

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH NĂNG SUẤT NƯỚC TƯỚI

Nguyễn Thị Kim Dung, Nguyễn Xuân Lâm, Nguyễn Thiện Sơn

Viện Nước, Tưới tiêu và Môi trường

Tóm tắt: Nông nghiệp là ngành sử dụng nước nhiều nhất, nhưng cũng là ngành có hiệu quả sử dụng nước rất thấp. Từ đó, việc nghiên cứu năng suất nước tưới trong bối cảnh ngày càng căng thẳng về nguồn nước sẽ góp phần giải quyết bài toán phát triển ngành nông nghiệp bền vững và hiệu quả. Bài báo tập trung đánh giá các phương pháp xác định năng suất nước tưới; các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả và đề xuất các biện pháp cải thiện năng suất nước tưới.

Từ khóa: Hiệu quả sử dụng nước, năng suất nước, nông nghiệp có tưới, công nghệ tưới tiết kiệm nước, năng suất nước tưới.

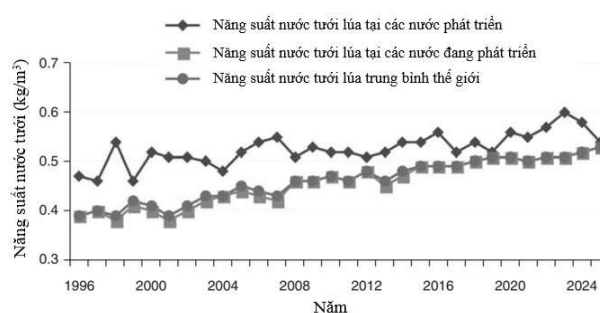
Abstract: Agriculture is the largest user of water, but it also has very low water use efficiency. As a result, the research on irrigation water productivity in the context of increasing water conflicts will contribute to solving the problem of sustainable and efficient agriculture development. The paper focuses on the existing methods, formulae for determining the water productivity; the factors that affecting to the results and to the calculating and finally propose the measures to improve irrigation water productivity.

Keywords: Water use efficiency, water productivity, irrigated agriculture, water-saving technology, irrigation water productivity.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, người ta thống kê được rằng nông nghiệp mà đặc biệt là lĩnh vực sản xuất lương thực, thực phẩm sử dụng tới 70% tổng lượng nước được sử dụng trên toàn cầu [1]. Lượng nước sử dụng hàng năm cho sản xuất nông nghiệp trên toàn quốc luôn chiếm tỷ trọng rất lớn trong tổng lượng nước ngọt tiêu thụ. Cụ thể, lượng nước cung cấp cho sản xuất nông nghiệp, chủ yếu cho tưới lúa là khoảng 93 tỷ m³ (chiếm 81%), công nghiệp tiêu thụ khoảng 17,3 tỷ m³ (chiếm 15%), dịch vụ và sinh hoạt tiêu thụ khoảng 5,09 tỷ m³ (chiếm 4%). Dự báo đến năm 2030, lượng nước sử dụng cho sản xuất nông nghiệp sẽ có xu hướng gia tăng hàng năm khoảng 5%, trong bối cảnh thiếu hụt nguồn nước tưới và ô nhiễm nguồn nước mặt ngày càng nghiêm trọng đã dẫn tới tình trạng hạn hán ngày càng diễn ra trên diện rộng [2]. Do đó, yêu cầu

cấp thiết hiện nay là phải nâng cao hơn nữa hiệu quả sử dụng nước cho sản xuất nông nghiệp, đặc biệt là cho canh tác lúa, đảm bảo an ninh lương thực. Những hình dưới đây là kết quả thống kê và dự báo của Ximing Cai và cộng sự, 2003 về năng suất nước tưới lúa, sản lượng lúa và lượng nước tưới lúa theo thời gian và tại một số khu vực trên thế giới [3]:

