



Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ
Phần A: Khoa học Tự nhiên, Công nghệ và Môi trường

website: sj.ctu.edu.vn



DOI:10.22144/ctu.jsi.2017.065

XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỖ TRỢ BỐ TRÍ ĐẤT NÔNG NGHIỆP - TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU Ở HUYỆN MỸ XUYỀN, TỈNH SÓC TRĂNG

Nguyễn Hồng Thảo¹, Nguyễn Hiếu Trung² và Lê Quang Trí³

¹Trường Cao đẳng Kinh Tế Kỹ Thuật Cần Thơ; NCS ngành Quản lý đất đai, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

³Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 28/07/2017

Ngày nhận bài sửa: 23/10/2017

Ngày duyệt đăng: 26/10/2017

Title:

Establishing the model for supporting agricultural land use allocation - A case study in My Xuyen district, Soc Trang province

Từ khóa:

Bố trí đất đai, bố trí không gian, Mỹ Xuyên, quy hoạch sử dụng đất, ST-LUAM

Keywords:

Land use allocation, land use distribution, land use planning, My Xuyen, ST-LUAM

ABSTRACT

Land use allocation is one of the most important steps in land use planning. This paper is aimed to present a new model for supporting land use distribution in agricultural land use planning named Soc Trang Land Use Allocation Model (ST-LUAM). The model was conducted based on Cellular Automata and GAMA platform. The input data was the land use map (from local government in 2010), and it was divided into cells. Each cell showed land use type and was referenced to land unit map. Based on these relations, the cells data values were determined including (i) land suitability, (ii) apparent frequency of each land use type in para-cells, (iii) distance from traffic road and rivers, and (iv) local economic capability. The ST-LUAM model was applied for allocating agricultural land in My Xuyen district, Soc Trang province for the year of 2015 with various scenarios. The all indexes combined scenario showed the best result in comparison with the real land use map in 2015 with the Kappa coefficient of 0.97. Therefore, the ST-LUAM model initially showed its prospect and allowed to broadly apply in agricultural land use distribution in the Mekong Delta.

TÓM TẮT

Bố trí đất đai là một trong những bước quan trọng trong quy hoạch sử dụng đất. Bài viết nhằm giới thiệu một mô hình bố trí đất đai mới trong quy hoạch sử dụng đất đai tên là mô hình ST-LUAM (Soc Trang Land Use Allocation Model - ST-LUAM). Phương pháp xây dựng mô hình được thực hiện trên mô hình Cellular Automata kết hợp với phần mềm GAMA để thực hiện giải thuật bố trí đất đai. Dữ liệu đầu vào của mô hình là bản đồ hiện trạng sử dụng đất (năm 2010) của địa phương và các dữ liệu này được chia thành các ô nhỏ. Mỗi cell có hiện trạng sử dụng đất và được đối chiếu với bản đồ đơn vị đất đai nhằm xác định các chỉ số của cell về (i) cấp thích nghi tự nhiên đối với từng kiểu sử dụng, (ii) tỷ lệ xuất hiện của kiểu sử dụng trong các ô lân cận, (iii) khoảng cách đến đường giao thông và sông rạch, (iv) khả năng kinh tế của địa phương. Mô hình ST-LUAM đã được thử nghiệm để bố trí đất nông nghiệp ở huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng (năm 2015) theo các phương án khác nhau, trong đó, phương án tổng hợp các chỉ số cho kết quả bố trí gần thực tế nhất ($Kappa = 0,97$). Kết quả này cho thấy mô hình ST-LUAM bước đầu cho kết quả khả quan và có thể mở rộng nghiên cứu ứng dụng trong việc bố trí đất nông nghiệp cho cả khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

Trích dẫn: Nguyễn Hồng Thảo, Nguyễn Hiếu Trung và Lê Quang Trí, 2017. Xây dựng mô hình hỗ trợ bố trí đất nông nghiệp - Trường hợp nghiên cứu ở huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu (2): 166-177.

1 GIỚI THIỆU

Bố trí các kiểu sử dụng đất nông nghiệp là một trong những công đoạn quan trọng ảnh hưởng đến tính khả thi của quy hoạch ngành cũng như quy hoạch phát triển tổng thể kinh tế xã hội vùng lãnh thổ. Phương pháp bố trí theo mô hình tế bào tự động (Cellular Automata-CA) được nhiều tác giả nghiên cứu, mỗi tế bào là một ô vuông có những đặc điểm thuộc tính riêng và liên hệ chặt chẽ với các tế bào xung quanh (Neumann, 1966). Trong các nghiên cứu đó, có thể kể đến nghiên cứu của Liu *et al.*, (2017) sử dụng mô hình CA kết hợp với ma trận Markov cho phép kết hợp sự bố trí không gian các kiểu sử dụng đất (LUT) với sự tác động của chính sách đầu tư trong tối ưu hóa sử dụng đất (SDĐ) ở nông thôn. Nghiên cứu khác của Ma và Zhao (2015) sử dụng các giải thuật tin học như thử nghiệm vét cạn, giải thuật Di truyền (genetic algorithm) để lựa chọn tham số tối ưu hóa sự bố trí đất đai. Ở Việt Nam, nghiên cứu của Castella *et al.*, (2005, 2014) có xét đến hành vi của người dân trong việc lựa chọn các LUT để đưa ra giải pháp bố trí phương án quy hoạch ở vùng núi phía Bắc Việt Nam và Lào. Lê Cảnh Định (2011) đã ứng dụng mô hình CA trong xây dựng mô hình bố trí không gian các cell tế bào nhằm đảm bảo ít xáo trộn hiện trạng sử dụng đất cao ở tỉnh Lâm Đồng.

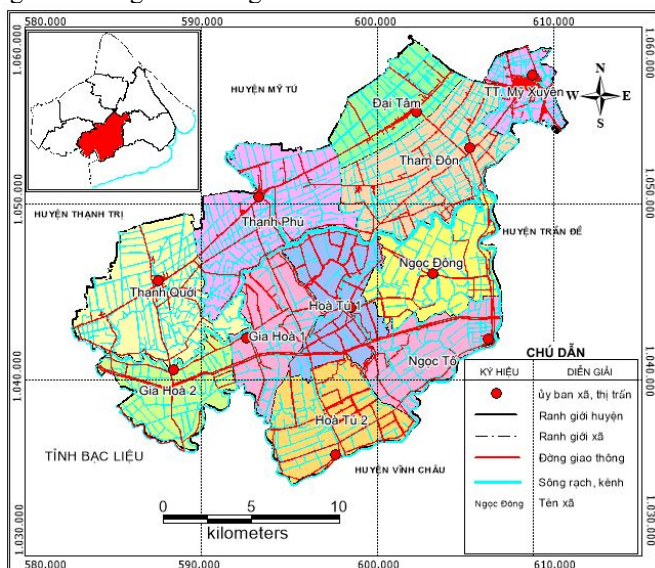
Hầu hết các nghiên cứu trên đã hỗ trợ rất nhiều cho các nhà quy hoạch bố trí không gian các LUT nhằm đáp ứng mục tiêu đề ra. Tuy nhiên, để áp dụng cho vùng đặc thù ở Đồng bằng sông Cửu Long, các phương pháp bố trí không gian trên chưa thấy xét đến yếu tố về xã hội như khả năng của nông hộ, tỷ lệ hộ nghèo, tập quán sinh sống và canh tác dọc theo sông rạch, đường xá cũng như những ảnh hưởng của

