علوم و تحقیقات بذر ایران
سال ششم/ شماره اول/ ۱۳۹۸ (۳۳ - ۱۹)

DOI: 10.22124/jms.2019.3585

تأثیر پیش‌تیمار بذور با میدان مغناطیسی بر برخی صفات مورفو- فیزیولوژیکی دان‌سیاه تحت شرایط تنش خشکی

سمانه حسینی[۱]، محمد رفیعی الحسینی[۲]*، پرتو روشندل[۲]، محمد مرادی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۹

چکیده

به‌منظور حفظ محیط زیست و بهبود رشد گیاه تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار بر بذر دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* (L.F) Cass) در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. پیش تیمار فیزیکی بذر به‌صورت قرارگیری بذرها در شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا (در مدت زمان ۵ دقیقه) به‌عنوان عامل اول و دور آبیاری در سه سطح ۲، ۴ و ۶ روز به‌عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. تاثیر شدت میدان مغناطیسی، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک ریشه در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا تحت دور آبیاری ۲ روز، بیشترین وزن خشک برگ، طول ریشه و تعداد گل در شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا به‌ترتیب تحت دور آبیاری ۲، ۲ و ۶ روز، بیشترین محتوای کلروفیل a و (a+b) و کاروتنوئیدها در شدت میدان ۵۰ میلی‌تسلا تحت دور آبیاری ۶ روز، بیشترین محتوای کلروفیل b در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا تحت دور آبیاری ۴ روز و کمترین محتوای مالون دی‌آلدئید در شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا تحت دور آبیاری ۲ روز حاصل شدند. بیشترین تعداد گل (به‌عنوان مهم‌ترین شاخص موثر در افزایش عملکرد) برای دور آبیاری ۲ و ۴ روز در شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری ۶ روز در شدت میدان‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌تسلا به‌دست آمد. به‌طور کلی می‌توان گفت اعمال میدان مغناطیسی با شدت‌های ملایم می‌تواند در بهبود شرایط تنش موثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، دی‌آلدئید، رنگیزه‌های فتوسنتزی، شدت، مالون دی‌آلدئید، میدان مغناطیسی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳- استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
*نویسنده مسئول: m_rafiee_1999@yahoo.com

مقدمه

کشور ایران دارای متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر معادل یک‌سوم میانگین نزولات سالیانه جهانی است. اگر مناطقی با بارندگی سالیانه کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر مناطق تحت تنش محسوب شوند، می‌توان گفت که بیش از ۹۰ درصد سطح کشور تحت تنش خشکی قرار دارند (Kafi *et al.*, 2013). عدم بارندگی کافی در ایران باعث شده است که نیاز آبی گیاهان به اندازه کافی تأمین نگردد به گونه‌ای که در سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸ کاهشی حدود ۵ میلیون تن در تولید محصولات زراعی بر جای گذاشت (Kafi *et al.*, 2013). تنش خشکی موجب کاهش رشد و نمو سلول، کاهش اندازه برگ، کاهش تکثیر ریشه، مختل شدن فعالیت روزنه، آب گیاه، مواد غذایی و تقلیل راندمان مصرف آب می‌شود (Li *et al.*, 2009). تنش خشکی باعث تغییر در محتوای کلروفیل و صدمه به ساختارهای فتوسنتزی می‌شود. یکی از دلایلی که تنش‌های محیطی مثل خشکی، رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهند، اختلال در تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و القاء تنش اکسیداتیو، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌گردد (Fu and Huang, 2001).

مطالعات جمع‌آوری شده در طول سال‌ها بر اهمیت میدان مغناطیسی به‌عنوان یک انتخاب جایگزین مطمئن، برای بهبود محصولات کشاورزی تأکید دارد (Dhawi, 2014). میدان مغناطیسی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و مقدار کلروفیل تأثیر مثبت دارد (Alikamanoglu and Sen, 2011) و با افزایش کاروتنوئیدها جهت محافظت گیاه از طریق مهار اکسیژن فعال بر تنش اکسیداتیو تأثیر می‌گذارد (Majd and Farzpourmachiani, 2013). میدان مغناطیسی بر روی رشد گیاه، وزن تر و خشک گیاه، تعداد برگ، نسبت ریشه در مقایسه با تیمار بدون میدان تأثیر مثبت دارد (Yaycili and Alikamanoglu, 2005).

طی تحقیقات انجام گرفته محتوای رنگدانه‌ها (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها) در خرما (Dhawi and Al-Khayri, 2009) و کشت بافت سویا (Atak *et al.*, 2007) به‌طور قابل توجهی تحت میدان مغناطیسی ایستا افزایش نشان دادند. میدان مغناطیسی باعث تحریک متابولیسم سلولی و میتوز در سلول‌های مریستمی گیاه می‌شود (Celik *et al.*, 2008). اعمال میدان مغناطیسی در شرایط دور آبیاری ۳ روز سبب افزایش وزن خشک و طول ریشه و کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه زوفا شد (Mohammadi Milasi, 2010).

دان‌سیاه با نام انگلیسی نیجر (Niger) متعلق به خانواده کاسنی (Asteraceae) می‌باشد. جنس *Guizotia* بومی مناطق آفریقایی است و عمدتاً در کشورهای اتیوپی و هند کشت می‌شود. دان‌سیاه یک گیاه دگر گرده‌افشان و خودناسازگار، دولپه‌ای و یکساله است. گیاهچه آن به رنگ سبز کم‌رنگ و هیپوکوتیل آن مایل به قهوه‌ای است و تا ارتفاع دو متری رشد می‌کند (Getinet and Sharma, 1996). بذر دان‌سیاه دارای ۷۵-۵۰ درصد روغن است که از آن در درمان روماتیسم، سوختگی، جرب و جانشینی برای روغن زیتون و از کنجاله آن در تعلیف دام استفاده می‌شود (Davazdahemami and Vaseghi, 2010). با توجه به این‌که مواد شیمیایی مورد استفاده در بهبود کارایی گیاهان در طی سال‌ها بر محیط زیست و سلامتی انسان اثرات سوء دارد و در مقابل، تیمارهای فیزیکی از این امر مستثنی هستند در این پژوهش میدان مغناطیسی به‌عنوان یک تیمار فیزیکی جهت بهبود شرایط مخرب تنش خشکی و ایجاد مقاومت در گیاه بر بذور دان‌سیاه اعمال شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر میدان مغناطیسی بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دان‌سیاه تحت شرایط تنش خشکی، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در اواخر شهریورماه سال ۱۳۹۴ به اجرا درآمد. محدوده دمایی در طول انجام آزمایش در شرایط کنترل شده گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد ۲۵±۲°C بود. بذرهای دان‌سیاه از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۰۱۶/۴ متر از سطح دریا در بخش مرکزی رشته کوه‌های زاگرس تهیه شد. میدان مغناطیسی با ۵ شدت میدان (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا) در مدت زمان ۵ دقیقه به‌عنوان

پیش‌تیمار فیزیکی با استفاده از دستگاه مولد میدان مغناطیسی (سیم پیچ هلم‌هولتز) بر روی بذرها اعمال شد. سپس بذرها با استفاده از الکل ۷۰ درصد به‌مدت ۱۰ ثانیه و محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم به‌مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و پس از ۳ بار شستشو با آب مقطر استریل شد.