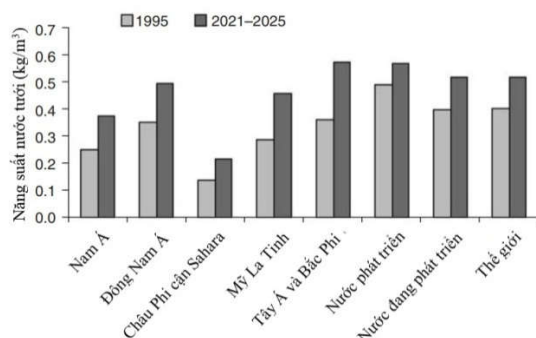


Hình 1. Năng suất nước tưới lúa trên thế giới

Ngày nhận bài: 03/9/2018

Ngày thông qua phản biện: 27/9/2018

Ngày duyệt đăng: 15/11/2018



Hình 2: năng suất nước tưới lúa một số khu vực năm 1995 và giai đoạn 2012-2025

Việc tăng năng suất nước tưới có thể đạt được theo 2 hướng tiếp cận: (i) nâng cao hiệu quả sử dụng các đầu vào (giống cây trồng, đất đai, phân bón, lao động, nước, vốn, năng lượng, và các yếu tố đầu vào khác) trong sản xuất và (ii) tối đa hóa giá trị sản lượng đầu ra (thường được quy đổi thành tiền) [4]. Bài báo được chia thành hai phần chính: Phần đầu tiên đề cập tới năng suất nước tưới và các phương pháp xác định. Phần thứ hai phân tích các giải pháp tăng năng suất nước tưới và hiệu quả kinh tế của việc sử dụng nước tưới.

2. NĂNG SUẤT NƯỚC TƯỚI VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH

2.1. Hiệu quả sử dụng nước tưới

Hiệu quả sử dụng nước, theo định nghĩa của FAO, là khái niệm liên quan đến hiệu quả sử dụng nước của các đối tượng sử dụng nước khác nhau (trồng trọt, thủy sản, cấp nước sinh hoạt,...) trong hệ thống thủy lợi [5]. Hiệu quả sử dụng nước thường tính bằng giá trị phần trăm đối với từng đối tượng sử dụng nước (là tỷ số giữa lượng nước được sử dụng hiệu quả (EWU) so với lượng nước cấp thực tế (AWW)):

$$WUE = \frac{EWU}{AWW} \cdot 100 \quad (\%)$$

Chẳng hạn, trong 1 vụ sản xuất, nếu công trình đầu mối của hệ thống thủy lợi cấp 10.000 m³ nước tưới, tuy nhiên, tại mặt ruộng, thực tế chỉ còn 8.000 m³ nước thì hiệu quả sử dụng nước của hệ thống thủy lợi đó đối với trồng trọt là

80%, đây được gọi là hiệu quả sử dụng nước tưới, là một trường hợp đặc biệt trong khái niệm hiệu quả sử dụng nước. Theo đó, để nâng cao hiệu quả sử dụng nước tưới thì phải tìm cách giảm lượng tổn thất dọc đường (thấm, rò rỉ), tổn thất cục bộ, và lượng bốc thoát hơi nước vô ích của cả hệ thống trong quá trình cấp nước tưới.

2.2. Năng suất nước tưới

Năng suất nước (WP), theo định nghĩa của hầu hết các nhà nghiên cứu, là khái niệm liên quan đến hiệu quả kinh tế, dân sinh của việc sử dụng nước cho các đối tượng sản xuất (nông nghiệp, công nghiệp, cấp nước sinh hoạt,...) trong hệ thống thủy lợi [6]. Năng suất nước của từng đối tượng sử dụng nước phải được quy về cùng đơn vị:

$$WP = WP_{\text{nông nghiệp}} + WP_{\text{công nghiệp}} + WP_{\text{cấp nước sinh hoạt}} + \dots$$

