تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹
۴۴۱-۴۵۳
http://dx.doi.org/ 10.22077/escs.2019.2705.1710

مقاله پژوهشی

بررسی صفات فیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی دانه دو گونه ارزن تحت سطوح مختلف آبیاری و کاربرد باکتری‌های محرک رشد

ابوالفضل باغبانی آرانی، ظهراب اداوی*
استادیار بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبی و مصرف باکتری‌های محرک رشد بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکرد کمی و کیفی و ترکیبات روغن دانه دو گونه ارزن، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان فریدونشهر اجرا گردید. در این آزمایش تنش کم‌آبی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت‌های اصلی و کاربرد باکتری‌های محرک رشد در سه سطح شامل عدم بذرمال و بذرمال با ۰/۵ و یک لیتر باکتری‌های محرک رشد (باکتری ازتوباکتر کروکوکوم و آزوسپیریلوم برازیلنس) و دو گونه ارزن [ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*) رقم باستان و ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) اکوتیپ گلباف] به‌عنوان عوامل فرعی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند. در این آزمایش تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار صفات قطر ساقه، پایداری غشای سلولی، عملکرد بیولوژیک و دانه، درصد پروتئین و روغن و کیفیت آن در ارزن گردید. کاربرد باکتری‌های محرک رشد توانست اثرات نامطلوب ناشی از تنش کم‌آبی را بر صفات فوق‌الذکر در هر دو گونه ارزن کاهش دهد و سبب بهبود کیفیت روغن گردد به‌گونه‌ای که به ترتیب استفاده نیم و یک لیتر باکتری‌های محرک رشد، سبب افزایش عملکرد دانه به میزان (۶/۶۶ و ۱۹/۱۹ ٪) در تیمارهای آبیاری شاهد، (۱۲/۲۹ و ۲۸/۷۶ ٪) در تنش ملایم و (۳۱/۷۳ و ۴۵/۰۷ ٪) در تیمار شدید کم‌آبی گردید. تنش ملایم کم‌آبی (۷۵ درصد نیاز آبی) به همراه کاربرد یک لیتر باکتری‌های محرک رشد در رقم باستان، ضمن کاهش مصرف آب، بالاترین کیفیت (درصد اولئیک و لینولئیک) روغن را تولید نمود. همچنین رقم باستان ازنظر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و اسیدهای چرب غیراشباع در سطوح مختلف آبیاری، با و بدون کاربرد باکتری‌های محرک رشد نسبت به رقم گلباف برتری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: **تنش آبی، اسیدهای چرب، ازتوباکتر، ازوسپیریلیوم، صفات کیفی.**

مقدمه

ایران به دلیل موقعیت مکانی (عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی)، اقلیمی و ساختار طبیعی خود جزء مناطق خشک (۶۵ درصد) تا نیمه‌خشک (۲۵ درصد) محسوب می‌شود. بنابراین خشکی یکی از مشکلاتی است که در بخش‌های زیادی از کشور ایران، تولید محصولات زراعی را به‌خصوص در مراحل انتهایی رشد (مرحله‌ی زایشی) حتی در گیاهانی مانند ارزن دم‌روباهی، سورگوم و لوبیا چشم‌بلبلی که در نواحی خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شوند، کاهش می‌دهد (Sibi et al., 2011). زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق و محدودیت منابع آب، سبب کاهش طول دوره رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود و این امر لزوم توجه بیشتر به مطالعه در مورد اثر تنش خشکی و انتخاب ارقام مقاوم و مصرف کارآمد آب را می‌طلبد (Hayati et al., 2011; Mashayekhi et al., 2016). در شرایط محدودیت منابع آب، تغییر الگوی کشاورزی به سمت کشت گیاهان سازگار به خشکی می‌تواند راهکار بسیار مناسبی باشد (Mashayekhi

* نگارنده پاسخگو: ظهراب ادواری. پست الکترونیک: z_adavi@pnu.ac.ir

et al., 2016). ژنوتیپ‌های مختلف ارزن به دلیل برخورداری از فصل رشد کوتاه و برخی خصوصیات ویژه، به آب کمتری نیاز دارند و می‌توانند در شرایط مساعد محیطی نسبت به سایر غلات محصول بیشتری تولید کنند (Hayati et al., 2011; Mashayekhi et al., 2016). ارزن به دلیل رشد سریع، مقاومت نسبی بالا به خشکی، چهار کربنه بودن، توانایی بالای تولید آن در نواحی گرم و خشک و کارایی بالاتر مصرف آب نسبت به گونه‌های سه کربنه، باعث شده است که به‌صورت گیاهی مطلوب جهت کشت در نواحی با محدودیت آب محسوب گردد (Hayati et al., 2011). گیاه ارزن (به‌عنوان غله دانه‌ریز) پس از گندم، برنج، ذرت، جو و سورگوم مهم‌ترین گیاه یک‌ساله جهان محسوب می‌گردد.

در شرایط تنش آبی، یکی از اولین بخش‌های گیاهی که آسیب می‌بیند، غشای پلاسمایی سلول‌هاست. در اثر تنش آبی، تراوایی غشای سلول افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به سمت بیرون از سلول نشت کنند (Baghbani- Arani, 2017). یکی از استراتژی‌های مهم در اصلاح و افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان این است که غشای سلول پس از مواجه‌شدن با تنش کمبود آبی، انسجام خود را حفظ نماید و واپاشیده نشود (Bandurska, 2000).

روغن‌ها در مقادیر بسیار کم در دانه‌های غلات یافت می‌شوند. دانه کامل ارزن حاوی ۶ درصد روغن است. اسیدهای چرب اشباع در روغن ارزن بیشتر از ذرت و سورگوم است ولی درصد لینولئیک اسید روغن ارزن در مقایسه با کل اسیدهای چرب موجود در آن بیشترین سهم را دارد و میزان اسیدهای چرب سه غیراشباعی بیشتری را نسبت به روغن سایر دانه‌های غلات دارد به‌گونه‌ای که ازلحاظ لینولئیک اسید با روغن سویا قابل‌مقایسه است (Sovova et al., 1994; Shams and Fazilati, 2011). ارزش غذایی روغن ارزن به خاطر مقدار کم اسیدهای چرب اشباع‌شده (کمتر از ۷ درصد اسید پالمیتیک) و مقدار نسبتاً زیاد اسید اولئیک و اسید آلفا لینولئیک است. همچنین در تحقیقی روی سه گونه ارزن (ایتالیایی، معمولی و مرواریدی) گزارش گردید اسید چرب شاخص در هر سه نمونه روغن، اسید لینولئیک است که درصد اسید لینولئیک روغن ارزن در مقایسه با کل اسیدهای چرب موجود در آن بیشترین سهم را داشت. بعدازآن به ترتیب اسیدهای اولئیک، پالمیتیک، استئاریک و لینولنیک بیشترین مقدار را داشتند (Shams and Fazilati, 2011).

با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران از خارج تأمین می‌گردد بنابراین استفاده از منابع موجود در کشور برای رسیدن به خودکفایی امری ضروری می‌نماید. لذا انجام پژوهش درباره بررسی مدیریت زراعی بر ساختار شیمیایی ارقام ارزن قابل‌کشت در ایران نیز ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر مشکلات اساسی در تأمین علوفه در کشور با توجه به شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک ایران، بنابراین ارزن می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مهم زراعی و علوفه مقاوم به کم‌آبی مدنظر محققین قرار گیرد.

