

Materials Effect of Drought Stress, Nano-Superabsorbent and Biofertilizers on Morphophysiological Characteristics and Performance of Spring Canola (*Brassica napus* L.)

Hajar Valipur¹, Jalil Shafagh-kolvanagh², Kazem Ghassemi-Golezani², Saeideh Alizadeh-Salteh³, Mina Amani⁴

Received: 25 April 2023 Accepted: 27 July 2023

1- Ph.D. student of Crop Physiology, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Professor of plant ecology department, field of crop ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Professor, Department of Plant Physiology, Department of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

4- Associate Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, Department of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

5- Ph.D. student of physiology of horticultural plant production and post-harvest, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author Email: shafagh.jalil@gmail.com

Abstract

Background & Objective: The aim of this research was to evaluate the effect of nano-superabsorbent treatments and bio-fertilizers on some morpho-physiological characteristics, yield and yield components of Spring Canola seed under different levels of irrigation.

Materials & Methods: The field experiment was conducted during 2017 and 2018 as a factorial split plot based on a randomized complete block design in 3 replications. The treatments included irrigation at three levels (irrigation after evaporation of 70, 120 and 170 mm of evaporation from the Class A pan in the main plots) and nano-superabsorbent treatments at two levels (0 and 45 kg/ha) and fertilizer treatments at four levels: control, Chitosan, growth-stimulating bacteria and chitosan + growth-stimulating bacteria were factorially placed in sub-plots.

Results: Nitrogen and phosphorus content, leaf water percentage, green cover percentage, chlorophyll content, plant height, number of branches and leaves per plant, number of seeds per plant, number of seeds per plant, biological yield and consequently grain yield decreased, but the temperature Canola leaves increased. The application of fertilizer treatments, especially the combined treatment of bio-fertilizers + nano-superabsorbent under all irrigation levels, led to the improvement of these traits and rape seed yield, especially under severe stress. The application of nano-superabsorbent alone only under moderate and severe stress led to the improvement of these characteristics compared to its non-use.

Conclusion: Improvement of morpho-physiological traits and product components ultimately increased seed yield. Therefore, it can be concluded that the combined application of nano-superabsorbent with bio-fertilizers can be an effective method to improve grain yield under drought stress conditions.

Keywords: Chitosan, Drought, Growth Promoting Bacteria, Physiological Characteristics, Seed Yield

تأثیر تنش خشکی، نانوسوپر جاذب و کودهای زیستی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد کلزای بهاره

هاجر والی پور^۱، جلیل شفق کلوانق^{۲*}، کاظم قاسمی گلعدانی^۲، سعیده علیزاده سالطه^۳، مینا امانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۵

- ۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۲- استاد گروه اکولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۳- استاد گروه فیزیولوژی گیاهی، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، گرایش گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۵- دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

*مسئول مکاتبه: Email: shafagh.jalil@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: ارزیابی تأثیر تیمارهای نانوسوپر جاذب و کودهای زیستی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزای بهاره تحت سطوح مختلف فراهمی آب از اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها: دو آزمایش مزرعه‌ای در تبریز در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل آبیاری در سه سطح، آبیاری بعد از تبخیر ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر آب از تشتک کلاس A در کرت‌های اصلی و تیمارهای نانوسوپر جاذب در دو سطح (۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار) و تیمارهای کودی در چهار سطح شاهد، کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

یافته‌ها: محتوای نیتروژن و فسفر، محتوای نسبی آب برگ، درصد پوشش سبز، شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، تعداد شاخه و برگ در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیکی و به تبع آن‌ها عملکرد دانه کاهش یافتند، اما دمای برگ‌های کلزا افزایش یافت، چون افزایش دما در راستای اثر تنش است. کاربرد تیمارهای کودی به‌ویژه تیمار تلفیقی کودهای زیستی + نانوسوپر جاذب تحت تمامی سطوح آبیاری منجر به بهبود این صفات و عملکرد دانه کلزا به‌خصوص در تنش شدید گردید. کاربرد نانوسوپر جاذب به‌تنهایی فقط تحت تنش متوسط و شدید منجر به بهبود این صفات نسبت به عدم کاربرد آن شد.

نتیجه‌گیری: بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه گیاهان کلزا شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد تلفیقی نانوسوپر جاذب با کودهای زیستی می‌تواند روشی مؤثر در بهبود عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، خشکی، صفات فیزیولوژیکی، کیتوزان، عملکرد دانه

مقدمه

امروزه زراعت دانه‌های روغنی در جهان با توجه به افزایش جمعیت و بالا رفتن مصرف سرانه روغن نباتی توسعه چشمگیری یافته است. کلزا یکی از دانه‌های روغنی مهم دنیا می‌باشد که بعد از سویا و نخل روغنی مقام سوم را در تأمین روغن نباتی و مقام پنجم را در تأمین پروتئین جهان به خود اختصاص داده است (پاسبان اسلام و همکاران ۲۰۱۷). میزان بالای روغن در دانه کلزا، ترکیب مناسب اسیدهای چرب آن و سطح بالای چربی‌های غیراشباع و امگا ۳ و امگا ۶ در این روغن منجر به برتری قابل توجه آن بر سایر چربی‌ها و روغن‌های گیاهی شده است (هاتزینگ و همکاران ۲۰۱۸). بین ارقام کلزای زمستانه و بهاره، ارقام بهاره کلزا به یک محصول مهم در تناوب با گندم تبدیل شده است (طهماسب‌پور و همکاران ۲۰۱۸).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات گیاهی به‌ویژه گیاهان دانه روغنی مانند کلزا در جهان است. کشور ایران که از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار دارد، به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر این تنش قرار می‌گیرد (صفوی‌فرد و همکاران ۲۰۱۸). کمبود آب منجر به بازدارندگی فرآیندهای تقسیم و رشد سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جریان دی‌اکسیدکربن به درون سلول‌های مزوفیل برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود (شریفا و موریفا ۲۰۱۵). یکی از پیامدهای اجتناب‌ناپذیر تنش کم‌آبی، افزایش تجمع گونه‌های اکسیژن فعال در اجزای مختلف سلولی است (قاسمی‌گلعدانی و همکاران ۲۰۱۹)، که منجر به پراکسیداسیون لیپیدها (ناس و همکاران ۲۰۱۶) و تجزیه کلروفیل می‌گردند (شریفا و موریفا ۲۰۱۵). قاسمی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که تنش خشکی با تأثیر منفی بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، شاخه و برگ در بوته و بیوماس گیاهی عملکرد دانه در بوته را کاهش داده است. کاهش عملکرد در نتیجه تنش خشکی در ذرت (قاسمی-گلعدانی و همکاران ۲۰۱۸) گزارش شد. پژوهشگران برای مقابله با پدیده خشکی، به حداقل رساندن آثار زیانبار آن

و افت محصول، به‌دنبال راهکارهای نوین هستند (شهرام و همکاران ۲۰۱۳). پلیمرهای سوپرجاذب بی‌خطر و غیرسمی هستند و هیچ اثری از آن‌ها در طبیعت باقی نمی‌ماند. از دیگر مزایای سوپرجاذب‌ها می‌توان به کاهش تعداد دفعات آبیاری، مصرف یکنواخت آب برای گیاهان، رشد سریع و مطلوب ریشه، کاهش آبشویی مواد غذایی در خاک، کاهش هزینه‌های آبیاری، مصرف بهینه کودها، هوادهی بهتر خاک، امکان کشت در مناطق بیابانی و سطوح شیب‌دار، افزایش فعالیت و تکثیر قارچ‌های میکوریزا و سایر ریزجانداران خاک کرد (ساوت و همکاران ۲۰۱۴). این پلیمرها با قرار دادن تدریجی آب و مواد غذایی در اختیار گیاه، ساخت رنگیزه‌های گیاهی را افزایش داده و همین امر منجر به بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش می‌گردد (شکاری و همکاران ۲۰۱۵). سوپرجاذب منجر به باز ماندن روزنه‌ها، تثبیت مناسب دی‌اکسیدکربن و افزایش وزن خشک در گیاه تحت تنش خشکی گردید (کشاورز و همکاران ۲۰۱۲). لی و همکاران (۲۰۱۴) اظهار داشتند که سوپرجاذب‌ها با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش تلفات دانه از طریق تأمین آب در مرحله بحرانی تشکیل دانه، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. یکی دیگر از راهکارهای تعدیل تنش‌های محیطی مدیریت تغذیه گیاهی با استفاده از کودهای زیستی از جمله باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان می‌باشد (لیو و زانگ ۲۰۱۵؛ شریف و همکاران ۲۰۱۸). کودهای زیستی شامل مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت مترکم یک یا چند نوع ارگانسیم مفید خاکزی و یا به‌صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند (اینانلوفر و همکاران ۲۰۱۳). اثرات کودهای زیستی بر رشد و نمو گیاهان به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد (شیرین‌بیان و همکاران ۲۰۱۹). درحالت مستقیم انواع کودهای زیستی با استفاده از مکانیزم‌های تثبیت زیستی نیتروژن، تبدیل عناصر غذایی اصلی از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس، توسعه سیستم ریشه‌ای، تولید انواع هورمون‌های محرک رشد گیاهی باعث تحریک و افزایش رشد گیاهان می‌شوند. درحالت غیرمستقیم هم با افزایش مقاومت گیاهان به شرایط کم‌آبی موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند (زعفرانچی و همکاران ۲۰۱۹). کیتوزان

رشد ازتوباکتر و انتروباکتر) بر برخی تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد مزرعه‌ای کلزا تحت تیمارهای مختلف کم‌آبیاری انجام شد تا امکان بهبود عملکرد آن و کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز و در اراضی کرکج در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا گردید. این منطقه با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریای آزاد، در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه قرار دارد. براساس آمار هواشناسی، منطقه کرکج دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم با میانگین بارندگی سالیانه ۲۱۸/۵۴ میلی‌متر است. اطلاعات مربوط به نوسان دما و بارش در فصل‌های کاشت محل آزمایش طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در جدول ۱ نشان داده شده است.

