

## QUẢN LÝ NGUỒN NƯỚC MẶT CHO HỆ THỐNG CANH TÁC LÚA VÙNG VEN BIỂN ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Hồng Minh Hoàng<sup>1</sup>, Văn Phạm Đăng Trí<sup>1</sup> và Nguyễn Hiếu Trung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

### Thông tin chung:

Ngày nhận: 03/09/2014

Ngày chấp nhận: 29/12/2014

### Title:

Surface water resources management for rice farming systems in the coastal areas of the Vietnamese Mekong Delta

### Từ khóa:

Hệ thống canh tác lúa, biến đổi khí hậu, tài nguyên nước mặt, vùng ven biển, và mô hình Stella

### Keywords:

Rice farming systems, climate change, surface water resources, coastal area and Stella

### ABSTRACT

Sea-water intrusion and its negative impacts on rice farming systems in coastal plains of the Vietnamese Mekong Delta are increasing rapidly both in space and time. The main focus of this study was to analyze possible solutions to enhance (surface) water storage capacity which could be used to irrigate rice-fields during the water-shortage period (caused by temporal salinity intrusion). The study was done based on the system-thinking approach and based on the actual characteristics of the study area (local weather, canals system and existing farming systems), and bio-characteristics of crops (growing period and water demand at each growing stage). A mathematical model describing interaction between above factors was developed to realise a mutual relationship between demands and availability of water supply during the crop season. The simulation results showed that if the surface water area and depth of internal canals was enhanced (+2.4ha and +0.5m, respectively) in combination with the prediction salinity intrusion, surface water to irrigate 120 ha of rice-field in the time of salinity intrusion (15 day) could be secured. In addition, adjusting the cropping calendar and applying water-saving (irrigation) approach (i.e. the alternate wetting and drying technique) also helped to ease negative impacts of temporal water-shortage due to the rise of salinity from supply water sources.

### TÓM TẮT

Tác động tiêu cực của xâm nhập mặn đối với hệ thống canh tác lúa ở vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long đang gia tăng nhanh chóng cả về không gian lẫn thời gian. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là phân tích các giải pháp khả thi để trữ nước ngọt nhằm gia tăng nguồn nước ngọt phục vụ sản xuất lúa trong thời gian thiếu nước do xâm nhập mặn. Nghiên cứu được thực hiện dựa vào cách tiếp cận hệ thống dựa trên cơ sở các đặc tính tự nhiên của vùng nghiên cứu (thời tiết địa phương, hệ thống kênh mương và hệ thống canh tác hiện có) và đặc điểm sinh học của cây trồng (các giai đoạn phát triển và nhu cầu nước ở từng giai đoạn phát triển). Các yếu tố trên được tổng hợp và xây dựng thành mô hình toán trong đó mô tả và phân tích các mối quan hệ tác động lẫn nhau giữa nhu cầu và khả năng cung cấp nước trong suốt mùa vụ. Kết quả mô phỏng cho thấy nếu tăng thêm 2.4 ha diện tích mặt nước và 0.5 m chiều sâu kênh so với hiện trạng kết hợp với dự báo xâm nhập mặn thì có thể đảm bảo lượng nước tưới cho 120 ha lúa trong thời gian xâm nhập mặn 15 ngày. Ngoài ra, giải pháp thay đổi lịch thời vụ và áp dụng phương pháp tưới tiết kiệm cho cây lúa cũng có thể giảm thiểu được ảnh hưởng của việc thiếu nước (tạm thời) do xâm nhập mặn gây ra.

## 1 GIỚI THIỆU

Biến đổi khí hậu (BĐKH) đã và đang làm thay đổi các điều kiện tự nhiên (lượng mưa, nhiệt độ và nước biển dâng) và ảnh hưởng (tiêu cực) đến đời sống của con người (Patz *et al.*, 2005). Việt Nam là một trong những quốc gia chịu tác động nghiêm trọng của hiện tượng BĐKH, đặc biệt là trong lĩnh vực nông nghiệp (Yu *et al.*, 2010; GFDRR, 2011; Bộ Tài Nguyên và Môi Trường, 2012). Một trong những ảnh hưởng nghiêm trọng của BĐKH đến lĩnh vực nông nghiệp là hiện tượng thiếu nguồn nước ngọt cung cấp cho hệ thống canh tác lúa do mặn xâm nhập ở vùng đồng bằng ven biển (Wassmann *et al.*, 2004; Seal and Baten, 2012). Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nằm ở hạ lưu sông Mekong và là vùng góp phần quan trọng cho an ninh lương thực quốc gia và xuất khẩu gạo của Việt Nam. Mặc dù vậy, đây cũng là vùng đang bị tác động tiêu cực của BĐKH, đặc biệt là vùng ven biển (Vien, 2011; Lê Anh Tuấn, 2012; UNU-WIDER *et al.*, 2012). BĐKH đã tác động tiêu cực đến hệ thống canh tác lúa vùng ven biển ĐBSCL về vấn đề thiếu nguồn nước ngọt cung cấp tưới do xâm nhập mặn (Wassmann *et al.*, 2004; Nhan *et al.*, 2011; Nguyễn Thanh Bình *et al.*, 2012) và hiện trạng xâm nhập mặn được dự báo sẽ càng gia tăng về không gian và thời gian trong tương lai (Bộ Tài Nguyên và Môi Trường, 2012; UNU-WIDER *et al.*, 2012). Theo các kịch bản BĐKH cho thấy, trong tương lai diễn biến của khí hậu ngày càng theo hướng bất lợi đối với con người ở ĐBSCL (Trần Quốc Đạt *et al.*, 2012; Van *et al.*, 2012). Điều đáng quan tâm là xâm nhập mặn ngày càng tăng nhưng khả năng thích ứng của phần lớn cộng đồng và chính quyền địa phương khu vực ven biển ĐBSCL còn chưa cao. Giảm lưu lượng từ thượng nguồn và mặn xâm nhập sâu vào đất liền dọc theo kênh rạch được dự báo sẽ còn phức tạp hơn trong tương lai (Mekong ARCC, 2013; Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2013). Do vậy, nếu không có biện pháp kịp thời để thích ứng với hiện trạng xâm nhập mặn thì ĐBSCL sẽ còn hứng chịu tác hại nặng nề do BĐKH gây ra trong tương lai (Chính Phủ Việt Nam, 2013).

Việc thiếu các công cụ hiện đại (ví dụ: mô hình toán, thiết bị quang trắc môi trường tự động) để hỗ trợ công tác đánh giá tác động của sự thay đổi có thể có trong tương lai lên sản xuất lúa là vấn đề cũng cần được quan tâm, đặc biệt là trong việc quản lý nguồn nước tưới. Tuy nhiên, việc xác định sự tác động qua lại giữa hoạt động con người và môi trường (ví dụ: tác động của việc sử dụng thuốc bảo vệ thực vật ngày càng nhiều trong canh tác lúa)

và giữa các yếu tố trong tự nhiên với nhau (ví dụ: mối tương quan giữa khí nhà kính với nhiệt độ không khí) là rất khó khăn. Do vậy, xác định mối tương quan giữa các yếu tố theo một tư duy hệ thống để quản lý tổng hợp nguồn tài nguyên nước có thể hỗ trợ việc đánh giá tổng quan thực trạng quản lý nguồn tài nguyên nước (Espinosa, 2000; Pollard and Toit, 2008; Dzwaïro *et al.*, 2010) là vấn đề rất quan trọng trong bối cảnh hiện nay. Mô hình tư duy hệ thống (ví dụ: Stella) đã được ứng dụng nhiều trong các lĩnh vực môi trường nhằm mô phỏng các diễn biến thực tế trong tự nhiên và đưa ra các dự báo cần thiết (Costanza and Ruth, 1998; Leal Neto *et al.*, 2006; Elsawah *et al.*, 2012). Thông qua việc xây dựng mô hình động, Costanza *et al.* (1998; 2001) đã thể hiện sự tác động qua lại giữa sự phát triển của tảo và cá hồi, sự kết hợp giữa hệ sinh thái và kinh tế của rừng ngập mặn ở Vịnh Chesapeake (Brazil). Tiếp theo đó, Simonovic, (2002) đã xây dựng mô hình hệ thống về sự biến động nguồn tài nguyên nước toàn cầu liên quan đến các lĩnh vực quan trọng như: nông nghiệp, công nghiệp, dân số. Tuy nhiên, mô hình của Simonovic xây dựng để mô tả biến động nguồn nước cho toàn cầu chưa đủ để phản ánh chi tiết cho từng lĩnh vực cụ thể trong mô hình (ví dụ: lĩnh vực nông nghiệp). Trên nền tảng đó, Panigrahi *et al.* (2006; 2011) đã nghiên cứu thu hẹp lại cho lĩnh vực nông nghiệp bằng việc xây dựng hồ chứa nước cung cấp cho nông nghiệp ở miền Đông của Ấn Độ dựa trên mô hình hệ thống. Liên quan đến việc quản lý nguồn nước bằng mô hình hệ thống, Traore and Wang, (2011) đã xây dựng mô hình hệ thống cho hồ chứa nước mưa tự nhiên phục vụ cho sản xuất nông nghiệp ở vùng bán khô cạn ở Gaoua và Fada N'Gourma của Châu Phi. Ở Việt Nam nói chung và đồng ĐBSCL nói riêng, có nhiều nghiên cứu về mô hình hệ thống (ví dụ: Ngô Ngọc Hưng, (2008)) đã nghiên cứu và ứng dụng vào lĩnh vực môi trường và nhiều lĩnh vực khác. Qua đó cho thấy, mô hình hệ thống đã được áp dụng rộng rãi vào lĩnh vực quản lý tài nguyên nước và các lĩnh vực khác.