کودهای آلی (زیستی) به‌عنوان جایگزین طبیعی کودهای شیمیایی، نقش مثبت و غیرقابل‌انکاری در مدیریت پایدار خاک و درنهایت پایداری کل سیستم دارند. کودهای بیولوژیک منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، اضافات گیاهی و غیره اطلاق نمی‌شود، بلکه تولیدات حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌هایی که در ارتباط با تثبیت نیتروژن و یا فراهمی فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک را نیز شامل می‌شوند (Kennedy et al., 2004). از این میکروارگانیسم‌ها می‌توان به ازتوباکتر و آزوسپریلیوم، سودوموناس و باسیلوس اشاره کرد که نقش مهمی در ترشح هورمون‌های گیاهی دارند (Zahir et al., 2004). وسی (Vessey, 2003) اظهار داشت که بهبود رشد گیاه درنتیجه تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم فقط به خاطر تثبیت نیتروژن نیست بلکه به دلیل سنتز هورمون‌های تحریک‌کننده رشد از قبیل سیتوکنین، اسیدجیبرلیک، اکسین، اسیدهای آمینه و ویتامین‌های گروه B است. سیاهمرگویی و همکاران (Siahmargue et al., 2014) گزارش کردند که کاربرد کودهای بیولوژیک در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه ارزن مرواریدی مؤثر بوده و تلقیح بذر آن با کودهای بیولوژیک علاوه بر تولید هورمون‌های محرک رشد، باعث توسعه سطح فعال سیستم ریشه‌ای و افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده که درنهایت شاخص‌های رشدی ارزن مرواریدی را افزایش داد. همچنین در تحقیقی نشان داده شد که تلقیح بذر گلرنگ بهاره با باکتری آزادزی ازتوباکتر و یک قارچ همزیست مولد میکوریزا، علاوه بر افزایش عملکرد دانه و درصد روغن، باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی و بهبود کیفیت محصول شد (Mirshekari et al., 2012). فقر غذایی و کمبود آب بزرگ‌ترین چالش پیش‌روی جوامع بشری است که عبور از آن تنها با اتخاذ شیوه‌های مدیریتی کارآمد در زمینه آب‌وخاک و اتخاذ رویکردهای نوین کشاورزی

امکان‌پذیر است. پس هدف از پژوهش حاضر در جهت مدیریت و پایداری تولید در شرایط کم‌آبی کشور و همسو با کشاورزی پایدار در راستای تأمین علوفه و روغن سالم، به بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی دو رقم ارزن و تأثیر مصرف باکتری‌های محرک رشد در جهت جبران خسارت ناشی از تنش کم‌آبی در دو گونه ارزن می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی واقع در اراضی کشاورزی جنوب فریدونشهر با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۷ دقیقه طول شمالی و ارتفاع ۲۵۳۰ متر از سطح دریا با میانگین دمای حدود ۹/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه، ۵۹۰ میلی‌متر اجرا شد. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری صورت گرفت که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک محل آزمایش.

Table 1. Chemical and physical characteristics of the soil of the experimental

بافت خاک **Soil Texture**	هدایت الکتریکی **EC** ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته خاک **pH**	کربن آلی **Organic Carbon** (%)	وزن مخصوص ظاهری **Bulk Density** ($g.cm^{-3}$)	نیتروژن کل **Total Nitrogen** (%)	پتاسیم قابل‌جذب **K** ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌جذب **P** ($mg.kg^{-1}$)
رسی لومی Loamy Clay	2.7	8.1	0.5	1.5	0.1	401	9.4

در این آزمایش تنش آبی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت-های اصلی و کاربرد باکتری‌های محرک رشد در سه سطح شامل عدم مصرف، ۰/۵ و یک لیتر باکتری‌های محرک رشد برای ۹ کیلوگرم بذر (Sajadi Nik andYadavi, 2014) و دو رقم ارزن (گلباف و باستان) به‌عنوان عوامل فرعی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی در چهار تکرار بودند. ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*) رقم باستان با عملکرد علوفه خشک ۳ الی ۴ تن در هکتار، عملکرد قصیل ۲۵ الی ۳۰ تن در هکتار، عملکرد دانه ۲/۵ الی ۳ تن در هکتار و صفات دیگری نظیر زودرسی و تحمل بسیار مطلوب به ورس در مرحله دانه‌بندی، تعداد روز تا گلدهی ۵۷ روز و وزن هزار دانه ۳/۵ گرم و مقاوم به خشکی است (Mehrani et al., 2013) و ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) اکوتیپ گلباف با عملکرد بیولوژیک و دانه، وزن هزار دانه و تحمل بیشتر به خشکی نسبت به رقم باستان است (Mashayekhi et al., 2016).

باکتری‌های محرک رشد مورداستفاده در این تحقیق، تلفیقی از دو باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum*) و آزوسپیریلوم برازیلنس (*Azospirillum brasilense*) با غلظت‌های CFU/ML107 (واحد تشکیل کلنی باکتری بر میلی‌لیتر: Colony Forming Unit) بود که کود استفاده شده از شرکت بیو اگسان ساخت کشور مالزی تهیه شد. پس از گاورو شدن زمین، کشت در تاریخ ۱۳۹۶/۰۳/۲۵ با دست انجام گردید. بر اساس نتیجه‌ی آزمایش خاک، کودهای شیمیایی پایه شامل نیتروژن و فسفر به ترتیب به مقدار ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منابع اوره و سوپر فسفات تریپل همزمان با کشت به خاک اضافه گردید. کود نیتروژن به‌صورت سرک (۳۰ درصد در مرحله کاشت، ۴۰ درصد در مرحله ساقه رفتن و ۳۰ درصد در مرحله شروع گل‌دهی) به کرت‌های موردنظر داده شد. به‌منظور اعمال تیمار کود زیستی، بذور ارزن را در زمان کاشت به مدت یک ساعت در مایه تلقیح خیسانده و سپس بذور دور از نور خورشید خشک شدند. بلافاصله پس از خشک شدن بذور تلقیح شده اقدام به کشت بذور شد (Siahmargue et al., 2014). هر کرت فرعی (۲×۳ متر) شامل شش ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود (Zabetet al., 2015). بین دو کرت یک پشته ۷۵ سانتی‌متری و بین تکرارها دو متر فاصله برای جلوگیری از نشت رطوبت در نظر گرفته شد. نیاز آبی به کمک روش FAO با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A و با در نظر گرفتن

راندمان ۸۰ درصد برای پخش آب در مزرعه تعیین شد (Hellen et al., 1998):

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) =
تبخیر از تشتک (میلی‌متر) × ضریب تشتک (۰/۷) [۱]

تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر) =
تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) × ضریب گیاهی [۲]

در این روش برای تعیین ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد از دستورالعمل‌های FAO استفاده گردید (Hellen et al., 1998; Zabetet al., 2015). هنگامی‌که میزان رطوبت خاک در تیمار شاهد به میزان ۴۰ درصد رطوبت خاک، در حد ظرفیت زراعی رسید آبیاری صورت گرفت، به این‌گونه که میزان آب موردنیاز تا رسیدن به رطوبت در ظرفیت زراعی در واحد سطح برای تیمار آبی شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) محاسبه و به کرت‌های شاهد داده شد (Tadayon andKarimzadeh Soureshjani, 2017). همچنین مقادیر ۷۵ و ۵۰ درصد میزان آب محاسبه‌شده با استفاده از کنتور حجمی به تیمارهای آبیاری اختصاص داده شد (مجموع آب مصرفی به ترتیب برای تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی برابر: ۸۴۹۶،۶۰۶۰، ۴۴۳۶ لیتر در هر کرت بود).

