نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره سوم، پاییز ۹۶
۱۴۳-۱۵۶
http://ejcp.gau.ac.ir

پاسخ عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) به منابع نیتروژن در سطوح مختلف آبیاری

مرضیه جلیل شش‌بهره[۱]، *محسن موحدی دهنوی[۲]، بابک بحرینی‌نژاد[۳] و امین صالحی[۲]

[۱]دانشجوی دکتری زراعت، فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، [۲]عضو هیأت علمی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، [۳]عضو هیأت علمی بخش، تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: سرخارگل گیاهی علفی و چندساله، با نام علمی (*Echinaceae purpurea* (L.) Munch) متعلق به خانواده گل‌ستاره‌ای‌ها می‌باشد. تمام اندام گیاه سرخارگل ممکن است استفاده دارویی داشته باشد و به‌طور گسترده در تهیه قرص‌های دارویی و شربت استفاده می‌شود. نیتروژن نقش مهمی در پاسخ فیزیولوژیک گیاهان دارویی به تنش خشکی دارد. کاربرد کودهای زیستی نیتروژنه برای دست‌یابی به کیفیت مطلوب و پایدار و همچنین کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی حیاتی است. از این‌رو این آزمایش با هدف بررسی پاسخ عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک سرخارگل به منابع شیمیایی و زیستی نیتروژن در سطوح مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سال‌های زراعی ۹۳-۹۲ و ۹۴-۹۳ در شهرستان لردگان در استان چهارمحال و بختیاری به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. آبیاری پس از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس خاک به‌عنوان عامل اصلی و نیتروژن به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، کود نیتروکسین (پنج لیتر در هکتار)، تلفیق نیتروژن (۴۰ کیلوگرم در هکتار) و نیتروکسین (پنج لیتر در هکتار) و عدم مصرف نیتروژن (شاهد) در نظر گرفته شدند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل کلروفیل a، کلروفیل b، محتوی کلروفیل کل، پرولین، قندهای محلول، پارامترهای فلورسانس کلروفیل و عملکرد زیستی بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن برای همه صفات (به‌جز اثر نیتروژن بر کلروفیل کل) معنی‌دار شدند. همچنین برهمکنش سه گانه سال× آبیاری × منبع نیتروژن برای همه صفات اندازه‌گیری شده (به‌جز قندهای محلول) معنی‌دار گردید. مصرف نیتروژن طی دو سال آزمایش در آبیاری پس از ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه، محتوی کلروفیل برگ را افزایش داد. حداکثر و حداقل فلورسانس از تیمار ۸۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب در آبیاری پس از ۲۵ و ۷۵ درصد تخلیه در سال دوم به‌دست آمد. حداکثر عملکرد زیستی در سال اول (۵۱۰۵/۲ کیلوگرم در

*مسئول مکاتبه: Movahhedi1354@.yu.ac.ir

هکتار) و در سال دوم (۱۲۱۷۸/۰۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه و تیمارهای تلفیق نیتروکسین و ٤۰ کیلوگرم و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد. به‌طور کلی سرخارگل برای مقابله با تنش خشکی مقدار قندهای محلول و پرولین را در برگ افزایش و سطوح مختلف نیتروژن نیز میزان قندهای محلول و پرولین را در برگ تحت تأثیر قرار داد.

نتیجه‌گیری: پیشنهاد می‌گردد که برای دست‌یابی به بیشترین عملکرد اندام هوایی، آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه آب قابل دسترس صورت گیرد. همچنین مصرف تلفیقی نیتروکسین و ٤۰ کیلوگرم نیتروژن، جایگزین مناسبی برای مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فلورسانس، قند محلول، کلروفیل، نیتروکسین

مقدمه

سرخارگل گیاهی علفی و چندساله، با نام علمی (*Echinaceae purpurea* (L.) Munch) متعلق به خانواده گل‌ستاره‌ای‌ها (*Asteracea*) می‌باشد. سرخارگل در درمان بیماری‌های دستگاه ادراری، اختلالات تنفسی و عفونت‌های ویروسی استفاده می‌شود (۳٤).

خشکسالی و تنش حاصل از آن یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را در ایران محدود می‌کند (۱). استفاده از گونه‌های گیاهی مناسب که دارای عملکرد مطلوب و همچنین متحمل به تنش رطوبتی باشند، امکان استفاده بهینه از منابع آب موجود را فراهم می‌کند و بازده تولید را افزایش می‌دهد. تنش خشکی علاوه‌بر کاهش عملکرد باعث بروز سایر تنش‌ها از جمله تنش کمبود عناصر غذایی برای گیاه می‌شود. همچنین خشکی باعث کاهش جمعیت میکروبی در خاک می‌شود (۱۱). یکی از راهکارهای فیزیولوژیک مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اسمزی، ساخت و ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی در سلول است. پرولین یکی از این مواد است که می‌تواند در سیتوپلاسم و واکوئل نقش حفاظتی داشته باشد و خاصیت سمیت‌زدایی نیز از وظایف این ترکیب اسمزی سازگار است (۱۸). تجمع پرولین در هنگام تنش در گیاهان مختلف همچون لوبیا چشم بلبلی (۱۸)، بابونه (۳)، گلرنگ (۲۲)، آویشن (۷) و کنجد (۲۰) گزارش شده است. هیدروکربن‌های محلول از جمله اسمولیت‌های دیگری هستند که در پاسخ به تنش‌های خشکی و شوری در گیاهان تجمع یافته و به‌طور وسیعی گزارش شده‌اند. گزارش شده است که با بالا رفتن سطح تنش خشکی تا سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه در گیاه بابونه، بر میزان تجمع دو تنظیم کننده اسمزی، قندهای محلول و پرولین، افزوده شد (۳).

کمبود آب منجر به کاهش پتانسیل آب برگ‌ها، کاهش رشد برگ، کاهش فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن می‌گردد (۳۲). در شرایط تنش خشکی میزان کلرفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در جو (۳۰) و نخود (۱۸) کاهش یافت. تنش‌های محیطی با تأثیر بر محتوای کلروفیل باعث افت فعالیت فتوسنتزی و اختلال در فعالیت سیستم نوری می‌شوند. فلورسانس کلروفیل به‌عنوان یک معیار سنجش اندازه‌گیری تنش‌های محیطی، از جمله تنش آب بر گونه‌های گیاهی و تعیین میزان مقاومت به خشکی آن‌ها پیشنهاد شده است (۲۱). طبق گزارش موحدی و همکاران

(۲۰۰٤) تنش خشکی موجب کاهش عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) در گلرنگ می‌شود (۲۲).

