

بررسی کاربرد اسید هیومیک و گلايسين در تعديل اثرات منفي تنش خشكي بر برخي از صفات بيوشيميايي پياز رقم مينروا

حامد محمدی^۱، محسن خدادادی^{۲*}، سپیده کلاته جاری^۱ و مرجان دیانت^۱

^۱ گروه کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ موسسه تحقیقات علوم باغبانی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷)

چکیده

تنش آبی و درصد کم مواد غذایی خاک در اقلیم‌های خشک از عوامل محدودکننده رشد محصولات کشاورزی به شمار می‌روند. تغذیه متناسب گیاهان در کاهش اثرهای منفی تنش خشکی، مفید است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمار تنش خشکی (در سه سطح (۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه)) و تیمارهای در برگیرنده گلايسين بتائين و اسید هیومیک (در شش سطح (عدم کاربرد، ۲ میلی‌مولار گلايسين بتائين، ۴ میلی‌مولار گلايسين بتائين، ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و گلايسين بتائين ۲ میلی‌مولار + ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک) در سه تکرار بود. با توجه به نتایج، هر دو تیمار خشکی و اسیدآمینة در افزایش کربوهیدرات محلول نقش داشت. به‌طوریکه بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول در تیمار گلايسين بتائين ۲ + اسید هیومیک ۴ و در شدیدترین تنش خشکی به کار رفته (۵۵٪) به میزان ۱/۲۱ میلی‌گرم/گرم مشاهده شد. افزایش شدت تنش خشکی منجر به افزایش مقادیر ویتامین سی و اسید پیرویک شد. به عبارتی پیازهایی که آب کمتر دریافت کرده بودند تندتر بودند. هر دو اسیدآمینة در همه غلظت‌های استفاده‌شده در افزایش ویتامین سی و اسید پیرویک اثر داشت با افزایش سطح تنش، مقدار تولید فنول کل نیز افزایش یافت به صورتی‌که در تیمار ۵۵ درصد آبیاری، میزان فنول کل شاهد نسبت به شرایط بدون تنش، ۵ درصد افزایش تولید نشان داد. با افزایش تنش خشکی میزان نیتروژن و فسفر گیاه کم شد. همچنین کمترین مقدار کلسیم در تیمار شاهد و کاربرد توأم اسیدآمینة گلايسين ۲ میلی‌مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. به‌طورکلی هر دو تیمار اسید هیومیک و گلايسين بتائين در کاهش خسارت ناشی از تنش مؤثر بوده و اعمال همزمان هر دو ماده در غلظت مناسب در افزایش عناصر غذایی، میزان پرولین و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش خشکی اثرگذار بود.

واژه‌های کلیدی: اسید پیروویک، پرولین، کاتالاز، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، نیتروژن

مقدمه

شمار می‌روند (Gavili et al., 2018). از یک سو، تغذیه

متناسب گیاهان در کاهش اثرهای منفی تنش‌های زیستی از

جمله تنش خشکی، مفید است (Van den Berg and Zeng,)

محدودیت آبی و درصد کم مواد آلی خاک در اقلیم‌های

خشک از عوامل محدودکننده رشد محصولات کشاورزی به

* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: kodadadi@yahoo.com

استفاده از کودهای آلی در طی زمان می‌تواند به افزایش مقدار ماده آلی خاک بینجامد. تغذیه مناسب گیاهان در کاهش اثرهای منفی تنش‌های زیستی، از جمله تنش خشکی، مفید است. افزودن اسید هیومیک به خاک، حاصلخیزی آن را افزایش می‌دهد ضمن اینکه از نظر مواد غذایی نیز غنی است. افزایش تعداد و فعالیت ریزموجودات خاک نیز از فواید استعمال اسید هیومیک است (Mikkelsen, 2005). اسید هیومیک در فعال‌سازی آنزیمی، سوخت‌وساز پروتئین، فتوسنتز، تعرق، جذب آب و مواد غذایی بواسطه جریان هورمونی، نسبت هیدروکسی پرولین به پرولین، نفوذپذیری غشای سلولی، اجزای دخیل در انتقال زنجیره الکترون و فعالیت رادیکال‌های آزاد در ساختار اسید هیومیک و گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان (Calvo et al., 2014)، جذب فسفر و اکسیژن و بهبود رشد ریشه نقش دارند (Fahramand et al., 2014). گفته شده است که اسید هیومیک در فعالیت آنزیم $H^+ATPase$ که در غشای سلولی قرار دارد و پروتون‌ها را به خارج از سلول پمپ می‌کند و باعث ایجاد جریان شیب الکتروشیمیایی از طریق غشای سلولی که نهایتاً باعث جذب عناصر غذایی می‌شود، نیز نقش دارد (Canellas and Olivares, 2014).

گلاسیسین به عنوان محافظ اسمزی، ساختمان چهارم پروتئین‌ها و ساختار غشاهای سلولی را از اثرات مضر تنش شوری، خشکی و گرما محافظت می‌کند (Sakamoto and Murata, 2002). در ذرت استعمال گلاسیسین بتائین به افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی منتهی شد (Iqbal and Shababuddin, 2008). گزارش شده است که کاربرد گلاسیسین بتائین موجب کاهش پراکسیداسیون لیپید و افزایش مقدار پرولین و کلروفیل و افزایش سطح برگ سوم در گوجه گردید (تقدیسی سیار و همکاران، ۱۳۹۵). کاهش در میزان تولید محصول پیاز در رقم Bhima Kiran تحت تنش خشکی، غالباً به دلیل کاهش قابل ملاحظه در اندازه لایه‌های مرکزی است (Ghodke et al., 2018). میزان ماده جامد به عنوان شاخص مفید در طعم پیاز به شمار می‌رود (Ghodke et al., 2018). با افزایش مقدار آبیاری، محتوای مواد جامد محلول غده افزایش

نشان داد که این افزایش به دلیل دسترسی مطلوب به مواد غذایی در اثر وجود مقدار رطوبت بهینه برای رشد است (Kumar et al., 2007). در تنش خشکی در پیاز رقم Bhima Kiran، میزان مواد جامد در تنش خشکی افزایش یافت. گفته شده است که در تنش ملایم خشکی، میزان مواد جامد کل افزایش می‌یابد که منجر به افزایش کیفیت و طعم می‌گردد (Ghodke et al., 2018). کاربرد اسید آمینه لیزین در پیاز، مقدار مواد جامد محلول سوخ را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Rafie et al., 2017). هر چند در زمینه تأثیر تنش کم آبی در پیاز مطالعاتی صورت گرفته است اما تاکنون در ایران مطالعه‌ای مبنی بر تأثیر بکار بردن تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی پیاز صورت نگرفته است لذا خلا وجود تحقیقی با این هدف محسوس است. اهمیت اقتصادی پیاز، لزوم انجام طرحی در راستای کاهش تنش خشکی در این محصول استراتژیک را ضروری نموده است. از این‌رو مطالعه حاضر به منظور اعمال تیمارهایی در برابر تنش خشکی است تا بتوان میزان کارآمدی تیمارهای اعمال‌شده را مورد آزمایش قرار داد. مطالعه حاضر می‌تواند به معرفی تیمار مناسب در شرایط تنش کمک نماید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های رشدی و فیتوشیمیایی غده‌های تولیدی پیاز و کاربرد ماده گلاسیسین بتائین و اسید هیومیک به عنوان مواد کاهش‌دهنده اثرات منفی تنش خشکی به صورت مجزا و تلفیقی پرداخته شد. در راستای تعیین و انتخاب تیمار مناسب، کارایی تأثیر این تیمارها در مقایسه با یکدیگر و شاهد بر عملکرد و رشد پیاز، مورد قیاس قرار گرفت تا در نهایت تیمار برتر و کارآمد برای شرایط اقلیمی منطقه، معرفی شود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شهرستان جیرفت ($X=586155$, $Y=3156048$ UTM) انجام شد. به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف اسید هیومیک و گلاسیسین بتائین بر تحمل به خشکی گیاه پیاز رقم مینرو آزمایشی گلدانی

جدول ۱- آنالیز خاک استفاده شده در آزمایش

بافت خاک	شن (%)	ماسه (%)	لوم (%)	درصد مواد آلی	pH	EC (dS m-1)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	کربنات کلسیم (%)
لوم شنی	۴۰	۳۳	۲۷	۰/۵۷	۷/۵	۲/۴۵	۲۱۰	۱۵	۱۴/۸

جدول ۲- داده‌های هواشناسی منطقه جیرفت طی دوره رشد

بازه زمانی	حداکثر رطوبت نسبی هوا %	حداقل رطوبت نسبی هوا %	حداکثر دما (C)	حداقل دما (C)	میانگین بارش (mm)	تبخیر ۲۴ ساعته	ساعت آفتابی
شهریور	۳۸	۲۰	۴۰/۴	۲۷/۹	-	۴۲۵/۲	۳۳۴/۸
مهر	۵۵	۳۵	۳۶/۹	۲۳/۸	-	۳۰۷/۷	۲۹۵/۶
آبان	۵۵	۲۸	۳۰/۲	۱۷/۳	-	۲۰۰/۶	۲۸۲/۱
آذر	۵۸	۲۸	۲۱/۳	۹/۴	۶/۳	۱۰۵/۷	۲۲۸/۷
دی	۶۴	۲۹	۲۲	۹/۱	۶	۱۱۰/۸	۲۵۹/۴

به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش کم خشکی در سه سطح (۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) و تیمارهای در برگیرنده گلیسین بتائین و اسید هیومیک در شش سطح (عدم کاربرد، ۲ میلی مولار گلیسین بتائین، ۴ میلی مولار گلیسین بتائین، ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و گلیسین بتائین ۲ میلی مولار + ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک) بود. در این آزمایش از آنیون ست (پیاز کوچک) رقم هیبرید مینروا که از ارقام رایج در کشت پیاز در منطقه جیرفت است، استفاده شد. به این ترتیب کشت آنیون ست‌ها به صورت مستقیم در گلدان‌هایی با قطر ۲۵ سانتی متر و در هر گلدان ۹ پیاز و ترکیب بستر خاک زراعی و ماسه به نسبت ۱:۱ در اواسط شهریور انجام شد و در نهایت سه بوته با رشد یکسان برای ادامه آزمایش و اندازه‌گیری صفات در هر گلدان نگه داشته شد. بذر پیاز رقم مینروا از شرکت انزا هلند تهیه شد. با ذکر این توضیح که بذر پیاز ابتدا در خزانه کشت شده و بعد از ۵۰ روز تبدیل به آنیون ست می‌گردد. سپس به انبارهای با دمای ۱۸-۲۱ درجه منتقل و پس از دو ماه نگهداری آنیون ست‌ها قابل کشت است. در آزمایش فوق از آنیون ست‌های حاصل از بذر استفاده گردید. گلیسین

بتائین از شرکت مرک آلمان و اسید هیومیک نشان هیومیک پلاس (لئوناردیت فراوری شده اسپانیا، خریداری شده از شرکت صنایع شیمیایی سبزگل) تهیه شد.