## 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

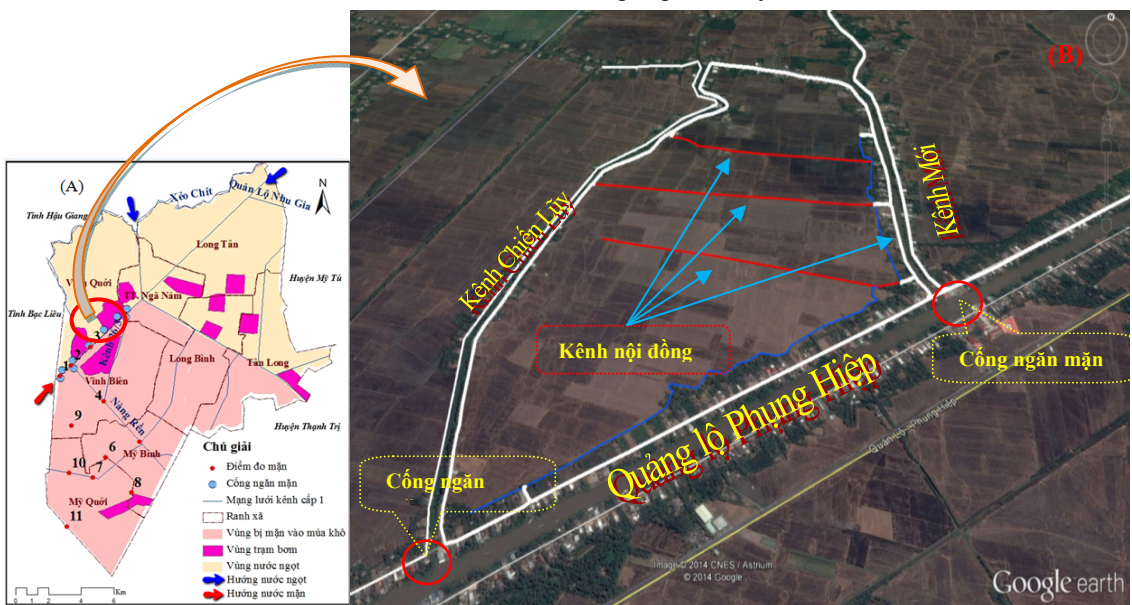
Phương pháp nghiên cứu được thực hiện gồm các nội dung: (1) xác định khu vực nghiên cứu; (2) tổng hợp, thu thập các số liệu liên quan đến việc xây dựng mô hình cân bằng nước; (3) xây dựng mô hình; (4) hiệu chỉnh và kiểm định mô hình; (5) xây dựng các kịch bản thích ứng với hiện trạng thiếu nước do xâm nhập mặn; và, (6) đánh giá các tác động của điều kiện tự nhiên đến sự biến động

nguồn nước tưới cho khu vực nghiên cứu trong tương lai.

**2.1 Khu vực nghiên cứu**

Huyện Ngã Năm (tỉnh Sóc Trăng) có ranh giới giáp với tỉnh Bạc Liêu và Hậu Giang (Hình 1), là vùng chuyên sản xuất lúa có chất lượng cao và đang bị ảnh hưởng bất lợi do tác động của BĐKH. Hàng năm, Huyện bị ảnh hưởng bởi nước lũ từ Hậu Giang và nước mặn từ Bạc Liêu dọc theo tuyến kênh Quản Lộ Phụng Hiệp; trong đó, nước mặn từ Bạc Liêu đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất nông nghiệp của Huyện. Theo báo cáo của Phòng Tài nguyên và Môi trường huyện Ngã Năm, tình hình xâm nhập mặn ngày càng trở nên nghiêm

trọng (tăng về không gian, thời gian và nồng độ mặn) từ năm 2005 đến 2012. Ảnh hưởng của nước mặn đến hệ thống nông nghiệp của Huyện trong những năm gần đây có xu hướng gia tăng (nước mặn đến sớm hơn, nồng độ cao hơn, xâm nhập sâu hơn và kéo dài hơn). Huyện có hệ thống gồm 9 công ngăn mặn dọc theo tuyến kênh Phụng Hiệp; tuy nhiên, hiện nay nước mặn đã xâm nhập sâu vào nội đồng và xâm nhập vào hệ thống kênh trữ nước bên trong nội đồng dẫn đến tình trạng nông dân không thể bơm nước vào ruộng. Hiện trạng nước mặn xâm nhập vào hệ thống kênh (kênh chính cũng như nội đồng) gây thiếu nước ngọt cung cấp cho cây lúa đã gây thiệt hại đáng kể cho sản xuất nông nghiệp của Huyện.



**Hình 1: Bản đồ huyện Ngã Năm (A) và khu vực nghiên cứu(B)**

**2.2 Số liệu đầu vào, điều kiện ban đầu và giả định trong mô hình cân bằng nước**

– Số liệu đầu vào:

Các dữ liệu khí tượng thủy văn theo ngày (lượng mưa, nhiệt độ, độ ẩm, số giờ nắng, tốc độ gió, và bốc thoát hơi nước) năm 2011 - 2012 được cung cấp từ trạm khí tượng thủy văn tỉnh Sóc Trăng.

Dữ liệu mô phỏng cho tương lai (lượng mưa và nhiệt độ) được xuất ra từ mô hình PRECIS tại các tọa độ tương ứng với các trạm quan trắc thực tế và được cung cấp bởi trung tâm SEA START (<http://www.start.or.th/>) với 2.225 ô lưới bao phủ toàn bộ khu vực ĐBSCL, độ phân giải tương đương 20 x 20 km. Dữ liệu mưa xuất ra từ mô hình PRECIS được hiệu chỉnh lại theo phương pháp cắt

và hiệu chỉnh đúng dần của Hồng Minh Hoàng và Văn Phạm Đăng Trí, (2013) nhằm cung cấp thông tin về lượng mưa dự báo trong tương lai ở vùng nghiên cứu.

Dữ liệu xâm nhập mặn được cung cấp từ trạm quan trắc của huyện Ngã Năm và dữ liệu dự báo mặn (2013) được cung cấp bởi Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, (2013).

– Điều kiện ban đầu: Tổng diện tích ruộng ở khu vực nghiên cứu là 120 ha, mực nước ruộng ban đầu là 0 cm và tổng diện tích bề mặt của hệ thống kênh nội đồng là 1.2 ha với chiều sâu hiện trạng năm 2013 là 1 m được thu thập trực tiếp tại vùng nghiên cứu.

– Giả định: Bề mặt đất là bằng phẳng trong quá trình tính toán và xây dựng mô hình và mực

nước trữ trong kênh tăng đến 1.5 m sẽ tự chảy tràn vào ruộng.

**2.3 Đặc tính về đất, giống lúa, lịch thời vụ và phương pháp tưới tại khu vực nghiên cứu**

Mẫu đất được thu thập vào tháng 4/2013 và được phân tích (thành phần cấp hạt, các hệ số thủy dung (FC), độ ẩm bão hòa (SAT), và điểm héo (WP)) tại phòng phân tích hóa lý và phi nhiều đất thuộc Bộ môn Khoa học Đất, Đại học Cần Thơ (Bảng 1). Qua các đặc tính của mẫu đất được phân tích cho thấy, đất tại khu vực nghiên cứu là loại đất sét có khả năng giữ nước cao nên giá trị thấm (trực

di) là không đáng kể (Lê Anh Tuấn, 2005). Theo kết quả nghiên cứu của Lê Văn Khoa, (2003) và Nguyễn Minh Phượng *et al.*, (2009), quá trình canh tác lúa sẽ tạo ra tầng đế cày (tầng nén dẽ), có tác dụng giữ nước bề mặt, ngăn nước thấm xuống tầng dưới và nước từ tầng dưới thấm lên tầng mặt. Ngoài ra, loại đất tại vùng nghiên cứu có cùng đặc tính lý-hóa với loại đất trong nghiên cứu của Sivapalan and Palmer, (2014) ở Kununurra, Tây Úc, về việc xác định lượng nước thấm của đất trồng lúa với giá trị lượng nước mất đi do thấm là 1 mm/ngày và được áp dụng cho nghiên cứu này.

**Bảng 1: Thành phần cấu tạo loại đất tại khu vực nghiên cứu**

Lớp đất	% SAT	FC	WP	% cát	% sét	% thịt
0 - 15cm	59	0.58	0.1	0.5	38	61.5
15 - 30cm	56	0.55	0.1	0.5	31	68.5

– Giống lúa ST5 được người dân sử dụng tại khu vực nghiên cứu với thời gian sinh trưởng khoảng 115 – 120 ngày và được chia làm 4 giai đoạn phát triển. Trong nghiên cứu này, mùa vụ Đông Xuân (ĐX) bắt đầu từ ngày 1/12/2011 đến ngày 24/3/2012 và mùa vụ Hè Thu (HT) bắt đầu từ ngày 12/4/2012 đến ngày 31/7/2012.

