KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU NĂNG SUẤT NƯỚC VÀ MÔ HÌNH QUẢN LÝ VẬN HÀNH TỐI ƯU HỆ THỐNG TƯỚI LÚA

TS. Trần Văn Đạt
Viện Kinh tế và Quản lý Thủy lợi

Tóm tắt: *Bài báo này trình bày và thảo luận kết quả nghiên cứu hiện trường về năng suất nước trên hệ thống tưới lúa, ứng với các biện pháp thâm canh khác nhau. Nghiên cứu đã tiến hành đo đạc, diễn toán cho hầu hết các thành phần nước đến và nước hao tại mặt ruộng theo các biến số của phương trình cân bằng nước. Kết hợp với số liệu theo dõi các thông số về sinh trưởng và năng suất lúa, bốc thoát hơi nước tiềm năng, năng suất nước trên hệ thống thâm canh lúa đã được xác định. Kết quả phân tích cho thấy, năng suất nước khác nhau khá nhiều giữa các biện pháp thâm canh. Trong từng thời kỳ sinh trưởng, độ nhạy cảm với nước của lúa cũng khá khác nhau giữa các biện pháp thâm canh. Ứng dụng kết quả nghiên cứu đồng ruộng và mô hình tối ưu (trên cơ sở tối đa hóa lợi nhuận) có thể giúp các cơ quan quản lý xây dựng phương án vận hành hệ thống tưới hợp lý khi nguồn nước bị hạn chế.*

Summary: *This article presents and discuses on the results of field research on water productivity in irrigated rice system, with taking in to consideration of several cultivating techniques. Based on the water balance, this study conducted measurement and accounting for most of the water components on rice field surface. Combining with other recorded data such as biomass and rice yield, potential evapotranspiration, the water productivities of rice were determined. Analysic results show that water productivities widely varied, depends rice cultivating modes. In particular growth period, water sensitivity indexes of rice are also quite different in comparison between conventional and SRI methods. The results of application of field research and optimization model (maximizing profits) have assisting management agencies to analysis and select appropriate scenario for reasonably operating their irrigation systems while water resources is shortage at the headwork.*

I. GIỚI THIỆU

Hàng năm, nước sử dụng cho sản xuất nông nghiệp luôn chiếm tỷ trọng rất lớn trong tổng lượng nước ngọt tiêu thụ trên phạm vi toàn quốc. Hiện tại, nước cung cấp cho sản xuất nông nghiệp khoảng 93 tỷ m^3 (81%), công nghiệp tiêu thụ khoảng 17,3 tỷ m^3 (15%), dịch vụ và sinh hoạt tiêu thụ khoảng 5,09 tỷ m^3 (4%). Dự báo đến năm 2030 cơ cấu sử dụng nước sẽ có xu hướng chuyển dịch, theo đó, nông nghiệp sử dụng khoảng 75%, công nghiệp cần 16%, dịch vụ và sinh hoạt ước tính sẽ sử dụng khoảng 9% [2]. Mặc dù tỷ lệ nước sử dụng cho nông nghiệp sẽ giảm nhưng về giá trị tuyệt đối, tổng lượng nước sử dụng tăng thêm hàng năm khoảng 5%. Như vậy, lượng nước ngành nông nghiệp tiêu dùng dường như không biến động trong nhiều năm tới.

Trong bối cảnh đó, tình trạng hạn hán trên diện rộng đang ngày càng phổ biến. Ở khu vực đồng bằng Bắc Bộ, hàng năm khu vực có khoảng 142.000 đến 242.000 ha/năm khó khăn về nguồn nước tưới vào vụ chiêm xuân. Các địa phương có công trình thuỷ lợi lớn cũng có khoảng 123.000 ha/năm không đủ nước tưới [3]. Như vậy tình trạng thiếu hụt nguồn nước

Người phản biện: **PGS.TS. Hà Lương Thuần**
Ngày nhận bài: 12/11/2014.
Ngày thông qua phản biện: 28/11/2014
Ngày duyệt đăng: 17/12/2014.

đã hiện hữu, cạnh tranh trong sử dụng nước trong ngành nông nghiệp và giữa ngành nông nghiệp với các ngành kinh tế khác đang là một thực tế và có xu hướng ngày càng khốc liệt. Vấn đề này đòi hỏi phải nâng cao hơn nữa hiệu quả sử dụng nước.

