

XÁC ĐỊNH NHU CẦU NƯỚC TƯỚI CHO CÂY LẠC BẰNG PHƯƠNG TRÌNH FAO PENMAN-MONTEITH VÀ HỆ SỐ CÂY TRỒNG KÉP

Nguyễn Quang Phi

Khoa Kỹ thuật tài nguyên nước, Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Nghiên cứu áp dụng phương trình FAO Penman–Monteith kết hợp phương pháp hệ số cây trồng kép để xác định nhu cầu nước tưới (IWR) cho cây lạc vụ Xuân tại xã Hải Thịnh, tỉnh Ninh Bình – khu vực có đất phù sa pha cát và mưa phân bố không đều. Kc kép gồm Kcb và Ke được xác định theo FAO-56, có xét đến tỷ lệ che phủ tán lá (f_c), diện tích đất bị ướt (f_w) và điều kiện khí tượng thực tế. Kết quả cho thấy tổng lượng bốc thoát hơi nước (ETc) là 337,7 mm, lượng mưa hiệu quả chỉ đạt 81,2 mm, dẫn đến nhu cầu nước tưới toàn vụ lên tới 313,3 mm (3.133 m³/ha). Giai đoạn ra hoa – quả chắc có nhu cầu nước cao nhất, chiếm 43,7% tổng IWR. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở xây dựng lịch tưới và quản lý nước hiệu quả cho cây lạc tại vùng đồng bằng ven biển Bắc Bộ và các khu vực có điều kiện tương tự.

Từ khóa: FAO Penman–Monteith, bốc thoát hơi nước, hệ số cây trồng, nhu cầu nước tưới, cây Lạc.

Summary: This study applies the FAO Penman–Monteith equation combined with the dual crop coefficient method to determine the irrigation water requirement (IWR) for spring peanut crops in Hai Thinh Commune, Ninh Binh Province - an area characterized by sandy loam soil and uneven rainfall distribution. The dual crop coefficient (Kc), comprising basal crop coefficient (Kcb) and soil evaporation coefficient (Ke), was calculated following FAO-56 guidelines, considering canopy cover fraction (f_c), wetted soil fraction (f_w), and local meteorological conditions. Results indicate a total crop evapotranspiration (ETc) of 337.7 mm, with effective rainfall of only 81.2 mm, resulting in a seasonal IWR of 313.3 mm (3,133 m³/ha). The flowering–pod filling stage exhibited the highest water demand, accounting for 43.7% of the total IWR. These findings provide a scientific basis for developing irrigation schedules and efficient water management for peanut cultivation in the coastal plains of Northern Vietnam and similar agroecological zones.

Keywords: FAO Penman–Monteith, evapotranspiration, crop coefficient, irrigation water requirement, peanut

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và áp lực ngày càng lớn lên tài nguyên nước, việc xác định chính xác nhu cầu nước tưới (IWR) cho cây trồng là vấn đề cấp thiết nhằm tối ưu hóa sử dụng nước và bảo đảm phát triển nông nghiệp bền vững. Lạc (*Arachis hypogaea* L.), một loại cây trồng cận chủ lực tại các tỉnh ven biển Bắc Bộ, có năng suất phụ thuộc chặt chẽ vào chế độ tưới, đặc biệt trên đất phù sa pha cát – loại đất phổ biến nhưng khả năng giữ ẩm kém [1, 2]. Tưới cho cây lạc hiện nay chủ yếu dựa vào kinh nghiệm hoặc các khuyến cáo như TCVN 8641:2011 với tổng lượng khoảng 2.000 m³/ha, chu kỳ 10–15 ngày/lần, tập trung vào các giai đoạn ra hoa – tạo hạt – chắc hạt [1]. Tuy nhiên, hướng dẫn này chưa phản ánh được sự biến động theo thời tiết hàng ngày và đặc điểm thoát hơi nước đặc thù qua các giai đoạn sinh trưởng.

Trong những năm gần đây, phương pháp FAO Penman–Monteith kết hợp hệ số cây trồng kép được áp dụng rộng rãi để tính nhu cầu nước (ETc), nhờ khả năng tách biệt giữa thoát hơi qua lá (Kcb) và bốc hơi từ đất (Ke). Công thức $ETc = (Kcb + Ke) \times ET_o$ sử dụng ET_o từ phương trình FAO Penman–Monteith, một công cụ tính toán tiêu biểu, tích hợp đầy đủ các yếu tố khí tượng như bức xạ, nhiệt độ, độ ẩm và gió [3–6].

Tính ưu việt của phương pháp hệ số cây trồng kép đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu quốc tế. Các công trình này chỉ ra rằng thành phần bốc hơi từ đất (Ke) có thể chiếm tới 17% - 47% tổng lượng bốc thoát hơi nước (ETc). Nhờ việc tách riêng hai thành phần Ke và Kcb, phương pháp kép giúp ước tính nhu cầu nước chính xác hơn, qua đó có thể tiết kiệm từ 7,6% đến 23,8% lượng nước tưới mà vẫn đảm bảo năng suất cây trồng. Tính hiệu quả của phương pháp đã được kiểm chứng trên nhiều đối tượng cây trồng như ngô, vừng, anh đào, đậu Hà Lan trong các điều kiện canh tác và khí hậu đa dạng [7-17].

Ngày nhận bài: 07/8/2025

Ngày thông qua phản biện: 29/9/2025

Ngày duyệt đăng: 05/10/2025

Tại Việt Nam, phần lớn các nghiên cứu về cây lạc vẫn sử dụng hệ số cây trồng đơn, chưa phân tích riêng K_e . Ví dụ, nghiên cứu của Phi (2014) [18] tại xã Hải Thịnh chỉ áp dụng hệ số cây trồng đơn mà không xét đến bốc hơi từ đất, còn Sái Hồng Dương & Phạm Văn Đông (2012) [2] chỉ đề xuất lượng tưới khuyến nghị mà không sử dụng mô hình hệ số cây trồng kép.

Thực tế sản xuất tại xã Hải Thịnh, nơi có đất nhẹ, mưa rải rác, nguy cơ xâm nhập mặn và hình thức tưới rãnh phổ biến đặt ra yêu cầu cần ứng dụng phương pháp hệ số cây trồng kép để mô phỏng sát hơn nhu cầu tưới của cây lạc. Việc tích hợp dữ liệu khí tượng theo ngày và đặc điểm canh tác địa phương sẽ giúp nâng cao độ chính xác trong lập lịch tưới.

Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm: (1) Xác định hệ số cây trồng cơ bản (K_{cb}) và hệ số bốc hơi từ đất (K_e) theo từng giai đoạn sinh trưởng cây lạc; Tính toán nhu cầu nước bốc thoát hơi (ET_c) và nhu cầu nước tưới (IWR) bằng phương pháp hệ số cây trồng kép theo hướng dẫn trong FAO-56 kép tại xã Hải Thịnh, tỉnh Ninh Bình.

Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp cơ sở khoa học cho lập lịch tưới chính xác, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng nước, tăng năng suất cây lạc và thích ứng tốt hơn với điều kiện biến đổi khí hậu tại vùng ven biển Bắc Bộ.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương trình cân bằng nước xác định nhu cầu nước tưới

Nhu cầu nước tưới (IWR) được xác định dựa trên phương trình cân bằng tổng quát:

$$IWR_i = \Delta D_{r_i} + ET_{c_i} - P_{e_i} - CR_i \quad (1)$$

Trong đó: ET_{c_i} - lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng (mm); P_{e_i} - lượng mưa hiệu quả (mm); ΔD_{r_i} - sự thay đổi ẩm trong tầng đất (mm); CR_i - lượng nước mao dẫn từ nước ngầm (mm).

Đối với cây lạc là cây trồng cạn, có bộ rễ ăn nông, trung bình 20–25 cm. Theo hướng dẫn FAO-56, khi mực nước ngầm nằm sâu hơn 1 m so với đáy tầng rễ thì có thể coi ảnh hưởng của nước mao dẫn (CR_i) không đáng kể có thể bỏ qua. Đồng thời, với chế độ tưới duy trì đủ ẩm, sự thay đổi ẩm đất (D_{r_i}) giữa các chu kỳ tưới được giả thiết là không đáng kể. Do đó, phương trình (1) được rút gọn thành:

$$IWR_i = ET_{c_i} - P_{e_i} \quad (2)$$

2.2. Tính ET_c theo phương pháp hệ số cây trồng kép

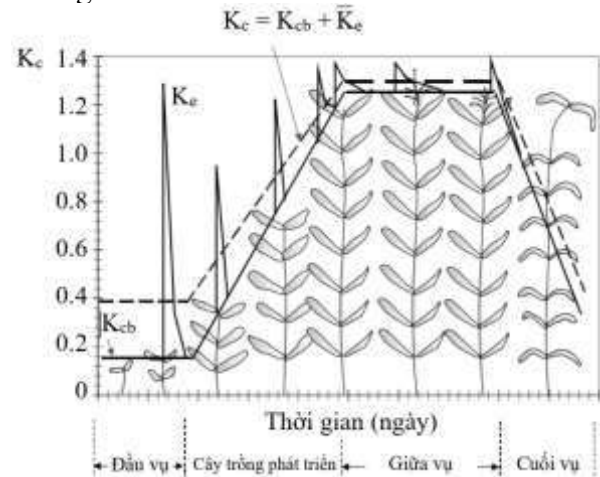
2.2.1. Nguyên lý xác định ET_c

Lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng (ET_c) được tính toán theo phương pháp hệ số cây trồng kép do FAO-56 khuyến nghị [3], Phương pháp này cho phép tách riêng hai quá trình: thoát hơi nước qua tán lá (K_{cb}) và bốc hơi từ đất (K_e), từ đó phản ánh sát thực hơn nhu cầu nước của cây trồng theo thời gian sinh trưởng, mức độ che phủ và điều kiện ẩm của lớp đất bề mặt.

Công thức tính ET_c như sau:

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) \cdot ET_o \quad (3)$$

Trong đó: K_{cb} - hệ số thoát hơi nước cây trồng (trong điều kiện không chịu căng thẳng nước); K_e - hệ số bốc hơi từ đất; ET_o - bốc thoát hơi nước tham chiếu (mm/ngày), tính theo phương trình FAO Penman–Monteith từ các yếu tố khí tượng như bức xạ, nhiệt độ, gió và độ ẩm không khí.



Hình 1: Minh họa hệ số cây trồng kép theo thời gian sinh trưởng

Quy trình xác định ET_c gồm các bước:

1. Tính ET_o từ số liệu khí tượng bằng phương trình FAO Penman-Monteith.
2. Xác định K_{cb} theo từng giai đoạn sinh trưởng bằng cách tra bảng giá trị chuẩn trong FAO-56 và hiệu chỉnh theo điều kiện khí hậu địa phương.
3. Tính K_e dựa trên mức độ che phủ cây trồng, phương pháp tưới và tình trạng ẩm của đất bề mặt;
4. Tính ET_c theo công thức (3) từ các giá trị ET_o , K_{cb} và K_e .

Phương pháp này phù hợp cho các nghiên cứu chi tiết về chế độ tưới, mô phỏng cân bằng nước mặt ruộng theo ngày, và được sử dụng rộng rãi trong các mô hình tính toán nhu cầu nước tưới chính xác.

2.2.2. Xác định lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu (ET₀)

Lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu (ET₀) được tính theo phương trình FAO Penman – Monteith [3]:

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

Trong đó: R_n - bức xạ thực trên bề mặt cây trồng (MJ/m²/ngày); G - mật độ thông lượng nhiệt đất (MJ/m²/ngày); T - nhiệt độ không khí trung bình ngày ở độ cao 2 m (°C); u₂ - tốc độ gió ở độ cao 2 m (m/s); e_s - áp suất hơi nước bão hòa (kPa); e_a - áp suất hơi nước thực tế (kPa); Δ - độ dốc đường cong áp suất hơi nước (kPa/°C); γ - hằng số ẩm (kPa/°C).

2.2.3. Xác định hệ số cây trồng cơ bản (K_{cb})

Hệ số cây trồng cơ bản (K_{cb}) phản ánh quá trình thoát hơi nước qua lá cây trong điều kiện lý tưởng (đủ ẩm, không sâu bệnh, dinh dưỡng đầy đủ). Theo hướng dẫn FAO-56 [3], giá trị K_{cb} cho các loại cây trồng được tra tại Bảng 17, áp dụng cho điều kiện khí hậu bán ẩm (độ ẩm tương đối tối thiểu RH_{min} ≈ 45%, tốc độ gió u₂ ≈ 2.0 m/s).