hệ thống cơ sở hạ tầng đến bố trí đất đai. Do đó, mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng mô hình bố trí đất sản xuất nông nghiệp dựa trên những tác động của các yếu tố kinh tế, xã hội và môi trường có xét đến yếu tố cơ sở hạ tầng và sự ảnh hưởng của các LUT lân cận.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Đặc điểm khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện ở huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng, đây là một huyện nằm ở phía Nam của tỉnh Sóc Trăng (Hình 1) chuyên về sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. Hiện trạng SDĐ của tỉnh cũng như huyện Mỹ Xuyên trong thời gian qua có sự chuyển đổi mạnh mẽ về cơ cấu SDĐ nông nghiệp, đặc biệt là diện tích đất lúa và nuôi trồng thủy sản (Lê Quang Trí, 2008). Theo Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Sóc Trăng (2015), huyện Mỹ Xuyên có diện tích sản xuất lúa thâm canh giảm 503,79 ha so với năm 2010 và lúa tôm đã chuyển 969,61 ha sang kiểu sản xuất khác. Trong khi đó, năm 2015, toàn huyện có diện tích nuôi trồng thủy sản tăng lên đáng kể so với năm 2010 là 1.079,45 ha. Hiện trạng SDĐ nông nghiệp của huyện đang có những chuyển biến mạnh mẽ nhưng luôn phải đối mặt với những khó khăn về tình trạng nhiễm mặn vào mùa khô (Võ Quang Minh và Nguyễn Thị Bích Vân, 2011; Hagenvoort and Tri, 2013) và sự mâu thuẫn trong sử dụng tài nguyên của các mô hình canh tác đặc biệt giữa mô hình sản xuất lúa và nuôi trồng thủy sản (Nhan *et al.*, 2007). Từ đó, nghiên cứu đã lựa chọn huyện với 3 xã đại diện là xã Tham Đôn, Ngọc Đông và Hòa Tú 1 để điều tra khảo sát nông hộ vì đây là các xã có hiện trạng sử dụng đất thay đổi cũng như có các đặc điểm kinh tế xã hội đặc trưng của huyện.



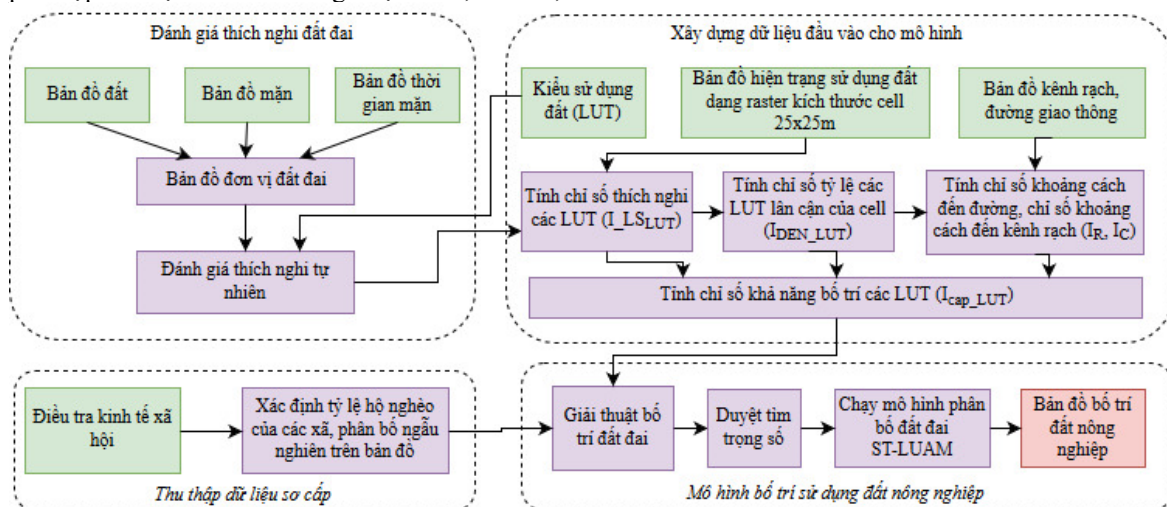
Hình 1: Bản đồ hành chính ở huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng

2.2 Phương pháp tiếp cận

Yêu cầu đặt ra trong nghiên cứu này là đưa ra được phương án bố trí đất nông nghiệp cho kỳ quy hoạch tiếp theo dựa trên dữ liệu đầu vào là bản đồ hiện trạng sử dụng đất đang xét, diện tích quy hoạch theo nhu cầu phát triển và các điều kiện kinh tế xã hội của địa phương. Phương án đưa ra phải dựa trên hiện trạng đang có, ít gây xáo trộn vị trí các kiểu sử dụng, phù hợp với điều kiện kinh tế, xã hội và môi trường của địa phương nâng cao tính khả thi trong triển khai quy hoạch.

Với mục tiêu bố trí các kiểu sử dụng đất nông nghiệp sao cho ít gây xáo trộn về hiện trạng SĐĐ, phù hợp với đặc điểm thích nghi tự nhiên, kinh tế,

xã hội và điều kiện cơ sở hạ tầng của địa phương, nghiên cứu được thực hiện theo hướng tiếp cận thể hiện trong sơ đồ Hình 2. Nội dung và phương pháp tiếp cận như sau: (1) Thu thập dữ liệu thứ cấp về tình hình hoạt động sản xuất nông nghiệp, các bản đồ hiện trạng SĐĐ và các bản đồ đơn tính phục vụ đánh giá thích nghi đất đai; (2) Điều tra thực địa về điều kiện kinh tế xã hội của địa bàn nghiên cứu để xác định các yếu tố ảnh hưởng đến việc bố trí các LUT nông nghiệp; (3) Xây dựng dữ liệu đầu vào cho mô hình; (4) Xây dựng mô hình bố trí đất nông nghiệp ST-LUAM, ứng dụng mô hình để bố trí đất đai và kiểm chứng với bản đồ hiện trạng SĐĐ nông nghiệp của kỳ tiếp theo.



Hình 2: Sơ đồ phương pháp tiếp cận

2.3 Phương pháp đánh giá thích nghi tự nhiên

2.3.1 Xây dựng bản đồ đơn vị đất đai

Các bản đồ đơn tính như bản đồ nhóm đất, bản đồ vùng nguy hại do phèn, bản đồ ngập mặn và dữ liệu ngập mặn được thu thập từ Chi cục Thủy lợi Sóc Trăng (2015) tỷ lệ 1:100.000 được dùng làm dữ liệu đầu vào để thành lập bản đồ đơn vị đất đai (ĐVĐĐ) theo phương pháp chồng lấp Intersection (Haining, 2003) bằng phần mềm QGIS. Mỗi ĐVĐĐ thu được gồm có phần dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính làm cơ sở để đánh giá thích nghi đất đai tự nhiên của vùng nghiên cứu.

2.3.2 Đánh giá thích nghi đất đai tự nhiên

Từ bản đồ ĐVĐĐ đã xây dựng, các ĐVĐĐ được đánh giá thích nghi theo phương pháp của FAO (1976) gồm các bước: (i) Xác định các LUT có triển vọng dựa vào hiện trạng SĐĐ nông nghiệp và mục tiêu phát triển của địa phương; (ii) Xác định các yêu cầu sử dụng đất đai của các LUT cùng với các yếu tố giới hạn ảnh hưởng; (iii) Đối chiếu các đặc tính

đất đai của mỗi ĐVĐĐ với yêu cầu sử dụng đất đai của các LUT.

2.4 Phương pháp xây dựng mô hình bố trí đất đai- ST_LUAM

2.4.1 Xây dựng dữ liệu cho mô hình

Để có thể bố trí đất nông nghiệp cho địa phương, mô hình cần dữ liệu đầu vào được chia làm 2 nhóm:

- Dữ liệu nền để bố trí các LUT: Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2010 được thu thập từ Sở Tài Nguyên Môi Trường tỉnh Sóc Trăng dùng làm dữ liệu nền cho mô hình bố trí các LUT yêu cầu. Bản đồ nền được chuyển đổi từ dạng vector sang raster với kích thước mỗi cell 25x25m phù hợp với tỷ lệ bản đồ 1:50.000 của cấp huyện.

- Dữ liệu phục vụ xác định LUT cho từng vị trí trên bản đồ gồm: Các bản đồ giao thông, kênh rạch, bản đồ ĐVĐĐ và kết quả đánh giá thích nghi tự nhiên theo FAO (1976), dữ liệu về diện tích của từng LUT theo yêu cầu phát triển của địa phương. Nguồn dữ liệu này phục vụ cho công tác tính toán các chỉ số xác định LUT nào được ưu tiên bố trí vào các cell.

2.4.2 Phương pháp xác định vị trí bố trí đất đai

a. Xác định điều kiện ràng buộc khi bố trí

Để đảm bảo bố trí các kiểu SDD phù hợp với thực tế của địa phương như yêu cầu đã đặt ra cho bài toán bố trí đất nông nghiệp, các LUT khi được bố trí vào một cell phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc sau:

- Điều kiện đầu tiên cần xem xét bố trí LUT trên mỗi vị trí có mức thích nghi cao nhất.