سپس ۱۴ عدد بذر در گلدان‌هایی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، حاوی ۵ کیلوگرم خاک، در عمق ۱/۵ سانتی‌متری از سطح خاک در هر گلدان کشت داده شد. بعد از استقرار گیاهان در مرحله ۶ برگی تعداد گیاهان به ۶ عدد در هر گلدان تنک گردید و تیمار تنش خشکی در سه سطح دور آبیاری (۲، ۴ و ۶ روز) تا ۶۰ روزگی بر گیاهان اعمال شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physicochemical characteristics of the used soil

خاک بافت Soil texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	آهن قابل جذب Fe (ava)	منگنز قابل جذب Mn (ava)	روی قابل جذب Zn (ava)	مس قابل جذب Cu (ava)	پتاسیم قابل جذب K (ava)	فسفر قابل جذب P (ava)	کربن آلی OC	ازت کل N-total	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی EC
	%			mg/kg						%			dS/m
لومی رسی Clay loam	39	40	21	6.64	8.22	0.54	1.54	450	16.7	0.62	0.06	7.7	0.5

وزن هر بخش (برگ، ریشه) گیاهان ۶۰ روزه بعد از قرارگیری در دمای ۷۲°C به‌مدت ۴۸ ساعت، جداگانه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. تعداد گل در هر بوته شمارش و طول ریشه‌ها با خط‌کش میلیمتری اندازه‌گیری شد. محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای مالون دی‌آلدئید به‌ترتیب با استفاده از روش لیچنتلر (Lichtenthaler, 1987) و نارول (Narwal *et al.*, 2009) محاسبه شد.

آنالیزهای آماری

آنالیز آماری داده‌ها و همبستگی صفات با نرم‌افزار $SAS_{9.0}$، مقایسه میانگین‌ها به روش برش‌دهی (Slice) با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها نیز با استفاده از برنامه $Excel_{2013}$ انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی، تنش خشکی (دور آبیاری) و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). برای دور آبیاری دو روز بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به‌ترتیب در شدت میدان‌های ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌تسلا، برای دورآبیاری چهار روز بیشترین میزان وزن خشک برگ در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های صفر، ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری شش روز بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به‌ترتیب در شدت میدان‌های ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌تسلا مشاهده شد (شکل ۱).

یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب کاهش فشار تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها خصوصاً در ساقه و برگ‌ها است. با کاهش رشد سلول از میزان اندازه اندام کاسته می‌شود، به همین دلیل اولین تاثیر محسوس کم آبی بر گیاهان را می‌توان از روی کوچک شدن اندازه برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Ashraf and Foolad, 2007). از آنجایی‌که میدان مغناطیسی بر جذب، ذخیره و یونیزاسیون آب تأثیر می‌گذارد (Taia *et al.*, 2007)، اثرات مثبت تیمار مغناطیسی بذرها بر پارامترهای رشد تحت سطوح مختلف خشکی ممکن است ناشی از تأثیر میدان مغناطیسی بر جذب یون‌ها و متعاقب آن بهبود پروسه تغذیه (Lin and Yotvat, 1990.)، جذب آب و فرآیندهای شیمیایی باشد (Dhawi *et al.*, 2009).

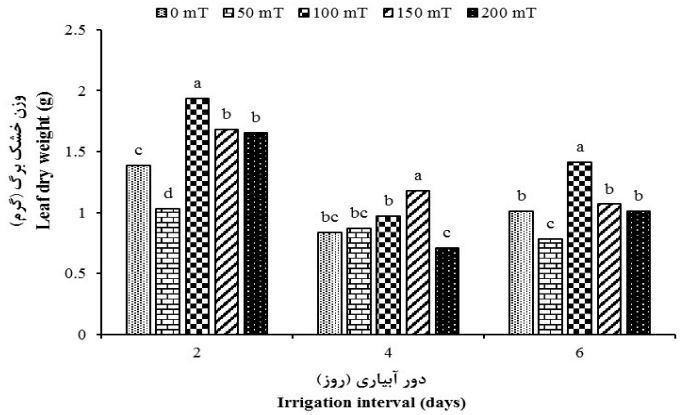
جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی دان‌سیاه

Table 2. Variance Analysis of the effects of drought stress and magnetic field intensity different levels on some morphological characteristics of Niger

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	طول ریشه Root length	تعداد گل Number of flower
شدت میدان مغناطیسی Magnetic field intensity	4	0.40**	0.02**	50.19**	99.07**
تنش خشکی Drought stress	2	1.60**	0.80**	21.06**	6.49*
شدت میدان مغناطیسی × تنش خشکی Magnetic field intensity ×Drought stress	8	0.10**	0.06**	14.60**	49.54**
خطا Error	30	0.01	0.004	1.79	1.60
ضریب تغییرات CV	-	9.60	5.98	5.39	5.83

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهد.

** and * represents significant at 1% and 5% probability level, respectively.



شکل ۱ - مقایسات میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر وزن خشک برگ گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 1. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on leaf dry weight of Niger plant

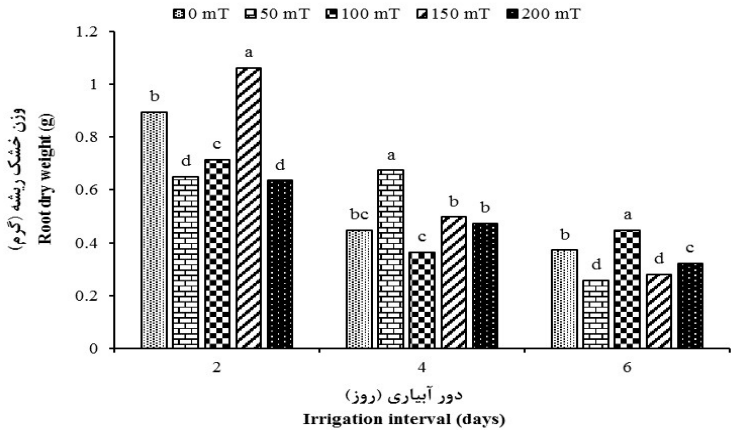
(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

مطالعه تأثیر میدان مغناطیسی بر گیاه ماش نشان داد نمونه‌های تیمار شده با میدان مغناطیسی سلول‌های نردبانی فشرده‌تری را نشان دادند (Majd and Farzpourmachiani, 2013). یوسفی و همکاران (Yousefi *et al.*, 2014) بیان داشتند که گونه‌های خشکی‌دوست گیاهان با تغییراتی مانند توسعه مزوفیل نردبانی سبب افزایش شدت فعالیت فتوسنتزی می‌شوند. بنابراین احتمالا در این پژوهش نیز سلول‌های نردبانی فشرده‌تر تحت اعمال میدان مغناطیسی سبب افزایش فتوسنتز شده است و انتقال مواد به اندام‌های مختلف گیاه از جمله برگ افزایش یافته و نهایتا افزایش وزن خشک برگ را در شرایط تنش خشکی به‌همراه داشته است.

