University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

The Impact of Si and Zn Nanoparticles and Seed Inoculation with *Azospirillum* on the Biochemical Compounds and Remobilization of Triticale under Salinity Stress

Zahra Mohammadzadeh[1]✉ | Raouf Seyed Sharifi[2] | Salim Farzaneh[3]

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: z.mohammadzadeh@student.uma.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of. Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: raouf_ssharifi@uma.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: s.farzaneh@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 4 July 2023
Received in revised form
30 March 2024
Accepted 11 May 2024
Published online 30 September 2024

Keywords:
Anthocyanin
Catalase
Leaf area index
Proline
Zinc nano oxide

ABSTRACT

Objective: Studying the effects of *Azospirillum* and nanoparticles (silicon and zinc) on grain yield and some traits of Triticale under salinity stress was conducted as a factorial experiment with randomized complete block design and three replications at the research greenhouse of the University of Mohaghegh Ardabili in 2022.

Methods: The experimental factors included salinity levels (no salinity as control, salinity of 60 and 120 mM by NaCl), application of *Azospirillum* (no inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillum*), nanoparticles foliar application (foliar application with water as control, foliar spraying 0.8 $g.L^{-1}$ nano zinc oxide, 50 $mg.L^{-1}$ nano silicon, combined foliar application of nano zinc oxide as 0.4 $g.L^{-1}$ and nano silicon as 25 $g.L^{-1}$).

Results: The application of *Azospirillum* and nanoparticles in 120mM salinity increased proline content (37.46 percent), hydrogen peroxide (41.66 percent), malondialdehyde (37.57 percent) and the activity of peroxidase and polyphenol oxidase enzymes (53.86 and 47 percent, respectively) compared with non-saline conditions and lack of *Azospirillum* and nanoparticles application. Application of *Azospirillum* and nanoparticles increased the content of soluble sugar (18.68 percent) and catalase enzyme activity (28 percent) as compared with treatments that did not receive *Azospirillum* application and foliar spraying. Not applying *Azospirillum* and nanoparticles under 120 mM salinity increased dry matter remobilization from aerial organs (54.25 percent) and the contribution of dry matter remobilization from aerial organs (126.14 percent) compared with the application of *Azospirillum* and nanoparticles under non-saline conditions.

Conclusion: It seems that applying *Azospirillum* and nanoparticle foliar application can increase grain yield of triticale under salinity stress due to improved biochemical traits.

Cite this article: Mohammadzadeh, Z., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2024). The Impact of Si and Zn Nanoparticles and Seed Inoculation with Azospirillum on the Biochemical Compounds and Remobilization of Triticale under Salinity Stress. *Journal of Crops Improvement*, 26 (3), 621-644. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.361750.2831

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.361750.2831

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

تأثیر نانوذرات سیلیکون و روی و تلقیح بذر با آزوسپریلیوم بر ترکیبات بیوشیمیایی و انتقال مجدد در تریتیکاله تحت تنش شوری

زهرا محمدزاده[۱] ✉ | رئوف سیدشریفی[۲] | سلیم فرزانه[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: z.mohammadzadeh@student.uma.ac.ir

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: raouf_ssharifi@uma.ac.ir

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.farzaneh@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

کلیدواژه‌ها:

آنتوسیانین

پرولین

شاخص سطح برگ

کاتالاز

نانواکسید روی

چکیده

هدف: مطالعه اثرات آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد دانه و برخی صفات تریتیکاله آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد.

روش پژوهش: فاکتورهای آزمایشی شوری (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار با نمک کلریدسدیم)، کاربرد آزوسپریلیوم (عدم تلقیح به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم) و محلول‌پاشی با نانوذرات (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توأم توأم ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) شامل می‌شدند.

یافته‌ها: کاربرد آزوسپریلیوم و نانوذرات در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار، محتوای پرولین (۳۷/۴۶ درصد)، پراکسید هیدروژن (۴۱/۶۶ درصد)، مالون‌دی‌آلدهید (۳۷/۵۷ درصد) و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز (به‌ترتیب ۵۳/۸۶ و ۴۷ درصد) را نسبت به عدم اعمال شوری و عدم کاربرد آزوسپریلیوم و نانوذرات افزایش داد. کاربرد آزوسپریلیوم و نانوذرات محتوای قندهای محلول (۱۸/۶۸ درصد) و آنزیم کاتالاز (۲۸ درصد) نسبت به عدم کاربرد آزوسپریلیوم و عدم محلول‌پاشی افزایش داد. عدم کاربرد آزوسپریلیوم و عدم محلول‌پاشی نانوذرات در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار، انتقال ماده خشک از اندام هوایی (۵۴/۲۵ درصد) و سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه (۱۲۶/۱۴ درصد) را نسبت به شرایط کاربرد آزوسپریلیوم و نانوذرات در عدم اعمال شوری افزایش داد.

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد کاربرد آزوسپریلیوم و محلول پاشی نانوذرات می‌تواند به‌واسطه بهبود صفات بیوشیمیایی در شرایط شوری، عملکرد تریتیکاله را افزایش دهد.

استناد: محمدزاده، زهرا؛ سیدشریفی، رئوف و فرزانه، سلیم (۱۴۰۳). تأثیر نانوذرات سیلیکون و روی و تلقیح بذر با آزوسپریلیوم بر ترکیبات بیوشیمیایی و انتقال مجدد در تریتیکاله تحت تنش شوری. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۳)، ۶۲۱-۶۴۴ DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.361750.2831

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

تریتیکاله (*X Triticosecale wittmack*) گیاهی از تیره غلات است که از تلاقی گندم و چاودار حاصل شده است. این گیاه از عملکرد بالایی نسبت به گندم و از مقاومت بهتری به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در مقایسه با چاودار برخوردار است (کانتال[1] و همکاران، ۲۰۱۶). شوری تهدیدی بزرگ برای تولید پایدار گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که شدت آن به‌دلیل فعالیت‌های انسانی به‌طور مداوم در حال افزایش است (سلیمان[2] و همکاران، ۲۰۲۱). تنش شوری از مهم‌ترین تنش‌های محیطی مؤثر در کاهش عملکرد تریتیکاله محسوب شده و بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با رشد و نمو را تحت تأثیر قرار می‌دهد (خیری‌زاده‌آروق و همکاران، ۱۳۹۴). شوری با تولید گونه‌های فعال اکسیژن[3] (ROS) تهدیدی برای اندامک‌های سلولی و بیومولکول‌ها از جمله پروتئین‌ها، DNA و آنزیم‌ها است (چاندران[4] و همکاران، ۲۰۲۱) و در غیاب یک مکانیسم محافظتی قوی می‌تواند به ساختار لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه زده و با ایجاد تنش اکسیداتیو به کاهش رشد گیاه منجر شود (حسن زمان[5] و همکاران، ۲۰۱۸). شوری هم‌چنین با برهم‌زدن تخلخل و تهویه خاک، کاهش حرکت آب (حمایدِ[6] و همکارن، ۲۰۱۸)، تغییر تعادل یونی و هورمونی، رشد و فتوسنتز، روابط آبی گیاه، فعالیت‌های آنزیمی، جذب عناصر غذایی و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد (سلیمان[7] و همکاران، ۲۰۲۱). گیاهان به تنش شوری با تجمع اسمولیت‌های سازگار همانند قندهای محلول و پرولین، فعال‌کردن پاسخ‌های مولکولی و بیوشیمیایی در سطح سلولی یا کل گیاه واکنش نشان می‌دهند (حسینی‌فرد[8] و همکاران، ۲۰۲۲؛ موشکات[9] و همکاران، ۲۰۱۹). کاربرد باکتری‌های محرک رشد علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، می‌تواند مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی افزایش داده و نقش کلیدی در حاصلخیزی خاک و بهبود عملکرد ایفا کنند (امیریوسفی و همکاران، ۱۴۰۱؛ آیتلیما[10] و همکاران، ۲۰۱۸). این باکتری‌ها با سازوکارهای مختلف مانند انحلال فسفات‌های معدنی، جذب آهن با ساخت سیدروفور، تعدیل سطح هورمون‌های گیاهی مانند اتیلن (از طریق فعالیت ACC[11] دآمیناز)، موجب بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط شوری می‌شود (فریرا[12] و همکاران، ۲۰۱۹). سیلیکون (Si) پس از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در پوسته زمین است. کاربرد این عنصر گرچه در شرایط تنش مفید است ولی به‌عنوان یک عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاه در نظر گرفته نمی‌شود، سیلیکون اثرات منفی ناشی از تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش شوری، خشکی، فلزات سنگین را از طریق تقویت استحکام دیواره سلولی و تأثیر بر سنتز هورمون‌ها، کاهش داده (لوکس[13] و همکاران، ۲۰۱۷) و با افزایش تحریک و جذب کلسیم، منیزیم و پتاسیم و کاهش انتقال Na^+ و Cl^- به ریشه‌های گیاه (هافمن[14] و همکاران، ۲۰۲۰) ضمن تعدیل اثرات ناشی از شوری در بهبود تعادل آبی، تحریک سیستم آنزیمی و فعال‌نمودن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، افزایش سنتز

1. Cantale
2. Seleiman
3. Reactive oxygen species
4. Chandran
5. Hasanuzzaman
6. Hmaeid
7. Seleiman
8. Hosseinifard
9. Muchate
10. Itelima
11. 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate (ACC) Deaminase
12. Ferreira
13. Luyckx
14. Hoffmann

ترکیب‌های فنلی، تعادل هورمونی، سنتز کلروفیل، افزایش فتوسنتز و تولید زیست‌توده و افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری مؤثر است (احمد[1] و همکاران، ۲۰۱۹؛ کیم[2] و همکاران، ۲۰۱۷). زارع و همکاران (۱۳۹۴) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش با بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول)، محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ ذرت شد. حاجی‌پور و جبارزاده (۱۳۹۶) اظهار داشتند که محلول‌پاشی سیلیکون با بهبود شاخص‌های فتوسنتزی مانند افزایش استحکام برگ‌ها به‌دلیل رسوب آن در لایه اپیدرم و افزایش هدایت روزنه‌ای، موجب افزایش سطح برگ و فتوسنتز شد.

عنصر روی به‌عنوان یکی دیگر از عناصر ریزمغذی مؤثر در بسیاری از فرایندهای متابولیکی گیاه محسوب می‌شود که به‌عنوان کوفاکتور و فعال‌کننده در گروه‌های مختلف آنزیمی شامل اکسیدوردوکتاز، ترانسفراز، هیدرولاز، لیاز، ایزومراز و لیگاز (لاکردا[3] و همکاران، ۲۰۱۸) و در بسیاری از فرایندهای ساختاری و تنظیمی نقش داشته و کاربرد آن می‌تواند عملکرد را افزایش دهد. فارسی و همکاران (۱۳۹۶) اظهار داشتند که کاربرد روی در شرایط تنش با بهبود محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شد. محلول‌پاشی روی احتمالاً از طریق تحریک بیان برخی ژن‌ها که مسئول نسخه‌برداری از آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ترکیبات آلی در گیاهان هستند موجب افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شوند (سانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۵). آنان علت را به ایجاد شرایط بهینه توسط باکتری‌ها و افزایش سهم فتوسنتز جاری به‌واسطه شاخص سطح برگ بالاتر نسبت دادند که موجب می‌شود بخش عمده‌ای از عملکرد دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین‌شده و بخش کم‌تری به انتقال ماده خشک تخصیص یابد.

