

RESEARCH ARTICLE

# Tree species explain only half of explained spatial variability in plant water sensitivity

Alexandra G. Konings<sup>1</sup> | Krishna Rao<sup>1,2</sup> | Erica L. McCormick<sup>1</sup> | Anna T. Trugman<sup>3</sup> | A. Park Williams<sup>4</sup> | Noah S. Diffenbaugh<sup>1</sup> | Marta Yebra<sup>5,6</sup> | Meng Zhao<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth System Science, Stanford University, Stanford, CA, USA

<sup>2</sup>Water Science, San Francisco, California, USA

<sup>3</sup>Department of Geography, California State University, San Bernardino, California, USA

<sup>4</sup>Department of Geography, California State University, San Bernardino, California, USA

<sup>5</sup>Environmental Science and Technology, The Australian National University, Canberra, Australia

<sup>6</sup>School of Engineering, The Australian National University, Canberra, Australia

<sup>7</sup>Department of Earth System Science, University of Moscow, Moscow, Russia

Correspondence

Alexandra G. Konings, Department of Earth System Science, Stanford University, Stanford, CA, USA. Email: [konings@stanford.edu](mailto:konings@stanford.edu)

Funding information

Earth and Environmental Science, Grant/Award Number: NSERC 21K1523; National Science Foundation, Grant/Award Number: 1230303205 and 2168656; Department of Earth System Science, Grant/Award Number: 1974

Abstract

Spatial patterns of plant water uptake and stomatal conductance responses to water stress have focused on differences between species because of their direct relationship to xylem hydraulic traits. However, several other ecohydrological factors are also relevant, including soil hydraulics, topographically driven redistribution of water, plant adaptation to local climatic variability, and changes in the response of remotely sensed live fuel moisture content to variations in hydro-meteorological conditions. We use a large-scale field experiment to test the response of remotely sensed live fuel moisture content to variations in hydro-meteorological conditions. We find that the response of live fuel moisture content to variations in hydro-meteorological conditions is driven by mean vegetation density, mean climate, soil properties, and topographic characteristics. We find that the response of live fuel moisture content to variations in hydro-meteorological conditions is driven by mean vegetation density, mean climate, soil properties, and topographic characteristics. We find that the response of live fuel moisture content to variations in hydro-meteorological conditions is driven by mean vegetation density, mean climate, soil properties, and topographic characteristics.

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. © 2024 The Author(s). *Global Change Biology* published by Wiley.

KEYWORDS

intraspecific variability, water stress, plant hydraulic traits, stomatal conductance, photosynthesis

1 | INTRODUCTION

The response of plants to water stress has myriad effects on local ecosystem dynamics. It affects photosynthesis, transpiration, and growth. It also influences soil moisture and nutrient availability, and can lead to changes in plant community composition and structure.

Despite its importance, the response of plants to water stress remains poorly understood. Development of a reliable model of stomatal closure has been argued to be one of the holy grails of plant physiology. This is because stomatal closure is a key mechanism by which plants regulate water loss and maintain water potential. It is also a key mechanism by which plants regulate gas exchange and photosynthesis.

These relationships are then mediated by a large range of plant traits—including those affecting plant rooting depth and distribution, root conductance and root water uptake, rates of water movement through the plant xylem, and stomatal conductance.

Because many of these traits are genetically determined, understanding the genetic architecture of these traits is a key goal of plant physiology. This is because understanding the genetic architecture of these traits can help us to understand the evolution of these traits and the role of these traits in plant adaptation to water stress.

et al., 2022) in the context of plant water stress. This is because water stress is a key factor that influences plant growth and survival, and understanding the response of plants to water stress is a key goal of plant physiology.

To make progress on understanding the response of plants to water stress, it is therefore necessary to understand the relative contributions of species, soil, topography, and climate to the overall response of vegetation to water stress. To this end, several studies have investigated the response of plants to water stress in different contexts. For example, some studies have investigated the response of plants to water stress in natural settings, while others have investigated the response of plants to water stress in controlled environments.

One of the key challenges in understanding the response of plants to water stress is the lack of a reliable model of stomatal closure. This is because stomatal closure is a complex process that is influenced by many factors, including plant hydraulic traits, stomatal conductance, and photosynthesis. As a result, there is a need for a reliable model of stomatal closure that can be used to predict the response of plants to water stress.

2 | METHODS

2.1 | Plant water sensitivity metrics

The approach is based on the recognition that moisture content in both soil and plant leaves is a key indicator of water stress. This is because water stress leads to a decrease in soil moisture and a decrease in leaf water potential, which in turn leads to a decrease in stomatal conductance and photosynthesis.

13652486, 2024, 7, Downloaded from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.17425 by University Of California, Wiley Online Library on [13/08/2024]. See the Terms and Conditions (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) on Wiley Online Library for rules of use; OA articles are governed by the applicable Creative Commons License

weight of water stored in vegetation divided by the dry vegetation weight of the deciduous forest (DFA) in the deciduous forest. Specific humidity is a logarithmic scale.

$$LFMC_t = \sum_{i=0}^{N=8} \beta_i \times DFMC_{t-i} + \gamma \quad (1)$$

Abovetheintercept represents the time steps of the data, and the intercept is the value of the regression line when the independent variable is zero. The optimal timescale likely varies from location to location in the forest. Since it represents a reasonable average of previously calculated water content, we use N = 8.

$$PWS = \sum_{i=1}^{N=8} \beta_i \quad (2)$$

In the above equations, the intercept is the value of the regression line when the independent variable is zero. The optimal timescale likely varies from location to location in the forest. Since it represents a reasonable average of previously calculated water content, we use N = 8.

We use DFA to estimate the dependence of LFMC on precipitation. Equation (1) is used to estimate the dependence of LFMC on precipitation. Equation (1) is used to estimate the dependence of LFMC on precipitation.

The DFA is a measure of the dependence of LFMC on precipitation. The DFA is a measure of the dependence of LFMC on precipitation.

