Archive of SID

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال دوازدهم، شماره چهلم، ۱۳۹۹

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

اثر باکتری‌های محرک رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش کمبود آب

زینب بش[۱]، عبدالرزاق دانش‌شهرکی[۲]، مهدی قبادی‌نیا[۳]، کرامت‌الله سعیدی[٤]

دریافت: ۹۷/۳/۲۸ پذیرش: ۹۷/٦/۲۹

چکیده

تنش کمبود آب یکی از مشکلات جدی و رو به توسعه در سطح جهان است، که در حال حاضر سطح وسیعی از اراضی کشور نیز با این مشکل مواجه هستند. امروزه کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه در کاهش تنش‌های محیطی، به یک راهکار جهانی تبدیل شده است. بنابراین به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر برخی از صفات فیزیولوژیک سیاهدانه تحت تنش کمبود آب آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ به اجرا در-آمد. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح مختلف تنش کمبود آب در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و باکتری‌های محرک رشد در هفت سطح شاهد و تلقیح با شش گونه باکتریایی شامل *Bacillus* sp. strainA، *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus* sp. strainB، *Azotobacter chroococcum*، *Pseudomonas putida* و *Azospirillum lipoferum* بودند. نتایج نشان داد که تأثیر سطوح تنش کمبود آب، تیمارهای باکتریایی و اثر متقابل آنها بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. طبق نتایج حاصل تیمار تنش ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب کاهش ۲۸ درصدی کلروفیل کل، ۱٤/٤ درصدی رطوبت نسبی گیاه و ۲۸/٤ درصدی عملکرد دانه شد. تلقیح بذرها با باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش مقادیر اندازه‌گیری‌شده در سه سطح آبیاری در مقایسه با شاهد گردید. بطوریکه تمامی تیمارهای باکتریایی تحت تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه توانستند میزان کلروفیل b، رطوبت نسبی گیاه و عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش دهند. همچنین تحت تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus* sp. strainB بیشترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در مجموع افزایش صفات در تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus* sp. strainA، *Bacillus* sp. strainB و *Azospirillum lipoferum* در سه سطح آبیاری چشمگیرتر بود. با توجه به نتایج این پژوهش، تلقیح بذرها با باکتری‌های محرک رشد فوق جهت بهبود صفات فیزیولوژیک و عملکرد گیاهان زراعی و کاهش اثرات تنش توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، کلروفیل، کودهای بیولوژیک، گیاهان دارویی، مدیریت آبیاری

بش، ز.، ع. دانش شهرکی، م. قبادی نیا و ک. سعیدی. ۱۳۹۹. اثر باکتری‌های محرک رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش کمبود آب. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ٤۰: ۲٤۹-۲۳۹.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران- مسئول مکاتبات. danesh2000@yahoo.com-ar
۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
٤- استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در میان عوامل محیطی، تنش کمبود آب از مهم‌ترین تنش-های غیرزیستی به‌شمار می‌رود که سبب کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و متابولیک در آن‌ها می‌شود (ردی و همکاران، ۲۰۰٤). در این راستا، کمیت و کیفیت گیاهان دارویی همچون گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش خشکی تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌یابند. لذا شناخت عوامل محیطی، گیاهی و زراعی نقش مهمی در موفقیت کشت گیاهان دارویی دارد. امروزه گیاهان دارویی از جمله گیاهان مهم اقتصادی هستند که مطالعات متعددی روی اثرات خشکی بر رشد و نمو آن‌ها صورت گرفته است. سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) از گیاهان دارویی علفی یکساله متعلق به تیره آلاله (*Rununculaceae*) مخصوص نواحی نیمه خشک است. امروزه پژوهش‌های زیادی در مورد محتویات دانه این گیاه و مصارف دارویی آن انجام شده است. دانه سیاهدانه از لحاظ اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک غنی گزارش شده است (آتا، ۲۰۰۳). برای این گیاه خواص مختلف دارویی از قبیل ضد نفخ، مسهل، ضد دندان درد، ضد سردرد، تولیدکنندهٔ هورمون‌های جنسی مردانه، ضدسرطان، بی‌اشتهایی، ضدحساسیت و ضد دیابت گزارش شده است (ارمومکو و سنهر، ۲۰۱۷).

در سال‌های اخیر کاربرد باکتری‌های محرک رشد به دلیل سازوکارهایی مانند: تثبیت نیتروژن، حل فسفات‌های کم‌محلول، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورهای میکروبی، تولید فیتوهورمون‌هایی چون اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها و کاهش اتیلن باعث بهبود و افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (اگمبردیوا و همکاران، ۲۰۱٤). باکتری‌ها با چنین سازوکارهایی می‌توانند گیاهان را در برابر اثرات مضر تنش‌های محیطی چون فلزات سنگین، غرقاب، پاتوژن‌های گیاهی، خشکی و شوری محافظت کنند (اگمبردیوا و همکاران، ۲۰۱٤).

محققان با بررسی اثر *Azotobacter* تحت تنش کمبود آب بر عملکرد، شاخص سطح برگ و پروتئین گندم، نشان دادند که در شرایط تنش، گیاهچه تلقیح شده به‌طور قابل توجهی موجب افزایش فاکتورهای مورد بررسی نسبت به تیمار کنترل (بدون تلقیح) شدند (حسن‌پور و همکاران، ۲۰۱۲). در یک آزمایش مزرعه‌ای تأثیر باکتری*Azospirillum* بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک ریحان تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که استفاده از این باکتری باعث افزایش شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه شد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۲). طبق گزارشات به دست آمده در بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر گیاه شنبلیله تحت تنش کمبود آب، بذرهای تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد با توجه به پارامترهای مورفولوژیکی و عملکرد گیاه نسبت به بذرهای بدون تلقیح، مقاومت بالایی نسبت به تنش خشکی نشان دادند (شفیقی و همکاران، ۲۰۱٤). همچنین در بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد در افزایش مقاومت به تنش گیاه ذرت، نتایج نشان داد با افزایش تنش، باکتری‌های محرک رشد توانستند در بهبود محتوای کلروفیل برگ مؤثر باشند (نادم و همکاران، ۲۰۰٦).

