển đổi sang cơ cấu canh tác Lúa Tôm:

Đây có thể xem là kiểu chuyển đổi thích ứng với biến đổi khí hậu và có khả năng bền vững do có hiệu quả kinh tế trong điều kiện hiện tại. Đóng góp diện tích lớn cho kiểu chuyển đổi này chủ yếu là từ cơ cấu Lúa 1 vụ nước trời (93 ngàn hecta) và Lúa 2 vụ nước trời (gần 78 ngàn hecta). Ngoài ra, đất Sử dụng khác như một số diện tích đất rừng hay đất chuyên tôm cũng chuyển đổi khoảng 73 ngàn hecta sang canh tác Lúa Tôm. Các kiểu chuyển đổi này chiếm diện tích nhiều nhất ở Cà Mau, một diện tích nhỏ còn lại rải rác ở ven biển các tỉnh Sóc Trăng, Trà Vinh, Bến Tre và Long An (Hình 4.16d).

- Nhóm chuyển đổi sang Sử dụng khác (không canh tác lúa):

Kiểu chuyển đổi thứ hai cũng mang tính chất thích ứng với biến đổi khí hậu đó là Lúa 1 vụ nước trời và Lúa 2 vụ nước trời chuyển sang chuyên Tôm ở ven biển với diện tích tương ứng là hơn 128 ngàn hecta và hơn 43 ngàn hecta. Diện tích chuyển đổi phân bố tập trung ở hai tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu, còn lại phân bố rải rác ở Sóc Trăng, Trà Vinh, Bến Tre và Long An (Hình 4.16e). Đặc biệt, ở nhóm chuyển đổi này còn có sự chuyển đổi từ Lúa 3 vụ sang đất Sử dụng khác là Thổ cư và Cây ăn trái chiếm diện tích khoảng 43 ngàn hecta tập trung trên vùng đất phù sa cao ven hai bên sông Tiền và sông Hậu. Kiểu chuyển đổi này ngoài nguyên nhân nhu cầu đất ở do áp lực gia tăng dân số còn có nguyên nhân về vấn đề khô hạn hay thiếu nước tưới.

- Nhóm chuyển đổi sang cơ cấu canh tác Lúa-Màu:

Tính đến năm 2011, diện tích Lúa Màu đã tăng hơn 33 ngàn hecta (Hình 4.16g). Đây là cơ cấu canh tác đang được quan tâm trong chuyển đổi hệ thống canh tác phù hợp điều kiện tự nhiên cũng như điều kiện kinh tế. Chuyển đổi này bao gồm Lúa 2 vụ, Lúa 3 vụ chuyển sang Lúa màu ở vùng nước ngọt. Vùng ven biển chủ yếu là cơ cấu Lúa 1 vụ chuyển sang Lúa Màu.

Tóm lại

Như vậy, tính đến năm 2011 thì khu vực ĐBSCL có 3 mùa vụ canh tác lúa chính bao gồm vụ ĐX, HT và TĐ (hay vụ Mùa). Trong đó vụ HT được canh tác nhiều nhất chiếm tỷ trọng trung bình 50% diện tích canh tác lúa/năm, vụ ĐX thấp hơn đạt 39,5% diện tích canh tác/năm. Vụ TĐ (hay vụ Mùa) chiếm tỷ lệ diện tích canh tác thấp nhất, chỉ khoảng 10,5% diện tích canh tác lúa/năm. Ngoài ra, vụ TĐ (hay vụ Mùa) có xu hướng giảm diện tích do chuyển đổi thành vụ Màu hay không canh tác.

Kết quả tính toán năm 2011 cho thấy diện tích lúa 3 vụ được canh tác nhiều nhất ở 3 tỉnh An Giang (>150.000ha), Đồng Tháp (>110.000ha) và Tiền Giang (>90.000ha). Diện tích lúa 2 vụ phân bố chủ yếu ở Kiên Giang (>240.000ha), Long An (>220.000ha), Đồng Tháp (>130.000ha) và An Giang (>125.000ha). Diện tích lúa 1 vụ nước trời còn lại rất ít,

chủ yếu phân bố rải rác ở hai tỉnh Long An và Kiên Giang (mỗi tỉnh khoảng 18.000ha). Diện tích Lúa-Tôm gia tăng chủ yếu ở ba tỉnh Cà Mau (>80.000ha), Kiên Giang (>70.000ha) và Bạc Liêu (>45.000ha). Các tỉnh cũng có diện tích Lúa-Tôm đáng kể bao gồm Bến Tre (>20.000ha), tỉnh Sóc Trăng (>13.000ha) và tỉnh Trà Vinh (>11.000ha) (Phụ lục 19).

Xu hướng chuyển đổi cơ cấu mùa vụ lúa trong khoảng thời gian quan sát từ năm 2000 đến 2011 đó là lúa 2 vụ chuyển sang lúa 3 vụ; Lúa 1 vụ chuyển sang canh tác khác như Tôm-Rừng hay Chuyên tôm; Một số vùng Lúa một vụ chuyển sang Lúa-Tôm hay chuyển sang Lúa 2 vụ. Điều này cũng phù hợp với kết quả khảo sát của Sơn (2011) cho thấy sự gia tăng đáng kể diện tích lúa 2 vụ có tưới (từ 6,3% tăng lên 14,9%) và ba vụ có tưới (từ 9,9% tăng lên 16,3%) ở ĐBSCL trong giai đoạn 2002 đến 2006.

Những địa phương có sự chuyển đổi cơ cấu mạnh mẽ đó là tỉnh An Giang, Kiên Giang, Cần Thơ, Đồng Tháp, Sóc Trăng, Bến Tre, Bạc Liêu và Cà Mau. Trong đó, những tỉnh chuyển đổi nhiều nhất từ lúa 2 vụ sang 3 vụ là An Giang, Kiên Giang, Cần Thơ, Đồng Tháp và Sóc Trăng. Bên cạnh đó, các tỉnh Bến Tre, Cà Mau, Kiên Giang và Bạc Liêu là những địa phương có diện tích Lúa-Tôm tăng lên rõ rệt từ năm 2000 đến năm 2011.

Nguyên nhân chuyển đổi mô hình canh tác lúa ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011 ngoài lý do chính sách quy hoạch chuyển đổi cơ cấu của địa phương còn có nguyên nhân tác động của điều kiện tự nhiên như khô hạn, ngập lũ.

4.2 KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG ẢNH VIỄN THĂM MODIS TRONG THEO DÕI CƠ CẤU MÙA VỤ LÚA, KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ Ở ĐBSCL

4.2.1 Khả năng ứng dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi cơ cấu mùa vụ lúa

Bằng cách dựa vào mối quan hệ giữa chuỗi giá trị NDVI với các giai đoạn phát triển của cây lúa theo thời gian được phân tích từ dữ liệu ảnh MODIS cho thấy có thể xác định được thời gian bắt đầu và kết thúc của mỗi vụ lúa làm cơ sở cho việc xây dựng bản đồ cơ cấu mùa vụ của khu vực ĐBSCL (Hình 4.17).

Kết quả nghiên cứu đã xác định được 14 kiểu cơ cấu canh tác lúa được xếp thành 3 nhóm cơ cấu mùa vụ lúa chính như sau:

1) Nhóm Lúa 1 vụ bao gồm cơ cấu Lúa 1 vụ, Lúa –Màu và Lúa-Tôm

Vùng lúa một vụ chiếm diện tích rất ít, phân bố rải rác các tỉnh ven biển từ Long An, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau và Kiên Giang. Trong đó, diện tích lúa một vụ chủ yếu là Lúa-Tôm, diện tích Lúa mùa còn lại rất ít, chỉ chiếm khoảng 2% diện tích tính đến năm 2011.

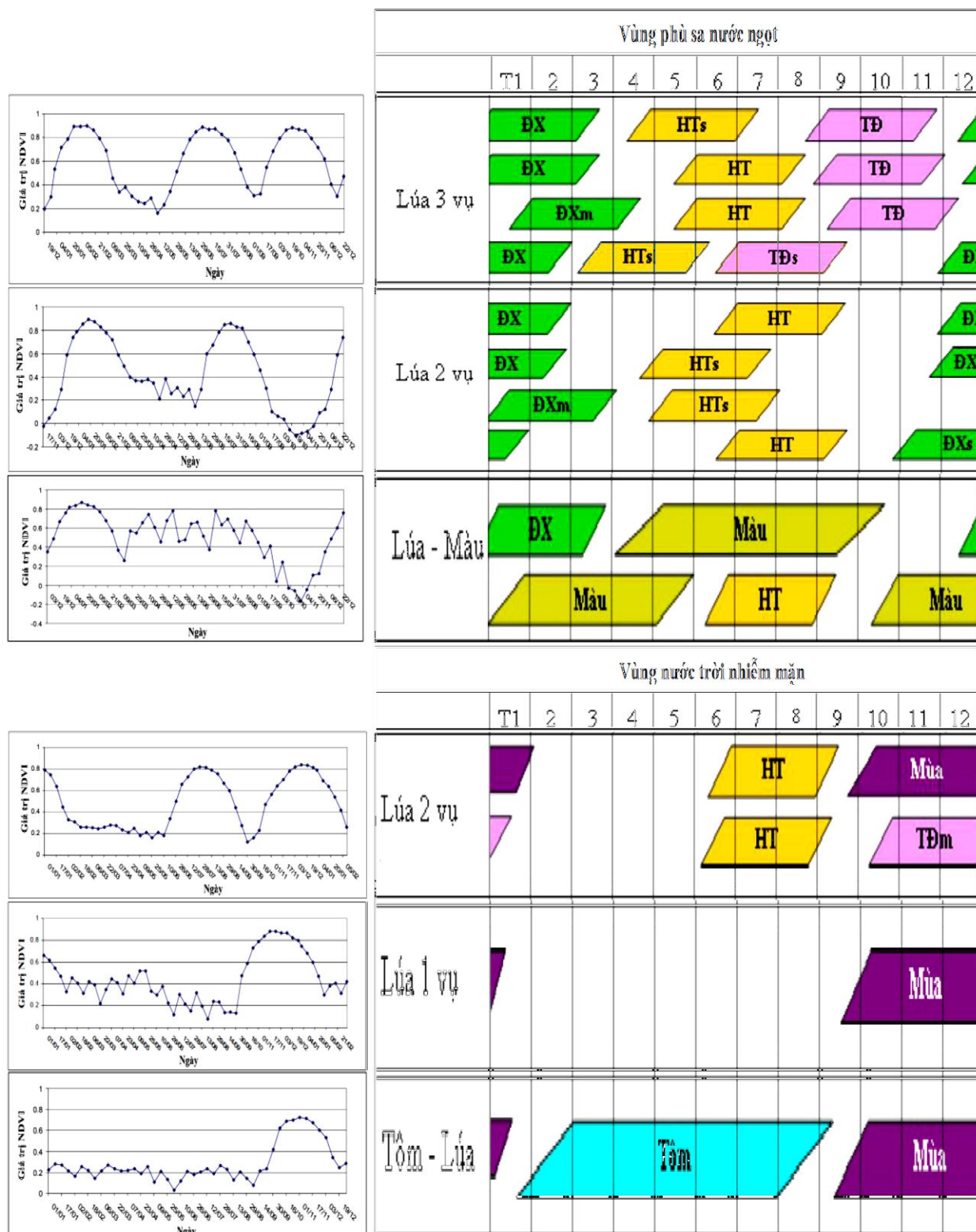
2) Nhóm Lúa 2 vụ: Cơ cấu canh tác này phổ biến ở ĐBSCL

Ở những vùng này, kết quả phân tích cho thấy chỉ số NDVI đạt giá trị cực đại hai lần trong năm vào những khoảng thời gian khác nhau tùy thuộc vào thời điểm xuống giống. Cơ cấu lúa 2 vụ điển hình là ĐX-HT chiếm phần lớn diện tích lúa hai vụ, ngoài ra còn có thêm hai cơ cấu HT-Màu và HT-TĐ.

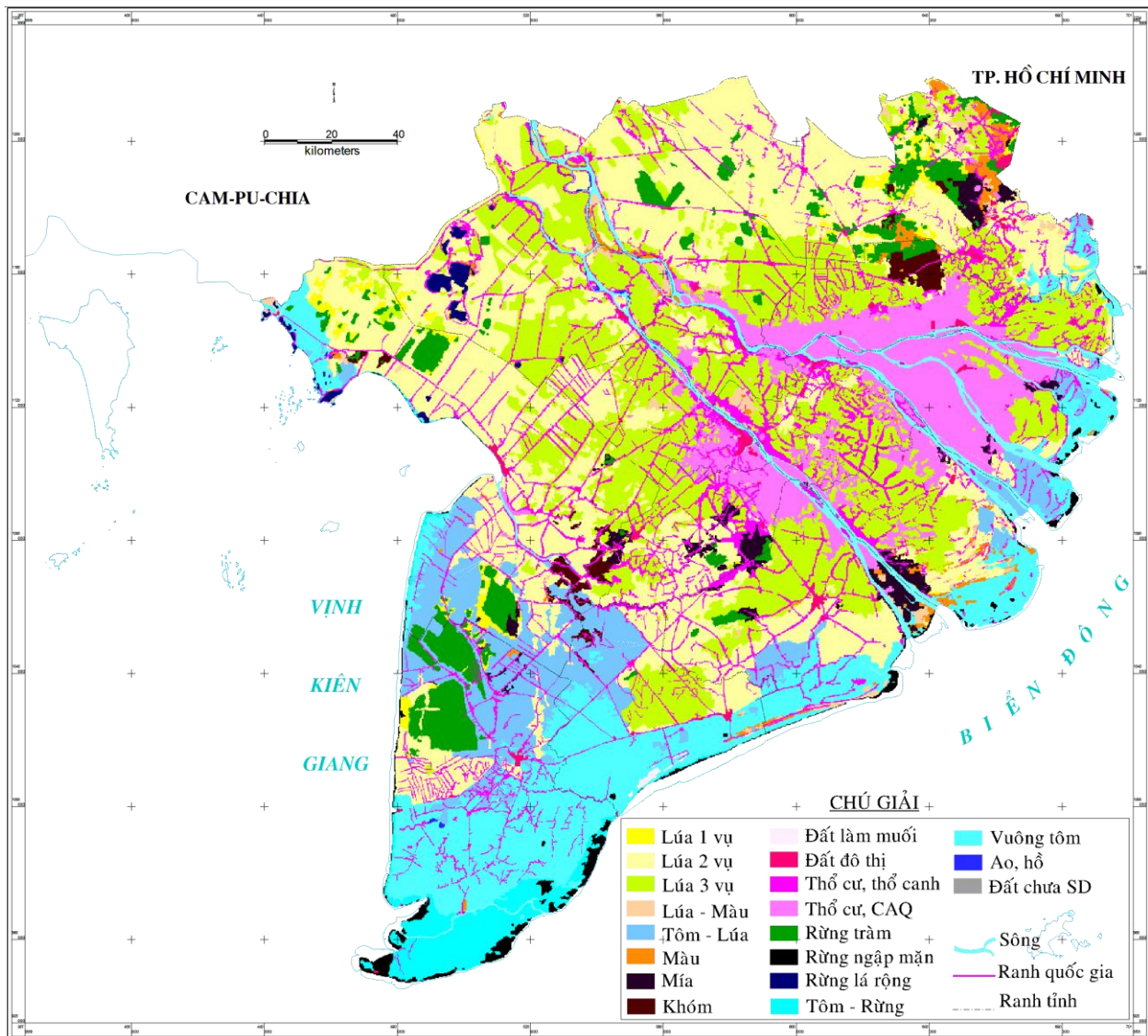
3) Nhóm Lúa 3 vụ

Lúa 3 vụ phổ biến ở vùng phù sa ngọt, đất hầu như được canh tác quanh năm. Dựa vào các thời điểm xuống giống như chính vụ, vụ sớm hay vụ muộn được chia ra thành 6 cơ cấu chính. Trong đó, chiếm phần lớn diện tích là cơ cấu chính vụ ĐX-HT-TĐ. Các cơ cấu còn lại chỉ chiếm diện tích nhỏ.

Ngoài ra, khả năng phát hiện của ảnh MODIS còn cho phép xác định các kiểu sử dụng không phải đất trồng lúa như đất trồng màu, đất mía, đất khóm, đất thổ cư, đất rừng, đất trồng cây ăn trái và đất chuyên tôm (Hình 4.18).



Hình 4.17 Biến đổi của giá trị NDVI trong năm tương ứng với các cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL tính toán từ ảnh MODIS.



Hình 4.18. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất ở ĐBSCL năm 2011 giải đoán từ ảnh MODIS.

Nhằm xác định độ tin cậy cho kết quả phân loại, nghiên cứu đã thực hiện tính toán mức độ chính xác hay phù hợp giữa dữ liệu ảnh được phân loại với bộ dữ liệu thực địa theo phương pháp xây dựng ma trận sai số để tính độ tin cậy (Lê Văn Trung, 2005). Bảng 4.6 và Bảng 4.7 trình bày kết quả tính toán ma trận sai số giữa kết quả giải đoán từ ảnh viễn thám với dữ liệu khảo sát thực tế. Kết quả đánh giá độ tin cậy của bản đồ được xây dựng từ dữ liệu ảnh MODIS nói trên với dữ liệu khảo sát thực tế cho thấy bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa giải đoán từ ảnh MODIS độ phân giải 250m đạt mức độ chi tiết cấp vùng, khả năng phát hiện và phân loại cơ cấu canh tác lúa với độ tin cậy khá cao đạt xác suất trên 89%, với hệ số Kappa = 0,88.

+ Độ chính xác toàn cục:

$$T = (7+68+92+17+58+23+8+14+9+9+18+15) \cdot 100 / 377 = 89,66\%$$

+ Kỳ vọng = Tổng các đại lượng đường chéo / Tổng toàn bộ các đại lượng

$$E = 22040 / 143260 = 0,15$$

+ Chỉ số Kappa:

$$K = (T - E) / (1 - E) = (0,897 - 0,15) / (1 - 0,15) = 0,88$$

Bảng 4.6 Kết quả tính ma trận sai số phân loại

| | Lúa 1 vụ | Lúa 2 vụ | Lúa 3 vụ | Lúa – Màu | Tôm – Lúa | TC/ CAT | TCTC/ LNK | Màu | Mía | Khóm | Rừng tràm | Chuyên tôm | Tổng |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|----------|-----------|--------------|---------------|------------|
| Lúa 1 vụ | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| Lúa 2 vụ | 3 | 68 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73 |
| Lúa 3 vụ | 1 | 1 | 92 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 97 |
| Lúa – Màu | 0 | 2 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| Tôm – Lúa | 0 | 3 | 0 | 0 | 58 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 64 |
| TC/CAT | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 23 | 4 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 38 |
| TCTC/LNK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Màu | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| Mía | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Khóm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 |
| Rừng tràm | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 19 |
| Chuyên tôm | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 18 |
| Tổng | 11 | 78 | 97 | 18 | 61 | 27 | 13 | 17 | 9 | 10 | 19 | 17 | 377 |

Ghi chú: TCTC/LNK: Thổ cư + Thổ canh/ Cây lâu năm khác

TC/CAT: Thổ cư + Cây ăn tr

Bảng 4.7 Kết quả tính giá trị tích của hàng và cột biên từ ma trận sai số

| | Lúa 1 vụ | Lúa 2 vụ | Lúa 3 vụ | Lúa – Màu | Tôm – Lúa | TCTC /LNK | TC/ CAT | Màu | Mía | Khóm | Rừng tràm | Chuyên tôm |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------|------|-----|------|--------------|---------------|
| Lúa 1 vụ | 77 | 546 | 679 | 126 | 427 | 189 | 91 | 119 | 63 | 70 | 133 | 119 |
| Lúa 2 vụ | 803 | 5694 | 7081 | 1314 | 4453 | 1971 | 949 | 1241 | 657 | 730 | 1387 | 1241 |
| Lúa 3 vụ | 1067 | 7566 | 9409 | 1746 | 5917 | 2619 | 1261 | 1649 | 873 | 970 | 1843 | 1649 |
| Lúa – Màu | 220 | 1560 | 1940 | 360 | 1220 | 540 | 260 | 340 | 180 | 200 | 380 | 340 |
| Tôm – Lúa | 704 | 4992 | 6208 | 1152 | 3904 | 1728 | 832 | 1088 | 576 | 640 | 1216 | 1088 |
| TCTC/LNK | 418 | 2964 | 3686 | 684 | 2318 | 1026 | 494 | 646 | 342 | 380 | 722 | 646 |
| TC/CAT | 99 | 702 | 873 | 162 | 549 | 243 | 117 | 153 | 81 | 90 | 171 | 153 |
| Màu | 154 | 1092 | 1358 | 252 | 854 | 378 | 182 | 238 | 126 | 140 | 266 | 238 |
| Mía | 99 | 702 | 873 | 162 | 549 | 243 | 117 | 153 | 81 | 90 | 171 | 153 |
| Khóm | 99 | 702 | 873 | 162 | 549 | 243 | 117 | 153 | 81 | 90 | 171 | 153 |
| Rừng tràm | 209 | 1482 | 1843 | 342 | 1159 | 513 | 247 | 323 | 171 | 190 | 361 | 323 |
| Chuyên tôm | 198 | 1404 | 1746 | 324 | 1098 | 486 | 234 | 306 | 162 | 180 | 342 | 306 |
| Tổng các đại lượng đường chéo | | | | | | | | | | | | 22040 |
| Tổng toàn bộ các đại lượng trong bảng tính | | | | | | | | | | | | 143260 |

Ghi chú: TCTC/LNK: Thổ cư + Thổ canh/ Cây lâu năm khác

TC/CAT: Thổ cư + Cây ăn trái

Như vậy, với chỉ số Kappa tính toán được $K = 0,88$ cho thấy kết quả phân loại trong nghiên cứu có độ chính xác khá cao. Điều này có nghĩa là kết quả giải đoán từ dữ liệu ảnh khá phù hợp với dữ liệu kiểm tra thực tế.

Để xác định mối tương quan giữa số liệu tính toán diện tích và xu hướng biến động diện tích canh tác lúa từ kết quả giải đoán ảnh viễn thám với số liệu thống kê, nghiên cứu cũng đã thực hiện so sánh đối chiếu diện tích theo từng vụ lúa ĐX, HT và vụ Mùa qua các năm từ 2000 đến năm 2011. Kết quả tính toán được thể hiện lần lượt ở Bảng 4. 8 và Hình 4.19.

Kết quả từ Bảng 4.8 cho thấy diện tích canh tác lúa ở ĐBSCL tính toán được từ ảnh viễn thám MODIS qua các năm từ 2000 đến 2011 có độ lệch trung bình so với diện tích thống kê ở trong khoảng từ 4,4% đến 7,1%. Mức độ lệch phụ thuộc vào nhiều yếu tố như độ chính xác của kết quả giải đoán, độ phân giải không gian của ảnh dữ liệu hay độ đồng nhất của đối tượng giải đoán.

Trong nghiên cứu này, diện tích của khu ruộng canh tác là nguyên nhân chủ yếu gây ra sự sai lệch diện tích giải đoán, làm ảnh hưởng đến độ tin cậy của kết quả giải đoán. Việc

sử dụng sản phẩm ảnh MOD09Q1 với độ phân giải 250m đòi hỏi đối tượng được giải đoán trên ảnh phải có kích thước tương đương 1 phần tử ảnh (pixel) tức phải có diện tích tương đương 6,25ha. Nếu diện tích của khu ruộng canh tác lúa là quá nhỏ so với độ phân giải của dữ liệu ảnh nó sẽ dễ dàng bị bỏ qua khi giải đoán. Như vậy sẽ có hai trường hợp xảy ra khi giải đoán trên ảnh MODIS như sau:

- Diện tích giải đoán thấp hơn so với thực tế: khi đối tượng giải đoán có diện tích nhỏ hơn so với diện tích của 1 phần tử ảnh.
- Diện tích giải đoán cao hơn so với diện tích thực tế: khi đối tượng được giải đoán có diện tích khá lớn so với diện tích của 1 phần tử ảnh nhưng độ đồng nhất không cao.

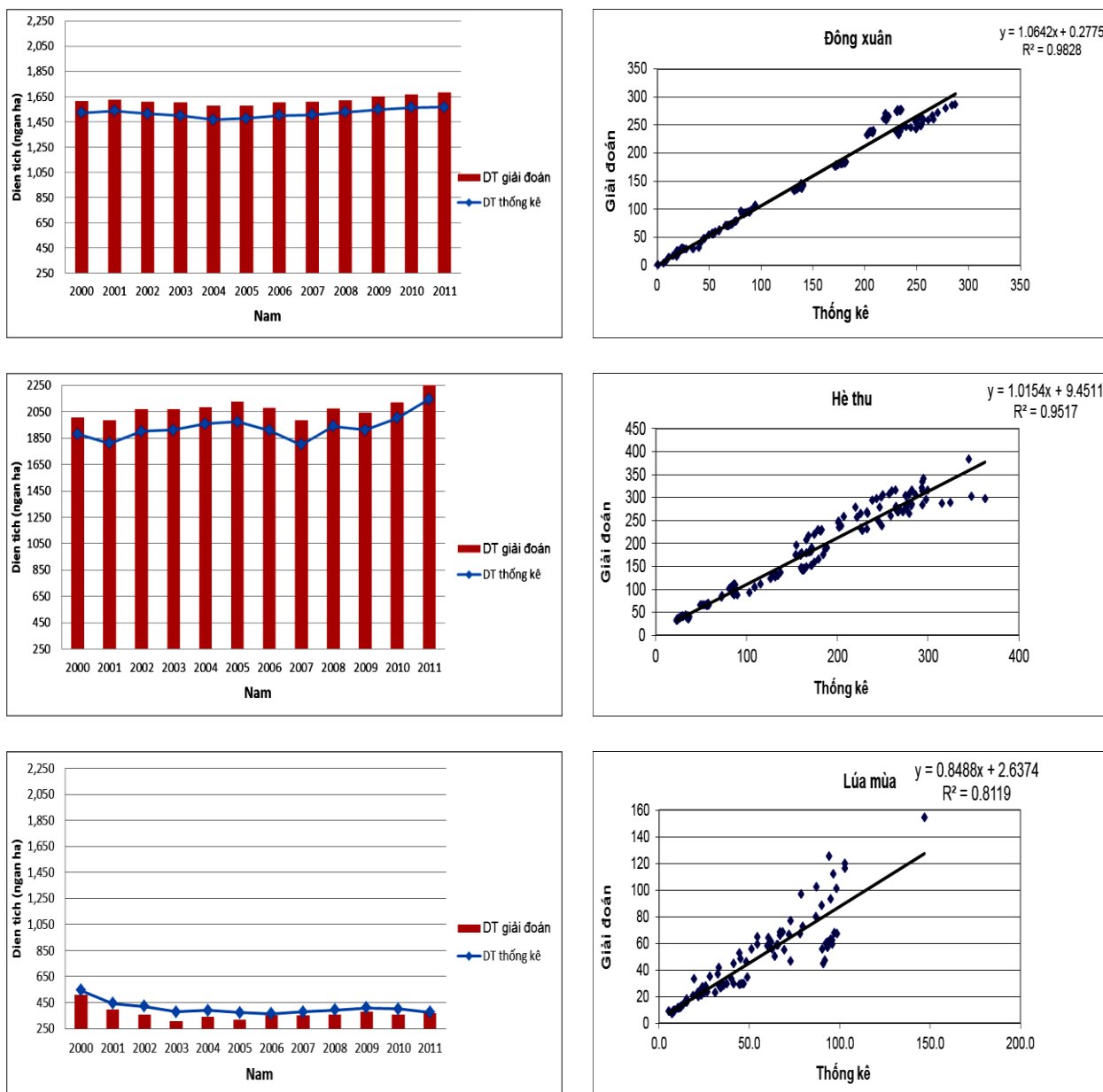
Bảng 4.8 Bảng tính toán độ chênh lệch diện tích các vụ canh tác lúa hàng năm ở ĐBSCL từ kết quả giải đoán ảnh viễn thám MODIS với dữ liệu thống kê hàng năm (ĐVT: nghìn ha).

| Năm | Thống kê | | | | Giải đoán | | | | Tổng DT chênh lệch | % chênh lệch |
|------|----------|-------|-----|--------------|-----------|-------|-----|--------------|--------------------|--------------|
| | ĐX | HT | Mùa | Tổng | ĐX | HT | Mùa | Tổng | | |
| 2000 | 1.521 | 1.882 | 544 | 3.946 | 1.614 | 2.006 | 510 | 4.130 | 185 | 4,7 |
| 2001 | 1.538 | 1.812 | 443 | 3.792 | 1.624 | 1.984 | 396 | 4.004 | 212 | 5,6 |
| 2002 | 1.514 | 1.901 | 420 | 3.835 | 1.608 | 2.071 | 355 | 4.033 | 198 | 5,2 |
| 2003 | 1.499 | 1.911 | 378 | 3.788 | 1.604 | 2.072 | 306 | 3.982 | 194 | 5,1 |
| 2004 | 1.467 | 1.958 | 391 | 3.816 | 1.578 | 2.086 | 338 | 4.002 | 187 | 4,9 |
| 2005 | 1.478 | 1.975 | 372 | 3.826 | 1.579 | 2.124 | 319 | 4.022 | 196 | 5,1 |
| 2006 | 1.500 | 1.910 | 364 | 3.774 | 1.603 | 2.082 | 350 | 4.035 | 261 | 6,9 |
| 2007 | 1.507 | 1.799 | 377 | 3.683 | 1.609 | 1.986 | 350 | 3.946 | 262 | 7,1 |
| 2008 | 1.527 | 1.940 | 393 | 3.859 | 1.620 | 2.073 | 357 | 4.050 | 191 | 4,9 |
| 2009 | 1.549 | 1.911 | 411 | 3.870 | 1.651 | 2.046 | 379 | 4.075 | 205 | 5,3 |
| 2010 | 1.565 | 2.004 | 402 | 3.971 | 1.669 | 2.121 | 357 | 4.147 | 176 | 4,4 |
| 2011 | 1.568 | 2.147 | 375 | 4.089 | 1.685 | 2.251 | 369 | 4.304 | 215 | 5,3 |

Hình 4.19 thể hiện sự biến động diện tích các mùa vụ lúa theo năm được giải đoán từ ảnh MODIS và hệ số tương quan giữa dữ liệu tính toán được từ kết quả giải đoán và dữ liệu thống kê. Kết quả trên Hình 4.20 cho thấy có sự tương quan chặt giữa hai bộ dữ liệu thể hiện qua hệ số R^2 khá cao và dao động từ 0,81 đến 0,98. Trong đó, diện tích lúa Hè Thu có hệ số R^2 đạt 0,98, cao nhất so với diện tích Đông Xuân (đạt $R^2=0,96$) và lúa Mùa (đạt $R^2=0,81$).

Diện tích vụ HT và ĐX trên ảnh giải đoán luôn cao hơn diện tích thống kê dù có cùng xu hướng biến động. Nguyên nhân do diện tích canh tác hai vụ này tuy lớn nhưng không đồng nhất cho nên kết quả giải đoán có thể bao gồm cả diện tích của những kiểu che phủ khác như thổ cư, cây ăn quả hay mặt nước... Ngược lại, diện tích canh tác lúa Mùa hay TĐ thường nhỏ và rải rác nên dễ bị bỏ qua trong khi giải đoán là nguyên nhân làm cho diện tích trên ảnh giải đoán thường nhỏ hơn so với số liệu thống kê.

- Các dữ liệu tính toán về diện tích canh tác từng mùa vụ lúa trong năm từ việc giải đoán ảnh MODIS có độ chênh lệch thấp so với dữ liệu thống kê, mức độ chênh lệch biến động trong khoảng 4,4% đến 7,1% tổng diện tích canh tác lúa/năm.



Hình 4.19 Tương quan diện tích mùa vụ được tính toán từ ảnh MODIS với dữ liệu từ Niên giám thống kê Việt Nam.

Tóm lại

Bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa ĐBSCL giai đoạn 2000-2011 được xây dựng từ dữ liệu ảnh MODIS độ phân giải 250m đã đạt mức độ chi tiết cấp vùng, khả năng phát hiện và phân loại được 18 kiểu cơ cấu canh tác lúa. Kết quả đánh giá độ tin cậy của bản đồ được xây dựng từ dữ liệu ảnh MODIS nói trên với dữ liệu khảo sát thực tế cho thấy bản đồ kết quả có độ tin cậy khá cao với xác suất trên 89% và hệ số Kappa = 0,88.

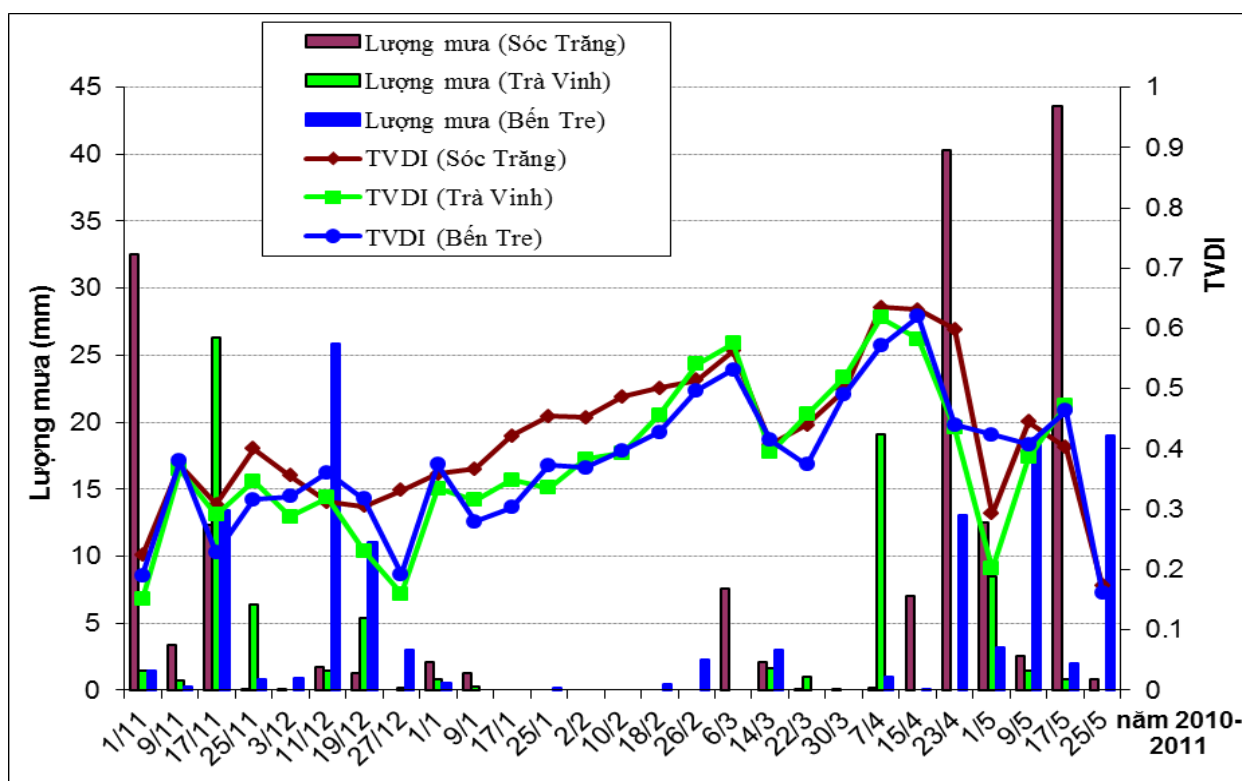
Ngoài ra, các dữ liệu tính toán về diện tích canh tác từng mùa vụ lúa trong năm từ việc giải đoán ảnh MODIS có độ chênh lệch thấp so với dữ liệu thống kê (từ 4,4% đến 7,1%) và có sự tương quan chặt giữa hai bộ dữ liệu thể hiện qua hệ số R^2 khá cao và dao động từ 0,81 đến 0,98.