Năng suất nước tưới (IWP), là một trường hợp đặc biệt trong khái niệm năng suất nước liên quan đến hiệu quả kinh tế, dân sinh của việc sử dụng nước cho sản xuất nông nghiệp trong hệ thống thủy lợi [7]. Năng suất nước tưới thường được tính bằng tỷ lệ giữa khối lượng sản phẩm nông nghiệp thu được CY (kg/ha) hoặc giá trị sản phẩm (đ/ha) và lượng nước tưới AW (m³/ha):

$$IWP = \frac{CY}{AW} \quad (\text{kg/m}^3 \text{ hoặc } \text{đ/m}^3)$$

Theo công thức trên, nếu khối lượng sản phẩm thu được là 4.000 kg/ha, và lượng nước tưới là 8.000 m³/ha, thì năng suất nước tưới sẽ là 0,5 kg/m³, đây được gọi là năng suất nước tưới trung bình. Tuy nhiên, giá trị năng suất nước tưới này vẫn chưa đủ cơ sở để kết luận liệu lượng nước tưới 8.000 m³/ha đã là mức tối ưu hay chưa? Để tìm ra mức tối ưu này, người ta lập hàm quan hệ giữa khối lượng sản phẩm thu được và lượng nước tưới, từ đó, tìm ra mức năng suất nước tưới cận biên WP_M (là khối lượng sản phẩm thu được tăng thêm tối đa do sử dụng thêm một đơn vị lượng nước tưới) [8].

Năng suất nước tưới cận biên này được định nghĩa như sau:

$$IWP_M = \max\left(\frac{\partial CY}{\partial AW}\right) \quad (\text{kg/m}^3)$$

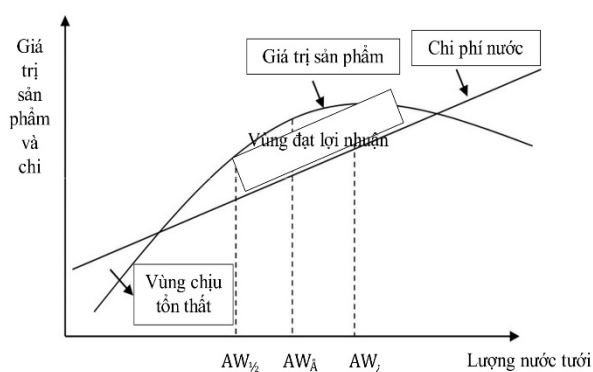
Năng suất nước tưới cận biên này khi nhân với giá sản phẩm thu được thì thu được giá trị nước tưới cận biên tương ứng $VIWP_M$ (là giá tối đa sản phẩm thu được trên một đơn vị lượng nước tưới):

$$VIWP_M = p \cdot \max\left(\frac{\partial CY}{\partial AW}\right) \quad (\text{đ/m}^3)$$

Sự khác nhau cơ bản giữa năng suất nước tưới với hiệu quả sử dụng nước tưới là hiệu quả sử dụng nước tưới chỉ xét đến khía cạnh kỹ thuật mà chưa đề cập tới sự khác nhau về giá trị kinh tế đạt được từ những loại hình canh tác nông nghiệp khác nhau. Việc tăng năng suất nước tưới có thể không đồng nghĩa với việc tăng hiệu quả sử dụng nước tưới.

2.3. Giá trị nước tưới cận biên

Để tìm ra giá trị nước tưới cận biên, English, 1990 đã thiết lập mối quan hệ giữa giá trị sản phẩm thu được và chi phí nước tưới ứng với từng lượng nước tưới [13], [14] thể hiện như hình sau:



Hình 3: Mối quan hệ giữa giá trị sản phẩm thu được và chi phí ứng với từng lượng nước tưới

Từ hình trên, ta thấy, giá trị sản phẩm thu được ($VIWP$) và lượng nước tưới (AW) có mối quan hệ là một đường cong: $VIWP = a_0 + a_1 \cdot (AW) - a_2 \cdot (AW^2)$, trong khi giữa chi phí và lượng nước tưới là quan hệ tuyến tính: $C =$