همچنین به‌عنوان منبع نیتروژن (چوی و همکاران ۲۰۱۶) و کربن رشد میکروارگانیزم‌های خاک را تحریک کرده و از این طریق رشد گیاه را افزایش می‌دهد (چو و همکاران ۲۰۰۸). باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان با بیان رونویسی ژن و بیوسنتز متابولیت‌ها در شرایط خشکی بر ساختار ریشه تأثیر می‌گذارد (لی و همکاران ۲۰۱۷). خان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد با بهبود صفات فیزیولوژیکی منجر به افزایش عملکرد دانه در گیاه تحت تنش خشکی گردید. بابایی و همکاران (۲۰۱۷) افزایش شاخص کلروفیل با کاربرد باکتری‌ها را مربوط به افزایش محتوای نسبی آب برگ دانستند. کاربرد کیتوزان با بهبود شاخص کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین و عملکرد فتوسنتزی به‌عنوان منبع کربن و فتوسنتز، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در گندم را افزایش داد (عبدالله و همکاران ۲۰۱۹). این تحقیق با هدف ارزیابی اثرات این تعدیل‌کننده‌های خشکی (کیتوزان، باکتری‌های محرک

جدول ۱- نوسان دما و بارندگی محل آزمایش در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

سال	دما		بارش	
	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸
ماه	درجه سانتی‌گراد			
	میلی‌متر			
اسفند	۸/۴	۸/۱	۲۶/۶	۳۰/۶
فروردین	۱۲/۸	۲۶	۳۶	۴۳/۴
اردیبهشت	۱۴/۵	۱۵/۱	۵۲/۶	۶۳/۴
خرداد	۲۰/۷	۲۱/۴	۱۳	۳۶/۲
تیر	۲۷/۹	۲۹/۳	۰	۰
مرداد	۲۶/۶	۲۸/۶	۰/۲	۰

طرح آزمایشی و اعمال تیمارها

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح آبیاری (I₁, I₂, I₃) به‌ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک کلاس A در کرت اصلی، نانوسوپرجاذب در دو سطح (S₁ و S₂) به‌ترتیب ۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار) و کود زیستی در چهار سطح (شاهد (F₁))، کیتوزان با غلظت ۰/۴ درصد (F₂)، باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و انتروباکتر با جمعیت ۲ × ۱۰^۷ CFU.ml⁻¹ (F₃) و کیتوزان

+ باکتری‌های محرک رشد (F₄) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نانوسوپرجاذب (رطوبت ۸ درصد، میزان جذب آزاد آب بدون یون ۵۰۰ g/g و میزان جذب تحت بار آب بدون یون ۱۹۰ g/g) مورد استفاده از شرکت تراوا در اصفهان تهیه شد که به‌دلیل فناوری فرایند تولید و همچنین نانوذرات به‌کار رفته در ساختار آن، از کیفیت بسیار بالایی برخوردار بود. کود زیستی حاوی باکتری‌های گونه ازتوباکتر و انتروباکتر از شرکت آسیا با جمعیت ۲ × ۱۰^۷ CFC.ml⁻¹ به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده قرار گرفت. زمین موردنظر

شده بود، پوشش‌دهی گردیدند. آخرین قسمت توده بذری ابتدا با کیتوزان و سپس با کود زیستی موردنظر تیمار گردیدند. متناسب با شرایط آب و هوایی، بذری کلزا رقم دلگان مقاوم به اسکروتینیای، متحمل به خوابیدگی و زودرس از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. این بذرها دارای جوانه‌زنی ۹۹ درصد و وزن هزاردانه ۴/۱ گرم بودند. در دهه اول اردیبهشت ماه در شیارهایی به عمق دو سانتی‌متر با تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع قرار گرفتند. بلافاصله بعد از کاشت، کلیه کرت‌های آزمایشی آبیاری شدند و آبیاری‌های بعدی متناسب با تیمارهای آبیاری انجام پذیرفت. در طول دوره رشد گیاه، عملیات داشت از جمله وجین دستی علف‌های هرز به دفعات مناسب اجرا گردید.

پس از عملیات خاکورزی کرت‌بندی گردید. هر بلوک شامل ۸ کرت و هر کرت به ابعاد ۲×۱/۵ متر و شامل ۹ ردیف کاشت بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی ردیف ۵ سانتی‌متر لحاظ گردید. براساس نیاز گیاه و نتایج تجزیه خاک (جدول ۲)، تمام کود فسفره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و نصف کود اوره (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) پیش از کاشت مصرف شد. بقیه کود اوره با آغاز مرحله ساقه‌روی به صورت سرک و به روش نواری مورد استفاده قرار گرفت. توده‌ی بذری کلزا به چهار قسمت مساوی تقسیم شدند، یکی از آن‌ها به‌عنوان شاهد (عدم تلقیح) نگهداری گردید و قسمت دوم براساس توصیه شرکت سازنده کود زیستی (۱۰۰ گرم در هکتار) هنگام کاشت تیمار شد. قسمت دیگری با کیتوزان (۰/۴ درصد) که در استیک‌اسید یک درصد حل

جدول ۲- نتایج تجزیه‌ی خاک قطعه زمین مورد استفاده

EC	pH	CaCO ₃	O.C	N	P	K	
dS.m ⁻¹			%		Mg. Kg ⁻¹	سال	
۰/۷۷	۷/۷۳	۱۴/۶	۰/۰۸	۰/۱۱	۱۳	۳۰۲/۲	۱۳۹۷
۰/۷۸	۷/۲۴	۱۴/۸	۰/۱	۰/۱۳	۱۲/۸۲	۲۹۸/۸	۱۳۹۸

K: پتاسیم، P: فسفر، N: نیتروژن، O.C: کربنات کلسیم، CaCO₃: کربنات کلسیم و EC: هدایت الکتریکی

اندازه‌گیری‌ها

میزان نیتروژن و فسفر برگ

برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن پس از هضم نمونه‌ها از روش کجلدال استفاده گردید (جونز ۱۹۹۱). در مورد اندازه‌گیری میزان فسفر نیز پنج میلی‌لیتر نمونه هضم شده را با ۵ میلی‌لیتر معرف زرد مخلوط کرده و حجم آن به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Analytikjena (Spekol 1500 Germany) در طول موج ۴۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (تاندون و همکاران ۱۹۶۸).

درصد پوشش سبز

برای اندازه‌گیری درصد پوشش سبز در مرحله گلدهی از یک چارچوب با اندازه ۱۰۰ × ۱۰۰ سانتی‌متر که توسط ریسمان به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده بود استفاده شد. این چارچوب در داخل هر واحد آزمایشی طوری قرار داده می‌شد که از قسمت فوقانی آن

با مشاهده پوشش گیاهی، ارزیابی پوشش سبز امکان‌پذیر باشد. به هریک از تقسیمات صدتایی چارچوب که حداقل نصف آن با پوشش سبز پر شده بود، نمره یک و در غیر این صورت نمره صفر داده می‌شد. مجموع تعداد خانه‌های پر، درصد پوشش سبز را مشخص می‌کرد. قبل از هر اندازه‌گیری درصد پوشش سبز، علف‌های هرز کرت‌ها حذف می‌شد.

محتوای نسبی آب برگ

در مرحله رشد زایشی سه بوته از هر کرت آزمایشی کف‌بر گردید و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ابتدا برگ‌ها از بوته جدا شده و بلافاصله وزن تر آن‌ها با ترازو اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیده و وزن آن‌ها تعیین شد. از رابطه (۱) برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ استفاده شد:

$$(۱) \quad \text{محتوای نسبی آب برگ} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن تر}} \times ۱۰۰$$

دمای برگ

۴۸ ساعت در داخل آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند تا خشک شوند. در نهایت با اضافه نمودن وزن دانه‌ها، عملکرد بیولوژیکی برای هر واحد آزمایشی هم تعیین گردید. بعد از مشخص کردن عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در واحد سطح، شاخص برداشت برای هر یک از واحدهای آزمایشی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$(۲) \quad ۱۰۰ \times \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیکی}} = \text{شاخص برداشت}$$

تجزیه آماری داده‌ها

پس از انجام آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف و یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها به صورت اسپلیت-پلات فاکتوریل بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تجزیه داده‌های دوساله براساس طرح آزمایشی و با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SAS 9.4 تجزیه و تحلیل شدند. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. برای رسم کردن شکل‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

نیترژن و فسفر

با افزایش تنش خشکی میزان نیترژن و فسفر برگ-های گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد تیمارهای کودی به‌ویژه کاربرد تلفیقی آن‌ها در تمامی سطوح آبیاری میزان این عناصر را بهبود بخشید. این افزایش در کاربرد تیمارهای کودی با نانوسوپرجاذب مشهودتر بود. کاربرد باکتری‌های محرک رشد میزان فسفر برگ‌های کلزا را نسبت به کیتوزان در سطوح مختلف آبیاری بیشتر افزایش داد. کاربرد نانوسوپرجاذب بدون کودهای زیستی تحت تنش خشکی منجر به بهبود این صفات گردید (جدول ۴). نیترژن و فسفر از مهم‌ترین عناصر غذایی گیاهان در افزایش عملکرد محسوب می‌شوند. تنش خشکی با کاهش آب در

برای اندازه‌گیری دمای برگ از دماسنج مادون قرمز مجهز به پرتو لیزری (Tes 1327-k) استفاده شد. اندازه-گیری در مزرعه و بدون تخریب گیاه صورت گرفت. در زمان ۵۰ درصد گلدهی، دمای بخش میانی برگ‌های بالایی، وسطی و پایینی یک بوته در هر کرت در ساعت ۱۲-۱۳ بعد از ظهر و قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. در زمان اندازه‌گیری دما، پشت به آفتاب قرار گرفته و دماسنج لیزری با فاصله‌ی تقریبی ۵۰ سانتی‌متر و با زاویه‌ی ۴۵ درجه به سوی برگ نشانه‌گیری شد. میانگین سه عدد به‌دست آمده به‌عنوان دمای برگ در هر کرت ثبت گردید.

شاخص کلروفیل

شاخص کلروفیل برگ در زمان ۵۰ درصد گلدهی، با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (CCM-200) اندازه-گیری گردید. برای این منظور، شاخص کلروفیل در سه قسمت از هریک از برگ‌های بالایی، میانی و پایینی یک بوته در هر کرت اندازه‌گیری و میانگین ۹ عدد به‌عنوان معیاری از شاخص کلروفیل برگ در مرحله گلدهی در نظر گرفته شد.

ارزیابی صفات مورفولوژیکی

ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی از قسمت یقه تا نوک ساقه اصلی به‌صورت تصادفی در ۱۰ بوته اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برحسب سانتی‌متر ثبت شد. میانگین تعداد شاخه و برگ در هر کرت نیز بعد از شمارش آن‌ها در این ۱۰ بوته محاسبه گردید.