علاوه‌بر آب، نیتروژن نیز از اهمیت ویژه‌ای در تکوین و سیر مراحل فیزیولوژیک گیاه برخوردار است (۲۹). کودهای حاوی نیتروژن ترکیب شیمیایی خاک و گیاه را تغییر می‌دهند. این عامل منجر به افزایش توانایی گیاه در جذب مواد آلی و غیر آلی از خاک می‌شود (۱۷). از طرفی اگر میزان نیتروژن در دسترس کمتر یا بیشتر از حد مطلوب رشد گیاه باشد، موجب اختلال در فرآیندهای حیاتی و کیفی گیاهان دارویی می‌گردد که ممکن است سبب کاهش یا توقف رشد زایشی شود (۲۹). استفاده از جانداران مفید خاکزی تحت عنوان کودهای زیستی به‌عنوان طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه حل برای زنده و فعال نگه‌داشتن سامانه حیاتی خاک، مطرح می‌باشند. از جمله مهمترین کودهای زیستی که امروزه مورد توجه قرار گرفته نیتروکسین است که شامل باکتری‌های *Azotobacter* و *Azospirillum* می‌باشد. این باکتری‌ها قادر به تحریک و افزایش رشد از طرق مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن (۲۵)، هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، ویتامین‌های گروه ب و توسعه سامانه‌های ریشه‌ای گیاه و ترشح اسیدهای آلی در ریزسفر هستند (۳۵). نتایج آزمایش رابیا و همکاران (۲۰۱۳) نشان می‌دهد مصرف کودهای زیستی نیتروبین (ازتو *باکتر* و *آزوسپیریلیوم*) باعث افزایش عملکرد در گیاه سرخارگل شد (۲۸). مصرف کودهای حاوی نیتروژن باعث افزایش عملکرد گیاه دارویی بادرشبو (۱٦)، آویشن (۷) و کدو حلوایی (۵) شد. همچنین مصرف تلفیق نیتروکسین و کود شیمیایی اوره عملکرد ارزن را افزایش داد (۲۳).

با توجه به کم شدن میزان بارندگی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و لزوم توجه به روش‌های کم‌آبیاری، همچنین نقش مهم برهم‌کنش کود نیتروژنه شیمیایی و زیستی و آبیاری در فیزیولوژی و رشد و لزوم توجه به جایگزینی کودهای زیستی به‌جای کودهای شیمیایی برای بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و کمی گیاه دارویی سرخارگل در شرایط آب و هوایی چهارمحال و بختیاری، این پژوهش صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۹۳-۹۲ و ۹٤-۹۳ در مزرعه‌ای در شهرستان لردگان در استان چهارمحال و بختیاری با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و طول ۵۰ درجه و ٤۸ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۵٦٤ متری از سطح دریا اجرا شد. میانگین دما و بارش سالانه این شهرستان به‌ترتیب ۱۵/۱ درجه و ۵۵۰ میلی‌متر است. قبل از اجرای آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین و مشخص شد که بافت خاک لومی- سیلتی با اسیدیته ۷/۷ نیتروژن کل خاک ۰/۱۹ و ماده آلی ۱/۱٤ درصد، فسفر ۵۱/۱، پتاسیم قابل جذب ۲۷٤، آهن ٤/۱۱ و روی ۰/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آبیاری در سه سطح شامل پس از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس به‌عنوان عامل اصلی بود، که از مرحله پنج برگی تا مرحله رسیدگی اعمال گردید. عامل فرعی در پنج سطح شامل ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ٤۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، کود نیتروکسین با تعداد سلول زنده در هر میلی‌لیتر (CFU) ۱۰۸ عدد (پنج لیتر در هکتار)، تلفیق نیتروژن (٤۰ کیلوگرم در هکتار) و نیتروکسین (پنج لیتر در هکتار) و عدم مصرف نیتروژن (شاهد) بود. نیتروژن از منبع اوره و در دو مرحله پنج برگی و شروع ساقه‌روی به‌صورت سرک استفاده شد. هر کرت آزمایش شامل ۵ ردیف

کاشت با فاصله ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متر بود. کاشت نشاهای ۹۰ روزه با تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار (۲)، روی پشته‌هایی به طول ۳ متر، فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر صورت گرفت. فواصل بین کرت‌های اصلی، فرعی و تکرارها به‌ترتیب ۲، ۱ و ۲ متر بود. پس از استقرار کامل گیاه در مرحله ۵ برگی تیمارهای آبیاری بر اساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده در خاک به عنوان تیمار شاهد و سایر تیمارها شامل آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه آب قابل استفاده در نظر گرفته شد. برای دستیابی به این تیمارها ۲٤ ساعت بعد از آبیاری از خاک تا عمق ریشه نمونه‌برداری صورت می‌گرفت و میزان آب قابل دسترس در خاک به روش وزنی محاسبه گردید و آبیاری پس از رسیدن به سطح موردنظر صورت می‌گرفت (۳۱)، بنابراین میزان آب مصرفی برای تیمار آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس در سال اول برای عمق تا ۳۰ سانتی‌متر ۳۷۱/٤ (مترمکعب در هکتار) و در سال دوم برای عمق تا ٦۰ سانتی‌متر ۷٤۲/۸۵ (مترمکعب در هکتار) بود.

در این پژوهش پارامترهای فلورسانس کلروفیل توسط دستگاه فلوریمتر مدل (OS1-FL) بعد از سه مرحله اعمال تیمارهای آبیاری در مرحله شروع ساقه‌دهی از ردیف‌های وسطی کرت در دو حالت برگ سازگار شده با روشنایی و برگ سازگار شده با تاریکی (به‌مدت ۲۰ دقیقه) اندازه‌گیری گردید. میزان کلروفیل برگ به روش آرنون (۱۹٤۰) اندازه‌گیری شد (٤). در این روش پس از تهیه عصاره الکلی از نمونه‌ها، جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٦۳ و ٦٤۵ نانومتر قرائت و سپس با استفاده از روابط زیر، میزان کلروفیل محاسبه گردید:

Chla (mg/ml)= (۰/۰۱۲۷× OD ٦٦۳) – (۰/۰۰۲٦۹× OD٦٤۵)

Chlb (mg/ml)= (۰/۰۲۲۹× OD٦٤۵) – (۰/۰۰٤٦۸× OD ٦٦۳)

