



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۱ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۸

صفحه‌های ۲۷-۴۲

تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد متانول و نانوآکسید آهن بر عملکرد و مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان

رئوف سید شریفی^{۱*}، رضا سید شریفی^۲

۱. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح آبیاری، کاربرد متانول و نانوآکسید آهن بر عملکرد و مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد متانول (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و کاربرد ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول)، نانوآکسید آهن (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید آهن) و سطوح آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) بودند. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۲۹۵۲ کیلوگرم در هکتار)، تعداد دانه پر در طبق (۱۱۲۱ دانه در طبق)، وزن هزاردانه (۵۰ گرم)، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (به‌ترتیب ۰/۰۰۲۳۹ گرم در روز و ۴۲ و ۳۳ روز)، شاخص کلروفیل (۵۶) در شرایط آبیاری کامل و در سطوح بالای متانول و نانوآکسید آهن به‌دست آمد. بیشترین محتوای پروتئین و قندهای محلول (به‌ترتیب ۱۱/۱ میکروگرم در گرم وزن تر برگ و ۷۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کاربرد مقادیر بالای متانول و نانوآکسید آهن و کمترین آنها در شرایط آبیاری کامل و عدم کاربرد متانول و نانوآکسید آهن به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: آفتابگردان، تنش، ریزمغذی، محدودیت آبی، محلول‌پاشی.

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی مؤثر در کاهش عملکرد و به‌هم‌خوردن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است. در این راستا به‌کارگیری عناصر ریزمغذی مانند آهن به دلیل نقش مهم آن در فرآیند فتوسنتز، توسعه کلروپلاست، انتقال الکترون و فعالیت برخی از آنزیم‌های بیوسنتز کلروفیل (Hadi et al., 2016)، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کشت مداوم، مصرف همه‌ساله و بیش از نیاز کودهای فسفره، آب‌شویی و سایر شرایط حاکم بر خاک‌های آهکی (Welch et al., 1999) از جمله وجود مقادیر زیاد کربنات کلسیم، pH قلیایی و عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریزمغذی و کودهای آلی موجب کاهش ذخیره آهن در خاک و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود. هرچند نیاز گیاهان به این عناصر ریزمغذی پایین است، ولی اگر مقدار کافی از آنها در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با آن متأثر خواهند شد (Baybordi, 2012).

یکی از راه‌های تأمین آهن مورد نیاز گیاهان، محلول‌پاشی است و در این راستا عرضه آن به شکل نانو ذرات به دلیل حلالیت بیشتر، سبک و کوچک بودن و شانس برخورد بیشتر این ذرات با گیاه در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حقیقت با استفاده از نانوکودها فرصت جدیدی به‌منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست پیش روی انسان گشوده شده است (Naderi & Abedi, 2012). نتایج بررسی‌ها در مورد کارایی جذب و غلظت عناصر غذایی آهن، روی، مس و منگنز در گندم نشان داد که نانو اکسید آهن نسبت به اکسید آهن معمولی از برتری معنی‌داری

برخوردار بود (Mazaherinia et al., 2010). دیگر پژوهشگران نیز گزارش کردند محلول‌پاشی آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمولی آن، تأثیر بیشتری بر رشد و غلظت عناصر غذایی در آفتابگردان داشت (Torabian & Zahedi, 2013).

یکی دیگر از راهکارهای بهبود عملکرد گیاهان زراعی، افزایش کارایی فتوسنتزی با استفاده از منابع و ترکیباتی است که بتواند موجب افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن شوند (Dawood et al., 2013). استفاده از ترکیباتی مانند متانول، اتانول، پروپانول، بوتانول و همچنین استفاده از اسیدهای آمینه گلیسین، گلوتامات و آسپارات (Ramberg et al., 2002) از جمله موادی هستند که می‌توانند با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در گیاهان سه کربنه به‌ویژه در شرایطی که با تنفس نوری زیاد مواجه هستند بخشی از تلفات کربن تثبیت‌شده توسط فتوسنتز را جبران نمایند. متانول به راحتی برای گیاهان قابل جذب می‌باشد. دی‌اکسیدکربن حاصل شده از اکسیداسیون سریع متانول با افزایش غلظت این ماده در بافت‌های فتوسنتزکننده، موجب افزایش فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و افزایش سرعت و میزان فتوسنتز (Faver & Gerik 1996) و کاهش تنفس نوری می‌شود. محلول‌پاشی متانول همچنین می‌تواند موجب افزایش تولید سایتوکینین و تحریک رشد گیاه (Ivanova et al., 2001a) و تأخیر در پیری برگ‌ها از طریق اثر روی محرک‌های تولید اتیلن در گیاه شود (Ivanova et al., 2001b).

از پاسخ‌های گیاهان به تنش خشکی تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول است که منجر به سازگاری اسمزی گیاه می‌شود (Hadi et al., 2016). افزایش پرولین در شرایط تنش به افزایش فعالیت آنزیم پرولین ۵- کربوکسیلات سنتتاز (که در مسیر بیوسنتز پرولین نقش دارد) و کاهش فعالیت آنزیم پرولین

تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد متانول و نانو اکسید آهن بر عملکرد و مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان

محتوای کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره پر شدن دانه می‌تواند با افزایش میزان آسیمیلایون و همچنین افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه (Tsunno *et al.*, 1994) به افزایش وزن دانه کمک نماید.

به دلیل محدودیت آبی در کاهش عملکرد آفتابگردان و تأثیر متانول و نانو اکسید آهن در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از آن، بررسی‌های محدود انجام شده در منطقه در خصوص بر همکنش توأم این عوامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا تأثیر آنها بر عملکرد و برخی صفات آگروفیزیولوژیکی آفتابگردان در شرایط محدودیت آبی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. اقلیم محل اجرای آزمایش از نوع نیمه خشک سرد می‌باشد. متوسط بارش سالیانه آن بر اساس آمار ۳۰ ساله برگرفته از سایت اداره هواشناسی اردبیل بین ۲۸۰-۳۰۰ میلی‌متر متغیر است. ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است.

دهیدروژناز (که در تجزیه پرولین نقش دارد) نسبت داده شده است (Hadi *et al.*, 2016). متانول محلول‌پاشی شده روی برگ توسط آنزیم متانول اکسیداز و با از دست دادن $2H^+$ تبدیل به فرمات (متانوئیک اسید) می‌شود. فرمات در مرحله بعد توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به CO_2 و H_2O می‌شود (Nonomura & Benson, 1992). از طرف دیگر گزارش شده آنزیم پیرولین ۵ کربوکسیلات سنتتاز در شرایط اسیدی بیشترین فعالیت را دارد (Yordanov *et al.*, 2003). به نظر می‌رسد متانول با کاهش pH در گیاه منجر به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین ۵ کربوکسیلات سنتتاز شده و در نهایت منجر به تجمع پرولین در برگ‌ها می‌شود. نتایج یک بررسی نشان داد که کاربرد ۳۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش پرولین در بادرسبو شد (Chezki, 2013).

محلول‌پاشی متانول با افزایش CO_2 منجر به روند کربوکسیلاسیون بیشتر و اکسیژناسیون کمتر می‌شود (Faver & Gerik, 1996). از این رو در اثر کاربرد متانول میزان کربوهیدرات‌های برگ‌ها افزایش می‌یابد. در یک بررسی بالاترین میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ (۳۴/۲۱ درصد) و محتوای کلروفیل a، b، کاروتنوئید و کلروفیل کل با کاربرد متانول با غلظت ۲۰ درصد حجمی مشاهده شد (Dawood *et al.*, 2013). برخی پژوهشگران (Yordanov *et al.*, 2003) اعلام کردند کاربرد متانول موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ گندم شد و بهبود

جدول ۱. تجزیه فیزیکی شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

| بافت خاک (%) | | | پتاسیم قابل جذب | فسفر قابل جذب | نیتروژن کل | کربن آلی | pH | هدایت الکتریکی $EC \times 10^3$ | عمق نمونه برداری |
|--------------|------|----|-----------------------|-----------------------|------------|----------|-----|------------------------------------|------------------|
| رس | سیلت | شن | (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | (%) | (%) | | | |
| ۵ | ۵۲ | ۴۳ | ۳۳۶/۵ | ۳۸/۳ | ۰/۱۲ | ۱/۰۸ | ۸/۲ | ۱/۵۹ | ۴۵-۰ |

به منظور تعیین مؤلفه‌های پر شدن دانه، پس از پایان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه در فواصل زمانی هر پنج روز یک بار، دو بوته مشابه و به ظاهر یکنواخت، به طور تصادفی از بین بوته‌های رقابت‌کننده در هر مرحله از نمونه‌برداری انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها جدا شده و سپس وزن خشک تک‌بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini *et al.*, 2004). به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای براساس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nlin نرم‌افزار SAS به صورت زیر استفاده شد (Soltani, 1998).