Liên quan đến việc cải thiện hiệu quả sử dụng, khái niệm năng suất nước đã được xem xét và công bố rộng rãi trên thế giới. Theo Tuong T.P (1999), năng suất nước là một đại lượng được biểu thị bằng khối lượng sản phẩm cây trồng (Y) thu được trên 1 đơn vị nước đến mặt ruộng (thường là tưới và mưa, W) hoặc một đơn vị nước mất đi do bốc thoát hơi (ET) [7]. Xác định được năng suất nước, người ra quyết định có thể lựa chọn phương án vận hành hệ thống sao cho lợi nhuận có được cho xã hội và tổ chức quản lý là lớn nhất. Vậy, thực tế ở Việt Nam năng suất nước và giải pháp nâng cao hiệu quả dùng nước như thế nào? Từ khái niệm trên đây và kết quả nghiên cứu hiện trường, bài báo này trình bày và thảo luận kết quả ban đầu xác định năng suất nước và ứng dụng chúng để giải quyết bài toán tối ưu vận hành hệ thống tưới lúa ở vùng đồng bằng Bắc Bộ.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Lựa chọn địa điểm và điều kiện thí nghiệm

Địa điểm nghiên cứu là hệ thống tưới Tư Mại, huyện Yên Dũng, tỉnh Bắc Giang – vùng đồng bằng Bắc Bộ. Khu thí nghiệm tưới được bố trí tại cánh đồng xã Hồng Giang, nằm gọn trong hệ thống tưới được lựa chọn. Đất ở đây chủ yếu là đất sét nhẹ, sét nặng. Hàm lượng mùn, đạm, kali, lân ở tầng đất canh tác rất cao. Mặt ruộng có cao độ trung bình dao động từ +2,0 đến +4,0 và phân bố ở hầu hết các xã trên hệ thống. Đất đai ở vùng này được đánh giá là rất thích hợp với thâm canh lúa.

Bảng 1. Các biện pháp thâm canh lúa ở khu vực nghiên cứu

Thông thường				SRI			
Số khóm/ m^2	Số rảnh/ m^2	Mật độ (cm)	Tuổi mạ (ngày)	Số khóm/ m^2	Số rảnh/ m^2	Mật độ (cm)	Tuổi mạ (ngày)
33,3	133,2	15x20	>20	20	40	20x25	8 đến 10

Nguồn: Phòng Nông nghiệp và Phát triển Nông Thôn, huyện Yên Dũng

Cũng như tình hình chung ở vùng đồng bằng Bắc Bộ, ở đây có 2 vụ lúa chính với các biện pháp thâm canh lúa chủ yếu là i) thông thường (theo kinh nghiệm sản xuất của nông dân) và ii) theo SRI (do Phòng Nông nghiệp huyện khuyến cáo). Điểm khác biệt cơ bản của 2 biện pháp thâm canh này như trình bày trong bảng 1. Để phù hợp với các điều kiện ứng dụng, kỹ thuật gieo cấy và chăm sóc lúa trong thí nghiệm này được áp dụng như quy trình sản xuất thực tế của địa phương hiện nay. Thâm canh thông thường áp dụng chế độ tưới nông thường xuyên (như hiện nay). Thâm canh theo SRI, áp dụng tưới nông, lộ, phơi kết hợp.

2.2. Bố trí thí nghiệm

i) Xác định quy mô thí nghiệm

Công thức thí nghiệm cần phản ánh được các chế độ tưới khác nhau. Sử dụng mô hình CROPWAT tính toán mức tưới cho từng đợt tưới của các trường hợp thí nghiệm (Kc của lúa được tham khảo từ Sổ tay kỹ thuật Thuỷ lợi - Phần 2: Công Trình Thuỷ lợi - Tập 3: Hệ Thống Tưới Tiêu (Viện Khoa học Thuỷ lợi, 2005); số liệu khí tượng theo liệt trung bình từ 1998-2007; chỉ tiêu cơ lý của đất theo các thông số thí nghiệm hiện trường). Với thời kỳ tưới "đủ", mức nước cấp cho ô thí nghiệm áp dụng tối thiểu bằng 100% giá trị tính toán.

Ngược lại, trong thời kỳ tưới "hạn chế", mức nước cấp áp dụng trong giới hạn từ 50% đến 100% giá trị tính toán.

Để hạn chế sự thiên lệch của chế độ nước đến độ nhạy cảm của cây lúa ở từng thời kỳ sinh trưởng, các ô thí nghiệm được thiết kế thành từng cặp đối xứng nhau tương ứng với 2 chế độ tưới đã đề cập. Như vậy, với mỗi biện pháp thâm canh sẽ có 16 ô thí nghiệm tưới theo chế độ ngập thường xuyên và nông, lộ, phơi kết hợp và 5 ô đối chứng (tưới theo kinh nghiệm của người dân địa phương).