We use DFA to estimate the dependence of LFMC on precipitation. Equation (1) is used to estimate the dependence of LFMC on precipitation. Equation (1) is used to estimate the dependence of LFMC on precipitation.

### 2.2 Calculating species influence

Information about species composition in each location, since continuous maps of species composition are not available across the entire study area. We interpret these locations as ones where a single species dominates the plot.

Limiting factors such as soil, plant, and topographic factors used for composition analysis. We use DFA to estimate the dependence of LFMC on precipitation.

13652486, 2024, 7, Downloaded from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.1425 by University Of California, Wiley Online Library on [13/08/2024]. See the Terms and Conditions (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) on Wiley Online Library for rules of use; OA articles are governed by the applicable Creative Commons License

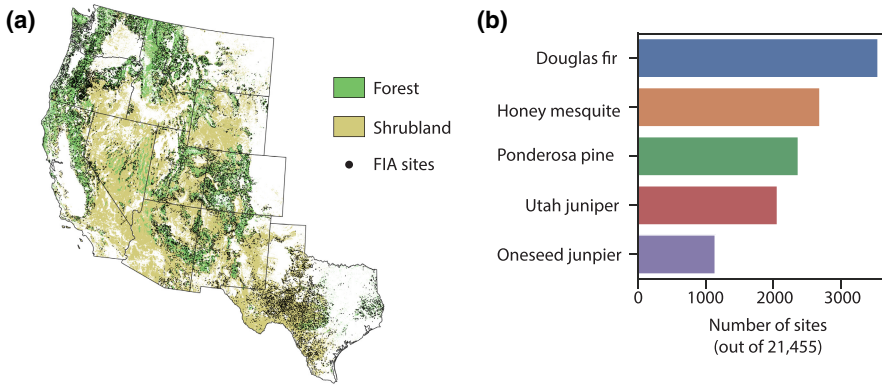


FIGURE 1. (a) Map of California showing Forest (green), Shrubland (yellow), and FIA sites (black dots). (b) Horizontal bar chart showing the number of sites for the top five most common species in the dataset.

Having identified the dominant species, we assume that the dominant species are the most influential in determining the response of the system to climate change. To test this, we calculate the influence of the dominant species on the response of the system to climate change using the coefficient of determination ( $R^2$ ) between the observed and predicted values of the response variable. For simplicity, but that it is estimated from a regression of observed values of the response variable against the predicted values of the response variable.

Their spatial distribution is more than a thousand times smaller, with only a subset of the total area covered by the plots. The location uncertainty does not change the impact of the dominant species on the response of the system to climate change. Overall, our analysis rests on the assumption that the advantage of being able to study plant water sensitivity across tens of thousands of sites outweighs the errors induced by the presence of some differences in spatial representativeness differences. The impact of the resolution differences on the interpretation of the results is a minor concern.

### 2.3 Comparison to other previous work

The  $R^2$  between observed and predicted values of the response variable is difficult to interpret in isolation. It is unclear how

much of the  $R^2$  is attributable to the magnitude of the noise in our data. To test this, we compare the  $R^2$  of a random forest model that uses the dominant species as the sole predictor of the response variable to the  $R^2$  of a random forest model that uses all species information. The random forest model contains 120 “trees”, and tests up to 10 features per split. These hyperparameters were chosen by testing a range of possible values and selecting those that led to the best model performance. In addition, the random forest model has a maximum depth of 10, which is a reasonable choice for a random forest model. The decrease in model score when a feature is removed is calculated based on the permutation feature importance—the decrease in model score when a feature is swapped with a random feature.

We consider the following features: local climate characteristics, topography, and soil characteristics. We test the mean monthly value and the monthly coefficient of variation of the precipitation, the monthly standard deviation of the precipitation, the monthly coefficient of variation of the precipitation, and the monthly coefficient of variation of the precipitation. We use the coefficient of variation rather than the standard deviation, as the latter is highly correlated with the mean for several drivers. The spatial distribution of the response variable is also considered, whether they were selected for the final model, and the spatial distribution of the response variable is also considered. We test the mean monthly value and the monthly coefficient of variation of the precipitation, the monthly standard deviation of the precipitation, the monthly coefficient of variation of the precipitation, and the monthly coefficient of variation of the precipitation. We use the coefficient of variation rather than the standard deviation, as the latter is highly correlated with the mean for several drivers. The spatial distribution of the response variable is also considered, whether they were selected for the final model, and the spatial distribution of the response variable is also considered.

13652486, 2024, 7, Downloaded from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.17425 by University Of California, Wiley Online Library on [13/08/2024]. See the Terms and Conditions (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) on Wiley Online Library for rules of use; OA articles are governed by the applicable Creative Commons License





FIGURE 3 Variability in predicted PWS (a) based on species-specific PWS or the random forest of climate, plant trait, soil and topography variables. Row-bandwidth kernel density estimation was applied to the predicted PWS of the combined gradient features. The panel on the left shows the

