Effects of Fulvic Acid and Putrescine on the Morpho-Physiological, Biochemical Characteristics and Nutrients Uptake in Grapevine (*Vitis Vinifera* L.) Cv. Shahani Exposed to Alkaline Soil Conditions

Bahram Rezavandi[1], Jafar Amiri[2*]

(Received: January, 2024 Accepted: May 2024)

Abstract

Alkaline stress is one of the major environmental factors that limit plant growth and development and crop production. In order to investigate the effect of fulvic acid and putrescine on some morphophysiological, biochemical characteristics, and nutrient uptake of Shahani grapevines cultivar under alkaline soil conditions, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with two factors including four concentrations of fulvic acid (0, 100, 200, and 300 mg L^{-1} as soil application) and four concentrations of putrescine (0, 1, 2, and 4 mM as foliar spray) in four replications and under greenhouse conditions. Alkaline soil had a negative effect on the vegetative characteristics of Shahani grapevines cultivar. The highest shoot fresh weight was observed treating of 200 mg L^{-1} fulvic acid along with 2, and 4 mM putrescine treatments. The highest root fresh weight was obtained at concentrations of 300 mg L^{-1} fulvic acid and 2 mM putrescine. The lowest amount of ion leakage was observed at the highest concentration of putrescine. The amount of soluble sugars increased by 23.4 and 23.4%, in 2, and 4 mM putrescine concentrations compared to the control, respectively. At the level of 300 mg L^{-1} fulvic acid and concentrations of 2, and 4 mM putrescine, the nitrogen content increased by 33.16 and 35.35%, compared to the control, respectively. Also, the levels of iron, copper and manganese also improved with increasing concentrations of fulvic acid and putrescine. The findings of this research confirm the positive role of fulvic acid and putrescine treatments in mitigating the harmful effects of alkaline stress on Shahani grapevines cultivar.

Keywords: Grapevine, Ion leakage, Iron, Potassium, Soluble sugar

Rezavandi B. and Amiri J. 2024. Effects of fulvic acid and putrescine on the morpho-physiological, biochemical characteristics and nutrients uptake in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Shahani exposed to alkaline soil conditions. *Applied Soil Research.* 12(3): 93-107.

1. MSc graduated of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, urmia University
2. Assistant Professor of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University
* Corresponding Author E-mail: j. amiri @urmia.ac.ir

اثرات اسید فولویک و پوترسین بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی در انگور رقم شاهانی در شرایط خاک قلیایی

بهرام رضاوندی[1] ، جعفر امیری [2*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱)

چکیده

تنش قلیایی یکی از عوامل محیطی مهمی است که مانع رشد و نمو گیاهان و تولید محصول می‌شود. به منظور بررسی تأثیر اسید فولویک و پوترسین بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و جذب عناصر انگور رقم شاهانی تحت شرایط خاک قلیایی، پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور (شامل چهار غلظت اسید فولویک (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به صورت مصرف خاکی) و چهار غلظت پوترسین (۰، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار به صورت محلول‌پاشی برگی) در چهار تکرار و در شرایط گلخانه اجرا گردید. خاک قلیایی تأثیر منفی بر ویژگی‌های رویشی انگور رقم شاهانی داشت. بیشترین وزن تر شاخساره، در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با تیمارهای ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد. بالاترین وزن‌تر ریشه در غلظت‌های ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک به همراه ۲ میلی‌مولار پوترسین به دست آمد. کمترین میزان نشت یونی در بیشترین غلظت پوترسین مشاهده گردید. میزان قندهای محلول در غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب ۲۳/۴ و ۲۳/۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک و در غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین، میزان نیتروژن در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳۳/۱۶ و ۳۵/۲۳ درصد افزایش نشان داد. همچنین میزان عناصر آهن، مس و منگنز نیز با افزایش غلظت اسید فولویک و پوترسین، بهبود یافت. یافته‌های این پژوهش، نقش مثبت تیمارهای اسید فولویک و پوترسین در تعدیل اثرات مخرب تنش قلیائی در انگور رقم شاهانی را به اثبات رساند.

واژه‌های کلیدی: انگور، آهن، پتاسیم، قندهای محلول، نشت یونی

رضاوندی ب.، امیری ج. ۱۴۰۳ . اثرات اسید فولویک و پوترسین بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی در انگور رقم شاهانی در شرایط خاک قلیایی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲. شماره ۳، صفحه: ۹۳-۱۰۷.

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

*پست الکترونیک: j.amiri @urmia.ac.ir

مقدمه

امروزه تغییرات اقلیمی باعث تشدید تنش‌های مختلف در گیاهان می‌شوند (Shao *et al*., 2022). گیاهان معمولاً از تنش‌های اسمزی، یونی یا اکسیداتیو رنج می‌برند و پیش‌بینی می‌شود که در مواجهه با شرایط آب و هوایی نامساعد، این تنش‌ها تشدید شوند. مناطق خشک دارای خاک‌هایی با pH زیاد و خاصیت قلیایی می‌باشند. pH خاک، فاکتوری کلیدی است که بر جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان تأثیر می‌گذارد. تنش قلیایی یکی از عوامل محیطی مهم می‌باشد که از رشد و نمو گیاهان و تولید محصول جلوگیری می‌نماید. خاک‌های قلیایی با pH بالا، تأثیر منفی زیادی بر جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌های گیاهان دارند (Saleem *et al*., 2023). شوری و قلیایی بودن خاک از مهمترین فاکتورهای محیطی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران می‌باشد. قلیائیتی که ناشی از افزایش بی‌کربنات باشد منجر به ایجاد تنش قلیایی در گیاهان می‌شود. رشد و عملکرد انگور تحت تأثیر شوری و قلیایی شدن خاک‌ها محدود می‌گردد. تنش قلیایی، تأثیر منفی بر برگ‌های انگور، ساختار کلروپلاست، فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو و تعادل یونی می‌گذارد (Lu *et al*., 2022). تعدادی از درختان میوه مانند انجیر، انار، زیتون و مرکبات در مقایسه با سایر درختان میوه، رشد بهتری در خاک‌های قلیایی دارند (Wankhede *et al*., 2021). در پژوهشی در هشت ژنوتیپ سیب (*Malus domestica* Borkh.) تحت تنش شوری- قلیایی، میزان سدیم، نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید در تمامی ژنوتیپ‌ها افزایش و میزان پتاسیم کاهش یافت (Zhang *et al*., 2022). اسید هیومیک و اسید فولویک، اجزای اصلی ترکیبات هوموسی می‌باشند (Miao *et al*., 2018). اسید فولویک به‌عنوان فعال‌ترین اسید آلی، با وزن مولکولی پایین، از فعالیت فیزیولوژیکی زیادی برخوردار می‌باشد. این ویژگی به این دلیل است که اسید فولویک، یک ترکیب پیچیده بوده و از چندین مولکول تشکیل شده است. اسید فولویک یک مولکول کوچک بوده و تحمل گونه‌های گیاهی متعدد را در برابر تنش‌ها بهبود می‌بخشد. در پژوهشی نشان داده شد که کاربرد پتاسیم فولویک اسید دسترسی به عناصر غذایی خاک را برای گیاهان بهبود می‌بخشد (Jesmin *et al*., 2023). امروزه از پلی-آمین‌ها به عنوان نشانگر برای دنبال نمودن تأثیر تنش های محیطی بر وضعیت متابولیک گیاهان استفاده می-شود (Lechowska *et al*., 2022). پلی‌آمین‌ها، ترکیبات آلیفاتیک آمین با وزن مولکولی کم، حاوی بازهای نیتروژن‌دار با گروه‌های آمینی بوده و شامل سه ترکیب اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین می‌باشند. این ترکیبات، مولکول‌های سیگنال‌دهنده مهمی هستند و باعث بهبود تحمل به تنش در گیاهان می‌شوند. آنها با فعال کردن استراتژی‌های سازگاری با تنش مانند تثبیت غشاء و پالایش گونه‌های فعال اکسیژن در یاخته‌ها به عنوان عوامل محافظتی برای گیاهان عمل می‌کنند (Tripathi *et al*., 2023). حذف گونه‌های فعال اکسیژن از طریق فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی و محافظت از مولکول-های زیستی و غشاهای زیستی از مکانیسم‌های رایج پلی-آمین‌ها در گیاهان می‌باشد (Tripathi *et al*., 2023). این ترکیبات به دلیل ماهیت کاتیونی خود اثر محافظتی مستقیمی بر روی سلول‌های گیاهی نشان می‌دهند و به آن‌ها اجازه می‌دهند با درشت مولکول‌های دارای بار منفی برای تثبیت ساختار خود در موقعیت‌های عادی و تنش‌زا تعامل داشته باشند. مالون‌دی‌آلدئید در اثر حمله گونه-های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی، تولید می‌شود. کاربرد پلی‌آمین‌ها باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و در نتیجه تولید مالون‌دی‌آلدئید می‌گردد که به نوعی بهبود پایداری غشاء را به همراه دارد (Altaf *et al*., 2023). در خاک‌های قلیایی به دلیل وجود سدیم قابل تبادل، جذب سایر عناصر از قبیل آهن، منگنز، روی و فسفر مختل شده و ساختمان خاک در اثر پراکندگی ذرات کلوئیدی از بین می‌رود و درنتیجه جریان آب به درون خاک دشوار شده و زهکشی خاک کاهش می‌یابد. ایران در منطقه خشک قرار گرفته و در حدود بیست درصد خاک ایران که در حدود بیست میلیون هکتار را شامل می شود از شوری و قلیائیت رنج می‌برد. چنین خاک‌هایی از pH ۸ تا ۹ یا حتی بالاتر از ۱۰ رنج می‌برند. با توجه به اهمیت ویژه اقتصادی انگور در ایران، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر کاربرد خاکی اسید فولویک و محلول‌پاشی برگی پوترسین بر انگور رقم شاهانی در شرایط خاک قلیایی انجام گرفت تا ضمن بررسی اثرات خاک قلیایی بر برخی ویژگی‌های

مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی و جذب عناصر در انگور رقم شاهانی، اثرات دو ترکیب اسید فولویک و پوترسین در کاهش اثرات خاک قلیایی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر دو ترکیب اسید فولویک و پوترسین بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انگور رقم شاهانی در شرایط خاک قلیایی، در گلخانه و آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه طی سال‌های ۹۹ -۱۳۹۸ به اجرا درآمد. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کاربرد خاکی اسید فولویک در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و محلول-پاشی پوترسین در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار) بودند. برای این منظور نهال‌های یک‌دست و هم‌اندازه انگور رقم شاهانی تهیه و به گلدان‌هایی به ابعاد۲۷×۲۵ سانتی‌متر منتقل شدند به نحوی که هرگلدان محتوی یک نهال بود. گیاهان در گلخانه‌ای با شرایط نوری ۱۶ ساعت طول‌روز و دمای بین ۱۸ تا ۲۸ درجهٔ سانتی-گراد و رطوبت نسبی ۴۰ تا ۶۰ درصد مستقر شدند. قبل از شروع تیمارها، کل بوته‌ها به صورت تک شاخه و یکنواخت هرس شده و به قیم بسته شدند. محیط کشت در این گلدان‌ها خاک قلیایی بود. یک ماه پس از استقرار کامل بوته‌ها در گلدان، تیمارها اعمال شد. تیمارهای اسید فولویک و پوتریسین در سه مرحله، ابتدا یک ماه بعد از کاشت نهال‌ها در گلدان و مراحل بعدی به ترتیب ۱۵ و۳۰ روز بعد استفاده شد. یک هفته بعد از اعمال آخرین تیمارهای پوترسین و اسیدفولویک، صفات مختلف به شرح ذیل مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند:

ویژگی‌های مورفولوژیکی

وزن تر شاخساره و ریشه به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین وزن خشک نمونه‌ها (شاخساره و ریشه)، ابتدا نمونه‌ها به مدّت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از خارج نمودن نمونه‌ها از آون، وزن خشک آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) تعیین شد.

محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، در هر نهال ۱۰ عدد دیسک برگی به قطر ۸ میلی‌متر از برگ‌های توسعه یافته انتهای ساقه تهیه شد. بلافاصله وزن تر آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری گردید و سپس در داخل ظروف پتری دیش حاوی آب مقطر به مدّت ۴ ساعت در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) و در تاریکی قرار داده شدند. پس از خارج کردن دیسک‌ها از آب مقطر، جهت حذف رطوبت اضافی سطح دیسک‌ها، آنها را در بین دو لایه کاغذ صافی خشک نموده و سپس وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین وزن آماس، دیسک‌های برگی به آون (۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد) منتقل شده و پس از گذشت ۴۸ ساعت وزن خشک آنها تعیین گردید و در نهایت محتوای نسبی آب برگ (بر حسب درصد) با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه گردید (Turner, 1981).

رابطه (۱)

[(وزن خشک-وزن تر) / (وزن آماس-وزن خشک)] × ۱۰۰ = محتوای نسبی آب برگ (درصد)

پایداری غشاء (میزان نشت یونی)

میزان پایداری غشاء با بررسی نشت یونی غشاء یاخته‌های برگ مورد ارزیابی قرار گرفت. روش کار بدین صورت است که از هر تیمار، تعداد دو برگ، نمونه‌گیری و به قطعات ۱×۱ سانتی‌متر تقسیم شدند. قطعات برگ، ۳ بار با آب مقطر شسته و در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر نگهداری شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در شیکر قرار داده شدند و EC_1 آنها قرائت شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو (۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. پس از خنک شدن، EC_2 نمونه‌ها قرائت شد. نشت یونی غشاء برگ به صورت درصد با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Lutts *et al.*, 1995).

رابطه (۲)

$$\text{نشت یونی غشاء برگ (درصد)} = [EC_1 / EC_2] \times 100$$

میزان انباشت پرولین و قندهای محلول

برای اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگی با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون له شد. قسمت بالایی محلول را جدا کرده و رسوبات دو بار با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد شستشو داده شد. محلول بدست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۵۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. سپس فاز رویی را برداشته و عصاره‌ی

الکلی به دست آمده تا زمان اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول در یخچال با دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Irigoyen *et al*., 1992). برای تعیین غلظت پرولین، یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی تهیه شده با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شده و به هم زده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین (به ازای هر نمونه: ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین+ ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار+ ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال) و ۵ میلی‌لیتر اسید - استیک‌گلاسیال به آن اضافه گردید و به صورت دستی هم زده شد. محلول حاصله به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بعد از خنک شدن آنها، ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به آن اضافه شد و به شدت تکان داده شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حالت سکون رها شدند و در نهایت یک میلی‌لیتر از فاز بالایی نمونه‌ها برداشته شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید (Paquin & Lechasseur, 1979). جهت اندازه‌گیری میزان قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی نگهداری شده در یخچال، به کمک میکروپیپت به داخل لوله آزمایش ریخته شده و ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده به آن اضافه شد. لوله‌های آزمایش به مدّت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد تا ماده رنگی تشکیل گردد. پس از خنک شدن نمونه-ها، میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Irigoyen *et al*., 1992).

اندازه‌گیری عناصر غذایی

نمونه‌های برگی برداشت شده پس از شستو و خشکانده شدن در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت)، به وسیله آسیاب پودر شدند. به منظور تعیین غلظت پتاسیم، سدیم و نیز عناصر میکرو هضم خشک انجام گرفت. در عصاره‌های حاصل از هضم خشک، میزان نیتروژن با دستگاه کجلدال، میزان فسفر به روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل JENWAY 310 (ساخت کمپانی "JENWAY " کشور انگلستان) و میزان عناصر میکرو (آهن، روی، منگنز و مس) با دستگاه جذب اتمی مدل AA240FS (ساخت کمپانی " VARIAN " کشور استرالیا) قرائت گردید.

تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی، از نرم افزار SAS نسخه 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌های داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. همچنین برای رسم شکل از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده گردید.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های محیط کشت گلدان‌ها در جدول ۱ آورده شده است. اندازه‌گیری خواص اولیه خاک حاکی از آن است که خاک مورد استفاده از نوع آهکی با شوری نسبتا کم و دارای بافت رسی سیلتی بوده و دارای مقادیر نسبتا پایینی ماده آلی و عناصر غذایی است.

صفات رشدی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای اسید فولویک و پوترسین در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن تر ریشه معنی‌دار بود. همچنین اثرات ساده تیمارهای اسید فولویک و پوترسین در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل تیمارهای اسید فولویک و پوترسین در سطح احتمال ۵ درصد بر بر وزن خشک ریشه معنی‌دار گردید. بیشترین وزن تر و خشک ریشه در غلظت های ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک به همراه ۲ میلی‌مولار پوترسین به دست آمد هرچند که اختلاف معنی‌داری بین غلظت های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک مشاهده نگردید. در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با ۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب ۱/۷۴ و ۱/۶۲ برابر افزایش در وزن تر و خشک ریشه در مقایسه با شاهد گزارش گردید (شکل ۱- الف و ب). بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۲)، اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر وزن تر ($P\leq0.01$) و خشک ($P\leq0.05$) شاخساره معنی‌دار شد. بیشترین وزن تر شاخساره، در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با تیمارهای ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین و بیشترین وزن خشک شاخساره در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با تیمار ۲ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد. میزان افزایش وزن تر و خشک شاخساره در تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با تیمار ۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب ۳۰ و ۳۲/۷۷ درصد در مقایسه با شاهد گزارش

شد (شکل ۲- الف و ب). یک فاکتور کلیدی مهم در محدودیت رشد و نمو گیاهان تحت شرایط خاک قلیایی، pH بالای محیط کشت می‌باشد. در خاک‌های قلیایی، بالا بودن pH به همراه افزایش غلظت کربنات و بی‌کربنات، باعث کاهش حلالیت عناصر غذایی، به ویژه عناصر ریز مغذی شده و رشد گیاه را دچار اختلال می‌نماید. با توجه به اینکه اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار ۱۰۰ میلی-گرم در لیتر اسیدفولویک با تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی-گرم در لیتر اسیدفولویک و نیز تیمار ۲ میلی‌مولار پوترسین با تیمار ۴ میلی‌مولار پوترسین وجود ندارد لذا می‌توان نتیجه گرفت که تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدفولویک با تیمار ۲ میلی‌مولار پوترسین برای رشد انگور شاهانی در خاک قلیایی مطلوب هستند. در پژوهش حاضر، غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک و غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین، بیشترین تأثیر را در بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی (وزن تر و خشک شاخساره و ریشه) انگور رقم شاهانی در خاک قلیایی نشان دادند. تشکیل کمپلکس میان یون‌های معدنی و اسید فولویک، تأثیر اسید فولویک بر تنفس و فتوسنتز، محتوای پروتئین، تحریک متابولیسم اسید نوکلئیک، فعالیت آنزیم‌ها و فعالیت هورمونی اسید فولویک از جمله دلایل مؤثر تأثیر اسید فولویک بر شاخص‌های رویشی گیاهان است (Elmongy *et al.*, 2018). اسید فولویک با افزایش جذب عناصر غذایی از راه ویژگی‌های کلات‌کنندگی و احیاءکنندگی و حفظ نفوذپذیری غشاء، افزایش متابولیسم ریز جانداران، بهبود وضعیت فیزیکی خاک، سبب افزایش رشد ریشه و ساقه می‌گردد. یکی از مهم‌ترین خواص مواد هیومیک که اسید فولویک مهمترین جزء آن است، این است که هم به آزادسازی عناصر تثبیت شده در خاک‌های قلیایی کمک می‌کند و هم عناصر اضافی موجود را در خود ذخیره کرده و در زمان مورد نیاز در اختیار ریشه قرار می‌دهد و به این ترتیب به رشد گیاه کمک می‌نماید (Eshwar *et al.*, 2017). پلی‌آمین‌ها از نظر فیزیولوژیکی نقش مهمی در جذب عناصر و متعادل کردن نسبت C/N و در نتیجه رشد و پاسخ گیاه به تنش دارند (Mustafavi *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر، نقش مثبت پوترسین در بهبود رشد انگور رقم شاهانی در شرایط قلیایی احتمالا مربوط به تأثیر آنتی اکسیداتیو، کمک به تعادل کاتیون - آنیون و یا احتمالا عمل به عنوان منبع نیتروژن بوده است (Gong *et al.*, 2017).

نشت یونی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثرات اصلی تیمار پوترسین در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان نشت یونی غشاء سلول‌های برگ معنی‌دار شد ($P\leq0.05$) ولی اثرات اصلی اسید فولویک و نیز اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر میزان نشت یونی معنی‌دار نگردید. با افزایش سطوح پوترسین، میزان نشت یونی کاهش یافت، به طوری که کمترین میزان نشت یونی در بیشترین غلظت پوترسین مشاهده گردید و میزان نشت یونی از ۴۴/۷۵ درصد در تیمار شاهد (بدون پوترسین) به ۴۱/۷۵ درصد (در سطح ۴ میلی‌مولار پوترسین) کاهش یافت (شکل ۳- الف).

محتوای نسبی آب برگ

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف اسید فولویک و پوترسین در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار شد ($P\leq0.01$). با افزایش غلظت پوترسین و اسید فولویک، محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با تیمار ۴ میلی‌مولار پوترسین (۸۳ درصد) به دست آمد و تیمار شاهد (بدون تیمار اسید فولویک و پوترسین) دارای کمترین محتوای نسبی آب برگ (۶۶ درصد) در میان سایر تیمارها بود (شکل ۳- ب). در طول دوره تنش، تجمع بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) (رادیکال‌های بسیار سمی و واکنش‌پذیر) به طور بالقوه به ترکیبات سلولی (پروتئین‌ها، لیپیدها، کربوهیدرات ها و) گیاهان آسیب زده و منجر به تنش اکسیداتیو و در نتیجه مرگ سلولی می‌شود. تجمع گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان به DNA طور چشمگیری نشت یونی غشاء یاخته‌ای و محتوای مالون‌دی‌آلدئید ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی غشایی را افزایش می‌دهد (Sun *et al.*, 2022). مطالعات نشان داده که اسید فولویک به عنوان جاروب‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان عمل نموده و همچنین می‌تواند به طور مستقیم به عنوان یک آنتی‌اکسیدان باعث از بین بردن ROSها شده و یا به عنوان یک سیگنال برای تحریک تولید آنتی‌اکسیدان‌ها

اســـتفاده شـــود (Fanga *et al*., 2020). پلی‌آمین‌ها به صـورت پلی‌کاتیون در pHهای فیزیولوژیکی وجود دارند. این ویژگی منجر به میل الکترواسـتاتیکی بالاتر آنها برای ترکیب با مولکول‌های دارای بار منفی مانند اســـیدهای نوکلئیک و فسـفولیپیدهای غشـاء در سـلول‌ها می‌شـود. پلی‌آمین‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل نموده و از آسیب اکســـیدی بافت‌های گیاهی و در نتیجه آســـیب ROS و پراکســـیداســـیون لیپیدی جلوگیری می‌کنند (Chen *et al*., 2019). همسـو با پژوهش حاضـر در انگور در معرض تنش شوری قلیایی، کاربرد اسپرمیدین (۰/۵ میکرومولار) بـا افـزایـش فـعـالـیـت آنـزیـم‌هـای اکســـیـدانـی سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز باعث کاهش گونه‌های فعال اکسـیژن و در نتیجه کاهش میزان نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید شد (Xu *et al*., 2024).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مورد استفاده