با استفاده از کولیس قطر ساقه تعداد ۱۰ نمونه از بوته‌های برداشت‌شده از سطح خاک اندازه‌گیری شد و با معدل‌گیری آن‌ها قطر ساقه‌ی بوته‌ها محاسبه گردید. در این آزمایش برای اندازه‌گیری شاخص ناپایداری غشای سلول، ابتدا با استفاده از پودر مانیتول و آب مقطر، محلول ۲- اتمسفر از مانیتول ساخته شد و داخل هر لوله‌آزمایش ۱۰ میلی‌لیتر از این محلول ریخته شد. سپس پنج دیسک به قطر یک سانتی‌متر از پهنک برگ‌های گیاهان هر تیمار تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در محلول مانیتول داخل لوله‌های آزمایش قرار داده شد. پس از گذشت مدت‌زمان لازم مقدار هدایت الکتریکی محلول هر لوله‌ی آزمایش به‌طور جداگانه با دستگاه هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری و ثبت شد. محلول هر لوله‌آزمایشی که هدایت الکتریکی بیشتری را نشان دهد، بیانگر تخریب بیشتر غشای سلولی بافت گیاهان موجود در آن است (Aman et al., 2005).

به‌منظور تعیین کیفیت محصول، دانه ارزن به‌وسیله آسیاب پودر شدند و ۱۰۰ گرم از آن برای اندازه‌گیری صفات مربوط به پروتئین و روغن دانه پس از کالیبراسیون توسط دستگاه NIRS (Near infrared reflectance spectroscopy) (سری اینفراماتیک ۸۶۲۰ شرکت پرتن ساخت کشور سوئد با ۲۰ طول‌موج در دامنه ۲۴۰۰-۵۰۰ نانومتر که بر پایه جذب و انعکاس اشعه مادون‌قرمز است)، در سطح یک مترمربع اندازه‌گیری شد (Nazari et al., 2014).

برای سنجش اسیدهای چرب از بذر تهیه‌شده هر کرت، یک نمونه‌ی ۲۰ گرمی در پاکت‌های جداگانه به آزمایشگاه فرستاده شد. برای اندازه‌گیری سنجش اسیدهای چرب، ابتدا کل لیپیدها از پودر دانه‌ها به‌روش انحلال کلروفرمی استخراج شد. بدین منظور پودر دانه با کلروفرم مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه باقی ماند. سپس در ۱۰۰۰ دور و در ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. محلول رویی برداشت و رسوب دوباره با کلروفرم استخراج گردید. روغن استخراجی که حاوی اسیدهای چرب بود توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی با ستون کاپیلاری به ابعاد ۳۰ متر طول با قطر داخلی ۰/۵ میلی‌متر، اسیدهای چرب جداسازی و بر اساس پیک استخراجی که نمونه‌های استاندارد اسیدهای چرب داشتند، شناسایی و اندازه‌گیری شدند (Primomo, 2002).

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه، پس از حذف ردیف‌های حاشیه، برداشت از خطوط میانی در یک مترمربع صفاتی نظیر عملکرد بیولوژیک و دانه اندازه‌گیری شدند. تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری (SAS 91.3) انجام پذیرفت (SAS Institute Inc., 2002). قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها (با استفاده از رویه Univariate) اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از رویه GLM (مدل خطی تعمیم‌یافته) انجام شد. مقایسه‌ی میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

قطر ساقه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد علاوه براثر ساده سطوح آبیاری، اثر برهمکنش دوگانه آبیاری و باکتری‌های محرک رشد بر قطر ساقه ارزن معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین میزان قطر ساقه در تیمارهای بدون تنش آبی با تلقیح باکتری‌ها به میزان یک لیتر در هکتار (I1B3) و تیمار تنش شدید خشکی بدون تلقیح با باکتری (44/3) (I3B1 و ۱/۷۹ میلی‌متر)

مشاهده گردید (جدول ۴). نخعی و همکاران (Nakhaei et al., 2014) در ارزن گزارش کردند که قطع آبیاری منجر به کاهش ۱۷/۰۲، ۱۲/۸۳ و ۵/۲۸ درصدی ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول پانیکول گردید. قطر ساقه نشان دهنده-ی حجم فیزیکی گیاه است یعنی هرچه قطر ساقه بیشتر باشد آن گیاه ازنظر جثه بزرگ‌تر و حجیم‌تر است که مسلماً گیاهان بزرگ‌تر، قوی‌تر می‌باشند. با افزایش شدت تنش آبی قطر ساقه نیز تحت تأثیر قرارگرفته و کاهش پیدا می‌کند و این یک محدودیت در رشد گیاه برای رشد بهتر محسوب می‌شود (Jami et al., 2018). پس با مصرف باکتری به دلیل در اختیار داشتن رطوبت بیشتر برای گیاه و استفاده‌ی گیاه از این رطوبت به‌تبع قطر ساقه‌ی گیاه نیز افزایش پیدا می‌کند و این در استحکام گیاه و جثه‌ی گیاه تأثیر مثبت داشته و موجب افزایش آن می‌شود (Siahmargue et al., 2014). در این آزمایش نیز، تلقیح بذر ارزن با باکتری‌ها در هر سه سطوح آبیاری سبب افزایش قطر گیاه گردید (جدول ۴). محققین مختلفی به کاهش میزان آلودگی کودهای زیستی با ریشه گیاهان تحت تنش خشکی اشاره داشته‌اند که درمجموع سبب کاهش جذب آب و نیتروژن برای گیاه می‌گردد (Soleymani and Pirzad, 2016; Habibzadeh et al., 2013).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات زراعی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی برای دو گونه ارزن تحت تأثیر سطوح آبیاری و باکتری