– Phương pháp tưới được xây dựng trong mô hình dựa vào phương pháp tưới thực tế của người dân tại vùng nghiên cứu. Tại khu vực nghiên cứu, người dân áp dụng phương pháp quản lý nước cho sản xuất lúa là như nhau cho 2 vụ ĐX và HT. Để áp dụng vào mô hình, phương pháp tưới của người dân được mô phỏng lại theo (CT 1) và lượng nước cần tưới được mô phỏng theo công thức (CT 2). Trong quá trình canh tác, tùy thuộc vào điều kiện thời tiết (mưa và hạn hán) mà lượng nước cung cấp tưới và số lần bơm nước thay đổi nhưng vẫn giữ mực nước ổn định ( $L_{tmin}$  và  $L_{tmax}$ ) qua các giai đoạn phát triển của cây lúa. Thời gian phát triển của cây lúa, thời gian bơm nước và mực nước qua các giai đoạn được thể hiện qua Bảng 2:

$$S_i = S_{i-1} + P - K_s \cdot K_c \cdot ET_0 \quad (CT 1)$$

Trong đó:  $K_c$ : Hệ số cây trồng dựa theo (TCVN 8641:2011);  $K_s$ : hệ số căng thẳng về nước;  $ET_0$ : lượng bốc thoát hơi của cây trồng (mm/ngày);  $P$ : lượng mưa (mm/ngày); và,  $S_i$ : mực nước còn lại so với mực nước ban đầu trên ruộng (mm/ngày). Ở mỗi giai đoạn phát triển của cây lúa, mực nước trên ruộng là khác nhau với  $L_{tmax}$  là mực nước cao nhất và  $L_{tmin}$  là mực nước nhỏ nhất và  $S_i$  thuộc khoảng giá trị giữa  $L_{tmax}$  và  $L_{tmin}$ ; nếu  $S_i$  vượt mức  $L_{tmax}$  (do mưa) thì cần thoát nước ra và ngược lại, nếu  $S_i$  nhỏ hơn  $L_{tmin}$  thì cần bơm nước vào (CT).

$$L_{tmax} \geq S_i \geq L_{tmin} \begin{cases} S_i > L_{tmax} \rightarrow \text{Thoát nước} \\ S_i \leq L_{tmin} \rightarrow \text{Bơm nước} \end{cases} \quad (CT 2)$$

**Bảng 2: Lịch bơm nước và mực nước qua các giai đoạn phát triển của cây lúa vùng ở nghiên cứu**

Các giai đoạn phát triển	0 - 15 ngày	15 - 60 ngày	60 - 100 ngày	100 - 115 ngày
Thời gian giữa 2 lần bơm nước	5 - 7	9 - 10	7 - 8	Không bơm
Mực nước max ( $L_{max}$ )	3 cm	8 cm	8 cm	0 cm
Mực nước min ( $L_{min}$ )	1 cm	3 cm	3 cm	0 cm

Nguồn: Kết quả điều tra thực địa tại khu vực nghiên cứu

**2.4 Xây dựng mô hình mô phỏng biến động nguồn nước trong hệ thống canh tác lúa**

**2.4.1 Bốc thoát hơi nước tham chiếu ( $ET_0$ )**

Bốc thoát hơi nước tham chiếu ( $ET_0$ ) là lượng nước mất đi qua bề mặt đất, mặt thoáng của vùng chứa nước và quá trình thoát hơi qua mặt lá, thân của cây do tác động của năng lượng mặt trời, gió, độ ẩm, và các yếu tố môi trường khác (FAO, 1998). Giá trị  $ET_0$  được xác định theo phương pháp Penmen-Monteith (CT 3) do phương pháp này cho kết quả phù hợp nhất về xác định nhu cầu nước của cây trồng do kết hợp nhiều mối quan hệ các yếu tố khí hậu (Meyer, 1999; Triệu Anh Ngọc *et al.*, 2006; FAO, 2012).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (CT 3)$$

Trong đó:  $ET_0$ : Bốc thoát hơi nước (mm ngày<sup>-1</sup>);  $R_n$ : Lưới bức xạ trên bề mặt cây trồng (MJm<sup>-2</sup> ngày<sup>-1</sup>);  $G$ : Thông lượng nhiệt của đất (MJm<sup>-2</sup> ngày<sup>-1</sup>);  $T$ : Nhiệt độ trung bình không khí tại độ cao 2 m (°C);  $U_2$ : Tốc độ gió tại 2 m chiều cao so với mặt đất (m.s<sup>-1</sup>);  $e_s$ : Áp suất hơi nước bão hòa (kPa);  $e_a$ : Áp suất hơi nước thực tế (kPa);  $(e_s - e_a)$ : Sự thiếu hụt áp lực bão hòa hơi nước (kPa);  $\Delta$ : Độ nghiêng của đường quan hệ giữa nhiệt độ với áp suất hơi bão hòa tại nhiệt độ  $t$  (kPa°C<sup>-1</sup>); và,  $\gamma$ : Hằng số biểu nhiệt (kPa°C<sup>-1</sup>).

2.4.2 Nhu cầu nước cho cây trồng ( $ET_c$ )

Nhu cầu nước cho cây trồng ( $ET_c$ ) là lượng nước mất đi trong quá trình bốc thoát hơi nước và cũng là lượng nước cần cung cấp đủ cho cây trồng trong quá trình phát triển được xác định theo công thức (CT 4). Hệ số  $K_c$  đối với cây lúa được sử dụng theo TCVN 864:2011 về công trình thủy lợi kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm; trong đó,  $K_c$  ở các giai đoạn phát triển từ 0 – 15 ngày, 15 – 60 ngày, 60 – 100 ngày và 100 – 115 ngày lần lượt là 1.12, 1.44, 1.82 và 1.63.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \tag{CT 4}$$

$$f(x) = I(x_1) + I(x_2) = (R_1 + P + C_r + C_k) - (I_1 + E + I_2 + ET_c + D) \tag{CT 7}$$

Trong đó:  $R_1$ : Nước vào kênh từ mưa (m<sup>3</sup>/ngày);  $R_2$ : Nước vào ruộng từ mưa (m<sup>3</sup>/ngày);  $C_r$ : Nước vào kênh từ ruộng (m<sup>3</sup>/ngày);  $C_k$ : Nước vào ruộng từ kênh (m<sup>3</sup>/ngày);  $P$ : Nước vào kênh do bơm (m<sup>3</sup>/ngày);  $I_1$ : Lượng nước mất do thấm của

2.4.3 Tương tác giữa nguồn nước trong ruộng và kênh nội đồng

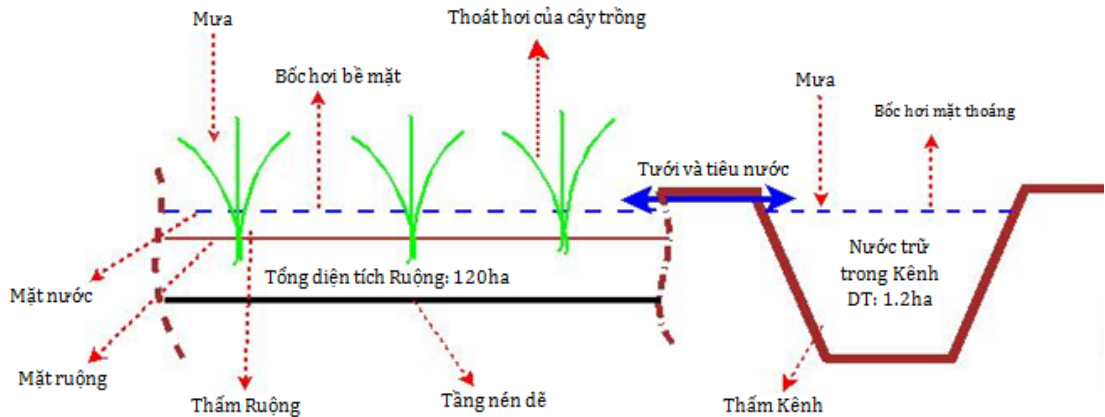
– Đối với kênh, lượng nước vào bao gồm từ lượng mưa, trạm bơm, lượng nước chảy tràn từ ruộng; lượng nước ra bao gồm từ bốc hơi, thấm, thoát nước và được thể hiện qua phương trình (CT 5).

$$f(x_1) = (R_1 + P + C_r) - (I_1 + E + D_1) \tag{CT 5}$$

– Đối với ruộng, lượng nước vào bao gồm từ lượng mưa, lượng nước chảy tràn từ kênh; lượng nước ra bao gồm từ bốc thoát hơi cây trồng, thấm, thoát nước và được thể hiện qua phương trình (CT 6).

$$f(x_2) = (R_2 + C_k) - (I_2 + ET_c + D_2) \tag{CT 6}$$

– Sự tác động giữa nguồn nước trong kênh và nguồn nước trong ruộng của hệ thống canh tác lúa được minh họa ở (Hình 2) và được thể hiện qua phương trình (CT 7). Các phương trình trên được xây dựng thành một mô hình hệ thống động thể hiện mối quan hệ các tác động lẫn nhau theo thời gian bằng phần mềm hệ thống Stella 10.0.