اندازه‌گیری میزان قندهای محلول و پرولین برگ به‌ترتیب از روش ایریگوئن و همکاران (۱٤) و پاکوئین و لیچاسور (۲٦) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی در زمان گل‌دهی کامل با حذف حواشی هر کرت، کل اندام رویشی برداشت و پس از خشک کردن در محل سایه، وزن و عملکرد زیستی در هکتار محاسبه گردید. لازم به ذکر است تمام مراحل برای اندازه‌گیری صفات هر دو سال در زمان معین تکرار شد. تجزیه و تحلیل مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین‌های اثرهای اصلی بر اساس آزمون LSD و در صورت معنی‌دار شدن برهم‌کنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین بر اساس رویه L.S.Means برنامه SAS انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های دو سال نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری در سطح ۱ درصد برای صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار شد. سطوح مختلف نیتروژن برای صفات کلروفیل a و کلروفیل b نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار و برای صفت کلروفیل کل غیرمعنی‌دار گردید. همچنین اثر متقابل سال × آبیاری × نیتروژن برای میزان کلرفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار شد (تجزیه واریانس داده‌ها نشان داده نشده است). در سطح آبیاری پس از ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه از مصرف نیتروکسین، تلفیق نیتروکسین و نیتروژن و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین میزان کلروفیل a به‌دست آمد (جدول ۱). در تیمار آبیاری پس از ۷۵

درصد تخلیه، مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن میزان کلروفیل a را نسبت به شاهد، ٤٧ درصد افزایش یافت. در سال دوم مصرف سطوح مختلف نیتروژن باعث افزایش معنی‌داری میزان کلروفیل a نسبت به شاهد شد و تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف نیتروژن مشاهده نگردید. افزایش کلروفیل در اثر مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن ممکن است ناشی از تأثیری باشد که نیتروژن در تأمین مواد آلی جهت رشد جمعیت باکتری دارد و همچنین تأثیری که باکتری بر تثبیت نیتروژن و جذب سایر عناصر و جذب آب از طریق توسعه ریشه خواهد داشت. کاربرد نیتروژن در شرایطی که محدودیت نوری وجود نداشته باشد موجب افزایش سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدانی در گیاه شده و از اکسیداسیون نوری رنگدانه‌های کلروپلاست و پیری برگ جلوگیری می‌کند (۱۹). مشاهدات آرویی و امیدبیگی (۲۰۰٤) در گیاه دارویی کدو حلوایی نشان داد که با کاربرد نیتروژن میزان کلروفیل گیاه افزایش یافت (۵).

نتایج نشان داد که اثر نیتروژن در سطوح مختلف آبیاری برای کلروفیل b متفاوت بوده است. به‌طوری‌که در سال اول در آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه، مصرف ٤۰ کیلوگرم نیتروژن تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت و بین سایر سطوح نیتروژن نیز تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۱). در آبیاری پس از ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن به‌ترتیب موجب افزایش ٦٦ و ٦۲ درصد میزان کلروفیل b نسبت به شاهد شد. در سال دوم مصرف نیتروژن در تمام سطوح آبیاری میزان کلروفیل b را نسبت به شاهد افزایش داد و تفاوت معنی‌داری بین سطوح نیتروژن وجود نداشت به‌جز آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه که مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن نسبت به دیگر سطوح نیتروژن اثر کمتری داشت. نیتروژن جزء لازم مولکول کلروفیل است از این رو کمبود آن منجربه کاهش تولید و پایداری برگ و بروز زردی در گیاه می‌شود (۱۳). مقایسه داده‌های دو سال کلروفیل a و b نشان می‌دهد که هر دو نوع کلروفیل در سال اول واکنش بیشتری نسبت به سطوح نیتروژن نشان داد. با توجه به مشاهدات و چند ساله بودن گیاه سرخارگل می‌توان گفت گیاه در سال دوم با افزایش توان خود از طریق ذخایر ریشه، توسعه بیشتر ریشه و در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی سازگاری بهتری نسبت به تنش کم آبی پیدا نموده است.

روند تغییرات میزان کلروفیل کل در سال اول (جدول ۱) نشان داد حداکثر میزان کلروفیل کل در شرایط آبیاری پس از ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه از سه تیمار نیتروکسین، مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن و تلفیق نیتروکسین و نیتروژن به‌دست آمد. در تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه حداکثر میزان کلروفیل کل از تلفیق نیتروکسین و نیتروژن به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن ندارد. در سال دوم در تمام سطوح آبیاری، مصرف نیتروژن نسبت به شاهد کلروفیل کل را افزایش داد و بین سطوح نیتروژن (به جز آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه) تفاوت معنی‌داری دیده نشد. نیتروژن از طریق تأثیر بر میزان کلروفیل a و b دارد (۱۳)، میزان کلروفیل کل را تحت تأثیر قرار داده است. به‌طوری‌که محتوای کلروفیل در سال دوم در تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه تحت تأثیر میزان کلروفیل b قرار گرفته و به‌شدت کاهش یافته است. محتوای کلروفیل با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافته است که با نتایج سالک جلالی (۲۰۱۲) در جو و مفاخری و همکاران (۲۰۱۰) در نخود مطابقت دارد (۱۸ و ۳۰). این محققان معتقدند که تنش خشکی از طریق تولید رادیکال‌های آزاد باعث ناپایداری غشاء سلولی و

خسارت به رنگدانه‌ها شده و میزان کلروفیل در برگ را کاهش می‌دهد.

نتایج حاصل از تجزیه داده‌های دو سال نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن برای صفات پرولین، قند محلول، فلورسانس حداکثر و حداقل، عملکرد کوانتوم و عملکرد زیستی معنی‌دار شد. همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل سال × آبیاری × نیتروژن برای میزان پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. در سال اول مصرف سطوح مختلف نیتروژن در سطوح آبیاری پس از ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه تأثیر معنی‌داری بر میزان پرولین برگ نداشت و در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن میزان پرولین را نسبت به شاهد ۵۸/۹ درصد افزایش داد (جدول ۱). اما در سال دوم در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه، حداکثر میزان پرولین برگ از مصرف نیتروکسین به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تلفیق نیتروکسین و نیتروژن نداشت. در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه، مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و در آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن به‌ترتیب ۲۹/۳۸ و ۳۲ درصد افزایش در میزان پرولین برگ را نسبت به شاهد موجب شدند. همچنین کمترین میزان پرولین برگ در این سطح آبیاری از مصرف نیتروکسین به‌دست آمد. این نتیجه می‌تواند ناشی از اثر تنش خشکی بر فعالیت باکتری‌های کود نیتروکسین باشد. همچنین کاهش تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌ها در شرایط کم آبی می‌تواند به‌دلیل کاهش فتوسنتز و ساخت هیدروکربن‌ها در گیاه باشد. در شرایط تنش خشکی گیاه برای تجمع پرولین و سایر اسیدهای آمینه جهت تنظیم اسمزی به نیتروژن بیشتری نیاز دارد (٦). بنابراین در دسترس بودن این عنصر به میزان کافی در شرایط تنش خشکی تولید پرولین را افزایش می‌دهد. مشاهدات نیوبراگ و همکاران (۲۰۱۰) در گیاه نخود نشان می‌دهد با افزایش میزان نیتروژن میزان پرولین در گیاه افزایش می‌یابد (٢٤). این مشاهدات با نتایج بحرینی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲) در آویشن و مهرابی و احسان‌زاده (۲۰۱۱) در کنجد مطابقت دارد (۲۰ و ۷).