اجزای عملکرد و عملکرد دانه

موقعی که بیش از ۹۰ درصد خورجین‌ها، رنگ زرد مایل به قهوه‌ای به خود گرفتند، بوته‌های موجود در مساحت یک متر مربع از وسط هر کرت در اواخر مرداد ماه برداشت شدند و تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه و عملکرد دانه در واحد سطح برای هر تیمار در هر تکرار به‌صورت جداگانه مشخص شد. سپس این بوته‌ها با کل گاه و دانه در پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و به‌مدت

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه گیری شده در کلزا در واکنش به نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی تحت تیمارهای مختلف آبیاری

شاخص برداشت	میکروارگانیزم		تعداد		تعداد برگ		تعداد شاخه		ارتفاع بوته		شاخص کلروفیل		نسبت آب محتوای برگ		درصد پیش سبز	درجه آزادی	منابع تغییر
	میکروارگانیزم	میکروارگانیزم	بونه	تعداد برگ	تعداد شاخه	ارتفاع بوته	کلروفیل	نسبت آب محتوای برگ	نسبت آب محتوای برگ	نسبت آب محتوای برگ	نسبت آب محتوای برگ	نسبت آب محتوای برگ	نسبت آب محتوای برگ				
۲/۸۸۷	-۰/۲۳	۳/۷۵۹	۲۶۲۰۵	۳/۸۸	-۰/۲۶	-۰/۱۰	-۰/۰۶	-۰/۸۲	-۰/۶۴	۱	سال (Y)						
۲/۸۵۵	۸۲/۷۸	۱۶/۲۹	۲۰۳۲۴	۲/۷۵	-۰/۵۹	۷۳/۲۵	۱/۶۷	۱/۰۴	-۰/۷۵۵	۴	تکرار در سال (R.Y)						
۵۹۱/۸۸۸	۱۶۰۹۶۳/۱۰۰	۹۰۴۸۹۱/۳۰۰	۱۲۱۲۶۰۳/۱۰۰	۵۹۱/۵۳۰	۲۲/۵۲	۱۳۸/۸۰	۳۳۲/۳۳۰	۶۱۵۵/۶۹۰	۱۰۰/۳۰۰	۲	فواصل آبیاری (I)						
۰/۷۷۵	-۰/۷۶	۰/۰۹	۵/۳۸	۰/۷۷	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۵	-۰/۶۶	-۰/۸۵	۲	Y × I						
۰/۷۰۲	۳/۲۶	-۰/۷۵	۲۹/۸۶	۰/۷۰	-۰/۲۵	-۰/۷۸۳	-۰/۰۶	۱/۴۰	-۰/۴۵	۸	خطا						
۲۵۱/۹۸۰	۴۸۸/۱۹۰	۴۵۲۶۶/۶۰۰	۳۱۵۸۳/۹۰۰	۳۵۱/۹۰۰	-۰/۵۷	۱۸۲/۱۷۰	۱۳۰/۴۳۰	۳۱۰/۴۰۰	۵۶/۷۵۰	۱	نانوسوپرجاذب (NS)						
۰/۲۹۰	-۰/۷۵	-۰/۲۸	۵/۹۲	۰/۲۹	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۷۵	-۰/۴۶۷	۱	Y × NS						
۲/۹۱۰	۳۸۲/۷۰	۹۰۹۷/۱۰۰	۲۳۱۲۱/۹۰۰	۴/۳۶	-۰/۳۳	۳۵/۵۱	۱۶/۱۹	۱۶/۱۸	۷/۳۳	۲	I × NS						
۰/۷۷۰	-۰/۰۴	-۰/۰۹	۵/۹۲	۰/۷۲	-۰/۰۸	-۰/۷۸	-۰/۰۴	-۰/۶۵	-۰/۶۱	۲	Y × I × NS						
۸۶۴۹/۷۰	۲۱۳۸/۱۶۰	۱۲۰۰۰۶/۹۰۰	۱۵۶۰۷/۶۰۰	۸۶۴/۸۰	۲/۳۰	۷۳۸/۸۰	۳۳۴/۱۰۰	۸۸۷/۴۳۰	۸۷/۴۳۰	۲	کود زیستی (BF)						
۰/۹۹۴	-۰/۱۷	-۰/۸۳	۹/۷۲	۰/۹۹۴	-۰/۰۲	-۰/۱۵	-۰/۰۱	-۰/۶۴	-۰/۴۳۳	۲	Y × BF						
۱/۷۹۶	۳۵۸/۵۰	۸۴۹/۳۰۰	۱۶۴/۷۵۰	۱/۷۹	-۰/۳۳	۴/۹۸	۸/۵۸	۵/۳۰	۴/۵۶	۶	I × BF						
۰/۸۵۴	-۰/۸۴	-۰/۶۲	۳/۴۱	۰/۸۵	-۰/۰۷	-۰/۳۸	-۰/۰۷	-۰/۶۹	-۰/۵۹	۶	Y × I × BF						
۰/۵۹۷	۱/۶۷	۲۹۰۵۳/۱۰۰	۲۰۹۶/۱۰۰	۱/۵۱۳	-۰/۱۳	۱/۷۱	۱/۷۸	۲/۳۳	۱/۶۹	۲	NS × BF						
۰/۶۶۶	-۰/۹۶	-۰/۸۳	۸/۶۲	۰/۶۶۶	-۰/۰۴	-۰/۸۷	-۰/۰۷	-۰/۶۹	-۰/۴۵	۲	Y × NS × BF						
۳/۳۴۵	۶۴/۲۰	۵۵۰/۴۴	۷۴۲/۷۵	۳/۳۵	-۰/۱۸	۱/۹۳	۸/۲۸	۳/۰۳	-۰/۵۹۱	۶	I × NS × BF						
۰/۸۷۸	۱/۰۵	-۰/۶۳	۴/۶۹	۰/۸۷۸	-۰/۰۲	-۰/۳۰	-۰/۰۱	-۰/۶۹	-۰/۷۳	۶	Y × I × NS × BF						
۰/۸۳۷	۱۳/۵۶	-۰/۸۹	۴۲/۰۱	۰/۸۳۷	-۰/۲۵	-۰/۴۶	-۰/۰۷	۱/۳۰	-۰/۹۳	۸۴	خطا						
۳/۶۷	۲/۴۹	۱/۶۸	۱/۳۳	۳/۱	۴/۹۸	۱/۵۶	۰/۳۳	۱/۷۲	-۰/۸۷	-	ضریب تغییرات (%)						

همکاران (۲۰۱۹). کاربرد سوپرجاذبها با اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از طریق بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک و فعالیت و تکثیر میکروارگانیزمها می‌توانند منجر به افزایش جذب مواد مغذی شوند (سیددوراجی و همکاران ۲۰۱۱).

دسترس گیاه منجر به کاهش آب در سلولهای گیاهی و برداشت نیتروژن و فسفر می‌شوند (آروی و همکاران ۲۰۱۱). کودهای زیستی می‌توانند فعالیت فسفاتاز و برخی آنزیمهای مهم متابولیسم نیتروژن در اندامهای گیاهی را افزایش داده و تجمع فسفر و میزان نیتروژن را در برگهای گیاهان تحت تنش افزایش دهند (انصاری و

جدول ۴- مقایسه میانگین میزان نیتروژن و فسفر برگ‌های کلزا در واکنش به تیمارهای مختلف آبیاری و تعدیل کننده‌های تنش خشکی

آبیاری	نانوسوپرجاذب	کود زیستی	نیتروژن (mg.g ⁻¹ DW)	فسفر (mg.g ⁻¹ DW)
I ₁	S ₁	F ₁	۱۷/۱ ^{ef}	۵/۱ ^f
		F ₂	۱۹/۷ ^{cd}	۷/۱ ^d
		F ₃	۱۹/۶ ^d	۸/۹ ^b
		F ₄	۲۱/۹ ^b	۹/۹ ^a
I ₂	S ₂	F ₁	۱۷/۸ ^e	۵/۳ ^{ef}
		F ₂	۲۰/۵ ^c	۷/۳ ^{cd}
		F ₃	۲۰/۶ ^{۳c}	۹/۲ ^{ab}
		F ₄	۲۳/۲ ^{۱a}	۱۰/۲ ^{۳a}
I ₃	S ₁	F ₁	۱۳/۷ ⁱ	۴/۰ ^{۱g}
		F ₂	۱۶/۷ ^{ef}	۵/۹ ^e
		F ₃	۱۶/۹ ^{ef}	۷/۸ ^c
		F ₄	۱۹ ^{de}	۸/۵ ^{bc}
I ₃	S ₂	F ₁	۱۴/۹ ^{gh}	۴/۹ ^f
		F ₂	۱۷/۶ ^e	۶/۹ ^d
		F ₃	۱۸ ^e	۸/۸ ^b
		F ₄	۲۰/۹ ^{۱c}	۹/۳ ^{ab}
I ₃	S ₁	F ₁	۹/۶ ^k	۳/۳ ^h
		F ₂	۱۵/۰ ^{۱gh}	۵/۰ ^{۱n}
		F ₃	۱۵/۷ ^g	۶/۷ ^d
		F ₄	۱۷/۷ ^e	۷/۷ ^c
I ₃	S ₂	F ₁	۱۱ ^j	۴/۴ ^{fg}
		F ₂	۱۶ ^g	۶/۱ ^e
		F ₃	۱۶/۹ ^{ef}	۷/۵ ^{cd}
		F ₄	۱۹/۶ ^d	۸/۴ ^{bc}

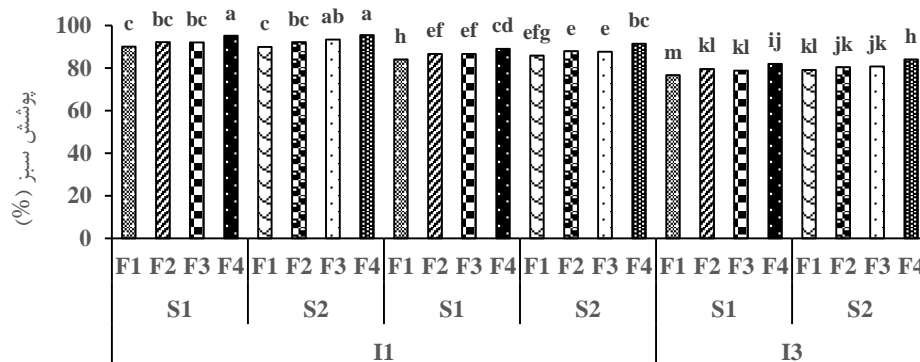
حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار نانوسوپرجاذب؛ F₁, F₂, F₃, F₄: به ترتیب شاهد، کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد، I₁, I₂, I₃: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک کلاس A

