نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۱، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۵ صفحه: ۲۵۱-۲۳۷
https://doi.org/10.22034/15.71.237

مقاله پژوهشی

ارزیابی تیمارهای آلی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فعالیت آنزیمی دو رقم پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) تحت تنش خشکی

مرضیه غلامی[۱]، پیمان فروزش*[۱]، محمدرضا راحمی[۲]، داود حبیبی[۱] و سمیرا شهبازی[۲]
[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
[۲] پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، کرج، ایران

چکیده

تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است و ارائه راهکارهایی نظیر کاربرد ارقام مقاوم به تنش و کودهای آلی در راستای کاهش اثرات ناشی از تنش بسیار حائز اهمیت است. بنابراین مطالعه حاضر به‌منظور بررسی برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم پنبه در شرایط تنش خشکی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در کرج به‌مدت دو سال اجرا شد. تیمارهای پژوهش شامل تنش خشکی در دو سطح (اعمال تنش خشکی (قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی تا پایان دوره رشد) و شرایط بدون تنش (شاهد))، در کرت‌های اصلی، ارقام پنبه (رقم گلستان و لاین امیدبخش ۲۰)، در کرت‌های فرعی و تیمارهای آلی (کاربرد باکتری محرک رشد (آزوسپریلیوم)، پلیمر سوپر جاذب، عدم‌مصرف (شاهد)) در کرت‌های فرعی فرعی، بودند. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که خشکی موجب کاهش عملکرد هر دو رقم پنبه شد. رقم گلستان عملکرد وش مطلوب‌تری نسبت به لاین امیدبخش ۲۰ داشت. آزوسپریلیوم و پلیمر سوپر جاذب اثرات منفی حاصل از تنش خشکی را نسبت به شاهد کاهش دادند. پلیمر سوپر جاذب در شرایط بدون تنش موجب افزایش عملکرد وش (۲۲/۸۴ درصد)، کاهش محتوای پرولین (۵۴/۵۴ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۷۵ درصد) و سوپراکسید دیسموتاز (۴۱/۲۷ درصد) نسبت به شاهد شد. همچنین آزوسپریلیوم سبب افزایش عملکرد وش (۱۹/۳۱ درصد)، کاهش محتوای پرولین (۲۱/۴۲ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۲۳/۵۲ درصد) و سوپراکسید دیسموتاز (۳۵/۳۶ درصد) نسبت به شاهد شد. بنابراین جهت کاهش اثرات حاصل از تنش خشکی و عملکرد بهتر پنبه می‌توان کاربرد باکتری محرک رشد (آزوسپریلیوم) و همچنین پلیمر سوپر جاذب را پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: آزوسپریلیوم، آنزیم کاتالاز، باکتری‌های محرک رشد، پلیمر سوپر جاذب، رقم گلستان

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۴، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

* نویسنده مسئول، رایانامه: peymanforouzesh@iau.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©
این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

مقدمه

پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) از جمله گیاهان زراعی مهم در کشاورزی و صنعت در جهان به‌شمار می‌آید. پنبه نقش مهمی در اقتصاد کشورها ایفا می‌کند. این محصول تحت شرایط اقلیمی بسیار متفاوتی در نقاط مختلف دنیا کشت و تولید می‌گردد، و یک کالای حیاتی مورد نیاز بشر می‌باشد که نه تنها تأمین‌کننده الیاف برای صنعت نساجی است، بلکه به عنوان یک دانه روغنی، از اهمیت فراوانی برخوردار است و از نظر میزان تولید روغن بین دانه‌های روغنی در مقام سوم قرار دارد (Steduto *et al*., 2017; Zafar *et al*., 2022; Zhu *et al*., 2021). مطابق با پیش‌بینی‌ها، جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر می‌رسد، در چنین شرایطی پنبه به‌دلیل داشتن روغن، پروتئین، کنجاله و الیاف نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی و پوشاک انسان و غذای دام خواهد داشت (Zhu *et al*., 2021).

گیاهان در طی دوره رشد خود با تنش‌های محیطی مختلفی مواجه می‌شوند، که با توجه به شدت تنش و همچنین میزان حساسیت و مرحله رشدی گیاه می‌توانند اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد داشته باشند. خشکی از متداول‌ترین تنش‌های محیطی محسوب می‌گردد و اغلب گیاهان در طی دوره رشد خود در معرض آن قرار می‌گیرند که موجب تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Mbava *et al*., 2020). در کشت پنبه عوامل متعددی نقش‌آفرینی می‌نمایند که در میان آن‌ها می‌توان به آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه اشاره کرد که اثر فراوانی بر عملکرد و اجزاء عملکرد پنبه دارند. کمبود آب منجر به کاهش خصوصیات زراعی و عملکرد در این گیاه می‌گردد (Mehmood *et al*., 2022; Singh *et al*., 2022). در همین راستا گزارش شد که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد پنبه نسبت به شرایط بدون تنش شد (Singh *et al*., 2022).

از جمله راهکارهای مقابله با تنش خشکی، کاربرد پرایمینگ باکتری‌های محرک رشد است. اثرات مفید پرایمینگ بذر برای بسیاری از محصولات زراعی اثبات شده است (Rahangdale *et al*., 2022). در طول پرایمینگ بذر، بذرها نیمه هیدراته می‌شوند، بطوریکه فعالیت‌های متابولیکی تا قبل از جوانه‌زنی ادامه می‌یابد. پرایمینگ بذر می‌تواند سرعت و درصد جوانه‌زنی و سبز شدن بذر و استقرار یکنواخت را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی افزایش دهد (Rajasekaran *et al*., 2002; Muhie *et al*., 2021). یکی از روش‌های کاهش اثرات تنش آبی کاربرد باکتری آزوسپیریلیوم است. آزوسپیریلیوم می‌تواند در شرایط معمول و یا تنش‌زا اثرات مثبتی را روی رشد گیاه داشته باشد (Rahangdale *et al*., 2022). باکتری‌های محرک رشد مانند آزوسپیریلیوم ممکن است از راه‌هایی مانند کمک به تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، آمین‌زدایی از پیش‌ساز اتیلن از جمله آمینوسیکلوپروپان، کربوکسیلات، و نیز تشکیل ریشه‌های جانبی، جذب بهتر آب و املاح، تغییر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تسریع چرخه سلولی، تغییرات ظاهری و ساختمانی ریشه به رشد بهتر گیاه کمک کنند (Kuan *et al*., 2016; Palacios *et al*., 2016). گزارش شده است که کاربرد باکتری آزوسپیریلیوم سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare*) در شرایط تنش خشکی شده است (نیازی و همکاران، ۱۴۰۱).

از مزایای کاربرد سوپر جاذب‌ها می‌توان به بهبود روابط آب، تهویه خاک، تشکیل بهتر ریشه، توسعه و رشد سریع گیاه و تحمل به تنش خشکی اشاره کرد. پلیمر سوپر جاذب شیمیایی در خاک به مدت ۵ تا ۷ سال دوام داشته و با تشکیل پیوندهای هیدروژنی می‌تواند به میزان ۲۰۰ تا ۴۰۰ برابر وزن خود آب جذب کرده و به ۱۰۰ برابر بیشتر از اندازه فعلی خودش برسند. مصرف سوپر جاذب جهت تثبیت ساختمان نفوذ آب به خاک و کاهش مصرف آب در خاک موجب افزایش بهره‌وری آب می‌شود (Ahmed *et al*., 2021). نتایج پژوهشی نشان داد کاربر پلیمر سوپر جاذب سبب افزایش عملکرد، کارایی فتوسنتز و تنظیم فعالیت آنزیمی گندم شد (Yang *et al*., 2022). به‌طورکلی، معرفی ارقام جدید پنبه با هدف افزایش عملکرد، زودرسی، مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده انجام می‌گیرد (Arevalo *et al*., 2008). تنش خشکی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

اصلی‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان به‌ویژه پنبه است و از آنجایی که سوپرجاذب‌ها و باکتری‌های محرک رشد نظیر آزوسپیریلیوم، تیمارهای آلی جهت افزایش رشد و مقاومت گیاه نسبت به شرایط تنش خشکی هستند؛ پژوهش حاضر با هدف بررسی دو رقم پنبه (ارقام مقاوم به تنش) تحت تأثیر تیمارهای آلی انجام شد تا دو تیمار باکتری محرک رشد و پلیمر سوپر جاذب در شرایط تنش خشکی با یکدیگر مقایسه شوند و همچنین عملکرد ارقام نسبت به شرایط تنش نیز مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در مزرعه پژوهشکده انرژی اتمی واقع در شهر کرج (با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤٥ دقیقه شمالی ۵۱ درجه و ٦ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا) به‌مدت دو سال (۱٤۰۰-۱۳۹۹) اجرا شد. تیمارهای پژوهش شامل تنش خشکی در دو سطح (اعمال تنش خشکی (قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی تا پایان دوره رشد) و شرایط بدون تنش (شاهد))، در کرت‌های اصلی، ارقام پنبه (رقم گلستان و لاین امیدبخش ۲۰)، در کرت‌های فرعی و تیمارهای آلی (کاربرد باکتری محرک رشد، پلیمر سوپر جاذب، عدم مصرف (شاهد)) در کرت‌های فرعی فرعی، بودند. در طی دوره رشد اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی کرج دریافت و ثبت گردید (شکل ۱). قبل از کشت جهت تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش و نیز توصیه کودی، از قطعه زمین مورد نظر نمونه‌گیری خاک صورت گرفت (جدول ۱).