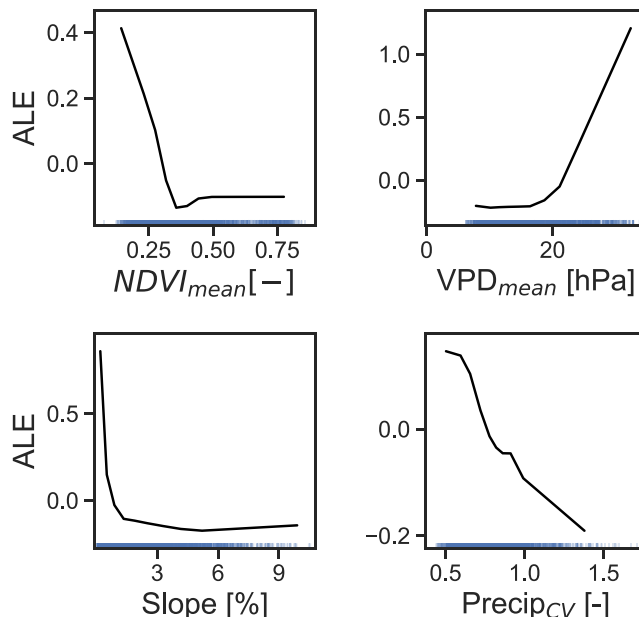
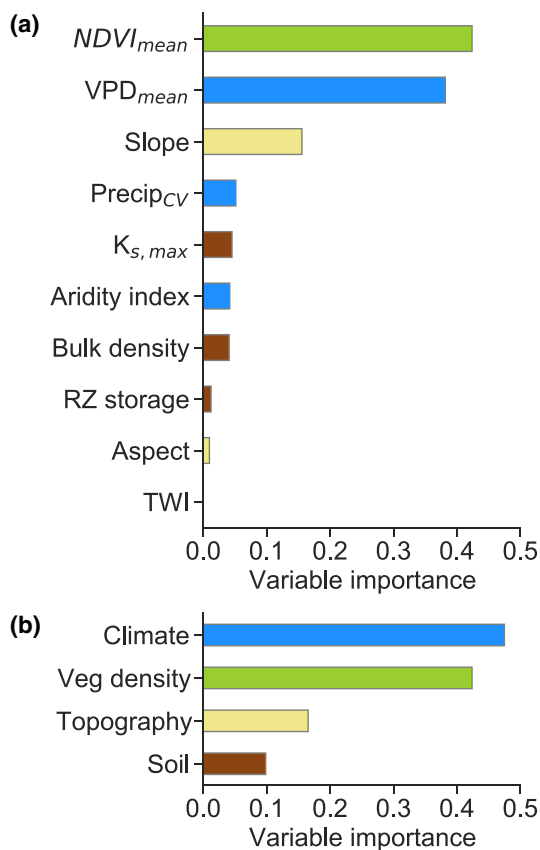
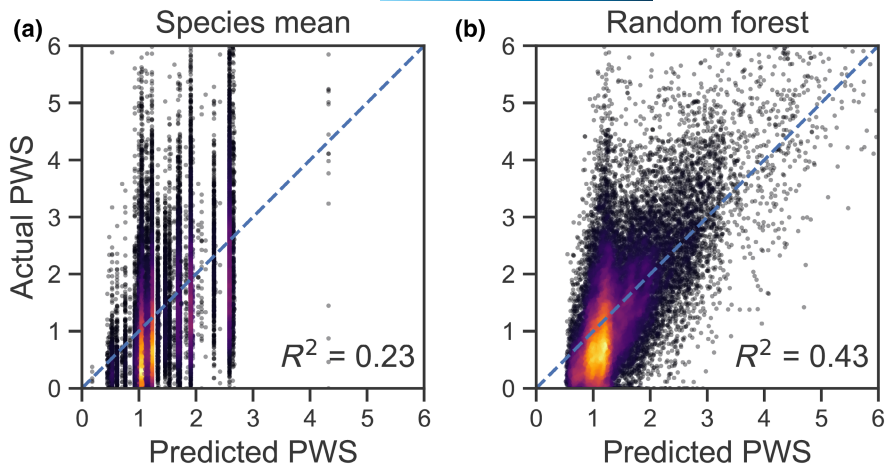


FIGURE 4 Cumulative effect of the most important variables on predicted PWS. The ALE plots represent the relative density of the distribution of that variable across all sites studied.

FIGURE 4 Relative importance of the most important variables for predicting PWS. The ALE plots represent the relative density of the distribution of that variable across all sites studied. The ALE plots show the relative density of the distribution of that variable across all sites studied. The ALE plots show the relative density of the distribution of that variable across all sites studied.

et al. (2018) highlight the potential of machine learning models to predict plant water sensitivity. The ALE plots show the relative density of the distribution of that variable across all sites studied. The ALE plots show the relative density of the distribution of that variable across all sites studied.

The main drivers of plant response to water stress are likely to be related to the nature of plant responses to water stress, with trait adaptations to minimize water loss and to maintain photosynthesis (Figs 4 and 5). Overall, the random forest model is likely to include some components that are not included in the model but may be important for the accuracy of the model predictions rather than the model itself.

Overall, the random forest model is likely to include some components that are not included in the model but may be important for the accuracy of the model predictions rather than the model itself.

Further, the random forest model is likely to include some components that are not included in the model but may be important for the accuracy of the model predictions rather than the model itself.

## 4 | DISCUSSION

### 4.1 | Species type only part water stress sensitivity

Our results show that the random forest model is able to predict plant response to water stress based on species type information alone. This suggests that, while a considerable amount of species information is captured by species information alone. This suggests that, while a considerable amount of species information is captured by species information alone.

climatic variability, and thus the degree of water stress on the vegetation varies across space not just because of difference in vegetation behavior but also because of the difference in the amount of meteorological aridity observed during the study period (Fig. 2). While the amount of meteorological aridity observed during the study period is not directly related to the degree of water stress on the vegetation, it is likely to be a strong predictor of plant response to water stress. This suggests that, while a considerable amount of species information is captured by species information alone. This suggests that, while a considerable amount of species information is captured by species information alone.

Note that although several of the factors considered in the random forest model are likely to be important for the accuracy of the model predictions rather than the model itself.

Our result is consistent with a previous finding that growth rates are likely to be influenced by species type information alone. This suggests that, while a considerable amount of species information is captured by species information alone.

Several factors are likely to be important for the accuracy of the model predictions rather than the model itself.

13652486, 2024, 7, Downloaded from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.17425 by University Of California, Wiley Online Library on [12/08/2024]. See the Terms and Conditions (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) on Wiley Online Library for rules of use; OA articles are governed by the applicable Creative Commons License

orientation (Baldwin, 1999) ground cover (Baldwin, 1999) and soil moisture (Baldwin, 1999) are important factors influencing plant growth. In a study by Baldwin et al. (2021), the authors found that ground cover and soil moisture were significant predictors of plant growth. Similarly, Baldwin et al. (2022) found that ground cover and soil moisture were significant predictors of plant growth. In a study by Baldwin et al. (2023), the authors found that ground cover and soil moisture were significant predictors of plant growth. In a study by Baldwin et al. (2024), the authors found that ground cover and soil moisture were significant predictors of plant growth.