درصد پوشش سبز

سبز با کاربرد نانوسوپرجاذب همراه با کودهای زیستی به دست آمد که تیمار برتر برای افزایش درصد پوشش سبز گیاهان کلزا در شرایط تنش‌زا و بدون تنش بود (شکل ۱). کاهش درصد پوشش سبز تحت شرایط کم‌آبی (شکل ۱) می‌تواند به دلیل رقابت گیاهان برای آب و مواد غذایی باشد (قاسمی گلعدانی و همکاران ۲۰۱۰). کم‌آبی سبب کاهش آماس سلولی و رشد گیاهان گردیده و بنابراین منجر به کاهش سطح برگ و پوشش سبز گیاهی (قاسمی گلعدانی و افخمی ۲۰۱۸) می‌شود. از آنجایی که بین درصد پوشش سبز و دریافت نور رابطه مستقیم وجود دارد (قاسمی گلعدانی و همکاران ۲۰۰۸)، کاهش درصد پوشش سبز مزرعه با کاهش رشد گیاه، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقباً کاهش فتوسنتز، کاهش ماده خشک گیاهی، کاهش هورمون‌های رشد (اکسین و سیتوکینین)، افزایش مواد بازدارنده رشد، پیری و ریزش برگ‌ها مرتبط است.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها درصد پوشش سبز بوته‌های کلزا به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی قرار گرفت و اثر متقابل آن‌ها نیز برای این صفت معنی‌دار به دست آمد (جدول ۳). بیشترین درصد پوشش سبز به تیمار آبیاری مطلوب تعلق داشت که با افزایش فواصل آبیاری به طور معنی‌داری افت پیدا کرد. نانوسوپرجاذب به طور معنی‌داری درصد پوشش سبز گیاهان را در تنش-های متوسط و شدید بهبود بخشید، ولی این تیمار اثری بر درصد پوشش سبز در شرایط آبیاری مطلوب نداشت. کودهای زیستی به ویژه کاربرد تلفیقی آن‌ها (کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد) در تمام سطوح آبیاری درصد پوشش سبز بوته‌های کلزا را افزایش داد. کودهای زیستی در افزایش درصد پوشش سبز موفق‌تر از نانوسوپرجاذب عمل نمودند. بیشترین درصد پوشش



شکل ۱- تغییرات درصد پوشش سبز کلزا در واکنش به تیمارهای آبیاری × نانوسوپرجاذب × کودهای زیستی
حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نانوسوپرجاذب؛ F₄, F₃, F₂, F₁: به ترتیب کنترل، کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد، I₃, I₂, I₁: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک کلاس A

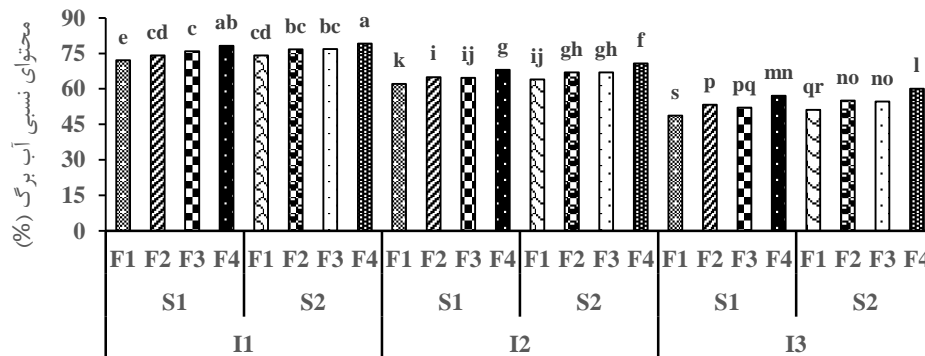
محتوای نسبی آب و دمای برگ

اثر سطوح آبیاری، نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی بر محتوای نسبی آب و دمای برگ معنی دار بود و اثر متقابل آن‌ها نیز برای این صفات معنی دار به دست آمد (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ و دمای برگ با افزایش فواصل آبیاری به ترتیب کاهش و افزایش یافتند. تیمار گیاهان با نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی (به ویژه کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد) به صورت جداگانه و تلفیقی موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش دمای برگ کلزا تحت تمام سطوح آبیاری گردید. کاربرد نانوسوپرجاذب همراه با هر دو کود زیستی (S₂F₂ و S₂F₃) به صورت معنی دار منجر به بهبود محتوای نسبی آب برگ و کاهش دمای برگ نسبت به کاربرد جداگانه (S₁F₂ و S₁F₃) آن‌ها گردید. این تأثیر در محتوای نسبی آب برگ (شکل ۲) و دمای برگ (شکل ۳) در واکنش به نانوسوپرجاذب + کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد تحت تنش متوسط و شدید مشهودتر بود. کاسر و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که با افزایش تنش کم‌آبی، محتوای نسبی آب برگ‌های گیاه به دلیل کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها کاهش یافت. اختلاف در محتوای نسبی آب برگ‌ها در مرحله تنش ممکن است از تفاوت کشش دیواره‌های سلولی در این شرایط ناشی شده باشد (سرت و همکاران ۲۰۱۸). کاهش

محتوای نسبی آب برگ به علت محدودیت آب (شکل ۲) منجر به کاهش فشار آماس در سلول‌های گیاهی و در نتیجه کاهش رشد و درصد پوشش سبز (شکل ۱) می‌شود. قاسمی گل‌عزانی و همکاران (۲۰۱۹) در آزمایش خود بر روی کلزا دریافتند که محتوای نسبی آب تحت تنش کمبود آبی کاهش یافته است. افزایش دمای برگ گیاهان کلزا تحت تنش خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ در ارتباط است (شکل ۲). کاهش محتوای نسبی آب برگ‌ها سبب کاهش هدایت روزنه‌ای و انتقال دی-اکسید کربن به داخل برگ می‌شود که این عامل سبب کاهش فتوسنتز و افزایش دمای برگ می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۱۹). کاسر و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که بسته شدن روزنه‌ها به دلیل کمبود آب ناشی از تنش و سنتز آبسزیک‌اسید در ریشه و ارسال آن به روزنه‌ها می‌باشد. افزایش دمای برگ و کاهش درصد رطوبت برگ تحت تنش کم‌آبی در گیاه دارویی ماریتیغال (قاسمی گل‌عزانی و همکاران ۲۰۱۶) نیز مشاهده شده است. تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی با بهبود سیستم ریشه، افزایش برداشت آب و محتوای کربوهیدرات محلول منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش دمای برگ می‌گردند (جان و بوسال ۲۰۱۵؛ بیستگانی و همکاران ۲۰۱۷؛ قاسمی گل‌عزانی و همکاران ۲۰۱۹). کاهش دمای برگ گیاهان بر اثر کاربرد نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی

آب برگ را با تولید اگزوپلی ساکاریدها به عنوان جاذب رطوبت افزایش می دهند. کیتوزان با بهبود سیستم ریشه-ای کارآمد و کاهش تعرق در گیاه منجر به افزایش جذب آب از طریق ریشه و حفظ محتوای نسبی آب برگ می-گردد (بیستگانی و همکاران ۲۰۱۷).

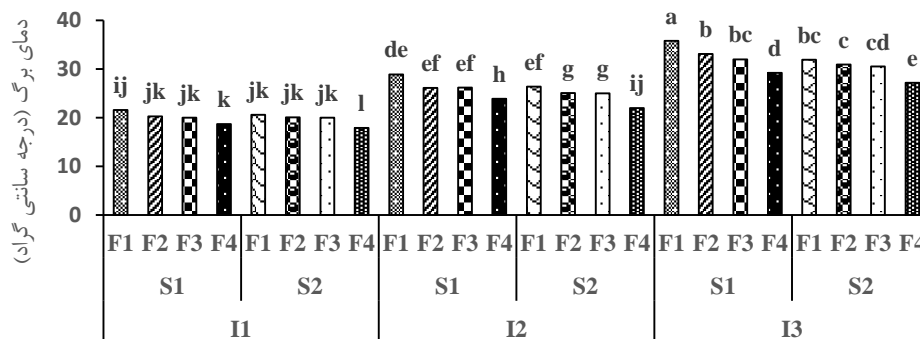
را می توان به افزایش محتوای نسبی آب برگها (شکل ۲) نسبت داد. سوپر جاذب از طریق جذب آب، ماندگاری در خاک و در نتیجه افزایش آب در دسترس ریشه منجر به بهبود محتوای نسبی آب برگ و کاهش دمای برگ می-گردد (عبدالله و همکاران ۲۰۱۹). لیو و زانگ (۲۰۱۵) گزارش کردند که باکتری های محرک رشد محتوای نسبی



شکل ۲- تغییرات محتوای نسبی آب برگهای کلزا در واکنش به تیمارهای آبیاری × نانوسوپر جاذب × کودهای زیستی

حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نانوسوپر جاذب؛ F₁, F₂, F₃, F₄: به ترتیب کنترل، کیتوزان، باکتری های محرک رشد و کیتوزان + باکتری های محرک رشد، I₁, I₂, I₃: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی متر تبخیر آب از تشتک کلاس A



شکل ۳- تغییرات محتوای دمای برگهای کلزا در واکنش به تیمارهای آبیاری × نانوسوپر جاذب × کودهای زیستی

حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نانوسوپر جاذب؛ F₁, F₂, F₃, F₄: به ترتیب کنترل، کیتوزان، باکتری های محرک رشد و کیتوزان + باکتری های محرک رشد، I₁, I₂, I₃: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A