گسترش روز افزون شوری و تأثیری که نانوذرات و باکتری محرک رشد در کاهش و یا تعدیل بخشی از آثار مخرب ناشی از تنش شوری دارد و از طرفی بررسی‌های محدود انجام‌شده در موررد برهم‌کنش توأم این عوامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد و برخی از صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله در شرایط شوری موردبررسی قرار گیرد.

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی بر روی امکان استفاده از باکتری‌های محرک رشد و کاربرد نانوذرات روی و سیلیکون بر روی گیاهان انجام شده است. فارسی و همکاران (۱۳۹۶) اظهار داشتند که کاربرد روی در شرایط تنش با بهبود محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شد. محلول‌پاشی روی احتمالاً از طریق تحریک بیان برخی ژن‌ها که مسئول نسخه‌برداری از آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ترکیبات آلی در گیاهان هستند موجب افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شوند (سانگ[5] و همکاران، ۲۰۱۵). سیدشریفی و نظرلی (۱۳۹۲) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد، میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و سهم مشارکت ذخایر ساقه در پر شدن دانه را کاهش داد. آنان علت را به ایجاد شرایط بهینه توسط باکتری‌ها و افزایش سهم فتوسنتز جاری به‌واسطه شاخص سطح برگ بالاتر نسبت دادند که موجب می‌شود بخش عمده‌ای از عملکرد دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین‌شده و بخش کم‌تری به انتقال ماده خشک تخصیص یابد. اصغری[6] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی می‌تواند با افزایش

1. Ahmad
2. Kim
3. Lacerda
4. Song
5. Song
6. Asghari

محتوای قندهای محلول و پرولین، باعث افزایش ظرفیت اسمزی شود که این امر می‌تواند منجر به افزایش شیب پتانسیل آب و در نتیجه بهبود جذب آب و رشد گیاه در شرایط تنش شود. خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۷) اظهار داشتند که در شرایط شوری ریزمغذی روی به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تجمع پرولین و قندهای محلول، افزایش محتوای کلروفیل، ضمن تعدیل اثرات ناشی از تنش شوری، موجب حفظ محتوای نسبی آب درون گیاهی و رشد بهتر ریشه و اندام‌های هوایی تریتیکاله شد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. عوامل موردبررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، اعمال شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) با استفاده از نمک کلرید سدیم، کاربرد باکتری محرک رشد در دو سطح (عدم تلقیح بذر با باکتری به‌عنوان شاهد و تلقیح با آزوسپریلیوم) و محلول‌پاشی با نانوذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توأم ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، به‌کمک نرم‌افزار Salt Calc مقدار نمک موردنیاز برای هر یک از سطوح شوری محاسبه و همراه آب آبیاری به هر گلدان اضافه شد. برای حفظ شوری در طول دوره رشد، در زیر هر گلدان زیر گلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، نمک‌های احتمالی واردشده به زیر گلدانی دوباره در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. برای تلقیح بذرها از سویه خالص آزوسپریلیوم لیپوفروم استرین OF که هر گرم آن دارای $۱۰^{۷}$ عدد باکتری زنده و فعال بود به همراه محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر باکتری به بذر استفاده شد. سویه خالص این باکتری از مؤسسه خاک و آب تهیه شد. نانواکسید روی تولید کشور چین بود که از شرکت جهان کیمیای ارومیه تهیه شد. نانوسیلیکون ($Nano\ SiO_2^-$) با اندازه ذرات ۲۰ تا ۳۰ نانومتر محصول شرکت Nanomaterial US Resarch بود که از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان در مشهد تهیه شد. مشخصات نانوذرات در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات نانواکسید روی و نانوسیلیکون

نوع نانوذرات	وزن (گرم)	خلوص (درصد)	میانگین اندازه ذرات (نانومتر)	سطح ویژه ذرات	رنگ
نانواکسید روی	۱۰۰	۹۹	۳۰<	$m^2.g^{-1}$۳۰>	پودری سفید
نانوسیلیکون	۰/۰۵	۹۹	۳۰-۲۰	$m^2.g^{-1}$۳۰>	پودری سفید

برای کاشت از گلدان‌هایی با قطر ۴۲ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری استفاده شد. به هر گلدان ۱۳ کیلوگرم خاک اضافه شد. تاریخ کاشت در شش آذرماه سال ۱۴۰۰ بود. از تریتیکاله رقم "سناباد" با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (معادل ۵۵ عدد بذر در هر گلدان) که تراکم مطلوب و توصیه‌شده برای این رقم است استفاده شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۴–۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. محلول‌پاشی در دو مرحله، چهار تا شش برگی (BBCH 10) و قبل از مرحله چکمه‌ای‌شدن یا آبستنی (BBCH 45) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز رطوبتی گیاه زراعی انجام شد. نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

ویژگی	اسیدیته	بافت	هدایت الکتریکی خاک (دسی زیمنس بر متر)	عصاره اشباع	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	روی	فسفر	پتاسیم
				(درصد)						(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		
میزان	۷/۸	لومی سیلتی	۱/۸	۴۷	۱۹/۵	۴۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰۴	۱/۰۲	۱۷/۳	۲۵۵

اندازه‌گیری روند تغییرات برخی صفات از ۷۱ روز بعد از کاشت (در مرحله ظهور برگ پرچم معادل ۳۸ BBCH) شروع شد. برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ابتدا ۰/۲ گرم نمونه تر برگ پرچم در هاون چینی در مجاورت نیتروژن مایع پودر شد و با یک میلی‌لیتر بافر تریس–کلریدریک ۰/۰۵ مولار با pH، ۷/۵ هموژن گردید. همگنای حاصل را به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ کرده و محلول روشناور برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز مورداستفاده قرار گرفت (کارو[1] و میشرا[2]، ۱۹۷۶؛ سودهاکار[3] و همکاران، ۲۰۰۱).

میزان قندهای محلول به روش دابویس[4] و همکاران (۱۹۵۶)، محتوای پرولین برگ پرچم با استفاده از روش باتز[5] و همکاران (۱۹۷۳) و برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین از روش واگنر[6] (۱۹۷۹) استفاده شد.

برای سنجش پراکسید هیدروژن (H_2O_2) برگ پرچم یک گرم نمونه برگ، خرد کرده درون فالکن‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به آن ۵ میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرواستیک یک درصد اضافه گردید. نمونه هموژنیزه‌شده با سرعت ۹۰۰۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی به میکروتیوپ‌های دو میلی‌لیتری منتقل شده و به آن‌ها ۰/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار (pH، ۷) و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم اضافه گردید. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (الکسیوا[7] و همکاران، ۲۰۰۱).

میزان پراکسیداسیون لیپیدی براساس روش استوارت[8] و بولی[9] (۱۹۸۰) اندازه‌گیری شد. در حدود ۰/۵ گرم از برگ پرچم گندم در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرواستیک‌اسید همگن و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. مقدار دو میلی‌لیتر از محلول روشناور حاصل با چهار میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک‌اسید محتوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک‌اسید مخلوط شد. کمپلکس حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل گردید. نمونه‌ها دوباره ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت گردید. استخراج پروتئین کل از برگ با استفاده از روش برادفورد[10] (۱۹۷۶) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ نمونه‌برداری به روش تخریبی با برداشت دو بوته از هر گلدان با استفاده از رابطه زیر برآورد شد (کریمی[11] و صدیق[12]، ۱۹۹۱).

$$LAI = e^{(a+bt+c^2)}$$ رابطه ۱)

1. Karo
2. Mishra
3. Sudhakar
4. Dubios
5. Bates
6. Wagner
7. Alexieva
8. Stewart
9. Bewley
10. Bradford
11. Karimi
12. Siddique

برای برآورد میزان انتقال دوباره مواد از اندام‌های رویشی گیاه به دانه، از زمان پرشدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری انجام شد. بدین ترتیب که در این مرحله در هر گلدان تعدادی بوته‌هایی مشابه و یکنواخت، از قبل علامت‌گذاری شده و از یک هفته قبل از پرشدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یک‌بار برداشت نمونه انجام گرفت. بوته‌های برداشت‌شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک شدند. پس از خشک‌کردن (قراردادن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت) به اندام‌های مختلف توزین، میزان انتقال ماده خشک، سهم فرایند انتقال دوباره از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه از طریق روابط زیر محاسبه شد (بارنت[1] و پیرس[2]، ۱۹۸۳).

$$DMT = DMA - DMM$$ رابطه ۲)

که در آن، DMT[3] میزان انتقال ماده خشک کل برحسب گرم در بوته، DMA[4] حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM[5] میزان ماده خشک اندام هوایی (به‌جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY}\right) \times ۱۰۰$$ رابطه ۳)

در این رابطه CDMAG[6] سهم فرایند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه برحسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در بوته و GY[7] عملکرد دانه برحسب گرم در بوته می‌باشد.

$$SDMT = SDMM - SDMA$$ رابطه ۴)

در این رابطه، SDMT[8] میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در بوته، SDMA[9] حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، SDMM[10] وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد.

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY}\right) \times ۱۰۰$$ رابطه ۵)

در این رابطه، CSAG[11] سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه برحسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه برحسب گرم در بوته می‌باشد.

$$CP = GY - DMT$$ رابطه ۶)

در این رابطه، CP[12] میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در بوته، GY عملکرد دانه برحسب گرم در بوته و DMT میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در بوته می‌باشد.

$$SSPG = \left(\frac{CP}{GY}\right) \times ۱۰۰$$ رابطه ۷)

در این رابطه، CCPG[13] سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه برحسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه برحسب گرم در بوته می‌باشد. در رابطه‌های (۱) و (۷) وزن اندام هوایی در مرحله رسیدگی (بدون وزن دانه) است. در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که تنفس برای

1. Barnett
2. Pearce
3. Dry Matter Translocation
4. Dry Matter at Anthesis
5. Dry Matter at Maturity
6. Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain
7, Grain Yield
8, Stem Dry Matter Translocation
9. Stem Dry Matter at Anthesis
10. Stem Dry Matter at Maturity
11. Contribution of Stem Assimilates to Grain
12. Current photosynthesis
13. Contribution Current photosynthesis in grain

شرایط محیطی مورداستفاده در این بررسی یکسان است. اهدایی[1] و ونیز[2] (۱۹۹۶) هم در بررسی‌های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال دوباره در گندم، چنین فرضی را به‌کار برده‌اند.

برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۴) و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD[3] مقایسه شدند.