وزن خشک ریشه

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک

ریشه داشتند (جدول ۲). برای دور آبیاری ۲ روز بیشترین وزن خشک ریشه در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا، برای دور آبیاری ۴ روز بیشترین میزان وزن خشک ریشه در شدت میدان ۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های صفر و ۱۰۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری ۶ روز بیشترین میزان وزن خشک در شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا حاصل شد (شکل ۲). درگاهی و همکاران (Dargahi *et al.*, 2013) با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه در ارقام کنجد بیان داشتند که وزن خشک ریشه این ارقام تحت شرایط تنش خکشی کاهش یافت. محمدی میلاسی (Mohammadi Milasi, 2010) با بررسی تأثیر شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی (صفر، ۴۵، ۹۰، ۲۰۰ و ۲۵۰میلی‌تسلا) در مدت زمان ۵ دقیقه تحت دور آبیاری ۳ روز بر گیاه زوفا مشاهده کرد که اعمال شدت‌های مذکور سبب افزایش وزن خشک ریشه در این گیاه شد. ضرایب همبستگی پیرسون رابطه مثبت و معنی‌داری (r=۰/۵۹**) را بین وزن خشک ریشه و وزن خشک برگ نشان داد (جدول ۴). بنابراین عوامل تاثیرگذار بر تولید ماده خشک در برگ بر افزایش وزن خشک ریشه با رابطه مستقیم تاثیر داشت.



شکل ۲- مقایسات میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

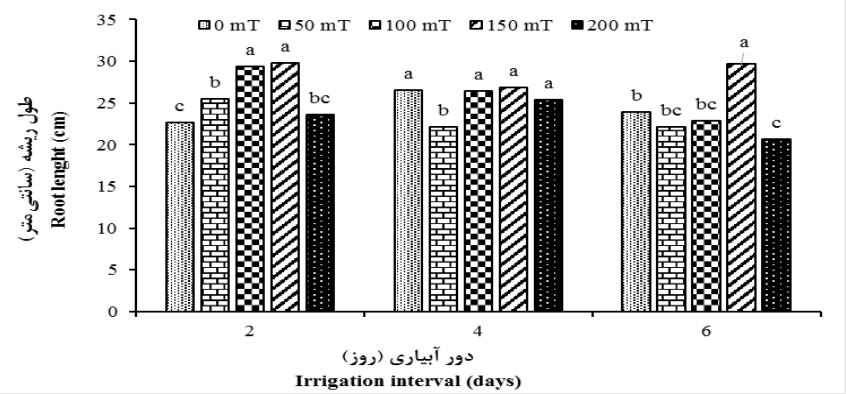
Figure 2. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on root dry weight of Niger plant

(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test

طول ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که شدت میدان مغناطیسی، دور آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲). برای دور آبیاری دو روز بیشترین طول ریشه در شدت میدان‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های صفر و ۲۰۰ میلی‌تسلا، برای دور آبیاری چهار روز بیشترین طول ریشه در شدت میدان‌های صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان ۵۰ میلی‌تسلا حاصل شد در حالی‌که برای دور آبیاری شش روز بیشترین طول ریشه در شدت میدان۱۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا مشاهده شد (شکل ۳). عمق ریشه به واسطهٔ قدرت جذب آب از قسمت‌های پایین خاک که در

تنش خشکی نسبت به سطح خاک دارای رطوبت بیشتری است، بسیار اهمیت دارد. در پژوهش حاضر در تیمار بدون میدان مغناطیسی با اعمال تنش خشکی از دور آبیاری ۲ به ۴ روز بر میزان طول ریشه افزوده شد که با نتایج محققین مبنی بر افزایش عمق ریشه جو در شرایط تنش مطابقت داشت (Kesahvarznia *et al.*, 2015).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر طول ریشه گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 3. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on root length of Niger Plant

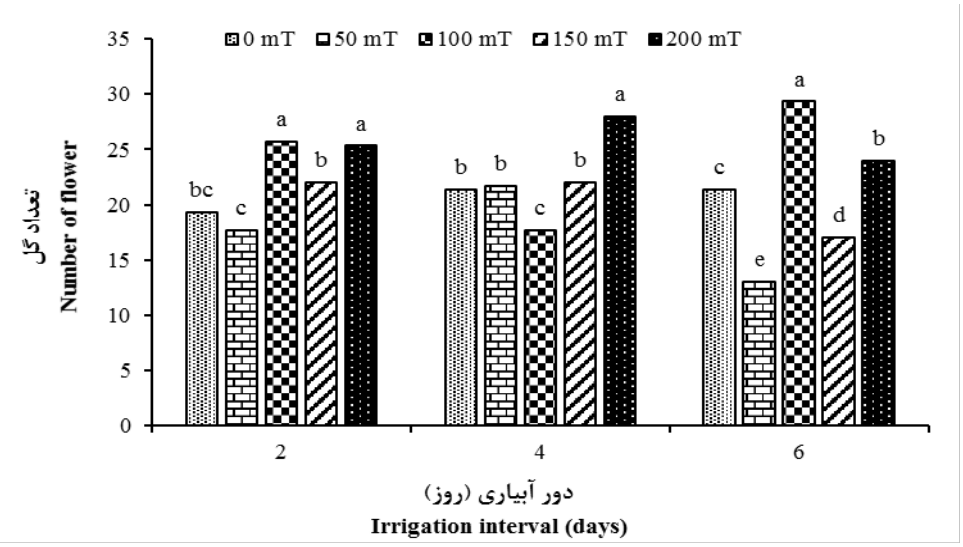
(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

با توجه به نتایج پژوهش حاضر تیمار میدان مغناطیسی رشد گیاهان و خصوصیات ریشه را بهبود بخشید. هم‌سو با این تحقیق گیاهچه‌های عدس که تحت تیمار میدان مغناطیسی در بازه ۶۰ تا ۳۶۰ میلی‌تسلا به‌مدت زمان‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه قرار گرفته بودند ریشه‌های بلندتر داشتند و این امر باعث شد که گیاهان بتواند در شرایط تنش خشکی آب را از عمق بیش‌تری جذب کنند (Shabrangi and Majd, 2009). همچنین اعمال شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا به‌طور معنی‌داری طول ریشه گیاه زوفا را تحت تنش خشکی با دور آبیاری سه روز نسبت به شاهد افزایش داد (Mohammadi Milasi, 2010). می‌توان این احتمال را داد که افزایش طول ریشه در بعضی از تیمارهای مورد آزمایش می‌تواند مربوط به طویل شدن دیواره سلولی باشد زیرا افزایش رادیکال‌های هیدروکسیل دخیل در سست شدن و طویل شدن دیواره سلولی تحت میدان مغناطیسی توسط محققین به اثبات رسیده است. (جدول ۳).