- Ưu tiên cho trường hợp các cell lân cận có cùng LUT. Về mặt xã hội, canh tác nông nghiệp thường tổ chức liên kết, các nông hộ cùng điều kiện về tự nhiên, xã hội có thể học hỏi lẫn nhau về kỹ thuật canh tác và xử lý dịch bệnh nông nghiệp.

- Đối với một số LUT có yêu cầu ưu tiên bố trí ở những vị trí gần đường giao thông để thuận tiện cung cấp nguồn điện, gần sông rạch để chủ động về nguồn nước cho sản xuất.

- Ưu tiên bố trí các LUT đòi hỏi chi phí đầu tư cao cho những nhóm xã có khả năng đầu tư cao.

b. Xác định các chỉ số của mô hình-ST-LUAM

Từ yêu cầu bố trí các kiểu sử dụng đất được đặt ra, việc xem xét LUT nào được bố trí vào các cell trên bản đồ nền đầu vào được xác định dựa vào các chỉ số đánh giá sau:

- Chỉ số thích nghi đất đai của cell với các LUT khác nhau (I_{LSLUT}): Cấp thích nghi của cell có được chuẩn hóa về đoạn giá trị [0, 1]. Do cấp thích nghi được lượng hóa từ 0 đến 4 ứng với cấp S1 đến không thích nghi nên chỉ số này được tính theo công thức (1). Tại mỗi cell, chỉ số $I_{LSLUT(i)}$ được tính cho tất cả các LUT với i là số thứ tự của LUT. Chỉ số thích nghi đất đai (I_{LSLUT}) là điều kiện tiên quyết trong mô hình bố trí ST-LUAM, khi một LUT không thích nghi, chỉ số này bằng 0, mô hình sẽ không xét LUT đó cho cell:

$$I_{LSLUT(i)} = (4 - I_{LSLUT(i)}) / 3 \quad (1)$$

- Chỉ số khả năng đầu tư kinh tế của cell (I_{invest}): Chỉ số này được gán giá trị 0 hoặc 1. Giá trị 0 ứng với các cell không có khả năng đầu tư đối với LUT có yêu cầu khả năng kinh tế cao như nuôi trồng thủy sản và ngược lại. Số lượng cell có chỉ số I_{invest} bằng 0 được thiết lập bằng với tỷ lệ hộ nghèo trong nhóm xã.

- Chỉ số khoảng cách của cell đến đường giao thông (I_R): được tính bằng khoảng cách ngắn nhất

từ vị trí của từng cell đến đoạn đường giao thông gần nhất với cell (Hình 3). Giá trị được chuẩn hóa về [0, 1] theo công thức sau:

$$I_R = 1 - \text{khoảng cách}(\text{cell}, \text{đường gần nhất}) / \text{khoảng cách lớn nhất tới đường} \quad (2)$$

- Chỉ số khoảng cách của cell đến kênh rạch (I_C): được tính bằng khoảng cách ngắn nhất từ cell đến kênh gần nhất của với cell (Hình 3). Giá trị I_C cũng được chuẩn hóa về [0, 1] theo công thức:

$$I_C = 1 - \text{khoảng cách}(\text{cell}, \text{kênh gần nhất}) / \text{khoảng cách lớn nhất tới kênh} \quad (3)$$

- Các chỉ số tỷ lệ của các LUT ở các cell lân cận (I_{DEN_LUT}): Chỉ số này được sử dụng để xác định số lượng cell của 8 cell lân cận với cell đang xét của từng LUT. Với mỗi LUT_i , chỉ số được xác định bằng số cell lân cận có LUT_i chia 8 để chuẩn hóa về [0, 1], với LUT_i là kiểu sử dụng thứ i .

$$I_{DEN_LUT(i)} = \text{số_cell_lân_cận_có } LUT(i) / 8 \quad (4)$$

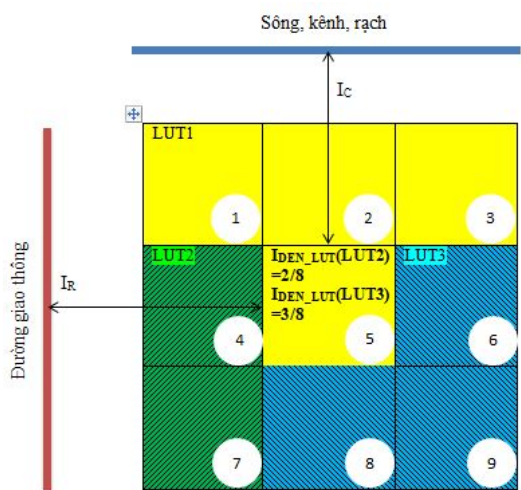
Hình 3 mô tả khung lưới bản đồ gồm 9 cell được đánh số từ 1 đến 9. Mỗi cell đang có một kiểu sử dụng đất. Khi xét cell 5 có kiểu sử dụng là LUT1 và có 8 cell lân cận; các cell 4 và 7 có kiểu sử dụng là LUT2; các cell 6, 8, 9 có kiểu sử dụng là LUT3. Như vậy, khi xét cell 5 cần tính chỉ số I_{DEN_LUT} của các LUT2 và LUT3 để tính chỉ số về mật độ của các LUT2 và LUT3 ở các cell lân cận của cell 5. Xét I_{DEN_LUT} (LUT2), ta thấy xung quanh cell 5 có số cell có 2 cell là LUT2 nên chỉ số I_{DEN_LUT} (LUT2) = 2/8; tương tự, giá trị I_{DEN_LUT} (LUT3) = 3/8.

- Chỉ số khả năng chuyển đổi kiểu sử dụng của cell (I_{cap_LUT}): Chỉ số này được xác định bằng tổng hợp các chỉ số đã được tính cho cell đối với từng LUT với mục đích tính toán khả năng cell có thể chuyển đổi sang LUT nào nếu cần giảm diện tích của LUT tại cell đang xét. Cách xác định theo công thức (5).

$$I_{cap_LUT(i)} = W_R \cdot I_R + W_C \cdot I_C + W_{DEN} \cdot I_{DEN_LUT(i)} + W_{LS} \cdot I_{LSLUT(i)} \quad (5)$$

Với W_R , W_C , W_{DEN} , W_{LS} là các trọng số ứng với các chỉ số I_R , I_C , I_{DEN_LUT} , $I_{LSLUT(i)}$.

Chỉ số I_{cap_LUT} của một LUT nào có giá trị cao nhất thì LUT đó được chọn để bố trí cho cell. Trường hợp có nhiều LUT cùng giá trị I_{cap_LUT} , LUT được chọn theo xác suất ngẫu nhiên.



Hình 3: Các chỉ số đánh giá của một cell liên quan đến vị trí cell

c. Phương pháp xác định bộ trọng số của chỉ số đánh giá khả năng chuyển đổi

Việc xác định LUT có khả năng bố trí cho cell được xây dựng dựa vào chỉ số I_{cap_LUT} , trong đó bộ trọng số W_R , W_C , W_{DEN} , W_{LS} quy định mức độ quan trọng của các chỉ số hợp thành. Giá trị trọng số khác nhau ảnh hưởng đến vị trí được ưu tiên bố trí của mỗi LUT. Do đó, bộ trọng số này cần được xác định sao cho kết quả bố trí càng giống với thực tế càng tốt.

Phần mềm GAMA 1.7 có hỗ trợ công cụ cho phép tạo ra các thử nghiệm tự động với giá trị tham số khác nhau (batch mode). Chức năng này được áp dụng để dò tìm bộ trọng số của mô hình theo thuật toán vét cạn tham số. Khi đó phần mềm sẽ lần lượt thử nghiệm mô hình bố trí với giá trị các trọng số của W_R , W_C , W_{DEN} , W_{LS} tăng dần từ 0 đến 1, giá trị mỗi bước tăng là 0,1 đơn vị. Ở mỗi lần thử nghiệm, giá trị Kappa (Cohen, 1960) được tính lại và so sánh với giá trị Kappa ở lần thử nghiệm trước đó, nếu giá trị Kappa của lần thử nghiệm sau cao hơn lần thử nghiệm trước, bộ trọng số đó được xem như bộ trọng số tốt nhất tạm thời. Thử nghiệm lặp lại đến hết tập giá trị có thể của các trọng số.

