TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Tính toán và phân tích chỉ số bốc thoát hơi tiềm năng và chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước của lúa và một số cây màu tại huyện Tĩnh Gia và Quan Hóa, tỉnh Thanh Hóa trong thời kỳ 1991–2020

Đào Anh Công[1*], Nguyễn Văn Lượng[1], Lê Hữu Huấn[1], Phan Thị Như Xuyến[1], Ngô Sỹ Giai[2]

[1] Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Bắc Trung Bộ; daoanhcong.k55.hus@gmail.com; luongnvkttv@gmail.com, huanbtb@gmail.com, phannhuxuyen@gmail.com.
[2] Viện khoa học Khí tượng Thủy văn và biến đổi khí hậu; ngosygiai@gmail.com.
*Tác giả liên hệ: daoanhcong.k55.hus@gmail.com; Tel: +84–948946895

Ban Biên tập nhận bài: 12/3/2022; Ngày phản biện xong: 19/4/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Để góp phần giúp nâng cao chất lượng sản xuất nông nghiệp của tỉnh Thanh Hóa, nhóm tác giả đã tập trung vào nghiên cứu, phân tích chỉ số PET và chỉ số WRSI cho hai huyện Tĩnh Gia và Quan Hóa từ 1991–2000 cho 3 vụ lúa và vụ hè thu của 3 loại cây lương thực khác. Các kết quả cho thấy giá trị PET dịch chuyển theo chu kỳ: Tháng 12 và tháng 1 thấp nhất năm, tháng 3–5 giá trị tăng dần, giá trị đạt đỉnh vào tháng 6–7 sau đó giảm dần từ tháng 8–11. Giá trị của PET ở Quan Hóa cao hơn ở Tĩnh Gia. Giá trị WRSI của lúa đông xuân ở các huyện ở mức hạn nặng đến rất nặng; Với lúa hè thu, huyện Quan Hóa có chỉ số hạn nhẹ và không bị hạn, cao hơn so với Tĩnh Gia ở mức hạn trung bình và hạn nhẹ; Với cây lúa mùa, cả 2 huyện đều có độ thỏa mãn nhu cầu nước đạt mức hạn trung bình. Đối với cây ngô, cây lạc và cây đậu tương hè thu, Quan Hóa đạt mức thỏa mãn nhu cầu nước hạn trung bình, huyện Tĩnh Gia ở mức hạn nặng và hạn rất nặng. Trong từng vụ cây trồng, giá trị năng suất và WRSI có chiều hướng tỉ lệ thuận với nhau, tuy nhiên khi WRSI biến động khá nhiều theo từng năm thì năng suất cây trồng chỉ có biến động nhẹ.

Từ khóa: PET; WRSI; Bốc thoát hơi tiềm năng; Mức độ thỏa mãn nhu cầu nước; Năng suất cây trồng.

1. Mở đầu

Biến đổi khí hậu đang có những tác động tiêu cực đến mọi khía cạnh của kinh tế–xã hội nói chung và nông nghiệp nói riêng. Bên cạnh sự gia tăng về cường độ cũng như số lượng của các loại hình thiên tai như bão–áp thấp nhiệt đới (ATNĐ), mưa lớn, hạn hạn, không khí lạnh,…sự thay đổi về chế độ mưa và chế độ nhiệt cũng ảnh hưởng rất lớn đến sản xuất nông nghiệp ở khu vực Bắc Trung Bộ. Để ứng phó với những thay đổi không ngừng của khí hậu, cần sử dụng nguồn tài nguyên khí hậu một cách hợp lý, mà trong đó tài nguyên nước được coi là tài nguyên cần thiết nhất.

Chỉ số bốc thoát hơi tiềm năng (*Potential Evapotranspiration, PET*) và chỉ số thoả mãn nhu cầu nước của cây trồng (*Water Requirement Satisfaction Index, WRSI*) được tính từ hai yếu tố cơ bản trong khí tượng là lượng mưa và nhiệt độ là thông tin quan trọng giúp xác định các thông tin nông nghiệp về quản lý nguồn nước phù hợp cho từng giai đoạn sinh trưởng của cây trồng, góp phần hỗ trợ người làm công tác sản xuất nông nghiệp lựa chọn loại cây và mùa vụ canh tác, chăm sóc phù hợp để mang lại hiệu quả, sản lượng cao. Năm 2018, Nguyễn Thị

Hoàng Anh, Mai Kim Liên [1] đã tính toán PET và lượng mưa, từ đó xác định được mùa sinh trưởng cây trồng và khả năng cung cấp nước cho các loại cây trồng tại huyện Quỳ Hợp theo từng tháng trong năm, xây dựng đường quá trình mưa tích lũy, giúp dự báo chính xác mùa sinh trưởng của cây trồng và thời gian cung cấp nước tưới. Năm 2014, [2] sử dụng phương trình Penman–Monteith tính toán bốc thoát hơi nước cây trồng tham khảo ETo và phương pháp hệ số cây trồng đơn để xác định hệ số cây trồng Kc cho các giai đoạn sinh trưởng của cây Lạc. Năm 2018, [3] đã nghiên cứu và tính toán hệ số căng thẳng về nước và chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước đối với cây lúa và ngô ở tỉnh An Giang. Các nghiên cứu trên hầu hết mang tính địa phương hoặc chỉ hướng đến một số loại cây đặc thù, chưa có sức bao phủ.

Tỉnh Thanh Hóa thuộc khu vực Bắc Trung Bộ là tỉnh có tốc độ phát triển vượt bậc những năm gần đây, trong đó tỷ trọng ngành nông nghiệp chiếm tỷ trọng không nhỏ trong cơ cấu kinh tế, để góp phần giúp nâng cao chất lượng sản xuất nông nghiệp của tỉnh, bài báo này tập trung vào nghiên cứu các phương pháp tính toán, phân tích PET và WRSI cho 3 vụ lúa đông xuân, lúa mùa và hè thu cùng với vụ hè thu của cây ngô, lạc và đậu tương cho tỉnh Thanh Hóa, giúp xác định được mức độ thỏa mãn nhu cầu nước trong từng giai đoạn sinh trưởng của cây trồng trong các vụ, từ đó giúp đưa ra được các phương án tưới tiêu hợp lý, quản lý nguồn tài nguyên nước một cách tối ưu và góp phần nâng cao năng suất và sản lượng cây trồng.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Hình 1. Bản đồ huyện Quan Hóa và Tĩnh Gia.

Tĩnh Gia có diện tích tự nhiên: 455,61 km^2, dân số 307.304 (2019) là huyện cực nam của tỉnh Thanh Hoá, phía nam giáp tỉnh Nghệ An, phía đông giáp Biển Đông, phía bắc giáp huyện Quảng Xương, phía tây giáp huyện Nông Cống và huyện Như Thanh. Vừa có biển, vừa có núi rừng cùng nhiều danh thắng, huyện Tĩnh Gia có nhiều lợi thế phát triển kinh tế tương đối toàn diện, đặc biệt là phát triển du lịch, nông nghiệp, công nghiệp và thuỷ, hải sản.