We note that the 23% explained variance for the random forest model we calculated may also be limited by the strong assumption that thinning processes can reduce plant growth sensitivity to drought (Gibson et al., 2013; Jupp et al., 2017; Thomas & Waring, 2005). However, the value of studying species effects across a wider range of environments is likely to be robust.

Climatic factors also have high importance in the random forest model, consistent with previous studies of drought sensitivity (D'Orangeville et al., 2021; Fiebert et al., 2022; Ukkola et al., 2021). In addition, the importance of climatic factors is likely to be robust.

Over the last few years, there has been a growing interest in the use of machine learning models to predict plant growth. In a study by Baldwin et al. (2021), the authors found that machine learning models were able to predict plant growth. Similarly, Baldwin et al. (2022) found that machine learning models were able to predict plant growth. In a study by Baldwin et al. (2023), the authors found that machine learning models were able to predict plant growth. In a study by Baldwin et al. (2024), the authors found that machine learning models were able to predict plant growth.

#### 4.2 Relative importance of species on PWS variability

The random forest model we used to predict plant growth in several other studies of different plant water stress

respectively, in studies of growth response to drought and sensitivity of evaporative fraction to soil moisture. This is consistent with previous studies (D'Orangeville et al., 2021; Fiebert et al., 2022; Ukkola et al., 2021). In addition, the importance of climatic factors is likely to be robust. Several individual studies have shown the potential for significant plant growth responses to changes in soil moisture (D'Orangeville et al., 2021; Fiebert et al., 2022; Ukkola et al., 2021). In addition, the importance of climatic factors is likely to be robust.

13652486, 2024, 7, Downloaded from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.17425 by University Of California, Wiley Online Library on [13/08/2024]. See the Terms and Conditions (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) on Wiley Online Library for rules of use; OA articles are governed by the applicable Creative Commons License

me a V P D r = . 3 E 8 v ) e i n t h a b s e o f a e a u s a r t e l v a e t i s h o p t w e t h e l i n f a e t a e t a n d W S T h e r o s o r r e l a b e t w e n e r a n l i m a n t t h e F M Q a t t e s e t s c a l c u l P W S m a y h e r e c f r o e r a e t a e r t i d e p e a d e r W S o n c l i m a t e . I t i s , h o w e v e r , d i f f i c u l t t o i m a g i n e h o w o n e m i g h t d e s i g n a m e t r i c o f p l a n t s e n s i t i v i t y t o w a t e r l i m i t a t i o n s t h a t i s n o t s e n s i t i v e t o s u c h r o s o r r e l a t e d v a r i a b l e s . I m p o r t a n t o f c l i m a t e f e a t u r e s f o r t h e r a n d o m f o r e s t t o r e f l e c t a c o m b i n a t i o n o f a r t i f i c i a l r o s o r r e l a t e d v a r i a b l e s t a t i s t i c a l u n c e r t a i n t y i n c l i m a t e P W S T h i s i s g g e f f s o t r o t r s p r o b a b i l i t y p a r a m e t r e z a t o p h a t n r t a r i e l t s a t t o e a d t e r r i e s s i s d r f n a o c d e e l s ( A n d e r s e n 2 0 1 5 ; G u e t a l . , 2 0 2 1 ) m i g h t n e f f r i d m c o r p o r a t i o n r e l a t i o n s h i p s a r t d s i m i l a r ( A f t a e m i g e l t a l . 2 0 2 8 ; i W u e t a l . 2 0 2 0 ) .

The relatively low influence of soil properties in the model (Fig 4b) is surprising given the high expected quality of the NATS dataset and the role of soil properties is quite temporally variable (e.g., *u r h a y t d e r d a u l n i d u c i t i s i v k i t e d y e n u i i t n e p o r t a* in very wet conditions, whereas wilting point or retention parameters are more important in drier conditions). The model may be biased due to the lack of soil properties in the dataset, such as rock moisture content (Körner et al. 2021) or soil hydraulic properties (Lai et al. 2020) or soil hydraulic properties (Lai et al. 2020). The model may also be biased due to the lack of soil properties in the dataset, such as rock moisture content (Körner et al. 2021) or soil hydraulic properties (Lai et al. 2020) or soil hydraulic properties (Lai et al. 2020). The model may also be biased due to the lack of soil properties in the dataset, such as rock moisture content (Körner et al. 2021) or soil hydraulic properties (Lai et al. 2020) or soil hydraulic properties (Lai et al. 2020).

## 5 | CONCLUSIONS

In this study, we evaluated the influence of environmental factors across tens of thousands of forested locations across the West and Midwest of the United States using the PWS dataset. Our results show that the model is able to explain a significant portion of the variance in plant hydraulic traits across the region. However, the model is unable to explain the variance in plant hydraulic traits in the Midwest, which may be due to the lack of soil properties in the dataset. Our results suggest that the model is able to explain the variance in plant hydraulic traits across the region, but is unable to explain the variance in plant hydraulic traits in the Midwest. Our results suggest that the model is able to explain the variance in plant hydraulic traits across the region, but is unable to explain the variance in plant hydraulic traits in the Midwest.

should study individuals of a species across a range of the climate, soil, and topographic environments in which it grows. Our results show that the model is able to explain a significant portion of the variance in plant hydraulic traits across the region, but is unable to explain the variance in plant hydraulic traits in the Midwest. Our results suggest that the model is able to explain the variance in plant hydraulic traits across the region, but is unable to explain the variance in plant hydraulic traits in the Midwest.

