Applied Biology, Volume 11, Issue 44, 2022

Research Article

Improvement of leaf area index and leaf chlorophyll concentration (SPAD) soybean by Fe, Zn and Mn nano-chelates foliar application under limited irrigation conditions[1]

Mohammad Saeed Vaghar | Assistant Professor, Department of Agriculture, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. ms.vaghar@yahoo.com

Abstract

Objectives: Maintaining the balance of nutrients leads to increase yield so the essential elements should be available enough in the process of plant nutrition. This experiment was performed by foliar application of iron, zinc, and manganese nano-clates under limited irrigation conditions to improving leaf area index and leaf chlorophyll concentration.

Methods: The two years experiment was conducted (2016-2017). The main plot included four levels of irrigation: full irrigation, irrigation withhold at flowering stage, podding stage, and grain filling period. The subplot included eight levels of foliar application with Fe, Zn, Mn, Fe+Zn, Fe+Mn, Zn+Mn, Fe+Zn+Mn nano-chelates, and distilled water (control).

Results: Drought stress reduced leaf area index significantly. The highest reduction was obtained from the interaction of control treatment and cessation of irrigation in the pod stage, which was 31.5% less than the full irrigation treatment. Foliar application of Zn+Mn was more successful in modulating drought stress and increased leaf area index by 49.4% compared to the control. Irrigation cessation in flowering stage increased chlorophyll concentration by 11.2% and decreased it by 16.5% in pod stage. With the application of Fe+Zn nano-chelate increased on leaf chlorophyll concentration in the pod stage and grain formation by 38.8% and 39.1% compared to the control and was recognized as the best treatment.

Conclusion: In limited irrigation conditions, foliar feeding of Fe, Zn and Mn nano-chlates is a suitable solution and compatible with water crisis and can improve soybean yield by modifying drought stress and improving leaf area index and leaf chlorophyll concentration.

Keywords: Drought stress, Soybean, Leaf area index, Micronutrients, Leaf chlorophyll concentration, Limited irrigation.

1. **Received:** 2021/09/27 ; **Revision:** 2021/11/06 ; **Accepted:** 2021/12/06 ; **Published online:** 2021/12/22

© the authors http://sjoapb.journal.qom-iau.ac.ir

Publisher: Qom Islamic Azad University

بیولوژی کاربردی، دوره ۱۱، شماره ۴۴، ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

بهبود شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل (SPAD) سویا با محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز در شرایط آبیاری محدود[1]

محمد سعید وقار | استادیار، گروه زراعت، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. ms.vaghar@yahoo.com

چکیده

هدف: در فرآیند تغذیه گیاه عناصر ضروری باید به اندازه کافی در دسترس گیاه باشند تا با حفظ تعادل عناصر غذایی، عملکرد افزایش یابد. پژوهش حاضر به منظور بهبود شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل توسط محلول‌پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز در جهت افزایش عملکرد سویا در شرایط آبیاری محدود انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال (۱۳۹۴و ۱۳۹۵) انجام شد. تیمارها شامل: رژیم آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله گلدهی، غلاف‌دهی و ابتدای دوره پرشدن دانه) و محلول‌پاشی (آب مقطر (شاهد)، آهن، روی، منگنز، آهن + روی، آهن + منگنز، روی + منگنز و آهن + روی + منگنز) بود.

نتایج: تنش خشکی شاخص سطح برگ را به طور معنی‌داری کاهش داد. بیشترین کاهش از برهمکنش تیمار شاهد و قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی بدست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل، ۳۱/۵ درصد کاهش داشت. محلول‌پاشی روی + منگنز در تعدیل تنش خشکی موفق‌تر بود و شاخص سطح برگ را نسبت به شاهد ۴۹/۴ درصد افزایش داد. قطع آبیاری در مرحله گلدهی، غلظت کلروفیل را ۱۱/۲ درصد و در مرحله غلاف‌دهی ۱۶/۵درصد به ترتیب افزایش و کاهش داد. با کاربرد نانوکلات آهن + روی غلظت کلروفیل برگ در مرحله غلاف‌دهی و پرشدن دانه ۳۸/۸ و ۳۹/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت و به عنوان بهترین تیمار شناخته شد.

نتیجه‌گیری: در شرایط آبیاری محدود تغذیه برگی نانوکلات آهن، روی و منگنز راهکاری مناسب و سازگار با بحران آب است و می‌تواند با تعدیل تنش خشکی و بهبود شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل، عملکرد دانه سویا را بهبود دهد.

کلیدواژه‌ها: تنش خشکی، سویا، شاخص سطح برگ، ریزمغذی‌ها، غلظت کلروفیل برگ، آبیاری محدود.

---

۱. **پژوهش حاضر برگرفته از:** رساله دکتری رشته کشاورزی، زراعت (فیزیولوژی گیاهی)، محمد سعید وقار، با عنوان: **تأثیر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز بر تعدیل اثرات تنش خشکی و عملکرد سویا،** ارائه شده در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان در سال ۱۳۹۹ است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۵؛ **تاریخ اصلاح:** ۱۴۰۰/۰۸/۱۵؛ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۹/۲۵؛ **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم

۱. مقدمه

سویا [*Glycine max* (L.) Merr] یکی از گیاهان خانواده حبوبات است، به دلیل ترکیب شیمیایی منحصر به فرد، به عنوان یکی از ارزشمندترین دانه‌های روغنی جهان به ویژه در آمریکا، برزیل، آرژانتین، چین و هند به منظور استحصال روغن و پروتئین دانه، به طور گسترده‌ای کشت می‌شود. روغن دانه سویا ۱۴ تا ۲۳ درصد، پروتئین آن بین ۳۲ تا ۵۰ درصد متغیر بوده و تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنوتیپ گیاه قرار دارد (۱). دانه‌های سویا حدود ۶۰ درصد پروتئین گیاهی جهان را تأمین می‌کنند و جایگزین مناسبی برای پروتئین حیوانی محسوب می‌شود (۲). متأسفانه کمبود آب قابل دسترس گیاه، یکی از اصلی‌ترین مشکلات تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است، که باعث اختلال در جذب و کمبود مواد مغذی محصولات کشاورزی می‌شود (۳). اثر تنش خشکی به شدت تنش، حساسیت گیاه و زمان وقوع بستگی دارد (۴)، که موجب کاهش رشد و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه (۵)، افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان، آسیب به غشای سلولی، کاهش سنتز پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، رنگدانه‌ها و پلاستیدها (۶)، کاهش شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل (۷)، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز (۸)، کاهش جذب عناصر غذایی و اختلال در تولید ماده خشک و در نهایت کاهش عملکرد دانه (۹) می‌شود. اختلال در جذب مواد غذایی از طریق ریشه به کاهش حجم آب خاک و کاهش توزیع مواد غذایی در خاک وابسته است، در نتیجه انتقال مواد غذایی در قسمت‌های هوایی کاهش می‌یابد. بنابراین، استفاده از ریزمغذّی‌ها روش مناسبی در تغذیه گیاهی و افزایش اندام‌های فتوسنتزکننده است (۱۰).