محل اجرای طرح با گاوآهن برگرداندار شخم زده شده و پس از دیسک زدن با لولر تسطیح شد. قبل از کاشت، علفکش تریفولارین (۲ در هزار) به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار توسط سمپاش دستی (کوله‌پشتی) به زمین پاشیده شد. کودهای پایه بر اساس توصیه آزمایشگاه به زمین اضافه گردید. کشت در ۲۰ اردیبهشت ماه در هر دو سال اجرا شد. برای تأمین نیاز کودی پنبه، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره زمان کاشت و بقیه به صورت سرک در دو نوبت (هر مرحله ۵۰ کیلوگرم) در مرحله شش تا هفت برگی و ظهور گل به خاک اضافه شد. کاشت گیاهان در فواصل بین و روی ردیف ۸۰ و ۲۰ سانتی‌متر به صورت دستی انجام شد. برداشت اول در دهم مهرماه و برداشت دوم در ۲۰ مهرماه صورت گرفت. در طی دوره رشد آفات و بیماری خاصی مشاهده نشد.

رقم گلستان رقمی با عملکرد بالا، زودرس، متحمل به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی است (مهموم سالکویه و همکاران، ۱۳۹۸). لاین امیدبخش ۲۰ نیز لاینی در شرف معرفی است که زودرس، مقاوم به کم آبی و با عملکرد بالا است و قابلیت کشت در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را دارد. برای اعمال تیمارها پس از انتخاب بذرها و کرک‌زدایی با استفاده از اسید سولفوریک، تلقیح بذر (روش پرایمینگ) با باکتری آزوسپیریلیوم انجام شد و بذرها (در هر دو رقم) به‌مدت دو ساعت در مایه تلقیح باکتری غوطه‌ور شدند. باکتری آزوسپیریلیوم مورد استفاده با نام علمی (*Azospirillum brasilense*) از نوع گرم منفی بود و از پژوهشکده انرژی اتمی کرج تهیه شد. مایه تلقیحی باکتری با جمعیت 10^8 باکتری در هر میلی‌لیتر بود. در این آزمایش از پلیمر سوپر جاذب اگرونانو ژل استفاده شد که از پلی‌اکریلات پتاسیم و کوپلیمر اکریلیک اسید ساخته شده که دارای ظرفیت بالای جذب و نگهداری آب است. این سوپرجاذب از نظر اسیدیته خنثی است و از این‌رو در کاربردهای متوالی هیچ‌گونه تغییری در اسیدیته خاک به‌وجود نمی‌آورد. پلیمر سوپر جاذب قبل از کاشت به‌مقدار ۸۰ کیلوگرم در هکتار و به‌صورت نواری و در عمق ۱۰-۱۵ سانتی‌متری هر ردیف به‌کار برده شد (طبق پروتکل شرکت سازنده) به خاک اضافه شد.

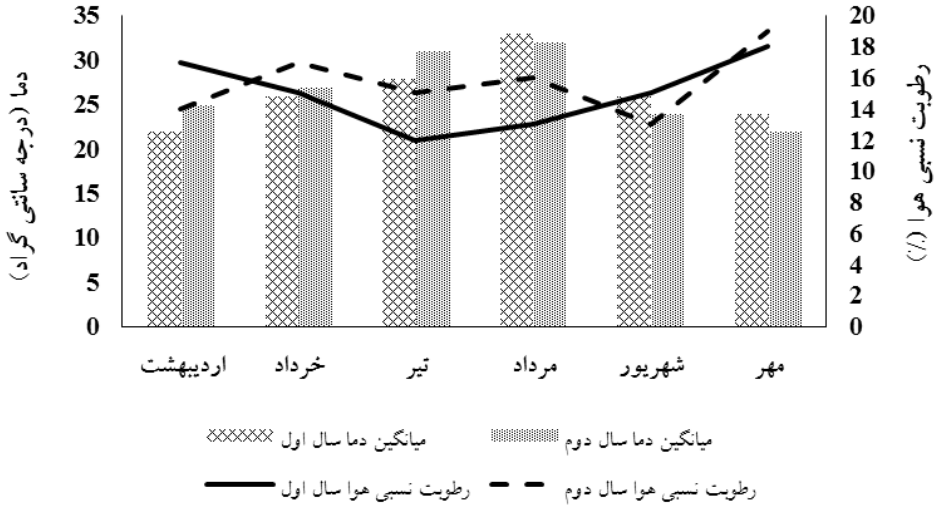
در مطالعه حاضر، جهت محاسبه میزان آب آبیاری در هر نوبت، از روش اندازه‌گیری محتوای رطوبت خاک استفاده شد. بدین‌منظور قبل از هر آبیاری، رطوبت خاک به‌وسیله دستگاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال آزمایش

	درصد اشباع (٪)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	فسفر قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)	مواد آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	بافت خاک
سال اول	۳۲	۷/۸	۳/۳۲	۵/۲۹	۲۰۰	۱/۱	۰/۰٦	لومی-رسی
سال دوم	۲۸	۷/٦	۳/۰۵	٦/۱۳	۲۲۰	۱/٤	۰/۰۸	لومی-رسی



شکل ۱- اطلاعات هواشناسی در طی دوره رشد گیاه پنبه در دو سال آزمایش (۱٤۰۰-۱۳۹۹)

تی.دی.آر اندازه‌گیری شد و حجم آب مورد نیاز در تیمار آبیاری کامل، براساس اختلاف بین رطوبت خاک و حد ظرفیت زراعی برآورد گردید و با توجه به مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری در هر نوبت محاسبه شد. مقدار آب آبیاری لازم برای بازگرداندن رطوبت خاک به نقطه ظرفیت زراعی با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

$$Vw = (\theta_{Fc} - \theta_i) \times D \times A \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن Vw حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری برای تیمار آبیاری کامل (برحسب مترمکعب)، θ_{FC} محتوای حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (برحسب درصد)، θi محتوای حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری (برحسب درصد)، D عمق مؤثر عمودی ریشه (برحسب متر) و A مساحت کرت (برحسب مترمربع) است (Niu *et al.*, 2018).

در نهایت، برخی از صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، قطر طوقه، تعداد شاخه‌های زایا، تعداد کل غوزه در بوته (شامل غوزه باز و بسته)، عملکرد وش (به الیاف پنبه‌ای گفته می‌شود که از مزرعه برداشت شده و هنوز به صورت کامل فرآوری نشده و به الیاف و دانه پنبه تبدیل نشده است) و وزن خشک بوته اندازه‌گیری شدند. برای ارزیابی صفات در هر کرت تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته ار خطکش مدرج استفاده شد. جهت اندازه‌گیری قطر طوقه از کولیس استفاده شد. اندازه‌گیری عملکرد پس از حذف اثرات حاشیه از وسط خطوط کشت انجام شد. عملکرد وش از حاصل میانگین عملکرد چین اول و دوم به‌دست آمد.

محتوای کلروفیل یا غلظت کلروفیل آخرین برگ توسعه‌یافته در زمان نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Spad) اندازه‌گیری شد. در ابتدا پس از روشن کردن دستگاه یک بار آن را بدون قرار دادن برگ در محفظه برگ قرائت کرده تا دستگاه کالیبره شد و سپس کار قرائت را از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

سه نقطه از هر برگ انجام و بعد میانگین سه نقطه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است نمونه‌برداری از روی رگبرگ‌ها انجام نشد. باید توجه داشت که عدد کلروفیل‌متر مقدار کلروفیل را مشخص نمی‌کند، بلکه تخمینی از غلظت کلروفیل را نشان می‌دهد. این عدد همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ دارد (Minolta, 1989).

میزان محتوای رطوبت نسبی از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Ferrat and Loval, 1999).