اثر سال در نیتروژن و سال در آبیاری برای میزان قندهای محلول معنی‌دار شد. بیشترین میزان قندهای محلول در سال اول از مصرف نیتروکسین به‌دست آمد، که البته تفاوت معنی‌داری با مصرف ٤٠ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن نداشت. همچنین در سال دوم بیشترین میزان قندهای محلول از مصرف نیتروکسین و تلفیق نیتروکسین و ٤٠ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد (شکل ۱). در سال دوم مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کمترین میزان قند محلول را موجب شد. دلیل این نتیجه را می‌توان کمبود رطوبت جهت جذب نیتروژن و در نتیجه افزایش پتانسیل اسمزی محیط ریشه دانست. مصرف نیتروژن از طریق تأثیر بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، دوام سطح فتوسنتزکننده (۳۳) و در نتیجه تأثیر بر میزان تولیدات فتوسنتزی می‌تواند بر تجمع مواد آلی و متابولیسم قندها تأثیرگذار باشد. نیتروکسین و تلفیق نیتروکسین و نیتروژن در هر دو سال آزمایش بیشترین تأثیر را بر قندهای محلول داشت. نیتروکسین علاوه‌بر تأمین نیتروژن، برخی از عناصر موردنیاز گیاه از جمله پتاسیم، فسفر، روی و آهن را از طریق گسترش شبکه ریشه تأمین می‌کند (۳۳). بنابراین با مصرف نیتروکسین، شرایط تغذیه‌ای مناسب‌تری برای گیاه فراهم شده و میزان فتوسنتز را افزایش می‌دهد. نتایج جعفرزاده و همکاران (٢٠١٤) در گیاه همیشه بهار نیز نشان می‌دهد مصرف نیتروکسین در شرایط تنش خشکی قندهای محلول برگ را افزایش داده است (۱۵).

جدول ۱- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح مختلف منبع نیتروژن در سطوح آبیاری برای صفات کلروفیل و پرولین برگ سرخارگل در سال اول و دوم آزمایش.

Table 1. Mean comparison of the interaction of nitrogen sources in irrigation levels for purple coneflower leaf chlorophyll and proline content in the first and second years experiments.

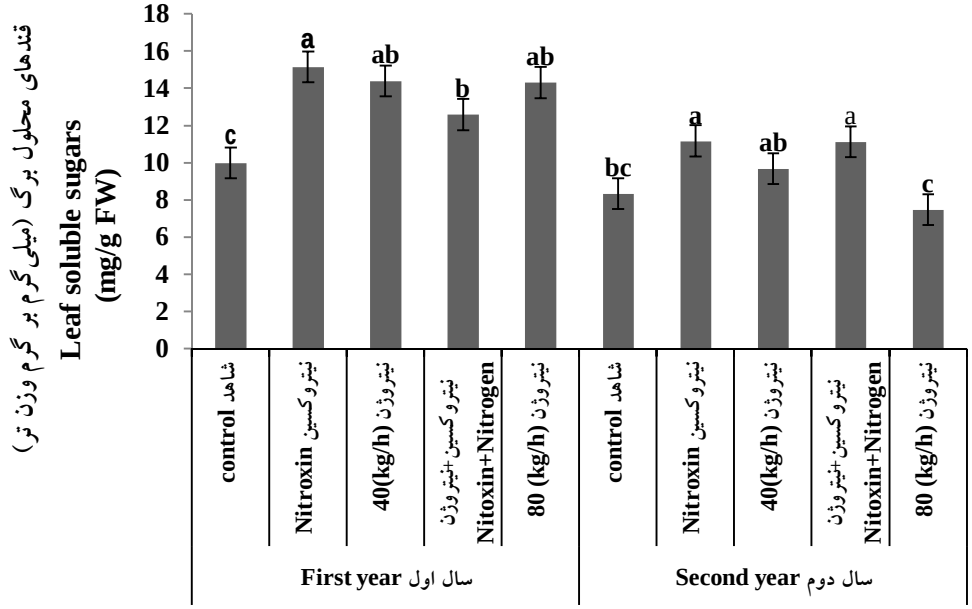
آبیاری Irrigation	منبع نیتروژن Nitrogen source	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$)		کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$)		کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم) Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$)		پرولین (میکرومول بر گرم) Proline ($\mu mol.gr^{-1}$)	
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 25% SAWDD)	N0*	0.44^{c}	0.44^{b}	0.18^{b}	0.16 ^{b}	0.62^{c}	0.66^{b}	2.72^{a}	1.39^{c}
	N1	0.99^{a}	0.74^{a}	0.363^{a}	0.356^{a}	1.35^{a}	1.09^{a}	3.65^{a}	4.27^{a}
	N2	0.74^{bc}	0.84^{a}	0.22^{b}	0.29^{a}	0.96^{b}	1.13^{a}	3.18^{a}	3.59^{ab}
	N3	0.88^{ab}	0.84^{a}	0.326^{a}	0.343^{a}	1.2^{a}	1.15^{a}	3.27^{a}	3.63^{a}
	N4	0.94^{a}	0.85^{a}	0.333^{a}	0.303^{a}	1.27 ^{a}	1.18^{a}	3.18^{a}	3.27^{b}
آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه آب قابل سترس (Irrigation after 50% SAWD)	N0	0.42^{c}	0.45^{b}	0.136^{d}	0.126^{c}	0.55^{c}	0.58^{c}	3.28^{a}	3.1^{b}
	N1	0.87^{a}	0.706^{a}	0.338^{b}	0.35^{a}	1.21^{a}	1.08^{a}	3.52^{a}	3.75^{ab}
	N2	0.68^{b}	0.72^{a}	0.25^{c}	0.303^{ab}	0.93^{b}	1.02^{a}	3.17^{a}	3.95^{ab}
	N3	0.93^{a}	0.70^{a}	0.406^{a}	0.26^{b}	1.33^{a}	0.96^{b}	3.48^{a}	3.98^{a}
	N4	0.96^{a}	0.743^{a}	0 .28b^{c}	0.33^{a}	1.18^{a}	1.08^{a}	4.04^{a}	4.39^{a}
آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 25% SAWD)	N0	0.34^{c}	0.17^{b}	0.136^{d}	0.09^{b}	0.47 ^{c}	0.26^{b}	3.34^{c}	4.3^{b}
	N1	0.51^{ab}	0.65^{a}	0.243^{b}	0.31^{a}	0.75^{b}	0.96^{a}	5.65^{b}	2.87^{c}
	N2	0.37^{bc}	0.58^{a}	0.166^{c}	0.33^{a}	0.54^{c}	0.89^{a}	3.71^{c}	6.01^{a}
	N3	0.84^{a}	0.61^{a}	0.463^{a}	0.33^{a}	0.94^{a}	0.92^{a}	8.14^{a}	6.41^{a}
(SAWD	N4	0.59^{b}	0.67^{a}	0.223^{bc}	0.353^{a}	0.82^{ab}	1.02^{a}	4.75^{b}	5.2^{ab}
اثرهای اصلی Main Effects									
آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 25% SAWD)		0.799	0.754	0.268	0.290	1.08	1.2	3.2	3.23
آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 50% SAWD)		0.772	0.663	0.282	0.207	1.04	0.944	3.5	3.83
آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 75% SAWD)		0.478	0.536	0.246	0.265	0.704	0.808	5.11	4.96
منبع نیتروژن Nitrogen Source	N0	0.402	0.373	0.15	0.125	0.547	0.50	3.11	2.93
	N1	0.79	0.67	0.314	0.338	1.1	1.04	4.27	3.63
	N2	0.76	0.713	0.212	0.307	0.81	1.01	3.35	4.5
	N3	0.797	0.716	0.398	0.302	1.15	1.01	4.96	4.66
	N4	0.83	0.753	0.279	0.328	1.1	1.09	3.99	4.29

