

## SO SÁNH LƯỢNG NƯỚC VÀ SỐ LẦN TƯỚI CỦA CÁC KỸ THUẬT TƯỚI NƯỚC CHO CÂY LÚA: ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HỆ THỐNG STELLA

Hồng Minh Hoàng<sup>1</sup>, Văn Phạm Đăng Trí<sup>2</sup> và Nguyễn Hiếu Trung<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup> Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

### Thông tin chung:

Ngày nhận: 02/04/2015

Ngày chấp nhận: 27/10/2015

### Title:

Comparing the amount of water and pumping times of irrigation techniques for rice: Applying model system STELLA

### Từ khóa:

Mô hình hệ thống STELLA, kỹ thuật tưới, cân bằng nước

### Keywords:

STELLA model, irrigation technique, water balance

### ABSTRACT

The study focused on developing a water-balance dynamic model to simulate water changes in the rice field under a dynamic interaction between rice field and on-farm irrigation system during a rice season and to evaluate the effectiveness of different irrigation techniques (in terms of the amount of irrigated water and pumping times). Six different irrigation techniques (e.g. alternate wetting and drying (AWD), semi-dry cultivation (SDC), shallow water depth with wetting and drying (SWD), saturation, the Vietnamese standard (TCVN:8641-2011) and the actual technique in the field) were applied in the study. The dynamics model was developed in a system-thinking approach software (i.e. STELLA) to simulate water changes during a rice season. Natural conditions of the study area and bio-physical characteristics of the rice crop were collected and applied for all irrigation approaches developed in the numerical model. The results showed that the amount of water used ranged from 854.000 to one million cubic meter per season and the number of pumping times ranged from 11 to 23 times per season (for the study area of 120 ha) in accordance with the applied irrigation approach. In addition, the AWD technique was the most effective both in terms of the amount of water and pumping times. The results could be a good scientific base for local authorities to propose suitable irrigation solutions for rice in order to reduce negative impacts of water shortage as in the study area.

### TÓM TẮT

Nghiên cứu tập trung vào việc xây dựng mô hình cân bằng nước giữa ruộng và kênh nội đồng để mô phỏng sự biến động về nước tưới trong quá trình canh tác lúa và so sánh hiệu quả của các kỹ thuật tưới nước khác nhau (bao gồm: lượng nước và số lần bơm tưới). Sáu kỹ thuật tưới khác nhau (bao gồm: Kỹ thuật tưới ngập khô sen kẽ (AWD), bán khô (SDC), ngập cạn và khô (SWD), Bão hòa, TCVN: 8641-2011 và phương pháp tưới thực tế tại địa phương) được áp dụng trong nghiên cứu này. Mô hình được phát triển trong phần mềm hệ thống động (STELLA) để mô phỏng sự thay đổi về nước tưới trong mùa vụ trồng lúa. Các điều kiện tự nhiên của vùng nghiên cứu và đặc điểm của giống lúa được thu thập và áp dụng chung cho các kỹ thuật tưới được phát triển trong mô hình. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng nước tưới của các kỹ thuật tưới biến động trong khoảng 854.000 - 1 triệu (m<sup>3</sup>/vụ) và số lần bơm tưới dao động trong khoảng 11 - 23 (lần/vụ) (với diện tích nghiên cứu là 120 ha); trong đó, kỹ thuật tưới AWD là hiệu quả nhất về lượng nước và số lần bơm tưới. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở khoa học cho các cơ quan quản lý địa phương trong việc lựa chọn giải pháp tưới nước thích hợp cho cây lúa nhằm giảm tác động của hiện trạng thiếu nước tưới như ở vùng nghiên cứu.

## 1 GIỚI THIỆU

Việt Nam được đánh giá là một trong những quốc gia bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) lên nhiều lĩnh vực khác nhau và đặc biệt ảnh hưởng nghiêm trọng đến nền nông nghiệp Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) (IPCC, 2007; Rasmussen, 2013). Các yếu tố bất lợi của BĐKH đối với sản xuất lúa ở ĐBSCL bao gồm: hạn hán, bão lụt và gia tăng các điều kiện thời tiết cực đoan (các yếu tố trên được dự đoán là có thể làm giảm 2-15% năng suất/vụ và 4,3-8,3% sản lượng lúa ở ĐBSCL vào năm 2050 (Peter and Greet, 2008; Zhai and Zhuang, 2009; Yu *et al.*, 2010)). Bên cạnh đó, BĐKH làm dâng mực nước biển dẫn đến nước mặn xâm nhập sâu vào đất liền đã ảnh hưởng đáng kể đến nguồn nước tưới cho sản xuất nông nghiệp ở ĐBSCL (Nguyễn Thị Bích Hằng, 2011; Mekong ARCC, 2013; Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2013). Đối với cây lúa, lượng nước cần cung cấp cao gấp 2-3 lần so với cây trồng khác nhưng chỉ sử dụng khoảng 20% tổng lượng nước tưới (Tuong, 2005) nên vấn đề thiếu hụt nguồn nước tưới cho nông nghiệp nói chung và cho cây lúa nói riêng đang là mối đe dọa đối với nền nông nghiệp ĐBSCL ở hiện tại và trong tương lai. Lúa là cây trồng chính trong nền nông nghiệp ĐBSCL; do vậy, việc tiết kiệm nước và tưới hiệu quả cho cây lúa nói riêng và cho canh tác nông nghiệp nói chung là cần thiết nhằm đảm bảo nguồn nước tưới cho hoạt động nông nghiệp ở ĐBSCL, đặc biệt là các vùng thiếu nước ven biển do ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn.

Hiện nay, nhiều kỹ thuật tưới nước cho cây lúa đã được nghiên cứu và áp dụng vào thực tế nhằm mục đích cung cấp nước hiệu quả cho sự phát triển của cây lúa trong quá trình canh tác như: (i) kỹ thuật tưới ướt khô xen kẽ (AWD), nghiên cứu của Tuong and Bouman, (2003), được áp dụng cho canh tác lúa ở Việt Nam và các nước trong khu vực châu Á. Kỹ thuật tưới này cũng được nghiên cứu ứng dụng vào thực tế và kết quả đánh giá là tốt hơn so với các phương pháp tưới truyền thống ở một số khu vực ĐBSCL (Phạm Phước Nhân *et al.*, 2013; Nguyen Hong Tin *et al.*, 2014); (ii) kỹ thuật tưới bán khô (SDC) và ngập cạn và khô (SWD), nghiên cứu của Zhi, (2002), được áp dụng cho canh tác lúa ở Trung Quốc; (iii) kỹ thuật tưới bão hòa, nghiên cứu của Tabbal *et al.*, (2002), được áp dụng cho canh tác lúa ở Philippine; (iv) kỹ thuật tưới theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8641:2011; và (v) kỹ thuật tưới của người dân tại vùng nghiên cứu. Các kỹ thuật tưới có cách tưới khác nhau đã được áp dụng vào canh tác lúa thực tế nhưng chưa định

lượng về lượng nước tưới. Do vậy, mục đích của nghiên cứu này là xây dựng mô hình hệ thống (động) cân bằng nước để mô phỏng sự biến động về nước tưới thời gian trong quá trình canh tác lúa. Thông qua đó, mô hình cân bằng nước nhằm để so sánh về lượng nước và số lần bơm tưới giữa các kỹ thuật tưới nước khác nhau cho cây lúa.

