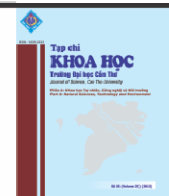




Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ
website: sj.ctu.edu.vn



ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU VÀ NƯỚC TƯỚI THAY ĐỔI LÊN NĂNG SUẤT LÚA Ở PHƯỜNG TRÀ NÓC, THÀNH PHỐ CẦN THƠ

Hồng Minh Hoàng¹ và Văn Phạm Đăng Trí²

¹ Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Cần Thơ

² Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 26/02/2015

Ngày chấp nhận: 17/08/2015

Title:

Impacts of climate change and available (surface) water resources for irrigation on rice yield in the alluvial and flooding-affected floodplain in the Tra Noc ward of Can Tho city

Từ khóa:

Nguồn nước thay đổi, biến đổi khí hậu, thay đổi mưa và nhiệt độ, nước tưới cho nông nghiệp, mô hình AquaCrop

Keywords:

Water resource changes, climate change, changing rainfall and temperature, irrigation wather for agriculture, AquaCrop model

ABSTRACT

Climate change, leading to changes of water resources, has caused negative impacts on the Vietnamese Mekong Delta, especially the agriculture; however, little study was done in order to understand possible impacts of such changes on the food security issues. This study is to understand possible impacts of climate change and different irrigational schemes on rice productivity in the Tra Noc ward of Can Tho city. The AquaCrop model was modified by introducing irrigational schemes into the model to meet the actual condition of the irrigated rice farming system in the study area. The simulated results showed that in the future the increase of rainfall and temperature would lead to the great fluctuation of irrigated water, resulting in minor impacts on the rice yield of different crop seasons. However, different irrigational schemes led to great changes on rice productivity. The obtained results showed that with the modification of the AquaCrop model, the model could be used to simulate changes of rice yield of the irrigated rice farming system according to changes of water supply and different scenarios of rainfall changes. In addition, this study is also to provide local governments an insight into suitable adaptation strategies to ensure the food security for the study area in specific and the Vietnamese Mekong Delta in general.

TÓM TẮT

Biến đổi khí hậu (BĐKH) dẫn đến sự thay đổi nguồn nước là nguyên nhân tác động tiêu cực đến Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đặc biệt là trong lĩnh vực nông nghiệp nhưng lại có ít nghiên cứu để hiểu rõ tác động của sự thay đổi này đến vấn đề an ninh lương thực. Nghiên cứu này nhằm mục đích tìm hiểu về tác động của BĐKH và sự thay đổi phương pháp tưới tưới đến năng suất lúa ở vùng chịu nhiều tác động của lũ hàng năm ở ĐBSCL. Mô hình AquaCrop được sử dụng trong nghiên cứu này với phương pháp tưới được thiết kế lại theo nhu cầu tưới thực tế của cây lúa tại khu vực nghiên cứu. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, trong tương lai lượng mưa và nhiệt độ tăng dẫn đến sự biến động lớn về nguồn nước tưới và tác động không đáng kể đến năng suất lúa ở các mùa vụ khác nhau. Tuy nhiên, việc thay đổi phương pháp tưới sẽ ảnh hưởng lớn đến sự thay đổi năng suất lúa. Kết quả đạt được của nghiên cứu cho thấy mô hình AquaCrop có thể được sử dụng để mô phỏng ảnh hưởng của các điều kiện khí hậu và phương pháp tưới khác nhau lên năng suất cây lúa. Ngoài ra, nghiên cứu này cung cấp cho chính quyền địa phương một cái nhìn sáng suốt trong các kế hoạch thích ứng thích hợp để đảm bảo an ninh lương thực cho khu vực nghiên cứu nói riêng và ĐBSCL nói chung.

1 GIỚI THIỆU

Biến đổi khí hậu (BĐKH) đã và đang làm thay đổi các đặc tính khí hậu và điều kiện tự nhiên, dẫn đến một số ảnh hưởng tiêu cực đến cuộc sống của con người trên toàn thế giới (Patz *et al.*, 2005). Việt Nam là một trong những quốc gia có sản lượng gạo xuất khẩu lớn nhất thế giới và được đánh giá là một trong những quốc gia sẽ bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi các tác động của BĐKH (Dasgupta *et al.*, 2007; GFDRR, 2011; Bộ Tài Nguyên và Môi Trường, 2012); điều này sẽ ảnh hưởng đến vấn đề an ninh lương thực và sản lượng xuất khẩu gạo của Việt Nam (UNU-WIDER *et al.*, 2012). Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nằm ở khu vực hạ lưu sông Mekong, có vai trò quan trọng trong nền nông nghiệp nói chung của Việt Nam, đặc biệt là sản xuất lúa (chiếm khoảng 50% diện tích nông nghiệp của toàn đồng bằng và 90% sản lượng xuất khẩu gạo cả nước (Tổng cục Thống kê, 2013). Hiện nay, một số tỉnh ĐBSCL đã áp dụng tiến bộ khoa học kỹ thuật vào sản xuất nông nghiệp như: Viet GAP, các tiêu chuẩn sản xuất sạch như: Euro GAP, và Global GAP và các mô hình sản xuất cải tiến như: mô hình lúa-tôm kết hợp, mô hình cánh đồng mẫu lớn đã mang lại hiệu quả kinh tế cao (Phan Trí Hiếu, 2010; Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2011).

ĐBSCL là vùng đất ngập nước lớn nhất Việt Nam, có tính đa dạng sinh học cao và nhạy cảm với sự thay đổi của các yếu tố khí hậu (Tuan and Wyseure, 2007; Käkönen, 2008). Theo kết quả nghiên cứu về phân vùng sinh thái nông nghiệp cho ĐBSCL của Võ Tòng Xuân and Matsui, 1988, ĐBSCL được chia thành 6 vùng sinh thái khác nhau; trong đó, khu vực phù sa ngọt và ngập lũ hằng năm chiếm diện tích lớn nhất (khoảng 30% tổng diện tích của ĐBSCL) và đây là vùng có điều kiện tự nhiên thuận lợi cho sản xuất nông nghiệp. Tuy vậy, sự thay đổi của các điều kiện tự nhiên (bao gồm sự thay đổi của lượng mưa, nhiệt độ, thay đổi nguồn tài nguyên nước mặt và xuất hiện điều kiện thời tiết cực đoan) đã làm thay đổi cơ cấu sản xuất nông nghiệp ĐBSCL (Nguyễn Văn Thắng *et al.*, 2011; Nhan *et al.*, 2011; Van *et al.*, 2012; Mekong ARCC, 2013). Bên cạnh đó, các điều kiện khí hậu được dự báo là sẽ thay đổi theo chiều hướng cực đoan và gây ảnh hưởng bất lợi cho hoạt động sản xuất nông nghiệp ở ĐBSCL trong tương lai; do vậy, nghiên cứu này sẽ góp phần làm rõ hơn tác động của BĐKH (bao gồm: sự thay đổi lượng mưa, nhiệt độ và nguồn nước mặt) đến năng suất lúa ở phường Trà Nóc, Tp Cần Thơ thuộc khu vực phù sa ngọt và ngập lũ hằng năm.