مدیریت استفاده از باکتری‌های محرک رشد تحت شرایط کم‌آبی و ارزیابی تأثیر این گونه مدیریت‌ها بر کمیت و کیفیت گیاه دارویی سیاهدانه از جایگاه ویژه برخودار بوده و لذا انجام تحقیقات مرتبط الزامی به‌نظر می‌رسد. بنابراین می‌توان با مدیریت مصرف آب و کاربرد این چنین باکتری‌ها شرایط را به گونه‌ای فراهم نمود که گیاه تحت این شرایط به حداکثر عملکرد کمی و کیفی خود دست یابد. با توجه به موارد ذکر شده، این پژوهش با هدف بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک سیاهدانه تحت تنش کمبود آب اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد با میانگین بارندگی ۳۱٦ میلی‌متر و میانگین دما ۱۲ درجه سلسیوس با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای این پژوهش شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و باکتری‌های محرک رشد در هفت سطح (عدم تلقیح باکتریایی و تلقیح با شش گونه باکتریایی *Bacillus* sp. strain A، *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus* sp. strain B، *Azotobacter chroococcum*، *Pseudomonas putida* و *Azospirillum lipoferum*) بود. باکتری‌های *Bacillus* sp. strainA، *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus* sp. strainB از پژوهشکده زیست‌فناوری دانشگاه شهرکرد، باکتری-های *Pseudomonas putida* و *Azotobacter chroococcum* از بانک میکروب ایران و باکتری *lipoferum*

www.SID.ir

Archive of SID

Azospirillum از موسسه آب و خاک ایران تهیه شدند. به منظور انجام آزمایش، بذور سیاهدانه استریل شده به مدت دو ساعت در دمای اتاق، در آب مقطر (برای تیمار شاهد) یا سوسپانسیون باکتریایی (برای تیمارهای تلقیحی) که از طریق معلق نمودن سلول‌ها در سرم فیزیولوژیک استریل به منظور دستیابی به تراکم مایه‌ی تلقیح حدود $۱۰^{۸} \times ۵$ واحد تشکیل-دهنده کلونی بر میلی‌لیتر که معادل مقدار جذب ۰/۵ در طول موج ٦۰۰ نانومتر است، فرو برده شدند (نادری، ۱۳۹۱).

عملیات خاکورزی و تهیه زمین در نیمه اول اردیبهشت ماه و کشت در نیمه دوم اردیبهشت ماه سال ۹٤ انجام شد. نیاز غذایی گیاه با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و نیاز غذایی سیاهدانه محاسبه و اعمال گردید (مالهوترا، ۲۰۱۲). بذرهای هر تیمار پس از تلقیح در عمق سه سانتی‌متری کشت گردید. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و به طول سه متر بود. فاصله گیاهان روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر در نظر گرفته شد (مالهوترا، ۲۰۱۲). به‌منظور دستیابی به تراکم ۱٦ بوته در متر مربع، عملیات تنک بعد از مرحلهٔ سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها انجام شد. گیاهچه‌ها تا زمان استقرار کامل بوته (مرحله سه تا چهار برگی) تا حد تأمین کامل نیاز آبی گیاه به طور مرتب آبیاری شد و تنش کمبود آب پس از استقرار کامل تا زمان برداشت گیاه اعمال گردید. برای آبیاری تیمارهای آزمایش، در تیمار شاهد (آبیاری کامل) رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (SM300 ساخت شرکت Delta-T به صورت روزانه اندازه‌گیری شد، زمانی‌که رطوبت به حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول رسید، میزان کمبود رطوبت خاک تعیین و آب موردنیاز محاسبه و آبیاری انجام شد (فرشی و همکاران، ۱۳۸۲). برای تیمارهای تنش کمبود آب نیز همزمان با آبیاری تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، به ترتیب به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد آب مصرفی تیمار شاهد، آبیاری انجام گردید که حجم آب آبیاری برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بطور میانگین ۲٦۰۰ لیتر بود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

هدایت الکتریکی	اسیدیته	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی	شن	سیلت	رس
($dS.m^{-1}$)		($mg.kg^{-1}$)		(%)				
۰/۵	۷.۷	٤۵۰	۱٦/۷	۰/۰٦	۰/٦	۲۱	٤۰	۳۹

جهت اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها موجود در برگ در مرحله گلدهی از روش استرین و اسولک (۱۹٦٦) استفاده شد و میزان جذب نور توسط عصاره استخراجی شده با اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ٦٤۵، ٦٦۳ و ٤۷۰ نانومتر به ترتیب تعیین گردید. غلظت کلروفیل از طریق روابط زیر بدست آمد. در روابط ۱ تا ۳ V حجم نمونه استخراج شده بر حسب میلی‌لیتر، W وزن تر نمونه برحسب گرم، OD_{663}، OD_{645} و OD_{470} به ترتیب جذب نوری در طول موج‌های ٦٦۳، ٦٤۵ و ٤۷۰ نانومتر و Chla، Chlb، Chlt و C به ترتیب غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر می‌باشد.