Table 1. Characteristics of studied soil

CEC	Clay	Silt	Sand	pH	EC	Lime	Activated Lime
(C mol kg^{-1})		(%)			(dS m^{-1})	(mg kg^{-1})	
33	42	35	23	8.2	0.85	16.7	7.4

K	P	N	Mg	Fe	Zn	Cu	Organic matter
(ppm)					(ppb)		(%)
0.2	0.043	1.12	0.09	12	2.7	0.8	0.1

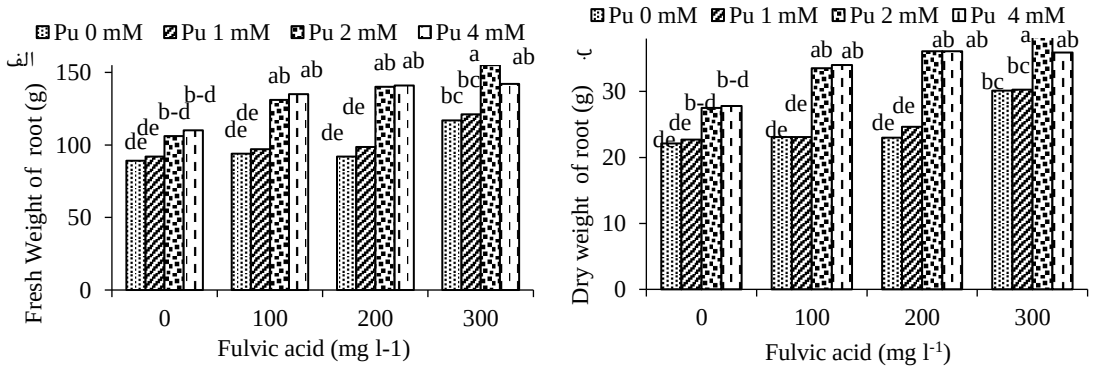
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف اسید فولویک و پوترسین و برهمکنش آن‌ها بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک انگور رقم شاهانی

Table 2. Variance analysis of the effect of different levels of fulvic acid and putrescine and their interaction on some morphological characteristics of Shahani grapevine

Source of variation	Degree of freedom	Mean Square			
		Root fresh weight	Root dry weight	Shoot fresh weight	Shoot dry weight
Fulvic acid (F)	3	65 **	122 **	142 **	73 **
Putrescine (P)	3	225 **	115 **	189 **	86 **
F × P	9	58 **	28 *	164 **	43 *
Error	15	42	24	41	19
CV (%)	-	7.68	8.23	9.14	7.95

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

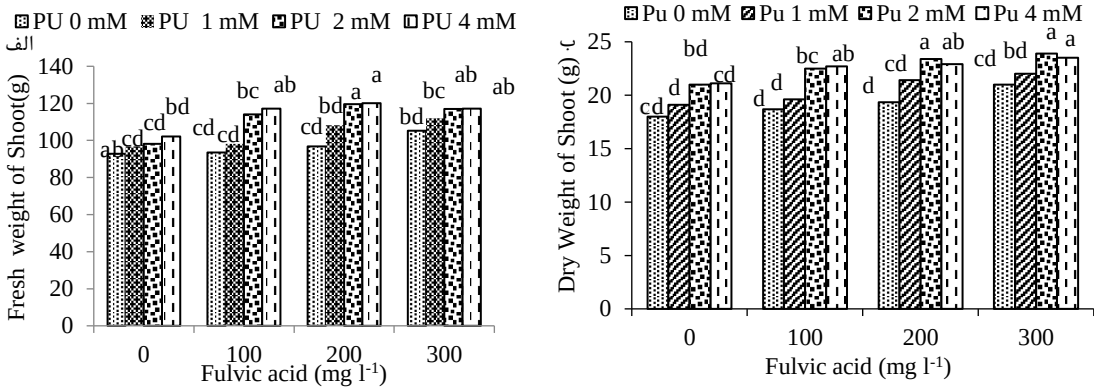
ns, * and **: non-significant, significant at 5% level and significant at 1% levels, respectively



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر الف) وزن تر و ب) وزن خشک ریشه در انگور رقم شاهانی

(حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد)

Figure1. Means comparison of interaction effects of fulvic acid and putrescine on a) fresh weight and b) dry weight of roots in Shahani grapevine (non-similar letters indicate significant difference at the 5% probability level using the Duncan's test)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر الف) وزن تر و ب) وزن خشک شاخساره در انگور رقم شاهانی

(حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد)

Figure 2. Means comparison of interaction effects of fulvic acid and putrescine on a) fresh weight and b) dry weight of shoots in Shahani grapevine (non-similar letters indicate significant difference at the 5% probability level using the Duncan's test)

در گیاهان، اسپرمیدین با محافظت از غشای پلاسمایی و ساختار غشاء نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش اثرات مضر تنش‌های محیطی ایفا می‌نماید (Stassinos *et al.*, 2021) و همچنین مانع فعالیت آنزیم‌های مخرب RNase و پروتئاز می‌شود. این مطالعات همسو با نتایج پژوهش حاضر بود.

پرولین و قندهای محلول

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی اسید فولویک ($P\leq0.01$)، پوترسین و اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین ($P\leq0.05$) بر میزان پرولین برگ معنی‌دار شد. اثرات اصلی تیمار اسید فولویک و پوترسین بر میزان قندهای محلول نیز معنی‌دار گردید ($P\leq0.05$) (جدول۳). بیشترین میزان پرولین در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با تیمارهای ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین به دست آمد (شکل۴ – الف). با افزایش غلظت پوترسین و اسید فولویک میزان قندهای محلول افزایش یافت. این شاخص، در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر اسید فولویک به ترتیب ۱۱/۶۳، ۲۸ و ۳۳/۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد. از طرف دیگر، میزان افزایش قندهای محلول در غلظت‌های ۱، ۲ و ۴ میلی مولار پوترسین به ترتیب ۷/۷، ۲۳/۴ و ۲۳/۴ درصد در مقایسه با شاهد گزارش گردید (شکل ۴- ب و ج). از مکانیسم‌های مهم برای غلبه بر تأثیر تنش‌های محیطی، تجمع اسمولیت‌های مختلف (مانند پرولین، گلیسین-بتائین و کربوهیدرات‌ها) است که گیاهان برای حفظ فشار تورژسانس سلولی از آن استفاده می‌کنند (Shao *et al.*, 2022). افزایش مواد تنظیم‌کننده اسمزی مانند قندهای محلول، پروتئین کل و پرولین در سیتوپلاسم سلول‌ها، به میزان موثری گونه‌های فعال اکسیژن را حذف، محتوای مالون‌دی‌آلدئید را در گیاهان کاهش داده و در نتیجه از میزان آسیب‌های ناشی از تنش کاسته می‌شود (Sun *et al.*, 2022). پرولین علاوه بر نقش محافظت‌کننده اسمزی، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است و از ماکرومولکول‌ها در برابر هیدراسیون محافظت می‌کند و باعث بهبود تحمل گیاه به تنش‌های محیطی می‌گردد. همچنین باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌ها شده و از جذب یون‌های سمی جلوگیری می‌نماید و به عنوان یک اسمولیت و یک پالایش‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌نماید (El-Badri *et al.*, 2021). در پژوهشی در برخی ژنوتیپ‌های سیب تحت تنش شوری قلیائی، میزان برخی شاخص‌ها مانند پرولین، قندهای محلول و پروتئین کل، افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2022). در برخی ارقام انگور تحت تنش کمبود آهن با کاربرد بی‌کربنات ۱۰ میلی‌مولار، غلظت پرولین و قندهای محلول در برگ افزایش یافت (Karimi & Salimi, 2021). مدارکی وجود دارد که ثابت می‌نماید کاتابولیسم پلی‌آمین‌ها به تجمع پرولین کمک می‌کند. همبستگی مثبت بین تجمع پرولین و محتوای پوترسین و یک همبستگی منفی با محتوای اسپرمیدین گزارش شده است. تیمارهای پلی‌آمین بیرونی، باعث افزایش سطوح پلی‌آمین‌ها و پرولین می‌شود (Chen *et al.*, 2022). همسو با پژوهش حاضر، کاربرد پتاسیم فولویک اسید در نهال‌های نارنج‌سه‌برگ (*Poncirus*

trifoliata) تحت تنش شوری، باعث افزایش میزان قندهای محلول (۳۹/۳۴ درصد) در ریشه‌ها در مقایسه با شاهد شد (Zhang *et al*., 2023).