Trong trường hợp điều kiện khí hậu tại khu vực nghiên cứu khác so với điều kiện chuẩn (RH_{min} ≠ 45% hoặc u₂ ≠ 2 m/s), nếu K_{cb} ≥ 0,45 thì cần hiệu chỉnh theo công thức:

$$K_{cb} = K_{cb_{Tab}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (5)$$

Trong đó: K_{cb_{Tab}} - giá trị K_{cb} giữa vụ (K_{cb_{mid}}) hoặc cuối vụ (K_{cb_{end}}) tra từ Bảng 17, FAO-56; u₂ - tốc độ gió trung bình ở độ cao 2 m (m/s), với điều kiện 1,0 m/s ≤ u₂ ≤ 6,0 m/s; RH_{min} - độ ẩm tương đối tối thiểu trung bình ngày (%), với điều kiện 20% ≤ RH_{min} ≤ 80%; h - chiều cao cây trung bình trong giai đoạn giữa hoặc cuối vụ (m), h lấy theo Bảng 12, FAO-56.

Quy trình xác định hệ số K_{cb} gồm các bước sau:

1. Tra giá trị gốc K_{cb} từ Bảng 17, FAO-56;
2. Xác định chiều cao cây (h) theo Bảng 12 – FAO-56.
4. Hiệu chỉnh K_{cb} theo công thức (5) ở trên nếu K_{cb} ≥ 0,45;

2.2.4. Xác định hệ số bốc hơi từ đất (K_e)

Hệ số bốc hơi từ đất (K_e) biểu thị phần bốc hơi từ bề mặt đất bị ướt bởi mưa hoặc tưới, là thành phần quan trọng trong tổng bốc thoát hơi nước (ET_c).

Theo FAO-56, giá trị K_e được xác định theo công thức [3]:

$$K_e = \min[K_r.(K_{c_{max}} - K_{cb}), f_{ew}.K_{c_{max}}] \quad (6)$$

Trong đó: K_r - hệ số phục hồi độ ẩm đất mặt (0 ≤ K_r ≤ 1); K_{c_{max}} - hệ số cây trồng tối đa; K_{cb} - hệ số cây trồng cơ bản (xác định tại mục 2.2.3); f_{ew} - phần diện tích đất bề mặt có thể bốc hơi (không bị che phủ và bị làm ướt, tùy thuộc vào tỷ lệ che phủ tán lá và mức độ làm ướt).

Các bước xác định K_e theo FAO-56 [3]:

1. Xác định hệ số cây trồng tối đa K_{c_{max}}

Theo FAO-56 [3], K_{c_{max}} phản ánh giới hạn trên của tổng bốc thoát hơi nước (bao gồm cả cây và đất), được xác định như sau:

$$K_{c_{max}} = \max \left\{ 1,2 + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}, K_{cb} + 0,05 \right\} \quad (7)$$

Trong đó: u₂ - tốc độ gió trung bình tại độ cao 2 m (m/s); RH_{min} - độ ẩm tương đối tối thiểu (%); h - chiều cao cây trồng (m).

Phương trình này đảm bảo K_{c_{max}} ≥ K_{cb} + 0,05 phản ánh rằng khi đất được làm ướt, bốc hơi từ đất sẽ làm tăng tổng bốc thoát hơi nước vượt mức qua cây.

2. Xác định hệ số phục hồi độ ẩm đất mặt (K_r)

Theo hướng dẫn của FAO-56 [3], hệ số phục hồi độ ẩm đất mặt (K_r) phản ánh khả năng bề mặt đất được làm ướt trở lại sau mỗi lần tưới hoặc mưa, ảnh hưởng trực tiếp đến lượng nước bốc hơi từ lớp đất mặt. Giá trị K_r dao động từ 0 đến 1, trong đó:

K_r = 1: áp dụng khi bề mặt đất thường xuyên được làm ướt bởi các lần tưới hoặc các trận mưa nhỏ phân bố đều;

K_r < 1: phản ánh điều kiện đất mặt bị khô kéo dài giữa các lần làm ướt, khi đó K_r cần được tính toán dựa trên lượng bốc hơi tích lũy kể từ lần làm ướt gần nhất và ngưỡng độ ẩm để bốc hơi của đất.

Theo Allen et al. (1998), lượng mưa vượt ngưỡng 0,2 mm được xem là đủ để làm ướt lớp đất mặt và ảnh hưởng đến quá trình bốc hơi, trong khi mưa trên 0,5 mm mới có ảnh hưởng rõ đến độ ẩm tầng rễ. Như vậy, trong điều kiện có tưới định kỳ kết hợp với mưa nhỏ phân bố rải rác, đất mặt không bị khô kéo dài. Trong trường hợp này, có thể giả định K_r = 1 mà không cần tính toán REW cụ thể, phù hợp với khuyến nghị của FAO-56 [3].

3. Tính tỷ lệ mặt đất được che phủ bởi tán lá (f_c)

Tỷ lệ che phủ (f_c) biểu thị phần diện tích đất được che phủ bởi tán cây, là yếu tố quyết định tỷ lệ đất ướt không che phủ (f_{ew}) trong tính toán K_e. f_c được tính theo công thức sau:

$$f_c = \left[\frac{K_{cb} - K_{c_{min}}}{K_{c_{max}} - K_{c_{min}}} \right]^{(1+0,5h)} \quad (8)$$

Trong đó: $K_{c_{min}}$ - hệ số cây trồng nhỏ nhất, $K_{c_{min}}$ thường có cùng giá trị với $K_{cb_{min}}$ được sử dụng cho cây trồng hàng năm trong điều kiện đất gần như trống, FAO-56 khuyến nghị $K_{cb_{min}} = 0,15 - 0,20$; h - chiều cao cây trồng (m).

Công thức áp dụng khi $K_{cb} \geq K_{c_{min}}$ để đảm bảo giá trị f_c hợp lý ($0 \leq f_c \leq 1$). Nếu $K_{cb} < K_{c_{min}}$, f_c được gán bằng 0 để phản ánh độ che phủ không đáng kể.