Nghiên cứu sử dụng mô hình AquaCrop (mô tả mối quan hệ giữa lượng nước tưới và năng suất cây trồng (Stricevic *et al.*, 2011) được xây dựng bởi tổ chức Lương Nông của Liên Hợp Quốc (FAO) để đánh giá tác động của các yếu tố khí hậu và lượng nước tưới đến năng suất lúa. Mô hình AquaCrop được đánh giá dễ sử dụng với kết quả mô phỏng đáng tin cậy khi mô phỏng năng suất của một số loại cây trồng (Steduto *et al.*, 2009; Masanganise *et al.*, 2012; Raes *et al.*, 2012) cũng như có thể được ứng dụng nhằm mô phỏng ảnh hưởng của các phương pháp tưới (Geerts *et al.*, 2010) và tác động của biến đổi khí hậu lên năng suất cây trồng (Mainuddin *et al.*, 2011). Để đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình AquaCrop, Andarzian *et al.*, (2011) đã mô phỏng lượng nước tưới cho cây lúa mì trong điều kiện nước tưới đầy đủ cũng như thiếu hụt trong môi trường khô hạn ở phía Nam của Iran; kết quả cho thấy, mô hình AquaCrop đã có thể mô phỏng lượng nước thực tế cần cung cấp cho cây lúa mì trong từng giai đoạn phát triển sinh học. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu khác cũng đã sử dụng mô hình AquaCrop để mô phỏng đánh giá năng suất cây trồng ở nhiều khu vực khác nhau như: Abedinpour *et al.*, (2012) đã xây dựng mô hình dự đoán năng suất cây ngô cho tương lai ở vùng bán khô hạn ở New Dahi (Ấn Độ); Mkhabela and Bullock, (2012) đánh giá khả năng mô phỏng năng suất cây lúa mì liên quan đến lượng nước thừa trong đất ở Pairies (Canada) giai đoạn (2003-2006); Shrestha *et al.*, (2013) sử dụng mô hình AquaCrop mô phỏng năng suất cây ngũ cốc và xác định các kịch bản cấp nước tối ưu về năng suất trong điều kiện thiếu nước vào mùa khô ở Tarai (Nepal); Soddu *et al.*, (2013) sử dụng mô hình AquaCrop để mô phỏng các điều kiện biến đổi khí hậu trong tương lai để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ gia tăng và lượng mưa biến động lên năng suất và khả năng thích ứng của cây lúa mì ở phía Nam Sardinia (đến 2100); Huy *et al.*, (2013) áp dụng mô hình AquaCrop để mô phỏng năng suất lúa trong bối cảnh biến đổi khí hậu ở khu vực phía Bắc của quốc lộ 1A, tỉnh Bạc Liêu.

Nhìn chung, mô hình AquaCrop được sử dụng phổ biến trên thế giới nhằm mục tiêu mô phỏng năng suất cây trồng và cho kết quả phù hợp với thực tế; tuy vậy, các nghiên cứu này chủ yếu là cho cây trồng cạn (ngô, lúa mì, đậu,...) và sử dụng phương pháp tưới tự động (tưới âm) (thuộc tính sẵn có của mô hình AquaCrop). Lúa nước là mô hình canh tác ít được đánh giá thông qua mô hình AquaCrop trên phạm vi toàn thế giới cũng như ở ĐBSCL; một trong những lý do có thể được xét

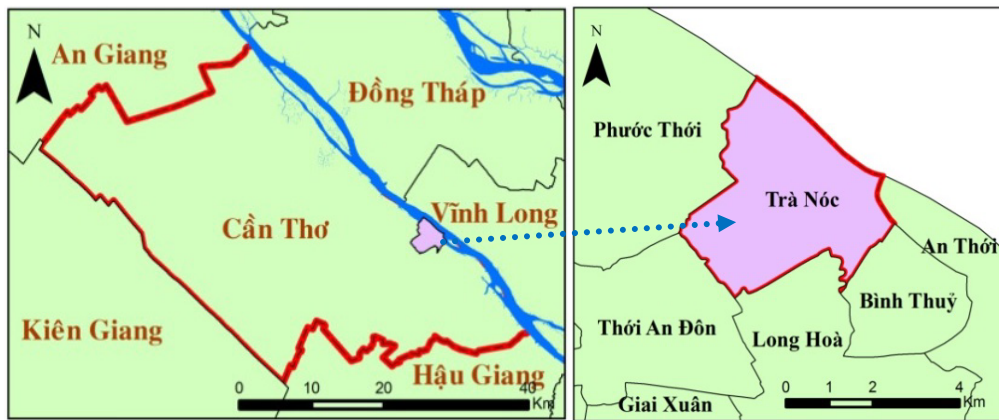
đến đó là vì lúa nước có yêu cầu về phương pháp tưới khác so với các loại cây trồng cạn nên việc sử dụng phương pháp tưới ẩm cho cây lúa là không phù hợp (ví dụ cụ thể là nghiên cứu của Huy *et al.*, (2013)). Do vậy, điều cần thiết là phải thiết kế lịch tưới nước cho cây lúa phù hợp với thực tế canh tác tại địa phương trước khi mô phỏng. Bên cạnh đó, năng suất của cây trồng phụ thuộc vào từng mùa vụ và điều kiện thời tiết khác nhau, khi mùa vụ thay đổi dẫn đến năng suất thay đổi (Khatun *et al.*, 2002; Res *et al.*, 2007); do vậy, mô hình AquaCrop cần được hiệu chỉnh các thông số và kiểm định kết quả mô phỏng (Steduto *et al.*, 2012; Abedinpour *et al.*, 2012) phù hợp với kết quả thực tế (trước khi xây dựng các kịch bản nhằm mục tiêu đánh giá tác động của sự thay đổi của điều kiện tự nhiên trong

tương lai).

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Khu vực nghiên cứu

Phường Trà Nóc thuộc Quận Bình Thủy (Tp. Cần Thơ) được chọn làm khu vực nghiên cứu (Hình 1); đây là khu vực phù sa ngọt và ngập lũ hằng năm (theo phân vùng sinh thái nông nghiệp) và có trạm thực nghiệm nhằm thu thập các thông tin khí tượng thủy văn nông nghiệp (KTTVNN). Trạm KTTVNN đo đạc các yếu tố thời tiết như: lượng mưa, nhiệt độ, lượng bốc hơi, tốc độ gió (với độ phân giải thời gian theo ngày). Do vậy, các số liệu thời tiết cung cấp từ trạm KTTVNN sẽ phản ánh được sự tác động của sự thay đổi của điều kiện thủy văn lên năng suất lúa tại khu vực nghiên cứu.



Hình 1: Bản đồ khu vực nghiên cứu (phường Trà Nóc, quận Bình Thủy, Tp. Cần Thơ)

2.2 Số liệu đầu vào

Số liệu đầu vào để xây dựng, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình AquaCrop bao gồm:

- Số liệu về thời tiết theo ngày (bao gồm: lượng mưa, nhiệt độ lớn nhất và nhỏ nhất, độ ẩm, lượng bốc hơi, tốc độ gió và số giờ nắng) giai đoạn từ năm 2007 đến năm 2013 được cung cấp bởi trạm KTTVNN thuộc phường Trà Nóc, quận Bình Thủy, Tp. Cần Thơ.

- Thông tin về giống lúa (IRR50404) của khu vực nghiên cứu sử dụng trong mô hình (bao gồm:

năng suất trung bình, giai đoạn phát triển, thời gian thu hoạch và trọng lượng hạt) được cung cấp bởi Viện Nghiên cứu Phát triển ĐBSCL, Trường Đại học Cần Thơ.

Số liệu về năng suất thực tế, lịch thời vụ (Bảng 1) và các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình sản xuất nông nghiệp cũng như phương pháp canh tác của 3 mùa vụ Đông Xuân (ĐH), Hè Thu (HT) và Thu Đông (TĐ) được thu thập thông qua một số điều tra thực tế (được thực hiện vào tháng 9 năm 2013) từ nông dân địa phương và Phòng Kinh tế (quận Bình Thủy).