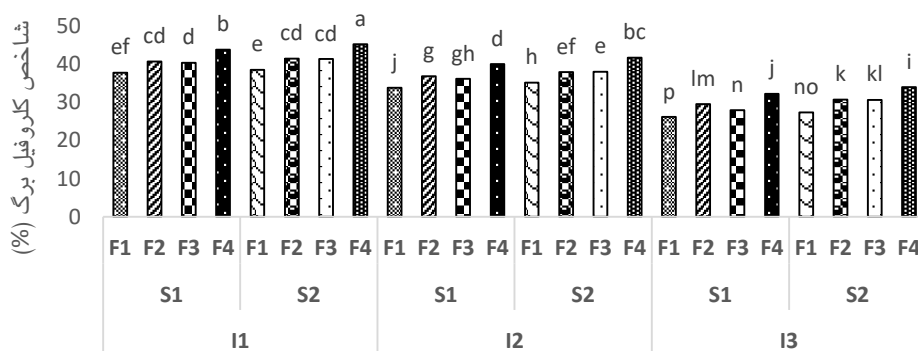
همراه با کودهای زیستی منجر به افزایش معنی دار این صفت تحت تنش خشکی گردید، اما تحت آبیاری مطلوب فقط با کاربرد هر دو کود زیستی توانست این صفت را بهبود بخشد. گیاهان حاصل از کاربرد توأم نانوسوپر جاذب و کودهای زیستی بیشترین شاخص کلروفیل را داشتند. کاهش شاخص کلروفیل (شکل ۴) در شرایط کمبود آب ناشی از تولید رادیکال های آزاد

شاخص کلروفیل

اثر فواصل آبیاری، نانوسوپر جاذب، کودهای زیستی و اثر متقابل آنها روی شاخص کلروفیل معنی دار گردید. شاخص کلروفیل با افزایش تنش کم آبی کاهش یافت. کاربرد کودهای زیستی به ویژه کاربرد تلفیقی آنها به طور معنی داری شاخص کلروفیل را تحت تمام سطوح آبیاری افزایش داد (جدول ۳). نانوسوپر جاذب به ویژه

کرد که کاربرد سوپرجاذب با کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان منجر به افزایش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ تحت تنش خشکی گردید. کیتوزان (مهدوی و همکاران ۲۰۱۱) و باکتری‌های محرک رشد (بابایی و همکاران ۲۰۱۷) با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان، محتوای نسبی آب برگ و محدود کردن سنتز اتیلن سبب افزایش تحمل به کم‌آبی می‌شود. نیتروژن به-عنوان یکی از عناصر ضروری در ساختار کلروفیل می-باشد، بنابراین کیتوزان به‌عنوان منبع نیتروژن و باکتری-های محرک رشد به‌عنوان تثبیت‌کننده‌های نیتروژن می-توانند منجر به بهبود شاخص کلروفیل گردند. نویس‌نزی و همکاران (۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که کودهای زیستی از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های نیترات‌ردوکتاز، گلوتامین‌سنتتاز، سنتز گلوتامات (پیش ماده کلروفیل)، شاخص کلروفیل را افزایش می‌دهند. کاربرد کیتوزان و باکتری‌های محرک رشد از طریق کاهش سنتز اتیلن، افزایش فعالیت آنزیم ACC دامیناز و تنظیم تعادل هورمونی در گیاه منجر به بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نتیجه تولید محصول تحت تنش خشکی می‌گردد (خردادی‌ورامین و همکاران ۲۰۱۸).

اکسیژن (تنش اکسیداتیو) می‌باشد و ممکن است نتیجه تجزیه نوری رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد که باعث صدمه به کلروپلاست‌ها می‌شود (شکیل و همکاران ۲۰۱۱). در مطالعه قاسمی گل‌عزانی و همکاران (۲۰۱۹) نیز تنش خشکی موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ کلزا شد. کاهش شاخص کلروفیل برگ تحت کمبود آب ممکن است نتیجه کاهش جذب آب و عناصر ضروری، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و تجزیه بیشتر کلروفیل باشد (شریفا و موریفا ۲۰۱۵) که منجر به آسیب ساختار کلروپلاست شده و تخریب ترکیبات رنگیزه‌ای می‌شود (گل‌دانی ۲۰۱۲). در شرایط تنش فعالیت آنزیم گلوتامیل‌کیناز (آنزیم کاتالیزکننده پرولین) از آنزیم گلوتامات‌لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) بیشتر می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات بیشتر به مصرف اسید آمینه‌ها به‌ویژه پرولین برسد، بنابراین بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می-شود (فرهنگی آبریز و قاسمی گل‌عزانی ۲۰۱۸). سوپرجاذب‌ها از طریق نگه‌داری آب در اطراف ریشه و کاهش شستشوی عناصر غذایی در دسترس گیاه و تنش اکسیداتیو محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش می-دهد (گونیز و همکاران ۲۰۱۶). افکاری (۲۰۱۸) گزارش



شکل ۴- تغییرات درصد پوشش سبز کلزا در واکنش به تیمارهای آبیاری × نانوسوپرجاذب × کودهای زیستی
حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نانوسوپرجاذب؛ F₁, F₂, F₃, F₄: به ترتیب کنترل، کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد، I₁, I₂, I₃: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی متر تبخیر آب از تشتک کلاس A

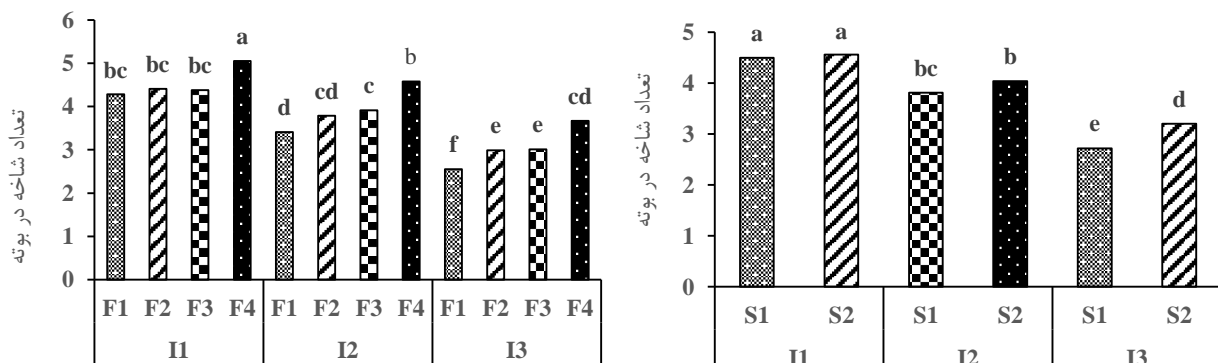
فواصل آبیاری، نانوسوپرجاذب، کودهای زیستی و برهمکنش آبیاری × نانوسوپرجاذب و آبیاری × کودهای زیستی قرار گرفت. تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری از ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ کلزا کاست،

صفات مورفولوژیکی

ارتفاع بوته و تعداد برگ تحت تأثیر سطوح مختلف فواصل آبیاری، تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند، اما تعداد شاخه در بوته تحت تأثیر

کاهش تعداد برگ‌ها باشد (یونسوس و همکاران ۲۰۱۴). کاربرد نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی از طریق تعدیل اثرات تنش و تأثیر بر صفات مختلف فیزیولوژیکی مانند درصد پوشش سبز، محتوای نسبی آب برگ، دمای برگ، شاخص کلروفیل اثرات مثبتی در تقسیم سلولی و در نتیجه بهبود رشد این گیاه و افزایش ارتفاع، تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ دارند. سوپرجاذب‌ها با قرار دادن تدریجی آب و مواد غذایی در اختیار گیاه، ساخت رنگیزه‌های گیاهی را افزایش داده و همین امر منجر به بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش می‌گردد (شکاری و همکاران ۲۰۱۵). کیتوزان به دلیل وجود گروه‌های آمینی (نیتروزنی) به عنوان منبع نیترژن در ترکیب خود بر رشد گیاه اثر دارد (چوی و همکاران ۲۰۱۶). کیتوزان و باکتری‌های محرک رشد ممکن است از طریق افزایش بیوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های رشد به مریستم‌های انتهایی و جانبی منجر به افزایش تحریک این مریستم‌ها و افزایش تولید شاخه‌های فرعی می‌گردد (صیدی و همکاران ۲۰۱۷). کودهای زیستی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های تثبیت‌کننده نیترژن و بهبود متابولیسم نیترژن به عنوان آنزیم کلیدی در رشد گیاه منجر به افزایش ارتفاع، تعداد شاخه و برگ در گیاه می‌گردند (هانگ و همکاران ۲۰۱۸).

به طوری که بیشترین کاهش این صفات مربوط به تنش شدید بود. کاربرد کودهای زیستی و نانوسوپرجاذب به ویژه کاربرد تلفیقی منجر به افزایش ارتفاع بوته و تعداد برگ کلزا تحت تنش متوسط و شدید گردید. کودهای زیستی توانستند این صفات را تحت آبیاری مطلوب نیز بهبود بخشند. نانوسوپرجاذب، تعداد شاخه فرعی را فقط تحت تنش شدید افزایش داد، اما کودهای زیستی به ویژه کیتوزان همراه با باکتری‌های محرک رشد این صفت را تحت تمام سطوح آبیاری بهبود بخشیدند (جدول ۳، جدول ۵ و شکل ۵). تنش خشکی از طریق کاهش درصد پوشش سبز، محتوای نسبی آب برگ (شکل‌های ۱ و ۲) و شاخص کلروفیل (شکل ۴)، افزایش دمای برگ (شکل ۳) سبب افت فتوسنتز و تولید مواد پرورده می‌شود. بنابراین، بسته شدن روزنه‌ها تحت تنش خشکی موجب کاهش جذب دی‌اکسید کربن و در نتیجه افت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی شده و ارتفاع بوته، تعداد برگ (جدول ۴) و تعداد شاخه فرعی (شکل ۵) کاهش می‌یابد. نتایج سیداحمدی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد کاهش منابع ذخیره و تولید مواد فتوسنتزی در اثر تنش خشکی تعداد شاخه فرعی را کاهش داد. کاهش تعداد برگ کلزا تحت شرایط کم‌آبی می‌تواند به علت کاهش ارتفاع بوته (جدول ۴) و تعداد شاخه فرعی (شکل ۵) و تسریع رسیدگی کلزا در شرایط تنش خشکی باشد. کم شدن میزان تولید برگ‌های جدید و افزایش ریزش آن‌ها می‌تواند دلیل دیگر



شکل ۵- تغییرات تعداد شاخه در بوته در واکنش به تیمارهای آبیاری × نانوسوپرجاذب و آبیاری × کودهای زیستی
حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار نانوسوپرجاذب؛ F₁, F₂, F₃, F₄: به ترتیب عدم تلقیح، کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد، I₁, I₂, I₃: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک کلاس A