Năm 2002, kinh tế huyện Tĩnh Gia đã có bước phát triển vượt bậc với tốc độ tăng trưởng GDP đạt 11%. Có được thành công ấy là do huyện Tĩnh Gia đã thực hiện thành công chủ trương chuyển đổi cơ cấu cây trồng, vật nuôi và nuôi trồng thuỷ sản. Theo đó, cơ cấu kinh tế

chuyển dịch tích cực, tỷ trọng nông–lâm–ngư nghiệp giảm từ 53,75% trước đây xuống còn 41,5%, tỷ trọng công nghiệp–xây dựng tăng từ 18,6% lên 24,5%. Các loại cây lương thực và công nghiệp tăng nhanh cả về diện tích lẫn năng suất. Trong đó, năng suất lúa năm 2002 đạt 40,5 tạ/ha. Đặc biệt, diện tích cây lạc–cây chủ lực trong sản xuất hàng hoá xuất khẩu–tăng rất nhanh do toàn huyện tập trung thực hiện chiến lược mở rộng diện tích lạc thu, thu đông bằng phương pháp phủ nylon. Nhờ đó, diện tích cây lạc năm 2002 đạt 5.219 ha, tăng 71% so với năm 2000; năng suất bình quân năm 2000 đạt 21,3 tạ/ha, tăng 63% so với năng suất bình quân 3 năm (1997–1999).

Quan Hóa là huyện miền núi nằm ở phía tây tỉnh Thanh Hóa, thị trấn Quan Hóa cách thành phố Thanh Hóa 134 km theo hướng quốc lộ 15A và quốc lộ 217. Quan Hóa có diện tích tự nhiên 99.069,88 ha, chiếm 8,8% diện tích tự nhiên của tỉnh Thanh Hóa, là huyện có diện tích tự nhiên rộng thứ 2 của tỉnh Thanh Hóa (sau huyện Thường Xuân), có dân số 53.070 (2019).

Địa bàn Quan Hóa thuộc vùng núi cao, có địa giới hành chính như sau: Phía tây giáp huyện Mường Lát (tỉnh Thanh Hóa) và huyện Viêng Xay, tỉnh Hủa Phăn (nước Cộng hòa dân chủ nhân dân Lào). Phía bắc giáp huyện Vân Hồ (tỉnh Sơn La) và huyện Mai Châu (tỉnh Hòa Bình). Phía đông giáp huyện Bá Thước (tỉnh Thanh Hóa). Phía nam giáp huyện Quan Sơn (tỉnh Thanh Hóa).

Năm 2019, Quan Hóa có tổng giá trị sản xuất (theo giá hiện hành) ước đạt 2.391,0 tỷ đồng. Trong đó: Tỷ trọng cơ cấu kinh tế: Nông lâm nghiệp và thủy sản ước đạt 980,29 tỷ đồng, chiếm 41%; Công nghiệp–xây dựng ước đạt 702,94 tỷ đồng, chiếm 29,4%; Dịch vụ ước đạt 707,72 tỷ đồng, chiếm 29,6%; Tốc độ tăng giá trị sản xuất đạt 17,9%; Thu nhập bình quân đầu người đạt 27,83 triệu đồng, đạt 101,2% kế hoạch, tăng 2,73 triệu đồng so với cùng kỳ.

Tổng diện tích gieo trồng toàn huyện: 6.641 ha. Trong đó: diện tích vụ chiêm xuân: 4.529 ha; diện tích vụ thu: 2.112 ha; diện tích vụ Đông 413 ha. Tổng sản lượng lương thực có hạt ước đạt 22.013 tấn.

2.2. Chỉ số PET

Theo Rosenberg, PET (mm/ngày) là "Sự bốc hơi từ một bề mặt mở rộng của cây xanh ngắn che khuất hoàn toàn mặt đất, tạo ra lực cản ít hoặc không đáng kể đối với dòng chảy của nước , và luôn được cung cấp đầy đủ nước. Khả năng thoát hơi nước không thể vượt quá lượng nước bốc hơi tự do trong cùng điều kiện thời tiết" [13].

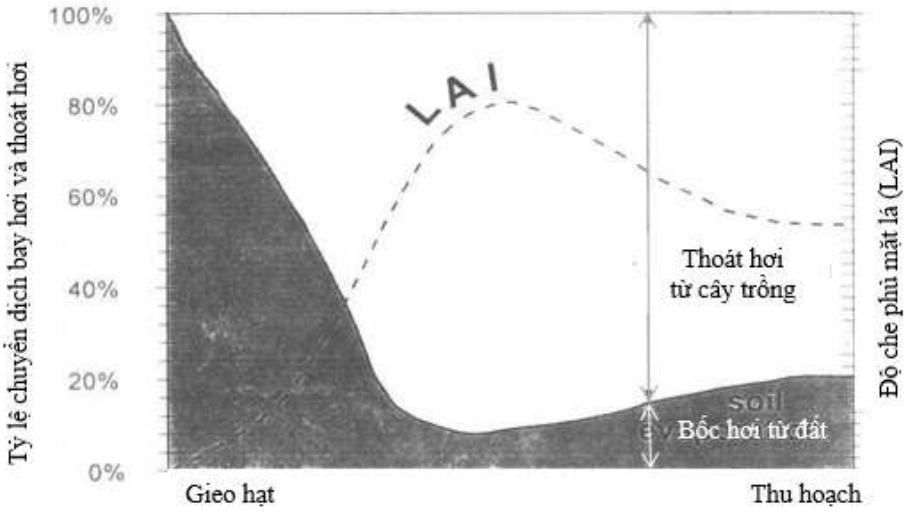
Theo một số định nghĩa khác thì PET là "Khả năng thoát hơi nước từ đất cộng với sự thoát hơi nước của thực vật. Tốc độ bay hơi phụ thuộc vào năng lượng bức xạ của mặt trời, gió, độ hụt hơi của không khí và nhiệt độ".

Theo định nghĩa của Tổ chức Nông Lương của Liên Hợp Quốc (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO*) thì PET là "Sự bay hơi (từ đất) và thoát hơi nước (từ cây trồng) xảy ra đồng thời và không có cách nào dễ dàng để phân biệt giữa hai quá trình. Ngoài lượng nước sẵn có trong lớp đất mặt, sự bay hơi từ đất trồng trọt chủ yếu được xác định bởi phần bức xạ mặt trời đến bề mặt đất. Tỷ lệ này giảm dần trong thời kỳ sinh trưởng khi cây trồng phát triển và tán cây che phủ ngày càng nhiều diện tích mặt đất. Khi cây trồng còn nhỏ, nước bị mất chủ yếu do bay hơi đất, nhưng một khi cây trồng phát triển tốt và che phủ hoàn toàn đất thì quá trình thoát hơi nước sẽ trở thành chính. Trong hình 1, sự phân chia thoát hơi nước thành thoát hơi nước và thoát hơi nước được vẽ tương ứng với diện tích lá trên một đơn vị bề mặt của đất bên dưới nó. Khi gieo hạt, gần 100% ET đến từ bay hơi nước, trong khi ở độ che phủ toàn vụ, hơn 90% ET đến từ thoát hơi nước" [8].

PET là chỉ số cơ bản trong khí tượng nông nghiệp, chỉ số PET có thể thay thế bằng chỉ số ETo (bốc thoát hơi tham chiếu). Có các phương pháp tính PET (ETo) như sau [4, 10–12]:

- Phương pháp Penman–Monteith [8][15]: ETo là hàm số phụ thuộc vào các thông số thời tiết tại chỗ và xung quanh khu vực khảo sát theo công thức 1 dưới đây:

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



Hình 3. Tỷ lệ chuyển dịch giữa bay hơi và thoát hơi nước trong vòng đời cây trồng.