Bảng 1: Lịch thời vụ tại khu vực nghiên cứu

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ĐX	x	x									x	x
HT		x	x	x	x							
TĐ						x	x	x				

Ngoài ra, một số giá trị hệ số sử dụng trong mô hình được thể hiện qua Bảng 2; trong đó, hệ số căng thẳng về nước trong đất ($K_{s_{acr}}$) là không đáng

kể do đây là khu có đầy đủ về lượng nước cung cấp tưới cho cây lúa, các số liệu còn lại dựa theo tham khảo của FAO (2012).

Bảng 2: Các hệ số trong mô hình AquaCrop cho giống lúa IRR50404

Các hệ số	Đông Xuân	Hè Thu	Thu Đông
Hiệu suất sử dụng nước (WP)	19g/m ²	19g/m ²	19g/m ²
Chỉ số thu hoạch (HI)	Hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
Độ mở rộng tán lá:			
P (Trên)	0	0	0
P (Dưới)	0.4	0.4	0.4
Hệ số căng thẳng về nước trong đất K _{saer}	Không căng thẳng	Không căng thẳng	Không căng thẳng
Mức đóng khí khổng	0.5	0.5	0.5
Mức lão hóa	0.85	0.85	0.85
Tác động tích cực đến HI	Nhỏ	Nhỏ	Nhỏ
Tác động tiêu cực đến HI	Trung bình	Trung bình	Trung bình
Phát triển sinh khối	90%	90%	90%

– Số liệu về đặc tính của đất dựa vào các nghiên cứu về phân tích đất lúa ở Cần Thơ (Đỗ Thị Thanh Ren và Nguyễn Thị Xuân Diệu, 2002; Nguyễn Bảo Vệ, 2003; Dương Thị Loan *et al.*, 2010; Phạm Thanh Vũ *et al.*, 2011; Nguyễn Quốc Khương *et al.*, 2013). Các kết quả này cho thấy loại đất của khu vực nghiên cứu là đất sét pha thịt (SiC) với thành phần cấp hạt là 45.5% sét, 48.6% thịt và 5.9% cát và các hệ số của loại đất này (PWP, FC, SAT, và K_{sat}) được dựa vào hệ số tham khảo của FAO có trong mô hình AquaCrop.

– Dữ liệu mưa mô phỏng cho tương lai giai đoạn 2014-2045 được xuất từ mô hình PRECIS (theo kịch bản phát thải A2 phù hợp với tình hình phát triển ở khu vực ĐBSCL) tại các tọa độ tương ứng với các trạm quan trắc thực tế và được cung cấp bởi trung tâm SEA START với 2.225 ô lưới bao phủ toàn bộ khu vực ĐBSCL, độ phân giải 0.2°x0.2° (mỗi ô lưới khoảng 20 x 20 km). Dữ liệu mưa xuất ra từ mô hình PRECIS được hiệu chỉnh lại theo phương pháp cắt và hiệu chỉnh dần dần của Hồng Minh Hoàng và Văn Phạm Đăng Trí, (2013). Các dữ liệu tương lai được sắp xếp theo thứ tự 2 năm liên tiếp cho cả 3 mùa vụ và lấy giá trị trung bình trong 30 năm (2014-2045).

$$D_n = \frac{D_m + (2^n - 1)D_0}{2^n} \quad (n \text{ là số lần điều chỉnh, } n > 0) \quad (\text{CT 3})$$

Trong đó: D_n: Giá trị trung bình của giai đoạn điều chỉnh; D_m: Giá trị trung bình của giai đoạn mô phỏng đã cắt; D₀: Giá trị trung bình của giai đoạn quan sát.

b. Xây dựng phương pháp tưới

Phương pháp tưới của người dân địa phương là không đồng nhất nhau trong một mùa vụ; do vậy trong nghiên cứu này, phương pháp tưới được xây dựng dựa trên cách quản lý nước cho lúa trên ruộng theo TCVN 8641:2011 được thể hiện ở

2.3 Xây dựng mô hình mô phỏng năng suất

2.3.1 Hiệu chỉnh lượng mưa và xây dựng phương pháp tưới

a. Hiệu chỉnh lượng mưa

Do dữ liệu mưa được xuất ra từ mô hình mô phỏng khí hậu vùng là không phù hợp cho từng khu vực cụ thể ở ĐBSCL; tuy nhiên các phương pháp hiệu chỉnh dữ liệu mưa còn hạn chế ít được quan tâm. Một nghiên cứu về hiệu chỉnh mưa cho ĐBSCL từ mô hình mô phỏng khí hậu vùng của Hồng Minh Hoàng và Văn Phạm Đăng Trí (2013) đã cho kết quả hiệu chỉnh gần với thực tế, dễ áp dụng và được sử dụng trong nghiên cứu này được thể hiện qua công thức (CT 1, (CT 2 và (CT 3

Số ngày mưa cần phải cắt: $X_{\text{cắt}} = M_s - O_b$ (CT 1)

Ngày bị cắt: $Y = \frac{T}{X_{\text{cắt}}} \quad (Y > 0, Y \in \mathbb{Z})$ (CT 2)

Trong đó: X_{cắt}: Số ngày mưa cần phải cắt; M_s: Tổng số ngày mưa giai đoạn mô phỏng (8 năm); O_b: Tổng số ngày mưa giai đoạn thực đo (8 năm); Y: Ngày bị cắt; và, T: Tổng số ngày của chuỗi thời gian (8 năm).

Bảng 3. Lượng nước tưới cho cây lúa được tính toán dựa vào các điều kiện thời tiết (ví dụ: lượng mưa, nhiệt độ và lượng nước bốc hơi) và đặc tính sinh học của giống lúa được canh tác ở địa phương (IRR50404). Phương pháp tưới (dựa theo TCVN 8641:2011) được áp dụng cho cả 3 mùa vụ ĐX, HT và lượng nước tưới được thể hiện qua Bảng 4.

Bảng 3: Mức nước cao nhất và thấp nhất qua các giai đoạn phát triển của cây lúa vùng ở nghiên cứu

Các giai đoạn phát triển	0 - 7 ngày	7 - 15 ngày	15 - 45 ngày	45 - 70 ngày	70 - 90 ngày
Mức nước cao nhất (mm)	10	30	50	70	0
Mức nước thấp nhất (mm)	0	10	20	30	0

Bảng 4: Mô tả phương pháp thiết kế lịch tưới cho cây lúa

Ngày	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	R	ET _o	E	K _c	S = K _c *ET _o + E - R	I	I _r = S - I

R: Lượng mưa (mm/ngày); (2) ET_o: Lượng nước bốc thoát hơi và được tính toán trong mô hình ET_o Calculator 12 (mm/ngày); (3) E: Lượng bốc hơi nước (mm/ngày); (4) K_c: Hệ số cây trồng và K_c của cây lúa khu vực ĐBSCL được sử dụng trong mô hình dựa vào TCVN 8641:2011; (5) S: Lượng nước cần cung cấp cho cây trồng (mm/ngày); (6) I: Lượng nước ban đầu có trên ruộng (m³); và, (7) I_r: Lượng nước cần tưới (m³), lượng nước cần tưới phụ thuộc vào nhu cầu nước của cây lúa qua các giai đoạn phát triển

Theo kết quả nghiên cứu của Lê Văn Khoa, (2003) và Nguyễn Minh Phương *et al.*, (2009), quá trình canh tác lúa sẽ tạo ra tầng đế cày (tầng nền dẽ), tầng này có tác dụng giữ nước, hạn chế nước từ trên thấm xuống và nước từ dưới thấm lên. Do vậy, giới hạn trong nghiên cứu này là không xét đến tính thấm của ruộng bao gồm cả thấm dọc và thấm ngang.