ii) Xác định các biến số

Biến số chính cần được xác định là nhu cầu nước của lúa (ET_a) ứng với các phương pháp thâm canh khác nhau. ET_a được xác định từ phương trình cân bằng nước tại mặt ruộng:

$$M = ET_a + Wn - Rfe - Qđ - Nmq \pm \Delta Qnn \pm \Delta a \quad (1)$$

Trong đó: M: lượng nước tưới (mm); Rfe: lượng nước mưa (mm); Nmq: lượng nước hút lên tầng đất canh tác do mao quản. (mm); ET_a: nhu cầu nước của cây trồng hay bốc thoát hơi tại mặt ruộng (mm) (FAO, 1986); Qđ: dòng chảy mặt đến tương đương (mm); Wn: dòng thấm đứng tương đương (mm); ΔQnn: Dòng chảy ngầm vào (ra) tầng đất canh tác sau khi quy đổi (mm); Δa: Lượng nước tương đương trữ lại (rút ra) ở tầng đất canh tác (mm).

Trong nghiên cứu này, các ô thí nghiệm được thiết kế đảm bảo có thể cách ly được cả dòng chảy mặt đến và dòng chảy ngầm. Do vậy, các đại lượng cần phải quan trắc bao gồm: M, Rfe, Nmq, Wn, a. Ngoài ra, năng suất lúa Y_a của mỗi ô thí nghiệm cũng được theo dõi qua từng vụ.

2.3. Phương trình xác định độ suy giảm năng suất của cây trồng, Jensen (1968)

Nghiên cứu về độ nhạy cảm của cây trồng đối với nước, Rafiq C.M và cộng sự (2002) giới thiệu phương trình của Jensen (1968) như dưới đây:

$$\frac{Y_a}{Y_{max}} = \prod_{i=1}^{ns}\left(\frac{ET_a}{ET_{max}}\right)_i^{\lambda_i} \quad (2)$$

Trong đó, λ_i: chỉ số nhạy cảm (độ nhạy cảm) đối với nước của cây trồng ở thời kỳ sinh trưởng thứ i; Y_a: năng suất thực tế của cây trồng (kg/ha); Y_{max}: năng suất cây (kg/ha); ET_a: lượng bốc thoát hơi nước thực tế, tương ứng với Y_a, trong thời kỳ thứ i (mm); ET_{max}: lượng bốc thoát hơi nước tương ứng với Y_{max} trong thời kỳ thứ i (mm); ns: số thời kỳ sinh trưởng của cây trồng.

Từ (2), logarit hoá hai vế thì phương trình này tương đương với

$$Ln\frac{Y_a}{Y_{max}} = \sum_{i=1}^{ns}\lambda_i . Ln\left(\frac{ET_a}{ET_{max}}\right)_i \quad (3)$$

Đặt $z = Ln\frac{Y_a}{Y_{max}}$; $x_i = Ln\left(\frac{ET_a}{ET_{max}}\right)_i$, khi đó (3) được viết lại như sau:

$$z = \sum_{i=1}^{ns}\lambda_i . x_i \quad (4)$$

Nếu có tổ hợp số liệu quan trắc (x_{ji}, z_j), j = 1, 2, 3...N thì (4) được biểu diễn dưới dạng quan hệ ma trận: $\mathbf{Z = \Lambda.X}$ Phương trình này được giải theo phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Để kiểm định phương trình Jensen (1968) và ứng dụng trong điều kiện thực tế, giá trị của ET_a, ET_{max}, Y_{max}, N cần được xác định thông qua thí nghiệm đồng ruộng.

2.4. Phương pháp phân tích số liệu

Nghiên cứu này sử dụng hàm hồi quy (regressions), hàm mô tả thống kê (descriptive statistic) để phân tích số liệu.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thí nghiệm tưới lúa

Trong thí nghiệm này, cân bằng ở các ô thí nghiệm được thiết lập trên cơ sở phương trình (1) với thời đoạn là 1 ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy, lượng nước mao quản và nước

phải tiêu đi ở các ô thí nghiệm rất nhỏ. Hầu hết các ô thí nghiệm không phải tiêu nước mưa trong các vụ thí nghiệm. Số liệu quan trắc trực tiếp ở địa điểm nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, tổng lượng mưa trong những tháng vụ chiêm xuân năm 2008 là 341,0 mm và vụ chiêm xuân năm 2009 là 308,4 mm. Trong khi đó, vụ mùa năm 2008 có tổng lượng mưa là 381,0mm và 319,0 mm đối với vụ mùa năm 2009. Những trận mưa có giá trị lớn (không quá 75mm) thường độc lập với các trận mưa khác. Chỉ các trận mưa có giá trị nhỏ là rải ra một vài ngày nhưng tổng lượng không quá lớn.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm tưới cho lúa