کارایی دریافت و جذب تشعشع توسط گیاه، تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ است (۱۱)، زیرا برگ‌ها اندام‌های اصلی فتوسنتزکننده می‌باشند (۱۲، ۱۳). افزایش شاخص سطح برگ، منبع فیزیولوژیکی مناسبی برای استفاده هرچه بیشتر از نور خورشید و تولید مواد پرورده کافی، به منظور پر کردن دانه و بهبود عملکرد دانه می‌باشد (۱۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه، نشان‌دهنده آن است که با افزایش شاخص سطح برگ، میزان تولید مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (۱۵). همچنین از غلظت کلروفیل به عنوان شاخصی برای ارزیابی قدرت منبع استفاده می‌شود؛ زیرا غلظت کلروفیل برگ یکی از عوامل ضروری در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک است (۱۶). غلظت کلروفیل برگ همبستگی مثبتی با تجمع ماده خشك دارد. در اثر تنش خشکی، میزان غلظت کلروفیل برگ و ماده خشک ذخیره‌ای و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (۱۷). گزارش‌های متعددی در مورد افزایش (۱۸)، یا کاهش (۱۹)،

غلظت کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی گزارش شده است. تنش ملایم و شدید خشکی به ترتیب شاخص کلروفیل برگ را افزایش و کاهش می‌دهند (۲۰). کاهش شاخص کلروفیل برگ در اثر تنش‌های شدید، به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول و تجزیه رنگیزه‌ها است (۲۱). زهر[1] و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که در شرایط تنش خفیف خشکی، مقادیر کلروفیل‌متر افزایش می‌یابد. در حالی‌که با افزایش شدت تنش، رنگ سبز برگ‌ها کاسته شده و کلروفیل‌متر مقادیر کم‌تری را نشان داد. در شرایط تنش، دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی است (۲۳)، و کاهش آن به عنوان یك عامل بازدارنده غیر روزنه‌ای در فتوسنتز محسوب می‌گردد (۲۴). محتوای کلروفیل برگ، فتوسنتز را افزایش می‌دهد و از تجمع نیترات در بافت‌های گیاه جلوگیری می‌کند (۲۵).

استفاده از نانو کلات‌ها یکی از روش‌های مؤثر در جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی جهان است، که می‌تواند نیاز غذایی جمعیت در حال رشد را برآورده سازد (۲۶). فناوری نانو مطالعه تکنیک‌ها و دستکاری مواد در محدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است (۲۷). ریزمغذی‌های روی، آهن و منگنز نقش مهم و مؤثری در تعیین محتوای کلروفیل برگ دارند. این عناصر به‌طور مستقیم در فرآیند انتقال الکترون و سنتز کلروفیل شرکت دارند (۲۸، ۲۹). علاوه بر رفع کمبود مواد غذایی، می‌توانند حساسیت گیاهان را به تنش خشکی کاهش دهند (۳۰). آهن در ساختار سیتوکروم به عنوان ناقل الکترون در سیستم فتوسنتز، تنفس، کلروفیل، سنتز DNA، تثبیت نیتروژن و تولید هورمون ضروری است (۳۱). روی نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، پروتئیناز، RNA و تولید کلروفیل دارد (۳۲، ۳۳). منگنز با افزایش کارایی استفاده از آب، نقش مؤثری در کاهش تنش آبی، زنده نگاه داشتن دانه گرده و هدایت روزنه‌ای دارد. استفاده از این عناصر به صورت محلول‌پاشی، به عنوان یک روش مؤثر توصیه شده است (۳۴). در این روش علاوه بر جذب سریع عناصر غذایی از طریق برگ‌ها، آلودگی زیست محیطی و آب‌های زیرزمینی به حداقل می‌رسد (۳۵).

با توجه به اهمیت و نقش عناصر ریزمغذی در تغذیه گیاه، این تحقیق با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز به صورت منفرد و ترکیبی، بر شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل برگ سویا در شرایط آبیاری محدود انجام شده است.

1. Zahra

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. ویژگی‌های جغرافیایی محل آزمایش

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی- آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا اجرا شد. میانگین بارندگی سالیانه ۴۷۹/۷ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد و حداکثر دمای مطلق ۴۲/۴ درجه سانتی‌گراد و در تیر ماه بود. اقلیم ایستگاه بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه[1] از نوع نیمه خشک سرد تا معتدل است.

۲-۲. مشخصات طرح آزمایشی و فاکتورهای مورد استفاده

در این مطالعه از طرح آزمایشی اسپلیت پلات[2] در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. رقم مورد آزمایش M9 (گروه رسیدگی ۲، زودرس، رشد نامحدود، پر محصول و مقاوم به ریزش) بود. عامل‌های آزمایشی شامل رژیم آبیاری در چهار سطح، آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی، شروع غلاف‌دهی و ابتدای دوره پر شدن دانه در کرت اصلی و محلول‌پاشی با ریزمغذی‌های آهن، روی، منگنز، آهن + روی، آهن + منگنز، روی + منگنز، آهن + روی + منگنز و آب مقطر (شاهد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. به‌منظور محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، از کود شیمیایی با نام تجاری نانو کلات آهن (۹ درصد)، روی (۱۲ درصد) و منگنز (۱۲ درصد) استفاده شد که به‌صورت پودر و کاملاً محلول در آب (pH حدود ۶/۵) بود و از شرکت صدور احرار شرق خضراء با شماره ثبت کودی نانو کلات آهن ۳۴۴۲۸، روی ۲۹۹۳۶ و منگنز ۴۹۷۲۲ تهیه گردید. در زمان تهیه محلول، هیچ رسوبی ایجاد نشد.