2.3.2 Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình AquaCrop

a. Hiệu chỉnh mô hình

Mô hình AquaCrop được sử dụng để mô phỏng ảnh hưởng của các yếu tố thời tiết và sự thay đổi lượng nước tưới lên năng suất lúa; trong nghiên cứu này, các yếu tố (khác) tác động đến năng suất lúa ở vùng nghiên cứu (ví dụ: dịch bệnh, sâu hại và thiên tai) không được xem xét. Mô hình mô phỏng năng suất lúa được thiết kế bằng cách dựa vào các số liệu thu thập thực tế và giá trị các hệ số tham khảo theo FAO được xây dựng bởi Steduto *et al.*, (2012). Chỉ số thu hoạch (HI) sẽ thay đổi theo từng mùa vụ do các đặc tính về điều kiện khí hậu của từng khu vực và kỹ thuật canh tác sẽ ảnh hưởng

đến sự phát triển và năng suất cây trồng khác nhau (Geerts *et al.*, 2010; Shah *et al.*, 2011; Steduto *et al.*, 2012; Sabetfar *et al.*, 2013). Do mỗi mùa vụ có năng suất khác nhau nên trong mô hình chỉ số năng suất (HI) được hiệu chỉnh để năng suất mô phỏng của các mùa vụ tương đương với năng suất thực tế theo công thức CT 4. Năng suất trung bình thực tế thu thập tại khu vực nghiên cứu có giá trị trung bình giữa các mùa vụ như sau: ĐX là 6.15 tấn/ha, HT là 4.6 tấn/ha và TĐ là 3.1 tấn/ha và áp dụng phương pháp hiệu chỉnh cho giai đoạn (2012 – 2013).

$$Y = HI * B \quad (CT\ 4)$$

Trong đó: Y: Năng suất (tấn/ha); HI: Chỉ số thu hoạch (chỉ số năng suất) (%); và, B: Tổng sinh khối (tấn/ha)

b. Kiểm định mô hình

Mô hình được kiểm định lại giai đoạn (2007 - 2012) về chỉ số năng suất bằng cách so sánh kết quả năng suất mô phỏng với giá trị năng suất trung bình thực tế thông qua việc phân tích thống kê so sánh và được thể hiện qua Bảng 5.

Bảng 5: Phương pháp hiệu chỉnh và kiểm định cho mỗi mùa vụ trong giai đoạn 2007 - 2013

Năm	Năng suất vụ Đông Xuân			Năng suất vụ Hè Thu			Năng suất vụ Thu Đông		
	%HI	MP	TBTT	%HI	MP	TBTT	%HI	MP	TBTT
2012-2013	a	X	6.15	b	Y	4.6	c	Z	3.1
2007-2008	a	X ₁	6.15	b	Y ₁	4.6	c	Z ₁	3.1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2011-2012	a	X _k	6.15	b	Y _k	4.6	c	Z _k	3.1
So sánh	Sig(2 tailed)			Sig(2 tailed)			Sig(2 tailed)		

Ghi chú: MP: Năng suất mô phỏng, TBTT: Trung bình thực tế, HI: Chỉ số thu hoạch. Giai đoạn 2012-2013 là giai đoạn hiệu chỉnh, giai đoạn 2007 – 2012 là giai đoạn kiểm định

2.3.3 Đánh giá các điều kiện khí hậu và tưới nước lên năng suất lúa

Các yếu tố dùng để đánh giá ảnh hưởng đến năng suất lúa trong tương lai bao gồm: lượng mưa trung bình (2014-2045), nhiệt độ trung bình (2014-2045) và sự thay đổi lượng nước tưới; trong đó, cách tưới được thay đổi theo các kịch bản như sau (Bảng 6 và Bảng 7): (1) giảm 30% mực nước tưới

cao so với cách tưới ban đầu; (2) giảm 100% mực nước tưới thấp nhất so với cách tưới ban đầu; và (3) giảm 30% mực nước tưới cao nhất và 100% mực nước tưới thấp nhất trước so với phương pháp tưới ban đầu. Việc giảm 30% mực nước cao nhất và 100% mực nước thấp nhất so với cách tưới ban đầu vẫn nằm trong khoảng chấp nhận theo (TCVN 8641:2011).

Bảng 6: Các kịch bản thay đổi phương pháp tưới qua các giai đoạn phát triển của cây lúa (mm)

Kịch bản	1 - 7 ngày		7 - 15 ngày		15 - 45 ngày		45 - 70 ngày		70 - 90 ngày
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
Hiện tại	10	0	30	10	50	20	70	30	Không tưới
(1)	10	0	21	10	35	20	50	30	Không tưới
(2)	10	0	30	0	50	0	70	0	Không tưới
(3)	10	0	21	0	35	0	50	0	Không tưới

Bảng 7: Các kịch bản đánh giá sự tác động của các yếu tố khí hậu và các kịch bản tưới nước lên năng suất lúa cho tương lai

Mùa vụ	Các yếu tố đánh giá		
	Lượng mưa (trung bình)	Nhiệt độ (trung bình)	Phương pháp tưới
ĐX	2014-2045	2014-2045	(1), (2), (3)
HT	2014-2045	2014-2045	(1), (2), (3)
TĐ	2014-2045	2014-2045	(1), (2), (3)

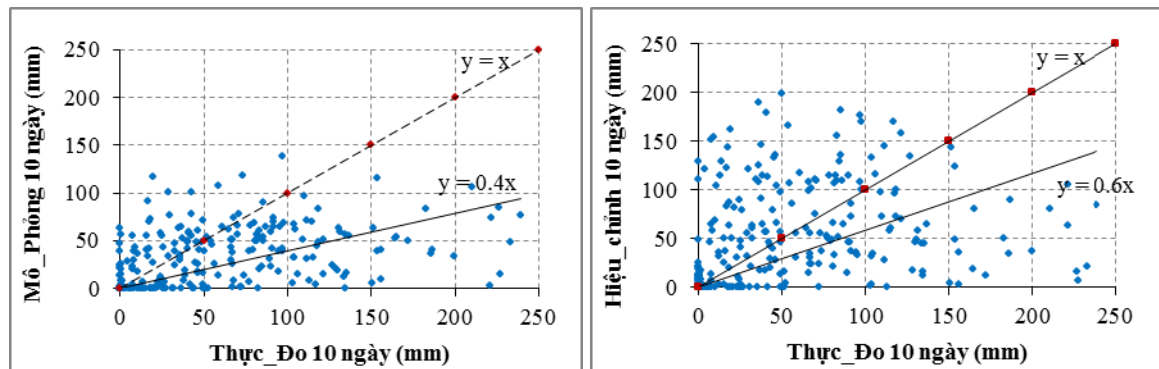
3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Hiệu chỉnh lượng mưa và kết quả phương pháp tưới

3.1.1 Kết quả hiệu chỉnh lượng mưa

Lượng mưa mô phỏng được hiệu chỉnh gần với

dữ liệu thực đo ($y = 0.6x$) so với trước khi hiệu chỉnh ($y = 0.4x$) (Hình 2). Kết quả nghiên cứu cho thấy, phương pháp hiệu chỉnh đã hiệu chỉnh dữ liệu mưa mô phỏng tương đối về gần với dữ liệu mưa thực đo.