Table 2. Analysis of variance for agronomical, morphological and physiological characteristics of two millet species in effect of irrigation levels and bacteria treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square							
		قطر ساقه Stem diameter	ناپایداری غشای سلولی Cell memberant un-stability	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	پروتئین دانه Grain protein	روغن دانه Grain oil	اولئیک اسید Oleic acid	لینولئیک اسید Linoleic acid
بلوک Block	3	10.51**	8843^{ns}	599120 *	5202 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.05 ^{ns}	14.48 ^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	3.71**	389508**	17157746**	1498699**	17.16 **	18.09**	75.62**	875.92**
خطای اصلی Main error	6	0.25	15398	89622	1203	0.29	0.27	0.10	20.01
باکتری Bacteria (B)	2	0.78 ^{ns}	85085**	3860262**	332411**	2.35 **	2.44**	48.88**	552.77**
گونه species (C)	1	0.21 ^{ns}	178005**	662726**	45625**	0.02 ^{ns}	0.97 ^{ns}	36.76 **	566.16**
آبیاری×رقم I×B	4	2.08**	80935**	507960**	4361*	4.76 **	3.22**	6.81**	40.58**
آبیاری×باکتری I×C	2	0.19 ^{ns}	189707**	94196 ^{ns}	1473 ^{ns}	0.65 ^{ns}	0.15 ^{ns}	1.84 **	2.81 ^{ns}
باکتری×رقم B×C	2	0.29 ^{ns}	91252**	327552*	1993 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.14 ^{ns}	1.23 *	1.66 ^{ns}
آبیاری×باکتری×رقم I×B×C	4	0.16 ^{ns}	152480**	329124 **	454 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.06 ^{ns}	3.84 **	57.75 **
خطای فرعی Sub error	45	0.50	10739	75174	1184	0.27	0. 21	0.26	6.41
ضریب تغییرات (٪) C.V. (%)		*27.01*	*4.03*	*7.2*	*4.9*	*5.69*	*11.02*	*3.67*	*4.23*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات برهمکنش سطوح آبیاری× گونه × باکتری بر صفات عملکرد بیولوژیک، ناپایداری غشای سلولی و کیفیت روغن ارزن.

Table 3. Mean comparison of irrigation levels × species × bacteria interaction on biological yield, cell memberant un-stability and oil quantitative traits in millet.

آبیاری Irrigation	گونه species	باکتری Bacteria	اولئیک اسید Oleic acid (%)	لینولئیک اسید Linoleic acid (%)	ناپایداری غشای سلولی Cell memberant un-stability ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)
I_1	گلباف Golbaf	B_1	9.17 ^{c}	55.77^{f}	2285.00^{h}	2298.7^{d}
		B_2	10.77 ^{b}	63.32^{bc}	2687.50^{cd}	3016.6^{bc}
		B_3	10.57 ^{b}	63.45^{b}	2533.25^{def}	3781.3^{a}
	باستان Bastan	B_1	13.76 ^{a}	70.37^{a}	2397.25^{fgh}	3263.6^{b}
		B_2	14.03 ^{a}	69.85^{a}	2433.00^{fgh}	3351.9^{b}
		B_3	13.92 ^{a}	70.47^{a}	2478.75^{efg}	3961.7^{a}
I_2	گلباف Golbaf	B_1	8.20 ^{d}	49.40^{g}	2889.50^{ab}	2128.5^{de}
		B_2	9.20 ^{c}	58.00^{def}	2476.50^{efg}	2308.4^{d}
		B_3	9.33 ^{c}	59.32^{de}	2514.50^{efg}	2075.1^{de}
	باستان Bastan	B_1	10.85 ^{b}	61.55^{bcde}	2413.75^{fgh}	2087.0^{de}
		B_2	10.77 ^{b}	62.72^{bcd}	2513.25^{efg}	2811.2^{c}
		B_3	14.13 ^{a}	71.00^{a}	2353.00^{gh}	2761.5^{c}
I_3	گلباف Golbaf	B_1	7.80 ^{d}	50.00^{g}	2624.00^{cde}	1018.6^{g}
		B_2	8.19 ^{d}	50.12^{g}	2744.50^{bc}	1326.7^{fg}
		B_3	8.23 ^{d}	51.10^{g}	2912.75^{a}	1423.2^{f}
	باستان Bastan	B_1	9.21 ^{c}	59.17^{de}	2371.75^{fgh}	1749.7^{e}
		B_2	8.23 ^{d}	51.25^{g}	2868.50^{ab}	1940.8^{de}
		B_3	9.37 ^{c}	59.32^{de}	2755.75^{abc}	2081.1^{de}

I1= آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (شاهد)، I2= آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، I3= آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه؛B1 = عدم مصرف باکتری‌های محرک رشد (شاهد(، B2= میزان ۰/۵ لیتر باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر + آزوسپیریلیوم، B3- یک لیتر باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر + آزوسپیریلیوم.

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمونLSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

I1= Control, Irrigation based on the plant's water requirement, I2= Irrigation at 75% of the plant's water requirement, I3= Irrigation at 50% of the plant's water requirement; B1, B2 and B3: no application of growth promoting bacteria, 0.5 liter of application of growth promoting bacteria (Azotobacter + Azospirillium) and 1 liter of application of growth promoting bacteria (Azotobacter + Azospirillium) respectively. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test

ناپایداری غشای سلولی

تجزیه واریانس نشان داد که ناپایداری غشای سلولی تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی، دو و سه‌گانه بین تیمارهای آزمایشی در سطح ($P< 0.01$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، از میزان پایداری غشای سلولی کاسته شده به‌گونه‌ای که تیمار آبیاری در زمان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، به ترتیب در ارقام گلباف و باستان سبب کاهش (۱۴ و ۱۸ درصدی) پایداری غشا نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین حاکی از آن بود که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، از میزان پایداری غشای سلولی کاسته شده به‌گونه‌ای که تیمار آبیاری در زمان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، به ترتیب در هر دو رقم گلباف و باستان سبب کاهش ۱۳ درصدی پایداری غشا نسبت به شاهد گردید و در این شرایط کاربرد نیم و یک لیتر باکتری محرک رشد سبب افزایش پایداری غشا در رقم گلباف (۴/۳۹ و ۹/۹۱ درصدی) و در رقم باستان (۱۷/۳۲ و ۱۳/۹۳ درصدی) نسبت به عدم کاربرد آن گردید (جدول ۳).

تغییرات دائمی سطح تورژسانس آب سلول‌های گیاهی در اثر نوسانات شدید رطوبت خاک، باعث ایجاد اختلال در کار تراوایی غشای سلول‌ها خواهد شد. به‌طوری‌که این‌گونه سلول‌ها قابلیت کنترلی خود را روی خروج الکترولیت‌های موجود در سلول ازدست‌داده و یا اینکه سطح کنترل بسیار کاهش خواهد یافت و درنتیجه اختلال در فرآیند کنترل غشای سلولی، ما شاهد نشت و برون‌رفت الکترولیت سلول به فضای خارج سلولی خواهیم بود. سیبی و همکاران (Sibi et al., 2011) در بررسی ناپایداری غشاء سلولی گلرنگ تحت

تنش آبی نشان دادند که با افزایش شدت تنش آبی ناپایداری غشاء سلولی نیز افزایش می‌یابد. آن‌ها بیان نمودند که محلول محتوای بافت گیاهی که دارای هدایت الکتریکی بیشتری باشد، درواقع دلالت بر تخریب بیشتر خاصیت تراوایی غشای سلول‌های آن بافت گیاهی دارد. معمولاً با افزایش شدت تنش کمبود آب، میزان تخریب و ناپایداری غشای سلولی نیز افزایش یافت. در این تحقیق به نظر می‌رسد که مصرف کود زیستی از طریق فراهم نمودن مقادیر بیشتری از آب آبیاری برای ریشه‌ها، باعث ایجاد شرایط رشد و نمو بهتری برای گیاهان شده و از شدت تخریب غشاء سلول‌ها می‌کاهد.