Hình 2: Sơ đồ minh họa sự biến động nguồn nước giữa ruộng và kênh của hệ thống canh tác lúa

2.5 Hiệu chỉnh và kiểm định

Các yếu tố của các biến trong mô hình được xây dựng như nhau cho vụ ĐX và HT; trong đó, số liệu của vụ ĐX được sử dụng cho mục đích hiệu

chỉnh mô hình và vụ HT được sử dụng cho mục đích kiểm định mô hình.

Phương pháp hiệu chỉnh:

**Chọn biến hiệu chỉnh:** biến “Trạm bơm” là một trong các biến quan trọng nhất trong mô hình do quyết định đến lượng nước bơm vào và thời gian bơm nước để kết quả mô phỏng của mô hình phù hợp với kết quả thực tế về cách quản lý nước cho sản xuất lúa và được chọn làm biến hiệu chỉnh. Các yếu tố trong biến “Trạm bơm” được thể hiện qua phương trình cân bằng nước (CT 8) và được định nghĩa như sau: Lượng nước bơm vào (Qp) phụ thuộc vào tổng lượng nước trên ruộng bao gồm lượng nước sẵn có trên ruộng (Q), lượng nước từ mưa (Qr) (nếu có mưa) và lượng nước từ kênh

$$Q_p = I_f Q + Q_r + Q_k \leq D_r^*(L + H_{min}) \text{ and } E_c < \% \text{ then } D_r^*(L + H_{max}) - (Q + Q_r) \text{ else } 0 \quad (CT 8)$$

**Trong đó:** Qp: Lượng nước bơm vào (m<sup>3</sup>); Q: Lượng nước sẵn có trong ruộng (m<sup>3</sup>); Qr: Lượng nước vào ruộng từ mưa (m<sup>3</sup>); Qk: Lượng từ kênh vào ruộng (m<sup>3</sup>); Dr: Diện tích ruộng (m<sup>2</sup>); Ec: Nồng độ mặn (%); L: Mực nước ruộng ban đầu (m); Hmin: Mực nước thấp nhất quy định giới hạn (dưới) bơm nước vào (m); và, Hmax: Mực nước cao nhất quy định giới hạn (trên) ngưng bơm nước (m).

- Hiệu chỉnh biến “Trạm bơm”:

**Bước 1:** Hiệu chỉnh giá trị Hmax: Hiệu chỉnh giá trị Hmax để kết quả của mô hình phù hợp với kết quả thực tế về mực nước cao nhất.

**Bước 2:** Hiệu chỉnh giá trị Hmin: Sau khi hiệu chỉnh Hmax tiến hành hiệu chỉnh Hmin để kết quả của mô hình phù hợp với kết quả thực tế về mực nước thấp nhất.

**Bước 3:** Hiệu chỉnh lại với bước 1 và bước 2 đến khi kết quả mô phỏng mực nước (cao nhất và thấp nhất) của mô hình tương đương với giá trị mực nước thực tế qua các giai đoạn phát triển của cây lúa. Trong nghiên cứu này, khoảng chấp nhận sai lệch mực nước của mô hình và thực tế trong khoảng ±0.5 cm.

### 2.6 Xây dựng các kịch bản thích ứng

Các kịch bản được xây dựng cho cả hai vụ ĐX và HT nhằm để khắc phục tình trạng thiếu nguồn nước tưới cho sản xuất lúa do ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn và thích ứng với sự biến động của nguồn nước tưới cho tương lai. Các kịch bản được xây dựng cho vùng nghiên cứu bao gồm:

- Đánh giá khả năng dự báo mặn trong việc

chảy tràn vào ruộng (Qk). Trạm bơm sẽ tiến hành bơm nước nếu tổng lượng nước trên ruộng “nhỏ hơn” hoặc “bằng” lượng nước thấp nhất được quy định tại mức bơm nước (Dr\*(L + Hmin) trong đó: Dr là diện tích ruộng, L là mực nước ruộng ban đầu, Hmin là mực nước mà tại đó tiến hành bơm nước). Bên cạnh đó, biến nồng độ mặn (Ec) cũng quan trọng trong việc quy định mức nồng độ mặn không được phép bơm nước. Lượng nước bơm vào bằng tổng diện tích ruộng nhân với mực nước ruộng và trừ đi phần lượng nước sẵn có trên ruộng với lượng nước vào ruộng từ mưa (nếu có mưa).

quản lý nước cho cây lúa với giả định là người dân sẽ nhận được thông tin dự báo mặn từ cơ quan địa phương, từ đó chủ động bơm trữ nước vào kênh nội đồng khi nước mặn xâm nhập đến.

- Thay đổi lịch thời vụ để thích ứng với thời gian mặn xâm nhập. Giải pháp này được áp dụng bằng cách bắt đầu mùa vụ mới sau khi kết thúc thời gian mặn xâm nhập.

- Áp dụng phương pháp tưới tiết kiệm nước (AWD) hay còn gọi là tưới ngập-khô xen kẽ được nghiên cứu bởi Viện Nghiên cứu Lúa quốc tế (IRRI) phát triển và đang được ứng dụng vào thực tế tại một số khu vực ở ĐBSCL (Tuong, 2003; 2007) để thay đổi phương pháp tưới truyền thống.

- Đề xuất giải pháp thích ứng với tình trạng thiếu nước do xâm nhập mặn bằng việc cơ cấu lại hệ thống kênh mương nội đồng nhằm tăng khả năng trữ nước.

Giảm diện tích đất canh tác lúa để giảm lượng nước sử dụng.

- Mở rộng kênh nội đồng (rộng, sâu) tăng khả năng trữ nước.

### 2.7 Đánh giá sự tác động của các điều kiện tự nhiên đến khả năng cấp nước trong tương lai

Việc đánh giá sự tác động của các điều kiện tự nhiên đến khả năng cấp nước cho sản xuất lúa tại khu vực nghiên cứu trong tương lai được thực hiện thông qua việc phân tích độ nhạy của mô hình. Các biến trong mô hình được chọn để phân tích độ nhạy gồm: (1) sự thay đổi lượng mưa; (2) sự thay đổi nhiệt độ; và (3) sự thay đổi thời gian xâm nhập mặn nhạy được thể hiện ở Bảng 3.

**Bảng 3:** Các yếu tố phân tích độ nhạy cho mô hình cân bằng nước

Các yếu tố	Thay đổi lượng mưa	Thay đổi nhiệt độ	Xâm nhập mặn
1	50%; 75%; 95%	Không đổi	Không đổi
2	Không đổi	50%; 75%; 95%	Không đổi
3	Không đổi	Không đổi	20ngày; 25ngày; 30ngày

Giá trị của lượng mưa và nhiệt độ giai đoạn (2015 - 2030) từ mô hình PRECIS theo kịch bản phát thải A2 được chọn để phân tích độ nhạy cho mô hình, thông qua đó nhằm để đánh giá sự biến động nguồn nước trong quá trình sản xuất khi điều kiện thời tiết thay đổi. Dãy số liệu được sắp xếp theo thứ tự 2 năm liên tiếp nhau và chọn các giá trị của Percentile 75%, 85% và 95% của giai đoạn mô phỏng (2015 - 2030), trong đó giá trị mưa từ mô hình PRECIS được hiệu chỉnh lại theo phương pháp của Hồng Minh Hoàng và Văn Phạm Đăng Trí, (2013).

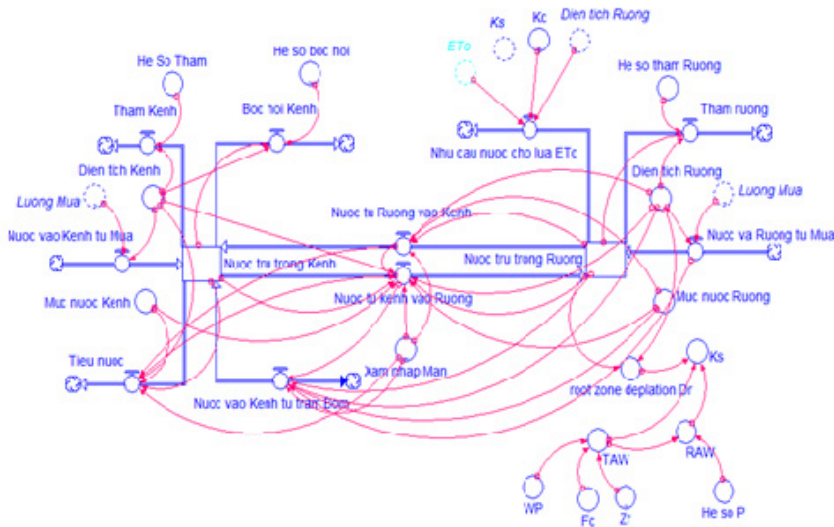
Xâm nhập mặn được dự báo sẽ tăng lên về không gian lẫn thời gian ở các cửa sông trong tương lai (Van *et al.*, 2012; Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2013). Theo nghiên cứu của Lê Sâm, (2006) thì diễn biến độ mặn trên sông vùng ĐBSCL rất phức tạp, phụ thuộc vào dòng chảy

không ổn định của chế độ triều gây ra nên chưa đánh giá được hiện trạng xâm nhập mặn ở vùng nghiên cứu. Do vậy, giả định rằng thời gian mặn xâm nhập trong tương lai tăng lên là 20, 25 và 30 ngày so với hiện tại là 15 ngày nhằm để đưa ra các giải pháp thích ứng với hiện trạng thiếu nguồn nước tưới khi thời gian xâm nhập mặn tăng lên trong tương lai.