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان، b سرعت پر شدن دانه، t₀ پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t₀ که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله (t₀، t) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t₀) به دست آمده و سپس مقدار عددی t₀ در قسمت دوم رابطه یک قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه EFP=MGW/GFR استفاده شد (Ellis & Pieta-Filho 1992). در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه (روز)، MGW حداکثر وزن دانه (گرم) و GFR سرعت پر شدن دانه (گرم در روز) است.

فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد متانول در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد و کاربرد ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول)، نانوآکسید آهن در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد و کاربرد ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید آهن) و سه سطح آبیاری (آبیاری کامل به عنوان شاهد، محدودیت شدید آبی یا قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گلدهی و محدودیت ملایم آبی یا قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله پر شدن دانه) بودند. به هر کدام از محلول‌های تهیه‌شده با متانول دو گرم در لیتر گلیسین به منظور جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول اضافه شد (Hossinzadeh *et al.*, 2011). زمان محلول‌پاشی با متانول در سه مرحله [یک ماه بعد از کاشت (معادل کد ۱۵ تقسیم بندی BBCH)، شروع مرحله گلدهی (معادل کد ۶۱ از تقسیم بندی BBCH)، پایان گلدهی و شروع مرحله پر شدن دانه (معادل کد ۷۱ از تقسیم بندی BBCH)] را شامل می‌شدند (Seyed Sharifi & Khalilzadeh, 2018). همچنین زمان محلول‌پاشی با نانوآکسید آهن در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله ۸-۷ برگگی معادل کد ۱۸-۱۷ از تقسیم بندی BBCH و مرحله پایان رشد رویشی معادل کد ۵۹ از تقسیم بندی BBCH) را شامل می‌شد (Seyed Sharifi & Khalilzadeh, 2018). هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف سه متری با فاصله بین ردیفی ۶۰ سانتی متر بود. بین هر واحد آزمایشی حداقل سه ردیف نکاشت به منظور جلوگیری از اثر محلول‌پاشی و نشت آب به کرت‌های مجاور قرار داده شد. کاشت در ۱۲ اردیبهشت‌ماه با دست در عمق ۴ تا ۵ سانتی متری و به صورت هیرم‌کاری انجام شد. در مرحله ۴ تا ۵ برگگی به منظور اعمال تراکم مناسب بوته‌ها (۵/۵ بوته در متر مربع) گیاهچه‌ها تنک شدند. به جز نانوآکسید آهن کود خاصی در طول دوره رشد گیاه مصرف نشد.

تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد متانول و نانو اکسید آهن بر عملکرد و مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان

تجزیه واریانس مورد استفاده قرار گرفت. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹٫۱) و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کاربرد متانول و نانو اکسید آهن و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر تمامی مؤلفه‌های پر شدن دانه (اعم از سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). حداکثر وزن دانه نیز تحت تأثیر سطوح آبیاری، کاربرد متانول، نانو اکسید آهن و اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری با متانول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که الگوی نمو بذر در تمامی فاکتورهای مورد بررسی مشابه است (شکل ۱).

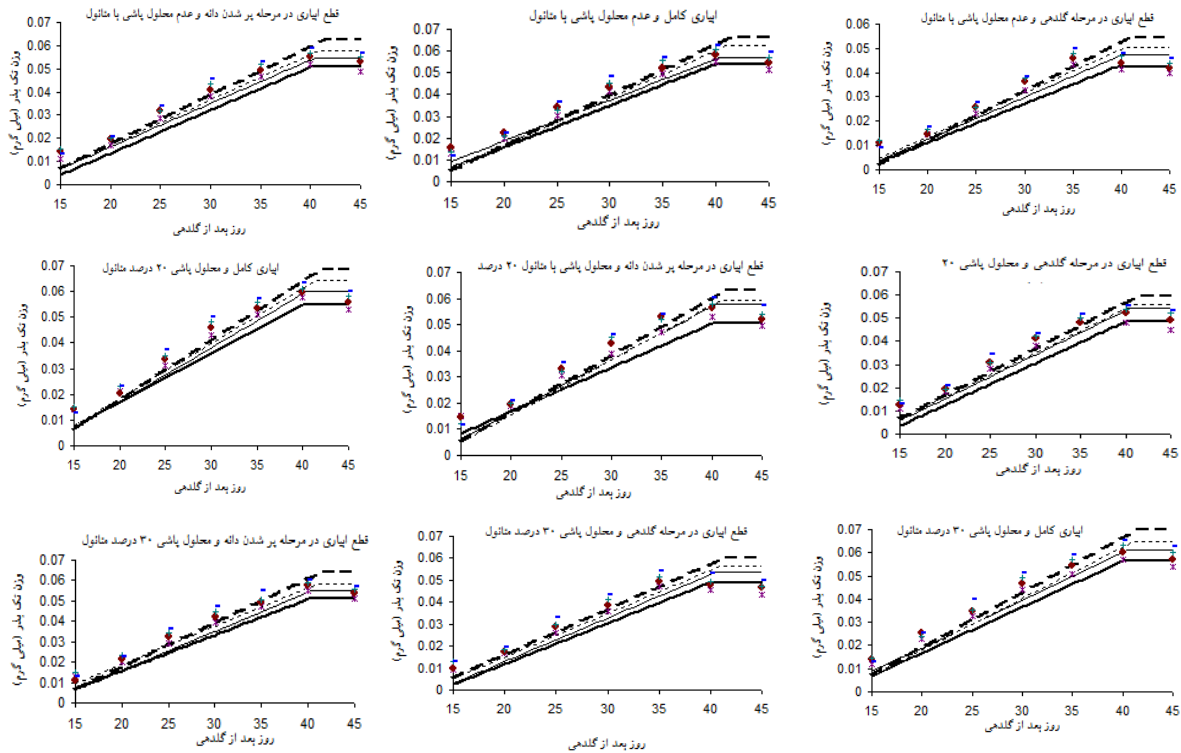
اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش Bates *et al.* (1973) و قندهای محلول با روش Dubois *et al.* (1956) انجام شد. برای اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی، در هر واحد آزمایشی سه بوته و در هر بوته از چهار برگ انتهایی عدد دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502، مینولتای ژاپن) قرائت و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه داده‌ها به‌کار گرفته شد. عملکرد دانه با برداشت از سطحی معادل نیم مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. در هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای، چهار نمونه بذری ۲۵۰ تایی وزن شد و بعد از میانگین‌گیری و ضرب عدد به‌دست‌آمده در چهار، به‌عنوان ارزش این صفت در تجزیه داده‌ها به‌کار گرفته شد.

برای برآورد تعداد دانه دانه پر و پوک در طبق از خطوط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه ۸ بوته به‌صورت تصادفی و از بین بوته‌های رقابت‌کننده برداشت و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر سطوح آبیاری، متانول و نانو اکسید آهن بر مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان

| منابع تغییر | درجه آزادی | حداکثر وزن دانه | طول دوره پر شدن دانه | سرعت پر شدن دانه | دوره مؤثر پر شدن دانه | پرولین | قندهای محلول | شاخص کلروفیل | دانه پر در طبق | دانه پوک در طبق | وزن هزار دانه | عملکرد دانه |
|--------------------------|------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| تکرار (R) | ۲ | ۰/۰۰۳۳۷ ^{ns} | ۴/۳۳ ^{ns} | ۱۷۴۸/۵۲ ^{ns} | ۹۴۱/۹۰۲ ^{ns} | ۳/۱۷۳ ^{ns} | ۳۳۸/۸۲ ^{ns} | ۱۵۲/۸۳ ^{ns} | ۱۰۳۲۹۶/۱۸ ^{ns} | ۱۹۰۵/۴ ^{ns} | ۱۹۷۱/۶۹ ^{ns} | ۱۹۸۹۳۸۴/۲ ^{ns} |
| سطوح آبیاری (I) | ۲ | ۰/۰۰۱۰۳ ^{ns} | ۱/۰۱۳ ^{ns} | ۱۲۸/۲۱ ^{ns} | ۱۱۱۷/۲ ^{ns} | ۲۰۰/۱۶ ^{ns} | ۴۴۵۰/۵۲ ^{ns} | ۴۶۹۴/۷۵ ^{ns} | ۶۸۵۲۴۷/۴۱ ^{ns} | ۴۳۱۹۷/۹۷ ^{ns} | ۱۳۲۴/۶۵ ^{ns} | ۲۱۸۸۵۹۹۹/۷۵ ^{ns} |
| سطوح متانول (M) | ۲ | ۰/۰۰۰۲۰ ^{ns} | ۲/۵۶۹ ^{ns} | ۴۷/۷۷ ^{ns} | ۱۰/۲۱ ^{ns} | ۲۷/۷۵ ^{ns} | ۴۹۳/۹۸ ^{ns} | ۵۴۰/۳۶ ^{ns} | ۱۲۶۷۸/۵۸ ^{ns} | ۳۴۹۲۵ ^{ns} | ۲۸۱/۳۷ ^{ns} | ۱۱۵۸۵۵۶/۶۹ ^{ns} |
| سطوح نانو اکسید آهن (Fe) | ۳ | ۰/۰۰۰۰۱۵ ^{ns} | ۳/۵۳۱ ^{ns} | ۳/۳۳ ^{ns} | ۱۱/۶۵ ^{ns} | ۲/۹۱ ^{ns} | ۱۷۵/۲۸ ^{ns} | ۵۰/۶۰ ^{ns} | ۱۹۴۷۰/۲۴ ^{ns} | ۸۸۷/۸۴ ^{ns} | ۲۲/۱۴ ^{ns} | ۱۳۳۱۵۱/۹۱ ^{ns} |
| I × M | ۴ | ۰/۰۰۰۰۰۲۵ ^{ns} | ۵/۹۵ ^{ns} | ۳/۳۴ ^{ns} | ۳/۴۷ ^{ns} | ۲/۳۹۴ ^{ns} | ۵/۴۰ ^{ns} | ۱۷/۸۲ ^{ns} | ۵۹۷۳/۳۳ ^{ns} | ۹۱۰/۵۶ ^{ns} | ۳۱/۹۲ ^{ns} | ۵۶۱۸۹/۵۷ ^{ns} |
| I × Fe | ۶ | ۰/۰۰۰۰۰۰۲۵ ^{ns} | ۶/۹۱۷ ^{ns} | ۲/۱۳ ^{ns} | ۱۲/۳۹ ^{ns} | ۰/۵۲۹ ^{ns} | ۳/۶۹ ^{ns} | ۱/۸۲ ^{ns} | ۱۳۲۷/۴۷ ^{ns} | ۴۷/۱۶ ^{ns} | ۳/۵۸ ^{ns} | ۷۴۵۵/۶۴ ^{ns} |
| M × Fe | ۶ | ۰/۰۰۰۰۰۰۱۰۷ ^{ns} | ۳/۳۳۶ ^{ns} | ۲/۰۴ ^{ns} | ۱/۸۵ ^{ns} | ۰/۰۷۹ ^{ns} | ۱۰/۳۰ ^{ns} | ۱/۵۹ ^{ns} | ۱۲۸۳/۲۵ ^{ns} | ۲۲/۴۴ ^{ns} | ۳/۷۹ ^{ns} | ۱۷۳۶۵/۰۹ ^{ns} |
| I × M × Fe | ۱۲ | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۸ ^{ns} | ۲/۱۱۷ ^{ns} | ۱/۵۳ ^{ns} | ۱/۶۵ ^{ns} | ۰/۰۷۳ ^{ns} | ۱۲/۲۹ ^{ns} | ۱/۳۶ ^{ns} | ۳۱۰۳/۲۸ ^{ns} | ۸۹/۱۹ ^{ns} | ۳/۰۱ ^{ns} | ۹۷۲۰/۰۹ ^{ns} |
| خطای آزمایشی | ۷۰ | ۰/۰۰۰۰۰۰۱۰۵ | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۳ | ۰/۱۹۴ | ۰/۱۴ | ۰/۰۳۹ | ۱/۸۶ | ۰/۲۲ | ۷۵۵/۴۹ | ۶/۷۳ | ۱/۴۹ | ۵۶۲۸/۹۷ |

ns، * و **: نبود اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۱. بررسی روند تغییرات پر شدن دانه تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول پاشی با نانو اکسید آهن و متانول

————— مقادیر پیش بینی شده (عدم کاربرد نانو اکسید آهن)
 - - - - - مقادیر پیش بینی شده (کاربرد ۰/۶ گرم در لیتر نانو اکسید آهن)
 * مقادیر مشاهده شده (عدم کاربرد نانو اکسید آهن)
 + مقادیر مشاهده شده (کاربرد ۰/۶ گرم در لیتر نانو اکسید آهن)

————— مقادیر پیش بینی شده (کاربرد ۰/۳ گرم در لیتر نانو اکسید آهن)
 - - - - - مقادیر مشاهده شده (کاربرد ۰/۳ گرم در لیتر نانو اکسید آهن)
 * مقادیر مشاهده شده (کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن)
 + مقادیر مشاهده شده (کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن)

داشتند که در شرایط تنش شدید، کاهش بیشتر آماس سلولی و تقسیم سلولها منجر به کاهش رشد و طول دوره پر شدن دانه می شود که با نتایج به دست آمده از این آزمایش مطابقت دارد (Goksoy et al., 2004).

وزن دانه از ۰/۰۵۱۸ گرم در حالت عدم کاربرد متانول به ۰/۰۵۶۶ گرم در بالاترین سطح از کاربرد متانول افزایش یافت (جدول ۳). به بیانی دیگر افزایش ۹/۲۶ درصدی در وزن دانه به واسطه کاربرد ۳۰ درصد حجمی متانول در مقایسه با عدم کاربرد آن مشاهده شد (جدول ۳). افزایش ۳/۱ درصدی نیز در حداکثر وزن دانه با کاربرد مقادیر بالای نانو اکسید آهن در مقایسه با عدم مصرف آن مشاهده شد (جدول ۳).

به این ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به صورت یک خط افقی درآمد. مقایسه میانگینها نشان داد که حداکثر وزن دانه در شرایط آبیاری کامل (۰/۰۵۹۱ گرم) و حداقل آن (۰/۰۴۸۵ گرم) در قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گلدهی به دست آمد (جدول ۳). پژوهشگران گزارش کرده اند که آفتابگردان در مرحله باز شدن ۵۰ درصد گل های لوله ای بیشترین حساسیت را به تنش خشکی دارد و محدودیت آبی در این مرحله می تواند به شدت وزن دانه را تغییر دهد (Osman & Talha, 1975). در این راستا برخی اظهار

تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد متانول و نانو اکسید آهن بر عملکرد و مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان

آبیاری کامل و مصرف متانول و نانو اکسید آهن را می‌توان به بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت داد. طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (به ترتیب ۰/۰۲۳۹ گرم در روز و ۴۲ و ۳۳ روز) در شرایط آبیاری کامل و در سطوح بالای متانول (۳۰ درصد حجمی) و نانو اکسید آهن (۰/۹ گرم در لیتر) به دست آمد (جدول ۵).

البته بین طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه در آبیاری کامل با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی در سطح ۰/۶ گرم در لیتر نانو اکسید آهن با همین ترکیب تیماری (آبیاری کامل با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی) در سطح ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده نشد (جدول ۵). نتایج این بررسی با نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهشگران مبنی بر این‌که تنش‌های محیطی با کاهش طول دوره پر شدن دانه، به‌طور معنی‌داری وزن نهایی دانه را کاهش می‌دهند مطابقت دارد (Mass & Grieve, 1990). برخی کاهش دوره پر شدن دانه تحت شرایط محدودیت آبی را به توقف عرضه مواد فتوسنتزی، کاهش محتوای آب دانه، و یا توقف فعالیت متابولیسمی مخزن نسبت داده‌اند (Maiti et al., 2002). Babaei et al. (2018) اظهار داشتند که روی و آهن می‌تواند از طریق طولانی کردن دوره پر شدن دانه، به افزایش وزن دانه کمک کنند. عده‌ای معتقدند دانه‌های با وزن بالاتر، از سرعت پر شدن بالاتری نسبت به دانه‌های با وزن کمتر برخوردار می‌باشند (Kumari & Valarmathi, 1998) و به‌نظر می‌رسد بالا بودن سرعت پر شدن دانه در شرایط آبیاری کامل، کاربرد سطوح بالای متانول و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن، می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از افزایش وزن دانه و به تبع از آن عملکرد دانه باشد. ضمن آن‌که در همین ترکیب تیماری نیز حداکثر شاخص کلروفیل (۵۶) به دست آمد (جدول ۶).