Việc đánh giá các kỹ thuật tưới cần được thực hiện thông qua việc đánh giá tổng hợp các yếu tố tác động liên quan đến biến động nguồn nước trong quá trình canh tác lúa. Các yếu tố này bao gồm sự tác động của các điều kiện tự nhiên (ví dụ: nhiệt độ, lượng mưa, lượng bốc thoát hơi...), đặc tính sinh trưởng của cây trồng (ví dụ: các giai đoạn phát triển, nhu cầu nước, độ sâu rễ...), và sự tác động qua lại giữa đặc tính cây trồng với điều kiện tự nhiên tạo thành một hệ thống phức hợp các tác động. Mô hình hệ thống động (ví dụ: mô hình hệ thống STELLA) được xem là công cụ hiệu quả, giúp tổng hợp các yếu tố lên quan đặc biệt là sự thay đổi của hệ thống theo thời gian (Pollard and Toit, 2008; Dzwauro *et al.*, 2010). Mô hình hệ thống 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). Các vấn đề nghiên cứu áp dụng mô hình hệ thống động như: Nghiên cứu của Costanza *et al.*, (1998; 2001) đã xây dựng mô hình hệ thống sinh thái thể hiện 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 bằng phần mềm Stella ở Vịnh Chesapeake (Brazil); Simonovic, (2002) đã xây dựng mô hình hệ thống về sự biến động tài nguyên nước của toàn cầu liên quan đến nông nghiệp, công nghiệp, dân số và các vấn đề khác liên quan. Tuy nhiên, mô hình của Simonovic xây dựng để mô tả biến động nguồn nước cho toàn cầu chưa đủ để phân tích chi tiết cho từng lĩnh vực cụ thể trong mô hình; trên nền tảng đó, Panigrahi *et al.*, (2006; 2011) đã thu hẹp nghiên cứu cho lĩnh vực nông nghiệp bằng việc tối ưu hóa việc xây dựng hồ chứa nước cung cấp cho nông nghiệp ở miền Đông của Ấn Độ; liên quan đến việc quản lý nguồn nước, Traore and Wang, (2011) đã xây dựng hệ thống hồ chứa nước mưa tự nhiên phục vụ cho sản xuất nông nghiệp ở vùng bán khô cằn 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 mô hình hệ thống vào lĩnh vực môi trường và nhiều lĩnh vực khác. Một nghiên cứu mới của Hồng Minh Hoàng

và ctv., 2014 đã đưa các giải pháp thích ứng với hiện trạng thiếu nước do xâm nhập mặn cho nông nghiệp ở huyện Ngã Năm, Sóc Trăng bằng việc xây dựng mô hình hệ thống động cân bằng nước trong quá trình sản xuất lúa. Qua các kết quả nghiên cứu cho thấy, mô hình hệ thống động có thể giải quyết được các vấn đề phức tạp biến động theo thời gian, đặc biệt là các vấn đề bao gồm nhiều yếu tố liên quan với nhau.

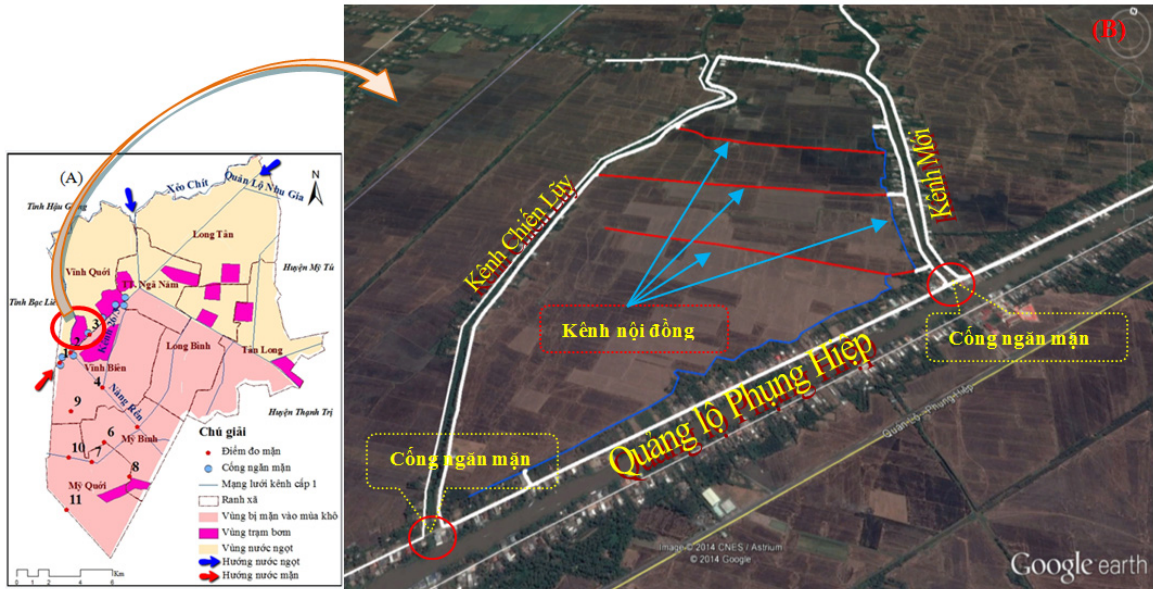
## 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Địa điểm nghiên cứu

Địa điểm nghiên cứu nằm dọc theo Quảng Lộ Phụng Hiệp có hệ thống đê bao khép kín huộc địa bàn huyện Ngã Năm tỉnh Sóc Trăng với tổng diện tích canh tác khoảng 120 ha và diện tích bề mặt kênh nội đồng khoảng 1.2 ha (Hình 1). Địa điểm nghiên cứu là nơi chuyên sản xuất lúa và đang bị ảnh hưởng bởi hiện trạng thiếu nước tưới do nước

mặn xâm nhập. Tại địa điểm nghiên cứu người dân sản xuất 2 vụ lúa gồm vụ Đông Xuân và Hè Thu, thời gian bắt đầu từ đầu tháng 12 và kết thúc vào cuối tháng 7 năm sau của một quá trình canh tác.

Hàng năm, huyện Ngã Năm bị ảnh hưởng do nước lũ của thượng nguồn từ Hậu Giang và nước mặn từ Bạc Liêu chủ yếu là dọc theo tuyến kênh Phụng Hiệp. Hiện nay, nước mặn từ Bạc Liêu đã xâm nhập đến trung tâm của huyện Ngã Năm, vượt qua hệ thống cống ngăn mặn (Huyện có hệ thống 9 cống ngăn mặn dọc theo tuyến kênh Phụng Hiệp) và xâm nhập vào hệ thống kênh trữ nước bên trong gây ra hiện trạng thiếu nước ngọt cung cấp tưới cho cây lúa. Do vậy, việc tìm các giải pháp tiết kiệm nước và tưới hiệu quả cho cây lúa ở địa điểm nghiên cứu nói riêng và cho ĐBSCL nói chung là cần thiết nhằm giảm ảnh hưởng của xâm nhập mặn và thiếu hụt nguồn nước tưới cho cây lúa ở hiện tại và trong tương lai.



Hình 1: Bản đồ huyện Ngã Năm (A) và vùng nghiên cứu (B)

Nguồn: Hồng Minh Hoàng và ctv. (2014)

### 2.2 Dữ liệu đầu vào

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

– Điều kiện ban đầu: Tổng diện tích ruộng ở vùng 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 và mực nước trữ trong kênh có thể đạt tối đa là 1.5 m và sau đó sẽ xảy ra hiện tượng chảy tràn (vào ruộng). Giới hạn của đề tài là không xét đến lượng nước thấm từ ruộng vào kênh.

