



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>
Journal of Plant Biological Sciences
E-ISSN: 2322-2204
Vol. 15, Issue, No. 1, Spring 2023
Document Type: Research Paper
Received: 10/11/2023 Accepted: 31/01/2024

Influence of Soil Application of Natural Zeolite and Farmyard Manure on Physiological Indices of Grapevine under Drought Stress

Mohamadreza Zokaee Khosroshahi¹ * , Rouhollah Karimi¹, Amin Toranjian²

¹ Department of Horticultural and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

² Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

Abstract

Soil application of farmyard manures and moisture-absorbing materials such as natural zeolite is considered a simple and cheap way to conserve soil moisture in arid areas and light soils. To study the effect of two soil amendments on the physiological properties of “Bidaneh Sefid” grapevines under drought stress, an experiment was conducted in factorial based on a randomized block design in the research vineyard of Malayer University, Hamadan, Iran during the 2022 and 2023 growing seasons. The treatments included two levels of irrigation cycle (7 and 21 d intervals) and four levels of soil amendments (control, 12 kg zeolite vine⁻¹, 15 kg sheep manure vine⁻¹, a combination of 12 kg zeolite + 15 kg sheep manure vine⁻¹). Results showed that the drought stress led to a decrease in chlorophyll content, leaf relative water content, and leaf water potential. Drought stress also led to an increase in electrolyte leakage and the activity of antioxidant enzymes. Application of farmyard manure and zeolite moderated all the investigated indicators, due to their ability to absorb and retain water in the soil. The results of the study showed that it is possible to mitigate the adverse effects of drought stress on grapevine by retaining the moisture of light soils by the application of natural zeolite, alone or in combination with farmyard manure.

Introduction

Food production has decreased in more than 20% of the world's agricultural lands due to drought. One of the ways to deal with water scarcity in arid and semi-arid areas is to maintain soil moisture and improve soil water retention. Soil application of farmyard manures and moisture-absorbing materials such as natural zeolite is considered a simple and cheap way to conserve soil moisture in arid areas and light soils.

* Corresponding Author: mreza.zokaee@malayeru.ac.ir



Material and Methods

To study the effect of two soil amendments on the physiological properties of “Bidaneh Sefid” grapevines under drought stress, an experiment was conducted in factorial based on a randomized block design in the research vineyard of Malayer University, Hamadan, Iran during the 2022 and 2023 growing seasons. The treatments included two levels of irrigation cycle (7 and 21 d intervals) and four levels of soil amendments (control, 12 kg zeolite vine⁻¹, 15 kg sheep manure vine⁻¹, a combination of 12 kg zeolite + 15 kg sheep manure vine⁻¹). Soil amendments were applied in late winter. Leaf samples (fully expanded healthy leaves at the node of 8–10th from the base of canes of each vine) were collected in late-July, one day before irrigation, and were transferred quickly to the laboratory for measurements. All data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the general linear models (GLM) procedure in SAS software and the means were compared using Duncan’s multiple range test.

Results and Discussion

Results showed that the drought stress led to a decrease in chlorophyll content (by 21.4%), leaf relative water content (by 21.4%), and leaf water potential (by 12%). Drought stress also led to an increase in electrolyte leakage (by 39.4%) and the activity of antioxidant enzymes. Effect of drought stress on activity of all antioxidant enzymes except guaiacol peroxidase (POD) was significant. Activities of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), and glutathione reductase (GR) enzymes increased by 140.3, 210.6, 153.2 and 26.2%, respectively, as irrigation interval increased from 7 to 21 days. Application of zeolite, sheep manure, and their combination increased leaf chlorophyll content by 16.9, 21.7 and 32.9%, respectively. Under drought conditions the application of soil amendment had a significant effect, so that the leaf RWC of vines treated with zeolite, sheep manure and their combination was 16.1, 22.2 and 20.6% higher than untreated vines, respectively. Soil application of amendments reduced the negative effect of drought stress on leaf water potential, so that the Ψ_{Leaf} of vines treated with zeolite, sheep manure, and both zeolite and manure were 10.9%, 5.4% and 25.2% higher than untreated vines, respectively. The use of soil amendments significantly reduced EL caused by drought stress, so that the vines treated with sheep manure, zeolite and their combination had a less electrolyte leakage by 14.1, 17.8 and 25.6%, respectively compared to control. Soil application of zeolite and sheep manure had a significant effect on the activity of leaf antioxidant enzymes. In well-watered vines, use of soil amendments led to a significant decrease of CAT, SOD and APX activity, so that the difference between applied treatments and control was significant. POD activity in well-watered vines that received both soil amendments was significantly lower than the control. Also, application of sheep manure led to a significant decrease of GR activity in non-stressed conditions. In drought stress conditions, except for POD, which was not affected by treatments, activity of other enzymes decreased significantly in response to soil application of zeolite, sheep manure and their combination compared to the control. Overall, the results of the present study indicate reduction of antioxidant enzymes activity and H₂O₂ content in grape leaves following soil application of zeolite and sheep manure. These results may be related to an increased soil water retention capacity and thereby, a reduced water deficit because of adding zeolite and sheep manure to the soil.

Conclusion

The results of the present study suggest that the adverse effects of drought stress on grapevines grown in light-textured poor soils can be diminished by using natural zeolite and farmyard manure as soil ameliorants. Natural zeolites, which have unique characteristics, are found abundantly in many parts of the world including Iran and have a low price. In addition, unlike sheep manure, zeolite does not increase soil salinity. Therefore, the use of natural zeolites combined with animal manures and other organic fertilizers can be one of the possible strategies to cope with drought-related problems in arid and semi-arid regions of the world.

Key Words

Leaf water potential, Antioxidant activity, Chlorophyll content, Relative water content, Electrolyte leakage

تأثیر کاربرد خاکی زئولیت طبیعی و کود دامی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی تاک انگور در شرایط تنش خشکی

محمدرضا زکایی خسروشاهی^{۱*}، روح الله کریمی^۱، امین ترنجیان^۲

^۱ گروه باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

^۲ گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده

کاربرد خاکی کودهای دامی و مواد جاذب رطوبت نظیر زئولیت طبیعی به عنوان روش ساده و ارزان برای حفظ رطوبت خاک در نواحی خشک و خاک‌های سبک مطرح است. برای بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌های خاک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی انگور بیدانه سفید در شرایط تنش خشکی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در تاکستان دانشگاه ملایر، همدان، ایران طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری (۷ روز و ۲۱ روز یکبار) و چهار سطح اصلاح‌کننده‌ها (شاهد، ۱۲ کیلوگرم زئولیت، ۱۵ کیلوگرم کود گوسفندی، ترکیب ۱۲ کیلوگرم زئولیت و ۱۵ کیلوگرم کود گوسفندی) بود. نتایج نشان داد کاهش آبیاری به کاهش محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب و پتانسیل آب نیمروز و همچنین، به افزایش نشت الکترولیت و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی منجر شد. کاربرد کود حیوانی و زئولیت در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی، به علت توانایی آن دو در جذب و نگهداری آب در خاک تمامی شاخص‌های مورد بررسی را تعدیل نمود. نتایج این تحقیق نشان داد با کاربرد خاکی زئولیت، به تنهایی یا در ترکیب با کود حیوانی، می‌توان با حفظ بهتر رطوبت در خاک‌های سبک اثرات منفی تنش خشکی بر تاک انگور را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب برگ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب،

نشت الکترولیت



مقدمه

بیش از ۲۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان تحت تأثیر خشکسالی قرار دارند و تولید غذا در آنها کمتر از حد مورد نیاز است (Mansoor et al., 2022). یکی از راه‌های مقابله با کم‌آبی در نواحی خشک و نیمه‌خشک حفظ رطوبت خاک و افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک است. استفاده از انواع مواد آلی از جمله کودهای حیوانی برای بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول از زمان‌های گذشته متداول بوده است و این به علت ظرفیت آنها برای تأمین عناصر غذایی، بهبود فعالیت میکروبیولوژیکی خاک، افزایش تبادل کاتیونی، نفوذ و ظرفیت نگهداری آب، کاهش تراکم و بهبود ساختمان خاک است (Marin-Martinez et al., 2021). در هر حال، کاربرد مقادیر بالای این مواد علاوه بر هزینه زیاد آن، گاهی سبب افزایش غلظت نمک‌های محلول و تجمع برخی مواد نامطلوب (مانند فلزات سنگین یا آلاینده‌های آلی) می‌شود (Leogrande & Vitti, 2019). به تازگی استفاده از ژئولیت‌های طبیعی به عنوان اصلاح‌کننده خاک‌های کشاورزی رونق یافته است (Kavvadias et al., 2018). استفاده از ژئولیت در خاک‌های سبک با افزایش ظرفیت نگهداری آب، کارایی استفاده از آب را افزایش می‌دهد و به حفظ آب در مناطق خشک کمک می‌کند (Ibrahim & Alghamdi, 2021). همچنین، ترکیب ژئولیت‌ها با کودهای حیوانی و دیگر اصلاح‌کننده‌های آلی می‌تواند کارایی کودهای آلی را بهبود بخشد (Cataldo et al., 2021b). ژئولیت‌ها گروهی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی با ساختمان متخلخل هستند که در طبیعت یافت شده یا به صورت صنعتی