* N0: عدم مصرف نیتروژن (control)؛ N1: نیتروکسین (Nitroxin)؛ N2: ۴۰ کیلوگرم نیتروژن (40 Kg Nitogen)؛ N3: نیتروکسین+ ۴۰ کیلوگرم نیتروژن (Nitroxin+40 Kg Nitrogen) N4: ۸۰ کیلوگرم نیتروژن (80kg Nitrogen). SAWD: Soil Availble Water Depletion.

در هر سطح آبیاری وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد بین سطوح منبع نیتروژن می‌باشد (با استفاده از رویه L.S.Means).

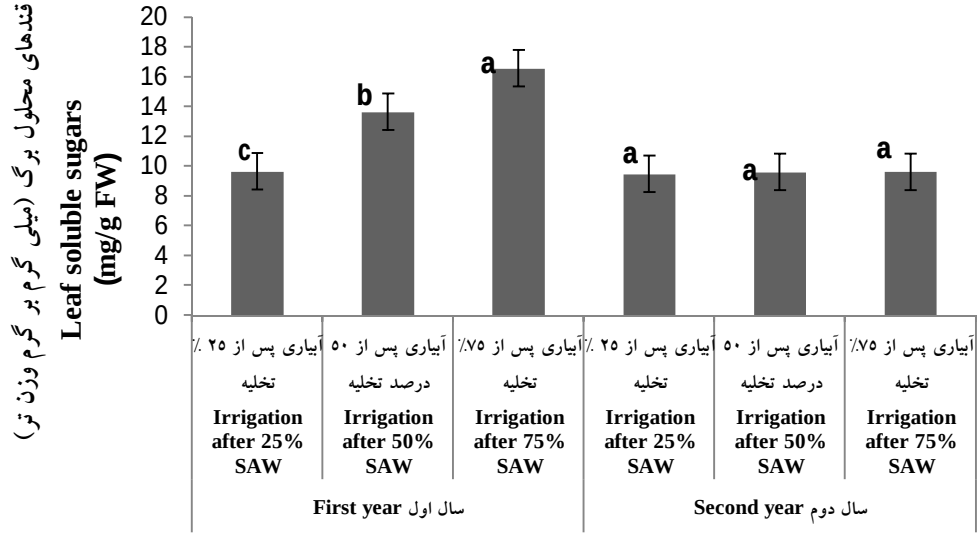
In each irrigation level means followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level (L.S.Means procedure).

شکل (۲) نشان می‌دهد که آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه نسبت به آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه قندهای محلول برگ را ٤١/٧٨ درصد افزایش داد. قندهای محلول برگ در سال دوم تحت تأثیر آبیاری قرار نگرفت. با مقایسه میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ طی دوسال مشاهده می‌شود در تنش شدید (آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه) در سال دوم قندهای محلول تحت تأثیر تنش قرار نگرفته است و تغییرات میزان پرولین در سال دوم نسبت به سال اول کم و در مواردی کاهش یافته است.



شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح نیتروژن در دو سال آزمایش برای محتوای قندهای محلول در برگ سرخارگل.

Figure 1. Mean comparison of the levels of nitogen for purple coneflower soluble sugars in two years experiment.



شکل ۲- مقایسه میانگین سطوح آبیاری در دو سال آزمایش برای محتوای قندهای محلول در برگ سرخارگل.

Figure 2. Mean comparison of the levels of irrigation for purple coneflower leaf soluble sugars in two years experiment.

بر اساس نتایج تجزیه مرکب، اثر متقابل سال × آبیاری × نیتروژن برای صفات فلورسانس حداقل، حداکثر، عملکرد فلورسانس برگ و عملکرد زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد، در سال اول در آبیاری سطح اول مصرف نیتروکسین، فلورسانس حداقل را نسبت به شاهد ۲۳/۷ درصد کاهش داد و سایر سطوح نیتروژن تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (جدول ۲). اما در آبیاری سطح دوم کمترین میزان فلورسانس حداقل از مصرف نیتروکسین و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد. مصرف ٤٠ کیلوگرم نیتروژن کمترین میزان فلورسانس حداقل را در آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه موجب شد که با نیتروکسین و مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن تفاوت معنی‌دار نداشت. اما در سال دوم در آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه مصرف نیتروکسین و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن به‌طور مساوی ۱۱/۸۷ درصد و در آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه، مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن فلورسانس حداقل را ۲۷/٦ درصد را نسبت به شاهد در این سطوح از آبیاری کاهش دادند. کاهش در میزان دسترسی به نیتروژن عملکرد فتوسیستم دو، انتقال الکترون و کارایی فتوسیستم را کاهش می‌دهد. در شرایط تنش خشکی جذب و تثبیت نیتروژن کاهش می‌یابد در این شرایط افزایش نیتروژن تا حد مشخصی باعث بهبود وضعیت تغذیه گیاه می‌شود. کاهش فلورسانس حداقل توسط نیتروژن می‌تواند از طریق نقشی که در افزایش کلروفیل a و b دارد، صورت گیرد (جدول ۲). علاوه‌بر این تیمار نیتروکسین و تلفیق نیتروکسین و نیتروژن با افزایش تارهای کشنده امکان جذب آب را برای گیاه فراهم می‌سازند و اختلالات انتقال الکترون ناشی از تنش خشکی را کاهش می‌دهد. افزایش فلورسانس حداقل با افزایش شدت تنش خشکی (جدول ۲) نشان‌دهنده انهدام و تخریب مراکز واکنش فتوسیستم دو در شرایط تنش خشکی بوده است.