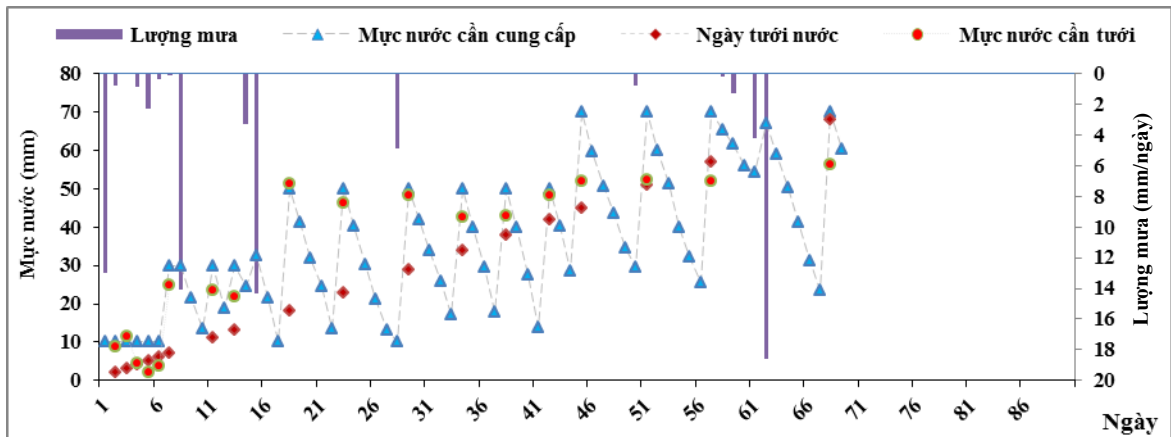


Hình 2: Kết quả hiệu chỉnh số liệu mưa mô phỏng giai đoạn (1996 - 2003) ở trạm Cần Thơ

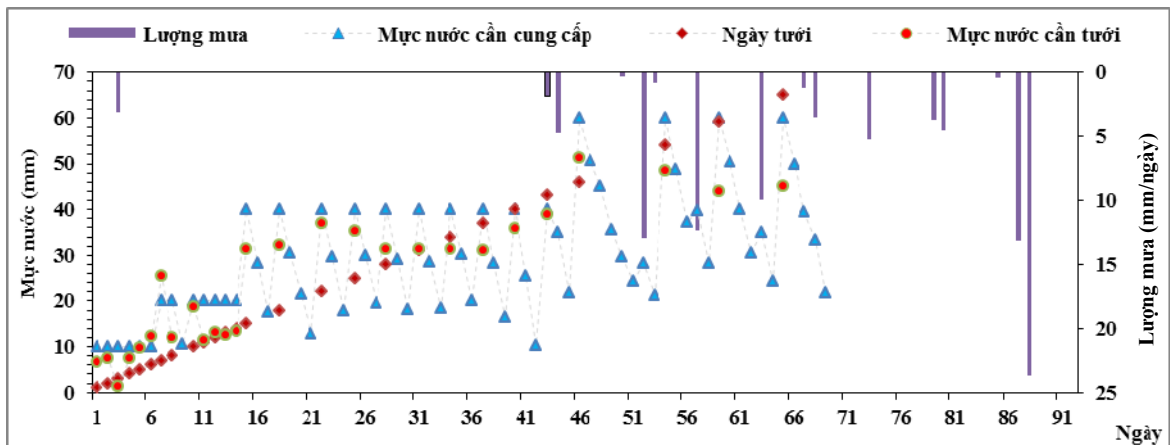
3.1.2 Kết quả mô phỏng lịch tưới

Lượng nước tưới và thời gian tưới tự động thay đổi tùy thuộc vào mùa vụ, điều kiện thời tiết và được thể hiện qua các kết quả mô phỏng lịch tưới ở các mùa vụ khác nhau nhưng vẫn phù hợp với mực

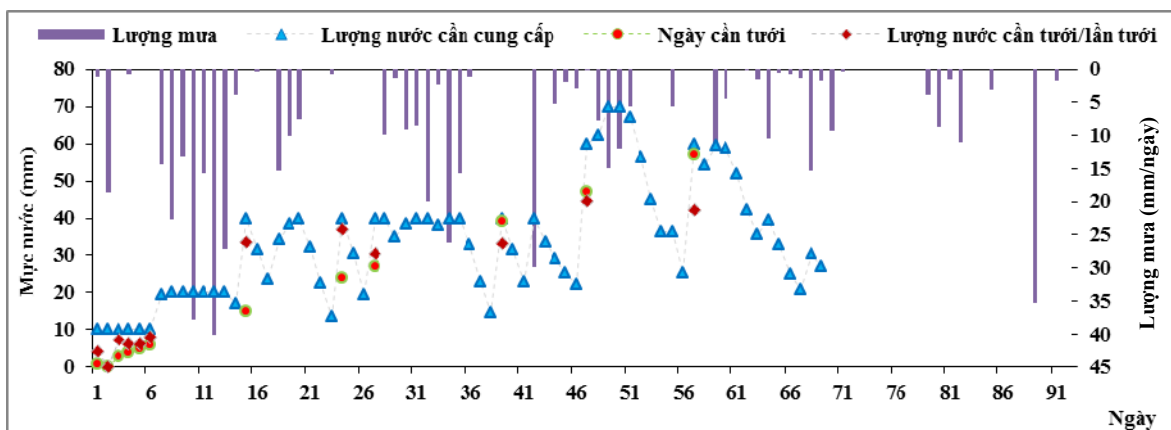
nước (cao nhất và thấp nhất) theo TCVN 8641:2011 (Hình 3, 4 và 5); do vậy, phương pháp mô phỏng lịch tưới nước này có thể áp dụng vào mô hình mô phỏng năng suất lúa trong mô hình AquaCrop.



Hình 3: Lịch tưới nước cho vụ Đông Xuân năm 2013 thiết kế theo nhu cầu nước cho cây lúa ở mỗi giai đoạn phát triển dựa theo TCVN 8641:2011 và điều kiện thực tế địa phương



Hình 4: Lịch tưới nước cho vụ Hè Thu năm 2013 thiết kế theo nhu cầu nước cho cây lúa ở mỗi giai đoạn phát triển dựa theo TCVN 8641:2011 và điều kiện thực tế địa phương



Hình 5: Lịch tưới nước cho vụ Thu Đông năm 2013 thiết kế theo nhu cầu nước cho cây lúa ở mỗi giai đoạn phát triển dựa theo TCVN 8641:2011 và điều kiện thực tế địa phương

3.2 Kết quả mô phỏng năng suất lúa của mô hình AquaCrop

Kết quả mô phỏng năng suất lúa của mô hình AquaCrop ở giai đoạn hiệu chỉnh (2012-2013) cho thấy sự khác biệt không đáng kể so với kết quả năng suất trung bình thực tế (TBTT) ở các mùa vụ khác nhau (Bảng 8). Chỉ số thu hoạch HI qua kết quả hiệu chỉnh đối với mùa vụ ĐX $\approx 49\%$ và HT $\approx 36\%$, kết quả này nằm trong khoảng giá trị tham khảo của (FAO, 2012) 35%-50%. Đối với mùa vụ TD chỉ số năng suất (HI) $\approx 24\%$ thấp hơn so với mùa vụ ĐX và HT do gặp điều kiện thời tiết bất lợi (ví dụ: mưa nhiều, thiếu nắng và lũ lụt) làm ảnh hưởng đến năng suất và được khuyến cáo không

nên sản xuất do không mang lại lợi nhuận và ảnh hưởng đến mùa vụ tiếp theo (Nguyễn Bảo Vệ, 2009). Giá trị chỉ số năng suất HI cũng cho kết phù hợp về năng suất mô phỏng và trung bình thực tế thông qua việc phân tích thống kê so sánh (Sig (2tailed) > 0.05) khi áp dụng mô phỏng cho các mùa vụ khác nhau giai đoạn (2007-2012) (Bảng 8). Kết quả mô phỏng cho thấy, mô hình AquaCrop đã mô phỏng giá trị năng suất tương đối chính xác so với giá trị trung bình thực tế tại khu vực nghiên cứu qua nhiều năm và có thể áp dụng các chỉ số hiệu chỉnh để mô phỏng và đánh giá tác động của sự thay đổi điều kiện thời tiết đến năng suất lúa cho tương lai.