۲-۳. عملیات زراعی

قبل از کشت، آماده‌سازی زمین و نمونه‌برداری خاک انجام شد. توصیه کودی براساس نتایج آزمایش خاک (۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات و ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار) اعمال گردید. خاک مورد آزمایش از نوع رسی سیلتی[3] با واکنش خاک ۷/۶ بود. به منظور تشکیل گره‌های تثبیت نیتروژن در

1. Emberoger
2. Split plot
3. Silty-Clay

ریشه، قبل از کاشت، بذرها با محلول۱۰ درصد آب و شکر (۳۶)، و باکتری همزیست ریزوبیوم جاپونیکوم[1] (۳۷) آغشته شدند. کاشت به صورت دستی در دهم اردیبهشت ماه در عمق ۵ سانتی‌متری و با فاصله ۵ سانتی‌متر از هم در وسط پشته‌ها انجام شد. برای اطمینان از درصد سبز شدن و رسیدن به تراکم مناسب، در هر محل، دو بذر کشت شد و بوته‌ها در زمان تشکیل دومین برگ سه برگچه‌ای (V_2)، تنک شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری بعدی تا قبل از اعمال تیمارهای آبیاری به طور منظم هر ۵ روز یکبار انجام شد. محلول‌پاشی کودهای نانو با استفاده از سم‌پاش پشتی در شب به عنوان خنک‌ترین ساعت روز، در دو مقطع زمانی، نوبت اول در زمان تشکیل چهارمین برگ سه برگچه‌ای (V_4) و مرتبه دوم یک هفته پس از اولین محلول‌پاشی با غلظت سه در هزار، انجام شد.

۲-٤. ارزیابی صفات

شاخص سطح برگ در سه مقطع زمانی، دو هفته پس از شروع گلدهی (R_1)، دو هفته پس از شروع غلاف‌دهی (R_3) و دو هفته پس از تشکیل دانه (R_5) مورد ارزیابی قرار گرفت. از هر کرت آزمایشی (از خطوط ۲ و ۵) با رعایت حاشیه‌گذاری، ۵ بوته به طور تصادفی انتخاب و از سطح خاک قطع و پس از انتقال به آزمایشگاه، برگ‌ها از ساقه‌ها جدا شدند و با دستگاه Leaf area meter (Am 350, ADC, England) اندازه‌گیری و میانگین شاخص سطح برگ محاسبه شد. شاخص کلروفیل برگ نیز با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Konica Minota, Chlorophyll Metter SPAD-502, Japan) در سه مقطع زمانی، دو هفته پس از شروع گلدهی، دو هفته پس از شروع غلاف‌دهی، و دو هفته پس از تشکیل دانه اندازه‌گیری شد. در هر نوبت، از هر کرت آزمایشی ۵ بوته به طور تصادفی انتخاب شد. از برگ‌های گره چهارم به بالا از هر بوته ۶ برگ (جمعاً ۳۰ برگ) مشخص و مقادیر کلروفیل متر قرائت و میانگین گرفته شد. سپس داده‌های کلروفیل متر در سه تکرار ثبت و از میانگین‌ها به عنوان داده‌های شاخص کلروفیل برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد.

۲-۵. تجزیه و تحلیل داده‌ها

با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن[2]، میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد مقایسه

1. Rhizobium japonicum
2. Duncan

شدند. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد آزمایش، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS[1] نسخه ۹/۱ تجزیه واریانس[2] شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. شاخص سطح برگ[3] (LAI)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص سطح برگ به طور بسیار معنی‌داری (P<۰/۰۱) تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز قرار گرفت. همان‌طور که اثر متقابل تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد در مرحله گلدهی و پر شدن دانه، معنی‌دار بود.

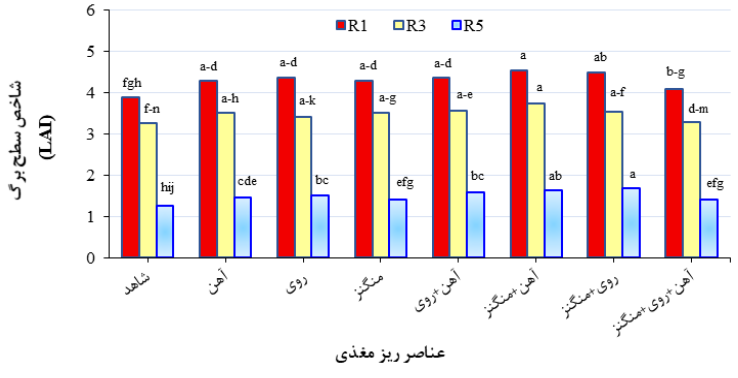
جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز بر شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل برگ سویا در رژیم‌های آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ (LAI)			غلظت کلروفیل برگ (SPAD value)		
		دو هفته بعد از شروع			دو هفته بعد از شروع		
		گلدهی (R_1)	غلاف‌دهی (R_3)	تشکیل دانه (R_5)	گلدهی (R_1)	غلاف‌دهی (R_3)	تشکیل دانه (R_5)
سال	1	0.002^{ns}	0.161^{ns}	0.023^{ns}	1.595^{ns}	13.685^{ns}	31.07^{ns}
تکرار× سال	4	0.167	0.098	0.019	3.931	6.709	10.647
آبیاری	3	5.982^{**}	1.940^{**}	1.565^{**}	34.728^{**}	242.44^{**}	558.684^{**}
سال× آبیاری	3	0.002^{ns}	0.043^{ns}	0.006^{ns}	0.115^{ns}	0.245^{ns}	0.582^{ns}
خطای آزمایش	12	0.032	0.062	0.007	1.310	4.292	9.676^{ns}
محلول‌پاشی	7	1.000^{**}	0.666^{**}	0.586^{**}	6.360^{**}	92.784^{**}	50.870^{**}
سال× محلول‌پاشی	7	0.004^{ns}	0.040^{ns}	0.003^{ns}	0.066^{ns}	2.961^{ns}	5.344^{**}
آبیاری× محلول‌پاشی	21	0.028^{**}	0.069^{ns}	0.027^{**}	0.150^{ns}	2.653^{ns}	0.988^{*}
سال× آبیاری× محلول‌پاشی	21	0.004^{ns}	0.043^{ns}	0.006^{ns}	0.091^{ns}	2.345^{ns}	0.197^{ns}
خطای آزمایش کل	112	0.108	0.090	0.010	1.365	5.407	6.144
ضریب تغییرات (٪)	-	8.02	9.08	9.02	11.06	10.08	10.67