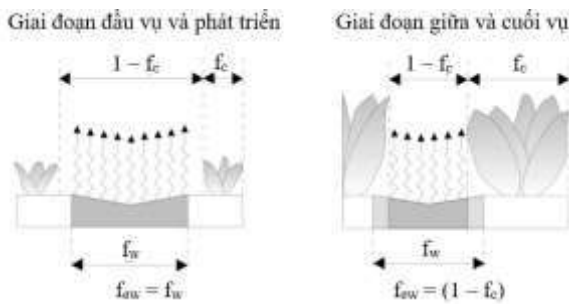
4. Tính phần bề mặt đất có thể bốc hơi (f_{ew})

Phần bề mặt đất có thể bốc hơi (f_{ew}) là tỷ lệ diện tích đất không được tán lá che phủ và bị ướt do mưa hoặc tưới, đóng vai trò quan trọng trong tính toán hệ số bốc hơi từ đất K_e . Giá trị f_{ew} được xác định dựa theo công thức sau:

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \tag{9}$$

Trong đó: f_c - tỷ lệ che phủ bởi tán lá ($0 \leq f_c \leq 1$); f_w - tỷ lệ diện tích mặt đất bị ướt do mưa hoặc tưới ($0 \leq f_w \leq 1$).

Theo hướng dẫn FAO-56 [3], giá trị f_w được xác định dựa trên phương pháp tưới và điều kiện khí tượng: Trong trường hợp tưới rãnh, $f_w = 0,4$ nếu không có mưa, phản ánh thực tế tưới rãnh chỉ làm ướt một phần diện tích mặt đất; $f_w = 1$ nếu trong ngày có mưa, giả định toàn bộ mặt đất được làm ướt.



Hình 2: Mối quan hệ giữa f_{ew} với f_c và f_w trong trường hợp tưới rãnh

FAO-56 không quy định ngưỡng mưa cụ thể để xác định f_w , tuy nhiên theo Allen et al.

(1998) [3] và Raes et al. (2012) [19], lượng mưa $> 0,2$ mm được xem là đủ để làm ướt lớp đất mặt và ảnh hưởng đến quá trình bốc hơi. Trong khi đó, mưa $> 0,5$ mm mới ảnh hưởng rõ đến tầng rễ. Vì vậy, nghiên cứu này lựa chọn ngưỡng 0,2 mm để xác định $f_w = 1$ là phù hợp với mục tiêu tính toán K_e từ lớp đất mặt.

5. Tính giá trị K_e

Sau khi có đủ các yếu tố trên, tính K_e theo công thức (6) ở trên, đảm bảo $K_e \geq 0$ và $K_e + K_{cb} \leq K_{c_{max}}$.

2.3. Xác định lượng mưa hiệu quả (P_e)

Lượng mưa hiệu quả (P_e) là phần lượng mưa có khả năng được cây trồng hấp thụ và sử dụng trong quá trình sinh trưởng. Trong nghiên cứu này, P_e được xác định thông qua hệ số sử dụng nước mưa α , theo công thức [20]:

$$P_e = \alpha P \tag{10}$$

Trong đó: P - lượng mưa thiết kế (mm); α - hệ số sử dụng nước mưa, được xác định theo hướng dẫn của Trung Quốc [20], cụ thể: Nếu $P < 5$ mm, thì $\alpha = 0$; nếu $5 \text{ mm} \leq P \leq 50$ mm, thì $\alpha = 1,0$; nếu $P > 50$ mm, thì $\alpha = 0,8$.

Phương pháp này phản ánh hợp lý khả năng hấp thụ nước mưa của cây trồng: mưa nhỏ dễ dàng được giữ lại và sử dụng, trong khi mưa lớn thường gây thất thoát do chảy tràn hoặc thấm sâu ngoài vùng rễ hữu hiệu.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Dữ liệu và vùng nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại xã Hải Thịnh, tỉnh Ninh Bình – khu vực ven biển đồng bằng Bắc Bộ có đặc trưng khí hậu nhiệt đới ẩm và đất phù sa pha cát. Giông lạc Xuân L26 được gieo từ đầu tháng 2 đến cuối tháng 5, thời gian sinh trưởng khoảng 100–110 ngày. Cây chủ yếu phát triển trong tầng đất 0–30 cm, có chiều cao trung bình 0,30–0,40 m và nhạy cảm với khô hạn trong giai đoạn ra hoa và tạo quả. Các giai đoạn sinh trưởng được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1: Các giai đoạn sinh trưởng của cây lạc

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	Số ngày
Gieo hạt – Ba lá	05/02 – 19/02	15
Ba lá – Ra hoa -	20/02 – 20/03	29
Ra hoa – Quả chắc	21/03 – 07/05	48
Quả chín – Thu hoạch	08/05 – 23/05	16

Dữ liệu khí tượng (nhiệt độ, độ ẩm, gió, nắng, lượng mưa) được thu thập tại trạm Văn Lý (20°7'13"N, 106°18'9"E). Trung bình nhiều

năm, nhiệt độ dao động từ 9,7–34,2°C, độ ẩm trung bình 85%, tốc độ gió 3,5 m/s và số giờ nắng khoảng 3,9 giờ/ngày. Các thông số này

được sử dụng làm đầu vào cho tính toán hệ số bốc hơi từ đất (Ke) và nhu cầu tưới theo hướng dẫn FAO-56.

3.2. Kết quả tính toán xác định ETo

Lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu (ETo)

Bảng 2: Giá trị ETo trung bình theo giai đoạn sinh trưởng

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	Số ngày	ETo trung bình (mm/ngày)
Gieo hạt – Ba lá	05/02 – 19/02	15	2,49
Ba lá – Ra hoa -	20/02 – 20/03	29	2,52
Ra hoa – Quả chắc	21/03 – 07/05	48	2,89
Quả chín – Thu hoạch	08/05 – 23/05	16	4,12
Trung bình cả vụ	05/02 – 23/05	108	2,92

được tính dựa trên dữ liệu khí tượng thực đo tại trạm Văn Lý, đạt trung bình 2,92 mm/ngày trong vụ Xuân. Giá trị ETo thay đổi theo giai đoạn sinh trưởng, như trình bày trong Bảng 2.