رابطه (۱) $$2.59(OD_{645})] \times [V/(1000W] - Chla = [12.7(OD_{663})$$

رابطه (۲) $$4.69(OD_{663})] \times [V/(1000W)] - Chlb = [22.9(OD_{645})$$

رابطه (۳) $$8.02(OD_{663})] \times [V/(1000.W)] + Chlt = [20.2(OD_{645})$$

رابطه (٤) $$1.8(chla)-85.02(chlb)]/198 - C = [1000(OD_{470})$$

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) در مرحله ۵۰ درصد گلدهی در ساعت ۱۳-۱۲ ظهر از جوان‌ترین برگ‌های توسعه‌یافته بوته اصلی، از هر واحد آزمایشی نمونه-برداری انجام گرفت. برگ‌های جدا شده از هر بوته به طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی و در کلمن حاوی یخ قرار داده شد و سریعاً به آزمایشگاه منتقل گردید. بعد از برش قسمت‌های بالا و پایین برگ، باقی مانده برگ به چهار قسمت مساوی تقسیم گردید و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد، سپس درون ظرف‌های دردار قرار گرفت و ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه به آنها اضافه شد و به مدت ۲٤ ساعت در محیط تاریک و در دمای اتاق، جهت

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه وزن اشباع در آب مقطر قرار گرفت، پس از این مدت نمونه‌ها به سرعت و با دقت با کاغذ صافی خشک و وزن اشباع اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در دمای ٧٠ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند، سپس توزین گردیدند و از طریق فرمول زیر میزان رطوبت نسبی برگ به دست آمد (گالمز و همکاران، ٢٠٠٧). در این رابطه FW، DW و TW به ترتیب وزن تازه برگ، وزن خشک برگ و وزن آماس برگ بر حسب گرم می‌باشد.

$$RWC=[(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$ رابطه (٥)

جهت اندازه‌گیری پایداری غشاء سلولی (MSI)، شش سانتی‌متر مربع از برگ هر تیمار جدا شده و به صورت قطعات یک سانتی‌مترمربع در ١٠ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر قرار داده شد. بعد از آن لوله‌های آزمایش حاوی قطعات برگ و آب مقطر به مدت ٣٠ دقیقه در دمای ٤٠ درجه سانتیگراد در حمام آب گرم حرارت داده شدند. بعد از آن در دمای اطاق سرد شده و EC آن با استفاده از یک هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد (EC_1). بعد از آن لوله‌های حاوی برگ و آب مقطر در حمام آب ١٠٠ درجه سانتیگراد به مدت ١٠ دقیقه حرارت داده شده و با استفاده از هدایت سنج الکتریکی EC آن اندازه‌گیری شد (EC_2)، و از طریق فرمول زیر درصد پایداری غشاء سلولی بدست آمد (فاضلی و همکاران، ٢٠١٦).

$$MSI= [1-(EC_1/EC_2)]\times 100$$ رابطه (٦)

همچنین برداشت نهایی گیاهان از تاریخ ٧ مهر زمانی‌که دانه رسیده و شاخ و برگ آن زرد شده بود با دست صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر کرت از دو ردیف میانی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (از طرفین یک ردیف کاشت و ٠/٥ متر از ابتدا و انتهای ردیف) سطحی به مساحت یک متر مربع برداشت شد و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.0 و مقایسه میانگین‌ها به روش برش‌دهی اثر تلقیح باکتریایی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد صورت گرفت. جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای تنش کمبود آب و تلقیح باکتریایی و اثر متقابل آنها بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل برگ، کاروتنوئیدها، پایداری غشاء سلولی، محتوای رطوبت نسبی برگ و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٢).

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

بررسی اثرات متقابل تنش کمبود آب و تیمار باکتریایی نشان داد که در تمام سطوح تنش با اعمال تیمارهای باکتریایی محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. این افزایش در تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌ها متفاوت بود، به گونه‌ای که تحت تیمار ٧٥ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار باکتریایی *Bacillus* sp. strainB با افزایش ٤٣ درصد، کلروفیل b در تیمار *Azospirillum lipoferum* با افزایش ١٤٠ درصد، محتوای کلروفیل کل در تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus* sp. strainB با افزایش ٤٨/٦ و ٤٩/٥ درصد و نیز محتوای کاروتنوئیدها در تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus* sp. strainA، *Bacillus* sp. strainB، *Azotobacter* و *Azospirillum lipoferum* با افزایش ٣٠/٤، ٢٠/٧، ٣٠/٩، ٣١/٧ و ٢٩/٩ درصد نسبت به تیمار ٥٠ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. همچنین تحت تیمار ١٠٠ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* با افزایش ٥٨/٩ درصد، کلروفیل b در تیمار *Azospirillum lipoferum* با افزایش ١٠٥/٨ درصد، محتوای کلروفیل کل در تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azospirillum lipoferum* با افزایش ٥٩/٢/٦ و ٤٩ درصد و محتوای کاروتنوئیدها نیز در تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens* با افزایش ٣٥/٢ درصد نسبت به تیمار ٥٠ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها تحت تیمار ٥٠ درصد نیاز آبی گیاه در باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* و بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار *Bacillus* sp. strainB مشاهده شد که به ترتیب ٤٠/٤، ٣٤/٦، ٢٨/٧ و ٤٣/٨ درصد افزایش نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتریایی نشان دادند (جدول ٤). در مجموع می‌توان گزارش نمود که تمامی تیمارهای باکتریایی تحت تیمار ٧٥ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به آبیاری کامل عملکرد بهتری را نشان دادند که این نتایج کارایی بهتر این تیمارها را در افزایش این صفت تحت شرایط تنش کمبود آب نشان می‌دهد. در این پژوهش افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی

www.SID.ir

Archive of SID

تحت تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در تمامی تیمارهای باکتریایی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه احتمالاً می‌تواند به دلیل حساسیت گیاه به محتوای بالای آب خاک باشد. همچنین با توجه به نقش کاروتنوئیدها در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی برای محافظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل)، افزایش محتوای این صفت در شرایط تنش ملایم در تمامی تیمارهای باکتریایی قابل توجیه است. طبق نتایج به‌دست آمده کمترین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در تمامی تیمارهای باکتریایی نیز تحت تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد، چرا که کاهش کلروفیل تحت تنش خشکی شدید که به عنوان عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای فتوسنتز محسوب می‌شود، به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز (احمدی‌موسوی و همکاران، ۱۳۸٤) و افزایش گونه‌های اکسیژن فعال (لولر، ۲۰۰۲) اتفاق می‌افتد.