معادله ۲

$$RWC=\frac{FW-DW}{SW-DW}\times 100$$

که در رابطه فوق FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ، SW وزن اشباع برگ است. شاخص ناپایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد. برای این منظور نمونه‌ها هر کدام درون آب‌مقطر با حجم ۲۰ میلی‌لیتر منتقل و به‌مدت ۲٤ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. هدایت الکتریکی آب‌مقطر همراه نمونه به عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه نیز از طریق اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از حرارت‌دادن آن‌ها به‌مدت ۲ دقیقه و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شاخص ناپایداری غشاء از طریق معادله ۳ محاسبه گردید (Bertin *et al.*, 1996).

معادله ۳

۱۰۰× ((نشت ثانویه/نشت اولیه)−۱) = شاخص پایداری غشاء

اندازه‌گیری پرولین به‌روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، انجام شد. ابتدا نمونه‌ها در آون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای اتاق) به‌مدت ٤۸ ساعت خشک شد. نمونه‌های خشک شده با استفاده از آسیاب پودر شدند. ۰/۵ گرم ماده خشک گیاهی را درون هاون ریخته، سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳٪ آماده شده را به آن اضافه کرده و کاملاً خرد و سپس صاف گردید و به‌مدت ۱۵−۱۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین به آن افزوده شد و به‌مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد درون حمام آب گرم قرار گرفت، سپس درون یخ سرد شد. میزان جذب رنگ را با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد.

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز، از مخلوط واکنش که شامل بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار با (pH= ۷)، ۲۰ میلی‌مولار H_2O_2، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استفاده شده است. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از کاهش جذب H_2O_2 محاسبه گردید. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز شد. تغییرات جذب در ۲٤۰ نانومتر به‌مدت ۳ دقیقه ثبت و سپس فعالیت آنزیم به‌صورت تغییرات جذب در دقیقه به ازای وزن تر بیان شد (Aebi, 1984).

جهت سنجش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز ابتدا برای تهیه ترکیب واکنش از ۱۳ میلی‌مول متیونین، ۲۵ میکرومول نیتروبلوتترازولیوم، ٦ میکرومول محلول ۰/۵ مولار ٤ نیتروبلوتترازولیوم EDTA، ٦۰ میکرومول ریبوفلاوین ۱ میلی‌مولار و ۵۰ میلی‌مول سدیم بیکربنات استفاده شد. سپس ۲/۹ میلی‌لیتر از مخلوط حاصل را در داخل تیوب استریل ریخته، بلافاصله پس از افزودن ۲ میکرومول ریبوفلاوین و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی، به‌مدت ۱۵ دقیقه زیر نور لامپ فلورسانس ٦×۱۵ قرار داده شد. سپس میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در طول‌موج ۵٦۰ نانومتر طیف‌سنجی اسپکتروفتومتر خوانده شد (Sairam *et al.*, 1998) شد.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌روش اسپکتروفتومتر (مدل PG Instruments Itd VIS/UV+T)، از عصاره بافت برگی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. ۳ میلی‌لیتر محلول واکنش آسکوربات پراکسیداز شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات (pH= ۷)، ۰/۵ میلی‌مول اسید آسکوربیک، ۰/۱ میلی‌مول H_2O_2 و ۱۰۰ میکرولیتر آنزیم استخراجی بود که در نهایت فعالیت آنزیم برحسب میکرومول آسکوربات اکسید شده در هر گرم محتوای پروتئین در دقیقه محاسبه شد (Sairam *et al.*, 1998).

جهت تعیین مالون دی‌آلدئید ۰/۲ گرم بافت برگ گیاهی به قطعات کوچک تقسیم و با ۲ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک اسید ۵ درصد در مجاورت یخ هموژن شد. سپس در ۱۲۰۰۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ و محلول بالایی برداشت شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از این محلول با ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول اسید تیوباربیتوریک و تری‌کلرواستیک ۲۰ درصد مخلوط و در ۹٦ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۵ دقیقه انکوبه شد. سپس در شرایط سرد در ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. جذب محلول در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. از محلول تیوباربیتوریک اسید و تری‌کلرواستیک ۲۰ درصد به‌عنوان شاهد استفاده گردید. مقدار مالون دی‌آلدئید با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد (Ohkawa *et al*., 1979). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با روش دانکن با استفاده از مدل طرح آماری توسط نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. رسم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و قطر طوقه: نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر تنش خشکی، تیمارهای آلی و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در تیمارهای آلی با احتمال خطای یک درصد بر ارتفاع بوته و قطر طوقه معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج اثر متقابل تنش خشکی بر تیمارهای آلی حاکی از آن است که تنش خشکی ارتفاع بوته و قطر طوقه را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد. کاربرد تیمارهای آلی نیز موجب افزایش ارتفاع بوته و قطر طوقه نسبت به شاهد شدند. کاربرد سوپر جاذب و آزوسپریلیوم اثرات منفی حاصل از تنش خشکی را نسبت به شاهد کاهش داد. آزوسپریلیوم در شرایط بدون تنش ارتفاع بوته را ٤۰/٤٦ درصد و قطر طوقه را ۲٦/۰۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. پلیمر سوپر جاذب نیز در شرایط بدون تنش موجب افزایش ارتفاع بوته (۳۸/۸٤ درصد) و افزایش قطر طوقه (۲۷/۳۹ درصد) نسبت به شاهد شد. علاوه‌براین، تنش خشکی نیز ۳٤/۱۵ موجب کاهش ارتفاع بوته و ۲۷/۳۹ درصد سبب کاهش قطر طوقه نسبت به شاهد شد (جدول ۳). ارتفاع بیشتر بوته، چه در نتیجه افزایش فاصله میان گره‌ها و چه تعداد گره در ساقه، تا جایی که رشد علفی و بی‌رویه تلقی نگردد، به علت توزیع بهتر نور و نیز ایجاد شاخه‌های زایای بیشتر، منجر به افزایش عملکرد وش می‌شود (Zafar *et al*., 2022). تنش خشکی موجب کاهش رشد گیاه پنبه شد که می‌توان گفت این امر به دلیل کاهش جذب آب توسط گیاه و به‌دنبال آن کاهش انتقال مواد غذایی برای رشد گیاه رخ داده است. رشد سلول‌ها نسبت به کمبود آب از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است و حتی با کاهش جزئی در قابلیت دسترسی به آب، سرعت رشد سلول‌ها کاهش می‌یابد، زیرا فرآیندهای مرتبط با رشد طولی گیاه نظیر فشار تورژسانس که نیروی لازم برای انبساط و طویل شدن سلول‌ها را فراهم می‌کند، در شرایط محدودیت آب به حد کافی وجود ندارد (Mehmood *et al*., 2022). در همین راستا محققان بیان داشتند که تنش خشکی ارتفاع بوته پنبه را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد (Singh *et al*., 2022). افزایش رشد گیاهان تحت تأثیر باکتری محرک رشد ناشی از افزایش سطح جذب مواد غذایی، افزایش جذب آب توسط ریشه، فعالیت فتوسنتزی و تعرق بیان شده است که با تأثیر مستقیم بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و میزان کربوهیدرات گیاه باعث بهبود و افزایش رشد آن می‌گردد. کاربرد سوپر جاذب سبب شد که گیاه رطوبت و مواد غذایی کافی برای تقسیم سلول‌های مریستمی در اختیار داشته باشد که موجب افزایش رشد گیاه شد که در نهایت افزایش ارتفاع گیاه و قطر طوقه را به همراه داشت (Rahangdale *et al*., 2022; Ahmed *et al*., 2021).