۴. یافته‌های پژوهش

علیخانی و محمودی زرندی (۱۳۹۸) اظهار داشتند که تولید پرولین با تولید قندهای محلول ارتباط دارد، زیرا یکی از مسیرهای تولید پرولین، گلوتامات است و با افزایش تولید قندهای محلول، میزان گلوتامات افزایش می‌یابد و سنتز پرولین تشدید می‌شود. بوربوری[4] و همکاران(۲۰۱۲) اظهار داشتند که محلول‌پاشی روی در شرایط تنش با فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و تبدیل آن به اسیدآمینه پرولین، موجب افزایش محتوای پرولین جو شد. نتایج مشابهی نیز توسط فارسی و همکاران (۱۳۹۶) مبنی بر افزایش میزان قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با کاربرد روی در شرایط تنش گزارش شده است. حاجی‌بلند و همکاران (۱۳۹۵) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون از طریق جذب نیترات بیش‌تر و بهبود آمینواسیدهای آزاد موجب افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول برگ گندم شد که در نهایت پتانسیل اسمزی گیاه را بهبود بخشید. اصغری[5] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی می‌تواند با افزایش محتوای قندهای محلول و پرولین، باعث افزایش ظرفیت اسمزی شود که این امر منجر به افزایش شیب پتانسیل آب و در نتیجه بهبود جذب آب و رشد گیاه در شرایط تنش شود. فارسی و همکاران (۱۳۹۶) اظهار داشتند که کاربرد روی در شرایط تنش با بهبود محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شد. محلول‌پاشی روی احتمالاً از طریق تحریک بیان برخی ژن‌ها که مسئول نسخه‌برداری از آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ترکیبات آلی در گیاهان هستند موجب افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شوند (سانگ[6] و همکاران، ۲۰۱۵). سعادتمند و انتشاری (۱۳۹۱) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون با تقویت مکانیسم‌های مقاومتی از جمله ترشح اسیدهای آلی و هم‌چنین با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌ها موجب افزایش محتوای آنتوسیانین می‌شود. حاجی‌بلند و همکاران (۱۳۹۵) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون از طریق جذب نیترات بیش‌تر و بهبود آمینواسیدهای آزاد و هم‌چنین افزایش محتوای پرولین، قندهای محلول، محتوای آنتوسیانین برگ گندم را افزایش داد. موسی‌پور و اصغری‌پور (۱۳۹۵) اظهار داشتند که محلول‌پاشی سیلیکون تحت شرایط تنش با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز) و بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) و آنتوسیانین، و کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن، موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید رازیانه شد. زراوشان و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند محلول‌پاشی نانوسیلیکون به‌دلیل بهبود میزان فتوسنتز وافزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز، موجب کاهش تولید پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید برگ ذرت شد. بخشی از کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید با محلول‌پاشی سیلیکون را می‌توان به اثر این ماده در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داد. نریمانی و سیدشریفی (۱۳۹۷) گزارش کردند که شوری از طریق افزایش محتوای پراکسیدهیدروژن، موجب افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ گندم شد، اما کاربرد باکتریهای محرک رشد

1. Ehdaei
2. Wanies
3. Least Significant Difference
4. Boorboori
5. Asghari
6. Song

منجر به کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید شد. شربتخواری و همکاران (۱۳۹۳) اظهار داشتند که تنش شوری موجب افزایش میزان انتقال دوباره در گندم شد. ماباگالا[1] و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون می‌تواند به‌طور معنی‌داری تجمع سیلیکون را در اندام‌های ذرت افزایش داده و سبب کاهش انتقال دوباره ماده خشک شود. به‌نظر می‌رسد بخشی از کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرایندها در عملکرد دانه به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به بهبود ساختار ریشه، شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری نسبت داد. در این زمینه خیری‌زاده‌آروق و همکاران (۱۳۹۴) کاهش شاخص سطح برگ در شرایط تنش‌های محیطی را، به کاهش طول دوره رشد، پیری زودرس و ریزش برگ‌ها نسبت داده و اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی و نانواکسیدروی با تعدیل اثر ناشی از تنش و افزایش عرضه عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی، موجب افزایش شاخص سطح برگ تریتیکاله شد. حاجی‌پور و جبارزاده (۱۳۹۶) اظهار داشتند که محلول‌پاشی سیلیکون با بهبود شاخص‌های فتوسنتزی مانند افزایش استحکام برگ‌ها به‌دلیل رسوب آن در لایه اپیدرم و افزایش هدایت روزنه‌ای، موجب افزایش سطح برگ و فتوسنتز شد. ترجو- تلز[2] و همکاران و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که کاربرد سیلیکون با بهبود حجم ریشه و افزایش محتوای کربوهیدرات و اسیدهای آمینه موجب افزایش سطح برگ شد. هم‌چنین سایا[3] و همکاران (۲۰۱۲) اظهار کردند روی با نقشی که در ساخته‌شدن آنزیم‌های مسئول فتوسنتز و سوخت‌وساز دارد موجب بهبود شاخص سطح برگ در گیاه شده است.

۵. نتایج و بحث

۵. ۱. محتوای پرولین و قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری محرک‌رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و شوری بر محتوای پرولین برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای پرولین (۱۰/۲ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط کاربرد باکتری محرک‌رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار به‌دست آمد که از افزایش ۳۷/۴۶ درصدی نسبت به شرایط عدم اعمال شوری و عدم کاربرد باکتری محرک‌رشد و نانوذرات برخوردار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای قندهای محلول در محلول‌پاشی نانوذرات در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار (۹۳/۵۹ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) و کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی نانوذرات (۸۹/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، و کم‌ترین مقادیر این صفت (به‌ترتیب ۷۲/۶۱ و ۷۵/۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط عدم محلول‌پاشی نانوذرات و عدم اعمال شوری و هم‌چنین عدم کاربرد آزوسپریلیوم و عدم محلول‌پاشی نانوذرات مشاهده شد (جدول‌های ۵ و ۶). در شرایط شوری، املاح سازگاری مانند پرولین ضمن حفظ فعالیت‌های آنزیمی (ازتورک[4] و همکاران، ۲۰۱۲) و حذف گونه‌های فعال اکسیژن، از کمپلکس II زنجیره انتقال الکترون میتوکندریایی محافظت کرده (همیلتون[5] و هکاتورن[6]، ۲۰۰۱) و از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان منجر به بهبود فعالیت فتوسنتزی و رشد گیاه، حفظ وضعیت آبی و پایداری ساختار درشت مولکول‌ها در غشا

1. Mabagala
2. Trejo-Tellez
3. Saia
4. Ozturk
5. Hamilton
6. Heckathorn

و افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش می‌شود (بن‌احمد[1] و همکاران، ۲۰۱۰). در این بررسی نیز نتایج نشان داد در همان ترکیبات تیماری که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز بیش‌تر بود در همان ترکیبات تیماری محتوای پرولین نیز حداکثر بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد روی با شرکت در سنتز اکسین از طریق سنتز اسید آمینه تریپتوفان (به‌عنوان پیش‌ماده سنتز هورمون اکسین) و تنظیم نشاسته در سلول، می‌تواند محتوای قند را افزایش دهد (سعید الاهلی[2] و حسین[3]، ۲۰۱۰). هم‌چنین محلول‌پاشی روی در شرایط تنش با فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و تبدیل آن به اسیدآمینه پرولین، موجب افزایش محتوای پرولین جو شد (بوربوری[4] و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج مشابهی نیز توسط فارسی و همکاران (۱۳۹۶) مبنی بر افزایش میزان قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با کاربرد روی در شرایط تنش گزارش شده است. حاجی‌بلند و همکاران (۱۳۹۵) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون از طریق جذب نیترات بیش‌تر و بهبود آمینواسیدهای آزاد، موجب افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول برگ گندم شد که در نهایت پتانسیل اسمزی گیاه را بهبود بخشید. اصغری[5] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی می‌تواند با افزایش محتوای قندهای محلول و پرولین، باعث افزایش ظرفیت اسمزی شود که این امر منجر به افزایش شیب پتانسیل آب و در نتیجه بهبود جذب آب و رشد بهتر گیاه در شرایط تنش شود.

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه تریتیکاله تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		محتوای پرولین	محتوای قندهای محلول	محتوای آنتوسیانین	محتوای پراکسیدهیدروژن	محتوای مالون آلدهید	کاتالاز	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	عملکرد دانه
تکرار	۲	۳۸/۹۶۵**	۱۲۱۹/۴۷**	۰/۱۵۲**	۰/۰۱۲۸**	۰/۰۰۱۶۶**	۳۱۱/۶۶**	۲۱۷/۳۵**	۱۶۳۶/۸۷**	۱/۸۴**
شوری (S)	۲	۸/۶۸۵**	۹۵۲/۵۸**	۰/۰۳۰**	۰/۰۱۲۴**	۰/۰۰۲۶۹**	۴۰۳/۲۶**	۱۳۰۲/۲۴**	۳۶۵/۷۸**	۱/۰۹۹**
آزوسپریلیوم (A)	۱	۲/۴۲۳**	۳۳۶/۹۶**	۰/۰۰۸۳**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۱۹۲**	۲۶۷/۸۸**	۶۳۰/۶۵**	۱۱۹/۰۶۸**	۰/۰۷۲*
نانوذرات (N)	۳	۲/۸۶۵**	۲۲۱/۶**	۰/۰۱۷۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱۳۲**	۱۹۲/۸**	۴۹۴/۷۴**	۱۶۴/۹۴۴**	۰/۵۶**
S×A	۲	۰/۰۵۸۵^{ns}	۷/۱۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۲۸^{ns}	۰/۰۰۰۹*	۰/۰۰۰۵۸**	۴/۳۵^{ns}	۸۷/۹^{ns}	۴/۵۹۶^{ns}	۰/۰۵۱^{ns}
S×N	۶	۰/۹۶۲**	۷۸/۲۳**	۰/۰۰۱۶^{ns}	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۴۸^{ns}	۱۵/۸۶^{ns}	۱۰۴/۴۱**	۲۹/۰۴۴*	۰/۰۳^{ns}
A×N	۳	۰/۱۷۸^{ns}	۸۶/۴۴*	۰/۰۰۵۰**	۰/۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۱۵*	۵۷/۴۱**	۸۵/۸۱**	۱۸/۲۶۸^{ns}	۰/۰۱۵^{ns}
S×A×N	۶	۰/۹۵۱**	۵۰/۴۳^{ns}	۰/۰۰۴۷**	۰/۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۳۱۳**	۱۱/۹۹^{ns}	۸۸/۲۸**	۴۲/۲۲۸**	۰/۰۶**
خطا	۴۶	۰/۲۹۴	۲۷/۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۵۸	۱۰/۴	۲۸/۷۲	۱۲/۹۸۲	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۰۹	۶/۳۳	۵/۹۲	۵/۲۱	۴/۰۹	۶/۰۹	۶/۲	۶	۵/۳۴

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

1. Ben Ahmad
2. Said-Al Ahl
3. Hussein
4. Boorboori
5. Asghari

جدول ٤. مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه تریتیکاله تحت تنش شوری