Kết quả này khá phù hợp với kết quả đánh giá của Son (2011) trong khảo sát hệ thống canh tác lúa ĐBSCL giai đoạn 2002-2006 bằng dữ liệu MODIS 250m cũng cho thấy dữ

liệu MODIS NDVI 250m có độ tin cậy khá cao với độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa cho dữ liệu năm 2002 tương ứng là 84,0% và 0,79; và độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa cho dữ liệu của năm 2006 là 85,1% và 0,80. Kết quả so sánh bản đồ canh tác lúa từ dữ liệu MODIS và dữ liệu diện tích cung cấp bởi Tổng cục thống kê Việt Nam cũng có sự tương quan cao ($R^2 > 0,85$).

4.2.2 Khả năng xây dựng bản đồ phân vùng khô hạn từ dữ liệu ảnh viễn thám MODIS ở ĐBSCL

Để đánh giá mức độ phù hợp và khả năng ứng dụng ảnh viễn thám nhiệt của MODIS trong theo dõi và xác định sự khô hạn cho khu vực ĐBSCL, kết quả tính toán chỉ số khô hạn TVDI đã được so sánh sự tương quan với dữ liệu lượng mưa được quan trắc từ 3 trạm KTTV ở ĐBSCL (Trạm Sóc Trăng, Bến Tre và Trà Vinh) (Hình 4.20). Kết quả cho thấy chỉ số khô hạn TVDI nói chung nhạy cảm với lượng mưa. Giá trị TVDI thường giảm lượng mưa tăng, tức độ ẩm của đất đã tăng lên và sau đó tăng trở lại khi mưa ít, tức độ ẩm đất ít.



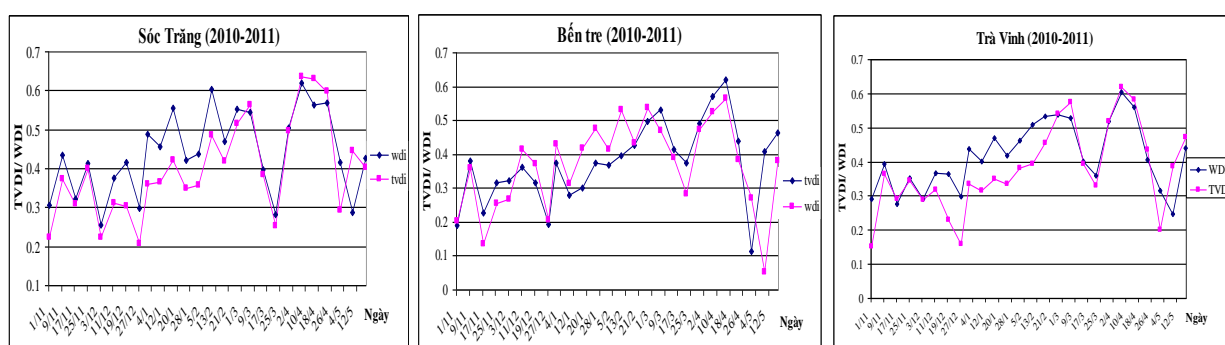
Hình 4.20 Mối quan hệ giữa chỉ số khô hạn TVDI và lượng mưa ở tỉnh Sóc Trăng, Trà Vinh và Bến Tre trong mùa khô 2010-2011.

Mối quan hệ giữa chỉ số khô hạn TVDI với lượng mưa cũng được thấy rõ thông qua sự so sánh với các chỉ số thiếu nước WDI và chỉ số chuẩn hóa lượng mưa SPI. Chỉ số thiếu nước WDI được sử dụng cho việc tính tỉ lệ bốc thoát hơi cả nơi thực vật thưa thớt và nơi phủ đầy thực vật (Parida, 2006). WDI là chỉ số xác định từ không gian $[\Delta T - NDVI]$, ΔT là sự chênh lệch giữa nhiệt độ bề mặt (T_s nhiệt phản xạ từ đất chỉ tại một thời điểm) và nhiệt độ không khí (T_a nhiệt không khí thu được ở mỗi trạm của tỉnh ở nhiều thời điểm trong ngày). WDI có thể khắc phục được sai số khi xác định nhiệt độ được tính toán trong xác định không gian $[T_s - NDVI]$ với $\Delta T = (T_s - T_a)$.

Nghiên cứu của Wang *et al.* (2011) cho rằng WDI có thể phản ánh sự biến thiên của điều kiện khô hạn theo thời gian rất tốt, và mô hình không gian của WDI có thể cho thấy chi tiết hơn về sự biến thiên không gian của hạn so với quan sát khí tượng và dòng chảy.

Nghiên cứu này cũng so sánh kết quả nghiên cứu WDI với chỉ số khô hạn phổ biến – TVDI. Kết quả chỉ ra rằng WDI cho kết quả tốt hơn TVDI khi sự tương quan cao của WDI với lượng mưa trước đó và độ sâu cháy tràn. Do đó, WDI có tiềm năng lớn để giám sát hạn tốt hơn qua sử dụng dữ liệu vệ tinh và điều kiện quan sát khí tượng ở mặt đất.

Tương tự kết quả của Wang *et al.* (2001), trong nghiên cứu này, kết quả so sánh chỉ số TVDI và WDI tại ba tỉnh Sóc Trăng, Bến Tre và Trà Vinh trong mùa khô 2010-2011 cho thấy sự biến thiên của WDI có tương quan cao với TVDI với hệ số tương quan R^2 tương ứng là 0,91, 0,84 và 0,89 cho thấy chỉ số TVDI có thể giám sát hạn tốt thay thế cho việc sử dụng chỉ số WDI (Hình 4.21). Điều này có nghĩa, có thể theo dõi khô hạn thông qua chỉ số khô hạn TVDI được tính toán hoàn toàn từ dữ liệu ảnh vệ tinh khi không có điều kiện sử dụng chỉ số thiếu nước WDI trong đó cần phải có sự tính toán kết hợp từ dữ liệu ảnh vệ tinh với số liệu quan trắc về nhiệt độ không khí.



Hình 4.21 Sự biến thiên WDI và TVDI theo thời gian (11/2010-4/2011) ở các tỉnh Sóc Trăng, Bến Tre và Trà Vinh.

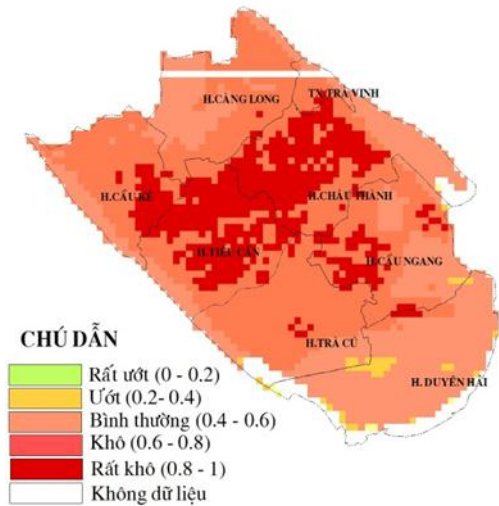
Đồng thời khi xét sự phân bố không gian giá trị TVDI và WDI ở Trà Vinh, Sóc Trăng ngày 7/4/2011 (Hình 4.22) cho thấy vùng có giá trị TVDI cao tương ứng với vùng có giá trị WDI cao và ngược lại. Cụ thể cả hai chỉ số có giá trị cao (0,8-1) chủ yếu ở huyện Tiểu Cần và huyện Châu Thành tỉnh Trà Vinh (Hình 4.22a); tương tự cũng xác định được vùng có giá trị TVDI và WDI cao ở Sóc Trăng đó là huyện Trần Đề và vùng giáp ranh giữa Thành phố Sóc Trăng, huyện Mỹ Xuyên và huyện Mỹ Tú (Hình 4.22b); ở tỉnh Bến Tre chủ yếu là vùng ven biển hai huyện Thạnh Phú và Ba Tri có giá trị TVDI và WDI cao (0,8-1) (Hình 4.22c).

Tóm lại

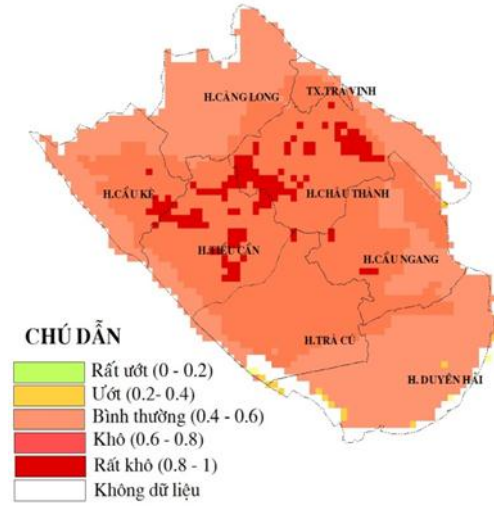
Kết quả cho thấy có sự tương quan giữa nhiệt độ bề mặt đất từ dữ liệu ảnh MODIS LST (MOD11A2) với dữ liệu nhiệt độ không khí tại các trạm đo mặt đất. Kết quả tính toán chỉ số khô hạn TVDI có tương quan với dữ liệu mưa của các trạm đo và tương quan với chỉ số khô hạn khác như WDI. Kết quả này cũng phù hợp với nhận định của Son *et al.* (2012) đã chỉ ra rằng chỉ số TVDI nhạy cảm với lượng mưa.

Nghiên cứu đã cho thấy những lợi thế của việc sử dụng dữ liệu vệ tinh MODIS để ước lượng độ ẩm của đất bề mặt trong khu vực nghiên cứu trên cơ sở sử dụng sự kết hợp của MODIS LST và dữ liệu NDVI để ước đoán điều kiện độ ẩm của đất trong một khu vực rộng lớn. Tuy nhiên, hướng nghiên cứu bổ sung bằng cách sử dụng các phép đo độ ẩm đất thu thập từ khảo sát thực địa và độ ẩm đất có nguồn gốc từ ảnh vệ tinh khác như bộ cảm biến AMSR-E trên vệ tinh Aqua của NASA (Son, 2011) cần được quan tâm để kết quả tính toán chỉ số khô hạn TVDI sát với hiện trạng khô hạn ngoài thực địa hơn.

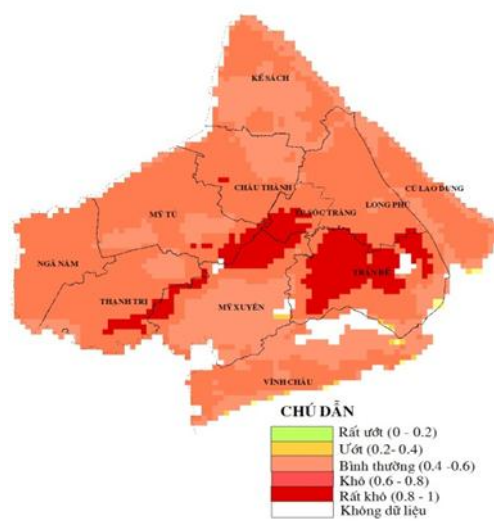
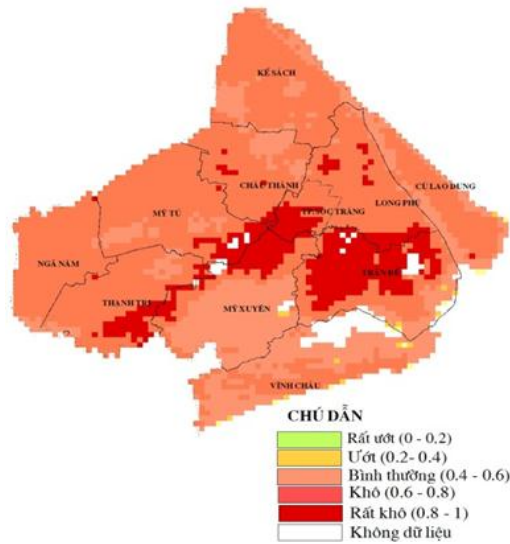
Chỉ số TVDI



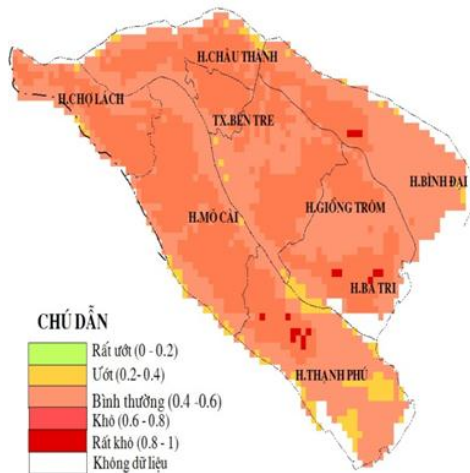
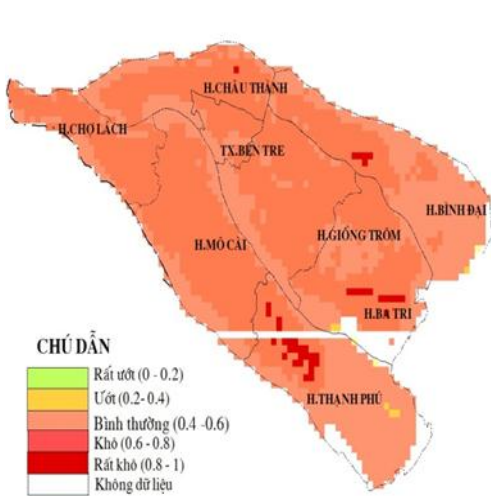
Chỉ số WDI



a) Tỉnh Trà Vinh



b) Tỉnh Sóc Trăng

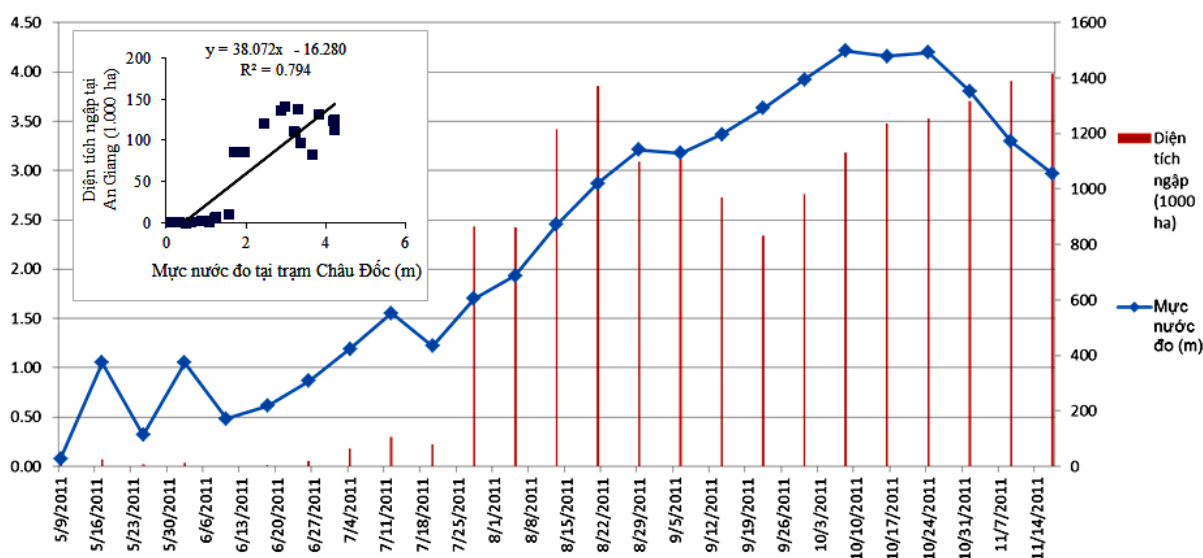


c) Tỉnh Bến Tre

Hình 4.22 Phân bố không gian giá trị TVDI và WDI ngày 7/4/2011 ở các tỉnh ĐBSCL.

4.2.3 Khả năng xây dựng bản đồ phân vùng ngập lũ từ dữ liệu ảnh viễn thám MODIS ở ĐBSCL

Qua kết quả nghiên cứu cũng cho thấy dữ liệu ảnh MODIS đã phản ánh khá tốt tình trạng biến động lũ lụt giai đoạn từ năm 2000 đến 2011 của vùng hạ lưu sông Mekong cả về không gian và thời gian. Trên cơ sở sử dụng ảnh MODIS, với kết quả phân loại các đối tượng bằng sự kết hợp các chỉ số EVI, LSWI và DVEL theo dõi được sự phân bố ngập lũ giai đoạn từ 2000 đến 2011. Việc so sánh diện tích ngập cho thấy được xu thế diễn biến ngập lũ làm cơ sở cho việc xác định các thời điểm bắt đầu có sự gia tăng về diện tích ngập, đến mức tối đa (lũ đạt đỉnh) và thời điểm bắt đầu giảm (lũ rút). Kết quả tính toán cho thấy có sự tương quan giữa diện tích ngập và mực nước thực đo tại các trạm thủy văn (với R^2 đạt từ 0,79 – 0,90) (Hình 4.23).



Hình 4.23 Tương quan giữa diện tích ngập tỉnh An Giang và mực nước thực đo tại trạm Châu Đốc mùa lũ năm 2011

Tóm lại

Kết quả nghiên cứu đã trình bày phương pháp dựa trên ảnh viễn thám để phân tích, đánh giá, tác động tình hình diễn tiến lũ khu vực ĐBSCL. Qua nghiên cứu cho thấy dữ liệu ảnh MODIS đã phản ánh được tình trạng biến động lũ lụt vùng ĐBSCL. Chuỗi dữ liệu ảnh MODIS đa thời gian đã phát hiện những thay đổi tình trạng lũ lụt hàng năm và qua các năm ở ĐBSCL. Kết quả đã thành lập được bản đồ ngập lũ, xác định được thời gian bắt đầu có lũ cũng như thời gian lũ kết thúc và xác định được khoảng thời gian lũ ngập ở từng vị trí cụ thể cho ĐBSCL. Kết quả này đã được kiểm chứng với mực nước thực đo ở các trạm quan trắc của tỉnh An Giang với hệ số tương quan chặt $R^2=0,80$ tại trạm Châu Đốc và $R^2=0,87$ tại trạm Tân Châu.

Tuy nhiên, dữ liệu ảnh MOD09A1 cũng có hạn chế bị ảnh hưởng bởi mây vì đây là dữ liệu ảnh thụ động và chụp trong khoảng thời gian mưa lũ mặc dù sản phẩm ảnh tổ hợp 8 ngày đã được xử lý mây khi tổ hợp.

Dữ liệu ảnh MOD09A1 độ phân giải 500m chỉ phù hợp trong việc sử dụng để theo dõi diễn biến lũ ở cấp vùng hoặc cấp quốc gia. Sử dụng ảnh có độ phân giải cao để phục vụ cho nghiên cứu ở cấp chi tiết và phạm vi nhỏ (cấp xã, cấp huyện, cấp tỉnh) để đạt được kết quả chính xác hơn.

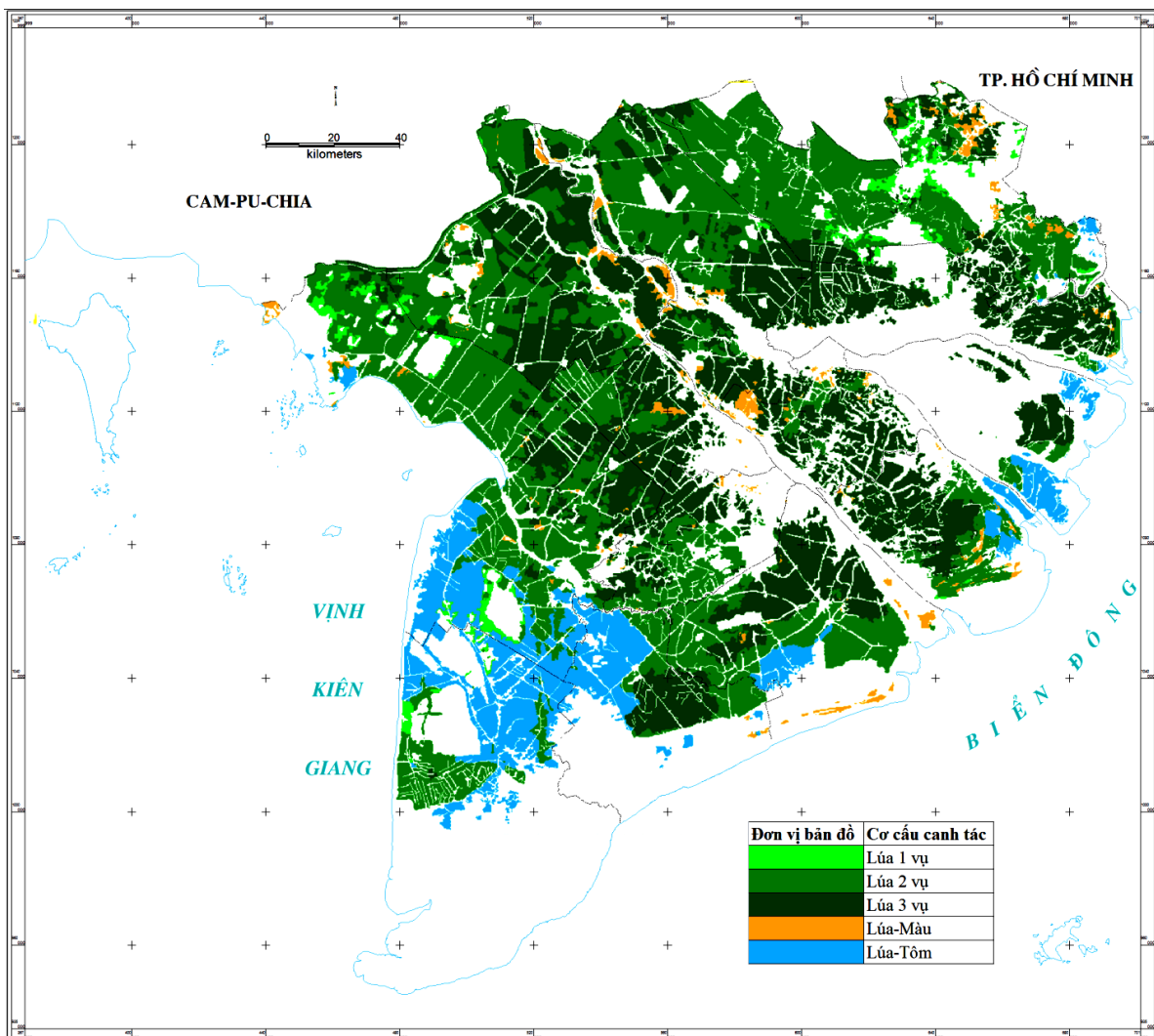
Việc kết hợp kết quả giải đoán hiện trạng ngập lũ từ dữ liệu ảnh viễn thám MODIS với dữ liệu mô hình độ cao số (DEM) ở ĐBSCL có khả năng nâng cao tính ứng dụng của nghiên cứu này trong thời gian tới. Ngoài ra việc sử dụng dữ liệu về hệ thống đê điều và công ngăn lũ và ngăn mặn để làm dữ liệu bổ trợ trong giải đoán ảnh MODIS cũng là một giải pháp.

4.3 CÁC ĐỀ XUẤT NHẪM GIẢM THIỂU THIỆT HẠI CHO SẢN XUẤT LÚA DO KHÔ HẠN VÀ NGẬP LŨ Ở ĐBSCL

4.3.1 Đề xuất mô hình canh tác lúa phù hợp điều kiện tự nhiên theo vùng sinh thái

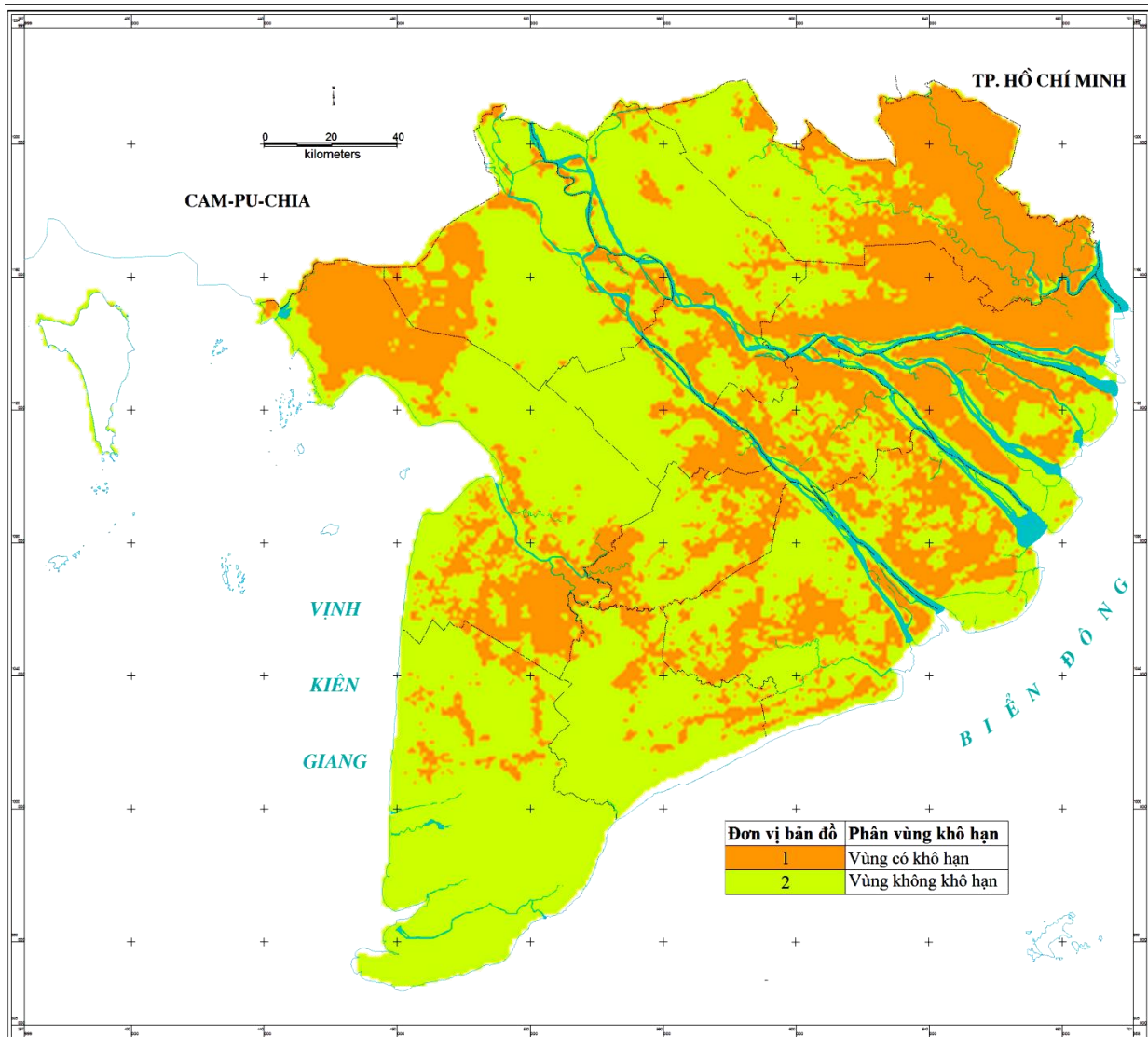
Để có cơ sở đề xuất các mô hình canh tác phù hợp trên các vùng có điều kiện tự nhiên khác nhau, đề tài xây dựng bản đồ phân vùng sinh thái sản xuất lúa năm 2011 dựa trên 03 bản đồ đơn tính bao gồm 1) bản đồ hiện trạng cơ cấu canh tác lúa năm 2011; 2) bản đồ phân bố các vùng có tần xuất xảy ra khô hạn cao từ bộ dữ liệu chuỗi bản đồ khô hạn từ năm 2000 đến 2011; và 3) bản đồ phân vùng ngập lũ năm 2011 là một trong những năm có lũ lớn trong chuỗi thời gian 12 năm từ 2000 đến 2011.

1) Bản đồ hiện trạng cơ cấu canh tác lúa năm 2011: gồm 05 đơn vị bản đồ tương ứng với 5 mô hình canh tác lúa chính ở ĐBSCL bao gồm Lúa 1 vụ, Lúa 2 vụ, Lúa 3 vụ, Lúa Tôm và Lúa Màu (Hình 2.24). Trên bản đồ này đã bỏ qua các kiểu sử dụng đất khác nhằm tối thiểu hóa số lượng các vùng sinh thái phức tạp khác và chỉ tập trung vào đất lúa.



Hình 4.24 Bản đồ hiện trạng cơ cấu canh tác lúa năm 2011 ở ĐBSCL xây dựng từ ảnh viễn thám MODIS

2) Bản đồ phân bố các vùng có tần suất xảy ra khô hạn cao: bản đồ này cũng được đơn giản hóa từ 5 đơn vị phân loại ban đầu bao gồm vùng rất ẩm, vùng ẩm, vùng bình thường, vùng khô và vùng rất khô thành 2 đơn vị 1) Vùng có khô hạn và 2) Vùng không có khô hạn (Hình 2.25).



Hình 4.25 Bản đồ phân bố các vùng có tần suất xảy ra khô hạn cao ở ĐBSCL.

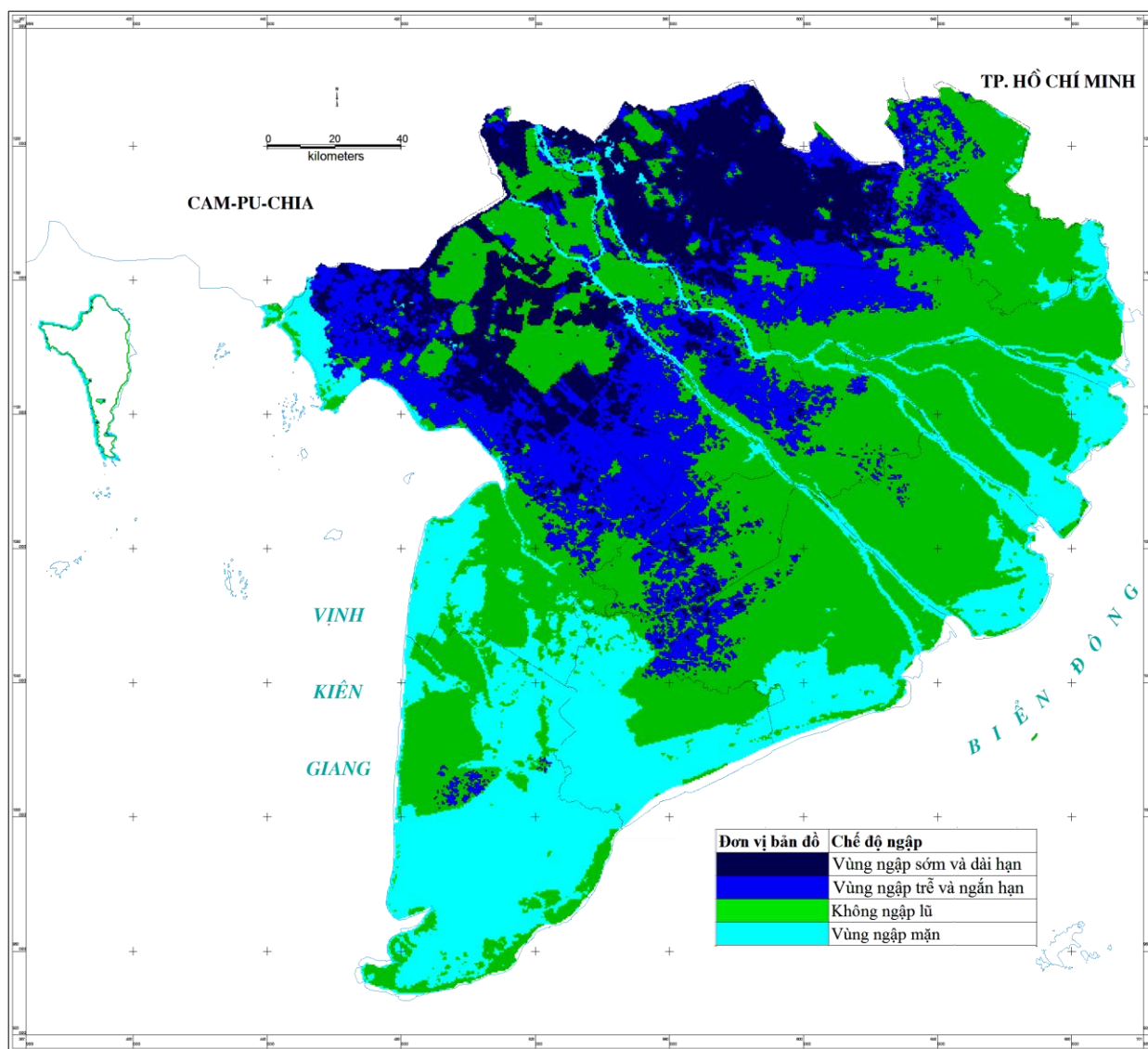
3) Bản đồ phân bố vùng có chế độ ngập khác nhau năm 2011: bản đồ có 4 vùng chế độ ngập khác nhau bao gồm

- Vùng ngập sớm và dài hạn: Cụ thể khu vực Đồng Tháp Mười ngập hơn 5 tháng, từ 20/7/2011 đến 27/12/2011., vùng Tứ Giác Long Xuyên ngập trễ hơn nhưng cũng kết thúc muộn từ 5/8/2011 đến 27/12/2011, thời gian ngập khoảng 5 tháng.