– Giá trị của các hệ số được sử dụng trong mô hình được thể hiện qua (Bảng 1).

**Bảng 1: Các biến và giá trị được sử dụng trong mô hình**

Tên biến	Đơn vị	Giá trị	Tham khảo
Hệ số thấm ( $K_{sat}$ )	m/ngày	0.001	Sivapalan and Palmer, 2014
Độ ẩm đồng ruộng (FC)	$m^3/m^3$	0.58	Phân tích từ thực tế đất trồng lúa
Độ ẩm héo cây (WP)	$m^3/m^3$	0.1	Phân tích từ thực tế đất trồng lúa
Hệ số ( $p$ )		0.2	FAO., 1994
Mức nước ngầm tầng nông	m	4.5	Sở TNMT tỉnh Sóc Trăng, 2010
Chiều dài rễ ( $Z_r$ )	m	$\approx 0.3$	Đo trực tiếp tại vùng nghiên cứu
Tham số a	-	$-0,6366 + 8.10^{-4} \cdot K_{sat}$	Janssens, 2006
Tham số b	-	$-1,9165 + 0,7063 \cdot \ln(K_{sat})$	Janssens, 2006

Ghi chú: Hệ số  $p$  là phần trung bình của tổng lượng nước chứa trong đất (TAW) mà có thể bị cạn kiệt từ vùng rễ trước khi đạt giá trị điểm héo ( $RAW = pTAW$ ),  $p = 0.2$  cho cây lúa, các tham số a, b mô tả sự gia tăng mao dẫn trong đất và phụ thuộc và hệ số thấm ( $K_{sat}$ ) của từng loại đất khác nhau

**2.2 Xây dựng kỹ thuật tưới nước cho cây lúa**

Kỹ thuật tưới được xây dựng trong mô hình dựa vào cách quản lý mực nước cao nhất và thấp nhất trên ruộng của từng phương pháp. Kỹ thuật tưới áp dụng trong mô hình cân bằng nước được xây dựng theo CT 1, lượng nước cần tưới được xây dựng theo công thức CT 2 và đặc điểm của kỹ thuật tưới nước cho cây lúa tại vùng nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 2.

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

Trong đó:  $K_c$ : Hệ số cây trồng, hệ số  $K_c$  của cây trồng được sử dụng theo;  $K_s$ : 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). Mỗi giai đoạn tưới cho cây lúa, mực nước trên ruộng là khác nhau theo thời gian với  $L_{max}$  là mực nước thực tế cao nhất và  $L_{min}$  là mực nước thực tế nhỏ nhất và  $S_i$  thuộc trong khoảng giá trị  $L_{max}$  và  $L_{min}$ . Nếu  $S_i$  vượt mức  $L_{max}$  (do mưa) thì cần thoát nước ra và ngược lại, nếu  $S_i$  nhỏ hơn  $L_{min}$  thì cần bơm nước vào (CT 2).

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

**Bảng 2: Đặc điểm của kỹ thuật tưới nước cho cây lúa ở vùng nghiên cứu**

Đặc điểm kỹ thuật tưới nước	Các giai đoạn tưới nước (ngày)			
	0 - 15	15 - 60	60 - 100	100 - 115
Thời gian giữa 2 lần bơm nước (ngày)	5 - 7	9 - 10	7 - 8	Không bơm
Mức nước cao nhất ( $L_{max}$ ) (cm)	3	8	8	0
Mức nước thấp nhất ( $L_{min}$ ) (cm)	1	3	3	0

Ghi chú:  $L_{tmax}$  và  $L_{tmin}$  là mực nước thực tế cao nhất và thấp nhất biến động theo thời gian qua các giai đoạn tưới nước cho cây lúa. Kết quả trên được thu thập thông qua phỏng vấn người dân địa phương tại địa điểm nghiên cứu

**2.3 Xây dựng mô hình cân bằng nước**

**2.3.1 Nhu cầu nước cho cây lúa**

Nhu cầu nước cho cây lúa là lượng nước mất đi trong quá trình bốc thoát hơi nước và cũng là lượng nước cần cung cấp cho cây lúa trong quá trình phát triển được xác định theo công thức CT 3; trong đó, hệ số  $K_c$  cho cây lúa được sử dụng trong mô hình theo TCVN 864:2011 về công trình thủy lợi kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm. Giá trị bốc thoát hơi nước tham chiếu ( $ET_0$ ) được xác định theo phương pháp Penmen-Monteith (CT4), đây là phương pháp 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 Ánh Ngọc et al., 2006; FAO, 2012).

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (CT 3)$$

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (CT 4)$$

Trong đó:  $ET_0$ : Bốc thoát hơi nước tham chiếu (mm ngày<sup>-1</sup>);  $R_n$ : Lưới bức xạ trên bề mặt cây trồng (MJ m<sup>-2</sup> ngày<sup>-1</sup>);  $G$ : Thông lượng nhiệt của đất (MJ m<sup>-2</sup> ngày<sup>-1</sup>);  $T$ : Nhiệt độ trung bình không khí tại độ cao 2m (°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>).

### 2.3.2 Cân bằng nước trong vùng rễ

Cân bằng nước trong vùng rễ là sự biến động lượng nước trong đất tại vùng rễ của cây lúa và được tính toán dựa theo phương pháp của Allen *et al.*, (1998). Nếu mực nước trữ trong ruộng giảm xuống thấp hơn giá trị ngưỡng của của cây lúa thì xảy ra hiện trạng căng thẳng (rễ cây lúa không hút được nước) về nước và được thể hiện thông qua hệ số  $K_s$ , khi đó giá trị  $ET_c$  được tính theo công thức (CT 5).

$$ET_{adj} = K_s * K_c * ET_o \quad (CT 5)$$

Giá trị  $K_s$  được tính theo công thức CT 6.

$$K_s = \frac{TAW - Dr}{(1 - p)TAW} \quad (CT 6)$$

Trong đó:  $TAW$ : Tổng lượng nước trong đất (mm) được tính theo công thức (CT 7);  $Dr$ : Lượng nước suy giảm vùng rễ (mm) được xác định theo công thức (CT 8); và  $p$ : Giá trị % của  $TAW$  ( $p = 0.2$  cho cây lúa)

$$TAW = 1000(\theta_{FC} - \theta_{WP})Z_r \quad (CT 7)$$

$$Dr = \frac{\text{Nước trữ trong ruộng}}{\text{Diện tích ruộng} * \theta\%} (\Delta t) \quad (CT 8)$$

Trong đó:  $\theta_{FC}$ : Thể tích nước trong đất tại độ ẩm thủy dung ( $m^3/m^3$ );  $\theta_{WP}$ : Thể tích nước tại điểm héo nơi cây trồng không thể hút được nước ( $m^3/m^3$ );  $Z_r$ : Chiều sâu của rễ (m); và,  $\theta\%$ : Phần trăm độ ẩm của đất theo thể tích được xác định theo Lê Anh Tuấn, (2005) và được thể hiện qua công thức CT 9.

$$\theta\% = \frac{\text{Trọng lượng nước trong đất}}{\text{Trọng lượng đất nguyên trạng}} * 100 \quad (CT 9)$$

– Lượng nước mao dẫn từ mực nước ngầm nông được tính theo CT 10. Giá trị này được đưa vào tính toán trong mô hình nhằm mô phỏng chính xác hơn về sự biến động nguồn nước trong quá trình canh tác lúa tại các vùng có điều kiện tự nhiên khác nhau và là giá trị mới được thêm vào mô hình so với nghiên cứu trước của Hồng Minh Hoàng và *ctv.*, (2014).

$$CR = \exp\left(\frac{\ln(z)-b}{a}\right) \quad (CT 10)$$

Trong đó:  $CR$ : Nước mao dẫn lên (mm/ngày);  $Z$ : Độ sâu của mực nước ngầm nông (m); và,  $a, b$ : Tham số cho từng loại đất khác nhau và phụ thuộc vào độ thấm bão hòa ( $K_{sat}$ ) theo Janssens, (2006).