تیمار	محتوای پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ)	محتوای آنتوسیانین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	محتوای پراکسید هیدوژن (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)	محتوای مالون‌دی‌آلدهید (میکرومول بر گرم وزن تر)	پراکسیداز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	پلی فنل اکسیداز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	عملکرد دانه (گرم در بوته)
$S_1\times A_1\times N_1$	۷/۴۲l	۰/۴۰۵j	۰/۳۳۷e-h	۰/۱۸۵f-k	۶۶/۵۶m	۴۶/۲۲k	۲/۳۳l-o
$S_1\times A_1\times N_2$	۹/۰۴d-h	۰/۵۴۸d-g	۰/۳۱۹g-k	۰/۱۷۴k-n	۷۶/۰۷j-l	۵۸/۹۸e-i	۲/۶۷c-f
$S_1\times A_1\times N_3$	۷/۹۲j-l	۰/۵۴۴d-g	۰/۲۹۰k	۰/۱۷۰mn	۸۴/۳۶f-j	۵۸/۴۷f-j	۲/۷۳a-e
$S_1\times A_1\times N_4$	۸/۵۱g-k	۰/۵۱۸f-i	۰/۳۱۵f-j	۰/۱۸۷f-k	۸۲/۲۵g-k	۵۶/۹۴g-j	۲/۸۹a-c
$S_1\times A_2\times N_1$	۸/۷۳f-j	۰/۵۴۱d-h	۰/۲۹۳jk	۰/۱۸۸e-j	۸۴/۶۸f-j	۵۸/۱۱f-j	۲/۶d-h
$S_1\times A_2\times N_2$	۸/۳۱h-l	۰/۴۸۲i	۰/۳۲۲e-i	۰/۱۸۷e-j	۷۳/۲۱lm	۵۴/۲ij	۲/۷۶a-d
$S_1\times A_2\times N_3$	۷/۸۱kl	۰/۴۹۹g-i	۰/۲۶۴l	۰/۱۸۶f-k	۷۷/۴۱i-l	۵۶/۳۵g-j	۲/۹۱ab
$S_1\times A_2\times N_4$	۹/۱۵c-h	۰/۵۳۲e-i	۰/۳۱۵f-j	۰/۱۵۷o	۸۵/۹۷e-i	۵۹e-i	۲/۹۳a
$S_2\times A_1\times N_1$	۸/۷۸e-j	۰/۵۴۵d-g	۰/۳۶۷ab	۰/۲۰۸a-c	۸۴/۰۴f-j	۵۸/۸۴e-j	۲/۴۴g-l
$S_2\times A_1\times N_2$	۸/۰۴j-l	۰/۵۵۳c-f	۰/۳۵۶a-d	۰/۱۹۴d-g	۷۹/۰۷i-l	۵۲/۹۵j	۲/۳۶i-m
$S_2\times A_1\times N_3$	۸/۴۴g-k	۰/۵۲۸e-i	۰/۳۳۳d-g	۰/۱۸۳g-l	۸۰/۱۷h-l	۵۸/۰۶f-j	۲/۴۵g-l
$S_2\times A_1\times N_4$	۹/۰۴d-i	۰/۵۷۶b-e	۰/۳۰۶h-k	۰/۱۷۶j-n	۹۴/۶۵a-e	۶۳/۷۴a-f	۲/۶۴d-g
$S_2\times A_2\times N_1$	۸/۴۲g-k	۰/۵۴۸d-g	۰/۳۲۳e-i	۰/۱۷۸i-n	۸۵/۷۶f-i	۵۸/۸۴e-i	۲/۱۵n-p
$S_2\times A_2\times N_2$	۸/۸۲e-j	۰/۵۴۸d-g	۰/۳۱۴f-k	۰/۱۷۲l-n	۸۳/۶۶g-j	۶۱/۰۸c-h	۲/۴۸f-k
$S_2\times A_2\times N_3$	۹/۳۲a-g	۰/۵۵۵c-f	۰/۳۰۰i-k	۰/۱۶۹m-o	۸۹/۶۳d-g	۶۱/۶b-g	۲/۵۶d-i
$S_2\times A_2\times N_4$	۹/۶۴a-e	۰/۶۰۳a-c	۰/۲۹۶jk	۰/۱۶۷no	۹۶/۸۴a-d	۶۶/۰۱a-c	۲/۷b-e
$S_3\times A_1\times N_1$	۸/۱۷i-l	۰/۴۹۱hi	۰/۳۷۴a	۰/۲۱۶a	۷۴/۱۵k-m	۵۵/۳۵h-j	۱/۹۹m-p
$S_3\times A_1\times N_2$	۹/۲۵b-g	۰/۵۶۴c-f	۰/۳۶۲a-c	۰/۲۱۲ab	۹۲/۷۲b-f	۶۳/۲۸a-f	۲/۵۱f-k
$S_3\times A_1\times N_3$	۹/۵۷a-f	۰/۵۸b-e	۰/۳۴۶b-e	۰/۲b-e	۸۸/۰۳e-h	۶۴/۴a-e	۲/۲۱m-p
$S_3\times A_1\times N_4$	۱۰/۲a	۰/۶۲۷ab	۰/۳۳۵d-g	۰/۱۹۱d-h	۹۸/۷۲a-c	۶۷/۴۲ab	۲/۴۱h-m
$S_3\times A_2\times N_1$	۹/۱۴c-h	۰/۵۴۵d-g	۰/۳۳۷c-f	۰/۲۰۳b-d	۹۰/۸۶c-g	۵۹/۸۳d-i	۲/۱p
$S_3\times A_2\times N_2$	۹/۷۳a-d	۰/۶۲۰ab	۰/۳۲۸e-h	۰/۱۹۷c-f	۹۹/۹۲ab	۶۶/۷۵a-c	۲/۲۷k-o
$S_3\times A_2\times N_3$	۱۰/۰۶ab	۰/۵۹۳a-d	۰/۳۲۶e-h	۰/۱۸۹e-i	۱۰۲/۴۱a	۶۵/۷۳a-d	۲/۳j-o
$S_3\times A_2\times N_4$	۹/۹۵a-b	۰/۶۳۵a	۰/۳۱۸f-j	۰/۱۸۰h-m	۱۰۱/۴۵ab	۶۷/۹۵a	۲/۵۲e-i
LSD	۰/۹۰۶	۰/۰۵۳۱	۰/۰۲۵۴	۰/۰۱۲۶	۸/۸	۵/۹۲	۰/۲۱۹۵

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر شوری و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر محتوای قندهای محلول تحت شرایط تنش شوری

تیمار	محتوای قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)
$S_1\times N_1$	۷۲/۶۱g
$S_1\times N_2$	۷۷/۸۹d-g
$S_1\times N_3$	۷۳/۷۷Fg
$S_1\times N_4$	۸۰/۳۲d-f
$S_2\times N_1$	۸۴/۴۹b-d
$S_2\times N_2$	۸۰/۲۲d-f
$S_2\times N_3$	۷۷/۳۶e-g
$S_2\times N_4$	۸۷/۹۵a-c
$S_3\times N_1$	۸۱/۱۴c-e
$S_3\times N_2$	۹۰/۲ab
$S_3\times N_3$	۹۰/۰۷ab
$S_3\times N_4$	۹۳/۵۹a
LSD	۷/۰۶۹

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم نانواکسید روی و نانوسیلیکون.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ٦. مقایسه میانگین تأثیر آزوسپریلیوم و نانوذرات بر محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش شوری

تیمار	محتوای قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کاتالاز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)
$A_1 \times N_1$	۷۵/۳۴d	۴۴/۵c
$A_1 \times N_2$	۸۳/۶۶a-c	۵۳/۰۳ab
$A_1 \times N_3$	۷۷/۰۵cd	۵۰/۳۱b
$A_1 \times N_4$	۸۵/۱۶ab	۵۶/۲۶a
$A_2 \times N_1$	۸۳/۴۸a-c	۵۲/۹۲ab
$A_2 \times N_2$	۸۱/۸۷b-d	۵۴/۳۱ab
$A_2 \times N_3$	۸۳/۷۵a-c	۵۵/۲۷a
$A_2 \times N_4$	a۸۹/۴۲	a۵۷/۰۳
LSD	۷/۵۲	۴/۵۷

A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم نانواکسید روی و نانوسیلیکون.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

۵. ۲. محتوای آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و شوری بر محتوای آنتوسیانین برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین (۰/۶۳۵۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد باکتری محرک رشد و محلول‌پاشی توأم نانوذرات تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار به‌دست آمد که از افزایش ۵۶/۷۹ درصدی نسبت به عدم اعمال شوری و عدم کاربرد باکتری محرک‌رشد با نانوذرات برخوردار بود (جدول ۳). در این بررسی در همان ترکیبات تیماری که منجر به افزایش محتوای قندهای محلول گردید، میزان آنتوسیانین نیز بالا بود. فارسی و همکاران (۱۳۹۶) اظهار داشتند که کاربرد روی در شرایط تنش با بهبود محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شد. محلول‌پاشی روی احتمالاً از طریق تحریک بیان برخی ژن‌ها که مسئول نسخه‌برداری از آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ترکیبات آلی در گیاهان هستند موجب افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شوند (سانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۵). سعادتمند و انتشاری (۱۳۹۱) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون با تقویت مکانیسم‌های مقاومتی از جمله ترشح اسیدهای آلی و هم‌چنین با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌ها موجب افزایش محتوای آنتوسیانین می‌شود. حاجی‌بلند و همکاران (۱۳۹۵) اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون از طریق جذب نیترات بیش‌تر و بهبود آمینواسیدهای آزاد و هم‌چنین افزایش محتوای پرولین، قندهای محلول، محتوای آنتوسیانین برگ گندم را افزایش داد.

۵. ۳. محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و تنش شوری بر محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید (به‌ترتیب ۰/۳۷۴ و ۰/۲۱۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد باکتری محرک رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۴۱/۶۶ و ۳۷/۵۷ درصدی در مقایسه با کاربرد باکتری محرک رشد،

1. Song

محلول‌پاشی نانوذرات روی در شرایط عدم اعمال شوری برخوردار بود (جدول ۳). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش میزان مالون‌دی‌آلدهید در گیاهان متاثر از تنش شوری در اثر اکسیداسیون چربی‌های غشا گزارش شده است (اشرف[1]، ۲۰۰۹). بخشی از افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیدهیدروژن را می‌توان به بسته‌شدن روزنه‌های گیاه در مواجهه با شوری به‌منظور حفظ رطوبت موجود و جلوگیری از اتلاف آن نسبت داد که در چنین شرایطی نه‌تنها تبادلات گازی کاهش می‌یابد بلکه تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش می‌یابد (لونا[2]، ۲۰۰۴). در چنین شرایطی افزایش محتوای پراکسیدهیدروژن موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و فعالیت‌های آنزیم‌های مختلف آنتی‌اکسیدان (جدول ۴) تحت شرایط تنش می‌شود (اشرف[3] و همکاران، ۲۰۱۵). ضمن آن‌که تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از این شرایط تنش می‌توانند موجب از بین‌بردن بیومولکول‌ها مثل لیپیدهای غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئوئیک شده و در نهایت منجر به از بین‌رفتن گیاه شود (رسول[4] و همکاران، ۲۰۱۳؛ احمد[5] و همکاران، ۲۰۱۳). موسی‌پور و اصغری‌پور (۱۳۹۵) اظهار داشتند که محلول‌پاشی سیلیکون تحت شرایط تنش با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز) و بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) و آنتوسیانین و کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن، موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید رازیانه شد. بخشی از کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید با محلول‌پاشی سیلیکون را می‌توان به اثر این ماده در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داد. نریمانی و سیدشریفی گزارش کردند که شوری از طریق افزایش محتوای پراکسیدهیدروژن، موجب افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ گندم شد، اما کاربرد باکتری‌های محرک رشد منجر به کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید شد (نریمانی و سیدشریفی، ۱۳۹۷).