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر سطوح آبیاری، متانول و نانو اکسید آهن بر مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان

| سطوح آبیاری | حداکثر وزن دانه (گرم) |
|-----------------------------------|-----------------------|
| قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی | ۰/۰۴۸۵c |
| قطع آبیاری در ۵۰ درصد پر شدن دانه | ۰/۰۵۴۹b |
| آبیاری کامل | ۰/۰۵۹۱a |
| LSD | ۰/۰۰۰۵ |
| سطوح متانول | |
| عدم مصرف | ۰/۰۵۱۸c |
| ۲۰ درصد حجمی | ۰/۰۵۴b |
| ۳۰ درصد حجمی | ۰/۰۵۶۶a |
| LSD | ۰/۰۰۰۵ |
| سطوح نانو اکسید آهن | |
| عدم مصرف | ۰/۰۵۳۴c |
| ۰/۳ | ۰/۰۵۳۷c |
| ۰/۶ | ۰/۰۵۴۴b |
| ۰/۹ | ۰/۰۵۵۱a |
| LSD | ۰/۰۰۰۶ |

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

مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری متانول در سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین وزن دانه (۰/۰۶۱۲ گرم) در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول مشاهده شد که در مقایسه با عدم کاربرد متانول و قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گلدهی از افزایش ۳۷ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد دی‌اکسیدکربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در بافت‌های فتوسنتزکننده، موجب افزایش فعالیت کربوکسیلازی آنزیم رویسکو، افزایش سرعت و میزان فتوسنتز و کاهش تنفس نوری شده (Gout et al., 1996; Faver & Gerik, 2000) و به تبع از آن میزان فتوسنتز و وزن دانه افزایش می‌یابد. در این راستا برخی پژوهشگران گزارش کردند که افزایش غلظت CO₂ وزن خشک آفتابگردان را هم در شرایط تنش خشکی و هم بدون تنش افزایش داد درحالی‌که در ذرت چنین واکنشی مشاهده نشد (Vajan et al., 2011). بخشی از افزایش وزن دانه به‌واسطه

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری و متانول بر حداکثر وزن دانه آفتابگردان

| سطوح متانول | | | سطوح آبیاری |
|--------------|--------------|----------|-----------------------------------|
| ۳۰ درصد حجمی | ۲۰ درصد حجمی | عدم مصرف | |
| ۰/۰۵۲۶g | ۰/۰۴۸۴h | ۰/۰۴۴۴i | قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی |
| ۰/۰۵۶۲d | ۰/۰۵۴۸e | ۰/۰۵۳۵f | قطع آبیاری در ۵۰ درصد پر شدن دانه |
| ۰/۰۶۱۲a | ۰/۰۵۸۷b | ۰/۰۵۷۵c | آبیاری کامل |
| | ۰/۰۰۰۹ | | LSD |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم دارند.

در طبق می‌شود. نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش تعداد دانه پوک در نیام لویبا با کاربرد متانول در بررسی‌های دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Mirakhori *et al.*, 2012). برخی معتقدند کمبود آهن به دلیل کاهش محتوای کلروفیل و دیگر رنگیزهای گیاهی نظیر کاروتن و گزانتوفیل، موجب می‌شود فتوسنتز به شدت کاهش و درصد پوکی افزایش یابد (Duffy *et al.*, 1992).

تعداد دانه پر در طبق

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه پر در طبق (۱۱۲۱ دانه در طبق) در شرایط آبیاری کامل در طول دوره رشد و محلول‌پاشی با متانول ۳۰ درصد و کاربرد ۰/۶ گرم در لیتر نانوآکسید آهن به‌دست آمد (جدول ۶)، که اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با ترکیب تیماری آبیاری کامل، محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول و کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید آهن نداشت. متانول استفاده‌شده بر روی گیاهان سه کربنه به‌ویژه در شرایط با تنفس نوری زیاد، می‌تواند بخشی از تلفات کربن تثبیت‌شده توسط فتوسنتز را جبران نماید که این امر منجر به افزایش فتوسنتز خالص در واحد سطح و بالا رفتن تولید ماده خشک در گیاهان زراعی سه کربنه می‌شود (Ramberg *et al.*, 2002). ریزمغذی آهن نیز تأثیر بسیار معنی‌داری بر درصد پوکی دانه‌ها داشت.

به‌نظر می‌رسد با افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۶) میزان آسیمیلاسیون افزایش یافته و می‌تواند موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه و در نهایت موجب افزایش وزن دانه شود. در این راستا برخی پژوهشگران اظهار داشتند که افزایش میزان کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره پر شدن دانه به‌دلیل تأخیر در پیری برگ، موجب افزایش مؤلفه‌های پر شدن دانه می‌شود (Tsunno *et al.*, 1994).

تعداد دانه پوک در طبق

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه پوک در طبق در شرایط قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گلدهی و عدم محلول‌پاشی با متانول و نانوآکسید آهن به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد علت افزایش تعداد دانه پوک در طبق در شرایط محدودیت شدید آبی (یا قطع آبیاری در مرحله گلدهی) در مقایسه با آبیاری کامل را می‌توان به عدم وجود لقای کامل و عدم جذب مناسب مواد غذایی توسط دانه در شرایط نامساعد رطوبتی نسبت داد. محلول‌پاشی با متانول منجر به کاهش تعداد دانه پوک در طبق شد. به‌نظر می‌رسد در چنین شرایطی دسترسی بیشتر گیاه به CO₂ موجب می‌شود فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو تشدید و میزان تنفس نوری کاهش یابد که در نهایت منجر به افزایش فتوسنتز و کاهش تعداد دانه پوک

تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد متانول و نانو اکسید آهن بر عملکرد و مؤلفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری و متانول بر حداکثر وزن دانه آفتابگردان