### 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Mô hình cân bằng nước giữa ruộng và kênh

Những yếu tố liên quan có ảnh hưởng đến sự biến động nguồn nước giữa ruộng và kênh trong quá trình sản xuất lúa tại vùng nghiên cứu được tổng hợp và xây dựng thành mô hình hệ thống động biến đổi theo thời gian. Mô hình hệ thống đã thể hiện chi tiết mối quan hệ của các yếu tố về sự biến động nguồn nước giữa ruộng và hệ thống kênh nội đồng (Hình 3).



**Hình 3: Mô hình cân bằng nước (động) giữa ruộng và kênh nội đồng ở vùng nghiên cứu**

#### 3.2 Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

##### a. Hiệu chỉnh mô hình

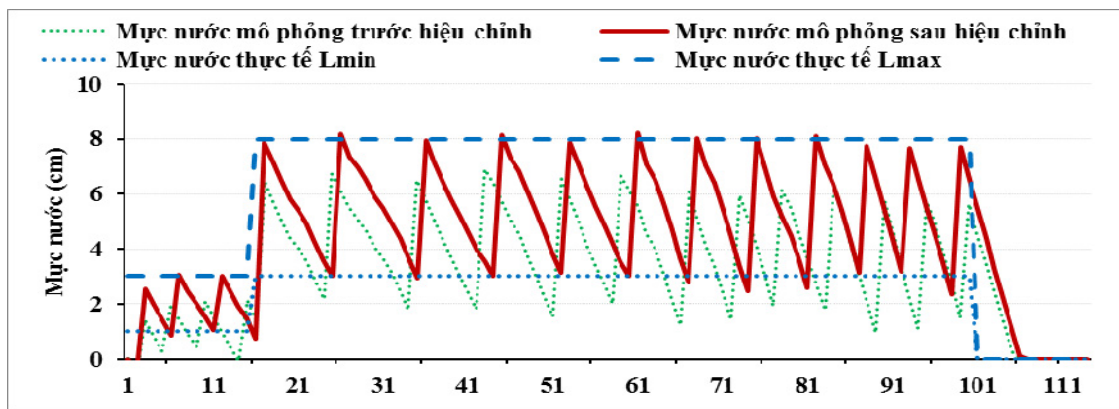
Mô hình sau khi hiệu chỉnh đã cho kết quả mô phỏng phù hợp với thực tế về mực nước trên ruộng qua các giai đoạn phát triển của cây lúa (Hình 4). Kết quả mô phỏng của mô hình về mực nước (mực nước cao nhất và thấp nhất) đối với giá trị  $H_{\min}$  và  $H_{\max}$  ban đầu còn chênh lệch lớn so với thực tế và sự chênh lệch vượt mức giá trị chấp nhận ( $> 0.5$

cm) được thể hiện qua (Bảng 4). Qua các bước thực hiện theo phương pháp hiệu chỉnh, kết quả hiệu chỉnh cuối cùng của mô hình cho kết quả phù hợp với kết quả thực tế về mực nước cao nhất và thấp nhất ( $L_{\min}$  và  $L_{\max}$ ) và giá trị sai lệch thỏa điều kiện chấp nhận ( $< 0.5$  cm); khi đó, ở biến “Trạm bơm”, kết quả giá trị  $H_{\min} = (1.9, 3.9, 4.35, 0$  cm) và  $H_{\max} = (4.1, 9.4, 10, 0$  cm) lần lượt qua các giai đoạn phát triển của cây lúa.

**Bảng 4: Kết quả hiệu chỉnh mực nước trên ruộng (cm) qua các giai đoạn phát triển của cây lúa**

		Các giai đoạn phát triển							
		0 - 15 ngày		15 - 60 ngày		60 - 100 ngày		100 - 115 ngày	
		TB $L_{min}$	TB $L_{max}$	TB $L_{min}$	TB $L_{max}$	TB $L_{min}$	TB $L_{max}$	TB $L_{min}$	TB $L_{max}$
*	MP	0.2	1.8	1.86	6.6	1.4	5.97	0	0
	TT	1	3	3	8	3	8	0	0
<b>Sai lệch</b>		<b>0.8</b>	<b>1.2</b>	<b>1.14</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	<b>2.03</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
HC <sub>i</sub>	MP	...	...	...	...	...	...	...	...
	TT	...	...	...	...	...	...	...	...
HC <sub>f</sub>	MP	0.95	28.6	3	7.98	2.8	7.93	0	0
	TT	1	3	3	8	3	8	0	0
<b>Sai lệch</b>		<b>0.05</b>	<b>0.14</b>	<b>0</b>	<b>0.02</b>	<b>0.2</b>	<b>0.07</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Ghi chú: \* Tại giá trị mực nước khảo sát thực tế; MP: Mô phỏng, TT: Thực tế; HC<sub>i</sub>: Các lần hiệu chỉnh; HC<sub>f</sub>: Hiệu chỉnh cuối cùng; TB: Trung bình (cm),  $L_{min}$ : Mực nước thấp nhất,  $L_{max}$ : Mực nước cao nhất

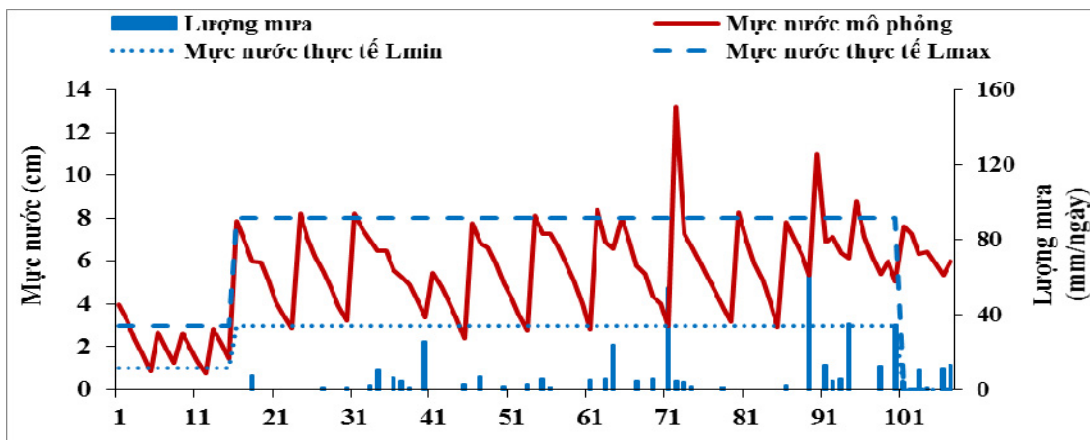


**Hình 4: Kết quả mô phỏng về phương pháp quản lý nước so với thực tế**

b. Kiểm định mô hình

Ở vụ HT, mực nước trên ruộng biến động nhiều hơn so với vụ ĐX; tuy vậy, kết quả mực nước ruộng mô phỏng (cao nhất và thấp nhất) qua các giai đoạn phát triển của cây lúa vẫn phù hợp so với

thực tế (Hình 5). Sự biến động về mực nước trong vụ HT là do ảnh hưởng bởi lượng mưa và đây cũng là yếu tố làm giảm số lần bơm nước so với vụ ĐX. Qua đó cho thấy, mô hình cho kết quả mô phỏng phù hợp với kết quả thực tế địa phương về cách quản lý nguồn nước cho sản xuất lúa.



**Hình 5: Biến động mực nước ruộng (cao nhất và thấp nhất) trong vụ HT**

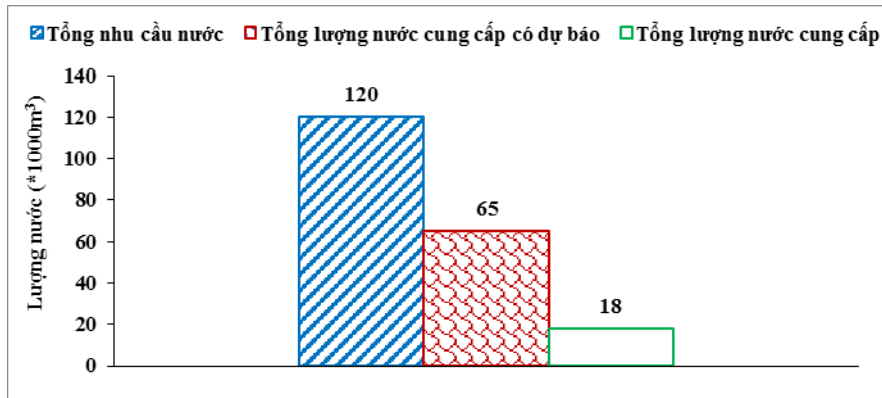


### 3.3 Xây dựng các kịch bản thích ứng với hiện trạng thiếu nước

#### 3.3.1 Khả năng dự báo mặn trong quản lý nguồn nước cho nông nghiệp

Trong thời gian xâm nhập mặn, tổng nhu cầu nước cho cây lúa là 120.000 m<sup>3</sup> trong khi đó tổng lượng nước có khả năng cung cấp cho cây lúa (bao gồm lượng nước trữ trong kênh và lượng nước sẵn có trên ruộng) trong giai đoạn này là khoảng 18.000 m<sup>3</sup> (Hình 6). Với lượng nước hiện tại chỉ có thể cung cấp được khoảng 2 ngày cho cây lúa trong

thời gian xâm nhập mặn. Tuy nhiên, việc dự báo mặn có thể giúp nông dân chủ động bơm nước trữ và tránh bơm nước mặn vào kênh nội đồng và do vậy làm tăng lượng nước cung cấp (bao gồm lượng nước từ ruộng và kênh) cho nhu cầu tưới lên khoảng 64.000m<sup>3</sup> (Hình 6) cho nhu cầu nước của cây lúa. Kết quả của mô hình cho thấy, dự báo xâm nhập mặn có khả năng giảm thiểu thời gian thiếu nước nhưng không thể cung cấp đủ nước cho lúa là do diện tích trữ nước của hệ thống kênh nội đồng chưa đủ lớn và do thời gian xâm nhập mặn kéo dài.