Biện pháp thâm canh lúa	Thông số	Trung bình		Độ lệch chuẩn	Sai số phân bố chuẩn
		Giá trị	Sai số chuẩn		
SRI vụ xuân	W_{tb} (*) (m^3/ha)	4.540	109,199	724,34	3,575
	ET_{atb} (mm)	433	10,251	68,00	0,357
	Y_{atb} (Kg/ha)	6.349	0,792	5,25	0,357
SRI vụ mùa	W_{tb} (m^3/ha)	5.578	256,363	1.700,52	3,575
	ET_{atb} (mm)	453	11,916	79,04	0,357
	Y_{atb} (Kg/ha)	4.780	1,033	6,85	0,357
TT vụ xuân	W_{tb} (m^3/ha)	4.493	127,299	815,11	3,695
	ET_{atb} (mm)	433	15,375	98,45	0,369
	Y_{atb} (Kg/ha)	6.953	1,291	8,26	0,369
TT vụ mùa	W_{tb} (m^3/ha)	5.715	277,953	1.735,82	3,782
	ET_{atb} (mm)	453	7,707	48,13	0,378
	Y_{atb} (Kg/ha)	5.004	0,576	3,60	0,378

** Tổng lượng nước mưa và tưới*

Tổng lượng nước ngấm sâu trung bình ở các ô thí nghiệm trong vụ chiêm xuân là 56,3 mm/vụ, ở các ô thí nghiệm vụ mùa là 63,0 mm/vụ. Tổn thất do ngấm thường xảy ra lớn hơn trong vụ mùa nhưng tổng lượng nước hao lại nhỏ hơn so với vụ chiêm xuân. Điều đó có nghĩa là nhu cầu nước tại mặt ruộng vụ chiêm xuân cao hơn so với vụ mùa.

Sử dụng hành mô tả thống kê để phân tích cho thấy, nhu cầu nước trung bình của lúa vụ chiêm xuân thâm canh theo SRI được xác định trong 2 năm thí nghiệm là 433 mm/vụ. Ở vụ mùa, bốc thoát hơi nước trung của các ô thí nghiệm lúa thâm canh theo SRI là 453 mm/vụ. Đối với lúa thâm canh thông thường theo kinh nghiệm của người dân địa phương (TT), bốc thoát hơi nước trung bình ở vụ chiêm xuân là 433 mm/vụ, vụ mùa là 453 mm/vụ (bảng 2).

Tổng lượng nước trung bình cấp cho các thí nghiệm (mưa và tưới) vụ chiêm xuân là 4.540 (m^3/ha), đối với lúa thâm canh theo SRI và 4.493 (m^3/ha), đối với lúa thâm canh thông thường. Giá trị tương ứng đạt được trong vụ mùa là 5.578 và 5.715 (m^3/ha).

Với năng suất lúa trung bình đạt được của các trường hợp nghiên cứu (bảng 2), có thể thấy, thông số kỹ thuật thâm canh lúa theo phương pháp SRI của địa phương hiện nay chưa hoàn toàn phù hợp điều kiện thực tế của vùng. Năng suất nước trung bình đạt được ở khu thí nghiệm tưới lúa như sau:

Bảng 3. Năng suất nước ở khu thí nghiệm tưới lúa

Biện pháp thâm canh lúa	Năng suất nước	Giá trị	Đơn vị
SRI vụ xuân	Tính theo lượng nước cấp	1,399	kg/m^3
	Tính theo bốc thoát hơi nước	1,465	
SRI vụ mùa	Tính theo lượng nước cấp	0,857	
	Tính theo bốc thoát hơi nước	1,056	
TT vụ xuân	Tính theo lượng nước cấp	1,547	
	Tính theo bốc thoát hơi nước	1,607	
TT vụ mùa	TínTính theo lượng nước cấp	0,876	
	Tính theo bốc thoát hơi nước	1,105	

Từ kết quả ở bảng 3, năng suất nước khá biến động khi lượng nước bốc thoát hơi nước cả vụ hay lượng nước cấp (tưới và mưa) cả vụ thay đổi. Kết quả này phù hợp với các công bố trước đó của các nhà khoa học trong nước [1]. Vậy, trong từng thời kỳ sinh trưởng của lúa, lượng nước tưới và bốc thoát hơi nước ảnh hưởng như thế nào đến năng suất?