– Lượng nước thấm lậu được tính theo công thức CT 11

$$Dp = K_{sat} * S_r \quad (CT 11)$$

Trong đó:  $Dp$ : Độ thấm lậu của đất (mm/ngày);  $S$ : Diện tích ruộng hoặc kênh ( $m^2$ ); và,  $K_{sat}$ : Hệ số thấm của đất (mm/ngày). Tùy vào loại đất mà có hệ số thấm khác nhau, giá trị hệ số thấm  $K_{sat}$  trong nghiên cứu này là 1 mm/ngày dựa theo nghiên cứu của Sivapalan and Palmer, (2014).

### 2.3.3 Biến động nguồn nước giữa ruộng và kênh nội đồng

Mô hình cân bằng nước trong hệ thống canh tác lúa thể hiện sự biến động của lượng nước vào và lượng nước ra trong hệ thống được dựa theo (Lê Anh Tuấn, 2005). Mô hình mô phỏng biến động nguồn nước được xây dựng theo các điều kiện thực tế trong quá trình canh tác lúa của người dân tại vùng nghiên cứu.

– Đối với kênh, lượng nước vào bao gồm từ: lượng mưa, trạm bơm, lượng nước chảy tràn từ ruộng và lượng nước ra bao gồm từ: bốc hơi, thấm, thoát nước và được thể hiện qua công thức CT 12.

$$f(x_1) = (R_c + P + C_r) - (I_c + E + D) \quad (CT 12)$$

– Đối với ruộng, lượng nước vào bao gồm từ lượng mưa, lượng nước chảy tràn từ kênh và lượng nước ra bao gồm từ bốc thoát hơi cây trồng, thấm, thoát nước và được thể hiện qua công thức CT 13.

$$f(x_2) = (R_r + C_c) - (I_r + ET_c) \quad (CT 13)$$

– Sự tác động giữa nguồn nước trong kênh và nguồn nước trong ruộng của hệ thống canh tác lúa được thể hiện qua công thức CT 14.

$$f(x) = f(x_1) + f(x_2) \\ = (R_c + R_r + P + C_r + C_c) - (I_c + E + I_r + ET_c + D) \quad (CT 14)$$

Trong đó:  $R_c$ : Nước vào kênh từ mưa ( $m^3/ngày$ );  $R_r$ : Nước vào ruộng từ mưa ( $m^3/ngày$ );  $C_r$ : Nước vào kênh từ ruộng ( $m^3/ngày$ );  $C_c$ : Nước vào ruộng từ kênh ( $m^3/ngày$ );  $P$ : Nước vào kênh từ trạm bơm ( $m^3/ngày$ );  $I_c$ : Lượng nước mất do thấm của kênh ( $m^3/ngày$ );  $I_r$ : Lượng nước mất do thấm của ruộng ( $m^3/ngày$ );  $E$ : Lượng nước bốc hơi từ kênh ( $m^3/ngày$ );  $ET_c$ : Lượng nước bốc thoát hơi ( $m^3/ngày$ ); và,  $D$ : Tiêu nước ( $m^3/ngày$ ).

– Sự tác động giữa nguồn nước trong kênh và nguồn nước trong ruộng của hệ thống canh tác lúa có 4 yếu tố quan trọng đó là: Lượng nước vào kênh do bơm ( $P$ ); Lượng nước vào ruộng từ kênh ( $C_c$ ); Lượng nước vào kênh từ ruộng ( $C_r$ ); và Lượng

nước thoát ra ngoài (D) được thể hiện qua các phương trình sau:

+ Lượng nước trữ trong ruộng khác nhau qua các giai đoạn phát triển của cây lúa dẫn đến lượng nước bơm vào kênh cũng khác nhau theo nhu cầu nước của cây lúa. Lượng nước bơm vào kênh được xây dựng theo công thức CT 15.

$$P = \text{If } TIME < \text{time and time} \leq TIME \text{ and } Q_r + R_r + C_c \leq S_r * H_{min} \text{ then } S_r * H_{max} - (Q_r + R_r) \text{ else if... then... else } 0 \quad (CT 15)$$

*Trong đó:*  $Q_r$ : Lượng nước trữ trong ruộng ( $m^3$ );  $S_r$ : Diện tích ruộng ( $m^2$ ),  $H_{max}$  và  $H_{min}$ : Mức nước tưới cao nhất và thấp nhất biến động theo thời gian qua các giai đoạn tưới nước cho cây lúa trong mô hình.

+ Nước vào kênh từ trạm bơm làm cho mực nước kênh tăng lên và chảy tràn vào ruộng cung cấp nước cho cây lúa và được xác định qua công thức CT 16.

$$C_c = \text{If } C_r > 0 \text{ then } 0 \text{ else if } TIME < \text{time and time} \leq TIME \text{ and } Q_r < S_r * H_{max} \text{ and } Q_c > S_n * 1.5 \text{ then } Q_c - S_c * 1.5 \text{ else if... then... else } 0 \quad (CT 16)$$

*Trong đó:*  $Q_c$ : Lượng nước trữ trong kênh ( $m^3$ );  $S_c$ : Diện tích kênh ( $m^2$ ) và giá trị 1.5 m là mực nước tại đó nước chảy tràn vào ruộng.

+ Trong quá trình canh tác, nếu gặp thời tiết do mưa hay lũ lụt dẫn đến lượng nước trong ruộng tăng lên quá mức khi đó nước trong ruộng sẽ chảy vào kênh và được thể hiện qua công thức CT 17.

$$C_r = \text{If } TIME < \text{time and time} \leq TIME \text{ and } Q_r > D_r * H_{max} \text{ then } Q_r - S_r * H_{max} \text{ else if... then... else } 0 \quad (CT 17)$$

+ Lượng nước từ ruộng chảy vào kênh làm cho lượng nước trong kênh tăng lên đến khi lượng nước trong kênh vượt khả năng chứa thì thoát nước ra ngoài và được thể hiện qua công thức CT 18.

$$D = \text{If } TIME < \text{time and time} \leq TIME \text{ and } Q_r > S_r * H_{max} \text{ and } (Q_c + C_r) > S_c * H_{max} \text{ then } (Q_c + C_r) - S_c * H_{max} \text{ else if... then... else } 0 \quad (CT 18)$$

Trong các phương trình trên, thời gian (TIME) và mực nước ( $H_{max}$ ;  $H_{min}$ ) thay đổi theo cách tưới và áp dụng chung cho các kỹ thuật tưới khác nhau. Các phương pháp còn lại được xây dựng dựa trên các số liệu, đặc điểm cây lúa và các điều kiện tự nhiên của vùng nghiên cứu.