- Vùng ngập trễ và ngắn hạn: Trong đó, tỉnh Đồng Tháp tiếp giáp Long An ngập khoảng 3 tháng với thời điểm bắt đầu ngập từ 21/8/2011 đến 25/11/2011, vùng phía ven biển Tây thuộc Kiên Giang cũng như khu vực thuộc Cần Thơ và vùng giữa sông Tiền và sông Hậu ngập từ 22/9/2011 đến 3/12/2011, khu vực thấp trũng tiếp giáp giữa Hậu Giang và Sóc Trăng, thời gian ngập từ 30/9/2011 đến 9/11/2011.

- Vùng không ngập lũ: vùng này chỉ có thể ngập cục bộ do mưa hay triều, hoặc ngập và không ngập xen kẽ do canh tác.

- Vùng ngập mặn: là vùng ngập quanh năm do canh tác chuyên tôm hoặc tôm rừng.

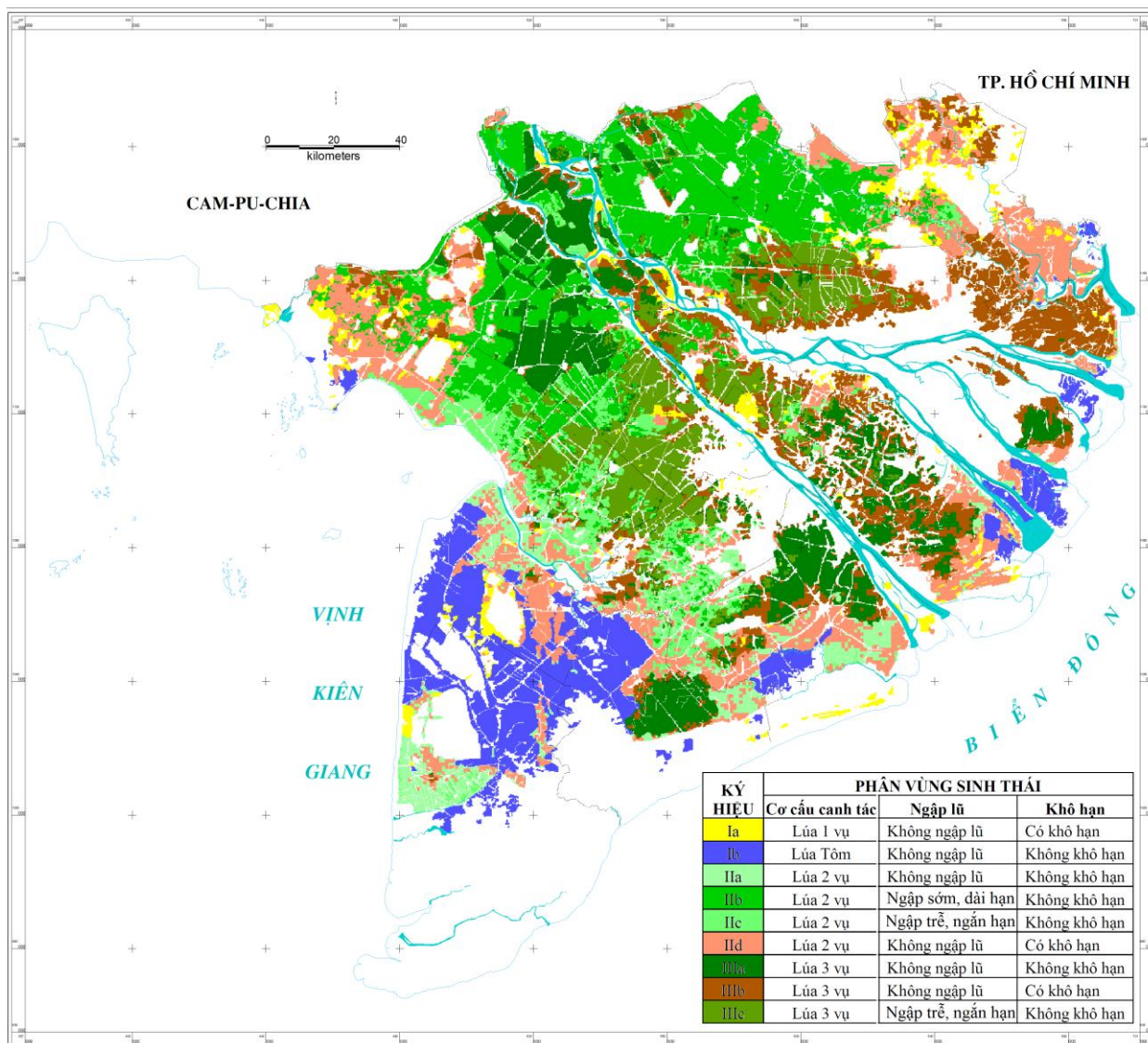


Hình 4.26 Bản đồ phân bố vùng có chế độ ngập khác nhau năm 2011

Bản đồ kết quả phân vùng sinh thái canh tác lúa xây dựng từ 03 bản đồ đơn tính nói trên được trình bày ở Hình 4.28. Kết quả đã phân được 9 vùng sinh thái khác nhau như sau (Bảng 4.9).

Bảng 4.9 Các đơn vị sinh thái đất canh tác lúa năm 2011 với 3 đơn tính hiện trạng, khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL

| KÝ HIỆU | PHÂN VÙNG SINH THÁI | | | Diện tích (ha) |
|---------|---------------------|--------------------------|---------------|----------------|
| | Cơ cấu canh tác | Ngập lũ | Khô hạn | |
| Ia | Lúa 1 vụ, lúa màu | Không ngập lũ | Có khô hạn | 92.308 |
| Ib | Lúa Tôm | Không ngập lũ (ngập mặn) | Không khô hạn | 255.862 |
| IIa | Lúa 2 vụ | Không ngập lũ | Không khô hạn | 116.570 |
| IIb | Lúa 2 vụ | Ngập sớm và dài hạn | Không khô hạn | 420.500 |
| IIc | Lúa 2 vụ | Ngập trễ và ngắn hạn | Không khô hạn | 146.177 |
| IId | Lúa 2 vụ | Không ngập lũ | Có khô hạn | 325.486 |
| IIIa | Lúa 3 vụ | Không ngập lũ | Không khô hạn | 320.168 |
| IIIb | Lúa 3 vụ | Không ngập lũ | Có khô hạn | 294.570 |
| IIIc | Lúa 3 vụ | Ngập trễ và ngắn hạn | Không khô hạn | 227.747 |



Hình 4.27 Bản đồ phân vùng sinh thái trên đất lúa ở ĐBSCL năm 2011

- Vùng Ia: Lúa 1 vụ, không ngập lũ, có khô hạn

Vùng canh tác Lúa 1 vụ nước trời hoặc Lúa Màu có tưới. Vùng này có trở ngại chính là khả năng bị khô hạn cao, thiếu nước tưới trong mùa khô nên khó khăn khi tăng vụ. Ngoài ra, đối với những vùng canh tác ven biển cây trồng còn chịu ảnh hưởng của xâm nhập mặn. Đối với cơ cấu Lúa 1 vụ thường canh tác vụ ĐX hay vụ Mùa. Cơ cấu Lúa Màu thường là ĐX-Màu hay HT- Màu

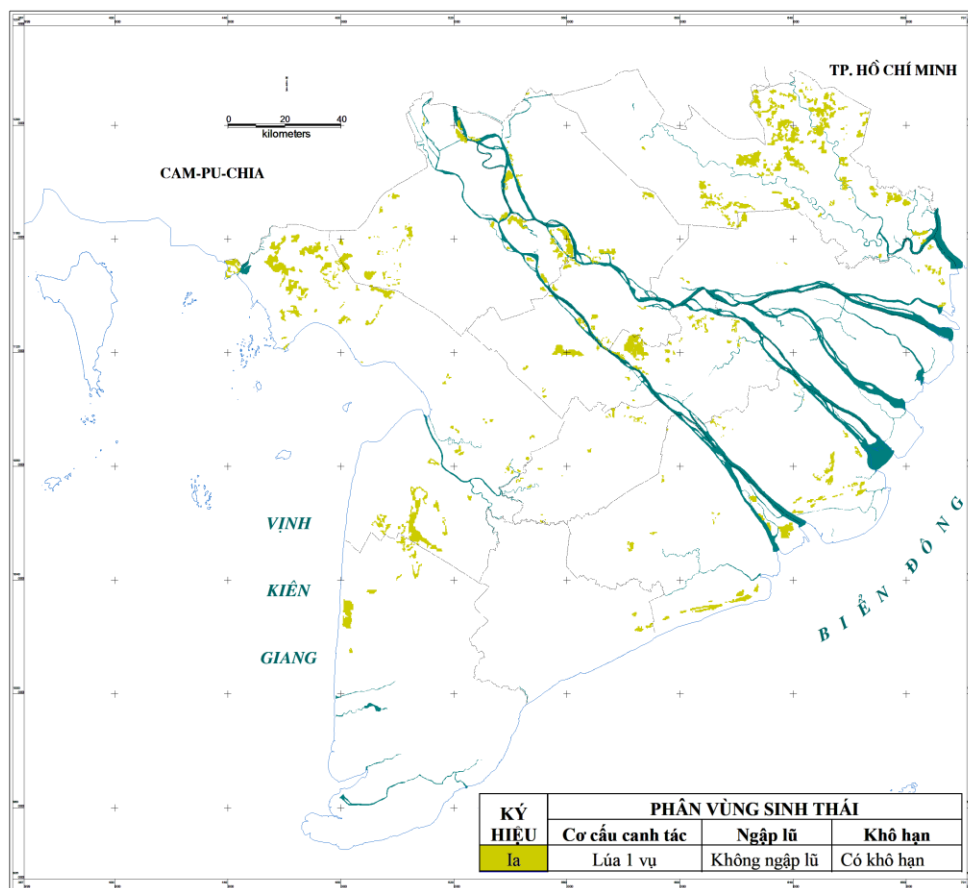
Cơ cấu Lúa 1 vụ ĐX chủ yếu phân bố ở vùng trũng phèn ở Đồng Tháp Mười, tập trung các vùng đất gần bìa rừng tràm tỉnh Long An và tỉnh Đồng Tháp. Cơ cấu này còn phân bố ở các địa phương vùng giáp biên giới Campuchia và nơi trũng phèn của vùng Tứ giác Long Xuyên gồm huyện Tri Tôn, Phú Tân tỉnh An Giang và huyện Giang Thành, Kiên Lương tỉnh Kiên Giang. Lịch thời vụ thường bắt đầu xuống giống vụ ĐX sau khi mùa lũ kết thúc. Sau mùa lũ đất được rửa phèn, người dân bắt đầu xuống giống, cơ cấu này chủ yếu dựa vào lượng nước tích trữ trong mùa lũ.

Đối với cơ cấu Lúa 1 vụ Mùa, vụ Mùa thường bắt đầu gieo cấy vào đầu tháng 6 đến tháng 7 và dứt điểm vào cuối tháng 9. Cơ cấu này thích hợp cho các vùng đất nhiễm phèn mặn, sản xuất lúa chủ yếu dựa vào lượng nước mưa của địa phương. Phân bố chủ yếu ở Bán đảo Cà Mau và huyện Giá Rai tỉnh Bạc Liêu, ở các vùng ven biển các tỉnh Long An,

Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh và Sóc Trăng. Ngoài ra, còn phân bố rải rác dưới chân núi thuộc huyện Tịnh Biên tỉnh An Giang

Đối với cơ cấu Lúa Màu chiếm diện tích nhỏ trong sản xuất ở ĐBSCL. Phân bố rải rác ở các tỉnh, tập trung nhiều nhất huyện tỉnh Long An, Vĩnh Long. Cơ cấu ĐX-Màu, vụ ĐX từ tháng 12 đến tháng 2 năm sau sử dụng các giống ngắn ngày năng suất cao và kháng sâu bệnh. Từ tháng 3 đến tháng 12 trồng các vụ rau màu (bắp, đậu nành, mè, dưa hấu, dưa leo, bí đỏ...). Số lượng vụ màu khó xác định được do lúc nào trên ruộng cũng có canh tác. Cơ cấu HT-Màu, từ tháng 6 đến tháng 9 gieo trồng vụ HT. Sau đó là các vụ Màu.

Biện pháp cải tạo cho vùng có thể là trữ nước cho vụ mùa khô hay áp dụng các biện pháp tưới tiết kiệm nước. Chú ý chọn giống cây trồng chống chịu mặn đối với những vùng canh tác ven biển. Đối với vùng Lúa 1 vụ nước trời nên phát triển giống lúa trung mùa dài ngày, ít sâu bệnh sử dụng ít phân bón. Đối với cơ cấu Lúa Màu đòi hỏi kỹ thuật làm đất và kỹ thuật sau thu hoạch phức tạp. Tính toán đầu ra cho cây Màu trong hệ thống Lúa-Màu cũng là một trở ngại.



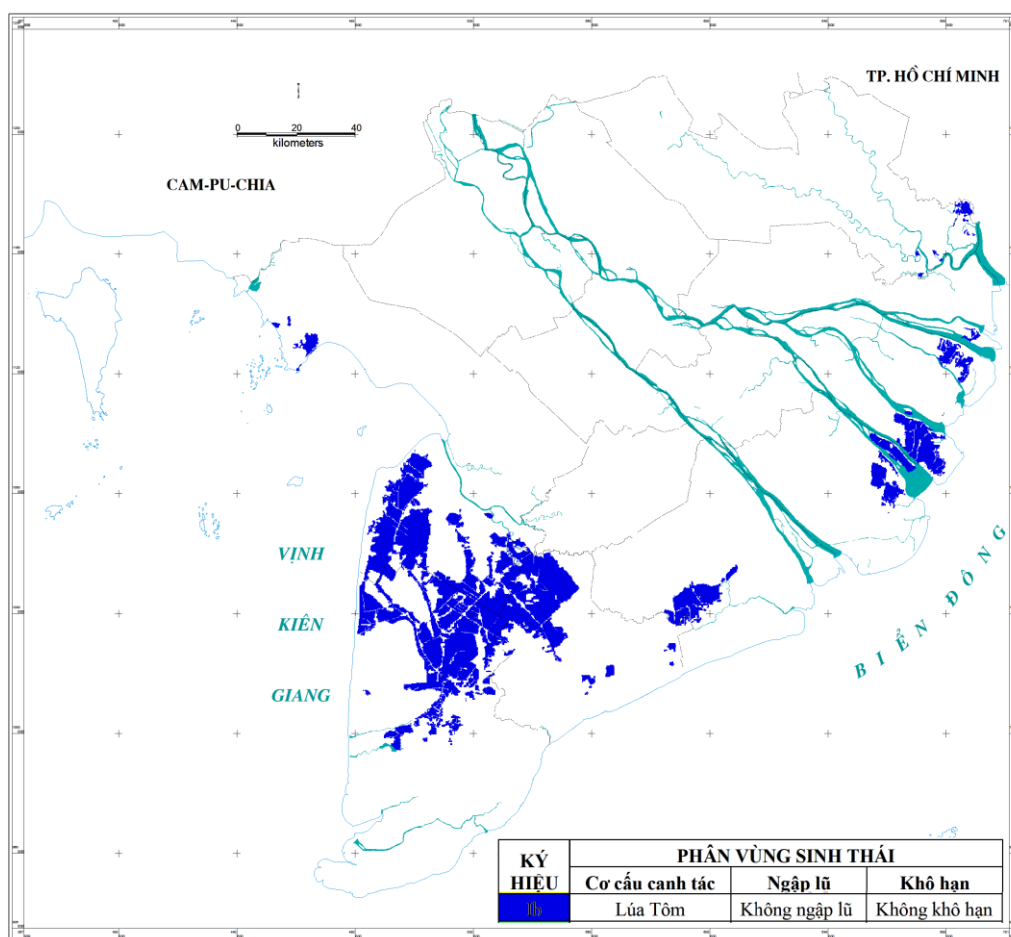
Hình 4.28 Vùng sinh thái Ia

- **Vùng Ib:** Lúa Tôm, không ngập lũ (ngập mặn), không khô hạn

Vùng canh tác Lúa Tôm phân bố chủ yếu ở khu vực tỉnh Cà Mau và Kiên Giang, một phần ở ven biển Sóc Trăng, Bến Tre và Trà Vinh. Đây là cơ cấu được chuyển đổi từ Lúa 1 vụ nước trời và thực tế cho thấy cơ cấu này có hiệu quả kinh tế trên vùng đất nhiễm mặn vì tận dụng 2 đối tượng trong một hệ sinh thái. Con tôm sống trong môi trường nước mặn mùa nắng, đến mùa mưa những thức ăn thừa, chất thải của con tôm dùng để làm phân cung cấp cho cây lúa. Như vậy, nông dân vừa có tôm, vừa có lúa và hệ sinh thái rất bền vững.

Lịch thời vụ thông thường từ tháng 1 đến tháng 5 - 6 dương lịch là thời vụ nuôi tôm sú chính, tháng 7 dương lịch rửa mặn, tháng 8 đến tháng 11 dương lịch trồng lúa (có thể thả cá bỏ sung). Vấn đề khô hạn trong mùa khô không quan trọng vì không ảnh hưởng đến vụ tôm. Tuy nhiên, những đợt khô hạn vào tháng 7 và 8 hàng năm (hạn Bà Chằng) kèm lượng mưa ít sẽ ảnh hưởng rất lớn đến công tác rửa mặn cũng như sinh trưởng cây lúa.

Biện pháp cải tạo theo hướng cải thiện giống vật nuôi, cây trồng và kỹ thuật canh tác. Đối với lúa, khảo nghiệm chọn giống lúa chịu mặn thích hợp với điều kiện độ mặn và thổ nhưỡng, điều kiện tự nhiên tại từng địa phương. Đối với kỹ thuật canh tác, thiết kế đồng ruộng, ao ương, ruộng nuôi và biện pháp xả thải phù hợp.

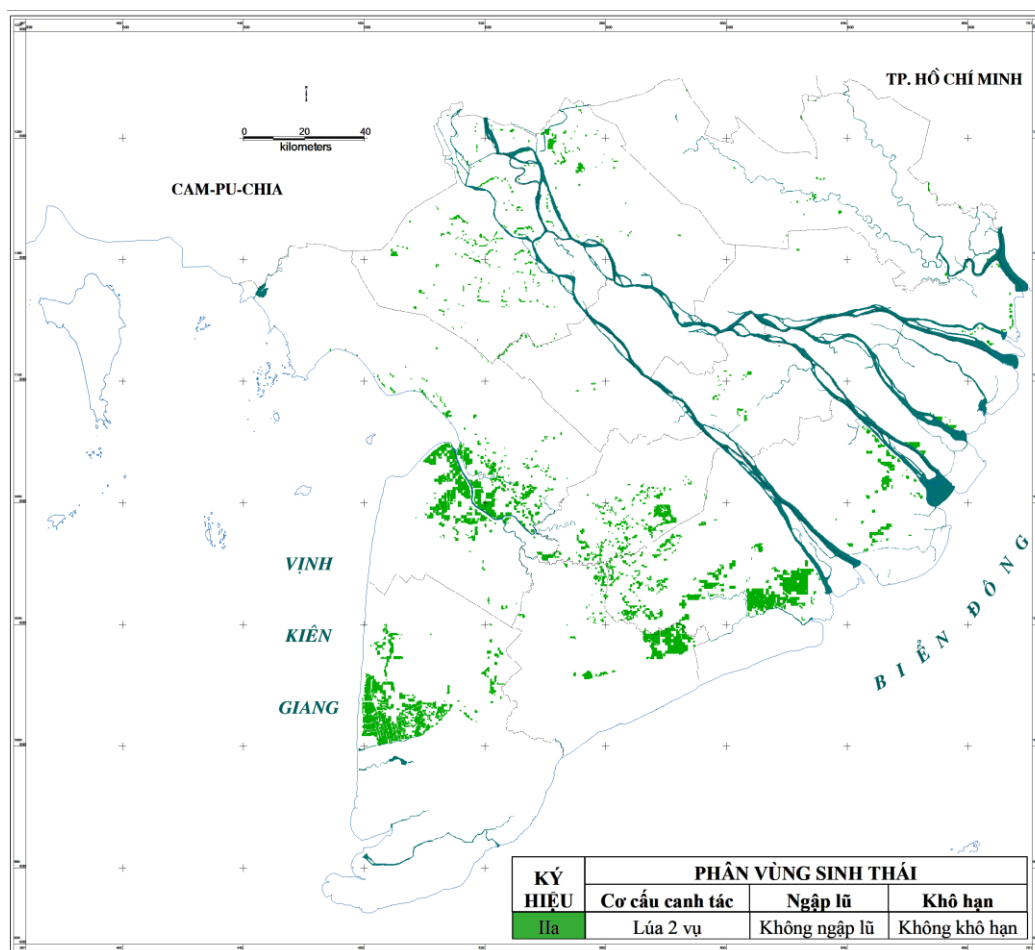


Hình 4.29 Vùng sinh thái Ib

- Vùng IIa: Lúa 2 vụ, không ngập lũ, không khô hạn

Vùng canh tác Lúa 2 vụ HT-TĐ phân bố chủ yếu ở ven biển tỉnh Sóc Trăng và Cà Mau. Đây là cơ cấu canh tác tận dụng nước trời, tuy kết quả phân tích trên bản đồ cho thấy vùng này không bị ảnh hưởng bởi khô hạn có thể do đặc điểm vùng mưa nhiều nhưng khả năng bị xâm nhập mặn rất lớn nếu lượng mưa giảm. Do vậy, vùng này cần chú ý chọn giống chịu mặn và chịu hạn để ứng phó với khô hạn và xâm nhập mặn.

Nguy cơ của vùng này khi một số hộ dân tự ý đưa nước mặn vào nuôi Tôm do lợi nhuận từ con tôm mang lại gấp nhiều lần so với cây lúa dẫn đến khả năng đất bị nhiễm mặn khi chuyển qua Lúa Tôm hoặc chuyên Tôm. Địa phương cần có biện pháp quản lý và qui hoạch hợp lý. Cần hoàn thiện hệ thống công trình ngăn mặn, phân ranh mặn ngọt để đảm bảo sản xuất cho từng tiểu vùng khác nhau. Nạo vét, mở rộng kênh trục từ sông Hậu để tăng cung cấp nước ngọt cho vùng xa sông.



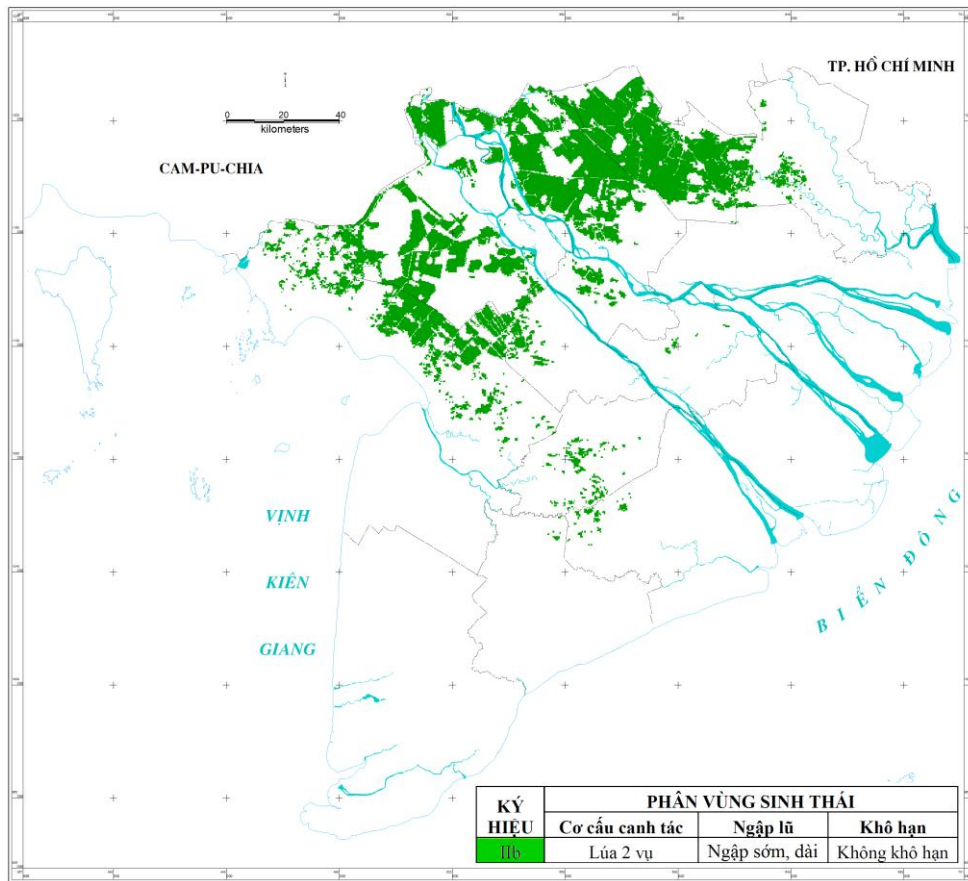
Hình 4.30 Vùng sinh thái Ila

- Vùng I Ib: Lúa 2 vụ, ngập sớm và dài hạn, không khô hạn

Phân bố ở hai vùng chính là Đồng Tháp Mười và Tứ Giác Long Xuyên. Khu vực Đồng Tháp Mười do điều kiện mùa lũ thường ngập lâu và sâu hơn nên bố trí theo cơ cấu ĐXM-HTs. Vụ ĐXM bắt đầu xuống giống vào khoảng đầu tháng 1 và thu hoạch đầu tháng 4. Cuối tháng 4 xuống giống vụ HTs và thu hoạch vào cuối tháng 7. Vùng Tứ Giác Long Xuyên thường bố trí cơ cấu ĐX-HTs, trong đó vụ ĐX xuống giống vào đầu tháng 12 và thu hoạch vào đầu tháng 3 năm sau. Vụ HTs tương tự bắt đầu xuống giống vào khoảng cuối tháng 4 và thu hoạch vào cuối tháng 7. Vì trở ngại của vùng canh tác là thường ngập sâu và kéo dài trong mùa lũ nên vụ ĐX bắt đầu vào giữa cuối tháng 12 và vụ HT phải kết thúc sớm vào tháng 7 do đó cần chọn giống lúa cao sản ngắn ngày để kịp lịch thời vụ.

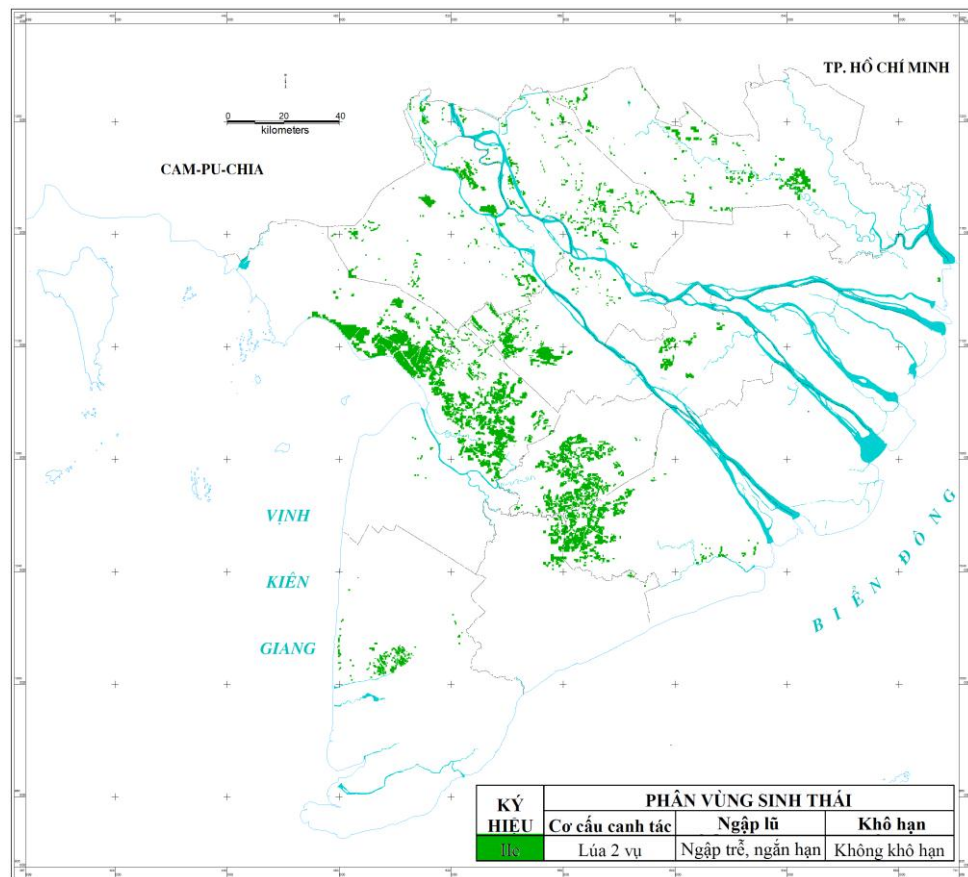
Đây là vùng chứa nước trong mùa lũ cho ĐBSCL giúp làm giảm lưu lượng trên các sông chính. Quá trình lũ sẽ giúp cải tạo đất đai cung cấp nguồn lợi thủy sản dồi dào, bồi đắp phù sa cho vùng làm tăng sản lượng nông nghiệp cho các mùa vụ sản xuất, rửa mặn phèn và độc chất tích tụ ở những vùng trũng.

Vì những lợi ích mang lại từ lũ nên ngoài việc thích nghi với lũ như phát triển thêm mô hình chăn nuôi, rau màu và thủy sản nước ngọt thì những biện pháp hạn chế những thiệt hại do lũ như làm tốt công tác dự báo cũng như kế hoạch ứng phó với lũ, tăng cường biện pháp kiểm soát lũ cho vùng I Ib thông qua hoàn thiện hệ thống các công trình thoát lũ biển Tây và thoát lũ ra sông Tiền, sông Vàm Cỏ đồng thời phát triển thủy lợi nội đồng, bờ bao, trạm bơm để tiêu nước.



Hình 4.31 Vùng sinh thái IIB

- **Vùng IIc:** Lúa 2 vụ, ngập trễ và ngắn hạn, không khô hạn

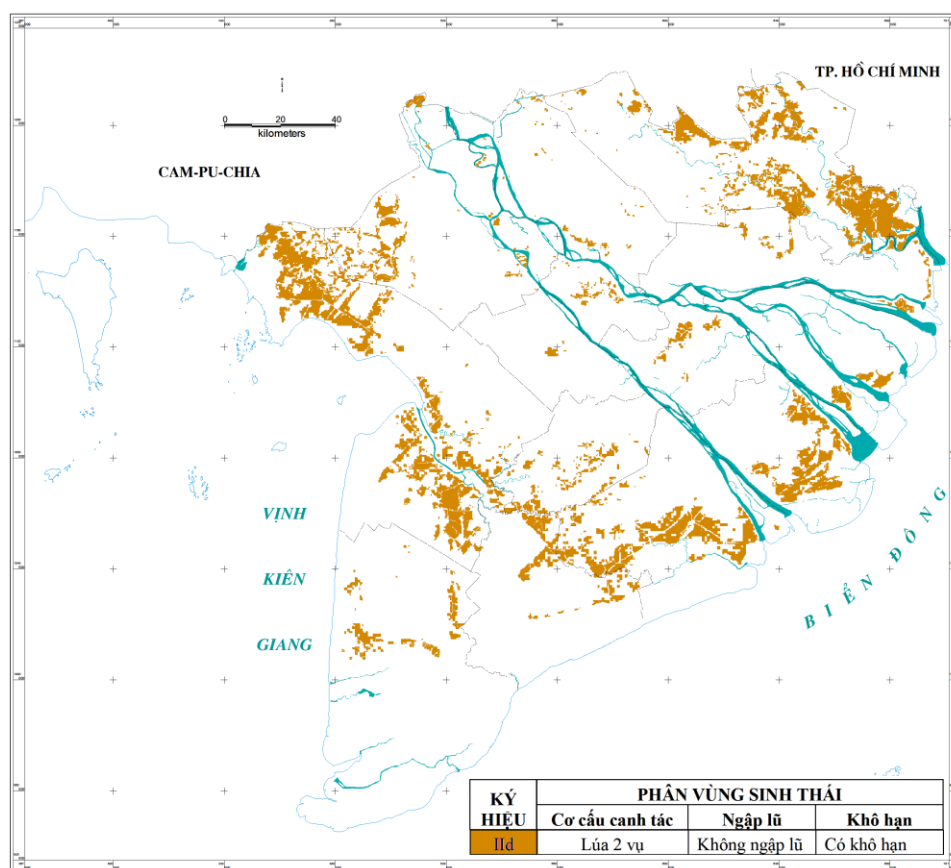


Hình 4.32 Vùng sinh thái IIc

Cơ cấu canh tác chủ yếu là ĐX-HTs, trong đó vụ ĐX xuống giống vào đầu tháng 12 và thu hoạch vào đầu tháng 3 năm sau. Vụ HTs bắt đầu xuống giống vào khoảng cuối tháng 4 và thu hoạch vào cuối tháng 7. Phân bố nhiều nhất ở huyện Tân Hiệp, Giồng Riềng tỉnh Kiên Giang; huyện Cờ Đỏ, Thới Lai, Thốt Nốt và Ô Môn thành phố Cần Thơ; huyện Long Mỹ, thành phố Vị Thanh tỉnh Hậu Giang và một phần phía tây huyện Mỹ Tú tỉnh Sóc Trăng.

Vùng này chịu ảnh hưởng của lũ nhưng ngập cạn và trễ. Đối với những năm lũ lớn có thể ảnh hưởng đến tiến độ gieo trồng vụ ĐX vào tháng 12. Cần có biện pháp chủ động kiểm soát lũ như hoàn thiện các công trình kiểm soát lũ, nạo vét kênh mương, phát triển thủy lợi nội đồng, thiết kế các trạm bơm để tiêu thoát lũ.