2.5 Đánh giá kết quả bố trí đất đai

Để đánh giá độ chính xác của thuật toán bố trí đất đai của mô hình ST-LUAM, bản đồ bố trí đất đai

được so sánh tính tương đồng về mặt không gian với bản đồ thực tế dựa trên chỉ số Kappa. Trường hợp nghiên cứu này là bản đồ bố trí đất đai ở năm 2015 so với bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2015 (Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Sóc Trăng, 2015) để đánh giá độ tin cậy của thuật toán bố trí. Kết quả Kappa nhận giá trị từ -1 đến 1. Giá trị Kappa càng gần 1 thì 2 bản đồ có độ tương đồng cao, nghĩa là kết quả mô hình bố trí đất đai diễn ra giống với diễn biến tự nhiên trên thực tế.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp ở huyện Mỹ Xuyên

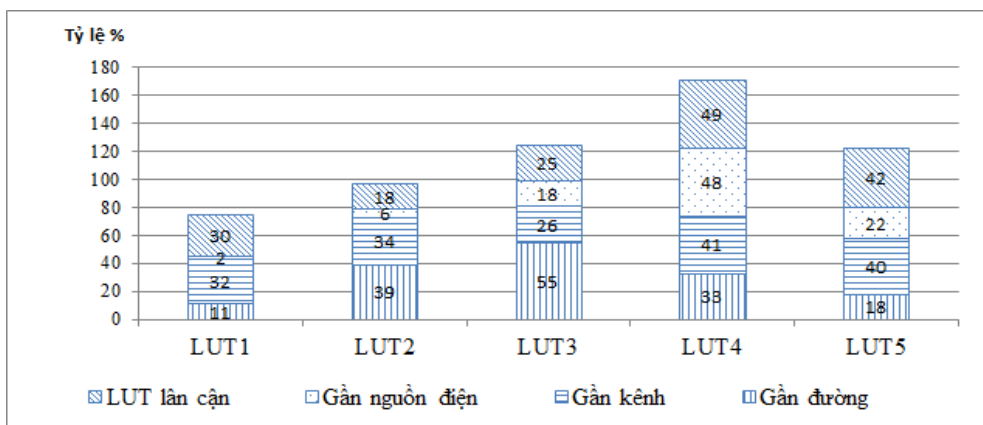
3.1.1 Nguyên nhân chuyển đổi các mô hình canh tác

Qua báo cáo tổng kết tình hình sản xuất nông nghiệp của huyện Mỹ Xuyên và tỉnh Sóc Trăng cho thấy hiện trạng sử dụng đất giai đoạn 2010-2015 đã có những thay đổi rõ rệt, chủ yếu là sự chuyển đổi từ sản xuất lúa sang nuôi trồng thủy sản.

Kết quả khảo sát ở 135 nông hộ với 5 LUT trên 3 xã Tham Đôn, Ngọc Đông và Hòa Tú 1 của huyện Mỹ Xuyên cho thấy một số nguyên nhân của sự chuyển đổi từ đất Chuyên trồng lúa sang đất Nuôi trồng thủy sản là: (i) Do nuôi tôm có hiệu quả kinh tế cao lại phù hợp với điều kiện về môi trường nước lợ và độ mặn của chất lượng nước phù hợp (trên 85% số hộ khảo sát); (ii) Sự ảnh hưởng của người lân cận chuyển đổi nuôi tôm hiệu quả nên làm theo (trên 80% số hộ khảo sát); (iii) Làm lúa thì thu nhập thấp, không đáp ứng nhu cầu kinh tế của gia đình (95% số hộ khảo sát).

3.1.2 Những khó khăn của nông hộ trong sản xuất nông nghiệp

Qua kết quả khảo sát nông hộ cho thấy sản xuất nông nghiệp ở địa phương đang đối mặt với một số khó khăn như: (i) việc dẫn-thoát nước do xa kênh, (ii) khó khăn trong việc vận chuyển vật tư và đi lại do đường hẹp hoặc chưa được bê tông hóa, (iii) ảnh hưởng kiểu canh tác do rò rỉ mặn từ ruộng tôm lân cận sang ruộng lúa. Riêng đối với nuôi trồng thủy sản, ngoài điều kiện tự nhiên như đất, nước người dân còn gặp khó khăn trong sản xuất do không có điện hoặc điện yếu nên không vận hành được thiết bị, gây ảnh hưởng đến hiệu quả sản xuất.



LUT 1: lúa 2 vụ, LUT 2: Chuyên màu; LUT 3: Cây ăn quả; LUT 4: Thủy sản lợ, LUT 5: Lúa Tôm

Hình 4: Đánh giá mức độ quan trọng của các yếu tố với việc lựa chọn kiểu sử dụng

(Theo kết quả điều tra nông hộ)

Hình 4 thể hiện sự đánh giá của người dân địa phương về mức độ quan trọng của hệ thống đường giao thông, hệ thống kênh dẫn thoát nước, nguồn cung cấp điện cho sản xuất nông nghiệp cũng như sự ảnh hưởng của các LUT lân cận đến khả năng thực hiện của LUT. Hình 4 cho thấy ở LUT 4 và LUT 5, tiêu chí về tỷ lệ LUT lân cận được đánh giá là quan trọng. Riêng LUT 4 cần được bố trí gần nguồn cung cấp điện cho sản xuất. Đa số người dân đánh giá các LUT đều cần bố trí gần kênh rạch. Tuy nhiên chỉ tiêu bố trí gần đường giao thông của LUT 2, LUT 3 và LUT 4 được đánh giá cao do tập quán canh tác các LUT này thường được bố trí gần nhà và đường giao thông. Đây là cơ sở để xây dựng dữ liệu đầu vào khi thiết lập các chỉ số I_R , I_C , I_{DEN_LUT} của mô hình ST-LUAM trong bố trí đất đai.

3.1.3 Phân nhóm xã theo khả năng kinh tế

Qua kết quả thảo luận trực tiếp với 6 cán bộ chuyên trách về nông nghiệp và phát triển nông thôn ở xã, huyện Mỹ Xuyên về mức độ hoàn thành các tiêu chí trong chương trình xây dựng nông thôn mới (NTM) ở địa phương để làm cơ sở xây dựng các tiêu chí về kinh tế cho mô hình ST-LUAM. Kết quả tổng hợp ở Bảng 1 cho thấy đa số các xã trong huyện đều có điều kiện về kinh tế xã hội tương đồng khi xét

theo 19 tiêu chuẩn quy định về xây dựng NTM. Tuy nhiên, có 2 tiêu chí về điều kiện thu nhập và tỷ lệ hộ nghèo có sự khác nhau ở một số xã. Đây là 2 trong 19 tiêu chí về xây dựng NTM mà người dân và chính quyền địa phương đang phấn đấu, cụ thể trên toàn huyện năm 2010 với tỷ lệ hộ nghèo là 27,93% và đã giảm mạnh còn 11,69% vào năm 2015.

Sự tác động của 2 tiêu chí điều kiện thu nhập và tỷ lệ hộ nghèo ảnh hưởng đến khả năng triển khai các LUT vào thực tế. Trong nghiên cứu này, yếu tố khả năng kinh tế được thể hiện thông qua chỉ số Khả năng đầu tư (I_{Invest}) của cell ở từng nhóm xã khi xem xét bố trí LUT trong mô hình ST-LUAM. Theo kết quả khảo sát, chi phí đầu tư của các LUT được sắp xếp theo thứ tự từ cao đến thấp như sau: LUT 4, LUT 2, LUT 3, LUT5, và LUT 1. Để xác định chỉ số I_{Invest} các xã được phân nhóm theo tiêu chí NTM đã đạt được và tiêu chí về tỷ lệ hộ nghèo. Bảng 2 cho thấy nhóm xã 3 có tỷ lệ hộ nghèo là 23%, các xã trong nhóm này sẽ có 23% số cell trong xã được đặt chỉ số $I_{Invest}=0$ với LUT 4 (canh tác thủy sản). Tương tự, các xã thuộc nhóm 1 có tỷ lệ cell được gán chỉ số $I_{Invest}=0$ là 4%, đối với xã thuộc nhóm 2 là 6% không được bố trí LUT 4.