محققین مختلفی اشاره کردند که در شرایط تنش کم‌آبی، میزان نشت الکترولیت‌های غشای گیاهی تحت تأثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد و ژنوتیپ‌هایی که پایداری غشای بیشتری داشته باشند می‌توانند به‌عنوان ارقام مقاوم به خشکی معرفی گردند (Kocheva and Georgive, 2003; Pourdad et al., 2008). کوچوا و جورجیف (Kocheva and Georgive, 2003) در ارزیابی مقاومت به خشکی ارقام جو، تخریب کمتری در غشاهای سلولی ارقام مقاوم‌تر به خشکی مشاهده کردند و مطرح نمودند که پرولین آزاد ممکن است باعث پایداری غشا در طول دوره تنش خشکی شود.

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک ارزن تحت تأثیر تمامی اثرات ساده و برهمکنش دو و سه‌گانه تیمارها به‌جز اثر برهمکنش دوگانه سطوح آبیاری و گونه قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که تنش کم‌آبی، سبب کاهش و کاربرد باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در هر دو رقم ارزن گردید و به ترتیب بیشترین عملکرد بیولوژیک در هر دو رقم (گلباف و باستان) در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی و با کاربرد یک لیتر باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر + آزوسپیریلیوم (۳۷۸۱/۳ و ۳۹۶۱/۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که اختلاف دو رقم به لحاظ آماری با یکدیگر معنی‌داری نبود و همچنین کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون بذرمال در هر دو رقم حاصل شد (جدول ۳).

مطابق با نتایج این تحقیق، ضابط و همکاران (Zabetet al., 2015) نشان دادند که تیمار کودی، تنش خشکی و اثر برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک برگ، ساقه و کل گیاه ارزن در هر دو چین علوفه داشتند. عملکرد تر کل ارزن علوفه‌ای با کاهش آبیاری تا حد تأمین ٪۵۰ نیاز آبی گیاه از ۴۰/۷۲ به ۲۴/۹۲ تن در هکتار کاهش یافت و عملکرد علوفه خشک کل نیز از ۸/۹۴ به ۵/۳۴ تن در هکتار تقلیل پیدا کرد. چنین روندی در خصوص وزن تر و خشک برگ و ساقه نیز مشاهده گردید. همچنین استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش وزن تر و خشک علوفه ارزن شد. ضابط و همکاران (Zabetet al., 2015) بیان داشتند که آبیاری و نیتروژن دو عامل کلیدی در تعیین عملکرد ارزن علوفه‌ای می‌باشند. در تحقیقی دیگر در ارزن گزارش گردید بیشترین وزن خشک گیاه تحت اثرات سه عاملی رقم× قطع آبیاری× کوددهی سوپرفسفات تریپل در رقم باستان، بدون تنش خشکی با کود حاصل شد (Rahbari et al., 2014). تنش کم‌آبی به‌عنوان مهم‌ترین تنش غیرزیستی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل تغییرات در سیستم فتوسنتزی گیاه، سبب کاهش بیوماس گیاه می‌گردد (Baghbani Arani, 2017)؛ و کودهای زیستی (خصوصاً باکتری آزوسپیریلوم) از طریق تولید انواع هورمون‌های محرک رشد گیاه نظیر اکسین، اسید جیبرلیک و اسید ایزوجیبرلیک باعث افزایش قابل‌ملاحظه رشد و نمو گیاهان می‌شوند (Fulchieri et al., 1993). بدین ترتیب چنین به نظر می‌رسد که در این پژوهش نیز احتمالاً، این باکتری‌ها از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، شاخص‌های رشدی ارزن را تحت تأثیر قرار داده که درنتیجه باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمارهای کود بیولوژیک نسبت به شاهد شده است. این فرضیه با توجه به اینکه اکسین موجب تقسیمات سلولی بیشتر و جیبرلین و مشتقات آن، سبب افزایش رشد طولی سلول‌ها به‌ویژه میانگره‌های ساقه می‌شوند، قابل توجیه است (Siahmargue et al., 2014). در تحقیقی نشان داده شد که تلقیح ارزن مرواریدی با باکتری‌های محرک رشد، سبب افزایش سرعت رشد گیاه، میزان تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ آن گردید (Siahmargue et al., 2014).

عملکرد دانه

عملکرد دانه در ارزن تحت تأثیر سطوح آبیاری، باکتری و رقم و اثر برهمکنش دوگانه سطوح آبیاری و باکتری قرار گرفت (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه سطوح آبیاری و باکتری نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه ارزن در تیمارهای بدون تنش آبی و کاربرد یک لیتر باکتری‌های محرک رشد و تنش شدید کم‌آبی بدون باکتری‌های محرک رشد (۱۰۷۱/۲۵ و ۳۱۸/۷۵ کیلوگرم در

هکتار) حاصل شد که حاکی از کاهش ۶۳/۲ درصدی ناشی از تنش شدید خشکی بر این صفت است (جدول ۴). همچنین این جدول نشان می‌دهد که استفاده ۰/۵ لیتر (۶/۶۶، ۱۲/۲۹ و ۳۱/۷۳ درصدی) و یک لیتر باکتری‌های محرک رشد (۱۹/۱۹، ۲۸/۷۶ و ۴۵/۰۷ درصدی) به ترتیب در تیمارهای آبیاری شاهد، تنش ملایم و شدید کم‌آبی، سبب افزایش عملکرد دانه ارزن گردیده است (جدول ۳) که دلالت بر تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد در تعدیل اثرات منفی تنش بر عملکرد دانه است. در بین ارقام موردمطالعه نیز رقم ارزن باستان با تولید (۷۲۵ کیلوگرم در هکتار) برتری ۶/۹۵ بر رقم گلباف داشت (جدول ۵).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات برهمکنش آبیاری ×باکتری بر صفات قطر ساقه، پروتئین، روغن و عملکرد دانه ارزن.

Table 4. Mean comparison of irrigation × bacteria interaction effect on stem diameter, protein, oil and grain yield traits in millet

آبیاری Irrigation	باکتری Bacteria	پروتئین دانه Grain protein (%)	روغن دانه Grain oil (%)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
		(%)	(%)	(mm)	(kg ha^{-1})
I_1	B_1	6.56 ^{b}	4.96 ^{b}	2.68 ^{bc}	865.63 ^{c}
	B_2	5.80 ^{cd}	4.43 ^{c}	3.05 ^{ab}	927.38 ^{b}
	B_3	7.25 ^{a}	5.81 ^{a}	3.44 ^{a}	1071.25 ^{a}
I_2	B_1	4.96 ^{ef}	3.47 ^{ef}	2.35 ^{bcd}	583.63 ^{f}
	B_2	5.37 ^{de}	3.75 ^{de}	2.38 ^{bcd}	665.38 ^{e}
	B_3	5.38 ^{de}	3.85 ^{de}	2.52 ^{bc}	819.25 ^{d}
I_3	B_1	4.12 ^{g}	2.56 ^{g}	1.79 ^{d}	318.75 ^{h}
	B_2	5.98 ^{c}	4.17 ^{cd}	3.10 ^{ab}	466.88 ^{g}
	B_3	4.73 ^{f}	3.25 ^{f}	2.13 ^{cd}	580.25 ^{f}

I_1= آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (شاهد)، I_2= آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، I_3= آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه؛B_1 = عدم مصرف باکتری‌های محرک رشد (شاهد)، B_2= میزان ۰/۵ لیتر باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر + آزوسپیریلیوم، B_3= یک لیتر باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر + آزوسپیریلیوم.