۵. ۴. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توأم باکتری محرک‌رشد و نانوذرات بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۷/۰۳ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط کاربرد باکتری محرک رشد و محلول‌پاشی توأم نانوذرات به‌دست آمد که از افزایش ۲۸ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به عدم اعمال باکتری و عدم محلول‌پاشی نانوذرات برخوردار بود (جدول ۶). بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز برگ پرچم (به‌ترتیب ۱۰۲/۴۱ و ۶۷/۹۵ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات در بالاترین سطح از شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) و کم‌ترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز برگ پرچم (به‌ترتیب ۶۶/۵۶ و ۴۶/۲۲ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط عدم اعمال شوری در عدم کاربرد نانوذرات و باکتری محرک رشد به‌دست آمد (جدول ۳). به بیانی دیگر، کاربرد باکتری محرک‌رشد، محلول‌پاشی نانوذرات سیلیکون در شوری ۱۲۰

1. Ashraf
2. Luna
3. Ashraf
4. Rasool
5. Ahmad

میلی‌مولار موجب افزایش به‌ترتیب ۵۳/۸۶ و ۴۷/۰۱ درصدی فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز نسبت به شرایط عدم کاربرد نانوذرات و باکتری محرک رشد در شرایط عدم اعمال شوری شد (جدول ۳). ازآنجایی‌که شوری موجب اختلال در کارکرد دستگاه فتوسنتزی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله رادیکال‌های آزاد سوپراکسید، هیدروکسیل، اکسیژن منفرد و پراکسیدهیدروژن می‌شود (روهمان[1] و همکاران، ۲۰۱۰)، در چنین شرایطی کاربرد نانوذرات و باکتری محرک رشد با بالابردن فعالیت آنزیم کاتالاز در سلول آسیب‌های ایجادشده توسط گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهد (گوپتا[2] و هوانگ[3]، ۲۰۱۴؛ پاریدا[4] و داس[5]، ۲۰۰۵).

هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های مانند کاتالاز و پراکسیداز با کاهش میزان H_2O_2 و تبدیل آن به آب، نقش اساسی در دفع مسمویت گونه‌های فعال اکسیژن (مونس[6] و تستر[7]، ۲۰۰۸) و سم‌زدایی اشکال مختلف اکسیژن فعال تولیدشده در سلول دارند که در هنگام بروز تنش، موجب جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده می‌شوند (میتلر[8]، ۲۰۰۲).

۵. ۵. درصد پروتئین برگ پرچم

برهم‌کنش توأم کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و شوری بر درصد پروتئین برگ پرچم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). بیش‌ترین درصد پروتئین برگ پرچم (۱۲/۱۹ درصد) در کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ۴۷/۹۳ درصدی پروتئین برگ پرچم در مقایسه با عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول۱۰). به‌نظر می‌رسد بخشی از کاهش غلظت پروتئین‌های محلول در شرایط تنش به‌علت افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسید آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط باشد (رنجان[9] و همکاران، ۲۰۰۱؛ باجی[10] و همکاران، ۲۰۰۱) و بخش دیگری از کاهش محتوای پروتئین در گیاه می‌تواند با کاهش فتوسنتز جاری (جدول ۸) و تولیدات مواد فتوسنتزی تحت شرایط تنش شوری مرتبط باشد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهش‌گران گزارش شده است (محمدی کله سرلو و همکاران، ۱۴۰۲).

۵. ۶. انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرایندها در عملکرد دانه

برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری محرک‌رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و شوری بر انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرایندها در عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین انتقال ماده خشک از اندام هوایی و سهم این فرایند در عملکرد دانه (به‌ترتیب ۰/۸۱۶ گرم در بوته و ۴۱/۳۴ درصد) در شرایط عدم کاربرد باکتری محرک‌رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۵۴/۲۵ و ۱۲۶/۱۴ درصدی نسبت به شرایط عدم اعمال شوری و عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات برخوردار بود (جدول ۱۰). هم‌چنین بیش‌ترین انتقال

1. Rohman
2. Gupta
3. Huang
4. Parida
5. Das
6. Munns
7. Tester
8. Mittler
9. Ranjan
10. Bajji

ماده خشک از ساقه و سهم انتقال ماده خشک از ساقه (به‌ترتیب ۰/۶۲۹ گرم در بوته و ۳۱/۶۶ درصد) در شرایط عدم کاربرد باکتری‌محرک رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۵۱/۲ و ۱۲۱/۸۶ نسبت به عدم اعمال شوری و کاربرد باکتری محرک رشد و محلول‌پاشی نانوذرات برخوردار بود (جدول ۱۰). کم‌ترین مقادیر این صفات (به‌ترتیب ۰/۴۱۶ گرم در بوته و ۱۴/۲۷ درصد) در شرایط عدم اعمال شوری و کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات مشاهده شد (جدول ۱۰). بخشی از افزایش انتقال ماده خشک در شرایط عدم کاربرد باکتری محرک‌رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات در بالاترین سطح شوری می‌تواند ناشی از کاهش سطح برگ (جدول ۸) در این ترکیبات تیماری باشد. در چنین شرایطی با کاهش سطح برگ به‌دلیل ایجاد شرایط عدم تعادل بین منبع و مخزن، موجب می‌شود که بخش بیش‌تری از مواد فتوسنتزی به دانه‌ها انتقال یافته و این امر منجر به افزایش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام‌های هوایی می‌شود (لیو[1] و همکاران، ۲۰۱۸). به بیانی دیگر، افزایش انتقال ماده خشک در شرایط شوری، ناشی از افزایش تقاضای دانه‌های تشکیل‌شده به مواد فتوسنتزی و کاهش سهم فتوسنتز جاری (جدول ۱۰) در برآورد نیاز مخازن (دانه‌ها) است. زیرا در شرایط کاربرد نانوذرات و باکتری محرک رشد، چون فتوسنتز جاری (جدول ۱۰) افزایش می‌یابد، درنتیجه تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع می‌تواند در مخزن مورداستفاده قرار گیرد. اما در شرایط تنش، عدم دسترسی به عناصر غذایی ممکن است تعادل منبع و مخزن را به هم بزند، در چنین شرایطی قدرت مخزن بیش‌تر از منبع بوده و به‌دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین منبع و مخزن، منبع میزان انتقال ماده خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورده نماید. کائو[2] و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند تنش شوری موجب کاهش فتوسنتز می‌شود، در چنین شرایطی عملکرد تا حد زیادی به انتقال دوباره مواد فتوسنتزی به دانه بستگی دارد. در این راستا خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۷) اظهار داشتند که در شرایط شوری به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی، چون سهم فتوسنتز جاری به‌واسطه کاهش سطح برگ کاهش می‌یابد درنتیجه بخش بیش‌تری از وزن دانه به‌واسطه انتقال بیش‌تر ماده خشک تأمین می‌شود. اما کاربرد نانوذرات و باکتری محرک رشد با بهبود شاخص سطح برگ (جدول ۸) و فتوسنتز جاری (جدول ۱۰) ضمن تعدیل اثر ناشی از تنش، موجب می‌شود تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع بتواند در مخزن مورداستفاده قرار گرفته و سهم فرایند انتقال دوباره در عملکرد دانه کاهش یابد. شربتخواری و همکاران (۱۳۹۳) اظهار داشتند که تنش شوری موجب افزایش میزان انتقال مجدد در گندم شد. هم‌چنین که کاربرد سیلیکون می‌تواند به‌طور معنی‌داری تجمع سیلیکون را در اندام‌های ذرت افزایش داده و سبب کاهش انتقال مجدد ماده خشک شود (ماباگالا[3] و همکاران، ۲۰۲۰). به‌نظر می‌رسد بخشی از کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرایندها در عملکرد دانه به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به بهبود ساختار ریشه، شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری نسبت داد که در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون با افزایش وزن خشک و حجم ریشه، شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری موجب کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرایندها در عملکرد دانه شد (جدول ۸).

1. Liu
2. Kao
3. Mabagala

۵. ۷. سهم فتوسنتز جاری در عملکرد

نتایج نشان داد که برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری‌محرک‌رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و شوری بر سهم فتوسنتز جاری در عملکرد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین سهم فتوسنتز جاری در عملکرد (۸۱/۷۱ درصد) در شرایط عدم اعمال شوری و کاربرد باکتری‌محرک‌رشد و محلول‌پاشی نانوذرات و کم‌ترین مقدار این صفت (۵۸/۶۵) در شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۱۰). خیری‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) اظهار داشتند که در شرایط تنش شوری به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی، چون سهم فتوسنتز جاری به‌واسطه کاهش سطح برگ (جدول ۸) کاهش می‌یابد در نتیجه بخش بیش‌تری از وزن دانه به‌واسطه انتقال بیش‌تر ماده خشک تأمین می‌شود. ازآنجایی‌که عملکرد دانه حاصل دو فرایند فتوسنتز جاری و انتقال ماده خشک از دیگر قسمت‌های گیاه به سمت دانه است. از این‌رو، در این بررسی به‌نظر می‌رسد در سطوح بالای تنش شوری، به‌دلیل کاهش فتوسنتز جاری (جدول‌های ۹ و ۱۰) و سهم این فرایند در عملکرد دانه (جدول ۸)، افزایش انتقال ماده خشک از دیگر قسمت‌ها به سمت دانه موجب شده است تا سهم فرایند انتقال ماده خشک در عملکرد دانه در شرایط شوری افزایش یافته و از افت بیش‌تر عملکرد دانه جلوگیری شود. این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران مبنی بر این‌که در شرایط تنش کاهش سهم فتوسنتز جاری با افزایش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و سهم این فرایند در عملکرد دانه همراه بود همخوانی دارد (محمدی کله سرلو و همکاران، ۱۴۰۲).

۵. ۸. شاخص سطح برگ

برهم‌کنش توأم هر سه عامل باکتری‌محرک‌رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و شوری بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۰/۹۳۶) در شرایط عدم اعمال شوری و کاربرد باکتری محرک‌رشد و محلول‌پاشی توأم نانوذرات و کم‌ترین ان (۰/۵۹۹) در شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۸). شاخص سطح برگ در شرایط عدم اعمال شوری و کاربرد باکتری محرک‌رشد و محلول‌پاشی توأم نانوذرات از افزایش ۵۶/۲۶ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار بود. در این زمینه خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۴) کاهش شاخص سطح برگ در شرایط تنش‌های محیطی را به کاهش طول دوره رشد، پیری زودرس و ریزش برگ‌ها نسبت داده و اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی و نانواکسیدروی با تعدیل اثر ناشی از تنش و افزایش عرضه عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی، موجب افزایش شاخص سطح برگ تریتیکاله شد. حاجی‌پور و جبارزاده (۱۳۹۶) اظهار داشتند که محلول‌پاشی سیلیکون با بهبود شاخص‌های فتوسنتزی مانند افزایش استحکام برگ‌ها به‌دلیل رسوب آن در لایه اپیدرم و افزایش هدایت روزنه‌ای، موجب افزایش سطح برگ و فتوسنتز شد. ترجو–تلز[1] و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که کاربرد سیلیکون با بهبود حجم ریشه و افزایش محتوای کربوهیدرات و اسیدهای آمینه موجب افزایش سطح برگ شد. هم‌چنین سایا[2] و همکاران (۲۰۱۲) اظهار کردند روی با نقشی که در ساخته‌شدن آنزیم‌های مسئول فتوسنتز و سوخت‌وساز دارد موجب بهبود شاخص سطح برگ در گیاه شده است.