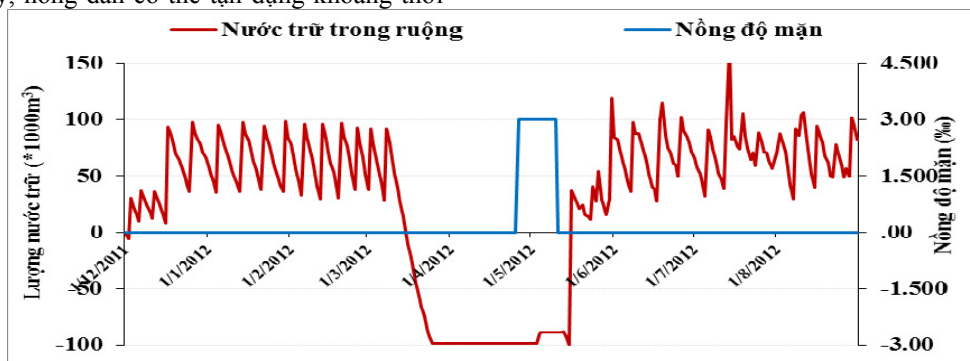


Hình 6: Tổng nhu cầu nước và lượng nước có khả năng cung cấp khi có dự báo mặn

#### 3.3.2 Thay đổi lịch canh tác

Giải pháp thay đổi lịch canh tác có thể tránh được hiện trạng thiếu nước tưới cho cây lúa do xâm nhập mặn trong điều kiện hiện tại ở vùng nghiên cứu (Hình 7). Tuy nhiên, việc thay đổi lịch canh tác sẽ tạo ra một khoảng thời gian dài giữa 2 vụ; do vậy, nông dân có thể tận dụng khoảng thời

gian này để trồng những loại cây hoa màu ngắn ngày. Bên cạnh đó, giải pháp thay đổi lịch canh tác sẽ gặp rủi ro cho vụ HT do gặp điều kiện thời tiết bất lợi (lượng mưa cao), đặc biệt là ở giai đoạn cuối vụ, sẽ ảnh hưởng đến quá trình phát triển của cây lúa, năng suất và ảnh hưởng đến quá trình thu hoạch.

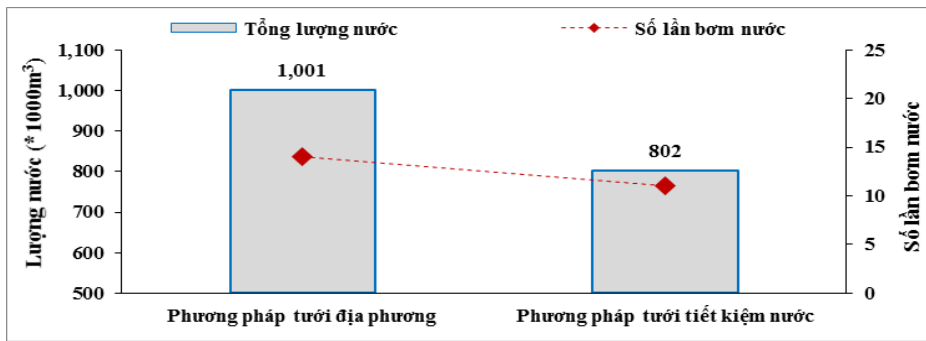


Hình 7: Giải pháp thay đổi lịch thời vụ tránh hiện trạng xâm nhập mặn

#### 3.3.3 Áp dụng phương pháp tưới tiết kiệm nước

Phương pháp tưới tiết kiệm nước có thể tiết kiệm được lượng nước và số lần bơm nước so với phương pháp tưới truyền thống. Phương pháp tưới tiết kiệm nước có thể tiết kiệm được lượng nước

khoảng 200.000m<sup>3</sup> và giảm được 4 lần bơm nước so với phương pháp tưới của địa phương (Hình 8). Kết quả này có ý nghĩa quan trọng trong việc kéo dài thời gian tưới nước và tiết kiệm được lượng nước tưới cho cây lúa trong thời gian xâm nhập mặn.



**Hình 8: So sánh về tổng lượng nước và số lần bơm nước của phương pháp tưới tiết kiệm nước với phương pháp tưới ở vùng nghiên cứu trong mùa vụ ĐX**

**3.3.4 Giải pháp tăng diện tích kênh trữ nội đồng kết hợp với dự báo xâm nhập mặn**

Việc dự báo xâm nhập mặn tuy không giải quyết được hiện trạng xâm nhập mặn nhưng làm giảm thiểu ảnh hưởng của hiện trạng thiếu nước do xâm nhập mặn và giúp người dân chủ động bơm nước trữ trong ruộng và tránh việc bơm nước mặn vào ruộng. Vì vậy, kết hợp giữa việc dự báo xâm nhập mặn với các giải pháp khác sẽ cho hiệu quả cao trong vấn đề đảm bảo nguồn nước tưới cho nông nghiệp bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn. Một số giải pháp kết hợp tăng diện tích kênh trữ nước và dự báo xâm nhập mặn tại vùng nghiên cứu cho kết quả như sau:

**a. Giữ hiện trạng diện tích canh tác lúa và tăng diện tích kênh nội đồng**

Trong điều kiện hiện tại, khi tăng chiều sâu kênh thêm 0.5 m và tăng diện tích bề mặt kênh thêm 2.4 ha kết hợp với dự báo mặn thì lượng nước trữ có khả năng cung cấp đủ cho nhu cầu nước của cây lúa (bao gồm lượng nước trên ruộng và lượng nước trữ trong kênh) trong thời gian mặn xâm nhập 15 ngày. Khi đó, tổng lượng nước có khả năng cung cấp là khoảng 120.000 m<sup>3</sup> tương đương với tổng nhu cầu lượng nước trong giai đoạn này là 120.000 m<sup>3</sup>. Với giá trị này, lượng nước trữ có thể cung cấp nước cho toàn bộ diện tích lúa (120ha) trong thời gian xâm nhập mặn 15 ngày.

**b. Kết hợp việc giảm diện tích canh tác lúa và tăng diện tích kênh**

– Nếu giảm diện tích canh tác lúa sẽ dẫn đến giảm lượng nước cung cấp cho nhu cầu nước của cây lúa và khi đó giảm được diện tích kênh phải mở rộng. Do vậy, nếu giảm đi 25% diện tích trồng lúa hiện tại thì diện tích bề mặt kênh cần tăng thêm là 1.5ha và chiều sâu kênh cần tăng thêm 0.5 m so

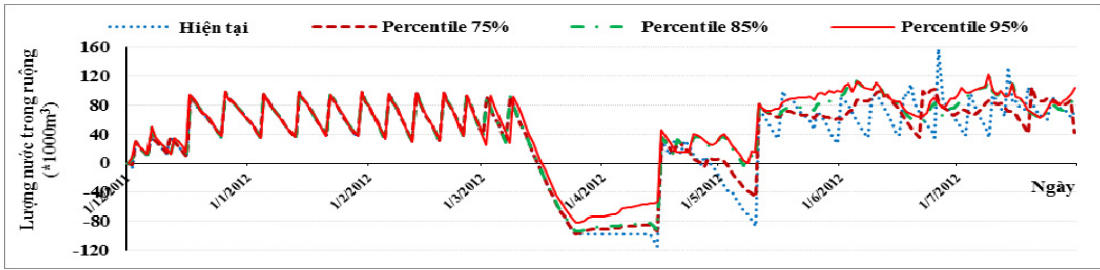
với giá trị ban đầu. Trong lựa chọn này, tổng nhu cầu nước cho cây lúa là 90.000 m<sup>3</sup> và tổng lượng nước có thể cung cấp (bao gồm lượng nước trên ruộng và lượng nước trữ trong kênh) sau khi mở rộng kênh là khoảng 90.000 m<sup>3</sup>. Với giá trị trên, tổng lượng nước trữ có thể cung cấp nước tưới cho 75% diện tích lúa trong thời gian xâm nhập mặn 15 ngày.