## 2.4 Hiệu chỉnh và kiểm định

Kỹ thuật tưới tại vùng nghiên cứu được chọn làm cơ sở để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình do các số liệu điều tra thực tế và điều kiện tự nhiên sẵn có. Dựa vào mô hình mô phỏng kỹ thuật tưới vùng nghiên cứu đã được kiểm định, các kỹ thuật tưới còn lại sẽ được điều chỉnh thời gian (TIME) và mực nước ( $H_{max}$  và  $H_{min}$ ) qua các giai đoạn tưới nước cho cây lúa để phù hợp với cơ sở lý thuyết của các kỹ thuật tưới (Đặc điểm con bản của các phương pháp tưới được thể hiện ở phần phụ lục cuối bài).

### Phương pháp hiệu chỉnh

Phương pháp hiệu chỉnh dựa theo nghiên cứu của Hồng Minh Hoàng và ctv. (2014), là hiệu chỉnh biến “Trạm bơm”. Các bước hiệu chỉnh bao gồm:

– **Bước 1:** Hiệu chỉnh giá trị  $H_{max}$  trong mô hình: Hiệu chỉnh giá trị  $H_{max}$  để kết quả của mô hình phù hợp với kết quả thực tế về mực nước cao nhất ( $L_{max}$ )

– **Bước 2:** Hiệu chỉnh giá trị  $H_{min}$  trong mô hình: Sau khi hiệu chỉnh  $H_{max}$  tiến hành hiệu chỉnh  $H_{min}$  để kết quả của mô hình phù hợp với kết quả thực tế về mực nước thấp nhất ( $L_{min}$ ).

– **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 tưới nước trong quá trình phát triển của cây lúa. Trong nghiên cứu này, khoảng chấp nhận sai lệch mực nước của mô hình và thực tế trong khoảng  $\pm 0.5$  cm.

### Phương pháp kiểm định

Các yếu tố của các biến trong mô hình được xây dựng bộ dữ liệu của vụ Đông Xuân (ĐX) và được kiểm định trong bộ số liệu của vụ Hè Thu (HT). Các chỉ tiêu để kiểm định mô hình là về số lần bơm nước và mực nước (cao nhất và thấp nhất) qua các giai đoạn tưới trong quá trình phát triển của cây lúa. Ngoài ra, kết quả mô phỏng của mùa vụ ĐX được chọn để so sánh tính hiệu quả của các kỹ thuật tưới khác nhau vì trong thời gian này quá trình canh tác ít bị ảnh hưởng bởi mưa nên việc so sánh sẽ thể hiện đúng với thực tế về lượng nước tưới và số lần bơm nước cần thiết cho cây lúa.

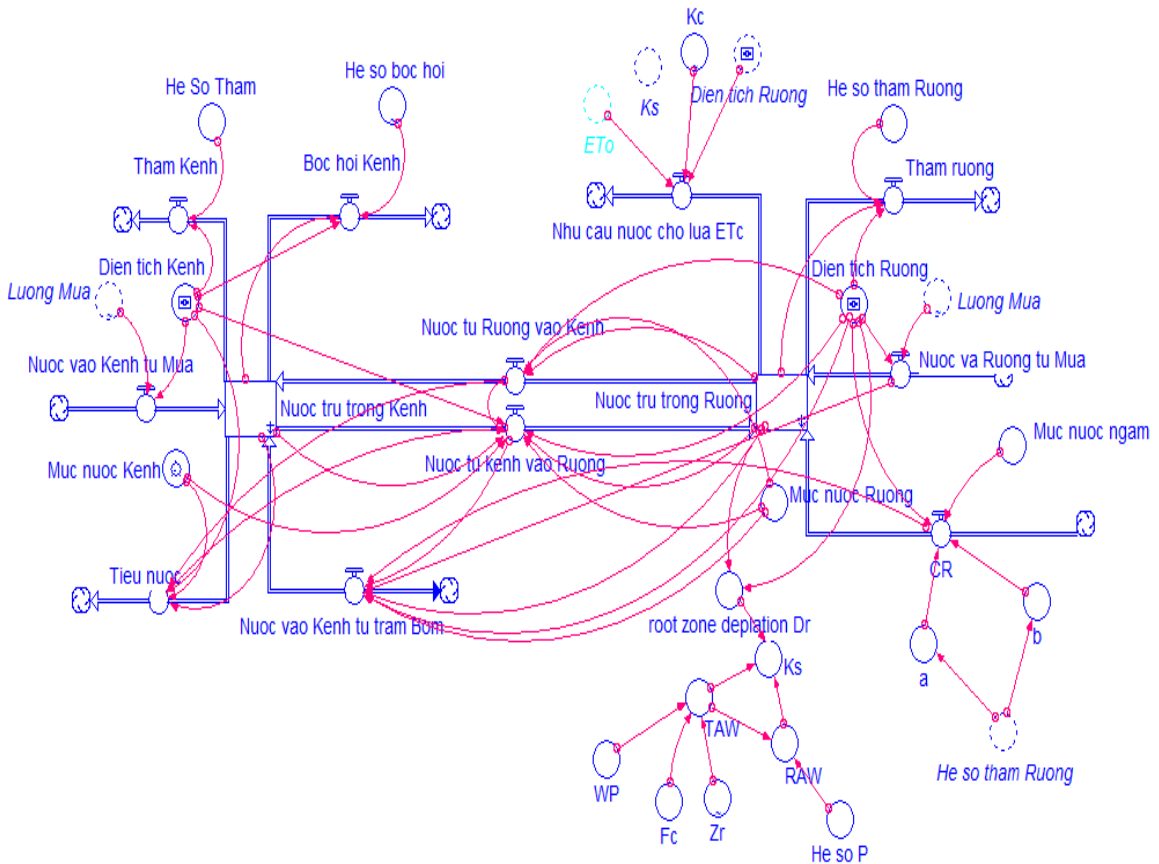
## 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

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

Những yếu tố liên quan có ảnh hưởng đến sự biến động nguồn nước giữa ruộng và kênh nội

đồng trong quá trình canh tác lúa tại vùng nghiên cứu được tổng hợp và xây dựng thành mô hình hệ thống biến đổi động theo thời gian. Mô hình đã thể hiện chi tiết mối quan hệ của các yếu tố liên quan có tác động đến sự biến đổi nguồn nước giữa ruộng và hệ thống kênh nội đồng. Ngoài ra, nghiên cứu này còn đưa vào mô hình ảnh hưởng của sự mao dẫn của nguồn nước ngầm tầng nông đến biến động nguồn nước ruộng trong quá trình canh tác lúa (Hình 2). Trong mô hình, mỗi biến giá trị thể hiện một chức năng riêng biệt nhưng có liên kết với nhau tạo thành hệ thống bởi các vector (hay mũi tên liên kết) và ảnh hưởng đến hoạt động của toàn

hệ thống. Nhìn chung, mô hình cân bằng nước đã hệ thống hóa các yếu tố tác động đến sự biến động của nguồn nước giữa ruộng và hệ thống kênh nội đồng trong tự nhiên tại vùng nghiên cứu, giúp tiết kiệm thời gian và chi phí làm thực nghiệm. Bên cạnh đó, mô hình có thể đánh giá mức độ ảnh hưởng của biến giá trị khác nhau đến kết quả đầu ra của hệ thống và cho ra kết quả nhanh chóng, làm cơ sở cho các lựa chọn, các giải pháp với nhiều yếu tố có mối quan hệ phức tạp với nhau mà trong thực tế cần phải tốn nhiều thời gian và chi phí làm thực nghiệm đánh giá.