ساخته می‌شوند. تاکنون بیش از ۵۰ نوع ژئولیت طبیعی و ۲۱۰ نوع ژئولیت مصنوعی شناسایی شده است (Jha & Singh, 2016). ژئولیت‌ها در صنایع مختلف به عنوان جاذب سطحی و کاتالیزور موارد مصرف متعددی دارند. در کشاورزی از این کانی‌ها، به علت خواص آبرگیری و پسابدگی قابل برگشت، به عنوان ماده جاذب رطوبت و نیز برای اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و بهبود حاصلخیزی خاک استفاده می‌شود (Cataldo et al., 2021b). ژئولیت اسیدی نیست و کمی قلیایی است، اما به علت خاصیت بافری، استفاده از آن همراه با کودها می‌تواند به حفظ سطح pH خاک کمک کند (Choo et al., 2020; Polat et al., 2004). نتایج پژوهش‌های حاضر ثابت می‌کند ژئولیت‌ها برای محیط زیست و موجودات زنده ایمن هستند (Jarosz et al., 2022). ژئولیت‌ها با موفقیت در کشت محصولات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کاربرد ژئولیت در محدوده حداکثر ۲۰ درصد وزن خاک بهترین محیط برای گیاه گوجه فرنگی است (Unlu et al., 2004). پژوهش انجام شده توسط Karami et al. (2020) نشان دادند ژئولیت با حفظ طولانی مدت رطوبت و نیتروژن محلول در خاک به افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها و بهبود کارایی شیمیایی فتوسیستم II منجر شد و موجب بهبودی کارایی مصرف آب و نیتروژن گیاه آمارانتوس در شرایط تنش خشکی شد. در آزمایش دیگری، افزودن ۱ درصد ژئولیت به خاک به افزایش محتوای رطوبتی آن تا ۱۰ درصد و افزایش ۶ درصدی جذب آب توسط گیاه اسفناج منجر شد (Castronuovo et al., 2023). ژئولیت‌ها به علت داشتن تخلخل زیاد و ساختار

نتیجه، به افزایش عملکرد منجر شود. بخش عمده تاکستان‌های شهرستان ملایر دارای خاکی با بافت سبک هستند و ظرفیت نگهداری آب آنها بسیار پایین است. به این، هدف پژوهش حاضر ارزیابی پتانسیل حفظ رطوبت زئولیت و کود دامی در راستای کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انگور بیدانه سفید است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و روش انجام آزمایش:

پژوهش حاضر در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ روی تاک‌های ۱۲ ساله انگور (*Vitis vinifera* L.) رقم بیدانه سفید واقع در تاکستان آموزشی-تحقیقاتی دانشگاه ملایر، همدان، ایران انجام شد. تاک‌ها با فواصل ۵×۲ متر در ردیف‌های شرقی-غربی و سیستم جوی-پشته‌ای کاشته شده و به صورت پرگولا تربیت شده‌اند. قبل از اجرای آزمایش، از خاک تاکستان (اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ سانتیمتری)، زئولیت طبیعی و کود گوسفندی مورد استفاده نمونه تهیه شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها در آزمایشگاه تعیین شدند (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). مواد اصلاح‌کننده خاک در اواخر زمستان به کار برده شدند. برای این منظور، آنها کاملاً با خاک مخلوط شده و در کانالی به عرض و عمق ۴۰ سانتیمتر در امتداد ردیف تاک‌ها قرار داده شدند. زئولیت طبیعی مورد استفاده از نوع کلینوپتیلولیت (*Clinoptilolite*) و پودر با مش ۵۰-۳۰ (قطر دانه‌ها ۲۹۷-۵۹۵ میکرون) بود که از شرکت زئولیت اصفهان خریداری شد.

کریستالی می‌تواند تا بیش از ۶۰ درصد وزنی خود آب را جذب کرده و به تدریج آن را در اختیار گیاه قرار دهند (Polat et al., 2004). همچنین، این مواد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهند (Zijun et al., 2021) و موجب کاهش آبخسویی عناصر غذایی و افزایش ماندگاری کود در منطقه توسعه ریشه می‌شوند (Wang et al., 2023). زئولیت‌ها با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود شده و با رهاسازی تدریجی آنها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه ایجاد نموده و در نهایت، سبب افزایش توانایی گیاه در مصرف عناصر می‌شوند (Mondal et al., 2021). (Doni et al., 2020). گزارش کردند زئولیت منجر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک تاکستان شده و جهت دسترسی به مواد مغذی تأثیر مثبت دارد و بدین ترتیب، سبب حاصلخیزی خاک شد. کاربرد خاکی زئولیت در تاکستان با خاک لومی رسی (clay loam) سبب افزایش فتوسنتز تک‌برگ، کاهش دمای برگ و کاهش خسارت تنش آبی به درختان جوان انگور شد (Cataldo et al., 2021a). با توجه به ویژگی‌های مفید و فراوانی زئولیت‌های طبیعی در ایران و نیز، استخراج آسان و در نهایت، قیمت مناسب این کانی‌ها، کاربرد زئولیت‌های طبیعی در سطوح مختلف تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه کاهش اثرات تنش خشکی می‌تواند مورد توجه واقع شود. با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک و شدت گرفتن مشکلات ناشی از خشکسالی در سال‌های اخیر به نظر می‌رسد یافتن راهی جهت حفظ رطوبت خاک سبب بهبود رشد و نمو درختان میوه شده و در

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Some physicochemical properties of soil samples taken before the experiments

depth (cm)	silt (%)	sand (%)	clay (%)	soil texture	EC* (dS m ⁻¹)	pH	lime (%)	OC (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
0-30	47.7	27.1	24.2	loam	0.75	7.9	32.5	0.58	0.04	0.27	233
30-60	46.1	30.6	23.3	loam	0.66	8.0	33.8	0.49	0.05	0.15	205

* EC: هدایت الکتریکی، OC: کربن آلی

* EC, electrical conductivity, OC, organic carbon

جدول ۲: برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کود گوسفندی مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Some physicochemical properties of sheep manure used in the experiment.

EC (dS m ⁻¹)	pH	P	N	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	OC (%)	Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
5.8	7.89	0.57	1.79	1.2	5.7	1.2	35.6	2514	18	122

جدول ۳: برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) مورد استفاده در آزمایش

Table 3. Some physicochemical properties of natural zeolite (Clinoptilolite) used in the experiment.

Properties	Units	Results	Properties	Units	Results	Properties	Units	Results
SiO ₂	%	25.40	MnO	%	0.028	Ni	ppm	40
Al ₂ O ₃	%	5.96	P ₂ O ₅	%	0.143	Cu	ppm	49
Fe ₂ O ₃	%	1.69	SO ₃	%	4.10	Zn	ppm	46
CaO	%	30.62	L.O.I.*	%	27.97	As	ppm	25
Na ₂ O	%	0.34	Cl	ppm	1466	Sr	ppm	1982
K ₂ O	%	1.48	Ba	ppm	58	Pb	ppm	6
MgO	%	1.66	V	ppm	36	pH	-	7.25
TiO ₂	%	0.270	Cr	ppm	22	EC	dS m ⁻¹	3.67

* L.O.I: افت حرارتی

* L.O.I; loss on ignition

طرح آزمایشی و تیمارها:

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل رژیم آبیاری در دو سطح ۱- بدون تنش (آبیاری هر ۷ روز یک‌بار) و ۲- تنش خشکی (آبیاری ۲۱ روز یک‌بار) و فاکتور دوم شامل تیمارهای اصلاح خاک در چهار سطح ۱- شاهد، ۲- زئولیت (۱۲ کیلوگرم برای هر تاک)، ۳- کود گوسفندی (۱۵ کیلوگرم برای هر تاک) و ۴- ترکیب ۱۲ کیلوگرم زئولیت + ۱۵ کیلوگرم کود گوسفندی بود.

ارزیابی صفات:

نمونه‌های برگ بالغ در اوایل مرداد، یک روز قبل از آبیاری، از گره‌های ۱۰-۸ قاعده شاخه‌های بارده هر تاک برداشته شده و برای انجام

اندازه‌گیری‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند.