3.2. Kết quả xác định chỉ số nhạy cảm của lúa đối với nước

Bảng 4. Năng suất lúa lớn nhất và lượng bốc thoát hơi nước tương ứng

Các đại lượng	Thâm canh thông thường		Thâm canh theo SRI	
	vụ chiêm	vụ mùa	vụ chiêm	vụ mùa
Y_{max} (tạ/ha)	78,60	58,37	69,75	58,00
ET_{max} (mm/vụ)	469,11	476,22	452,23	474,26
ET_{a1} (mm/thời kỳ)	30,90	29,72	24,33	22,54
ET_{a2} (mm/thời kỳ)	158,43	238,14	147,97	199,86
ET_{a3} (mm/thời kỳ)	163,97	83,28	155,65	89,20
ET_{a4} (mm/thời kỳ)	115,81	125,09	124,28	162,64

Từ (2) cho thấy, chỉ số nhạy cảm λ có thể nhận giá trị dương, âm hoặc bằng 0. Trường hợp λ nhỏ hơn 0 có nghĩa là năng suất cây trồng (Y_a) sẽ suy giảm khi ET_a tăng. Điều này mâu thuẫn với mục tiêu quản lý nước tưới nói chung. Vì vậy, các cặp số liệu Y_a và ET_a tương ứng với $ET_a > ET_{amax}$ cần được loại bỏ trong quá trình tính toán. Tổng số cặp số liệu còn lại được sử dụng để tính toán được gọi là số cặp số liệu có ý nghĩa (N). Từ tập hợp số liệu quan trắc và tính toán cho từng ô thí nghiệm, năng suất lúa lớn nhất đạt được được trình bày trong bảng 4.

Giải phương trình $\mathbf{Z} = \mathbf{\Lambda.X}$, cho kết quả như trình bày trong bảng 5:

Bảng 5. Kết quả tính toán chỉ số nhạy cảm của lúa đối với nước

Chỉ số nhạy cảm với nước	Thâm canh thông thường		Thâm canh theo SRI	
	vụ chiêm xuân	vụ mùa	vụ chiêm xuân	vụ mùa
λ thời kỳ 1	0,111	0,188	0,055	0,266
λ thời kỳ 2	0,303	0,255	0,172	0,337
λ thời kỳ 3	0,425	0,524	0,212	0,516
λ thời kỳ 4	0,079	0,084	0,111	0,078
R^2	0,888	0,959	0,843	0,907

Trong tất cả các trường hợp tính toán, hệ số xác định bội (R^2) đạt được khá cao, dao động từ 0,843 (lúa vụ chiêm xuân, thâm canh theo phương pháp SRI) đến 0,959 (lúa vụ mùa, thâm canh thông thường). Điều đó chứng tỏ quan hệ giữa bốc thoát hơi nước của các thời kỳ sinh trưởng với năng suất lúa ở khu vực nghiên cứu là rất chặt chẽ.

Đối với lúa chiêm xuân, chỉ số nhạy cảm thấp nhất đạt được ở thời kỳ đầu tiên (Cấy → Đẻ nhánh). Chỉ số nhạy cảm cao nhất đạt được vào thời kỳ sinh trưởng thứ 3 (Làm đòng → Trỗ). Kết quả này tương đối phù hợp với điều kiện thực tế khi vào thời kỳ 1, thời tiết khu vực này thường có mưa phùn trong khi nhu cầu dùng nước của lúa không cao. Vì vậy, nếu nhiệt độ không khí đảm bảo, lúa hoàn toàn có thể sinh trưởng và phát triển bình thường trong điều kiện thiếu nước tưới (đất để ẩm). Khu vực nghiên cứu bắt đầu vào hè kèm theo gió mùa khô và nóng vào đúng thời kỳ thứ 3 của lúa. Nếu thiếu nước trong thời gian này dễ dẫn đến năng suất lúa bị suy giảm. Ngược lại, sau giai đoạn gieo cấy, lúa chiêm xuân hoàn toàn có thể chịu hạn (đặc biệt lúa được thâm canh theo phương pháp SRI) mà ít bị suy giảm năng suất. Kết quả này chỉ ra cơ hội rất lớn để tăng hiệu quả vận hành hệ thống tưới nếu triển khai tưới hạn chế nước trong những năm nguồn nước khó khăn do mực nước sông thấp và yêu cầu nước đổ ải căng thẳng. Tương tự như vậy, nước có ảnh hưởng quan trọng hơn đối với thời kỳ thứ 3 (Làm đòng → Trỗ) của lúa mùa (bảng 4). Ở khu vực nghiên cứu, trong thời gian này trời nắng nhiều và nhiệt độ thường cao nên nhu cầu dùng nước lớn (mặc dù có mưa). Do vậy, thiếu nước trong thời gian này có thể ảnh hưởng đến quá trình làm đòng, trổ bông và làm giảm năng suất lúa.

