Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

The effect of growth-promoting bacteria on yield and some biochemical characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions

Maedeh Yousefian [1*], Shahabuddin Mirinejad[2], Zahra Rahami[3]

[1] Research Assistant Prof., Forest and Rangelands Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran, Email: ma.yousefian@areeo.ac.ir

[2] Researcher, Forest and Rangelands Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran, Email: sh.mirinejad@areeo.ac.ir

[3] Faculty Member of Yasuj University of Medical Sciences, Yasuj, Iran., Email:z.rahami.65@gmail.com

Article type:
Research article

Article history
Received: 05.10.2021
Revised: 11.01.2022
Accepted: 13.01.2022
Published:20.04.2023

Keywords
Effective substance
Elicitor
Essential oil
Proline
Water deficit stress

Abstract

An approach to overcome drought stress is using growth-promoting bacteria. This study was carried out to investigate the effect of *Azospirillum* growth-promoting bacteria under drought stress on yield and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. in the crop year 2019-2020 in Servak village of Yasouj province in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. The experiment was performed as a factorial split plot in a randomized complete block design with three replications. The main factor was irrigation in three levels (irrigation after using 30% soil moisture (control), irrigation after using 60% soil moisture, and irrigation after using 90% soil moisture) and the sub-factor of *Azospirillum* growth-promoting bacteria in two levels (no inoculation and inoculation of seeds with bacteria). Results showed that inoculation of growth-promoting bacteria increased yield and carbohydrate under moderate stress conditions. In high stress conditions, carotenoid and malondialdehyde had significant changes. Chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids had significant changes under both moderate and severe stress. On the other hand, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids had significant changes in both moderate and high stress. The highest concentrations of total chlorophyll (1.01 mg / g fresh weight) and carotenoids (0.77 mg / g fresh weight) were observed in irrigation after consuming 30% soil moisture and inoculation with bacteria. The highest yield (1072 kg / ha) was observed under consuming 30% soil moisture and bacteria. Measuring the rate of plant growth is suggested at different stages to determine the effect of stress in each period to get a perfect interpretation of the effect of stress on the plant.

Cite this article as: Yusefian, M., Mirinejad, Sh., Rahami, Z. (2023). The effect of growth-promoting bacteria on yield and some biochemical characteristics of Black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology,* 69(1): 172-187.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1942008.1734 Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.5.3

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

تأثیر باکتری محرک رشد بر عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش خشکی

مائده یوسفیان[1*]، شهاب‌الدین میری‌نژاد[2]، زهرا رهامی[3]

۱ استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. رایانامه: ma.yousefian@areeo.ac.ir.

۲ محقق، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. رایانامه: sh.mirinejad@areeo.ac.ir

۳ عضو هیات علمی، دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: z.rahami.65@gmail.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱

واژه‌های کلیدی:
آبیاری
کاروتنوئید
کلروفیل
قندهای محلول
مالون دی آلدئید

چکیده

یکی از راهکارهای مقابله با تنش خشکی استفاده از باکتری محرک رشد می‌باشد. بر این اساس تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر باکتری محرک رشد آزوسپیریلیوم در شرایط تنش خشکی بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه سیاه‌دانه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در روستای سروک از توابع یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد انجام گرفت. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه اجرا شد. آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک (شاهد)، آبیاری پس از مصرف ۶۰ درصد رطوبت خاک و آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک) و عامل فرعی کاربرد باکتری محرک رشد آزوسپیریلیوم در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح بذر با باکتری) بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که تلقیح باکتری محرک رشد موجب بالا رفتن صفات عملکرد دانه و کربوهیدرات در شرایط تنش متوسط شد، در شرایط تنش شدید نیز صفات کاروتنوئید و مالون دی آلدئید تغییرات معنی‌داری داشتند. از طرفی صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در هر دو حالت تنش متوسط و شدید تغییرات معنی‌داری داشتند. بیشترین غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئید در تیمار آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک و تلقیح با باکتری مشاهده گردید. بالاترین عملکرد دانه نیز با ۱۰۷۲ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک و کاربرد باکتری مشاهده گردید. پیشنهاد می‌شود که میزان رشد گیاه در مراحل مختلف رشد و نمو اندازه‌گیری شود تا تأثیر تنش در هر دوره مشخص گردد و تفسیر مناسبی از تأثیر تنش بر روی گیاه بدست آید.

استناد: یوسفیان، مائده؛ میری‌نژاد، شهاب‌الدین؛ رهامی، زهرا. (۱۴۰۲). تأثیر باکتری محرک رشد بر عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش خشکی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۶۹ (۱)، ۱۸۷-۱۷۲.

Doi: 10.30495/iper.2022.1942008.1734
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.5.3

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد خود با انواعی از تنش‌های زنده و غیرزنده مواجه می‌شوند. تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی به‌شمار می‌رود که سبب کاهش رشد، نمو و عملکرد بسیاری از گیاهان می‌گردد (Oliviera-Neto et al., 2009). خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیاست (Zafari et al., 2018). محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها که در تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی حائز اهمیت هستند تحت تأثیر خشکی تغییر می‌کنند (Jaleel et al., 2009). این تغییرات به نوعی می‌تواند در انجام فتوسنتز محدودیت ایجاد کند که اثر مستقیم خشکی بر بسته شدن روزنه‌ها، تبادلات گازی و فتوسنتز را پیچیده‌تر می‌سازد (Reddy et al., 2004). کودهای زیستی با منشأ باکتریایی مانند ریزوبیوم، آزوسپیریلوم، ازتوباکتر و سودوموناس جزو پرکاربردترین کودهای زیستی در جهان می‌باشند. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد به حالت آزاد در خاک حضور دارند و با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص موجب بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاه می‌شوند (Egamberdieva and Lugtenberg, 2014).

تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر گیاه به عوامل متعددی در اکوسیستم‌های کشاورزی بستگی دارد (Jafari Ghoushchi et al., 2015). علاوه بر اثرات مثبت باکتری محرک رشد در افزایش مقاومت و تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی گزارش‌های متعددی نیز مبنی بر نقش محرک رشدی و تغذیه‌ای این میکروارگانیسم‌ها (مخصوصاً فسفر) برای گیاهان وجود دارد. همچنین مایه‌کوبی این باکتری‌ها باعث کاهش pH و افزایش فسفر قابل دسترس، فسفاتازهای اسیدی و قلیایی، فیتازها و دهیدروژنازهای خاک نیز می‌شود. استفاده از باکتری‌ها (آزوسپریلیوم) به عنوان کود زیستی در افزایش کارایی کودهای نیتروژن و فسفر و در نتیجه بهبود رشد چندین گیاه زراعی معرفی شده است (saleemi et al., 2017). باکتری‌های محرک رشد ممکن است در ریزوسفر، سطح ریشه یا حتی فضای درون‌سلولی گیاهان تجمع یابند (Zafari et al., 2018). نتایج تحقیقات در رابطه با تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر گیاه شنبلیله تحت تنش کمبود آب نشان داد که بذرهای تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد نسبت به بذرهای بدون تلقیح، مقاومت بالایی نسبت به تنش خشکی نشان دادند (Shafighi et al., 2014). Nadeem و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی دیگر درباره تأثیر باکتری‌های محرک رشد در افزایش مقاومت به تنش در گیاه ذرت بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش شدید محتوای کلروفیل برگ را بهبود می‌بخشد. در بین گیاهان دارویی، جنس Nigella از خانواده Ranunculaceae، ۸ گونه در ایران دارد. سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) یکی از گونه‌های مهم این خانواده است که به طور طبیعی در نقاط مختلف ایران بعمل می‌آید. این گیاه در بسیاری از کشورهای حاشیه مدیترانه و خاورمیانه همچون ایران، پاکستان، ترکیه، سوریه و مصر کاشت می‌شود (Afkhami Sarai, 2021). دانه گیاه سیاه‌دانه توسط ایرانیان، مصری‌ها و پزشکان یونانی برای درمان سردرد، احتقان بینی، آسم و افزایش تولید شیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه پژوهش‌های زیادی در مورد محتویات دانه این گیاه و مصارف دارویی آن انجام شده است. دانه سیاه‌دانه از لحاظ اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک غنی گزارش شده است (Sardari1 et al., 2020). برای این گیاه خواص مختلف دارویی از قبیل ضد نفخ، مسهل، درمان

سردرد، تولید کنندهٔ هورمون‌های جنسی مردانه، ضد سرطان، درمان بی‌اشتهایی، ضدحساسیت و ضددیابت نیز گزارش شده است (Ermumcu & Sanher, 2017).

ارزیابی تحمل به خشکی در گیاهان دارویی به منظور کشت در شرایط کمبود آب به خصوص در سال‌های اخیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به شرایط اقلیمی ایران که در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است اهمیت استفاده از کودهای زیستی برای مقابله با تنش خشکی دو چندان احساس می‌شود. اهمیت تولید گیاهان دارویی و همچنین تحقیقات اندک در زمینه اثر باکتری‌های محرک رشد بر کمیت و کیفیت گیاهان دارویی از جمله سیاه‌دانه سبب شد تا این پژوهش با هدف ارزیابی اثر باکتری محرک رشد گیاهی بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمایی گیاه سیاه‌دانه در منطقه بویراحمد انجام گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه‌ای در حوالی روستای سروک، در جنوب شهرستان یاسوج به اجرا در آمد. منطقه دارای عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه می‌باشد. بر اساس داده‌های هواشناسی در سال ۱۳۹۹ میانگین بارندگی در یاسوج ۷۱۲/۸ میلی‌متر، میانگین بیشینه درجه حرارات ماهانه ۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین کمینه درجه حرارت ماهانه ۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (جدول۱).

جدول ۱: نتایج پایگاه هواشناسی نزدیک به منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۸

ردیف	مشخصات	میانگین
۱	متوسط میانگین بارندگی (میلی‌متر)	۷۱۲/۸
۲	میانگین بیشینه درجه حرارات ماهانه (سانتی‌گراد)	۲۲/۹
۳	میانگین کمینه درجه حرارت ماهانه (سانتی‌گراد)	۷

این آزمایش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک (شاهد)، آبیاری پس از مصرف ۶۰ درصد رطوبت خاک و آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک) و عامل فرعی کاربرد باکتری محرک رشد آزوسپیریلیوم در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح بذر با باکتری) بود. قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به‌طور تصادفی نمونه‌گیری گردید. نتایج خاک محل اجرا در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

در اول بهار در زمین آیش، عملیات شخم انجام و کلوخه‌ها توسط دو دیسک عمود بر هم خرد گردیدند. به‌منظور اجرای آزمایش کرت‌هایی به طول چهار و عرض دو متر در ۱۵ فروردین‌ماه در مزرعه‌ای در اطراف یاسوج ایجاد شد. در هر کرت چهار پشته به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. سپس بذور سیاه‌دانه به فاصله ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف‌ها و به طول دو متر در هر کرت و در هر نقطه کشت ۳ یا ٤ بذر در عمق ۳-۲ سانتی‌متر کشت گردید که بعد از جوانه‌زنی تنها یک بوته حفظ شد. بین کرت‌های اصلی برای جلوگیری از اختلاط تیمارهای مختلف موجود فاصله دو متری بین کرت‌ها در نظر گرفته شد.

به‌منظور تعیین دقیق زمان آبیاری از دستگاه تعیین اندازه‌گیری رطوبت خاک TDR (German, FM-Trime) که درصد حجمی رطوبت خاک را در عمق مورد نظر (۲۰ سانتی‌متر) تعیین می‌کند، استفاده شد. تمامی کرت‌ها تا مرحله ۳۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در وضعیت یکنواخت آبیاری قرار داشته و بعد از آن تیمارهای متفاوت آبیاری بر اساس نقشه کاشت اعمال گردید. همچنین به‌منظور اعمال تیمار باکتری محرک رشد، آزوسپیریلیوم با غلظت $CFU/ML=10^8$ از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد و بذور سیاه‌دانه در زمان کاشت به مدت یک ساعت درون کیسه‌های پلاستیکی حاوی باکتری محرک رشد آزوسپیریلیوم قرار داده شد سپس بذور دور از نور خورشید خشک شد. بلافاصله پس از خشک شدن بذور تلقیح شده بر اساس نقشه کشت اقدام به کشت بذور گردید. لازم به ذکر است در طول آزمایش تمامی عوامل زراعی به صورت یکنواخت اعمال شده و از سیستم آبیاری قطره‌ای در کنترل و مدیریت بهتر آبیاری استفاده شد. پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایشی به عنوان اثر حاشیه‌ای، نمونه‌برداری از کرت‌ها برای تمامی صفات صورت گرفت و از هر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی برداشت شد. به منظور مقایسه عملکرد دانه، به هنگام رسیدن دانه‌ها و زرد رنگ شدن ساقه‌ها و برگ‌ها از داخل هر کرت، مربعی به ابعاد ۰/۵ متر انتخاب و بوته‌های آن برداشت شد و وزن دانه‌ها یادداشت گردید. لازم به ذکر است برای بررسی ویژگی‌های بیوشیمیایی از برگ‌های سیاه‌دانه سنجش انجام گرفت.