| ترکیب تیماری | هزاردانه (گرم) | دوره مؤثر پر شدن دانه (روز) | طول دوره پر شدن دانه (روز) | سرعت پر شدن دانه (گرم در روز) |
|------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| $I_1 \times M_1 \times Fe_1$ | ۲۴/۳۹q | ۲۵/۷۹o | ۳۵/۲r | ۰/۰۰۱۵۷s |
| $I_1 \times M_1 \times Fe_2$ | ۲۵/۰۳q | ۲۶/۰۲no | ۳۵/۴rq | ۰/۰۰۱۶۷r |
| $I_1 \times M_1 \times Fe_3$ | ۲۶/۲۷pq | ۲۶/۰۸no | ۳۶/۸۷o | ۰/۰۰۱۸۱n-p |
| $I_1 \times M_1 \times Fe_4$ | ۲۷/۶p | ۲۶/۲۷no | ۳۵/۸۹pq | ۰/۰۰۱۶۹r |
| $I_1 \times M_2 \times Fe_1$ | ۳۰/۰۸o | ۲۶/۳۷mn | ۳۶/۱۸p | ۰/۰۰۱۸۵m-o |
| $I_1 \times M_2 \times Fe_2$ | ۳۰/۱o | ۲۶/۴۲mn | ۳۶/۸۷o | ۰/۰۰۱۹۶hi |
| $I_1 \times M_2 \times Fe_3$ | ۳۰/۲۲o | ۲۶/۵۳mn | ۳۶/۸۷o | ۰/۰۰۱۹۱i-k |
| $I_1 \times M_2 \times Fe_4$ | ۳۰/۵۱no | ۲۶/۵۷mn | ۳۶/۰۸p | ۰/۰۰۱۸۵m-o |
| $I_1 \times M_3 \times Fe_1$ | ۳۰/۶۲m-o | ۲۶/۸۹lm | ۳۹/۴۹hi | ۰/۰۰۱۸۰po |
| $I_1 \times M_3 \times Fe_2$ | ۳۱/۴۵۱۱-o | ۲۶/۳۱kl | ۳۸/۵۴j-l | ۰/۰۰۱۷۸pq |
| $I_1 \times M_3 \times Fe_3$ | ۳۱/۴۸۱۱-o | ۲۷/۳۶kl | ۳۹/۷۵gh | ۰/۰۰۱۸۰po |
| $I_1 \times M_3 \times Fe_4$ | ۳۲/۳۵k-n | ۲۷/۶۸jk | ۳۷/۹۷ml | ۰/۰۰۱۷۵q |
| $I_2 \times M_1 \times Fe_1$ | ۳۲/۵۳k-m | ۲۷/۸۱i-l | ۳۸/۲۸k-m | ۰/۰۰۱۷۸pq |
| $I_2 \times M_1 \times Fe_2$ | ۳۲/۵۹k-m | ۲۹/۵cd | ۳۷/۳۶no | ۰/۰۰۲۰۴fg |
| $I_2 \times M_1 \times Fe_3$ | ۳۲/۶k-m | ۲۷/۹۶h-j | ۳۸/۱۶k-m | ۰/۰۰۱۷۷pq |
| $I_2 \times M_1 \times Fe_4$ | ۳۳/۱۵j-l | ۲۸/۰۲i-h | ۳۷/۸mn | ۰/۰۰۱۸۴m-o |
| $I_2 \times M_2 \times Fe_1$ | ۳۳/۴j-l | ۳۰/۷۹b | ۳۹/۰۴ji | ۰/۰۰۱۹۴ji |
| $I_2 \times M_2 \times Fe_2$ | ۳۳/۹۷i-k | ۳۰/۰۱c | ۳۹/۵۸hi | ۰/۰۰۱۹۴ji |
| $I_2 \times M_2 \times Fe_3$ | ۳۳/۹۱i-k | ۲۸/۳۲g-i | ۴۰/۲۴fg | ۰/۰۰۲۱۰de |
| $I_2 \times M_2 \times Fe_4$ | ۳۴/۱۹i-k | ۳۰/۹۷b | ۳۸/۵۹kj | ۰/۰۰۱۸۸k-m |
| $I_2 \times M_3 \times Fe_1$ | ۳۵/۱۳h-i | ۲۸/۴۳fgh | ۳۹/۷۷gh | ۰/۰۰۱۸۴m-o |
| $I_2 \times M_3 \times Fe_2$ | ۳۴/۵۴g-i | ۳۱/۱۶b | ۴۰/۵۹ef | ۰/۰۰۱۸۶k-n |
| $I_2 \times M_3 \times Fe_3$ | ۳۶/۲۹gh | ۲۸/۵۱f-h | ۳۹/۱۲ji | ۰/۰۰۱۹۰j-l |
| $I_2 \times M_3 \times Fe_4$ | ۳۶/۳۵fgh | ۲۹/۸۳c | ۴۰/۸۲d-f | ۰/۰۰۱۹۶hi |
| $I_3 \times M_1 \times Fe_1$ | ۳۷/۰۸fgh | ۲۸/۶۳e-g | ۳۸/۱۸k-m | ۰/۰۰۱۸۶k-n |
| $I_3 \times M_1 \times Fe_2$ | ۳۷/۴۷e-g | ۲۸/۶۸e-g | ۳۹/۳۳hi | ۰/۰۰۲۰۲g |
| $I_3 \times M_1 \times Fe_3$ | ۳۸/۳d-f | ۲۸/۷۶e-g | ۴۱/۳۶ab-d | ۰/۰۰۲۰۸ef |
| $I_3 \times M_1 \times Fe_4$ | ۳۹/۰۹de | ۲۸/۸۵e-g | ۴۱/۶۲۵a-c | ۰/۰۰۱۹۶hi |
| $I_3 \times M_2 \times Fe_1$ | ۴۵/۶۷b | ۲۸/۸۹e-g | ۴۱/۰۳de | ۰/۰۰۲gh |
| $I_3 \times M_2 \times Fe_2$ | ۳۹/۱۸de | ۲۹d-f | ۳۹/۵۳hi | ۰/۰۰۲۱۶c |
| $I_3 \times M_2 \times Fe_3$ | ۳۹/۸۳cd | ۲۹/۱۷de | ۴۱/۱۵۲c-e | ۰/۰۰۲۱۸c |
| $I_3 \times M_2 \times Fe_4$ | ۴۶/۰۳b | ۲۹/۸۱c | ۴۰/۹de | ۰/۰۰۲۱۰de |
| $I_3 \times M_3 \times Fe_1$ | ۳۹/۸۷cd | ۳۰/۰۴c | ۴۱/۸۸ab | ۰/۰۰۲۲b |
| $I_3 \times M_3 \times Fe_2$ | ۴۰/۲۶cd | ۳۱/۳۲b | ۴۱/۲۳cd | ۰/۰۰۲۱۴cd |
| $I_3 \times M_3 \times Fe_3$ | ۴۱/۷۸c | ۳۳/۸۳a | ۴۲a | ۰/۰۰۲۲۸b |
| $I_3 \times M_3 \times Fe_4$ | ۵۰/۳۴a | ۳۳/۴۵a | ۴۲/۱۵۵a | ۰/۰۰۲۳۹a |
| LSD | ۱/۹۹ | ۰/۵۷۴ | ۰/۵۸۳ | ۵۲۸×۱۰ ^{-۷} |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم دارند.

بزرگ‌کشاورزی

دوره ۲۱ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۸

در حالی که محلول پاشی با نانواکسید آهن منجر به افزایش تعداد دانه پر در بوته شد. طوری که نتایج حاصل از بررسی شاخص کلروفیل نشان داد مقدار این شاخص در حالت کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن در مقایسه با تیمار شاهد از افزایش ۷/۵ درصدی برخوردار بود (جدول ۶).

در بوته‌هایی که با نانواکسید آهن محلول پاشی شدند تعداد دانه پر به میزان قابل توجهی نسبت به بوته‌های شاهد افزایش داشت. در این زمینه گزارش شده است که در اثر کمبود آهن به دلیل کاهش محتوای کلروفیل و دیگر رنگدانه‌های گیاهی، فتوسنتز به شدت کاهش و درصد پوکی دانه‌ها افزایش می‌یابد (Duffy et al., 1992).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری، متانول و نانواکسید آهن بر برخی صفات آفتابگردان