در این راستا پژوهش‌گران گزارش نمودند که افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمارهای تلقیحی را می‌توان به دلیل جذب فسفر و منیزیم توسط باکتری‌های محرک رشد نسبت داد، چرا که رها شدن و بیرون آمدن تریوز فسفات‌ها از کلروپلاست به وسیله فسفر تنظیم می‌شود، و همچنین عنصر منیزیم نیز جزء هسته مرکزی کلروفیل می‌باشد در نتیجه میزان سبزینگی برگ توسط این عناصر افزایش می‌یابد (خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۰). پژوهشگران عنوان کردند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش میزان کلروفیل برگ می‌شود (حیدری و گلپایگانی، ۲۰۱۱). طبق بررسی‌های انجام شده عنصر نیتروژن علاوه بر شرکت در ساختار اسیدهای آمینه و آنزیم‌ها، یکی از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده حلقه تتراپیرول کلروفیل می‌باشد. به‌علاوه افزایش این عنصر در گیاه از یک سو سبب افزایش میزان آمونیوم و از سوی دیگر سبب افزایش آنزیم‌های گلوتامات سنتتاز و گلوتامین سنتتاز دخیل در تولید کلروفیل شده و باعث افزایش میزان آن در گیاه می‌گردد، بنابراین استفاده از باکتری‌های محرک رشد با تثبیت نیتروژن هوا، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش می‌دهند (نپوماسنو و همکاران، ۲۰۰۲). محققان نیز در آزمایشی گزارش کردند که کلرورسدیم باعث کاهش میزان کلروفیل در ذرت شد ولی این کاهش در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد مولد آنزیم ACCدآمیناز کمتر از گیاهان تلقیح نشده بود (نادم و همکاران، ۲۰۰٦). همچنین طبق بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد میزان جذب نیتروژن را توسط گیاه افزایش می‌دهند و به علت ارتباط مستقیم کاروتنوئیدها با غلظت نیتروژن، میزان این صفت نیز بهبود یافته است. در آزمایش‌های انصاری و همکاران (۲۰۱۵)، محتوای کلروفیل در برگ‌های نخود با کاربرد کودهای زیستی بهبود یافت، به‌طوری‌که با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، میزان کاروتنوئیدها ۱۲۳ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		a کلروفیل	bکلروفیل	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	رطوبت نسبی گیاه	پایداری غشا،	عملکرد دانه
تکرار	۲	^{ns}۰/۰۰۰۷	^{ns}۰/۰۰۰۹	^{ns}۰/۰۰۰۸	^{ns}۰/۰۲	^{ns}۰/٦٤	^{ns}۲/۱۱	^{ns}۳۲۵۰
کمبود آب	۲	**۰/۰۸	**۰/۰۱	**۰/۲٦	**۱/٦۸	**٤۵۸/۷	**۱۱۹۰/۲	**۷۰۷۰٦۵
a(خطا	٤	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۸/۰۸	۱/۷٦	۲۹۱۸
باکتری	٦	**۰/۰۲	**۰/۰۰٦	**۰/۰٦	**۰/٤۸	**۵۵/۲	**۵۱/۸	**۱۱٤٦۹۲
تنش×باکتری	۱۲	**۰/۰۰۲	**۰/۰۰۱	**۰/۰۰۵	**۰/۱۰	*٦/۱۷	**۱۰/۲	**۱٤۵۵٤
b(خطا	۳٦	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۳/۱٦	۱/۷	۲۱۷۱
ضریب تغییرات	-	۳/۲۲	٦/۷۵	۷/۹۵	۵/۳	۳/۰۱	۲/۸٦	٤/۱۹

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

میزان رطوبت نسبی گیاه

محتوای رطوبت نسبی به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص های بیلان آبی گیاه، نقش مهمی در تنظیم هدایت روزنه و در نتیجه سرعت فتوسنتزی گیاه دارد. محتوای رطوبت نسبی به میزان دسترسی گیاه به آب، تنظیم اسمزی و توانایی گیاه در تنظیم حرکات روزنه‌ای بستگی دارد (پاک‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۵). طبق نتایج به دست آمده کاربرد تیمارهای باکتریایی در سطوح مختلف کمبود آب نشان داد که تیمارهای باکتریایی

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتریایی، موجب افزایش این صفت شد هرچند که نحوه عمل این تیمارها متفاوت بود (جدول ٤). به طوری‌که تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* با افزایش ۱۵/۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد که از کمترین میزان رطوبت نسبی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه برخوردار بود، بیشترین میزان رطوبت نسبی را به خود اختصاص داد. بعد از این تیمار باکتریایی، باکتری‌های *Bacillus* sp. strainA، *Bacillus* sp. strainB، *Pseudomonas putida* و *Azospirillum lipoferum* موجب افزایش میزان رطوبت نسبی تحت تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه شدند و با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* در یک گروه آماری قرار گرفتند. باکتری‌های *Bacillus* sp. strainB و *Azospirillum lipoferum* تحت تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب موجب افزایش ۱۳/۲ و ۱۲/۵ درصدی و تحت تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب افزایش ۱۲/۹ و ۱۲/۵ درصدی رطوبت نسبی نسبت به شاهد شدند. در این میان از بین تیمارهای باکتریایی تیمار *Azotobacter* در تیمار آبیاری کامل از کمترین رطوبت نسبی برخوردار بود (جدول ٤). طبق نتایج به دست آمده تفاوت چشمگیری از لحاظ میزان رطوبت نسبی بین تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار *Bacillus amyloliquefaciens* مشاهده نشد، که این نتایج می‌تواند کارایی بهتر این باکتری را تحت تنش کمبود آب نشان دهد. بنابراین می‌توان اظهار نمود که باکتری‌های محرک رشد در تمام سطوح تنش کمبود آب سبب افزایش میزان رطوبت نسبی گیاه نسبت به شاهد شدند. باکتری‌های محرک رشد با افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش جذب آب توسط رشد بیشتر ریشه‌ها می‌توانند در افزایش محتوای آب نسبی بافت نقش داشته باشند. طبق گزارش شبانکاره و همکاران (۱۳۹٤) محتوای نسبی آب برگ با مصرف تیمار کودی نیتروکسین در شرایط تنش بهبود یافت، این پژوهشگران بیان نمودند که همبستگی مثبت بین میزان محتوای نسبی برگ و رطوبت خاک را می‌توان به مصرف کودهای زیستی ربط داد چرا که با مصرف کودهای زیستی، رشد ریشه‌ها افزایش و میزان محتوای نسبی برگ‌ها افزایش می‌یابد. مطابق نتایج این پژوهش بر روی گیاه بادرشبو بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ (٦٤ درصد) از کاربرد کودهای زیستی و کمترین مقدار آن (٤۲/۸٤ درصد) از تیمار عدم کاربرد کود زیستی به دست آمد (شبانکاره و همکاران، ۱۳۹٤).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده

تیمارها	کلروفیلa ($mg.g^{-1}fw$)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}fw$)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}fw$)	کاروتنوئیدها ($mg.g^{-1}fw$)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	پایداری غشا (٪)	عملکرد دانه ($kg.h^{-1}$)
۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه	^{b}۰/٤۱	^{b}۰/۱۳	^{b}۰/٦٦	^{b}۲/٦٤	^{a}٦٤/۱	^{a}۵۳/٤	^{a}۱۲۷۷
۷۵٪ نیاز آبی گیاه	^{a}۰/٤۸	^{a}۰/۱۵	^{a}۰/۷۹	^{a}۲/۸۹	^{b}۵۸/۲	^{b}٤۷/۵	^{b}۱۱۳۷
۵۰٪ نیاز آبی گیاه	^{c}۰/۳٦	^{c}۰/۱۰	^{c}۰/۵۷	^{c}۲/۳۲	^{c}۵٤/۸	^{c}۳۸/۵	^{c}۹۱۳/۵
Bacillus sp. strain A	^{bc}۰/٤٤	^{c}۰/۱۲	^{c}۰/٦۹	^{bc}۲/٦۷	^{bc}۵۹/۳	^{b}٤٦/۱	^{c}۱۰۹۳/۵
B.amyloliquefaciens	^{a}۰/٤۸	^{b}۰/۱۵	^{a}۰/۷۸	^{a}۲/۹۳	^{ab}٦۰/٦	^{a}٤۸/۱	^{a}۱۲٦۷/۳
Bacillus sp. strain B	^{b}۰/٤٦	^{b}۰/۱٤	^{b}۰/۷۳	^{b}۲/۷٤	^{a}٦۱/۸	^{a}٤۸/۸	^{b}۱۲۰۹
Aztobacter chroococcum	^{d}۰/۳۹	^{c}۰/۱۲	^{d}۰/٦٤	^{c}۲/۵۹	^{d}۵۷/۲	^{b}٤۵/٤	^{c}۱۰۸٤/٦
P.putida	^{d}۰/۳۹	^{c}۰/۱۲	^{d}۰/٦۳	^{d}۲/٤۳	^{cd}۵۸/۵	^{b}٤۵/۵	^{c}۱۰۹۱/۷
Azospirillum lipoferum	^{c}۰/٤۲	^{a}۰/۱۷	^{b}۰/۷۳	^{b}۲/۷٤	^{a}٦۱/۱	^{a}٤۹/۰۳	^{c}۱۱۱۱/۸
Control	^{e}۰/۳٤	^{d}۰/۰۸	^{e}۰/۵۲	^{e}۲/۲۲	^{e}۵٤/۷	^{c}٤۲/۳	^{d}۹۰۸/۵

در هر ستون اعدادی که دارای ضرایب مشترکی هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری نشان ندادند.

شاخص پایداری غشاء سلولی

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کمبود آب و تیمارهای باکتریایی نشان داد که در تمام سطوح کمبود آب، تیمارهای باکتریایی از شاخص پایداری غشاء سلولی بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد برخوردار بودند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که تحت تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* بیشترین میزان این صفت را به خود اختصاص داد و نسبت به تیمار شاهد شاخص پایداری را ۱۳/۳ درصد افزایش داد. بعد از این باکتری، تیمارهای *Bacillus* sp. strainB و *Pseudomonas putida*