جدول ۲: نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش تا عمق ۳۰ سانتی‌متر

ردیف	مشخصات	اندازه
۱	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۱
۲	pH	۷/۹
۳	درصد مواد خنثی‌شونده	۸/۹
٤	درصد رطوبت گل اشباع	٦۲
٥	کربن آلی (درصد)	۰/۷۳
٦	نیتروژن کل (درصد)	۰/۳۲
۷	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۳/۷
۸	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلو گرم)	۳٤٤
۹	درصد رس	٤٥
۱۰	درصد سیلت	۳۳
۱۱	درصد شن	۲۲
۱۲	بافت خاک	سیلتی‌لومی

اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید: ۰/۲ گرم از بافت تازه‌برگی توزین و در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک (TCA) ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفوژ ٤/٥ میلی‌لیتر محلول TCA ۲۰ درصد که دارای ۵ گرم اسید تیوباربیتوریک (TBA) در ۱۰۰ گرم بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با ٤۰۰۰ دور (۱۰۰۰ g) سانتریفوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از

اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده مورد نظر برای جذب در این طول موج کمپلکس قرمز (MDA-TBA) است. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ٦٠٠ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید (Heat and Packer, 1968).

اندازه مقدار قندهای محلول و پرولین: محتوای قندهای محلول با استفاده از معرف آنترون و براساس روش Roe (۱۹۸۱) تعیین گردید. بدین‌منظور، ۰/۱ گرم بافت تر برگ در ۲/۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٦٠ دقیقه قرار گرفت و کربوهیدرات‌های محلول استخراج شدند. عصاره حاصل با استفاده از کاغذ صافی صاف و بعد الکل آن تبخیر شد. رسوب حاصل در ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید. ۲۰۰ میکرولیتر از هر نمونه در یک لوله آزمایش ریخته شد و ۵ میلی‌لیتر معرف آنترون به آن اضافه گردید. پس از مخلوط شدن به مدت ۱۷ دقیقه در بن‌ماری ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن، جذب نمونه در ٦٢٥ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه مقدار قند از منحنی استاندارد گلوکز استفاده شد. برای بررسی غلظت پرولین برگ از روش (Bates et al., 1973) استفاده شد. در این روش تیمار نمونه‌های برداشت شده را ٢٤ ساعت در فریزر با دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس در دستگاه اسپکتروفتومتری، تولوئن به عنوان شاهد قرار داده شد. برای سنجش میزان پرولین میزان جذب فاز فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید.

سنجش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ: اندازه-گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از روش Gu و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد. به این ترتیب که ۰/۵ گرم بافت تازه برگ را با ۲۰CC استن ۸۰ درصد به طور کامل عصاره‌گیری شده، سپس عصاره حاصل را با کاغذ صافی صاف کرده و آن را به حجم رسانده و به وسیله اسپکتروفوتومتر میزان کلروفیل در طول موج‌های ٦٦٣ و ٦٤٥ نانومتر و میزان کاروتنوئید در طول موج ٤٨٠ نانومتر قرائت گردید و از طریق معادله‌های زیر محاسبه گردید.

(۱)

$$Chl\ a=12.7\ (A663)-2.69\ (A645) \times V/100W$$

(۲)

$$Chl\ b=22.9\ (A645)-2.69\ (A663) \times V/100W$$

(۳)

$$Chl\ T=20.2\ (A645) + 8.02\ (A663) \times V/100W$$

(٤)

$$Carotenoid=7.6\ (A480)-14.9(A510)\times VD/100W$$

تجزیه و تحلیل آماری

برای انجام تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج

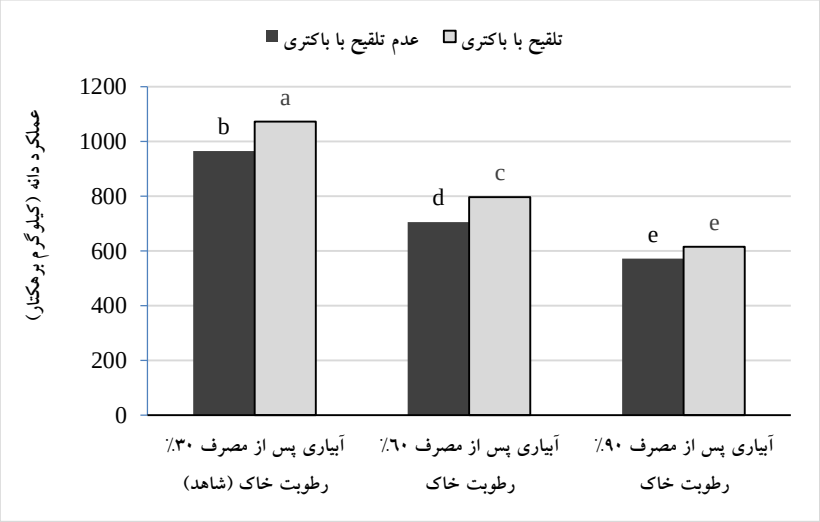
عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای تنش خشکی، باکتری محرک رشد آزوسپریلیوم و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳).

براساس نتایج به دست آمده اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بوده است. به طوری‌که بیشترین عملکرد دانه (۱۰۷۲ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک در تلقیح با باکتری آزوسپیریلیوم بود. کمترین عملکرد دانه (۵۷۲ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک و عدم تلقیح با باکتری آزوسپیریلیوم بود (نمودار ۱).