حداکثر فلورسانس نیز همانند فلورسانس حداقل تحت تأثیر برهم‌کنش تنش و مصرف نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). در سال اول در سطح آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن فلورسانس حدکثر را نسبت به سایر سطوح نیتروژن کاهش داد (جدول ۲). اما در سطح آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه مصرف تلفیق نیتروکسین و نیتروژن و نیتروکسین کمترین میزان این صفت را موجب شد و کمترین میزان صفت حداکثر فلورسانس از مصرف ٤٠ کیلوگرم نیتروژن در آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه به‌دست آمد. اما بر همکنش نیتروژن و آبیاری در سال دوم نسبت به سال اول بسیار متفاوت بود. به‌طوری‌که در تمیار آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه مصرف نیتروکسین حداکثر فلورسانس را نسبت به سایر سطوح نیتروژن به‌طور معنی‌داری افزایش داد. و در آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه فلورسانس حداکثر تحت تأثیر نیتروژن قرار نگرفت.

با توجه به نتایج (جدول ۲) مشاهده می‌شود در سال اول در آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه، نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد فلورسانس نداشت و در دو سطح آبیاری پس از۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه به‌ترتیب نیتروکسین و مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حداکثر عملکرد فلورسانس را موجب شدند. در سال دوم کاربرد نیتروژن در دو سطح آبیاری اول و دوم عملکرد فلورسانس را نسبت به شاهد افزایش داد. اما در آبیاری سطح سوم، مصرف ۸۰ و ٤٠ کیلوگرم نیتروژن عملکرد را نسبت به شاهد کاهش داد. با بررسی جدول ۲ مشاهده می‌شود، سطوح مختلف نیتروژن به‌ویژه نیتروکسین و تلفیق نیتروکسین و نیتروژن با کاهش فلورسانس حداقل و فلورسانس حداکثر موجب افزایش فلورسانس متغیر و در نتیجه

افزایش در عملکرد فلورسانس شد. حفظ غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند. افزایش در فتوسنتز باعث افزایش فلورسانس متغییر و در نتیجه افزایش عملکرد فلورسانس می‌شود (۹). بنابراین نیتروژن با تأثیری که بر میزان محتوی کلروفیل دارد می‌تواند بر عملکرد کوانتوم مؤثر واقع شود. اما مصرف نیتروکسین و تلفیق نیتروژن و نیتروکسین، نیز می‌تواند از طریق گسترش سامانه ریشه‌ای (۳۵) و در نتیجه جذب بهتر و بیشتر آب و تأمین مواد غذایی چون نیتروژن و سایر عناصر غذایی (۳۳) امکان تغذیه بهتر در شرایط تنش خشکی افزایش دهد و به‌نظر می‌رسد، همین خصوصیت باعث افزایش عملکرد فلورسانس در این تیمارها نسبت به مصرف نیتروژن به‌صورت معدنی در آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه در سال دوم باشد. با توجه به نتایج این آزمایش بیشتر نوسانات عملکرد کوانتوم ناشی از تغییرات فلورسانس حداقل است (جدول ۲).

نتایج نشان داد که میزان عملکرد زیستی اثر متقابل سال × آبیاری × نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). به‌طوری‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در سال اول در سطح اول آبیاری مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن و در سطح دوم آبیاری تلفیق نیتروکسین و ٤٠ کیلوگرم نیتروژن عملکرد زیستی را نسبت به شاهد به‌ترتیب ۵۲ و ۵۳/٦ درصد افزایش داد البته در سطح دوم آبیاری تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن تفاوت معنی‌داری با تلفیق نداشت. در سطح سوم آبیاری در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن و تلفیق نیتروکسین و نیتروژن بیشترین عملکرد حاصل شده است که تفاوت معنی‌داری با مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن نداشت. در سال دوم در آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه تأثیر تیمارهای نیتروژن روندی مشابه سال اول داشت و تیمار تلفیق و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین عملکرد را در این سطح آبیاری و در دو سال کشت موجب شدند. تیمار نیتروکسین نسبت به تیمار ٤٠ کیلوگرم نیتروژن، ۱۲ درصد عملکرد زیستی را افزایش داد. اما در سطح آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه مصرف ٤٠ کیلوگرم نیتروژن و تلفیق نیتروکسین و نیتروژن، نسبت به ۸۰ کیلوگرم نیتروژن، عملکرد را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. با توجه به نقش مهم عنصر نیتروژن در ساختمان ترکیبات حیاتی مانند اسید نوکلئیک، اسیدهای امینه، آلکالوئیدها و کلروفیل در گیاه انتظار می‌رود با کمبود نیتروژن کاهش فتوسنتز، کاهش وزن خشک، شاخص سطح برگ و تأخیر رشد رویشی صورت گیرد (۱۰). جذب نیتروژن در شرایط تنش خشکی در اکثر گیاهان کاهش می‌یابد، حتی اگر نیتروژن معدنی در اختیار گیاه قرار گیرد (۱۲). در شرایط تنش خشکی افزایش غلظت ترکیبات نیتروژنی در اطراف ریشه منجر به افزایش فشار اسمزی و تلاش بیشتر گیاه برای حفظ آب سلول‌ها و کاهش تعرق می‌گردد (۲۷). بنابراین به‌نظر می‌رسد علت کاهش عملکرد با مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه طی دو سال، اختلال در روند جذب نیتروژن و سایر عناصر غذایی به‌دلیل افزایش فشار اسمزی اطراف ریشه، کاهش تعرق و کاهش رشد در گیاه باشد. همچنین نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که فعالیت میکروبی نیتروکسین در شرایط بروز کم آبی کاهش می‌یابد؛ اما با این وجود در شرایط کم آبی نسبت به شاهد عملکرد را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار داد. افزایش عملکرد ناشی از مصرف نیتروکسین و تلفیق نیتروکسین و نیتروژن عملکرد را می‌توان به نقش باکتری‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه دانست.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل (برهم‌کنش) سطوح مختلف منبع نیتروژن در سطوح آبیاری در سال اول و دوم آزمایش برای صفات فلورسانس کلروفیل برگ و عملکرد زیستی سرخارگل.

Table 2. Mean comparison of the interaction of nitrogen sources in irrigation levels.
and nitrogen sources for purple coneflower leaf flourescence and biological yield in first and second years.