## ACKNOWLEDGEMENTS

**Alexandra G. Konings:** Conceptualization; data curation; writing – original draft; writing – review and editing. **Krishna Rao:** Conceptualization; data curation; writing – original draft; writing – review and editing. **Erica L. McCormick:** Data curation; methodology; software; writing – review and editing. **Anna T. Trugman:** Data curation; methodology; writing – review and editing. **A. Park Williams:** Conceptualization; data curation; writing – review and editing. **Noah S. Diffenbaugh:** Conceptualization; data curation; writing – review and editing. **Marta Yebra:** Conceptualization; data curation; methodology; writing – review and editing. **Meng Zhao:** Data curation; methodology; software; writing – review and editing.

## ACKNOWLEDGEMENTS

**AGK** was supported by NSF DEB grant 1942133, NSF grant 2021111, and the University of California, Berkeley. **AK** was supported by NSF grant 2021111, and the University of California, Berkeley. **AK** was supported by NSF grant 2021111, and the University of California, Berkeley. **AK** was supported by NSF grant 2021111, and the University of California, Berkeley. **AK** was supported by NSF grant 2021111, and the University of California, Berkeley.

## CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The authors declare no conflicts of interest.

## DATA AVAILABILITY STATEMENT

The PWS dataset is available at <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2023-185f0>. The data structures are publicly available datasets described in Table 1. The data structures are publicly available datasets described in Table 1. The data structures are publicly available datasets described in Table 1. The data structures are publicly available datasets described in Table 1. The data structures are publicly available datasets described in Table 1.

## ORCID

**Alexandra G. Konings** <https://orcid.org/0000-0001-9151-9151>  
**Krishna Rao** <https://orcid.org/0000-0002-8000-8000>

13652486, 2024, 7. Downloaded from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.17425 by University Of California, Wiley Online Library on [08/08/2024]. See the Terms and Conditions (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) on Wiley Online Library for rules of use; OA articles are governed by the applicable Creative Commons License

Erica L. McCormick <https://orcid.org/0000-0002-0716-0109> ... Anna T. Trugman <https://orcid.org/0000-0002-0970-8176> ... A. Park Williams <https://orcid.org/0000-0001-8176-8176> ... Noah S. Diffenbaugh <https://orcid.org/0000-0002-4824-4831> ... Marta Yebra <https://orcid.org/0000-0002-4824-4831> ... Meng Zhao <https://orcid.org/0000-0001-6883-8883>

REFERENCES

A batzoglou (2010, 103) v. elopferitdsuerdfmaectee or o l o g b b a l d . , & Deemijre g , 19 87 f e ) national fire-danger rating system: Basic equations. Pacific Northwest Research Station Report PNW-82-08. ... Ander W. G. (2015) a. b. i. n. d. e. m. p. o. r. a. a. l. i. a. p. i. l. a. m. y. t. d. f. a. u. lic traits and their relevance for climate change impacts on vegetation. ... Ander W. G., Trugman, A. T., Williams, A. P., Diffenbaugh, N. S., Yebra, M., Zhao, M., ... (2021) Drought timing and local climate determine the sensitivity of eastern temperate forests to drought. ... Dalrymple, T. L., Brown, P. J., ... (2015) Mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. ... Dalrymple, T. L., Brown, P. J., ... (2016) Climate change and the future of conifer forests. ... De Kauwe, M. G., ... (2015) The need to include differential plant species responses to drought? ... Bechtold, P., ... (2015) Enhanced forest inventory and analysis program-national sampling design and estimation procedures. ... Beven, K., ... (1995) Hydrological Sciences Bulletin, 24(1), 3-6. ... Black, A. S., ... (2017) Genetic adaptation and phenotypic plasticity contribute to greater leaf hydraulic tolerance in response to drought in warmer climates. ... Bott, A., ... (2017) Journal of Applied Ecology, 54(6), 605-616. ... Brodrick, J. B., ... (2014) Science, 368(6482), 1-4. ... Brzoska, K., ... (2019) Global Change Biology, 20(8), 531-542. ... Buckley, A. D., ... (2010) Plant Physiology, 174(2), 7-18. ... Burge, R. (1982) Revisions to the 1978 National Fire Danger Rating System. ... Burley, L. A., ... (2021) Nature Communications, 11(1), 1-11.

13652486, 2024, 7, Downloaded from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.17425 by University Of California, Wiley Online Library on [13/08/2024]. See the Terms and Conditions (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) on Wiley Online Library for rules of use; OA articles are governed by the applicable Creative Commons License

Fati Sc. R. A. P. P. A. S. L. v. N. W. (2016). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability. *Geophysical Research Letters*, 43(12), 6544–6553. <https://doi.org/10.1002/wat2.1125>