جدول ۳: تجزیه واریانس مرکب مربوط به صفات مورد مطالعه

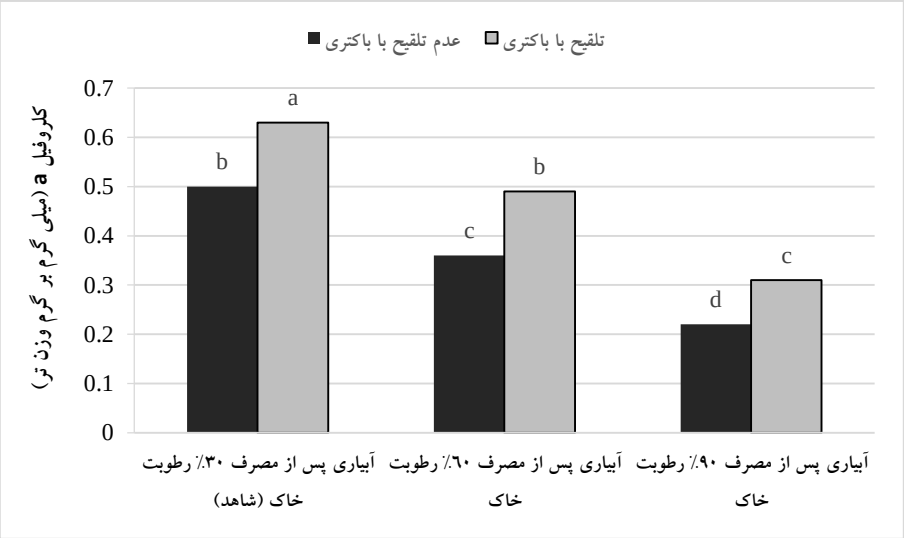
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	کلروفیل a (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)	کاروتنوئید (mg/g FW)	پرولین (µmol/g FW)	مالون دی آلدئید (µmol/g FW)	کربوهیدرات (µg/g FW)
تکرار	۲	۲۷۷۵۱/۱	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۷	۰/۰٤	۳/۵	۰/۲٤	۱۲/۲
تنش سطوح آبیاری‌خشکی	۲	٤۷٦۹۳/۲**	۱/۸۵**	۰/٦۹**	۵/۳۸**	۰/۵**	۲۲/٤**	۱/۳٦**	٦۷/۳**
خطای a	۲	۷۷۹/٦	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۰۰۲	۱/۵	۰/۲	۵/۵
باکتری	۱	٦۵۳۲۸/۲**	۰/۲۲**	۰/۰٦**	۲/٤**	۰/۰٦**	۱۲/٦**	۰/۲۵**	۳۹/۷**
تنش*باکتری	۲	۲٦۳۱۲/۱**	۰/۱٦**	۰/۰۲**	۰/٦۵**	۰/۷۲**	۳/۱**	۰/۱٤**	۱۲/٦**
خطای b	۲	٦۵۵/۲	۰/۲	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۱۲	۱/۳	۰/۳	۳/۹
ضرایب تغییرات		۱۳/٦۹	۱۱/٦۵	۱۰/۸۲	۱٤/٦	۱۱/۲٦	۱۳/۹	۱۲/٤	۱۲/۷

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱



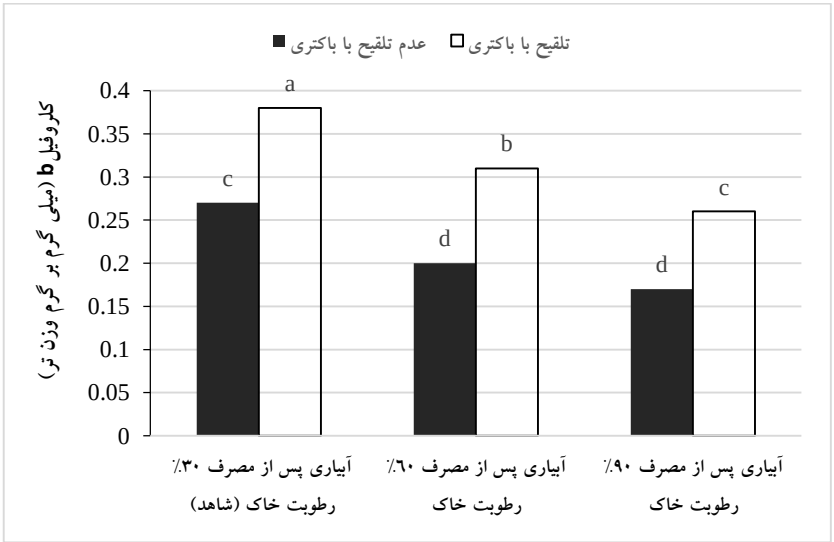
نمودار ۱: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه

میزان کلروفیل a: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای تنش خشکی، باکتری محرک رشد آزوسپیریلیوم و اثرات متقابل آن‌ها بر کلروفیل a در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج به دست آمده اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صفت کلروفیل a معنی‌دار بوده است. به طوری‌که بیشترین کلروفیل a (۰/٦۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) متعلق به تیمار آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک در تلقیح با باکتری آزوسپیریلیوم بود. کمترین کلروفیل a (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک و عدم تلقیح با باکتری آزوسپیریلیوم بود (نمودار ۲).



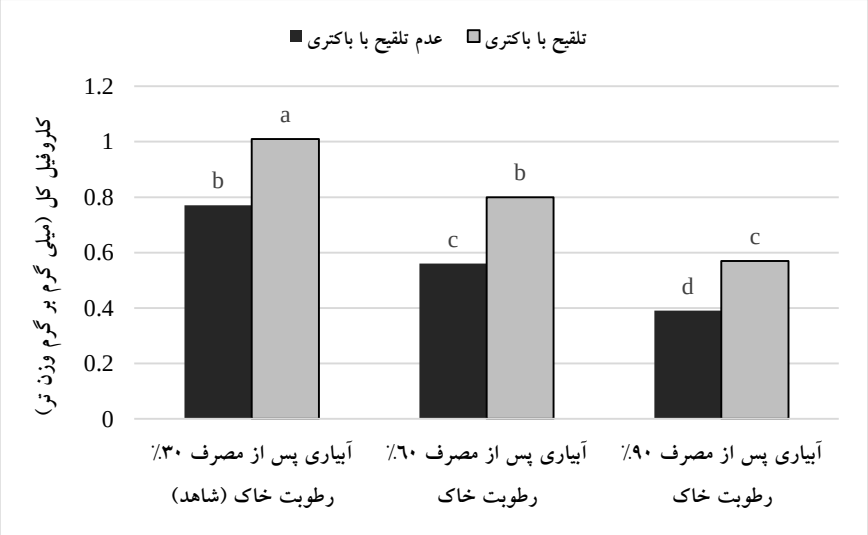
نمودار ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایش بر کلروفیل a

میزان کلروفیل b: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای تنش خشکی و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل b در سطح یک درصد سیاه‌دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با شدت تنش میزان کلروفیل b کاهش محسوسی پیدا می‌کند. به طوری‌که بین تیمارهای مختلف تنش از نظر میزان کلروفیل b اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد (جدول۳). نتایج تحقیق نشان داد که میزان کلروفیل b بر اثر برهم کنش تیمارهای آزمایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. به طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) متعلق به تیمار آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت در تلقیح با باکتری محرک رشد بود. کمترین میزان کلروفیل b (۰/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار بر هم‌کنش آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک بدون تلقیح با باکتری بود (نمودار ۳).