1. Trejo-Tellez
2. Saia

جدول ۷. تجزیه واریانس اثر کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و تنش شوری بر انتقال ماده خشک، فتوسنتز جاری و سهم آن‌ها در عملکرد دانه تریتیکاله

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		انتقال ماده خشک از اندام هوایی	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه	انتقال ماده خشک از ساقه	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه	فتوسنتز جاری	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه	شاخص سطح برگ	درصد پروتئین برگ
تکرار	۲	۰/۰۰۴۴^{ns}	۳۸۳/۱۸**	۰/۱۴۰۸**	۳۴۰/۶۲**	۲/۰۲۵**	۳۸۳/۱۸**	۰/۰۹۸**	۳/۲۴۶**
شوری (S)	۲	۰/۱۲۷۵**	۷۷۹/۷۳**	۰/۰۳۸۶**	۳۶۶/۴۹**	۲/۴۱۹**	۷۷۹/۷۳**	۰/۱۵۶**	۱۱/۴۵۴**
آزوسپریلیوم (A)	۱	۰/۰۱۰۴^{ns}	۱۲۶/۴۴**	۰/۰۰۱۶^{ns}	۵۷/۲۸**	۰/۴۶۹**	۱۲۶/۴۴**	۰/۱**	۹/۲۵۲**
نانوذرات (N)	۳	۰/۰۲۷۱**	۲۷۲/۶۲**	۰/۰۱۹۲**	۱۸۷/۸۹**	۰/۹۵۲**	۲۷۲/۶۲**	۰/۰۷**	۶/۹۹**
S×A	۲	۰/۰۰۶۸^{ns}	۱۳/۵۷^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۱/۹۷۳^{ns}	۰/۰۲۹*	۱۳/۵۷^{ns}	۰/۰۱۲**	۰/۴۳۶۹^{ns}
S×N	۶	۰/۰۲۳۲**	۴۶/۸۹**	۰/۰۰۱۵^{ns}	۶/۸۴**	۰/۰۷۷**	۴۶/۸۹**	۰/۰۰۵^{ns}	۱/۳۴۴**
A×N	۳	۰/۰۰۳۲^{ns}	۱۱/۱^{ns}	۰/۰۱۰۶**	۹/۸۶**	۰/۰۱۱^{ns}	۱۱/۱^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۷۶۹^{ns}
S×A×N	۶	۰/۰۰۸۶*	۲۴/۰۲**	۰/۰۰۸۴**	۱۵/۸۹**	۰/۰۱۵۵^{ns}	۲۴/۰۲**	۰/۰۱۲**	۰/۹۶۹*
خطا	۴۶	۰/۰۰۳۵	۸/۱۸	۰/۰۰۱۶	۲/۳۵	۰/۰۰۷۸	۸/۱۸	۰/۰۰۲۳	۰/۳۶۷
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۴۱	۹/۵۸	۷/۲۸	۶/۵۳	۷/۸	۴/۰۷	۶/۲۳	۵/۹۹

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و تنش شوری بر انتقال ماده خشک، فتوسنتز جاری و سهم آن‌ها در عملکرد دانه تریتیکاله

ترکیب تیماری	انتقال ماده خشک از اندام هوایی (گرم در بوته)	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه (درصد)	انتقال ماده خشک از ساقه (گرم در بوته)	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (درصد)	شاخص سطح برگ	پروتئین برگ (درصد)
$S_1\times A_1\times N_1$	۰/۷۹ab	۳۶/۱۷b-d	۰/۶۰a-c	۲۷/۴۵b-e	۶۳/۸۲i-k	۰/۶۷h-j	۹/۴۶$^{g-j}$
$S_1\times A_1\times N_2$	۰/۶۳f-i	۲۳/۸۸i-k	۰/۴۷e	۱۷/۷۸n-p	۷۶/۱۱b-d	۰/۷۴e-h	۹/۹۳$^{e-i}$
$S_1\times A_1\times N_3$	۰/۶۰f-j	۲۲/۰۳j-l	۰/۴۴e	۱۶/۲۳pq	۷۷/۹۶a-c	۰/۸۸a-c	۱۱/۲۵$^{a-d}$
$S_1\times A_1\times N_4$	۰/۵۹h-j	۲۰/۸j-l	۰/۵۶b-d	۱۹/۶۹l-o	۷۹/۱۹a-c	۰/۹۲ab	۱۱/۹۱^{ab}
$S_1\times A_2\times N_1$	۰/۷۰b-f	۲۷/۷۹g-i	۰/۵۵cd	۲۱/۴۷j-m	۷۲/۲d-f	۰/۸۸a-c	۱۰/۷۸$^{c-e}$
$S_1\times A_2\times N_2$	۰/۶۰g-j	۲۱/۲۶j-l	۰/۵۶a-d	۱۹/۹۶l-n	۷۸/۷۴b-d	۰/۹۱ab	۹/۶۵$^{f-i}$
$S_1\times A_2\times N_3$	۰/۵۵ij	۱۹/۲kl	۰/۵۵b-d	۱۹/۳۸m-o	۸۰/۷۹ab	۰/۹۳ab	۱۱/۶۲^{abc}
$S_1\times A_2\times N_4$	۰/۵۳j	۱۸/۲۸l	۰/۴۱e	۱۴/۲۷q	۸۱/۷۱a	۰/۹۳a	۱۲/۱۹^{a}
$S_2\times A_1\times N_1$	۰/۶۹c-g	۳۳/۸۷b-f	۰/۵۶b-d	۲۷/۲۲c-f	۶۶/۱۲g-k	۰/۷۱g-i	۹/۳۷$^{h-j}$
$S_2\times A_1\times N_2$	۰/۷۹a-c	۳۴/۲۹b-e	۰/۵۸a-d	۲۵/۱۳e-h	۶۵/۷h-k	۰/۷۴e-h	۹/۴۶$^{g-j}$
$S_2\times A_1\times N_3$	۰/۷۸a-d	۳۲/۹۸b-f	۰/۵۶a-d	۲۳/۸۹g-j	۶۷/۰۱g-k	۰/۷۲f-h	۹/۲۷$^{i-k}$
$S_2\times A_1\times N_4$	۰/۶۵e-h	۲۴/۷۵h-j	۰/۵۳d	۲۰/۴۵k-m	۷۵/۲۴d-e	۰/۷۹d-f	۱۰/۴$^{d-g}$
$S_2\times A_2\times N_1$	۰/۸۰ab	۳۷/۲۳ab	۰/۶۲۱ab	۲۸/۷۳bc	۶۲/۷۷kl	۰/۷۰g-i	۹/۵۶$^{g-i}$
$S_2\times A_2\times N_2$	۰/۷۷a-d	۳۱/۹۲d-g	۰/۵۶a-d	۲۳/۱۲h-j	۶۸/۰۷f-i	۰/۸۵b-d	۱۰/۳۱$^{d-h}$
$S_2\times A_2\times N_3$	۰/۷۳a-e	۲۹/۴f-h	۰/۵۵b-d	۲۲/۰۵j-l	۷۰/۵۹e-g	۰/۸۷a-d	۱۰/۵۹^{def}
$S_2\times A_2\times N_4$	۰/۶۲f-j	۲۳/۰۱jk	۰/۴۶e	۱۷/۲۱op	۷۶/۹۸bc	۰/۸۹a-c	۱۱/۱۵^{bcd}
$S_3\times A_1\times N_1$	۰/۸۲a	۴۱/۳۴a	۰/۶۲a	۳۱/۶۶a	۵۸/۶۵l	۰/۵۹۹j	۸/۲۸^{k}
$S_3\times A_1\times N_2$	۰/۶۹c-g	۳۳/۲۳b-f	۰/۶۲ab	۲۹/۸۱ab	۶۶/۷۶g-k	۰/۷۴e-h	۸/۵۲^{jk}
$S_3\times A_1\times N_3$	۰/۸۰ab	۳۶/۹۱a-c	۰/۶۱a-c	۲۸/۰۸b-d	۶۳/۰۸j-l	۰/۶۴ij	۹/۶۵$^{f-i}$
$S_3\times A_1\times N_4$	۰/۷۸a-d	۳۳/۷۵b-f	۰/۵۷a-d	۲۴/۷۱f-i	۶۶/۲۴g-k	۰/۷۶e-g	۹/۵۶$^{g-i}$
$S_3\times A_2\times N_1$	۰/۶۹d-h	۳۲/۳۵c-g	۰/۶۲ab	۲۹/۱bc	۶۷/۶۴f-j	۰/۶۴ij	۱۰/۷۷ ^{cde}
$S_3\times A_2\times N_2$	۰/۷۹a-c	۳۵/۶b-e	۰/۶۰a-d	۲۶/۹c-f	۶۴/۴h-k	۰/۶۸g-i	۹/۲۷$^{i-k}$
$S_3\times A_2\times N_3$	۰/۷۹a-c	۳۴/۹۱b-e	۰/۵۹a-d	۲۵/۹d-g	۶۵/۰۸h-k	۰/۶۹g-i	۹/۶۵$^{f-i}$
$S_3\times A_2\times N_4$	۰/۷۶a-d	۳۱/۲۷e-g	۰/۵۵b-d	۲۲/۵۹i-k	۶۸/۷۲f-h	۰/۸۱c-e	۱۰/۱۲$^{e-i}$
LSD	۰/۰۹۸	۴/۷۰۱	۰/۰۶۷۱	۲/۵۱۹	۴/۷۰۱	۰/۰۸۰۲	۰/۹۹۶۶

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۹. مقایسه میانگین تأثیر شوری و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر فتوسنتز جاری تحت شرایط تنش شوری

تیمار	فتوسنتز جاری (گرم در بوته)
$S_1 \times N_1$	۱/۶۵d
$S_1 \times N_2$	۲/۱۳bc
$S_1 \times N_3$	۲/۲۵ab
$S_1 \times N_4$	۲/۳۳a
$S_2 \times N_1$	۱/۳۷f
$S_2 \times N_2$	۱/۶۱de
$S_2 \times N_3$	۱/۷۱d
$S_2 \times N_4$	۲/۰۲c
$S_3 \times N_1$	۱/۳۲f
$S_3 \times N_2$	۱/۴۴f
$S_3 \times N_3$	۱/۴۶ef
$S_3 \times N_4$	۱/۶۴d
LSD	۰/۱۵۳۲

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توأم نانواکسید روی و نانوسیلیکون.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین تأثیر شوری و آزوسپریلیوم بر فتوسنتز جاری تحت شرایط تنش شوری

تیمار	فتوسنتز جاری (گرم در بوته)
$S_1 \times A_1$	۲/۲۱b
$S_1 \times A_2$	۱/۹۷a
$S_2 \times A_1$	۱/۷۳c
$S_2 \times A_2$	۱/۶۳c
$S_3 \times A_1$	۱/۵۴d
$S_3 \times A_2$	۱/۳۹cd
LSD	۰/۱۹۹۱