جدول ۵- میانگین صفات مورفولوژیکی در برگ‌های کلزا تحت تیمارهای مختلف آبیاری، نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی

تعداد برگ	ارتفاع بوته (cm)	کود زیستی	آبیاری	
			نانوسوپرجاذب	کود زیستی
۲۵/۶۱ ^{de}	۴۸/۴۹ ^d	F ₁	S ₁	I ₁
۲۶/۴۲ ^c	۵۴/۸۱ ^{bc}	F ₂		
۲۶/۵۳ ^{bc}	۵۴/۱۰ ^{bc}	F ₃		
۲۷/۱۱ ^{ab}	۵۸/۳۲ ^a	F ₄		
۲۵/۸۱ ^{cd}	۴۸/۹۳ ^d	F ₁	S ₂	I ₂
۲۶/۶۴ ^{bc}	۵۵/۲۱ ^b	F ₂		
۲۶/۵۳ ^{bc}	۵۴/۷۴ ^{bc}	F ₃		
۲۷/۳۹ ^a	۵۹/۲۱ ^a	F ₄		
۲۳/۱۱ ^g	۴۴/۳۷ ^{ef}	F ₁	S ₁	I ₂
۲۴/۳۴ ^{ef}	۵۰/۹۲ ^{cd}	F ₂		
۲۴/۱۳ ^{ef}	۴۹/۳۲ ^d	F ₃		
۲۵/۱۱ ^{de}	۵۴/۹۴ ^{bc}	F ₄		
۲۳/۷۱ ^{fg}	۴۷/۱۲ ^{de}	F ₁	S ₂	I ₂
۲۴/۷۱ ^e	۵۲/۲۴ ^c	F ₂		
۲۴/۶۳ ^e	۵۲/۸۱ ^c	F ₃		
۲۵/۹۹ ^{cd}	۵۷/۴۱ ^{ab}	F ₄		
۱۷/۰۱ ⁿ	۳۶/۲۱ ^h	F ₁	S ₁	I ₃
۱۹/۴۱ ^l	۴۲/۳۲ ^f	F ₂		
۱۹/۵۰ ^{jk}	۴۲/۲۱ ^f	F ₃		
۲۱/۲۲ ⁱ	۴۸/۱۳ ^d	F ₄		
۱۸/۴۲ ^m	۳۹/۱۴ ^g	F ₁	S ₂	I ₃
۲۰/۱۹ ^j	۴۵/۳۴ ^e	F ₂		
۱۹/۹۲ ^{zk}	۴۵/۹۲ ^e	F ₃		
۲۲/۹۴ ^h	۵۲/۲۳ ^c	F ₄		

حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار نانوسوپرجاذب؛ F₁, F₂, F₃, F₄: به ترتیب کنترل، کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد، I₁, I₂, I₃: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی متر تبخیر آب از تشتک کلاس A

عملکرد دانه و اجزای آن

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری، نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی و اثرهای متقابل آن‌ها روی تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود. با توجه به نتایج به دست آمده، کلیه ویژگی‌های عملکردی کلزا تحت تنش آبی کاهش یافتند، به طوری که این کاهش تحت تنش شدید بارزتر بود. تیمار گیاهان با کودهای زیستی سبب افزایش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در بوته در کلزا تحت تمامی سطوح آبیاری شد و از این طریق موجب بهبود عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید. نانوسوپرجاذب فقط تحت تنش شدید خشکی منجر به بهبود تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید

(جدول ۳ و جدول ۶). کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین کلزا (جدول ۶) می‌تواند ارتباط مستقیمی با کاهش ارتفاع و تعداد شاخه فرعی تحت تنش کم‌آبی داشته باشد. تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین به رطوبت کافی، عناصر غذایی و میزان رشد رویشی گیاه وابسته است (بیرون‌آرا و همکاران ۲۰۱۱). در گیاه سویا نیز با افزایش فواصل آبیاری، تعداد خورجین در بوته و تعداد خورجین بارور در انشعابات اصلی روند کاهشی داشته است (سوزا و همکاران ۲۰۱۳). افت شدید عملکرد دانه کلزا تحت شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد که تأمین آب کافی برای انتقال مواد فتوسنتزی کافی به دانه‌ها ضروری است. اغلب کاهش عملکرد در کلزا به اجزای عملکرد نسبت داده می‌شود (تسفاماریام و همکاران ۲۰۱۰). هاتزینگ و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی کلزا تحت تنش خشکی عنوان داشتند

دانه را بهبود بخشید. کاربرد نانوسوپرجاذب موجب افزایش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در مقایسه با شاهد تحت تنش خشکی شد (جدول ۶). در واقع، نانوسوپرجاذب توانسته سهمی از افت عملکرد و اجزای عملکرد کلزا را تحت تنش کم آبی تقلیل دهد. بهبود وضعیت آبی گیاه، حفظ کلروفیل و افزایش فتوسنتز موجب افزایش تولید ماده خشک و در نهایت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در اثر مصرف نانوسوپرجاذب شد (جدول ۶). کاربرد سوپرجاذب منجر به باز ماندن روزنه‌ها، تثبیت مناسب دی‌اکسیدکربن و افزایش تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در گیاه تحت تنش خشکی گردید (کشاورز و همکاران ۲۰۱۲). سوپرجاذب در ذرت از طریق تأمین آب و به‌دنبال آن برخی عناصر غذایی در مرحله بحرانی تشکیل دانه، منجر به کاهش سقط جنین، افزایش دانه‌های بارور (لی و همکاران ۲۰۱۴)، ساخت رنگیزه‌ها و انتقال مواد فتوسنتزی (رفیعی و همکاران ۲۰۱۳) شده است. بیشترین وزن هزاردانه و تعداد دانه در خورجین در کلزا با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌دست آمد (شکاری و همکاران ۲۰۱۵).

اثر کیتوزان در افزایش رشد و عملکرد گیاه را می‌توان به تولید هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلیک اسید، اکسین و افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی متابولیسم نیتروژن از جمله نیترات‌ردوکتاز، گلوتامین‌سنتتاز و پروتئاز، انتقال نیتروژن و شرکت در ساختار آمینواسیدها نسبت داد (گورنیک و همکاران ۲۰۰۸). کاربرد کیتوزان از طریق کاهش سنتز اتیلن و بهبود دوره پر شدن دانه منجر به افزایش تولید محصول تحت تنش خشکی می‌گردد (چودهری و همکاران ۲۰۱۶). لیو و زانگ (۲۰۱۵) نشان دادند که کودهای زیستی با تغییر در فیزیولوژی ریشه از طریق تولید ایندول‌استیک‌اسید و تولید آگروپلی-ساکاریدها جذب آب و مواد غذایی از خاک را تحت تنش افزایش می‌دهند. این باکتری‌ها از طریق بهبود شاخص کلروفیل، کاروتنوئید و سرعت فتوسنتز منجر به بهبود وزن و عملکرد دانه می‌گردد (دانش و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به نقش کلیدی نیتروژن در رشد و نمو گیاه، وجود گروه‌های آمینی در ساختار کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد در تثبیت نیتروژن و انحلال فسفر و حفظ آب و

که افزایش تنش خشکی موجب ریزش خورجین‌ها و کاهش وزن تک دانه در این گیاه شده و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. اجزای عملکرد دانه تحت تنش خشکی بر اثر کمبود آب و عناصر غذایی و یا عملکرد فیزیولوژیکی بخش‌های مختلف گیاه کاهش می‌یابد (پاسبان اسلام و همکاران ۲۰۱۷). در اثر خشکی دسترسی گیاه به نیتروژن و آب کاهش می‌یابد که منجر به کاهش آماس و رشد سلول و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی و دانه می‌گردد (زو و همکاران ۲۰۱۸). تنش خشکی منجر به کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیرطبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه گرده و در نهایت کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود (احمد و همکاران ۲۰۱۵). مراحل گلدهی و تشکیل خورجین‌ها، از حساس‌ترین مراحل نمو کلزا به تنش خشکی می‌باشند که اعمال تنش خشکی در این مراحل، موجب کاهش صفات وابسته به عملکرد به‌ویژه تعداد خورجین‌ها و تعداد دانه‌ها در خورجین می‌گردد (رشیدی و همکاران ۲۰۱۲). کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در شرایط کم آبی را می‌توان به کاهش شاخص کلروفیل (شکل ۴)، محتوای نسبی آب برگ (شکل ۲) و در نتیجه افت فتوسنتز و رشد گیاه نسبت داد. قاسمی‌گلعدانی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که عملکرد دانه کلزا بر اثر تنش خشکی کاهش یافت. آن‌ها دریافتند که دلیل این امر می‌تواند مربوط به کاهش محتوای نسبی آب و کلروفیل برگ‌ها باشد که ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد دانه بر اثر تنش خشکی در ذرت (قاسمی‌گلعدانی و همکاران ۲۰۱۸) نیز گزارش شده است. کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی در اثر کم آبی موجب کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و کوتاه شدن طول دوره مؤثر پر شدن دانه شده و در نتیجه باعث تقلیل وزن صدانه و عملکرد دانه می‌گردد (پاسبان اسلام و همکاران ۲۰۱۷). افزایش تعداد خورجین در بوته با کاربرد نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی (جدول ۶) را می‌توان به بهبود صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نسبت داد. تأمین آب و نیتروژن در مسیر رشد گیاه با باز شدن روزنه‌ها، افزایش شاخص کلروفیل و مواد فتوسنتزی در ارتباط می‌باشد، بنابراین این تیمارها با بهبود صفات فیزیولوژیکی و سایر صفات مرتبط عملکرد

کاربرد کود زیستی مشهودتر بود. بیشترین شاخص برداشت با کاربرد نانوسوپرجاذب + کود زیستی به دست آمد (جدول ۶). بالا بودن عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در ترکیب تیماری مذکور را می‌توان به توازن رابطه‌ی منبع و مخزن فیزیولوژیکی نسبت داد. اندازه مخزن با بیشتر بودن تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در گیاه، افزایش یافت که در نتیجه با توجه به تحریک فعالیت منبع در اثر بیشتر بودن ظرفیت مخزن از یک سو و فراهم بودن آب و عناصر غذایی برای تداوم جریان و دوام فعالیت‌های متابولیکی گیاه از سوی دیگر (والی‌پور و همکاران ۲۰۲۱)، عملکرد دانه و در نتیجه شاخص برداشت افزایش یافت.