| دانه پوک | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | دانه پر در طبق | پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر) | قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) | شاخص کلروفیل | ترکیب تیماری |
|----------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------------|--|-----------------|---|
| ۱۶۵/۸۹a | ۱۰۴۲q | ۴۹۴/۶۵q | ۶/۷۱i | ۵۹/۳۸h | ۳۲/۳۸p | I ₁ × M ₁ × Fe ₁ |
| ۱۶۵/۲a | ۱۰۶۶/۱۱q | ۵۸۹/۶۶p | ۷/۴۱h | ۶۰/۵۸g | ۳۲/۵۳p | I ₁ × M ₁ × Fe ₂ |
| ۱۵۰/۱۸۵b | ۱۱۰۷/۱۲pq | ۶۱۷/۰۲po | ۷/۸۳g | ۶۴/۸e | ۳۵/۵۹o | I ₁ × M ₁ × Fe ₃ |
| ۱۳۷/۴۲c | ۱۱۳۴/۹۳pq | ۶۵۶/۴۹no | ۸/۰۲f | ۶۴/۹۶e | ۳۶/۳۴no | I ₁ × M ₁ × Fe ₄ |
| ۱۳۲/۱۲d | ۱۱۳۹/۵۴pq | ۶۶۲/۲۴n | ۸/۰۵۴f | ۶۱/۰۶g | ۳۸/۶۳nm | I ₁ × M ₂ × Fe ₁ |
| ۱۲۲/۳e | ۱۱۷۰/۱۹pq | ۶۸۴/۳۱mn | ۸/۰۷f | ۶۵/۰۹e | ۳۹/۰۴۴m | I ₁ × M ₂ × Fe ₂ |
| ۱۱۴/۸۴f | ۱۱۹۲/۲۳p | ۶۸۹/۶mn | ۸/۶۴e | ۶۶/۲۷d | ۳۹/۶۵ml | I ₁ × M ₂ × Fe ₃ |
| ۱۱۲/۴۹f | ۱۲۲۸/۳۶p | ۶۹۹/۳۹k-n | ۹/۲۵d | ۶۸/۳۷c | ۳۹/۹۸ml | I ₁ × M ₂ × Fe ₄ |
| ۱۱۱/۱۶f | ۱۳۸۰/۹۸o | ۷۱۸/۶۶j-m | ۹/۶۳c | ۶۸/۱۶c | ۴۰/۳۳k-m | I ₁ × M ₃ × Fe ₁ |
| ۱۰۵/۴۲g | ۱۳۹۶/۵o | ۷۱۹/۴۴j-m | ۹/۶۹c | ۶۸/۳۳c | ۴۱/۶۹j-l | I ₁ × M ₃ × Fe ₂ |
| ۱۰۴/۷۸gh | ۱۴۱۵/۱۲o | ۷۳۲/۱۸i-l | ۱۰/۳۷b | ۶۹/۵۱b | ۴۲/۰۷i-k | I ₁ × M ₃ × Fe ₃ |
| ۱۰۳/۵۸gh | ۱۵۰۲/۰۱o | ۷۳۲/۶۵i-l | ۱۱/۱a | ۷۲/۷۵a | ۴۰/۰۷i-k | I ₁ × M ₃ × Fe ₄ |
| ۱۰۳/۰۶gh | ۱۷۵۴n | ۷۳۳/۷۹i-l | ۵/۱۷o | ۴۶/۶۴p | ۴۴/۰۹h-j | I ₂ × M ₁ × Fe ₁ |
| ۱۰۱/۱h | ۱۷۸۱/۷۹n | ۷۴۳/۵۳h-k | ۵/۴۳n | ۴۸/۵۴mn | ۴۴/۷hi | I ₂ × M ₁ × Fe ₂ |
| ۹۵/۴۱i | ۱۸۰۲/۹۱m | ۷۶۲/۰۲g-j | ۵/۵۲n | ۴۹/۲۳ml | ۴۴/۷hi | I ₂ × M ₁ × Fe ₃ |
| ۸۴/۴۳jz | ۱۹۱۱/۶۵m | ۷۶۴/۵۱g-j | ۵/۵۳n | ۴۹/۴۸۱۱ | ۴۵/۵gh | I ₂ × M ₁ × Fe ₄ |
| ۹۳/۸۴jz | ۲۰۳۴/۹۱۱ | ۷۷۲/۵۲fg-i | ۵/۵۳n | ۴۸/۲۴n | ۴۵/۷۶f-g | I ₂ × M ₂ × Fe ₁ |
| ۹۱/۸۷jz | ۲۰۷۲/۸۱۱ | ۷۷۳/۵۲fg-i | ۵/۸m | ۴۹/۷۸۱۱ | ۴۶/۳e-h | I ₂ × M ₂ × Fe ₂ |
| ۹۱/۸۱jz | ۲۱۱۰/۲۷kl | ۷۸۱/۳f-h | ۵/۹۲ml | ۵۴/۳۷j | ۴۶/۵e-h | I ₂ × M ₂ × Fe ₃ |
| ۹۰/۵jz | ۲۱۴۰/۴۱j-l | ۸۰۰/۷۲e-g | ۶/۱k | ۶۲/۰۶f | ۴۶/۶۳e-h | I ₂ × M ₂ × Fe ₄ |
| ۸۶/۱۴k | ۲۲۰۸/۷۹i-k | ۸۰۹/۷۱ef | ۶/۱۷k | ۵۳/۰۲k | ۴۶/۷۶e-h | I ₂ × M ₃ × Fe ₁ |
| ۸۴/۶۱k | ۲۲۳۴/۴۱jz | ۸۱۴/۲۵ef | ۶/۵۲j | ۵۵/۱۴j | ۴۷/۵۸d-g | I ₂ × M ₃ × Fe ₂ |
| ۷۸/۵۲۱۱ | ۲۲۶۹/۶۱i | ۸۲۹/۶۳ed | ۶/۵۳j | ۵۷/۸۶i | ۴۷/۰۶۹d-g | I ₂ × M ₃ × Fe ₃ |
| ۷۳/۶۲m | ۲۳۰۶/۲۲i | ۸۶۸/۰۲cd | ۶/۶۴jz | ۵۸/۱۲i | ۴۷/۸d-g | I ₂ × M ₃ × Fe ₄ |
| ۷۳/۲۲m | ۲۵۶۳/۷۵h | ۸۷۱/۴۴cd | ۳/۱ou | ۳۶/۴۵v | ۴۸/۳c-f | I ₃ × M ₁ × Fe ₁ |
| ۷۳/۲m | ۲۵۹۵/۱۴gh | ۸۷۶/۸۸c | ۳/۲u | ۳۹/۴۸u | ۴۸/۸b-e | I ₃ × M ₁ × Fe ₂ |
| ۷۱/۸۵m | ۲۶۳۸/۴۵f-h | ۸۸۳/۲۵c | ۳/۲۶u | ۴۱/۶۴s | ۴۹/۸۲b-d | I ₃ × M ₁ × Fe ₃ |
| ۷۱/۴m | ۲۸۶۷/۴۸a-c | ۸۸۴/۰۳c | ۳/۴۸t | ۴۲/۳۳rs | ۵۰/۰۲b-d | I ₃ × M ₁ × Fe ₄ |
| ۶۶/۷۴n | ۲۸۵۶/۸۵a-c | ۹۸۹/۸۷b | ۳/۹os | ۴۳/۰۷r | ۵۰/۰۶b-d | I ₃ × M ₂ × Fe ₁ |
| ۵۸/۳o | ۲۶۹۰/۵۵e-g | ۸۹۰/۵۶c | ۴/۱۸r | ۴۴/۱۸q | ۵۰/۰۷b-d | I ₃ × M ₂ × Fe ₂ |
| ۵۵/۹۵po | ۲۷۱۳/۲d-g | ۸۹۹/۸۸c | ۴/۶q | ۴۴/۴۴q | ۵۰/۶۳bc | I ₃ × M ₂ × Fe ₃ |
| ۵۳/۲pq | ۲۹۱۲/۷ab | ۹۹۶/۶۹b | ۴/۸۳p | ۴۷/۱۸po | ۵۱/۲۵b | I ₃ × M ₂ × Fe ₄ |
| ۵۱/۸pq | ۲۷۵۳/۱c-f | ۹۵۳/۵b | ۵/۱۳o | ۵۲/۸۴k | ۵۴/۹a | I ₃ × M ₃ × Fe ₁ |
| ۴۹/۸۶pq | ۲۷۸۵/۱c-f | ۹۶۳/۶b | ۳/۵۴t | ۴۰/۸۲t | ۵۵/۴۱a | I ₃ × M ₃ × Fe ₂ |
| ۳۸/۶۷r | ۲۸۱۶/۹b-d | ۹۸۶/۴۲b | ۴/۲۹r | ۴۴/۲۲q | ۵۵/۹a | I ₃ × M ₃ × Fe ₃ |
| ۳۷r | ۲۹۵۲/۶a | ۱۱۲۱/۷۴a | ۵o | ۴۷/۴۴o | ۵۶/۵۵a | I ₃ × M ₃ × Fe ₄ |
| ۴/۲۲ | ۱۲۲/۱۸ | ۴۴/۷۶ | ۰/۱۶۶ | ۰/۷۸۵ | ۲/۶۱ | LSD |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم دارند.

وزن هزاردانه

معنی‌دار شدن این صفت تحت تأثیر اثر ترکیب تیماری این سه عامل در سطح احتمال یک درصد (جدول ۲) و مقایسه میانگین‌های مربوطه نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه در محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول و کاربرد ۰/۶ گرم در لیتر نانوآکسید آهن در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. بخشی از بهبود وزن دانه و به تبع از آن بهبود وزن هزاردانه را می‌توان به مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت داد (جدول‌های ۳ تا ۵). همان ترکیب تیماری که موجب شده است تا طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه افزایش و به تبع از آن وزن دانه افزایش یابد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی با متانول موجب افزایش دسترسی گیاه به CO₂ و افزایش فتوسنتز (Nonomura & Benson, 1992) و کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده می‌شود که این موارد در نهایت موجب افزایش وزن دانه و به تبع از آن افزایش وزن هزاردانه در گیاهان تیمار شده می‌شود. بخشی از بالا بودن وزن دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد نانوآکسید آهن را می‌توان به افزایش شاخص کلروفیل نسبت داد. به طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین این شاخص (۶۱) در بالاترین سطح از کاربرد متانول و محلول‌پاشی با نانوآکسید آهن در شرایط آبیاری کامل به دست آمد و به نظر می‌رسد افزایش این شاخص توسط متانول با به تأخیر انداختن پیری و جلوگیری از سنتز اتیلن (Heins, 1980) می‌تواند موجب افزایش وزن دانه شود.