- Vùng IId: Lúa 2 vụ, không ngập lũ, có khô hạn



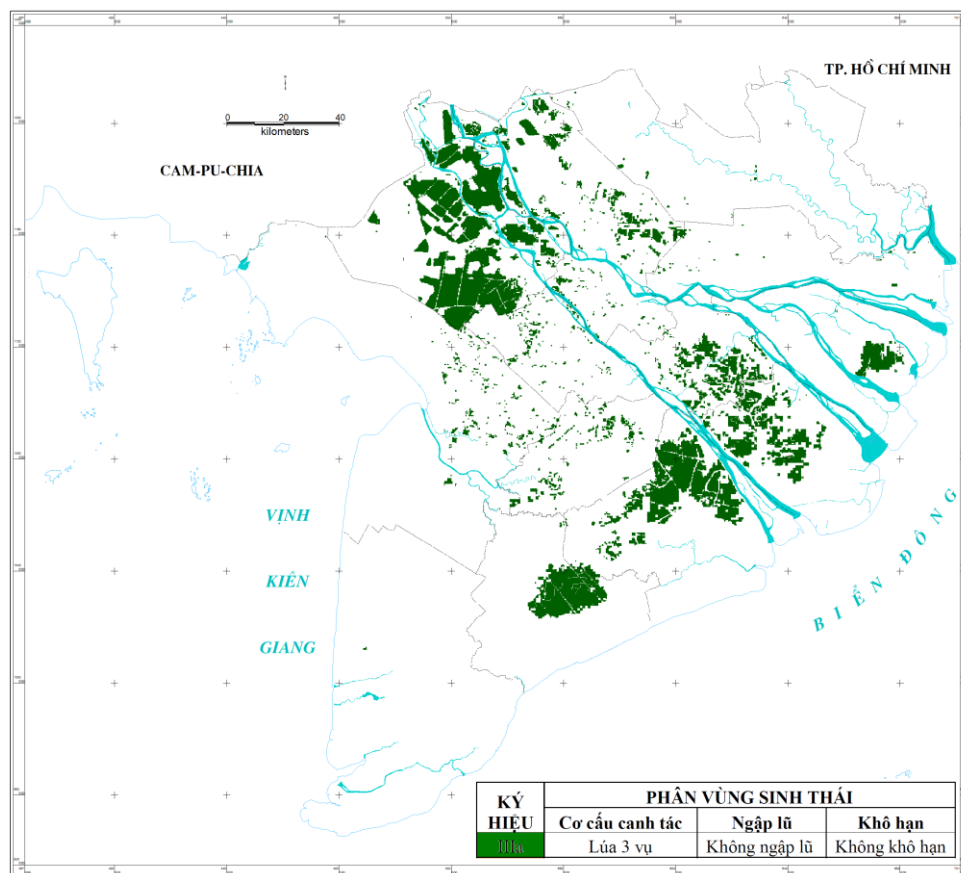
Hình 4.33 Vùng sinh thái IId

Cơ cấu canh tác chính là vụ HT-Mùa hoặc HT-TĐm. Đối với cơ cấu HT-Mùa thì vụ HT bắt đầu gieo sạ giữa tháng 6 và thu hoạch vào giữa tháng 9. Vụ Mùa bắt đầu cấy vào đầu tháng 10, sau đó khoảng 4 tháng thu hoạch vụ Mùa vào khoảng đầu tháng 2 năm sau. Đối với cơ cấu HT-TĐm, thời gian xuống giống và thu hoạch vụ HT giống như trên. Tuy nhiên, vụ TĐm xuống giống trễ hơn một tháng so với vụ TĐ chính vụ, bắt đầu xuống giống vào khoảng giữa tháng 10 và thu hoạch vào giữa tháng 1 năm sau.

Trở ngại của khu vực này là vấn đề nước tưới do đó việc bố trí mùa vụ thường phụ thuộc theo thời điểm mưa trong năm. Khu vực vùng núi An Giang, chủ yếu chuyển đổi từ Lúa 1 vụ nhờ cải thiện hệ thống tưới. Vùng ngọt hóa ven biển Kiên Giang, Cà Mau, Sóc Trăng, Trà Vinh, Long An ngoài trở ngại khô hạn thiếu nước canh tác còn có trở ngại xâm nhập mặn. Do vậy, nguy cơ chuyển đổi tự phát mô hình sang Lúa-Tôm hay chuyên Tôm cao nếu không có chế độ chính sách quản lý và hỗ trợ phù hợp của địa phương nhằm đảm bảo cung cấp đủ nước ngọt vào mùa khô.

- Vùng IIIa: Lúa 3 vụ, không ngập lũ, không khô hạn

Vùng Lúa 3 vụ ĐX-HT-TĐ ở các tỉnh đầu nguồn nằm trong đê bao. Vùng này theo qui định cứ 3 năm xả lũ một lần để cải tạo đất. Hướng chuyển đổi sang 2 Lúa- 1 Mầu vẫn chưa được nông dân hưởng ứng mạnh mẽ do khó khăn trong khâu kỹ thuật làm đất giữa vụ lúa và vụ màu. Trở ngại của vùng canh tác Lúa 3 vụ khu vực đầu nguồn thường là vấn đề suy thoái đất, dịch hại và giá cả đầu ra.



Hình 4.34 Vùng sinh thái IIIa

Đối với vùng ngọt hóa ở các tỉnh ven biển, nguồn nước từ các kinh phụ dẫn nước ngọt từ sông Hậu đến Sóc Trăng như kinh Kế Sách - Sóc Trăng, kinh Cái Côn đến Phụng Hiệp (Ngã Bảy) và từ đó qua nhiều kênh khác đưa nước ngọt đến Sóc Trăng, Bạc Liêu, và Cà Mau. Vùng ngọt hóa thường bố trí cơ cấu Lúa 3 vụ ĐXm-HT-TĐ. Vụ ĐXm xuống giống bắt đầu khoảng giữa tháng 1 và thu hoạch vào giữa tháng 4. Vụ HT xuống giống vào cuối tháng 5 và thu hoạch vào cuối tháng 8. Vụ TĐ xuống giống từ giữa tháng chín thu hoạch giữa tháng 12. Đến tháng 1 năm sau mới bắt đầu vụ ĐXm tiếp theo. Trở ngại vùng này chính là biện pháp điều tiết nước hợp lý nhằm ứng phó với khô hạn và xâm nhập mặn. Cần nạo vét, mở rộng kênh trục từ sông Hậu vào nội đồng để tăng khả năng cấp nước và hoàn thiện các công trình đê biển, cống ngăn xâm nhập mặn.

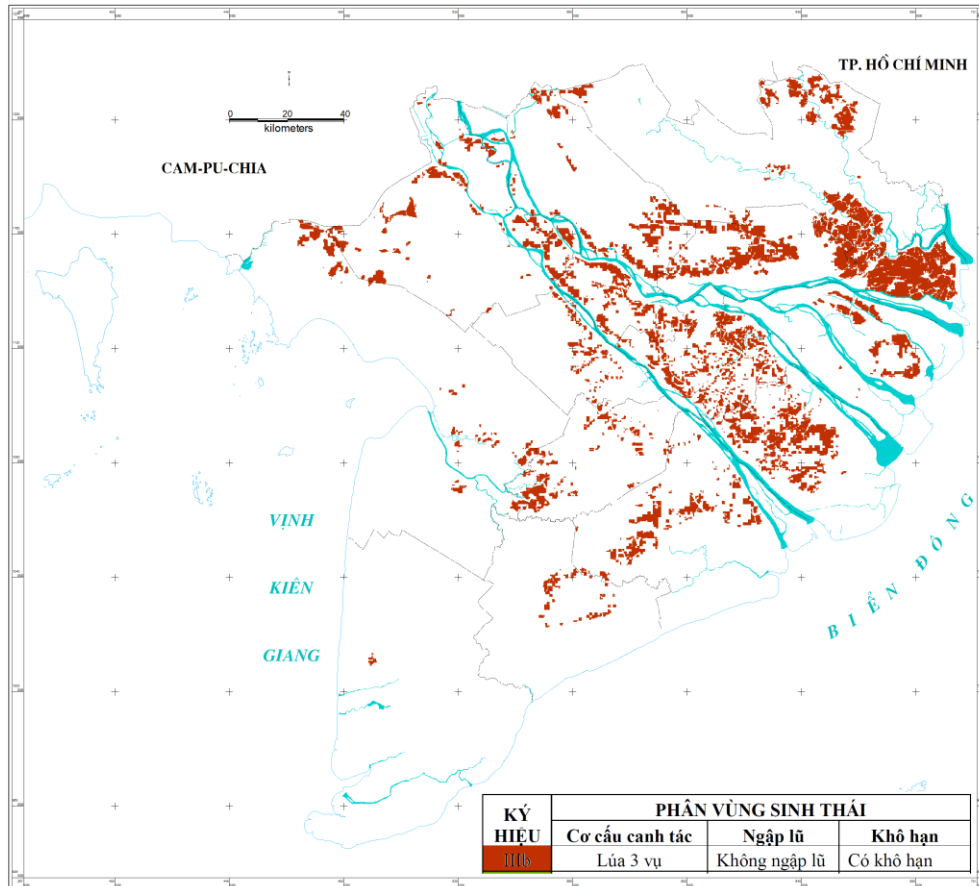
- Vùng IIIb: Lúa 3 vụ, không ngập lũ, có khô hạn

Có thể chia làm 2 vùng chính đó là canh tác Lúa 3 vụ khu vực phù sa ven sông trung tâm ĐBSCL và vùng canh tác Lúa 3 vụ khu vực ngọt hóa các tỉnh ven biển. Khu vực phù sa ven sông tương đối thuận lợi do không chịu ảnh hưởng của ngập lũ và thường có cao trình cao nhưng chủ động được nước tưới.

Khu vực ngọt hóa thường canh tác vụ ĐX-HT-TĐ hay ĐXm-HT-TĐ. Trong đó, nước tưới chủ yếu phục vụ cho vụ ĐX hay ĐXm, thường bắt đầu giữa tháng 12 và thu hoạch

vào giữa đến cuối tháng 3. Vụ HT và TĐ chủ yếu tận dụng nước trời nên cuối tháng 5 mới bắt đầu canh tác vụ HT. Sau khi thu hoạch vụ HT vào cuối tháng 8, đất được nghỉ 1-2 tuần và tiếp tục vụ TĐ từ giữa tháng 9 đến giữa tháng 12.

Trở ngại về khô hạn chỉ thực sự ảnh hưởng đến vùng canh tác Lúa 3 vụ khu vực ngọt hóa ven biển với nguy cơ khô hạn và xâm nhập mặn cao hàng năm. Cần áp dụng canh tác các giống lúa ngắn ngày chịu mặn và chịu hạn đồng thời có kế hoạch trữ và quản lý nước tốt, gieo sạ đồng loạt và biện pháp tưới tiết kiệm. Nghiên cứu chuyển đổi sang cơ cấu Mầu ĐX-Lúa HT-Lúa TĐ để giảm nhu cầu về nước tưới.

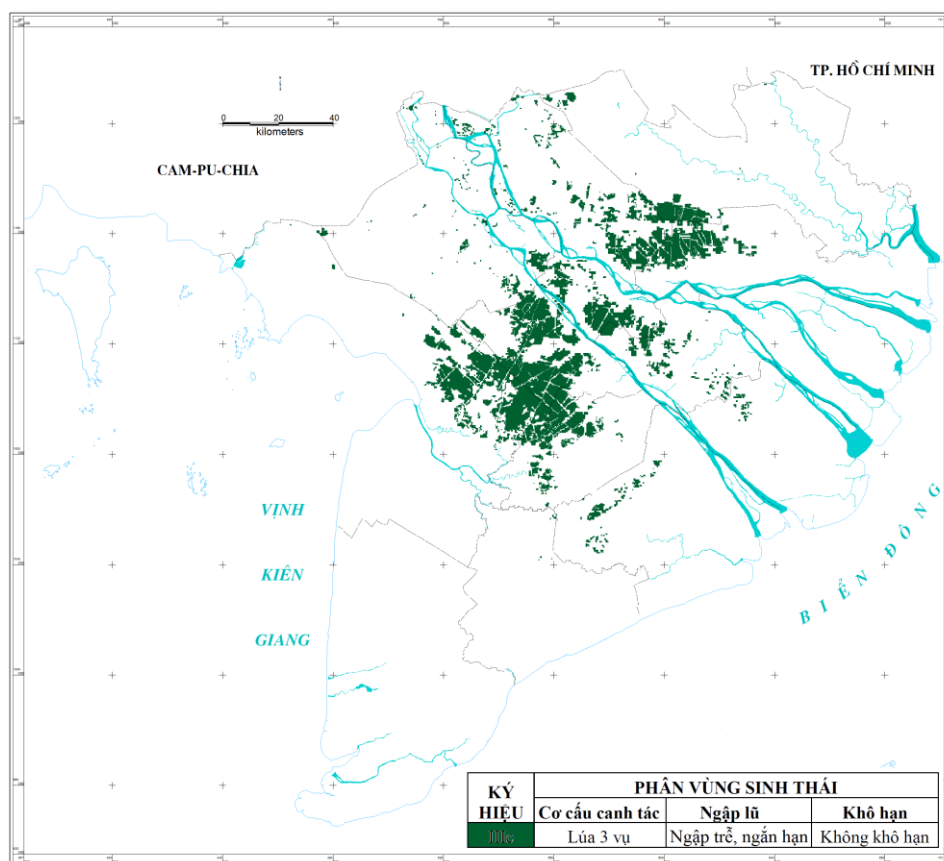


Hình 4.35 Vùng sinh thái IIIb

- Vùng IIIc: Lúa 3 vụ, ngập trễ và ngắn hạn, không khô hạn

Cơ cấu canh tác chính là ĐX-HTs-TĐs. Phân bố ở vùng trũng tiếp giáp giữa 3 tỉnh Kiên Giang, Cần Thơ và Hậu Giang. Vùng này thường sử dụng các giống lúa có thời gian sinh trưởng ngắn, phù hợp cho các vùng bị ngập lũ muộn sản xuất 3 vụ lúa. Vụ ĐX xuống giống cuối tháng 11 và thu hoạch vào cuối tháng 2 năm sau. Vụ HTs xuống giống vào đầu tháng 3 và thu hoạch vào cuối tháng 5. Tiếp tục xuống giống vụ TĐs vào giữa tháng 6 và thu hoạch vào giữa đầu tháng 9. Sau đó là khoảng thời gian ngập khoảng 2-3 tháng.

Trở ngại của vùng này đó là vấn đề ngập lũ. Nếu lũ lớn tương tự như năm 2011, thời gian ngập liên tục của vùng sẽ từ giữa tháng 9 đến giữa tháng 12 và ảnh hưởng đến thời điểm thu hoạch lúa TĐs và thời điểm xuống giống vụ ĐX. Do vậy, cần có biện pháp chủ động kiểm soát lũ như hoàn thiện các công trình kiểm soát lũ, nạo vét kênh mương, phát triển thủy lợi nội đồng, thiết kế các trạm bơm để tiêu thoát lũ kịp thời.



Hình 4.36 Vùng sinh thái IIIc

Tóm lại

Cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL mang tính đặc thù tập quán canh tác của từng địa phương và chịu ảnh hưởng lớn từ đặc điểm tự nhiên của những tiểu vùng sinh thái như vấn đề nước tưới và điều kiện ngập khác nhau. Ngoài ra, sự phức tạp cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL còn do sự không đồng đều của các thửa ruộng, chênh lệch ngày gieo sạ trong một vùng sinh thái (từ vài ngày đến vài tuần), và cả sự khác nhau về sử dụng giống lúa.

Chín vùng sinh thái được xây dựng từ 03 bản đồ đơn tính về cơ cấu canh tác, đặc điểm ngập lũ và khô hạn tương ứng sẽ cho thấy những vấn đề trở ngại chính trong điều kiện canh tác của mỗi vùng. Nói chung, canh tác lúa ở ĐBSCL hàng năm phải đối mặt với hai thiên tai chính là ngập lũ mùa mưa và khô hạn kèm xâm nhập mặn mùa khô. Biến đổi khí hậu sẽ ngày càng làm gia tăng cường độ thiên tai và mức độ thiệt hại. Cần có những biện pháp đối phó nhằm thích ứng với BĐHK như:

- Bố trí cơ cấu mùa vụ, lịch canh tác hợp lý từng vùng sinh thái nhằm tránh lũ và né hạn.
- Nghiên cứu giống cây trồng có tính chống chịu tốt như chịu mặn, hạn hay chịu ngập.
- Nghiên cứu chuyển đổi mô hình canh tác vừa phù hợp với điều kiện tự nhiên vừa hiệu quả kinh tế và bền vững môi trường.
- Nâng cao hiệu quả công tác dự báo lũ, hạn, mặn và thông báo kịp thời đến người dân.

4.3.2 Các đề xuất theo hướng giải pháp cho nhu cầu thông tin về hệ thống canh tác lúa, thông tin về vùng khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL

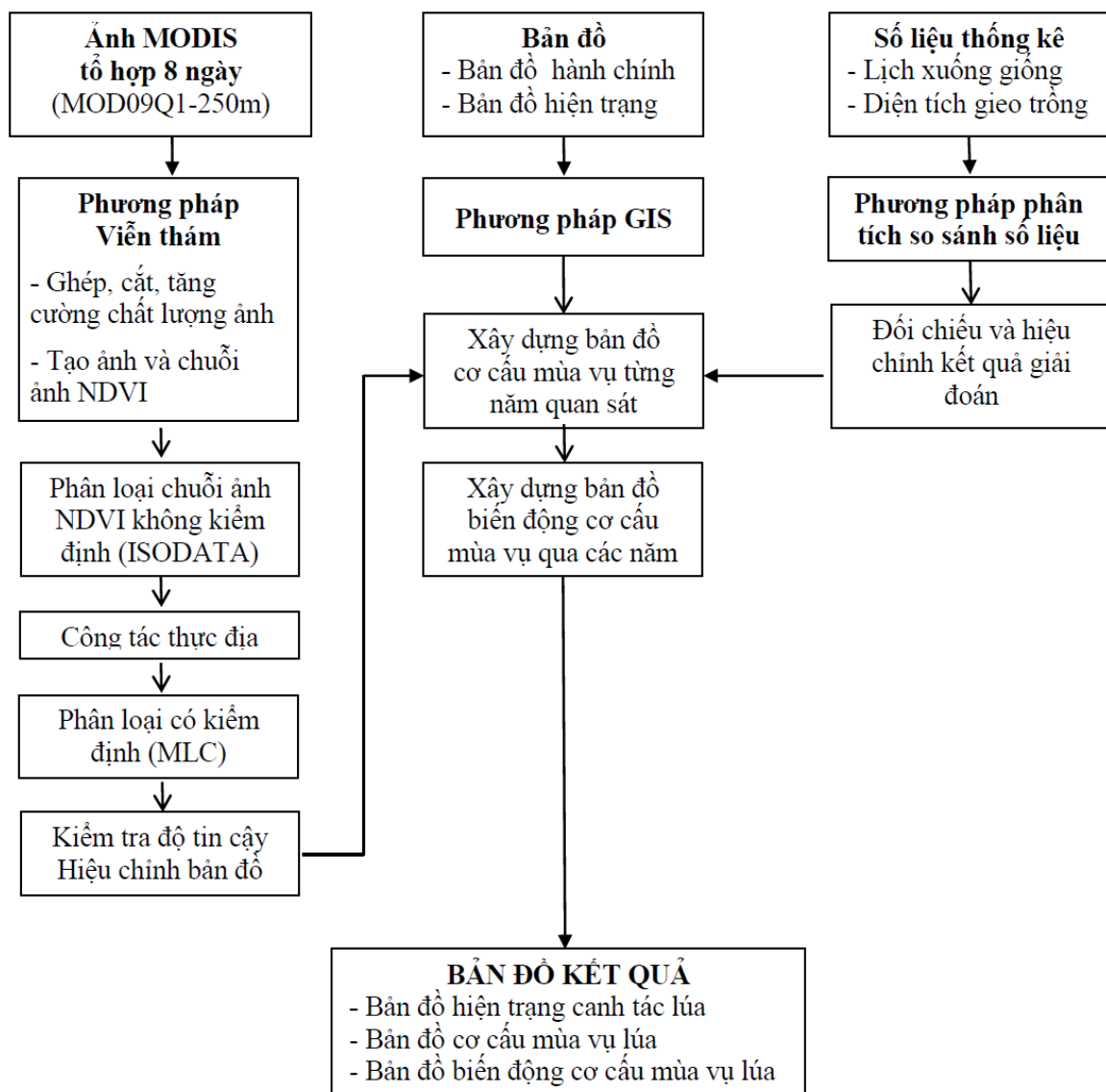
4.3.2.1 Giải pháp cho nhu cầu thông tin về hệ thống canh tác lúa

Hiện nay, các hệ thống canh tác lúa của khu vực nghiên cứu đã thay đổi do sự cải thiện hệ thống đê bao kiểm soát lũ và hệ thống quản lý nước đã nảy sinh các nhu cầu về:

- Thành lập bản đồ nhằm cập nhật thông tin của hệ thống canh tác lúa trong khu vực.
- Đánh giá hàng năm về nhu cầu sản xuất lúa trên cả nước đòi hỏi sự cập nhật các thông tin chính xác về vị trí và thời điểm lúa được trồng ở đồng bằng sông Cửu Long.
- Giám sát biến động của các mô hình canh tác lúa trong khu vực là một nhiệm vụ vô cùng khó khăn.

Nghiên cứu này đã chứng minh lợi thế của việc sử dụng dữ liệu vệ tinh MODIS để nghiên cứu về hiện trạng canh tác và hệ thống canh tác lúa trong khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên để công tác xây dựng bản đồ về canh tác lúa từ dữ liệu ảnh MODIS được hiệu quả cần quan tâm đến các vấn đề sau:

- Dữ liệu bổ trợ về lịch xuống giống cũng như vị trí và diện tích gieo trồng rất quan trọng trong việc xác định chính xác mùa vụ và phân loại cây trồng trên dữ liệu ảnh viễn thám.
- Công tác thực địa với vùng khảo sát có diện tích lớn tương ứng độ phân giải của dữ liệu ảnh viễn thám. Trong trường hợp sử dụng dữ liệu MOD09Q1 với độ phân giải không gian 250m thì ruộng khảo sát cần có diện tích tối thiểu là 6,25ha và độ đồng nhất của thửa ruộng khảo sát là trên 90%.

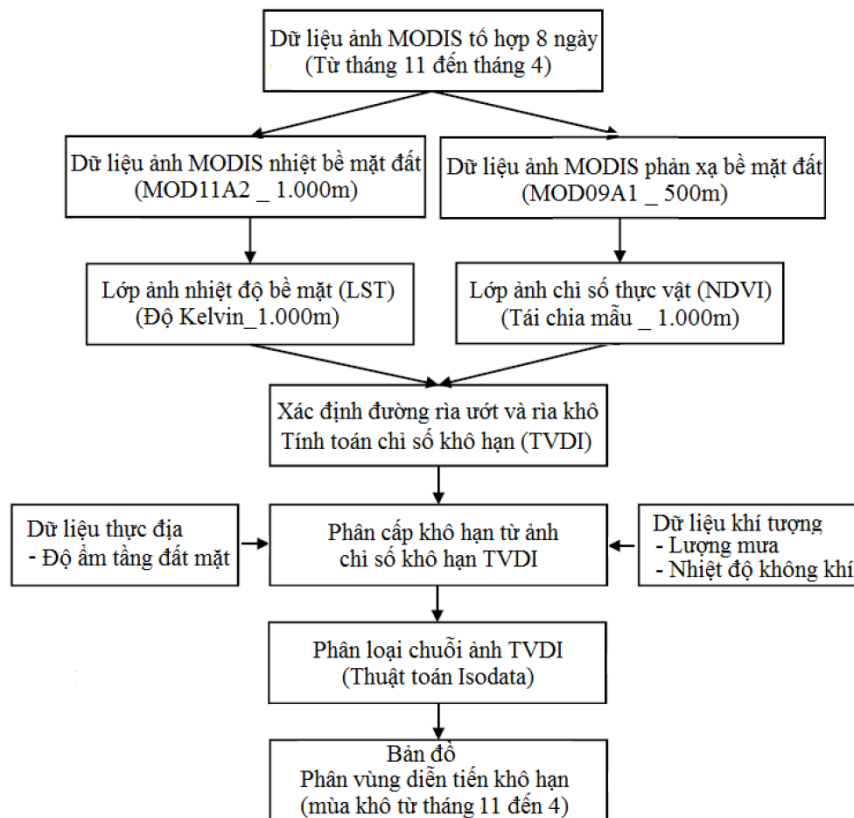


Hình 4.37 Quy trình đề xuất xây dựng các bản đồ chuyên đề hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp và cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL

4.3.2.2 Về giải pháp cho nhu cầu thông tin khô hạn ở ĐBSCL

Giá trị TVDI tính toán được từ ảnh MODIS cho thấy có độ tin cậy cao khi được so sánh với các chỉ số khô hạn khác và dữ liệu lượng mưa. Ngoài ra, những vùng canh tác lúa được chỉ ra trên bản đồ giải đoán có chỉ số khô hạn TVDI cao cũng phù hợp với kết quả khảo sát hiện trạng canh tác thực tế tại cùng thời điểm. Điều này cho thấy khả năng ứng dụng ảnh viễn thám nhiệt của vệ tinh MODIS để theo dõi và đánh giá được tình hình khô hạn cho toàn vùng ĐBSCL là phù hợp. Tuy nhiên, để việc ứng dụng vào thực tế kết quả nghiên cứu có hiệu quả cần quan tâm đến các yếu tố sau

- Việc xác định đường giới hạn ướt và giới hạn khô trong tính toán chỉ số TVDI phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm và kỹ thuật của người xử lý, cần nghiên cứu phương pháp giúp giảm sai số trong quá trình xác định 2 đường giới hạn này.
- Cần nghiên cứu, đề xuất thang đánh giá tình trạng khô hạn phù hợp cho vùng ĐBSCL làm cơ sở xác định chỉ số khô hạn với độ chính xác cao cho vùng ĐBSCL.
- Một trong những yếu tố quan trọng có ảnh hưởng đến sự xuất hiện khô hạn ở ĐBSCL là lượng mưa trung bình tháng và năm, vì vậy nên kết hợp sử dụng số liệu lượng mưa trung bình đo đạc cùng với ảnh viễn thám nhiệt để dự báo khô hạn.
- Để có kết quả đánh giá cụ thể hơn mức độ khô hạn ảnh hưởng đến cây trồng cần có thêm bộ dữ liệu đo đạc thực địa ẩm độ đất. Tuy nhiên điều này đòi hỏi cần có sự đo đạc ẩm độ thực tế kiểm chứng rất nghiêm ngặt cả về mặt không gian và thời gian.
- Ngoài ra, cần có thêm những nghiên cứu về chỉ số khô hạn TVDI áp dụng trên nhiều loại ảnh viễn thám nhiệt của các vệ tinh khác nhau nhằm xác định có hay không sự khác biệt giá trị của các chỉ số Tmax, Tmin và các hệ số a, b trong công thức tính chỉ số khô hạn TVDI trên các loại viễn thám nhiệt này.

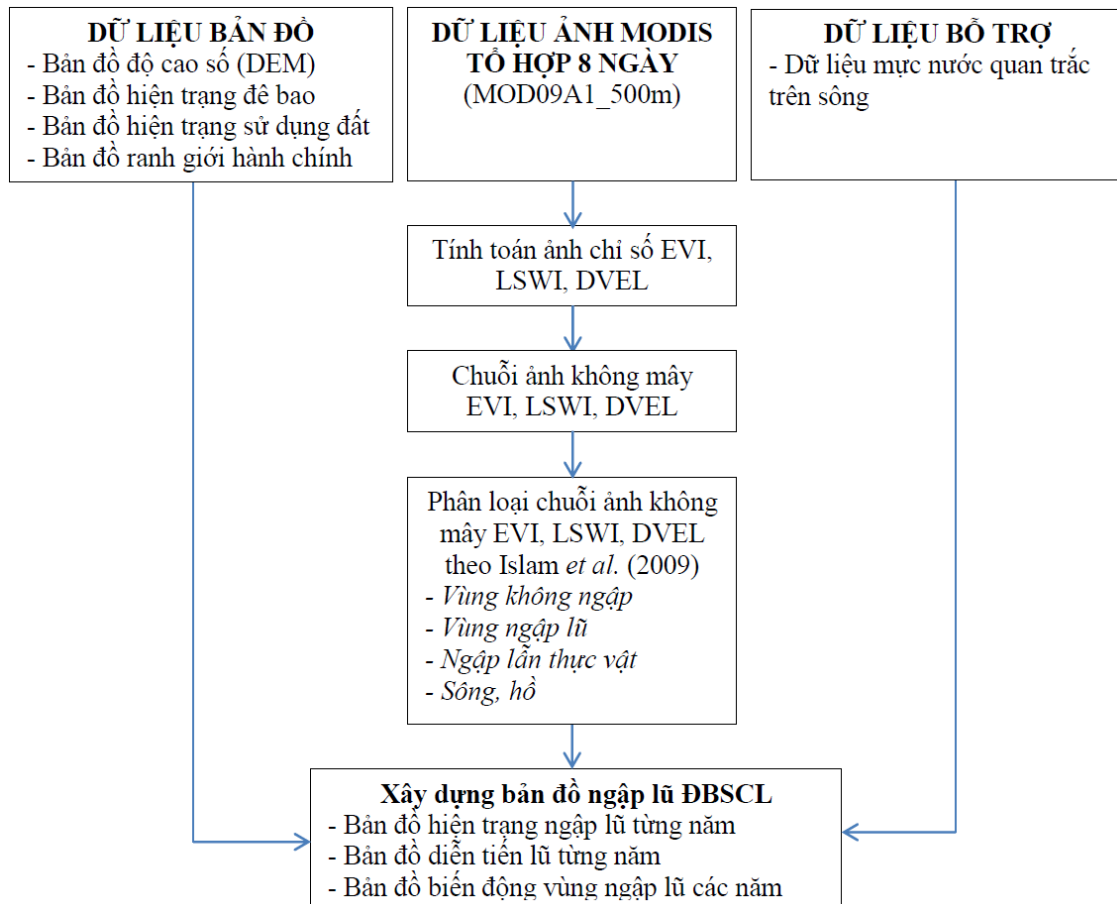


Hình 4.38 Quy trình đề xuất xây dựng bản đồ hiện trạng khô hạn và diễn tiến khô hạn theo thời gian ở ĐBSCL.

4.3.2.3 Về giải pháp cho nhu cầu thông tin về lũ ở ĐBSCL

Các công trình thủy lợi đã có tác động đáng kể đến tình trạng lũ lụt ở ĐBSCL. Tuy nhiên, bên cạnh mặt tích cực từ công trình nhằm giúp giảm thiểu diện tích ngập lũ, làm tăng diện tích canh tác góp phần tăng sản lượng lương thực thì các công trình này đã làm thay đổi tình trạng lũ lụt. Diện tích ngập lũ nội đồng giảm ở những vùng có đê bao, bờ bao ngăn lũ (như vùng ngập lũ ở An Giang và Đồng Tháp) nhưng lại có xu hướng gia tăng nước lũ ở các tỉnh hạ nguồn (như tỉnh Hậu Giang, Cần Thơ, Tiền Giang) và vùng Long An. Do đó, căn cứ vào kết quả nghiên cứu, luận án đề xuất một số giải pháp để theo dõi diễn biến và giám sát lũ cho ĐBSCL như sau:

- Dữ liệu ảnh MODIS (MOD09A1) sẽ sử dụng để theo dõi diễn biến lũ ở cấp vùng ĐBSCL. Các nghiên cứu chi tiết và nghiên cứu ở phạm vi nhỏ (cấp tỉnh hay cấp huyện) cần kết hợp sử dụng ảnh có độ phân giải cao hơn để giải đoán được chính xác thời gian thay đổi của đối tượng nghiên cứu (thời gian lũ bắt đầu, kết thúc và đạt đỉnh). Hiện tại, cơ quan NASA đã cung cấp miễn phí dữ liệu ảnh viễn thám LANDSAT thế hệ thứ 8 với độ phân giải 10m sẽ thích hợp cho các mục tiêu giám sát lũ ở mức độ chi tiết hơn.
- Dữ liệu về sự phân bố không gian của các đê bao, bờ bao ngăn lũ có thể được phân tách từ ảnh có độ phân giải cao sẽ là nguồn dữ liệu bổ trợ giúp xác định diễn tiến lũ vùng ĐBSCL hiệu quả hơn.
- Ảnh viễn thám cho phép xác định lũ về mặt phân bố không gian và thời gian. Khi dữ liệu này được tích hợp với dữ liệu đo đạc thực địa và mô hình độ cao số (DEM) sẽ hỗ trợ xác định được cường độ lũ theo hướng độ sâu ngập ở khu vực nghiên cứu.



Hình 4.39 Quy trình đề xuất xây dựng các bản đồ hiện trạng và diễn tiến ngập lũ theo thời gian ở ĐBSCL.

4.3.2.4 Đề xuất hệ cơ sở dữ liệu và qui trình nhập, xử lý và truy xuất kết quả xây dựng các bản đồ phân vùng sinh thái canh tác lúa ở ĐBSCL

Từ kết quả tổng hợp các giải pháp cho nhu cầu thông tin về hệ thống canh tác lúa, khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL nói trên, đề tài bước đầu đề xuất một hệ cơ sở dữ liệu và qui trình cơ bản từ nhập dữ liệu đến xử lý xây dựng bản đồ và truy xuất kết quả như sau (Hình 4.40):

Bước 1: Thu thập dữ liệu và nạp dữ liệu

- Dữ liệu địa chính: gồm bản đồ hành chính khu vực ĐBSCL tỷ lệ 1/250.000, bản đồ hành chính cấp tỉnh tỷ lệ 1/50.000
- Dữ liệu ảnh: bao gồm 03 nhóm dữ liệu MOD09Q1 (250m, tổ hợp 8 ngày) phục vụ xây dựng bản đồ cơ cấu mùa vụ; nhóm dữ liệu MOD09A1 (500m, tổ hợp 8 ngày) phục vụ xây dựng bản đồ ngập lũ; và nhóm dữ liệu MOD11A2 (1000m, chu kỳ lặp 8 ngày) phục vụ xây dựng bản đồ khô hạn
- Dữ liệu thứ cấp: phục vụ công tác kiểm chứng bản đồ sau khi phân loại
- Bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa: dữ liệu kiểm chứng bao gồm dữ liệu niên giám thống kê về diện tích mùa vụ lúa và dữ liệu thực địa về hiện trạng canh tác và tiến độ xuống giống lúa.
- Bản đồ khô hạn: dữ liệu kiểm chứng bao gồm dữ liệu từ các trạm KTTV về nhiệt độ trung bình ngày và dữ liệu thực địa về độ ẩm đất lúa tại thời điểm khảo sát.
- Bản đồ ngập lũ: dữ liệu kiểm chứng bao gồm dữ liệu từ các trạm KTTV về mực nước trên sông và dữ liệu thực địa về hiện trạng ngập lũ tại điểm khảo sát.

Bước 2: Tiền xử lý ảnh

- Hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển
- Hiệu chỉnh hình học: bao gồm hiệu chỉnh độ méo hình học, chuyển đổi hệ qui chiếu về hệ UTM 48N
- Cắt, ghép và che ảnh: giới hạn vùng nghiên cứu ở ĐBSCL

Bước 3: Tạo ảnh chỉ số:

- Tạo ảnh chỉ số NDVI được tính theo công thức (9) của tác giả Tucker *et al.* (1991).
- Tạo ảnh chỉ số TVDI được tính theo công thức (8) của tác giả Sandholt (2002).
- Tạo ảnh chỉ số EVI, LSWI và DVEL được tính lần lượt theo công thức (11), (12) và (13) của tác giả Liu và Huete (1995).