مقدار کودهای بکار برده شده بر اساس کشاورزی رایج در منطقه استفاده شد. مراحل رشدی پیازها ثبت شد و نهایتاً صفت‌های مورد نظر اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ و داده‌ها هواشناسی منطقه جیرفت طی دوره رشد در جدول ۲ آورده شده است.

اسید هیومیک استفاده شده شامل ۵۳ درصد هیومیک اسید و ۱۲ درصد اسید فولیک (وزنی به وزنی) بود. بنابر توصیه شرکت تولیدکننده به تکرار اعمال تیمار تا رسیدن ۸ الی ۱۵ کیلو در هکتار برای گیاهان یک ساله، بنابراین تیمار مذکور طی دو مرحله - هنگام آماده‌سازی بسترها و مرحله دوم قبل از کشت آنیون ست - به خاک افزوده شد. تیمار محلول‌پاشی برگ‌گی گلیسین از دو هفته پس از کشت و در طی مرحله رشد به صورت ماهانه و با استفاده از اسپری دستی و صبح زود اعمال گردید. تنش خشکی براساس روش وزنی انجام شد (Shibairo et al., 1998). از سه هفته پس از کشت آنیون ست‌ها و طی دوره آزمایش، در صورت مشاهده کاهش محتوای آب گلدان (با توزین گلدان‌ها)، آبیاری تا رسیدن به

سطح تیمار مربوطه صورت پذیرفت. در انتهای آزمایش یعنی در مرحله برداشت پیاز در دی ماه تجزیه عناصر گیاه و صفات فیزیولوژیکی در آزمایشگاه خاکشناسی خاک آزما سبزواران شهرستان جیرفت و صفات بیوشیمیایی در آزمایشگاه غذا و داروی شهرستان مشکین شهر انجام شد.

نیترژن به روش کج‌دال (Bremmer and Mulvaney, 1982)، فسفر، پتاسیم و کلسیم با روش ICP اندازه‌گیری شد (Van de Wael, 2003). میزان پرولین از روش Bates و همکاران اندازه‌گیری شد (۱۹۷۳). ۱۰۰ میلی گرم نمونه وزن شده و به میکروتیوب ۱/۵ میلی لیتری انتقال داده شد. سپس به نمونه برگ ازت مایع افزوده و پودر گردید. ۴۰۰ میکرولیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد به نمونه اضافه و به مدت پنج دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰، قرار داده شد. ۲۰۰ میکرولیتر از محلول شفاف رویی به میکروتیوب جدید منتقل و به آن ۲۰۰ میکرولیتر معرف ناین هیدرین و ۲۰۰ میکرولیتر اسید استیک گلایسال افزوده شد. محلول به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری ۱۰۰ درجه قرار داده شد. بعد از سرد شدن، عدد جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر اسپکتروفتومتر خوانده گردید. مقدار فنول کل با روش اسپکتروفتومتری و با تست فولین سیوکالتیو (Folin-Ciocalteu) با اندکی تغییر مطابق روش Singleton و Rossi (۱۹۶۵) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آنتی اکسیدان، یک میلی لیتر از عصاره متانولی با یک میلی لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی مولار مخلوط گردید. از متانول خالص به عنوان شاهد استفاده شد. نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در شرایط بدون نور نگهداری شدند و سپس قرائت در طول موج ۵۱۷ نانومتر اسپکتروفتومتر انجام شد (Ebrahimzadeh et al., 2009). به منظور اندازه‌گیری اسید پیروویک یا شاخص تند پیاز، از روش رنگ‌سنجی با روش ۴-۲-دی‌نیترو فنیل هیدرازین (DNPH) استفاده شد. پس از حذف پوسته‌های بیرونی، هر گرم از سوخ با یک میلی لیتر آب مقطر مخلوط و از صافی عبور داده می‌شود. به ماده حاصله، نیم میلی لیتر DNPH افزوده شده و سپس در حمام آب با ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و در طول موج ۶۲۰ نانومتر اسپکتروفتومتر خوانده شد (Gordon

and Barrett, 2003). اندازه‌گیری ویتامین ث به روش تیتراسیون با محلول رنگی دی کلرو فنول ایندوفنول انجام شد (ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴). به منظور اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول، نمونه‌های برگ ابتدا در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شده، پس از آن کربوهیدرات‌های محلول از طریق سه بار عصاره‌گیری یک گرم ماده خشک برگ در ۱۵ میلی لیتر الکل اتیلیک داغ ۸۰ درصد استخراج شد و در نهایت غلظت کربوهیدرات‌های محلول به وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۵ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف گلوکز، تعیین شد (Ahmadi and Sio-Se Mardeh, 2004). میزان مواد جامد محلول پیازها با استفاده از دستگاه رفاکتومتر در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. برای این منظور، چند قطره از عصاره آب سوخ بر روی سطح شیشه رفاکتومتر قرار داده و پس از تنظیم دستگاه عدد مربوطه خوانده و یادداشت شد. میزان مواد جامد محلول بر حسب درصد (درجه بریکس) بیان می‌گردد (طباطبایی، ۱۳۸۸).

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش Mac-Adam و همکاران (۱۹۹۲) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۵ نانومتر در مدت ۶۰ ثانیه استفاده می‌شود. در آن از بافر فسفات سدیم ۲۰ میلی مولار با pH معادل ۶ و گایاکول ۲۰۰ میلی مولار به عنوان الکترون‌دهنده و ۱۰ میکرولیتر هیدروژن پراکساید ۳۰ درصد (وزنی/حجمی) به عنوان پذیرنده الکترون مورد استفاده قرار گرفت و بر حسب واحد در میلی گرم پروتئین بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز و آنزیم پلی فنل اکسیداز: سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس روش Gong و همکاران (۱۹۹۷) انجام گرفت. ابتدا در هر دو کووت شاهد و کووت نمونه مقدار ۳ میلی لیتر بافر فسفات سدیم ریخته و به آن‌ها مقدار ۴/۵۱ میکرولیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد اضافه گردید. سپس هر دو کووت درون دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده شد. و عدد قرائت شده دستگاه صفر گردید. در مرحله بعد به کووت شاهد مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی اضافه شده و

بلافاصله تغییرات جذب آن در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۱۲۰ ثانیه و با فواصل ۱۰ ثانیه‌ای خوانده شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بر حسب واحد در گرم برگ تازه طبق رابطه زیر محاسبه گردید. هر یک واحد از فعالیت آنزیم کاتالاز به عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب تجزیه یک میکرومول آب اکسیژنه در هر دقیقه می‌شود. پلی‌فنل اکسیداز با روش Mohammadi و Kazemi (۲۰۰۲) صورت گرفت.

از نرم‌افزار SAS 9.1 و Excel برای تجزیه‌های آماری و رسم نمودار و جهت تجزیه واریانس تیمارها و مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

مواد جامد محلول، کربوهیدرات کل: نتایج تجزیه واریانس جدول ۳ نشان داد اثر ساده و متقابل تیمارها بر میزان کربوهیدرات موجود در برگ پیاز اثر معنی‌دار داشت. همچنین طبق نتایج همین جدول اثرات ساده دو تیمار مورد بررسی بر میزان مواد جامد محلول نیز مؤثر بود. خشکی منجر به کاهش مواد جامد محلول پیاز شد. با توجه به نتایج جدول ۵ درصد مواد جامد محلول از ۸/۶ به ۴/۶ کاهش یافت. از طرفی استفاده از تیمارهای مربوط به اسیدآمینه منجر به افزایش مقادیر مواد جامد محلول (جدول ۶) و کربوهیدرات کل شد. با توجه به نتایج برهمکنش تنش خشکی و اسیدآمینه هر دو تیمار خشکی و اسیدآمینه در افزایش کربوهیدرات محلول نقش داشت. به‌طوریکه بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول در تیمار گلیسین بتائین ۲ + اسید هیومیک ۴ و در شدیدترین تنش خشکی به کار رفته (۵۵٪) به میزان ۱/۲۱ میلی‌گرم/گرم مشاهده شد (شکل ۱). از عوامل مهمی که در کیفیت سوخ مؤثر است درصد ماده خشک و میزان کل مواد جامد محلول است. این دو از عوامل مهم کیفیت بوده و نقش مهمی در تولید فراورده‌های پیاز از جمله عصاره غلیظ شده و روغن پیاز دارد که میزان آن در سوخ بسته به عوامل زراعی و رقم مورد

استفاده متفاوت است (Resemann et al., 2008; Rostam Foroudi, 2006). افزایش مقدار قند با کاربرد گلیسین بتائین به عنوان یک اسمولیت سازگار می‌تواند به دلیل نقش این ماده در بهبود روابط آبی گیاه باشد. از آنجا که فتوسنتز نیاز به شرایط آبی مناسب دارد در نتیجه محلول‌پاشی با گلیسین بتائین روابط آبی در گیاه بهبود یافته و شرایط برای فتوسنتز بهتر می‌شود. به این ترتیب تولید محصولات فتوسنتزی مثل قندهای محلول بیشتر می‌شود. نتایج بدست آمده در این رساله با نتایج Gorham و همکاران (۲۰۰۰) و Makhdum و Shababuddin (۲۰۰۶) روی گیاه پنبه مطابقت دارد. مصرف خاکی و برگی آمینواسیدها نیز سبب افزایش میزان مواد جامد محلول این محصول نسبت به شاهد شد. نتایج این بررسی بیان می‌کند که افزایش میزان TSS ممکن است مرتبط با آنزیم‌هایی باشد که افزایش سنتز پروتئین‌ها، اسیدها و قندهای مختلف را بر عهده دارد (Abd El-Rezak and Saleh, 2012). مطالعات محلول‌پاشی گلوتامین به عنوان یک اسیدآمینه بر افزایش درصد نیتروژن، پروتئین، مواد جامد محلول، درصد کربوهیدرات و درصد ماده خشک پیاز اثر دارد (Shafeek et al., 2012).