تعداد گل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی در سطح پنج درصد و شدت میدان مغناطیسی و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر تعداد گل معنی‌دار بود (جدول ۲). برای دور آبیاری دو روز بیشترین تعداد گل در شدت میدان‌های ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌تسلا و کمترین تعداد آن در شدت میدان‌های صفر و ۵۰ میلی‌تسلا حاصل شد در حالی‌که برای دور آبیاری چهار روز بیشترین تعداد گل در شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا و کمترن میزان آن در شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری شش روز بیشترین و کمترین تعداد گل به‌ترتیب در شدت میدان‌های ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌تسلا مشاهده شد (شکل ۴). طی بررسی تأثیر تنش خشکی بر گیاه بابونه آلمانی مشخص شد که تنش خشکی موجب کاهش تعداد گل در بوته شد (Ahmadian *et al.*, 2011). پژوهش‌ها نشان داده است که اسید جیبرلیک به‌عنوان یکی از عوامل موثر بر گل‌دهی محسوب می‌شود (Iranbakhsh *et al.*, 2008) به‌طوری‌که طی آزمایشاتی که بر ارکیده انجام شد افزایش درصد گل تحت مصرف جیبرلین مشاهده شده است (Cardoso *et al.*, 2012). از طرف دیگر میدان مغناطیسی بر افزایش جذب یون‌ها به‌ویژه یون کلسیم تأثیر می‌گذارد. از آنجایی‌که یون کلسیم مقاومت به تنش خشکی را در گیاهان افزایش

می‌دهد و در تنظیم متابولیسم هورمون‌های گیاهی تأثیر دارد (Selim and El-Nady, 2011) می‌توان احتمال داد که میدان مغناطیسی به‌طور غیر مستقیم بر میزان نسبت هورمون جیبرلین تاثیر گذاشته و موجب افزایش در تولید اندام‌های زایشی گیاه دان‌سیاه تحت شرایط تنش خشکی شده است.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر تعداد گل گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 4. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on number of flower of Niger Plant

(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

کلروفیل a

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر شدت میدان مغناطیسی، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید (جدول ۳). برای دور آبیاری دو روز بیشترین محتوای کلروفیل a در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های صفر و ۲۰۰ میلی‌تسلا، برای دور آبیاری ۴ و ۶ روز بیشترین محتوای کلروفیل a در شدت میدان ۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان صفر حاصل شد (شکل ۵). اعمال میدان مغناطیسی ملایم در شرایط شدید تنش رطوبتی می‌تواند افزایش میزان کلروفیل a را بیشتر تحت تاثیر قرار دهد. کاهش کلروفیل طی تنش آب که به‌عنوان عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای فتوسنتز محسوب می‌شود به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Perveen *et al.*, 2016) اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر تنش خشکی باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند O_2^- و H_2O_2 و نهایتاً پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود در حالی‌که میدان مغناطیسی با افزایش طول عمر رادیکال‌های آزاد توانایی سیستم آنتی اکسیدانی را جهت پاکروبی ROSها بالا می‌برد و اثرات سوء ناشی از تنش را بر کاهش کلروفیل بهبود می‌دهد.

هم‌سو با این تحقیق تأثیر شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا بر افزایش کلروفیل a گیاه زوفا تحت شرایط تنش خشکی (Mohammadi Milasi, 2010) و افزایش محتوای کلروفیل a به میزان ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد تحت اعمال میدان مغناطیسی با شدت میدان ۱۳۰ میلی‌تسلا بر گیاه لوبیای مصری (Mroczek-zdyrskai *et al.*, 2016) به اثبات رسیده است. در پژوهش حاضر اعمال میدان مغناطیسی در تمامی شدت میدان‌ها تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوای کلروفیل a و ایجاد مقاومت گیاه به تنش خشکی شد.

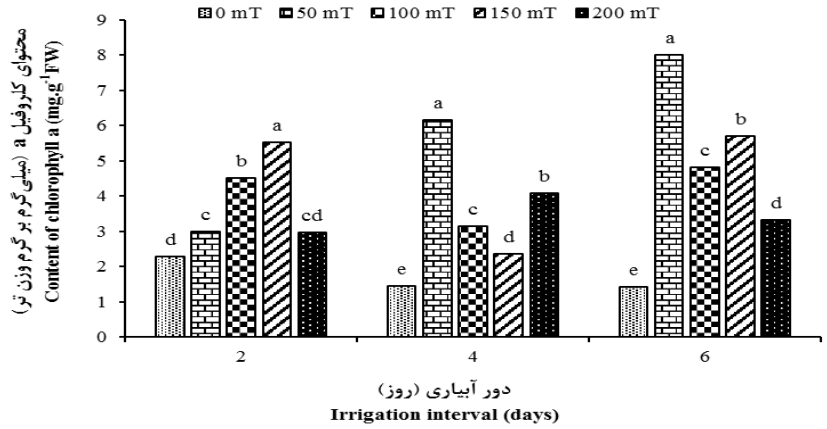
جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دان‌سیاه

Table 3. Variance Analysis of the effects of drought stress and magnetic field intensity different levels on some physiological characteristics of Niger

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل (a+b) Chlorophyll (a+b)	کاروتنوئیدها Carotenoids	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content
شدت میدان مغناطیسی Magnetic field intensity	4	19.63**	2.87**	20.49**	0.46**	5.49**
تنش خشکی Drought stress	2	6.282**	1.70**	1.77*	1.34**	11.79**
شدت میدان مغناطیسی × تنش خشکی Magnetic field intensity × Drought stress	8	6.87**	4.053**	4.20**	0.70**	0.637**
خطا Error	30	0.11	0.03	0.07	0.005	0.08
ضریب تغییرات (CV)	-	8.53	11.31	4.90	8.73	11.18

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهد.