Bước 4: Phân loại đối tượng

- Bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa ĐBSCL:

- Điều kiện đưa ra trong xử lý chuỗi NDVI để xác định số lượng mùa vụ lúa trong năm dựa trên chu kỳ biến động giá trị NDVI trong năm.
- Bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa xác định từ chuỗi NDVI có thể xác định 5 đơn vị bản đồ 1) Lúa 1 vụ; 2) Lúa 2 vụ; 3) Lúa 3 vụ; 4) Lúa-Màu và 5) Lúa-Tôm.

- Điều kiện kiểm chứng dựa vào hệ số Kappa và xác suất T(%) khi bản đồ kết quả được kiểm chứng với dữ liệu thực địa hoặc hệ số tương quan R^2 khi kết quả giải đoán được kiểm chứng với dữ liệu thống kê.

- Bản đồ khô hạn ĐBSCL:

- Điều kiện đưa ra trong xử lý chuỗi TVDI để xác định vùng khô hạn trong năm dựa trên tần suất khô hạn trong năm.
- Bản đồ phân vùng khô hạn xác định từ chuỗi TVDI có thể xác định 2 đơn vị bản đồ 1) Vùng có khô hạn và 2) Vùng không khô hạn..
- Điều kiện kiểm chứng dựa vào hệ số Kappa và xác suất T(%) khi bản đồ kết quả được kiểm chứng với dữ liệu thực địa (độ ẩm đất đo đạc) hoặc hệ số tương quan R^2 khi kết quả giải đoán được kiểm chứng với dữ liệu nhiệt độ đo đạc tại các trạm KTTV.

- Bản đồ ngập lũ ĐBSCL:

- Điều kiện đưa ra trong xử lý chuỗi EVI, LSWI và DVEL để xác định số vùng ngập lũ trong năm dựa trên thời gian xuất hiện và kết thúc lũ trong năm.
- Bản đồ ngập lũ xác định từ chuỗi EVI, LSWI và DVEL có thể xác định 2 hoặc nhiều đơn vị bản đồ có ngập lũ với thời điểm bắt đầu và kết thúc ngập khác nhau trong năm.
- Điều kiện kiểm chứng dựa vào hệ số Kappa và xác suất T(%) khi bản đồ kết quả được kiểm chứng với dữ liệu thực địa hoặc hệ số tương quan R^2 khi kết quả giải đoán được kiểm chứng với dữ liệu mực nước đo tại các trạm KTTV.

Các bản đồ kết quả sao khi kiểm chứng và đạt điều kiện có thể được truy xuất tại bước này cho người sử dụng.

Bước 5: Đồng bộ hóa dữ liệu

- Đưa các dữ liệu bản đồ kết quả từ bước 4 về cùng độ phân giải 250m
- Giới hạn phân bố không gian bản đồ chỉ trên đất canh tác lúa vùng ĐBSCL

Bước 6: Phân tích không gian

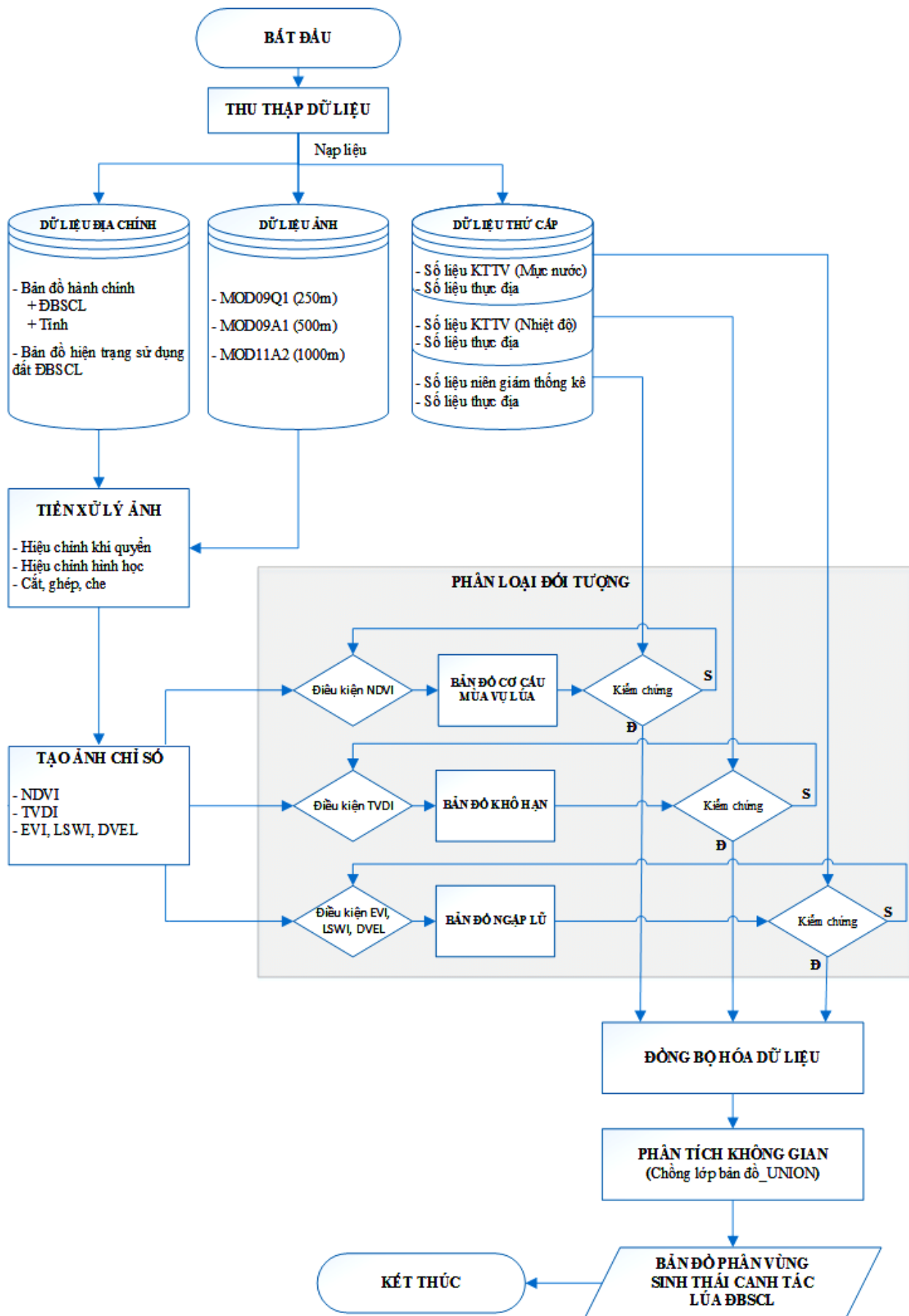
Các bản đồ kết quả bao gồm 1) Bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa; 2) Bản đồ khô hạn; và 3) Bản đồ ngập lũ sau khi được đồng bộ hóa sẽ được xử lý theo phương pháp chồng lớp (UNION) để xây dựng thành bản đồ phân vùng sinh thái canh tác lúa.

Bản đồ kết quả bao gồm các đơn vị bản đồ có cơ cấu canh tác lúa, điều kiện khô hạn và ngập lũ khác nhau. Ở bước này, bản đồ được biên tập và xuất kết quả cùng với thông tin chú dẫn và dữ liệu diện tích tương ứng.

Bước 7: Xuất dữ liệu

Dữ liệu truy xuất bao gồm:

- Bản đồ kết quả dạng raster
- Bản đồ được biên tập và xuất dạng vector
- Dữ liệu diện tích tương ứng cho từng đơn vị bản đồ



Hình 4.40: Lưu đồ cơ sở dữ liệu và qui trình nhập, xử lý và truy xuất kết quả xây dựng các bản đồ phân vùng sinh thái canh tác lúa ở ĐBSCL.

CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

5.1 KẾT LUẬN

Kết quả đánh giá ảnh hưởng của khô hạn và ngập lũ đến hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa ở ĐBSCL dưới tác động của biến đổi khí hậu

Xu hướng gia tăng diện tích khô hạn ở các mùa khô từ năm 2000 đến 2011 khu vực ĐBSCL cho thấy có sự tương quan với xu hướng gia tăng nhiệt độ lớp phủ bề mặt đất có liên quan đến biến đổi khí hậu. Kết quả khảo sát thực địa vùng chịu ảnh hưởng của khô hạn cho thấy cơ cấu canh tác lúa bị ảnh hưởng bởi khô hạn ở khu vực ven biển chủ yếu là cơ cấu Đông Xuân sớm-Hè Thu muộn và lúa một vụ (Lúa-Tôm) ở các tỉnh Bạc Liêu, Sóc Trăng và Trà Vinh. Trên vùng đất lúa không nhiễm mặn, cơ cấu có khả năng bị ảnh hưởng bởi khô hạn chủ yếu là lúa một vụ ở vùng núi thuộc huyện Tri Tôn tỉnh An Giang. Kết quả khảo sát trong mùa khô năm 2010-2011, các tỉnh có diện tích đất lúa có xảy ra khô hạn cao nhất, trên 130.000ha, bao gồm hai tỉnh Long An và Kiên Giang. Các tỉnh có diện tích đất lúa bị khô hạn trên 60.000ha bao gồm Tiền Giang, Trà Vinh và Sóc Trăng.

Lũ ở ĐBSCL có xu hướng thay đổi về vị trí ngập trong giai đoạn năm 2000-2011. Mặc dù mực nước trên sông chính tại các tỉnh thượng nguồn cao nhưng diện tích ngập lại giảm so với những năm có cùng quy mô lũ. Thời gian ngập lũ liên tục có sự thay đổi giữa các năm. Những năm với quy mô lũ lớn luôn có thời gian ngập lũ dài hơn so với các năm quy mô lũ trung bình và nhỏ. Nhìn chung diện tích ngập lũ ở ĐBSCL ngày càng giảm theo thời gian. Trong vòng 12 năm, từ 2000 đến 2011, diện tích ngập lũ ở ĐBSCL đã giảm khoảng 700 nghìn ha chủ yếu do việc gia tăng diện tích vùng bao đê phục vụ thâm canh tăng vụ. Kết quả khảo sát mùa lũ năm 2011, bốn tỉnh có diện tích đất lúa bị ngập lũ cao nhất là tỉnh Kiên Giang (> 170.000ha), tỉnh Đồng Tháp (>170.000ha), tỉnh Long An (>150.000ha) và tỉnh An Giang (>110.000ha). Ngoài ra, hai tỉnh cũng có diện tích lúa bị ngập đáng kể là Cần Thơ (>70.000ha) và Hậu Giang (>45.000ha).

Tính đến năm 2011 thì khu vực ĐBSCL có 3 mùa vụ canh tác lúa chính bao gồm vụ ĐX, HT và TĐ (hay vụ Mùa). Trong đó vụ HT được canh tác nhiều nhất chiếm tỷ trọng trung bình 50% diện tích canh tác lúa/năm, vụ ĐX thấp hơn đạt 39,5% diện tích canh tác/năm. Vụ TĐ (hay vụ Mùa) chiếm tỷ lệ diện tích canh tác thấp nhất, chỉ khoảng 10,5% diện tích canh tác lúa/năm. Xu hướng chuyển đổi cơ cấu mùa vụ lúa trong khoảng thời gian quan sát từ năm 2000 đến 2011 đó là lúa 2 vụ chuyển sang lúa 3 vụ; Lúa một vụ chuyển sang Lúa-Tôm, Lúa 2 vụ hay canh tác khác (Tôm-Rừng hay Chuyên tôm). Kết quả tính toán đến năm 2011, diện tích lúa 3 vụ được canh tác nhiều nhất ở 3 tỉnh An Giang (>150.000ha), Đồng Tháp (>110.000ha) và Tiền Giang (>90.000ha). Diện tích lúa 2 vụ phân bố chủ yếu ở Kiên Giang (>240.000ha), Long An (>220.000ha), Đồng Tháp (>130.000ha) và An Giang (>125.000ha). Diện tích lúa 1 vụ nước trời còn lại rất ít, chủ yếu phân bố rải rác ở hai tỉnh Long An và Kiên Giang (mỗi tỉnh khoảng 18.000ha). Diện tích Lúa-Tôm gia tăng chủ yếu ở ba tỉnh Cà Mau (>80.000ha), Kiên Giang (>70.000ha) và Bạc Liêu (>45.000ha). Các tỉnh cũng có diện tích Lúa-Tôm đáng kể bao gồm Bến Tre (>20.000ha), tỉnh Sóc Trăng (>13.000ha) và tỉnh Trà Vinh (>11.000ha).

Kết quả đề tài cho thấy sự chuyển đổi mô hình canh tác lúa ở ĐBSCL giai đoạn 2000-2011 ngoài lý do chính sách quy hoạch chuyển đổi cơ cấu của địa phương như bao đê ngăn lũ, ngăn mặn còn có nguyên nhân tác động của điều kiện tự nhiên như ngập lũ và ảnh hưởng của việc thiếu nước tưới dẫn đến khô hạn.

Kết quả đánh giá khả năng ứng dụng của ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi hiện trạng cơ cấu mùa vụ lúa cũng như vấn đề khô hạn và lũ lụt ở ĐBSCL

Đánh giá được khả năng ứng dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi hiện trạng cơ cấu mùa vụ, giám sát khô hạn và lũ lụt ở ĐBSCL

+ Bản đồ cơ cấu mùa vụ lúa giải đoán từ ảnh MODIS độ phân giải 250m đạt mức độ chi tiết cấp vùng, khả năng phát hiện và phân loại được 18 kiểu cơ cấu canh tác lúa với độ tin cậy khá cao ($Kappa = 0,88$). Các dữ liệu tính toán về diện tích canh tác từng mùa vụ lúa trong năm từ việc giải đoán ảnh MODIS có độ chênh lệch thấp so với dữ liệu thống kê (từ 4,4% đến 7,1%).

+ Chuỗi nhiệt độ bề mặt tính toán từ ảnh MODIS khu vực ĐBSCL thường tăng cao trong mùa khô, đạt đỉnh vào tháng 3 và 4, sau đó giảm dần vào mùa mưa, phù hợp với xu thế biến thiên nhiệt độ không khí đo được tại các trạm. Nhiệt độ lớp phủ bề mặt tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS có tương quan cao với dữ liệu đo đạc tại các trạm khí tượng ($R^2=0,9$). Chỉ số khô hạn TVDI tính toán có tương quan cao chỉ số dự báo khô hạn khác như chỉ số WDI. Ngoài ra, những vùng có chỉ số khô hạn TVDI cao trên bản đồ giải đoán cũng phù hợp với kết quả khảo sát hiện trạng canh tác thực tế tại cùng thời điểm.

+ Dữ liệu ảnh MODIS đã phản ánh khá tốt tình trạng biến động lũ lụt giai đoạn từ năm 2000 đến 2011 của vùng hạ lưu sông Mekong cả về không gian và thời gian. Kết quả tính toán cho thấy có sự tương quan giữa diện tích ngập và mực nước thực đo tại các trạm thủy văn (với R^2 đạt từ 0,79 – 0,90).

Kết quả đề xuất mô hình sản xuất phù hợp với điều kiện cụ thể ở ĐBSCL và giải pháp giám sát nhằm giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa do tác động của khô hạn và ngập lũ ở ĐBSCL.

- Bố trí cơ cấu mùa vụ, lịch canh tác hợp lý trên từng vùng sinh thái có điều kiện ngập và hạn khác nhau.

- Chọn lọc canh tác các giống cây trồng phù hợp có tính chống chịu về mặn, hạn hay chịu ngập.

- Nghiên cứu chuyển đổi mô hình canh tác vừa phù hợp với điều kiện tự nhiên vừa hiệu quả kinh tế và bền vững môi trường.

- Nâng cao hiệu quả công tác dự báo lũ, hạn, mặn và thông báo kịp thời đến người dân với các giải pháp theo hướng tiếp cận mới đó là áp dụng tích hợp các thuật toán tính toán các chỉ số NDVI, TVDI và LSWI để giám sát và tìm ra các biến động về cơ cấu mùa vụ liên quan đến khô hạn và ngập lũ nhằm có biện pháp giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất lúa ở ĐBSCL.

5.2 ĐỀ NGHỊ

- Dữ liệu ảnh MODIS phù hợp cho việc quan sát cấp vùng. Đối với việc khảo sát ở cấp tỉnh cần có nhiều dữ liệu bổ trợ như ảnh viễn thám độ phân giải cao cũng như dữ liệu thực địa bổ trợ để đạt độ tin cậy cao hơn.

- Trong công tác giám sát lũ cần nghiên cứu phương pháp nâng cao độ chính xác của kết quả giải đoán bằng cách sử dụng mô hình độ cao số (DEM) trong thời gian tới. Ngoài ra dữ liệu về hệ thống đê điều và công ngăn lũ và ngăn mặn để làm dữ liệu bổ trợ trong giải đoán ảnh MODIS giám sát lũ ở ĐBSCL cũng là một giải pháp.

- Nghiên cứu thêm phương pháp đánh giá thiệt hại do tác động của khô hạn và ngập lũ trong sản xuất lúa theo hướng năng suất hay sản lượng lúa ở ĐBSCL.
- Nghiên cứu một số giải pháp nhằm khắc phục nhược điểm của dữ liệu ảnh viễn thám MODIS không khảo sát được ảnh hưởng của khô hạn cục bộ trong tháng 7 và tháng 8 hàng năm đến sản xuất lúa.
- Việc nghiên cứu về sử dụng ảnh viễn thám để theo dõi và dự báo về diễn tiến xâm nhập mặn và xác định vùng bị ngập theo triều ở ĐBSCL cũng là những hướng nghiên cứu cần thiết phục vụ cho đề tài.
- Nghiên cứu việc lượng hóa thang đo khô hạn của Han (Han *et al.*, 2010) tương ứng với các thang độ ẩm trong tầng đất canh tác cho ĐBSCL thông qua thiết lập mạng lưới quan trắc thực tế tương ứng từng thời điểm chụp ảnh.
- Cần thiết thực hiện tự động hóa các qui trình xử lý dữ liệu ảnh viễn thám để có thể ứng dụng trong công tác cung cấp và cập nhật thông tin chính xác và kịp thời cho người sử dụng.

Tài liệu tham khảo

Tiếng Anh

- Boudraa, A.O., 1999. *Dynamic estimation of number of clusters in data sets*. Electronics Letters, 35, pp. 1606–1608
- Ceccato, P., N. Gobron, S. Flasse, B. Pinty, and S. Tarantola, 2002. *Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data*. Remote Sens. Environ. 82, 188–207.
- Chen, C. F, Q. Chen, L. Y. Chang and C. Y. Chen, 2008. *Mapping Paddy Rice Using Multi-Temporal MODIS Images*. Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University Jhongli City, TAIWAN.
- Chen, C. F. , N. T. Son, L. Y. Chang and C. C. Chen, 2011. *Monitoring of soil moisture variability in relation to rice cropping systems in the Vietnamese Mekong Delta using MODIS data*. Applied Geography Volume 31, Issue 2, April 2011, Pages 463-475.
- Dasgupta, S., B. Laplante, C. Meisner, D. Wheeler and J. Yan, 2007. *The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis*. World Bank Policy Research, Working Paper 4136, February 2007.
- Gao, B.C., 1996. *NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. Remote Sens. Environ. 58, 257–266.
- Gillies, R. R., and T. N. Carlson, 1995. *Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models*. Journal of Applied Meteorology, 34, 745-756.
- Gillies, R. R., T. N. Carlson, J. Cui, W. P. Kustas, and K. S. Humes, 1997. *A verification of the ‘triangle’ method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurement of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature*. International Journal of Remote Sensing, 18, 3145–3166.
- Gross, D., 2005. *Monitoring Agricultural Biomass Using NDVI Time Series*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Ha, N. T. T., C.A.J.M. De Bie, A. Ali, E.M.A. Smalingm and T.H. Chu, 2010. *Mapping the irrigated rice cropping patterns of the Mekong delta, Vietnam, through hyper-temporal SPOT NDVI image analysis*. International Journal of Remote Sensing, vol. 33, No. 2, 20 January 2012, 415-434.
- Han, Y., Y. Wang and Y. Zhao, 2010. *Estimating soil moisture conditions of the Greater Chanbai Mountain by Land Surface Temperature and NDVI*. IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 48, n. 6, p 2509-2515
- Hanh, P. T. T. and F. Masahide, 2007. *Impact of sea level rise on coastal zone of Vietnam*. Bull. Fac. Sci. Univ. Ryukyus, 84: 45-59.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Basic Summary for Policy Markers*. Cambridge University Press, Cambridge
- Islam, A. S., Bala. S. K and A. Haque, 2009. *Flood Inundation Map of Bangladesh Using MODIS Surface Reflectance Data*. International Conference on Water & Flood Management (ICWFM) , 80, 245-256.

- Jackson, R.D., P.N. Slater and P.J. Pinter, 1983. *Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres*. Remote Sensing of the Environment, v. 15, p.187-208.
- Kogan, F.N., 1997. *Global Drought Watch From Space*. – Bull. Am. Met. Soc., 78, 621-636.
- Kuenzer, C., I. Klein, T. Ullmann, E.F. Georgiou, R. Baumhauer and S. Dech, 2015. *Remote Sensing of River Delta Inundation: Exploiting the Potential of Coarse Spatial Resolution, Temporally-Dense MODIS Time Series*. Remote Sensing, July 2015, ISSN 2072-4292, p. 8516-8542
- Kurosu, T., T. Suito, M. Fujita, K. Chiba and T. Moriya, 1993. *Rice crop monitoring with ERS-1 SAR: a first year result*. Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, 11±14 October, 1993, ESA SP-361 (Noordwijk: ESA), Volume-1, pp. 97±102
- Kurosu, T., M. Fujita and K. Chiba, 1995. *Monitoring of rice crop growth from space using the ERS-1 C-band SAR*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 33, 1092-1096
- Kriegler, F.J., W.A. Malila, R.F. Nalepka and W. Richardson, 1969. *Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition*. Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, p. 97-131.
- Le Toan, T., F. Ribbes, L. F. Wang, N. Floury, K. H. Ding, J. A. Kong, M. Fujita and T. Kurosu, 1997. *Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results*. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on 35(1): 41-56.
- Le Toan, T., D. Feurer and G. Florsch, 2003. *RISAR Validation report – Rice mapping in the Mekong delta*. ESA contract No 13201/98/NL/SB CCN 002. CESBIO
- Liu, H.Q. and A.R. Huete, 1995. *A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 1995, 33, 457-465.
- Mckee T. B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179-184., January 17-22, Anaheim, California.
- NASA, 2011. *Data products*.
- Nguyen, L. D., 2003. *The use of SAR data rice crop monitoring, A case study of Mekong river delta – Vietnam*. ESTEC Working paper.
- Nguyen, T. T. H., C. A. J. M. De Bie, Amjad Ali, E. M. A. Smaling and Chu T. H, 2012. *Mapping the irrigated rice cropping patterns of the Mekong delta, Vietnam, through hyper-temporal SPOT NDVI image analysis*. International Journal of Remote Sensing Vol. 33, No. 2, 20 January 2012, 415–434
- Ogilvie, A., G. Belaud, C. Delenne, J-S. Bailly, J-C. Bader, A. Oleksiak, L. Ferry and D. Martin, 2015. *Decadal monitoring of the Niger Inner Delta 1 flood dynamics using MODIS optical data*. Journal of Hydrology (2015), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.036>

- Zhang, G., X. Xiao, J. Dong, W. Kou, C. Jin, Y. Qin, and Y. Zhou, 2015. *Mapping paddy rice planting areas through time series analysis of MODIS land surface temperature and vegetation index data*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 106 (2015) 157–171.
- Owen, T.W., T.N. Carlson and R.R. Gillies, 1998. *Remotely sensed surface parameters governing urban climate change*. International Journal of Remote Sensing 19, 1663–81.
- Parida, B. R., 2006. *Analysing the effect of severity and duration of agricultural drought on crop performance using Terra/MODIS satellite data and meteorological data*. Indian Institute of Remote Sensing, National Remote Sensing Agency (NRSA) Department of Space, Dehradun, India.
- Peter, C and Greet R., 2008. *Climate Change & Human Development in Vietnam: A case study for the Human Development Report 2007/2008*. Oxfam and UNDP.
- Price, J. C., 1990. *Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28, 940–948.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell and D. W. Deering, 1973. *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- Sakamoto, T., N. V. Nguyen, , A. Kotera, H. Ohno, N. Ishitsuka and M. Yokozawa, 2007. *Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery*. Remote Sens. Environ, 109, 295–313.
- Sakamoto, T., M. Yokozawa, H. Toritani, M. Shibayama, N. Ishitsuka and H. Ohno, 2005. *A crop phenology detection method using time-series MODIS data*. Remote Sensing of Environment 96, 366-374.
- Sandholt, I., K. Rasmussen and J. Andersen. 2002. *A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status*. Remote Sensing of Environment 79 (2002) 213– 224, © 2002 Elsevier Science Inc.
- Son, N. T., 2011. *Agriculture Monitoring Using Multi-Temporal MODIS Data in the Mekong Delta, Vietnam*. Doctoral Dissertation-Department of Civil Engineering National Central University.
- Son, N. T., C.F. Chen, C.R. Chen, L.Y. Chang, and V.Q. Minh, 2012. *Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 18 (2012) 417–427.
- Tou, J.T. and R.C. Gonzalez, 1974, *Pattern Recognition Principles*, pp. 75–109 (Reading,MA: Addison-Wesley).
- Tuan, L. A. and Suppakorn C., 2009. *Climate change in the Mekong River Delta and key concerns on future climate threats*. Paper submitted to DRAGON Asia Summit, Seam Riep, Cambodia.
- Tucker, C. J., W. W. Newcomb, S. O. Los and S. D. Prince, 1991. *Mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981-1989*. International Journal of Remote Sensing, v. 12, p.1113-1115.

- Tucker, C.J., 1979. *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*. Remote Sensing of the Environment, v. 8, p.127-150.
- Tuong, N.T., 2001. *Sea level measurement and sea level rise in Vietnam*. UK.
- Vermote, E.F. and A. Vermeulen, 1999. *Algorithm technical background document: Atmospheric correction algorithm: spectral correction reflectances (MOD 09) (Version 4.0)*.
- Vermote, E.F., S.Y. Kotchenova and J.P. Ray, 2008. *MODIS surface reflectance user's guide*.
- Wan, Z., P. Wang and X. Li, 2004. *Using MODIS Land surface temperature and Normalized Difference Vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA.*: International Journal of remote sensing, v. 25, 61-72.
- Wang, P.X., X.W. Li, J.Y. Gong and C.H. Song, 2001. *Vegetation temperature condition index and its application for drought monitoring*. Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australia, pp. 141–143
- Wang, W., D. Huang, X. G. Wang, Y. R. Liu and F. Zhou, 2011. *Estimation of soil moisture using trapezoidal relationship between remotely sensed land surface temperature and vegetation index*. Hydrology and Earth System Science15, 1699-1712.
- Wardlow, B.D., S.L. Egbert and J.H. Kastens, 2007. *Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains*. Remote Sensing of Environment 108, 290–310.
- White, I., M. Melville and J. Sammut, 1996. *Possible impacts of saline water intrusion floodgates in Vietnam's Lower Mekong Delta*.
- Yoshida, S., 1981. *Fundamentals of rice crop science*. The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Zhang, X., M.A. Friedl, C.B. Schaaf, A.H. Strahler, J.C.F. Hodges, F. Gao, B.C. Reed and A. Huete, 2003. *Monitoring vegetation phenology using MODIS*. Remote Sensing of Environment 84, 471–475.

Tiếng Việt

- Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, 2009. *Báo cáo ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến nông nghiệp nông thôn*. Tạp chí Nghiên cứu Địa lý nhân văn (2015), số 1(8), tháng 3, trang 17-24.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2009. *Số liệu khí tượng*. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, Việt Nam.
- Cục Quản lý Tài nguyên nước, 2013. *Xâm nhập mặn ở ĐBSCL dưới tác động của biến đổi khí hậu và đề xuất các giải pháp giảm thiểu*. Tạp chí khí tượng Thủy văn số 634 tháng 10/2013.
- Chánh, Đ. T, 2011. Vai trò vùng kinh tế trọng điểm ĐBSCL. Báo Nông Nghiệp. <http://nongnghiep.vn/nongnghiepvvn/vi-vn/61/158/1/15/15/81481/Default.aspx>.
- Dương Văn Khâm, Bùi Đức Giang, Chu Minh Thu và Nguyễn Thị Huyền, 2007. *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.* Hội nghị khoa học Viện Khí tượng Thủy văn lần thứ 10, tr. 1-9.
- Hoàng Diên, 2011. *Các chính sách ưu tiên về biến đổi khí hậu.* <http://www.baomoi.com/Khung-ma-tran-chinh-sach-ung-pho-bien-doi-khi-hau/45/6823047.epi>
 - Huỳnh Quang Đức, 2011. *Những tác động của biến đổi khí hậu đối với cây trồng ở Bến Tre.* <http://sonongnghiep.bentre.gov.vn/trong-trot/ky-thuat-trong-trot/467-nhung-tac-dong-cua-bien-doi-khi-hau-doi-voi-cay-trong-ben-tre.html>
 - Huỳnh Thị Thu Hương, Trương Chí Quang và Trần Thanh Dân, 2012. *Ứng dụng ảnh MODIS theo dõi sự thay đổi nhiệt độ bề mặt đất và tình hình khô hạn vùng ĐBSCL.* Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ số 24a/2012. Trang 49-59. ISSN 1859-2333
 - Lê Anh Tuấn, 2009. *Tác Động Của Biến Đổi Khí Hậu Lên Hệ Sinh Thái Và Phát Triển Nông Thôn Vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long.* Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu - Đại học Cần Thơ.
 - Lê Anh Tuấn, 2009a. *Tổng quan về nghiên cứu biến đổi khí hậu và các hoạt động thích ứng ở miền Nam Việt Nam.* Hội thảo “Cùng nỗ lực để thích ứng biến đổi khí hậu”. CSRD – Acacia – Both ENDS – IVM, Thành phố Huế, Việt Nam. 11-13/5/2009
 - Lê Anh Tuấn, 2009b. *Tác động của biến đổi khí hậu lên hệ sinh thái và phát triển nông thôn ở Đồng bằng sông Cửu Long.* Diễn đàn "Dự trữ sinh quyển và phát triển nông thôn bền vững ở Đồng bằng sông Cửu Long". Thành phố Cần Thơ, Việt Nam, 5-6/6/2009.
 - Lê Anh Tuấn, 2012. *Tác động của biến đổi khí hậu lên sản xuất lúa.* NXB Nông nghiệp.
 - Lê Văn Trung, 2005. *Viễn Thám.* Nhà xuất bản Đại học Quốc gia, Thành Phố Hồ Chí Minh.
 - Ngô Thanh Thoảng và Võ Quang Minh, 2013. *Sử dụng ảnh viễn thám MODIS đa thời gian đánh giá thực trạng diễn biến lũ vùng hạ lưu sông Mekong từ năm 2000 đến 2011.* Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc năm 2013. Trang 302-309
 - Nguyễn Đức Ngữ và Nguyễn Trọng Hiệu, 2004. *Khí hậu và tài nguyên khí hậu.* NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
 - Nguyễn Hồng Quyên, Huỳnh thị thu Hương và Võ Quang Minh, 2012. *Ứng dụng ảnh viễn thám MODIS theo dõi khô hạn ảnh hưởng đến nông nghiệp ở ĐBSCL.* Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc năm 2012.
 - Nguyễn Ngọc Đệ, 2009. *Giáo trình cây lúa.* Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia, TP Hồ Chí Minh.
 - Nguyễn Ngọc Thạch, 2010. *Cơ sở viễn thám.* NXB Nông nghiệp, Hà Nội
 - Nguyễn Phước Tuyên, 2011. *Tác động của biến đổi khí hậu Đồng Bằng Sông Cửu Long.* <http://bannhanong.vn/danhmuc/Mw==/baiviet/Tac-dong-cua-bien-doi-khi-hau-cua-DBSCL/Njgy/index.bnn>
 - Nguyễn Quang, 2007. *Phát triển kinh tế mùa lũ ở ĐBSCL.* Báo kinh tế nông thôn tháng 9/2007. <http://www.kinhtenongthon.com.vn/Story/VandeSukien/2007/9/6510.html>
 - Nguyễn Trọng Hiệu và Phạm Thị Thanh Hương, 2004. *Ước lượng một số đặc trưng hạn hán thông qua tần suất mưa hụt mức hàng tháng thời kỳ 1961 – 2004.* Tạp chí khí tượng thủy văn.

- Nguyễn Văn Hòa, 2006. *Giới thiệu giống và thời vụ sản xuất lúa ở ĐBSCL*. Cục Trồng trọt. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Thành phố Hồ Chí Minh.
- Nguyễn Văn Thắng, 2007. *Nghiên cứu và xây dựng công nghệ dự báo và cảnh báo sớm hạn hán ở Việt Nam*. Đề tài cấp Bộ chuyên ngành Khí tượng Khí hậu, Viện Khí tượng Thủy Văn.
- Phan Thanh Nhân và Võ Quang Minh, 2011. *Theo dõi diễn biến lũ lưu vực sông Mekong làm cơ sở dự báo lũ ở ĐBSCL sử dụng ảnh viễn thám MODIS*. Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc năm 2011. Trang 302-309.
- Tô Văn Trường, 2006. *Tác động của biến đổi khí hậu đến an ninh lương thực quốc gia*. Chương trình trọng điểm cấp nhà nước KC08/06-10.
- Tổng cục Thống kê, 2013. *Diện tích cây lương thực có hạt phân theo địa phương*. NXB Thống kê Hà Nội.
- Thế Đạt, 2011. *ĐBSCL chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu*. Tin tức-Sự Kiện. <http://www.monre.gov.vn/v35/default.aspx?tabid=428&CateID=25&ID=106378&Code=TKYX106378>.
- Trần Hùng. 2007. *Sử dụng tư liệu MODIS theo dõi độ ẩm đất / thực vật bề mặt: thử nghiệm với chỉ số mức độ khô hạn nhiệt độ - thực vật (TVDI)*. Tạp chí Viễn thám và Địa tin học, Số 2 – 4/2007, trang 38-45.
- Trần Như Hối, 2011. *Một số trận lũ điển hình và phân vùng ngập lụt ở đồng bằng sông Cửu Long*. Tuyển tập KHCN 50 năm xây dựng và phát triển. Trang thông tin điện tử Viện khoa học thủy lợi Việt Nam www.vawr.org.vn
- Trần Thị Hiền, 2010. *Nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám MODIS trong theo dõi tiến độ xuống giống trên các vùng đất trồng lúa ở Đồng Bằng Sông Cửu Long*. Báo cáo Luận văn thạc sỹ ngành Khoa học đất. Khoa Nông nghiệp và Sinh học ứng dụng, Đại học Cần Thơ, năm 2010.
- Trần Thị Hiền, Võ Quang Minh, Huỳnh Thị Thu Hương, Nguyễn Hoài An, Nguyễn Phước Thành, Hồ Văn Chiến và Trần Thanh Dân, 2013. *Theo dõi hiện trạng trà lúa phục vụ cảnh báo dịch hại lúa 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. Trang 143-151.
- Ủy ban sông Mekong, 2002. *Báo cáo thường niên năm 2001*.
- Vũ Hữu Long, Phạm Khánh Chi và Trần Hùng, 2011. *Sử dụng tư liệu ảnh vệ tinh MODIS nghiên cứu mùa vụ cây trồng, lập bản đồ hiện trạng và biến động lớp phủ vùng Đồng bằng Sông Hồng giai đoạn 2008 – 2010*. Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc năm 2011. Trang 95-102. NXB Nông Nghiệp.