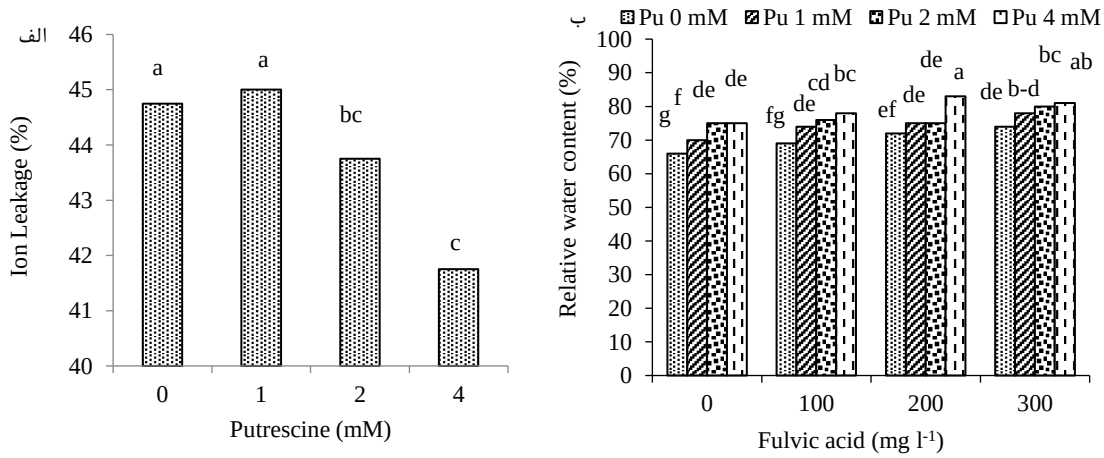
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف اسید فولویک و پوترسین و برهمکنش آن‌ها بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انگور رقم شاهانی

Table 3. Variance analysis of the effect of different levels of fulvic acid and putrescine and their interaction on some physiological and biochemical characteristics of Shahani grapevine

Source of variation	Degree of freedom	Mean Square			
		Ion leakage	Relative water content of leaves	Proline	Total soluble sugars
Fulvic acid (F)	3	105 ^{ns}	185 **	3.62 **	6.61 *
Putrescine (P)	3	152 *	241 **	2.43 *	7.18 *
F × P	9	121 ^{ns}	223 **	1.98 *	1.25 ^{ns}
Error	15	48	56	0.69	1.63
CV (%)	-	9.7	8.4	9.4	11.2

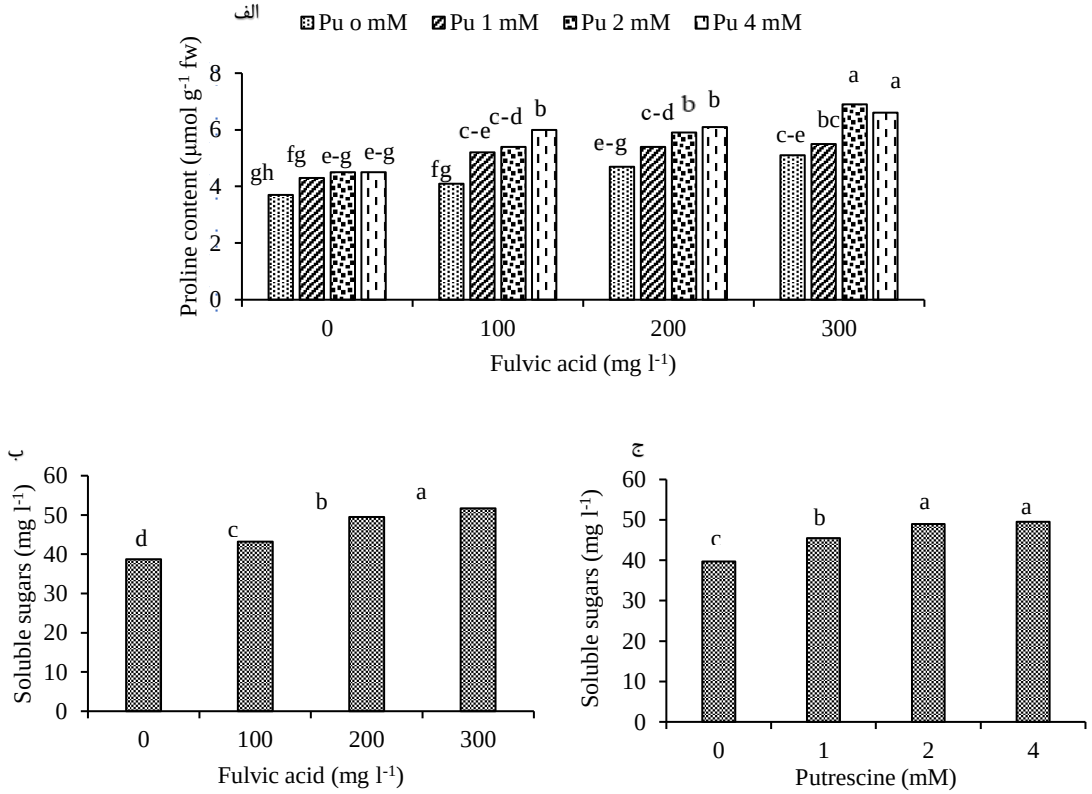
ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at 5% level and significant at 1% levels, respectively



شکل ۳- مقایسه میانگین (الف) اثر اصلی پوترسین بر میزان نشت یونی و (ب) اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ در انگور رقم شاهانی (حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد)

Figure 3. Means comparison of a) main effects of putrescine on the amount of ion leakage and b) interaction effects of fulvic acid and putrescine on relative water content of leaves in Shahani grapevine (non-similar letters indicate significant difference at the 5% probability level using the Duncan's test)



شکل ۴- مقایسه میانگین الف) اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر میزان پرولین ب و ج) اثرات اصلی اسید فولویک و پوترسین بر میزان قندهای محلول در انگور رقم شاهانی (حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد)

Figure 4. Means comparison of a) interaction effects of fulvic acid and putrescine on proline content and b and c) main effects of fulvic acid and putrescine on the amounts of soluble sugars in Shahani grapevine (non-similar letters indicate significant difference at the 5% probability level using the Duncan's test)

عناصر غذایی برگ

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی تیمارهای اسید فولویک و پوترسین و نیز اثرات متقابل آن‌ها بر مقادیر عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن و منگنز معنی‌دار شد. در مورد عنصر مس فقط اثرات اصلی اسید فولویک و پوترسین معنی‌دار گردید و در مورد عنصر روی اثر هیچکدام از تیمارهای اسید فولویک و پوترسین و نیز اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۴). افزایش غلظت اسید فولویک و پوترسین در تمامی سطوح، سبب افزایش میزان نیتروژن برگ شد. با این حال بیشترین میزان نیتروژن برگ (۲/۶۱ درصد) در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک و ۴ میلی‌مولار پوترسین به دست آمد. در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک و در غلظت‌های ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین، میزان نیتروژن در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۹/۷، ۳۳/۱۶ و ۳۵/۲۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵- الف). بیشترین میزان فسفر برگ در غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با سطوح ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین بدست آمد (شکل ۵- ب). میزان پتاسیم در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با غلظت ۴ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب ۱/۴۶، ۱/۵ و ۱/۵ برابر در مقایسه با شاهد افزایش داشت (شکل ۵-ج). همچنین افزایش غلظت اسید فولویک و پوترسین تأثیری مثبت بر افزایش میزان کلسیم برگ داشت، به طوریکه بیشترین میزان کلسیم در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک همراه با غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین گزارش گردید (شکل ۵- د). با توجه به شکل ۶، در تمامی سطوح با افزایش میزان اسید فولویک و پوترسین، غلظت آهن برگ افزایش یافت و بیشترین میزان آهن برگ، مربوط به غلظت ۲۰۰

میلی‌گرم در لیتر اسید فولویک و ۴ میلی‌مولار پوترسین (۱۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۶- الف). در همه تیمارها با افزایش سطوح پوترسین و اسید فولویک، غلظت منگنز برگ افزایش یافت و بیشترین غلظت منگنز برگ در تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید فولویک و ۴ میلی‌مولار پوترسین به دست آمد (شکل ۶- ب).