Fel t A. J. S. H. R. R. V. K. B. R. a. d. J. O. B. R. S. I. U. D. I. K. N. G. A. I. L. B. E. W. & A. D. L. B. B. (2021). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Fen X., D. A. W. S. D. E. A. C. K. E. D. I. D. Y. S. A. N. T. I. L. A. S. G. & T. H. O. M. P. S. O. N. K. A. N. N. E. N. B. A. R. G. U. O. J. S. N. O. V. I. K. A. A. N. D. E. R. W. G. R. G. L. F. E. N. G., X. K. E. N. N. E. D. D. J. O. N. I. A. G. S. M. A. R. T. I. V. R. I. D. Z. A. H. & M. A. T. H. E. A. N. Y., M. (2020). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Fry A., X. I. A. G. N. J. I. S. I., D. E. W. I. J. T. A. J., H. O. M. E. O. G. Y., A. N. G. B. A. R. N. E. S., C. H. E. R. O. N. & W. I. C. K. H. J. A. (2010). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Fu Z., C. I. A. R. S. E. L. D. A. F. N. G. E. N. T. P. R. M. A. K. O. W. S. K. R. E. N. T. C. C. E., S. T. C. Y. C. B. A. S. T. A. O. & W. I. G. N. E. J. D. (2022). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gar d. M. H., H. U. J. D. O. M. I. N. G. T. U. F. E. S. R. O. E. N. E. R. D. J. I. J. I. K. V. R. I. S. R. & C. O. S. F. A. R. C. (2020). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gaz d. I. C. A. M. A. R. E. J. A. N. D. E. R. W. G. R. G. L. & V. I. C. E. S. E. T. E. R. S. I. M. O., L. I. Y. H. O. L. T. Z. H. A. N. G. & K. O. N. I. A. G. S. (2021). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Ges d. H. Q. I. M. O. A. N. G. R. E. E. N. S. H. E. L. S. O. N. T. E. U. M. K. & T. Y. L. D. E. R., L. O. C. K. W. E. D. M. A. X. W. E. I. T. D. E. N. H. S. R. O., R. O. B. E. S. S. M. L. E. B. L. A. N. C., D. C. P. E. D. E. R. N. D. R. O. V. I. K. A. & A. U. T. F. (2023). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gi a. R. D. I. G. R. E. A. N. T. P. K. A. N. I. A. G. S. S. E. N. E. V. I. S. L. A. & S. T. E. O. C. E. R., (2023). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gi u. G. A. B. L. U. G. M. A. H. Z. I. N. G. D. O. B. B. E. M. I. & R. I. G. L. A. I. (2021). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gl e. A. S. O. E. N. B. R. A. D. J. O. B. R. O. P. T. A. R. D. A. M. A. T. W., F. R. A. V. S. E. R., M. A. P. A. L. B. & B. A. T. T. A. N. G. A. I. L. A. V. E. R. S. K. R. E. N. E. I. & C. K. E. R. D. C. (2017). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gon z. A. D. L. E. R. D. E. R. S. P. A. S. C. A. M. A. R. E. J. A. N. D. E. R. W. G. R. G. L. & M. A. R. T. I. V. R. I. D. Z. A. H. T. A. M. A. S. T. R. O. T. H. E. T. O. E. D. P. P. S. E. L. M. O. R. I. N. A. R. B. U. R. I. A. F. D. M. A. N. O. G. E. I., P. A. R. A. J. R. A. G. O. R. N. S. E. L. B. E. S. P. T. A. V. Z. H. A. D. J. I. D. O. U. K. A. S., F. A. T. I. S. C. H. I. O. 2. 0. 0. R. G. E. R. E. A. M. D. E. S. L. W. A. T. I. E. H. A. E. L. P. L. U. S. R. I. N. G. W. A. R. M. E. R. S. U. M. M. E. R. S. *Nature Climate Change*, 10(2), 155–166. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0675-6>

Gr a. Y. B. R. A. N. D. F. E. S. H. A. J. W. M. C. W. I. L. I. W. & R. V. S. I. L. E. (2017). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gr e. E. I. R., B. A. L. I. A. R. A. T. A. J. I. N. A. R. M. I. D. F. G. E. N. T. I. P. N. M. A. K. O. W. S. K. & C. I. A. R. S. E. L. D. A. F. N. G. E. N. T. P. R. M. A. K. O. W. S. K. R. E. N. T. C. C. E. (2022). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Gr o. S. C. B. R. U. C. K. I. T. A. Y. G. E. R. N. U. L. A. K. N. O. V. I. K. A., P. O. U. L. B. E. R., S. I. E. G. V. R. A. T. I. W., S. P. E. R. J. R. S. Y. & M. C. D. O. W. A. N. I. G. (2020). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Ha h. R. M., J. D. R. A. I. D. I. N. E. R. E. M. P. D. E. M. B. R. Y. A. K. B. T. H. O. M. P. S. O. E. N., D. A. W. S. D. E. A. C. K. E. D. I. D. Y. S. A. N. T. I. L. A. S. G. & T. H. O. M. P. S. O. N. K. A. N. N. E. N. B. A. R. G. U. O. J. S. N. O. V. I. K. A. A. N. D. E. R. W. G. R. G. L. F. E. N. G., X. K. E. N. N. E. D. D. J. O. N. I. A. G. S. M. A. R. T. I. V. R. I. D. Z. A. H. & M. A. T. H. E. A. N. Y., M. (2020). The impact of climate change on water productivity and water use from rainfall variability and the global overshoot of tree growth with climate variability and the global spe c tor f u r n u i g m d u f c e r d e i s e b e n d e d. *Global Change Biology*, 23(9), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>

Miguel-Azcárraga & Farfán (2021) a. t. i. o. t. e. m. p. o. g. f. s. i. n. v. a. t. e. r. R. o. s. s. i. d. T. e. r. p. o. g. g. l. i. .e. a. u. d. e. t. & e. i. b. o. h. z. (2020) w. e. l. d. l. o. e. s. i. g. s. b. i. m. a. p. p. i. r. e. g. r. e. s. s. i. o. n. t. o. g. r. a. p. h. y. e. s. t. i. g. a. f. t. r. i. t. h. S. A. T. h. e. S. o. i. l. , 8( 25) 59 – 51 <https://doi.org/10.5194/gt/8/5/2022>

Miranda I. G. S. e. n. t. i. p. N. e. v. i. S. á. t. e. n. T. e. u. l. A. n. g. (2019) . Land-atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: S. t. a. t. f. e. h. e. c. i. e. a. n. n. o. d. e. r. r. e. h. n. a. t. l. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436( 11) 9 – 3 <https://doi.org/10.1111/nyas.13912>

Novik A. F. i. c. K. D. L. i. . B. a. l. d. o. d. D. h. a. i. v. K. s. l. G. h. e. z. z. e. f. A. e. i. , K. o. n. i. A. G. s. M. a. c. B. e. N. R. a. o. U. N. I. S. c. o. R. L. S. h. Y. S. u. l. m. a. n. , B. N. & W. o. o. d. D. (2022) n. f. r. o. t. h. w. a. n. t. g. e. o. t. e. r. i. n. i. f. a. d. r. S. e. a. g. R. e. i. n. M. J. C. . N. a. i. N. K. . C. o. o. B. . N. a. k. a. m. U. R. & L. i. H. , (2013) o. j. e. c. t. f. d. e. m. i. s. u. r. i. n. f. i. a. c. t. e. v. a. i. l. f. o. r. t. h. e. t. y. s. o. u. t. h. w. e. l. s. t. i. t. *Nature Climate Change*, 3( 54) 82 – 486 . <https://doi.org/10.1038/nclimate1787>