**Hình 2: Mô hình cân bằng nước giữa ruộng và kênh nội đồng ở vùng nghiên cứu**

### 3.2 Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

#### 3.2.1 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 3). Kết quả mô phỏng của mô hình về mực nước (mực nước cao nhất và thấp nhất) đối với giá trị  $H_{tmin}$  và  $H_{tmax}$  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 3). 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 biên “Trạm bơm”, kết quả giá trị  $H_{tmin} = (1.9, 3.9, 4.35, 0$  cm) và  $H_{tmax} = (4.1, 9.4, 10, 0$  cm) lần lượt qua các giai đoạn tưới nước cho cây lúa. Sự chênh lệch giữa giá

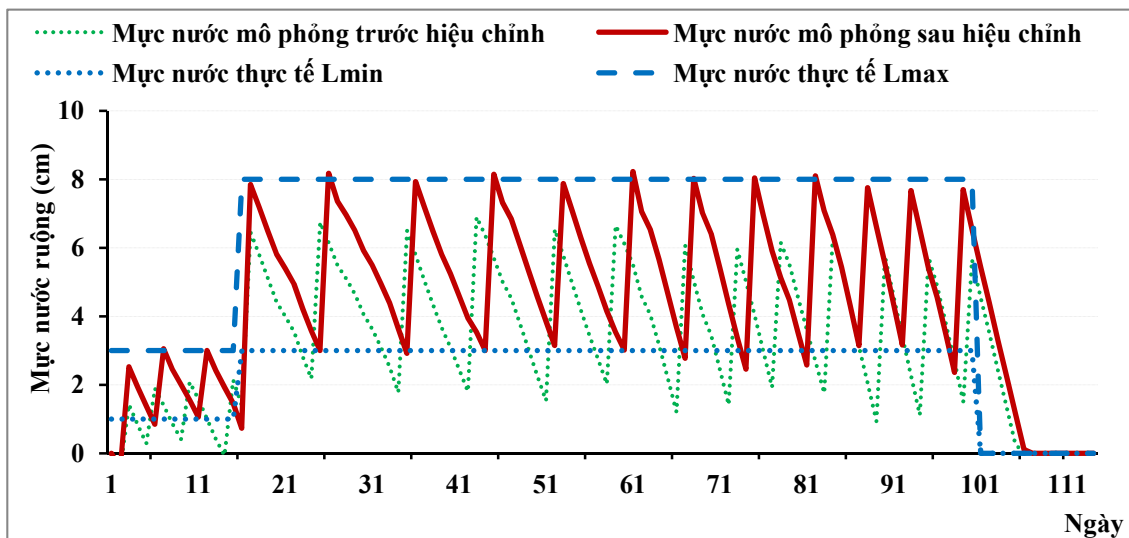
trị  $H_{min}$  và  $H_{tmax}$  trong mô hình so với giá trị thực tế  $L_{min}$  và  $L_{max}$  nguyên nhân là do bước thời gian mô phỏng và sai số nhất định của mô hình. Mô hình cân bằng nước được mô phỏng ở bước thời gian là 1 ngày trong khi đó ngoài thực tế sự biến động về nguồn nước diễn ra liên tục và điều này không thể

mô phỏng trong mô hình do số liệu không được đáp ứng như trong thực tế. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng của mô hình cân bằng nước không sai lệch đáng kể so với kết quả thực tế được thu thập trực tiếp tại vùng nghiên cứu.

**Bảng 3: Kết quả hiệu chỉnh mực nước trên ruộng (cm) qua các giai đoạn tưới cho cây lúa tại vùng nghiên cứu trong vụ ĐX**

		Các giai đoạn tưới (ngày)							
		0 - 15		15 - 60		60 - 100		100 - 115	
		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>
$HC_i$	MP	...	...	...	...	...	...	...	...
	TT	...	...	...	...	...	...	...	...
$HC_f$	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;  $HC_i$ : Các lần hiệu chỉnh;  $HC_f$ : Hiệu chỉnh cuối cùng; TB: Trung bình (cm);  $L_{min}$ : Mực nước thấp nhất;  $L_{max}$ : Mực nước cao nhất.



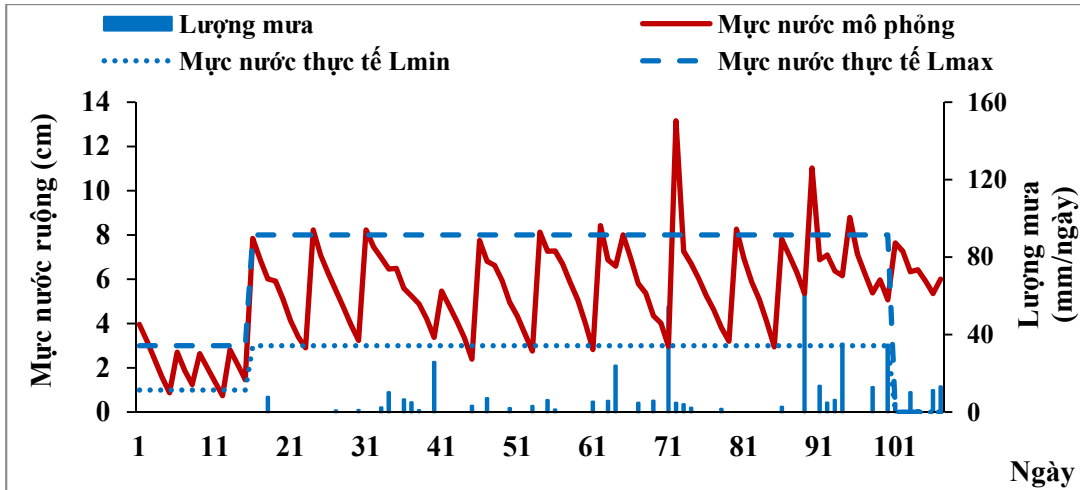
**Hình 3: Kết quả mô phỏng của mô hình về kỹ thuật tưới nước cho cây lúa so với thực tế tại vùng nghiên cứu trong vụ ĐX**

### 3.2.2 Kiểm định mô hình

Trong vụ HT, mực nước trên ruộng biến động nhiều hơn so với vụ ĐX do ảnh hưởng của mưa trong thời gian này nhưng kết quả mô phỏng của mô hình về mực nước ruộng (cao nhất và thấp nhất) qua các giai đoạn tưới nước cho cây lúa vẫn phù hợp so với thực tế (Hình 4). Sự ảnh hưởng của mưa làm cho mực nước ruộng thay đổi đột ngột,

thể hiện cụ thể ở Hình 4 là sự biến đổi xung quanh các ngày thứ 71 và 91, nhưng mô hình đã tự động điều chỉnh giá trị này về phù hợp với giá trị thực tế. 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 cây lúa và thể hiện được cách thức hoạt động của mô hình (động) là tự động thay đổi kết quả khi giá trị đầu vào thay đổi nhưng không làm thay đổi tính đúng của hệ thống.