ویتامین سی و اسید پیرویک: با اعمال سطوح متفاوت تنش خشکی بین مقادیر ویتامین سی و اسید پیرویک موجود در عصاره پیاز اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ مشاهده شد. همچنین کاربرد سطوح متفاوت اسیدآمینه بر مقدار این دو صفت اثرگذار بود. این در حالی است که برهمکنش این تیمارها بر مقادیر ویتامین سی و اسید پیرویک اثر معنی‌دار نداشت. طعم پیاز به هیدرولیز آنزیمی موادی تحت عنوان آلین، متین، ایزوآلین و پرولین به همراه مواد گلوکاتیونی بستگی دارد (Durenkamp and Dekok, 2004). تمامی این مواد تا زمانی که بافت آن آسیب ندیده بی‌بو هستند، در زمان برش مکانیکی، سلول‌ها با عملکرد ویژه آنزیمی از جمله آلیناز که از واکوئل آزاد می‌شود، تجزیه آنها شروع و در نهایت مقادیری آمونیاک و اسید پیرویک تولید می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین اسید پیرویک تولیدشده و خصوصیت

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیوشیمیایی پیاز رقم مینرو تحت تأثیر تنش خشکی و کاربرد تیمارهای اسید هیومیک و گلیسین بتائین

منابع تغییرات	درجه آزادی	کربوهیدرات	مواد جامد محلول	پراکسیداز	کاتالاز	پلی فنل اکسیداز	ویتامین سی	اسید پیرویک
تنش خشکی	۲	۰/۰۴**	۷۲/۰۷**	۷/۹۸**	۴۹/۹۹**	۲۵۱/۸۴**	۲۶۷۲/۱۴**	۲۷۶/۹۵**
اسید آمینه	۵	۰/۰۰۵**	۰/۳۲**	۲/۸۶**	۱/۴۹**	۵/۶۱**	۳۹۷/۷۹**	۴۱/۳۸**
تنش خشکی × اسید آمینه	۱۰	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۲**	۱/۰۳**	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}
خطای آزمایشی	۳۶	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۲/۲۷	۰/۴۹

*, ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns بیانگر اختلاف غیر معنی دار

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس برخی از صفات فیزیوشیمیایی پیاز رقم مینرو تحت تأثیر تنش خشکی و کاربرد تیمارهای اسید هیومیک و گلیسین بتائین

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	فعالیت آنتی اکسیدان	فنل کل	کلسیم	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
تنش خشکی	۲	۰/۸۳**	۲/۴۹**	۱/۵۸**	۰/۰۲**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۴**	۰/۰۷**
اسید آمینه	۵	۰/۰۴**	۰/۴۶**	۰/۲۳**	۰/۰۱**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۲**	۰/۰۱**
تنش خشکی × اسید آمینه	۱۰	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۴**	۰/۰۲۴**	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴ ^{ns}
خطای آزمایشی	۳۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳

*, ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns بیانگر اختلاف غیر معنی دار

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده تنش خشکی بر صفات فیزیوشیمیایی پیاز رقم مینرو

تنش خشکی (FC %)	مواد جامد محلول	پراکسیداز (Unit.gfw ⁻¹ .min ⁻¹)	N g/kg	P g/kg	K g/kg
۸۵	۸/۶۲ ^a	۲/۰۸ ^c	۰/۰۸۱ ^a	۰/۰۶۴ ^a	۰/۴۵۳ ^a
۷۰	۶/۳۰ ^b	۲/۴۸ ^b	۰/۰۶۵ ^b	۰/۰۴۲ ^b	۰/۳۷۷ ^b
۵۵	۴/۶۴ ^c	۳/۳۸ ^a	۰/۰۵۱ ^c	۰/۰۳۴ ^c	۰/۳۲۶ ^c

میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی دار با یکدیگر ندارند ($P \leq 0.05$).

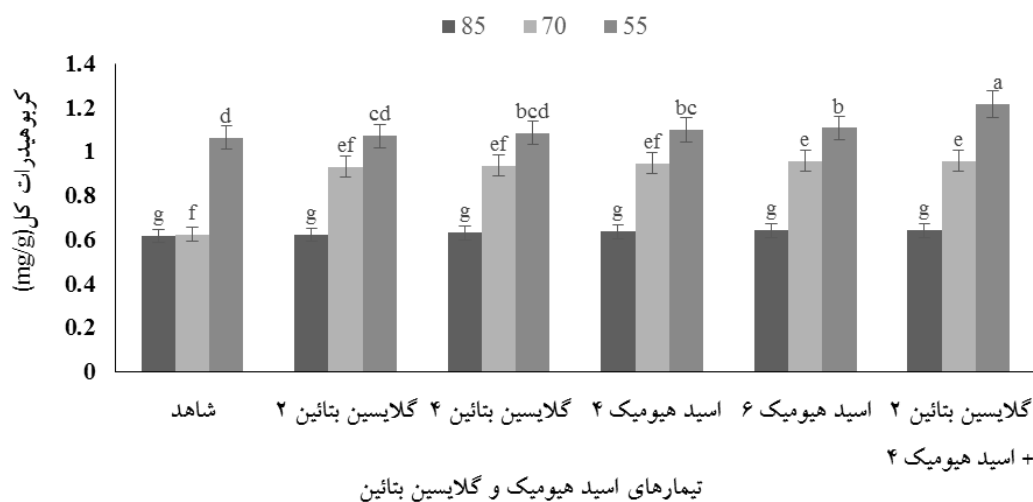
سی از ۲۵ به ۴۹ میلی گرم (شکل ۳) و مقدار اسید پیرویک از ۸ به ۱۶ میکرومول (شکل ۲) رسید. هر دو اسید آمینه در همه غلظت‌های استفاده شده در افزایش ویتامین سی و اسید پیرویک اثر داشت (شکل ۵ و ۴). به طوریکه با کاربرد گلیسین بتائین ۲ میلی مولار مقدار ویتامین سی و اسید پیرویک به ترتیب ۵۵ و ۴۷٪ نسبت به شاهد افزایش داشت. در پژوهشی اسپری ترکیبات اوره و آمینواسیدها روی گیاه اسکواش، بهترین

تندی وجود دارد. به عبارت دیگر اندازه مقادیر ترکیبات پیش رو در طعم و مزه پیاز از جمله اسید پیرویک به طور متناوب با اندازه گیری‌های طعم یا تندی پیاز در ارتباط است (Dhumal et al., 2006). در این تحقیق افزایش شدت تنش خشکی منجر به افزایش مقادیر ویتامین سی و اسید پیرویک شد. به عبارتی پیازهایی که آب کمتر دریافت کرده بودند تندتر بودند. به طوریکه با کاهش ظرفیت زراعی از ۸۵ به ۵۵٪ مقدار ویتامین

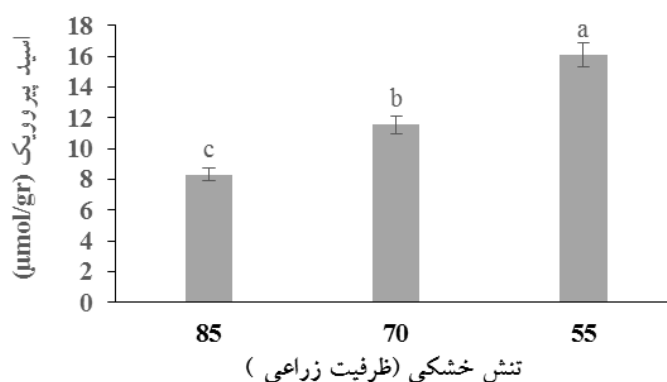
جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ساده اسید هیومیک و گلیسین بتائین بر صفات فیزیوشیمیایی پیاز رقم مینرو

اسید آمینه	مواد جامد محلول	پراکسیداز (Unit.gfw ⁻¹ .min ⁻¹)	N g/kg	P g/kg	K g/kg
شاهد	۶/۲۷ ^e	۱/۵۹۱ ^c	۰/۰۳۷ ^f	۰/۰۲۹ ^e	۰/۳۵۵ ^f
گلیسین بتائین ۲ (mmol/lit)	۶/۳۴ ^d	۲/۷۰۶ ^b	۰/۰۴۹ ^e	۰/۰۳۴ ^e	۰/۳۶۴ ^e
گلیسین بتائین ۴ (mmol/lit)	۶/۴۸ ^c	۲/۷۳۱ ^b	۰/۰۶۱ ^d	۰/۰۴۳ ^d	۰/۳۸۰ ^d
اسید هیومیک ۴ (kg/he)	۶/۶۰ ^b	۲/۷۵۸ ^b	۰/۰۶۸ ^c	۰/۰۵۰ ^c	۰/۳۸۸ ^c
اسید هیومیک ۶ (kg/he)	۶/۷۱ ^a	۲/۸۰۶ ^b	۰/۰۸۳ ^b	۰/۰۵۹ ^b	۰/۴۰۴ ^b
گلیسین بتائین ۲ و اسید هیومیک ۴	۶/۷۳ ^a	۳/۲۹۸ ^a	۰/۰۹۶ ^a	۰/۰۶۷ ^a	۰/۴۱۹ ^a

میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنادار با یکدیگر ندارند ($P \leq 0.05$).