تعداد شاخه‌زایا و تعداد کل غوزه در بوته: اثر تنش خشکی، تیمارهای آلی و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در تیمارهای آلی با احتمال خطای یک درصد بر تعداد شاخه زایا و تعداد کل غوزه در بوته معنی‌دار شد. علاوه‌براین اثر ارقام و اثر متقابل ارقام در تیمارهای آلی نیز با احتمال خطای یک درصد بر تعداد کل غوزه در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج برهمکنش تنش خشکی بر تیمارهای آلی حاکی از آن است که تنش خشکی تعداد شاخه زایا و تعداد کل غوزه در بوته را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد و کاربرد کودهای آلی موجب افزایش تعداد شاخه زایا و تعداد کل غوزه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و خصوصیات مورفولوژیکی پنبه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	قطر طوقه	تعداد شاخه زایا	تعداد کل غوزه در بوته	عملکرد وش	شاخص کلروفیل
سال	۱	۱۲/۰۶^{ns}	۹/۴۸^{ns}	۱۵/۳۴^{ns}	۱۰/۱۳^{ns}	۱۷/۲۲^{ns}	۱۸/۴۹^{ns}
تکرار (سال)	۴	۲۱/۲۱	۳۵/۷۱	۱۶/۴۸	۱۷/۳۵	۲۸/۴۱	۲۰/۶۵
تنش خشکی (D)	۱	۲۱۶/۱۳**	۳۰۷/۱۴**	۳۵۳/۲۹**	۲۷۴/۵۹**	۵۰۷/۱۴**	۴۵۳/۲۹**
سال× D	۱	۳/۷۴^{ns}	۹/۳۵^{ns}	۱۴/۴۶^{ns}	۱۸/۹۲^{ns}	۹/۳۵^{ns}	۱۴/۴۶^{ns}
خطا	۴	۳۱/۵۸	۲۸/۷۸	۳۴/۶۵	۲۳/۴۲	۲۸/۷۸	۳۴/۶۵
ارقام(C)	۱	۷/۵۲^{ns}	۱۴/۵۹^{ns}	۱۲/۷۱^{ns}	۵۳۹/۴۸**	۸۱۷/۷۵**	۴۸۲/۳۶**
سال× C	۱	۱۰/۷۳^{ns}	۱۳/۷۲^{ns}	۱۵/۶۹^{ns}	۱۱/۳۸^{ns}	۱۶/۹۹^{ns}	۱۹/۸۴^{ns}
C ×D	۱	۱۲/۹۶^{ns}	۱۸/۴۵^{ns}	۱۲/۹۷^{ns}	۱۵/۷۴^{ns}	۲۰/۷۳^{ns}	۲۲/۴۸^{ns}
سال× C ×D	۱	۹/۸۵^{ns}	۱۰/۳۶^{ns}	۲۸/۴۳^{ns}	۱۷/۹۶^{ns}	۲۵/۴۹^{ns}	۱۴/۷۹^{ns}
خطا	۴	۱۸/۳۴	۲۴/۴۶	۳۵/۷۲	۳۸/۴۹	۲۹/۳۴	۳۰/۸۶
تیمارهای آلی (F)	۲	۳۶۴/۷۹**	۵۳۲/۱۸**	۲۴۴/۵۱**	۳۸۷/۵۶**	۴۳۲/۱۸**	۸۴۴/۵۱**
سال× F	۲	۸/۳۵^{ns}	۱۰/۱۷^{ns}	۱۲/۳۸^{ns}	۱۲/۵۹^{ns}	۱۰/۱۷^{ns}	۲۵/۳۸^{ns}
F ×D	۲	۴۱۱/۲۷**	۲۰۵/۸۹**	۱۷۶/۴۵**	۴۲۹/۳۸**	۳۱۶/۶۹**	۴۷۶/۴۵**
سال× F ×D	۲	۱۰/۸۳^{ns}	۱۲/۷۵^{ns}	۱۱/۶۱^{ns}	۱۴/۵۹^{ns}	۱۳/۴۸^{ns}	۱۵/۷۳^{ns}
F ×C	۲	۱۵/۴۱^{ns}	۱۶/۵۱^{ns}	۱۰/۳۳^{ns}	۳۷۲/۴۵**	۲۴۸/۷۳**	۵۹۴/۸۲**
سال× F ×C	۲	۹/۰۶^{ns}	۱۰/۱۱^{ns}	۸/۴۲^{ns}	۱۹/۶۱^{ns}	۱۵/۳۷^{ns}	۱۸/۹۴^{ns}
F ×C ×D	۲	۱۱/۲۷^{ns}	۷/۴۸^{ns}	۱۳/۵۸^{ns}	۱۵/۳۸^{ns}	۷/۴۸^{ns}	۲۳/۵۸^{ns}
سال×D× F ×C	۲	۸/۴۱^{ns}	۸/۱۳^{ns}	۱۲/۸۶^{ns}	۲۱/۵۹^{ns}	۸/۱۳^{ns}	۱۲/۸۶^{ns}
خطا	۳۲	۱۶/۳۹	۱۹/۴۵	۱۸/۵۷	۲۰/۹۸	۲۵/۴۶	۳۴/۷۳
ضریب تغییرات		۱۱/۱۸	۱۲/۳۷	۱۰/۴۵	۱۳/۶۷	۱۰/۳۲	۱۱/۸۴

**** و * به ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار**

جدول ۳- اثر متقابل تنش خشکی و تیمارهای آلی بر عملکرد، خصوصیات مورفولوژیکی و شاخص کلروفیل پنبه

تیمارها		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	قطر طوقه (میلی‌متر)	تعداد شاخه زایا	تعداد کل غوزه در بوته	عملکرد وش (کیلوگرم در هکتار)	شاخص کلروفیل
تنش	تیمارهای آلی						
بدون تنش	آزوسپریلیوم	۶۲/۴۵^{a}	۹/۲^{a}	۱۲/۳۳^{a}	۹/۵^{a}	۳۵۲۱/۶^{a}	۳۰/۳۸^{b}
	سوپر جاذب	۶۱/۷۳^{a}	۹/۳^{a}	۱۲/۵^{a}	۹/۸^{a}	۳۶۲۵/۷^{a}	۳۲/۴۹^{a}
	شاهد	۴۴/۴۶^{b}	۷/۳^{b}	۱۰/۶۷^{b}	۷/۹^{b}	۲۹۵۱/۵^{b}	۲۷/۵۸^{c}
تنش خشکی	آزوسپریلیوم	۴۰/۱۷^{c}	۵/۸^{c}	۸/۳۳^{c}	۷/۵^{b}	۲۵۲۱/۶^{c}	۲۱/۳۵^{e}
	سوپر جاذب	۳۹/۵۹^{c}	۵/۶^{c}	۸/۵^{c}	۷/۳۳^{b}	۲۷۲۴/۳^{bc}	۲۴/۶۴^{d}
	شاهد	۳۳/۱۴^{d}	۴/۷^{d}	۶/۳۳^{d}	۵/۳۳^{c}	۱۸۳۵/۴^{d}	۱۷/۴۳^{f}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

در بوته در شرایط تنش نسبت به شاهد (بدون کودهای آلی) شد. کاربرد تیمارهای آلی سبب افزایش تعداد شاخه زایا و تعداد کل غوزه در بوته نسبت به شاهد شد. آزوسپریلیوم در شرایط بدون تنش سبب افزایش تعداد شاخه زایا (۱۵/۵۵ درصد) و موجب افزایش تعداد کل غوزه در بوته (۲۰/۲۵ درصد) نسبت به شاهد شد. همچنین پلیمر سوپر جاذب در شرایط بدون تنش موجب افزایش تعداد شاخه زایا (۱۷/۱۵ درصد) و افزایش تعداد کل غوزه در بوته (۲٤/۰۵ درصد) نسبت به شاهد شد. تنش خشکی نیز کاهش تعداد شاخه زایا (٦۸/٥٦ درصد) و تعداد کل غوزه در بوته (٤۸/۲۱ درصد) را به همراه داشت (جدول ۳). نتایج برهمکنش ارقام در تنش خشکی نشان داد که رقم گلستان دارای بیشترین تعداد کل غوزه در بوته بود. در رقم گلستان، تعداد کل غوزه در شرایط بدون تنش ۲٦/٦٦ درصد نسبت به تنش خشکی افزایش یافت. همچنین در رقم ۲۰ نیز تعداد کل غوزه در بوته ۲۷/۳۷ درصد نسبت به شرایط تنش خشکی افزایش یافت (جدول ٤). تعداد غوزه در بوته، نقش مهمی در عملکرد پنبه داشته و از صفات تأثیرگذار بر عملکرد ارقام پنبه به شمار می‌رود. در صورت بالا بودن وراثت‌پذیری، می‌توان از آن در برنامه‌های به‌نژادی و انتخاب ارقام پرمحصول پنبه استفاده کرد (Teodoro *et al.*, 2019). آبیاری مناسب پنبه در مراحل اولیه رشد، سبب افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه پنبه شده و در نهایت عملکرد وش افزایش می‌یابد. در این آزمایش نیز در شرایط آبیاری نرمال پنبه ارتفاع بوته و ارتفاع تا اولین شاخه زایا افزایش پیدا کرد. پنبه با تحریک جوانه‌های مولد شاخه‌های رویشی و زایشی در شرایط بدون تنش می‌تواند عملکرد قابل قبولی را تولید کند اما در شرایط کمبود آب به دلیل رشد نامناسب شاخه‌های رویشی و زایشی، عملکرد به طور محسوس کاهش پیدا می‌کند (Mehmood *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2022). کاربرد سوپر جاذب و همچنین باکتری محرک رشد با فراهمی آب و نیتروژن بیشتر برای گیاه پنبه، موجب افزایش تعداد شاخه زایا و تعداد غوزه در پنبه شد (Bhuiyan *et al.*, 2022). پیرو نتایج مطالعه حاضر، سایر محققان اظهار داشتند که کاربرد پلیمر سوپر جاذب موجب افزایش تعداد شاخه زایا و تعداد غوزه در پنبه شده است و اثرات حاصل از تنش خشکی را کاهش داده است (Zheng *et al.*, 2023).