www.SID.ir

Archive of SID

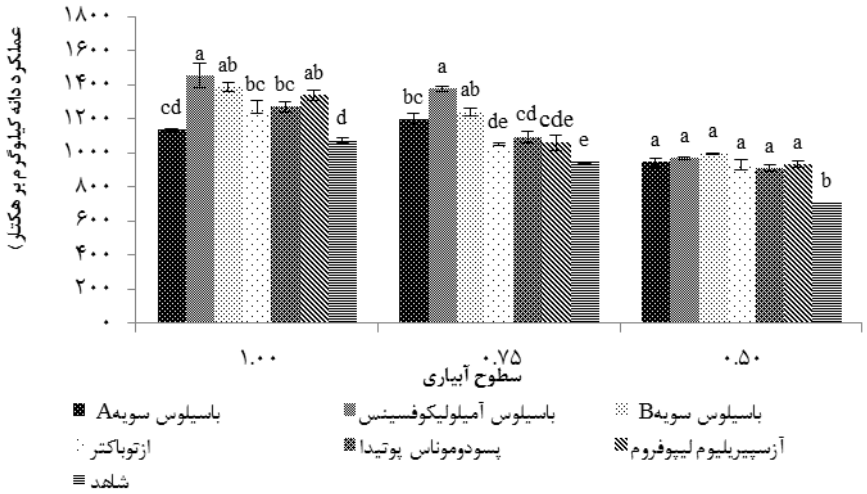
بیشترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند. تحت تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین میزان شاخص پایداری غشاء مربوط به باکتری *Azospirillum lipoferum* (۵۲ درصد) بود. همچنین تحت تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تیمارهای *Bacillus* sp. strainB و *Azospirillum lipoferum* فعالیت مشابهی داشتند و به ترتیب موجب افزایش ۲٦/٦ و ۲۸/۵ درصد این صفت نسبت به شاهد شدند (جدول ٤). طبق نتایج به دست آمده در میان تیمارهای باکتریایی، *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus* sp. strain B و *Azospirillum lipoferum* بیشترین شاخص پایداری غشاء سلولی را به خود اختصاص دادند و دریک گروه آماری قرار گرفتند. این تیمارها به ترتیب این شاخص را ۱۳/۷، ۱۵/۳ و ۱۵/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳)، که کارایی بهتر این باکتری‌ها را در افزایش این صفت نشان می‌دهد. در این راستا طبق بررسی‌هایی که توسط پژوهش‌گران بر روی گیاه یونجه انجام گرفت، آنها گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش پایداری غشاء سلولی شده و کاربرد محرک‌های رشد نقش مؤثری بر کاهش این اثرات و افزایش پایداری غشاء دارند و به‌طور کلی بالاترین و پایین‌ترین پایداری غشاء به‌ترتیب مربوط به تلقیح بذر با محرک‌های رشد در شرایط عدم تنش و عدم تلقیح بذر در تنش ۳۵ درصد ظرفیت زراعی بود (ظفری و همکاران، ۱۳۹٤). طبق آزمایش‌های انجام شده بر روی گیاهان مختلف، نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، از پایداری غشاء سلولی کاسته می‌شود، که این نشان‌دهندهٔ اثرات نامطلوب تنش روی انسجام غشاء سلول‌ها می‌باشد (خورشیدی و همکاران، ۱۳۸۱)، بنابراین باکتری‌های محرک رشد در این شرایط با کاهش میزان اتیلن تنشی از طریق تولید ACCدآمیناز و توسعه سیستم ریشه‌ای با تولید IAA باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند (بورد و همکاران، ۲۰۰۰).

عملکرد دانه

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، استفاده از باکتری‌های محرک رشد در تمام سطوح تنش کمبود آب (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) عملکرد دانه را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند. نتایج نشان داد که تحت تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* به ترتیب با افزایش ۳۵، ٤۵ و ۳۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. بعد از آن، باکتری‌های *Bacillus* sp. strainB و *Azospirillum lipoferum* موجب افزایش عملکرد تحت تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه شدند. در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تمامی تیمارهای باکتریایی کارایی مشابهی از خود نشان دادند و موجب افزایش این صفت نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۱). کاهش عملکرد دانه تحت تنش ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به علت کاهش میزان فتوسنتز توسط بسته شدن روزنه‌ها اتفاق می‌افتد. طبق نتایج به دست آمده باکتری‌های *Bacillus* sp. strainA عملکرد بهتری را تحت تنش ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (۱۱۹۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (۱۱۳۷/۸ کیلوگرم بر هکتار) به خود اختصاص داد که این نتایج می‌تواند کارایی بهتر این باکتری‌ها را تحت تنش کمبود آب نشان دهد (شکل ۱). محققان در یک آزمایش مزرعه‌ای، اثر باکتری‌های محرک رشد را بر روی عملکرد گیاه سویا تحت تنش آبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد تلقیح سویا با باکتری محرک رشد باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش آبی شد (فرنیا و همکاران، ۱۳۸۵). در بررسی که توسط خان‌پور و همکاران (۱۳۸۹) بر روی گیاه جو تحت تنش خشکی انجام گرفت، بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای باکتریایی وکمترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد به دست آمد. احتمالاً به نظر می‌رسد که باکتری‌های محرک رشد با تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه در افزایش ماده خشک و افزایش عملکرد مؤثر می‌باشند. باکتری‌های محرک رشد از طریق برخی از فرآیندها شامل تثبیت نیتروژن، انحلال فسفات، تولید ACCدآمیناز، سیدروفور و ایندول استیک‌اسید و فعالیت‌های ضد قارچی سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌گردند (دسوزا و همکاران، ۲۰۱۵).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: اثر متقابل تنش کمبود آب و تلقیح باکتریایی بر عملکرد دانه

جدول ٤- مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش کمبود آب و تلقیح باکتریایی بر صفات اندازه‌گیری شده