3.3. Hệ số cây trồng (Kc)

3.3.1. Hệ số cây trồng cơ bản (Kcb)

Các giá trị Kcb được hiệu chỉnh theo công thức (5), trên cơ sở điều kiện khí tượng tại Hải Thịnh,

bao gồm: tốc độ gió trung bình $u_2 = 3,48$ m/s, độ ẩm tương đối tối thiểu $RH_{\min} = 88,7\%$, và chiều cao cây dao động trong khoảng 0,01–0,40 m. Kết quả hiệu chỉnh được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3: Hệ số Kcb hiệu chỉnh theo các giai đoạn sinh trưởng

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	Số ngày	K_{cbTab}	u_2 (m/s)	RH_{\min} (%)	h (m)	Kcb
Gieo – Ba lá	05/02-19/02	15	0,15	3	89	0,01	0,15**
Ba lá – Ra hoa	20/02-20/03	29	0,63*	3	89	0,20	0,58
Ra hoa – Quả chắc	21/03-07/05	48	1,10	3,6	89,4	0,40	1,04
Quả chín – Thu hoạch	08/05-23/05	16	0,50	4	89	0,40	0,73

(*): Kcb giai đoạn phát triển thân – lá được nội suy giữa Kcb đầu vụ (K_{cbini}) và K_{cbmid}

(**): Kcb đầu vụ giữ nguyên theo FAO vì cây còn nhỏ, bốc hơi chủ yếu từ bề mặt đất

Ở giai đoạn gieo – ba lá, Kcb giữ nguyên ở mức 0,15 do cây còn nhỏ, bốc hơi chủ yếu từ đất. Giai đoạn ra hoa – quả chắc ghi nhận Kcb cao nhất (1,04) do cây phát triển mạnh, nhu cầu thoát hơi qua lá đạt đỉnh. Cuối vụ, Kcb giảm còn 0,73, phản ánh sự suy giảm diện tích lá và hoạt động sinh lý. Các giá trị này phù hợp với điều kiện thực tế tại Hải Thịnh, nơi cây lạc được trồng dày và che phủ nhanh.

3.3.2. Kết quả xác định hệ số bốc hơi từ đất (Ke)

Dựa trên phương pháp hệ số cây trồng kép (mục 2.2.4), Ke được tính cho từng giai đoạn sinh trưởng cây lạc tại xã Hải Thịnh, nơi áp dụng phương pháp tưới rãnh xen kẽ cho cây lạc, mật độ trồng dày (khoảng cách hàng 25–30 cm và cây cách cây 10–15 cm).

1. Hệ số cây trồng tối đa K_{cmax}

Theo FAO-56 [3], K_{cmax} được xác định theo công thức (7), từ các thông số khí tượng và sinh trưởng tương ứng từng giai đoạn, tổng hợp tại Bảng 4.

Bảng 4: Kết quả tính toán K_{cmax}

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	Số ngày	h (m)	Kcb	u_2 (m/s)	RH_{\min} (%)	K_{cmax}
Gieo - Ba lá	05/02-19/02	15	0,01	0,15	3,0	89,0	1,16
Ba lá - Ra hoa	20/02-20/03	29	0,20	0,58	3,0	89,0	1,14
Ra hoa - Quả chắc	21/03-07/05	48	0,40	1,04	3,6	89,4	1,14
Quả chín - Thu hoạch	08/05-23/05	16	0,40	0,73	4,0	89,0	1,15

Kết quả cho thấy K_{cmax} dao động trong khoảng hẹp từ 1,14 đến 1,16, phản ánh đặc

điểm khí hậu ẩm và ổn định tại khu vực nghiên cứu. Dù tốc độ gió và độ ẩm có biến động nhẹ

theo thời gian, nhưng nhờ chiều cao cây và hệ số Kcb tăng dần theo từng giai đoạn sinh trưởng, Kcmax vẫn duy trì ở mức cao. Điều này phản ánh đúng thực tế sản xuất tại xã Hải Thịnh: cây lạc được gieo dày, che phủ nhanh, trong điều kiện ven biển ẩm, gió không quá lớn nên khả năng bốc hơi cực đại từ hệ sinh thái bị giới hạn.

2. Hệ số phục hồi độ ẩm đất mặt (Kr)

Tại xã Hải Thịnh (huyện Hải Hậu, tỉnh Nam Định), cây lạc được tưới bằng phương pháp tưới rãnh xen kẽ với chu kỳ từ 10–15 ngày/lần, tổng lượng nước tưới khoảng 2.000 m³/ha, theo khuyến cáo tại TCVN 8641:2011 [1]. Đồng thời, dữ liệu khí tượng cho thấy nhiều ngày mưa nhỏ với lượng > 0,2 mm, phân bố đều trong suốt vụ.

Với đặc điểm này, bề mặt đất liên tục được làm ướt bởi sự kết hợp giữa mưa và tưới, không xuất hiện giai đoạn khô kéo dài. Do đó, việc giả định Kr = 1 cho toàn bộ vụ là hoàn toàn phù hợp với điều kiện thực tế sản xuất tại khu vực nghiên cứu và đảm bảo độ tin cậy trong tính toán hệ số Ke theo phương pháp FAO-56.

3. Tỷ lệ che phủ tán lá (fc)

Tỷ lệ che phủ tán lá (fc) được tính toán theo công thức (8), với hệ số Kcb_{min} được chọn bằng Kcb_{ini} = 0,15 theo khuyến nghị của FAO-

56. Kết quả tính toán fc được trình bày trong Bảng 5. Các giá trị này mô phỏng sát điều kiện thực tế: fc không đáng kể ở giai đoạn đầu vụ; tăng nhanh lên 0,41 ở giai đoạn phát triển; đạt cực đại 0,88 khi tán lá che phủ gần kín mặt đất ở giai đoạn giữa vụ; và giảm xuống 0,53 ở cuối vụ khi lá bắt đầu rụng.

4. Phần bề mặt đất có thể bốc hơi (few)

Trong nghiên cứu này, để phù hợp với điều kiện thực tế canh tác lạc tại xã Hải Thịnh, nơi áp dụng phương pháp tưới rãnh xen kẽ và có lượng mưa nhỏ phân bố rải rác, giá trị fw được xác định theo quy tắc sau: fw = 1 nếu trong ngày có mưa > 0,2 mm, giả định rằng lượng mưa này đủ để làm ướt toàn bộ bề mặt đất, dẫn tới toàn bộ diện tích không được che phủ đều bị ướt; fw = 0,4 nếu không có mưa, phản ánh thực tế tưới rãnh chỉ làm ướt một phần bề mặt đất (theo khuyến nghị của FAO-56, Bảng 20 [3]).