عملکرد وش: اثر تنش خشکی، تیمارهای آلی، ارقام و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در تیمارهای آلی و اثر متقابل ارقام در تیمارهای آلی با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد وش معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج برهمکنش تنش خشکی بر تیمارهای آلی نشان داد که تنش خشکی عملکرد وش را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد. کاربرد تیمارهای آلی افزایش عملکرد وش را نسبت به شاهد به همراه داشت. کاربرد آزوسپریلیوم در شرایط بدون تنش عملکرد وش را ۱۹/۳۱ درصد و پلیمر سوپر جاذب نیز ۲۲/۸٤ درصد نسبت به تیمار شاهد بدون تنش افزایش داد (جدول ۳). نتایج برهمکنش رقم در تنش خشکی نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد وش در رقم گلستان در شرایط بدون تنش و کمترین مقدار در رقم لاین ۲۰ در شرایط خشکی مشاهده شد (جدول ٤). مطابق با نتایج به‌دست آمده، تنش کم‌آبی با تأثیر منفی بر تعداد غوزه در بوته و تعداد شاخه زایا باعث کاهش عملکرد وش پنبه شد. تغییرات پتانسیل عملکرد در ارقام را می‌توان با متغیر بودن ویژگی‌های مربوط به عملکرد وش در آن‌ها و همچنین پاسخ متفاوت نسبت به شرایط تنش کم‌آبی مرتبط دانست (Singh *et al.*, 2022). کاربرد سوپر جاذب از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، افزایش جوانه‌زنی، افزایش سبزشدن و کاهش نیاز آبی موجب افزایش عملکرد وش پنبه شده است (Zheng *et al.*, 2023). محققان گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد وش و همچنین اجزای عملکرد پنبه نسبت به شرایط بدون تنش شد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (Singh *et al.*, 2022). همچنین گزارش شده است که کاربرد پرایمینگ آزوسپریلیوم در پنبه با فراهمی آب و نیتروژن بیشتر سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد پنبه شد و اثرات حاصل از تنش خشکی را کاهش داد (El-Beltagi *et al.*, 2025).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

جدول ٤- نتایج اثر متقابل تنش خشکی و ارقام بر تعداد غوزه در بوته، عملکرد وش، شاخص کلروفیل و رطوبت نسبی برگ

تیمارها		تعداد کل غوزه	عملکرد وش	شاخص	رطوبت نسبی برگ
تنش	ارقام	در بوته	(کیلوگرم در هکتار)	کلروفیل	(درصد)
بدون تنش	رقم گلستان	۹/۵[a]	۳٤۹۸/۵[a]	۲۸/۱۷[a]	۷۰/۲۱[a]
	لاین ۲۰	۸/۳۳[b]	۳۱۵٤/٦[b]	۲۵/۸۱[b]	٦٦/۳۵[b]
تنش خشکی	رقم گلستان	۷/۵[c]	۲۷۳٦/۷[c]	۲۱/۷٤[c]	٦۱/۵٤[c]
	لاین ۲۰	٦/۵٤[d]	۲۳۷۱/٤[d]	۱٦/۳۵[d]	۵۵/۸٤[d]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

شاخص کلروفیل: اثر تنش خشکی، تیمارهای آلی، ارقام و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در تیمارهای آلی و اثر متقابل ارقام در تیمارهای آلی با احتمال خطای یک درصد بر شاخص کلروفیل معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج برهمکنش تنش خشکی بر تیمارهای آلی نشان داد که تنش خشکی شاخص کلروفیل را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد. کاربرد تیمارهای آلی افزایش شاخص کلروفیل را نسبت به شاهد به همراه داشت. پلیمر سوپر جاذب در شرایط بدون تنش موجب افزایش شاخص کلروفیل (۱۷/۸۰ درصد) نسبت به شاهد شد (جدول ۳). در رقم گلستان، شاخص کلروفیل در شرایط بدون تنش ۲۹/۵۷ درصد نسبت به تنش خشکی افزایش یافت. همچنین در رقم ۲۰ نیز شاخص کلروفیل ۵۷/۸۵ درصد نسبت به شرایط تنش خشکی افزایش یافت (جدول ٤). تأثیر تنش خشکی بر کلروفیل به شرایط محیطی و ژنوتیپی گیاه بستگی دارد. کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی همراه با کاهش کارآیی استفاده از کربن، افزایش تولید اتانول و لکتات، تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است. همچنین کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی را به کاهش پایداری غشاء کلروپلاست و شکسته‌شدن آن نسبت داده‌اند. از آنجایی که فتوسنتز از مهم‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان است که تحت تأثیر انواع تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. رنگدانه‌های کلروفیل نقش بسزایی در فتوسنتز دارند. محتوای کلروفیل به عنوان یک شاخص مؤثر برای نظارت بر فعالیت فتوسنتز در گیاهان در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، با ارزیابی رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش‌های محیطی، تأثیر تنش بر فعالیت فتوسنتزی را می‌توان تا حدی درک کرد. از آنجایی که نیتروژن نقش بسیار مهمی در افزایش مقدار کلروفیل گیاه دارد. در بیان علت افزایش شاخص کلروفیل تحت تیمارهای آزوسپریلیوم و پلیمر سوپر جاذب می‌توان اظهار داشت که تأمین مناسب، کافی و تدریجی نیتروژن هم از طریق استفاده از آزوسپریلیوم و پلیمر سوپر جاذب سبب شد که گیاه، نیتروژن کافی برای تولید کلروفیل در اختیار داشته باشد (Rahangdale *et al*., 2022; Ahmed *et al*., 2021). سایر محققان گزارش کردند که تنش خشکی کاربرد باکتری‌های محرک رشد نظیر آزوسپریلیوم باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی دو رقم گندم آبی شد و تنش خشکی کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی را به همراه داشت (رشنو و همکاران، ۱٤۰۳).