محتوای پرولین

معنی‌دار شدن این صفت تحت تأثیر اثر ترکیب تیماری هر سه عامل مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد (جدول ۲) و مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر مقدار پرولین (۱۱ میکروگرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط

قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کاربرد مقادیر بالای متانول و نانوآکسید آهن به دست آمد (جدول ۶). همچنین، کمترین مقدار آن (۳/۱۵ میکروگرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط محدودیت شدید آبی و عدم محلول‌پاشی با متانول و نانوآکسید آهن به دست آمد (جدول ۶). دیگر پژوهشگران نیز اظهار داشتند زمانی که گیاهان در معرض محدودیت آبی قرار می‌گیرند، مقدار پرولین و قندهای محلول برگ‌ها افزایش می‌یابد (Maiti et al., 2002). تجمع پرولین و سایر اسمولیت‌ها برای حفظ تورژسانس سلول‌های گیاهی در واکنش به افت پتانسیل آب سلول، یکی از مهم‌ترین فرآیندهای زیستی درون سلولی است (Hadi et al., 2016). پرولین علاوه بر نقش اسمولیتی که در تعادل اسمزی دارد، در پایداری ساختارهای زیر سلولی (غشاها و پروتئین‌ها)، خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و تنظیم پتانسیل ردوکس در شرایط تنش نقش دارد. پرولین تجمع‌یافته تحت تنش‌های محیطی واکنش‌های بیوشیمیایی را محدود نمی‌کند و طی تنش اسمزی نقش یک محافظ اسمزی را ایفا می‌کند. از این رو تجمع پرولین تحت شرایط تنش ممکن است به دلیل کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باشد (Simova-Stoilova et al., 2008). متانول محلول‌پاشی شده روی برگ توسط آنزیم متانول اکسیداز و با از دست دادن 2H⁺ تبدیل به فرمات (متانوئیک اسید) می‌شود. فرمات در مرحله بعد توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به CO₂ و H⁺ می‌شود (Nonomura & Benson, 1992). از طرف دیگر آنزیم پیرولین-5-کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) در شرایط اسیدی بیشترین فعالیت را دارد (Yordanov et al., 2003) و به نظر می‌رسد متانول با کاهش pH در گیاه منجر به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین-5-کربوکسیلات سنتتاز شده و در نهایت منجر به تجمع پرولین در برگ می‌شود. افزایش

افزایش میزان دی‌اکسیدکربن درون برگ‌ها موجب افزایش میزان آماس و تولید کربوهیدرات در برگ‌ها می‌شود. بر اساس گزارش‌های Nonomura & Benson (1992) محلول‌پاشی متانول در گیاهانی که در معرض تنش خشکی هستند به دلیل دو برابر شدن میزان قند تولیدشده موجب افزایش پتانسیل آب و محتوای آب نسبی می‌شود. افزایش محتوای قندهای محلول در اثر کاربرد توام نانوآکسید آهن و روی در گندم توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Babaei et al., 2017).

شاخص کلروفیل

بررسی شاخص کلروفیل در جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزایش محدودیت آبی شاخص سبزیگی برگ‌ها کاهش یافت. ولی با کاربرد متانول و نانوآکسید آهن، مقدار این شاخص افزایش یافت (جدول ۶). حداکثر این شاخص (۵۶) در شرایط آبیاری کامل، سطوح بالایی از کاربرد متانول و محلول‌پاشی با نانوآکسید آهن و حداقل آن (۳۲) در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم کاربرد نانوآکسید آهن و متانول به دست آمد (جدول ۶). کاهش در محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شوند (Simova-Stoilova et al., 2008). اثرات مفید کاربرد متانول بر افزایش شاخص کلروفیل را می‌توان به یکی از نقش‌های مهم محلول‌پاشی متانول در کاهش اثر تنش‌های القاشده به گیاهان زراعی در اثر کاهش تنفس نوری در آن‌ها نسبت داد (Downie et al., 2004). با توجه به اینکه ۲۵ درصد از کربن گیاه صرف تنفس نوری می‌شود و محلول‌پاشی متانول منجر به افزایش غلظت CO_2 درون سلولی و کاهش تنفس نوری می‌شود (Nonomura & Benson, 1992)، از این رو با کاهش

محتوای پروتئین در اثر کاربرد توام نانوآکسید آهن و روی در گندم توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Babaei et al., 2017).

قندهای محلول

مقایسه میانگین نشان داد حداکثر قندهای محلول (۷۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کاربرد مقادیر بالای متانول و نانوآکسید آهن به دست آمد (جدول ۶). همچنین، کمترین مقدار آن (۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط کاربرد آبیاری کامل و عدم محلول‌پاشی با متانول و نانوآکسید آهن به دست آمد (جدول ۶). احتمال داده می‌شود علت تجمع قندهای محلول طی تنش این است که قندهای نامحلول نشاسته تجزیه شده و قندهای محلول را ایجاد می‌کند تا پتانسیل اسمزی را حفظ کرده و خطر دهیدراتاسیون را کاهش دهد (Parvaiz & Satyawati, 2008). نقش فیزیولوژیک این قندها ممانعت از چسبندگی غشاهای مجاور در طول دوره تنش، نگهداری لپیدها، پایداری پروتئین‌ها از طریق ایجاد پیوندهای هیدروژنی با دنباله‌های خطی پروتئین‌ها و تنظیم بیان ژن می‌باشد (Hadi et al., 2016). متانول در مقایسه با دی‌اکسیدکربن به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود و به دلیل متابولیزه شدن سریع به دی‌اکسیدکربن منجر به افزایش میزان CO_2 و تشدید فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو می‌شود (Faver & Gerik, 1996). از این رو به نظر می‌رسد با افزایش میزان فتوسنتز در اثر کاربرد متانول، میزان کربوهیدرات‌های برگ‌ها افزایش می‌یابد. (Makhdom et al., 2002) نیز بیشترین میزان فتوسنتز و آسیمیلاسیون CO_2 را در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد حجمی متانول گزارش کردند. Rowe et al. (1994) اظهار داشتند که متانول پس از محلول‌پاشی متابولیزه شده و با

عملکرد شود (Goksoy *et al.*, 2004). نتایج مشابهی نیز مبنی بر این‌که تحریک رشد گیاهان C₄ می‌تواند در پاسخ به افزایش CO₂ افزایش یابد، ولی این میزان در مقایسه با گیاهان C₃ کمتر است توسط دیگر پژوهشگران (Derner *et al.*, 2003) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی متانول و نانو اکسید آهن تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل، پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی داشت. گرچه با افزایش محدودیت آبی شاخص کلروفیل کاهش پیدا کرد. ولی استفاده از متانول موجب بهبود آن شد. کاربرد متانول و نانو اکسید آهن در شرایط آبیاری کامل و محدودیت آبی موجب تولید بالاترین محتوای پروتئین و قندهای محلول شد. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با متانول و نانو اکسید آهن می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای بهبود عملکرد آفتابگردان حتی در شرایط محدودیت شدید آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد.

منابع

- Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. & Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn- Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 381-389.
- Babaei, Kh., Seyed Sharifi, R. & Pirzad, A.R. (2018). Effect of bio fertilizers and foliar application of Nano zinc oxide on chlorophyll content, grain filling period and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water limitation. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(31), 68-75. (In Persian)
- Baybordi, A. (2012). Role of zinc microelements in plant nutrition. Parivar press. 179 pp. (In Persian)
- Bates IS, Waldern RP & Teare I.D. (1973). Rapid determination of free prolin for water stress studies, *Plant and Soil*, 39, 205-207.