Địa chỉ trang web thu thập dữ liệu ảnh MODIS

<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>

PHỤ LỤC

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Phụ lục 1: | Biểu điều tra..... | 102 |
| Phụ lục 2: | Danh sách các điểm khảo sát | 106 |
| Phụ lục 3: | Kết quả tính tương quan về diện tích lúa giữa giải đoán và thống kê..... | 110 |
| Phụ lục 4: | Bảng số liệu tính mối tương quan về diện tích giữa số liệu thống kê và kết quả giải đoán (Đơn vị: Nghìn ha) | 112 |
| Phụ lục 5: | Giá trị nhiệt độ trung bình tháng bề mặt đất tính toán từ ảnh MODIS LST và trong không khí đo đạc từ trạm KTTV tỉnh Sóc Trăng từ tháng 10/2004 đến 9/2007..... | 113 |
| Phụ lục 6: | Kết quả tính tương quan giữa giá trị giá trị nhiệt độ trung bình tháng 10 của bề mặt đất tính toán từ ảnh MODIS LST và nhiệt độ trung bình tháng trong không khí đo đạc từ trạm khí tượng thủy văn tỉnh Sóc Trăng từ tháng 10/2004 đến tháng 9/2007. | 114 |
| Phụ lục 7: | Diện tích ngập lũ các tỉnh ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 tính toán viế ảnh MODIS..... | 114 |
| Phụ lục 8: | Mức nước tương ứng với các cấp báo động lũ trên sông Tiền và sông Hậu. | 115 |
| Phụ lục 9: | Danh mục mạng lưới trạm khí tượng khu vực ĐBSCL. | 115 |
| Phụ lục 10: | Danh mục mạng lưới trạm thủy văn vùng triều khu vực ĐBSCL. | 116 |
| Phụ lục 11: | Lượng mưa trung bình ngày ở ĐBSCL từ các trạm đo mưa tương ứng với chỉ số khô hạn TVDI được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS trong mùa khô năm 2010-2011. | 117 |
| Phụ lục 12: | Biến động giá trị nhiệt độ bề mặt đất trung bình/ngày trong năm ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS | 118 |
| Phụ lục 13: | Biến động giá trị nhiệt độ bề mặt đất cực đại/ ngày trong năm ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS | 119 |
| Phụ lục 14: | Biến động giá trị nhiệt độ bề mặt đất cực tiểu/ngày trong năm ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS | 120 |
| Phụ lục 15: | Biến động diện tích vùng bị khô hạn trong từng mùa khô ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS..... | 122 |
| Phụ lục 16: | Diện tích phân vùng canh tác lúa các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011..... | 123 |
| Phụ lục 17: | Diện tích phân vùng khô hạn các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011..... | 123 |
| Phụ lục 18: | Diện tích phân vùng ngập lũ các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011..... | 123 |
| Phụ lục 19: | Diện tích phân vùng sinh thái các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011. | 124 |

Phụ lục 1:

Ký hiệu:

Tọa độ X:.....

BIỂU ĐIỀU TRA

Tên người điều tra: Ngày điều tra:/...../.....

Họ tên nông dân: Năm sinh:

Ấp: Xã: Huyện: Tỉnh:

A. ĐẶC ĐIỂM NÔNG HỘ*Nguồn thu nhập chính của hộ có từ:* Trồng trọt Chăn nuôi Thủy sản Kinh doanh Khác:*Kinh nghiệm trong canh tác nông nghiệp:*(Năm)*Thời gian đến sinh sống tại nơi ở hiện tại:*(Năm)*Diện tích đất canh tác hiện tại:*(Ha)*Số người trong hộ:*..... *Bao gồm:**Nam/.....Nữ***B. ĐẶC ĐIỂM VỀ CƠ CẤU VÀ GIỐNG CANH TÁC****1. Cơ cấu, giống canh tác hiện tại (2011-2012):** Chuyên lúa Chuyên màu Lúa+Màu Lúa+Thủy sản Cây ăn trái

(Mô tả:))

Lịch canh tác hiện tại:

| Tháng | Năm 2011 | | | | | | | | | | | | Năm 2012 | | | | | | | | | | | |
|-------|--|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|----------|---|---|---|---|---|----|----|----|--|--|--|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | |
| Vụ | <i>(Vẽ đường biểu diễn và chú thích tên vụ, chú ý ghi chú theo âm lịch hay dương lịch)</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ruộng có xuống giống đồng loạt với các hộ xung quanh không? Đồng loạt Tự phát (chênh lệch khoảng ngày)*Lý do xuống giống không đồng loạt:**Ngày xuống giống dựa vào:* Kinh nghiệm Qui định của TTKN*Giống cây trồng có đồng loạt với các hộ xung quanh không?* Đồng loạt Tự phát (ngày)

Vụ1:/..... (ĐX-XH-HT-TĐ) Giống: Năng suất:

Vụ2:/..... (ĐX-XH-HT-TĐ) Giống: Năng suất:

Vụ3:/..... (ĐX-XH-HT-TĐ) Giống: Năng suất:

2. Cơ cấu, giống canh tác trước đây (từ 2000 đến 2010):

Trước đây có từng chuyển đổi cơ cấu hay giống canh tác không? Có Không

Hình thức chuyển đổi: Chuyển đổi cơ cấu Chuyển đổi giống

2.1. Chuyển đổi cơ cấu

Cơ cấu canh tác trước đây:

Chuyên lúa Chuyên màu Lúa+Màu Lúa+Thủy sản Cây ăn trái

(Mô tả:)

Năm chuyển đổi cơ cấu canh tác:

Lý do chuyển đổi cơ cấu?:

Do đất đai Do nước tưới Do thời tiết Do kinh tế Khác:

(Mô tả lý do chuyển đổi:.....
.....)

2.2. Chuyển đổi giống

Giống canh tác trước đây là gì:

Năm chuyển đổi giống canh tác:

Lý do chuyển đổi giống canh tác?

Do năng suất Do đất đai Do nước tưới Do thời tiết Do kinh tế

(Mô tả lý do chuyển đổi:.....
.....)

3. Cơ cấu, giống canh tác tương lai:

Tương lai có muốn chuyển đổi cơ cấu hay giống canh tác không? Có Không

Hình thức chuyển đổi: Chuyển đổi cơ cấu Chuyển đổi giống

3.1. Chuyển đổi cơ cấu

Cơ cấu canh tác tương lai:

Chuyên lúa Chuyên màu Lúa+Màu Lúa+Thủy sản Cây ăn trái

(Mô tả:)

Năm sẽ chuyển đổi cơ cấu canh tác:

Lý do chuyển đổi cơ cấu?

Do đất đai Do điều kiện tưới Do thời tiết Do kinh tế Khác:

(Mô tả lý do chuyển đổi:.....
.....)

3. Điều kiện tưới tiêu nước?

3.1. Tình trạng ruộng:

Ngập (Từ đến.....) Âm (Từ đến.....) Khô (Từ đến.....)

3.2. Ruộng có thường xuyên tưới hay không? Có,lần/..... Không

3.3. Dấu hiệu ruộng cần nước tưới là gì?

3.4. Thời điểm tưới trong ngày?

Sáng (Từđến....giờ) Trưa (Từđến....giờ) Chiều (Từđến....giờ)

3.5. Biện pháp thoát nước khi ngập:

Bơm Thoát qua cống Cách khác:

D. Ý KIẾN NÔNG DÂN VỀ CẢI THIỆN ĐIỀU KIỆN CANH TÁC

1. Những thuận lợi

.....
.....

2. Những khó khăn

.....
.....

3. Đề xuất của nông dân

.....
.....

Người điều tra ký tên

Phụ lục 2: Danh sách các điểm khảo sát

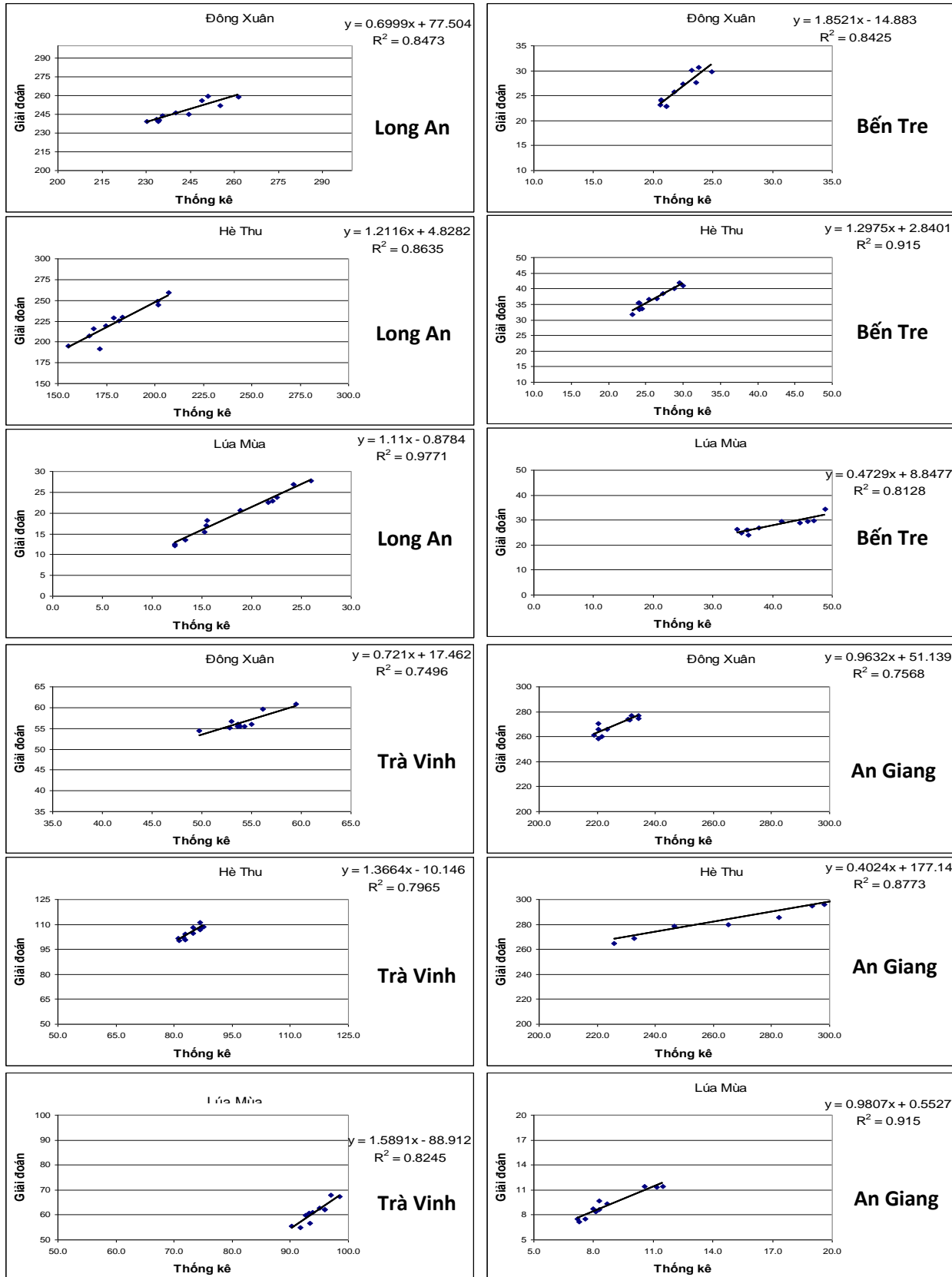
| STT | X | Y | Ngày | Cơ cấu | STT | X | Y | Ngày | Cơ cấu |
|-----|--------|---------|------------|----------|-----|--------|---------|------------|----------|
| 1 | 549906 | 1148395 | 11/12/2011 | 1 vụ lúa | 55 | 556619 | 1042192 | 24/11/2011 | 2 vụ lúa |
| 2 | 552435 | 1145398 | 11/12/2011 | 1 vụ lúa | 56 | 554257 | 1044206 | 24/11/2011 | 2 vụ lúa |
| 3 | 500312 | 971750 | 05/12/2011 | 1 vụ lúa | 57 | 553626 | 1045465 | 24/11/2011 | 2 vụ lúa |
| 4 | 560980 | 1019095 | 23/11/2011 | 1 vụ lúa | 58 | 557527 | 1047237 | 24/11/2011 | 2 vụ lúa |
| 5 | 460768 | 1149035 | 15/12/2011 | 1 vụ lúa | 59 | 500677 | 1137346 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 6 | 641169 | 1171344 | 17/01/2012 | 1 vụ lúa | 60 | 501498 | 1136412 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 7 | 637137 | 1173009 | 17/01/2012 | 1 vụ lúa | 61 | 500598 | 1136494 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 8 | 513933 | 1066482 | 13/12/2011 | 1 vụ lúa | 62 | 501090 | 1135960 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 9 | 514283 | 1065540 | 13/12/2011 | 1 vụ lúa | 63 | 500544 | 1135519 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 10 | 558244 | 1018906 | 23/11/2011 | 1 vụ lúa | 64 | 500096 | 1136142 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 11 | 457327 | 1150317 | 16/12/2011 | 1 vụ lúa | 65 | 499633 | 1135428 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 12 | 544536 | 1150919 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa | 66 | 499482 | 1135867 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 13 | 546432 | 1151217 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 67 | 499191 | 1139496 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 14 | 545693 | 1152400 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 68 | 499043 | 1138828 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 15 | 545910 | 1153177 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 69 | 499754 | 1138843 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 16 | 546904 | 1152260 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 70 | 500473 | 1139047 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 17 | 521258 | 1039856 | 01/12/2011 | 2 vụ lúa | 71 | 501014 | 1139546 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 18 | 521821 | 1038233 | 01/12/2011 | 2 vụ lúa | 72 | 457790 | 1138019 | 06/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 19 | 496373 | 1004306 | 03/12/2011 | 2 vụ lúa | 73 | 462356 | 1136817 | 06/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 20 | 501444 | 1140421 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 74 | 459872 | 1137580 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 21 | 500817 | 1140776 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 75 | 462339 | 1137389 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 22 | 500120 | 1140916 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 76 | 462385 | 1137939 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 23 | 409501 | 1140807 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 77 | 462941 | 1136749 | 06/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 24 | 499220 | 1140247 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 78 | 543574 | 1042413 | 09/02/2012 | 2 vụ lúa |
| 25 | 463557 | 1136436 | 06/12/2011 | 2 vụ lúa | 79 | 548446 | 1041392 | 09/02/2012 | 2 vụ lúa |
| 26 | 462744 | 1137729 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa | 80 | 536698 | 1042834 | 10/02/2012 | 2 vụ lúa |
| 27 | 463456 | 1137824 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa | 81 | 598874 | 1121751 | 24/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 28 | 463581 | 1137396 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa | 82 | 605755 | 1124118 | 19/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 29 | 464323 | 1137202 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa | 83 | 605448 | 1110070 | 19/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 30 | 464637 | 1137615 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa | 84 | 596463 | 1115615 | 17/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 31 | 503481 | 1087508 | 03/12/2011 | 2 vụ lúa | 85 | 596770 | 1118267 | 17/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 32 | 499757 | 1084873 | 05/12/2011 | 2 vụ lúa | 86 | 647831 | 1168407 | 24/12/2011 | 2 vụ lúa |
| 33 | 501290 | 1085119 | 05/12/2011 | 2 vụ lúa | 87 | 600649 | 1055777 | 05/01/2012 | 2 vụ lúa |
| 34 | 503508 | 1086547 | 04/12/2011 | 2 vụ lúa | 88 | 595828 | 1051547 | 05/01/2012 | 2 vụ lúa |
| 35 | 503503 | 1086440 | 04/12/2011 | 2 vụ lúa | 89 | 644654 | 1098423 | 14/04/2012 | 2 vụ lúa |
| 36 | 503423 | 1082265 | 05/12/2011 | 2 vụ lúa | 90 | 556729 | 1035247 | 25/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 37 | 529904 | 1075703 | 01/12/2011 | 2 vụ lúa | 91 | 557849 | 1033830 | 23/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 38 | 531893 | 1076296 | 01/12/2011 | 2 vụ lúa | 92 | 553972 | 1039280 | 24/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 39 | 531903 | 1076683 | 01/12/2011 | 2 vụ lúa | 93 | 557034 | 1040581 | 24/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 40 | 531164 | 1075449 | 01/12/2011 | 2 vụ lúa | 94 | 555836 | 1042400 | 24/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 41 | 529275 | 1076300 | 01/12/2011 | 2 vụ lúa | 95 | 561503 | 1038804 | 24/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 42 | 530545 | 1073452 | 02/12/2011 | 2 vụ lúa | 96 | 561340 | 1037828 | 24/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 43 | 544744 | 1147895 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa | 97 | 565279 | 1036683 | 24/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 44 | 544874 | 1147298 | 08/12/2011 | 2 vụ lúa | 98 | 560836 | 1036295 | 25/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 45 | 545381 | 1146065 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 99 | 564114 | 1039917 | 24/11/2011 | 3 vụ lúa |
| 46 | 543997 | 1145765 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 100 | 527671 | 1191943 | 05/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 47 | 545578 | 1144407 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 101 | 526445 | 1192212 | 05/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 48 | 546333 | 1145874 | 09/12/2011 | 2 vụ lúa | 102 | 526448 | 1193204 | 05/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 49 | 547814 | 1144417 | 07/12/2011 | 2 vụ lúa | 103 | 527731 | 1193244 | 05/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 50 | 552229 | 1146407 | 11/12/2011 | 2 vụ lúa | 104 | 544067 | 1152334 | 09/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 51 | 550856 | 1147000 | 11/12/2011 | 2 vụ lúa | 105 | 551030 | 1152772 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 52 | 551379 | 1146668 | 11/12/2011 | 2 vụ lúa | 106 | 552154 | 1152770 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 53 | 552826 | 1041066 | 23/11/2011 | 2 vụ lúa | 107 | 552162 | 1151679 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 54 | 552832 | 1041066 | 24/11/2011 | 2 vụ lúa | 108 | 551640 | 1152007 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa |

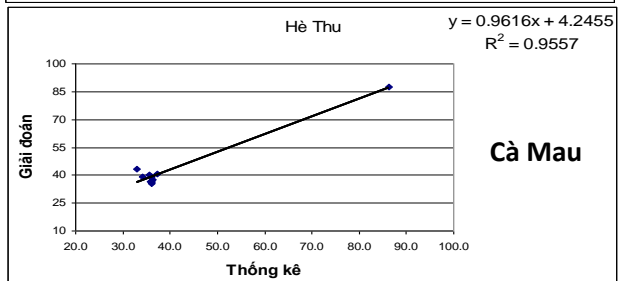
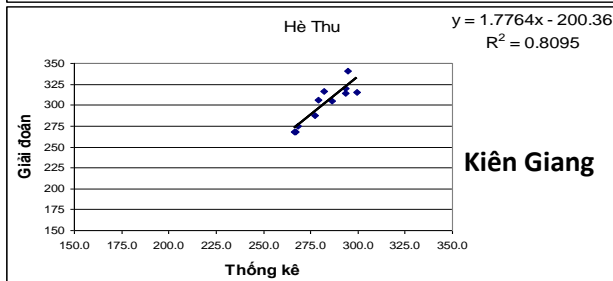
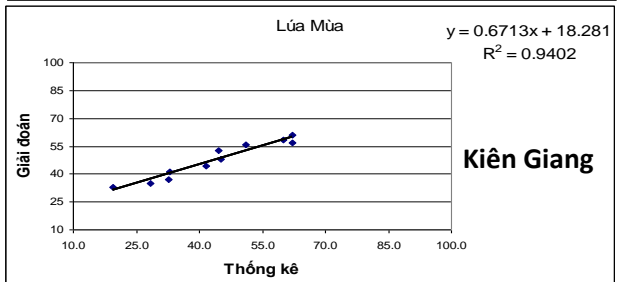
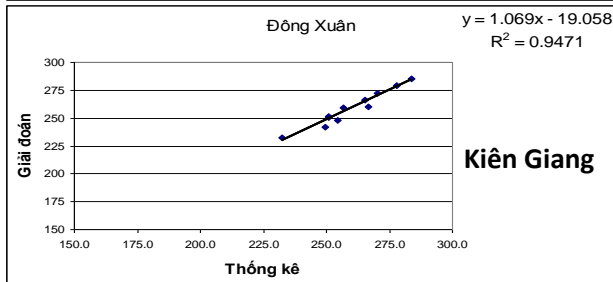
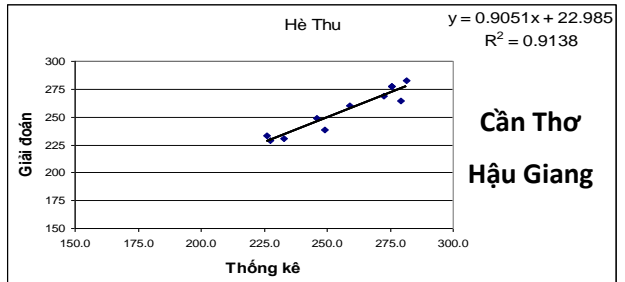
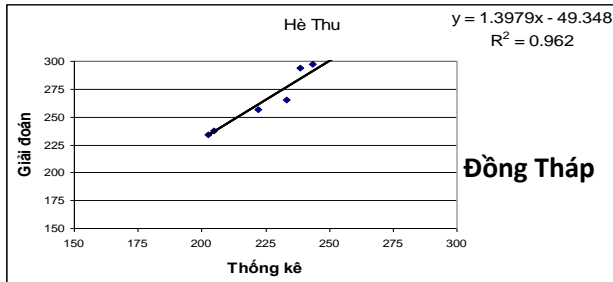
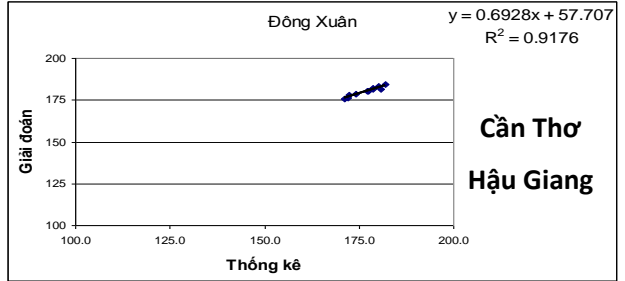
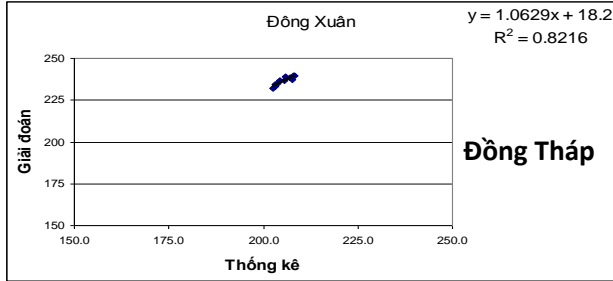
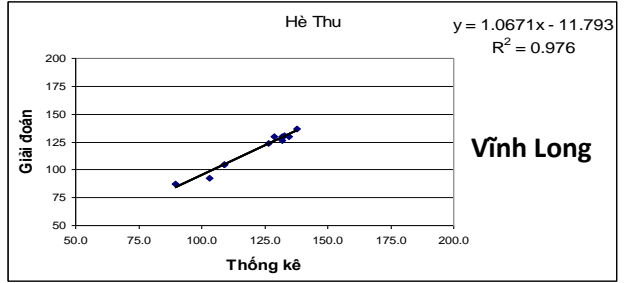
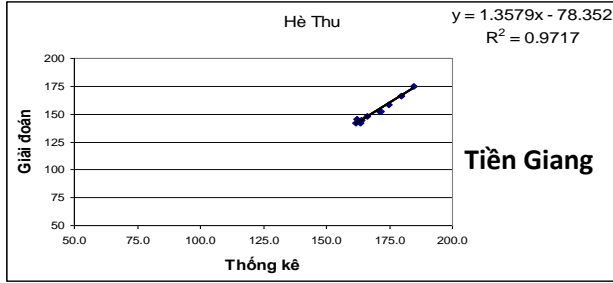
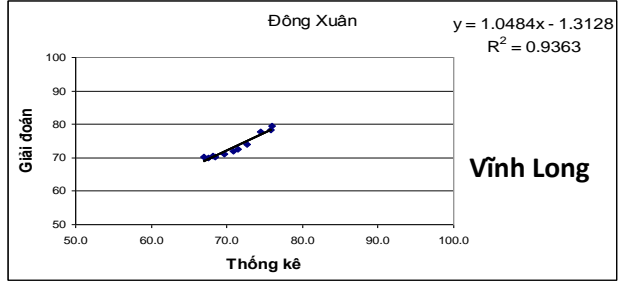
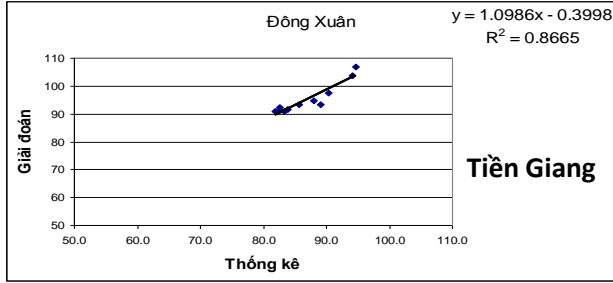
| STT | X | Y | Ngày | Cơ cấu | STT | X | Y | Ngày | Cơ cấu |
|-----|--------|---------|------------|----------|-----|--------|---------|------------|----------|
| 109 | 550621 | 1151291 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa | 164 | 556442 | 1048932 | 11/02/2012 | 3 vụ lúa |
| 110 | 560034 | 1114950 | 02/12/2011 | 3 vụ lúa | 165 | 555546 | 1049739 | 11/02/2012 | 3 vụ lúa |
| 111 | 561189 | 1114314 | 02/12/2011 | 3 vụ lúa | 166 | 542408 | 1036601 | 11/02/2012 | 3 vụ lúa |
| 112 | 561692 | 1114463 | 02/12/2011 | 3 vụ lúa | 167 | 538932 | 1048462 | 11/02/2012 | 3 vụ lúa |
| 113 | 560321 | 1112340 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa | 168 | 587851 | 1115494 | 07/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 114 | 561854 | 1112816 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa | 169 | 587632 | 1117072 | 07/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 115 | 561892 | 1110543 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa | 170 | 618444 | 1148980 | 07/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 116 | 560136 | 1109558 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa | 171 | 620284 | 1149813 | 07/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 117 | 567092 | 1093521 | 02/12/2011 | 3 vụ lúa | 172 | 622301 | 1153078 | 07/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 118 | 569316 | 1095916 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 173 | 623966 | 1151763 | 07/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 119 | 569079 | 1096248 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 174 | 621073 | 1111199 | 08/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 120 | 568546 | 1094790 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 175 | 621293 | 1114048 | 08/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 121 | 566411 | 1095007 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 176 | 605383 | 1106137 | 08/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 122 | 568914 | 1095336 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 177 | 600079 | 1108745 | 08/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 123 | 570281 | 1095555 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 178 | 626284 | 1119838 | 08/01/2012 | 3 vụ lúa |
| 124 | 570390 | 1095149 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 179 | 560872 | 1111579 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 125 | 570036 | 1094904 | 01/12/2011 | 3 vụ lúa | 180 | 560685 | 1110933 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 126 | 562372 | 1090649 | 08/12/2011 | 3 vụ lúa | 181 | 561970 | 1094402 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 127 | 625146 | 1064022 | 13/12/2011 | 3 vụ lúa | 182 | 562280 | 1095356 | 03/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 128 | 621509 | 1065033 | 13/12/2011 | 3 vụ lúa | 183 | 563618 | 1093689 | 07/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 129 | 620716 | 1064263 | 13/12/2011 | 3 vụ lúa | 184 | 562697 | 1095840 | 07/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 130 | 620269 | 1064932 | 13/12/2011 | 3 vụ lúa | 185 | 561950 | 1095247 | 07/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 131 | 621882 | 1065518 | 13/12/2011 | 3 vụ lúa | 186 | 584680 | 1060733 | 07/12/2011 | 3 vụ lúa |
| 132 | 622581 | 1066310 | 13/12/2011 | 3 vụ lúa | 187 | 587907 | 1119884 | 09/01/2012 | Lúa màu |
| 133 | 622064 | 1066624 | 13/12/2011 | 3 vụ lúa | 188 | 587466 | 1121807 | 09/01/2012 | Lúa màu |
| 134 | 624046 | 1064345 | 11/12/2011 | 3 vụ lúa | 189 | 586153 | 1123466 | 09/01/2012 | Lúa màu |
| 135 | 623555 | 1064837 | 11/12/2011 | 3 vụ lúa | 190 | 521258 | 1039856 | 01/12/2011 | Lúa màu |
| 136 | 623418 | 1064304 | 11/12/2011 | 3 vụ lúa | 191 | 521821 | 1038233 | 01/12/2011 | Lúa màu |
| 137 | 581569 | 1061135 | 05/12/2011 | 3 vụ lúa | 192 | 548106 | 1152866 | 09/12/2011 | Lúa màu |
| 138 | 581550 | 1061814 | 05/12/2011 | 3 vụ lúa | 193 | 548500 | 1148788 | 10/12/2011 | Lúa màu |
| 139 | 582091 | 1062082 | 06/12/2011 | 3 vụ lúa | 194 | 580070 | 1126369 | 09/01/2012 | Lúa màu |
| 140 | 582859 | 1061754 | 06/12/2011 | 3 vụ lúa | 195 | 581452 | 1125399 | 09/01/2012 | Lúa màu |
| 141 | 583501 | 1061082 | 06/12/2011 | 3 vụ lúa | 196 | 583284 | 1125056 | 09/01/2012 | Lúa màu |
| 142 | 582669 | 1061250 | 06/12/2011 | 3 vụ lúa | 197 | 585047 | 1124952 | 09/01/2012 | Lúa màu |
| 143 | 622448 | 1060892 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 198 | 554441 | 1028689 | 24/11/2011 | Lúa màu |
| 144 | 622537 | 1061495 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 199 | 611387 | 1095727 | 14/01/2012 | Lúa màu |
| 145 | 622743 | 1061878 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 200 | 611869 | 1095673 | 14/01/2012 | Lúa màu |
| 146 | 622304 | 1062183 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 201 | 577726 | 1119790 | 14/01/2012 | Lúa màu |
| 147 | 621671 | 1060861 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 202 | 574680 | 1124293 | 14/01/2012 | Lúa màu |
| 148 | 621061 | 1060934 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 203 | 596398 | 1123384 | 14/01/2012 | Lúa màu |
| 149 | 620369 | 1061030 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 204 | 602994 | 1144750 | 14/01/2012 | Lúa màu |
| 150 | 620969 | 1061784 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 205 | 489366 | 1053607 | 09/12/2011 | Tôm lúa |
| 151 | 620302 | 1061956 | 12/12/2011 | 3 vụ lúa | 206 | 488754 | 1052830 | 09/12/2011 | Tôm lúa |
| 152 | 625230 | 1062098 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa | 207 | 488430 | 1052332 | 09/12/2011 | Tôm lúa |
| 153 | 623712 | 1063117 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa | 208 | 488042 | 1051650 | 09/12/2011 | Tôm lúa |
| 154 | 625256 | 1062869 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa | 209 | 489007 | 1052781 | 10/12/2011 | Tôm lúa |
| 155 | 624536 | 1061880 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa | 210 | 488478 | 1051784 | 10/12/2011 | Tôm lúa |
| 156 | 624681 | 1061528 | 10/12/2011 | 3 vụ lúa | 211 | 488300 | 1051459 | 10/12/2011 | Tôm lúa |
| 157 | 540066 | 1038903 | 10/02/2012 | 3 vụ lúa | 212 | 488250 | 1052071 | 10/12/2011 | Tôm lúa |
| 158 | 543574 | 1042413 | 10/02/2012 | 3 vụ lúa | 213 | 489353 | 1054219 | 10/12/2011 | Tôm lúa |
| 159 | 549357 | 1044492 | 10/02/2012 | 3 vụ lúa | 214 | 491203 | 1052700 | 09/12/2011 | Tôm lúa |
| 160 | 547437 | 1046101 | 10/02/2012 | 3 vụ lúa | 215 | 490447 | 1052506 | 09/12/2011 | Tôm lúa |
| 161 | 541595 | 1045562 | 10/02/2012 | 3 vụ lúa | 216 | 500764 | 1089580 | 03/12/2011 | Tôm lúa |
| 162 | 536698 | 1042834 | 10/02/2012 | 3 vụ lúa | 217 | 501199 | 1090097 | 03/12/2011 | Tôm lúa |
| 163 | 534339 | 1045092 | 11/02/2012 | 3 vụ lúa | 218 | 498785 | 1089758 | 04/12/2011 | Tôm lúa |

