مقاله پژوهشی

پاسخ برخی از صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) به کاربرد روی در شرایط تنش خشکی

زهرا سلیمانی نیا[۱]، احمد مهتدی*[۱] و محسن موحدی دهنوی[۲]

[۱] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه یاسوج، [۲] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰٤/۱٦)

چکیده

کشور ایران، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین شناسایی و کاشت گیاهان متحمل خشکی مانند کینوا (*Chenopodium quinoa*) حائز اهمیت است. با توجه به اینکه عنصر روی در فرآیندهای حیاتی گیاه نقش دارد، بنابراین عرضه این عنصر به گیاه تأثیر زیادی در کمیت و کیفیت تولید محصولات دارد. این پژوهش به‌صورت گلدانی با هدف بررسی اثر سولفات روی بر گیاه کینوا تحت تنش خشکی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تنش خشکی با پلی‌اتیلن گلیکول ٦۰۰۰ در چهار سطح (صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار) و عنصر روی از منبع سولفات روی با چهار سطح (۲، ٤، ٦ و ۸ میکرومولار) تهیه شد و در مرحله چهار برگی، تیمارها طی دو هفته در محلول غذایی هوگلند همزمان اعمال شد. طبق نتایج افزایش تنش خشکی موجب افزایش ٦۸ درصدی کاتالاز نسبت به شاهد شد. بیشترین مقدار پروتئین محلول برگ در سطح ٦- بار خشکی با سطح ۸ میکرومولار سولفات روی، بیشترین میزان قندهای محلول کل و پرولین برگ مربوط به بالاترین سطح خشکی و سطح ٦ میکرومولار سولفات روی بود. با افزایش خشکی، کلروفیل a (۳٤ ٪)، کلروفیل b (۱۸۷ ٪) و کاروتنوئید برگ افزایش دو برابری اما وزن خشک اندام هوایی (۳۸ ٪) و سطح برگ (۳۷ ٪) نسبت به شاهد کاهش نشان دادند. در کل کاربرد روی با بهبود سطح اسمولیت‌ها باعث کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی شد و برای تخفیف اثر تنش خشکی استفاده از سطح ٦ میکرومولار سولفات روی در محلول‌های غذایی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کاتالاز، کینوا، محتوای کلروفیل

مقدمه

تنش یک عامل خارجی است که اثرات منفی بر زندگی گیاهان می‌گذارد. تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی به‌شمار می‌رود که سبب کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی و دارویی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. تنش خشکی می‌تواند بر تمام جنبه‌های رشدونمو گیاه تأثیر بگذارد و باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه شود. حساس‌ترین واکنش گیاه نسبت به تنش خشکی کاهش رشد سلول است، زیرا خشکی باعث کاهش فشار تورگر می‌شود (Farooq *et al*, 2009). تنش خشکی باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی مانند روبیسکو، فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز (PEP Case), NADP- مالیک آنزیم (NADP- MA)، فروکتوز ۱-٦ بیس فسفات (FBP ase) و پیرووات ارتو فسفات دی‌کیناز (PPDK) شده و باعث کاهش فتوسنتز می‌شود (Farooq *et al*., 2009).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a.mohtadi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

در شرایط تنش خشکی گیاه به‌منظور ادامه جذب آب، انواع مواد محلول سازگار با وزن مولکولی کم مانند قندهای محلول، پرولین، گلیسین بتائین، برخی یون‌های معدنی (کلسیم و پتاسیم)، هورمون‌ها و پروتئین‌ها را در سلول‌های خود تجمع داده و باعث کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش جذب آب می‌شود (Liang *et al*., 2013). پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی نقش‌های محافظتی داشته و باعث حفظ شکل و ساختار طبیعی آنزیم‌ها و پروتئین‌ها، ثبات غشا، کاهش میزان ترکیبات سمی مانند گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و تنظیم pH سلولی می‌شود و به رشد و فتوسنتز کمک می‌کند (Matysik *et al*., 2002).

تنش خشکی می‌تواند باعث برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه شود. در این شرایط مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف مانند روی، می‌تواند وضعیت رشد گیاه را بهبود بخشد (اسدزاده و همکاران، ١٣٩٦). روی از عناصر مغذی کم‌مصرف بسیار مهمی است که وجود آن برای فعالیت‌های متابولیکی گیاهان ضروری است (Hassegawa *et al*., 2008). عنصر روی باعث افزایش زیست توده تولیدی و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه شده که می‌تواند باعث بهبود فتوسنتز و افزایش کلروفیل برگ بخصوص در شرایط کم‌آبی باشد. همچنین وجود میزان کافی از این عنصر، به کمک آنزیم‌های ضداکسیداسیونی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در کاهش تولید و غیرسمی کردن گونه‌های فعال اکسیژن مؤثر بوده و باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود (صادق‌زاده، ١٣٩٤). روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه نقش کاتالیزور فعال‌کننده دارد و در متابولیسم قندها، اسیدهای نوکلئیک، چربی‌ها و پروتئین‌ها نیز نقش دارد (عسگری لجایر و همکاران، ١٣٩٣). طبق برآورد سازمان بهداشت جهانی، حدود یک سوم جمعیت جهان در معرض خطر کمبود جذب عنصر روی بوده و در مقیاس جهانی بیش از ٣٠ درصد از خاک‌های کشاورزی دچار کمبود روی هستند (داتنوف و همکاران، ١٣٩٢).

کینوا محصول بومی منطقه آند در آمریکای جنوبی است و به‌دلیل تولید بالای آن در شرایط دشوار، در اکثر کشورها مانند کشورهای اروپایی، کانادا، چین و هند و ایالت‌های کالیفرنیا و کلرادو کشت می‌شود (Hariadi *et al*., 2011). کینوا گیاهی شبه‌غله، یک ساله، از خانواده تاج‌خروس (Amaranthaceae)، جنس سلمه‌تره و سه کربنه است (Jacobsen *et al*., 2003). این گیاه قادر به رشد در شرایط آب‌وهوایی مختلف و در مناطق دارای خاک‌های شور است (Bazil *et al*., 2016; Razzaghi *et al*., 2011). سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده کینوا، یکی از دلایل بالابودن مقاومت این گیاه در برابر خشکی است (Jacobsen *et al*., 2009). دانه کینوا نسبت به غلات متداول مانند برنج، گندم و جو دارای پروتئین، اسیدهای آمینه، ویتامین‌های ضروری و مواد معدنی بیشتر و بهتری است (Maradini-Filho, 2017). از آنجا که کینوا گیاهی دارویی و بدون گلوتن و غذایی ارزشمند است، می‌تواند جایگزین برنج شده و به سلامت جامعه کمک کند (Abdellatif, 2018). تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد کینوا می‌شود (Fuentes and Bhargava, 2011) زیرا در این تنش علاوه بر افت کارایی فتوسنتز به‌دلیل کمبود آب در سلول‌های برگ (کاهش RWC) و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، باعث افزایش میزان اکسیژن‌های فعال در کینوا می‌شود (Aziz *et al*., 2018). تحقیقات متعددی در زمینه بررسی پاسخ‌های کینوا به خشکی و تأثیر کودها به‌صورت مجزا صورت گرفته است ولی اطلاعات اندکی در خصوص اثر تغذیه روی بر خصوصیات فیزیولوژیک کینوا در شرایط تنش خشکی وجود دارد، لذا این تحقیق با هدف بررسی اثر عنصر روی بر گیاه کینوا تحت تنش خشکی در محیط کشت گلدان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلدانی در زمستان ١٣٩٧ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم پایه دانشگاه یاسوج انجام گرفت. نمونه‌های بذری گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) رقم Titicaca از مؤسسه شوری یزد تهیه گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