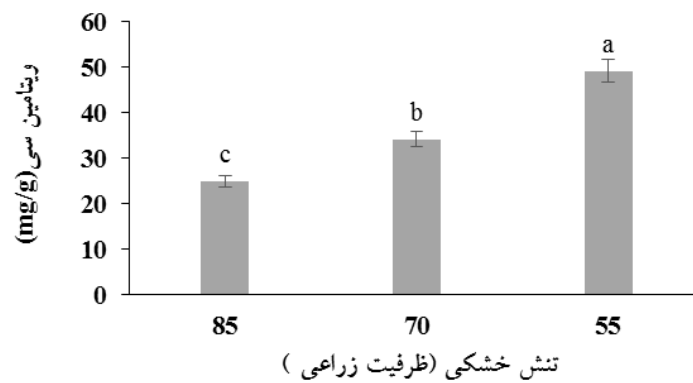
شکل ۱- اثر تیمارهای اسید هیومیک و گلیسین بتائین بر کربوهیدرات کل پیاز رقم مینرو تحت تنش خشکی



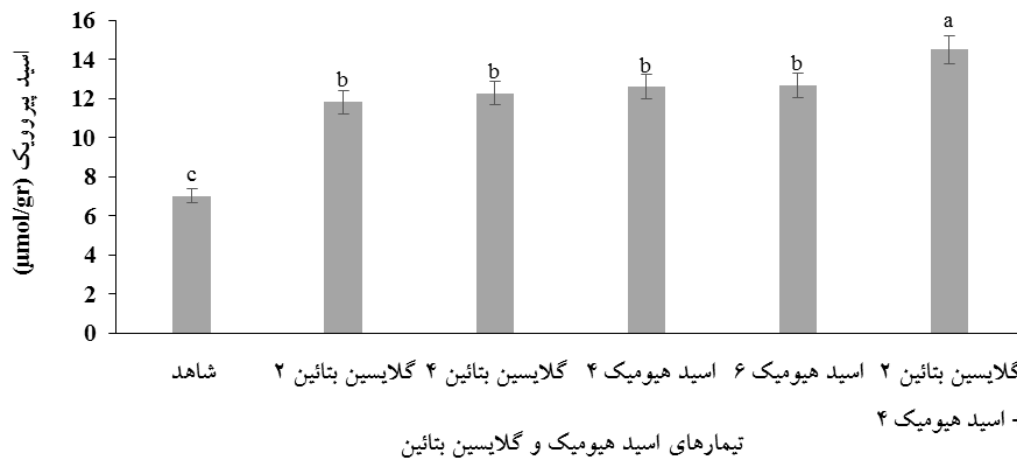
شکل ۲- اثر تنش خشکی بر میزان اسید پیروویک موجود در پیاز رقم مینرو

ترکیبات آمینواسیددار بر بهبود کارایی کلات آهن روی درختان لیمو نشان داده شد، درحالیکه میزان ویتامین ث در تمام

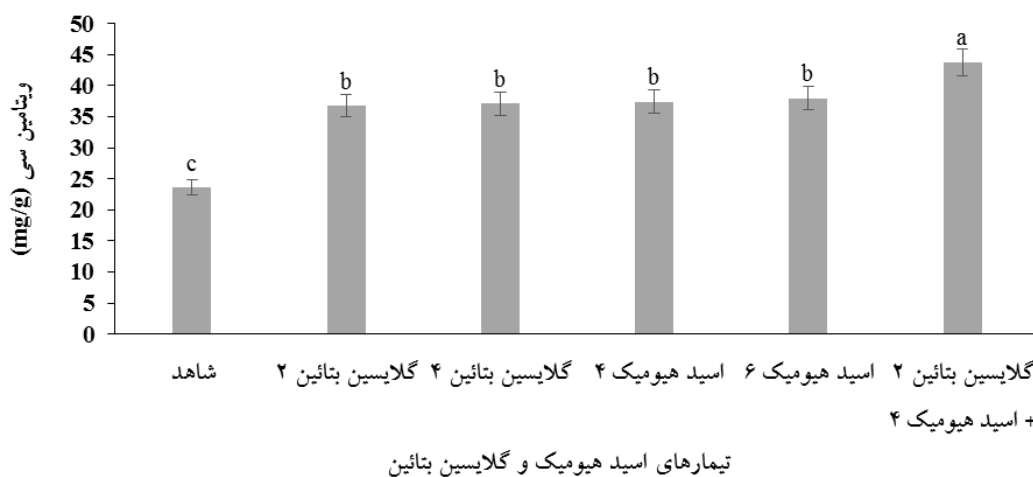
کیفیت، بالاترین ارزش غذایی و میزان ویتامین ث و مواد جامد محلول را نشان داد (Faten et al., 2010). در بررسی اثر



شکل ۳- اثر تنش خشکی بر ویتامین سی موجود در پیاز رقم مینرو



شکل ۴- اثر تیمارهای اسید هیومیک و گلايسين بنائين بر میزان اسید پیرویک موجود در پیاز رقم مینرو



شکل ۵- اثر تیمارهای اسید هیومیک و گلايسين بنائين بر ویتامین سی موجود در پیاز رقم مینرو

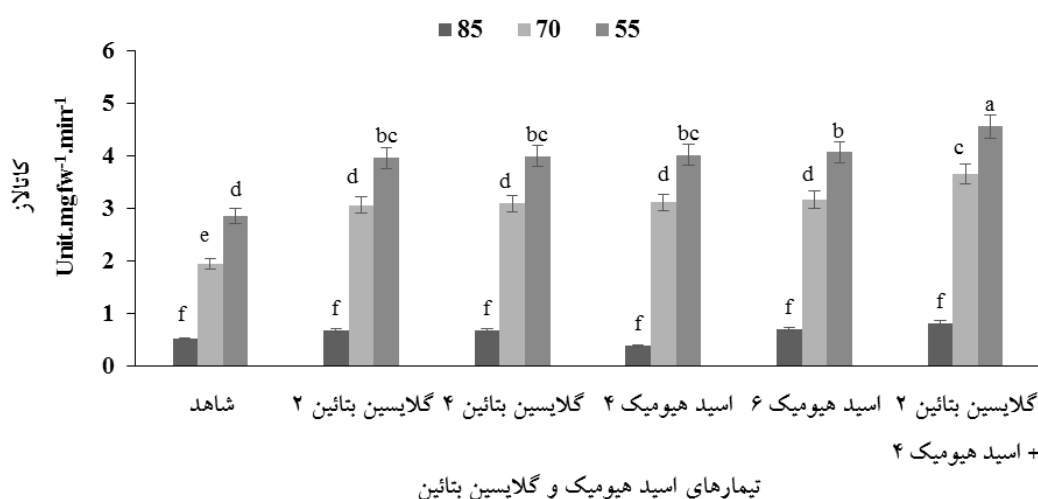
تیمارها بستگی به شرایط رسیدن میوه دارد، ترکیبات آمینواسیدی اثر معنی داری بر غلظت ویتامین ث میوه لیمو دارد

(Sanchez *et al.*, 2002). مطالعات روی گیاه سیر نشان داد کاربرد اسیدهای آمینه منجر به افزایش ویتامین‌های c و b شد (Ulianych *et al.*, 2020).

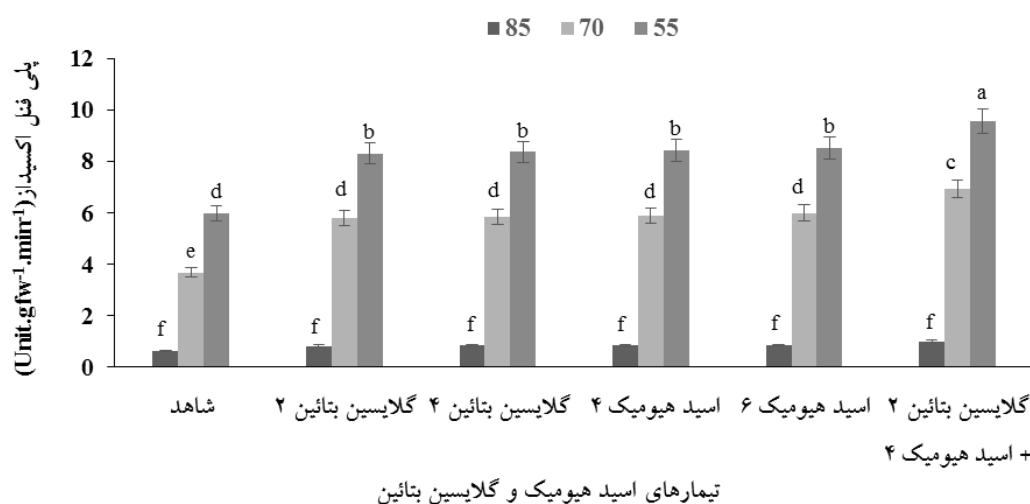
آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز:

برهمکنش تنش خشکی و اسیدآمینه بر میزان آنزیم پراکسیداز اثر معنی‌دار نداشت ولی اثرات ساده و متقابل این تیمارها بر مقادیر کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز اثرگذار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۳). به این ترتیب با اعمال تنش خشکی مقدار آنزیم پراکسیداز در پیاز افزایش یافت (جدول ۵). به‌طوریکه در شدیدترین تنش خشکی اعمال‌شده (۵۵٪) مقدار آنزیم‌های پراکسیداز، ۱/۶ برابر شاهد (۸۵٪) بود. مقایسه میانگین اثر مستقل اسیدآمینه بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در جدول ۶ آمده است. با توجه به نتایج این جدول اگر چه اسیدآمینه‌های استفاده‌شده منجر به افزایش آنزیم‌ها شد ولی بین سطوح گلیسین بتائین و اسید هیومیک بکار رفته از نظر مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز $3/2 \text{ units mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ بدست آمد. نتایج مربوط به برهمکنش تیمارهای خشکی و اسیدآمینه بر مقدار کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است. طبق نتایج کاربرد اسیدهای آمینه اسید هیومیک و گلیسین بتائین در هیچ یک از غلظت‌ها بر مقادیر آنزیمی کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز در شرایط عدم اعمال تنش (ظرفیت زراعی ۸۵٪) اثر معنی‌دار نداشت. این در حالی است که با افزایش سطوح خشکی مقادیر این آنزیم‌ها رو به افزایش گذاشت. به‌طوریکه بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز در تیمار کاربرد همزمان اسید هیومیک و گلیسین بتائین و در تنش ۵۵٪ به میزان $4/55$ و $9/55 \text{ units mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ مشاهده شد. در شرایط تنش، قندها، اسیدهای آمینه، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها سنتز می‌شوند (Soltani *et al.*, 2011). افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و مقدار پرولین پاسخی به تنش رطوبتی در گیاهان است (Khedr *et al.*, 2003). آنچه از نتایج این آزمایش پیداست با افزایش شدت تنش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی در گیاه