ns,*, به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.**

1. Statistical Analysis System
2. ANOVA
3. Leaf Area Index

نتایج نشان می‌دهد که تیمار آبیاری کامل در تمام مراحل رشد زایشی، بیشترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داده است. شاخص سطح برگ با گذشت زمان به دلیل تولید برگ‌های جدید و افزایش سطح برگ در تیمارهای آبیاری، روند افزایشی داشت، اما پس از رسیدن به یك سطح مشخصی، شروع به کاهش نمود که میزان کاهش بسته به زمان وقوع تنش، متفاوت بود. به عبارت دیگر، گیاه در شرایط آبیاری کامل، نیازی به رقابت برای دستیابی به آب ندارد (شکل ۱). بیشترین شاخص سطح برگ در مرحله R_1 از ترکیب تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی آهن + منگنز به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۶/۷ درصد افزایش داشت. در حالی که در مرحله R_5 شاخص سطح برگ بیشتر تحت تأثیر تیمار روی + منگنز بود و به طور قابل توجهی این صفت را نسبت به تیمار شاهد ۳۳/۱ درصد بهبود بخشید. لازم به ذکر است که این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار آهن + روی نداشت و تأثیر آن‌ها بر روند افزایشی شاخص سطح برگ، تا حدودی یکسان بود (شکل ۱).

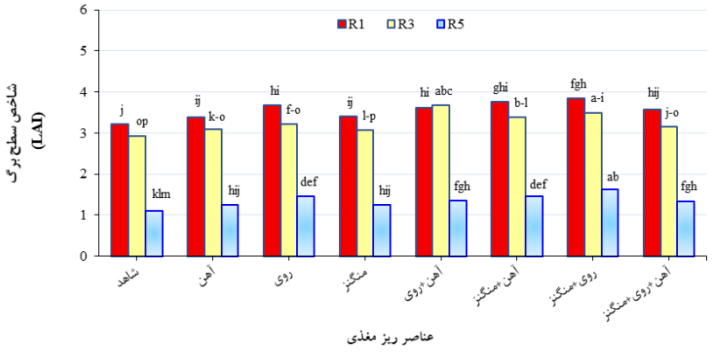


شکل ۱- اثرات متقابل آبیاری کامل و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر شاخص سطح برگ سویا (میانگین دو سال)
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌داری می‌باشند.

تنش خشکی روند صعودی شاخص سطح برگ را متوقف و سپس کاهش داد. در مرحله R_1 اثر تنش در مرحله شروع گلدهی شدیدتر بود و شاخص سطح برگ بیش از دیگر سطوح کاهش یافت. به طوری که شاخص سطح برگ تیمار شاهد، در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، ۱۷/۳ درصد کاهش داشت (شکل ۲). به نظر می‌رسد تنش رطوبتی در طی مرحله رویشی و ابتدای رشد زایشی، باعث کاهش سلول‌های برگ می‌شود. به عبارت دیگر، تنش خشکی روی تمایز سلول‌های اولیه و میزان سرعت و گسترش برگ به دلیل اختلال در فتوسنتز و کاهش تورژسانس تأثیر می‌گذارد و کاهش

ارتفاع بوته و تعداد برگ را به همراه دارد (۲۲). کرم[1] و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که تنش خشکی با کاهش تقسیم سلولی و پتانسیل آب خاک موجب افزایش اسید آبسزیک، اختلال در فتوسنتز و کاهش شاخص سطح برگ سویا می‌شود.

نتایج نشان داد که با مساعد شدن شرایط پس از تنش، فرصت کافی برای گیاه، جهت توسعه اندام‌های رویشی و جبران کاهش شاخص سطح برگ فراهم شد؛ اما شاخص سطح برگ آن به سطح تیمار آبیاری کامل نرسید (شکل ۲).



شکل ۲- اثرات متقابل قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر شاخص سطح برگ سویا (میانگین دو سال) ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌داری می‌باشند.

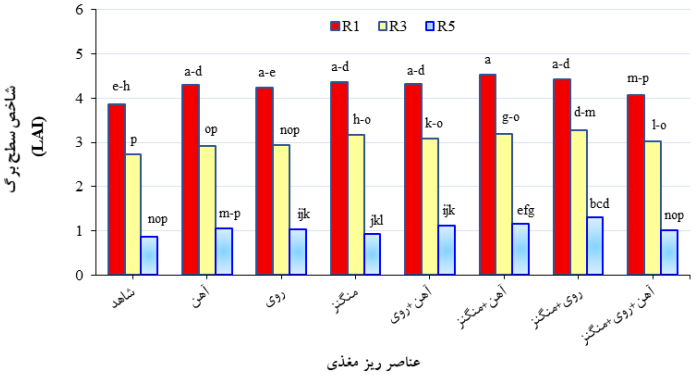
کم‌ترین شاخص سطح برگ از برهمکنش عدم محلول‌پاشی و تنش در مرحله غلاف‌دهی حاصل شد که با تیمار شاهد در مرحله پر شدن دانه، تفاوت معنی‌داری نداشت. این کاهش در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط آبیاری کامل، ۳۱/۵ درصد بود (شکل ۳). تنش خشکی به طور مستقیم بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر می‌گذارد و به طور غیرمستقیم ورود دی اکسیدکربن به داخل روزنه را کاهش می‌دهد و با اختلال در فتوسنتز، سطح برگ و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه را کاهش می‌دهد (۱۳). مرحله بحرانی شاخص سطح برگ بین مرحله غلاف‌دهی تا مرحله پر شدن دانه است (۳۹).