میزان مس برگ نیز با افزایش غلظت اسید فولویک و پوترسین، افزایش یافت. میزان مس با کاربرد اسید فولویک در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب افزایش ۱/۰۶، ۱/۱۰ و ۱/۱۳ برابر در مقایسه با شاهد نشان داد. همچنین کاربرد پوترسین در غلظت‌های ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار به ترتیب میزان مس برگ را ۱/۰۵ ، ۱/۱۳ و ۱/۱۵ برابر در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل ۶- ج و د). یکی از دلایل اصلی بروز مشکلات تغذیه‌ای در محیط رشد گیاهان، وجود غلظت بالای بی‌کربنات در محلول خاک و محیط ریشه است که دلیل آن به وجود آهک فراوان در خاک بر می‌گردد. بی‌کربنات از طریق افزایش pH شیره یاخته‌ای درون آوندها و در نهایت رسوب و غیر فعال شدن برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن و روی و نیز تأثیرات برهمکنشی آن با سایر یون‌ها باعث ایجاد اختلال در رشد و در نهایت کاهش محصول می‌گردد. در پژوهش حاضر مصرف خاکی اسید فولویک و محلول‌پاشی پوترسین سبب بهبود غلظت عناصر غذایی در برگ‌های انگور رقم شاهانی در شرایط خاک قلیایی شد. این افزایش غلظت عناصر غذایی تا حدودی به تأثیر کاربرد خاکی اسید فولویک و تأثیر آن در بهبود ویژگی‌های خاک مربوط می‌باشد. یکی از ویژگی های اسید هیومیک، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد آن است که برای گیاهان بسیار مهم است. اثرات مثبت تیمارهای اسید فولویک بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و بیولوژیکی گیاهان به دلیل بهبود و افزایش جذب عناصر غذایی می‌باشد. به ویژه اسید فولویک که با تأثیر در بهبود جذب پتاسیم، سایر ویژگی‌های گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله اثرات اسید هیومیک که به طور مستقیم با تغذیه گونه‌های گیاهی مختلف مرتبط است، توانایی آن در تحریک فعالیت Plasma Membrane H^+ -ATPase ریشه و افزایش جذب برخی از عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، گوگرد و آهن می‌باشد (Zanin *et al*., 2018). در میان غلظت‌های مختلف پوترسین و اسید فولویک، غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین به همراه غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید فولویک، بیشترین تأثیر را روی میزان جذب عناصر غذایی برگ انگور رقم شاهانی داشت. نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی است و نقش بسیار مهمی در تغذیه گیاهان دارد. پژوهش‌ها نشان داده که اسید فولویک از طریق دو مکانیسم احتمالی بر کارایی مصرف نیتروژن تأثیر می‌گذارد: ۱- اسید فولویک و اوره می‌توانند یک پیوند شیمیایی پایدار ایجاد کنند (Yap *et al*., 2018)،۲- اسید فولویک می‌تواند فعالیت آنزیم اوره‌آز را مهار نموده و سرعت هیدرولیز اوره را کاهش دهد، بنابراین سرعت تبخیر آمونیاک را کاهش می‌دهد (Zhang *et al*, 2018). فسفر جزء مهمی از اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، کوآنزیم NADP و ATP است. در مطالعه حاضر، مشاهده شد که استفاده از اسید فولویک به میزان زیادی جذب فسفر توسط انگور را بهبود بخشید. افزایش در دسترس بودن فسفر ممکن است به این دلیل باشد که اسید فولویک دارای انواع مختلفی از گروه‌های فعال (حاوی اکسیژن) است که می‌توانند یون‌ها را کمپلکس کند. علاوه بر این، اسید فولویک می‌تواند برفعالیت میکروارگانیسم‌های خاک تأثیر گذاشته و در نتیجه انتقال فسفر خاک را در ریزوسفر گیاه کنترل نموده و در نهایت بر قابلیت جذب فسفر تأثیر می‌گذارد (Cheng *et al*., 2020). تنش قلیایی از جذب K^+ جلوگیری نموده، سپس باعث تجمع یون‌های سمی Na^+ می‌گردد. بنابراین نسبت K^+/Na^+ را در سلول‌های گیاهی کاهش می‌دهد. در پژوهشی در فلفل (*Capsicum annuum*)، کاربرد اسید هیومیک نسبت K^+/Na^+ را در سلول‌های گیاهی افزایش داد (Bacilio *et al*., 2016). آهن یک ریز عنصر حیاتی است که نقش مهمی در فرآیندهای بیولوژیکی متعدد ایفا می‌کند و برای سلامت انسان و حیات گیاه ضروری است.

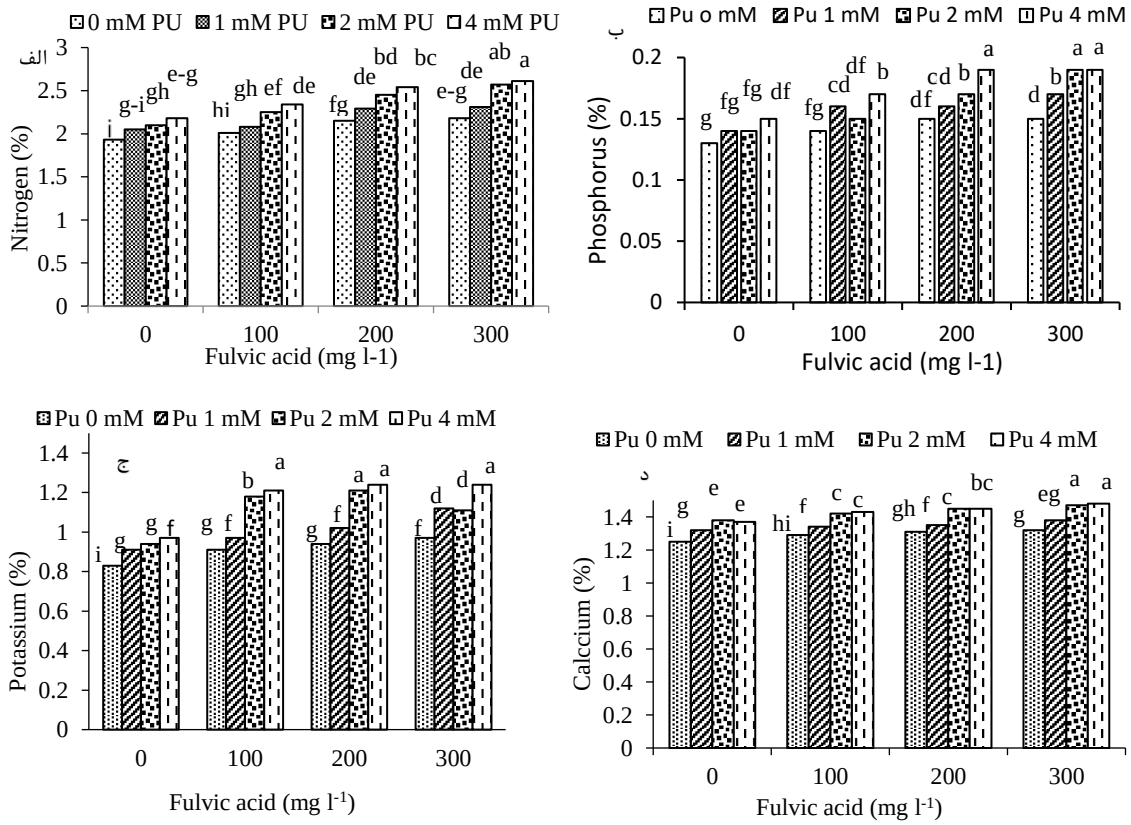
جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف اسید فولویک و پوترسین و برهمکنش آن‌ها بر برخی عناصر غذایی موجود در برگ انگور رقم شاهانی