Novik A. J. o. l. D. ; O. r. a. n. g. l. e. B. e. h. b. M. A. u. T. F. B. a. r. n. M. s. , D. e. n. h. a. S. M. F. e. B. , H. e. i. l. K. a. H. w. a. n. T. J. . K. e. y. S. T. e. M. a. x. w. e. l. S. e. r. M. a. l. -u. q. i. e. G. r. a. z. A. I. A. n. d. e. r. W. g. R. g. L. . M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. t. a. , M. e. n. c. u. c. M. i. & N. o. a. m. a. r. e. t. (2020) o. d. e. n. s. i. t. y. d. r. a. u. l. i. c. t. r. a. i. t. s. i. n. f. l. u. e. n. c. e. s. p. e. c. i. e. s. ' g. r. o. w. t. h. r. e. s. p. o. n. s. e. t. o. d. r. o. u. g. h. a. c. r. o. s. s. b. i. o. m. e. s. *Global Change Biology*, 28( 13) 71 – 3 <https://doi.org/10.1111/gcb.16123>

Novik A. F. i. c. K. D. L. i. S. t. d. P. y. C. . W. i. l. l. i. C. a. M. B. o. h. r. G. e. O. i. S. A. i. , S. i. m. a. M. . d. i. n. N. O. F. i. S. H. B. e. R. & B. a. c. c. A. (2012) p. p. i. f. m. o. g. e. s. t. c. a. n. o. p. y. h. e. i. g. h. t. g. l. o. b. a. l. l. y. w. i. t. h. s. p. a. c. e. b. o. r. n. e. l. i. d. a. r. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116( G 44) Q 2 <https://doi.org/10.1029/2010JD01708>

Pappas, S. a. t. i. S. c. & B. u. r. l. a. P. h. (2016) d. e. l. t. i. e. r. g. r. e. s. a. r. t. r. b. a. r. l. a. n. d. w. a. t. e. r. d. y. n. a. m. i. c. s. a. c. r. o. s. s. c. l. i. m. a. t. i. c. g. r. a. d. i. e. n. t. s. : D. o. e. s. p. l. a. n. t. t. r. a. i. t. d. i. v. e. r. s. i. t. y. m. a. t. t. e. r. ? *New Phytologist*, 209( 11) 37 – 1 <https://doi.org/10.1111/nph.13590>

Paschall, B. e. S. G. u. d. y. , & F. a. t. i. S. c. (2021) h. u. e. n. c. e. r. t. a. i. n. t. i. n. d. u. l. e. y. e. d. o. t. r. i. t. i. n. s. e. c. t. i. r. i. n. o. e. n. s. r. e. l. s. i. t. o. s. i. p. a. r. t. i. e. d. e. l. i. n. g. *Water Resources Research*, 58( 9e) 2021 WR 03 <https://doi.org/10.1029/2020WR031871>

Pritzk, W. i. v. l. i. a. V. m. S. d. o. C. a. t. r. o. u. R. & A. r. n. S. K. , (2020) . P. h. e. n. o. t. y. p. a. i. s. d. a. i. n. g. i. e. h. y. a. t. d. i. a. c. p. t. o. f. i. u. o. t. t. i. r. o. i. a. n. t. s. f. l. u. e. h. o. e. s. p. a. e. -c. u. f. r. i. c. a. t. h. i. y. a. d. r. a. e. u. f. i. l. i. o. c.á. r. e. s. h. a. c. f. y. e. t. y. *Tree Physiology*, 40( 22) 1, 5 – 2 <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz121>

Queiroz, R. . A. n. d. e. r. e. G. g. L. . B. o. v. i. n. G. , n. d. e. r. W. g. R. g. L. & T. r. u. g. M. a. .n. (2020) s. e. r. f. v. e. r. d. e. s. b. i. e. t. o. c. h. i. a. t. v. i. n. e. s. k. e. p. t. p. a. c. e. w. i. t. h. h. y. d. r. a. u. l. i. c. s. t. r. e. s. s. f. r. o. m. c. l. i. m. a. t. e. c. h. a. n. g. e. *Global Change Biology*, 29, 5415 – 5 <https://doi.org/10.1111/gcb.14747>

Raak, W. i. l. l. i. A. a. R. n. B. i. f. f. e. n. N. a. S. u. Y. a. b. r. M. a. & K. o. n. i. A. G. S. , (2021) a. n. n. a. t. -e. r. e. n. s. i. t. i. e. g. i. u. t. w. i. t. l. e. s. f. u. t. u. r. e. r. a. b. i. l. i. *Nature Ecology & Evolution*, 6( 33) 32 – 3 <https://doi.org/10.1038/s41562-021-0654>

Raak, W. i. l. l. i. A. a. R. n. S. F. l. e. f. i. l. & K. o. n. i. A. G. S. , (2020) A. R. -e. n. h. a. n. c. e. d. m. a. p. p. i. n. g. o. f. l. i. v. e. f. u. e. l. m. o. i. s. t. u. r. e. c. o. n. t. e. n. t. *Remote Sensing of Environment*, 245, 1117 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111797>