** and * represents significant at 1% and 5% probability level, respectively.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر کلروفیل a گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

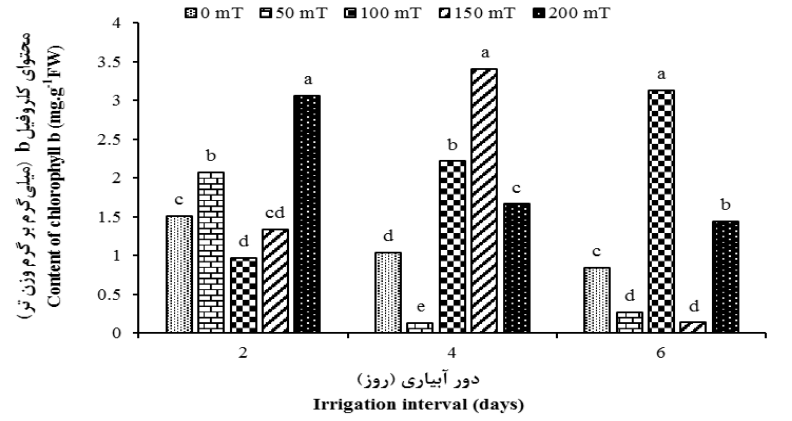
Figure 5. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on chlorophyll a of Niger plant

(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

کلروفیل b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر شدت میدان مغناطیسی، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید (جدول ۳). برای دور آبیاری دو روز بیشترین محتوای کلروفیل b در شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا، برای دور آبیاری ۴ روز بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل b به‌ترتیب در شدت میدان ۱۵۰ و ۵۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری ۶ روز بیشترین محتوای کلروفیل b در شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا مشاهده شد (شکل ۶). با توجه به تغییرات متفاوت تحت شدت‌های مختلف می‌توان اظهار داشت که میدان مغناطیسی بسته به شدت میدان، تأثیرات متفاوتی را بر میزان کلروفیل b ایجاد می‌کند. در تحقیقی مشابه، شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا تحت دور آبیاری سه روز تنش خشکی منجر به افزایش کلروفیل b در گیاه زوفا نسبت به

تیمار شاهد شد (Mohammadi Milasi, 2010). با توجه به جدول همبستگی صفات، محتوای کلروفیل b با تعداد گل رابطه مستقیم (r=۰/۴۴**) و معنی‌دار (P≤۰/۰۱) و در مقابل با میزان کلروفیل a رابطه عکس (r=-۰/۴۴**) و معنی‌داری (P≤۰/۰۱) را نشان داد (جدول ۴). میدان مغناطیسی بر روی پروتئین سیتوکروم که در پذیرش نور آبی، توسعه و چرخه شبانه‌روزی درگیر است تأثیر دارد. به‌طوری‌که افزایش سنتز پروتئین موجب افزایش مقدار کلروفیل a و b و کلروفیل (a+b) می‌شود (Alikamanoglu and Sen, 2011).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر کلروفیل b گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

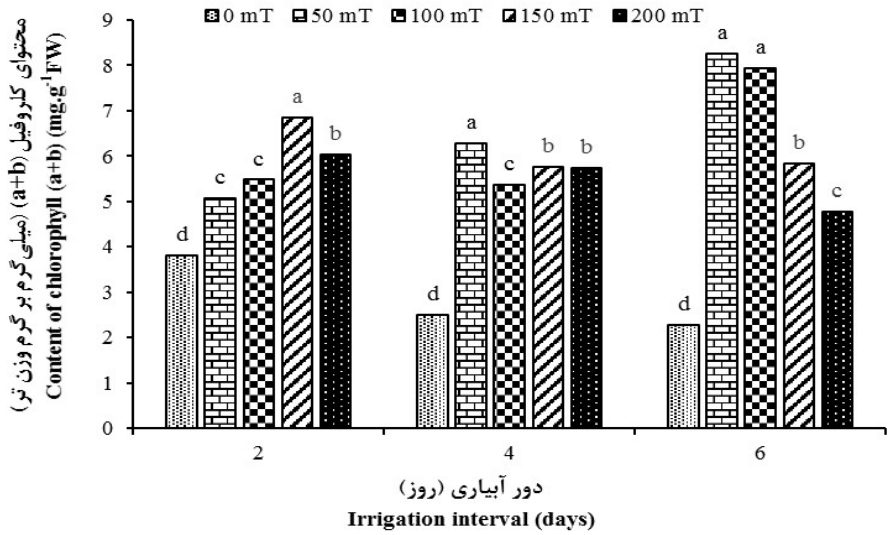
Figure 6. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on chlorophyll b of Niger plant

(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

کلروفیل (a+b)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که محتوای کلروفیل (a+b) در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر تنش خشکی و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر شدت میدان مغناطیسی و اثرات متقابل آنها معنی‌دار گردید (جدول ۳). برای دور آبیاری دو روز بیشترین محتوای کلروفیل (a+b) در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا، برای دور آبیاری چهار روز بیشترین محتوای کلروفیل (a+b) در شدت میدان ۵۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری شش روز بیشترین میزان آن در شدت میدان‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌تسلا مشاهده شد در حالی‌که کمترین محتوای کلروفیل (a+b) برای هر سه دور آبیاری در تیمار بدون میدان حاصل شد (شکل ۷). علاوه بر تاثیر میدان مغناطیسی بر طول عمر رادیکال‌های آزاد، افزایش در غلظت رنگیزه‌های کلروفیل ناشی از تیمارهای مغناطیسی ممکن است مربوط به افزایش در محتوی جیبرلین گیاهان باشد (García *et al.*, 2013) که منجر به افزایش در رنگدانه سبز در گیاهان تحت تیمار میدان مغناطیسی با تحریک تولید کلروفیل در برگ (Hozayn *et al.*, 2016) می‌شود. با توجه به اثرات واضح پتاسیم و منیزیم، کمبود آن‌ها در گیاه در شرایطی مانند خشکی سبب تخریب گیاه می‌شود (Arjenaki *et al.*, 2012) زیرا کمبود آن‌ها باعث کاهش متابولیسم کربن و کاهش تثبیت کربن در فتوسنتز می‌شوند (Mengel and Kirkby, 2001).