– Nếu giảm 50% diện tích trồng lúa hiện tại thì diện tích bề mặt kênh cần tăng lên là 0.8 ha và chiều sâu kênh tăng thêm là 0.5 m so với giá trị ban đầu. Trong lựa chọn này, tổng lượng nước có thể cung cấp tưới (bao gồm lượng nước trên ruộng và lượng nước trữ trong kênh) là khoảng 64.000 m<sup>3</sup> tương đương với tổng nhu cầu nước cho cây lúa là khoảng 61.000 m<sup>3</sup>. Với giá trị trên, tổng lượng nước trữ có thể cung cấp nước tưới cho 50% diện tích lúa trong thời gian xâm nhập mặn 15 ngày.

**3.4 Biến động nguồn nước tưới trong tương lai**

**3.4.1 Biến động do sự thay đổi lượng mưa**

Trong tương lai, lượng mưa có xu hướng tăng cao hơn so với hiện tại và ảnh hưởng đến nguồn nước tưới cho cây lúa. Lượng mưa tăng cao trong tương lai sẽ làm giảm lượng nước tưới và tiết kiệm được chi phí bơm nước cho nông dân. Kết quả mô phỏng cho thấy, lượng mưa tăng trong tương lai có thể đủ lượng nước cung cấp tưới cho nhu cầu nước của cây lúa trong vụ HT (bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn) (Hình 9). Error! Reference source not found. Tuy nhiên, vào mùa mưa các yếu tố bất lợi về thời tiết có thể gây ra như: mưa kèm theo gió lớn, nhiệt độ xuống thấp thời gian chiếu sáng trong ngày giảm, ngập úng,... các yếu tố này có thể có tác động gây đổ ngã, dịch bệnh ảnh hưởng đến năng suất lúa (Yoshida, 1981; Nguyễn Bảo Vệ, 2009).

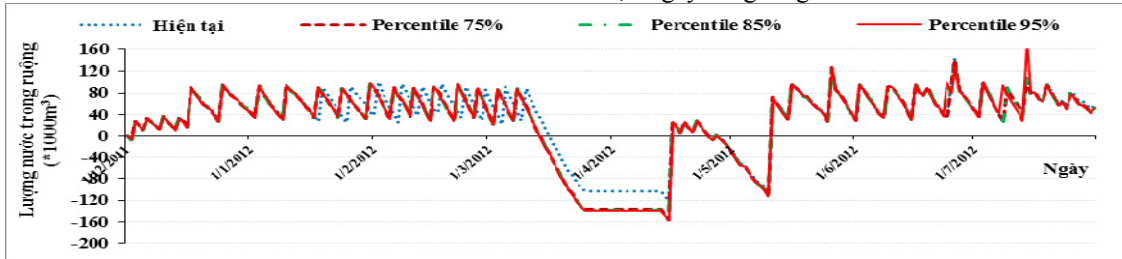


Hình 9: Ảnh hưởng của sự thay đổi lượng mưa đến nguồn nước tưới cho tương lai giai đoạn (2014 - 2030)

3.4.2 Biến động do sự thay đổi nhiệt độ

Khả năng cung cấp nước tưới cho sản xuất lúa ở vùng nghiên cứu biến động không đáng kể khi nhiệt độ thay đổi trong tương lai. Theo mô hình dự báo, nhiệt độ trung bình trong tương lai cao hơn so với hiện tại và dẫn đến tăng nhu cầu nước sử dụng cho cây lúa (ET<sub>c</sub>). Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Shrivastava *et al.* (2012) và Vương Tuấn Huy *et al.* (2013) là khi nhiệt độ tăng sẽ làm tăng

nhu cầu sử dụng nước của cây trồng và làm tăng lượng nước cung cấp. Nhiệt độ tăng trong tương lai làm tăng nhu cầu sử dụng nước của cây lúa cũng như tăng lượng nước bốc hơi dẫn đến lượng nước bơm và số lần bơm cao hơn so với hiện tại (Hình 10) đặc biệt là vào mùa khô trong vụ ĐX. Vấn đề này sẽ ảnh hưởng lớn đến tình trạng thiếu hụt nguồn nước cung cấp tưới cho nông nghiệp trong tương lai khi hạn hán kéo dài và xâm nhập mặn ngày càng tăng cao.

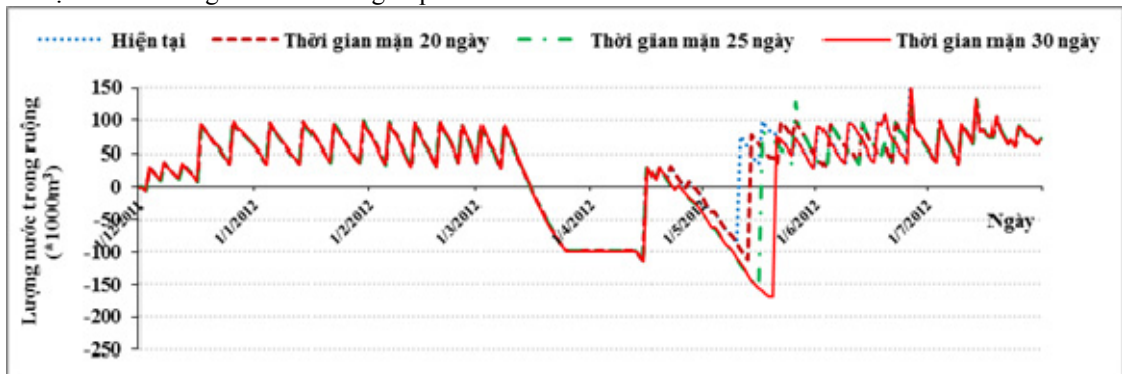


Hình 10: Ảnh hưởng của sự thay đổi của nhiệt độ đến nguồn nước tưới cho tương lai giai đoạn (2014 - 2030)

3.4.3 Biến động do sự thay đổi thời gian xâm nhập mặn

Xâm nhập mặn ngày càng tăng trong tương lai dẫn đến thời gian thiếu nước ngày càng kéo dài dẫn đến việc đảm bảo nguồn nước cung cấp tưới cho

nông nghiệp ngày càng trở nên nghiêm trọng, đặc biệt là ảnh hưởng đến vụ HT (Hình 11). Do vậy, giải pháp mở rộng kênh hay thay đổi lịch thời vụ cần sớm thực hiện để thích ứng với thực trạng xâm nhập mặn trong quá trình sản xuất nông nghiệp.



Hình 11: Ảnh hưởng của sự thay đổi thời gian xâm nhập mặn đến biến động nguồn nước tưới

4 KẾT LUẬN

Trong tương lai, hạn hán kéo dài có thể ảnh hưởng đến sự phát triển của cây lúa. Sự thay đổi

bất thường về lượng mưa và thời gian xâm nhập mặn trong tương lai sẽ ảnh hưởng đáng kể đến nguồn nước cung cấp cho sản xuất lúa của người dân vùng ven biển. Việc mở rộng kênh nội đồng có

thể khắc phục thực trạng thiếu nước cung cấp tưới cho sản xuất lúa trong thời gian xâm nhập mặn. Việc tăng thêm 2.4 ha diện tích mặt nước và 0.5 m chiều sâu kênh so với hiện trạng kết hợp với dự báo xâm nhập mặn có thể đảm bảo lượng nước tưới cho 120 ha lúa trong 15 ngày. Ngoài ra, việc thay đổi lịch thời vụ và áp dụng phương pháp tưới tiết kiệm nước cũng có thể hạn chế ảnh hưởng của việc thiếu nước do xâm nhập mặn tại khu vực nghiên cứu.

Các kịch bản về giảm diện tích canh tác lúa (25% và 50%) được phân tích trong nghiên cứu này nhằm cung cấp kết quả tham khảo về giải pháp thích ứng với điều kiện khan hiếm nguồn nước trong tương lai. Mặc dù, vẫn còn cần rất nhiều những nghiên cứu về sau để khẳng định tính hợp lý của giải pháp này (ví dụ, khả năng đồng thuận của người dân, chính sách của chính quyền địa phương...) nhưng nghiên cứu đã chứng minh được khả năng của mô hình toán trong việc đánh giá hiệu quả của việc điều chỉnh hệ thống canh tác trong hiện tại để thích ứng với điều kiện khan hiếm nguồn tài nguyên nước mặt trong tương lai ở vùng ven biển ĐBSCL. Việc áp dụng mô hình hệ thống động trong quản lý nguồn nước cho thấy tổng quan mối quan hệ giữa các yếu tố trong hệ thống (biến động nguồn nước giữa ruộng và kênh nội đồng) và do vậy có thể hỗ trợ công tác quản lý nguồn tài nguyên nước mặt trong sản xuất nông nghiệp. Mô hình cho ra kết quả nhanh giúp cho nông dân địa phương và cơ quan nhà nước có liên quan trong lĩnh vực quản lý nước trong nông nghiệp dễ dàng lựa chọn giải pháp thích hợp để thích ứng với sự thay đổi của khí hậu.

Hạn chế của mô hình là ở bước thời gian mô phỏng (trong thực tế nguồn nước biến động liên tục; trong khi đó, mô hình mô phỏng biến động nguồn nước theo ngày) cũng như một số giả định chưa được kiểm chứng; do vậy, mô hình cần được tiếp tục nghiên cứu và cải thiện về sau.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Tài Nguyên và Môi Trường. 2012. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam.
2. Bouman, B.A.M., R.M. Lampayan, and T.P. Tuong. 2007. Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity. Int. Rice Res. Institute.: 54.
3. Chính Phủ Việt Nam. 2013. Trồng trọt sẽ thiệt hại lớn do biến đổi khí hậu. Truy cập

tại <http://thutuong.chinhphu.vn/> (Ngày 10/12/2013).