در ارزیابی محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز در شرایط تنش مشخص شد که این عناصر با تعدیل اثر تنش خشکی، شاخص سطح برگ را افزایش می‌دهند. این افزایش در مواقع

1. Karam

بروز تنش خشکی بارزتر بود و زمانی که تیمارها به صورت ترکیبی استفاده شدند، شاخص سطح برگ بیشتر از حالت منفرد افزایش یافت. این افزایش می‌تواند به دلیل سطح ویژه بالا، قابلیت انحلال‌پذیری با جذب بیشتر نانو کلات‌ها و افزایش راندمان فتوشیمیایی گیاه باشد. در مرحله R_5 بیشترین شاخص سطح برگ از تیمار روی + منگنز و تنش در مرحله گلدهی تولید شد که تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت و شاخص سطح برگ را در مقایسه با شاهد، ۴۵/۹ درصد افزایش داد. در بین تیمارهای ترکیبی، تیمار سه گانه آهن + روی + منگنز تأثیر کم‌تری بر شاخص سطح برگ داشت (شکل ۲). بر اساس گزارش مندال[1] و همکاران (۲۰۰۰) غلظت بالای آهن (Fe^{+2}) و منگنز (Mn^{+2}) می‌تواند اثر آنتاگونیستی[2] بر جذب روی داشته باشد. با این حال اگر آهن به مقدار کم استفاده شود، می‌تواند میزان جذب و انتقال منگنز در گیاه را افزایش دهد (۴۱). طبق آزمایشات آلووای[3] (۲۰۰۸)، از یک طرف انتقال روی به سایر قسمت‌های گیاه با مصرف منگنز افزایش می‌یابد و از طرف دیگر غلظت بالای منگنز و آهن می‌تواند از جذب روی جلوگیری کند.

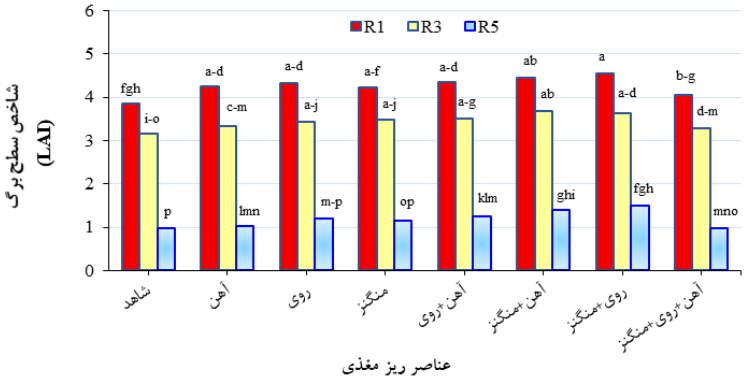
محلول‌پاشی روی + منگنز اثر منفی تنش خشکی در ابتدای مرحله غلاف‌دهی را بیش از سایر تیمارها کاهش داد و بالاترین شاخص سطح برگ در مرحله R_3 و R_5 تولید گردید. این برتری نسبت به تیمار شاهد ۲۰/۱ و ۴۹/۴ درصد بود (شکل ۳).



شکل ۳- اثرات متقابل قطع آبیاری در مرحله شروع غلاف‌دهی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر شاخص سطح برگ سویا (میانگین دو سال) ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌داری می‌باشند.

1. Mandal
2. Antagonism
3. Alloway

همان‌طور که در شکل (٤) ملاحظه می‌شود، بین تیمارهای روی + منگنز و آهن + منگنز تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما تیمار روی + منگنز مانند مرحله قبل، اثر منفی تنش خشکی را در مرحله پر شدن دانه به طور قابل توجهی کاهش داد، به طوری‌که شاخص سطح برگ در مرحله R_5 نسبت به تیمار شاهد، ۵۳ درصد افزایش نشان داد. تیمارهای آهن + منگنز و آهن + روی از نظر اهمیت در اولویت‌های بعدی بودند. در تمام سطوح آبیاری تیمار شاهد از کم‌ترین شاخص سطح برگ برخوردار بود. عنصر روی با اثر مستقیم بر تقسیم سلولی و افزایش اکسین[1]، باعث افزایش طول و عرض برگ می‌شود (۴۳). منگنز نیز علاوه بر افزایش سطح برگ و فتوسنتز، باعث افزایش جذب خالص و عملکرد می‌گردد و از تجمع نیترات در بافت‌های گیاهی جلوگیری می‌کند (۲۵). اقدسی[2] و همکاران (۲۰۱۹) گزارش دادند که تیمار ترکیبی آهن و منگنز شاخص سطح برگ را در شرایط تنش خشکی افزایش داده است.



شکل ٤- اثرات متقابل قطع آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر شاخص سطح برگ سویا (میانگین دو سال) ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌داری می‌باشند.

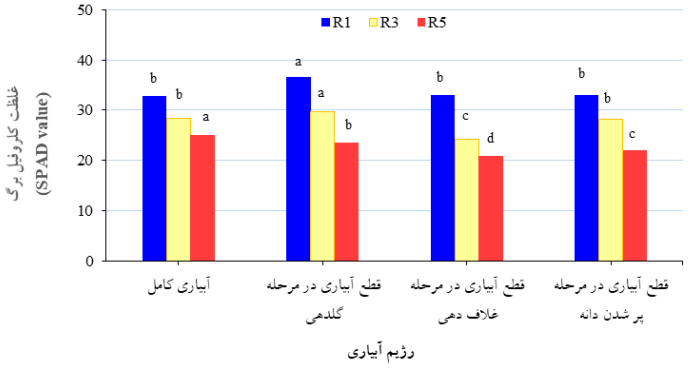
۳-۲. شاخص کلروفیل برگ[3] (SPAD value)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل برگ به طور معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز قرار دارد. اثر برهمکنش بین تیمارها، فقط در مرحله تشکیل دانه (R_5) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

1. Auxin
2. Aghdasi
3. Soil Plant Analysis Development

با افزایش تنش خشکی، مقادیر کلروفیل متر در مرحله R_1 به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین شاخص کلروفیل برگ در اثر تنش در مرحله گلدهی حاصل شد و افزایش ۱۱/۲ درصدی نسبت به تیمار آبیاری کامل به ثبت رسید (شکل ۵). در همین راستا، برخی محققان گزارش دادند که تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث افزایش میزان کلروفیل برگ در مقایسه با شرایط مطلوب (بدون تنش) می‌شود (۴۴). موحدی دهنوی[1] و همکاران (۲۰۰۹) از افزایش مقادیر کلروفیل متر گلرنگ[2] در شرایط تنش خشکی خبر دادند. تنش خشکی آناتومی برگ را تغییر می‌دهد، برگ‌ها کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند، و به دلیل تجمع رنگدانه‌های کلروفیل در واحد سطح برگ، شاخص کلروفیل برگ افزایش می‌یابد (۴۶، ۴۷).