شاخص‌های زیر اندازه‌گیری شدند:

- کلروفیل کل (شاخص SPAD): با دستگاه کلروفیل سنج قابل حمل (مدل CL-01، شرکت Hansatech، انگلستان)

- محتوای نسبی آب برگ: به روش Yamasaki & Dillenburg (1999)

- پتانسیل آب برگ نیمروز (Ψ₁): توسط دستگاه محفظه فشار (شرکت زیست ایده آل گستر، ایران)

- فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز (CAT)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)،

گایاکول پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR):

توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Cary 100، شرکت Varian، استرالیا)

شاخص کلروفیل (SPAD):

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد رژیم آبیاری و کاربرد اصلاح کننده‌های خاک تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ دارند. تنش خشکی سبب کاهش ۲۱/۴ درصدی محتوای کلروفیل برگ شد. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی کاربرد اصلاح کننده‌های خاک به افزایش محتوای کلروفیل برگ منجر شد، با وجود این، اثر فقط در شرایط تنش از نظر آماری معنی‌دار بود. کاربرد خاکی زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آنها به ترتیب سبب افزایش ۱۶/۹، ۲۱/۷ و ۳۲/۹ درصدی محتوای کلروفیل برگ شد.

– نشت الکترولیت‌ها: با دستگاه هدایت‌سنج

(مدل WTW Cond 340i، شرکت Weilheim، آلمان)

تجزیه آماری:

داده‌های به دست آمده به کمک نرم‌افزار SAS-9.4 تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین اثر تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. با توجه به این که بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، بین سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مورد بررسی برای هر تیمار مشاهده نشد، میانگین دوساله هر صفت ارائه شد.

نتایج

جدول ۴: اثر مواد اصلاح کننده خاک بر محتوای کلروفیل برگ (Chl)، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، پتانسیل آب برگ (Ψ_{Leaf}) و نشت الکترولیت (EL) برگ انگور بیدانه سفید تحت آبیاری کامل (WW) و تنش خشکی (DS)

Table 4. Influence of soil amendments on chlorophyll content (Chl), leaf relative water content (RWC), mid-day leaf water potential (Ψ_{Leaf}), and electrolyte leakage (EL) in leaves of 'Bidaneh Sefid' grapevine under well-watered (WW) and drought-stressed (DS) conditions.

irrigation regimes	soil amendments	Chl (SPAD)	RWC (%)	Ψ _{Leaf} (MPa)	EL (%)
WW	Ctrl	10.17±0.8 ab	86.81±3.1 ab	-1.31±0.05 bc	32.52±3.28 d
	Z	10.18±0.4 ab	90.96±4.1 a	-1.22±0.03 ab	32.19±2.71 d
	M	10.26±0.3 ab	92.71±2.2 a	-1.08±0.10 a	32.64±1.51 d
DS	Z+M	10.60±0.1 a	91.02±3.5 a	-1.10±0.05 a	32.57±2.67 d
	Ctrl	7.99±0.4 c	68.24±3.2 d	-1.47±0.07 d	45.32±2.80 a
	Z	9.34±0.7 b	79.25±4.2 c	-1.31±0.08 bc	37.26±1.77 bc
	M	9.72±0.6 ab	83.42±4.3 bc	-1.39±0.05 cd	38.93±2.26 b
	Z+M	10.62±0.4 a	82.27±5 bc	-1.10±0.12 a	33.72±1.89 cd
ANOVA block		ns	ns	ns	ns
irrigation regimes		**	**	**	**
soil amendments		**	**	**	*
irrigation regimes * soil amendments		*	ns	**	*

* Ctrl: شاهد، Z: زئولیت، M: کود گوسفندی. در هر ستون، مقادیر میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن) هستند. ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیرمعنی‌دار، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است. اعداد بیانگر میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند.

Ctrl; control, Z; zeolite, M; sheep manure. Mean values followed by the similar letters within a column are not significantly different from each other at $P \leq 0.01$ (Duncan's multiple range test). *, ** and ns indicate significance at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ and non-significance, respectively. Values are means of three replicates ± standard deviation (SD).

تنش آبی اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ انگور داشت و به کاهش ۲۱/۴ درصدی آن منجر شد. در تاک‌هایی که به خوبی آبیاری شده بودند،

وضعیت آب گیاه

الف- محتوای نسبی آب برگ (RWC):

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)،

الکتروولت برگ مشاهده نشد، اما در شرایط تنش خشکی این تفاوت معنی‌دار بود. تنش خشکی به افزایش ۳۹/۴ درصدی نشت الکتروولت منجر شد. کاربرد اصلاح کننده‌های خاک نشت الکتروولت ایجاد شده در اثر تنش خشکی را به طور معنی‌داری کاهش داد، به طوری که تاک‌هایی که کود گوسفندی، زئولیت و ترکیب آنها را دریافت کرده بودند، به ترتیب ۱۴/۱، ۱۷/۸ و ۲۵/۶ درصد نشت الکتروولت کمتری در مقایسه با شاهد داشتند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی:

داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهد اثر تنش خشکی بر فعالیت همه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ غیر از گایاکول پراکسیداز (POD) معنی‌دار هستند. با افزایش فاصله آبیاری تاک‌ها از ۷ روز به ۲۱ روز، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) به ترتیب ۱۴۰/۳، ۲۱۰/۶، ۱۵۳/۲ و ۲۶/۲ درصد افزایش نشان داد. بر اساس نتایج جدول ۵، تأثیر کاربرد اصلاح کننده‌های خاک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ از نظر آماری معنی‌دار است. در تاک‌های خوب آبیاری شده، کاربرد اصلاح کننده‌های خاک به کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های CAT، SOD و APX منجر شد، به طوری که اختلاف تیمارهای اعمال شده با شاهد معنی‌دار بود. فعالیت آنزیم POD در تاک‌های خوب آبیاری شده که هر دو اصلاح کننده خاک را دریافت کرده بودند، به طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. همچنین، کاربرد کود گوسفندی به کاهش معنی‌دار فعالیت GR در شرایط بدون تنش

کاربرد اصلاح کننده‌های خاک به افزایش RWC برگ در مقایسه با شاهد منجر شد، هرچند این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. در هر حال، در شرایط تنش خشکی، کاربرد اصلاح کننده‌های خاک، سبب افزایش معنی‌دار RWC برگ شد، به طوری که RWC برگ تاک‌هایی که زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آنها را دریافت کرده بودند، به ترتیب ۱۶/۱، ۲۲/۲ و ۲۰/۶ درصد بالاتر از تاک‌های تیمار نشده بود.

ب- پتانسیل آب برگ نیمروز (Ψ_{Leaf}):

نتایج این آزمایش نشان دادند تنش خشکی به کاهش (منفی‌تر شدن) ۱۲/۲ درصدی پتانسیل آب نیمروز برگ منجر شد و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود. در تاک‌هایی که به خوبی آبیاری شده بودند، کاربرد خاکی زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آن دو به ترتیب به افزایش ۶/۹، ۱۷/۶ و ۱۶/۰ درصدی پتانسیل آب برگ منجر شدند. تأثیر کود حیوانی و ترکیب آن با زئولیت بر پتانسیل آب برگ، از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین، کاربرد خاکی اصلاح کننده‌ها اثر منفی تنش خشکی بر پتانسیل آب برگ انگور را کاهش داد، از سوی دیگر، پتانسیل آب برگ تاک‌هایی که زئولیت، کود گوسفندی و هر دو را دریافت کرده بودند، به ترتیب ۱۰/۹، ۵/۴ و ۲۵/۲ درصد بالاتر از تاک‌های تیمار نشده بود. اثر زئولیت و ترکیب آن با کود حیوانی بر پتانسیل آب برگ در شرایط تنش خشکی از نظر آماری معنی‌دار بود.

نشت الکتروولت (EL):

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، در شرایط آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف اصلاح خاک از نظر نشت

پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، تخریب غشاء و دستگاه فتوسنتزی و در نهایت، کاهش کلروفیل می‌شود (Noctor & Foyer, 2016). محتوای کلروفیل برگ به عنوان یک شاخص مفید برای ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان در نظر گرفته شده است (Sun et al., 2023). کاهش کلروفیل در پتانسیل‌های پائین برگ به عنوان یک علامت معمولی از تنش اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود (Dias et al., 2018) و ممکن است به علت تجزیه کلروفیل در اثر افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Yang et al., 2023)، تخریب کمپلکس‌های رنگیزه-پروتئین که از سیستم فتوسنتزی محافظت می‌کنند (Xu et al., 2013) و یا کاهش بیوسنتز کلروفیل در نتیجه کاهش آنزیم‌های خاصی که برای ساخت رنگیزه‌های فتوسنتزی اهمیت دارند (Murkute et al., 2006)، باشد. کاهش بیوسنتز کلروفیل می‌تواند به علت دارا بودن پیش‌ساز مشترک با اسید آمینه پرولین، یعنی گلوتامیک اسید باشد. به عقیده (Le Dily et al., 1993) در شرایط تنش خشکی، فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز برای تبدیل گلوتامین به پرولین فعال می‌شود و گیاه مخزن گلوتامیک اسید را به سوی بیوسنتز پرولین که نقش مهمی در مقاومت به تنش خشکی به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی دارد، سوق می‌دهد و گلوتامیک اسید موجود برای بیوسنتز کلروفیل کاهش می‌یابد که منجر به کاهش میزان کلروفیل در گیاهان تحت تنش می‌شود.