Bảng 8: Kết quả mô phỏng năng suất của mô hình AquaCrop cho mùa vụ ĐX, HT và TD

Năm	Năng suất vụ Đông Xuân Tấn/ha			Năng suất vụ Hè Thu Tấn/ha			Năng suất vụ Thu Đông Tấn/ha		
	%HI	MP	TBTT	%HI	MP	TBTT	%HI	MP	TBTT
2012-2013	49	6.16	6.15	36	4.62	4.6	24	3.12	3.1
2007-2008	49	6.15	6.15	36	4.4	4.6	24	3.00	3.1
2008-2009	49	6.0	6.15	36	4.57	4.6	24	2.96	3.1
2009-2010	49	6.22	6.15	36	4.6	4.6	24	3.05	3.1
2010-2011	49	6.15	6.15	36	4.65	4.6	24	3.12	3.1
2011-2012	49	6.3	6.15	36	4.59	4.6	24	3.12	3.1
So sánh	Sig(2 tailed) = 0.76			Sig(2 tailed) = 0.47			Sig(2 tailed) = 0.24		

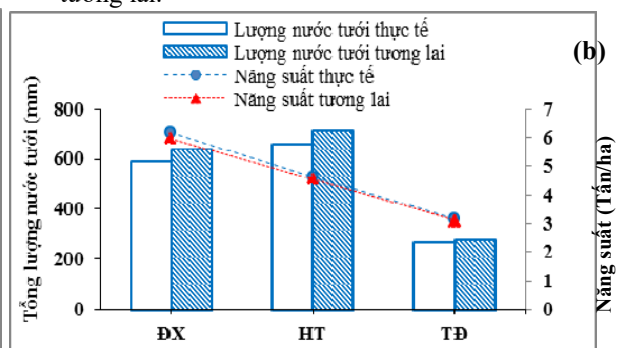
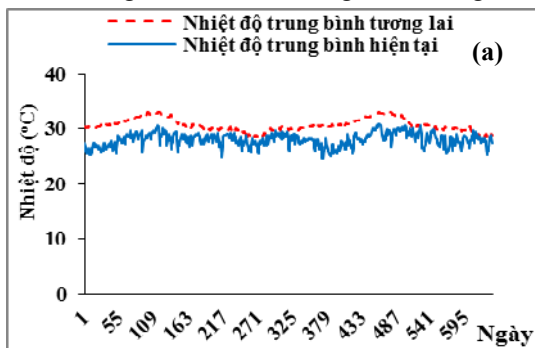
Ghi chú: Giai đoạn 2012-2013 là giai đoạn hiệu chỉnh, giai đoạn 2007 – 2012 là giai đoạn kiểm định

3.3 Đánh giá tác động các kịch bản cho tương lai lên năng suất lúa

3.3.1 Ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ

Nhiệt độ trung bình mô phỏng theo kịch bản phát thải A2 trong tương lai giai đoạn (2014-2045) cao hơn so với nhiệt độ hiện tại giai đoạn (2012-2013) ở khu vực nghiên cứu (Hình 6a). Nhiệt độ tăng dẫn đến tăng lượng nước tưới và giảm năng suất lúa đặc biệt lượng nước tưới tăng cao ở mùa vụ ĐX và HT trong tương lai so với hiện tại, mùa vụ TD lượng nước tưới và năng suất không biến

động lớn khi nhiệt độ tăng (Hình 6b). Kết quả nghiên cứu cũng phù hợp với nghiên cứu của Shrivastava *et al.*, (2012), Vương Tuấn Huy *et al.*, (2013) là khi nhiệt độ tăng sẽ làm tăng nhu cầu nước cho cây (ET_c) và làm giảm năng suất lúa nếu không cung cấp đủ nước. Do vậy, việc nhiệt độ tăng dẫn đến tăng lượng nước tưới trong tương lai sẽ là vấn đề cần được quan tâm khi sự xâm nhập mặn và giảm lưu lượng nước từ thượng nguồn ngày càng tăng và có thể ảnh hưởng lớn đến nền nông nghiệp ĐBSCL về nguồn nước tưới trong tương lai.

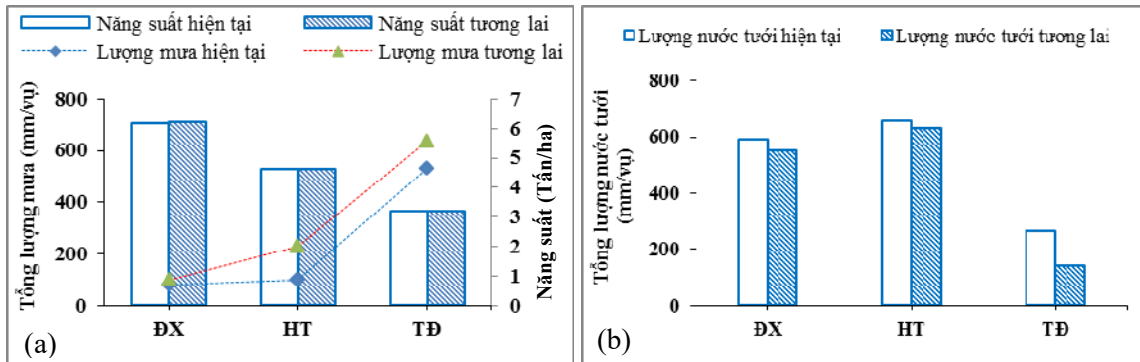


Hình 6: Biến động của nhiệt độ (a) ảnh hưởng đến năng suất và lượng nước tưới theo mùa vụ (b) của giai đoạn trong tương lai (2014-2045) so với giai đoạn hiện tại (2012-2013)

3.3.2 Ảnh hưởng của thay đổi lượng mưa

Lượng mưa trung bình giai đoạn (2014-2045) trong tương lai tăng cao hơn so với hiện tại đặc biệt tăng cao vào mùa vụ HT và TD. Lượng mưa tăng làm giảm lượng tưới nhưng không ảnh hưởng đáng kể đến năng suất lúa trong tương lai (Hình 7a và 7b). Nguồn nước mưa có giá trị quan trọng trong việc cung cấp nước cho hoạt động sản xuất nông nghiệp đặc biệt là ở những khu vực khô hạn và xâm nhập mặn (Senkondo et al., 2004; Ibraimo and Munguambe, 2007). Do vậy, việc tăng lượng mưa

trong tương lai sẽ làm giảm được lượng nước tưới cho lúa và tiết kiệm được chi phí bơm nước cho người dân. Ngoài ra, lượng mưa tăng trong tương lai là cơ sở cho việc nghiên cứu các biện pháp lưu trữ và sử dụng hiệu quả nguồn nước mưa phục vụ sản xuất trong điều kiện nguồn nước thay đổi được dự báo cho tương lai. Tuy nhiên, vào mùa mưa các yếu tố bất lợi về thời tiết có thể gây như: mưa kèm theo gió lớn, nhiệt độ xuống thấp, thời gian chiếu sáng trong ngày giảm, lũ lụt,... các yếu tố này có thể có tác động gây đổ ngã, dịch bệnh ảnh hưởng đến năng suất lúa.