تنفس نوری، پراکسید هیدروژن تولید شده در پراکسی‌زوم کاهش یافته (Simova-Stoilova *et al.*, 2008) و صدمات وارده بر کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهشگران مبنی بر این‌که افزایش غلظت CO₂ از ۳۷۰ به ۷۳۰ پی‌پی‌ام، میزان کلروفیل برگ گندم را افزایش داد گزارش شده است (Heagle *et al.*, 1998).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کاربرد متانول و نانو اکسید آهن و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۲۹۵۲ کیلوگرم در هکتار) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول و کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۶). بخشی از بهبود عملکرد دانه را می‌توان به مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت داد (جدول‌های ۳ تا ۵). همان ترکیب تیماری که موجب شده است تا طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه افزایش و به تبع از آن وزن دانه و عملکرد افزایش یابد. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با متانول با افزایش دسترسی گیاه به CO₂ منجر به کاهش تنفس نوری بخشی از بالا بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد متانول و نانو اکسید آهن می‌تواند ناشی از بهبود وضعیت کلروفیل در چنین ترکیبات تیماری باشد. به‌طوری‌که مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص کلروفیل در بالاترین سطح از کاربرد متانول و محلول‌پاشی با نانو اکسید آهن در شرایط آبیاری کامل (۶۱) به‌دست آمد و به‌نظر می‌رسد افزایش این شاخص می‌تواند با به تأخیر انداختن پیری (Heins, 1980)، افزایش میزان آسیمیلایسیون و طول دوره پر شدن دانه موجب افزایش دوره فعال فتوسنتزی و انتقال بیشتر مواد به دانه شده و در نهایت منجر به افزایش

- Chezki, M. (2013). Effects of foliar application methanol on quantity and quality of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. MS.c thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Zabol. 162 pp. (In Persian)
- Dawood, M.G., El-Lethy S.R. & Sadak, M.S. (2013). Role of methanol and yeast in improving growth yield nutritive value and antioxidants of soybean, *World Applied Science Journal*, 26(1), 6-14.
- Derner, J., Johnson, H., Kimball, B.A., Pinter, P.J., Polley, H.W., Tishler, C.R., Otman, R.L., Matthias, A.D., & Brooks, T.J. (2003). Above and below ground responses of C₃-C₄ species mixtures to elevated CO₂ and soil water availability. *Global Change Biology*, 9, 452-460
- Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M. & Haslam, R. (2004). Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation, *Phytochemistry*, 65, 2305-2316.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, I.K., Rcbers, P.A. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chemistry*, 28, 350-356.
- Duffy, M., Wen-Yang, H. & Noel, D. (1992). The effects of alternative policy options desined to reduce nitrogen fertilizer use. *Enviroment International*, 18, 29-41
- Ellis, R.H. & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, 2, 19-25.
- Faver, K.L & Gerik, T.J. (1996). Foliar-applied methanol effects on cotton (*Gossypium hirsutum*.L) gas exchange and growth. *Field Crops Research*, 47, 227-234.
- Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M. & Daustu N. (2004). Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crop Research*, 87, 167-178
- Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A.R., Benson, A. & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, 123, 287-296.
- Hadi, H., Seyed Sharifi, R. & Namvar, A. (2016). Phytoprotectants and Abiotic Stresses. Urmia University press. 342 pp. (In Persian).
- Heagle, A.S., Miller, J.E. & Booker, F.L. (1998). Influence of ozone stress on soybean response to carbon dioxide enrichment: I. foliar properties. *Crop Science*, 38, 113-121.
- Heins, R. (1980). Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol, *American Society and Horticultural Science*, 105(1), 141-144.
- Hossinzadeh, S.R., Salimi, A. & Ganjeali, A. (2011). Effects of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental Stresses and Crop Science*, 4, 139-150. (In Persian).
- Ivanova E.G., Dornina N.V., Shepelyakovskaya, A.O., Laman, A.G., Brovko, F.A. & Trotsenko, Y.A. (2001a). Faculative and obligate aerobic methylobacteria synthesize cytokinins. *Journal of Microbiology*, 69, 646-651.
- Ivanova, E.G., Dornina, N.V. & Trotsenko, Y.A. (2001b). Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. *Journal of Microbiology*, 70, 392-397.
- Kumari S.L. & Valarmathi, G. (1998). Relationship between grain yield grain filling rate and duration of grain filling in rice. *Madras Agricultural Journal*. 85, 210-211.
- Maiti R.K., Moreno-limon S. & Wesche-ebeling, P. (2002). Responses of some crops to various abiotic stress factors and its physiological and biochemical basis of resistances. *Agricultural Reviews*, 21, 155-167.
- Makhdum, I.M., Nawaz, A., Shabab, M., Ahmad, F. & Illahi, F. (2002). Physiological response of cotton to methanol foliar application. *Journal of Research (Science)*, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan 13, 37-43.
- Mass, E.V. & Grieve, C.M. 1990. Spike and leaf development in salt stressed wheat. *Crop Science*, 30, 1309-1313
- Mazaherinia S., Astaraei A.R, Fotovat A. & Monshi A. (2010). Nano iron oxide particles efficiency on Fe , Mn , Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, 7(1), 36- 40.
- Mirakhori, M., Paknegad, F., Rihani, Y., Nazeri, P., Yeganehpour, F., Jamshidi, N. & Gafari, M. (2012). Effects of foliar application of methanol on yield and some physiological traits of bean. *Journal of Crop Echophysiology*, 7(1), 17-27. (In Persian).
- Naderi, M.R. & Abedi, A. (2012). Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Nanotechnology Journal*, 11(1), 18-26. (In Persian)
- Nonomura, A.M. & Benson, A.A. (1992). The path to carbon in photosynthesis: introved crop yields with methanol. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of*

- America the Academy, 89, 9794-9798.
- Osman, F. & Talha, M. (1975). The effect of irrigation regime on yield and consumption of sunflower seed oil. *Egypt Journal of Soil Science*, 15, 211-218.
- Parvaiz, A. & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant Soil and Environment*, 54, 89-99.
- Ramberg, H.A., Bradley, J.S.S., Olseon, I.S.C., Nishio, J.N., Markwell, J. & Osterman, J.C. (2002). The role of menthal in promoting plant growth: an update, *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 1, 113-126.
- Ronanini D., Savin, U. & Hall, R. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*, 83, 79-90.
- Rowe, R.N., Farr, D.J. & Richards, B.A.J. (1994). Effect of foliar and root application of methanol or ethanol on the growth of tomato plants. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 22, 335-337.
- Seyed Sharifi, R. & Khalilzadeh, R. (2018). Cereal Crops Production. University of Mohaghegh Ardabili press. 410 pp. (In Persian)
- Simova-Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N. & Feller, U. (2008). Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant Soil and Environment*, 54, 529-536.
- Soltani, A. (1998). Application of SAS statistical analysis (in Agriculture). Jahad Daneshgahi Mashhad Press. 188 pp. (In Persian)
- Torabian, Sh. & Zahedi, M. (2013). Effects of foliar application of common and nano-sized of iron sulphate on the growth of sunflower cultivars under salinity. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 44(1), 109-118. (In Persian)
- Tsuno, Y., Yamaguchi, T. & Nakano J. (1994). Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. *Bull. Faculty of Agricultural. Tottori University*, 47, 1-10.
- Vajan, M., Yadav, S.K., Archana, G., Jyothi Lalshmi, N.J., Reddy, P.R., Vagheera, P., Maheswari, M. & Venkateswarlu B. (2011). Response of C4 (maize) and C3 (sunflower) crop plants to drought stress and enhanced carbon dioxide concentration. *Plant Soil and Enviroment*, 57, 207-215.
- Welch, R.M., Allaway, W.H., House, W.A. & Kabota J. (1999). Geographic distribution of trace element problem. PP. 31-57. In: J. J. Mortvedt *et al.* Micronutrients in Agriculture. 2nd ed. Soil Science Society of America. Madison.WI.
- Yordanov, I., Velikova, V. & Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 2, 187-206.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 21 ■ No. 1 ■ Spring 2019

Effects of Different Irrigation Levels, Methanol Application, and Nano Iron Oxide on Yield and Grain Filling Components of Sunflower (*Helianthus annuus* L.)

Raouf Seyed Sharifi^{1*}, Reza Seyed Sharifi²

1. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Associate professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: August 29, 2018

Accepted: October 27, 2018

Abstract

In order to study the effect of irrigation levels and application of methanol and nano iron oxide on yield and grain filling components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), a factorial experiment has been conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of Islamic Azad University, Ardabil Branch, within 2017. The experimental factors include application of methanol (foliar application with water as control along with 20 and 30 volume percentage), nano iron oxide (foliar application with water as control as well as application of 0.3, 0.6, and 0.9 g.L⁻¹), and irrigation levels (full irrigation as control, irrigation withholding at flowering stage, and irrigation withholding at grain filling period). Results show that the highest grain yield (2952 kg/ha), number of filled grains per head (1121 grains per head), 1000-grain weight (50 g), rate and grain filling period, effective grain filling period (i.e., 0.00239 g/day, 42, and 33 days, respectively), and chlorophyll index (56) have been obtained in full irrigation and high levels of methanol and nano iron oxide, with maximum proline and soluble sugars content (11.1 µg/g FW and 72 mg/g FW) belonging to irrigation withholding at flowering stage and application of high rates of methanol and nano iron oxide. The minimum rates of these have also been obtained in full irrigation without any application of methanol and nano iron oxide.

Keywords: Foliar application, microelements, stress, sunflower, water limitation.