تحقیقات نشان داده است که میزان عناصر کلسیم و منیزیم با افزایش شدت میدان از ۱۰ میلی‌تسلا به ۱۰۰ میلی‌تسلا به‌طور قابل توجهی در گیاه کلزا افزایش یافت. از طرف دیگر اثر تحریک کنندگی میدان مغناطیسی بر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی ممکن است به‌دلیل تأثیر بر افزایش میزان پرولین باشد که سبب افزایش برخی از یون‌ها مثل Mg^{2+} مورد نیاز برای سنتز کلروفیل در گیاه و یا سبب افزایش K^{+} می‌شود که منجر به افزایش احتمالی کارایی فتوسنتز به‌وسیله افزایش



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر کلروفیل (a+b) گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 6. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on chlorophyll (a+b) Niger

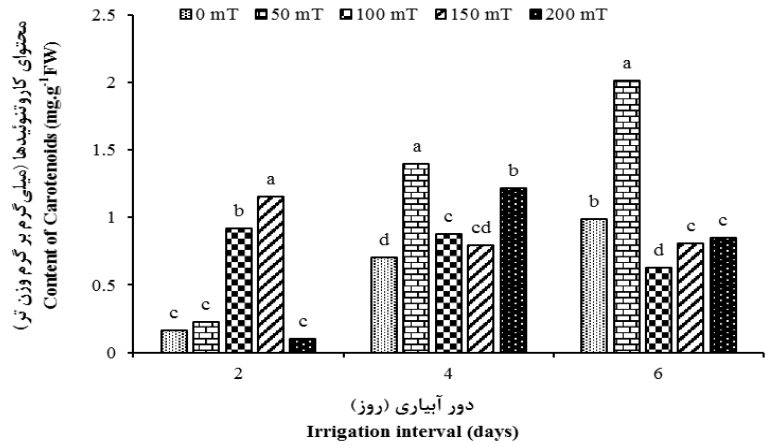
(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

تعداد کلروپلاست‌های هر سلول می‌گردد (Hozayn *et al.*, 2016). هم‌سو با نتایج این تحقیق افزایش محتوای کلروفیل (a+b) به‌میزان ۱۵ درصد نسبت به تیمار شاهد تحت اعمال میدان مغناطیسی با شدت میدان ۱۳۰ میلی‌تسلا بر گیاه لوبیای مصری به اثبات رسید (Mroczek-zdyrskai *et al.*, 2016). محتوای کلروفیل (a+b) با کلروفیل b رابطه مشخصی نداشت ($r=۰/۱۳^{ns}$) این در حالی است که با کلروفیل a رابطه مستقیم ($r=۰/۸۲^{**}$) و معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) را نشان داد (جدول ۴). اگرچه محتوای کلروفیل (a+b) از مجموع کلروفیل a و b به‌دست می‌آید، ولی تغییرات کلروفیل (a+b) در این تحقیق به تغییرات کلروفیل a وابستگی شدید نشان داد.

کاروتنوئیدها

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، میزان کاروتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر شدت میدان مغناطیسی، دور آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید (جدول ۳). برای دور آبیاری دو روز بیشترین محتوای کاروتنوئیدها در شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن در شدت میدان‌های صفر، ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا، برای دور آبیاری ۴ و ۶ روز بیشترین محتوای کاروتنوئیدها در شدت میدان ۵۰ میلی‌تسلا و کمترین میزان آن برای دور آبیاری چهار روز در شدت میدان صفر و ۱۵۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری شش روز در شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا مشاهده شد (شکل ۸).

افزایش محتوای کاروتنوئیدها در برگ سبز نقش مهمی را در حفاظت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو بازی می‌کند. افزایش سطح کاروتنوئیدها ممکن است از کلروفیل محافظت کند و باعث حفظ رشد و بهره‌وری از گیاهان شود (Lokhande and Gaikwad, 2014). میدان مغناطیسی به‌عنوان پیش‌تیمار بر روی بذور با افزایش توانایی گیاه در تولید کاروتنوئیدها در شرایط استرس، به گیاه جهت بهبود آسیب اکسیداتیو کمک کرد. تحقیقات نشان داد که شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا منجر به افزایش کاروتنوئیدها گیاه زوفا تحت شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد شد (Mohammadi Milasi, 2010). همچنین افزایش ۳۴ درصدی سطح کاروتنوئیدها در گیاه لوبیای مصری تحت اعمال میدان مغناطیسی (Mroczek-zdyrskai *et al.*, 2016) مبین



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر کارروتنوئیدهای گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 8. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on Carotenoids Niger

(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

نتیجه مثبت این پژوهش در امر افزایش میزان کاروتنوئیدها تحت میدان مغناطیسی است. تیمارهای میدان مغناطیسی تحت شرایط تنش خشکی با تاثیر بر افزایش کاروتنوئیدها موجب فرونشاندن حالت تهیج و دفع انرژی مضر جهت تخریب محتوای کلروفیل‌ها شد، به‌طوری‌که بین کاروتنوئیدها و کلروفیل a رابطه مستقیم (r=۰/۶۷**) و با محتوای کلروفیل (a+b) رابطه مستقیم (r=۰/۳۸**) و معنی‌داری (P≤۰/۰۱) مشاهده شد (جدول ۴).

محتوای مالون دی‌آلدئید

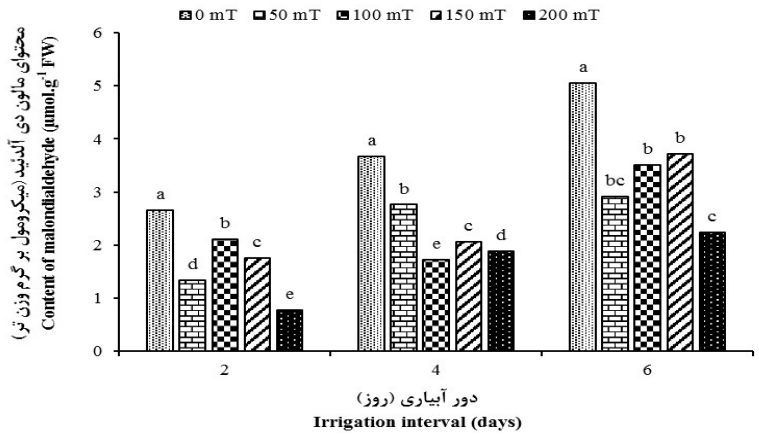
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که میزان مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر شدت میدان مغناطیسی، دور آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید (جدول ۳). برای دور آبیاری ۲، ۴ و ۶ روز بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید در تیمار بدون میدان حاصل شد. کمترین محتوای مالون دی‌آلدئید برای دور آبیاری دو روز در شدت میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا، دور آبیاری چهار روز در شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری شش روز در شدت میدان‌های ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا مشاهده شد (شکل ۹).