3.3. Phương án vận hành tối ưu hệ thống tưới

Bài toán tối ưu

- Hàm mục tiêu

Quan hệ giữa lượng nước tưới, bốc thoát hơi nước của cây lúa và năng suất cho thấy, với khả năng nguồn nước hạn chế ở đầu mối thì có thể có các lựa chọn khác nhau để vận hành hệ thống tưới. Nếu mở rộng phạm vi tưới (tăng diện tích tưới) thì mức tưới (m^3/ha) sẽ thấp và năng suất lúa có thể tương ứng giảm. Ngược lại, nếu thu hẹp phạm vi tưới thì mức tưới cho lúa ở các khu ruộng được lựa chọn sẽ cao hơn và năng suất lúa có thể sẽ tăng. Cả hai lựa chọn này đều ảnh hưởng đến tổng sản lượng lúa và tổng chi phí quản lý vận hành của hệ thống.

Hàm mục tiêu của bài toán tối ưu là tối đa hóa lợi nhuận đối với mỗi đợt tưới. Cụ thể:

$$MaxB = Max\left\{\sum_{j=1}^{soCT}\sum_{k=1}^{soDT} A_{jk}.(\theta_j.Y_{jk}).\Pr_j - C_{jk}\right\} \quad (5)$$

Trong đó, j và k: các chỉ số; soCT: số loại cây trồng (ở đây là lúa áp dụng các hình thức thâm

canh và trà gieo cấy khác nhau); soDT: số khu ruộng tương ứng với các lựa chọn khác nhau về mức độ đáp ứng yêu cầu nước hay nguồn nước tưới. Ở đây mỗi khu ruộng được xem là diện tích tưới của một nút cơ sở (mô phỏng thông qua một công trình phân phối nước); B: tổng lợi nhuận (đồng); A_{jk}: diện tích của cây trồng thứ j ứng với khu ruộng thứ k (ha); θ_j: hệ số quy đổi năng suất giữa các soCT cây trồng trên hệ thống; Y_{jk}: năng suất của cây trồng trên diện tích thứ j ở khu ruộng thứ k (tạ/ha). Y_{jk} được xác định thông qua hàm suy giảm năng suất cây trồng khi thiếu hụt nước (công thức (2)); Pr_j: giá sản phẩm của cây trồng thứ j (đồng/kg); $C_{j,k}$: chi phí quản lý vận hành đối với khu ruộng/kênh thứ k, trồng cây thứ j (đồng).

- Các điều kiện ràng buộc

Xét khả năng đáp ứng về mặt số liệu và yêu cầu thời gian xử lý bài toán vận hành hệ thống theo thời gian thực và mục tiêu quản lý vận hành các hệ thống tưới hiện nay, nghiên cứu này đề xuất xử lý một số điều kiện ràng buộc cần thoả mãn bao gồm:

+ Ràng buộc về mức tưới mỗi đợt:

Theo phương thức tưới tràn, lưu lượng tưới phải đủ lớn để hình thành lớp nước và có thể lan toả từ vị trí đầu đến cuối ruộng lúa. Ít nhất, lớp nước để hình thành dòng chảy tràn cần lớn hơn độ nhám bề mặt ruộng trung bình. Bên cạnh đó, mức tưới cho mỗi ô ruộng cũng không nên vượt quá mức trữ nước tối đa ở mặt ruộng hoặc ngưỡng tối đa của công thức tưới tăng sản.

$$a_{min} \le a \le a_{max} \qquad (6)$$

Trong đó, a_{min}: lớp nước tối thiểu để hình thành dòng chảy tràn trên mặt ruộng (mm); a_{max}: mức tưới tương ứng với khả năng trữ nước tối đa trên mặt ruộng, hoặc yêu cầu tưới tăng sản, hoặc yêu cầu tưới nhằm giảm phát thải khí nhà kính (mm).

+ Ràng buộc về điều kiện nguồn nước

Phải đảm bảo rằng tổng lượng nước yêu cầu tại đầu mối nhỏ hơn tiềm năng của nguồn nước tại thời điểm tương ứng. Công thức xác định khả năng đáp ứng của nguồn nước tại đầu mối như sau:

$$Wđm_{max} = 86.400 \text{ x } songT \text{ x } Qđm_{max} \qquad (7)$$

Trong đó, songT: tổng thời gian công trình đầu mối lấy nước vào hệ thống (ngày); $Qđm_{max}$: lưu lượng nước trung bình lấy qua công trình đầu mối (m^3/s).

Với công trình đầu mối là cống ngầm hoặc cống dưới đê, $Qđm_{max}$ phụ thuộc vào độ mở cống và chênh lệch cột nước trước và sau cống; Với công trình đầu mối là trạm bơm, $Qđm_{max}$ phụ thuộc vào lưu lượng trung bình của máy bơm.