$b_0 + b_1 \cdot (AW)$. Qua đó, giá trị sản phẩm thu được tăng dần theo từng lượng nước tưới và đạt giá trị tối đa tại lượng nước tưới $AW_F = a_1/2a_2$, rồi giảm dần dù tăng thêm lượng nước tưới chủ yếu là do chi phí cấp nước tưới tăng lên. Trong khi đó, chi phí cấp nước tưới luôn tăng dần theo mức tăng lượng nước tưới. Do đó, lợi nhuận thu được lớn nhất lại không phải tại lượng nước tưới AW_F mà tại lượng nước tưới $AW_L = (a_1 - b_1)/2a_2$, còn lợi nhuận thu được ứng với lượng nước tưới AW_F chỉ tương đương tại lượng nước tưới $AW_D = (a_1 - 2b_1)/2a_2$. Tuy nhiên, trong thực tế, để tìm ra các mối quan hệ này là không dễ dàng vì đòi hỏi phải bố trí thí nghiệm theo địa điểm và thời gian cụ thể cũng như cần có các công cụ đo đạc vô cùng chính xác.

2.4. Một số chỉ số đánh giá hiệu quả tưới áp dụng tại Việt Nam

Tại Việt Nam, ngày 30 tháng 09 năm 2013, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn đã ban hành quyết định số 2212/QĐ-BNN-TCTL về việc Ban hành Bộ chỉ số đánh giá quản lý khai thác hệ thống công trình thủy lợi, trong đó quy định chỉ số đánh giá hiệu quả tưới như sau:

- Mức tưới (N_1): là chỉ số đánh giá hiệu quả lượng nước tưới tại đầu mỗi được sử dụng TS_{12} (m^3) cho một đơn vị diện tích gieo trồng TS_2 (ha):

$$N_1 = \frac{TS_{12}}{TS_2} \quad (m^3/ha)$$

Trong đó, chỉ số N_1 càng thấp chứng tỏ hệ thống thủy lợi càng hoạt động hiệu quả vì với cùng một lượng nước tại đầu mỗi mà hệ thống có thể cung cấp cho nhiều diện tích gieo trồng hơn.

- Mức sử dụng nước mặt ruộng (N_2): là chỉ số đánh giá hiệu quả lượng nước tưới tại mặt ruộng được sử dụng TS_{29} (m^3) cho một đơn vị diện tích gieo trồng TS_2 (ha):

$$N_2 = \frac{TS_{29}}{TS_2} \quad (m^3/ha)$$

Tương tự chỉ số N_1 , chỉ số N_2 càng thấp chứng tỏ hiệu quả quản lý nước mặt ruộng vì với cùng một lượng nước tại mặt ruộng mà có thể cung cấp cho nhiều diện tích gieo trồng hơn.

- Hiệu quả sử dụng nước cho nông nghiệp (N_3): là chỉ số đánh giá hiệu quả kinh tế về giá trị sản phẩm nông nghiệp trồng trọt TS_{17} (đồng) trên một đơn vị nước cấp TS_{12} (m^3):

$$N_3 = \frac{TS_{17}}{TS_{12}} \quad (\text{đồng}/m^3)$$

Chỉ số N_3 càng cao chứng tỏ hiệu quả kinh tế trong việc sử dụng nước vì với cùng một lượng nước cấp cho sản xuất nông nghiệp mà có thể mang lại nhiều tiền hơn.

Tuy nhiên, hiện vẫn chưa có hướng dẫn áp dụng các chỉ số trên để đánh giá công tác quản lý khai thác hệ thống công trình thủy lợi trên toàn quốc.