Bảng 1: Phân nhóm xã theo năng lực kinh tế xã hội

Đặc điểm	Nhóm 1	Nhóm 2	Nhóm 3
Địa giới hành chính (xã)	Hòa Tú 1, Hòa Tú 2, Ngọc Ngạc Đông, Gia Hòa 1, Tam Tô, Đại Tâm, TT Mỹ Xuyên	Ngọc Ngạc Tây, Gia Hòa 2	Tham Đôn, Thạnh Phú, Thạnh Quới
Tiêu chí xây dựng NTM	19/19 tiêu chí	18/19 tiêu chí	17/19 tiêu chí
Thu nhập bình quân đầu người/ năm	Đạt chuẩn NTM (trên 30 triệu đồng)	Chưa đạt chuẩn NTM (từ 20-28 triệu đồng)	Chưa đạt chuẩn NTM (dưới 20 triệu đồng)
Tỷ lệ hộ nghèo	Đạt chuẩn NTM ($\leq 4\%$)	Đạt chuẩn NTM ($\leq 6\%$)	Chưa đạt chuẩn NTM ($\leq 23\%$)

(Nguồn: Kết quả thảo luận nhóm với cán bộ địa phương)

3.2 Đánh giá thích nghi tự nhiên

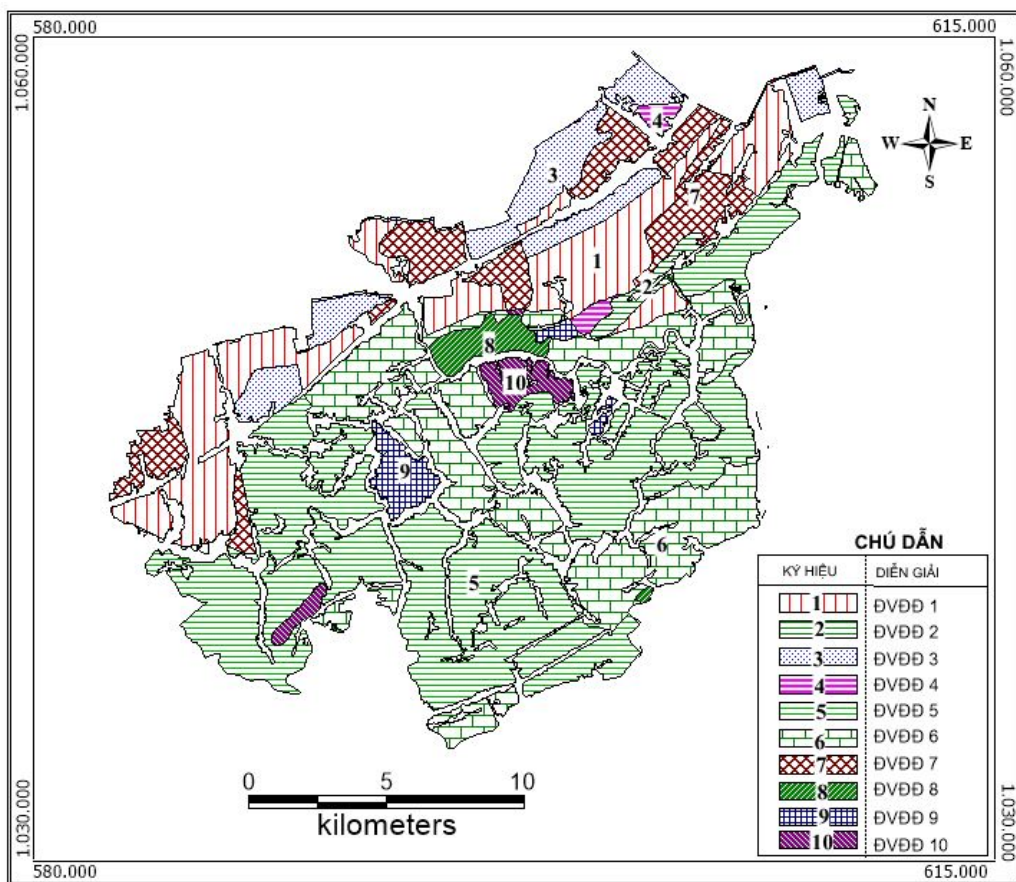
Việc đánh giá thích nghi của các LUT cho các ĐVĐĐ là cơ sở khoa học để lựa chọn bố trí các LUT cho từng cell trong mô hình ST-LUAM thông qua chỉ số thích nghi của các LUT (I_{LSLUT}). Đây là điều kiện thích nghi về môi trường tự nhiên của các LUT và cũng là điều kiện đầu tiên của mô hình khi xét bố trí LUT với chỉ số I_{LSLUT} càng cao thì càng ưu tiên được bố trí.

3.2.1 Bản đồ đơn vị đất đai

Bản đồ đơn vị đất đai được xây dựng bằng phương pháp chồng lớp như đã trình bày trong phần phương pháp. Kết quả thu được bản đồ gồm 10 ĐVĐĐ với các đặc tính đất đai riêng được thể hiện chi tiết trong Bảng 2 và Hình 5. Việc đánh giá thích nghi của các kiểu sử dụng được thực hiện theo từng đơn vị đất đai.

Bảng 2: Đặc tính đất đai của các đơn vị đất đai của huyện Mỹ Xuyên, Sóc Trăng

ĐVĐĐ	Nhóm đất	Độ sâu xuất hiện tầng phèn	Độ mặn (‰)	Thời gian mặn (Tháng)	Diện tích (ha)
1	Đất phù sa	Phèn hoạt động >50 cm	4	3	4.943,14
2	Đất cát	Không phèn	4	3	286,42
3	Đất phù sa	Không phèn	4	3	2.395,16
4	Đất phù sa	Phèn hoạt động < 50 cm	4	3	218,97
5	Đất phù sa	Không phèn	8	5	12.039,15
6	Đất phù sa	Phèn hoạt động >50 cm	8	5	6.102,84
7	Đất phù sa	Phèn tiềm tàng <50 cm	8	5	2.766,27
8	Đất cát	Không phèn	8	5	529,51
9	Đất phù sa	Phèn hoạt động < 50 cm	8	5	590,22
10	Đất phù sa	Phèn tiềm tàng <50 cm	8	5	531,91



Hình 5: Bản đồ đơn vị đất đai ở huyện Mỹ Xuyên

3.2.2 Phân cấp thích nghi đất đai

Việc đánh giá thích nghi được thực hiện cho các kiểu sử dụng đất nông nghiệp đã được định hướng phát triển của huyện Mỹ Xuyên tỉnh Sóc Trăng theo từng đơn vị đất đai. Theo Phòng Nông nghiệp Mỹ Xuyên (2015), các LUT có triển vọng ở địa phương gồm: lúa 2 vụ (Đông Xuân - Hè Thu), chuyên màu (2-3 vụ), cây ăn quả, thủy sản, lúa - tôm.

Dựa vào các LUT được lựa chọn, ba yêu cầu về chất lượng đất đai được xác định cho đánh giá thích nghi đất đai các LUT có triển vọng được trình bày trong Bảng 3 bao gồm: đặc tính đất, nguy hại do phèn và nguy hại do mặn. Đối chiếu giữa đặc tính đất đai của mỗi ĐVĐĐ với yêu cầu chất lượng đất đai của từng LUT ở Bảng 4 để phân cấp thích nghi của từng ĐVĐĐ đối với từng LUT.