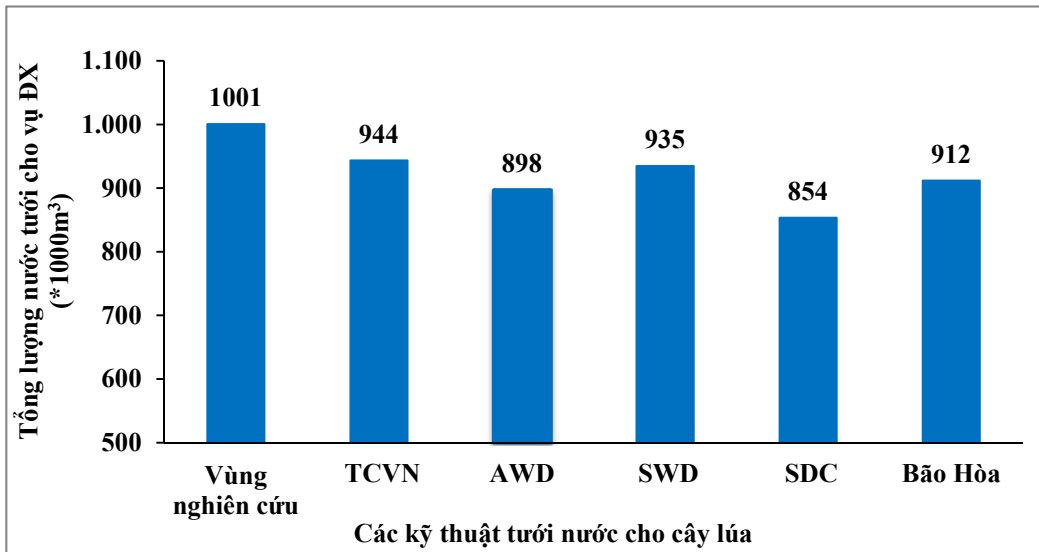
Hình 4: Kết quả mô phỏng của mô hình về kỹ thuật tưới nước cho cây lúa so với thực tế tại vùng nghiên cứu trong vụ HT

### 3.3 So sánh hiệu quả của các kỹ thuật tưới cho cây lúa

#### 3.3.1 Lượng nước cung cấp cho cây lúa của các kỹ thuật tưới khác nhau

Các kỹ thuật tưới khác nhau được điều chỉnh thời gian (*TIME*) và mực nước ( $H_{max}$  và  $H_{min}$ ) qua các giai đoạn tưới nước cho cây lúa và được hiệu chỉnh để phù hợp với cơ sở lý thuyết của các kỹ thuật tưới. Kết quả mô phỏng lượng nước tưới của các kỹ thuật tưới nằm trong khoảng từ 854 ngàn  $m^3/vụ$  đến 1 triệu  $m^3/vụ$ ; trong đó, phương pháp SDC có lượng nước tưới thấp nhất 854 ngàn  $m^3/vụ$  và phương pháp tại vùng nghiên cứu có lượng

nước cao nhất khoảng 1 triệu  $m^3/vụ$  (Hình 5). Xét về lượng nước tưới thấp nhất cho thấy, kỹ thuật tưới ngập khô xen kẽ (AWD) đứng thứ 2 (898 ngàn  $m^3/vụ$ ), kỹ thuật tưới bão hòa đứng thứ 3, kỹ thuật tưới SWD đứng thứ 5 và kỹ thuật tưới theo TCVN đứng thứ 5. Mô hình cân bằng nước sử dụng chung bộ số liệu và điều kiện tự nhiên của vùng nghiên cứu cho các kỹ thuật tưới để mô phỏng lượng nước cần cung cấp cho cây lúa nên kết quả mô phỏng có thể sai lệch so với kết quả ban đầu của các kỹ thuật tưới. Nhìn chung, lượng nước cần cung cấp cho cây lúa các kỹ thuật tưới khác nhau được xác định thông qua mô hình cân bằng nước (Hình 5).

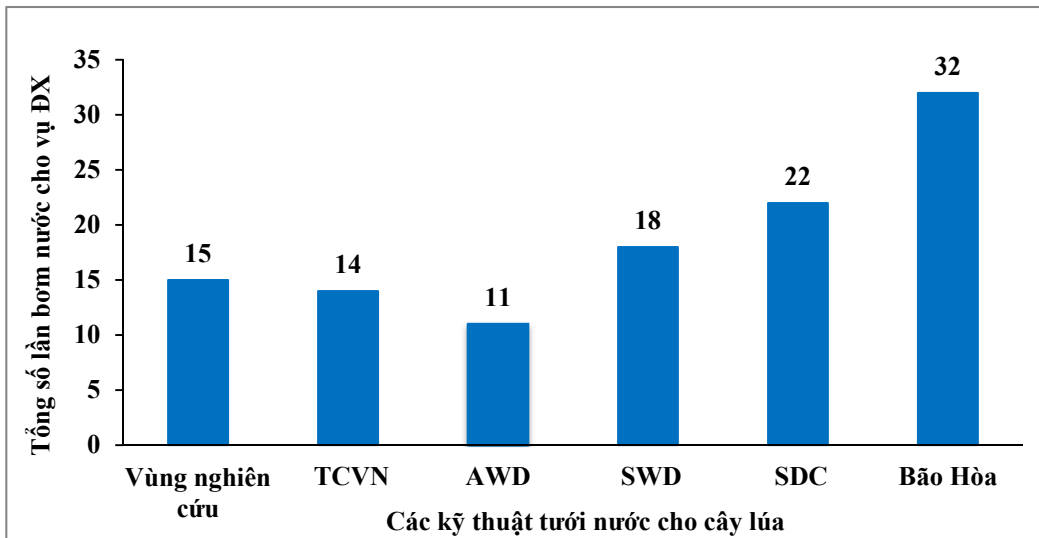


Hình 5: Tổng lượng nước tưới của các kỹ thuật tưới cho cây lúa tại vùng nghiên cứu vụ ĐX

3.3.2 Số lần bơm nước của các kỹ thuật tưới cho cây lúa

Kết quả mô phỏng số lần bơm nước của các kỹ thuật tưới dao động trong khoảng từ 11 – 32 lần/vụ, trong đó, phương pháp AWD có số lần bơm nước thấp nhất (11 lần/vụ) và phương pháp bão hòa có số lần bơm nước cao nhất 32 lần/vụ. Phương pháp SDC có tổng lượng nước tưới thấp nhất nhưng ngược lại có số lần bơm nước khác cao đứng thứ 2 trong các kỹ thuật tưới (22 lần/vụ) (Hình 6). Kỹ thuật tưới tại vùng nghiên cứu có lượng nước tưới cao nhất nhưng có số lần bơm

nước thấp hơn so với các phương pháp khác và đứng thứ 3 về số lần tưới thấp nhất (15 lần/vụ). Các kỹ thuật tưới nước cho cây lúa được nghiên cứu và áp dụng trong điều kiện tự nhiên khác nhau, nhưng trong nghiên cứu này các kỹ thuật tưới được áp dụng bộ số liệu và điều kiện tự nhiên tại vùng nghiên cứu nên kết quả mô phỏng có thể khác với kết quả thực tế của các kỹ thuật tưới. Ví dụ: đối với hệ thống bơm nước thì phụ thuộc vào điều kiện tự nhiên thực tế, cơ sở vật chất hiện có, hệ thống thủy lợi... sẽ ảnh hưởng đến số lần bơm, thời gian bơm nước nhưng vẫn đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật của các kỹ thuật tưới khác nhau.