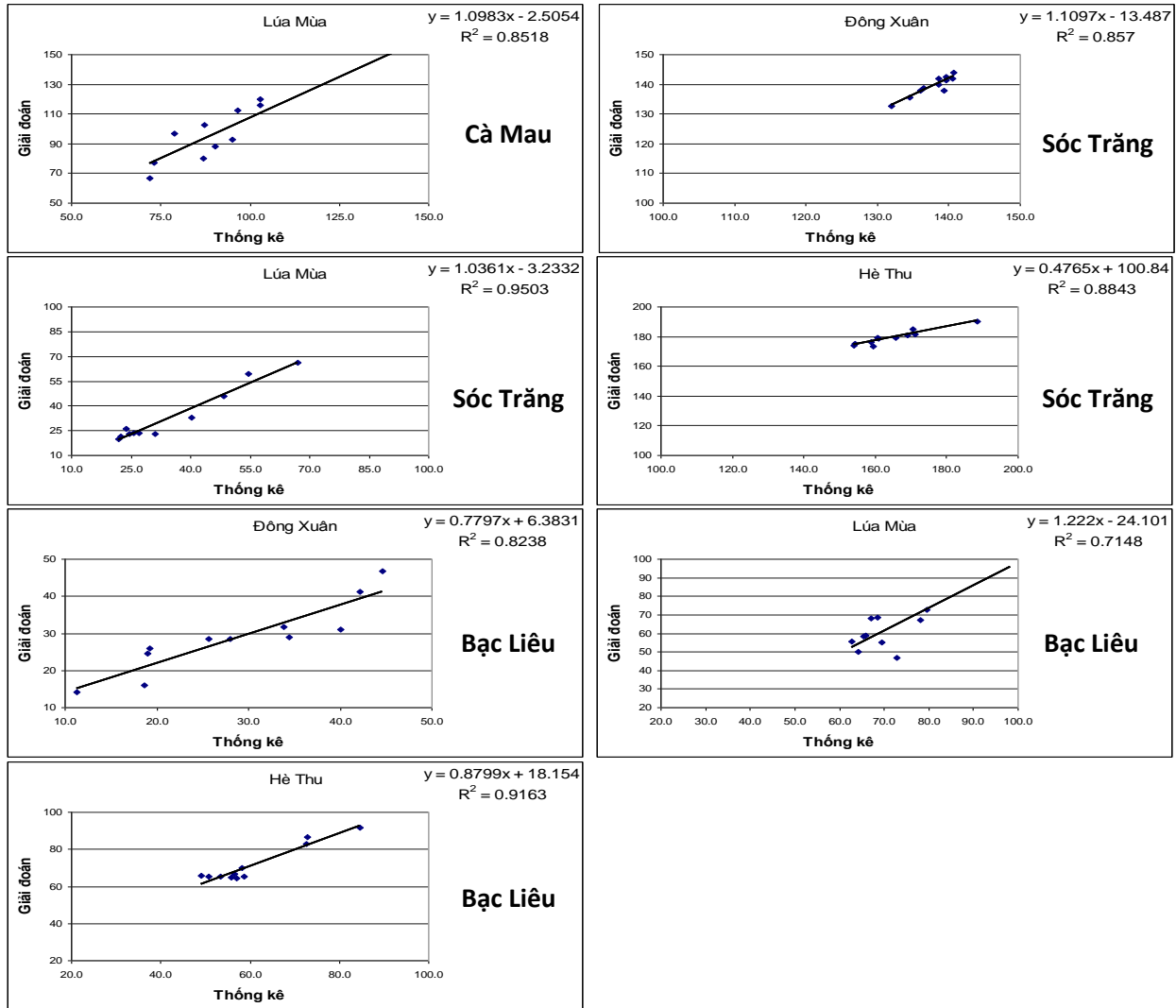
| STT | X | Y | Ngày | Cơ cấu | STT | X | Y | Ngày | Cơ cấu |
|-----|--------|---------|------------|---------|-----|--------|---------|------------|----------|
| 219 | 498907 | 1088785 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 274 | 548043 | 1149744 | 10/12/2011 | Màu |
| 220 | 488250 | 1088122 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 275 | 550122 | 1148954 | 11/12/2011 | Màu |
| 221 | 499606 | 1089410 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 276 | 551931 | 1147343 | 11/12/2011 | Màu |
| 222 | 499834 | 1088722 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 277 | 515437 | 1040342 | 02/12/2011 | Màu |
| 223 | 499574 | 1088304 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 278 | 498024 | 999266 | 03/12/2011 | Màu |
| 224 | 499500 | 1087923 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 279 | 624179 | 1061897 | 10/12/2011 | Màu |
| 225 | 500285 | 1088718 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 280 | 581890 | 1028049 | 02/12/2011 | Màu |
| 226 | 500950 | 1087702 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 281 | 560367 | 1013308 | 10/12/2011 | Màu |
| 227 | 502393 | 1088500 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 282 | 561413 | 1012711 | 11/12/2011 | Màu |
| 228 | 502710 | 1088252 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 283 | 515929 | 1039423 | 01/12/2011 | Mía |
| 229 | 502674 | 1088672 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 284 | 517164 | 1040206 | 01/12/2011 | Mía |
| 230 | 502220 | 1088947 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 285 | 516176 | 1040098 | 01/12/2011 | Mía |
| 231 | 502794 | 1089952 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 286 | 530686 | 1073056 | 02/12/2011 | Mía |
| 232 | 503355 | 1089516 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 287 | 623148 | 1065581 | 11/12/2011 | Mía |
| 233 | 504040 | 1088936 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 288 | 624099 | 1065609 | 11/12/2011 | Mía |
| 234 | 503913 | 1089566 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 289 | 586687 | 1059783 | 06/12/2011 | Mía |
| 235 | 498893 | 1085912 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 290 | 582091 | 1059295 | 08/12/2011 | Mía |
| 236 | 499783 | 1085739 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 291 | 585594 | 1057394 | 09/12/2011 | Mía |
| 237 | 500251 | 1085192 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 292 | 529810 | 1074906 | 02/12/2011 | Khóm |
| 238 | 499357 | 1085014 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 293 | 532003 | 1072127 | 02/12/2011 | Khóm |
| 239 | 498736 | 1084588 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 294 | 531327 | 1071562 | 02/12/2011 | Khóm |
| 240 | 500543 | 1084762 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 295 | 530255 | 1072204 | 02/12/2011 | Khóm |
| 241 | 500623 | 1086451 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 296 | 530816 | 1071991 | 02/12/2011 | Khóm |
| 242 | 500809 | 1085837 | 05/12/2011 | Tôm lúa | 297 | 531214 | 1073027 | 02/12/2011 | Khóm |
| 243 | 501931 | 1086918 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 298 | 529881 | 1072977 | 02/12/2011 | Khóm |
| 244 | 502747 | 1086215 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 299 | 529419 | 1073980 | 02/12/2011 | Khóm |
| 245 | 502922 | 1085627 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 300 | 638715 | 1163290 | 17/01/2012 | Khóm |
| 246 | 501988 | 1086293 | 04/12/2011 | Tôm lúa | 301 | 641213 | 1162896 | 17/01/2012 | Khóm |
| 247 | 544999 | 1033574 | 24/11/2011 | Tôm lúa | 302 | 490085 | 1052860 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 248 | 546098 | 1029627 | 24/11/2011 | Tôm lúa | 303 | 486725 | 1049912 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 249 | 547162 | 1033150 | 23/11/2011 | Tôm lúa | 304 | 488627 | 1051330 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 250 | 550699 | 1032698 | 24/11/2011 | Tôm lúa | 305 | 489472 | 1050453 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 251 | 54841 | 1030212 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 306 | 491912 | 1050931 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 252 | 544533 | 1033084 | 23/11/2011 | Tôm lúa | 307 | 490174 | 1048335 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 253 | 550686 | 1034010 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 308 | 490515 | 1048809 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 254 | 542272 | 1036835 | 26/11/2011 | Tôm lúa | 309 | 491094 | 1049615 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 255 | 545586 | 1047095 | 26/11/2011 | Tôm lúa | 310 | 490698 | 1049150 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 256 | 539396 | 1037020 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 311 | 490350 | 1049521 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 257 | 547797 | 1044834 | 26/11/2011 | Tôm lúa | 312 | 489980 | 1049910 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 258 | 544109 | 1036010 | 24/11/2011 | Tôm lúa | 313 | 490967 | 1048852 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 259 | 547908 | 1040691 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 314 | 491212 | 1048615 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 260 | 543136 | 1040468 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 315 | 491458 | 1050114 | 09/12/2011 | Rừng trà |
| 261 | 549117 | 1044572 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 316 | 514368 | 1037891 | 01/12/2011 | Rừng trà |
| 262 | 544573 | 1042475 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 317 | 516112 | 1039235 | 01/12/2011 | Rừng trà |
| 263 | 542772 | 1044370 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 318 | 520061 | 1037695 | 01/12/2011 | Rừng trà |
| 264 | 542298 | 1025233 | 25/11/2011 | Tôm lúa | 319 | 498319 | 1003846 | 02/12/2011 | Rừng trà |
| 265 | 496996 | 1001018 | 03/12/2011 | Tôm lúa | 320 | 583592 | 1057126 | 08/12/2011 | Rừng trà |
| 266 | 526694 | 1191901 | 05/12/2011 | Màu | 321 | 514521 | 1040241 | 02/12/2011 | Tôm |
| 267 | 525739 | 1192006 | 05/12/2011 | Màu | 322 | 521495 | 1038780 | 01/12/2011 | Tôm |
| 268 | 527159 | 1192631 | 06/12/2011 | Màu | 323 | 521505 | 1038143 | 01/12/2011 | Tôm |
| 269 | 547277 | 1153269 | 09/12/2011 | Màu | 324 | 496936 | 999489 | 03/12/2011 | Tôm |
| 270 | 548774 | 1152329 | 09/12/2011 | Màu | 325 | 496794 | 1000555 | 03/12/2011 | Tôm |
| 271 | 550243 | 1152875 | 10/12/2011 | Màu | 326 | 501190 | 971857 | 05/12/2011 | Tôm |
| 272 | 550062 | 1151194 | 10/12/2011 | Màu | 327 | 501424 | 972716 | 06/12/2011 | Tôm |
| 273 | 545477 | 1148619 | 07/12/2011 | Màu | 328 | 501308 | 972474 | 06/12/2011 | Tôm |

| STT | X | Y | Ngày | Cơ cấu |
|-----|--------|---------|------------|----------------------------|
| 329 | 576839 | 1027437 | 05/12/2011 | Tôm |
| 330 | 582000 | 1027528 | 02/12/2011 | Tôm |
| 331 | 582428 | 1027987 | 02/12/2011 | Tôm |
| 332 | 577628 | 1024524 | 06/12/2011 | Tôm |
| 333 | 577052 | 1024975 | 06/12/2011 | Tôm |
| 334 | 577009 | 1025660 | 06/12/2011 | Tôm |
| 335 | 546987 | 1017324 | 09/12/2011 | Tôm |
| 336 | 546329 | 1017377 | 09/12/2011 | Tôm |
| 337 | 547409 | 1018405 | 09/12/2011 | Tôm |
| 338 | 527627 | 1192729 | 05/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 339 | 546997 | 1150719 | 09/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 340 | 547498 | 1153037 | 09/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 341 | 547453 | 1151099 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 342 | 548435 | 1151719 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 343 | 548966 | 1150821 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 344 | 548966 | 1151547 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 345 | 551525 | 1153194 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 346 | 551401 | 1150802 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 347 | 544147 | 1147340 | 08/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 348 | 552384 | 1149462 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 349 | 551198 | 1149464 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 350 | 550748 | 1149259 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 351 | 549757 | 1149247 | 11/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 352 | 549950 | 1149656 | 11/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 353 | 598105 | 1133490 | 09/01/2012 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 354 | 597982 | 1133687 | 09/01/2012 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 355 | 600556 | 1133843 | 09/01/2012 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 356 | 625483 | 1126873 | 09/01/2012 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 357 | 623516 | 1129241 | 09/01/2012 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 358 | 622125 | 1130674 | 09/01/2012 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 359 | 609587 | 1130130 | 09/01/2012 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 360 | 562907 | 1096070 | 07/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 361 | 565299 | 1096091 | 03/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 362 | 565689 | 1094017 | 02/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 363 | 566018 | 1094348 | 02/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 364 | 567667 | 1094006 | 01/12/2011 | Thỏ cur + Cây ăn quả |
| 365 | 527026 | 1193293 | 05/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 366 | 543988 | 1151390 | 09/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 367 | 561969 | 1112649 | 02/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 368 | 562103 | 1094159 | 03/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 369 | 518360 | 1038558 | 30/11/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 370 | 459528 | 1136454 | 06/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 371 | 459814 | 1136528 | 06/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 372 | 461470 | 1136481 | 06/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 373 | 461325 | 1135590 | 06/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 374 | 461528 | 1138167 | 07/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 375 | 546766 | 1021562 | 09/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 376 | 545591 | 1021537 | 09/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |
| 377 | 543850 | 1018301 | 10/12/2011 | Thỏ cur + Cây lâu năm khác |

Phụ lục 3: Kết quả tính tương quan về diện tích lúa giữa giải đoán và thống kê







Phục lục 4: Bảng số liệu tính mối tương quan về diện tích giữa số liệu thống kê và kết quả giải đoán (Đơn vị: Nghìn ha)

| Năm | Đông Xuân | | | Hè Thu | | | Mùa | | |
|------|-----------|----------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| | TK | GD | ĐL | TK | GD | ĐL | TK | GD | ĐL |
| 2000 | 1.520,60 | 1.613,60 | 93,00 | 1.881,60 | 2.006,40 | 124,80 | 543,60 | 510,30 | -33,30 |
| 2001 | 1.537,60 | 1.624,20 | 86,60 | 1.811,50 | 1.984,40 | 172,90 | 442,90 | 395,60 | -47,30 |
| 2002 | 1.513,70 | 1.607,70 | 94,00 | 1.900,90 | 2.070,60 | 169,70 | 420,20 | 354,80 | -65,40 |
| 2003 | 1.498,90 | 1.604,40 | 105,50 | 1.910,60 | 2.071,50 | 160,90 | 378,00 | 305,60 | -72,40 |
| 2004 | 1.467,10 | 1.578,20 | 111,10 | 1.957,80 | 2.086,20 | 128,40 | 390,80 | 337,90 | -52,90 |
| 2005 | 1.478,30 | 1.578,50 | 99,20 | 1.975,30 | 2.123,90 | 148,60 | 372,30 | 319,30 | -53,00 |
| 2006 | 1.500,30 | 1.603,00 | 102,70 | 1.909,90 | 2.082,10 | 172,20 | 363,70 | 349,90 | -13,80 |
| 2007 | 1.506,50 | 1.609,30 | 102,80 | 1.799,20 | 1.986,20 | 187,00 | 377,40 | 350,00 | -27,40 |
| 2008 | 1.526,50 | 1.620,20 | 93,70 | 1.939,80 | 2.072,70 | 132,90 | 392,60 | 356,80 | -35,80 |
| 2009 | 1.548,80 | 1.650,60 | 101,80 | 1.910,60 | 2.045,70 | 135,10 | 410,60 | 378,90 | -31,70 |
| 2010 | 1.564,60 | 1.669,00 | 104,40 | 2.003,80 | 2.120,70 | 116,90 | 402,10 | 357,10 | -45,00 |
| 2011 | 1.567,50 | 1.684,56 | 117,06 | 2.146,50 | 2.250,98 | 104,50 | 375,30 | 368,58 | -6,70 |

Ghi chú: TK: Thống kê;

GD: Giải đoán;

ĐL: Giá trị lệch giữa kết quả giải đoán so với thống kê.

Phụ lục 5: Giá trị nhiệt độ trung bình tháng bề mặt đất tính toán từ ảnh MODIS LST và trong không khí đo đạc từ trạm KTTV tỉnh Sóc Trăng từ tháng 10/2004 đến 9/2007.

| Tháng | Nhiệt độ trung bình tháng từ ảnh | Nhiệt độ trung bình tháng đo đạc |
|--------------|---|---|
| 10/2004 | 26,8 | 26,5 |
| 11/2004 | 25,2 | 27,3 |
| 12/2004 | 25,5 | 25,1 |
| 1/2005 | 26,7 | 24,6 |
| 2/2005 | 28,5 | 26,1 |
| 3/2005 | 30,3 | 27,9 |
| 4/2005 | 32,7 | 28,0 |
| 5/2005 | 28,1 | 28,4 |
| 6/2005 | 26,1 | 27,9 |
| 7/2005 | 25,2 | 26,2 |
| 8/2005 | 26,0 | 27,2 |
| 9/2005 | 27,0 | 26,8 |
| 10/2005 | 25,4 | 27,2 |
| 11/2005 | 24,5 | 26,7 |
| 12/2005 | 23,2 | 25,3 |
| 1/2006 | 25,8 | 25,6 |
| 2/2006 | 27,3 | 26,8 |
| 3/2006 | 27,5 | 27,2 |
| 4/2006 | 29,3 | 28,1 |
| 5/2006 | 28,3 | 27,7 |
| 6/2006 | 25,0 | 27,1 |
| 7/2006 | 25,0 | 26,9 |
| 8/2006 | 26,4 | 26,5 |
| 9/2006 | 26,0 | 26,5 |
| 10/2006 | 27,0 | 27,2 |
| 11/2006 | 25,7 | 27,4 |
| 12/2006 | 24,1 | 26,1 |
| 1/2007 | 25,0 | 25,6 |
| 2/2007 | 28,9 | 25,3 |
| 3/2007 | 31,5 | 27,3 |
| 4/2007 | 29,1 | 28,7 |
| 5/2007 | 26,2 | 27,6 |
| 6/2007 | 27,5 | 27,8 |
| 7/2007 | 23,5 | 26,9 |
| 8/2007 | 24,1 | 26,8 |
| 9/2007 | 25,6 | 26,9 |

Phụ lục 6: Kết quả tính tương quan giữa giá trị giá trị nhiệt độ trung bình tháng của bề mặt đất tính toán từ ảnh MODIS LST và nhiệt độ trung bình tháng trong không khí đo đạc từ trạm khí tượng thủy văn tỉnh Sóc Trăng từ tháng 10/2004 đến tháng 9/2007.

**SUMMARY
OUTPUT**

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|------|
| Multiple R | 1.00 |
| R Square | 0.99 |
| Adjusted R Square | 0.97 |
| Standard Error | 1.94 |
| Observations | 36 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------------------|
| Regression | 1 | 25886.16 | 25886.16 | 6882.76 | 0.00 |
| Residual | 35 | 131.64 | 3.76 | | |
| Total | 36 | 26017.80 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Intercept | 0 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| X Variable 1 | 1.003 | 0.012 | 82.962 | 0.000 | 0.978 | 1.027 | 0.978 | 1.027 |

Phụ lục 7: Diện tích ngập lũ các tỉnh ĐBSCL từ năm 2000 đến 2011 tính toán từ ảnh MODIS.

| Tên Tỉnh | Diện tích (đơn vị: 1000 ha) | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Kiên Giang | 3.294,1 | 2.631,6 | 2.516,5 | 1.229,0 | 1.472,5 | 2.115,4 | 1.826,5 | 1.823,6 | 2.154,9 | 2.023,8 | 1.297,5 | 2.508,5 |
| An Giang | 4.759,8 | 4.554,3 | 4.157,4 | 2.464,0 | 2.773,6 | 3.339,4 | 3.408,5 | 3.029,1 | 3.092,2 | 2.545,3 | 1.494,3 | 2.372,8 |
| Đồng Tháp | 4.250,8 | 3.738,7 | 3.313,8 | 2.000,0 | 2.624,8 | 3.050,2 | 2.965,0 | 2.630,0 | 3.037,1 | 2.591,9 | 1.800,8 | 2.867,2 |
| Long An | 3.735,5 | 3.215,1 | 2.844,7 | 1.127,4 | 1.538,8 | 2.101,2 | 1.836,1 | 1.544,1 | 2.199,5 | 2.134,2 | 1.504,1 | 3.151,6 |
| Cần Thơ | 1.362,4 | 1.222,0 | 1.112,1 | 770,6 | 852,8 | 997,7 | 950,2 | 974,2 | 1.000,8 | 968,4 | 696,8 | 901,7 |
| Hậu Giang | 368,6 | 325,3 | 233,4 | 176,6 | 195,8 | 313,4 | 247,6 | 342,6 | 339,0 | 299,6 | 329,2 | 361,9 |
| Vĩnh Long | 373,7 | 316,0 | 267,2 | 202,3 | 268,4 | 225,6 | 254,2 | 281,2 | 258,6 | 272,6 | 177,4 | 239,5 |
| Tiền Giang | 553,6 | 492,5 | 404,6 | 244,9 | 310,6 | 348,0 | 322,4 | 307,2 | 364,6 | 319,6 | 248,3 | 409,8 |

Phụ lục 8: Mục nước tương ứng với các cấp báo động lũ trên sông Tiền và sông Hậu.

| TT | Tên sông | Trạm thủy văn | Mục nước tương ứng với các cấp báo động (m) | | |
|----|----------|---------------|---|-----|-----|
| | | | I | II | III |
| 1 | Tiền | Tân Châu | 3,5 | 4 | 4,5 |
| 2 | Hậu | Châu Đốc | 3 | 3,5 | 4 |
| 3 | Hậu | Cần Thơ | 1,7 | 1,8 | 1,9 |

(Nguồn: Quyết định số 632/QĐ-TTg ngày 10 tháng 5 năm 2010)

Phụ lục 9: Danh mục mạng lưới trạm khí tượng khu vực ĐBSCL.

| Stt | Trạm | Số lượng |
|------------------|----------------------|-----------|
| 1 | Mộc Hóa, Long An | 1 |
| 2 | Mỹ Tho, Tiền Giang | 1 |
| 3 | Cao Lãnh, Đồng Tháp | 1 |
| 4 | Ba Tri, Bến Tre | 1 |
| 5 | Càng Long, Trà Vinh | 1 |
| 6 | Vĩnh Long | 1 |
| 7 | Châu Đốc, An Giang | 1 |
| 8 | TPCT, Cần Thơ | 1 |
| 9 | Sóc Trăng | 1 |
| 10 | Rạch Giá, Kiên Giang | 1 |
| 11 | Phú Quốc, Kiên Giang | 1 |
| 12 | Thổ Chu, Kiên Giang | 1 |
| 13 | Bạc Liêu | 1 |
| 14 | Cà Mau | 1 |
| Tổng cộng | | 14 |



(Nguồn: Trung Tâm Tư Liệu Khí Tượng Thủy Văn)

Phụ lục 10: Danh mục mạng lưới trạm thủy văn vùng triều khu vực ĐBSCL.

| Stt | Trạm | Số lượng |
|------------|---|-----------------|
| 1 | Sông Vàm cỏ đông, Bến Lức, Long An | 1 |
| 2 | Kiên Bình, Long An | 1 |
| 3 | Sông Vàm cỏ tây, Mộc Hóa, Long An | 1 |
| 4 | Sông Vàm cỏ tây, Tân An, Long An | 1 |
| 5 | Sông Vàm cỏ tây, Tuyên Nhơn, Long An | 1 |
| 6 | Cai Lậy, Tiền Giang | 1 |
| 7 | Cửa Tiểu, Hòa Bình, Tiền Giang | 1 |
| 8 | Kênh Xáng, Long Định, Tiền Giang | 1 |
| 9 | Sông Tiền, Mỹ Tho, Tiền Giang | 1 |
| 10 | Cửa Tiểu, Vàm Kinh, Tiền Giang | 1 |
| 11 | Sông Tiền, Cao Lãnh, Đồng Tháp | 1 |
| 12 | Sông Phước Xuyên, Hưng Thạnh, Đồng Tháp | 1 |
| 13 | Sông Hậu, Châu Đốc, An Giang | 1 |
| 14 | Sông Rông Trương, Chợ Mới, An Giang | 1 |
| 15 | Sông Hậu, Long Xuyên, An Giang | 1 |
| 16 | Sông Tiền, Tân Châu, An Giang | 1 |
| 17 | Tri Tôn, An Giang | 1 |
| 18 | Vàm Nao, An Giang | 1 |
| 19 | Xuân Tô, An Giang | 1 |
| 20 | Sông Hàm Luông, An Thuận, Bến Tre | 1 |
| 21 | Bình Đại, Bến Tre | 1 |
| 22 | Cổ Chiên, Bến Tre | 1 |
| 23 | Bến Tre | 1 |
| 24 | Sông Hàm Luông, Chợ Lách, Bến Tre | 1 |
| 25 | Sông Hàm Luông, Mỹ Hóa, Bến Tre | 1 |
| 26 | Sông Hàm Luông, Tân Thủy, Bến Tre | 1 |
| 27 | Sông Tiền, Mỹ Thuận, Bến Tre | 2 |
| 28 | Sông Hậu, TP Cần Thơ | 1 |
| 29 | Cổ Chiên, Trà Vinh | 1 |
| 30 | Sông Hậu, Đại Ngãi, Sóc Trăng | 1 |
| 31 | Sông Mỹ Thanh, Mỹ Thanh, Sóc Trăng | 1 |
| 32 | Kênh Cái con, Phụng Hiệp, Hậu Giang | 1 |
| 33 | Vị Thanh, Hậu Giang | 1 |
| 34 | Rạch Giá, Kiên Giang | 1 |
| 35 | Kênh Cái Sắn, Tân Hiệp, Kiên Giang | 1 |
| 36 | Kênh Cái Lớn, Xẻo Rô, Kiên Giang | 1 |
| 37 | Gành Hào, Cà Mau | 2 |
| 38 | Cửa Lớn, Năm Căn, Cà Mau | 1 |
| 39 | Kênh Phụng Hiệp, Phước Long, Cà Mau | 1 |
| | Tổng cộng | 41 |



(Nguồn: Trung Tâm Tư Liệu Khí Tượng Thủy Văn)

Phụ lục 11: Lượng mưa trung bình ngày ở ĐBSCL từ các trạm đo mưa tương ứng với chỉ số khô hạn TVDI được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS mùa khô năm 2010-2011.

| Ngày quan sát | Lượng mưa (mm) | | | TVDI | | |
|---------------|----------------|----------|---------|-----------|----------|---------|
| | Sóc Trăng | Trà Vinh | Bến Tre | Sóc Trăng | Trà Vinh | Bến Tre |
| 01/11/2010 | 32,5 | 1,4 | 1,4 | 0,22 | 0,15 | 0,19 |
| 09/11/2010 | 3,4 | 0,7 | 0,3 | 0,37 | 0,37 | 0,38 |
| 17/11/2010 | 12,3 | 26,3 | 13,4 | 0,31 | 0,29 | 0,23 |
| 25/11/2010 | 0,1 | 6,4 | 0,8 | 0,40 | 0,35 | 0,32 |
| 03/12/2010 | 0,1 | 0,0 | 0,9 | 0,36 | 0,29 | 0,32 |
| 11/12/2010 | 1,7 | 1,4 | 25,9 | 0,31 | 0,32 | 0,36 |
| 19/12/2010 | 1,3 | 5,4 | 11,0 | 0,30 | 0,23 | 0,32 |
| 27/12/2010 | 0,0 | 0,2 | 3,0 | 0,33 | 0,16 | 0,19 |
| 01/01/2011 | 2,1 | 0,8 | 0,5 | 0,36 | 0,33 | 0,37 |
| 09/01/2011 | 1,3 | 0,3 | 0,0 | 0,37 | 0,31 | 0,28 |
| 17/01/2011 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,42 | 0,35 | 0,30 |
| 25/01/2011 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,45 | 0,34 | 0,37 |
| 02/02/2011 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,45 | 0,38 | 0,37 |
| 10/02/2011 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,49 | 0,39 | 0,40 |
| 18/02/2011 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,50 | 0,46 | 0,43 |
| 26/02/2011 | 0,0 | 0,0 | 2,3 | 0,51 | 0,54 | 0,50 |
| 06/03/2011 | 7,6 | 0,0 | - | 0,56 | 0,57 | 0,53 |
| 14/03/2011 | 2,1 | 1,6 | 3,0 | 0,41 | 0,39 | 0,41 |

| | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 22/03/2011 | 0,1 | 1,0 | 0,0 | 0,44 | 0,46 | 0,37 |
| 30/03/2011 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,50 | 0,52 | 0,49 |
| 07/04/2011 | 0,2 | 19,1 | 1,0 | 0,63 | 0,62 | 0,57 |
| 15/04/2011 | 7,0 | 0,0 | 0,1 | 0,63 | 0,58 | 0,62 |
| 23/04/2011 | 40,3 | 0,0 | 13,1 | 0,60 | 0,44 | 0,44 |
| 01/05/2011 | 12,5 | 8,5 | 3,2 | 0,29 | 0,20 | 0,42 |
| 09/05/2011 | 2,5 | 1,4 | 18,8 | 0,45 | 0,39 | 0,41 |
| 17/05/2011 | 43,6 | 0,8 | 2,0 | 0,40 | 0,47 | 0,46 |
| 25/05/2011 | 0,8 | | 19,0 | 0,17 | | 0,16 |

Phụ lục 12: Biến động giá trị nhiệt độ bề mặt đất trung bình/ngày trong năm ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS (ĐVT: °C).

| (DOY* | Năm 2000 | Năm 2001 | Năm 2002 | Năm 2003 | Năm 2004 | Năm 2005 | Năm 2006 | Năm 2007 | Năm 2008 | Năm 2009 | Năm 2010 | Năm 2011 | TB | Cao nhất |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|
| DOY 001 | | 23,91 | 25,25 | 25,53 | 25,58 | 24,32 | 23,97 | 21,99 | 24,17 | 24,35 | 24,24 | 24,27 | 24,33 | 25,58 |
| DOY 009 | | 25,17 | 25,96 | 24,94 | 25,54 | 24,54 | 24,34 | 23,88 | 26,39 | 22,83 | 23,65 | 24,11 | 24,67 | 26,39 |
| DOY 017 | | 23,95 | 24,53 | 25,94 | 25,50 | 26,14 | 26,35 | 25,88 | 25,19 | 25,82 | 24,32 | 24,42 | 25,28 | 26,35 |
| DOY 025 | | 25,31 | 25,40 | 26,12 | 24,12 | 26,98 | 25,62 | 24,72 | 24,68 | 23,93 | 26,37 | 24,34 | 25,24 | 26,98 |
| DOY 033 | | 26,46 | 25,83 | 25,95 | 25,61 | 26,64 | 26,54 | 25,92 | 25,71 | 25,41 | 27,15 | 24,63 | 25,99 | 27,15 |
| DOY 041 | | 27,05 | 26,88 | 26,51 | 26,43 | 27,05 | 24,77 | 26,41 | 23,79 | 26,50 | 28,03 | 26,08 | 26,32 | 28,03 |
| DOY 049 | | 28,64 | 26,86 | 28,17 | 25,72 | 29,04 | 25,37 | 27,54 | 23,78 | 27,88 | 27,86 | 26,03 | 26,99 | 29,04 |
| DOY 057 | | 28,43 | 27,46 | 27,15 | 29,95 | 29,25 | 27,89 | 28,31 | 25,01 | 26,19 | 29,48 | 26,73 | 27,80 | 29,95 |
| DOY 065 | 26,22 | 23,92 | 28,42 | 29,48 | 26,44 | 30,07 | 29,21 | 29,81 | 27,02 | 27,64 | 30,55 | 28,09 | 28,07 | 30,55 |
| DOY 073 | | 24,76 | 30,42 | 26,80 | 31,48 | 28,33 | 27,69 | 30,14 | 28,93 | 25,49 | 31,39 | 25,81 | 28,29 | 31,48 |
| DOY 081 | 26,10 | 23,45 | 26,37 | 29,38 | 28,26 | 29,38 | 25,43 | 29,27 | 27,93 | 29,97 | 28,56 | 22,94 | 27,25 | 29,97 |
| DOY 089 | 29,04 | 24,62 | 31,38 | 31,72 | 31,61 | 31,60 | 26,01 | 31,52 | 30,52 | 26,85 | 28,51 | 26,95 | 29,19 | 31,72 |
| DOY 097 | 25,85 | 31,29 | 30,43 | 30,96 | 29,78 | 30,71 | 28,73 | 27,92 | 30,24 | 24,59 | 30,81 | 29,59 | 29,24 | 31,29 |
| DOY 105 | 25,33 | 30,20 | 26,35 | 29,97 | 29,54 | 29,27 | 28,55 | 27,11 | 28,66 | 26,93 | 27,16 | 29,66 | 28,23 | 30,20 |
| DOY 113 | 22,51 | 26,86 | 25,70 | 30,04 | 25,30 | 30,42 | 29,02 | 28,86 | 24,99 | 29,08 | 29,69 | 28,06 | 27,54 | 30,42 |
| DOY 121 | 28,31 | 28,62 | 29,54 | 27,51 | 23,21 | 24,12 | 26,13 | 26,71 | 24,61 | 22,07 | 29,92 | 24,46 | 26,27 | 29,92 |
| DOY 129 | 22,53 | 27,46 | 27,09 | 26,48 | 25,97 | 26,91 | 25,68 | 24,36 | 21,55 | 25,53 | 28,01 | 22,77 | 25,36 | 28,01 |
| DOY 137 | 26,30 | 25,09 | 25,25 | 22,61 | 26,61 | 23,35 | 21,29 | 24,55 | 25,12 | 25,44 | 24,17 | 26,68 | 24,70 | 26,68 |
| DOY 145 | 24,42 | 26,02 | 27,87 | 26,97 | 27,83 | 24,56 | 26,74 | 24,52 | 25,53 | 25,68 | 26,17 | 22,80 | 25,76 | 27,87 |
| DOY 153 | 25,48 | 25,08 | 24,98 | 26,59 | 25,67 | 27,95 | 26,83 | 26,00 | 25,55 | 25,03 | 25,57 | 23,96 | 25,72 | 27,95 |
| DOY 161 | 22,18 | 26,25 | 21,35 | 24,80 | 24,51 | 25,42 | 24,72 | 27,96 | 21,32 | 27,69 | 27,29 | 21,49 | 24,58 | 27,96 |
| DOY 169 | 21,13 | | 21,26 | 25,44 | 25,68 | 24,80 | 20,16 | 23,11 | 26,20 | 27,44 | 25,65 | 24,28 | 24,10 | 27,44 |
| DOY 177 | 22,32 | | 25,87 | 25,35 | 27,90 | 24,72 | 21,23 | 25,62 | 24,88 | 25,07 | 23,63 | 25,17 | 24,71 | 27,90 |
| DOY 185 | 24,39 | 25,12 | 18,79 | 26,95 | 23,24 | 26,51 | 25,33 | 21,55 | 24,41 | 24,63 | 25,45 | 26,05 | 24,37 | 26,95 |
| DOY 193 | 23,00 | 26,33 | 25,14 | 22,51 | 25,38 | 23,22 | 21,59 | 25,39 | 26,68 | 21,99 | 23,23 | 26,31 | 24,23 | 26,68 |
| DOY 201 | 25,30 | 25,90 | 28,20 | 26,38 | 23,03 | 24,59 | 26,28 | 22,35 | 28,07 | 26,20 | 27,97 | 26,37 | 25,89 | 28,20 |
| DOY 209 | 26,67 | 25,83 | 27,28 | 26,12 | 23,53 | 25,04 | 24,17 | 21,61 | 24,06 | 22,50 | 23,40 | 25,50 | 24,64 | 27,28 |
| DOY 217 | 20,74 | 24,43 | 25,54 | 24,46 | 26,43 | 23,23 | 22,10 | 20,43 | 22,47 | 25,22 | 24,64 | 24,25 | 23,66 | 26,43 |
| DOY 225 | | 25,60 | 26,21 | 29,68 | 24,72 | 28,28 | 25,38 | 23,80 | 24,96 | 25,93 | 24,03 | 23,25 | 25,62 | 29,68 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DOY 233 | 24,83 | 21,54 | 22,70 | 25,94 | 24,20 | 24,67 | 26,53 | 23,01 | 23,91 | 24,73 | 25,02 | 25,20 | 24,36 | 26,53 |
| DOY 241 | 28,44 | 23,51 | 22,23 | 24,75 | 26,05 | 25,05 | 25,64 | 25,45 | 25,40 | 21,39 | 24,66 | 24,67 | 24,77 | 28,44 |
| DOY 249 | 23,52 | 27,07 | 23,85 | 23,74 | 22,79 | 25,72 | 26,06 | 26,77 | 20,69 | 25,60 | 20,22 | 22,09 | 24,01 | 27,07 |
| DOY 257 | 25,44 | 28,28 | 22,94 | 23,96 | 26,24 | 26,13 | 24,32 | 24,60 | 25,91 | 26,86 | 22,95 | 21,33 | 24,91 | 28,28 |
| DOY 265 | 24,57 | 24,44 | 24,68 | 24,20 | 21,59 | 24,87 | 22,23 | 23,12 | 23,47 | 20,18 | 27,11 | 21,23 | 23,47 | 27,11 |
| DOY 273 | 24,05 | 23,41 | 26,12 | 21,82 | 25,89 | 24,18 | 19,43 | 18,23 | 26,08 | 19,28 | 22,37 | 21,86 | 22,73 | 26,12 |
| DOY 281 | 21,08 | 21,85 | 26,74 | 25,74 | 25,30 | 22,62 | 27,02 | 26,40 | 25,08 | 25,36 | 21,07 | 25,08 | 24,45 | 27,02 |
| DOY 289 | 21,09 | 21,20 | 27,30 | 26,75 | 26,50 | 24,54 | 25,60 | 25,73 | 26,40 | 25,23 | 25,89 | 25,66 | 25,16 | 27,30 |
| DOY 297 | 24,08 | 23,91 | 24,44 | 24,68 | 24,85 | 24,30 | 26,12 | 22,54 | 20,80 | 26,70 | 24,61 | 26,29 | 24,44 | 26,70 |
| DOY 305 | 25,66 | 25,16 | 24,37 | 25,50 | 25,62 | 25,09 | 25,04 | 24,62 | 25,29 | 24,42 | 22,09 | 25,77 | 24,89 | 25,77 |
| DOY 313 | 26,44 | 23,90 | 24,50 | 25,14 | 25,43 | 24,06 | 26,20 | 23,12 | 23,72 | 25,06 | 24,92 | 25,73 | 24,85 | 26,44 |
| DOY 321 | 23,52 | 23,55 | 26,20 | 25,70 | 26,84 | 22,92 | 26,25 | 25,01 | 22,19 | 23,86 | 23,29 | 23,64 | 24,41 | 26,84 |
| DOY 329 | 22,74 | 25,99 | 26,48 | 24,97 | 24,03 | 23,44 | 27,26 | 26,00 | 21,27 | 26,33 | 24,95 | 26,07 | 24,96 | 27,26 |
| DOY 337 | 24,53 | 27,38 | 25,58 | 26,02 | 25,70 | 21,16 | 26,04 | 26,96 | 23,62 | 27,25 | 24,11 | 25,61 | 25,33 | 27,38 |
| DOY 345 | 25,08 | 26,73 | 27,08 | 24,75 | 25,41 | 20,63 | 25,77 | 25,80 | 24,91 | 26,98 | 25,16 | 23,62 | 25,16 | 27,08 |
| DOY 353 | 24,04 | 25,00 | 24,67 | | 23,76 | 25,54 | 23,42 | 25,86 | 24,76 | 25,37 | 22,94 | 22,93 | 24,39 | 25,86 |
| DOY 361 | 23,47 | 25,06 | | | | | 23,44 | 25,02 | 22,94 | 25,03 | 23,22 | 23,61 | 23,97 | 25,06 |
| Trung bình | 24,46 | 25,54 | 25,81 | 26,23 | 25,88 | 25,81 | 25,29 | 25,34 | 24,98 | 25,29 | 25,68 | 24,90 | | |
| Cao nhất | 29,04 | 31,29 | 31,38 | 31,72 | 31,61 | 31,60 | 29,21 | 31,52 | 30,52 | 29,97 | 31,39 | 29,66 | | |