افزایش یافته است. تنش رطوبتی سبب افزایش ROS در گیاه شده و سوپراکسید دیسموتاز به عنوان اولین خط دفاعی سیستم آنتی‌اکسیدانی در مقابل ROS فعال می‌شود و باعث تبدیل رادیکال O_2 به H_2O_2 می‌شود، در ادامه H_2O_2 ایجادشده به مولکول آب و اکسیژن توسط کاتالاز تجزیه می‌شود (Gratao *et al.*, 2005). در شرایط تنش، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین آنزیمی است که در چرخه آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی تحت تنش رطوبتی در گیاهان مختلف گزارش شده است (Jiang and Huang, 2001; Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). Matysik و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که تنش شدید موجب توقف فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان می‌شود، اما فعالیت این آنزیم‌ها در حضور پرولین به طور معنی‌داری بیشتر از زمانی بود که پرولین کمتری وجود داشت. چنین بیان شده است که افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی توسط پرولین، گیاهان را در مقابل خسارت‌های اکسیداتیو ناشی از تنش محافظت می‌نماید (Matysik *et al.*, 2001). تجمع اسمولیت‌هایی همچون پرولین و کربوهیدرات، یکی از شناخته‌شده‌ترین سازوکارهای افزایش تحمل تنش در گیاهان است. همچنین پیشنهاد شده که تجمع پرولین ملاک مناسبی برای انتخاب گونه‌های متحمل نسبت به شرایط استرس است (Maurel and Prado, 2017). در پاسخ به تنش شوری و خشکی در گیاهان عالی، پرولین در سیتوسول تجمع می‌یابد (Ketchum *et al.*, 1991). مطالعات متعدد پرولین را به عنوان یک آنتی‌اکسیدان معرفی کرده‌اند و پیشنهاد شده است که مخرب گونه‌های فعال اکسیژن است (Maurel and Prado, 2017). پرولین موجب افزایش بیان دپروتئین‌های مرتبط با افزایش تحمل تنش و توسعه تحمل به تنش در گیاهان می‌شود (Khedr *et al.*, 2003). در شرایط تنش با افزایش پرولین، گیاه برای حفظ آب درون سلولی روزنه‌های خود را بسته و طی این فرایند روزنه‌ای مقدار فتوسنتز کاهش یافته و رشد گیاه کم می‌شود (Shabala *et al.*, 2013). Anjum و همکاران (۲۰۱۲) اثر استعمال خارجی گلیسین بتائین در گیاه ذرت و در شرایط



شکل ۶- اثر تیمارهای اسید هیومیک و گلايسين بتائين بر آنزيم کاتالاز پياز رقم مينروا تحت تنش خشکی



شکل ۷- اثر تیمارهای اسید هیومیک و گلايسين بتائين بر آنزيم پلي فنل اکسيداز پياز رقم مينروا تحت تنش خشکی

گلايسين و همچنين اثر متقابل آنها در مقدار توليد فنول و پرولين در گياه اختلاف معنی-دار در سطح احتمال ۱ درصد ايجاد شد (جدول ۴). در تیمار شاهد بدون تنش، کمترین میزان فنل کل (۸/۲ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک) توليد شد. در تیمار مذکور با کاربرد تیمار گلايسين ۲ میلی-مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار، میزان توليد به ۸/۳۹ میلی گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک رسید. با افزایش سطح تنش، مقدار توليد فنول کل نیز افزایش یافت به صورتی که در تیمار ۵۵ درصد آبیاری، میزان فنول کل شاهد نسبت به شرایط بدون تنش، ۵ درصد افزایش توليد نشان داد.

تنش خشکی را مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدانتي در گیاهان تحت تیمار با این ترکیب در طول تنش خشکی نسبت به گیاهان شاهد بیشتر بوده و باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شده است. مطالعات در گیاه سیر نشان داده شده آمینواسیدها منجر به افزایش فعالیت آنتی اکسیدانتهایی مثل سوپراکسید دسموتاز و کاتالاز می شوند. به طوریکه با کاربرد آمینواسیدها میزان آنزیم کاتالاز ۲۷-۴۵٪ در سیر افزایش داشت (Ulianych et al., 2020).

فنول کل و محتوای پرولين: با توجه به نتایج تجزیه واریانس، با اعمال تیمارهای تنش خشکی، اسید هیومیک و

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک و گلیسین بتائین بر برخی از صفات فیتوشیمیایی پیاز رقم مینرو

تنش خشکی	اسید آمینه	پرولین	فعالیت آنزیم اکسیدان	فنل کل	کلسیم
		($\mu\text{mol/g d.w}$)	(%)	(mg Galic acid/g.d.w)	(g/kg)
۸۵ درصد ظرفیت زراعی	شاهد	۰/۰۵ ⁿ	۴۲/۳۶ ^m	۸/۳ ^m	۰/۲۶۳ ^{cd}
	گلیسین بتائین ۲ میلی مولار	۰/۰۸ ^m	۴۲/۴۴ ^l	۸/۲۳ ^l	۰/۲۴۳ ^e
	گلیسین بتائین ۴ میلی مولار	۰/۱ ^m	۴۲/۶۷ ^k	۸/۲۷ ^k	۰/۲۱۷ ^{fg}
	اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار	۰/۱۳ ^l	۴۲/۷۱ ^j	۸/۲۸ ^k	۰/۲۱۷ ^{fg}
	اسید هیومیک ۶ کیلوگرم در هکتار	۰/۱۵ ^{kl}	۴۲/۸۲ ⁱ	۸/۳۳ ^j	۰/۱۸۰ ⁱ
۷۰ درصد ظرفیت زراعی	گلیسین بتائین ۲ میلی مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار	۰/۱۷ ^k	۴۳/۰۳ ^g	۸/۳۹ ⁱ	۰/۱۵۰ ^j
	شاهد	۰/۲۲ ^j	۴۲/۶۷ ^k	۸/۲۸ ^k	۰/۳۳۰ ^a
	گلیسین بتائین ۲ میلی مولار	۰/۲۷ ⁱ	۴۲/۷۹ ⁱ	۸/۴۴ ^h	۰/۳۱۰ ^b
	گلیسین بتائین ۴ میلی مولار	۰/۳۴ ^h	۴۳ ^h	۸/۷ ^f	۰/۲۷۳ ^c
	اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار	۰/۳۵ ^h	۴۳/۰۳ ^{gh}	۸/۷۲ ^f	۰/۲۶۳ ^{cd}
۵۵ درصد ظرفیت زراعی	اسید هیومیک ۶ کیلوگرم در هکتار	۰/۳۹ ^g	۴۳/۱۴ ^e	۸/۸۱ ^e	۰/۲۴۳ ^e
	گلیسین بتائین ۲ میلی مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار	۰/۴۲ ^f	۴۳/۲۷ ^d	۸/۹۱ ^c	۰/۲۱۰ ^g
	شاهد	۰/۴۵ ^e	۴۳/۱ ^f	۸/۶۳ ^g	۰/۲۵۳ ^{de}
	گلیسین بتائین ۲ میلی مولار	۰/۵ ^d	۴۳/۳ ^d	۸/۷۲ ^f	۰/۲۴۳ ^e
	گلیسین بتائین ۴ میلی مولار	۰/۵۳ ^c	۴۳/۳۸ ^c	۸/۸۷ ^d	۰/۲۲۷ ^f
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار	۰/۵۴ ^c	۴۳/۴ ^c	۸/۹ ^c	۰/۲۲۷ ^f
	اسید هیومیک ۶ کیلوگرم در هکتار	۰/۵۹ ^b	۴۳/۵۴ ^b	۸/۹۸ ^b	۰/۲۰۷ ^{gh}
	گلیسین بتائین ۲ میلی مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار	۰/۶۴ ^a	۴۳/۷۵ ^a	۹/۱۳ ^a	۰/۱۹۳ ^{hi}

میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنادار با یکدیگر ندارند ($P \leq 0.05$).

کشت آبیون‌ست پیاز نیز مقدار فنل و فلاونوئید کل در اثر تنش خشکی افزایش نشان داد (Ombodi and Koczka, 2013). از آنجا که تولید ترکیبات فنولی فرایندی کلروپلاستی است (Ghanbari et al., 2014)؛ بنابراین بروز تنش خشکی ساخت این ترکیبات را تحریک می‌کند (Rahimi et al., 2021). در پیاز مقدار فنول و اسیدهای آمینه با کاربرد محلول‌پاشی برگ پوتریسین و گلوتامین افزایش نشان داد (Amin et al., 2011). یک همبستگی قوی بین رشد گیاه و دسترسی به آب وجود دارد زیرا در این شرایط رشد گیاهان در نتیجه کاهش انبساط و تورگور دیواره سلولی مهار می‌شود (Seleiman et al., 2019). محققین نشان دادند که کاربرد سطوح مختلف اسیدهای آمینه اثرات مثبتی بر شاخص‌های رشد بومادران در شرایط مزرعه و گلخانه داشت (Shafie et al., 2019). در بررسی‌های دیگر بر

در تنش نامبرده، کاربرد تیمار گلیسین ۲ میلی مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار، اثر افزایشی بر تولید فنل داشت. به قسمی که این صفت نسبت به تیمار بدون تنش، ۸/۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). در ارتباط با تجمع میزان پرولین در برگ پیاز نتایج جدول ۷ نشان داد کمترین مقدار این اسید آمینه در تیمار شاهد و بیشترین آن در تیمار ۵۵٪ ظرفیت زراعی + ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک بود. هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر در ارتباط با تأثیر تنش خشکی بر مقدار تولید فنل کل، تنش خشکی به افزایش مقدار فلاونوئید در غده پیاز منتهی شد (Wakchaure et al., 2018; Amiri Forotaghe et al., 2022). مورد مشابهی در نشاهای پیاز تحت تنش خشکی گزارش شده است؛ با افزایش سطح تنش، مقدار فنل کل و فلاونوئید افزایش یافت (Vidya vani et al., 2019). در

فعالیت آنزیم‌ها و حفظ ثبات سلولی به افزایش مقاومت گیاه منتهی می‌گردد (Rasheed et al., 2014). علت ایجاد مقاومت القایی به تنظیم بالادست ژن‌های دخیل در برابر تنش ذکر شده است (Kathuria et al., 2007).