Tại xã Hải Thịnh, nơi áp dụng phương pháp tưới rãnh xen kẽ và có lượng mưa nhỏ phân bố rải rác trong mùa vụ, giá trị fw được xác định theo quy tắc: fw = 1 nếu trong ngày có mưa > 0,2 mm; fw = 0,4 nếu không có mưa.

Từ các giá trị fc (xác định theo hệ số Kcb và chiều cao cây) và fw ở từng giai đoạn sinh trưởng, giá trị few được tính toán theo công thức (9) và trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5: Tổng hợp các giá trị fc, fw, few trung bình từng giai đoạn

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	fc	fw	few
Gieo – Ba lá	05/02-19/02	0	0,60	0,60
Ba lá – Ra hoa	20/02-20/03	0,41	0,54	0,47
Ra hoa – Quả chắc	21/03-07/05	0,88	0,55	0,12
Quả chín – Thu hoạch	08/05-23/05	0,53	0,48	0,37

Giá trị few cao ở đầu vụ do mặt đất còn trống, giảm mạnh giữa vụ nhờ tán lá che phủ gần kín, sau đó tăng nhẹ về cuối vụ khi lá rụng bớt – phản ánh đúng ảnh hưởng của fc và fw đến tiềm năng bốc hơi từ đất trong điều kiện canh tác thực tế.

5. Hệ số bốc hơi từ đất (Ke)

Hệ số Ke được tính toán theo công thức (8) từ các thông số đã xác định ở các mục trước, gồm: Kcb, Kcmax, Kr và few. Kết quả được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6: Kết quả tính hệ số bốc hơi từ đất (Ke)

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	Số ngày	Kcmax	Kcb	Kr	few	Ke
Gieo – Ba lá	05/02-19/02	15	1,16	0,15	1	0,60	0,65
Ba lá – Ra hoa	20/02-20/03	29	1,14	0,58	1	0,47	0,48
Ra hoa – Quả chắc	21/03-07/05	48	1,14	1,04	1	0,12	0,10
Quả chín – Thu hoạch	08/05-23/05	16	1,15	0,73	1	0,37	0,37

Ke biến động rõ rệt theo từng giai đoạn sinh trưởng. Ở đầu vụ (gieo – ba lá), Ke đạt giá trị cao nhất (0,65) do đất trống, ít che phủ và dễ bị làm ướt bởi mưa hoặc tưới. Bước sang giai

đoạn ba lá – ra hoa, Ke giảm còn 0,48 khi tán lá bắt đầu phát triển và che phủ dần bề mặt đất. Giai đoạn ra hoa – quả chắc ghi nhận Ke thấp

nhất (0,10), phản ánh hiệu quả che phủ cao nhất của tán lá, làm giảm đáng kể quá trình bốc hơi từ lớp đất mặt. Cuối vụ, khi tán lá lão hóa và rụng bớt, Ke tăng lên 0,37 do diện tích đất hở lớn hơn.

Diễn biến này cho thấy độ che phủ tán lá có vai trò quyết định đối với quá trình bốc hơi từ

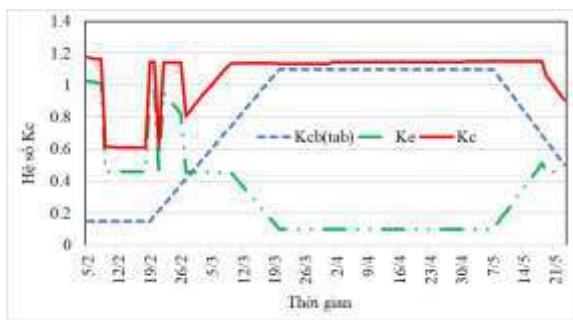
đất Ke, một thành phần quan trọng trong tính toán tổng nhu cầu nước tưới theo phương pháp hệ số cây trồng kép.

3.3.3. Kết quả hệ số cây trồng (Kc)

Hệ số Kc được tính từ hai thành phần Kcb và Ke đã xác định ở các mục trước. Kết quả được trình bày trong Bảng 7.

Bảng 7: Hệ số cây trồng Kc theo các giai đoạn sinh trưởng

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	Số ngày	Kcb	Ke	Kc = Kcb + Ke
Gieo – Ba lá	05/02–19/02	15	0,15	0,65	0,80
Ba lá – Ra hoa	20/02–20/03	29	0,58	0,48	1,06
Ra hoa – Quả chắc	21/03–07/05	48	1,04	0,10	1,14
Quả chín – Thu hoạch	08/05–23/05	16	0,73	0,37	1,10



Hình 3: Đường cong hệ số cây trồng Kc

Giá trị Kc biến động theo quá trình sinh trưởng: thấp nhất ở đầu vụ (0,80), đạt đỉnh giữa vụ (1,14), rồi giảm nhẹ về cuối vụ (1,10). Xu hướng này phản ánh sự thay đổi về tán che phủ, sinh khối lá và nhu cầu nước của cây.

Bảng 8: Kết quả tính toán nhu cầu nước tưới (IWR) theo giai đoạn sinh trưởng

Giai đoạn sinh trưởng	Thời gian	ETc (mm)	P (mm)	Pe (mm)	IWR (mm)
Gieo – Ba lá	05/02–19/02	29,7	10,6	5,3	26,8
Ba lá – Ra hoa	20/02–20/03	77,4	15,7	0	77,4
Ra hoa – Quả chắc	21/03–07/05	158,4	90,6	75,9	136,9
Quả chín – Thu hoạch	08/05–23/05	72,2	1,9	0	72,2
Tổng cộng		337,7	118,8	81,2	313,3

Tổng ETc toàn vụ đạt 337,7 mm, trong đó giai đoạn ra hoa – quả chắc chiếm tỷ trọng lớn nhất với 158,4 mm (46,9% tổng ETc). Mặc dù tổng lượng mưa hiệu quả (Pe) là 81,2 mm, do phân bố không đều giữa các giai đoạn sinh trưởng nên nhu cầu nước tưới (IWR) lên tới 313,3 mm (3.133 m³/ha). Mặc dù hiệu số giữa tổng ETc và Pe chỉ là 256,5 mm, nhưng tổng IWR cao hơn do vào những ngày có lượng mưa vượt quá nhu cầu bốc thoát hơi nước, phần dư thừa không thể bù cho các ngày khô hạn. Ngược lại, vào những ngày thiếu nước, toàn bộ phần chênh lệch cần được bổ sung bằng