قطع آبیاری در مرحله شروع غلاف‌دهی، شاخص کلروفیل برگ را برخلاف مرحله قبل به‌طور معنی‌داری کاهش داد و در مرحله R_3 به ۲۰/۹۸ رسید (کاهش ۱۶/۵ درصدی نسبت به آبیاری کامل) (شکل ۵). در برخی مطالعات این کاهش به افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است. اگرچه در تجزیه کلروفیل، پراکسیداز و ترکیبات فنلی نیز نقش دارند (۴۸). بنابراین، حفظ غلظت کلروفیل در برابر تنش خشکی به ثبات فتوسنتز کمک می‌کند (۴۵). شاخص کلروفیل برگ در مرحله R_5 نیز روند کاهشی داشت و شدت آن نسبت به مرحله R_3 بیشتر بود (۱۶/۵ درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل) (شکل ۵).



شکل ۵- اثر رژیم آبیاری بر شاخص سطح برگ سویا (میانگین دو سال)
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌داری می‌باشند.

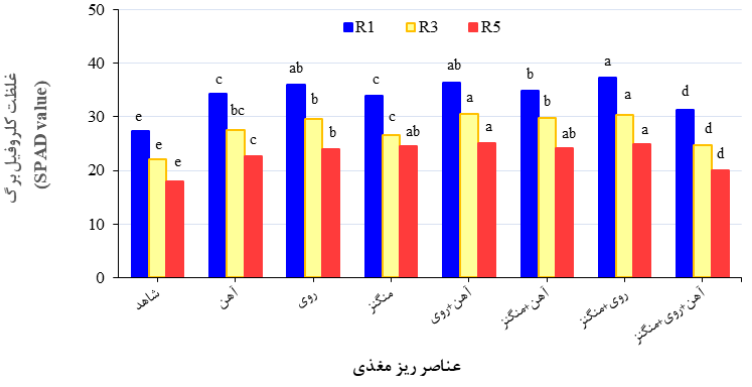
1. Movahhedy-Dehnavy
2. Carthamus tinctorius

به نظر می‌رسد تنش‌های شدید علی‌رغم افزایش وزن مخصوص برگ می‌تواند شدت تخریب کلروفیل را افزایش دهد و طبق نظر اسجوتز و فانگمیر[1] (۲۰۰۱) کاهش میزان کلروفیل به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌باشد. این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و تجزیه رنگدانه‌ها می‌شوند. در این راستا، مطالعات زهرا[2] و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که با کاهش غلظت کلروفیل، رنگ سبز برگ‌ها کاهش می‌یابد و پیری زودهنگام در گیاه ظاهر می‌شود.

در خصوص واکنش غلظت کلروفیل برگ به کاربرد نانو کلات‌ها در شرایط تنش خشکی، نتایج مشابهی با شاخص سطح برگ وجود دارد که نشان می‌دهد محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز به‌صورت منفرد و ترکیبی شاخص کلروفیل برگ را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. در مرحله R_1 بین تیمار ترکیبی روی + منگنز، آهن + روی و روی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما تأثیر تیمار روی + منگنز بر شاخص کلروفیل برگ بیشتر بود و به بالاترین سطح (۳۷/۳۱) رسید که در مقایسه با تیمار شاهد، افزایشی معادل ۳۶/۳۱ درصد را نشان داد. در حالی که در مرحله R_3 و R_5 بیشترین غلظت کلروفیل برگ با ۳۸/۸ و ۳۹ درصد افزایش، نسبت به شاهد از تیمار آهن + روی به دست آمد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که در مرحله R_3 و R_5 پاسخ غلظت کلروفیل برگ به محلول‌پاشی آهن + روی تقریباً مشابه واکنش این صفت به مصرف روی + منگنز است. کم‌ترین غلظت کلروفیل برگ در تمام مراحل رشد زایشی مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ٦). بابائیان[3] و همکاران (۲۰۰۲) نتایج مشابهی را در آفتابگردان[4] گزارش دادند که محلول‌پاشی روی + منگنز با کاهش اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، بیشترین تأثیر را در افزایش محتوای کلروفیل دارد. هیتولت[5] و همکاران (۲۰۰۲) و فتح‌اله‌پور[6] و همکاران (۲۰۲۰) اثر تیمار آهن و روی را در افزایش شاخص کلروفیل برگ مؤثر دانستند که با افزایش شاخص سطح برگ و میزان فتوسنتز گیاه همراه شده است. نتایج تحقیقات سلیمانی[7] و همکاران (۱۳۹۰) افزایش غلظت

1. Schutz and Fangmi
2. Zahra
3. Babaeian
4. Helianthus annuus
5. Heitholt
6. Fatollahpour
7. Soleymani

کلروفیل برگ و شاخص سطح برگ را در اثر محلول‌پاشی آهن + روی تأیید می‌کند.



شکل ٦- اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر شاخص کلروفیل برگ سویا (میانگین دو سال)
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌داری می‌باشند.

٤. نتیجه‌گیری

محدودیت آبیاری، شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل سویا را در بسیاری از مراحل رشد کاهش داد. اثر منفی تنش کم آبی در ابتدای مرحله غلاف‌دهی و پر شدن دانه بسیار تأثیرگذار بود و کم‌ترین شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل برگ به دست آمد. محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز در شرایط بدون تنش و تنش خشکی باعث افزایش قابل توجه شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل برگ شد. اما تأثیر آن در زمان تنش بیشتر بود. با توجه به نقش مؤثری که ریزمغذی‌ها در کاهش اثرات مضر تنش خشکی دارند، اینگونه استنباط می‌شود که محلول‌پاشی با نانو کلات آهن، روی و منگنز یک روش کاربردی برای افزایش و حفظ تعادل عناصر غذایی در گیاه سویا می‌باشد و می‌تواند صفات وابسته به عملکرد دانه را در مناطقی که محدودیت آبیاری و بارندگی در انتهای فصل رشد دارند را افزایش داده و تا حدی خطرات زیست محیطی را کاهش دهند. در این خصوص تیمار ترکیبی روی + منگنز و آهن + روی مؤثرتر بود و به عنوان بهترین تیمارها شناخته شد. تیمار آهن + منگنز در اولویت بعدی قرار گرفت.