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار.
A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

۵. ۹. عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش هر سه عامل موردبررسی بر عملکرد تک‌بوته معنی‌دار شد (جدول ۳). عملکرد دانه در کاربرد آزوسپریلیوم، محلول‌پاشی توأم نانواکسید روی و سیلیکون در بالاترین سطح از شوری از افزایش ۲۶/۶ درصدی نسبت به عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت همین سطح از شوری برخوردار بود (جدول ۴). بخشی از افزایش عملکرد دانه در بالاترین سطح از شوری در شرایط کاربرد نانوذرات و باکتری محرک رشد می‌تواند با اثر تیمارهای آزمایشی بر افزایش اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بهبود فتوسنتز جای و افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۸) مرتبط باشد (جدول ۴) که ضمن کمک به افزایش پایداری غشاهای سلولی و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیدهیدروژن (جدول ۴)، صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش داده و به بهبود عملکرد کمک کرده است. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهش‌گران مبنی بر بهبود

عملکرد در شرایط شوری با کاربرد روی به افزایش محتوای قندهای محلول (فارسی و همکاران، ۱۳۹۶) و پرولین (بوربوری[1] و همکاران، ۲۰۱۲) و کمک به تنظیم اسمزی و جذب بهتر آب از گیاه تحت چنین شرایطی نسبت داده شده است. هم‌چنین محلول‌پاشی روی با تنظیم اسمزی از طریق بهبود اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) و هم‌چنین تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند با حفظ و افزایش پایداری غشاهای سلولی و توان فتوسنتزی (افزایش ظرفیت فتوسنتزی و بهبود دوام سطح برگ)، صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش و موجب افزایش عملکرد دانه لوبیا قرمز شود (سعیدی ابواسحقی و همکاران،۱۳۹۳).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد که بالاترین سطح شوری در حالت عدم کاربرد باکتری محرک رشد و عدم محلول‌پاشی نانوذرات موجب افزایش انتقال ماده خشک از اندام هوایی، سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه، انتقال ماده خشک از ساقه، سهم انتقال ماده خشک از ساقه و عملکرد دانه نسبت به شرایط کاربرد باکتری محرک‌رشد و محلول‌پاشی نانوذرات در عدم اعمال شوری شد. کاربرد آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی توأم نانوذرات در شرایط شوری با افزایش محتوای پرولین، آنتوسیانین، پراکسیدهیدروژن، مالون‌دی‌آلدهید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت به شرایط عدم کاربرد آزوسپریلیوم و عدم محلول‌پاشی نانوذرات تحت چنین شرایطی، منجر به بهبود عملکرد تریتیکاله شد. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوذرات و کاربرد آزوسپریلیوم می‌تواند در بهبود عملکرد، درصد پروتئین برگ پرچم و سهم فتوسنتز جاری و شاخص سطح برگ حتی در شرایط شوری مؤثر واقع شود. لذا پیشنهاد می‌شود ضمن ارزیابی این آزمایش با دیگر ارقام تریتیکاله، اثر تعدیل‌کننده‌های تنش شوری با کودهای آلی همانند ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی مانند قارچ‌های میکوریزا موردارزیابی قرار گرفته و در نهایت نسبت به ارزیابی تأثیر این عوامل بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نیز اقدام شود.

۷. تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد. بدین‌وسیله از اساتید محترم و کارکنان آزمایشگاه زراعت دانشگاه محقق اردبیلی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

امیریوسفی، مهدی، تدین، محمودرضا و حسینی‌فرد، مرجان سادات (۱۴۰۱). تأثیر کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره بر برخی صفات جوانه‌زنی بذر دو رقم کینوا تحت تنش شوری. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۸(۲۴)، ۷۹-۹۴. doi: 10.22052/deej.2018.7.24.49

حاجی پور، هادی و جبارزاده، زهره (۱۳۹۶). واکنش های رشد و فتوسنتزی داوودی به محلول‌پاشی سیلیکات‌سدیم و کلسیم. *مجله فرایند و کارکرد گیاهی*، ۶ (۱۹)، ۱۳۸-۱۲۹.

حاجی‌بلند، رقیه؛ چراغواره، لیلا و دشتبانی، فرشته (۱۳۹۵). اثر کاربرد سیلیکون بر گندم تحت تنش شوری. *مجله فرایند و عملکرد گیاه*، ۵(۱۸)، ۱-۱۲.

1. Boorboori

خیری‌زاده آروق، یونس؛ سید شریفی، رئوف و خلیل‌زاده، راضیه (۱۳۹۷). بررسی کاربرد کود بیولوژیک و نانواکسیدروی بر انتقال مجدد و شاخص سطح برگ تریتیکاله (*X Triticosecale wittmack*) در شرایط شوری خاک. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۱(۴)، ۱۰۰۴-۹۹۳.

خیری‌زاده آروق، یونس؛ سید شریفی، رئوف؛ صدقی، محمد و برمکی، مرتضی (۱۳۹۴). اثر کودهای زیستی و نانواکسیدروی بر فرایند انتقال مجدد و برخی شاخص‌های رشد تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی. *مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۷(۲۶)،۳۷-۵۵.

زارع، حمیدرضا؛ قنبرزاده، زهره؛ بهداد، آسیه و محسن‌زاده، ساسان (۱۳۹۴). اثر سیلیکون و نانوسیلیکون در کاهش صدمات ناشی از تنش شوری بر گیاهچه ذرت. *مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۲۶(۷)، ۵۹-۷۴.

زراوشان، محبوبه؛ عبدل‌زاده، احمد؛ صادقی‌پور، حمیدرضا و مهربان جوبانی، پویان (۱۳۹۹). مقایسه اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی از صفات بیوشیمیایی و فتوسنتزی در گیاه (*Zea mays* L.) تحت تنش شوری. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۵(۵۷)، ۲۳-۳۸.

سعادتمند، مهشید و انتشاری، شکوفه (۱۳۹۱). اثر طول زمان پیش‌تیمار با سیلیکون بر تحمل شوری در گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fish &C.A. mey). *مجله علم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۳(۴)، ۴۵-۵۷.

سعیدی ابواسحقی، روح الله؛ یدوی، علیرضا؛ موحدی دهنوی، محسن و بلوچی، حمیدرضا (۱۳۹۳). اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لوبیا قرمز (*Phaseolous vulgaris* L.). *مجله فرایند و کارکرد گیاهی*، ۳(۷)، ۲۷-۴۲.

سیدشریفی، رئوف و نظرلی، حمید (۱۳۹۲). تأثیر پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد PGPR بر عملکرد دانه، کارایی مصرف کود و انتقال ماده مجدد ماده خشک آفتابگردان در سطوح مختلف کود نیتروژنه. *مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳(۲۳)، ۲۷-۴۵.

شربتخواری، ماهرخ؛ گالشی، سراله؛ سادات شبر، زهرا؛ سلطانی، افشین و ناخدا، بابک (۱۳۹۳). بررسی صفات فیزیولوژیکی مرتبط با انتقال مجدد ذخایر ساقه تحت شوری انتهلی فصل در گندم. *مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی*، ۷(۱)، ۲۵- ۴۴.

علیخانی، سجاده و محمودی زرندی، مهرناز (۱۳۹۸). اثر مایه‌زنی توأم با اندومیکوریز و باکتری‌های ریزوبیوم ملیلوتی و سودوموناس آئروژینوزا ملیلوتی بر گیاه یونجه (*Medicago sativa*) در شرایط تنش آبی. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۲(۱)، ۱۵۵-۱۶۶.

فارسی، مرضیه؛ عبداللهی، فرزین؛ صالحی، امین و قاسمی، شیوا (۱۳۹۶). مطالعه خصوصیات فیزیولوژیک گیاه دارویی مرزنجوش یک ساله (*Origanum majorana*) در پاسخ به عنصر روی در شرایط تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۰(۴)، ۵۵۹-۵۷۰.

محمدی کله سرلو، سارا؛ سیدشریفی، رئوف؛ نریمانی، حامد و نظری، ژیلا (۱۴۰۲). تأثیر فلاوباکتریوم، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید بر فتوسنتز جاری، انتقال ماده خشک و سهم آن‌ها در عملکرد دانه تریتیکاله (*Triticosecale wittma* L.) تحت شرایط تنش شوری. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۶۹(۱۸)، ۲۶-۴۳.

موسی‌پور یحیی آبادی، حسن و اصغری پور، محمدرضا (۱۳۹۵). اثرات تنش خشکی و برهم‌کنش آن با سیلیکون بر تحریک سامانه آنتی‌اکسیدانی و میزان پراکسیداسیون لیپیدی در رازیانه (*Foeniculum vulgar*). *فرایند و عملکرد گیاه*، ۵(۱۶)، ۷۱-۸۴.

نریمانی، حامد و سید شریفی، رئوف (۱۳۹۷). تأثیر کاربرد خاک و محلول‌پاشی روی بر مؤلفه‌های پرشدن دانه، عملکرد دانه و برخی از صفات بیوشیمیایی گندم تحت تنش شوری. سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست. دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

نظری، ژیلا؛ سید شریفی، رئوف و نریمانی، حامد (۱۴۰۰). اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فتوسنتز جاری و انتقال ماده خشک تریتیکاله. *مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۳(۵۱)، ۲۴-۵.

References

Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alam, P., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ali, S. (2019). Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean (*Vigna radiata* L.) through the modifications of physio-biochemica attributes and key antioxidant enzymes. *Journal of Plant Growth Regulation*, *38*, 70-82.

Ahmad, P., Ashraf, M., Azooz, M. M., Rasool, S., & Akram, N. A. (2013). Potassium starvation-induced oxidative stress and antioxidant defense responses in *Brassica juncea*. *Journal of Plant Interactions*, *9*, 1-9.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *24*(12), 1337-1344.

Alikhani, S., & Mahmoudi Zarandi, M. (2019). Effect of coinoculation with endomycorrhiza, Pseudomonas aeroginosa and Rhizobium meliloti on Medicago sativa under water stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology*), *32*(1), 155-166. (In Persian).

Amiryousefi, M., Tadayon, M. R., & Hoseinifard, M. S. (2022). Effect of Nitrogen and Phosphorus Bio Fertilizers on Some Seed Germination Traits of Two Cultivars of Quinoa under Salinity Stress. *Desert Ecosystem Engineering*, 8(24), 79-94. doi: 10.22052/deej.2018.7.24.49. (In Persian).

Asghari, B., Khademian, R., & Sedaghati, B. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) under water shortage condition. *Scientia Horticulturae*, *263*, 109-132.

Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, *27*, 84-93.

Ashraf, M. A., Rasheed, R., Hussain, I., Iqbal, M., Haider, M. Z., Parveen, S., & Sajid, M. A. (2015). Hydrogen peroxide modulates antioxidant system and nutrient relation in maize (*Zea mays* L.) under water-deficit conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *61*(4), 521-530. DOI:10.1080/03650340.2014.938644.

Bajji, M., Lutts, S., & Kinet, J. M. (2001). Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, *160*, 669-681.