So sánh với kết quả nghiên cứu trước tại cùng khu vực, Phi (2014) [18] xác định Kc đơn lần lượt là 0,79 – 0,97 – 1,15 – 0,59 cho các giai đoạn tương ứng. Nhìn chung, các giá trị Kc trong nghiên cứu này cao hơn, đặc biệt ở đầu và cuối vụ – những giai đoạn bốc hơi từ đất chiếm tỷ lệ lớn do độ che phủ thấp. Điều này cho thấy phương pháp hệ số cây trồng kép cho kết quả phù hợp hơn với điều kiện thực tế canh tác lạc vụ Xuân tại Hải Thịnh.

3.4. Kết quả xác định nhu cầu nước tưới (IWR)

Dựa vào phương trình cân bằng nước (công thức 2), nhu cầu nước tưới (IWR) được xác định từ lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng (ETc) và lượng mưa hiệu quả (Pe). Kết quả tính toán chi tiết theo từng giai đoạn sinh trưởng được trình bày trong Bảng 8.

tưới. Do đó, tổng IWR luôn lớn hơn hoặc bằng hiệu số tổng ETc – Pe.

Cụ thể theo các giai đoạn sinh trưởng: Giai đoạn gieo – ba lá: ETc thấp (29,7 mm), nhưng do bề mặt đất trống và Ke cao, IWR vẫn ở mức 26,8 mm; Giai đoạn ba lá – ra hoa: không có mưa hiệu quả, toàn bộ ETc (77,4 mm) phải được bổ sung bằng tưới; Giai đoạn ra hoa – quả chắc: nhu cầu cao nhất (ETc = 158,4 mm, IWR = 136,9 mm), do cây phát triển mạnh, diện tích lá lớn, thoát hơi tối đa; Giai đoạn quả chín – thu hoạch: dù thời gian ngắn, nhưng không có mưa hiệu quả, IWR vẫn đạt 72,2 mm.

So sánh với nghiên cứu của Phi (2014) tại Thịnh Long – Nam Định [18], IWR được xác định chỉ khoảng 196,4 mm (1.964 m³/ha). Sự khác biệt chủ yếu do: Phương pháp hiện tại sử dụng hệ số cây trồng kép (Kcb + Ke), phản ánh thêm lượng bốc hơi từ đất – nhất là ở đầu vụ; IWR được tính theo ngày, thay vì bình quân theo giai đoạn nên không cộng bù mưa giữa các kỳ;

Kết quả cũng phù hợp với nhiều nghiên cứu gần đây: Li & Ma (2019) cho thấy mô hình Kcb + Ke cải thiện đáng kể độ chính xác ETc trong điều kiện tưới nhỏ giọt [7]. Silva et al. (2021) ghi nhận Ke chiếm tới 47% tổng ETc trong hệ thống tưới cho cây lúa mì [8]. Elzopy et al. (2025) chứng minh việc sử dụng hệ số cây trồng kép giúp giảm Ke tới 43%, mà vẫn duy trì năng suất cao khi tưới tiết kiệm [9]. Suleiman et al. (2013) cũng xác nhận Kc theo FAO-56 cho cây lạc có độ tin cậy cao trong điều kiện ẩm và khô hạn [21].

Những kết quả trên củng cố tính hiệu quả của phương pháp hệ số cây trồng kép trong điều kiện canh tác ven biển Bắc Bộ – nơi mưa phân bố không đều và tưới theo chu kỳ. Phương pháp này giúp mô phỏng sát thực tế nhu cầu nước tưới và là cơ sở để thiết kế lịch tưới tiết kiệm, hợp lý hơn cho cây lạc.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã áp dụng phương pháp hệ số cây trồng kép (Kcb và Ke) kết hợp với phương trình FAO Penman–Monteith để xác định chính xác nhu cầu nước tưới (IWR) cho cây lạc vụ Xuân tại xã Hải Thịnh, tỉnh Ninh Bình, là khu vực có đất nhẹ, mưa nhỏ và phân bố không đều. Tổng lượng bốc thoát hơi nước (ETc) đạt 337,7 mm, lượng mưa hiệu quả (Pe) chỉ 81,2 mm, dẫn đến IWR toàn vụ lên tới 313,3 mm (3.133 m³/ha). Trong đó giai đoạn ra hoa – quả chắc là thời kỳ tiêu tốn nước lớn

nhất, chiếm khoảng 43,7% tổng nhu cầu IWR.

Kết quả mô phỏng hệ số Kc kép và nhu cầu nước tưới phản ánh sát điều kiện canh tác thực tế, phù hợp với đặc điểm sinh trưởng của cây lạc và kỹ thuật tưới rãnh xen kẽ. Phương pháp hệ số kép cho thấy ưu điểm rõ rệt so với phương pháp hệ số đơn, khi tách riêng được nhu cầu nước qua cây (Kcb) và bốc hơi từ đất (Ke), đặc biệt quan trọng khi độ che phủ thấp và mưa phân bố rải rác. Mô hình tiếp cận xu hướng nghiên cứu quốc tế (da Silva et al., 2021; Elzopy et al., 2025; Suleiman et al., 2013), nhấn mạnh vai trò của Ke trong tổng ETc và IWR [8, 9, 21].

Tuy vậy, nghiên cứu còn một số hạn chế do thiếu dữ liệu thực đo về diện tích lá (LAI), độ che phủ tán lá (fc) và độ ẩm đất bề mặt, khiến một số tham số như Kr, Ke phải giả định theo FAO-56. Việc chưa kiểm chứng thực địa bằng thiết bị đo ET hoặc so sánh với lượng tưới thực tế cũng ảnh hưởng tới mức độ chính xác mô hình.