تکرار انجام شد. تنش خشکی با پلی‌اتیلن گلیگول ۶۰۰۰ (PEG 6000) در چهار سطح (صفر، ۳-، ۶- و ۹- بار) (Michel and Kaufmann, 1973) و روی از منبع سولفات روی ($Zn\ SO_4.\ 7\ H_2O$) با چهار سطح (۲ (شاهد)، ٤، ٦ و ٨ میکرومولار) تهیه شد. واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌هایی با قطر ١٤ و ارتفاع ١٣ سانتی‌متر بودند. گلدان‌ها توسط پرلیت که از قبل با دستگاه اتوکلاو ضدعفونی و سپس با آب‌مقطر شسته شده بودند، پر شدند. در هر گلدان ۱۰ تا ۱۵ عدد بذر کینوا ضدعفونی شده با محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪ به عمق حدود ۲ سانتی‌متر کاشت شدند. از مرحله کاشت تا جوانه‌زنی آبیاری با آب‌مقطر صورت گرفت. سپس ماده غذایی یک دوم هوگلند استفاده شد. ترکیبات مورد استفاده در محلول غذایی تغییریافته هوگلند به‌صورت زیر بود:

3 mM KNO_3, 2 mM $Ca(NO_3)_2$, 1 mM $NH_4H_2PO_4$, 0.5 mM Mg SO_4, 25 µM Fe(Na) EDTA, 1 µM KCl, 2 µM Mn SO_4, 25 µM H_3BO_3, 2 µM Zn SO_4, 0.1 µM $(NH_4)_6$ Mo_7O_{24}

دو هفته بعد از استقرار، گیاهان در گلدان تنک شدند و ۸ گیاه در هرگلدان باقی ماند. در مرحله چهار برگی، تیمار سولفات روی و پلی‌اتیلن گلیکول طی دو هفته در محلول غذایی اعمال شد. pH محلول غذایی با محلول دو میلی‌مولار بافر MES و با استفاده از KOH در محدوده pH ۵/۵ ثابت نگه داشته شد. گیاهان در اتاق کشت با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ١٦ درجه سانتی‌گراد در شب و تناوب نوری ۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی نگه‌داری شدند. دو هفته بعد از شروع اعمال تنش، گیاهان برداشت گردید و تا زمان استفاده در دمای ٤٠- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. همچنین برای اندازه‌گیری صفات مرتبط با نمونه خشک گیاه، ریشه و بخش هوایی آن‌ها از هم جدا شده و درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤٨ ساعت به‌طور کامل خشک شدند. سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی مدل TE153S برحسب گرم اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری سطح برگ و شمارش تعداد برگ بلافاصله بعد از برداشت، تعداد برگ در بوته شمارش و سطح برگ یک بوته تصادفی در هر گلدان با قراردادن برگ‌ها بر روی صفحه دستگاه سطح برگ‌سنج مدل WiNAREA-ut-11 محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با استفاده از روش آرنون (١٩٤٩) انجام پذیرفت (Arnon, 1949). برای استخراج رنگیزه‌های فتوسنتزی از برگ، عصاره‌گیری بافت تازه برگ همراه با استون ۸۰ ٪ و پودر کربنات کلسیم در محیطی با نور کم صورت گرفت. جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Philler Scientific SU-6100 در طول‌موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد.

Chl a = [(12.7×D 663)-(2.69×D645)]V/(1000×W)
Chl b = [(22.9×D645)-(4.68×D663)]V/(1000×W)
Chl T = chla+Chlb
Carotenoeid = [((1000×D470) - (1.82×chla) - (85.02×Chlb)) / 198] × (V/1000×W)

برای اندازه‌گیری پرولین بعد از تهیه عصاره الکلی، یک میلی‌لیتر عصاره الکلی تهیه‌شده را با ۱۰ میلی‌لیتر آب دو با تقطیر، پنج میلی‌لیتر محلول نین‌هیدرین (نین‌هیدرین حل‌شده در اسید فسفریک و اسید استیک گلاسیال) و پنج میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال در داخل بن‌ماری به‌مدت ٤٥ دقیقه قرار داده شد و به آن بنزن اضافه کرده تا پرولین وارد فاز بنزن شود و بعد از آن محلول به‌مدت ۳۰ دقیقه در حالت سکون قرار داده شد. میزان پرولین براساس جذب نور نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد و براساس استانداردهای پرولین، غلظت پرولین (میلی‌مول بر گرم وزن تر) با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد (Paquine and Lechasseur, 1979).

اندازه‌گیری قندهای محلول با استفاده از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) صورت گرفت. برای محاسبه قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکی انتخاب شد و سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده به آن اضافه و به‌مدت ۱۰ دقیقه درحمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک‌شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٦٢٥

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد میزان قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) محاسبه گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری پروتئین محلول برگ، مقدار ۰/۲ گرم از بافت برگ نگهداری‌شده در فریزر (دمای ٤۰- درجه سانتی‌گراد) در هاون چینی سرد و در ظرف یخ با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ٦/۸ هموژن شد و سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید (Kar and Mishra, 1976). سپس به ۵۰ میکرولیتر از فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) ۲/۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد اضافه و جذب نمونه در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتری خوانده شد. غلظت پروتئین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با استفاده از منحنی استاندارد و با کمک آلبومین سرم گاوی محاسبه شد (Bradford, 1976).

میزان محتوای آب نسبی (RWC) براساس رابطه زیر اندازه‌گیری شد (Martinez *et al.*, 2004).

RWC = [(وزن خشک − وزن تر)/(وزن خشک − وزن آماس)] × ۱۰۰

جهت استخراج عصاره آنزیمی و اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز برگ، ۰/۱ گرم نمونه برگ در ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج شامل فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با pH = ۷/۸، ۰/۱ EDTA مولار و ۰/۱ PVP مولار بر روی یخ همگن گردید. سپس همگن‌های حاصل در دور ۱٤۰۰۰ در دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. از بخش شناور رویی برای سنجش فعالیت آنزیم استفاده گردید. فعالیت کاتالاز (میلی‌مول بر گرم بر دقیقه) با روش اسپکتروفتومتری و براساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر و در مدت ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ حاوی آب اکسیژنه ۳۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش با افزودن H_2O_2 شروع و کاهش جذب در مدت ٦۰ ثانیه خوانده شد. ضریب خاموشی برای کاتالاز ۰/۰۳۹٤ بر میلی‌مول بر سانتی‌متر بود (Aebi, 1984).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با Excel و مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهم‌کنش‌های معنی‌دار به روش LSD در سطح احتمال خطای ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

فعالیت کاتالاز برگ: مطابق با جدول ۱ مقدار کاتالاز در سطح احتمال ۱ ٪ تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، اما تأثیر سولفات روی و برهم‌کنش تنش خشکی و سولفات روی بر این شاخص معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین داده‌ها برای تنش خشکی نشان داد که بیشترین میزان کاتالاز در سطح خشکی ٦- بار با مقدار (۲۱/٤۸ میلی‌مول بر گرم بر دقیقه) به‌دست آمد که با سطح خشکی ۹- بار تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان کاتالاز در سطح شاهد با مقدار ۱۲/۹۰ میلی‌مول بر گرم بر دقیقه به‌دست آمد (شکل ۱). آنزیم کاتالاز جزء سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که برای کاهش خسارت ناشی از پراکسید هیدروژن (H_2O_2) تولید شده تحت تنش خشکی، در گیاه افزایش می‌یابد (Khanna-Chopra and Selote, 2007). عنصر روی در بیان ژن‌های سنتزکننده پروتئین‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مؤثر است و کوفاکتور افزایش این آنزیم‌ها نیز محسوب می‌شود (Grewal and Wiliams, 2000). مطابق با نتایج ما افزایش آنزیم کاتالاز در کینوا تحت تنش خشکی گزارش شده است (Aziz *et al.*, 2018).