نمودار ۳: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان کلروفیل b

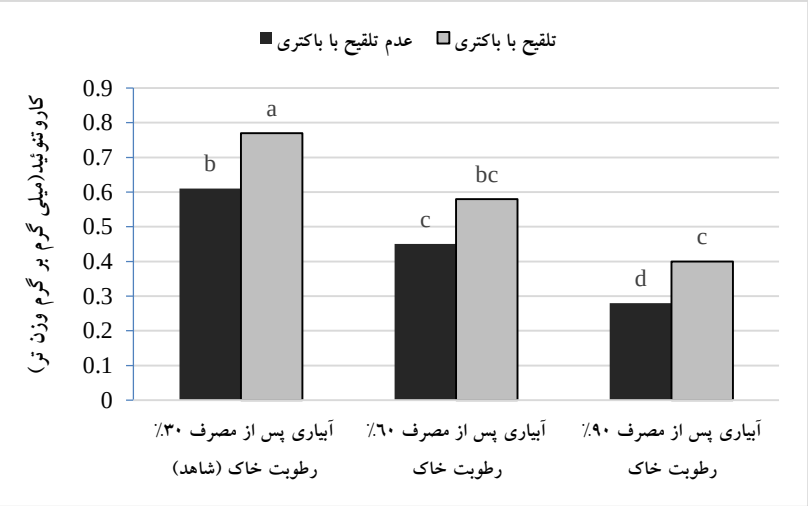
میزان کلروفیل کـل: نتـایج تجزیـه واریـانس داده‌هـا نشان داد که تأثیر تیمارهـای، تـنش خشـکی، بـاکتری محرک رشد آزوسـپریلیوم و اثـرات متقابـل آن‌هـا در سطح ۱ درصد بر کلروفیل کل در سـطح یـک درصـد معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج به دست آمـده اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صـفت کلروفیـل a معنی‌دار بوده است. به‌طوری‌که بیشترین کلروفیل کـل با ۱/۰۱ میلی‌گرم بـر گـرم وزن تـر، متعلـق بـه تیمـار آبیاری پس از مصـرف ۳۰ درصـد رطوبـت خـاک در تلقیح با باکتری آزوسپیریلیوم بـود. کمتـرین کلروفیـل کل با ۰/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، مربوط به تیمـار آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک و عدم تلقیح با باکتری آزوسپیریلیوم بود (نمودار ٤).



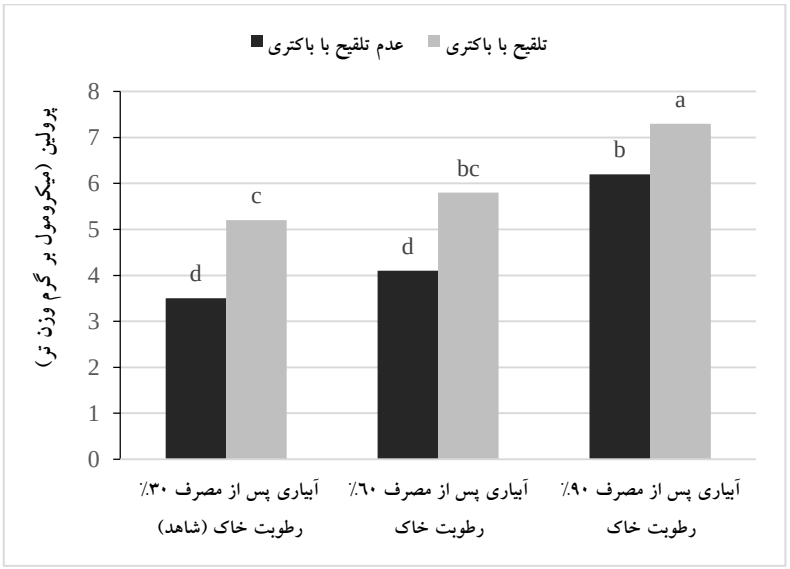
نمودار ٤: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان کلروفیل کل

میزان کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشـان داد که تأثیر تنش خشـکی و بـاکتری محـرک رشـد و اثرات متقابل آن‌هـا در سـطح یـک درصـد بـر میـزان کاروتنوئید سیاه‌دانه تأثیر معنی‌دار داشـت (جـدول ۳). براساس نتایج به‌دست آمده اثـرات متقابـل تیمارهـای آزمایش بر صفت کاروتنوئید معنی‌دار بـوده اسـت. بـه طوری‌که بیشترین کاروتنوئید (۰/۷۷ میلی‌گرم بر گـرم وزن تر) در متعلق به تیمار آبیاری پس از مصـرف ۳۰ درصد رطوبت در تلقیح با باکتری محـرک رشـد بـود. کمترین میزان کاروتنوئید (۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار بر هم‌کنش آبیاری پس از مصـرف ۹۰ درصد رطوبت خاک بدون تلقـیح بـا بـاکتری بـود (نمودار ۵).

میزان پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌هـا نشـان داد که تأثیر تنش خشکی و باکتری محرک رشد و اثـرات متقابل آن‌ها در سطح یـک درصـد بـر میـزان پـرولین سیاه‌دانه تأثیر معنـی‌دار داشـت (جـدول ۳). براسـاس نتایج به دست آمده اثرات متقابـل تیمارهـای آزمـایش بر صفت پرولین معنی‌دار بـوده اسـت. بـه طـوری‌کـه بیشترین پرولین با ۷/۳ میکرومـول بـر گـرم وزن تـر، متعلق بـه تیمـار آبیـاری پـس از مصـرف ۹۰ درصـد رطوبت در تلقیح با باکتری محرک رشد بود. کمتـرین میزان پرولین با ۳/۵ میکرومول بر گرم وزن تر، مربوط به تیمار برهم کنش آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصـد رطوبت خاک بدون تلقیح با باکتری بود (نمودار ٦).