Trong đó ET_o là lượng bốc thoát hơi tham chiếu chung đối với cây trồng (mm/ngày); R_n là bức xạ mặt trời thực trên bề mặt cây trồng (MJ/m^2/ngày); G là mật độ dòng nhiệt trong đất (MJ/m^2/ngày); T là nhiệt độ trung bình ngày tại vị trí 2m từ mặt đất (^{o}C); u_2 là tốc độ gió tại chiều cao 2m từ mặt đất (m/s); e_x là áp suất hơi nước bão hòa (kPa); e_a là áp suất hơi nước thực tế (kPa); Δ là độ dốc của áp suất hơi nước trên đường cong quan hệ nhiệt độ (kPa/^{o}C); γ là hằng số ẩm (kPa/^{o}C).

- Phương pháp Priestley–Taylor:

$$ET_o = \frac{1}{\lambda}\left(\Delta\frac{R_n - G}{\Delta + \gamma}\right) \quad (2)$$

Trong đó R_n là bức xạ mặt trời thực trên bề mặt cây trồng (MJ/m^2/ngày); G là mật độ dòng nhiệt trong đất (MJ/m^2/ngày); γ là hằng số psychrometric; Δ là độ dốc của áp suất hơi nước trên đường cong quan hệ nhiệt độ (kPa/ ^{o}C); α: Hệ số Priestley–Taylor; λ là nhiệt bốc hơi tiềm năng (MJ kg^{-1}).

- Phương pháp thornthwaite: [6]

$$PET = 16\left(\frac{L}{12}\right)\left(\frac{N}{30}\right)\left(\frac{10T_d}{I}\right)^{\alpha} \quad (3)$$

Trong đó PET là lượng bốc thoát hơi tiềm năng; L là trung bình giờ ban ngày của tháng được tính (giờ); N là số ngày trong tháng được tính (ngày); T_d là nhiệt độ trung bình ngày của tháng (^{o}C).

$$\alpha = (6.75 * 10^{-7})I^3 - (7.71 * 10^{-5})I^2 + (1.792 * 10^{-2})I + 0.49239;$$

$$I = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_{mi}}{5}\right)^{1.514}$$ với T_m là nhiệt độ trung bình tháng.

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng Phương pháp Hargreaves để tính chỉ số PET (ETo – bốc thoát hơi tham chiếu):

Phương pháp Hargreaves

$$ETo = 0.0023(T_{tbtuần} + 17.8)\,(T_{max} - T_{min})^{0.5} * R_a \quad (4)$$

Trong đó $T_{tb\ tuần}$ là nhiệt độ trung bình của tuần (°C); T_{max} là nhiệt độ cao nhất trong tuần (°C); T_{min} là nhiệt độ thấp nhất tuần (°C); R_a là bức xạ trung bình ngày theo vĩ độ (MJm^{-2}/ngày).

Giá trị Ra được lấy từ bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Bức xạ trung bình ngày R_a (MJm^{-2}/ngày) theo vĩ độ.

Vĩ độ	**Các tháng, Bắc bán cầu**											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	24,6	28,8	33,5	37,6	39,7	40,3	39,9	38,3	34,9	30,2	25,5	23,3
22	25,7	29,7	34,1	37,8	39,5	40,0	39,6	38,4	35,4	31,0	26,6	24,5
20	26,8	30,6	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,9
18	27,9	31,5	35,2	38,0	39,0	39,1	38,9	38,2	36,1	32,5	28,7	26,8
16	28,9	32,3	35,7	38,1	38,7	38,0	38,5	38,1	36,4	33,2	29,6	27,9
14	29,9	33,1	36,1	38,1	38,4	38,1	38,1	38	36,7	33,9	30,6	28,9
13	30,4	33,5	36,3	38,1	38,2	37,9	37,9	37,9	36,8	34,2	31,1	29,5
12	30,9	33,8	36,5	38,0	38,0	37,6	37,6	37,8	36,9	34,5	31,5	30,0
10	31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0
8	32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,2	37,2	35,6	33,3	32,0
6	33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,9	36,9	37,3	36,1	34,1	32,9
4	34,6	36,4	37,6	37,4	36,0	35,0	35,3	36,5	37,3	36,6	34,9	33,9

2.3. Chỉ số WRSI

Theo FAO, WRSI là một chỉ số đánh giá năng suất cây trồng dựa trên sự sẵn có của nước cho cây trồng trong mùa sinh trưởng [9]. WRSI cho một mùa dựa trên tỷ lệ giữa nguồn cung cấp nước và nhu cầu của cây trồng trong một mùa sinh trưởng. Việc phân loại các cấp thỏa mãn nhu cầu nước và các mức độ được mùa được thể hiện ở bảng 2 [5].

Bảng 2. Phân loại các cấp hạn và mức độ được mùa theo chỉ số WRSI áp dụng ở Việt Nam.

Cấp độ	**Chỉ số WRSI (%)**	**Phân loại mức độ thỏa mãn**	**Phân loại mức độ được mùa**
1	100	Hoàn toàn thỏa mãn	Được mùa lớn
2	95 – 99	Không bị hạn	Được mùa
3	81 – 94	Hạn nhẹ	Trung bình
4	61 – 80	Hạn trung bình	Tạm được
5	51 – 60	Hạn nặng	Kém
6	<50	Hạn rất nặng	Mất mùa

Chỉ số WRSI được tính bằng tỷ lệ giữa lượng nước bốc hơi thực tế theo mùa (*AET*) với nhu cầu nước cây trồng theo mùa (WR) [6]:

$$WRSI = (AET/WR)*100 \quad (5)$$

WR được tính từ bốc thoát hơi tiềm năng (PET) hoặc bốc thoát hơi tham chiếu (ETo) có sử dụng hệ số cây trồng (Kc) để điều chỉnh theo giai đoạn sinh trưởng của cây trồng: WR = Kc* PET.

AET được tính theo công thức: $AET_i = SW_{i-1} + PPT_i - SW_i$ với PPT là lượng mưa, SW là ẩm trong đất và i là thời điểm.[20]

Công thức này khá phức tạp vì đòi hỏi phải có số liệu ẩm trong đất, vốn rất khó để đo lượng và ước tính.

Chỉ số WRSI cũng có thể tính theo công thức sau đây [16][17]:

$$WRSI = (\sum ETa/\sum ETc)*100 \quad (6)$$

Trong đó ETa là tổng lượng bốc thoát hơi của cây trồng trong điều kiện thực tế; ETc là tổng lượng nhu cầu nước của cây trồng. [18]

a) Các bước tính lượng bốc hơi thực tế ET_a:

Tính lượng mưa hữu hiệu tuần i, Peffi:

$$Peffi = Ptotali *0.8 \quad (7)$$

Trong đó Peffi là tổng lượng mưa hữu hiệu của tuần i; Ptotali là tổng lượng mưa tuần i.

Tính hệ số căng thẳng về nước (Kskhi) do khô hạn làm giảm tổng lượng bốc thoát hơi thực tế của cây trồng (ET_a) cho các tuần i theo công thức [19]:

$$Kskhi = Peffi / ET_{oi} \quad (8)$$

Trong đó Peff i ≥ ETo i, Peff i /ETo i ≥ 1.0 thì Kshhi = 1.0; Peff i < ETo i, Peff i /ETo i < 1.0 thì Kshhi = Peffi /EToi; Peff i= 0, Peff i /ETo i = 0 thì Kshhi = 0.