Bảng 3: Yêu cầu chất lượng đất đai cho từng LUT có triển vọng

Yêu cầu chất lượng đất đai	LUT 1	LUT 2	LUT 3	LUT 4	LUT 5
Đặc tính đất	Y	Y	Y	Y	Y
Nguy hại do phèn	Y	Y	Y	K	K
Nguy hại do mặn	Y	Y	Y	K	K

Ghi chú: LUT 1: lúa 2 vụ, LUT 2: Chuyên màu; LUT 3: Cây ăn quả; LUT 4: Thủy sản lợ, LUT 5: Lúa Tôm

Y: được yêu cầu và K: không được yêu cầu

Bảng 4: Phân cấp thích nghi các LUT có triển vọng

ĐVĐĐ	LUT1	LUT2	LUT3	LUT4	LUT5
1	S2	S3	S3	N	N
2	S3	S1	S2	N	N
3	S1	S1	S1	N	N
4	S2	S3	N	N	N
5	S2	S2	N	S1	S2
6	S3	S3	N	S1	S2
7	S3	S3	N	S2	S3
8	S3	S3	S3	S2	S3
9	S3	S3	N	S2	S2
10	S3	S3	N	S2	S2

Ghi chú: LUT 1: Lúa 2 vụ; LUT 2: Chuyên màu; LUT 3: Cây ăn quả; LUT 4: Thủy sản; LUT 5: Lúa Tôm; S1, S2, S3 tương ứng với cấp thích nghi cao, trung bình, kém và N là không thích nghi

Bảng 4 trình bày kết quả đánh giá thích nghi của các LUT cho từng ĐVĐĐ theo 4 cấp S1, S2, S3 ứng với cấp thích nghi cao, trung bình, kém và N là không thích nghi. Bảng kết quả phân cấp thích nghi được lượng hóa thành 4 cấp 1, 2, 3, 4 ứng với 3 cấp thích nghi S1, S2, S3 và không thích nghi. Đây là nguồn dữ liệu đầu vào của mô hình ST-LUAM. Dựa trên đó các cell nền (từ bản đồ hiện trạng) sẽ được xác định thuộc đơn vị đất đai nào phục vụ việc xác định chỉ số thích nghi (I_{LSLUT}) của các cell.

3.3 Thực nghiệm mô hình bố trí các kiểu sử dụng đất

Với kết quả thu thập dữ liệu và đánh giá thích nghi đất đai làm đầu vào cho mô hình, mô hình ST-LUAM được hiệu chỉnh và thử nghiệm bố trí đất nông nghiệp của huyện Mỹ Xuyên. Phần này trình bày kết quả xây dựng mô hình, duyệt tìm trọng số của mô hình và các thử nghiệm sử dụng mô hình để khảo sát sự ảnh hưởng của các yếu tố kinh tế, xã hội đến kết quả bố trí sử dụng đất nông nghiệp.

3.3.1 Yêu cầu bố trí đất nông nghiệp

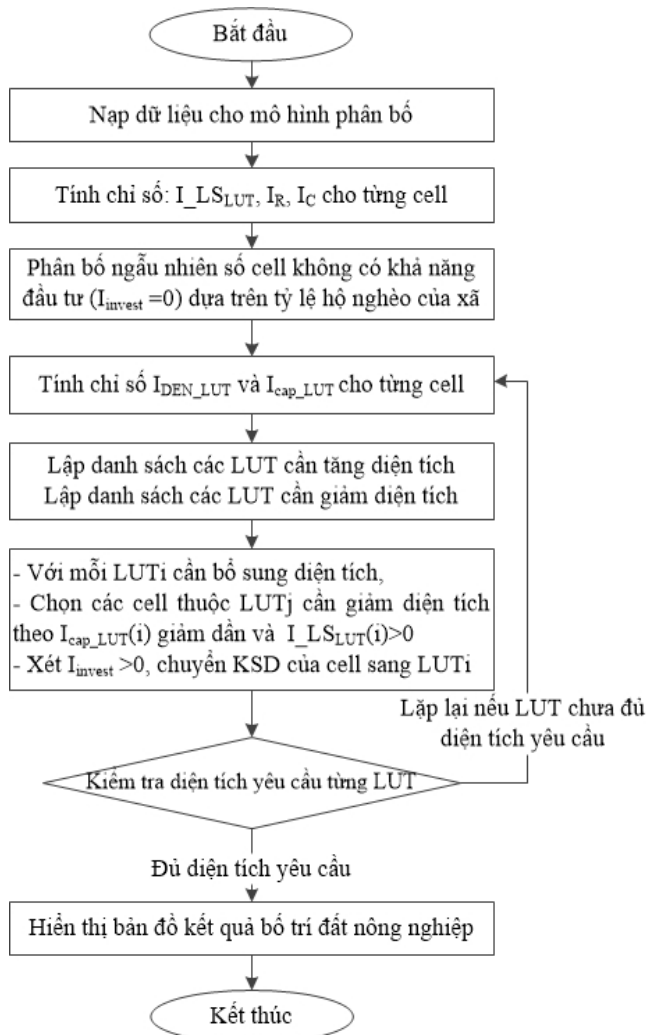
Trong yêu cầu bố trí đất nông nghiệp cho trường hợp thử nghiệm, bản đồ hiện trạng SDĐ năm 2010 với tỷ lệ 1:50.000 của huyện Mỹ Xuyên được dùng làm dữ liệu nền cho mô hình ST-LUAM để bố trí các LUT. Yêu cầu bố trí đất đai được xác định bằng diện tích tăng giảm của từng LUT khi so sánh hiện trạng sử dụng các loại đất ở năm 2015 so với năm 2010. Cụ thể ta có yêu cầu bố trí đất đai như sau: Diện tích lúa tôm (LUT 5) cần giảm là 969,61 ha; Diện tích thủy sản (LUT 4) cần bố trí tăng thêm diện tích là 1.079,45 ha; Diện tích cây ăn quả (LUT 3) cần giảm là 74 ha; Diện tích chuyên màu (LUT 2) cần tăng 363,32 ha; Diện tích lúa 2 vụ (LUT 1) cần giảm 503,79 ha.

3.3.2 Xây dựng thuật toán bố trí các kiểu sử dụng đất

Thuật toán bố trí không gian các LUT của mô hình ST-LUAM được xây dựng trên phần mềm GAMA 1.7 và được thực hiện theo tiến trình được trình bày trong lưu đồ ở Hình 6.

Đầu tiên, mô hình khởi tạo nạp dữ liệu đầu vào gồm các lớp bản đồ hiện trạng (chia thành cell), bản đồ sông rạch, giao thông, bản đồ ĐVĐĐ và kết quả đánh giá thích nghi đất đai. Dựa vào dữ liệu được khởi tạo, mỗi cell trên bản đồ nền được xác định các chỉ số gồm I_R , I_C , $I_{LS_{LUT}}(i)$ với $i = LUT1..LUT5$. Chỉ số khả năng đầu tư (I_{Invest}) của cell được phân phối ngẫu nhiên theo tỷ lệ hộ nghèo của xã. Dựa trên chỉ các chỉ số liên quan, chỉ số khả năng bố trí các LUT vào cell $I_{cap_LUT}(i)$ được tính và xếp thứ tự giảm dần, nghĩa là LUT nào có chỉ số I_{cap_LUT} cao sẽ được ưu tiên chọn bố trí cho cell.

Ở các bước tiếp theo, mô hình kiểm tra yêu cầu bố trí đất đai của các LUT so với hiện trạng của các cell đang bố trí, nếu diện tích chưa đủ yêu cầu, các cell được xem xét chuyển đổi dựa vào chỉ số I_{cap_LUT} . Sau một lượt bố trí, diện tích cần tăng thêm và diện tích cần giảm đi được cập nhật lại. Mô hình thực hiện lặp lại bước tính toán các chỉ số I_{DEN_LUT} và I_{cap_LUT} và thực hiện lựa chọn LUT cho các cell mới cho đến khi diện tích bố trí đủ yêu cầu. Khi đó, ta thu được bản đồ bố trí các kiểu sử dụng đất theo diện tích yêu cầu.



Hình 6: Lưu đồ bố trí các kiểu sử dụng đất nông nghiệp

3.3.3 Xác định trọng số cho mô hình

Trước khi ứng dụng mô hình đã xây dựng, bộ trọng số W_{LS} , W_R , W_C , W_{DEN} trong công thức (5) của mô hình ST-LUAM được xác định bằng cách sử dụng thuật toán vét cạn tham số để dò tìm bộ trọng số thích hợp. Mỗi tham số sẽ nhận nhận giá trị thử nghiệm thay đổi từ 0 đến 1, mỗi lần thử nghiệm

giá trị tăng 0,1. Như vậy, có đến 10^4 bộ trọng số cần duyệt, tuy nhiên theo kết quả điều tra ý kiến của người dân về các yếu tố kinh tế, xã hội và môi trường ảnh hưởng đến kiểu canh tác, tính thích nghi và miền giá trị của bộ trọng số được giới hạn lại như sau: W_R thuộc $[0,1 .. 0,5]$; W_C thuộc $[0,1 .. 0,5]$; W_{DEN} thuộc $[0,5 .. 1]$; W_{LS} thuộc $[0,5 .. 1]$. Kết quả tiến trình thử nghiệm các giá trị trọng số đã tìm được

bộ tổ hợp trọng số $W_{LS} = 0,8$; $W_R = 0,1$; $W_C = 0,1$; $W_{DEN} = 0,6$ cho Kappa cao nhất bằng 0.97.