عناصر غذایی: بررسی نتایج واریانس تأثیر تنش خشکی، کاربرد تیمارهای اسید هیومیک و گلیسین و همچنین اثر متقابل آنها بر مقدار عنصر کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار داشت. اثرات ساده تیمارهای فوق بر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد داشت اما اثر متقابل آنها معنی‌دار نشد (جدول ۴). نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی میزان نیتروژن پیاز کاسته شد، بیشترین نیتروژن در شرایط شاهد و کمترین مقدار تحت تنش شدید خشکی جذب گردید (جدول ۵). با افزایش غلظت اسیدآمینه، میزان نیتروژن افزایش یافت. کمترین نیتروژن در شرایط شاهد (عدم مصرف اسیدآمینه) و بیشترین میزان آن تحت کاربرد توأم اسیدآمینه گلیسین ۲ میلی-مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (جدول ۶). در ارتباط با کاهش مقدار نیتروژن در اثر تنش خشکی، قابل ذکر است که تنش خشکی می‌تواند غلظت برخی از عناصر غذایی به دلیل نبود رطوبت کافی و کاهش تحرک عناصر، کاهش دهد (Kiymaz and Ertek, 2015). ضمن اینکه فرایند معدنی‌شدن به میکروارگانیزم‌ها و فعالیت آنزیمی بستگی دارد که این موارد نیز تحت تأثیر شرایط آبی قرار می‌گیرد (Mingzhu and Dijkstra, 2014). نیتروژن عنصری سیال است و برای معدنی‌شدن نیاز به رطوبت خاک دارد بنابراین زمانی که گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود، کمبود نیتروژن نیز روی می‌دهد (Fernandez-Lizarazo and Moreno-Fonseca, 2016). مشابه با نتایج حاضر در کاهش مقدار نیتروژن در اثر بروز تنش خشکی، تنش خشکی منجر به کاهش غلظت نیتروژن در ذرت شد (Studer et al., 2017). با افزایش سطح تنش، غلظت نیتروژن و فسفر در کاسنی کاهش یافت (حیدرزاده و همکاران، ۱۴۰۱). گزارش شده است تیمار کلم در شرایط تنش کم آبی با اسیدهای آمینه باعث افزایش جذب نیتروژن می‌شود

آویشن وزن خشک برگ و ساقه آویشن تحت تنش خشکی کاهش داشت (Askary et al., 2023). در تحقیقی روی کینوا کاربرد خارجی پرولین باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام رویشی گیاه شد (Yaqoob et al., 2019).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: در صفت آنتی‌اکسیدان نیز اعمال تنش خشکی، کاربرد تیمارهای اسید هیومیک و گلیسین و همچنین اثر متقابل موارد ذکرشده، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد را در پی داشت (جدول ۴). مشاهده شد با افزایش سطح تنش، مقدار تولید آنتی‌اکسیدان در شاهد (از ۴۲/۳۶ در شرایط بدون تنش به ۴۳/۱ درصد در تنش ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) افزایش یافت. روند مشابهی با اعمال تیمارهای اسید هیومیک، گلیسین و تیمار ترکیبی این دو با افزایش سطح تنش ثبت شد (جدول ۷). در موردی مشابه با نتایج تحقیق حاضر پیرامون افزایش تولید مقدار مواد آنتی‌اکسیدان با اعمال تیمارهای گلیسین و اسید هیومیک، در نعنا کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش فنول، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (Rostami et al., 2018). همچنین در تأیید یافته‌های مطالعه حاضر در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمارهای تحت تنش خشکی، گزارش شد که در پیاز تحت تنش متوسط، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد (Ghodke et al., 2018). افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله ترکیبات فنولی و کارتنوئیدها، مقاومت در برابر رادیکال‌های فعال در وضعیت تنش را افزایش می‌دهد (Rebey et al., 2012). در تطابق با تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تنش خشکی، استفاده از اسید هیومیک از صدمات ناشی از کمبود آب و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌کاهد (Campanella et al., 2016). اسید هیومیک از طریق توسعه ریشه، کارایی مصرف آب و با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی توانایی گیاه در مقابله با تنش کمبود آب را افزایش می‌دهد (Tseng and Lin, 2012; Rahi et al., 2012). کارایی اسید هیومیک و گلیسین در افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش گزارش شده است (Saruhan et al., 2011). گلیسین‌بتائین با تأثیر بر

(Haghighi et al., 2014). تیمار کاهو با اسیدهای آمینه نیز باعث افزایش غلظت نیتروژن کل شد (Khan et al., 2019). کاربرد گلیسین بتائین سبب افزایش جذب نیتروژن می‌گردد (Zhang and Meng, 2014) زیرا بعد از تجزیه در گیاه به عنوان منبع نیتروژن مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang and Meng, 2014).

با افزایش شدت تنش، میزان فسفر کاهش یافت؛ در تیمار تنش شدید، میزان فسفر به ۵۰ درصد شاهد رسید (جدول ۵). با افزایش غلظت اسیدآمینه، غلظت فسفر نیز افزایش یافت (جدول ۶). بیشترین میزان پتاسیم در شرایط تنش ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (۳۲/۳۵ درصد بیشتر از شاهد) اندازه‌گیری شد (جدول ۵). نتایج اثرات مستقل تیمار اسیدآمینه نشان داد با افزایش تنش، جذب پتاسیم افزایش یافت (جدول ۶). کاهش در میزان پتاسیم با اعمال تنش خشکی در این آزمایش در تطابق با کاهش پتاسیم در اثر تنش خشکی در سیاه‌دانه (حیدری و رضاپور، ۱۳۹۰) و مریم‌گلی لوله‌ای است (سودایی‌زاده و منصوری، ۱۳۹۳). دسترسی به آب، جذب یون‌های یک ظرفیتی مانند پتاسیم در محلول خاک را راحت‌تر است. اما به تدریج با خشک‌شدن خاک، کلوئیدهای رس با قدرت بیشتری پتاسیم را به سطح خود جذب کرده و مانع از جداشدن می‌شوند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). در تیمار اسید هیومیک مشاهده شد جذب عناصر غذایی در مقایسه با شاهد در شرایط تنش و غیرتنش، از مقادیر بیشتری برخوردار بود. کاربرد اسید هیومیک باعث تولید تارهای کشنده، افزایش سطح ریشه و فعالیت پمپ پروتون در غشاهای زیستی می‌شود که بهبود در انتقال مواد غذایی را در موجب می‌گردد (Baldotto et al., 2010; Canellas and Olivares, 2014). اسید هیومیک منجر به افزایش محتوای پتاسیم اندام هوایی و همچنین افزایش عملکرد و جذب عناصر NPK در پیاز شد (Sangeetha et al., 2006). اسید هیومیک با کمک به انحلال و آزادسازی عناصر ماکرو و میکرو و کلات‌کردن عناصر ضروری باعث افزایش جذب می‌شود (اویسی و قوشچی، ۱۳۹۱).

نتایج اثرات متقابل تیمارها نشان می‌دهد میزان کلسیم در

تیمار تنش ملایم و عدم مصرف اسیدآمینه بیشتر از سایر تیمارها است. کمترین مقدار کلسیم در تیمار شاهد و کاربرد توأم اسیدآمینه گلیسین ۲ میلی-مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۷). افزایش کلسیم بین سلولی در اثر تنش خشکی بواسطه چندین سیگنال اتفاق می‌افتد (Shao et al., 2008). هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر در اثرگذاری تنش خشکی بر مقدار جذب عناصر، در گیاه تره نیز نتیجه مشابهی در کاهش مقدار کلسیم در اثر بروز تنش خشکی گزارش شد (قاسم جوکار و همکاران، ۱۳۹۴). کاربرد اسیدهای آمینه تحت تنش خشکی در افزایش جذب پتاسیم و کلسیم اثر مثبتی دارد (Noroozlo et al., 2019). احتمال می‌رود اثرگذاری کاربرد پلی-آمین‌ها در افزایش مقاومت به تنش خشکی به نقش آن در تعامل بین H_2O_2 و کلسیم برای تنظیم سیستم‌های آنتی-اکسیدانی مرتبط باشد (Li et al., 2015). مواد هیومیکی با اثرات بیوشیمیایی و شبه‌هورمونی افزایش جذب ریزمغذی‌ها و عناصر غذایی را در پی دارند (Souza et al., 1994).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی هر دو تیمار خشکی و اسیدآمینه در افزایش کربوهیدرات محلول نقش داشت. به‌طوریکه بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول در تیمار گلیسین بتائین ۲ + اسید هیومیک ۴ و در شدیدترین تنش خشکی به کار رفته مشاهده شد. افزایش شدت تنش خشکی منجر به افزایش مقادیر ویتامین سی و اسید پیرویک شد. به عبارتی پيازهایی که آب کمتر دریافت کرده بودند تندتر بودند. هر دو اسیدآمینه در همه غلظت‌های استفاده شده در افزایش ویتامین سی و اسید پیرویک اثر داشت با افزایش سطح تنش، مقدار تولید فنول کل نیز افزایش یافت. با افزایش تنش خشکی میزان نیتروژن و فسفر گیاه کم شد. همچنین کمترین مقدار کلسیم در تیمار شاهد و کاربرد توأم اسیدآمینه گلیسین ۲ میلی-مولار و اسید هیومیک ۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. هر دو تیمار اسید هیومیک و گلیسین بتائین در کاهش خسارت ناشی از تنش

مؤثر بوده و اعمال همزمان هر دو ماده در غلظت مناسب در افزایش عناصر غذایی، میزان پرولین و افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در شرایط تنش خشکی اثرگذار بود.