Tính tổng lượng bốc thoát hơi thực tế cho cây trồng (ETa) theo tuần i, cho các giai đoạn i, bao gồm 4 giai đoạn: đầu vụ; phát triển; giữa vụ; và cuối vụ theo công thức:

$$ETai = Kshhi*WRi=Kshhi*Kci*ETOi. \quad (9)$$

Trong đó hệ số Kc cho từng giai đoạn được tham khảo từ tài liệu tiêu chuẩn Việt Nam cho nông nghiệp TCVN 8641: 2011 [7]. Trong khuôn khổ báo cáo này, chúng tôi sử dụng hệ số Kc tham khảo từ bảng 3.

Bảng 3. Hệ số Kc bình quân của một số cây trồng tỉnh Bình Định.

Loại cây trồng	Kc ứng với các giai đoạn sinh trưởng				Trung bình vụ
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	
Lúa đông xuân	0.98	1.19	1.27	1.02	1.11
Lúa hè thu	0.96	1.07	1.21	1.02	1.06
Lúa vụ mùa	0.93	1.00	1.17	1.08	1.05
Ngô hè thu	0.73	0.84	0.96	0.75	0.81
Lạc hè thu	0.69	0.82	0.94	0.75	0.80
Đậu tương hè thu	0.85	0.96	1.02	0.75	0.96
Ngô vụ mùa	0.74	0.81	0.97	0.80	0.83
Đậu tương vụ mùa	0.85	0.94	0.98	0.80	0.92

2.4. Số liệu sử dụng

Trong khuôn khổ báo cáo này, chúng tôi đã thu thập số liệu quan trắc trong khoảng thời gian từ 1991–2020 bao gồm số liệu nhiệt độ trung bình ngày, nhiệt độ tối cao ngày, nhiệt độ tối thấp ngày và lượng mưa ngày để tính toán các chỉ số PET và WRSI cho huyện Tĩnh Gia (trạm Tĩnh Gia 19°27'N–105°47'E) – đại diện cho khu vực đồng bằng ven biển và Quan Hóa (Trạm Hồi Xuân 20°22'N–105°07'E) đại diện cho khu vực vùng núi của tỉnh Thanh Hóa. Số liệu năng suất các loại cây trồng được thu thập từ niên giám thống kê tỉnh Thanh Hóa từ năm 2005 đến năm 2019.

3. Kết quả và phân tích chỉ số PET và WRSI ở Tĩnh Gia và Quan Hóa

3.1. Kết quả phân tích chỉ số PET

Qua số liệu ở bảng 4, có thể thấy rằng PET ở cả 2 huyện Đồng bằng ven biển và vùng núi đạt giá trị cao nhất trong tháng 6 và tháng 7, giá trị thấp nhất đạt được vào tháng 12 và tháng 1. Giá trị PET dịch chuyển theo chu kỳ: Tháng 12 và tháng 1 thấp nhất năm, tháng 3–5 giá trị tăng dần, giá trị đạt đỉnh vào tháng 6–7 sau đó giảm dần từ tháng 8–11. Giá trị của PET ở các huyện vùng núi cũng cao hơn ở huyện đồng bằng ven biển từ 10–20%. Lượng mưa ở 2 huyện

được thể hiện ở bảng 5 cho thấy lượng mưa chủ yếu tập trung ở các tháng 5–10, từ tháng 11 có lượng mưa giảm nhanh và duy trì giá trị thấp đến tháng 4 năm sau, giá trị cao nhất đạt được vào tháng 9 và thấp nhất trong tháng 1–2.

Bảng 4. Kết quả tính PET cho các huyện Tĩnh Gia và Quan Hóa từ 1991–2020.

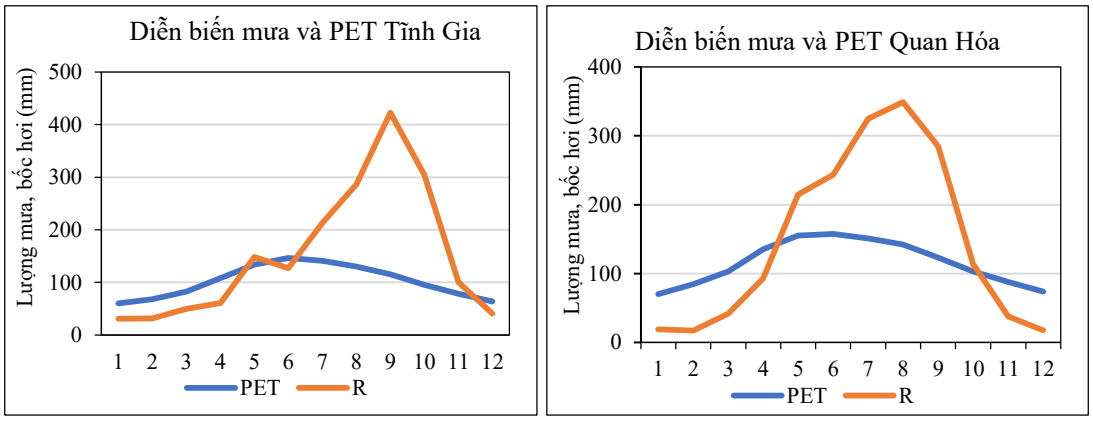
Giai đoạn/ Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Huyện Tĩnh Gia												
1991–1995	59,3	63,9	76,8	101,8	129,6	139,3	136,7	129,0	113,8	95,3	77,0	63,8
1996–2000	63,9	66,6	84,8	106,1	130,9	143,5	145,3	134,8	112,4	95,5	78,8	65,4
2001–2005	62,4	69,4	84,2	114,1	135,9	145,5	139,9	127,7	113,3	95,8	79,5	63,4
2006–2010	60,8	71,2	88,2	111,5	133,3	150,2	146,2	128,3	118,6	94,4	79,1	66,1
2011–2015	55,8	62,9	75,2	105,8	139,3	144,7	133,7	128,1	110,4	94,8	75,2	59,0
2016–2020	58,1	73,7	85,4	109,4	130,8	154,6	143,1	133,6	121,4	94,9	78,4	64,8
Huyện Quan Hóa												
1991–1995	67,9	84,5	104,1	133,6	155,7	152,4	150,0	143,3	129,4	109,1	89,2	77,0
1996–2000	75,6	83,1	105,5	132,5	148,8	154,7	154,8	146,4	127,0	108,8	90,7	75,3
2001–2005	74,3	84,3	96,2	144,2	157,1	157,0	148,7	140,6	126,1	110,7	89,2	73,8
2006–2010	70,5	88,3	107,9	135,4	151,9	157,4	150,1	137,0	129,4	100,6	89,8	72,7
2011–2015	64,3	80,7	98,7	134,8	161,6	157,2	148,2	142,1	121,8	107,6	84,6	69,5
2016–2020	67,4	87,5	107,4	131,6	154,7	168,6	154,2	143,0	106,0	81,4	84,2	75,2

Bảng 5. Lượng mưa trung bình ở các huyện đồng bằng ven biển từ 1991–2020.