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

I_1= Control, Irrigation based on the plant's water requirement, I_2= Irrigation at 75% of the plant's water requirement, I_3= Irrigation at 50% of the plant's water requirement; B_1, B_2 and B_3: no application of growth promoting bacteria, 0.5 liter of application of growth promoting bacteria (Azotobacter + Azospirillium) and 1 liter of application of growth promoting bacteria (Azotobacter + Azospirillium) respectively. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر گونه بر عملکرد دانه ارزن.

Table 5. Mean comparison of species **effect on grain yield in millet**.

تیمارهای آزمایشی Treatments		عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
Golbaf	**گلباف**	674.63 ^{b}
Bastan	**باستان**	725.00 ^{a}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و در هر تیمار آبیاری بر اساس آزمونLSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

در تحقیقی حیاتی و همکاران (Hayati et al., 2011) گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری از ۷ به ۲۱ روز و ایجاد تنش خشکی، عملکرد دانه در ارزن حدود ۲۳/۷ درصد کاهش یافت. هرگونه تنشی که فراهمی مواد پرورده را کاهش دهد منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. براک و همکاران (Bruck et al., 2000) نیز گزارش کرده‌اند که کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه ارزن می‌شود. آن‌ها دلیل این موضوع را مختل شدن فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه اعلام کردند. در موافقت با نتایج این تحقیق، گزارش کردند که فقط در شرایط بدون تنش آبی، بین ۱۳ رقم ارزن دم‌روباهی تفاوت معنی‌داری ازنظر عملکرد دانه وجود داشت ولی در شرایط تنش خشکی تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های موردبررسی مشاهده نگردید که این موضوع نشان می‌دهد که تفاوت ژنتیکی نمونه‌های ارزن در شرایط تنش خشکی کمتر بروز می‌کند (Nakhaei et al., 2014). در برخی مطالعات

گزارش‌شده که استفاده از باکتری‌های محرک رشد با افزایش سطح برگ و سرعت رشد محصول درنهایت عملکرد کمی و کیفی در گیاه ارزن (Siahmargue et al., 2014) و علاوه بر آن، مقاومت به خشکی در گیاه جو (Cakmakci et al., 2007) را افزایش می‌دهد.

پروتئین دانه

پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، کود باکتری‌های محرک رشد و اثر برهمکنش سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش شدت تنش رطوبتی، میزان پروتئین دانه کاهش بیشتری یافت به‌گونه‌ای که به ترتیب تیمار آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی ارزن، نسبت به تیمارهای (شاهد و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) کاهش ۳۷/۱۹ و ۲۴/۳۹ درصدی در میزان پروتئین دانه را نشان داد (جدول ۴) و در تمامی تیمارهای آبیاری خصوصاً در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد یک لیتر باکتری‌های محرک رشد بالاترین میزان پروتئین دانه را تولید کرد (جدول ۴). رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2014) گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش درصد پروتئین خام اندام هوایی در دو رقم ارزن پیشاهنگ و باستان گردید. در تحقیقی گزارش گردید که کود زیستی نیتروکسین و بارور ۲ سبب افزایش میزان پروتئین در ارزن گردید و بیان نمودند که به دلیل افزایش سطح جذب مواد غذایی در تیمارهایی که کود زیستی در آن‌ها استفاده شده بود، میزان پروتئین افزایش یافت. بدیهی است که وجود باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، حل‌کننده فسفات و غیره به‌صورت مکمل در خاک برای کیفیت پروتئین، افزایش و کارایی جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه مؤثر است (Siahmargue et al., 2014). به نظر می‌رسد تنش کم‌آبی به دلیل تأثیر بر میزان موفق تلقیح باکتری با بذر و اثر بر جذب نیتروژن توسط ریشه‌ها، سبب کاهش میزان پروتئین دانه گردید. سیاهمرگویی و همکاران (Siahmargue et al., 2014) گزارش کردند به دلیل افزایش سطح جذب مواد غذایی در تیمارهایی که کود زیستی در آن‌ها استفاده شده بود، میزان پروتئین ارزن افزایش یافت. همچنین باکتری‌های موجود در کود زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی موردنیاز گیاه با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم، ترشح اسیدهای آمینه مختلف و غیره موجب رشد و توسعه ریشه و قسمت‌های هوایی گیاهان گردیده و با حفاظت ریشه گیاهان از حمله عوامل بیماری‌زای خاکزی موجب افزایش محصول در هکتار با کیفیت برتر می‌گردد. همچنین مقصودی و همکاران (Maghsoudi et al., 2014) افزایش ۸/۹ درصدی پروتئین دانه ذرت در تیمار تلقیح شده با کود زیستی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) را گزارش کردند.

درصد روغن دانه

تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار اثرات سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد و اثر برهمکنش دوگانه آن‌ها در سطح یک درصد بر درصد روغن دانه ارزن داشت. نتایج جدول (۴) نشان داد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد روغن دانه در تیمار بدون تنش آبی و یک لیتر در هکتار باکتری‌های محرک رشد و تیمار تنش شدید کم‌آبی (۵۰ درصد نیاز آبی) و بدون باکتری‌های محرک رشد مشاهده گردید. همچنین نتایج جدول (۴) نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنی‌دار کاربرد باکتری‌های محرک رشد در اکثر سطوح آبیاری داشت.

نتایج این آزمایش با نتایج سایر محققین مبنی بر کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی مطابقت دارد (Jami et al., 2018; Baghbani-Arani, 2017; Sadeghian Dehkordi and Tadayyon, 2016). ازجمله دلایلی که برای کاهش درصد روغن دانه تحت شرایط تنش خشکی بیان می‌شود این است که تنش خشکی باعث بروز اختلال در پر شدن دانه و درنهایت کاهش درصد روغن می‌شود (Jami et al., 2018; Sadeghian Dehkordi and Tadayyon, 2016). در تحقیقی گزارش گردید که کاربرد کودهای زیستی سبب افزایشی در حدود ۱۰ درصدی میزان روغن دانه نسبت به شرایط عدم تلقیح در ذرت گردید و بیان نمودند احتمالاً کودهای زیستی با فراهم آوردن شرایط مناسب‌تری جهت رشد گیاه مانند تولید هورمون‌های گیاهی و توسعه سیستم ریشه‌ای و درنتیجه افزایش جذب آب و دیگر عناصر غذایی، زمینه افزایش درصد روغن را در ذرت فراهم آورده‌اند (Maghsoudi et al., 2014).

ترکیبات اسیدهای چرب دانه ارزن

تجزیه واریانس نشان داد که تنها اسیدهای چرب غیراشباع (لینولئیک و اولئیک اسید) تحت تأثیر تمامی تیمارهای آزمایشی و اثرات برهمکنش آن‌ها به‌جز اثر برهمکنش‌های دوگانه سطوح آبیاری در رقم و باکتری‌های محرک رشد در

رقم قرار گرفتند (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین اثر برهمکنش سه‌گانه بین تیمارها نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین میزان اسیدهای چرب (اولئیک و لینولئیک اسید) در تیمار تنش کم‌آبی ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) در رقم باستان و با کاربرد یک لیتر باکتری‌های محرک رشد (۱۴/۱۳ و ۷۱ درصد) و در تیمار تنش شدید کم‌آبی (۵۰ درصد نیاز آبی) در رقم گلباف بدون باکتری‌های محرک رشد (۷/۸۰ و ۵۰ درصد) به دست آمد و همچنین تنش شدید کم‌آبی سبب کاهش هر دو اسید چرب نسبت به شاهد و تنش کم‌آبی ملایم در هر دو رقم گردید و کاربرد باکتری‌های محرک رشد در تمامی ترکیبات تیماری سطوح آبیاری و رقم نسبت به شاهد، سبب افزایش اولئیک و لینولئیک اسید گردید (جدول ۳).