منجر شد. در شرایط تنش خشکی غیر از آنزیم POD که تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت، فعالیت سایر آنزیم‌ها در پاسخ به کاربرد خاکی زئولیت، کود گوسفندی و ترکیب آنها به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت.

بحث

شاخص کلروفیل:

تنش خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل برگ شد. در تضاد با یافته‌های ما، Pontin et al. (2021) گزارش کردند محتوای کلروفیل برگ‌های انگور در اثر تنش خشکی افزایش داشت. همچنین، (da Silva et al., 2018) گزارش کردند مقدار کلروفیل برگ انگور تحت تأثیر کاهش فراهمی آب قرار نگرفت. با وجود این، کاهش محتوای کلروفیل برگ انگور در پاسخ به تنش خشکی توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است که با نتایج ما همخوانی دارند (Meng et al., 2014; Carvalho et al., 2016; Gonzalez et al., 2019; Tzortzakis et al., 2020; Khalil & Badr, 2021; Shirani Bidabadi et al., 2023). از سوی دیگر، Carvalho et al. (2016) با مقایسه بین دو رقم با تحمل متضاد به خشکی نشان دادند کاهش محتوای کلروفیل پاسخ رایج به تنش خشکی است. تنش خشکی همانند سایر تنش‌های غیرزنده با افزایش تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) منجر به ایجاد تنش ثانویه اکسیداتیو می‌شود. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن منجر به

جدول ۵: اثر مواد اصلاح کننده خاک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (CAT)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، گایاکول پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلو تایون ردو کتاز (GR) برگ انگور بیدانه سفید تحت شرایط آبیاری کامل (WW) و تنش خشکی (DS)

Table 5. Influence of soil amendments on the activity of antioxidant enzymes catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), guaiacol peroxidase (POD), ascorbate peroxidase (APX) and glutathione reductase (GR) in leaves of 'Bidaneh Sefid' grapevine under well-watered (WW) and drought-stressed (DS) conditions

irrigation regimes	soil amendments	CAT (Units mg ⁻¹ protein)	SOD	POD	APX	GR
WW	Ctrl	1.34±0.09 e	7.52±0.25 d	0.370±0.03 a	198.8±5.25 c	225.8±6.44 bc
	Z	1.13±0.06 f	6.43±0.45 e	0.357±0.01 ab	134.0±8.02 d	218.2±4.44 cd
	M	1.08±0.04 f	5.87±0.16 ef	0.367±0.01 a	141.9±9.34 d	208.3±3.41 d
	Z+M	1.12±0.03 f	5.36±0.29 f	0.330±0.02 b	111.4±4.81 e	218.7±7.51 cd
DS	Ctrl	3.22±0.07 a	23.35±1.19 a	0.377±0.02 a	503.3±31.31 a	285.0±7.81 a
	Z	2.76±0.25 b	13.65±0.74 b	0.370±0.01 a	253.3±4.53 b	228.1±6.31 bc
	M	2.37±0.07 c	13.55±0.29 b	0.353±0.02 ab	249.4±8.18 b	231.0±5.62 b
	Z+M	2.15±0.08 d	11.53±0.24 c	0.347±0.01 ab	256.7±5.46 b	224.1±6.21 bc
ANOVA						
block		ns	ns	ns	ns	ns
irrigation regimes		**	**	ns	**	**
soil amendments		**	**	*	**	**
irrigation regimes * soil amendments		**	**	ns	**	**

*Ctrl: شاهد، Z: زئولیت، M: کود گوسفندی. در هر ستون، مقادیر میانگین با حروف غیرمشابه دارای اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن) هستند. ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیرمعنی دار، و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است. اعداد بیانگر میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند.

Ctrl; control, Z; zeolite, M; sheep manure. Mean values followed by the similar letters within a column are not significantly different from each other at $P \leq 0.01$ (Duncan's multiple range test). *, ** and ns indicate significance at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ and non-significance, respectively. Values are means of three replicates ± standard deviation (SD).

ویژگی‌های خاص زئولیت به ویژه میل ترکیبی بالای آن با NH_4^+ حفظ نیتروژن خاک و دسترسی گیاهان به نیتروژن را بهبود می‌بخشد (Torma et al., 2014). افزایش میزان نیتروژن در گیاه به علت حضور این عنصر در ساختمان کلروفیل، سبب افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها می‌شود که به دنبال آن شاخص سبزی‌نگی، توانایی جذب نور خورشید و تولید مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد (Congming & Zhang, 2000).

وضعیت آب گیاه

تنش آبی به کاهش محتوای نسبی آب برگ انگور منجر شد. این یافته‌ها با نتایج محققان دیگر بر روی انگور (Khalil & Altinci & Cangı, 2019; Badr Eldin, 2021; Fayek et al., 2022; Fahim et al., 2022; Zeng et al., 2022; Shirani

در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی کاربرد اصلاح کننده‌های خاک به افزایش محتوای کلروفیل برگ منجر شد. در تضاد با یافته‌های ما، در پژوهشی توسط Cataldo et al. (2021a) کاربرد خاکی زئولیت تأثیری بر محتوای کلروفیل برگ انگور نداشت. از سوی دیگر، Harhash et al. (2022) گزارش کردند، کاربرد خاکی زئولیت و بیوجار به افزایش معنی دار شاخص کلروفیل برگ انبه منجر شدند. در هویج نیز تنش خشکی سبب کاهش زئولیت موجب افزایش کلروفیل کل شد (Shamili et al., 2020) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین، مشخص شده است زئولیت سبب افزایش در دسترس بودن آب و سبب بهبود سرعت رشد گیاه با افزایش کارایی سلول‌های مزوفیل، مصرف آب و سرعت فتوسنتز می‌شود (De Smedt et al., 2017).

برگ تاک‌های تحت تنش خشکی که زئولیت دریافت کرده بودند، در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود. مشخص شده است که زئولیت به علت داشتن تخلخل بالا و ساختار کریستالی می‌تواند تا بیش از ۶۰ درصد وزنی خود آب را جذب کرده و به تدریج آن را در اختیار گیاه قرار دهد (Polat et al., 2004). پژوهش‌های Perez-Caballero et al. (2008) روی زیتون، تأثیر مثبت زئولیت در افزایش قدرت نگهداری آب در خاک و بهبود راندمان مصرف آب را نشان داد. همچنین، Noori et al. (2006) نشان دادند کاربرد زئولیت طبیعی سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و در نتیجه، بهبود عملکرد تریچه در شرایط تنش شوری شد. به نظر می‌رسد حفظ رطوبت در خاک منجر به بهبود سایر صفات فیزیولوژیکی گیاه از جمله وضعیت آب برگ‌ها می‌شود. محتوای نسبی آب برگ تاک‌های رشد کرده در خاک اصلاح شده در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری بالاتر بود. RWC برگ ارتباط نزدیکی با حجم سلول دارد و معیار مهمی برای وضعیت آب گیاه در نظر گرفته می‌شود که نشان‌دهنده سطح تنش آبی در برگ‌ها و تعادل بین تأمین آب برای برگ و میزان تعرق آن است (Deka et al., 2018). بنابراین، RWC برگ منعکس‌کننده فعالیت متابولیکی در بافت‌ها است (Yan et al., 2016) که تحت تنش آبی به طور معنی‌داری کاهش نشان می‌دهد. هنگامی که مقدار آب در خاک و ریشه کم باشد، گیاه قادر به جبران تلفات آب از طریق تعرق نیست و در نتیجه، RWC برگ کم می‌شود (Al-Tabbal et al., 2020). بنابراین، RWC بالا