Barnett, K. H., & Pearce, P. B. (1983). Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science*, *23*, 101-109.

Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhriss, M., & Ben Abdullah, F. (2010). Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*, 4216-4222.

Boorboori, M. R., EradatmandAsli, D., & Tehrani, M. (2012). The Effect of dose and different methods of iron, zinc, manganese and copper application on yield components, morphological traits and grain protein percentage of barley plant (*Hordeum vulgare* L.) in greenhouse conditions. *Journal of Advances in Environmental Biology*, *6*(2), 740746.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254.

Cantale, C., Petrazzuolo, F., Correnti, A., Farneti, A., Felici, F., Latini, A., & Galeffi, P. (2016). *Triticale* for Bioenergy Production. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *8*, 609-616.

Chandran, H., Meena, M., & Swapnil, P. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture. *Sustainability*, *13*, 10986.

Ehdaei, B., Alloush, G. A., Madore M. A., & Waines, J. G. (2006). Genotype variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water soluble carbohydrates. *Crop Science*, *46*(5), 2093-2103.

Farsi, M., Abdullahi, F., Salehi, A., & Ghasemi, S. (2017). Study of physiological characteristics of marjoram (*Origanum majorana*), as a medicinal plant in response to zinc levels under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*(4), 559-570. (In Persian).

Ferreira, C. M., Soares, H. M., & Soares, E. V. (2019). Promising bacterial genera for agricultural practices: An insight on plant growth-promoting properties and microbial safety aspects. *Science Total Environment*, *682*, 779-799.

Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014, 701596. http://dx.doi.org/10.1155/2014/701596.

Haji-Bland, R., Chiragvareh, L., & Dashtbani, F. (2016). Effect of silicon supplementation on wheat plants under salt stress.*Journal of Plant Process and Performance*, 5(18), 1-12. (In Persian)

Hajipour, H., & Jabarzadeh, Z. (2018). Growth and photosynthetic responses of chrysanthemum to foliar application of sodium and calcium silicate. *Journal of plant process and function*, *6*(19), 138-129. (In Persian).

Hamilton, E. W., & Heckathorn, S. A. (2001). Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by antioxidants and small heat shock proteins, whereas complex ii is protected by proline and betaine. *Plant Physiology*, *126*, 1266-1274.

Hasanuzzaman, M., Oku, H., Nahar, K., Bhuyan, M. H., Mahmud, J. A., Balusk, F., & Fujita, M. (2018). Nitric oxide -induced salt stress tolerance in plants: ROS metabolism, signaling, and molecular interactions. *Biotechnology Reports*, *12*, 77 -92.

Hmaeid, N., Wali, M., Mahmoud, O. M., Pueyo, J. J., Ghnaya, T., & Abdelly,C. (2018). Efficient rhizobacteria promote growth and alleviate NaCl-induced stress in the plant species Sulla carnosa. *Applied Soil Ecology*, *133*, 104-113.

Hoffmann, J., Berni, R., Hausman, J. F., & Guerriero, G. (2020). A review on the beneficial role of silicon against salinity in non-accumulator crops tomato as a model. *Biomolecules*, *10*, 1284.

Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(9), 5186.

Itelima, J. U., Bang, W. J., Onyimba, I. A., Sila, M. D., & Egbere, O. J. (2018). Biofertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: (A Review). *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, *6*(3), 73-83.

Kao, W. Y., Tsai, T., Tsai, H., & Shih, C. N. (2006). Response of three glycine species to salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, *56*, 120-125.

Karimi, M. M., & Siddique, H. M. (1991). Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, *42*, 13-20.

Khairizadeh Arouq, Y., Seyed Sharifi, R., & Khalilzadeh, R. (2018). Study of biofertilizers and nano zinc oxide application on remobilization and leaf area index of triticale (*Triticosecale* Witt.) under soil salinity. *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *11*(4), 1004-993. (In Persian).

Khairizadeh Arouq, Y., SeyedSharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2015). Effect of biofertilizers and nano zinc oxide on retransplantation process and some growth indicators of triticale under water limitation conditions. *Scientific Research Journal of Crop Physiology*, *7*(26), 37-55. (In Persian).

Kim, Y. H., Khan, A. L., Waqas, M., & Lee, I. J. (2017). Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review. *Frontier in Plant Science*, *8*, 510.516.

Lacerda, J. S., Martinez, H. E., Pedrosa, A. W., Clemente, J. M., Santos, R. H., Oliveira, G. L., & Jifon, J. L. (2018). Importance of zinc for arabica coffee and its effects on the chemical composition of raw grain and beverage quality. *Crop Sciences*, *58*, 1360-1370.

Liu, Q., Liu, R., Ma, Y., & Song, J. (2018). Physiological and molecular evidence for Na^+ and Cl^- exclusion in the roots of two Suaeda salsa populations. *Aquatic Botany*, *146*, 1-7.

Luna, C. M., Pastori, G. M., Driscoll, S., Groten, K., Bernard, S., & Foyer, C. H. (2004). Drought controls on H_2O_2 accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. *Journal of Experimental Botany*, *56*, 417-423.

Luyckx, M., Hausman, J. F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2017). Silicon and plants: Current knowledge and technological perspectives. *Frontiers in Plant Sciences*, *8*, 411-418.

Mabagala, F.S., Geng, Y., Cao, G., Wang, L., Wang, M., & Zhang, M. (2020). Silicon accumulation, partitioning and remobilization in spring maize (*Zea mays* L.) under silicon supply with straw return in Northeast China. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(10), 1498-1514.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Science*, *7*(9), 405-410.

Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Narimani, H., & Nazari, Z. (2023). Effect of Flavobacterim, vermicompost and humic acid on current photosynthesis, dry matter remobilization and their contribution in grain yield of triticale under salinity stress conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *69*(1), 26-43. (In Persian).

Mosapour Yahyaabadi, H., & Asgharipour, M. R. (2016). Effects of drought stress and its interaction with silicon on stimulates the antioxidant system and lipid peroxidation in Fennel (*Foeniculum vulgar*). *Plant process and function*, *5*(16), 71-84.

Muchate, N. S., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P., & Nikam, T. D. (2019). NaCl induced salt adaptive changes and enhanced accumulation of 20 -hydroxyecdysone in the in vitro shoot cultures of *Spinacia oleracea* L. *Scientific Reports*, *9*, 1-10.

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*(1), 651-681.

Narimani, H., & Seyed Sharifi, R. (2018, October). Effect of Soil application and Zinc Solubility on grain filling, grain yield and some biochemical traits of wheat under Salinity Stress. *The 13th National Conference of Iran's Watershed Science and Engineering and the 3rd National Conference on Protection of Natural Resources and Environment*. Mohaghegh Ardabili University, Iran. (In Persian).

Nazari, Zh., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2021). Effect of bio fertilizers, nano silicon and water limitation on current photosynthesis and dry matter transfer of Triticale. *Crop Physiology Journal*, *13*(51), 5-24.(In Persian).

Ozturk, L., Demir, Y., Unlukara, A., Karatas, I., Kurunc, A., & Duzdemir, O. (2012). Effects of long-term salt stress on antioxidant system, chlorophyll and proline contents in pea leaves. *Romanian Biotechnology Lettrer, 17*(3), 7227-7236.

Parida, A.K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *60*, 324-349.

Ranjan, R., Bohra, S. P., & Jeet, A. M. (2001). *Book of Plant Senescence*. New York: Jodhpur Agrobios.

Rasool, S., Ahmad,A. T., Siddiqi, O., & Ahmad, P. (2013). Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *35*, 1039-1050.

Rohman, A., Riyanto, S., Yuniarti, N., Saputra, W. R., Utami, R., & Mulatsih, W. (2010). Antioxidant activity, total phenolic, and total flavaonoid of extracts and fractions of red fruit (*Pandanus conoideus* Lam). *International Food Research Journal*, *17*, 97-106.

Saadatmand, M., & Atahi, Sh. (2013). The effect of pretreatment time with silicon on salinity tolerance in Iranian borage (*Echium amoenum* Fish & C.A. mey). Journal of Science and Technology of Greenhouse Crops, *3*(4), 45-57. (In Persian).

Saia, S., Ruisi, P., García-Garrido, J. M., Benítez, E., Amato, G., & Giambalvo, D. (2012). *Can arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant nitrogen capture from organic matter added to soil?* 17th Nitrogen Workshop. Wexford, Ireland.

Said-Al Ahl, H. A. H., & Hussein M. S. (2010). Effect of drought stress and potassium humate on the productivity of oregano plant using saline and fresh water irrigation. *Ozean Journal of Applied Sciences, 3*(1), 125-141.

Saidi Abu Eshaghi, R., Yadavi, A., Mohadi Dehnavi, M., & Balochi, H. (2014). Effect of irrigation intervals and foliar application of iron and zinc on some physiological and morphological characteristics of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). *Journal of Plant Process and Function*, *3*(7), 27-42. (In Persian).

Seleiman, M., Aslam, F., Alhammad, M. T., Hassan, B. A., Maqbool, M. U., Chattha, R., Khan, M. U., Gitari, I., Uslu, O. S., Roy, R., & Battaglia, M. L. (2021). Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, *91*(4), 667-694. https://doi.org/10.32604/phyton.2022.017365.

Seyed Sharifi, R., & Nazarli, H. (2012). Effects of Seed Priming with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Grain Yield, Fertilizer Use Efficiency and Dry Matter Remobilization of Sunflower (*Helianthus annus* L.) with Various Levels of Nitrogen Fertilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 3*(23), 27-45. (In Persian).

Sharbatkhahari, M., Galshi, S., Sadat Shabbar, Z., Soltani A., & Nakhda, B. (2014). Study on agro-physiological traits related to stem reserve remobilization under terminal salinity in wheat. *Electronic journal of crop production, 7*(1), 25-44. (In Persian).

Song, C. Z., Liu, M. Y., Meng, J. F., Chi, M., Xi, Z. M., & Zhang, Z. W. (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of Vitis vinifera cv, Merlot growing on zinc deficient soil. *Molecules*, *20*(2), 2536-2554.

Sudhakar, C, Lakshmi, A., & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme ecacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl Salinity, *Plant Sciences, 161*, 613-619.

Trejo-Téllez, L. I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H. F., Ramírez-Olvera, S. M., Bello-Bello, J. J., & Gómez-Merino, F. C. (2020). Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. *Peer Journal*, *8*(e9224), 1-28.

Yahyaabadi, H., & Asgharipour, M.R. (2016). Effects of drought stress and its interaction with silicon on stimulates the antioxidant system and lipid peroxidation in fennel (*Foeniculum vulgar*). *Plant Process and Function*, *5*(16), 71-84. (In Persian).

Zaravshan, M., Abdulzadeh, A., Sadeghipour, H. R., & Mehraban Jobani, P. (2020). Comparing the effect of silicon and nanosilicon on some biochemical and photosynthetic traits in plants (*Zea mays* L.) under salt stress. *Plant Environmental Physiology*, *15*(57), 23-38. (In Persian).

Zare, H.R., Qanbarzadeh, Z., Behdad, A., & Mohsenzadeh, S. (2016). Effect of silicon and nanosilicon on reduction of damage caused by salt stress in maize (*Zea mays*) seedlings .*Iranian Journal of Plant Biology*, *26*(7), 59-74. (In Persian).