محتوای پروتئین محلول برگ: میزان پروتئین برگ در سطح احتمال خطای ۱ ٪ تحت تأثیر تنش خشکی، سولفات روی و بر هم‌کنش خشکی و سولفات روی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین مقدار پروتئین (۷٤/٦۷ mg/g) در سطح خشکی ٦- بار با سطح ۸ سولفات روی، و کمترین مقدار در بالاترین سطح خشکی (۹- بار) با سطح ٤ سولفات روی به‌دست آمد (شکل ۲). طبق تحقیقات جعفردوخت و همکاران (۱۳۹٤) بر روی گیاه ماش، تیمار تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم مصرف مانند سولفات منگنز و روی تأثیر معنی‌داری

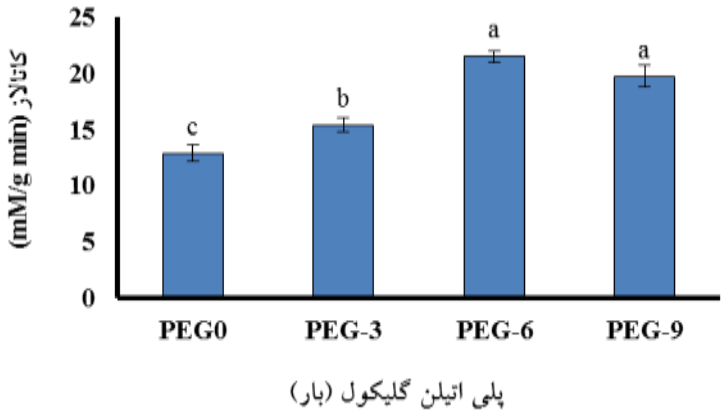
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف عنصر روی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه کینوا تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کاتالاز برگ	میزان پروتئین محلول برگ	میزان قندهای محلول کل	محتوای پرولین برگ	محتوای آب نسبی
پلی‌اتیلن گلیکول	۳	۱۸۵/۶۹**	۱۲۴۲/۳۴**	۱۳۱۲/۶۴**	۲۶۳۸۸۲۰/۹۵**	۲۹۵۲/۰۴**
روی	۳	۱۱/۵۲^{ns}	۳۴۹/۱۹**	۳۰۹/۳۹**	۴۳۶۳۴۰/۸۴**	۱۱۴/۰۰۶**
پلی‌اتیلن گلیکول × روی	۹	۸/۱۹^{ns}	۳۳۴/۵۸**	۱۲۳/۶۵**	۱۴۳۸۹۶/۴۲**	۷۹/۹۴**
خطای آزمایش	۳۲	۵/۷۵	۳۱/۰۲	۶/۷۵	۲۹۹۶۶/۳۶	۵/۰۸
ضریب تغییرات	درصد	۱۳/۷۹	۱۲/۱۲	۱۳/۱۳	۲۳/۳	۳/۴۷

ns، * و **، به‌ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند.

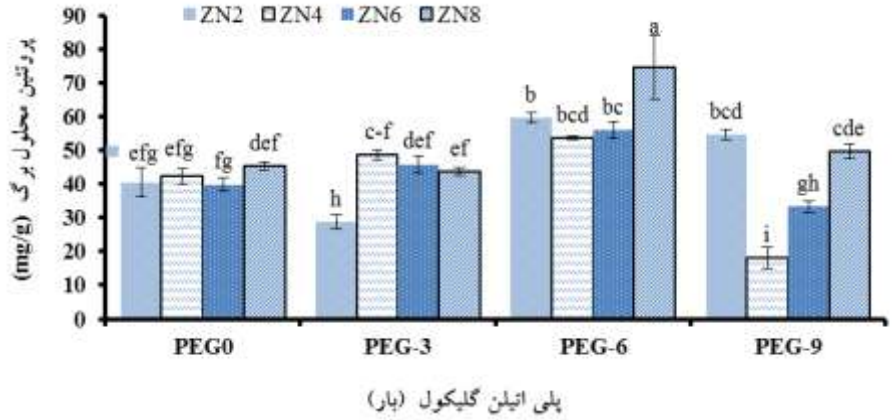


شکل ۱- اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر فعالیت کاتالاز برگ. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند) در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

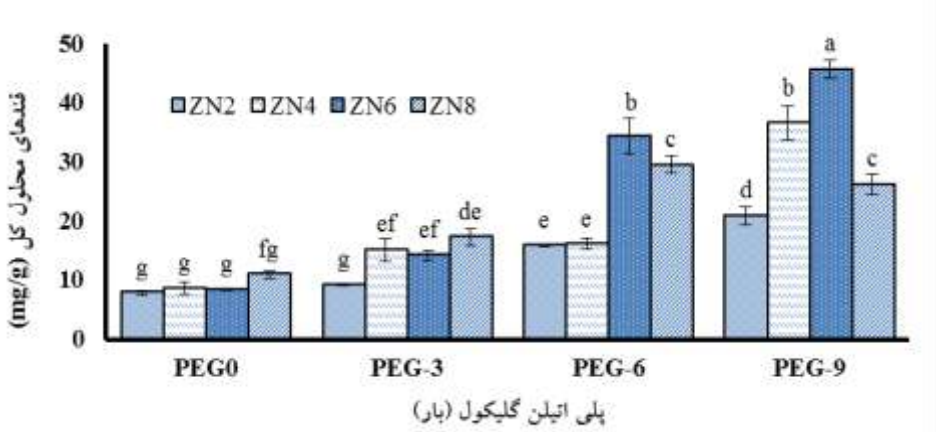
بر درصد پروتئین دانه داشت. این افزایش میزان پروتئین می‌تواند به‌دلیل نقش مهم روی در سنتز پروتئین‌ها و متابولیسم کربوهیدرات‌ها و یا تأثیر غیرمستقیم عناصر ریزمغذی در جذب و استفاده بهینه از نیتروژن موجود در خاک باشد. در گیاه اسفرزه با مصرف ۷/۷ میکرومولار روی، میزان پروتئین محلول برگ افزایش یافت (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

میزان قندهای محلول کل: مطابق با جدول ۱ میزان قند محلول در سطح احتمال خطای ۱ ٪ تحت تأثیر تنش خشکی، سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی قرار گرفت. مقایسه میانگین برهم‌کنش خشکی و سولفات روی نشان داد که در سطوح ۶- و ۹- بار با افزایش سولفات روی تا ۶ میکرومولار میزان قند محلول افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان قند (۴۵/۷۵ mg/g) در بالاترین سطح خشکی و سطح ۶ میکرومولار سولفات روی و کمترین مقدار (mg/g ۷/۸۱) در سطح شاهد خشکی و سطح ۲ سولفات روی بدست آمد (شکل ۳). عنصر روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی به‌عنوان فعال‌کننده و کوفاکتور عمل می‌کند، که این آنزیم‌ها در متابولیسم قندها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک نقش دارند (عسگری لجایر و همکاران، ۱۳۹۳). از دلایل افزایش غلظت قند در گیاهان احتمالاً در نتیجه اختلال در هیدرولیز نشاسته می‌باشد (تایز و زایگر، ۱۳۹۲). در بررسی گونه‌های مختلف گیاه بید مشخص شد که فلز روی باعث افزایش میزان قندهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]



شکل ۲- اثر برهم‌کنش سطوح مختلف سولفات روی و تنش خشکی بر پروتئین گیاه کینوا. (PEGپتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند و Zn سطوح مختلف سولفات روی بر حسب میکرومولار) در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۳- اثر برهم‌کنش سطوح مختلف سولفات روی و تنش خشکی بر قندهای محلول کل برگ کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند و Zn سطوح مختلف سولفات روی بر حسب میکرومولار) در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.