منابع

- ابراهیم زاده، محمدعلی، حسینی مهر، سید جلال، و محمودی، میترا (۱۳۸۴). اندازه گیری میزان ویتامین ث با روش تیتراسیون دو مرحله ای اکسیداسیون-احیا در انواع مرکبات. *مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۱۴، ۳۱-۲۶.
- اویسی، میثم، و قوشچی، فرشاد (۱۹۳۱). بررسی اجمالی نقش اسید هیومیک در تخفیف اثرات تنش کمبود آب در گیاهان زراعی. *دو ماهنامه کشاورزی و توسعه پایدار*، ۲۹، ۳۱-۱۱. 10.22092/jwra.2019.120469
- حیدرزاده، سعید، رحیمی، امیر، حسن زاده، عبدالله، امیرنیا، رضا، و واحدی، رقیه (۱۴۰۱). تأثیر کود دامی و تنش کم آبی بر جذب عناصر غذایی و برخی ویژگی های بیوشیمیایی در گیاه کاسنی. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳، (۲)، 10.22059/ijswr.2022.332752.669108
- حیدری، مصطفی، و رضاییپور، علیرضا (۱۳۹۰). اثر تنش خشکی و کود گوگرد بر عملکرد دانه، کلروفیل و غلظت عناصر معدنی در گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella sativa* L.). *دو فصلنامه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۱، (۱)، 20.1001.1.22518517.1390.1.1.7.0
- سودایی زاده، حمید، و منصوری، فاطمه (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی بر تجمع ماده خشک، غلظت عناصر غذایی و قندهای محلول در گیاه دارویی مریم گلی لوله ای. *دو فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم*، ۴، (۱)، ۹-۱. 20.1001.1.2008790.1393.4.1.1.0
- طباطبایی، سید جلال (۱۳۸۸). اصول تغذیه معدنی گیاهان. انتشارات مؤلف، تبریز.
- قاسم جوکار، نسترن، نادیان، حبیب الله، خلیلی مقدم، بیژن، حیدری، مختار، و قرینه، محمدحسین (۱۳۹۴). تأثیر قارچ میکوریز آریسکولار و تنش خشکی بر جذب برخی عناصر غذایی ماکرو توسط سه ژنوتیپ تره با مشخصات ریشه ای متفاوت. *نشریه آب و خاک*، ۲۹، (۱)، ۲۰۹-۱۹۸.
- قدیسی سیار، مهدیه، انتشاری، شکوفه، و دانشمند، فاطمه (۱۳۹۵). برهمکنش گلیسین بتائین برونزا و تنش کم آبی روی برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۷، ۱۲۰-۱۰۹. 20.1001.1.23222727.1395.5.17.3.0
- کافی، محمد، برزویی، اعظم، صالحی، معصومه، کمندی، علی، معصومی، علی، و نباتی، جعفر (۱۳۸۸). تنش های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
- Abd El-Rezak, E., & Saleh, M. S. (2012). Improve productivity and fruit quality of Florida prince peach trees using foliar and soil applications of amino acids. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 12(8), 1165-1172. 10.5829/idosi.mejsr.2012.12.8.1861
- Ahmadi, A., & Sio-Se-Mardeh, A. (2004). The effect of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regimes. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(3), 753-763. [In Persian with English Summary]. 10.22067/jhorts4.v0i0.53077
- Amin, A. Fatma, A., Gharib, A. E., El-Awadi, El-Sherbeny, M., & Rashad, M. (2011). Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. *Scientia Horticulturae*, 129, 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.052>
- Amiri Forotaghe, Z., Souri, M. K., Ghanbari Jahromi, M., & Mohammadi Torkashvandi, A. (2022). Influence of humic acid application on onion growth characteristics on the water deficit condition. *Journal of Plant Nutrition*, 45(7), 1030-1040.
- Anjum, S. A., Saleem, M. F., Long-Chang, W., Faisal Bilal, M., & Saeed, A. (2012). Protective role of glycinebetaine in maize against drought-induced lipid peroxidation by enhancing capacity of antioxidative system. *Australian Journal of Crop Science*, 6(4), 576-583.
- Askary, M., Parsa, S., Behdani, M. A., Jami Al-Ahmadi, M., & Mahmoodi, S. (2023). Evaluation of quantitative yield of two thyme species affected as different levels of drought stress and the manure application. *Journal of Medicinal*

- Plants and By-products*, 12(1), 11-27. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2021.352601.1293>
- Baldotto, L. E. B., Baldotto, M. A., Canellas, L. P., Bressan-Smith, R., & Olivares, F. L. (2010). Growth promotion of pineapple 'Victoria' by humic acids and *Burkholderia* spp. during acclimatization. *Revista Brasileira de Cienciado Solo*, 34, 1593-1600.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free Pro for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-217.
- Bremmer, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). "Total nitrogen" In: Methods of Soil Analysis, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America (eds. Page, A. L., Miller, R. H., and Keeny, D. R.) Pp. 1119-1123. Madison.
- Calvo, P., Louise, N., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8
- Campanella, P., Lovato, E., Marone, C., Fallacara, L., Mancuso, O., Ricciardi, W., & Specchia, M. L. (2016). The impact of electronic health records on healthcare quality: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Public Health*, 26(1), 60-4. Doi: 10.1093/eurpub/ckv122. DOI: 10.1093/eurpub/ckv122
- Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1, 3.
- Dhumal, K., Datir, S., & Pandey, R. (2006). Assessment to bulb pungency level in different Indian cultivars of onion (*Allium cepa*). *Food Chemistry*, 100, 1328-1330.
- Durenkamp, M., & Dekok, L. J. (2004). Impact pedosphere and atmospheric sulphur nutrition on sulphur metabolism of *Allium cepa* L., a species with a potential sink capacity for secondary sulphur compounds. *Journal of Experimental Botany*, 55(404), 1821-1830. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh187>
- Ebrahimzadeh, M. A., Nabavi, S. F., Eslami, B., & Nabavi, S. M. (2009). Antioxidant and antihemolytic potentials of *Physospermum cornubiense* (L.) DC. *Pharmacologyonline*, 3, 394-403.
- Fahramand, M., Moradi, H., Noori, M., Sobhkhizi, A., Adibian, M., Abdollahi, S., & Rigi, K. (2014). Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 3(3), 339-341.
- Faten, S., Abd El-Aal, A. M., Shaheen, A. A., & Asmaa, R. M. (2010). Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, 6(5), 583-588.
- Fernandez, L., & Moreno, F. (2016). Mechanisms for tolerance to water-deficit stress in plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agronomia Colombiana*, 34(2), 179-189. DOI: 10.15446/agron.colomb.v34n2.55569
- Gavili, E., Moosavi, A. A., & Moradi Choghamarani, F. (2018). Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64, 1714-1727. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1453925>
- Ghanbari, M., Souri, M. K., Omidbaigi, R., & Hadavand Mirzaei, H. (2014). Evaluation of some ecological factors, morphological traits and essential oil productivity of *Achillea millefolium* L. Iranian. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(5), 692-701.
- Ghodke, P. H., Andhale, P. S., Gijare, U. M., Thangasamy, A., Khade, Y. P., Mahajan, V., & Singh, M. (2018). Physiological and biochemical responses in onion crop to drought stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 2054-2062. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.247>
- Gong, M., Li, Y., Dai, X., Tian, M., et al. (1997). Involvement of calcium and calmodulin in the acquisition of HS induced thermotolerance in maize seedling. *Journal of Plant Physiology*, 150, 615-621. doi: 10.3389/fpls.2015.00600
- Gordon, E. A., & Barrett, D. M. (2003). Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazin in the assessment of onion pungency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1210-1213. DOI: 10.1002/jsfa.1525
- Gorham, J., Jokinen, K., Malik, M. N. A., & Khan, I. A. (2000). Glycine betaine treatment improves cotton yields in field trials in Pakistan. Proceedings of the World Cotton Research Conference II, Athens, Greece.
- Gratao, P. L., Polle, A., Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, 32(6), 481-494. DOI: 10.1071/FP05016
- Haghighi, M., Nikbakht, A., Xia, Y. P., & Pessarakli, M. (2014). Influence of adding humic acid to withholding nutrient solution on growth, nutrient efficiency and postharvest attributes of erbera. *Communications, Soil Science and Plant Analysis*, 45(2), 177-188. DOI: 10.1080/00103624.2013.848885
- Iqbal, M., & Shababuddin, A. (2008). Effect of different doses of glycinebetaine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Research*, 17, 241-245.
- Jiang, Y., & Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, 2, 436-442. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x>