Table 4 .Variance analysis of the effect of different levels of fulvic acid and putrescine and their interaction on some nutritional elements in Shahani grapevine leaves

Source of variation	Degree of freedom	Mean square							
		N	P	K	Ca	Fe	Zn	Mn	Cu
Fulvic acid (F)	3	4.25 **	1.22 **	0.37 **	1.21 *	3.37 **	0.56 ns	7.67 **	1.36 **
Putrescine (P)	3	3.29 **	1.81 **	0.43 **	1.29 **	3.63 **	0.94 ns	9.32 **	2.65 **
F × P	9	1.93*	1.15 **	0.27 *	0.89 *	2.15 *	0.29 ns	3.25 *	0.69 ns
Error	15	0.63	1.30	0.32	0.19	0.15	1.65	5.96	0.38
CV (%)	-	3.5	4.8	4.6	7.6	4.4	4.6	3.9	5.3

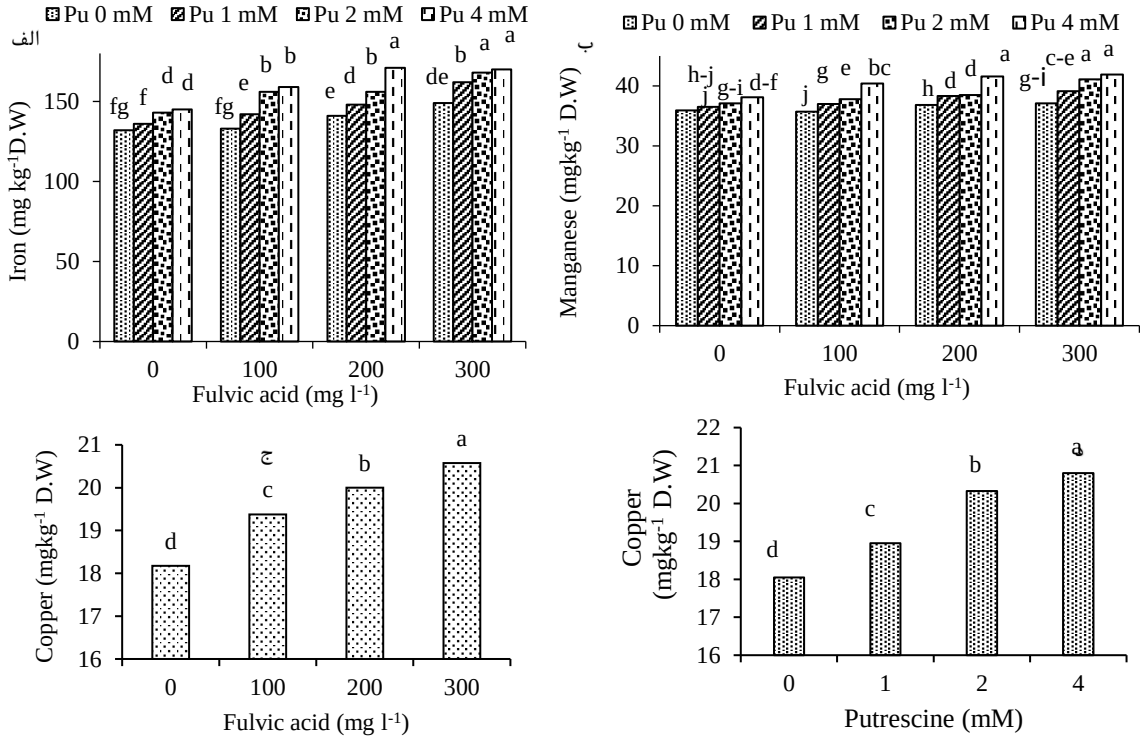
ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at 5% level and significant at 1% levels, respectively



شکل ۵ - اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر میزان (الف) نیتروژن ، (ب) فسفر ، (ج) پتاسیم و (د) کلسیم برگ انگور رقم شاهانی (حروف غیر مشابه، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها طبق آزمون دانکن می‌باشد)

Figure 5. Means comparison of interaction effects of fulvic acid and putrescine on a) nitrogen, b) phosphorus, c) potassium and d) calcium content of leaves in Shahani grapevine (non-similar letters indicate significant difference at the 5% probability level using the Duncan's test)



شکل ۶ – مقایسه میانگین اثرات متقابل اسید فولویک و پوترسین بر میزان (الف) آهن و (ب) منگنز و (ج و د) اثرات اصلی اسید فولویک و پوترسین بر میزان مس برگ انگور رقم شاهانی (حروف غیر مشابه، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها طبق آزمون دانکن می‌باشد)

Figure 6. Means comparison of interaction effects of fulvic acid and putrescine on a) iron and b) manganese, zinc and c-d) main effects of fulvic acid and putrescine on copper content of leaves in Shahani grapevine (non-similar letters indicate significant difference at the 5% probability level using the Duncan's test)

کمبود آهن می‌تواند انتقال الکترون و سنتز ATP را مختل کند و منجر به کاهش در دسترسی انرژی برای رشد گیاه و فرآیندهای فتوسنتزی شود. در خاک‌های قلیایی با pH ۷/۴ تا ۸/۵، عنصر آهن تمایل به حلالیت کم و سینتیک انحلال آهسته دارد. جذب آهن توسط گیاهانی که در خاک‌های قلیایی رشد می‌کنند با افزایش سطوح بی‌کربنات، کاسته می‌شود. در نتیجه، غلظت آهن موجود برای رشد مطلوب گیاه ناکافی بوده و منجر به بروز کمبود آهن در گیاه می‌شود (Hsieh & Waters, 2016). در پژوهشی در گیاهان تحت تنش شوری *Vigna radiata* L. کاربرد پلی‌آمین‌های اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین باعث افزایش جذب عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و روی در ریشه و شاخساره شد (Nahar *et al*., 2016).

نتیجه‌گیری کلی

تنش قلیایی بر رشد و نمو انگور رقم شاهانی اثر منفی داشت. نتایج این پژوهش، نقش مثبت پوترسین و اسید فولویک را در بهبود شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی در انگور در شرایط خاک قلیایی نشان داد. غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار پوترسین همراه با غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید فولویک، بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های فیزیولوژیک و میزان جذب عناصر غذایی برگ انگور رقم شاهانی داشت. استفاده از اسید فولویک و پوترسین باعث افزایش وزن تر شاخساره و ریشه، قندهای محلول، پرولین، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، مس و منگنز و کاهش نشت یونی در انگور رقم شاهانی تحت تنش قلیایی شد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند برای بهبود رشد و نمو انگور رقم شاهانی در خاک‌های قلیایی مورد استفاده قرار گیرد.

Refrrences

Altaf F., Parveen S., Farooq S., Ul Haq A., Lone M.L., Tahir I., Kaushik P., and El-Serehy H.A. 2023. Polyamines effectively mitigate senescence in persistent leaves of *Berginia ciliate* – a novel model system. *Functional Plant Biology*, 50: 134–143.

Bacilio M., Moreno M., and Bashan Y. 2016. Mitigation of negative effects of progressive soil salinity gradients by application of humic acids and inoculation with *Pseudomonas stutzeri* in a salt-tolerant and a salt-susceptible pepper. *Applied Soil Ecology,* 107: 394–404.

Chen D., Shao Q., Yin L., Younis A., and Zheng B. 2019. Polyamine Function in Plants: Metabolism, Regulation on Development, and Roles in Abiotic Stress Responses. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1945.