(* DOY_Day of year: thứ tự ngày trong năm)

Phụ lục 13: Biến động giá trị nhiệt độ bề mặt đất cực đại/ ngày trong năm ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS (ĐVT: °C).

| (DOY* | Năm 2000 | Năm 2001 | Năm 2002 | Năm 2003 | Năm 2004 | Năm 2005 | Năm 2006 | Năm 2007 | Năm 2008 | Năm 2009 | Năm 2010 | Năm 2011 | TB | Cao nhất |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|
| DOY 001 | | 31,13 | 29,19 | 30,99 | 30,65 | 30,08 | 31,96 | 27,02 | 28,34 | 29,06 | 31,52 | 30,29 | 30,02 | 31,96 |
| DOY 009 | | 31,14 | 30,49 | 30,05 | 30,63 | 30,73 | 29,90 | 31,08 | 31,68 | 27,75 | 29,59 | 29,54 | 30,24 | 31,68 |
| DOY 017 | | 27,79 | 30,77 | 30,67 | 31,38 | 32,03 | 32,51 | 31,05 | 30,77 | 29,45 | 28,64 | 31,17 | 30,57 | 32,51 |
| DOY 025 | | 33,16 | 32,20 | 31,76 | 31,78 | 33,26 | 31,74 | 31,24 | 32,04 | 30,59 | 32,22 | 32,37 | 32,03 | 33,26 |
| DOY 033 | | 32,02 | 33,22 | 34,08 | 30,57 | 33,11 | 32,65 | 32,51 | 32,89 | 32,95 | 32,89 | 32,02 | 32,63 | 34,08 |
| DOY 041 | | 33,88 | 34,15 | 34,25 | 32,63 | 34,88 | 32,13 | 33,53 | 33,50 | 33,41 | 34,78 | 31,94 | 33,55 | 34,88 |
| DOY 049 | | 40,03 | 35,02 | 34,91 | 34,21 | 35,10 | 32,18 | 34,38 | 31,14 | 34,38 | 36,79 | 34,80 | 34,81 | 40,03 |
| DOY 057 | | 35,48 | 34,12 | 35,33 | 37,11 | 37,13 | 34,16 | 36,60 | 35,16 | 31,61 | 36,62 | 34,30 | 35,24 | 37,13 |
| DOY 065 | 33,27 | 31,92 | 37,24 | 38,50 | 34,24 | 39,12 | 36,60 | 39,30 | 33,58 | 35,67 | 39,16 | 38,88 | 36,46 | 39,30 |
| DOY 073 | | 30,95 | 40,21 | 34,36 | 34,82 | 37,63 | 37,41 | 38,49 | 36,54 | 33,96 | 39,92 | 34,16 | 36,22 | 40,21 |
| DOY 081 | 33,62 | 28,61 | 33,64 | 36,24 | 40,61 | 37,49 | 31,44 | 39,08 | 34,28 | 39,23 | 34,35 | 29,00 | 34,80 | 40,61 |
| DOY 089 | 39,42 | 32,74 | 42,33 | 40,95 | 36,73 | 43,19 | 32,73 | 39,25 | 42,20 | 31,67 | 38,28 | 34,58 | 37,84 | 43,19 |
| DOY 097 | 30,90 | 37,61 | 38,94 | 39,69 | 36,74 | 43,10 | 35,31 | 34,90 | 38,22 | 30,30 | 39,76 | 37,77 | 36,94 | 43,10 |
| DOY 105 | 30,83 | 35,52 | 32,28 | 41,92 | 32,07 | 39,76 | 39,39 | 34,78 | 33,46 | 35,89 | 34,54 | 38,18 | 35,72 | 41,92 |
| DOY 113 | 26,54 | 34,56 | 31,70 | 41,85 | 29,29 | 42,81 | 34,23 | 34,78 | 30,51 | 34,78 | 43,29 | 33,66 | 34,83 | 43,29 |
| DOY 121 | 33,58 | 34,29 | 41,98 | 34,15 | 32,89 | 29,74 | 32,65 | 35,32 | 27,95 | 30,99 | 35,63 | 30,25 | 33,29 | 41,98 |
| DOY 129 | 32,20 | 34,58 | 32,06 | 31,44 | 33,66 | 32,10 | 32,50 | 29,80 | 31,41 | 32,20 | 34,21 | 29,25 | 32,12 | 34,58 |
| DOY 137 | 31,66 | 30,65 | 33,26 | 26,40 | 33,72 | 29,42 | 28,50 | 30,23 | 32,51 | 32,33 | 29,55 | 32,63 | 30,91 | 33,72 |
| DOY 145 | 28,35 | 31,62 | 34,16 | 32,83 | 30,36 | 31,84 | 31,56 | 29,76 | 30,27 | 30,85 | 32,81 | 29,57 | 31,16 | 34,16 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DOY 153 | 29,95 | 33,25 | 30,53 | 31,30 | 30,95 | 32,36 | 32,07 | 30,91 | 26,70 | 31,88 | 30,25 | 29,67 | 30,82 | 33,25 |
| DOY 161 | 26,32 | 29,76 | 24,84 | 30,37 | 33,10 | 32,00 | 30,15 | 33,14 | 30,97 | 32,57 | 32,39 | 27,55 | 30,26 | 33,14 |
| DOY 169 | 24,97 | | 26,67 | 30,41 | 27,81 | 31,16 | 23,76 | 27,71 | 28,78 | 32,45 | 31,16 | 30,06 | 28,63 | 32,45 |
| DOY 177 | 27,23 | | 31,50 | 31,05 | 30,17 | 28,60 | 25,37 | 29,10 | 29,14 | 28,85 | 29,22 | 30,04 | 29,12 | 31,50 |
| DOY 185 | 30,69 | 30,19 | 23,35 | 32,79 | 30,02 | 33,01 | 29,20 | 25,97 | 31,84 | 29,89 | 30,61 | 31,77 | 29,94 | 33,01 |
| DOY 193 | 27,55 | 31,63 | 29,42 | 29,28 | 29,02 | 26,94 | 24,86 | 30,09 | 31,95 | 27,47 | 29,93 | 30,79 | 29,08 | 31,95 |
| DOY 201 | 29,41 | 29,47 | 36,15 | 30,04 | 31,31 | 28,04 | 31,53 | 27,55 | 29,44 | 31,34 | 32,49 | 30,71 | 30,62 | 36,15 |
| DOY 209 | 32,29 | 29,51 | 31,03 | 29,42 | 29,58 | 30,10 | 27,77 | 28,30 | 25,93 | 26,80 | 29,60 | 29,32 | 29,14 | 32,29 |
| DOY 217 | 25,01 | 29,86 | 29,46 | 29,24 | 29,16 | 27,77 | 28,40 | 25,31 | 29,12 | 29,24 | 32,91 | 31,53 | 28,92 | 32,91 |
| DOY 225 | | 29,06 | 32,81 | 35,89 | 31,45 | 32,83 | 30,18 | 28,64 | 28,32 | 33,28 | 29,38 | 28,18 | 30,91 | 35,89 |
| DOY 233 | 28,50 | 25,89 | 26,17 | 31,29 | 29,44 | 30,47 | 32,39 | 27,59 | 31,12 | 31,14 | 30,27 | 30,51 | 29,57 | 32,39 |
| DOY 241 | 32,81 | 27,37 | 25,57 | 28,98 | 31,99 | 28,56 | 32,35 | 29,43 | 24,58 | 26,08 | 30,69 | 29,82 | 29,02 | 32,81 |
| DOY 249 | 27,97 | 32,59 | 27,96 | 29,22 | 26,47 | 29,99 | 29,56 | 33,60 | 30,59 | 30,69 | 29,18 | 25,99 | 29,48 | 33,60 |
| DOY 257 | 31,55 | 33,90 | 27,67 | 28,21 | 29,95 | 30,83 | 28,72 | 29,87 | 27,55 | 32,91 | 29,26 | 27,07 | 29,79 | 33,90 |
| DOY 265 | 32,79 | 29,38 | 30,02 | 29,92 | 30,93 | 31,15 | 27,49 | 29,56 | 31,84 | 23,96 | 33,17 | 24,44 | 29,55 | 33,17 |
| DOY 273 | 28,29 | 28,90 | 29,40 | 26,63 | 30,73 | 29,06 | 23,37 | 21,56 | 30,28 | 22,96 | 28,64 | 27,03 | 27,24 | 30,73 |
| DOY 281 | 24,77 | 27,16 | 31,31 | 29,36 | 29,10 | 29,26 | 32,31 | 32,37 | 32,33 | 31,22 | 25,83 | 30,18 | 29,60 | 32,37 |
| DOY 289 | 27,25 | 24,41 | 31,28 | 30,93 | 30,85 | 26,94 | 30,61 | 30,43 | 25,13 | 29,80 | 32,11 | 29,26 | 29,08 | 32,11 |
| DOY 297 | 28,09 | 28,60 | 28,98 | 28,60 | 31,23 | 29,70 | 30,99 | 26,27 | 30,10 | 31,34 | 31,67 | 31,64 | 29,77 | 31,67 |
| DOY 305 | 28,88 | 28,78 | 27,99 | 31,38 | 29,72 | 30,22 | 29,38 | 29,48 | 28,56 | 28,12 | 28,22 | 29,66 | 29,20 | 31,38 |
| DOY 313 | 29,93 | 28,03 | 28,62 | 29,91 | 30,53 | 29,10 | 29,91 | 27,52 | 28,53 | 31,50 | 28,66 | 30,93 | 29,43 | 31,50 |
| DOY 321 | 27,49 | 29,82 | 29,72 | 31,10 | 31,10 | 26,53 | 31,96 | 30,57 | 26,47 | 27,77 | 27,73 | 30,89 | 29,26 | 31,96 |
| DOY 329 | 28,34 | 31,45 | 30,23 | 29,97 | 30,63 | 27,73 | 32,28 | 30,25 | 31,14 | 31,80 | 31,57 | 31,50 | 30,57 | 32,28 |
| DOY 337 | 28,62 | 30,73 | 30,85 | 32,67 | 29,58 | 25,45 | 31,16 | 32,95 | 29,68 | 32,12 | 29,24 | 31,98 | 30,42 | 32,95 |
| DOY 345 | 29,28 | 31,05 | 31,56 | 29,91 | | 25,09 | 31,82 | 32,02 | 30,24 | 32,16 | 31,07 | 29,26 | 30,31 | 32,16 |
| DOY 353 | 29,36 | 29,00 | 29,16 | | | 29,89 | 30,38 | 31,58 | 26,45 | 30,51 | 30,05 | 29,02 | 29,54 | 31,58 |
| DOY 361 | 28,92 | 29,85 | | | | | 28,31 | 29,28 | | 31,70 | 28,88 | 27,29 | 29,18 | 31,70 |
| Trung bình | 29,63 | 31,08 | 31,54 | 32,23 | 31,60 | 31,90 | 31,00 | 31,18 | 30,74 | 31,01 | 32,15 | 30,88 | | |
| Cao nhất | 39,42 | 40,03 | 42,33 | 41,92 | 40,61 | 43,19 | 39,39 | 39,30 | 42,20 | 39,23 | 43,29 | 38,88 | | |

(* DOY_Day of year: thứ tự ngày trong năm)

Phụ lục 14: Biến động giá trị nhiệt độ bề mặt đất cực tiểu/ngày trong năm ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS (ĐVT: °C).

| (DOY*) | Năm 2000 | Năm 2001 | Năm 2002 | Năm 2003 | Năm 2004 | Năm 2005 | Năm 2006 | Năm 2007 | Năm 2008 | Năm 2009 | Năm 2010 | Năm 2011 | TB | Cao nhất |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|
| DOY 001 | | 17,95 | 21,96 | 20,17 | 22,24 | 19,25 | 17,49 | 17,53 | 18,77 | 18,31 | 19,43 | 18,30 | 19,22 | 22,24 |
| DOY 009 | | 19,12 | 23,23 | 20,47 | 22,20 | 21,04 | 19,08 | 17,86 | 23,21 | 17,00 | 17,57 | 18,77 | 19,96 | 23,23 |
| DOY 017 | | 19,36 | 19,96 | 23,46 | 21,72 | 22,42 | 20,43 | 23,75 | 22,33 | 22,24 | 19,06 | 17,88 | 21,15 | 23,75 |
| DOY 025 | | 19,90 | 21,33 | 20,91 | 19,34 | 23,53 | 20,89 | 21,62 | 19,93 | 18,49 | 23,77 | 19,09 | 20,80 | 23,77 |
| DOY 033 | | 22,37 | 21,07 | 20,72 | 20,93 | 23,42 | 24,22 | 22,81 | 22,00 | 22,06 | 23,21 | 21,16 | 22,18 | 24,22 |
| DOY 041 | | 21,79 | 23,18 | 22,05 | 21,76 | 23,92 | 17,71 | 22,62 | 17,62 | 21,29 | 25,04 | 22,29 | 21,75 | 25,04 |
| DOY 049 | | 23,94 | 21,51 | 22,74 | 19,57 | 25,31 | 19,97 | 23,44 | 16,54 | 23,44 | 24,44 | 20,25 | 21,92 | 25,31 |
| DOY 057 | | 23,23 | 21,98 | 20,70 | 24,89 | 24,67 | 22,01 | 23,13 | 18,16 | 18,21 | 25,56 | 19,77 | 22,03 | 25,56 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DOY 065 | 18,62 | 18,60 | 23,74 | 22,42 | 17,23 | 25,38 | 24,31 | 24,48 | 18,97 | 18,58 | 25,58 | 20,45 | 21,53 | 25,58 |
| DOY 073 | | 18,88 | 25,35 | 20,99 | 22,64 | 19,21 | 20,29 | 23,71 | 19,40 | 16,97 | 25,07 | 19,58 | 21,10 | 25,35 |
| DOY 081 | 20,23 | 20,17 | 22,64 | 19,12 | 21,86 | 21,47 | 18,09 | 18,18 | 19,76 | 24,36 | 22,15 | 15,86 | 20,32 | 24,36 |
| DOY 089 | 19,41 | 19,33 | 25,73 | 23,50 | 23,10 | 25,68 | 22,94 | 26,85 | 23,50 | 20,70 | 22,22 | 18,83 | 22,65 | 26,85 |
| DOY 097 | 17,58 | 25,33 | 26,31 | 24,68 | 23,00 | 25,39 | 20,68 | 18,95 | 23,40 | 19,54 | 24,86 | 24,25 | 22,83 | 26,31 |
| DOY 105 | 18,77 | 25,72 | 20,38 | 20,75 | 19,91 | 18,73 | 17,07 | 20,23 | 22,33 | 20,08 | 19,77 | 22,25 | 20,50 | 25,72 |
| DOY 113 | 18,22 | 21,18 | 20,54 | 21,69 | 20,76 | 23,70 | 19,59 | 18,83 | 19,67 | 15,23 | 22,03 | 19,05 | 20,04 | 23,70 |
| DOY 121 | 20,19 | 22,04 | 19,47 | 17,01 | 20,79 | 18,93 | 18,09 | 16,96 | 19,62 | 17,71 | 25,79 | 19,38 | 19,66 | 25,79 |
| DOY 129 | 17,61 | 18,77 | 19,99 | 14,59 | 19,17 | 17,02 | 19,10 | 17,82 | 15,82 | 15,30 | 21,97 | 16,05 | 17,77 | 21,97 |
| DOY 137 | 13,52 | 11,44 | 17,33 | 19,30 | 20,38 | 17,32 | 19,00 | 15,84 | 15,60 | 17,90 | 21,14 | 16,92 | 17,14 | 21,14 |
| DOY 145 | 17,53 | 17,17 | 21,87 | 17,11 | 14,82 | 17,37 | 18,31 | 14,19 | 17,08 | 17,69 | 17,09 | 18,75 | 17,42 | 21,87 |
| DOY 153 | 16,78 | 18,72 | 16,13 | 20,38 | 17,72 | 17,76 | 16,19 | 18,89 | 17,18 | 12,59 | 19,38 | 15,08 | 17,23 | 20,38 |
| DOY 161 | 15,67 | 20,18 | 21,29 | 17,17 | 18,64 | 15,11 | 16,97 | 18,56 | 17,74 | 24,11 | 19,11 | 18,08 | 18,55 | 24,11 |
| DOY 169 | 16,72 | | 19,50 | 16,01 | 15,92 | 15,53 | 17,84 | 18,20 | 16,89 | 18,01 | 17,93 | 15,73 | 17,12 | 19,50 |
| DOY 177 | 15,31 | | 17,05 | 14,21 | 14,59 | 17,91 | 18,32 | 19,58 | 18,43 | 16,87 | 17,27 | 13,33 | 16,62 | 19,58 |
| DOY 185 | 15,14 | 17,00 | 19,83 | 19,54 | 15,69 | 13,65 | 16,11 | 17,73 | 22,20 | 16,72 | 19,80 | 13,76 | 17,26 | 22,20 |
| DOY 193 | 18,04 | 19,63 | 17,51 | 16,18 | 17,08 | 16,26 | 15,47 | 19,31 | 16,70 | 20,37 | 15,21 | 18,83 | 17,55 | 20,37 |
| DOY 201 | 22,20 | 21,06 | 22,65 | 21,68 | 19,32 | 19,74 | 14,74 | 18,00 | 17,53 | 13,29 | 15,58 | 18,70 | 18,71 | 22,65 |
| DOY 209 | 22,67 | 18,70 | 11,79 | 17,46 | 15,28 | 18,16 | 18,26 | 18,81 | 17,65 | 17,28 | 16,43 | 16,22 | 17,39 | 22,67 |
| DOY 217 | 20,30 | 17,93 | 15,16 | 16,14 | 17,26 | 17,07 | 16,53 | 19,41 | 20,79 | 14,95 | 15,97 | 15,94 | 17,29 | 20,79 |
| DOY 225 | | 18,31 | 14,74 | 18,79 | 17,06 | 23,16 | 14,65 | 17,91 | 13,97 | 15,19 | 19,81 | 16,32 | 17,26 | 23,16 |
| DOY 233 | 19,00 | 16,47 | 16,66 | 16,91 | 16,33 | 14,93 | 15,55 | 16,89 | 16,69 | 16,71 | 15,88 | 17,36 | 16,62 | 19,00 |
| DOY 241 | 20,76 | 15,54 | 18,46 | 15,90 | 15,17 | 17,83 | 14,31 | 15,02 | 19,87 | 18,99 | 16,34 | 15,45 | 16,97 | 20,76 |
| DOY 249 | 19,64 | 20,55 | 16,11 | 16,12 | 18,21 | 15,62 | 21,22 | 17,90 | 16,18 | 17,54 | 16,09 | 18,87 | 17,84 | 21,22 |
| DOY 257 | 17,16 | 15,77 | 19,35 | 16,30 | 20,37 | 17,61 | 18,03 | 23,89 | 19,23 | 15,97 | 14,92 | 18,79 | 18,11 | 23,89 |
| DOY 265 | 18,33 | 21,01 | 18,08 | 17,99 | 20,11 | 16,78 | 19,20 | 17,59 | 19,78 | 19,26 | 13,80 | 19,75 | 18,47 | 21,01 |
| DOY 273 | 15,18 | 17,01 | 22,22 | 18,37 | 22,29 | 18,31 | 17,41 | 18,02 | 18,33 | 14,74 | 16,76 | 18,76 | 18,12 | 22,29 |
| DOY 281 | 20,06 | 17,66 | 18,13 | 22,18 | 18,35 | 16,16 | 19,08 | 17,93 | 14,29 | 16,79 | 15,28 | 18,23 | 17,85 | 22,18 |
| DOY 289 | 17,79 | 20,87 | 19,25 | 22,51 | 21,23 | 17,45 | 17,46 | 16,03 | 22,77 | 16,68 | 17,40 | 22,09 | 19,29 | 22,77 |
| DOY 297 | 17,37 | 16,72 | 18,28 | 19,06 | 20,45 | 16,53 | 21,41 | 16,84 | 16,96 | 22,92 | 17,27 | 21,97 | 18,81 | 22,92 |
| DOY 305 | 20,53 | 16,85 | 18,47 | 16,94 | 22,53 | 19,47 | 19,81 | 18,76 | 16,68 | 20,95 | 16,36 | 20,08 | 18,95 | 22,53 |
| DOY 313 | 22,62 | 18,51 | 17,93 | 20,33 | 17,38 | 18,35 | 22,73 | 18,89 | 16,60 | 16,93 | 15,54 | 20,11 | 18,83 | 22,73 |
| DOY 321 | 18,02 | 16,64 | 22,51 | 20,28 | 22,69 | 17,09 | 22,27 | 17,36 | 14,67 | 18,18 | 13,51 | 15,26 | 18,21 | 22,69 |
| DOY 329 | 17,57 | 21,86 | 21,84 | 16,79 | 18,62 | 14,70 | 23,83 | 21,86 | 16,71 | 17,28 | 14,77 | 20,66 | 18,87 | 23,83 |
| DOY 337 | 17,84 | 23,52 | 22,41 | 17,01 | 17,61 | 16,01 | 21,54 | 22,06 | 18,90 | 23,67 | 16,14 | 18,71 | 19,62 | 23,67 |
| DOY 345 | 20,94 | 22,60 | 21,93 | 21,53 | | 14,48 | 20,97 | 18,75 | 18,20 | 23,71 | 17,90 | 18,54 | 19,96 | 23,71 |
| DOY 353 | 18,64 | 21,84 | 19,64 | | | 20,31 | 20,74 | 19,39 | 18,19 | 22,08 | 14,47 | 18,27 | 19,36 | 22,08 |
| DOY 361 | 19,41 | 21,47 | | | | | 18,77 | 24,50 | | 19,65 | 15,80 | 17,79 | 19,63 | 24,50 |
| Trung bình | 18,48 | 19,61 | 20,10 | 19,28 | 19,45 | 19,11 | 19,10 | 19,50 | 18,60 | 18,62 | 18,92 | 18,51 | | |
| Cao nhất | 22,67 | 25,72 | 26,31 | 24,68 | 24,89 | 25,68 | 24,31 | 26,85 | 23,50 | 24,36 | 25,79 | 24,25 | | |

(* DOY_Day of year: thứ tự ngày trong năm)

Phụ lục 15: Biến động diện tích vùng bị khô hạn trong từng mùa khô ở ĐBSCL giai đoạn 12 năm từ 2000-2011 được tính toán từ dữ liệu ảnh MODIS.

| Mùa khô theo năm | Diện tích khô hạn (1.000ha) |
|-------------------------|------------------------------------|
| 2000-2001 | 22,08 |
| 2001-2002 | 38,72 |
| 2002-2003 | 22,18 |
| 2003-2004 | 32,86 |
| 2004-2005 | 29,10 |
| 2005-2006 | 17,49 |
| 2006-2007 | 38,45 |
| 2007-2008 | 35,92 |
| 2008-2009 | 35,07 |
| 2009-2010 | 34,76 |
| 2010-2011 | 30,28 |

Phụ lục 16: Diện tích phân vùng canh tác lúa các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011 (ĐVT: ha)

| Cơ cấu canh tác lúa | Diện tích cấp tỉnh (ha) | | | | | | | | | | | | | Tổng (ha) |
|---------------------------|-------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| | LA | TG | BT | TV | ĐT | VL | CT | HG | AG | KG | ST | BL | CM | |
| Lúa 1 vụ | 18.312 | 632 | | 424 | 467 | | | | 2.462 | 18.256 | | | 4.363 | 44.916 |
| Lúa 2 vụ | 220.924 | 8.042 | 7.631 | 32.735 | 132.289 | 9.311 | 26.838 | 44.528 | 129.363 | 247.746 | 88.118 | 29.286 | 41.660 | 1.018.471 |
| Lúa 3 vụ | 51.386 | 91.902 | 23.291 | 64.594 | 112.143 | 60.402 | 61.347 | 41.189 | 150.657 | 69.735 | 81.222 | 34.963 | 499 | 843.329 |
| Lúa - Màu | 9.999 | 1.122 | | 3.542 | 4.225 | 6.112 | 2.811 | 998 | 7.965 | 4.638 | 5.973 | 615 | | 48.000 |
| Lúa - Tôm | 2.671 | 755 | 20.452 | 11.527 | | | | | | 73.911 | 13.918 | 47.860 | 85.060 | 256.154 |
| TC | 303.292 | 102.453 | 51.374 | 112.822 | 249.124 | 75.825 | 90.996 | 86.715 | 290.447 | 414.287 | 189.230 | 112.724 | 131.582 | 2.210.870 |

Phụ lục 17: Diện tích phân vùng khô hạn các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011 (ĐVT: ha)

| Phân vùng khô hạn | Diện tích cấp tỉnh (ha) | | | | | | | | | | | | | Tổng (ha) | |
|--------------------|-------------------------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|-----------|-----------|
| | LA | TG | BT | TV | ĐT | VL | CT | HG | AG | KG | ST | BL | CM | | |
| Khô hạn | | 278.339 | 182.742 | 85.460 | 124.643 | 85.460 | 85.000 | 37.884 | 72.524 | 94.578 | 267.599 | 120.248 | 43.119 | 38.143 | 1.515.737 |
| Đất lúa có khô hạn | | 147.124 | 79.138 | 19.099 | 63.213 | 47.427 | 38.707 | 9.615 | 23.277 | 51.640 | 132.325 | 68.059 | 19.493 | 16.555 | 715.671 |

Phụ lục 18: Diện tích phân vùng ngập lũ các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011 (ĐVT: ha)

| Phân vùng ngập lũ | Diện tích cấp tỉnh (ha) | | | | | | | | | | | | | Tổng (ha) |
|------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| | LA | TG | BT | TV | ĐT | VL | CT | HG | AG | KG | ST | BL | CM | |
| Không ngập lũ | 169.402 | 169.199 | 151.762 | 159.174 | 76.069 | 111.913 | 33.182 | 95.437 | 186.730 | 216.490 | 213.252 | 75.001 | 154.369 | 1.811.979 |
| Ngập trễ và ngắn hạn | 96.753 | 50.920 | 1.747 | 1.681 | 104.486 | 29.911 | 82.472 | 58.749 | 36.770 | 204.053 | 29.276 | 7.814 | 9.094 | 713.724 |
| Ngập sớm và dài hạn | 145.614 | 598 | 407 | 43 | 136.489 | 1.146 | 21.295 | 7.387 | 111.974 | 73.520 | 2.769 | 386 | 83 | 501.712 |
| Ngập mặn | 20.096 | 15.939 | 75.388 | 62.216 | 20.032 | 9.788 | 7.000 | 634 | 12.472 | 123.726 | 80.368 | 164.169 | 349.159 | 940.987 |
| TC | 431.865 | 236.655 | 229.304 | 223.114 | 337.075 | 152.757 | 143.949 | 162.207 | 347.946 | 617.790 | 325.664 | 247.371 | 512.704 | 3.968.402 |
| Đất lúa_Ngập sớm và dài hạn | 129.946 | 74 | 0 | 0 | 114.713 | 762 | 15.665 | 6.289 | 95.776 | 61.086 | 2.340 | 359 | 0 | 427.009 |
| Đất lúa_Ngập trễ và ngắn hạn | 21.754 | 20.488 | 11 | 1.228 | 55.848 | 13.667 | 61.325 | 42.453 | 18.165 | 111.450 | 20.353 | 3.683 | 4.315 | 374.739 |
| TC | 151.700 | 20.562 | 11 | 1.228 | 170.561 | 14.429 | 76.990 | 48.742 | 113.941 | 172.535 | 22.693 | 4.042 | 4.315 | 801.749 |

Phụ lục 19: Diện tích phân vùng sinh thái các tỉnh thuộc ĐBSCL năm 2011 (ĐVT: ha)

| Ký hiệu | Phân vùng sinh thái | | | Diện tích cấp tỉnh (ha) | | | | | | | | | | | | | Tổng (ha) |
|-----------|---------------------|--------------------------|---------------|-------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| | Cơ cấu canh tác | Ngập lũ | Khô hạn | LA | TG | BT | TV | ĐT | VL | CT | HG | AG | KG | ST | BL | CM | |
| Ia | Lúa 1 vụ. lúa màu | Không ngập lũ | Có khô hạn | 28.311 | 1.754 | 0 | 3.966 | 4.692 | 6.112 | 2.811 | 998 | 10.427 | 22.894 | 5.973 | 615 | 4.363 | 92.916 |
| Ib | Lúa Tôm | Không ngập lũ (ngập mặn) | Không khô hạn | 2.671 | 755 | 20.452 | 11.527 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.911 | 13.918 | 47.860 | 85.060 | 256.154 |
| IIa | Lúa 2 vụ | Không ngập lũ | Không khô hạn | 983 | 896 | 1.422 | 4.948 | 3.128 | 655 | 398 | 8.097 | 4.619 | 28.808 | 26.427 | 11.166 | 25.582 | 117.128 |
| IIb | Lúa 2 vụ | Ngập sớm và dài hạn | Không khô hạn | 129.946 | 74 | 0 | 0 | 114.713 | 762 | 15.665 | 6.289 | 95.776 | 61.086 | 2.340 | 359 | 0 | 427.009 |
| IIc | Lúa 2 vụ | Ngập trễ và ngắn hạn | Không khô hạn | 10.004 | 117 | 11 | 21 | 8.952 | 3.236 | 9.708 | 19.909 | 10.847 | 60.494 | 15.815 | 3.565 | 4.315 | 146.993 |
| IId | Lúa 2 vụ | Không ngập lũ | Có khô hạn | 79.991 | 6.956 | 6.198 | 27.767 | 5.496 | 4.658 | 1.068 | 10.233 | 18.121 | 97.359 | 43.536 | 14.195 | 11.763 | 327.340 |
| IIIa | Lúa 3 vụ | Không ngập lũ | Không khô hạn | 814 | 1.103 | 10.390 | 31.906 | 28.008 | 22.034 | 3.994 | 6.599 | 120.247 | 6.707 | 58.134 | 30.162 | 70 | 320.168 |
| IIIb | Lúa 3 vụ | Không ngập lũ | Có khô hạn | 38.822 | 70.428 | 12.901 | 31.481 | 37.239 | 27.937 | 5.736 | 12.046 | 23.092 | 12.072 | 18.550 | 4.683 | 429 | 295.415 |
| IIIc | Lúa 3 vụ | Ngập trễ và ngắn hạn | Không khô hạn | 11.750 | 20.371 | 0 | 1.207 | 46.896 | 10.431 | 51.617 | 22.544 | 7.318 | 50.956 | 4.538 | 118 | 0 | 227.746 |
| TC | | | | 303.292 | 102.453 | 51.374 | 112.822 | 249.124 | 75.825 | 90.996 | 86.715 | 290.447 | 414.287 | 189.230 | 112.724 | 131.582 | 2.210.870 |