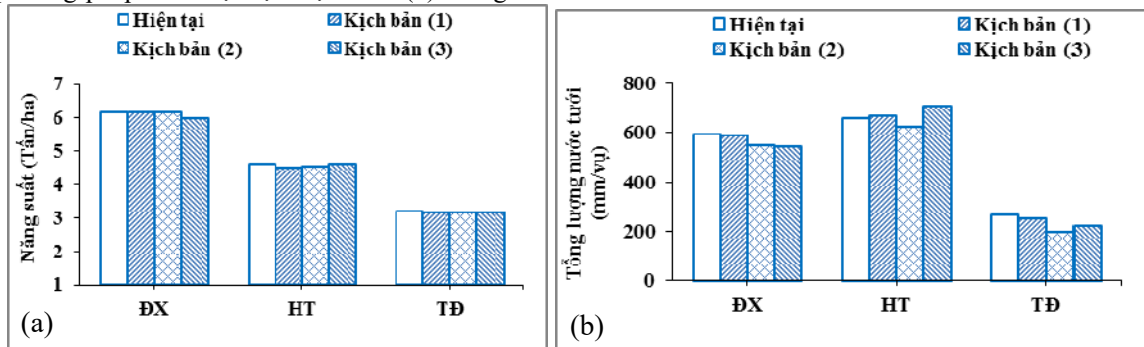


Hình 7: Sự thay đổi lượng mưa ảnh hưởng đến năng suất lúa theo mùa vụ (a) và lượng nước tưới (b) của giai đoạn tương lai (2014-2045) so với giai đoạn hiện tại (2012-2013)

3.3.3 Ảnh hưởng của sự thay đổi phương pháp tưới đến năng suất lúa

Kết quả mô phỏng các kịch bản thay đổi lượng nước của phương pháp tưới lên năng suất cho thấy rằng sự thay đổi phương pháp tưới sẽ làm thay đổi lượng nước cung cấp và ảnh hưởng đến năng suất lúa. Trong các kịch bản mô phỏng năng suất lúa khi thay đổi phương pháp tưới cho thấy, kịch bản (2) là hiệu quả nhất về lượng nước tưới và ít tác động đến năng suất so với các kịch bản (1) và kịch bản (3) qua các mùa vụ được thể hiện ở Hình 8a và Hình 8b. Đối với kịch bản (1) hầu như không làm thay đổi lượng nước tưới và năng suất lúa so với phương pháp tưới hiện tại. Kịch bản (2) làm giảm

được lượng nước tưới ở các mùa vụ so với hiện tại và các kịch bản khác và làm giảm năng suất lúa nhưng không đáng kể. Kịch bản (3) làm giảm được lượng nước tưới cho mùa vụ ĐX và TD nhưng làm tăng lượng nước tưới cho vụ HT. Nhìn chung, kịch bản (2) có hiệu quả hơn so với các kịch bản khác (giảm được lượng nước tưới nhưng làm tăng năng suất). Kết quả này có ý nghĩa quan trọng trong việc thích ứng với điều kiện của BĐKH có thể có (ví dụ: nước biển dâng và giảm lưu lượng từ thượng nguồn) cho tương lai ở khu vực ĐBSCL. Ngoài ra, đây là cơ sở hỗ trợ cho các nghiên cứu tiếp theo trong việc thiết kế kỹ thuật tưới tiết kiệm nước hiệu quả cho cây lúa trong tương lai.



Hình 8: Ảnh hưởng của việc thay đổi phương pháp tưới đến năng suất (a) và lượng nước tưới (b)

4 KẾT LUẬN

Trong giai đoạn 2014-2045, sự thay đổi của lượng mưa và nhiệt độ theo kịch bản A2 (phù hợp với tình hình phát triển thực tế ở ĐBSCL) có thể làm giảm năng suất lúa nhưng không đáng kể đối với khu vực nghiên cứu; tuy vậy, nhiệt độ trung bình tăng sẽ làm tăng nhu cầu nước tưới cho tương lai. Bên cạnh đó, việc thay đổi phương pháp tưới có ảnh hưởng đáng kể đến lượng nước cung cấp và hiệu quả năng suất lúa; cụ thể trong nghiên cứu này, phương pháp tưới theo kịch bản (2) (giảm 100% mực nước thấp nhất so phương pháp tưới ban đầu) có hiệu quả cao là giảm được lượng nước tưới và tăng năng suất lúa so với phương pháp tưới hiện tại. Kết quả nghiên cứu này có thể làm cơ sở hỗ trợ cho các nghiên cứu tiếp theo về việc ảnh hưởng của các phương pháp tưới lên năng suất cây lúa.

Mô hình AquaCrop được đánh cao trong việc mô phỏng tác động của các điều kiện thời tiết và ảnh hưởng của phương pháp tưới nước đến năng suất cây trồng trong nghiên cứu này. Tuy nhiên, các yếu tố bất lợi về thời tiết (ví dụ: mưa kèm theo gió lớn, nhiệt độ xuống thấp thời gian chiếu sáng trong ngày giảm, hạn giữa mùa mưa) chưa được xem xét trong nghiên cứu có thể gây ảnh hưởng đáng kể đến năng suất lúa; đây là vấn đề cần được nghiên cứu và phát triển thêm cho mô hình mô phỏng phản ánh được tổng quan hơn so với điều kiện thực tế.

Nghiên cứu đã đưa ra kết quả về sự tác động của các yếu tố thời tiết và phương pháp tưới lên năng suất lúa; mặc dù vậy, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế ở việc chưa chia nhỏ khoảng thời gian về điều kiện thời tiết trong tương lai (mưa và nhiệt độ) cũng như áp dụng phương pháp tưới theo TCVN 8641:2011 chưa phù hợp với điều kiện thực tế địa phương. Do vậy, nghiên cứu này là cơ sở cho nghiên cứu tiếp theo chi tiết hơn về tác động của các yếu tố trên đến năng suất lúa ở ĐBSCL trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ từ tổ chức ADPC (Trung tâm phòng chống thiên tai châu Á) trong khuôn khổ hợp tác nghiên cứu về “Ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu lên nền nông nghiệp Đồng bằng sông Cửu Long”. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của tổ chức ADPC và các thành viên dự án trong suốt thời gian thực hiện dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Abedinpour, M., A. Sarangi, T.B.S. Rajput, M. Singh, H. Pathak, and T. Ahmad. 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management* 110: 55–66.
2. Andarzian, B., M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazraeh, M.E. Barati, M. a. Barati, and A. Rahnama. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management* 100(1): 1–8.
3. Bộ Nông Nghiệp và Phát Triển Nông Thôn. 2011. ĐBSCL: Sản xuất nông nghiệp sạch hướng tới nền sản xuất nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.
4. Bộ Tài Nguyên và Môi Trường. 2012. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam.
5. Dasgupta, S., B. Laplante, C. Meisner, D. Wheeler, and J. Yan. 2007. The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis. World Bank Policy Research Working Paper WPS4136. Washington, D.C.: World Bank.
6. Đỗ Thị Thanh Ren, và Nguyễn Thị Xuân Diệu. 2002. Nguyên tố vi lượng (Zn, Cu, Mn) trong đất lúa vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đất* 16: 39–44.
7. Dương Thị Loan, Ngô Ngọc Hưng, Trần Quang Giàu, Nguyễn Hữu Hiệp, và Trần Minh Giàu. 2010. Ảnh hưởng của biện pháp tưới tiết kiệm đến khả năng cố định N tự do trong đất phù sa và đất phèn nhẹ trồng lúa. *Tạp chí Khoa học Đất* 34: 63–73.
8. Fao, 2012. Crop yield response to water. ISSN0254-5284.
9. Geerts, S., D. Raes, and M. Garcia. 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. *Agricultural Water Management* 98(1): 213–216.
10. GFDRR. 2011. Vulnerability, Risk Reduction, and Adaptation to Climate Change Viet Nam. Climate Risk and Adaptation Country Profile: 16.
11. 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.