References

1. USDA. (2018). *World agricultural supply and demand estimates.* World agricultural outlook board. 2002. Available at: https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/Secretary-Briefing.pdf
2. Liu K. Chemistry and nutritional value of soybean components. *Soybeans.* 1997: 25-113. **DOI:** 10.1007/978-1-4615-1763-42
3. Souri MK & Bakhtiarizade M. Biostimulation effects of rosemary essential oil on growth and nutrient uptake of tomato seedlings. *Scientia Horticulture*. 2019; 243: 472-476. **DOI:** 10.1016/j. scienta.2018.08.056.
4. Souri MK & Hatamian M. Amino chelates in plant nutrition: a review. *J. Plant Nutr.* 2019; 42(1): 67-78. **DOI:** 10.1080/01904167.2018.1549671.
5. Dogan E, Kirnak H & Copur O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. *Field Crops Res.* 2007; 103(2): 154-159. **DOI:** 10.1016/j.fcr.2007.05.009
6. Reddy AR, Chaitanya KV & Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.* 2004; 161(11): 1189-1202. **DOI:** 10. 1016/j.jplph. 2004.01.013
7. Hatamian M, Rezaei Nejad A, Kafi M, Souri MK & Shahbazi K. Nitrate improves hackberry seedling growth under cadmium application. *Chem. Biol. Technol. Agric*. 2020; 6(1): 1-8. **DOI:** 10.1016/j.heliyon.2020.e03247.
8. Taiz L & Zeiger E. *Plant Physiology*. The Benjamin Cumming Publishing Company. 2003; 91(6): 750-751. **DOI:** 10.1093/aob/mcg079
9. Wijewardana C, Alsajri FA, Irby T, Krutz J & Golden B. Quantifying soil moisture deficit effects on soybean yield and yield component distribution patterns. *Irrig. Sci*. 2018; 36(4): 241-255. **DOI:** 10.1007/s00271-018-0580-1
10. Rico CM, Majumdar S, Duarte-Gardea M, Peralta-Videa JR & Gardea-Torresdey JL. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *J. Agric. Food. Chem*. 2011; 59(8): 3485-3498.
11. Rosati A & Dejong TM. Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. *Ann Bot*. 2003; 91(7): 869-877. **DOI:** 10.1093/aob/mc g094
12. Wijewardana C, Reddy KR & Bellaloui N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. *Food Chem*. 2018; 278(1): 92-100. **DOI:** 10.1016/j.food chem.2018.11.035
13. Singh NB, Amist N, Yadav K, Singh D, Pandey JK & Singh SC. Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops. *J. Nanoeng. Nanomanuf*. 2013; 3(4): 353-364. **DOI:** 10.1166/jnan.2013.1156
14. Montoya F, Garcia C, Pintos F & Otero A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. *Agric. Water Manage*. 2017; 193(1): 30-45. **DOI:** 10.1016/j.agwat.2017.08.001

15. Ghosh PK, Ajay KK, Bandyopadhyay MC, Manna KG, Mandal AK & Hati KM. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresour. Technol*. 2004; 95(1): 85-93. **DOI:** 10.1016/j.biortech. 2004.02.012
16. Rosales-Serna R, Kohashi-Shibata J, Acosta-Gallegos JA, Trejo-Lopez C, Ortiz-Cereceres J & Kelly JD. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Res*. 2004; 85(2): 203-211. **DOI:** 10.1016/s0378-4290(03) 00161-8
17. Semida WM, Abdelkhalik A, Mohamed GF, El-Mageed A, Taia A & Mageed AA. Foliar application of zinc oxide nanoparticles promotes drought stress tolerance in eggplant (*Solanum melongena* L.). *J. Plants*. 2021; 10(2): 1-17. **DOI:** 10.3390/plants10020 421
18. Kafi M & Rostami M. Yield characteristics and oil content of three safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 2007; 5(1): 121-132. [In Persian].
19. Babaeian M, Tavassoli A, Ghanbari A, Esmaeilian Y & Fahimifard M. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (*Alster cultivar*) under water stress at three stages. *Afr. J. Agric. Res*. 2011; 6(5): 1204-1208. **DOI:** 10.58 97/AJAR10.928
20. Zhang M, Duan L, Tian X, He Z, Li J, Wang B & Li Z. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. *J. Plant Physiol*. 2007; 164(6): 709-717. **DOI:** 10.1016/j.jplph. 2006.04.008
21. Zahra Z, Arshad M, Rafique R, Mahmood A, Habib A, Qazi IA & Khan SA. Metallic Nanoparticle (TiO_2 and Fe_3O_4) Application modifies rhizosphere phosphorus availability and uptake by *Lactuca sativa*. *J. Agric. Food. Chem*. 2015; 63(31): 6876-6882. **DOI:** 10.1021/acs. jafc.5b01611
22. Lobato AKS, Oliveira Neto CF, Santos Filho BG, Costa RCL, Cruz FJR, Neves HKB & Lopes MJS. Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. Sambaiba) plants under water deficit. *Aust. J. Crop Sci.* 2008; 2(1): 25-32.
23. Oliviera-Neto CF, Silva-Lobato AK, Goncalves-Vidigal MC, Costa RCL, Santos BG, Filho BG, Alves GAR, Silva-Maia WJM, Cruz FJR, Neres HKB & Santos Lopes MJ. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Sci. Technol*. 2009; 7(3): 588-593.
24. Sultana N, Ikeda T & Kashem MA. Effect of foliar spray of nutrient solutions on photosynthesis, dry matter accumulation and yield in seawater-stressed rice. *Environ. Exp. Bot*. 2001; 46(2): 129-140. **DOI:** 10.1016/s0098-8472(01)00090-9
25. Servin AD & White JC. Nanotechnology in agriculture: Next steps for understanding engineered nanoparticle exposure and risk. *Nano Impact*. 2016; 1: 9-12. **DOI:** 10.1016/j.impact.2015.1 2.002
26. Singh NA. Nanotechnology innovations, industrial applications and patents. *Environ*.