Giai đoạn/ Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Huyện Tĩnh Gia												
1991–1995	38,8	38,6	42,8	51,6	173,2	170,8	222,1	268,0	393,3	173,7	63,8	43,9
1996–2000	26,4	31,5	61,0	95,3	139,8	107,7	106,6	255,1	388,1	316,2	156,4	21,9
2001–2005	17,8	37,2	38,1	43,1	185,1	115,3	258,7	270,0	501,9	230,8	40,6	62,3
2006–2010	35,9	27,9	41,1	65,8	137,6	75,6	195,0	373,3	315,2	417,2	67,0	39,4
2011–2015	13,8	25,8	53,9	52,9	88,5	245,1	173,8	261,6	538,6	279,2	134,4	29,2
2016–2020	49,3	28,3	61,1	57,1	165,2	49,7	323,8	291,1	397,8	411,1	140,2	45,6
Huyện Quan Hóa												
1991–1995	14,3	10,8	52,0	64,7	224,9	236,0	316,7	300,6	286,4	60,9	13,7	10,8
1996–2000	13,7	16,1	43,0	103,4	203,8	265,5	360,6	338,7	267,8	114,5	59,4	27,1
2001–2005	11,7	16,5	42,5	82,0	208,6	295,1	308,2	407,0	275,6	119,1	47,2	15,1
2006–2010	16,0	14,6	35,6	81,1	199,6	193,5	285,0	319,7	250,8	168,9	36,7	8,3
2011–2015	14,2	13,8	43,6	96,2	275,5	297,7	361,5	288,1	285,6	82,7	44,6	20,5
2016–2020	43,4	30,5	36,4	130,6	175,8	173,2	316,5	439,4	342,8	139,5	26,0	23,6

Từ hình 4 có thể thấy mùa sinh trưởng – được xác định là khoảng giao nhau của đường quá trình mưa và đường PET là từ đầu tháng 5–6 đến tháng 11. Thời điểm mùa hạn là từ

tháng 12 đến tháng 4. Ở Thanh Hóa và Nghệ An, thời điểm lượng mưa dồi dào nhất là tháng 9, trong khi ở Hà Tĩnh là tháng 10. Tuy nhiên nhận định này dựa theo giá trị bốc thoát hơi tham chiếu chứ không phải là lượng bốc thoát hơi thực tế. Để đánh giá chính xác hơn chất lượng sinh trưởng của cây trồng, cần đánh giá chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước WRSI.



Hình 4. Diễn biến lượng mưa và PET ở Tĩnh Gia và Quan Hóa.

3.2. Kết quả và phân tích chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước WRSI

3.2.1 Lúa vụ đông xuân

Bảng 6. WRSI trung bình vụ của cây lúa vụ đông xuân từ 1991–2020 (cấp độ màu như ở bảng 2).

Năm	Tĩnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ		GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	53,5%	51,9%	49,1%	30,6%	46,3%	1991–1995	13,4%	43,6%	22,6%	42,1%	27,8%
1996–2000	41,1%	38,5%	51,3%	58,1%	47,2%	1996–2000	24,2%	13,8%	23,2%	55,2%	29,1%
2001–2005	43,2%	43,0%	38,2%	28,0%	38,1%	2001–2005	35,7%	25,1%	25,1%	33,5%	29,9%
2006–2010	31,3%	38,7%	51,3%	40,5%	40,5%	2006–2010	19,4%	17,0%	26,7%	40,7%	25,9%
2011–2015	59,5%	37,7%	52,3%	39,9%	47,4%	2011–2015	40,7%	22,5%	21,3%	50,9%	33,9%
2016–2020	48,4%	55,0%	48,6%	40,6%	48,2%	2016–2020	29,3%	32,4%	33,6%	55,0%	37,6%

Từ kết quả ở bảng 6, đối với cả 2 huyện vùng núi Quan Hóa và huyện đồng bằng ven biển Tĩnh Gia, ta có thể thấy trong vụ Đông Xuân (Tháng 11–4), mức độ thỏa mãn nhu cầu nước của cây lúa ở mức hạn rất nặng đến hạn nặng với WRSI chỉ ở mức 20–50% trong tất cả các giai đoạn sinh trưởng, tuy nhiên Tĩnh Gia có WRSI cao hơn Quan Hóa từ 10–20%. Điều nay tương đối dễ hiểu vì vụ đông xuân là thời điểm có lượng mưa rất thấp trong năm đối với Quan Hóa (10–40 mm/tháng), trong khi Tĩnh Gia có lượng mưa cùng kỳ 30–60 mm/tháng.

3.2.2. Lúa vụ mùa

Có thể thấy từ bảng 7, đối với cây lúa vụ mùa (Tháng 6,7 đến đầu tháng 11), Quan Hóa có WRSI nằm trong khoảng 70–95% ở giai đoạn đầu vụ đến giữa vụ, đạt đến ngưỡng hạn nhẹ và không bị hạn, tuy nhiên giai đoạn cuối vụ lại có WRSI chỉ đạt 20–40% thể hiện mức hạn rất nặng. Ở huyện đồng bằng ven biển Tĩnh Gia, có thể thấy mức độ thỏa mãn nhu cầu nước ở mức thấp hơn với huyện vùng núi khi giá trị WRSI trong giai đoạn đầu vụ, phát triển và

cuối vụ chỉ đạt 40–70%, nằm ở mức hạn rất nặng đến hạn trung bình, giai đoạn giữa vụ có WRSI đạt ở mức 90–98%, nằm ở mức không bị hạn. Chỉ số WRSI trung bình trong vụ mùa đạt mức hạn trung bình ở tất cả các huyện bởi đây là mùa mưa của khu vực Bắc Trung Bộ và các huyện đều có lượng mưa trung bình tháng phổ biến 200–400 mm.

Bảng 7. WRSI trung bình vụ của cây lúa vụ mùa từ 1991–2020.

	Tĩnh Gia						Quan Hóa				
Năm	**GĐ đầu vụ**	**GĐ phát triển**	**GĐ giữa vụ**	**GĐ cuối vụ**	**TB Vụ**	**Năm**	**GĐ đầu vụ**	**GĐ phát triển**	**GĐ giữa vụ**	**GĐ cuối vụ**	**TB Vụ**
1991–1995	44.9%	70.0%	97.6%	58.5%	67.8%	1991–1995	72.2%	77.3%	81.4%	16.9%	62.0%
1996–2000	51.7%	50.0%	89.7%	45.3%	59.2%	1996–2000	64.0%	85.1%	96.5%	28.1%	68.4%
2001–2005	44.1%	71.7%	97.8%	51.5%	66.3%	2001–2005	79.7%	95.9%	81.0%	46.4%	75.8%
2006–2010	39.1%	69.2%	94.1%	42.8%	61.3%	2006–2010	75.1%	89.6%	84.9%	27.3%	69.2%
2011–2015	56.4%	81.8%	93.1%	62.5%	73.4%	2011–2015	82.7%	85.5%	85.1%	39.7%	73.2%
2016–2020	40.2%	86.9%	98.2%	68.2%	73.4%	2016–2020	67.2%	80.4%	86.3%	40.1%	68.5%

2.2.3. Lúa hè thu

Từ kết quả ở bảng 8, có thể thấy đối với vụ hè thu (tháng 4 đến tháng 7), ở Quan Hóa có chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước ở mức hạn nhẹ trong giai đoạn đầu vụ và không bị hạn với WRSI nằm trong mức 80–90% trong giai đoạn phát triển đến cuối vụ. Chỉ số WRSI ở huyện đồng bằng ven biển Tĩnh Gia có giá trị đạt từ 40–60% ở giai đoạn đầu vụ và phát triển thể hiện mức hạn rất nặng đến nặng, giai đoạn giữa vụ và cuối vụ có WRSI lên đến 70–90%, phổ biến nằm ở mức hạn nhẹ và không bị hạn. Điều này cũng dễ hiểu khi lượng mưa ở Quan Hóa trong các tháng này phổ biến từ 200–350 mm/tháng, cao hơn hẳn so với huyện Tĩnh Gia (100–250 mm/tháng).