3. MỘT SỐ GIẢI PHÁP NÂNG CAO NĂNG SUẤT NƯỚC TƯỚI

Nói chung, khái niệm năng suất nước tưới thường được sử dụng để đánh giá tính hiệu quả của việc sử dụng nước, trong đó tập trung vào lợi ích kinh tế trong việc sử dụng nước tưới, năng suất của cây trồng, hệ thống tưới đối với khu vực canh tác nhất định [9]. Năng suất nước tưới cũng phụ thuộc vào các đặc tính của nông dân như động lực canh tác, kỹ năng và trình độ kiến thức của họ. Ngoài ra, năng suất nước còn phụ thuộc vào trình độ quản lý của đơn vị cấp nước, loại công nghệ tưới được sử dụng, cây trồng và giống được sử dụng, và điều kiện đất đai, khí hậu của khu vực canh tác. Về khía cạnh kinh tế, tăng năng suất nước tưới có nghĩa là tăng mức lợi nhuận thu được, tức là tối ưu hóa sử dụng tài nguyên nước, đặc biệt đối với những khu vực khan hiếm nguồn nước tưới. Dưới đây là một số giải pháp nâng cao năng suất nước tưới.

3.1. Tiết kiệm nước tưới lúa bằng công nghệ canh tác SRI

Lúa gạo là nguồn lương thực chủ yếu cho một nửa dân số trên thế giới và còn là nguồn tạo

công ăn việc làm và thu nhập lớn nhất cho người dân nông thôn. Tuy nhiên hoạt động sản xuất lúa gạo cũng có nhiều thách thức. Những tập quán canh tác hiện nay thường gây lãng phí các nguồn tài nguyên ngày càng trở nên khan hiếm như nước - mỗi năm sản xuất lúa gạo tiêu tốn đến 1/3 tổng lượng nước ngọt tiêu thụ trên toàn thế giới. Những cánh đồng đầy nước quanh năm được bón nhiều phân hóa học góp phần làm tăng khí thải nhà kính, gây ra hiện tượng trái đất nóng lên. Việc lạm dụng phân hóa học, và các chất bảo vệ thực vật dẫn đến việc ô nhiễm đất và nước. Hơn nữa, trồng lúa mất rất nhiều công lao động trong đó người phụ nữ phải gánh vác nhiều công việc đồng áng cùng với các công việc nội trợ, nuôi dạy con cái. Hệ thống thâm canh lúa cải tiến (SRI) được phát triển vào đầu những năm 1990 ở Madagascar và được xem là một công nghệ nông nghiệp bền vững có chi phí đầu vào thấp (LEISA). Với công nghệ SRI, người nông dân có thể sản xuất ra nhiều lúa gạo hơn trong khi tiết kiệm được nước, hóa chất, giống và mất ít công lao động hơn. Hệ thống SRI đã được chứng minh là giúp cải thiện thu nhập, đảm bảo an ninh lương thực, đồng thời giảm thiểu các tác động tiêu cực đối với môi trường và tăng cường khả năng thích ứng của nông dân với biến đổi khí hậu và tính bền vững của môi trường. Công nghệ SRI này liên quan đến kỹ thuật gieo mạ khô, cấy cây con 20 ngày tuổi với mỗi khóm 1 cây, khoảng cách giữa các cây ít nhất 20x20 cm, và kiểm soát mực nước, cỏ dại thường xuyên để cho phép sự phát triển của cây trồng. Do công nghệ SRI không chỉ mang lại năng suất lúa cao hơn mà còn là phương pháp tưới tiết kiệm nước, lợi ích về năng suất nước tưới tại mặt ruộng có thể rất cao. Tại Việt Nam, thực tế đã chứng minh rằng người nông dân canh tác bằng công nghệ SRI có hiệu quả vượt trội so với phương pháp canh tác truyền thống. Lúa khỏe, ruộng thông thoáng, ít sâu bệnh. Tiền lãi tăng trung bình trên 2 triệu đồng/ha, giá thành/kg thóc giảm từ 342 đồng đến 520 đồng, và còn tiết kiệm

được khoảng 1/3 lượng nước tưới so với phương pháp canh tác truyền thống [10].

Như vậy giải pháp này giúp tiết kiệm nước và tăng năng suất dẫn đến tăng năng suất nước tưới.