+ Ràng buộc về diện tích tưới

Tổng diện tích được tưới mỗi đợt phải nhỏ hơn diện tích lớn nhất do hệ thống phục vụ. Điều kiện ràng buộc liên quan đến hạn chế này có dạng:

$$\sum_{j=1}^{SoDT} A_j \le A_{ht} \qquad (8)$$

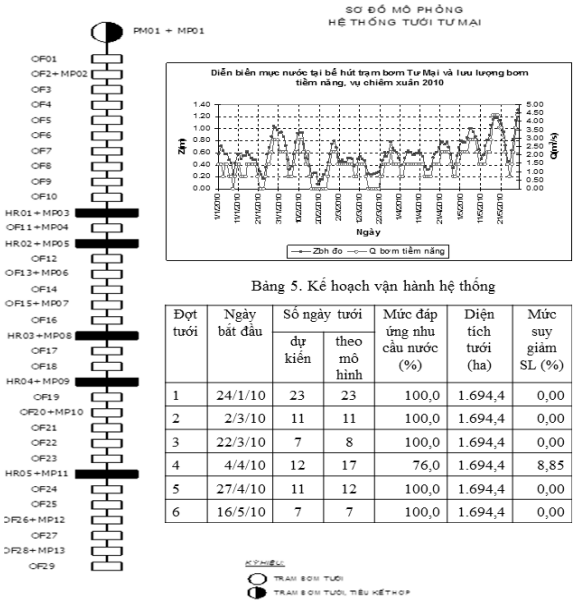
Trong đó, A_{ht}: diện tích phụ trách lớn nhất của hệ thống (ha); các ký hiệu khác giống phát biểu trong hàm mục tiêu.

Ngoài ra, bài toán tối ưu để lập phương án vận hành hệ thống tưới cần đồng thời thoả mãn các điều kiện ràng buộc khác: thời gian xảy ra hao nước dự kiến, thời gian tưới dự kiến, mức bốc thoát hơi nước thiếu hụt cho phép (ET_a dự kiến).

Ứng dụng bài toán tối ưu lập kế hoạch vận hành hệ thống tưới Tư Mại

Tư Mại là hệ thống tưới động lực, lấy nước từ sông Cầu tưới cho 1.694,4 ha lúa hai vụ. Công trình đầu mối của hệ thống cách Phả Lại khoảng 7,5 km về phía thượng lưu. Trong nhiều thời điểm, khi nhu cầu nước

căng thẳng, hệ thống tưới Tư Mại không đủ nước để bơm tưới cho toàn bộ hệ thống. Căn cứ vào đặc tính bể hút có thể xác định được lưu lượng tiềm năng của trạm bơm như mô tả trong hình dưới đây.



Hình 1. Sơ đồ mô phỏng và kịch bản vận hành hệ thống tưới Tư Mại

Bảng 5. Kế hoạch vận hành hệ thống

Đợt tưới	Ngày bắt đầu	Số ngày tưới		Mức đáp ứng nhu cầu nước (%)	Diện tích tưới (ha)	Mức suy giảm SL (%)
		dự kiến	theo mô hình			
1	24/1/10	23	23	100,0	1.694,4	0,00
2	2/3/10	11	11	100,0	1.694,4	0,00
3	22/3/10	7	8	100,0	1.694,4	0,00
4	4/4/10	12	17	76,0	1.694,4	8,85
5	27/4/10	11	12	100,0	1.694,4	0,00
6	16/5/10	7	7	100,0	1.694,4	0,00

Như vậy, thông qua mực nước tại bể hút và kết quả dự báo lưu lượng yêu cầu tại đầu mối có thể biết trong mỗi đợt tưới cụ thể, hệ thống có đủ hay thiếu nước tưới.

Ứng dụng mô hình để mô phỏng vận hành hệ thống cho thấy [4], với điều kiện nguồn nước xác định thì kế hoạch vận hành cần được điều chỉnh để đạt được lợi ích tối đa (giữa tổng sản lượng lúa thu được và chi phí quản lý vận hành). Theo đó, đợt tưới số 3, số 4 và số 5 cần điều chỉnh số ngày bơm nước tưới thực tế so với dự kiến lần lượt là 1, 5 và 1 ngày. Ngoài ra, đối với đợt tưới 4, do nguồn nước tại đầu mối không đáp ứng được nhu cầu nên chế độ tưới hạn chế cũng cần được áp dụng. Khi đó, lượng nước trạm bơm cấp chỉ đáp ứng được 76% so với nhu cầu nhưng diện tích tưới vẫn đảm bảo 100%. Với đợt tưới này, nếu thực hiện tưới đủ nước và tiến hành co hẹp diện tích phục vụ của hệ thống sẽ không hiệu quả bằng áp dụng tưới hạn chế.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Lúa thâm canh theo các phương pháp khác nhau sẽ cho năng suất nước khác nhau. Về tổng thể, lúa chiêm xuân thâm canh theo phương pháp thông thường, năng suất nước tính theo lượng nước cấp toàn vụ cao hơn so với thực hành thâm canh SRI hiện tại (1,547 kg/m^3 so với 1,399 kg/m^3). Lúa mùa thâm canh theo phương pháp thông thường, năng suất nước tính theo lượng nước cấp toàn vụ cũng cao hơn so với thâm canh theo SRI trong vùng nghiên cứu (0,876 kg/m^3 so với 0,857 kg/m^3). Kết quả so sánh cũng tương tự khi tính năng suất nước theo bốc thoát hơi nước của cây trồng.