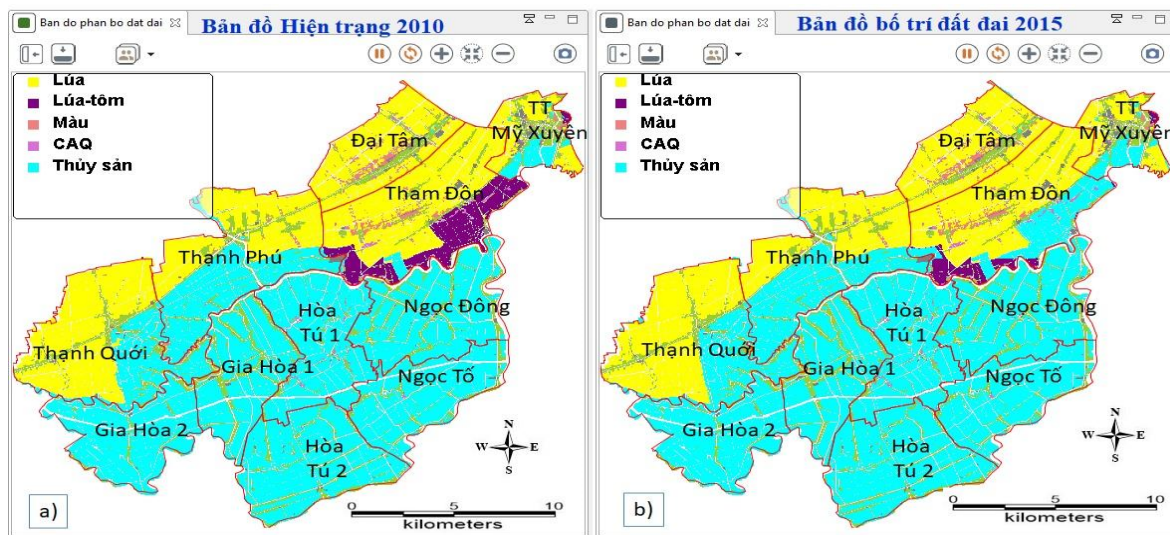
3.3.4 Thử nghiệm các yếu tố kinh tế xã hội và môi trường ảnh hưởng đến bố trí đất đai

Với bộ trọng số tìm được, mô hình được áp dụng để khảo sát sự ảnh hưởng của các chỉ số I_R , I_C , I_{Invest} đến sự bố trí các LUT ở huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng trong các trường hợp sau: (1) Không xét yếu tố xã hội bằng cách cho các trọng số $W_R = W_C = 0$; (2) Không xét yếu tố khả năng đầu tư của địa phương bằng cách không xét I_{Invest} ; (3) Xét tổng hợp các yếu tố kinh tế, xã hội và môi trường theo bộ trọng số đã tìm được. Trong tất cả các trường hợp, khi xét bố trí đất đai mô hình ST-LUAM sẽ xét chỉ số thích nghi trước tiên, nếu $I_{LS_{LUT}} = 0$ sẽ không xét bố trí LUT, đây là điều kiện tiên quyết trong bố trí của các LUT. Kết quả của mô hình bố trí đất đai ở từng trường hợp như sau:

– Trường hợp không xét đến sự ảnh hưởng của yếu tố xã hội thể hiện qua tập quán sống và canh tác gần sông rạch và đường giao thông. Nếu mô hình bố

trí đất đai không xét yếu tố cơ sở tầng (các trọng số $W_R, W_C = 0$). Kết quả như Hình 7b cho thấy các cell được bố trí lan từ các cell đang có LUT cần tăng diện tích ra các cell xung quanh mà không xét ưu tiên bố trí những LUT cần có điều kiện gần đường và kênh rạch. Tiến trình bố trí theo điều kiện này không giống với kiểu canh tác tự nhiên đang diễn ra ở vùng nghiên cứu, thể hiện rõ nhất ở vùng giáp sông Mỹ Xuyên của xã Tham Đôn, diện tích thủy sản (LUT4) không được bố trí ngay mà phải đợi các cell lan tỏa từ phía trấn Mỹ Xuyên xuống các xã Tham Đôn (Hình 7b).

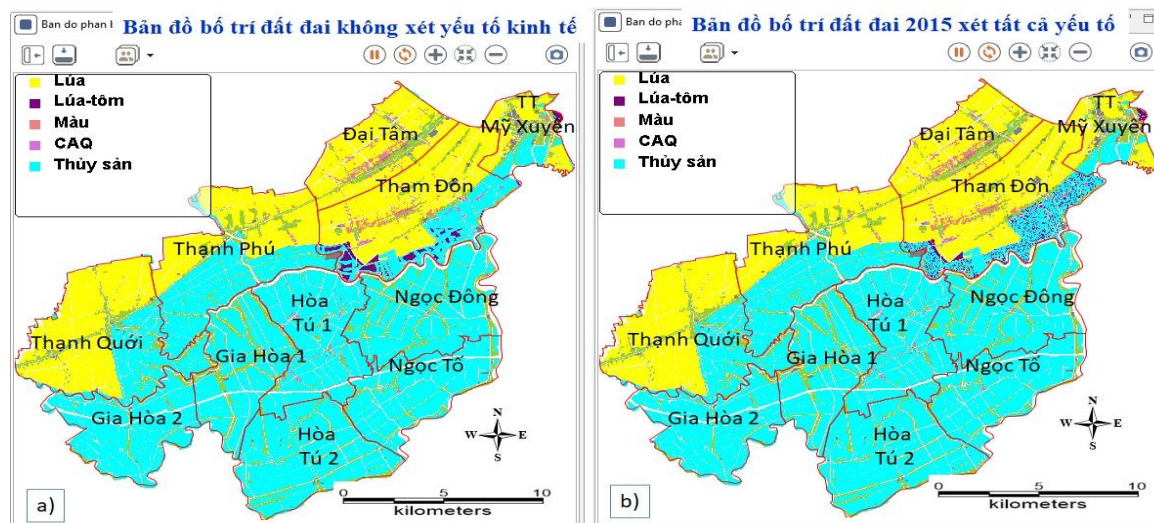
– Trường hợp xét tổng hợp các chỉ số nhưng không xét yếu tố ràng buộc về khả năng đầu tư ($I_{Invest} = 1$). Hình 8a cho thấy mô hình bố trí đất đai đã bố trí cả những vùng hạn chế về khả năng kinh tế (tỷ lệ hộ nghèo cao), mặc dù đất thủy sản (LUT4) ở xã Tham Đôn có cải thiện hơn so với trường hợp không xét chỉ số I_R, I_C . Kết quả mô hình bố trí theo phương thức lan tỏa từ vùng có diện tích đang canh tác (LUT hiện trạng) kết hợp xét chỉ số I_R, I_C do đó các LUT sẽ lan tỏa tiếp từ đường và sông.



Hình 7: Bản đồ đầu vào của mô hình (a) và bản đồ bố trí đất đai không xét chỉ số I_R, I_C (b)

– Trường hợp xét tổng hợp các yếu tố bao gồm yếu tố khả năng đầu tư và tỷ lệ hộ nghèo ở địa phương. Khi đó, các cell có chỉ số $I_{Invest} = 0$ không được chọn để bố trí thủy sản ở các xã có tỷ lệ hộ nghèo cao như xã Tham Đôn, Thanh Phú, Thanh Quới. Hình 8b cho thấy phần diện tích bố trí làm

thủy sản ở xã Tham Đôn có những cell thuộc kiểu lúa-tôm xen kẽ với các cell thuộc kiểu Thủy sản do ràng buộc về điều kiện kinh tế khi điều kiện bố trí. Hệ số Kappa khi so sánh với bản đồ hiện trạng là 0,97 kết quả bố trí gần giống với hiện trạng đang có ở địa phương (Hình 8b).