4. Costanza, R., D. Duplisa, and U. Kautsky. 1998. Ecological Modelling on modelling ecological and economic systems with STELLA. Ecol. Modell. 110: 1-4.
5. Costanza, R., and S. Gottlieb. 1998. Modelling ecological and economic systems with STELLA: Part II. Ecol. Modell. 112(2-3): 81-84.
6. Costanza, R., and M. Ruth. 1998. Using Dynamic Modeling to Scope Environmental Problems and Build Consensus. Environ. Manage. 22(2): 183-95.
7. Costanza, R., and A. Voinov. 2001. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. Ecol. Modell. 143(1-2): 1-7.
8. Dzwaïro, B., F.A.O. Otiemo, and G.M. Ochieng. 2010. Making a case for systems thinking approach to integrated water resources management (IWRM). Int. J. Water Resour. Environ. Eng. 1(5): 107-113.
9. Elsawah, S., D. Haase, H. Van Delden, and S. Pierce. 2012. Using system dynamics for environmental modelling: Lessons learnt from six case studies. Int. Environ. Model. Softw. Soc.: 1-8.
10. Espinosa, M. 2000. Policy and Institutional Aspects of Water Resources Management in Nicaragua - The case of Managua. LUND University.
11. FAO. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.
12. FAO. 2012. The ET<sub>o</sub> Calculator.
13. GFDRR. 2011. Vulnerability, Risk Reduction, and Adaptation to Climate Change Viet Nam. Clim. Risk Adapt. Ctry. Profile: 16.
14. Hồng Minh Hoàng và Văn Phạm Đăng Trí. 2013. Hiệu chỉnh dữ liệu mưa từ mô hình mô phỏng khí hậu khu vực cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ 28: 54-63.
15. Lê Anh Tuấn. 2005. Nhu cầu nước và nhu cầu tối cho cây trồng. p. 17-40. Trong Hệ Thống tưới tiêu.

16. Lê Anh Tuấn. 2012. Tác động của biến đổi khí hậu lên năng suất cây lúa. Viện Nghiên cứu Biến đổi khí hậu – Đại học Cần Thơ.
17. Lê Sâm. 2006. xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long. Nhà xuất bản Nông nghiệp Tp. Hồ Chí Minh.
18. Lê Văn Khoa. 2003. Sự nén dẽ trong đất trồng lúa thâm canh ở Đồng bằng sông Cửu Long, Việt Nam. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ: 95–101.
19. Leal Neto, A.D.C., L.F.L. Legey, M.C. González-Araya, and S. Jablonski. 2006. A system dynamics model for the environmental management of the Sepetiba Bay Watershed, Brazil. *Environ. Manage.* 38(5): 879–88.
20. Mekong ARCC. 2013. Mekong adaptation and resilience to climate change (Mekong ARCC).
21. Meyer, W.S. 1999. Standard reference evaporation calculation for inland, south eastern Australia.
22. Ngô Ngọc Hưng. 2008. Nguyên lý và ứng dụng mô hình toán trong nghiên cứu sinh học, nông nghiệp và môi trường. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Thành Phố Hồ Chí Minh.
23. Nguyễn Bảo Vệ. 2009. Thâm canh lúa 3 vụ và sự thay đổi môi trường đất ở ĐBSCL. Kỷ yếu Hội thảo “Biện pháp nâng cao năng suất lúa Hè Thu” ở ĐBSCL.
24. Nguyễn Minh Phương, H. Verplancke, Lê Văn Khoa, and Võ Thị Giang. 2009. Sự nén dẽ của đất canh tác lúa ba vụ ở ĐBSCL và hiệu quả của luân canh trong cải thiện độ bền đoàn lạp. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ 11: 194–199.
25. Nguyễn Thanh Bình, Lâm Huôn và Thạch Sô Phan. 2012. Đánh giá tính tổn thương có sự tham gia: trường hợp xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Đại học Cần Thơ 24b: 229–239.
26. Nhan, D.K., N.H. Trung, and N. Van Sanh. 2011. The Impact of Weather Variability on Rice and Aquaculture Production in the Mekong Delta. *Springer Netherlands* 45: 437–451.
27. Panigrahi, B., S.N. Panda, and A. Agrawal. 2006. Water Balance Simulation and Economic Analysis for Optimal Size of On-Farm Reservoir. *Water Resour. Manag.* 10(3): 233–350.
28. Panigrahi, B., S.. Panda, and R. Mull. 2011. Simulation of water harvesting potential in rainfed ricelands using water balance model. *Agric. Syst.* 6(3): 165–182.
29. Patz, J.A., T.H. Diarmid Campbell-Lendrum, and J.A. Foley. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438(310-317).
30. Pollard, S., and D. Toit. 2008. Integrated water resource management in complex systems: How the catchment management strategies seek to achieve sustainability and equity in water resources in South Africa. *Water SA* 34(6): 671–680.
31. Seal, L., and M.A. Baten. 2012. Salinity Intrusion in Interior Coast: A New Challenge to Agriculture in South Central part of Bangladesh. *Unnayan Onneshan-The Innov.:* 1–47.
32. Shrivastava, P., R.R. Saxena, M.S. Xalxo, S.B. Verulkar, P. Breeding, I. Gandhi, and K. Vishwavidyalaya. 2012. Effect of High Temperature at Different Growth Stages on Rice Yield and Grain Quality Traits. *J. Rice Res.* 5: 29–41.
33. Simonovic, S.P. 2002. World water dynamics: global modeling of water resources. *J. Environ. Manage.* 66(3): 249–267.
34. Sivapalan, S., and C. Palmer. 2014. Measurement of deep percolation losses under flooded rice system in Cununurra clay soil.
35. TCVN 8641:2011. Công trình thủy lợi kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm. Hà Nội.
36. Trần Quốc Đạt, Nguyễn Hiếu Trung và K. Likitdecharote. 2012. Mô phỏng xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long dưới tác động của nước biển dâng và suy giảm lưu lượng từ thượng nguồn. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ: 141–150.
37. Traore, S., and Y.-M. Wang. 2011. On-farm rainwater reservoir system optimal sizing for increasing rainfed production in the semiarid region of Africa. *African J. Agric. Res.* 6(20): 4711–4720.
38. Triệu Ánh Ngọc, Nguyễn Thị Kim Oanh, Lê Minh Tuấn và Đặng Hữu Phương. 2006. Tính toán tối ưu nhu cầu nước cho cây trồng. Trường Đại học Thủy Lợi cơ sở 2: 1–37.
39. Tuong, T.. 2005. Technologies for efficient utilization of water in rice production. In

- “Advance in Rice Science” (K. S. Lee, K. K. Jena, and K. L. Heong. Eds.), Proceeding of International Rice Conference, Korea, September 13-15, 2004 Conference. : 141–146.
40. Tuong, T.P., and B.A.M. Bouman. 2003. Rice Production in Water-scarce Environments. *Water* 5: 53–67.
  41. UNU-WIDER, CIEM, and DOE. 2012. Tác động của biến đổi khí hậu tới tăng trưởng và phát triển kinh tế xã hội ở Việt Nam. Nhà xuất bản Thống Kê Hà Nội.
  42. Van, P.D.T., I. Popescu, A. van Griensven, D.P. Solomatine, N.H. Trung, and A. Green. 2012. A study of the climate change impacts on fluvial flood propagation in the Vietnamese Mekong Delta. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16(12): 4637–4649.
  43. Vien, T.D. 2011. Climate change and its impact on agriculture in vietnam. *Journal. ISSAAS* 17(1): 17–21.
  44. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam. 2013. Hiện trạng dự báo xâm nhập mặn tại các cửa sông vùng ven biển ĐBSCL và đề xuất các giải pháp đảm bảo nước ngọt phục vụ sản xuất nông nghiệp và sinh hoạt. Thành phố Hồ Chí Minh: 1–18.
  45. Vương Tuấn Huy, Văn Phạm Đăng Trí, Phạm Thanh Vũ, Lê Quang Trí và Nguyễn Hiếu Trung. 2013. Ứng dụng mô hình Aquacrop mô phỏng năng suất lúa trong điều kiện các yếu tố khí hậu thay đổi tại vùng Bắc quốc lộ 1A, tỉnh Bạc Liêu. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn* 13: 48–51.
  46. Wassmann, R., N.X. Hien, C.U.T. Hoanh, and T.O.Hp. Tuong. 2004. Sea level rise affecting the Viet Namse Mekong Delta: Water elevation in the flood season and implication for rice production. *Clim. Change* 66: 89–107.
  47. Yoshida, S. 1981. Growth and development of the rice plant. p. 1–15. In *Fundamentals of Rice Crop Science*. International rice research intitute.
  48. Yu, B., T. Zhu, C. Breisinger, and N.M. Hai. 2010. Impacts of Climate Change on Agriculture and Policy Options for Adaptation The Case of Vietnam. *IFPRI Discuss.*: 1–23.