رطوبت نسبی برگ و شاخص ناپایداری غشاء: اثر تنش خشکی، تیمارهای آلی و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در تیمارهای آلی با احتمال خطای یک درصد بر رطوبت نسبی برگ و شاخص ناپایداری غشاء معنی‌دار شد. علاوه‌براین اثر ارقام و اثر متقابل ارقام در تیمارهای آلی نیز با احتمال خطای یک درصد بر رطوبت نسبی برگ معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج برهمکنش تنش خشکی بر تیمارهای آلی حاکی از آن است که تنش خشکی سبب کاهش رطوبت نسبی برگ و افزایش شاخص ناپایداری غشاء نسبت به شرایط بدون تنش شد. کاربرد تیمارهای آلی افزایش رطوبت نسبی برگ و کاهش شاخص ناپایداری غشاء نسبت به شاهد را در پی داشت. آزوسپریلیوم در شرایط بدون تنش سبب افزایش رطوبت نسبی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی و برخی فعالیت‌های آنزیمی پنبه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		رطوبت نسبی برگ	شاخص ناپایداری غشا	محتوای پرولین	فعالیت کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز	مالون دی‌آلدئید
سال	۱	۱٦/۵۸^{ns}	۱۱/۳۷^{ns}	۱/٤۹^{ns}	۱/۳۵^{ns}	۱/۱٤^{ns}	۰/۹۸^{ns}	۲/۰٤^{ns}
تکرار (سال)	٤	۱۷/۳٦	۱۸/٤۵	۷/۲۲	٤/۹۸	۳/۷۱	۵/٤٤	۳/۸۱
تنش خشکی (D)	۱	۸۲۵/٤۸**	۱۰۱/۳۵**	٦۵/٤۸**	۲۰/۵۳**	۲۹/۷٦**	۳۷/۲۸**	۳۹/٤۷**
سال× D	۱	۱۷/۵۹^{ns}	۱٤/۷۳^{ns}	۲/۱۸^{ns}	۱/٤٦^{ns}	۰/۷۳^{ns}	۲/۳۹^{ns}	۱/۸۳^{ns}
خطا	٤	۳۸/٤۱	۱۹/۵٤	۱۰/۳٤	۰/۹۷	۱/۳۸	۵/۵٤	۸/٦٤
ارقام (C)	۱	۹۵۲/۷٦**	۱۳/۸۱^{ns}	۳/۳۵^{ns}	۱/۸۱^{ns}	۱/۰۲^{ns}	۳/٦۹^{ns}	٤/۷۱^{ns}
سال× C	۱	۱٦/۸۱^{ns}	۱۷/٦٤^{ns}	٦/۷٤^{ns}	۱/۲۵^{ns}	۱/۷۹^{ns}	۲/٤۸^{ns}	٦/٤۸^{ns}
C ×D	۱	۱۹/۷۵^{ns}	۲/۳۸^{ns}	۵/۱٦^{ns}	۱/۰۹^{ns}	۲/۳٤^{ns}	۱/۵٦^{ns}	۳/٦۹^{ns}
سال× C ×D	۱	۲۳/٦٤^{ns}	۱۰/٤۱^{ns}	٤/۳۸^{ns}	۲/۳۷^{ns}	۳/۱۲^{ns}	۲/۷۹^{ns}	٤/۳٦^{ns}
خطا	٤	۳٤/۷۵	۱۸/٤۹	۱۲/۵۲	۳/٤۹	۷/٦٦	۸/۷۹	۱۱/۹۸
تیمارهای آلی (F)	۲	۸۱۱/۸٤**	۲۰٦/۷۱**	۷۹/٤۸**	۱۸/٦۲**	۳۵/۱۲**	٤٤/۳۹**	۷۲/٤۵**
سال× F	۲	٦/۲۷^{ns}	۱۱/۳۸^{ns}	۱۰/۱۷^{ns}	۰/۸۱^{ns}	۰/۹۷^{ns}	۱/٦۵^{ns}	۱/۷۳^{ns}
F ×D	۲	۷۵۸/٤۲**	۱۷٦/۸۱**	۸۱/۳٤**	۲٤/۲۲**	۲۷/٦۵**	۵۲/۷٦**	۷۹/۸۱**
سال× F ×D	۲	۲۲/۳۵^{ns}	۱۱/٤۷^{ns}	۱/۲٦^{ns}	۱/۹۹^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۳/۲۱^{ns}	۲/۳۵^{ns}
F ×C	۲	۹۰٤/۱۵**	۸/۲٦^{ns}	۰/۸٤^{ns}	۱/۷۵^{ns}	۲/۰۸^{ns}	۱/۳٦^{ns}	۵/٤۹^{ns}
سال× F ×C	۲	۲٦/۷۳^{ns}	۱۰/۸٤^{ns}	۳/۰۵^{ns}	۰/۹٤^{ns}	۱/۲۷^{ns}	۲/٤۵^{ns}	۳/۷٦^{ns}
F ×C ×D	۲	۱۸/٦۵^{ns}	۱٤/۷۳^{ns}	۱/۱۸^{ns}	۱/۷٦^{ns}	۱/۱۹^{ns}	۱/۸۱^{ns}	۵/٦٤^{ns}
سال×D ×F ×C	۲	۲۹/۳۸^{ns}	۱٦/۵۹^{ns}	۲/۹۷^{ns}	۱/۱۸^{ns}	۱/٤۵^{ns}	۱/۰٦^{ns}	۲/۸۹^{ns}
خطا	۳۲	۳۸/۵۷	۲۳/٦۲	۲۳/۵۸	۸/٤۹	۱۳/۲۱	۱۰/۵۳	۱٤/٦۹
ضریب تغییرات		۱۳/۱۸	۱۰/۳٦	۷/۷۱	٦/۲۱	۸/۳٤	۹/۵٦	۱۱/۰۲

**** و * به ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار**

برگ (۱۵/۳٤ درصد) و کاهش شاخص ناپایداری غشاء (۳۹/٦۵ درصد) نسبت به شاهد شد. همچنین پلیمر سوپر جاذب نیز در شرایط بدون تنش موجب افزایش رطوبت نسبی برگ (۱٤/۳٦ درصد) و کاهش شاخص ناپایداری غشاء (۳٦/۷۹ درصد) نسبت به شاهد شد. تنش خشکی نیز موجب کاهش رطوبت نسبی (۲۲/٦٦ درصد) و افزایش شاخص ناپایداری غشاء (۵۳/۱۷ درصد) نسبت به شاهد شد (جدول ٦). در رقم گلستان، رطوبت نسبی برگ در شرایط بدون تنش ۱٤/۰۸ درصد نسبت به تنش خشکی افزایش یافت. همچنین در رقم ۲۰ نیز رطوبت نسبی برگ ۱۸/۸۲ درصد نسبت به شرایط تنش خشکی افزایش یافت (جدول ٤). کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش خشکی، دارای همبستگی مثبت و بالایی با محتوای رطوبت خاک است. کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش مقدار تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل دخیل در کاهش محتوای آب نسبی برگ است. افزایش شاخص ناپایداری غشا سبب خسارات زیادی برای گیاه می‌شود. این خسارت، منجر به ممانعت از تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت باعث کاهش رشد گیاه می‌گردد (Zhang *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژی و برخی فعالیت‌های آنزیمی پنبه

تیمارها		رطوبت نسبی برگ (٪)	شاخص ناپایداری غشا (٪)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کاتالاز (میکرومول وزن تر بر دقیقه)	سوپراکسید دیسموتاز (U. mg protein)	آسکوربات پراکسیداز (μmol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1} protein)	مالون دی آلدئید (μmolg^{-1}fw)
تنش	ارقام							
بدون تنش	آزوسپریلیوم	۷٤/۲۱^{a}	۸/۱۲^{d}	۰/۱٤^{e}	۰/۰۱۷^{e}	۳/۱۱^{d}	۰/۱۹۱^{f}	۲۷/۳۵^{d}
	سوپر جاذب	۷۳/۵۸^{a}	۸/۲۹^{d}	۰/۱۱^{f}	۰/۰۱۲^{f}	۲/۹۸^{d}	۰/۱۷۷^{e}	۲۷/٦۲^{d}
	شاهد	٦٤/۳٤^{b}	۱۱/۳٤^{c}	۰/۱۷^{d}	۰/۰۲۱^{d}	٤/۲۱^{c}	۰/۲۰۱^{d}	۳۱/۸۳^{c}
تنش خشکی	آزوسپریلیوم	٦۱/۵۸^{b}	۱٤/۵۸^{b}	۰/۲۸^{b}	۰/۰۳۰^{b}	۵/۱۹^{b}	۰/۲۳٦^{b}	۳٦/٤٤^{b}
	سوپر جاذب	٦۲/۰٤^{c}	۱۵/٤۹^{b}	۰/۲۳^{c}	۰/۰۲٦^{c}	۵/۳۲^{b}	۰/۲۱۵^{c}	۳۷/۰۲^{b}
	شاهد	۵۲/٤۵^{d}	۱۷/۳۷^{a}	۰/۳۲^{a}	۰/۰۳٦^{a}	٦/۰۸^{a}	۰/۲٦۱^{a}	٤۲/۸۱^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

2019)، اما نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد باکتری محرک رشد و سوپر جاذب با فراهمی آب در دسترس گیاه موجب افزایش رطوبت نسبی برگ شد. با افزایش میزان محتوای آب نسبی برگ‌ها، فشار درون سلولی برای رشد سلول فراهم شده و در نتیجه امکان اتساع دیواره سلولی میسر شده و در نهایت باعث افزایش انعطاف‌پذیری غشاء سلول می‌شود تا زمینه رشد سلول فراهم شود (Abdelaal *et al*., 2024). می‌توان گفت با کاربرد باکتری محرک رشد و سوپر جاذب با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب خاک، گیاه کمتر با خشکی مواجه بوده و تمایل کمتری برای افزایش ناپایداری غشاء نشان داده است و بیشتر شرایط را برای اتساع و رشد دیواره فراهم می‌کند. آزوسپریلیوم و سوپر جاذب موجب نگهداری آب در اطراف ریشه می‌شود، در تیمار شاهد با خارج‌شدن آب از خاک و عدم جایگزینی آن، پتانسیل آب در منطقه ریشه کاهش یافته و اگر مقاومت‌ها در گیاه ثابت بمانند، به‌منظور حفظ سرعت تعرق، پتانسیل آب در گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. کاهش محتوای نسبی آب برگ در واکنش به کاهش میزان تأمین نیاز رطوبتی گیاه نشانگر آن است که در این حالت تأمین آب از ریشه‌ها منطبق با میزان اتلاف از برگ‌ها نیست (Zhang *et al*., 2019; El-Beltagi *et al*., 2025). سایر محققان گزارش کردند که تنش خشکی موجب افزایش شاخص ناپایداری غشاء و کاهش رطوبت نسبی برگ گندم شد (Abdelaal *et al*., 2024).