Bảng 8. WRSI trung bình vụ của cây lúa vụ hè thu từ 1991–2020.

	Tĩnh Gia						Quan Hóa				
Năm	**GĐ đầu vụ**	**GĐ phát triển**	**GĐ giữa vụ**	**GĐ cuối vụ**	**TB Vụ**	**Năm**	**GĐ đầu vụ**	**GĐ phát triển**	**GĐ giữa vụ**	**GĐ cuối vụ**	**TB Vụ**
1991–1995	59,7%	51,7%	85,8%	95,4%	73,2%	1991–1995	69,5%	82,1%	92,0%	81,2%	81,2%
1996–2000	54,9%	59,4%	69,1%	77,1%	65,1%	1996–2000	77,0%	73,6%	98,2%	82,5%	82,8%
2001–2005	63,6%	50,8%	89,0%	95,1%	74,6%	2001–2005	69,5%	88,9%	100,0%	75,8%	83,6%
2006–2010	59,3%	45,0%	85,0%	79,1%	67,1%	2006–2010	77,8%	84,5%	96,5%	77,0%	83,9%
2011–2015	34,6%	64,2%	92,2%	95,1%	71,5%	2011–2015	79,8%	93,2%	99,1%	83,0%	88,8%
2016–2020	47,5%	46,3%	96,5%	92,8%	70,8%	2016–2020	60,8%	77,4%	96,3%	77,9%	78,2%

3.2.4. Ngô hè thu

Từ bảng 9, mức thỏa mãn nhu cầu nước cho cây ngô hè thu đều ở mức hạn rất nặng đến hạn trung bình ở huyện Tĩnh Gia với WRSI phổ biến trong mức 40–60% ở tất cả các giai đoạn sinh trưởng. Trong khi đó, huyện Quan Hóa có WRSI ở ngưỡng 60–80% ở giai đoạn phát triển và cuối vụ, cho thấy mức độ thỏa mãn nhu cầu nước ở ngưỡng hạn trung bình đến hạn nhẹ, tuy nhiên giai đoạn đầu vụ của huyện này lại ở mức hạn rất nặng.

Bảng 9. WRSI trung bình vụ của cây ngô vụ hè thu từ 1991–2020.

Năm	Tĩnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ		Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	37,4%	55,0%	47,9%	58,1%	49,6%	1991–1995	47,8%	72,7%	70,7%	67,4%	64,7%
1996–2000	41,1%	58,1%	44,8%	33,1%	44,2%	1996–2000	55,7%	71,7%	62,7%	65,6%	64,2%
2001–2005	48,7%	62,0%	35,4%	44,7%	47,7%	2001–2005	46,5%	76,8%	80,1%	69,0%	68,1%
2006–2010	37,5%	40,7%	48,4%	42,7%	42,3%	2006–2010	57,0%	64,2%	82,1%	65,2%	67,1%
2011–2015	25,9%	33,2%	60,3%	54,8%	43,6%	2011–2015	61,0%	74,0%	84,0%	69,7%	72,2%
2016–2020	29,5%	32,8%	56,6%	59,2%	43,1%	2016–2020	39,8%	66,0%	67,5%	53,0%	56,6%

3.2.5 Lạc hè thu

Từ kết quả ở bảng 10 dưới đây, có thể thấy mức thỏa mãn nhu cầu nước cho cây lạc hè thu ở Huyện Quan Hóa nằm trong ngưỡng hạn trung bình khi có giá trị WRSI đạt 55–75% ở các giai đoạn sinh trưởng, thể hiện mức hạn nặng đến hạn trung bình. Ở huyện Tĩnh Gia, chỉ số WRSI phổ biến chỉ đạt 25–60% cho thấy sự thỏa mãn nhu cầu nước nằm ở mức hạn rất nặng đến hạn nặng.

Bảng 10. WRSI trung bình vụ của cây lạc vụ hè thu từ 1991–2020.

Năm	Tĩnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ		Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	50,4%	34,0%	53,6%	48,5%	46,6%	1991–1995	51,1%	65,3%	74,1%	55,1%	61,4%
1996–2000	39,2%	57,8%	34,9%	40,2%	43,0%	1996–2000	53,7%	58,6%	69,2%	63,5%	61,4%
2001–2005	44,9%	47,9%	26,7%	63,3%	45,7%	2001–2005	59,7%	77,3%	75,0%	74,9%	71,7%
2006–2010	50,6%	35,1%	48,6%	52,6%	46,7%	2006–2010	60,3%	57,0%	80,6%	74,3%	68,1%
2011–2015	23,5%	34,9%	68,7%	62,2%	47,3%	2011–2015	59,0%	70,0%	88,0%	67,9%	71,2%
2016–2020	38,4%	33,2%	44,0%	62,1%	44,4%	2016–2020	47,1%	54,1%	65,9%	62,5%	57,4%

3.2.5 Đậu tương hè thu

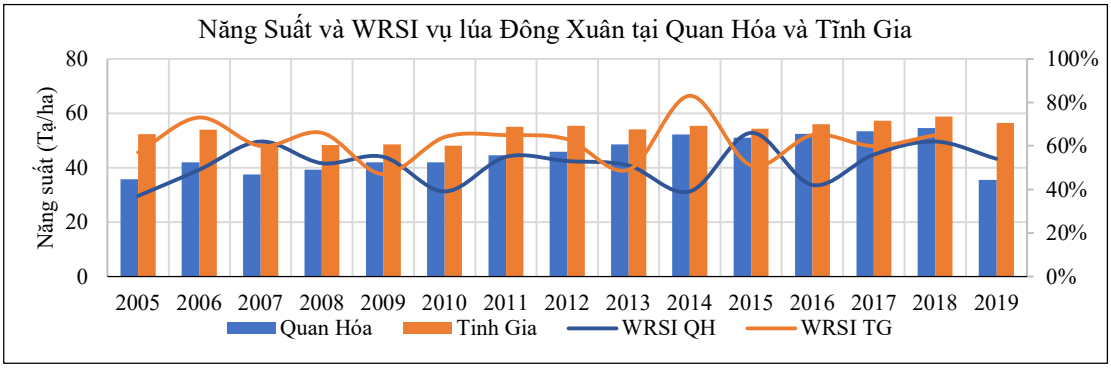
Kết quả ở bảng 11 cho thấy, WRSI cho cây đậu hè thu ở huyện Tĩnh Gia đạt từ 30–60%, cho thấy mức độ thỏa mãn nhu cầu nước trong cả 4 giai đoạn sinh trưởng nằm ở mức hạn nặng đến hạn rất nặng. Huyện trung du vùng núi Quan Hóa có chỉ số WRSI nằm trong khoảng 70–90%, thể hiện khả năng thỏa mãn nhu cầu nước đạt mức hạn trung bình đến hạn nhẹ trong cả chu kỳ sinh trưởng, với WRSI cao nhất ở giai đoạn phát triển và giữa vụ.

Bảng 11. WRSI trung bình vụ của cây đậu tương vụ hè thu từ 1991–2020.