Chem. Lett. 2017; 15(2): 185-91. **DOI:** 10.1007/s10311-017-0612-8

27. Adams ML, Norvell WA, Philpot WD & Peverly JH. Spectral detection of micronutrient deficiency in bragg soybean. *Agron. J.* 2000; 92(2): 261-268. **DOI:** 10.1007/s10087 0050031
28. Wiersma JV. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybeans. *Agron. J*. 2005; 97(3): 924-934. **DOI:** 10.2134/agronj 2004.0309
29. Khan HR, McDonald GK & Rengel Z. Zn fertilization improves water use efficiency, grain yield and seed Zn content in chickpea. *Plant Soil*. 2003; 249(2): 389-400.
30. Nikolic M & Pavlovic J. Plant responses to iron deficiency and toxicity and iron use efficiency in plants. *Plant Micronutr. Use Effic*. 2018; 55-69. **DOI:** 10.1016/b978-0-12-812104-7.00004
31. Pandey N, Pathak GC & Sharma CP. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *J. Trace Elem.* 2006; 20(2): 89-96. **DOI:** 10.1016/j.jtemb.2005. 09.006
32. Hossain MM, Liu X, Qi X, Lam HM & Zhang J. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. *Crop. J.* 2014; 2(6): 366-380. **DOI:** 10.1016/j.cj.2014.08.001
33. Cakmak I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic bio fortification?. *Plant Soil*. 2008; 302(1): 1-17. **DOI:** 10.1007/s11104-007-9466-3
34. Liu R & Lal R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci. Total Environ.* 2015; 514(1): 131-139. **DOI:** 10.1016/j.scit oten v.2015.01.104
35. Bennett MJ, Rhetoric E, Hicks DR, Naeve SL & Bennett NB. *The Minnesota soybean field book*. St Paul MN, University of Minnesota Extension Service. 1999: p. 79.
36. Fouilleux G. Increase of Bradyrhizobium japonicum numbers in soils and enhanced nodulation of soybean (*Glycine max* (L.) merr.) using granular inoculants amended with nutrients. *FEMS Microbiol Ecol*. 1996; 20(3): 173-183. **DOI:** 10.1016/0168-6496(96)00028-1
37. Karam F, Masaad R, Sfeir T, Mounzer O & Rouphael Y. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. *Agric. Water Manag.* 2005. 75; 3: 226-244. **DOI:** 10.1016/j.agwat. 2004.12.015
38. Liu X, Jin J, Wang G & Herbert SJ. Soybean yield physiology and development of high-yielding practices in Northeast China. *Field Crop Res*. 2008; 105(3): 157-171. **DOI:** 10.1016/j.fcr.2007. 09.003.
39. Mandal B, Hazra GC & Mandal LN. Soil management influence on zinc desorption for rice and maize nutrition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000; 64(5): 1699-1705. **DOI:** 10.2136/sssaj2000.645 1699x
40. Sanchez-Raya AJ, Leal A, Gomez-Ortega M & Recalde L. Effect of iron on the absorption and translocation of manganese. *Plant Soil*. 1974; 41(3): 429-434. **DOI:** 10.1007/bf02185806
41. Alloway Bj. *Zinc in soil and crop nutrition: Areas of the world with Zinc deficiency*

problems [Online]. 2008. Available at: http://www.zinc-crops.org/crops/Al-loway-all.php. Accessed 16 August.

42. Aghdasi S, Modares Sanavy SAM, Aghaalikhani M, Keshavarz H. Effect of foliar application of Iron and Manganese on yield and yield components of Mungbean under water deficit stress. *Water and Soil Science*. 2019; 28(3): 13-25. [In Persian].
43. Ommen O, Donnelly A, Vanhoutvin S, Van Oijen M & Manderscheid R. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO_2 concentrations and other environmental stresses within the "ESPACE-wheat" project. *Eur. J. Agron.* 1999; 10(3): 197-203. **DOI:** 10.10 16/s161-0301(99)00011-8
44. Movahhedy-Dehnavy M, Modarres-Sanavy SAM & Mokhtassi-Bidgoli A. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Ind. Crops Prod.* 2009; 30(1): 82-92. **DOI:** 10.1016/j.indcrop. 2009.02.004
45. Ravi S, Channal HT, Hebsur NS, Patil BN & Dharmatti PR. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka J. Agric. Sci*. 2008; 21(3): 382-385.
46. Souri MK & Yaghoubi Sooraki F. Benefits of organic fertilizers spray on growth quality of chili pepper seedlings under cool temperature. *J. Plant Nutr.* 2019; 42(6): 650-656. **DOI:** 10.1080/019 04167.2019.1568461.
47. Mihailovic N, Lazarevic M, Dzeletovic Z, Vuckovic M & Durđevic M. Chlorophyllase activity in wheat, *Triticum aestivum* L. leaves during drought and its dependence on the nitrogen ion form applied. *Plant Sci*. 1997; 129(2): 141-146. **DOI:** 10.1016/s0168-9452(97)00189-1
48. Schutz M & Fangmeier A. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. *Environ. Pollut*. 2001; 114(2): 187-194. **DOI:** 10.1016/s0269-7491(00) 00215-3
49. Heitholt JJ, Sloan JJ & MacKown CT. Copper, manganese, and zinc fertilization effects on growth of soybean on a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 2002; 25(8): 1727-1740. **DOI:** 10.1081/ pln-120006054
50. Fatollahpour M, Rashidi V, Mirshekari B, Khalilvand Behrouzyar E & Farahvash F. Effects of nano-fertilizers on physiological and yield characteristics of pinto bean cultivars under water deficit stress. *J. Plant Nutr.* 2020; 43(19): 1-13. **DOI:** 10.1080/01904167.2020.179 9000
51. Soleymani A, Firoozi M & Naraniani L. Effect of foliar application of micro nutrients on physiological growth indices and total dry matter yield of forage Ccorn. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 2011; 9(3): 340-347. [In Persian].