محتوای پرولین و فعالیت آنزیمی (کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید): اثر تنش خشکی، تیمارهای آلی و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در تیمارهای آلی با احتمال خطای یک درصد بر محتوای پرولین، فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج برهمکنش تنش خشکی بر تیمارهای آلی حاکی از آن است که تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین، فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید نسبت به شرایط بدون تنش شد. کاربرد تیمارهای آلی کاهش محتوای پرولین، فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و مالون دی‌آلدئید را نسبت به شاهد به همراه داشت. کاربرد آزوسپریلیوم در شرایط بدون تنش (۲۱/٤۲ درصد) و پلیمر سوپر جاذب در شرایط بدون تنش (٥٤/٥٤ درصد) سبب کاهش محتوای پرولین نسبت به شاهد شد. تنش خشکی ۸۸/۲۳ درصد محتوای پرولین را نسبت به شاهد افزایش داد. فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار آزوسپریلیوم در شرایط بدون تنش (۲۳/۵۲ درصد) و در تیمار پلیمر سوپر جاذب در شرایط بدون تنش (۷۵ درصد) نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز (۷۱/٤۲ درصد)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

نسبت به شاهد شد. (جدول ٦). کاربرد آزوسپریلیوم در شرایط بدون تنش سبب کاهش سوپراکسید دیسموتاز (۳۵/۳٦ درصد) آسکوربات پراکسیداز (۵/۲۳ درصد)، و مالون دی‌آلدئید (۱٦/۳۸ درصد)، نسبت به شاهد شد (جدول ٦). همچنین پلیمر سوپر جاذب نیز در شرایط بدون تنش موجب کاهش سوپراکسید دیسموتاز (٤۱/۲۷ درصد)، آسکوربات پراکسیداز (۱۳/۵۵ درصد)، و مالون دی‌آلدئید (۱۵/۲٤ درصد)، نسبت به شاهد شد. تنش خشکی هم موجب افزایش سوپراکسید دیسموتاز (٤٤/٤۱ درصد) آسکوربات پراکسیداز (۲۹/۸۵ درصد)، و مالون دی‌آلدئید (۳٤/٤۹ درصد) نسبت به شاهد شد (جدول ٦). افزایش محتوای پرولین در گیاهان بر اثر تنش خشکی به عوامل گوناگونی از جمله: کاهش استفاده از پرولین در سنتز پروتئین‌های سلولی، کاهش در فعالیت پرولین اکسیداز، افزایش بیوسنتز پرولین از گلوتامات و تمایل به تجزیه پروتئین‌های سلولی به نفع تولید بیشتر آمینواسیدهایی چون پرولین که در تنظیم اسمزی به نحو مؤثری عمل می‌کنند، نسبت داده شده است (Hinojosa *et al*., 2018). تجمع پرولین در گیاهان رابطه مستقیم با افزایش مقاومت به اغلب تنش‌ها دارد. گزارش‌های مشابهی در مورد تنش کم‌آبی و تجمع پرولین در گیاهان دیگر از جمله نیشکر و برنج وجود دارد که تجمع پرولین در سیتوپلاسم را به‌عنوان اسمولیت و عامل حفاظت ساختار ماکرومولکول‌ها در محیط‌هایی که تعادل یونی بهم خورده را گزارش کرده‌اند که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد (Devi *et al*., 2018; Dien *et al*., 2019). گیاهان به‌طور طبیعی دارای سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی پیچیده‌ای برای گریز از آثار مضر گونه‌های اکسیژن فعال هستند. در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال افزایش می‌یابد. در این شرایط، گیاهانی که دارای سطوح بالای آنتی‌اکسیدانی دائمی یا القایی هستند، در برابر خسارات اکسیداتیو مقاوم‌ترند، زیرا می‌توانند انواع گونه‌های اکسیژن‌های فعال را به‌صورت‌های مؤثر ساختمانی تبدیل نمایند (Lei *et al*., 2007). اثر تدریجی مثبت کودهای زیستی در توسعه ریشه و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان قطعاً تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در سلول افزایش می‌یابد. ممانعت کود زیستی از پیشرفت آسیب تجمعی در پاسخ به کمبود آب از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان فرضیه‌ای است که تأثیر مثبت این ترکیبات را روی آن‌ها در شرایط تنش را نشان می‌دهد. این فرضیه با استفاده از ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم در جو مورد تأیید قرار گرفته است (Rao *et al*., 2014). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های گیاه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند. به‌عنوان مثال در گیاه یونجه محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافت (Zeid and Shedeed, 2006). مطابق با نتایج حاصل از پژوهش حاضر گزارش شد که فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و محتوای پرولین پنبه تحت تنش خشکی افزایش یافت (El-Beltagi *et al*., 2025).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر بیانگر آن است که کاربرد آزوسپیریلیوم و پلیمر سوپر جاذب در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و تنظیم فعالیت آنزیمی پنبه تأثیرگذار بود. صفت عملکرد وش که صفتی بسیار حائز اهمیت در کشت پنبه است، در رقم گلستان بیشتر از لاین امید بخش ۲۰ بود. اما هر دو رقم در شرایط شاهد (بدون کاربرد تیمارهای آلی)، نسبت به تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نداشتند که می‌توان گفت هر دو رقم واکنش یکسانی را نسبت به شرایط تنش خشکی از خود بروز دادند. از طرف دیگر، کاربرد آزوسپیریلیوم و پلیمر سوپر جاذب سبب افزایش عملکرد وش در هر دو رقم و همچنین کاهش اثرات منفی حاصل از تنش خشکی شدند، زیرا سبب تنظیم فعالیت آنزیمی این گیاه در شرایط تنش شدند. بنابراین می‌توان جهت بهبود عملکرد پنبه کاربرد آزوسپیریلیوم و پلیمر سوپر جاذب را در رقم گلستان بیشتر از لاین امید بخش ۲۰ توصیه کرد، اما برای رسیدن به عملکرد مطلوب‌تر سایر غلظت‌های سوپر جاذب و همچنین افزایش مدت پرایمینگ آزوسپریلیوم نیز قابل ارزیابی است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

منابع

رشنو، مهدی، عارف، فرشید، امیری، بهرام، رفیعی، مسعود، و زارع، مهدی (۱۴۰۳) اثر تنش خشکی و کودهای زیستی مایکوریزا، ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی دو رقم گندم آبی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۶۳)، ۷۰-۵۵.

مهموم سالکویه، صالح، هزار جریبی، ابوطالب، قربانی نصرآباد، قربان، شریفان، حسین، ذاکری‌نیا، مهدی، ولی‌نژاد، فاطمه (۱۳۹۸). مقادیر مختلف آب و کود ازت بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم پنبه (گلستان و ب ۵۵۷). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۶(۶)، ۲۱۵-۲۳۰.

نیازی، مریم، براتی، وحید، بوستانی، حمیدرضا، و بیژن‌زاده، احسان (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد باکتری آزوسپیریلوم و بقایای گیاهی بر جذب عناصر غذایی پرمصرف توسط گیاه جو در شرایط تنش آبی. *مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۲(۲)، ۴۳-۲۳.

Abdelaal, K., Alaskar, A., & Hafez, Y. (2024). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on physiological, bio-chemical and yield characters of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) under drought stress conditions. *BMC Plant Biology*, *24*, 1119. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05824-9

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

Ahmed, M. A., Mashaheet, A. M., & Burkey, K. O. (2021). Super absorbent polymers mitigate drought stress in corn (*Zea mays* L.) grown under rainfed conditions. *Agricultural Water Management*, *254*. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106946

Arevalo, L. S., Oosterhuis, D. M., Coker, D., & Brown, R. S. (2008). Physiological response of cotton to high night temperature. *American Journal of Plant Science and Biotechnology*, *2*, 63-68.

Bates, I. S., Waldern, R. P., & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free praline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Bertin, P., Bouharmont, J., & Kinet, J. M. (1996). Soma clonal variation and improvement in chilling tolerance in rice. *Plants Breeding*, *115*, 268-273.