آزمایشات بر گیاه کلئوم اسپینوزا (*Cleome spinose*) نشان داد که عدم آبیاری به‌مدت ۵ تا ۱۰ روز میزان مالون دی‌آلدئید غشاء را به‌میزان ۳۵ و ۸۱ درصد افزایش داد (Uzilday *et al.*, 2012). اکسیداسیون لیپیدی گیاه به‌عنوان شاخص استرس اکسیداتیو استفاده می‌شود که میدان مغناطیسی با تاثیر بر کاهش آن موجب کاهش معنی‌دار در میزان مالون دی‌آلدئید بافت برگ گردید. این اثرات مفید میدان مغناطیسی می‌تواند ناشی از افزایش در جذب یون‌ها، به‌ویژه یون کلسیم باشد. تغییرات در سطح Ca^{2+} داخل سلول و چگالی جریان یونی در سراسر

غشاء سلول ممکن است باعث تغییر در فشار اسمزی و تغییر ظرفیت غشاء سلولی برای جذب بیشتر آب شود (Yao *et al.*, 2001). گزارش شده است که میدان مغناطیسی می‌تواند تمامیت غشایی را با توزیع مجدد پروتئین‌های درون غشایی و ایجاد دسته‌های پروتئینی همان‌طور که در سلول‌های جانوری دیده شده است تغییر دهد (Bersaini *et al.*, 1997). ضرایب همبستگی پیرسون نشان داد که محتوای مالون دی‌الدئید با وزن خشک ریشه (r=-۰/۴۰**)، محتوای کلروفیل b (r=-۰/۴۵**) و کلروفیل (a+b) (r=-۰/۳۴*) رابطه عکس و معنی‌دار (P≤۰/۰۱) داشت (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

پیش‌تیمار مغناطیسی به‌عنوان یک محرک زیستی



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شدت میدان مغناطیسی و تنش خشکی بر محتوای مالون دی‌آلدئید گیاه دان‌سیاه

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر دور آبیاری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 9. Mean comparison of the interaction effects of different levels of magnetic field intensity and drought stress on malondialdehyde content of Niger plant

(Means having at least one common letter in each irrigation interval are not significantly different at 5% level, according to LSD test)

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دان‌سیاه

Table 4. The correlation coefficients between morphological and physiological characteristics of Niger plant

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Leaf dry weight وزن خشک برگ	1								
2. Root dry weight وزن خشک ریشه	0.59^{**}	1							
3. Root length طول ریشه	0.29^{*}	0.25^{ns}	1						
4. Number of flower تعداد گل	0.36^{*}	0.19^{ns}	-0.05^{ns}	1					
5. Chlorophyll a کلروفیل a	-0.01^{ns}	-0.04^{ns}	-0.01^{ns}	-0.21^{ns}	1				
6. Chlorophyll b کلروفیل b	0.29^{*}	0.09^{ns}	-0.05^{ns}	0.44^{**}	-0.44^{**}	1			
7. Chlorophyll (a+b) کلروفیل (a+b)	0.16^{ns}	0.01^{ns}	-0.05^{ns}	0.04^{ns}	0.82^{**}	0.13^{ns}	1		
8. Carotenoids کاروتنوئیدها	-0.39^{**}	-0.29^{*}	-0.03^{ns}	0.24^{ns}	0.67^{**}	-0.57^{**}	0.38^{**}	1	
9. Malondialdehyde content محتوای مالون دی آلدئید	-0.28^{*}	-0.40^{**}	-0.09^{ns}	-0.11^{ns}	-0.05^{ns}	-0.45^{**}	-0.34^{*}	0.25^{ns}	1

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد

ns, ** and * represents non-significant and significant at 1% and 5% probability level, respectively.

است که می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی قبل از کاشت بر بذور در نظر گرفته شود. انرژی این تیمار فیزیکی می‌تواند به گیاه منتقل شود و با ایجاد مکانیسم‌های مقاومت در شرایط تنش، موجب رشد بهتر گیاه شود. تنش خشکی با افزایش دور آبیاری سبب کاهش اکثر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شد، این در حالی است که اعمال میدان مغناطیسی در چنین شرایطی سبب تعدیل اثرات مضر تنش خشکی گردید. به‌طور کلی می‌توان گفت برای دور آبیاری چهار روز شدت میدان‌های ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا و برای دور آبیاری شش روز شدت میدان‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌تسلا جهت بهبود شرایط تنش خشکی کارایی لازم را دارند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری و مساعدت معاونت پژوهشی دانشگاه شهر کرد کمال تشکر و سپاسگزاری را دارند.

منابع

Ahmadian, A., Ghanbari, A. and Siahsar, B. 2011. Effect of drought stress and use of different organic and mineral fertilizer and their residues on yield and yield components of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Agricultural Ecology, 3(3): 383-395. (In Persian)**(Journal)**

Alikamanoglu, S. and Sen, A. 2011. Stimulation of growth and some biochemical parameters by magnetic field in wheat (*Triticum aestivum* L.) tissue cultures. African Journal of Biotechnology, 10(53): 10957-10963. **(Journal)**

Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine, betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59(2): 206-216. **(Journal)**

Atak, C., Celik, O., Olgun, A., Alikamanolu, S. and Rzakoulieva, A. 2007. Effect of magnetic field on peroxidase activities of soybean tissue culture. Biotechnology and Biotechnological Equipment, 21(2): 166-171. **(Journal)**

Bersaini, F., Marivelli, F., Argnebene, A., Matterucci, A., Cecchi, S., Santi, S., Squarzoni, S. and Maraicffi, N.M. 1997. Intramembrane protein distribution in cell cultures is affected by 50 Hz pulse magnetic field. Bioelectromagnetics, 18(7): 463-469. **(Journal)**

Cardoso, J.C., Ono, E.O. and Rodrigues, J.D. 2012. Gibberellic acid in vegetative and reproductive development of Phalaenopsis orchid hybrid genus. Horticultura Brasileira, 30(1): 71-74. **(Journal)**

Celik, O., Atak, C. and Rzakulieva, A. 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in Paulownia node cultures. Journal of Central European Agriculture, 9(2): 297-304. **(Journal)**

Dargahi, Y., Asghari, A., Shokrpour, M. and Rasoulzadeh, A. 2013. Effect of water deficit stress on root morphological characters in sesame cultivars. Electronic Journal of Crop Production, 5(4): 151-172. (In Persian)**(Journal)**

Davazdahemami, S. and Vaseghi, A., 2010. Investigate the capabilities of *Guizotia abyssinica* (L.F.) Cass oil plant in Isfahan region. First national conference on oilseed. Isfahan University of Technology. (In Persian)**(Conference)**

Dhawi, F. and Al-Khayri, J.M. 2009. Magnetic fields induce changes in photosynthetic pigments content in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings. The Open Agriculture Journal, 3: 1-5. **(Journal)**

Dhawi, F. 2014. Why magnetic fields are used to enhance a plant's growth and productivity? Annual Research and Review in Biology, 4(6): 886-896. **(Journal)**