محلول در این گیاهان می‌شود (Borowiak *et al.*, 2015). با افزایش غلظت روی در محیط‌کشت گیاه ریحان تا میزان ٤۰۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان قندهای محلول به بیشترین حد خود رسید (عزیزیان شرمه و همکاران، ۱۳۹۷). جعفردوخت و همکاران (۱۳۹٤) گزارش کردند که تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (روی و منگنز) تأثیر معنی‌داری بر میزان تجمع کربوهیدرات دانه ماش داشت. این عناصر در ارقام متحمل خشکی به‌واسطه افزایش میزان پرولین و یا قندهای محلول نقش مثبتی در امر تنظیم اسمزی دارند.

محتوای پرولین برگ: مقدار پرولین در سطح احتمال خطای ۱ ٪ تحت تأثیر تنش خشکی، سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی قرار گرفت (جدول ۱). لازم به ذکر می‌باشد که به‌علت از دست‌رفتن نمونه، شاخص پرولین فاقد سطح ۳- بار خشکی است. مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سولفات روی، روند افزایش را در پرولین نشان داد به‌طوری‌که بیشترین مقدار پرولین (mmol/g ۱٤٥۳/٤) مربوط به بالاترین سطح خشکی و سولفات روی در سطح ٦ میکرومولار می‌باشد و سطح موردنظر نسبت به

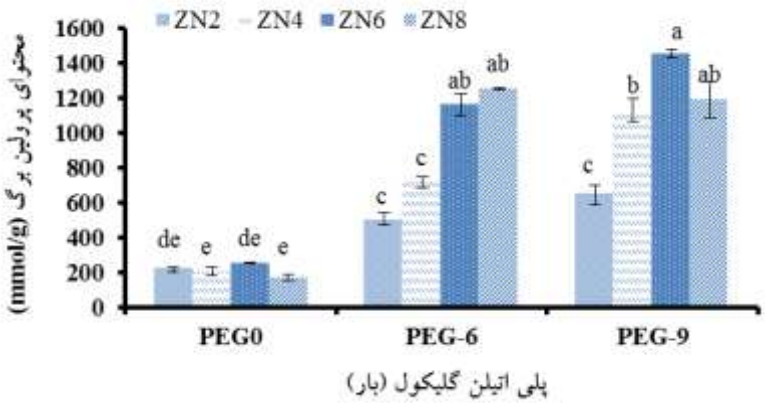
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

بالاترین سطح برهم‌کنش (خشکی ۹- بار و سطح ۸ سولفات روی) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین میزان پرولین (۱۷۰/۵٤ mmol/g) در سطح شاهد خشکی با سولفات روی ۸ میکرومولار مشاهده شد (شکل ٤). یکی از آسیب‌های مهم بافتی که در اثر قرارگرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی رخ می‌دهد، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و ایجاد تنش اکسیداتیو است. برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجادشده، یک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی با کارآیی بالا در گیاهان وجود دارد که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده، خنثی و یا جاروب کنند .این سیستم شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتلاز و نیز سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی مانند پرولین می‌باشد (Shahid *et al*., 2014). با افزایش تنش خشکی میزان سنتز پرولین از گلوتامیک اسید افزایش می‌یابد که این با نتایج تحقیقات امامی بیستگانی و همکاران (۱۳۹٦) بر روی گیاه آویشن دنایی و همچنین تحقیقات کبیری و همکاران (۱۳۹۲) بر روی سیاهدانه مطابقت دارد. پرولین باعث حفظ تعادل آب، حفظ ساختار سه بعدی پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود و به‌عنوان یک محافظ اسمزی عمل می‌کند. اهمیت تجمع پرولین در حفظ وضعیت آبی گیاه بیشتر از اهمیت سایر مواد آلی است و پرولین به‌عنوان رایج‌ترین اسمولیت انباشته‌شده در شرایط تنش عمل می‌کند (بارنده و کاوسی، ۱۳۹۵). در طی تنش شوری با افزایش میزان مصرف روی تا ۷/۷ میکرومولار میزان پرولین افزایش یافت و مقادیر بالاتر باعث کاهش میزان پرولین شد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). افزودن عناصر ریزمغذی مانند روی در محیط‌کشت گیاه می‌تواند در تحمل گیاه نسبت به تنش‌های خشکی و شوری مؤثر باشد.

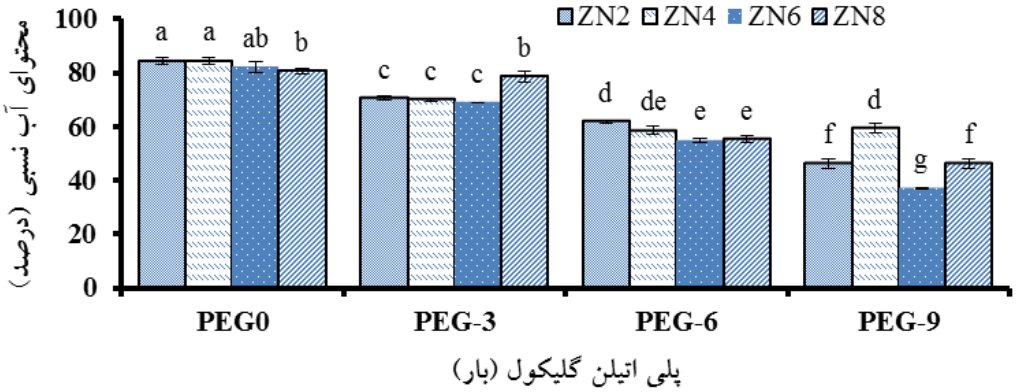
محتوای آب نسبی: طبق نتایج جدول ۱ محتوای آب نسبی گیاه کینوا در سطح احتمال خطای ۱ ٪ تحت تأثیر تنش خشکی، سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش سطح خشکی محتوای آب نسبی کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان می‌دهد به‌طوری‌که در بالاترین سطح خشکی (۹- بار) کاهش ٤٦ ٪ محتوای آب نسبی نسبت به شاهد مشاهده شد. هم‌چنین بین سطوح سولفات روی، سطح ٦ میکرومولار دارای کمترین محتوای آب نسبی (٦۰/٦۵) و با ۵ ٪ کاهش نسبت به شاهد گزارش شد. در ضمن سطح ۸ سولفات روی نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اثر برهم‌کنش خشکی و سولفات روی نشان داد بالاترین محتوای آب نسبی (۸٤/۳۳) در سطح شاهد خشکی و به‌طور مشترک در سطوح ۲ و ٤ میکرومولار سولفات روی است و کمترین محتوای آب نسبی (۳٦/۹۸) مربوط به بالاترین سطح خشکی (۹- بار) و سطح ٦ میکرومولار سولفات روی می‌باشد (شکل ۵). تحت تنش خشکی محتوای آب نسبی، پتانسیل آب برگ، فشار تورگر، تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. گیاهانی که در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند می‌توانند از طریق ایجاد تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی، مانند تغییر در پتانسیل اسمزی سلول‌ها به تنش پاسخ دهند (میرمحمدی میبدی و همکاران، ۱۳۹٤). تنظیم اسمزی با تجمع مواد محلول سازگار باعث کاهش پتانسیل اسمزی و درنتیجه افزایش شیب برای ورود آب به سلول و حفظ تورگر و باعث کاهش اثرات مضر ناشی از تنش خشکی می‌شود (Ahuja *et al*., 2010). محتوای آب نسبی بالاتر گیاه به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است که ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل شود زیرا حفظ محتوای رطوبتی درونی یک گیاه نیاز به داشتن ریشه عمیق جهت جذب آب دارد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳). در گیاهان با وقوع تنش خشکی، تطابق اسمزی رخ خواهد داد و محتوای مواد محلول در سلول‌های برگ افزایش می‌یابد. این بالابودن محتوای مواد محلول باعث می‌شود که وقتی برگ گیاه در آب‌مقطر غوطه‌ور می‌شود مواد سیتوپلاسمی به محیط آپوپلاستی نشت می‌کنند و آبگیری بیشتری در مقایسه با برگ شاهد داشته و در نتیجه محتوای آب برگ در گیاه تنش دیده پایین می‌باشد. در حضور عنصر روی سلول قدرت حفظ ساختار خود را پیدا کرده و نشت مواد کم‌تر صورت می‌گیرد و در نتیجه محتوای آب نسبی افزایش می‌یابد (کرملاچعب و قرینه، ۱۳۹۲).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]