Bhuiyan, M. A. R., Wang, L., Anjuman Ara, Z., Saha, T., & Wang, X. (2022). Omniphobic polyurethane – superabsorbent polymer – fluoropolymer surface coating on cotton fabric for chemical protection and thermal comfort. *Journal of Industrial Textiles*, *51*(4), 6590S-6611S. doi:10.1177/15280837221078535

Devi, K., Gomathi, R., Kumar, R. A., Manimekalai, R., & Selvi, A. (2018). Field tolerance and recovery potential of sugarcane varieties subjected to drought. *Indian Journal of Plant Physiology*, *23*, 271-282. https://doi.org/10.1007/s40502-018-0367-7

Dien, D. C., Thu, T. T. P., Moe, K., & Yamakawa, T. (2019). Proline and carbohydrate metabolism in rice varieties (*Oryza sativa* L.) under various drought and recovery conditions. *Plant Physiology Reports*, *24*(3), 376-387. https://doi.org/10.1007/s40502-019-00462-y

El-Beltagi, H. S., El-Waraky, E. A., El-Mogy, M. M., El-Nady, M. F., Ismail, A. M., Belal, E. B., Al-Daej, M. I., El-Khateeb, M. N., Hamed, L., & Salem Metwaly, M. M. (2025). Microbial-priming of seeds with plant growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi for improving cotton (*Gossypium barbadense* L.) growth, yield and water productivity under drought stress. *Biologia*, *80*(4), 779-803. https://doi.org/10.1007/s11756-025-01865-z

Ferrat, I. L, & Loval, C. J. (1999). Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *P. vulgaris* and *P. acutifolius* during water deficit. *Crop Science*, *39*, 467-474.

Hinojosa, L., Gonzalez, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F., & Murphy, K. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, *7*(4), 106-138. https://doi.org/10.3390/plants7040106

Kuan, K. B., Othman, R., Abdul Rahim, K., & Shamsuddin, Z. H. (2016). Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. *Plos One*, *11*(3), 1-19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152478

Lei, Y., Yin, C., Ren, J., & Li, C. (2007). Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. *Journal of Biologia Plantarum*, *516*, 386-390.

Mbava, N., Mutema, M., Zengeni, R., Shimelis, H., & Chaplot, V. (2020). Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide metaanalysis. *Agricultural Water Management*, *228*(3), 105878. doi: 10.1016/j.agwat.2019.105878

Mehmood, H. Z., Abbas, A., Hassan, S., & Ullah, R. (2022). Socioeconomic, farm, and information variables influencing farmer's decision to adopt a sustainable way of cotton production. *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, *10*(1), 149-159. https://doi.org/10.33687/ijae.010.01.4010

Minolta, M. (1989). Manual for Chlorophyll Meter SPAD-502. Minolta camera Co., Ltd., Japan.

Muhie, S., Memis, N., Ozdamar, C., Gokdas, Z., & Demir, I. (2021). Biostimulant priming for germination and seedling

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

quality of carrot seeds under drought, salt and high temperature stress conditions. *International Agriculture Environment and Food Sciences*, *5*(3), 352-359. DOI: 10.31015/jaefs.2021.3.13

Niu, J., Zhang, S., Liu, S., Ma, H., Chen, J., Shen, Q., Ge, C., Zhang, X., Pang, C., & Zhao, X. (2018). The compensation effects of physiology and yield in cotton after drought stress. *Journal of Plant Physiology*, *225*, 30-48. doi:10.1016/j.jplph.2018.03.001

Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K. (1979). Assay of lipid peroxides in tissues by thiobarbituric acid reaction. *Annals of Clinical Biochemistry*, *95*, 51-358.

Palacios, O. A., Choix, F. J., Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2016). Influence of tryptophan and indole-3-acetic acid on starch accumulation in the synthetic mutualistic *Chlorella sorokiniana* –Azospirillum brasilense system under heterotrophic conditions. *Research in Microbiology*, *167*, 367-379. https://doi.org/10.1016/j.resmic.2016.02.005

Rahangdale, P., Kumar, A., Kumar, R., Kumar, A., Kumar, A., Kumar, D., Singh, C., Singh, D., Kumar, S., Bharti, A. B., & Kumar, S. (2022). Influence of biopriming and organic manures on growth, seed yield and quality of black wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *11*, 132-135.

Rajasekaran, L. R., Stiles, A., Surette, M. A., Sturz, A. V., Blake, T. J., Caldwell, C., & Nowak, J. (2002). Stand establishment technologies for processing carrots: Effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. *Canadian Journal of Plant science*, *82*, 443-450.

Rao, A., Weisany, W., & Punja, Z. K. (2014). Physiological responses of barley to biofertilizer application under low water stress. *Australian Journal of Crop Science*, *5*, 1441-1447.

Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., & Saxena, D. C. (1998). Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. *International Journal for Experimental Botany*, *41*(3), 387-394.

Singh, S. B., Meshram, J., Prakash, A. H., & Amudha, J. (2022). Drought tolerant compact genotypes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for varied agro-ecosystem. *Asian Journal of Research and Review in Agriculture*, *4*(2), 1-11. https://jagriculture.com/index.php/AJRRA/article/view/53

Steduto, P., Hoogeveen, J., Winpenny, J., & Burke, J. (2017). Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security. *FAO Water Reports*, *38*, 1-18.

Teodoro, P. E., Farias, F. J. C., de Carvalho, L. P., Ribeiro, L. P., Nascimento, M., Azevedo, C. F., & Bhering, L. L. (2019). Adaptability and stability of cotton genotypes regarding fiber yield and quality traits. *Crop Science*, *59*, 518-524. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0250

Xiao, Z., Storms, R., & Tsang, A. (2006). A quantitative starch-iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities, *Analytical Biochemistry*, *351*, 146-148. doi:10.1016/j.ab.2006.01.036

Yang, Y., Zhang, S., Wu, J., Gao, C., Lu, D., & Tang, D. W. S. (2022). Effect of long term application of super absorbent polymer on soil structure, soil enzyme activity, photosynthetic characteristics, water and nitrogen use of winter wheat. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 998494. doi: 10.3389/fpls.2022.998494

Zafar, M. M., Razzaq, A., Farooq, M. A., Rehman, A., Firdous, H., Shakeel, A., & Youlu, Y. (2022). Genetic variation studies of ionic and within boll yield components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under salt stress. *Journal of Natural Fibers*, *19*, 3063-3082. https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1838996

Zeid, I. M, & Shedeed, Z. A. (2006). Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biology Plantarum*, *50*, 635-640.

Zhang, W., Xie, Z., Zhang, X., Lang, D., & Zhang, X. (2019). Growth-promoting bacteria alleviates drought stress of *G. uralensis* through improving photosynthesis characteristics and water status. *Journal of Plant Interactions*, *14*(1), 580-589. https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1680752

Zheng, H., Mei, P., Wang, W., Yin, Y., Li, H., Zheng, M., Ou, X., & Cui, Z. (2023). Effects of super absorbent polymer on crop yield, water productivity and soil properties: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, *282*, 108290. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108290

Zhu, G., Hou, S., Song, X., Wang, X., Wang, W., Chen, Q., & Guo, W. (2021). Genome-wide association analysis reveals quantitative trait loci and candidate genes involved in yield components under multiple field environments in cotton (*Gossypium hirsutum*). *BMC Plant Biology*, *21*, 1-11. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03009-2

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

Evaluation of organic treatments on some morphological characteristics and enzymatic activity of two cotton cultivars (*Gossypium herbaceum* L.) under drought stress

Marziyeh Gholami[1], Peyman Forouzesh*[1], Mohammad Reza Rahemi[2], Davoud Habibi[1], Samira Shahbazi[2]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Ka.C. Islamic Azad University, Karaj, Iran
[2] Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Atomic Energy Organization of Iran (AEOI), Karaj, Iran

Abstract

Drought stress is one of the most important abiotic stresses and providing solutions such as the use of stress-resistant varieties and organic fertilizers is very important. Therefore, the present study was conducted in Karaj for two years to investigate some morphological and physiological characteristics of two cotton cultivars under drought stress conditions in a split-plot randomized complete block design with three replications. The research treatments included drought stress at two levels (application of drought stress (after the emergence of the first flowers) and non-stress conditions (control)), in the main plots, cotton cultivars (Golestan cultivar and 20 line), in the subplots, and organic treatments (application of growth-promoting bacteria (Azospirillium), superabsorbent polymer, no application (control)) in the subplots. The results of the present study showed that drought reduced the yield of both cotton cultivars. Azospirillium and superabsorbent reduced the negative effects of drought stress compared to the control. Superabsorbent polymer under stress-free conditions increased the wash yield (22.84%), decreased the proline content (54.54%), catalase enzyme activity (75%) and superoxide dismutase (41.27%) compared to the control. Also, azospirillum increased the wash yield (19.31%), decreased the proline content (21.42%), catalase enzyme activity (23.52%) and superoxide dismutase (35.36%) compared to the control. Therefore, in order to reduce the effects of drought stress and improve cotton yield, the use of growth-promoting bacteria (Azospirillium) and superabsorbent polymer can be recommended.

Keywords: Azospirillium, Catalase enzyme, Golestan cultivar, Growth-promoting bacteria, Superabsorbent polymer

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: DOI: 10.22034/15.71.237]

Received: May. 15, 2025; Revised: Jul. 20, 2025; Accepted: Aug. 05, 2025; Published Online: May. 02, 2026
*Corresponding Author: peymanforouzesh@iau.ac.ir

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.