Fu, j. and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environment and Experimental Botany, 45(2): 105-114. **(Journal)**

García, A.S., Reina, F.G. and Páez, Y.P.F.D.D. 2013. Stimulation of germination and growth in soybean seeds by stationary magnetic field treatment. Asian Journal of Agriculture and Biology, 1(2): 85-90. **(Journal)**

Getinet, A. and Sharma, S.M. 1996. Niger [*Guizotia abyssinica* (L.F.)] Cass. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of plant genetics and crop plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 58 pp. **(Research Report)**

Hozayn, M., Abdallha, M.M., Abd El-Monem, A.A., El-Saady, A.A. and Darwish, M.A. 2016. Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop productivity (1): Canola. African Journal of Agricultural Research, 11(5): 441-449. **(Journal)**

Iranbakhsh, A., Ebadi, M. and Majd. A. 2008. Evaluation of the effect of some growth regulators on growth yield and production of partenokarp cucumber (*Cucumis sativus* L.) in greenhouse conditions. Journal of Islamic Azad University, 17(66): 101-120. (In Persian)**(Journal)**

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. 2013. Physiology of environmental stresses in plants. Jihad University of Mashhad Publication. 502pp. (In Persian) **(Book)**

Kesahvarznia, R., Shahbazi, M., Mohammadi, V., Hosseini Salekdeh, Gh., Ahmadi, A. and Mohseni-Fard, E. 2015. The impact of barley root structure and physiological traits on response to drought stress. Iranian Journal of Field Crops Science, 45(4): 553-563. (In Persian)**(Journal)**

Li, Y.P., Ye, W., Wang, M. and Yan, X.D. 2009. Climate change and drought: a risk assessment of crop yield impacts. Climate Research, 39:31-46. **(Journal)**

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymology, 148: 350-382. **(Journal)**

Lokhande, A.A. and Gaikwad, D.K. 2014. Effect of plant growth regulators on photosynthetic pigments and products of two onion varieties. Indian Journal of Advances in Plant Research, 1(3): 15-18. **(Journal)**

Majd, A. and Farzpourmachiani, S. 2013. Effect of magnetic fields on growth and anatomical structure of *Vicia sativa* L. Global Journal of Plant Ecophysiology, 3(2): 87-95. **(Journal)**

Mengel, K. and Kirkby, E.A. 2001. Principles of plant nutrition. 5th Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 848 pp. **(Book)**

Mohammadi Milasi, R. 2010. The effect of magnetic field on seed physiology, seedling growth, phenolic compounds and antioxidant capacity of *Hyssopus Officinalis* medicinal plant under drought stress. M.Sc. thesis of Biology. University of Shahrekord. Iran. (In Persian)**(Thesis)**

Mroczek-zdyrskai, M., Kornarzyński, K., Pietruszewski, S. and Gagoś, M. 2016. Stimulation with a 130-mT magnetic field improves growth and biochemical parameters in lupin (*Lupinus angustifolius* L.). Turkish Journal of Biology, 40(3): 699-705. **(Journal)**

Narwal, S.S., Bogatek, R., Zagdanska, B.M., Sampietro, D.A. and Vattuone, M.A. 2009. Plant biochemistry. Studium Press LLC. **(Book)**

Perveen, S., Iqbal, M., Nawaz, A., Parveen, A. and Mahmood, S. 2016. Induction of drought tolerance in *Zea mays* L. By foliar application of triacontanol. Pakistan Journal of Botany, 48(3): 907-915. **(Journal)**

Selim, H. and El-Nady, M. 2011. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. Acta Astronautice, 69(7): 387-396. **(Journal)**

Shabrangi, A. and Majd, A. 2009. Effect of magnetic fields on growth and antioxidant systems in agricultural Plants. Progress in Electromagnetics Research Symposium, Beijing, China, March. 23: 23–27. **(Conference)**

Yaycili, O. and Alikamanoglu, S. 2005. The effect of magnetic field on Paulownia tissue culture. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 83(1):109-114. **(Journal)**

Uzilday, B., Turkan, I., Sekmen, A.H., Ozgur, R. and Karakaya, H.C. 2012. Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C_4) and *Cleome spinosa* (C_3) under drought stress. Plant Science, 182: 59–70. **(Journal)**

Yao, Y., Li, Y., Yang, Y. and Li, C. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. Environmental and Experimental Botany, 54(3): 286-294. **(Journal)**

Yousefi, M., Enteshari, Sh. and Saadatmand, M. 2014. The effect of silica treatment on some properties morphological, anatomical and physiological Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey). Journal of Greenhouse Culture Science and Technology, 5(18):83-94. (In Persian)**(Journal)**

The effect of seed pretreatment with magnetic field on some morpho-physiological characteristics of Niger under drought stress conditions

Samaneh Hosseini[1], Mohammad Rafieolhossaini*[2], Partoo Roshandel[2], Mohammad Moradi[3]

Received: February 12, 2017 Accepted: September 10, 2017

Abstract

In order to protect environment and improve plant growth under drought stress conditions, an experiment was conducted as factorial in a completely randomized design with three replications on Niger (*Guizotia abyssinica* (L.F) Cass) seed at the research greenhouse of Shahrekord University in 2015. Physically pre-treatment as a seed placement in different magnetic field intensities including 0, 50, 100, 150 and 200mT (at 5 minutes time) as the first factor and irrigation intervals at three levels of 2, 4 and 6 days as the second factor were considered. The effect of magnetic field, drought stress and their interaction were significant on all of the evaluated characteristics. The maximum root dry weight in 150mT field intensity under 2 days irrigation intervals, the maximum leaf dry weight, root length and number of flower in 100mT field intensity under 2 and 6 days irrigation intervals, respectively, the maximum content of chlorophyll a and (a+b) and carotenoids in 50mT field intensity under 6 days irrigation intervals, the maximum content of chlorophyll b in 150mT field intensity under 4 days irrigation intervals and minimum malondialdehyde content in 200mT field intensity under 2 days irrigation intervals were obtained. The maximum number of flowers (as the most important index on increasing yield) were obtaind at 200mT fields intensity for 2 and 4 days and at 50 and 100mT fields intensity for 6 days irrigation intervals. In general, it can be said application of magnetic field with moderate intensities can alleviate stress conditions.

Key words: Irrigation interval, Magnetic field intensity, Malondialdehyde, Photosynthetic pigments

How to cite this article

Hosseini, S., Rafieolhossaini, M., Roshandel, P. and Moradi, M. 2019. The effect of seed pretreatment with magnetic field on some morpho-physiological characteristics of Niger under drought stress conditions. Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(1): 19-33. (In Persian)(**Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2019.3585

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. M.Sc. Student of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
3. Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
*Corresponding author: m_rafiee_1999@yahoo.com2