12. Huy, V.T., V.P.D. Tri, P.T. Vu, L.Q. Tri, and N.H. Trung. 2013. Application of the Aquacrop model to simulate rice yield in the context of climate change in the Northern area of the national road No. 1A, Bac Lieu province. *Science and Technology Journal of Agriculture and Rural Development* 13(48-53).
13. Ibraimo, N., and P. Mungumbe. 2007. Rainwater Harvesting Technologies for Small Scale Rainfed Agriculture in Arid and Semi-arid Areas. *Intergatea Warter Ressource Management for Improved Rural Livelihoods*: 1–37.
14. Käkönen, M. 2008. Mekong Delta at the crossroads: more control or adaptation? *Ambio* 37(3): 205–212.
15. Khatun, A., M.I. Mollah, M. Rashid, M. IsLam, and A.H. Khan. 2002. Seasonal effect of seedling age on the yeild of rice. *Pakistan Juonal of Biological Sciences* 5(1): 40–42.
16. 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.
17. Mainuddin, M., M. Kirby, and C.T. Hoanh. 2011. Adaptation to climate change for food security in the lower Mekong Basin. *Food Security* 3(4): 433–450.
18. Masanganise, J., B. Chipindu, T. Mhizha, and E. Mashonjowa. 2012. Model prediction of maize yield responses to climate change in north-eastern zimbabwe. *African Crop Science Journal* 20(s2): 505–515.
19. Mekong ARCC. 2013. Mekong adaptation and resilience to climate change (Mekong ARCC).
20. Mkhabela, M.S., and P.R. Bullock. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Agricultural Water Management* 110: 16–24.
21. Nguyễn Bảo Vệ. 2003. Sự cố định Kali ở đất lúa Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đất* 19: 16–24.
22. 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*.
23. Nguyễn Minh Phương, H. Verplancke, Lê Văn Khoa, và 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 lập. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* 11: 194–199.
24. Nguyễn Quốc Khương, Nguyễn Minh Đông, và Lê Tấn Lợi. 2013. Ảnh hưởng của biện pháp tưới lên hiệu quả sử dụng phân Đạm, năng suất lúa trên đất phù sa và đất phèn ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* 26: 255–261.
25. Nguyễn Văn Thắng, Nguyễn Trọng Hiệu, Trần Thực, Phạm Thị Thanh Hương, Nguyễn Thị Lan, và Vũ Văn Thắng. 2011. Biến đổi khí hậu và tác động ở Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
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. 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).
28. Phạm Thanh Vũ, Võ Quang Minh, Lê Quang Trí, and Trần Thanh Thắng. 2011. Phân loại đất vùng Đồng FAO-WRB (2006). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* 18(b): 10–17.
29. Phan Trí Hiếu. 2010. Đánh giá hiệu quả hoạt động của các hợp tác xã nông nghiệp tại Trà Vinh và Sóc Trăng năm 2008-2009. *Luận văn Thạc sĩ khoa học, Đại học Cần Thơ*.
30. Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, and E. Fereres. 2012. Chapter 1 FAO cropwater productivity model to simulate yield response to water AquaCrop. p. 19. In *Aquacrop*.
31. Res, C., D.S. Torriani, P. Calanca, S. Schmid, M. Beniston, and J. Fuhrer. 2007. Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland. 34: 59–69.
32. Sabetfar, S., M. Ashouri, E. Amiri, and S. Babazadeh. 2013. Effect of Drought Stress at Different Growth Stages on Yield and Yield Component of Rice Plant. *ISSN* 2(2): 14–18.
33. Senkondo, E.M.M., A.S.K. Msangi, P. Xavery, E.A. Lazaro, and N. Hatibu. 2004. Profitability of Rainwater Harvesting for Agricultural Production in Selected Semi-Arid Areas of Tanzania Profitability of Rainwater Harvesting for Agricultural Production in Selected Semi-Arid Areas of

- Tanzania Wirtschaftlichkeit der Regenwassersammlung . Journal of Applied Irrigation Science 39(1): 65–81.
34. Shah, F., J. Huang, K. Cui, L. Nie, T. Shah, C. Chen, and K. Wang. 2011. Impact of high-temperature stress on rice plant and its traits related to tolerance. The Journal of Agricultural Science 149(05): 545–556.
35. Shrestha, N., D. Raes, and S.K. Sah. 2013. Strategies to Improve Cereal Production in the Terai Region (Nepal) during Dry Season: Simulations With Aquacrop. Procedia Environmental Sciences 19: 767–775.
36. 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. Journal of Rice Research 5: 29–41.
37. Soddu, A., R. Deidda, M. Marrocu, R. Meloni, C. Paniconi, R. Ludwig, M. Sodde, G. Mascaro, and E. Perra. 2013. Climate Variability and Durum Wheat Adaptation Using the AquaCrop Model in Southern Sardinia. Procedia Environmental Sciences 19: 830–835.
38. Steduto, P., T. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes. 2012. Crop yield response to water. ISSN0254-5284.
39. Steduto, P., D. Raes, T. Hsiao, E. Fereres, L. Heng, T. Howell, S. Evett, B. Rojas-Lara, H. Farahani, G. Izzi, T. Oweis, S. Wani, J. Hoogeveen, and S. Geerts. 2009. Concepts and Applications of AquaCrop: The FAO Crop Water Productivity Model. p. 175–191. In Cao, W., White, J., Wang, E. (eds.), Crop Modeling and Decision Support SE - 19. Springer Berlin Heidelberg.
40. Stricevic, R., M. Cosic, N. Djurovic, B. Pejic, and L. Maksimovic. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. Agricultural Water Management 98(10): 1615–1621.
41. TCVN 8641:2011. Công trình thủy lợi kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm. Hà Nội.
42. Tổng cục Thống Kê. 2013. Diện tích cây lương thực có hạt phân theo địa phương.
43. Tuan, L.A., and G. Wyseure. 2007. Action plan for the multi-level conservation of forest wetlands in the Mekong River Delta, Vietnam. International Congress on Development, Environment and Natrural Resources: Multi-level and Multi-scale Sustainability: 8.
44. 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.
45. 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. Hydrology and Earth System Sciences 16(12): 4637–4649.
46. Võ Tòng Xuân, and S. Matsui. 1988. Development of farming systems in the Mekong Delta. JIRCAS,CTU, CLRR, Vietnam.
47. 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.