Chen H., Bullock D.A., Alonso J.M., and Stepanova A.N. 2022. To fight or to grow: The balancing role of ethylene in plant abiotic stress responses. *Plants*, 11: 33.

Cheng H.Y., Zhu X.Z., Sun R.X., Niu Y.N., Yu Q., Shen Y.F., and Li S.Q. 2020. Effects of different mulching and fertilization on phosphorus transformation in upland farmland. *Journal of Environmental Management*, 253: 1.

El-Badri A.M., Batool M., Mohamed I. A.A., Wang Z., Khatab A., Sherif A., Ahmad H., Khan M.N., Hassan H.M., and Elrewainy, I.M. 2021. Antioxidative and metabolic contribution to salinity stress responses in two Rapeseed cultivars during the early seedling stage. *Antioxidants*, 10: 1227.

Elmongy M.S., Zhou H., Cao Y., Liu B., and Xia Y. 2018. The effect of humic acid on endogenous hormone levels and antioxidant enzyme activity during in vitro rooting of evergreen azalea. *Scientia Horticulcturae*, 227: 234-243.

Eshwar M., Srilatha M., Bhanu Rekha, K., and Harish Kumar Sharma, S. 2017. Effect of humic substances (humic, fulvic acid) and chemical fertilizers on nutrient uptake, dry matter production of aerobic rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5): 1063-1066.

Fanga Z., Wanga, X., Zhanga X., Daqiu Zhaoa, D., and Jun Taoa J. 2020. Effects of fulvic acid on the photosynthetic and physiological characteristics of *Paeonia ostii* under drought stress. *Plant Signaling and Behavior*, 15(7): 1774714.

Gong X., Shi S., Dou F., Song Y., and Ma F. 2017. Exogenous melatonin alleviates alkaline stress in *Malus hupehensis* rehd. by regulating the biosynthesis of polyamines. *Molecules*, 22: 1-20.

Hsieh E-J., and Waters B.M. 2016. Alkaline stress and iron deficiency regulate iron uptake and riboflavin synthesis gene expression differently in root and leaf tissue: implications for iron deficiency chlorosis. *Journal of Experimental Botany,* 67(19):5671–85.

Irigoyen J.J., Emerich D.W., and Sanchez- Diaz M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa *(Medicago sativa*) plants. *Plant Physiology*, 84: 55-60.

Jesmin A., Anh L.H., Mai, N.P., Khanh, T.D., and Xuan, T.D. 2023. Fulvic acid improves salinity tolerance of rice seedlings: evidence from Phenotypic Performance, Relevant Phenolic Acids, and Momilactones. *Plants*, 12: 2359.

Karimi R., and Salimi F. 2021. Iron-chlorosis tolerance screening of 12 commercial grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars based on phytochemical indices. *Scientia Horticulturae*, 283: 110111.

Lechowska K., Wojtyla L., Quinet M., Kubala S., Lutts S., and Garnczarska M. 2022. Endogenous polyamines and ethylene biosynthesis in relation to germination of osmoprimed *Brassica napus* seeds under salt stress. *International Journal of Molecular Sciences,* 23: 349.

Lu X., Ma L., Zhang C., Yan H., Bao J., Gong M., Wang W., Li S., Ma S., and Chen B. 2022. Grapevine (*Vitis vinifera*) responses to salt stress and alkali stress: transcriptional and metabolic profiling. *BMC Plant Biology*, 22: 528

Lutts S., Kinet J.M., and Bouharmont, J. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal* of *Experimental Botany,* 46, 1843-1852.

Miao Z.H., Li K., Liu P.Y., Li Z.L., Yang H.J., Zhao Q.L., Chang M.L., Yang Q.Z., Zhen L., and Xu C.Y. 2018. Natural Humic-Acid-Based Phototheranostic Agent. *Advanced Healthcare* Materials, 177:1-10.

Mustafavi S. H., Naghdi Badi H., Sękara A., Mehrafarin A., Janda T., Ghorbanpour M., and Rafiee H. 2018. Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. Acta *Physiologiae Plantarum*, 40 (102): 1-19.

Nahar K., Hasanuzzaman M., Rahman A., Alam M.M., Mahmud J.A., Suzuki T., and Fujita M. 2016. Polyamines confer salt tolerance in mung bean (Vigna radiata L.) by reducing sodium uptake, improving nutrient homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification systems. *Frontiers in Plant Science,* 7:1104.

Paquin R., and Lechasseur P. 1979. Observationssur une method de dosage de la proline libre dans les extraits de plants. *Canadian Journal of Botany*, 57: 1851-1854.

Saleem A., Zulfiqar A., Saleem M.Z., Ali B., Saleem M.H., Ali S., Tufekci E.D., Tufekci A.R., Rahimi M., and Mostafa, R.M. 2023. Alkaline and acidic soil constraints on iron accumulation by rice cultivars in relation to several physio-biochemical parameters. *BMC Plant Biology*, 23:397.

Shao J., Huang K., Batool M., Idrees F., Afzal R., Haroon M., Noushahi H.A., Wu W., Hu Q., Lu X., Huang G., Aamer M., Hassan M.U., and El Sabagh A. 2022. Versatile roles of polyamines in improving abiotic stress tolerance of plants. *Frontiers in Plant Science*, 13:1003155.

Stassinos P.M., Rossi M., Borromeo I., Capo, C., Beninati S., and Forni C. 2021. Enhancement of *Brassica napus* tolerance to high saline conditions by seed priming. *Plants*, 10: 403.

Sun R., Zheng H., Yin S., Zhang X., You X., Wu H., Suo F., Han K., Cheng Y., Zhang C., and Li Y. 2022. Comparative study of pyrochar and hydrochar on peanut seedling growth in a coastal salt-affected soil of yellow river delta. *China Science of the Total Environment*, 833: 155183.

Tripathi D.K., Bhat J.A., Ahmad P., and Allakhverdiev S.I. 2023. Polyamines and nitric oxide crosstalk in plant development and abiotic stress tolerance. *Functional Plant Biology*, 50(2): 1-4.

Turner N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant Soil*, 58: 339-366.

Wankhede S., Vasu D., Tiwary P., and Chandran P. 2021. Variability in soil properties under pomegranate cultivation and their relationship with fruit yield. *Journal of the Indian Society of Soil Science,* 69 (4): 411-421.

Xu J., Sui C., Ge J., Ren R., Pang Y., Gan H., Du Y., Cao H., and Sun Q. 2024. Exogenous spermidine improved the salinity-alkalinity stress tolerance of grapevine (*Vitis vinifera*) by regulating antioxidant system, Na^+/K^+ homeostasis and endogenous polyamine contents. *Scientia Horticulturae*, 326:112725.

Yap S.D., Astals S., Lu Y., Peces M., Jensen P.D., Batstone D.J., and Tait S. 2018. Humic acid inhibition of hydrolysis and methanogenesis with different anaerobic inocula. *Waste Management*, 80: 130–136.

Zanin L., Tomasi N., Zamboni A., Sega D., Varanini Z., and Pinton R. 2018. Water extractable humic substances speed up transcriptional response of maize roots to nitrate. *Environmental and Experimental Botany*, 147:167-178.

Zhang J., Yin H., Chen L., Liu F., and Chen H. 2018. The role of different functional groups in a novel adsorption-complexation-reduction multi-step kinetic model for hexavalent chromium retention by undissolved humic acid. *Environmental Pollution*, 237: 740–746.

Zhang M., Li X., Wang X., Feng J., and Zhu S. 2023. Potassium fulvic acid alleviates salt stress of citrus by regulating rhizosphere microbial community, osmotic substances and enzyme activities. *Frontiers in Plant Science*, 14:1161469.

Zhang X., Li S., Tang T., Liu Y., Tahir M.M., Wang C., Meng Z., Niu J., Yang, W., Ma J., and Zhang D. 2022. Comparison of morphological, physiological, and related-gene expression responses to saline-alkali stress in eight apple rootstock genotypes. *Scientia Horticulturae,* 306: 111405.