یافته‌های پژوهشگران در مورد اثر تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب گیاهان تا حدودی متفاوت است، به‌طوری‌که در یک آزمایش، تفاوت‌های خیلی کمی در ترکیب اسیدهای چرب درنتیجهٔ تنش خشکی گزارش‌شده است (Dwivedi et al., 1993). در مطابقت با نتایج این تحقیق، همبستگی مثبتی بین اولئیک اسید و آبیاری مطلوب مشاهده‌شده است (Jami et al., 2018). در تحقیقی روی آفتابگردان گزارش گردید که تنش خشکی شدید، سبب کاهش میزان اسید اولئیک و لینولئیک گردید و با افزایش آب قابل‌دسترس گیاه (بدون تنش آبی)، میزان اولئیک افزایش یافت (Jami et al., 2018). هم‌راستا با نتایج این تحقیق، محققین بیان داشتند خشکی موجب کاهش معنی‌دار محتوای کل اسیدهای چرب و ترکیب اسیدهای چرب تحت کمبود شدید آب می‌شود (Laribi et al., 2009; Ashrafi and Razmjoo, 2010). استنباط این است که این کاهش درنتیجه کاهش فعالیت آنزیم اولئات‌دی‌سچوراز (Oleat desaturase) باشد، زیرا که این آنزیم حساسیت زیادی به دما دارد و فعالیت آن با افزایش دما کاهش می‌یابد. آبیاری ممکن است بر دمای گیاهان و میکروکلیمای مزرعه تأثیر بگذارد درواقع در شرایط کمبود آب، دمای میکروکلیمای گیاهان افزایش می‌یابد؛ بنابراین احتمالاً در این آزمایش، افزایش دمای بافت‌های گیاهی در شرایط تنش کم‌آبی، سبب کاهش فعالیت این آنزیم (اولئیک) و کاهش میزان لینولئیک اسید در شرایط تنش شده است (Schneiter and Miller, 1981; Sezen et al., 2011). محققین زیادی گزارش کردند که میزان و نوع کود نیتروژن در دسترس بر ترکیب اسیدهای چرب روغن آفتابگردان تأثیر می‌گذارد (Shoghi-Kalkhoran et al., 2013; Jami et al., 2018). درواقع میزان اسیدهای چرب اشباع با افزایش میزان نیتروژن کاهش و میزان اسیدهای چرب غیراشباع افزایش می‌یابد (Shoghi-Kalkhoran et al., 2013) نیتروژن عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان و عنصر اصلی افزایش‌دهنده عملکرد کمی و کیفی گیاهان است (Baghbani Arani, 2017). رهاسازی مناسب نیتروژن از کود آلی و قابل‌دسترس بودن آن به هنگام نیاز گیاه و همچنین متعادل بودن عناصر غذایی به دلیل حضور عناصر ریزمغذی از یکسو و بهبود شرایط فیزیکی و فرایندهای حیاتی خاک از سوی دیگر ضمن ایجاد بستر مناسب برای رشد و فتوسنتز باعث تداوم رشد گیاه و دیررسی آن و مواجه‌شدن با دماهای خنک‌تر شده و اسیدهای چرب غیراشباع افزایش‌یافته است (Jami et al., 2018). در مطابقت با نتایج این تحقیق حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2017) گزارش کردند با اعمال تنش کم‌آبی در مرحلهٔ زایشی، میزان اسیدهای چرب غیراشباع و همچنین درصد و عملکرد روغن درنتیجهٔ کاربرد کود زیستی همراه با کاربرد کود شیمیایی فسفر افزایش معنی‌داری داشتند و همچنین کاربرد کود زیستی به همراه کود سوپر فسفات تریپل در هنگام اعمال تنش در مرحلهٔ زایشی، می‌تواند روی اسیدهای چرب غیراشباع مثبت باشد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصله حاکی از آن است که آب و کود، دو عامل تأثیرگذار بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکرد بیولوژیک و دانه و کیفیت دانه ارزن می‌باشند. کاهش آبیاری با افزایش ناپایداری غشا، سبب کاهش صفات قطر ساقه، عملکرد بیولوژیک و دانه، درصد پروتئین و روغن و کیفیت آن در ارزن گردید. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت کاربرد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند اثرات نامطلوب ناشی از تنش رطوبتی را بر صفات فوق‌الذکر در هر دو رقم ارزن کاهش دهد و همچنین سبب بهبود کیفیت روغن گردد. با توجه به اینکه به‌طورکلی افزایش درصد اسید اولئیک نشان‌دهنده پایداری به دما و کیفیت روغن جهت سرخ کردن مواد غذایی و نیز بالاتر بودن درصد اسید چرب لینولئیک حاکی از بهبود ارزش روغن در تغذیه مستقیم است، تنش ملایم کم‌آبی (۷۵ درصد نیاز آبی) به همراه کاربرد یک لیتر باکتری‌های محرک رشد در رقم باستان، ضمن کاهش مصرف

آب (۲۵ درصدی)، بالاترین کیفیت (درصد اولئیک و لینولئیک) روغن را تولید نماید. همچنین رقم باستان ازنظر عملکرد بیولوژیک و دانه و اسیدهای چرب غیراشباع در شرایط مختلف، اعم از کاربرد و بدون کاربرد باکتری‌های محرک رشد نسبت به رقم گلباف برتری نشان داد.

منابع

Aman, Y.A., Habibi, D., Mashhadi Akbar Boujar, M., Khodabandeh, N., 2005. Antioxidant enzyme as index for selecting different genotypes of sunflower for drought tolerance. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 1, 1-11. [In Persian with English summary].

Ashrafi, E., Razmjoo, Kh., 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Journal of American Oil Chemists' Society. 87s 499-506.

Baghbani- Arani, A., 2017. Quantitative and qualitative assessment of (*Trigonella foenum-graecum*) under drought stress during the vegetative and reproductive stage in response to zeolite and vermicompost. Ph.D. Thesis Tarbiat Modares University Faculty of Agriculture. Pp: 567. [In Persian].

Bandurska, H., 2000. Does proline accumulated in leaves of water stressed barley plants confine cell membrane injury? I. Free proline accumulation and membrane injury index in drought and osmotically stressed plants. Acta Physiologiae Plantarum. 22s 409-415.

Bruck, H., Payne, W.A., Sattelmacher, B., 2000. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpiration, water –use efficiency and carbon isotope discrimination of pearl millet. Crop Science. 40s120-125.

Dwivedi, S.L., Nigam, S.N., Jambunathan, R., Sahrawate, K.L., Nagabhushanam, G.V.S., Raghunath, K., 1993. Effects of genotypes and environments on oil content and oil quality parameters and their correlations in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Peanut Science. 20: 84–89.