	تیمارها	کلروفیل a ($mg.g^{-1}fw$)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}fw$)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}fw$)	کاروتنوئیدها ($mg.g^{-1}fw$)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	پایداری غشا (٪)
۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	*Bacillus* sp. strain A	ab۰/٤٤	bcd۰/۱۲	ab۰/٦۹	ab۲/۸۳	ab٦٥/٤	bc٥۱/۸
	B.amyloliquefaciens	a۰/٥۰	b۰/۱٥	a۰/۸۰	a۳/۰۸	a٦۷/۸	a٥٦/٦
	Bacillus sp. strain B	ab۰/٤۲	bc۰/۱٤	ab۰/٦۹	bcd۲/٦۱	ab٦٦/۲	ab٥٥/۱
	Aztobacter chroococcum	bc۰/۳۸	cd۰/۱۲	b۰/٦۲	bcd۲/٥۸	bc٦۰/۷	abc٥۲/۷
	P.putida	bc۰/۳۸	bcd۰/۱۲	bc۰/٦۰	cd۲/٤۳	ab٦٥	ab٥٥/۱
	Azospirillum lipoferum	ab۰/٤۲	a۰/۱۹	a۰/۷٥	bc۲/۷۰	ab٦٤/۷	abc٥۲/۸
	Control	c۰/۳۱	d۰/۰۹	c۰/٥۰	d۲/۲۷	c٥۸/۹	c٤۹/۹
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	*Bacillus* sp. strain A	bcd۰/٤۸	cd۰/۱٤	bc۰/۷۷	a۳/۸۹	ab٥۸/۹	bcd٤۷/۲
	B.amyloliquefaciens	ab۰/٥٤	ab۰/۲۰	a۰/۹۰	a۳/۱۲	ab٥۷/٦	abc٤۸/۳
	Bacillus sp. strain B	a۰/٥۸	bc۰/۱۷	a۰/۹۰	a۳/۱۳	a٦۱/۳	ab٤۹/٦
	Aztobacter chroococcum	abc۰/٤۹	cd۰/۱٥	abc۰/۷۹	a۳/۱٥	ab٥۷/۷	cd٤٥/۲
	P.putida	cd۰/٤۲	d۰/۱۳	cd۰/۷۱	b۲/٤۲	ab٥٦/۸	bcd٤٦/۱
	Azospirillum lipoferum	bcd۰/٤۹	a۰/۲۱	ab۰/۸٥	a۳/۱۱	a٦۰/۹	a٥۲/۰
	Control	d۰/٤۰	e۰/۰۸	d۰/٦۰	b۲/۳۹	b٥٤/۲	d٤٥/۰
٥۰ درصد نیاز آبی گیاه	*Bacillus* sp. strain A	ab۰/۳۹	ab۰/۰۹	ab۰/٥۹	ab۲/۲۸	ab٥۳/۸	ab۳۹/٤
	B.amyloliquefaciens	a۰/٤۱	ab۰/۰۹	a۰/٦۳	a۲/٥۹	ab٥٦/٥	ab۳۹/٤
	Bacillus sp. strain B	abc۰/۳۷	a۰/۱۲	ab۰/٦۰	a۲/٤۹	a٥۷/۸	a٤۱/۷
	Aztobacter chroococcum	bc۰/۳۱	ab۰/۱۰	bc۰/٥۱	b۲/۰٥	ab٥۳/۲	ab۳۸/۲
	P.putida	abc۰/۳۸	ab۰/۱۰	abc۰/٥۸	a۲/٤٤	ab٥۳/۸	bc۳٥/۳
	Azospirillum lipoferum	abc۰/۳۷	ab۰/۱۱	ab۰/٥۹	a۲/٤۱	a٥۷/۷	a٤۲/۳
	Control	c۰/۲۹	b۰/۰۸	c۰/٤۷	b۲/۰۱	b٥۱/۱	c۳۲/۹

در هر ستون اعدادی که دارای ضرایب مشترکی هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری نشان ندادند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ، میزان رطوبت نسبی گیاه، پایداری غشاء و عملکرد سیاهدانه نسبت به تیمار عدم تلقیح در سه سطح آبیاری، سبب کاهش اثرات تنش کمبود آب شدند. تغییرات محتوای رطوبتی گیاه و غلظت کلروفیل‌ها به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت مبدأ در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و این باکتری‌ها با افزایش میزان این صفات موجب افزایش عملکرد دانه و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی شدند. در بین تیمارهای باکتریایی تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus* sp. strainB و *Azospirillum lipoferum* بیشترین تأثیر را در بهبود تنش داشتند. بنابراین با توجه به موارد مطرح شده کاربرد این باکتری-ها در سیستم کشت کم آبیاری برای گیاه سیاهدانه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

احمدی‌موسوی، ع.، خ. منوچهری‌کلانتری و م. ترکزاده. ۱۳۸٤. اثر نوعی براسینواستروئید بر مقدار تجمع مالون دآلدئید، پرولین، قند و رنگیزه-های فتوسنتزی در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تنش کم آبی. مجله زیست‌شناسی ایران، جلد ۱۸، شماره ۲: ۲۹۵-۳۰٦.

پاک‌نژاد، ف.، س. وزان، ه. مجیدی، ق. نورمحمدی قربان و ع. سیادت. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر تنش خشکی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، محتوای کلروفیل و عملکرد دانه ارقام مختلف گندم. علوم کشاورزی ایران. شماره ۳: ٤۸۱-٤۹۲.

خان‌پورکنزق، م.، ک. خاوازی، ف. پاک‌نژاد، د. حبیبی و ف. مجیدی‌فخر. ۱۳۸۹. اثر سطوح مختلف شوری و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد جو. مجله پژوهش‌های به زراعی، جلد ۱، شماره ۲: ۲۱۵-۲۳۱.

خلدبرین، ب. و ط. اسلام‌زاده. ۱۳۸۰. تغذیه معدنی گیاهان عالی. جلد اول، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز. ٤۹۵ صفحه.

خورشیدی‌بنام، م. ب.، ف. رحیم‌زاده‌خویی، م. ج. میرهادی و ق. نورمحمدی. ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد ارقام مختلف سیب زمینی. مجله علوم زراعی ایران، جلد ٤، شماره ۱: ٤۸-۵۸.

شبانکاره، ح.، م. ر. اصغری‌پور و ب. فاخری. ۱۳۹٤. اثر کودهای زیستی بر شاخص‌های رشد و اسانس بادرشبو تحت تنش خشکی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، جلد ۱، شماره ۲۳: ۱۹۵-۱۸٦.

ظفری، م.، ع. عبادی، ق. پرمون و س. جهانبخش. ۱۳۹٤. تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر تولید متابولیت‌های سازگاری و برخی خصوصیات یونجه همدانی در طی تنش خشکی. فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ٤، شماره ۱٤: ٦۱-۷۱.

فرشی، ع.، ح. سیادت، ص. دربندی، م. انصاری، ج. خیرابی، م. میر لطیفی، ع. سلامت و م.ح. سادات میری. ۱۳۸۲. مدیریت آب آبیاری در مزرعه. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران. ۲۵۰ صفحه.

فرنیا، ا.، ق. نورمحمدی، ا. نادری، ف. درویش و ا. مجیدی‌هروام. ۱۳۸۵. تأثیر تنش خشکی و نژادهای باکتری *Bradyrhizobium japonicum* بر عملکرد دانه و صفات وابسته به آن در سویا در بروجرد. مجله علوم زراعی ایران، جلد ۸، شماره ۳: ۲۰۱-۲۱۳.