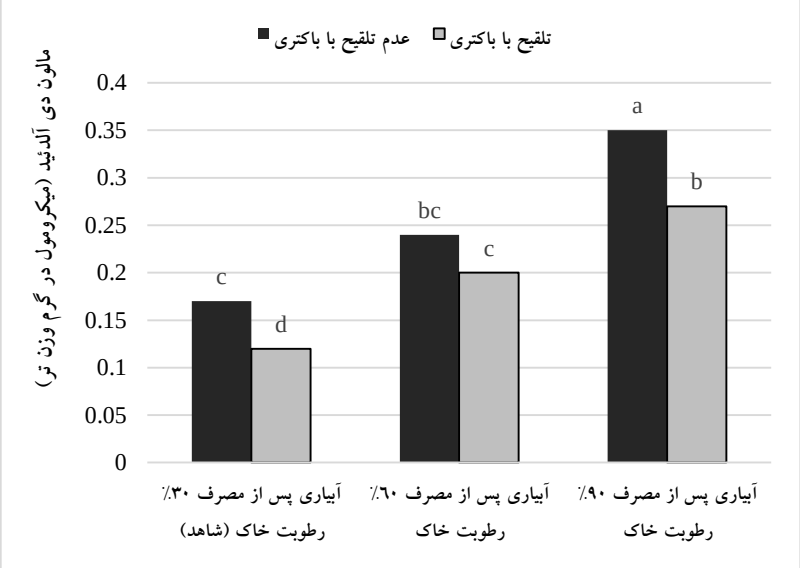


نمودار ۵: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان کاروتنوئید



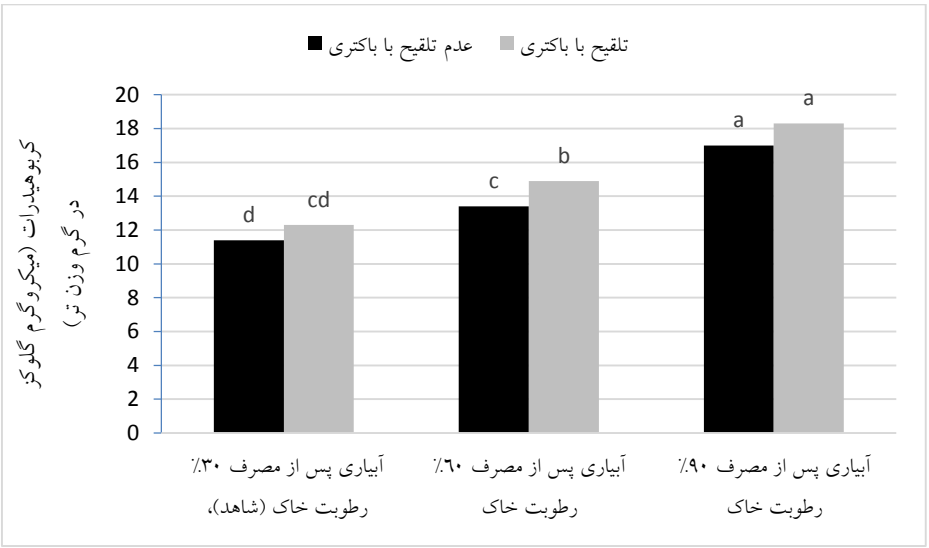
نمودار ٦: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان پرولین

محتوای مالون دی آلدئید: نتایج تجزیه واریانس داده-ها نشان داد که تأثیر تنش خشکی و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر محتوای مالون دی آلدئید سیاه‌دانه تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج به دست آمده اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صفت مالون دی آلدئید معنی‌دار بوده است. به طوری‌که بیشترین مالون دی‌آلدئید (۰/۳۵ میکرومول بر گرم وزن تر) متعلق به تیمار آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک و عدم تلقیح با باکتری محرک رشد بود. کمترین محتوای مالون دی آلدئید (۰/۱۲ میکرومول بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار بر هم‌کنش آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک و تلقیح با باکتری بود (نمودار ۷).



نمودار ۷: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان مالون دی‌آلدئید

میزان کربوهیدرات‌های محلول: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تنش خشکی و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر میزان کربوهیدرات‌های محلول سیاه‌دانه تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳). براساس نتایج به دست آمده اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر صفت کربوهیدرات های محلول معنی‌دار بوده است. به طوری‌که بیشترین کربوهیدرات‌های محلول با ۱۸/۳ میکروگرم گلوکز بر گرم وزن تر، متعلق به تیمار آبیاری پس از مصرف ۹۰ درصد رطوبت خاک و تلقیح با باکتری محرک رشد بود. کمترین میزان کربوهیدرات‌های محلول با ۱۱/٤ میکروگرم گلوکز بر گرم وزن تر، مربوط به تیمار برهم کنش آبیاری پس از مصرف ۳۰ درصد رطوبت خاک و عدم تلقیح با باکتری بود (نمودار ۸).



نمودار ۸: مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان کربوهیدرات‌های محلول

بحث

نتایج به دست آمده نشان داد که تلقیح باکتری محرک رشد سبب افزایش صفت عملکرد دانه می شود که با مطالعات Rezai و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت. بروز تنش خشکی طی مراحل مختلف نموی، به ویژه در مرحلهٔ زایشی باعث کاهش طول دورهٔ فتوسنتزی، انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه و کاهش عملکرد دانه می‌شود (Pirzad et al., 2012). نتایج به دست آمده با تحقیقی که بر روی گیاه سیاه‌دانه انجام گرفت نیز مشابهت داشت. به طوری‌که در آن کودهای زیستی باعث افزایش اجزای عملکرد و به تبع آن عملکرد دانه در سیاه‌دانه شد (Khoramdel et al., 2010). همچنین افزایش عملکرد دانه در تیمار تلقیح با باکتری محرک رشد در تحقیق حاضر با مطالعه Farnia و همکاران (۲۰۰۶) بر روی گیاه سویا تحت شرایط تنش آبی مطابقت داشت.