عناصر غذایی توسط نانوسوپرجاذب در افزایش عملکرد گیاهان مؤثر خواهد بود. افزایش برداشت نیتروژن و عملکرد دانه در نتیجه کاربرد کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد توسط آگبودجاتو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند. شاخص برداشت تعیین‌کننده میزان عملکرد اقتصادی است (مقصودی و اسلامی ۲۰۱۱). تحت تنش شدید خشکی شاخص برداشت کاهش یافت (جدول ۶). آب نقش مهمی در انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها دارد. از این رو، کمبود آب انتقال مواد به دانه‌ها را کاهش داده و گاه متوقف می‌کند که نتیجه آن کاهش شاخص برداشت خواهد بود (صادقی‌پور ۲۰۰۹). کاربرد نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی عملکرد دانه را نسبت به عملکرد بیولوژیکی بیشتر افزایش داد که این افزایش با

جدول ۶- میانگین عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا تحت تیمارهای مختلف آبیاری، نانوسوپرجاذب و کودهای زیستی

آبیاری	نانوسوپرجاذب	کود	تعداد خورجین	تعداد دانه	عملکرد	عملکرد شاخص
S ₁	I ₁	F ₁	۲۳/۷۵ ^c	۵۸۵/۳۱ ^{cd}	۷۷۰/۰۱ ^c	۱۸۲/۱۵ ^{de}
		F ₂	۳۴/۷۱ ^{bc}	۶۵۰/۵۳ ^{bc}	۸۲۰/۹۹ ^{ab}	۲۵/۴۸ ^{fg}
		F ₃	۳۴/۸۱ ^{abc}	۶۳۹/۹۸ ^{bc}	۸۱۰/۰۱ ^{abc}	۲۵/۴۴ ^g
		F ₄	۲۵/۳۶ ^{ab}	۷۲۷/۲۸ ^a	۸۴۵/۲۲ ^a	۲۷/۳۱ ^a
S ₂	I ₂	F ₁	۳۳/۹۶ ^c	۶۰۷/۵۶ ^c	۷۸۰/۷۱ ^{bc}	۱۹۰/۵۳ ^{cd}
		F ₂	۳۴/۹ ^{ab}	۶۴۹/۵۴ ^{bc}	۸۲۵/۳۱ ^{ab}	۲۵/۵۵ ^{fg}
		F ₃	۳۴/۹۷ ^{ab}	۶۶۴/۲۵ ^b	۸۱۵/۰۲ ^{ab}	۲۶/۱۲ ^{de}
		F ₄	۳۵/۷۳ ^a	۷۳۴/۴۱ ^a	۸۶۵/۱۱ ^a	۲۷/۲۵ ^a
S ₁	I ₂	F ₁	۲۷/۱۳ ^h	۵۰۸/۰۱ ^e	۶۲۰/۰۴ ^{fg}	۱۴۵/۱۱ ^{ef}
		F ₂	۲۹/۵۲ ^{ef}	۵۵۷/۲۴ ^d	۶۶۹/۱۵ ^{ef}	۲۴/۹۸ ^{hi}
		F ₃	۲۹/۶۴ ^{ef}	۵۳۱/۳۵ ^{de}	۶۶۶/۲۴ ^{ef}	۲۳/۶۰ ^{kl}
		F ₄	۳۲/۰۰ ^d	۶۷۸/۱۷ ^b	۷۵۴/۵۱ ^{cd}	۲۶/۸۰ ^{bc}
S ₂	I ₂	F ₁	۲۸/۷۵ ^{fg}	۵۲۵/۵۱ ^{de}	۶۵۰/۱۳ ^f	۱۵۳/۱۹ ^{ef}
		F ₂	۳۰/۷۳ ^e	۶۰۰/۰۳ ^c	۶۹۵/۱۲ ^e	۲۵/۹۱ ^{ef}
		F ₃	۳۰/۸۵ ^{de}	۵۹۹/۷۶ ^c	۶۹۹/۱۱ ^e	۲۵/۵۶ ^{fg}
		F ₄	۳۳/۳۲ ^{cd}	۶۹۴/۷۹ ^{ab}	۷۹۲/۰۰ ^{bc}	۲۷/۰۳ ^b
S ₁	I ₃	F ₁	۲۳/۰۳ ^{mn}	۲۵۹/۴۳ ^k	۴۲۰/۹۹ ^k	۶۸/۱۸ ^j
		F ₂	۲۵/۹۰ ^j	۳۱۶/۸۵ ⁱ	۴۹۹/۱۲ ^{ij}	۱۸/۷۱ ^q
		F ₃	۲۵/۲۲ ^{jk}	۲۹۵/۶۹ ^{ij}	۴۹۰/۱۹ ^{ij}	۱۸/۷۹ ^q
		F ₄	۲۸/۲ ^g	۴۳۰/۹۷ ^g	۶۳۰/۴۱ ^{fg}	۲۲/۰۲ ⁿ
S ₂	I ₃	F ₁	۲۴/۲۳ ^l	۳۰۴/۴۴ ^{ij}	۴۸۰/۹۹ ^{ij}	۸۷/۴۵ ^{hi}
		F ₂	۲۶/۹۲ ^{hi}	۳۵۱/۵۷ ^{hi}	۵۵۹/۵۵ ^h	۱۹/۳۷ ^p
		F ₃	۲۷/۰۰ ^h	۳۵۷/۱۴ ^h	۵۸۲/۲۷ ^{gh}	۱۹/۵۰ ^{op}
		F ₄	۲۹/۸۳ ^{ef}	۴۸۴/۴۹ ^{ef}	۶۷۶/۷۱ ^{ef}	۲۲/۹۱ ^{lm}

حروف متفاوت نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

S₁ و S₂: ۰ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار نانوسوپرجاذب؛ F₄, F₃, F₂, F₁: به ترتیب کنترل، کیتوزان، باکتری‌های محرک رشد و کیتوزان + باکتری‌های محرک رشد، I₁, I₂, I₃: به ترتیب آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک کلاس A

نتیجه‌گیری کلی

دمای برگ این صفات را در تمام سطوح آبیاری بهبود بخشید.

تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه در کلزا و صفات مرتبط با آن‌ها گردید، اما کاربرد تیمارهای کودی به‌ویژه کاربرد تلفیقی آن‌ها با سوپر جاذب با کاهش

سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز به خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Abdallah AM. 2019. The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. *International Soil and Water Conservation Research*, 7: 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.001>
- Afkari A. 2018. Impact of super absorbent polymer on physiological traits and activity of antioxidant enzymes in wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Mihan) affected drought stress conditions. *Journal of Crop Nutrition Science*, 4: 1-14. <http://dx.doi.org/10.61186/flowerjournal.8.1.105>
- Agbodjato NA, Noumavo PA, Adjanohoun A, Agbessi L and Baba-Moussa L. 2016. Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and chitosan on in vitro seeds germination, greenhouse growth, and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.). *Biotechnology Research International*, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2016/7830182>
- Ahmad Z, Waraich EA, Ahmad T, Ahmad R and Awan MI. 2015. Yield responses of maize as influenced by supplemental foliar applied phosphorus under drought stress. *International Journal of Food and Allied Sciences*, 1: 45-55. <http://dx.doi.org/10.21620/ijfaas.2015245-55>
- Ansari FA and Ahmad I. 2019. Alleviating Drought Stress of Crops. Through PGPR: Mechanism. *Microbial Interventions in Agriculture and Environment: 2: Rhizosphere, Microbiome and Agro-ecology*. 341-358. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-8383-0_11
- Arve LE, Torre S, Olsen JE and Tanino K. 2011. Stomatal responses to drought stress and air humidity in a biotic stress in plants mechanisms and adaptations. *Journal of Plant Research*, 119: 267-280. <http://dx.doi.org/10.5772/24661>
- 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 Interactions*, 12: 381-389. <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798>
- Birunara A, Shekari F, Hassanpouraghdam MB, Khorshidi MB and Esfandyari E. 2011. Effects of water deficit stress on yield, yield components and phenology of canola (*Brassica napus* L.) at different growth stages. *The Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9: 506-509.
- Bistgani ZE, Siadat SA, Bakhshandeh A, Pirbalouti AG and Hashemi M. 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *The Crop Journal*, 5: 407-415. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>
- Caser M, Lovisollo C and Scariot V. 2017. The influence of water stress on growth, eco-physiology and ornamental quality of potted *Primula vulgaris* 'Heidy' plants. New insights to increase water use efficiency in plant production. *Plant Growth Regulation*, 83: 361-373. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10725-017-0301-4>
- Cho MH, No HK and Prinyawiwatkul W. 2008. Chitosan treatments affect growth and selected quality of sunflower sprouts. *Journal of Food Science*, 73: 570-577. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00607.x>