3.2. Cải tạo giống

Việc phát triển giống cây trồng chịu hạn và cây trồng sử dụng nước hiệu quả, cải tiến hệ thống tưới tiêu và các sản phẩm bảo vệ thực vật là các biện pháp để thực hiện tiết kiệm nước. Theo báo cáo năm 2014 của Viện Nghiên Cứu Chính Sách Lương Thực Quốc Tế (IFPRI), cây trồng chịu khô hạn đã góp phần tăng sản lượng thêm 15-20% tại các khu vực hạn hán nặng như Mỹ, Trung Quốc, Đông Phi. Cây lúa nước, loại cây tiêu thụ nhiều nước hơn hẳn các cây lương thực khác, cần tới 2.500 lít nước để sản xuất ra 1 kg gạo cũng là một mục tiêu cải thiện giống trong sử dụng nước hiệu quả. Việc phát triển các giống lúa mới như các giống lúa ngắn hạn và giống lai giúp giảm thời gian sinh trưởng từ 5 tháng xuống còn 3 tháng rưỡi cũng là một trong các giải pháp tiết kiệm nước chính. Ví dụ, tại Trung Quốc, giống lúa mới sử dụng 1.750 lít nước so với 3.500 lít nước tại Ấn Độ. Biến đổi gen có khả năng cải thiện việc sử dụng nước hiệu quả của lúa nước tới 30-40% [11].

Như vậy giải pháp này giúp rút ngắn thời gian canh tác, tăng khả năng chống chịu khô hạn của cây trồng mà không làm giảm năng suất dẫn đến tăng năng suất nước tưới.

3.3. Chính sách giá nước

Ở các nước phát triển cũng như các nước đang phát triển, có sự khác nhau liên quan đến các phương pháp tính giá nước. Việc định giá nước có thể bao gồm các mục tiêu khác nhau như thu hồi chi phí (những người đã được hưởng lợi từ việc đầu tư vào thủy lợi và ai phải trả tiền), tài trợ cho cơ quan tưới tiêu, hoặc giảm lãng phí nước. Chính trị cũng góp phần quyết định vào giá nước. Hơn nữa, nhiều quốc gia thường thiếu kinh nghiệm và các thể chế thích hợp để định giá nước tưới tiêu. Nước (đặc biệt là nước được sử dụng trong tưới tiêu) là một nguồn tài nguyên thiên nhiên phức tạp, một nguồn tài nguyên kinh tế phức tạp và đồng thời là một

nguồn tài nguyên chính trị phức tạp. Hơn nữa, trong khi việc định giá nước đối với nước cho các dịch vụ, sinh hoạt và công nghiệp rất dễ dàng, thì đối với nước cho sản xuất nông nghiệp thì đặc biệt khó do khó đo đặc lượng nước sử dụng, cũng như lượng tổn thất. Có một số phương pháp định giá khác nhau đối với nước tưới và chi phí thực hiện đã được nghiên cứu. Chúng bao gồm giá dựa trên diện tích tưới tiêu, giá dung tích theo lượng nước được sử dụng hoặc tiêu thụ, giá đầu ra hoặc đầu vào, giá cố định và giá biến đổi và thị trường nước. Các điều kiện cần thiết và đầy đủ cho vận hành theo cơ chế thị trường trong hầu hết các trường hợp chưa được đưa ra. Giá biến đổi thường được đề xuất cho hệ thống máy bơm sử dụng điện. Phương pháp định giá nước rõ rệt nhất thông qua hiệu quả sử dụng nước trên các mô hình canh tác. Các phương pháp thường khác nhau về khối lượng và chi phí hành chính cần thiết trong quá trình triển khai. Phương pháp đảm bảo hiệu quả kinh tế nhất sẽ phụ thuộc vào điều kiện cơ sở hạ tầng bao gồm hệ thống đầu mối, vận chuyển, phân phối nước và các thể chế [12].