کاربرد نیتروژن نیز در گیاهان دارویی و معطر با افزایش فتوسنتز سبب بالا رفتن میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم رابیسکو، بیوماس و رشد و توسعه برگ و عملکرد اسانس می‌شود (Sifola & Barbieri, 2006; Ozguven et al., 2008). نتایج تحقیق نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار میزان رنگیزه‌های کلروفیل گردید که با مطالعات Kalali و همکاران (۲۰۱٤) همخوانی دارد. به طوری‌که تشدید فعالیت کلروفیلاز به هنگام تنش‌های اسمزی از جمله خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل سلول گیاهی می‌شود. کلروفیل a حساس‌تر از کلروفیل b است و بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kamrava et al, 2017). جباری و همکاران کاهش کلروفیل a در اثر تنش کم‌آبی را در گیاه کلزا گزارش کردند (Jabbari et al., 2015). در تحقیق دیگری Babaei و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در شرایط تنش خشکی میزان محتوای کلروفیل a و b در مقایسه با تیمار آبیاری کامل (شاهد) کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس یافته‌های Babaei و همکاران (۲۰۱۷) میزان کلروفیل کل با تلقیح باکتری محرک رشد افزایش پیدا کرد. Babaei و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که با افزودن کودزیستی میزان کلروفیل کل تا ۵ درصد افزایش پیدا می‌کند که این امر را می‌توان به جذب بیشتر نیتروژن در گیاهان تلقیح شده با کودزیستی نسبت داد. همچنین بالا رفتن صفات عملکرد دانه، میزان پرولین، کربوهیدرات‌ها، میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید در حضور باکتری محرک رشد در این آزمایش با نتایج Banchio و همکاران (۲۰۰۸) و Kapoor و همکاران (۲۰۰٤) مطابقت دارد. افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد را می‌توان به دلیل جذب فسفر و منیزیم توسط باکتری‌های محرک رشد نسبت داد، چرا که رها شدن و بیرون آمدن تریوز فسفات‌ها از کلروپلاست به وسیله فسفر تنظیم می‌شود، همچنین عنصر منیزیم نیز جزء هسته مرکزی کلروفیل می‌باشد در نتیجه میزان سبزینگی برگ توسط این عناصر افزایش می‌یابد (Khaladbarin & Eslam Zadeh, 2001)

نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش تنش از میزان کارتنوئید کاسته می‌شود و با افزودن باکتری محرک رشد میزان کاروتنوئید بالا می‌رود. کاهش مقدار کارتنوئید در شرایط تنش به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زآانتین در چرخه زانتوفیل می‌باشد (Kabiri et al., 2014) که با مطالعه Parsamotlagh و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آن‌ها بیان داشتند استفاده از کودهای زیستی سبب افزایش میزان کاروتنوئیدهای برگ لوبیا نسبت به شاهد می‌شود. همچنین در تحقیقی دیگر Ansari و همکاران (۲۰۱۵) عنوان کردند که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، سبب

افزایش ۱۲۳ درصدی کاروتنوئیدها در برگ‌های نخود می‌شود. در تحقیقی دیگر بر روی گیاه سیاه‌دانه و شوید نیز نتایج مشابهی گزارش شده است (Kabiri et al., 2014؛ Setayeshmehr & Gangali, 2013). Parsamotlagh و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند استفاده از کودهای زیستی سبب افزایش میزان کاروتنوئیدهای برگ لوبیا نسبت به شاهد می‌شود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

بخشی از نتایج حاضر نشان داد که تنش خشکی سبب بالا رفتن میزان پرولین می‌شود و تلقیح با باکتری محرک رشد نیز سبب افزایش میزان پرولین می‌شود. براساس نظر Heuer (۱۹۹٤) در طی بروز خشکی در گیاهان، بر میزان تجمع ترکیب‌های آلی همانند پرولین در تمام اندام‌های گیاهان افزوده می‌شود. تجمع پرولین در سیتوپلاسم مانند یک اسموتیکوم در حفاظت ساختمان ماکرومولکول‌ها در محیطی که تعادل یونی آن بهم خورده است، عمل می‌کند (Nayyar, 2003). تجمع پرولین در بافت‌های گیاهان تحت تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاهان فراهم آورد.

براساس یافته‌های حاضر تنش خشکی سبب بالا رفتن میزان مالون دی آلدئید شده است که این امر می‌تواند به دلیل تخریب غشا در نتیجه تنش اکسیداتیو القاشده به وسیله انواع اکسیژن فعال در شرایط محدودیت آبی باشد (Amirinejad et al., 2016) که منجر به صدمات و نابودی سلول‌ها شده و به دنبال آن افزایش هدایت الکتریکی برگ و محتوای مالون دی‌آلدئید را به همراه دارد (Ashraf et al., 2017). در تحقیقی مشابه ساندیا و همکاران نشان دادند که تحت شرایط محدودیت آبی، میزان مالون دی آلدئید برگ تریتیکاله در اثر کاربرد میکوریزا و سودوموناس کاهش یافت که این امر به سبب نقش باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا در افزایش فعالیت آنزیم‌ها و حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Sandhya et al., 2010).

بر اساس یافته‌های آزمایش با افزایش تنش خشکی، مقدار قند محلول در اندام هوایی به طور معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد افزایش یافت و اضافه کردن باکتری محرک رشد نیز سبب بالا رفتن معنی‌دار میزان قندهای محول گردید. که با مطالعات Karimi و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

تغییرات غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و بالا بردن سطح پرولین و کربوهیدرات‌ها به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت مبدأ در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و باکتری محرک رشد آزوسپریلیوم با افزایش میزان این صفات موجب افزایش عملکرد دانه و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی می‌شود که بهتر است برای انجام آزمایشات تنش خشکی از محیط‌هایی با شرایط کنترل شده استفاده شود. زیرا در یک فصل زراعی، خشکی و میزان آن به طور یکنواخت اعمال نمی‌شود، همچنین پیشنهاد می‌شود که میزان رشد گیاه در مراحل مختلف رشد و نمو اندازه‌گیری و تأثیر تنش در هر دوره مشخص گردد تا تفسیر مناسبی از تأثیر تنش بر روی گیاه بدست آید. بنابراین با کاربرد کودهای زیستی محتوی میکروارگانیسم‌های باکتریایی می‌توان از مصرف کودهای شیمیایی برای دسترسی به عملکرد بیشتر در سیاه‌دانه اجتناب کرده و در راستای کشاورزی پایدار گام برداشت. در نهایت استفاده از باکتری محرک رشد آزوسپریلیوم برای مقابله با تنش خشکی در مناطقی مشابه با شرایط اکولوژیکی یاسوج پیشنهاد می‌گردد.

Refrences

Amirinejad, M., Akbari, G.A., Baghizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M. and Naimi, M. (2016). Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture). 17(4): 855-866 (in Persian).

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

Ashraf, H., Zakizadeh, H., Ehteshami, M. and Bigloei, M.H. (2017). Evalution the symbiosis of three mycorrhizae fungi species on biochemical characteristics of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) and Agropyron (*Agropyron elongatum*) turfgrasses under drought stress conditions. Journal of Plant Researchers, 24 (3), 27-46 Alscher RG, Erturk N and Heath LS (2002) Role of superoxide dismutases (SOD) in controlling oxidative stress in plant. Experimental Botany. 153: 1331-1341 (in Persian).

Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. and Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Journal of Plant Interaction. 12:381–89 (in Persian).

Banchio, E., Bogino, P.C., Zygadlo, J. and Giordano, W. (2008). Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in *origanum majorana* L. Biochemical Systematics and Ecology. 30: 766-771.

Bates, I.S., Waldern, R.P. and Tear, ID. (1973). Rapid determination of free praline for water stress. Studies Plant and Soil. 39: 205-207.

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

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

Farnia, A., Noormohammadai, G., Naderi, A., Darvish, F. and Majidi Hervan, I. (2006). Effect of drought stress and strains of Bradyrhizobium japonicum on grain yield and associated characteristics in soybean (cv. clark) in Borujerd. Iranian Journal of Crop Sciences. 8(3): 201-214 (in Persian).

Follows, R.J. and Boyer, JS. (1996) Structure and activity of chloroplasts of sunflower. Leaves having various water potentials. Planta. 132: 229-239.

Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z. and Gu, F. (2008). Optimization of carotenoids extraction from Rhodobacter sphaeroides. Learning With Technologies. 41: 1082–1088.

Heath, R.L. and L. Packer. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125: 189–198.

Heuer, B. (1994). Osmoregulatory role of proline in water stress and salt-stressed plants: 363-381. In: Pessarakli. M., (Ed.). Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Publisher. New York. P. 697.

Jabbari, H., Akbari, G.A., Khosh Kholgh Sima, N.A., Shiranirad, A.H., Alahdadi, I., Tajodini, F. (2015). Study of agronomical, physiological and qualitative characteristics of canola (*Brassica napus*) under water stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 8(1): 35-49 (in Persian).

Jafari Ghoushchi, M., Abbaszadeh, B. and Oraei, M. (2015). Effects of chemical and biological fertilizetion growth, yield and essential oil of Salvia officinalis. Journal of Medicinal Plants and By-Products. 4: 31-37 (in Persian).

Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agricultural Biology. 11: 100-105.

Kabiri, R., Farahbakhsh, H. and Nasib, N. (2014). Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 4: 600-609 (in Persian).

Kalali, T., Lahoti, M. and Mahmoudzadeh, H. (2014). Effect of salicylic acid on morphological and physiological traits of soybean under drought stress conditions. Quarterly Journal of Plant Physiology. 7(25): 75-88 (in Persian).

Kamrava, S., Babaeian Jolodar, N. and Bagheri, N. (2017). Evaluation of drought stress on chlorophyll and proline traits in soybean genotypes. Journal of Crop Breeding. 9(23): 95-104 (in Persian).

Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology. 93: 307-311.

Karimi, S., Abbaspour, H., Sinaki, J. M. and Makarian, H. (2012). Effects of Water Deficit and Chitosan Spraying on Osmotic Adjustment and Soluble Protein of Cultivars Castor Bean (Ricinus communis L.). Journal of Stress Physiology and Biochemistry. 8, 160–169.

Khaladbarin, B. and Eslam Zadeh, T. (2001). Mineral nutrition of higher plants. First volume, Shiraz University Publications. 495 p.

Khoramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M. and Ghorbani, R. (2010). Effects of biological manure on yield and component yield of (*Nigella sativa* L). Iranian Journal of Field Crops Research. 8: 768-776 (in Persian).

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

Nayyar, H. (2003). Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. Environmental and Experimental Botany. 50(3): 253-264.

Ozguven, M., Sener, B., Orhan, I., Sekeroglu, N., Kirpik, M., Kartal, M., Pesin, I., and f Kaya, Z. (2008). Effects of varying nitrogen doses on yield, yield com-ponents and artemisinin content of *Artemisia annua* L. Industrial crops and products. 27: 60-64.

Oliviera-Neto, C.F., Silva-Lobato, A.K., Goncalves-Vidigal, M.C., Costa, R.C.L., Filho, B.G., Alves, G.A.R., Silva-Maia, W.J.M., Cruz, F.J.R., Neres, H.K.B. and Santos Lopes, M.J. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. International Journal Of Food, Agriculture And Environment. 7: 588-593.

Parsamotlagh, B., Mahmoodi, S., Sayyarizahan, M.H., Naghizadeh, M. (2011). Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Journal of Agroecology, 3(2): 237-248 (in Persian).

Pirzad, A., Fayyaz Moghaddam, A., Razban, M., Raei, Y. (2012). The evaluation of dried flower and essential oil yield and amounts of super absorbent polymer (A200). Journal of Agricultural science. 22(3): 85-99 (in Persian).

Reddy, A.R., Ramachandra, R.K., Chaitanya, V. and Vivekanandan, M. (2004). Droughtinduced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161: 1189-1202.

Rezai, Z., Rafieiolhossaini, M. and Mohamadkhani, A.R. (2017). The effect of different super absorbent polymer and animal manure ratios onsome morphological characteristics and production of fennel essential oil under drought stress conditions. Journal of Crops Improvement, 19(3): 621-637 (in Parsian).

Roe, B. and Bruemmer, J.H. (1981). Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of "Keitt" mangos. Journal of Food Science. 46(1): 186-189.

Saleemi, M., Kiani, M. Z., Sultan, T., Khalid, A. and Mahmood, S. (2017). Integrated effect of plant growth-promoting rhizobacteria and phosphatesolubilizing microorganisms on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed condition. Agriculture & Food Security. 6:46.

Sandhya, V., Ali, SKZ., Grover, M., Reddy, G. and Venkateswarlu, B. (2010). Effect of plant growth promoting Pseudomonas spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. Plant Growth Regulation. 62(1), 21-30.

Afkhami Sarai, E., Azadmard-Damirchi, S. and Gharekhani, M. (2021). Oil extraction from black cumin seeds incorporated with rosemary leaf by cold screw press and evaluation of some of its qualitative properties. Iranian Journal of Food Science and Technology. 118: 225-232.

Sardari1, H., Asghari Zakaria, R., Zare, N., Ghafarzadeh Namazi, L. and Moghaddaszadeh M. (2020). Evaluation of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Drought Stress Conditions at Flowering Stage. 12 (34): 138-150.

Setayeshmehr, Z. and Ganjali, A. (2013). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Industries and Sciences). 27(1): 27-35 (in Persian).

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

Sifola, M.I. and Barbieri, G. (2006). Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. Scientia Horticulturae. 108: 408–413.

Zafari, M., Ebadi, A. and Jahanbakhsh gode kahriz, S. (2018). Combined effect on fungi and bacteria metabolites on increased osmolytes of compatibility of alfalfa in the water deficit stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 31(1): 194-205 (in Persian).