(Bidabadi et al., 2023) مطابقت دارد. در توجیه این نتایج می‌توان اشاره کرد با کاهش مقدار آب در خاک، شرایط جذب آب برای ریشه گیاه مشکل‌تر شده و گیاه قادر به جبران تلفات آب از طریق تعرق نیست و در نتیجه، RWC برگ کاهش می‌یابد (Al-Tabbal et al., 2020). در تاک‌هایی که به خوبی آبیاری شده بودند، کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک به افزایش RWC برگ در مقایسه با شاهد منجر شد. در شرایط تنش خشکی، کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک سبب افزایش معنی‌دار RWC برگ شد. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های انجام شده بر روی گیاه کدو (Eskandari Zanjani et al., 2012)، چغندر قند (Abdel Fatah & Khalil, 2020)، زیتون (Al-Tabbal et al., 2020)، انگور (Fahim et al., 2022) در شرایط تنش خشکی و مصرف زئولیت مطابقت دارد. تنش خشکی به کاهش معنی‌دار پتانسیل آب نیمروز برگ منجر شد. این نتایج همسو با یافته‌های سایر پژوهش‌های انجام شده بر روی انگور است (Griesser et al., 2015); Keller et al., 2016; da Silva et al., 2018; Gonzalez et al., 2019; Khalil & Badr Eldin, 2021; Sun et al., 2023). بر اساس یافته‌های این آزمایش، کاربرد خاکی کود گوسفندی در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش به افزایش RWC برگ منجر شد که با یافته‌های سایر محققان روی سویا (Nozari et al., 2013) و سیب (Li et al., 2017) مطابقت دارد. همچنین، کاربرد کود گوسفندی از منفی‌تر شدن پتانسیل آب برگ در اثر تنش خشکی جلوگیری نمود که با یافته‌های (Materchera & Mehuys, 1991) مطابقت داشت. بر اساس نتایج ما، RWC و پتانسیل آب

می‌یابد، این ارقام ممکن است پتانسیل آب برگ خود را بیشتر کاهش دهند. این گونه از ارقام در طول روز بسته به وجود آب در خاک دچار افت پتانسیل آب برگ می‌شوند که این امر به علت تنظیم اسمزی و تغییر خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی ممکن است (Tamayo et al., 2023). Williams & Baeza (2007) به این نتیجه رسیدند، انگور تامسون سیدلس باید بر اساس تفاوت‌های معنی دار بین تاک‌های خوب آبیاری شده در نیمروز نسبت به تاک‌هایی که آب دریافت نمی‌کنند یا کم آبیاری می‌شوند، به عنوان آنیزوهیدریک طبقه‌بندی شود. همچنین، داده‌های گزارش شده توسط Williams et al. (2012) تأیید کرد تامسون سیدلس یک رقم آنیزوهیدریک است. رقم بیدانه سفید که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفت، یک رقم بومی ایران است که از بسیاری جهات شبیه به تامسون سیدلس بوده و اغلب معادل آن در نظر گرفته می‌شود. نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد رقم بیدانه سفید احتمالاً از نظر تغییرات پتانسیل آب برگ در واکنش به تنش خشکی نیز شبیه به تامسون سیدلس بوده و رقمی آنیزوهیدریک است.

نشست الکتروولیت:

تنش خشکی به افزایش نشست الکتروولیت برگ منجر شد که به نظر می‌رسد به علت آسیب دیدن غشاءهای سلولی در نتیجه افزایش ROS در شرایط تنش خشکی باشد. تنش خشکی می‌تواند با افزایش تولید ROS منجر به آسیب دیدن غشاهای سلولی شود. افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء در شرایط تنش خشکی غشاء را برای یونها نشست‌پذیر

که در گیاهان رشد یافته در خاک تیمار شده با زئولیت مشاهده شد، نشان می‌دهد آب کافی در خاک و ریشه وجود دارد که با RWC پائین موجود در تیمار شاهد در تضاد است. این نشان دهنده تأثیر بالای تیمار زئولیت بر محتوای آب و متعاقباً RWC است که با یافته‌های قبلی مطابقت دارد (Eskandari, Al-Tabbal et al., 2020; Zanjani et al., 2012). از سوی دیگر، پتانسیل آب برگ نیز در تاک‌های تیمار شده با زئولیت بیشتر بود. در آزمایشی، افزودن زئولیت کلینوپتیلولیت و کمپوست به خاک به کاهش دمای برگ، افزایش فتوسنتز، میزان بالای تعرق برگ و کمتر منفی شدن پتانسیل آب برگ انگور منجر شدند (Cataldo et al., 2023) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در زیتون نیز کاربرد خاکی زئولیت به افزایش محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ منجر شد (Al-Tabbal et al., 2020) و با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین، افزایش محتوای آب گیاه در اثر کاربرد زئولیت در آفتابگردان گزارش شده است (Guaya et al., 2020). ارقام انگور بسته به واکنش گیاهان به تنش خشکی، به دو دسته ایزوهیدریک (isohydric) یا آنیزوهیدریک (aniso-hydric) طبقه‌بندی می‌شوند (Franks et al., 2007). ارقام ایزوهیدریک می‌توانند به علت کاهش هدایت روزنه‌ای، پتانسیل آب برگ نیمروز خود را ثابت و بالاتر از آستانه تشکیل آمبولی، مستقل از در دسترس بودن آب خاک یا تقاضای آب اتمسفر حفظ کنند. ارقام آنیزوهیدریک حتی با کاهش پتانسیل آب برگ روزنه‌های خود را باز نگه می‌دارند. در شرایطی که آب قابل دسترس خاک کاهش می‌یابد یا تقاضای آب اتمسفر افزایش

کاهش داده و بدین ترتیب، مقاومت به خشکی را بهبود می‌بخشد، اما هنوز پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام نشده است. در پژوهش حاضر، کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک نشست الکترولیت ایجاد شده در اثر تنش خشکی را به طور معنی‌داری کاهش داد. به نظر می‌رسد افزودن این مواد به خاک با حفظ رطوبت خاک و بهبود جذب آب توسط گیاه و در نتیجه، بهبود وضعیت آبی سلول‌های گیاه، موجب کاهش تولید ROS و تقلیل آسیب وارده به غشاءها در اثر تنش خشکی شده است. در تأیید یافته‌های ما، [Nozari et al. \(2013\)](#) در پژوهشی روی گیاه سویا نشان دادند تنش آبی به طور معنی‌داری سبب کاهش محتوای نسبی آب و افزایش نشست الکترولیت شد و در مقابل، کاربرد زئولیت و کود گاوی بر محتوای نسبی آب و بهبود نشست الکترولیت تأثیر مثبت داشت. در هر حال، تأثیر کاربرد زئولیت و کود دامی بر نشست الکترولیت برگ درختان میوه در شرایط تنش خشکی تاکنون گزارش نشده است.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی:

در پژوهش حاضر، با افزایش فاصله آبیاری تاک‌ها از ۷ روز به ۲۱ روز، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوکاتایون ردوکتاز (GR) افزایش یافت. این نتایج با گزارش‌های پژوهشگران دیگر روی انگور [Salazar-Parra et al., Doupis et al., 2012](#); [2012; Kamangar & Haddad, 2016; Min et al., 2019; Pontin et al., 2021; Fahim et al., 2022; Zeng et al., 2022; Shirani Bidabadi et](#)

کرده و بدین ترتیب، ساختار و عملکرد آن را مختل می‌کند ([Hnilickova et al., 2018](#)). میزان خسارت را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار هدایت الکتریکی ناشی از نشست یونی تعیین کرد. [Min et al. \(2019\)](#) گزارش کردند تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول، سبب افزایش نشست الکترولیت در برگ و نهال‌های جوان انگور می‌شود. [Zeng et al. \(2022\)](#) نشان دادند به دنبال افزایش تولید H_2O_2 و رادیکال‌های آزاد در برگ انگورهای تحت تنش خشکی، غلظت مالون‌دی‌آلدئید (حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء) و میزان نشست یونی (EL) به طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج ما مطابقت دارند. همچنین، [Fahim et al. \(2022\)](#) با بررسی روی ۱۴ رقم تجاری انگور گزارش کردند با افزایش تنش خشکی، نشست الکترولیت در تمامی ارقام به طور معنی‌داری افزایش یافت که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر است. [Altinci & Cangi \(2019\)](#) با بررسی روی ۶ رقم تجاری انگور شرابی در شرایط درون شیشه‌ای نشان دادند تخریب غشای سلولی و غیرفعال شدن پمپ‌های یونی واقع در غشای سلولی در اثر تنش خشکی منجر به افزایش سرعت نشست الکترولیت می‌شود. یافته‌های مشابهی از نقش تنش اسمزی در نشست الکترولیت در کیوی [Karimi et al. \(1990\)](#)، انجیر [Savee & Adillon, 1990](#)، کاهو [Hnilickova et al., 2012](#)، اسفناج و کاهو [2018](#) در شرایط آزمایشگاهی به دست آمده است. [Tu et al. \(2020\)](#) ژنی موسوم به [VlbZIP30](#) را در انگور شناسایی کرده‌اند که با فعال‌سازی بیان ژن‌های بیوستز لیگنین و افزایش رسوب لیگنین در برگ‌های تحت تنش خشکی، نشست الکترولیت را