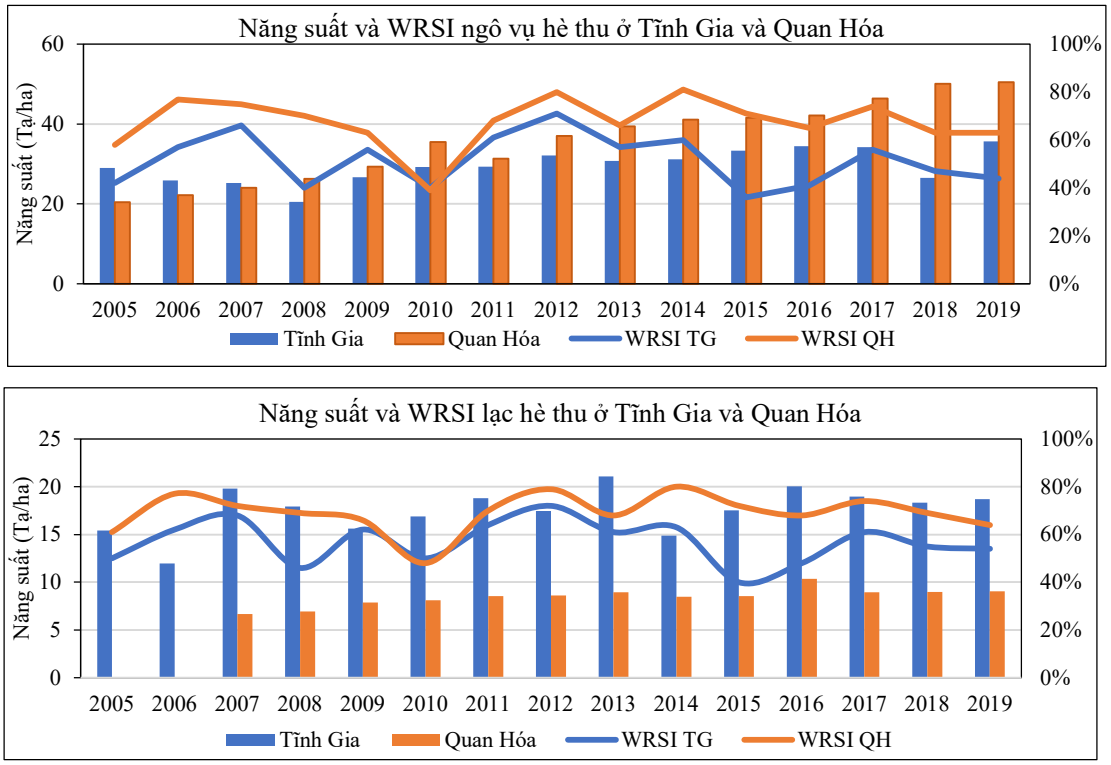
Năm	Tĩnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ		Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	62,1%	39,8%	58,2%	48,5%	52,1%	1991–1995	62,9%	76,5%	80,4%	55,1%	68,7%
1996–2000	48,3%	67,7%	37,9%	40,2%	48,5%	1996–2000	66,1%	68,6%	75,0%	63,5%	68,1%
2001–2005	55,4%	56,1%	29,0%	63,3%	50,9%	2001–2005	73,6%	90,5%	80,2%	74,9%	79,8%
2006–2010	62,3%	41,1%	52,8%	52,6%	52,2%	2006–2010	74,3%	66,8%	87,1%	74,3%	75,6%
2011–2015	28,9%	40,8%	74,6%	62,2%	51,6%	2011–2015	72,7%	81,9%	94,5%	67,9%	79,3%
2016–2020	47,2%	38,8%	47,7%	62,1%	49,0%	2016–2020	58,0%	63,3%	71,5%	62,5%	63,8%

3.3. Tương quan giữa chỉ số WRSI và năng suất cây trồng

Từ hình 5, khi so sánh tương quan giữa năng suất lúa vụ đông xuân và chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước tương ứng, ta có thể dễ dàng nhận thấy năng suất lúa tỷ lệ thuận với WRSI khi mà năng suất và WRSI ở đồng bằng ven biển luôn ở mức cao hơn so với ở vùng núi cho dù mức độ biến đổi trong các huyện có sự tương đồng nhau, tuy nhiên có 1 điều thú vị là khi năng suất hằng năm tương đối đồng đều và có sự thay đổi tương đối chậm, chỉ số WRSI lại biến động khá mạnh theo từng năm. Điều này cho thấy trong những năm hạn hán nặng (WRSI dưới 60%), ở cả 2 vùng đã thể hiện khả năng cung cấp nước thủy lợi cho cây lúa rất tốt khi đảm bảo được năng suất của cây lúa không bị giảm nhiều.



Hình 5. Năng Suất và WRSI vụ lúa đông xuân tại Quan Hóa và Tĩnh Gia.



Hình 6. Năng Suất và WRSI ngô và lạc vụ hè thu tại Quan Hóa và Tĩnh Gia.

Từ các kết quả ở hình 6, ta có thể thấy năng suất ngô vụ hè thu tỷ lệ thuận với WRSI trong hầu hết các năm khi huyện Quan Hóa có mức độ thỏa mãn nhu cầu nước và năng suất cao hơn đáng kể so với huyện Tĩnh Gia. Tuy nhiên khi đến với vụ lạc hè thu, bức tranh trái ngược được thể hiện khi Tĩnh Gia – huyện đồng bằng ven biển có năng suất lạc vụ hè thu cao hơn đáng kể so với huyện miền núi Quan Hóa.

4. Kết luận

Ở cả 2 huyện vùng núi và Đồng bằng ven biển, chỉ số PET đều đạt giá trị cao nhất trong tháng 6 và tháng 7, giá trị thấp nhất đạt được vào tháng 12 và tháng 1. Giá trị PET dịch chuyển theo chu kỳ: Tháng 12 và tháng 1 thấp nhất năm, tháng 3–5 giá trị tăng dần, giá trị đạt đỉnh vào tháng 6–7 sau đó giảm dần từ tháng 8–11. Giá trị của PET ở huyện vùng núi cũng cao hơn ở huyện đồng bằng ven biển từ 10–20%.

Trong vụ Đông Xuân (Tháng 11–4), mức độ thỏa mãn nhu cầu nước của cây lúa của cả 2 huyện ở mức hạn rất nặng đến hạn nặng với WRSI chỉ ở mức 20–50% trong tất cả các giai đoạn sinh trưởng, tuy nhiên Tĩnh Gia có WRSI cao hơn Quan Hóa từ 10–20%.

Đối với cây lúa vụ hè thu, ở Quan Hóa có chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước ở mức hạn nhẹ trong giai đoạn đầu vụ và không bị hạn với WRSI nằm trong mức 80–90% trong giai đoạn phát triển đến cuối vụ. Chỉ số WRSI ở huyện đồng bằng ven biển Tĩnh Gia có giá trị đạt từ 40–60% ở giai đoạn đầu vụ và phát triển thể hiện mức hạn rất nặng đến nặng, giai đoạn giữa vụ và cuối vụ có WRSI lên đến 70–90%, phổ biến nằm ở mức hạn nhẹ và không bị hạn.

Đối với cây lúa vụ Mùa (Tháng 6,7 đến đầu tháng 11), Quan Hóa và Tĩnh Gia có WRSI nằm trong khoảng 70–95% ở giai đoạn đầu vụ đến giữa vụ, đạt đến ngưỡng hạn nhẹ và không bị hạn, tuy nhiên giai đoạn cuối vụ lại có WRSI thấp hơn đáng kể chỉ đạt mức hạn nặng và rất nặng.