شکل ٤- اثر برهم‌کنش سطوح مختلف سولفات روی و تنش خشکی بر محتوای پرولین برگ گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند و Zn سطوح مختلف سولفات روی بر حسب میکرومولار) در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ٥- اثر برهم‌کنش سطوح مختلف سولفات روی و تنش خشکی بر محتوای آب نسبی گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند و Zn سطوح مختلف سولفات روی بر حسب میکرومولار). در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.

محتوای کلروفیل a برگ: میزان کلروفیل a، در سطح احتمال خطای ۱ ٪ تحت تأثیر خشکی قرار گرفت، اما سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی بر آن تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی میزان کلروفیل a ٣٤ ٪ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ٦).

محتوای کلروفیل b برگ: محتوای کلروفیل b تحت تأثیر خشکی، سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی در سطح احتمال خطای ۱ ٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در سطح ٦- بار تنش خشکی و سطح ٤ میکرومولار سولفات روی بیشترین مقدار کلروفیل b (۰/٦۹ mg/g FW) به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۱۸۷ ٪ افزایش داشت. (شکل ۷). در شرایط تنش خشکی که سطح برگ کاهش می‌یابد تجمع کلروفیل افزایش یافته اما به‌دلیل میزان تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست داده و در نتیجه میزان آب نسبی و به‌دنبال آن فتوسنتز کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق با نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۷) و شریفان و همکاران (۱۳۹۷) بر روی گیاه کینوا مطابقت دارد.

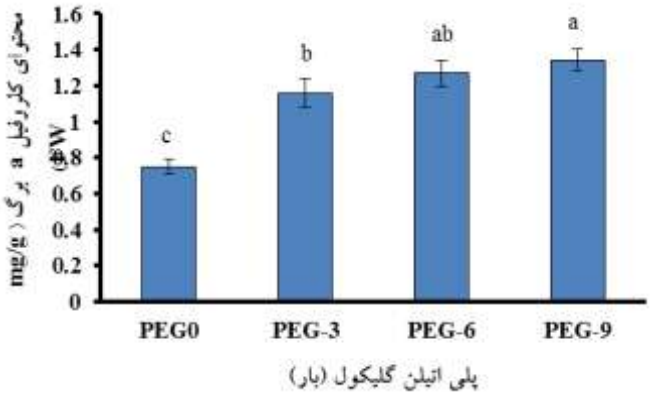
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

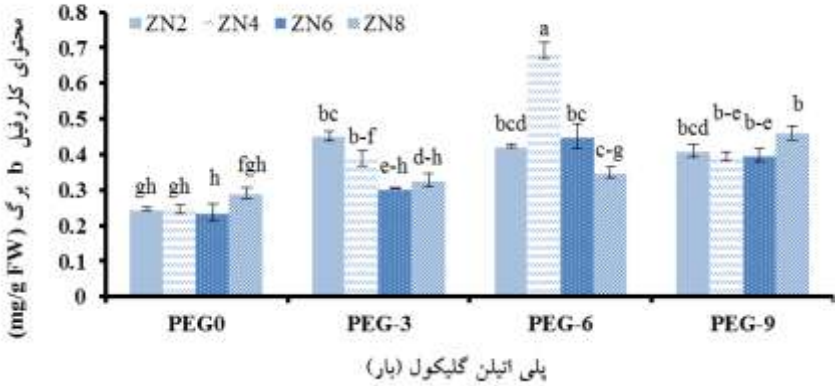
جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف عنصر روی بر رنگیزه‌های گیاه کینوا تحت تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کلروفیل a برگ	کلروفیل b برگ	کاروتنوئید برگ	تعداد برگ	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
پلی‌اتیلن گلیکول	۳	۰/۸۳**	۰/۱۰۷**	٤/۳۳**	۲۱/۰۹**	۳٤۱٤۷۹/۸۵**	۰/۱۳**	٦٥٦/۰٦**
روی	۳	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۱٦**	۰/۱٤^{ns}	۰/۷۲*	٥۲٤۱۰/۲٥*	۰/۰۰۰۲^{ns}	۱۲/۳۱^{ns}
پلی‌اتیلن گلیکول × روی	۹	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۲۲**	۰/۳۱^{ns}	۰/٥۰*	۱۲٦۱۱/۷۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱٤۳/۹۲*
خطا	۳۲	۰/۰٤	۰/۰۰۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۱۹٥٦۲/۲٦	۰/۰۰۱	٥٤/۸۱
ضریب تغییرات	درصد	۱۷/۷٤	۱٦/٤٤	۱۷/۸۲	٤/۰۸	٤/۰۸	۱٤/۷۷	۱٥/۷۷

ns، * و **، به‌ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند.



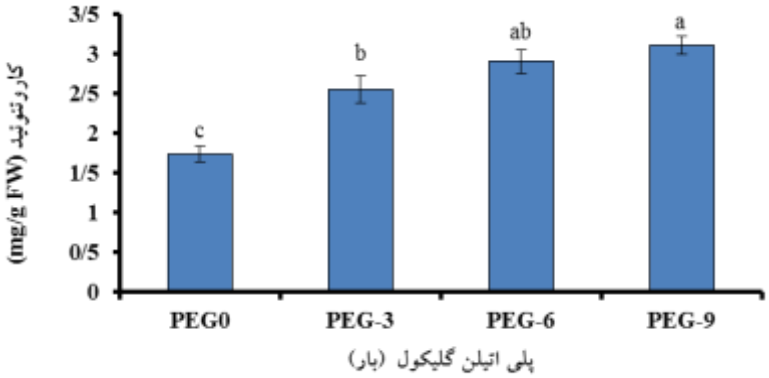
شکل ٦- اثرسطوح مختلف تنش خشکی بر محتوای کلروفیل a برگ. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند) در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۷- اثر برهم‌کنش سطوح مختلف سولفات روی و تنش خشکی بر محتوای کلروفیل b برگ گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجاد شده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند و Zn سطوح مختلف سولفات روی بر حسب میکرومولار). در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