- Choi C, Nam JP and Nah JW. 2016. Application of chitosan and chitosan derivatives as biomaterials. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 3: 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2015.10.028>
- Danish S, Zafar-ul-Hye1 M, Fahad Sh, Saud Sh, Brtnicky M, Hammerschmidt T and Datta R. 2020. Drought Stress Alleviation by ACC Deaminase Producing *Achromobacter xylosoxidans* and *Enterobacter cloacae*, with and without Timber Waste Biochar in Maize. *Sustainability*, 12: 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12156286>
- Ghassemi S, Zehtab-Salmasi S, Ghassemi-Golezani K and Alizadeh-Salteh S. 2019. Morphological traits and yield of Ajowan affected by different irrigation intervals and growth regulators. *Advances in Horticultural Science*, 33: 97-104. <https://doi.org/10.13128/ahs-22618>
- Ghassemi-Golezani K and Afkhami N. 2018. Changes in some morpho-physiological traits of safflower in response to water deficit and nano-fertilizers. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 12: 391-398. <https://doi.org/10.15835/nbha36185>
- Ghassemi-Golezani K, Dalil B, Muhammadi-Nasab AD and Zehtab-Salmasi S. 2008. The response of chickpea cultivars to field water deficit. *Notulae Botanicae Horticulturae Agrobotanici*, 36: 25-28. <https://doi.org/10.15835/nbha36185>
- Ghassemi-Golezani K, Ghassemi S and Yaghoobian I. 2016. Salicylic acid regulates physiological performance of milk thistle (*Silybum marianum* L.) under water stress. *Advances in Biological Regulation*, 7: 34-40.
- Ghassemi-Golezani K, Heydari Sh and Dalil B. 2018. Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Acta agriculturae Slovenica*, 111: 25-32. <http://dx.doi.org/10.14720/aas.2018.111.1.03>
- Ghassemi-golezani K, Mabudi-Bilasvar H and Dabbagh-Mohammadi-Nassab A. 2019. Improving rapeseed (*Brassica napus* L.) plant performance by exogenous salicylic acid and putrescine under gradual water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, 12: 1-8. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-019-2986-7>
- Ghassemi-Golezani K, Taifeh-Noori M, Oustan S, Moghaddam M and Seyyed-Rahmani S. 2010. Oil and protein accumulation in soybean grains under salinity stress. *Notulae Scientia Biologicae*, 2: 64-67. <https://doi.org/10.15835/nsb224590>
- Goldani M. 2012. Effect of irrigation intervals on some growth indices ecotypes basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iran Agricultural Research*, 10: 412-420. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i2.16291>
- Gornik K, Grzesik M and Duda BR. 2008. The effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16: 333-343.
- Güneş A, Kitir N, Turan M, Elkoca E, Yildirim E and Avci N. 2016. Evaluation of effects of water-saving superabsorbent polymer on corn (*Zea mays* L.) yield and phosphorus fertilizer efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40: 365-378. <https://doi.org/10.3906/tar-1511-126>
- Hatzig SV, Nuppenau JN, Snowdon RJ and Schießl SV. 2018. Drought stress has transgenerationaleffects on seeds and seedlings in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *BMC Plant Biology*, 18: 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1531-y>
- Huang L, Li M, Zhou K, Sun T, Hu L, Li C and Ma F. 2018. Uptake and metabolism of ammonium and nitrate in response to drought stress in *Malus prunifolia*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 127: 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.031>
- Inanloofar M, Omidi H and Pazoki A. 2013. Morphological, Agronomical Changes and Oil Content in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under Drought Stress and Biological /Chemical Fertilizer of Nitrogen. *Journal of Medicinal Plants*, 4: 170-184. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2013.12.48.17.4>
- Jan K and Boswal MV. 2015. Effect of Bio-fertilizer and Organic fertilizer on physiological characteristics of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Science and Research*, 3: 2073-2090.

- Jones JB. 1991. Kjeldahl method for nitrogen determination. Kjeldahl method for nitrogen determination.
- Keshavarz L, Farahbakhsh H and Golkar P. 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphophysiological traits of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). International Journal of Basic and Applied Sciences, 3: 148-154.
- Khan N, Zandi P, Ali Sh, Mehmood A and Shahid MA. 2020. Impact of salicylic acid and PGPR on the drought tolerance and phytoremediation potential of *Helianthus annuus* L. Frontiers in Microbiology, 2507: 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02507>
- Khordadi-Varamin J, Fanoodi F, Masuod Sinaki J, Rezvan Sh and Damavandi A. 2018. Physiological response of sesame (*Sesamum indicum* L.) to application of chitosan and magnesium-nano fertilizers under irrigation cut-off in a sustainable agriculture system. Iranian Journal of Plant Physiology, 9: 2629-2639.
- Li X, He JZ, Hughes JM, Liu YR and Zheng YM. 2014. Effects of super-absorbent polymers on a soil maize (*Zea mays* L.) system in the field. Applied Soil Ecology, 73: 58-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.005>
- Li Z, Zhang Y, Zhang X, Merewitz E, Peng Y, Ma X, Huang L and Yan Y. 2017. Metabolic pathways regulated by chitosan contributing to drought resistance in white clover. Journal of Proteome Research, 16: 3039-3052. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.7b00334>
- Liu XM and Zhang H. 2015. The effects of bacterial volatile emissions on plant abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science, 6: 1-6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00774>
- Liu Zh, Liu T, Liang L, Li Zh, Hassan MJ, Peng Y and Wang D. 2019. Enhanced photosynthesis, carbohydrates, and energy metabolism associated with chitosan-induced drought tolerance in creeping bent grass. Crop Science, 60: 1064-1076. <http://dx.doi.org/10.1002/csc2.20026>
- Maghsoudi M A and Islami M. 2011. The effect of water stress on remobilization of pre-anthesis stored assimilates to grains in wheat. Journal of plant physiology and breeding, 3: 25-38.
- Mahdavi B, Modarres Sanavy SAM, Aghaalikhani M, Sharifi M and Dolatabadian A. 2011. Chitosan improves osmotic potential tolerance in Safflower seedlings. Crop Improving, 25: 728-741. <http://dx.doi.org/10.1080/15427528.2011.606354>
- Nath M, Bhatt D, Prasad R, Gill SS, Anjum NA and Tuteja N. 2016. Reactive oxygen species generation-scavenging and signaling during plant-arbuscular mycorrhizal and *Piriformospora indica* interaction under stress condition. Frontiers in Plant Science, 7: 1574. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01574>
- Nunes-Nesi A, Fernie AR and Stitt M. 2010. Metabolic and signaling aspects under pinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions. Molecular Plant, 3: 973-996. <https://doi.org/10.1093/mp/ssq049>
- Pasban Eslam B, Monirifar H, Bakhtavari S and Reza A. 2017. Morpho-physiological response of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to drought stress. Crop Breeding Journal, 7: 49-56. <https://doi.org/10.22092/cbj.2018.116331.1019>
- Rafiei F, Nourmohammadi G, Chokan R, Kashani A. and Haidari Sharif Abad H. 2013. Investigation of superabsorbent polymer usage on maize (*Zea mays* L.) under water stress. Global Journal of Medicinal Plants Research, 1: 82-87.
- Rashidi Sh, Shirani-Rad AM, Ayene-Band A, Javidfar F and Lak Sh. 2012. Study of relationship between droughts stresses tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*Brassica napus* L.). Annals of Biological Research, 3: 564-569. <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i3.28963>
- Sadeghipour O. 2009. The influence of water stress on biomass and harvest index in three mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) cultivars. Asian journal of plant sciences, 8: 245-249. <https://doi.org/10.3923/ajps.2009.245.249>

- Safavi Farda N, Heidari Sharif Abada H, Shirani Radb HA, Majidi Heravana E and Daneshian J. 2018. Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. *Industrial Crops and Products*, 114: 87-92. <http://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2020.2205.1552>
- Sawut A, Yimit M, Sun W and Nurulla I. 2014. Photopolymer isation and characterization of maleylated cellulose grafted poly (acrylic acid) superabsorbent polymer. *Carbohydrate Polymer*, 101: 231-239. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.054>
- Saydi Z, Fateh E and Ayneband A. 2017. Effect of Different Sources of Nitrogen and Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of Ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). *Agroecology*, 9: 115-128. <https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.49334>
- Serret MD, Yousfi S, Vicente R, Pinero MC, Otorola-Alcon G, del Amor FM and Araus JL. 2018. Interactive Effects of CO₂ concentration and water regime on stable isotope signatures, nitrogen assimilation and growth in sweet pepper. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02180>
- Seyed-Doraji S, Gholchin A and Ahmadi Sh. 2011. Effects of a superabsorbent polymer and salinity of the water holding capacity in sandy, loamy and clay. *Journal Soil Water*, 24: 306-316. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3247>
- Seyedi Ahmadi A, Bakhshandeh A and Gharineh MH. 2015. Evaluation Physiological Characteristics and Grain Yield Canola Cultivars under end Seasonal Drought Stress in Weather Condition of Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13: 71-80. <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.48318>
- Shahram M, Fazeli Rostampoor F and Ansari MH. 2013. The effect of different levels of superabsorbent on efficiency of the photosynthetic matter the remobilization and portion of remobilization in seed yield of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Annals of Biological Research*, 4: 170-176.
- Shakeel AA, Xiao-yu X, Long-chang W, Muhammad FS, Chen M and Wang L. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 2026-2032. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Sharif R, Mujtaba M, Ur Rahman M, Shalmani A, Ahmad H, Anwar T, Tianchan D and Wang X. 2018. The multifunctional role of chitosan in horticultural crops: a review. *Molecules*, 23: 872-892. <https://doi.org/10.3390/molecules23040872>
- Sharifa S and Muriefah A. 2015. Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) plants grown under water stress conditions *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 2: 81-93. <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.9.23.95>
- Shekari F, Javanmard A and Abbasi A. 2015. Effects of super-absorbent polymer application on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 3: 361-366. <https://doi.org/10.15835/nsb739554>
- Shirinbayan S, Khosravi H and Malakouti MJ. 2019. Alleviation of drought stress in maize (*Zea mays*) by inoculation with *Azotobacter* strains isolated from semi-arid regions. *Applied Soil Ecology*, 133: 138-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.015>
- Souza GM, Catuchi TA, Bertolli SC and Soratto RP. 2013. Soybean under water deficit: physiological and yield responses. A comprehensive survey of international soybean research: genetics, physiology agronomy and nitrogen relationships. *Rijeka: InTech*, 2: 273-298. <http://hdl.handle.net/11449/245361>
- Tahmasebpour B, Sabzi Nojadedeh M and Esmaeilpour M. 2018. Salt stress tolerance of spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *International Journal of Plant Biology and Research*, 6: 1098. <https://doi.org/10.47739/2333-6633/1098>
- Tandon HLS, Cescas MP and Tyner EH. 1968. An Acid-Free Vanadate-Molybdate Reagent for the Determination of Total Phosphorus in Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 32: 48-51. <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200010012x>

- Tesfamariam EH, Annandale JG and Steyn JM. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. *Agronomy Journal*, 102: 658-666. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2008.0043>
- Valipour H, Shafagh-Kolvanagh J, Ghassemi-Golezani K. and Alizadeh-Salteh S. 2021. Improvement of yield-related traits of spring rapeseed in response to nano-superabsorbent and bio-fertilizers under water deficit conditions. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 11: 15-32. <https://doi.org/10.22034/jppb.2021.14414>
- Xu Q, Chen S, Yunjuan R, Chen S and Liesche J. 2018. Regulation of sucrose transporters and phloem loading in response to environmental cues. *Plant Physiology*, 176: 930-945. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01088>
- Yunusa M, Ephraim B, Abdullahi S. 2014. Effects of moisture stress on the growth parameters of soybean genotypes. *Discourse Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2:142-148.
- Zaferanchi Sh, Zehtab-Salmasi S, Salehi-Lisar SY and Sarikhani MR. 2019. Influence of organics and bio-fertilizers on biochemical properties of *Calendula officinalis* L. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6: 125-136. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2019.266831.258>