Fulchieri, M., Lucangeli, C., Bottini, R., 1993. Inoculation with Azospirillum effects growth and gibberellin status of corn seedling roots. Plant Cell Physiology. 34, 1305-1309.

Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M.R., Jalilian, J., Eini, O., 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. Agronomy Journal. 105, 79-84. [In Persian with English summary].

Hayati, A., Ramroudi, M., Galavi, M., 2011. Effect of timing of potassium application on Millet (*Setaria italica*) yield and grain protein content in different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing. 1(2): 35-44. [In Persian with English summary].

Hellen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapofranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO irrigation and drainage, No 56.

Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., Fathi Amirkhiz, K., 2017. Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of spring safflower in water deficit conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 48(1), 159-169. [In Persian with English summary].

Jami, M.Gh., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi Bidgoli, A., 2018. The response of quantitative and qualitative traits of sunflower seed to various nitrogen sources (organic and chemical fertilizers) and zeolite under different regimes of irrigation. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12(1), 141-152. [In Persian with English Summary].

Kennedy, I.R., Choudhury, A.T.M.A., Kecskes, M.L., Roughley, R.J., Hien, N.T., 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology and Biochemistry. 36(8), 1229-1244.

Kocheva, K., Georgive, G., 2003. Evaluation of the reaction of two contrasting Barely (*Hurdume vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG6000. BLUG. Journal of Plant Physiology. 290-294.

Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products. 30, 372-379.

Maghsoudi, E., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., 2014. Effect management strategies fertilizer nitrogen and biological on morphological traits, yield and quality traits Corn (S.C. 704). Iranian Journal of Field Crops Research. 2(2), 273-282. [In Persian with English Summary].

Mashayekhi, S., Khajoeinejad, Gh., Mohammadinejad, Gh., 2016. Evaluation of yield and yield components of different millet genotypes under two irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crops Research. 14(1), 120-132. [In Persian with English Summary].

Mirshekari, M., Amiri, R., Irannezhad, H., Noori, A., Zandevakili, O.R., 2012. Effect of planting date and water deficit on quantitative and qualitative traits of Flax seed. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science. 12(7), 901-913.

Nakhaei, A., Abbasi, M.R., Arazmjoo, E., Azari Nasr Abad, A., 2014. Evaluation of terminal drought tolerance in Foxtail Millet (*Setaria italica*) accessions. Iranian Journal of Crop Sciences. 16(1), 25-38. [In Persian with English Summary].

Nazari, Sh., Zaefarian, F., Farahmandfar, E., Zand, E., Azimi- Suran, S., 2014. Effect of harvest time on forage yield and quality Maize under intercropping with legume plants. Iranian Journal of Field Crops Research. 12(2), 237-245. [In Persian with English summary].

Pourdad, S.S., Alizadeh, K., Azizinegad, R., Shariati, A., Eskandari, M., Khiavi, M., Nabatee, E., 2008. Study on drought resistance in spring Safflower (*Carthamus tinctorus* L.) in different locations. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 12(45), 403-415. [In Persian with English summary].

Rahbari, A., Masood Sinaki, J., Zarei, M., 2014. Effects of Phosphate fertilizer and less irrigation on grain yield of the forage Millet. Journal of Agronomy Science. 5(10), 27-38. [In Persian with English summary].

Sadeghian Dehkordi, S.A., Tadayyon, A., 2016. Response of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to bio-fertilizer, nitrogen and phosphorus chemical fertilizer under drought stress conditions. Journal of Plant Eco physiology. 8(27), 72-89. [In Persian with English summary].

Shams, N., Fazilati, M., 2011. Evaluation of fatty acids and triacylglycerols composition and physicochemical properties of oils from three Millet varieties (*Setaria italica*, *Pennisetum miliaceum*, and *Pennisetum typhoides*) arable of Iran. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 7(2), 121-128. [In Persian with English summary].

Shoghi-Kalkhoran, S., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S.A.M. Mokhtassi- Bidgoli, A., Akbari, P., 2013. Integrated fertilization systems enhance quality and yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Agriculture Sciences and Technology. 15, 1343-1352.

Siahmargue, A., Rasi Serai, M.R., Naseri, M.Y., 2014. Effect of biological fertilizers on some forage quantity traits in Millet (*Pennisetum glaucum* L.). Journal of Iranian plant of Eco-physiology Researches. 9(2), 72-81. [In Persian with English summary].

Sibi, M., Mirzakhani, M., Gomarian, M., 2011. Study of cell membranes instability of ssfflower under water stress, application of zeolite and salicylic acid. Agronomy and Plant Breeding Journal. 8(2), 119-136. [In Persian with English summary].

Soleymani, F., Pirzad, A.R., 2016. The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 31(6), 1013-1023. [In Persian with English summary].

Sovova, H., Kuera, J., Je, J., 1994. Rate of vegetable oil extraction with supercritical CO_2 – II. Extraction of millet bran oil. Chemical Engineering Science. 49, 415-420.

Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting Rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255, 571-586.

Zabet, M., Bahamin, S., Ghoreishi, S., Sadeghi, H., Moosavi, Gh., 2015. Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Brigand. Environmental Stressed in Crop Sciences. 7(2), 187-194. [In Persian with English summary].

Zahir, A.Z., Arshad, M., Frankenberger, W.F., 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: application and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy. 81, 97-168.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 2, p. 441-453
Summer 2020
http://dx.doi.org/ 10.22077/escs.2019.2705.1710

Original article

Assessment of physiological and quantitative and qualitative yield of two millet species under different irrigation levels and application of growth promoting bacteria

A. Baghbani-Arani, Z. Adavi*
Department of Agriculture Science, Payam Noor University, Tehran, Iran.

Received 21 July 2019; Accepted 23 September 2019

Abstract
In order to investigate the effect of deficit water stress and application of growth promoting bacteria on morphological, physiological traits, quantitative and qualitative yield and oil compounds of two millet species, an experiment was conducted as split factorial based on complete randomized block design with four replications in research farm of Fereydunshahr, Esfahan province in 2016. In this experiment, deficit water stress were considered as the main plots with three levels (100, 75 and 50 percent of plant water requirement) while application of growth promoting bacteria (with three levels including control, using 1 or 0.5 $L.ha^{-1}$ Azotobacter chroococcum and Azospirillum brasilenseas seed inoculation) and two millet species (including Golbaf and Bastan) were arranged as factorial sub plots. In this experiment, water deficit stress significantly reduced stem diameter, cell memberant un-stability biological yield and seed, protein and oil, and its quality in millet. The application of growth promoting bacteria could reduce the adverse effects of water stress on the above characteristics in both millet species and improve the quality of the oil in such a way that the use of one and a half growth promoting bacteria, respectively, increased grain yields (6.66 and 19/19%) in irrigation treatments (12.29% and 28.76%) in mild stresses (31.73% and 45.07%) in severe deficit water stress treatments. In mild stress (75% water requirement), as well as application of one litter of growth promoting bacteria in the Bastan species, produced the highest quality oil (oleic and linoleic acid) while reducing water consumption. Also, Bastan species had superiority in terms of biological yield and grain and unsaturated fatty acids in different irrigation levels, with and without growth promoting bacteria application.

***Keywords*:** Azospirillium, Azotobacter, Fatty acid, Qualitative traits, Water stress

*Correspondent author: Zohrab Adavi; E-Mail: z_adavi@pnu.ac.ir.