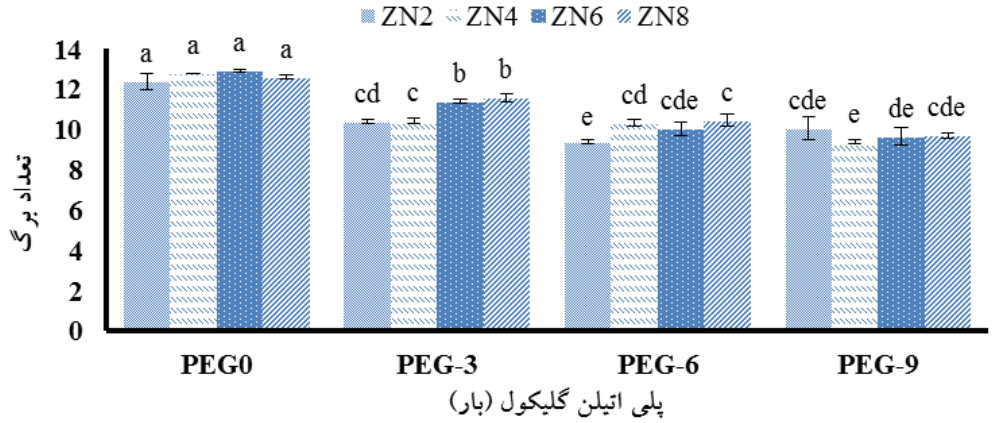


شکل ۸- اثر سطوح مختلف خشکی بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند) در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.

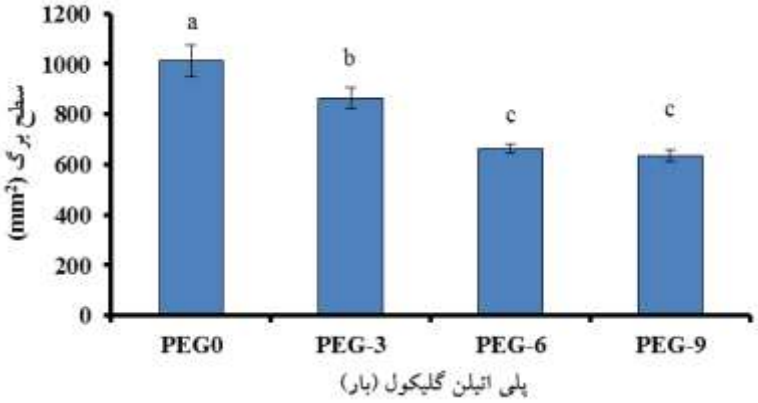
محتوای کاروتنوئیدهای برگ: مقدار کاروتنوئیدهای برگ در سطح احتمال خطای ۱ ٪ در اثر عامل تنش خشکی معنی‌دار شد، اما تحت تأثیر سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش سطح خشکی، مقدار کاروتنوئید افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان مقدار کاروتنوئید (۳/۱۰ mg/g FW)، مربوط به بالاترین سطح خشکی (۹- بار) بود که افزایش دو برابری نسبت به شاهد را نشان داد (شکل ۸). کاروتنوئیدها ترکیبات تتراترپنی هستند که در تنش‌های شدید به‌عنوان حمایت‌کننده‌ای برای سایر رنگیزه‌ها عمل کرده و مانع از تخریب کلروفیل‌ها می‌شود. با افزایش تنش خشکی مقدار کاروتنوئیدها به‌میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی باعث خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌شود (جزی‌زاده و مرتضایی‌نژاد، ١٣٩٦).

تعداد برگ در بوته و سطح برگ: تعداد برگ گیاه کینوا تحت تأثیر تنش خشکی در سطح احتمال خطای ۱ ٪ و تحت اثر سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی در سطح احتمال خطای ۵ ٪ معنی‌دار شد. سطح برگ این گیاه در سطح احتمال خطای ۱ ٪ تحت تأثیر تنش خشکی و در سطح احتمال خطای ۵ ٪ تحت تأثیر سولفات روی معنی‌دار شد اما تحت اثر برهم‌کنش خشکی و سولفات روی معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در برهم‌کنش تنش خشکی و سولفات روی بیشترین تعداد برگ (۱۲/۹۳) در برهم‌کنش سطح شاهد خشکی مشاهده شد اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح سولفات روی در این سطح خشکی مشاهده نشد. در سطح ۳- بار تنش خشکی با افزایش سطوح سولفات روی تعداد برگ افزایش یافت (شکل ۹). افزایش سطوح خشکی منجر به کاهش سطح برگ گیاه کینوا نسبت به شاهد گردید به‌طوری‌که اندازه سطح برگ در سطح خشکی ۹- بار، ۳۷ ٪ نسبت به شاهد کاهش نشان داد (شکل ۱۰). اولین مکانیسم گیاه برای مقابله با خشکی کاهش سطح برگ و کاهش تعرق است (Shao *et al.*, 2008). در شرایط خشکی برگ‌ها کوچک‌تر و تعداد آن‌ها کمتر می‌شود. کاهش تعداد برگ می‌تواند به‌علت پیری زودرس عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودرس گیاه در شرایط تنش باشد (معصومی و همکاران، ١٣٨٤). نتایج این تحقیق با نتایج شریفان و همکاران (۱۳۹۷) بر روی گیاه کینوا رقم Sajama مطابقت دارد. در شرایط تنش خشکی، گیاه سطح برگ خود را برای کاهش تعرق کاهش می‌دهد. دلیل این کاهش سطح برگ می‌تواند کاهش تورژسانس سلولی باشد که منجر به کاهش تقسیم سلولی و تمایز زودرس می‌شود. گیاهان از طریق ایجاد تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی خود به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]



شکل ۹- برهم‌کنش سطوح مختلف سولفات روی و تنش خشکی بر تعداد برگ گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند و Zn سطوح مختلف سولفات روی بر حسب میکرومولار). در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.



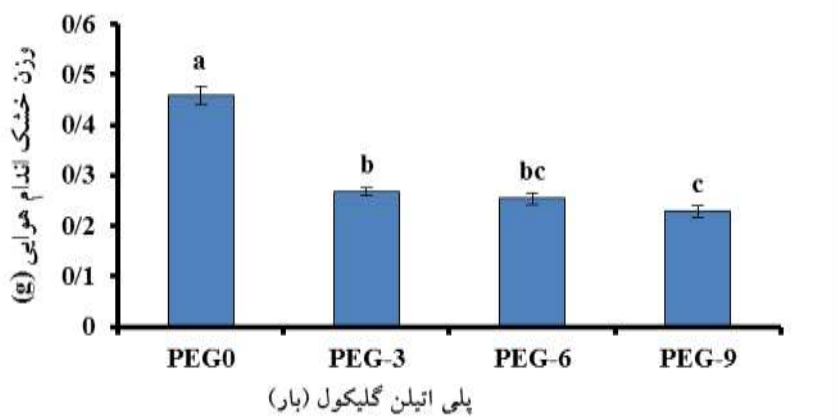
شکل ۱۰- اثر سطوح مختلف خشکی بر سطح برگ گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند). در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.

تنش کم آبی پاسخ می‌دهند. ممانعت از رشد برگ باعث بهبود تعادل آب و تحمل تنش بوسیله محدودکردن از دست‌دادن آب شده و بنابراین باعث بقاء گیاه در شرایط کمبود آب می‌شود (شریفان و همکاران، ۱۳۹۷).