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã góp phần làm rõ các khái niệm về hiệu quả sử dụng nước tưới và năng suất nước tưới. Hiệu quả sử dụng nước tưới được xác định bằng tỷ lệ lượng nước tưới với lượng nước cung cấp trong khi năng suất nước tưới là tỷ lệ giữa sản lượng cây trồng thu được với lượng nước tưới. Bài báo cũng làm rõ các mối quan hệ giữa lợi ích về mặt kinh tế đối với lượng nước tưới và chỉ ra rằng, việc tăng sản lượng cây trồng có thể không đồng nghĩa với việc tăng năng suất nước tưới về mặt kinh tế. Không những thế, bài báo còn nêu ra một số giải pháp nhằm góp phần tăng năng suất nước tưới bao gồm giải pháp áp dụng công nghệ thâm canh lúa cải tiến nhờ giúp tiết kiệm lượng nước tưới và phù hợp với điều kiện canh tác tại Việt Nam. Do vậy, để đảm bảo hiệu quả sử dụng nước cao nhất thì các quyết định về phân bổ nguồn nước giữa các ngành cũng như về lựa chọn loại cây trồng trong sản xuất nông nghiệp của người nông dân phải được dựa trên những đánh giá toàn diện về lợi ích kinh tế và xã hội. Điều này sẽ giúp thúc đẩy hiệu quả quản lý tài nguyên

nước để đáp ứng các mục tiêu như đảm bảo an ninh lương thực và phát triển bền vững trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Enrique Playa'n and Luciano Mateos, Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity, *Agricultural Water Management*, 2006, No. 80, pp. 100-116.
- [2] Trần Văn Đạt, Kết quả nghiên cứu năng suất nước và mô hình quản lý vận hành tối ưu hệ thống tưới lúa. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* số 24 - 2014, tr. 93-101.
- [3] Ximing Cai et al., *World Water Productivity: Current Situation and Future Options*, CAB International 2003, pp. 163-178.
- [4] Susanne M. Scheierling et al., *How to Assess Agricultural Water Productivity? Policy Research Working Paper*, The World Bank, No. 6982
- [5] *Water Use Efficiency? Emerging practices from Agricultural Water Management in Africa and the Near East*, The Food and Agriculture Organization (FAO), August 28th, 2017.
- [6] Frank A. Ward et al., The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications, *Water Policy* 4 (September 20th, 2002), pp. 423-446.
- [7] Simon Cook et al., *Agricultural Water Productivity: Issues, Concepts and Approaches*, Challenge Program on Water & Food, Basin Focal Project Working Paper, 2006.
- [8] Dennis Wichelns, Do Estimates of Water Productivity Enhance Understanding of Farm-Level Water Management? *Water* 2014, No. 6, pp. 778-795.
- [9] Bharat Sharma et al., Water use efficiency in agriculture: Measurement, current situation and trends, *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*, June 01st, 2017, pp. 39-64.
- [10] Ngô Tiến Dũng và cộng sự, Hệ thống thâm canh lúa cải tiến SRI Góp phần đảm bảo an ninh lương thực, tăng cường khả năng ứng phó của nông dân với biến đổi khí hậu và tính bền vững của môi trường, giấy phép xuất bản số: 403-2011/CXB/45-34/LĐ.
- [11] Robert G. Evans et al., Methods and technologies to improve efficiency of water use, *Water Resources Research*, VOL. 44, W00E04, July 29th, 2008
- [12] Jacob W. Kijne, Randolph Barker and David Molden, *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, Comprehensive assessment of water management in agriculture series 1, ISBN 0 85199 669 8, Wallingford, UK: CAB International, 2003.
- [13] English, M.J. 1990, Deficit irrigation I: Analytical framework, *American Society of Civil Engineers* 116 (IR3): pp. 399-412.
- [14] English, M.J., Musick, J.T. and Murty, V.V.N. 1990, Deficit irrigation, In *Management of Farm Irrigation Systems* (Eds. G.J. Hoffman and K.H. Soloman), pp. 631-663. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, MI (PDF) Improving Water Productivity in Semi-arid Environments through Regulated Deficit Irrigation. Available from: https://www.researchgate.net/publication/312605138_Improving_Water_Productivity_in_Semi-arid_Environments_through_Regulated_Deficit_Irrigation [accessed Sep 14 2018].