Hình 8: Kết quả bố trí đất đai không xét yếu tố kinh tế (a) và khi xét tổng hợp các yếu tố (b)

3.4 Đánh giá về khả năng ứng dụng của mô hình ST-LUAM trong bố trí đất nông nghiệp

Kết quả thử nghiệm mô hình ST-LUAM trong bố trí đất nông nghiệp với các yếu tố kinh tế, xã hội và môi trường cho thấy các yếu tố này đều có liên quan mật thiết với nhau, đặc biệt là yếu tố thích nghi đất đai của các ĐVĐĐ của LUT. Kết quả của phương án bố trí khi xét tổng hợp các yếu tố của mô hình ST-LUAM (Hình 8b) ở huyện Mỹ Xuyên cho kết quả gần với thực tế đang diễn ra ở địa phương hay nói cách khác là phù hợp mong muốn của người dân nhất. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu của Phạm Thanh Vũ và *ctv.* (2017) về nguyên tắc bố trí đất đai sao cho càng gần với thực tế xã hội đang diễn ra, thì càng có sự đồng thuận của người dân và chính quyền địa phương, làm gia tăng tính khả thi của các phương án bố trí quy hoạch.

Về khả năng mở rộng phạm vi ứng dụng, mô hình ST-LUAM có thể được ứng dụng cho các vùng ven biển khác khi có điều kiện kinh tế xã hội và môi trường tự nhiên tương tự. Việc xác định được các yếu tố ảnh hưởng đến bố trí đất đai của từng địa phương đóng vai trò quan trọng đến giá trị của các trọng số và cách bố trí đất đai. Bộ trọng số của mô hình khi ứng dụng ở khu vực khác cần được hiệu chỉnh tự động nhờ vào công cụ dò tìm tham số tự động trên phần mềm GAMA để phù hợp với đặc điểm của từng địa phương.

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

4.1 Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu này, mô hình bố trí đất nông nghiệp ST-LUAM được xây dựng, trong đó việc xác định các kiểu sử dụng đất cần bố trí dựa trên các chỉ số thích nghi tự nhiên, khả năng đầu tư của địa phương, sự ảnh hưởng của hệ thống cơ sở hạ

tầng thủy lợi, giao thông đến kiểu sử dụng đất, tỷ lệ của các kiểu sử dụng đất lân cận. Các chỉ số được đánh giá tổng hợp nhằm đưa ra phương án bố trí gần với thực tế tự nhiên đang diễn ra ở địa phương.

Mô hình được áp dụng thử nghiệm tình huống bố trí các kiểu sử dụng đất cho năm 2015 trên cơ sở hiện trạng sử dụng đất năm 2010 ở huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng. Kết quả cho thấy các quy tắc bố trí được xây dựng trong mô hình đã cho độ tin cậy cao. Bản đồ bố trí đất đai thu được từ mô hình khác biệt rất nhỏ so với bản đồ hiện trạng 2015 với hệ số Kappa đo mức độ chính xác về mặt không gian giữa hai bản đồ là 0,97.

Kết quả thử nghiệm mối quan hệ giữa các yếu tố kinh tế xã hội và môi trường với việc bố trí sử dụng đất nông nghiệp cho thấy các yếu tố này có quan hệ mật thiết trong việc bố trí đất nông nghiệp. Trường hợp xét tổng hợp các yếu tố, mô hình cho kết quả bố trí đất đai gần với thực tế nhất.

4.2 Đề xuất

Mô hình ST-LUAM được xây dựng và thử nghiệm ở huyện Mỹ Xuyên, đây là huyện ven biển chuyên sản xuất nông nghiệp, đa dạng các kiểu sử dụng đất và được phân bố trên các vùng thủy lợi khác nhau. Tuy nhiên, hiện trạng phân bố kiểu sử dụng khá tập trung nên mô hình không thể hiện rõ sự tranh chấp trong bố trí đất đai. Do đó, mô hình ST-LUAM cần được áp dụng để kiểm thử thêm trong các trường hợp khác có các LUT bố trí đan xen lẫn nhau để mở rộng phạm vi ứng dụng của mô hình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Castella, J.C., Trung, T.N., Boissau, S., 2005. Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: The combined use of an agent-based model, a role-

- playing game, and a Geographic Information System. *Ecol. Soc.* 10.
- Castella, J.-C., Bourgoin, J., Lestrelin, G., Bouahom, B., 2014. A model of the science–practice–policy interface in participatory land-use planning: lessons from Laos. *Landsc. Ecol.* 29, 1095–1107. doi:10.1007/s10980-014-0043-x.
- Chi cục Thủy lợi Sóc Trăng, 2015. Bản đồ phân vùng thủy lợi tỉnh Sóc Trăng năm 2015.
- Cohen, J., 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educ. Psychol. Meas.* 20, 37–46. doi:10.1177/001316446002000104.
- Nhan, D.K., Be, N.V., Trung, N.H., 2007. Water use and competition in the Mekong Delta, Vietnam. *Chall. Sustain. Dev. Mekong Delta Reg. Natl. Policy Issues Res. Needs Sustain. Mekong Res. Netw.* 143–188.
- FAO, 1976. A framework for land evaluation. *FAO Soil Bulletin* 32, FAO, Rome.
- Hagenvoort, J.E.J., Tri, V.P.D., 2013. Adaptation to Saline Intrusion in the Coastal area of Vĩnh Châu, the Vietnamese Mekong Delta. *VNU Journal of Earth and Environmental Sciences.* 29(3): 1–9.
- Ma, X., Zhao, X., 2015. Land Use Allocation Based on a Multi-Objective Artificial Immune Optimization Model: An Application in Anlu County, China. *Sustainability* 7, 15632–15651. doi:10.3390/su71115632.
- Neumann, J.V., 1966. *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press, Champaign, IL, USA.
- Lê Quang Trí, Võ Thị Gương, Phạm Thanh Vũ, Nguyễn Thị Song Bình, Nguyễn Hữu Kiệt và Võ Văn Chiến, 2008. Đánh giá sự thay đổi đặc tính đất và sử dụng đất của 3 huyện ven biển tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* 2008:9 59-68.
- Lê Quang Trí và Phạm Thanh Vũ, 2011. Ứng dụng công nghệ thông tin trong đánh giá đất đai tự nhiên và đánh giá thích nghi đa tiêu chí ở huyện Càng Long, tỉnh Trà Vinh, *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* 2011:18b 63-72.
- Liu, D., Tang, W., Liu, Y., Zhao, X., He, J., 2017. Optimal rural land use allocation in central China: Linking the effect of spatiotemporal patterns and policy interventions. *Appl. Geogr.* 86, 165–182. doi:10.1016/j.apgeog.2017.05.012.
- Haining, R., 2003. *Spatial data analysis: Theory and Practice*. Cambridge University Press.
- Phạm Lê Mỹ Duyên, Văn Phạm Đăng Trí và Nguyễn Hiếu Trung, 2012. Đánh giá sự thay đổi các hệ thống sử dụng đất đai dưới tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng ở huyện Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* 2012: 24a 253-263.
- Phạm Thanh Vũ, Nguyễn Hiếu Trung, Lê Quang Trí, Vương Tuấn Huy, Phan Hoàng Vũ và Tôn Thất Lộc, 2017. Định hướng sử dụng đất nông nghiệp trên cơ sở tương tác các chủ thể ở cấp độ chi tiết. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 50b: 1-12.
- Phòng NN Mỹ Xuyên, 2015. Báo cáo tổng kết 05 năm thực hiện chương trình mục tiêu quốc gia xây dựng nông thôn mới huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng giai đoạn 2010-2015. Phòng Nông nghiệp huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng.
- Sở TNMT Sóc Trăng, 2015. Kết quả kiểm kê đất đai huyện Mỹ Xuyên năm 2015.
- Võ Quang Minh và Nguyễn Thị Bích Vân. 2011. Mô phỏng sự ngập lụt ở Đồng bằng sông Cửu Long dưới ảnh hưởng của cao trình mặt đất do sự dâng cao mực nước - bằng kỹ thuật thống kê và nội suy không gian. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 17a: 110–117.