توسط کاتالاز یا آسکوربات پراکسیداز چرخه آسکوربات-گلوتاتیون انجام می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2020). بین SOD، APX و CAT برای تعیین سطح رادیکال‌های $O_2^{\bullet-}$ و H_2O_2 تعادل برقرار است. آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز در حذف H_2O_2 در سلول نقش دارند (Noctor and Zeng et al., 2022). در پژوهش (Foyer, 2016) روی انگور، تنش خشکی به افزایش معنی‌دار فعالیت SOD (۷ درصد) و کاهش فعالیت CAT (۱۸ درصد) در مقایسه با شاهد منجر شد. در آزمایش دیگری، تنش خشکی باعث کاهش فعالیت آنزیم CAT در برگ انگور شد (Shirani Bidabadi et al., 2023). آنها این مشاهده را به کاهش غلظت Fe (که کوفاکتور آنزیم CAT است) در برگ نسبت دادند. در مقابل، افزایش فعالیت CAT در انگور Cabernet sauvignon به دنبال تنش شدید خشکی به مدت ۱۶ روز مشاهده شد (Cramer et al., 2007). Shirani Bidabadi et al. (2023) مشاهده کردند تنش خشکی سبب کاهش فعالیت آنزیم GR در برگ انگور شد. به عقیده این محققان، گلوتاتیون (GSH) یا آسکوربات (AsA) نمی‌تواند توسط GR در شرایط تنش خشکی احیاء (بازسازی) شود، اما به سادگی با آنزیم گلوتاتیون S-ترانسفراز (GST) به دی‌سولفید گلوتاتیون (GSSH) اکسیده می‌شود. البته این در تضاد با یافته‌های (Cramer et al., 2007) است که گزارش کردند ژن‌های کدکننده GR در طول تنش خشکی در انگورهای بالغ بیشتر بیان می‌شوند. نتایج این پژوهش‌ها نشان دادند کاربرد حاکی زئولیت و

(Fahim et al., 2023) مطابقت دارد. گزارش کردند با کاهش سطح آبیاری، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند CAT و SOD و آنزیم‌های چرخه گلوتاتیون-آسکوربات مانند POD و APX برای محافظت در برابر اثرات ROS افزایش نشان دادند. افزایش فعالیت آنزیم‌های مهارکننده با اعمال تنش (افزایش دور آبیاری‌ها) ممکن است شامل فعال شدن دفاع آنزیمی به دلیل سازوکارهای سم-زدایی گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش سطح رادیکال‌های آزاد (ROS) در سلول‌های گیاهی در شرایط تنش و در ارتباط با تولید H_2O_2 (که در همه گیاهان وجود دارد) باشد. این نتایج با پژوهش‌های گزارش شده توسط (Fahim et al., 2022) مطابقت دارد که دریافتند کمبود آب سبب افزایش فعالیت CAT، SOD، POD و APX و محتوای H_2O_2 در برگ انگور می‌شود. القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یک استراتژی عمومی سازگاری است که گیاهان برای غلبه بر آسیب‌های ناشی از تنش‌های اکسیداتیو استفاده می‌کنند (Noctor & Foyer, 2016). سلول‌های گیاهی برای حفاظت در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو، به یک سیستم جاروب کننده رادیکال‌های آزاد مجهز هستند که شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی است (Keivanfar et al., 2019). آنزیم SOD اولین خط دفاعی در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که واکنش دیسموتاسیون آنیون سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$) به اکسیژن و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) را کاتالیز می‌کند. اگرچه SOD در خط مقدم دفاع علیه گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌کند، اما محصول عمل آن یعنی H_2O_2 برای سلول سمی است و باید از سلول حذف شود که

شاخص‌های مورد بررسی را تعدیل نمود که به علت توانایی آن دو در جذب و نگهداری آب در خاک است. توانایی زئولیت و کود دامی در نگهداری آب این قابلیت را به تاک‌ها داد که وضعیت آب برگ‌های خود را در شرایط تنش کم‌آبی بهبود بخشند. بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت، اثرات مضر تنش خشکی در یک تاکستان دارای خاک سبک را می‌توان با کاربرد زئولیت طبیعی و کود دامی به عنوان بهبود دهنده‌های خاک کاهش داد. زئولیت طبیعی که دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است، در بسیاری از مناطق جهان، بویژه ایران به فراوانی یافت می‌شود و قیمت ناچیزی دارد. با توجه به این که زئولیت بر خلاف کود گوسفندی سبب افزایش شوری خاک نمی‌شود. با وجود این، کاربرد توأم زئولیت طبیعی با کودهای حیوانی و سایر کودهای آلی می‌تواند یکی از بهترین راه‌ها برای مقابله با مشکلات خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان باشد.

References

- Abdel Fatah, E.M. & Khalil, S.R.A. (2020) Effect of zeolite, potassium fertilizer and irrigation interval on yield and quality of sugar beet in sandy soil. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1569-1579.
<https://doi.org/10.21608/jpp.2020.149830>
- Al-Tabbal, J.A., Al-Mefleh, N.K., Al-Zboon, K.K. & Tadros, M.J. (2020) Effects of volcanic zeolite tuff on olive (*Olea europaea* L.) growth and soil chemistry under a constant water level: five years' monitoring experience.

کود گوسفندی سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای H_2O_2 در برگ انگور شد. نتایج حاضر به این علت است که افزودن زئولیت و کود گوسفندی به خاک موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و در نتیجه کاهش کمبود آب شده است. این نتیجه با یافته‌های سایر پژوهشگران روی کانولا (Zahedi & Tohidi Moghadam, 2011)، سویا (Nozari et al., 2013)، چغندر قند (Abdel Bahador & Khalil, 2020) و شاهدانه (Fatah & Khalil, 2020) مطابقت دارد. تأثیر کاربرد خاکی زئولیت و کود دامی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ درختان میوه در شرایط تنش خشکی تاکنون گزارش نشده است.

جمع‌بندی

دسترسی کم‌گیاه به آب سبب کاهش جذب و افت پتانسیل آب سلول‌ها می‌شود و با تولید رادیکال‌های آزاد موجب تخریب غشاءهای سلولی، تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود که در نهایت، به کاهش رشد و تولید محصول منجر می‌شود. از سوی دیگر، افزودن مواد اصلاح‌کننده به خاک، با حفظ بهتر رطوبت خاک و بافت گیاهی، آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو را بهبود می‌بخشد. در پژوهش حاضر، کاهش آبیاری به کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، پتانسیل آب، و همچنین، به افزایش نشت الکترولیت و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برگ انگور منجر شد. از سوی دیگر، کاربرد کود حیوانی و زئولیت در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی تمامی

- stress, sugar, and anthocyanin content in Sanforte (*Vitis vinifera* L.) young vineyard. *Journal of Agricultural Science*, 159, 488-499.
- <https://doi.org/10.1017/S0021859621000915>.
- Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., Masini, C.M. & Mattii, G.B. (2021b) Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy*, 11(1547), 1-14.
- <https://doi.org/10.3390/agronomy11081547>.
- Choo, L.N.L.K., Ahmed, O.H., Talib, S.A.A., Ghani, M.Z.A. & Sekot, S. (2020) Clinoptilolite zeolite on tropical peat soils nutrient, growth, fruit quality, and yield of *Carica papaya* L. CV Sekaki. *Agronomy*, 10(9), 1320.
- <https://doi.org/10.3390/agronomy10091320>.
- Congming, L. & Zhang, J. (2000) Photosynthetic CO₂ assimilation chlorophyll fluorescence and photoinhibitor as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Journal of Plant Science*, 151, 135-143.
- [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00207-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00207-1).
- Cramer, G.R., Ergul, A., Grimplet, J., Tillett, R.L., Tattersall, E.A.R., Bohlman, M.C., Vincent, D., Sonderegger, J., Evans, J. & Osborne, C. (2007) Water and salinity stress in grapevines: early and late changes in transcript and metabolite profiles. *Functional & Integrative Genomics*, 7, 111-134.
- <https://doi.org/10.1007/s10142-006-0039-y>.
- da Silva, J.R., Rodrigues, W.P., Ferreira, L.S., Bernado, W.P., Paixao, J.S., Patterson, A.E., Ruas, K.F., Viana, L.H., de Sousa, E.F., Bressan-Smith, R.E., Poni, S., Griffin, K.L. & Campostrini, E. (2018) Deficit irrigation and transparent plastic covers can save water and improve grapevine cultivation in the tropics. *Agricultural Water Environment and Natural Resources Journal*, 18(1), 44-54.
- <https://doi.org/10.32526/enmrj.18.1.2020.05>.
- Altinci, N.T. & Cangi, R. (2019) Drought tolerance of some wine grape cultivars under *in vitro* conditions. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*, 36, 145-151.
- <https://doi.org/10.13002/jafag4633>.
- Bahador, M. & Tadayon, M.R. (2020) Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp: Antioxidant enzymes and oil content. *Industrial Crops & Products*, 144, 112042.
- <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112042>.
- Carvalho, L.C., Coito, J.L., Goncalves, E.F., Chaves, M.M. & Amancio, S. (2016) Differential physiological response of the grapevine varieties Touriga Nacional and Trincadeira to combined heat, drought and light stresses. *Plant Biology*, 18, 101-111.
- <https://doi.org/10.1111/plb.12410>.
- Castronuovo, D., Comegna, A., Belviso, C., Satriani, A. & Lovelli, S. (2023) Zeolite and *Ascophyllum nodosum*-based biostimulant effects on spinach gas exchange and growth. *Agriculture*, 13, 754.
- <https://doi.org/10.3390/agriculture13040754>.
- Cataldo, E.C., Fucile, M., Manzi, D., Masini, C.M., Doni, S. & Mattii, G.B. (2023) Sustainable soil management: effects of clinoptilolite and organic compost soil application on eco-physiology, quercetin, and hydroxylated, methoxylated anthocyanins on *Vitis vinifera*. *Plants*, 12(708), 1-32.
- <https://doi.org/10.3390/plants12040708>.
- Cataldo, E.C., Salvi, L.S., Paoli, F.P., Fucile, M.F., Masciandaro, G.M., Manzi, D.M., Masini, C.M.M. & Mattii, G.B.M. (2021a) Effects of natural clinoptilolite on physiology, water