آبیاری Irrigation	منبع نیتروژن Nitrogen source	فلورسانس حداقل F0		فلورسانس حداکثر Fm		عملکرد فلورسانس Quantum yield of PSII		عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار) Biological Yield (Kg/ha)	
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 25% SAWDD)	N0*	59^{a}	55.6^{a}	328^{a}	331.66^{b}	0.821^{a}	0.834^{b}	2209^{c}	5328^{e}
	N1	45.5^{b}	49^{b}	342^{a}	365.66^{a}	0.846^{a}	0.857^{ab}	3487^{b}	8590^{d}
	N2	54^{a}	54.6^{ab}	335^{a}	334.66^{b}	0.84^{a}	0.838^{ab}	3556^{b}	9388^{c}
	N3	57^{a}	51.6^{ab}	334^{a}	339.3^{b}	0.848^{a}	0.863^{ab}	4050^{ab}	10152^{b}
	N4	54.5^{a}	49^{b}	326^{b}	328.3^{b}	0.841^{a}	0.864^{a}	4482^{a}	11180^{a}
آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه آب قابل سترس (Irrigation after 50% SAWD)	N0	80^{a}	75^{a}	325.6^{a}	338.6^{b}	0.755^{c}	0.787^{b}	2340^{c}	7487 ^{d}
	N1	56^{c}	61^{b}	263^{c}	351.6^{ab}	0.826^{a}	0.808^{ab}	3986^{b}	10596^{b}
	N2	62^{b}	63^{b}	325^{a}	348.6^{ab}	0.795^{b}	0.821^{a}	3717^{b}	9776^{c}
	N3	65^{b}	54.3^{c}	286.5^{b}	362^{a}	0.8^{ab}	0.837^{a}	5105^{a}	11956^{a}
	N4	54^{c}	58.3^{bc}	326^{a}	338.3^{b}	0.811^{ab}	0.811^{a}	4574^{a}	12178^{a}
آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 25% SAWD)	N0	80.3^{a}	86.6^{a}	325.3^{a}	382.33^{a}	0.779^{b}	0.759^{a}	1700^{b}	4959^{c}
	N1	72.6^{b}	73.3^{c}	333^{a}	368.33^{a}	0.788^{ab}	0.754^{a}	2289^{a}	7809^{b}
	N2	69^{b}	78^{b}	300^{b}	374.33^{a}	0.787^{ab}	0.706^{b}	2671^{a}	8568^{a}
	N3	78.6^{a}	76^{b}	331.66^{a}	382.66^{a}	0.76^{b}	0.78^{a}	2515^{a}	8944^{a}
	N4	76.3^{b}	79.6^{b}	298.66^{b}	382.33^{a}	0.810^{a}	0.684^{b}	2355^{a}	7427^{b}
اثرهای اصلی Main Effects									
آبیاری پس از ۲۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 25% SAWD)		54	52	333	339.9	0.839	0.851	3555.5	8982
آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 50% SAWD)		63.4	62.3	305.2	347.3	0.797	0.812	3944.1	1039.9
آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه آب قابل دسترس (Irrigation after 75% SAWD)		75.4	78.7	317.6	377.8	0.784	0.736	2306.6	7542
منبع نیتروژن Nitrogen Source	N0	73.1	72.4	326.3	350.9	0.78	0.793	2883.4	5925.1
	N1	58	61	32.17	361.6	0.82	0.806	3251.4	8998.8
	N2	61.7	65.2	320	252.5	0.807	0.788	3315.5	9244.7
	N3	66.9	60.6	317.4	361.3	0.802	0.836	3500.5	10353.3
	N4	61.1	62.3	316.8	349.7	0.82	0.786	3804.3	10261.8

در هر سطح آبیاری وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد بین سطوح منبع نیتروژن می‌باشد (با استفاده از رویه L.S.Means).

In each irrigation level means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5 % probability level (L.S.Means procedure).

* N0: عدم مصرف نیتروژن (control)؛ N1: نیتروکسین (Nitroxin)؛ N2: ۴۰ کیلوگرم نیتروژن (40 Kg Nitogen)؛ N3: نیتروکسین+ ۴۰ کیلوگرم نیتروژن (Nitroxin+40 Kg Nitrogen) N4: ۸۰ کیلوگرم نیتروژن (80kg Nitrogen). SAWD: Soil Availble Water Depletion.

افزایش جذب عناصر غذایی (NO_3, K^+, PO_4^{3-} و عناصر کم مصرف) توسط گیاه در نتیجه تلقیح با آزوسپیریلیوم به‌دلیل افزایش رشد ریشه و گسترش تارهای کشنده در اثر هورمون‌ها و برخی ماکرومولکول‌های تولید شده توسط باکتری می‌باشد (۳۳). همچنین مشاهدات آزمایش نشان می‌دهد محدودیت آبی با اثر بر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو یا Fv/Fm و کاهش میزان کلروفیل a و b و

محتوای کل کلروفیل، مصرف ATP بیشتر جهت هیدرولیز ترکیبات اسمزی توان گیاه برای انجام فرایندهای فسفوریلاسیون نوری را کاهش و انرژی لازم برای فعالیت آنزیم رابیسکو را تحت تأثیر قرار داده است. فراهمی نیتروژن به‌عنوان یکی از زیر ساخت‌های اصلی کلروفیل توانسته اثرات تنش کم آبی را با افزایش میزان کلروفیل a و b و کل بهبود ببخشد. مشاهدات خیراندیش و همکاران (١٦) در گیاه بادرشبو و بومیلی و همکارن (٨) در سرخارگل (*Echinacea purpurea*) نیز نشان می‌دهد افزایش نیتروژن موجب افزایش وزن خشک کل می‌شود. نتایج رابیا و همکاران (٢٠١٣) در سرخارگل، نبی‌زاده و همکاران (٢٠١٢) در ارزن نشان می‌دهد مصرف نیتروکسین عملکرد را افزایش می‌دهد (٢٨ و ٢٣). از دلایل افزایش عملکرد زیستی در سال دوم ذخیره مواد غذایی سال اول در ریشه، تأثیر نیتروکسین بر فعالیت میکروارگانسیم‌های خاک، گستردگی ریشه و سازگار شدن گیاه با شرایط محیطی و مهمتر از همه برداشت دو چین را می‌توان نام برد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی با توجه به تغییرات میزان پرولین و قندهای محلول برگ طی دو سال آزمایش، می‌توان به این نتیجه رسید که تجمع پرولین و قند محلول در برگ نمی‌تواند سرخارگل را به تنش خشکی متحمل سازد و به‌نظر می‌رسد گیاه سرخارگل احتمالا از طرق دیگری از خشکی اجتناب می‌کند. مصرف ٨٠ کیلوگرم نیتروژن در تیمار آبیاری پس از ٥٠ درصد تخلیه آب قابل دسترس موجب حداکثر عملکرد طی دو سال آزمایش شد؛ اما این میزان عملکرد تفاوت معنی‌داری با عملکرد حاصل از مصرف تلفیق نیتروکسین و ٤٠ کیلوگرم نیتروژن در این سطح از آبیاری نداشت. همچنین در این سطح از آبیاری بیشترین عملکرد فلورسانس برگ از مصرف نیتروکسین در سال اول و تلفیق نیتروکسین و ٤٠ نیتروژن عملکرد در سال دوم به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح نیتروژن نداشت. بنابراین با توجه به مسائل زیست محیطی و هزینه بالای تولید کود شیمیایی ترکیب کودی نیتروکسین و ٤٠ کیلوگرم نیتروژن می‌تواند جایگزینی برای مصرف ٨٠ کیلوگرم کود باشد.