- Kathuria, H., Giri, J., Tyagi, H., & Tayagi, A. K. (2007). Advances in transgenic rice biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26, 65-103. <https://doi.org/10.1080/07352680701252809>
- Ketchum, R. E., Warren, R. S., Klima, L. J., Lopez-Gutierrez, F., & Nabors, M. W. (1991). The mechanism and regulation of proline accumulation in suspension cell cultures of the halophytic grass *Distichlis spicata* L. *Journal of Plant Physiology*, 137, 368-374. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80147-1](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80147-1)
- Khan, S., Yu, H., Li, Q., & Gao, Y. (2019). Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy*, 9(5), 266. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>
- Khedr, A. H. A., Abbas, M. A., Wahid, A. A., Quick, W. P., & Abogadallah, G. M. (2003). Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L. to saltstress. *Journal of Experimental Botany*, 54, 392. 2553-2562. doi: 10.1093/jxb/erg277
- Kiyamaz, S., & Ertek, A. (2015). Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kirsehir, Turkey. *Agricultural Water Management*, 158, 156-165.
- Kumar, S., Imtiyaz, M., Kumar, A., & Singh, R. (2007). Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation water. *Agriculture Water Managment*, 89(1), 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.01.003>
- Li, Ch., Tan, D., Liang, D., Chang, C., Jia, D., & Ma, F. (2015). Melatonin mediates the regulation of ABA metabolism, free-radical scavenging, and stomatal behaviour in two *Malus* species under drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 66(3), 669-680. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru476>
- Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, 99, 872-878. doi: 10.1104/pp.99.3.879
- Makhdom, M. I., & Shababuddin, S. (2006). Effects of different doses of glycine bataine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Research (Science)*, 17, 241-245.
- Matysik, J., Alia Bhalu, B., & Mohanty, P. (2001). Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*, 525-532.
- Maurel, C., & Prado, K. (2017). Aquaporins and Leaf Water Relations. In: *Plant Aquaporins*. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-49395-4_7
- Mikkelsen, R. L. (2005). Humic materials for agriculture. *Science Research*, 89, 6-7.
- Mingzhu, H., & Dijkstra, F. A. (2014). Drought effect on plant nitrogen and phosphorus: A meta-analysis. *New Phytol*, 204(4), 924-931. DOI: 10.1111/nph.12952
- Mohammadi, M., & Kazemi, H. (2002). Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities insusceptible and resistance wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. *Plant Science*, 162, 491-498. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00538-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00538-6)
- Noroozlo, Y. A., Souri, M. K., & Delshad, M. (2019). Effects of foliar application of glycine and glutamine amino acids on growth and quality of sweet basil. *Advances in Horticultural Science*, 33(4), 495501. <https://doi.org/10.13128/ahsc-8127>
- Ombodi, A., & Koczka, N. (2013). Nutritive constituents of onion grown from sets as affected by water supply. *Hort Science*, 48(12), 1543-1547. 10.21273/HORTSCI.48.12.1543
- Porcel, R., & Ruiz-Lozano, J. M. (2004). Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 55, 403. 1743-1750. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh188>
- Rafie, M. R., Khoshgoftarmanesh, A. H., Shariatmadari, H., Darabi, A., & Dalir, N. (2017). Influence of foliar-applied zinc in the form of mineral and complexed with amino acids on yield and nutritional quality of onion under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 216, 160-168. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.014>
- Rahi, A. R., Davodifard, M., Azizi, F., & Habibi, D. (2012). Investigating the effects of different amounts of humic acid and studying the process of response curves in species (*Dactylis glomerata*). *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 8(3), 15-28.
- Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Aziz, Kh., & Roostaei, M. (2021). Characterizing spatial and temporal trends in drought patterns of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) across various climatic conditions: A modelling approach. *European Journal of Agronomy*, 129, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126333>
- Rasheed, R., Ashraf, M. A., Hussain, I., Haider, M. Z., Kanwal, U., & Iqbal, M. (2014). Exogenous proline and glycine betaine mitigate cadmium stress in two genetically different spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Brazilian Journal of Botany*, 37, 399-406. DOI: 10.1007/s40415-014-0089-7
- Rebey, I. B., Bourgou, S., Slimen Debez, I. B., Karoui, I. J., Sellami, I. H., Msaada, K., Limam, F., & Marzouk, B. (2012). Effects of extraction solvents and provenances on phenolic contents and antioxidant activities of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2827-2836. 10.1007/s11947-011-0625-4
- Refay, Y., Dindaroglu, T., Haleem Abdul-Wajid, H., & Leonardo Battaglia, M. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259; <https://doi.org/10.3390/plants10020259>

- Resemann, J., Bufler, G., Liebig, H. P., & Carle, R. (2008). Factors affecting quality traits of onion (*Allium cepa* L.) bulbs for the production of onion juice concentrate and onion oil. *European Journal of Horticultural Science*, 69, 45-52.
- Rostam Foroudi, B. (2006). Study on quantitative and qualitative characters of onion cultivars and determination of the relation between some characters and storability. *Seed and Plant*, 22(1), 67-86. 10.22092/spij.2017.110670
- Rostami, Gh., Moghadam, M., Saeedi Poya, E., & Ajdarian, L. (2018). Effect of humic acid foliar application on some morpho-physiological and biochemical characteristics of green mint (*Mentha spicata* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, 95-110. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1296.1264>
- Sakamoto, A., & Murata, N. (2002). The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: Clues from transgenic plants. *Plant, Cell and Environment*, 25(2), 163-171. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00790.x
- Sanchez, A., Sanchez Anderu, J., Juarez, M., Jorda, J., & Bermudez, D. (2002). Humic substances and amino acid improve effectiveness of Chelate Fe EDDHA in lemons trees. *Journal of Plant Nutrition*, 25(11), 2433-2442. <https://doi.org/10.1081/PLN-120014705>
- Sangeetha, M., Singaram, P., & Uma Devi, R. (2006). Effect of lignite humic acid and fertilizer on yield of onion and nutrient availability. In: Proceedings of 18th World Congress of Soil Science, 9-15Jul., Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Saruhan, V., kusvuran, A., & Babat, S. (2011). The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Scientific Research and Essays*, 6, 663-669.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M. (2019). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Shabala, S., Hariadi, Y., & Jacobsen, S. E. (2013). genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na⁺ loading and stomatal density. *Journal of Plant Physiology*, 170, 906-914. doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.014
- Shafeek, M. R., Helmy, Y. I., Magda Shalaby, A. F., & Nadia Omer, M. (2012). Response of onion plants to foliar application of sources and levels of some amino acid under sandy soil conditions. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(11), 5521-5527. Doi: 10.21608/ajas.2019.33496
- Shafie, F., Bayat, H., Aminifard, M. H., & Daghighi, S. (2019). Iostimulant effects of seaweed extract and amino acids on growth, antioxidants, and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in the field and greenhouse conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(9), 964-975.
- Shao, H., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215-25. Doi: 10.1016/j.crv.2008.01.002. Epub 2008 Jan 31
- Shibairo, S., Upadhyay, M. K., & Toivonen, P. M. A. (1998). Replacement of postharvest moisture loss by recharging and its effect on subsequent moisture loss during short-term storage of carrots. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(1), 141. DOI:10.21273/JASHS.123.1.141
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphor molybdc phosphor tungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144
- Soltani, M. K., Heshmat, A., Habibi, H., & Zarezadeh, A. (2011). The effect of different levels of glycinebetaine on morphological traits and yield of German chamomile cultivars under water stress in Yazd. Iran. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27, 2. 279-289. (In Persian).
- Souza, E., Kruk, M., & Sunderman, D. W. (1994). Association of Gsugar-snap cookie quality with high molecular weight glutenin alles in soft white spring wheats. *Cereal Chemistry*, 71, 091-091.
- Studer, A. J., Wang, H., & Doebley, J. F. (2017). Selection during maize domestication targeted a gene network controlling plant and inflorescence architecture. *Journal of Genetics*, 207, 755-765. DOI: 10.1534/genetics.117.300071
- Tseng, J. M., & Lin, C. P. (2012). Prediction of incompatible reaction of dibenzoyl peroxide by isothermal calorimetry analysis and green thermal analysis technology. *Thermal Anal Calorimetric*, 107, 927-933.
- Ulianych, O., Yatsenko, V., Kondratenko, P., Lazarev, O., Voievoda, L., Lukianets1, O., & Adamenko, D. (2020). The influence of amino acids on the activity of antioxidant enzymes, malonic dialdehyde content and productivity of garlic (*Allium sativum* L.). *Agronomy Research*, 3-18. <https://doi.org/10.15159/ar.20.172>
- Van de Wiel, H. J. (2003). Determination of elements by ICP-AES and ICP-MS. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Bilthoven, the Netherlands.
- Van Den Berg, L., & Zeng, Y. J. (2006). Response of South African indigenous grasss pecies to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *South African Journal of Boany*, 72, 284-286. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2005.07.006>
- Vidya vani, M., Osman basha, P., & Riazunnisa, K. (2019). Kevaluation of biochemical responses of onion (*Allium cepa* L.) seedlings under drought stress. *International Journal of Recent Scientific Research*, 10(4), 31924-31927.

- Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., Meena, K. K., Singh, N. P., Hegade, P. M., & Sorty, A. M. (2018). Growth, bulb yield, water productivity and quality of onion (*Allium cepa* L.) as affected by deficit irrigation regimes and exogenous application of plant bio-regulators. *Agricultural Water Management*, 199, 1-10. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.11.026
- Waraich, E. A., Ahmad, R., & Ashraf, M. Y. (2011). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 764-777.
- Yaqoob, H., Akram, N. A., Iftikhar, S., Ashraf, M., Khalid, N., Sadiq, M., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2019). Seed pretreatment and foliar application of proline regulate morphological, physio-biochemical processes and activity of antioxidant enzymes in plants of two cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants*, 8(12), 588. <https://doi.org/10.3390/plants8120588>
- Zhang, J, & Meng, Q. (2014). Preparation of KOH/CaO/C supported biodiesel catalyst and application process. *World Journal of Engineering and Technology*, 2, 184-191. Faostat, "Production, superlcie et productivit'e de l'oignon,"2023, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Investigating the effect of humic acid and glycine betaine in modulating the negative effects of drought stress on some biochemical traits of “Minerva” onion

Hamed Mohammadi¹, Mohsen Khodadadi^{2*}, Sepideh Kalate Jari¹, Marjan Diyanat¹

¹ Department of Agriculture and Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Vegetable Research Center, Hsri, Areeo, Karaj, Iran

(Received: 2024/06/05, Accepted: 2024/09/17)

Abstract

Water stress and low percentage of soil nutrients in arid climates are considered limiting factors for the growth of agricultural products. Proportionate feeding of plants is useful in reducing the negative effects of drought stress. The experiment was factorial in the form of a completely randomized design with drought stress treatment (85, 70 and 55% FC) and treatments including glycine betaine and humic acid at 6 levels (no application, 2 mM glycine betaine, 4 mM glycine betaine, 4 kg/ha of humic acid, 6 kg/ha of humic acid and 2 mM glycine betaine + 4 kg/ha of humic acid) with 3 replications. According to the results, both drought and amino acid treatments played a role in increasing soluble carbohydrates. Thus, the highest amount of soluble carbohydrates was observed in the treatment of glycine betaine 2 + humic acid 4 and in the most severe drought stress (55%) at the rate of 1.21 mg/g. The increase in the severity of drought stress led to an increase in the amounts of vitamin C and pyruvic acid. In other words, onions with less water were spicier. Both amino acids in all the concentrations used had the effect of increasing vitamin C and pyruvic acid. With the increase in the level of stress, total phenol production also increased. So that in 55% FC, total phenol of the control showed a 5% increase in production compared to the condition without stress. With the increase of drought stress, the amount of N and P in the plant decreased. Also, the lowest Ca was obtained in the control treatment and the combined application of 2 mM glycine amino acid and 4 kg/ha of humic acid. In general, both humic acid and glycine betaine treatments were effective in reducing damage caused by stress, and the simultaneous application of both substances in appropriate concentrations was effective in increasing nutrients, proline content and antioxidant activity under drought stress conditions.

Keywords: Antioxidant activity, Catalase, Nitrogen, Pyruvic acid, Proline

Corresponding author, Email: kodadadi@yahoo.com