- Journal of Biological Sciences*, 4(4), 462-70.
<https://doi.org/10.22059/jci.2012.25045>.
- Fahim, S., Ghanbari, A., Najj, A.M., Shokohian, A.A., Maleki Lajayer, H., Gohari, G. & Hano, C. (2022) Multivariate discrimination of some grapevine cultivars under drought stress in Iran. *Horticulturae*, 8, 871.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8100871>.
- Fayek, M.A., Rashedy, A.A. & Mohamed Ali, A.E. (2022) Alleviating the adverse effects of deficit irrigation in Flame seedless grapevine via Paulsen interstock. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1590/0100-29452022839>.
- Franks, P., Drake, P.L. & Froend, R.H. (2007) Anisohydric but isohydrodynamic: Seasonally constant plant water potential gradient explained by a stomatal control mechanism incorporating variable plant hydraulic conductance. *Plant, Cell and Environment*, 30, 19-30.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01600.x>.
- Gonzalez, M.R., Hailemichael, G., Catalina, A. & Martin, P. (2019) Combined effects of water status and iron deficiency chlorosis on grape composition in non-irrigated vineyards. *Scientia Agricola*, 76(6), 473-480.
<https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0084>.
- Griesser, M., Weingart, G., Schoedl-Hummel, K., Neumann, N., Becker, M., Varmuza, K., Liebner, F., Schuhmacher, R. & Forneck, A. (2015) Severe drought stress is affecting selected primary metabolites, polyphenols, and volatile metabolites in grapevine leaves (*Vitis vinifera* cv. Pinot noir). *Plant Physiology and Biochemistry*, 88, 17-26.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.05.013>.
- Management*, 202, 66-80.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.013>.
- Deka, D., Singh, A.K. & Singh, A.K. (2018) Effect of drought stress on crop plants with special reference to drought avoidance and tolerance mechanisms: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2703-2721.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.336>.
- De Smedt, C., Steppe, K. & Spanoghe, P. (2017) Beneficial effects of zeolites on plant photosynthesis. *Advanced Materials Science*, 2(1), 1-11.
<https://doi.org/10.15761/AMS.1000115>.
- Dias, M.C., Correia, S., Serodio, J., Soares Silva, A.M., Freitas, H. & Santos, C. (2018) Chlorophyll fluorescence and oxidative stress endpoints to discriminate olive cultivars tolerance to drought and heat episodes. *Scientia Horticulturae*, 231, 31-35.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.007>.
- Doni, S., Gispert, M., Peruzzi, E., Macci, C., Mattii, G.B., Manzi, D., Masini, C.M. & Masciandaro, G. (2020) Impact of natural zeolite on chemical and biochemical properties of vineyard soils. *Soil Use and Management*, 1-11.
<https://doi.org/10.1111/sum.12665>.
- Doupis, G., Chartzoulakis, K. & Patakas, A. (2012) Differences in antioxidant mechanisms in grapevines subjected to drought and enhanced UV-B radiation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24, 607-613.
<https://doi.org/10.9755/ejfa.v24i6.607613>.
- Eskandari Zanjani, K., Shirani Rad, A.H., Naeemi, M., Moradi Aghdam, A. & Taherkhani, T. (2012) Effects of zeolite and selenium application on some physiological traits and oil yield of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under drought stress. *Current Research*

- Jha, B. & Singh, D.N. (2016) Fly ash zeolites: innovations, applications, and directions. Springer, Singapore, 5-32
- Kamangar, A. & Haddad, R. (2016) Effect of water stress and sodium silicate on antioxidative response in different grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 1859-1870.
- Karami, S., Hadi, H., Tajbaksh, M. & Modarres-Sanavy, S.A.M., (2020) Effect of zeolite on nitrogen use efficiency and physiological and biomass traits of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) under water-deficit stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 1427-1441.
- <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00223-z>.
- Karimi, S., Hojati, S., Eshghi, S., Moghaddam, R.N. & Jandoust, S. (2012) Magnetic exposure improves the tolerance of Fig 'Sabz' explants to drought stress induced *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 137, 95-99.
- <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.018>.
- Kavvadias, V., Ioannou, Z., Katsaris, P., Kardimaki, A., Vavoulidou, E. & Theocharopoulos, S. (2018) Use of zeolites in agriculture: effect of addition of natural zeolite-clinoptilolite and compost on soil properties and crop development, Section II Management Strategies: Chapter 15. In Rakshit, A., Sarkar, B. & Abhilash, P. (Eds.). *Soil amendments for sustainability: challenges and perspectives*; CRC Press, Taylor & Francis Group, Oxfordshire, UK, p. 404.
- Keivanfar, S., Fotouhi Ghazvini, R., Ghasemnezhad, M., Mousavi, A. & Khaledian, M.R. (2019) Effects of regulated deficit irrigation and superabsorbent polymer on fruit yield and quality of Granny Smith apple. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84(4), 383-389.
- <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.01.004>.
- Guaya, D., Mendoza, A., Valderrama, C., Farran, A., Sauras-Yera, T. & Cortina, J.L. (2020) Use of nutrient-enriched zeolite (NEZ) from urban wastewaters in amended soils: Evaluation of plant availability of mineral elements. *Science of the Total Environment*, 727, 138646.
- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138646>.
- Harhash, M.M., Ahamed, M.M.M. & Mosa, W.F.A. (2022) Mango performance as affected by the soil application of zeolite and biochar under water salinity stresses. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 87144-87156.
- <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21503-4>.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.H.M.B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S.M., Al Mahmud, J., Fujita, M. & Fotopoulos, V. (2020) Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681.
- <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.
- Hnilickova, H., Hnilicka, F., Orsak, M. & Hejnak, V. (2018) Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. *Plant, Soil and Environment*, 62, 314-320.
- <https://doi.org/10.17221/620/2018-PSE>.
- Ibrahim, H.M. & Alghamdi, A.G. (2021) Effect of the particle size of clinoptilolite zeolite on water content and soil water storage in a loamy sand soil. *Water*, 13, 607.
- <https://doi.org/10.3390/w13050607>.
- Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K. & Mierzwa-Hersztek, M. (2022) The use of zeolites as an addition to fertilisers - A review. *Catena*, 213, 106125.
- <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106125>.