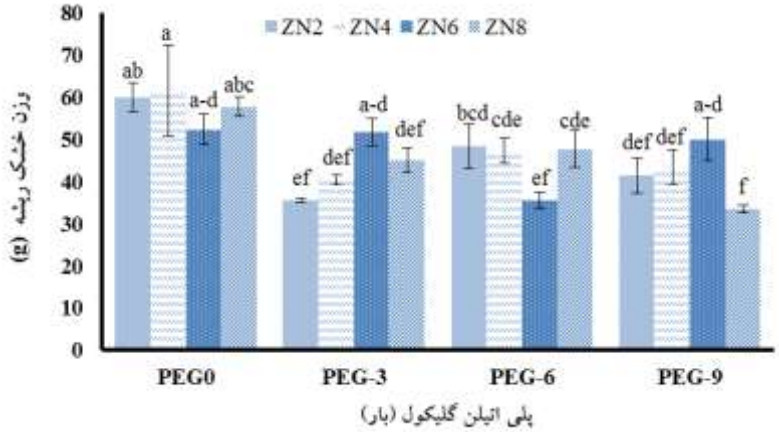
وزن خشک اندام هوایی: مقدار وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال خطای ۱ ٪ تحت تأثیر تنش خشکی معنی‌دار و تحت تأثیر سولفات روی و برهم‌کنش خشکی و سولفات روی معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد با افزایش سطح خشکی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد ۳۸ ٪ کاهش نشان داد (شکل ۱۱). نتایج بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه مرزه نشان داد که وزن تر و وزن خشک گیاه تحت تنش کاهش یافت (سودائی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

وزن خشک ریشه: وزن خشک ریشه در گیاه کینوا تحت تنش خشکی در سطح احتمال خطای ۱ ٪ و تحت اثر برهم‌کنش خشکی و سولفات روی در سطح احتمال خطای ۵٪ معنی‌دار شد. در برهم‌کنش خشکی و سولفات روی، بالاترین وزن خشک ریشه در پایین‌ترین سطح خشکی و سطح ٤ میکرومولار سولفات روی مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح سولفات روی نداشت. در سطح ۳- و ۹- بار خشکی با افزایش سولفات روی تا میزان ٦ میکرومولار باعث

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]



شکل ۱۱- اثر سطوح مختلف خشکی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند) در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۱۲- برهم‌کنش سطوح مختلف سولفات روی و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه گیاه کینوا. (PEG پتانسیل اسمزی ایجادشده از طریق پلی‌اتیلن گلیکول در محلول هوگلند و Zn سطوح مختلف سولفات روی بر حسب میکرومولار). در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارند.

افزایش وزن خشک ریشه شد (شکل ۱۲). در اثر افزایش تنش خشکی وزن خشک ریشه کاهش می‌یابد. با افزایش تنش، فتوسنتز برگ کاهش یافته، احتیاجات قندی در گیاهان برای تنظیم اسمزی زیاد شده و به‌دنبال آن رشد ریشه متوقف می‌گردد (مختاری و برادران، ۱۳۹۰). به‌نظر می‌رسد حضور روی در شرایط تنش از طریق جذب بیشتر روی و تحریک پمپ ATPase و به‌دنبال آن جذب بیشتر پتاسیم باعث افزایش غلظت داخل سلول می‌شود. افزایش غلظت داخل سلول، باعث تحمل شرایط تنش‌زا شده، و سبب تداوم فشار تورگر و ادامه رشد گیاه می‌شود (کرملاچعب و قرینه، ۱۳۹۲).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج، افزایش تنش خشکی موجب افزایش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پروتئین‌های محلول گیاه، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها شد. همچنین با افزایش سولفات روی تا ٦ میکرومولار، میزان قند محلول و پرولین افزایش یافت. طبق نتایج به‌دست آمده، خشکی محتوای آب نسبی را کاهش داد که این کاهش در سطوح بالاتر خشکی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

بیشتر بود. افزایش تنش خشکی موجب کاهش تعداد برگ شد. در سطح شاهد خشکی با افزایش سولفات روی به میزان ٦ میکرومولار تعداد برگ افزایش یافت. افزایش سطوح خشکی منجر به کاهش وزن خشک ریشه نسبت به شاهد شد به‌طوری که بیشترین وزن در سطح شاهد مشاهده شد. افزایش سولفات روی تا میزان ٦ میکرومولار باعث افزایش وزن خشک ریشه شد. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از عنصر ریز مغذی روی در برخی سطوح خشکی می‌تواند باعث بهبود اثرات تنش خشکی در گیاه کینوا شود.

منابع

اسدزاده، ن.، موسوی، غ. و ثقه الاسلامی، م. ج. (۱۳۹٦) تأثیر سطوح آبیاری و کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد و راندمان مصرف آب در آفتابگردان. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی ۳۰: ۱۷-۱.

امامی بیستگانی، ز.، سیادت، ع.، بخشنده، ع. و قاسمی پیربلوطی، ع. (۱۳۹٦) اثر تنش خشکی و الیسیتور کیتوزان بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، قندهای محلول و میزان پراکسیداسیون لیپیدی غشا در گیاه آویشن دنایی (*Thymus deanensis Celak.*) در شرایط آب و هوایی شهرکرد. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۰: ۲۰-۱۳.

بارنده، ف. و کاوسی، ح. ر. (۱۳۹۵) اثر کادمیوم بر تغییرات برخی اجزاء سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی در گیاهچه‌های عدس. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران ۷: ۱۳۷-۱۲۵.

تایز، ل. و زایگر، ا. (۱۳۹۲) فیزیولوژی گیاهی. (مترجم‌ها: کافی، م.، زند، ا.، کامکار، ب.، عباسی، ف.، مهدوی دامغانی، م. و شریفی، ح. ر.). چاپ پنجم، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

جزی‌زاده، ا. و مرتضایی‌نژاد، ف. (۱۳۹٦) اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه کاسنی (*Cichorrium intybus* L.) جهت معرفی در فضای سبز شهری. فرآیند و کارکرد گیاهی ٦: ۲۹۰-۲۸۰.

جعفردوخت، ر.، موسوی‌نیک، م.، مهربان، ا. و بصیری، م. (۱۳۹٤) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در ماش. نشریه تولید گیاهان زراعی ۸: ۱٤۱-۱۲۱.

جمالی، ص.، شریفان، ح. و سجادی، ف. (۱۳۹۷) اثر توأم رژیم‌های مختلف آب دریا و کم آبیاری بر خصوصیات برگ گیاه کینوا رقم *Titicaca*. مدیریت آب و آبیاری ۸: ۱۹۱-۱۷۷.

حسین زاده، پ.، مهتدی، ا.، موحدی دهنوی، م. و آسمانه، ط. (۱۳۹۵) اثر غلظت‌های مختلف روی بر برخی خصوصیات فیریولوژیک گیاه اسفرزه (*Plantago ovate* L.) تحت تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی ۵: ۱٦۸-۱۵۷.

حیدری، ن.، پوریوسف، م. و توکلی، ا. (۱۳۹۳) تأثیر تنش خشکی بر فتوسنتز، پارامترهای وابسته به آن و محتوای نسبی آب گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) ۲۷: ۸۳۹-۸۲۹.

داتنوف، ل.، المر، و. و هوبر، د. (۱۳۹۲) تغذیه معدنی و بیماری‌های گیاهی. (مترجم: بنی هاشمی، س. ض.). چاپ اول، انتشارات آییژ، تهران.