Hình 6: Tổng số lần bơm nước trong vụ ĐX của các kỹ thuật tưới khác nhau

4 KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng của mô hình cân bằng nước cho thấy, kỹ thuật tưới nước cho cây lúa tại địa phương tốn nhiều lượng nước hơn so với các kỹ thuật tưới khác. Trong các kỹ thuật tưới nước cho cây lúa thì kỹ thuật SDC có lượng nước tưới thấp nhất kể đến là kỹ thuật AWD, Bão Hòa, SWD và TCVN. Về số lần bơm tưới, kỹ thuật tưới AWD có số lần tưới thấp nhất, kể đến là TCVN, Vùng nghiên cứu, SWD, SCD, Bão Hòa và xét tổng quan chung về lượng nước và số lần bơm tưới thì kỹ thuật tưới AWD là hiệu quả nhất so với các kỹ thuật tưới khác. Các kỹ thuật tưới còn lại không được chọn là giải pháp tưới hiệu quả do có lượng nước tưới quá lớn hay có số lần bơm nước quá nhiều nhưng các kỹ thuật tưới nước này vẫn có thể là giải pháp hiệu quả cho các yêu cầu lựa chọn khác. Kết quả nghiên cứu làm có thể làm cơ sở cho các cơ quan quản lý địa phương trong việc lựa chọn giải pháp tưới nước hiệu quả cho cây lúa nhằm

giảm tác động của hiện trạng thiếu nước tưới như ở vùng nghiên cứu và thích ứng với ảnh hưởng của biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng đến nguồn tài nguyên nước, đặc biệt đây là vùng đang bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn.

Mô hình cân bằng nước, đã hệ thống hóa các yếu tố tác động đến sự biến động nguồn nước giữa ruộng và hệ thống kênh nội đồng tại vùng nghiên cứu, là công cụ giúp đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đến sự biến động nguồn nước trong quá trình canh tác lúa và đưa ra các giải pháp thích ứng.

Mô hình cân bằng nước trong nghiên cứu này đánh giá tổng quan các kỹ thuật tưới nước khác nhau theo điều kiện tự nhiên cụ thể tại vùng nghiên cứu; do vậy, khi áp dụng để mô phỏng cho điều kiện tự nhiên khác cần thay đổi giá trị đầu vào và kiểm định lại thực tế trước khi đánh giá hay lựa chọn giải pháp thông qua kết quả mô hình.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ từ dự án Wageningen, Hà Lan trong khuôn khổ hợp tác nghiên cứu với Trường Đại học Cần Thơ về “Phát triển nông nghiệp, thủy sản và môi trường dựa trên những chiến lược thích ứng với biến đổi khí hậu cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long”. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của dự án Wageningen, Hà Lan và các thành viên trong suốt thời gian thực hiện đề tài nghiên cứu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Allen, R.G., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirement. Irrigation and Drainage Paper n.56. FAO, Rome, Italy.
- Costanza, R., D. Duplisa, and U. Kautsky. 1998. Ecological Modelling on modelling ecological and economic systems with STELLA. *Ecol. Modell.* 110: 1–4.
- Costanza, R., and S. Gottlieb. 1998. Modelling ecological and economic systems with STELLA: Part II. *Ecol. Modell.* 112(2-3): 81–84.
- Costanza, R., and M. Ruth. 1998. Using Dynamic Modeling to Scope Environmental Problems and Build Consensus. *Environ. Manage.* 22(2): 183–95.
- Costanza, R., and A. Voinov. 2001. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. *Ecol. Modell.* 143(1-2): 1–7.
- 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.
- FAO. 2012. The ETo Calculator.
- FAO. 1994. Water quality for agriculture.
- Hồng Minh Hoàng, Văn Phạm Đăng Trí, và Nguyễn Hiếu Trung. 2014. Quản lý nguồn nước mặt cho hệ thống canh tác lúa vùng ven biển Đồng Bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Đại Học Cần Thơ* 35a (ISSN 1859-2333): 90–103.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Assessment 1: 976.
- Janssens, P. 2006. Invloed van een ondiepe grondwatertafel op de planning van irrigaties voor intensieve groenteteelt. Master dissertation, Fac. Bio-ingenieurswetenschappen, K.U.Leuven University, Leuven, Belgium.
- Lê Anh Tuấn. 2005. Nhu cầu nước và nhu cầu tối cho cây trồng. p. 17–40. Trong *Hệ thống tưới tiêu*.
- 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.
- Mekong ARCC. 2013. Mekong adaptation and resilience to climate change (Mekong ARCC).
- Meyer, W.S. 1999. Standard reference evaporation calculation for inland, south eastern Australia.
- 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. 432 trang.
- Nguyen Hong Tin, Dang Kieu Nhan, and To Lan Phuong, 2014. Effectiveness of alternate wetting and drying (awd) technique rice production adapting to saline intrusion and water shortage in the mekong delta, Vietnam (case study in soc trang province). *International Rice Congress* 51-52.
- Nguyễn Thị Bích Hằng. 2011. Nước và tưới tiết kiệm cho cây lúa. *Công thông tin điện tử tỉnh Sóc Trăng*.
- 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.
- 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.
- Peter, C., and R. Greet. 2008. Climate Change & Human Development in Vietnam: A case study for the Human Development Report 2007/2008. *Oxfam UNDP*.
- Phạm Phước Nhân, Cù Ngọc Quý, Trần Phú Hữu, Lê Văn Hòa, Ben McDonald và Tô

- Phúc Tường, 2013. Ảnh hưởng của kỹ thuật tưới ngập khô xen kẽ, phương thức gieo trồng, giảm phân lân lên sinh trưởng và năng suất lúa OM5451 vụ Đông Xuân 2011 - 2012. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. Phần B: Nông nghiệp, Thủy sản và Công nghệ Sinh học: 28 (2013): 103-111.
- 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.
- Rasmussen, P. 2013. Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17(1): 421–443.
- Simonovic, S.P. 2002. World water dynamics: global modeling of water resources. *J. Environ. Manage.* 66(3): 249–267.
- Sivapalan, S., and C. Palmer. 2014. Measurement of deep percolation losses under flooded rice system in Cununurra clay soil.
- Sở TNMT tỉnh Sóc Trăng. 2010. Báo cáo điều tra hiện trạng khai thác sử dụng nước dưới đất.
- Tabbal, D., B. Bouman, S. Bhuiyan, and E. Sibayan. 2002. Improving lodging resistance of direct wet-seeded rice. *Philipp. J. Crop Sci.* 27(2): 53–62.
- TCVN 8641:2011. Công trình thủy lợi kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm. Hà Nội.
- 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.
- Triệu Ánh Ngọc, Nguyễn Thị Kim Oanh, Lê Minh Tuấn, and Đặng Hữu Phụng. 2006. Tính toán tối ưu nhu cầu nước cho cây trồng. Trường Đại học Thủy Lợi cơ sở 2: 1–37.
- 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.
- Tuong, T.P., and B.A.M. Bouman. 2003. Rice Production in Water-scarce Environments. *Water* 5: 53–67.
- 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.
- Wassmann, R., N. Hien, C. Hoanh, and T. Tuong. 2004. Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. *Clim. Change*: 89–107.
- Yu, B., T. Zhu, C. Breisinger, and N. Hai. 2010. Impacts of climate change on agriculture and policy options for adaptation. (August).
- Zhai, F., and J. Zhuang. 2009. Agricultural impact of climate change: a general equilibrium analysis with special reference to Southeast Asia.
- Zhi, M. 2002. Water efficient irrigation and environmentally sustainable irrigated rice production in China. *Int. Comm. Irrig. Drain.*: 1–15.
- Ziv, G., B. E. N. S. R.-I. I, and L. S.A. 2012. Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *PNAS* 109 no. 15: 5609–5614.