Trong từng giai đoạn sinh trưởng, lượng nước cấp hay bốc thoát hơi nước cũng ảnh hưởng đến năng suất lúa theo các mức độ khác nhau. Đối với vụ chiêm xuân, thâm canh lúa theo phương pháp SRI sẽ hạn chế được suy giảm năng suất nếu xảy ra thiếu nước ở các thời kỳ sinh trưởng thứ 1, 2 và 3 (λ tương ứng các thời kỳ này của lúa thâm canh theo SRI nhỏ hơn so với lúa thâm canh thông thường). Tương tự như vậy, ảnh hưởng của thiếu nước ở các thời kỳ 1 và 2 của lúa mùa được thâm canh thông thường ít hơn so với lúa mùa được thâm canh theo SRI trong cùng thời kỳ. Nếu thiếu nước ở các thời kỳ 3 và 4 của lúa mùa được thâm canh theo phương pháp SRI sẽ ít bị ảnh hưởng hơn so với lúa mùa thâm canh thông thường.

Trong điều kiện hạn chế nguồn nước, việc tổ chức tưới, tổ chức sản xuất hoặc bố trí cơ cấu cây trồng cần được xem xét một cách thấu đáo. Bài toán tối ưu hóa quản lý vận hành hệ thống tưới được thiết lập trên cơ sở phân tích tối đa hóa tổng lợi nhuận sản xuất (trade off) của hệ thống đã được ứng dụng cho kết quả tin cậy, phục vụ tốt cho công tác vận hành hệ thống tưới theo thời gian thực. Một số phương án (điều chỉnh phạm vi phục vụ, điều chỉnh

thời gian tưới hay áp dụng tưới hạn chế) cần được áp dụng để vận hành hệ thống tưới khi nguồn nước không đủ.

Mô hình tối ưu hóa vận hành hệ thống cần được ứng dụng rộng rãi, giúp các tổ chức quản lý cải thiện hiệu quả sử dụng trong điều kiện hạn chế nguồn nước hay chịu tác động của biến đổi khí hậu. Để ứng dụng mô hình vận hành tối ưu ra nhiều hệ thống tưới, nghiên cứu về năng suất nước và độ nhạy cảm của giống lúa khác, cây trồng khác cũng như các biện pháp thâm canh khác nhau cần tiếp tục được thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Đoàn Doãn Tuấn, Trần Việt Dũng và Lê Văn Chính, 2009. Phân tích về các biện pháp thâm canh lúa tối ưu trên hệ thống thuỷ nông tưới lúa ở Việt Nam. Tuyển tập khoa học công nghệ - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam. Tập I. tr. 435-447;

[2] Nguyễn Việt Anh, 2014. Quản lý nước mặt ruộng nhằm giảm thiểu khí nhà kính tại Phú Xuyên và Long Phú, tỉnh Sóc Trăng. Tuyển tập báo cáo. Hội thảo quốc tế & họp thường niên Mạng lưới INWEPF lần thứ 11. Hà Nội, 2014;

[3] Trần Đình Hoà, 2011. Nghiên cứu giải pháp công trình điều tiết trên hệ thống sông Hồng mùa kiệt phục vụ phát triển kinh tế đồng bằng Bắc Bộ. Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu của đề tài cấp nhà nước. Hà Nội, 3/2011;

[4] Trần Văn Đạt, 2012. Nghiên cứu phát triển mô hình vận hành hệ thống tưới trong điều kiện hạn chế nguồn nước ở vùng đồng bằng Bắc Bộ. Luận án tiến sĩ. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

[5] Viện Khoa học Thuỷ lợi, 2005. Sổ tay kỹ thuật Thuỷ lợi - Phần 2: Công Trình Thuỷ lợi - Tập 3: Hệ Thống Tưới Tiêu. Nhà xuất bản Nông nghiệp;

[6] Choudhry M. Rafiq, W. Clyma and M. Reddy, 2002. Calibration and application of Jensen's yield prediction model for major crops of semi arid region. Journal of Drainage and Water Management, Vol.6(2) July-Dec. 2002 / 27;

[7] Tuong T.P, 1999. Productive water in rice production: opportunities and limitations. Journal of Crop Production 2(2), pp. 241-264.