- Marin-Martinez, A., Sanz-Cobena, A., Bustamante, M.A., Agullo, E. & Paredes, C. (2021) Effect of organic amendment addition on soil properties, greenhouse gas emissions and grape yield in semi-arid vineyard agroecosystems. *Agronomy*, 11, 1477.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11081477>.
- Materechera, S.A. & Mehuys, G.R. (1991) Organic manure additions and the leaf water potential and yield of barley. *Plant and Soil*, 138, 239-246.
- Meng, J.F., Xu, T.F., Wang, Z.Z., Fang, Y.L., Xi, Z.M. & Zhang, Z.W. (2014) The ameliorative effects of exogenous melatonin on grape cuttings under water-deficient stress: antioxidant metabolites, leaf anatomy, and chloroplast morphology. *Journal of Pineal Research*, 57, 200-212.
<https://doi.org/10.1111/jpi.12159>.
- Min, Z., Li, R., Chen, L., Zhang, Y., Li, Z., Liu, M., Ju, Y. & Fang, Y. (2019) Alleviation of drought stress in grapevine by foliar-applied strigolactones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 99-110.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.037>.
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P.K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P. & Hossain, A. (2021) Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11(448), 1-29.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11030448>.
- Murkute, A.A., Sharma, S. & Singh, S.K. (2006) Studies on salt stress tolerance of citrus rootstock genotypes with arbuscular mycorrhizal fungi. *Horticultural Science*, 33, 70-76.
<https://doi.org/10.17221/3742-HORTSCI>.
- Keller, M., Romero, P., Gohil, H., Smithyman, R.P., Riley, W.R., Casassa, L.F. & Harbertson, J.F. (2016) Deficit irrigation alters grapevine growth, physiology, and fruit microclimate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 67, 426-435.
<https://doi.org/10.5344/ajev.2016.16032>.
- Khalil, H.A. & Badr Eldin, R.M. (2021) Chitosan improves morphological and physiological attributes of grapevines under deficit irrigation conditions. *Journal of Horticultural Research*, 29(1), 9-22.
<https://doi.org/10.2478/johr-2021-0003>.
- Le Dily, F., Billard, J.P., Le Saos, J. & Huault, C. (1993) Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. *Plant Physiology and Biochemistry*, 31, 303-310.
- Leogrande, R. & Vitti, C. (2019) Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, 33(1), 1-21.
<https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1498038>.
- Li, Z., Wang, M., Yang, Y., Zhao, S., Zhang, Y. & Wang, X. (2017) Effect of composted manure plus chemical fertilizer application on aridity response and productivity of apple trees on the loess plateau, China. *Arid Land Research and Management*, 31(4), 388-403.
<https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1344332>.
- Mansoor, S., Khan, T., Farooq, I., Shah, L.R., Sharma, V., Sonne, C., Rinklebe, J. & Ahmad, P. (2022) Drought and global hunger: biotechnological interventions in sustainability and management. *Planta*, 256, 97.
<https://doi.org/10.1007/s00425-022-04006-X>.

- elevated temperature and moderate drought) triggers the antioxidant enzymes' response of grapevine cv. Tempranillo, avoiding oxidative damage. *Physiologia Plantarum*, 144, 99-110.
- <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01524.x>.
- Savee, R. & Adillon, J. (1990) Comparison between plant water relations of *in vitro* plants and rooted cuttings of kiwifruit. *Acta Horticulturae*, 282, 53-57.
- <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.282.24>.
- Shamili, M., Dehghanpour, S. & Atrash, S., (2020) Zeolite alleviates physiological and defense responses in drought stressed carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 9(37), 27-35.
- Shirani Bidabadi, S., Sabbatini, P. & VanderWeide, J. (2023) Iron oxide (Fe₂O₃) nanoparticles alleviate PEG-simulated drought stress in grape (*Vitis vinifera* L.) plants by regulating leaf antioxidants. *Scientia Horticulturae*, 312, 111847.
- <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111847>.
- Sun, R., Ma, J., Sun, X., Zheng, L. & Guo, J. (2023) Responses of the leaf water physiology and yield of grapevine via different irrigation strategies in extremely arid areas. *Sustainability*, 15, 2887.
- <https://doi.org/10.3390/su15042887>.
- Tamayo, M., Sepulveda, L., Guequen, E.P., Saavedra, P., Pedreschi, R., Caceres-Mella, A., Alvaro, J.E. & Cuneo, I.F. (2023) Hydric behavior: Insights into primary metabolites in leaves and roots of Cabernet Sauvignon and Grenache grapevine varieties under drought stress. *Horticulturae*, 9, 566.
- <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050566>.
- Torma, S., Vilcek, J., Adamisin, P., Huttmanova, E. & Hronec, O. (2014) Noctor, G. & Foyer, C.H. (2016) Intracellular redox compartmentation and ROS-related communication in regulation and signaling. *Plant Physiology*, 171, 1581-1592.
- <https://doi.org/10.1104/pp.16.00346>.
- Noori, M., Zendehtdel, M. & Ahmadi, A. (2006) Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 88(1), 77-84.
- <https://doi.org/10.1080/02772240500457928>.
- Nozari, R., Tohidi Noghdam, H.R. & Zahedi, H. (2013) Effect of cattle manure and zeolite applications on physiological and biochemical changes in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] grown under water deficit stress. *Revista Científica UDO Agricola*, 13(1), 76-84.
- <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4409.2648>.
- Perez-Caballero, R., Gil, J., Benitez, C. & Gonzalez, J.L. (2008) The effect of adding zeolite to soils in order to improve the N-K nutrition of olive trees, preliminary results. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 2, 321-324.
- <https://doi.org/10.3390/land11091471>.
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H. & Naci Onus, A. (2004) Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 183-189.
- Pontin, M., Murcia, G., Bottini, R., Fontana, A., Bolcato, L. & Piccoli, P. (2021) Nitric oxide and abscisic acid regulate osmoprotective and antioxidative mechanisms related to water stress tolerance of grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 27, 392-405.
- <https://doi.org/10.1111/ajgw.12485>.
- Salazar-Parra, C., Aguirreolea, J., Sanchez-Daz, M., Irigoyen, J.J. & Morales, J. (2012) Climate change (elevated CO₂,

- wetting and drying irrigation regime. *Agricultural Water Management*, 277, 108130.
- <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108130>.
- Williams, L.E. & Baeza, P. (2007) Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58, 173-181.
- <https://doi.org/10.5344/ajev.2007.58.2.173>.
- Williams, L.E., Baeza, P. & Vaughn, P. (2012) Midday measurements of leaf water potential and stomatal conductance are highly correlated with daily water use of Thompson Seedless grapevines. *Irrigation Science*, 30, 201-212.
- <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0276-2>.
- Xu, C.B., Li, X.M. & Zhang, L.H. (2013) The effect of calcium chloride on growth, photosynthesis, and antioxidant responses of *Zoysia japonica* under drought conditions. *PLOS ONE*, 8, 0068214.
- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068214>.
- Yamasaki, S. & Dillenburg, L.R. (1999) Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 11(2), 69-75.
- Yang, Y., Xia, J., Fang, X., Jia, H., Wang, X., Lin, Y., Liu, S., Ge, M., Pu, Y., Fang, J. & Shangguan L. (2023) Drought stress in 'Shine Muscat' grapevine: Consequences and a novel mitigation strategy—5-aminolevulinic acid. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1129114.
- <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1129114>.
- Yan, W., Zhong, Y. & Shangguan, Z. (2016) A meta-analysis of leaf gas
- Influence of natural zeolite on nitrogen dynamics in soil. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry*, 38, 739-744.
- <https://doi.org/10.3906/tar-1311-13>.
- Tu, M., Wang, X., Yin, W., Wang, Y., Li, Y., Zhang, G., Li, Z., Song, J. & Wang, X. (2020) Grapevine *VbZIP30* improves drought resistance by directly activating *VvNAC17* and promoting lignin biosynthesis through the regulation of three peroxidase genes. *Horticulture Research*, 7, 150.
- <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00372-3>.
- Tzortzakis, N., Chrysargyris, A. & Aziz, A. (2020) Adaptive response of a native Mediterranean grapevine cultivar upon short-term exposure to drought and heat stress in the context of climate change. *Agronomy*, 10, 249.
- <https://doi.org/10.3390/agronomy10020249>.
- Unlu, H., Ertok, R. & Padem, H. (2004) The usage of zeolite in tomato seedling production medium. In Proceedings of the Vegetable Production Symposium, Canakkale, Turkey, 21-24 September, 318-320.
- Wang, Y., Chen, J., Sun, Y., Jiao, Y., Yang, Y., Yuan, X., Lærke, P.E., Wu, Q. & Chi, D. (2023) Zeolite reduces N leaching and runoff loss while increasing rice yields under alternate exchange and water status responses to drought. *Scientific Reports*, 6, 20917.
- <https://doi.org/10.1038/srep20917>.
- Zahedi, H. & Tohidi Moghadam, H.R. (2011) Effect of drought stress on antioxidant enzymes activities with zeolite and selenium application in canola cultivars. *Research on Crops*, 12(2), 388-392.
- Zeng, G., Gao, F., Li, C., Li, D. & Xi, Z. (2022) Characterization of 24-epibrassinolide-mediated modulation of the drought stress responses: Morphophysiology, antioxidant

metabolism and hormones in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 184, 98-111.

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.05.019>.

Zijun, Z., Effeney, G., Millar, G.J. & Stephen, M. (2021) Synthesis and cation exchange capacity of zeolite W from ultra-fine natural zeolite waste. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101595.

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101595>.