سودائی‌زاده، ح.، شمسایی، م.، تجملیان، م.، میرمحمدی میبدی، ع. م. و حکیم‌زاده، م. ع. (۱۳۹۵) بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis*). فرآیند و کارکرد گیاهی ۵: ۱۲-۱.

شریفان، ح.، جمالی، ص. و سجادی، ف. (۱۳۹۷) بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. نشریه علوم آب و خاک ۲۲: ۲۷-۱۵.

صادق زاده، ب. (۱۳۹٤) نقش عنصر روی در بهبود تولید گندم نان و دوروم در شرایط دیم سردسیری. نشریه زراعت دیم ایران ٤: ۲۲٤-۱٤۹.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

عزیزیان شرمه، ا.، عینعلی، ع. و ولیزاده، ج. (۱۳۹۷) پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) بر اثر غلظت‌های مختلف عنصر روی. زیست‌شناسی گیاهی ایران ۱۰: ٥٦-۳٥.

عسگری لجایر، ح.، متشرع زاده، ب.، ثواقبی فیروز آبادی، غ. و هادیان، ج. (۱۳۹۳) تأثیر کاربرد مس و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پرمصرف (فسفر) در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ٥: ۱۱۱-۹٥.

کبیری، ر.، نصیبی، ف. و فرح بخش، ح. (۱۳۹۲) مطالعه برخی پارامترهای اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa*) در شرایط کشت هیدروپونیک. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۲: ۱۹-۱۱.

کرملاچعب، ع. و قرینه، م. ح. (۱۳۹۲) تأثیر عنصر روی بر رشد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۱: ٤٥۳-٤٤٦.

مختاری، ا. و برادران، ر. (۱۳۹۰) تأثیر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های رشدی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis*). همایش منطقه‌ای اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، شوشتر.

معصومی، ع.، کافی، م.، نظامی. ا. و حسینی، ح. (۱۳۸٤) اثرات تنش خشکی روی برخی خصوصیات مورفولوژیک تعدادی از ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۳: ۲۸۹-۲۷۷.

میر محمدی میبدی، ع. م.، گلکار، پ. و گل آبادی، م. (۱۳۹٤) پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی (آثار و سازوکارهای مقاومت). چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان.

Abdellatif, A. S. A. (2018) Chemical and technological evaluation of Quinoa (*Chenopodium quino*a Willd.) cultivated in Egypt. Acta Scientific Nutritional Health 2: 42-53.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Ahuja, I., De vos, R. C., Bones, A. M. and Hall, R. D. (2010) Plant molecular stress responses face climate change. Plant Science 15: 664-674.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

Aziz, A., Akram, N. A. and Ashraf, M. (2018) Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. Plant Physiology and Biochemistry 123: 192-203.

Bazil, D., Pulvento, C., Verniau, A., AI-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov, O., Otambokova, M., Sepahvand, N. A., Shams, A., Souici, D., Miri, K. and Padulosi, S. (2016) Worldwide evaluation of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. Journal of Plant Science 7: 1-18.

Borowiak, K., Gasecka, M., Mleczek, M., Dabrowski, J., Chadzinikolau, T., Magdziak, Z., Golinski, P., Rutkowski, P. and Kozubik, T. (2015) Photosynthetic activity in relation to chlorophylls, carbohydrates, phenolics and growth of a hybrid *salix purpurea* × *triandra* × *viminalis* 2 at various Zn concentrations. Acta Physiologiae Plantarum 37: 155.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. Analytical Biochemistry 38: 248-252.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basara, S. M. A. (2009) Plant drought stress: effect, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Fuentes, F. and Bhargava, A. (2011) Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 124-134.

Grewal, H. S. and Wiliams, R. (2000) Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. Plant Nutrition 23: 942-962.

Hariadi, Y., Marandom, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E. and Shabala, S. (2011) Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quino*a Willd.) plant grown at various salinity levels. Journal of Experimental Botany 62: 185-193.

Hassegawa, R. H., Fonseca, H., Fancelli, A. L., Da silva, V. N., Schammass, E. A., Reis, T. A. and Correa, B. (2008) Influence of macro and micronutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. Food Control 19: 36-43.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

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. Physiologia Plantarum 84: 55-60.

Jacobsen, S. E., Liu, F. and Jensen, C. R. (2009) Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quino*a Willd.). Scientia Horticulturae 122: 281-287.

Jacobsen, S. E., Mujica, A. and Jensen, C. R. (2003) The resistance of quinoa (*Chenopodium quino*a Willd.) to adverse abiotic factors. Food Reviews International 19: 99-109.

Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase and poly phenol oxides activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Khanna-Chopra, R. and Selote, D. S. (2007) Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions. Environmental and Experimental Botany 60: 276-283.

Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K. and Becker, D. F. (2013) Proline mechanisms of stress survival. Antioxidant and Redox Signaling 19: 998-1011.

Maradini-Filho, A. M. (2017) Quinoa: nutritional aspects. Journal of Nutraceuticals and Food Science 2: 1-5.

Martinez, J. P., Lutts, S., Schanck, A., Bajji, M. and Kinet, J. M. (2004) Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L.? Journal of Plant Physiology 161: 1041-1051.

Matysik, J., Alia, B. B. and Mohanty, P. (2002) Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Science 82: 525-532.

Michel, B. and Kaufmann, E. (1973) The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology 51: 914-916.

Paquine, R. and Lechasseur, P. (1979) Observation sur une method dosage la libre dans les de plantes. Canadian Journal of Botany 57: 1851-1854.

Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Adolf, V. I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E. and Andersen, M. N. (2011) Water relations and transpiration of Quinoa (*Chenopodium quino*a Willd.) under salinity and soil drying. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 348-360.

Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M. and Pinelli, E. (2014) Heavy-metal induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 232: 1-44.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. Comptes Rendus Biologies 331: 215-225.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]

Response of some physiological and morphological properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by zinc application under drought stress

Zahra Solimaninya[1], Ahmad Mohtadi[*1], Mohsen Movahhedi Dehnavi[2]

[1] Department of Biology, Faculty of Science, Yasouj University
[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University
(Received: 08/03/2020, Accepted: 06/07/2020)

Abstract

Iran, is classified as arid and semi-arid regions of the world. Therefore, it is important to identify and planting of drought tolerant plants such as quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Zinc is involved in vital processes of the plant therefore; the supply of this element to the plant has a major impact on the quantity and quality of production. This study was conducted as a pot experiment to investigate the effect of zinc sulfate on quinoa under drought stress in a factorial randomized complete design with three replications. Drought stress was prepared with PEG 6000 at four levels (0, -3, -6 and -9 bar) and zinc element from zinc sulfate source with four levels (2 (control), 4, 6, and 8 µM) and in the four-leaf stage, the treatments were applied simultaneously to Hogland's nutrient solution for two weeks. According to the results, an increase in drought stress caused a 68% increase in catalase compared to the control. Maximum leaf soluble protein at -6 bar level with 8 µM zinc sulfate level, highest total soluble sugars and leaf proline at the highest level of drought and 6 µM zinc sulfate were observed. With increasing drought, chlorophyll a (34%), chlorophyll b (187%) and leaf carotenoid increased two-fold but decreased shoot dry weight (38%) and leaf area (37%) compared to control. In general, the use of zinc reduced the damage caused by drought stress by improving the level of osmolytics, and to alleviate the effect of drought stress, the use of 6 µM zinc sulfate in nutrient solutions is recommended.

Key words: Catalase, *Chenopodium quinoa* Willd., Chlorophyll content, Proline

Corresponding author, Email: a.mohtadi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8]