منابع

1. Abolhasani, Kh., and Saeidi, G. 2006. Evaluation of drought tolerance of Safflower Lines Based on tolerance and sensitivity indices to water stress. J. Water Soil. Sci., 10(3): 407-419. (In Persian)
2. Aghaalikhani, M., Iranpour, A., and Naghdi Badi, H. 2013. Changes in agronomic and phitochemical yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) munch) under urea and three biofertilizers application. J. Med. Plant., 46(12): 121-136. (In Persian)
3. Arazmjo, A., Heidari, M., and Ghanabari, A. 2009. The effect of water stress and three sources of fertilizers on fertilizeron flower yield, physiological parameter and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian J. Medic. Arom. Plants., 4(46): 482 - 494. (In Persian)
4. Arnon, D.I. 1940. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. J. Plant Physiol. 4: 1-15.
5. Aroiee, H., and Omidbaigi, R. 2004. Effects of Nitrogen Fertilizer on Productivity of Medicinal Pumpkin. Act. Horti. 629, ISHS 2004.

6.Bahavar, N., Ebadi, A., Tobeh, A., and Jamaati-e-Somarin, Sh. 2009. Effects of nitrogen application on growth of irrigated chickpea (*Cicera rietinum* L.) under drought stress in hydroponics condition. Res. J. Environ. Sci., 3: 448-455.
7.Bahreininejad, B., Razmjoo, J., and Mirza, M. 2012. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in Thymus daenensis. Int. J. Plant. Produc., 7(1): 151-166.
8.Bonomelli, C., Cisterna, D., and Reciné, C. 2005. Effect of Nitrogen Fertilization on Echinacea purpurea Mineral Composition. Cien. Inv. Agr., 32(2): 85-91.
9.Castrillo, M., and Trujillo, I. 1994. Ribulose-1-5, biphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein content in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. Photosynthetica, 30(2): 175-181.
10.Dordas, C.A., and Sioulas, C. 2007. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain fed conditions. Indust. Crops Prod., 27: 75-85.
11.Elliott, L.F., and Wildung, R.E. 1992. What biotechnology means for soil and water conservation? J. Soil Water Cons., 47: 17-20.
12.Gonzalez-Dugo, V., Durand, J.L., and Gastal, F. 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. Agron. Sustain. Develop., 30: 529–544.
13.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 micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. Food Control., 19: 36-43.
14.Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentration of praline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Plant. Physiol., 84: 55-60.
15.Jafarzadhe, H., Omidi, H., and Bostani, A. 2014. The study of drought stress and Bio fertilizer of nitrogen on some biochemical traits of Marigold medicinal plant (*Calendula officinalis* L). J. Plant Res., 2: 180-193. (In Persian)
16.Kherandish, E., Roshdi, M., and Yousefzadeh, S. 2016. Effects of water stress levels and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) Elec. J. Crop Prod., 9(1): 109-125. (In Persian)
17.Lin, S., Sattelmacher, B., Kutzmutz, E., Muhling, K.H., Dittert, K., Kutzmutz, E., and Muhling, K.H. 2004. Influence of nitrogen nutrition on tuber quality of potato with special reference to the pathway of nitrate transport in to tubers. J. Plant Nut., 27(2): 341-350.
18.Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., and Sohrabi, Y. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Aust. J. Crop Sci., 4(8): 580-585.
19.Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2, Academic Press, London, U.K., 889p.
20.Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, A. 2011. Study on phiziological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. J. Crop Improve. (J. Agric)., 13(2): 75– 88. (In Persian)
21.Moffatt, J.M., Sears, R.G., and Paujsen, G.M. 1990. Wheat high temperature tolerance during reproductive growth: I. Evaluation by chlorophyll fluorescence. Crop Sci., 30(4): 881-207.
22.Movahhedi Dehnavi, M., Modares sanavi, S.A.M., Soroushzadeh, A., and Jalali, M. 2004. Chages in prolin, total soluble sugars, SPAD and chlorophyll fluorescence in winter safflower cultivars under drought stress and foliar application of zinc and manganese. Desert (BIABAN)., 9(1): 93-109. (In Persian)
23.Nabizadeh, E., Habibi, H., and Hosainpour, M. 2012. The effect of Fertilizers and biological nitrogen and planting density on yield quality and quantity *Pimpinella anisum* L. European J. Exp. Biol., 2(4): 1326-1336.

24.Neuberg, M., Pavlíková, D., Pavlík, M., and Balík, J. 2010. The effect of different nitrogen nutrition on proline and asparagine content in plant. Plant. Soil. Environ., 56: 305–311.
25.Pandey, A., Sharma, E., and Palni, L.M.S. 1998. Influence of bacterial inoculation on maize in upland farming systems of the Sikkim Himalaya. Soil. Biol. Biochem., 30: 379–384.
26.Paquine, R., and Lechasseure, P. 1979. Observation surune metode dosage la libre dance les de planttes. Can. J. Bot., 57: 1851- 1859
27Pierret, A., Moran, C.J., and Doussan, C. 2005. Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. New Phytol., 166: 967–980.
28.Rabia, M.M.Y., Khalil, S.E., and El-Said, N.A.M. 2013. Response of *Echinacea purpurea* L. to irrigation water regime and bio-fertilization in sandy soils. World. Appl. Sci. J., 26(6): 771-782.
29.Rios-Gonzalez, K., Erdei, L., and Lips, S.H. 2002. The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. Plant Sci.,162: 923-930.
30.Salekjalali, M., Haddad, R., and Jafarfi, B. 2012. Effects of soil water shortages on the activity of antioxidant enzymes and the contents of chlorophylls and proteins in barley. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci., 12(1): 57-63.
31.Sanchez, F.J., Manzanares, M., De Andrés, E.F., Tenorio, J.L., and Ayerbe, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic djustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crops Res., 59: 225-235.
32.Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F., and Schepers, J.S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agron. J., 97: 106-112.
33.Starr, M.P., Stdp, H., Truper, H.G., Balows, A., and Schlegel, H.G. 1995. The Prokaryotes, Springer-Verlage.
34.Tsai, Y.L., Chiou, S.Y., Chan, K.C., Sung, J.M., and Lin, S.D. 2012. Caffeic acid derivatives, total phenols, antioxidant and anti-mutagenic activities of Echinacea purpurea flower extracts. LWT-Food Sci. Technol., 46: 169-176.
35.Turan, M., Ataoglu, N., and Sahin, F. 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. J. Sustain. Agric., 28: 99–108.