محمدی‌بابازیدی، ه.، م. فلکناز، پ. حیدری، م. س. همتی و ش. فرخیان. ۱۳۹۲. تأثیر باکتری آزوسپیریلیوم و سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی ریحان تحت تنش کم‌آبی. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی-مولکولی، جلد ۳، شماره ۱۲: ۳۱-۳۵.

نادری، م. ۱۳۹۱. اثر باکتری‌های ریزوسفری ارتقا دهنده‌ی رشد گیاه بر گیاه پالایی سرب توسط آفتابگردان در یک خاک حاوی سرب با سابقه دراز مدت. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی گرایش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد. ایران.

Ansari, M. F., D. R. Tipre, and S. R., Dave. 2015. Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of *Cicer aeritinum* (chickpea) in pot and field study. Biocatal. Agric. Biotechnol. 4(1): 17-24.

Atta, M. B. 2003. Some characteristics of nigella (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. Food Chem. 83: 63-68.

Burd, G. I., D. G. Dixon and B.R. Glick. 2000. Plant growth promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Can. J. Microbiol. 46: 237-245.

De Souza, R., A. Ambrosini and L. M. P. Passaglia. 2015. Plant growth promoting bacteria as inoculanta in agricultural soils. Genet. Mol. Biol. 34 (4): 401- 419.

www.SID.ir

Archive of SID

Egamberdieva, D. and B. Lugtenberg. 2014. Use of plant growth-promoting rhizobacteria to alleviate salinity stress in plants. In: Miransari, M. (Ed.) Use of microbes for the alleviation of soil stresses. Springer. New York. pp. 73-96.

Ermumcu, M. S. K. and N. Sanher. 2017. Black Cumin (*Nigella sativa*) and its active component of thymoquinone: effects on health. J. Food. Sci. 3(4): 170-183.

Fazeli-Kakhki, F., S. Riahinia and A. R. Ghasemi-Arian. 2016. Effects of NaCl and KCl on Physiological Aspects of Two Canola Varieties. J. Agric. Sci. 12(3): 845-860.

Galmes, J., J. Flexas and R. Save. 2007. Water Relations and Stomatal Characteristics of Mediterranean Plants with Different Growth Forms and Leaf Habits: Responses to Water Stress and Recovery. Plant Soil. 290(1): 139-155.

Hasanpour, J., M. Panahi, M. Sadeghi and K. Arabsalmani. 2012. Effect of inoculation with VA *mycorrhiza* and *azotobacter* on grain yield, LAI and protein of wheat on drought stress condition. Int. J. Agric. Sci. 2(6): 466-476.

Heidari, M. and A. Golpayegani. 2011. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). J. Soc. Agric. Sci. 23: 1-5.

Lawler, D. W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. J. Plant Cell Environ. 25: 275-294.

Malhotra, S. K. 2012. Nigella. In: Peter, K. V. (Ed.) Handbook of Herbs and Spices (Second edition). Woodhead Publishing. Cambrige. pp. 391-416.

Nadeem, S. M., Z. A. Zahir, M. Naveed, M. Arshad and S. M. Shahzad. 2006. Variation in growth and ion uptake of maize due to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria under salt stress. Soil Environ. 25:78- 84.

Nepomuceno, A. L., D. Oosterhuis, J. Stewart, R. Turley, N. Neumaier and J. R. B. Farias. 2002. Expression of heat shock protein and trehalose-6-phosphate synthase homologues induced during water deficit in cotton. J. Plant Physiol. 14(1): 11-20.

Reddy, A. R., K. V. Chaitanyaand, M. Vivekanandan. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161(11): 1189-1202.

Shafighi, A. A., A. R. Pazoki and D. EradatmandeAsli. 2014. Alleviation of Water Stress in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Using Different PGPR Application Methods. Adv. Environ. Biol. 8(24): 275-280.

Strain, H. H. and W. A. Svelc. 1966. Extraction, separation, estimation and isolation of chlorophylls. In Vernon L. P. and G. R. Seely (Eds.) The Chlorophylls. Academic Press New York. 21-66.

www.SID.ir

Archive of SID

The effect of plant growth promoting rhizobacteria on some physiological traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress

Z. Bosh[1], A. Danesh Shahraki[2], M. Ghobadinia[3], K. Saeedi[4]

Received: 2018-6-18 Accepted: 2018-9-20

Abstract

Water deficit stress is one of the severe and progressive problems worldwide which affects most cropland areas of Iran. Nowadays using plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) to alleviate the detrimental effect of environmental stresses is recently globally considered. In order to evaluate the effect of plant growth promoting bacteria on some physiological traits of black cumin under water deficit stress, a split-plot experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted at the research farm of Shahrekord university in 2015- 16. Factors were irrigation in three levels (100, 75 and 50 % of water requirement) and bacteria in seven levels (control, *Bacillus* sp. strain A, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus* sp. strain B, *Azotobacter chroococcum, Pseudomonas putida* and *Azopirillum lipoferum*). Results showed a significant effect of water deficit, PGPRs and their interaction on all traits. It was demonstrated that in 50% of water requirement treatment reduced total chlorophyll, RWC and grain yield by 28%, 14.4% and 28.4%, respectively. Within each three irrigation levels, the bacterial treatments had the maximum amount of measured traits than control treatment. So that all PGPRs under 50% water requirement treatment could increase chlorophyll b, RWC and grain yield as compared to control. Also, *B. amilolykofosins* and strainB application under 75% water requirement treatment had the highest grain yield. Overall, this increase was more significant in *B. amilolycophysin*, *B.* strainA, strainB and *A. lipoferum* treatments. According to the results of this study, inoculation of black cumin seeds with PGPRs is recommended to increase physiological traits and crop yield and alleviation of adverse effects of water stress.

Keywords: biofertilizer, chlorophyll, grain yield, irrigation management, medicinal crops

1- Ph.D. Student of Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2- Assistance Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3- Assistance Professor, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4- Assistance Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

www.SID.ir