Đối với cây ngô hè thu, cây lạc hè thu và đậu tương hè thu, với huyện Quan Hóa có chỉ số WRSI nằm trong khoảng 60–80% đạt mức thỏa mãn nhu cầu nước hạn trung bình, huyện

Tĩnh Gia có chỉ số WRSI chỉ đạt 40–60% cho thấy mức hạn nặng và hạn rất nặng trong tất cả các giai đoạn sinh trưởng trong năm.

Sản lượng các loại cây lương thực có chiều hướng tăng dần từ vụ mùa đến vụ hè thu và cao nhất là ở vụ đông xuân. Với đa số các loại cây lương thực, huyện Tĩnh Gia có năng suất và WRSI cao hơn huyện vùng đồi núi Quan Hóa, chỉ có cây ngô hè thu là ngược lại khi WRSI và năng suất của huyện vùng núi Quan Hóa cao hơn huyện đồng bằng Tĩnh Gia. Trong từng vụ cây trồng, giá trị năng suất và WRSI có chiều hướng tỉ lệ thuận với nhau, tuy nhiên khi WRSI biến động khá nhiều theo từng năm thì năng suất cây trồng chỉ có biến động nhẹ. Từ kết quả WRSI này có thể xác định được khu vực có khí hậu phù hợp với cây trồng, và từ mức thỏa mãn nhu cầu nước theo từng thời điểm sinh trưởng có thể giúp đưa ra phương án tưới tiêu phù hợp để góp phần nâng cao năng suất và sản lượng cây trồng.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.A.C.; Xử lý số liệu: D.A.C.; Viết bản thảo bài báo: L.H.H., D.A.C.; Chỉnh sửa bài báo: L.H.H., N.S.G.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Đề tài cấp bộ "Nghiên cứu tích hợp, lồng ghép các thông tin khí hậu và dự báo thời tiết hạn dài phục vụ phát triển nông nghiệp thông minh ở khu vực Bắc Trung Bộ", mã số TNMT.2021.02.06 đã hỗ trợ về số liệu và phương pháp luận để thực hiện bài báo này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Anh, N.T.H; Liên, M.K. Sản xuất nông nghiệp thích ứng với biến đổi khí hậu vùng bắc trung bộ thông qua xác định lượng mưa, lượng bốc hơi tiềm năng (Pet*). Tạp chí phát triển khoa học & công nghệ, chuyên san khoa học tự nhiên* **2018**, *2(6),* 5–10.
2. Tuấn, N.H.; Cảnh, T.T. Nghiên cứu xu thế biến đổi và dự tính khí hậu trong tương lai cho tỉnh Ninh Thuận. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *722*, 23–37.
3. Phi, N.Q. Xác định nhu cầu nước tưới cho cây lạc bằng phương trình fao penman – monteith và phương pháp hệ số cây trồng đơn. *Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2014**, *46*, 79–85.
4. Ngọc, T.T.H; Mark, H. So sánh các mô hình khác nhau cho ước tính bốc thoát hơi nước tham chiếu vùng phía nam Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *683*, 21–28.
5. Giai, N.S.; Nam, B.C.; Thơ, P.T.A. Phương pháp xác định lượng hệ số căng thẳng về nước và chỉ số thỏa mãn như cầu nước đối với cây lúa và ngô trong điều kiện khô hạn và mặn ở tỉnh An Giang, 2018.
6. Hà, N.T. Nghiên cứu dự báo năng suất ngô, đậu tương, lạc và xây dựng quy trình giám sát khí tượng nông nghiệp cho 4 cây trồng chính (lúa, ngô, lạc, đậu tương) bằng thông tin mặt đất ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp bộ, Viện Khoa học Khí tượng Thuỷ văn và Môi trường, Hà Nội, 2008.
7. Tiêu Chuẩn Quốc Gia. Tiêu chuẩn Việt Nam cho nông nghiệp TCVN 8641: 2011, 2011.
8. Yates, D.; Strzepek K. Potential Evapotranspiration Methods and their Impact on the Assessment of River Basin Runoff Under Climate Change, 1994.
9. Gabriel, S. Crop Water Requirement Satisfaction Index (WRSI) Model Description, 2004.
10. Richard, G.A.; Luis, S.P.; Dirk, R.; Martin, S. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56, 1998.

11. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, 1998.
12. Gabriel, B.S.; James V. Evaluating the performance of a crop water balance model in estimating regional crop production, 2022.
13. Norman, J.R. Frequency of Potential Evapotranspiration Rates in Great Central Plains, 1972.
14. Cục thống kê tỉnh Thanh Hóa. Niên giám thống kê tỉnh Thanh Hóa, 2005–2019.
15. Smith, M.; Allen, R.; Pereira L. Revised FAO methodology for crop-water requirements, 1998.
16. Senay G. Crop Water Requirement Satisfaction Index (WRSI) Model Description, 2004.
17. McNally, A.; Husak, G.J.; Brown, M.; Carrol, M.; Funk, C.; Yatheendradas, S.; Arsenault, K.; Peters-Lidard, C.; Verdin, J.P. Calculating Crop Water Requirement Satisfaction in the West Africa Sahel with Remotely Sensed Soil Moisture. *J. Hydrometeorol.* **2015**, *6(1)*, 295–305.
18. Moeletsi, M.; Sue, W. Assessment of agricultural drought using a simple water balance model in the Free State Province of South Africa, 2011.
19. Elena T. et al. Agro-meteorological risks to maize production in Tanzania: Sensitivity of an adapted Water Requirements Satisfaction Index (WRSI) model to rainfall, 2018.
20. Water Requirement Satisfaction Index (WRSI). https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/128 (Updated 2021).

Calculation and Analysis of the Potential Evapotranspiration and the Water Requirement Satisfaction Index in Thanh Hoa Province in the Period of 1991–2020

Dao Anh Cong[1*], Nguyen Van Luong[1], Le Huu Huan[1], Phan Thi Như Xuyen[1], Ngo Sy Giai[2]

[1] North Central regional hydro–meteorology center; daoanhcong.k55.hus@gmail.com; luongnvkttv@gmail.com; huanbtb@gmail.com; phannhuxuyen@gmail.com.
[2] Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change; ngosygiai@gmail.com

Abstract: The authors focused on research and analysis of PET index and WRSI index for Tinh Gia and Quan Hoa districts from 1991–2000 for 3 rice crops and the summer–autumn crop of 3 other food crops. The results show that PET values move in a cycle: December and January are the lowest of the year, March – May the value increases, the value peaks in June – July, then decreases gradually from August to November. The value of PET is higher in Quan Hoa than in Tinh Gia. WRSI values of winter–spring rice crop in the districts range from severe to very severe drought; For summer–autumn rice crop, Quan Hoa district has mild drought index and no drought, higher than Tinh Gia in medium and mild drought; With the season rice crop, both districts have an average level of water demand satisfaction. For summer–autumn maize, peanut and soybean crops, while Quan Hoa meets the average drought demand, Tinh Gia district has severe drought and very severe drought. In each crop, yield value and WRSI tend to be proportional to each other, however, when WRSI fluctuates quite a lot from year to year, crop yield has only a slight variation.

Keywords: PET; WRSI; Potential evapotranspiration; Water requirement satisfaction index; Yield value.