Robertson, i. M. G. , u. r. a. l. R. i. B. t. l. o. d. M. W. i. e. c. z. d. r. B. e. r. k. a. , a. k. , K. . O. t. e. g. J. u. R. u. s. S. L. e. & D. e. s. m. e. f. (2014) G. B. l. i. f. n. t. e. g. r. a. t. e. p. u. b. l. i. s. h. o. i. f. l. i. g. i. a. t. i. : l. i. t. t. h. e. f. f. i. n. g. u. e. h. t. s. t. o. i. i. v. e. U. r. k. k. o. A. . M. , D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. B. e. S. M. J. A. b. r. a. m. o. w. i. t. z. G. . H. a. v. e. Y. .d. e. c. k. M. e. r. & H. a. u. g. h. N. o. (2016) a. n. s. u. r. f. a. c. e. m. o. d. e. l. s. s. y. s. t. e. m. a. t. i. c. a. l. l. y. o. v. e. r. e. s. t. i. m. a. t. e. t. h. e. i. n. t. e. n. s. i. t. y. , d. u. r. a. t. i. o. n. a. n. d. m. a. g. n. i. t. u. d. e. s. o. f. e. a. s. t. v. e. a. p. o. r. t. a. r. t. d. u. g. *Environmental Research Letters*, 11( 10) 04 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/04012>

Rommel, H. A. l. l. e. D. , B. a. i. U. d. y. B. a. k. W. r. L. . B. e. s. t. e. l. B.ä. y. e. r. , B. r. o. w. P. M. . E. i. s. e. n. k. S. f. t. o. M. d. . H. u. f. f. n. d. a. M. . J. a. c. o. b. s. , B. . F. . M. i. l. R. e. F. . M. u. l. d. a. E. . H. n. S. w. e. t. n. T. . M. . J. a. u. s. R. .h. , & W. e. i. s. B. e. d. g. (2009) s. t. o. a. r. n. d. a. d. e. d. i. n. s. t. u. r. b. e. a. n. d. e. k. g. i. m. e. s. a. n. d. r. u. c. h. a. u. d. e. s. d. e. y. a. p. a. m. i. f. i. c. i. s. i. o. n. - J. u. n. i. p. v. e. g. e. t. i. o. n. i. n. W. e. s. t. e. U. r. n. i. t. S. e. t. a. t. *Rangeland Ecology & Management*, 62( 32) 3 – 2 <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2009.04381.x>

Rosales Mencuc Mi Bär, b. a. C. o. c. h. a. H. . S. a. u. M. a. S. S. & M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. (2019) j. u. s. t. m. e. d. b. o. r. d. i. n. a. n. t. y. o. n. d. r. a. u. l. i. c. , l. e. a. f. a. n. d. s. t. e. m. t. r. a. i. t. s. a. l. o. n. g. a. w. a. t. e. r. a. v. a. i. l. a. b. i. l. i. t. y. g. r. a. d. i. e. n. t. *New Phytologist*, 223( 26) 32 – 6 <https://doi.org/10.1111/nph.15684>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o. b. a. l. m. o. d. e. l. s. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14( 4) , e2021MS002763 <https://doi.org/10.1029/2021MS002763>

Sabatini, B. D. e. K. a. u. W. A. G. . P. i. t. M. a. .h. M. e. d. l. y. B. . E. l. l. i. s. W. .o. r. t. h. , S. M. a. r. t. i. V. r. i. d. z. A. J. W. u. J. . C. h. o. B. T. L. i. m. o. w. S. M. n. M. i. t. c. h. e. l. l. P. . R. .o. g. e. A. . R. . S. e. r. l. S. i. (2020) e. s. t. o. m. a. n. b. a. l. e. t. u. t. e. m. a. l. t. i. d. w. a. i. r. n. d. p. r. o. v. e. e. p. d. r. e. s. e. n. t. a. t. i. a. n. o. n. v. a. t. e. x. c. h. a. n. g. e. i. n. g. l. o.

Varghese, R. M., Bernier, B., Tang, Y., Wang, C., Wigney, B., Chave, C., Osherson, F., et al., 2023. Leaf surface conductance sensitivity to vapour pressure deficit in the absence of plants. *Nature Water*, 1(1), 41–49. <https://doi.org/10.1038/s44222-023-01497-1>

Wang, K., He, L., Dou, H., R. B., R. K., & D., F. (2021). Stomatal conductance in deciduous angiosperm and evergreen gymnosperm forests using a mechanistic model. *Geoscientific Model Development*, 14(16), 6741–6763. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-6741-2021>

Wu, C., G. F., G. L., G. U., L. R., & A. T. (2023). Climate risk potential due to climate risks. *Nature Geoscience*, 16(5), 422–429. <https://doi.org/10.1038/s41562-023-01166-6>

Wu, G., H. Z., K. E., N. J., L. S., Z. H., W. C., L. Y., G. U., & S. X. (2020). Improvements of an evapotranspiration model. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(1), 2019JG005504. <https://doi.org/10.1029/2019JG005504>

Xu, S., A. T., S. Y., Y. Y., P. O., J. B., J. Q., A. B., W. M., K. W., R. D., J. J., Y. J., D. O., M. K., M. C., R. E., W. O., D. A., L. C., N. A., B. U., J. S., D. E., M. I., G. U., S. E., K. E., L. M., H. A., R. N. I., M. A., X. W., S. L., & S. C. H. (2023). A new global soil moisture dataset for the 21st century. *Science Advances*, 7(2), e9829.

Yamazaki, K., H. D., S. J., B. A., T. E., A. I., G. H., & P. V. S. K. (2019). A global river discharge map based on latest topography dataset. *Water Resources Research*, 55(6), 533–547. <https://doi.org/10.1029/2019WR024873>

Green, H., Wang, J., Oetle, J., Ma, K., Ma, I., Gnan, F., Sant, M., T. S., L. J., & Y. A. (2022). Factors influencing regional declines and recovery of tropical forest biomass in 2015. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(26), e210138119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108811119>

Zhang, A., G. L., & K. A. (2022). Transpiration frequently increases during droughts. *Nature Climate Change*, 12(11), 1024–1030. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-0505-5>

SUPPORTING INFORMATION

Additioal information available online for this article.

**How to cite this article:** Koni A. S., R. A., Mc Cormick, L., Trugna, A., W. L., I. A., P. D., S. I., F. E., N. S., U. G., F. B., R. A., M., & Z. H. A. (2024). Sensitivity of evapotranspiration to climate change. *Global Change Biology*, 30, e17425. <https://doi.org/10.1111/gcb.17425>