Từ các kết quả và tồn tại trên, nghiên cứu đề xuất các định hướng ứng dụng chính: (1) Áp dụng phương pháp hệ số cây trồng kép để tính toán nhu cầu nước và xây dựng lịch tưới cho cây lạc, nhất là ở các vùng đất nhẹ, khí hậu khô hạn hoặc mưa phân bố không đồng đều; (2) Ưu tiên tưới đầy đủ trong giai đoạn ra hoa – quả chắc, khi cây có nhu cầu nước cao nhất và ảnh hưởng lớn đến năng suất; (3) Tăng cường thu thập dữ liệu tại thực địa, đặc biệt về độ ẩm đất và mưa hiệu quả, để hiệu chỉnh mô hình và nâng cao độ tin cậy; (4) Mở rộng áp dụng phương pháp hệ số cây trồng kép cho các cây trồng cạn khác trong điều kiện tương tự.

Với cách tiếp cận chi tiết, phù hợp thực tiễn, nghiên cứu góp phần định lượng chính xác nhu cầu nước tưới cho cây lạc, làm nền tảng cho xây dựng mô hình tưới bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu và xu thế số hóa nông nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Khoa học và Công nghệ. (2011). *TCVN 8641:2011 – Công trình thủy lợi – Kỹ thuật tưới tiêu nước cho cây lương thực và cây thực phẩm*. Hà Nội: Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] Sái Hồng Dương, & Phạm Văn Đông. (2012). *Ảnh hưởng của độ mặn và chế độ tưới đến cây lạc vụ Xuân vùng ven biển Bắc Bộ*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi – Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [3] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO.
- [4] Massai, R., Paredes, P., & Pereira, L. S. (2021). *Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops*. *Agricultural Water Management*, 250, 106645. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106645>
- [5] Da Silva, V. P. R., et al. (2012). *Water requirements and single and dual crop coefficients of sugarcane grown in Brazil*. *Agricultural Sciences*, 3(2), 274–283. <https://doi.org/10.4236/as.2012.32032>
- [6] Shahrokhnia, M. H., & Sepaskhah, A. R. (2013). *Single and dual crop coefficients and crop evapotranspiration for wheat and maize in a semi-arid region*. *Theoretical and Applied Climatology*, 114(3–4), 495–510. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0848-6>

- [7] Li, F., & Ma, Y. (2019). Evaluation of the dual crop coefficient approach in estimating evapotranspiration of drip-irrigated summer maize in Xinjiang, China. *Water*, 11(5), 1053. <https://doi.org/10.3390/w11051053>
- [8] Silva, T. J. A., Fenner, W., Bonfim-Silva, E. M., Duarte, T. F., Castañon, T. H. F. M., Dourado, L. G. A., & Bezerra, M. D. L. (2021). Dual crop coefficients and performance of evapotranspiration methods in irrigated wheat. *Australian Journal of Crop Science*, 15(1), 32–40. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.01.2365>.
- [9] Elzopy, K.A., Surendran, U.P., Chaturvedi, A.K. *et al.* (2025). Cowpea evapotranspiration modeling using the FAO-56 dual crop coefficient approach for climate-resilient agriculture under deficit irrigation conditions. *Appl Water Sci* 15, 163. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02502-5>
- [10] Rosa, R. D., et al. (2012). *Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software*. *Agricultural Water Management*, 107, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.10.013>
- [11] Dabhi, P. R., et al. (2020). *Dual crop coefficient approach for summer sesame using SIMDualKc*. *Journal of Agricultural Engineering (India)*, 57(4), 364–376. <https://doi.org/10.52151/jae2020574.1728>
- [12] Tong, G., Liu, H., & Li, F. (2016). *Evaluation of dual crop coefficient approach on evapotranspiration calculation of cherry trees*. *IJABE*, 9(3), 29–36. <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1886>
- [13] Zhao, C., & Nan, Z. (2007). *Estimating water needs of maize using the dual crop coefficient method*. *African Journal of Agricultural Research*, 2(7), 325–333.
- [14] Parekh, F. (2013). *Crop water requirement using single and dual crop coefficient approach*. *IJRSET*, 2(9), 4493–4497.
- [15] Paredes, P., et al. (2024). *Single and basal crop coefficients for subtropical/tropical orchards with ground cover and height consideration*. *Irrigation Science*, 42, 1059–1097. [10.1007/s00271-024-00925-7](https://doi.org/10.1007/s00271-024-00925-7)
- [16] Pereira, L. S., et al. (2023). *Actual and standard crop coefficients for grasses: A review*. *Irrigation Science*, 42(6), 1139–1170. <https://doi.org/10.1007/s00271-023-00867-6>
- [17] Paredes, P., et al. (2017). *Using the FAO dual crop coefficient approach for peas under irrigation strategies*. *Agricultural Water Management*, 189, 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.010>
- [18] Phi, N. Q. (2014). *Xác định nhu cầu nước tưới cho cây lạc bằng phương trình FAO Penman–Monteith và hệ số cây trồng đơn*. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, (46), 79–85.
- [19] Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. (2012). *AquaCrop Reference Manual, Version 4.0*. FAO Land and Water Division, Rome.
- [20] 樊慧芳, 于既玉, 吴伟民. 2010. 灌溉排水工程技术. 黄河水利出版社. 郑州.
- [21] Suleiman, A. A., Tojo Soler, C. M., & Hoogenboom, G. (2013). Determining FAO-56 crop coefficients for peanut under different water stress levels. *Irrigation Science*, 31, 169–178. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0301-4>.

ĐÍNH CHÍNH

Các bài báo sau đã đăng trên Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi:

- “Giải pháp, công nghệ khai thác các mô hình cấp nước tại vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” số 75 tháng 12-2022;

- “Xây dựng tiêu chí đánh giá tính ổn định của mô hình cấp nước tại vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” số 76 tháng 02-2023;

- “Xây dựng tiêu chí đánh giá hiệu quả kinh tế của mô hình cấp nước tại vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” số 79 tháng 08-2023;

- “Xây dựng bộ tiêu chí đánh giá hiệu quả xã hội của mô hình cấp nước tại vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” số 87 tháng 12-2024.

Đính chính nội dung như sau: Bổ sung thông tin vào cuối bài báo: “Nội dung chính của bài báo là kết quả của đề tài khoa học và công nghệ cấp Quốc gia “Nghiên cứu đánh giá tính ổn định và đề xuất các giải pháp kỹ thuật nâng cao hiệu quả của các mô hình cấp nước tại vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” do Viện KHTL Việt Nam chủ trì, TS. Nguyễn Mạnh Trường làm chủ nhiệm”.