پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۸ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوم ۱۳۹۶، صفحهٔ ۱۸۰-۱۶۶

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 8, No. 2, 2017, p. 166-180
DOI: 10.22067/ijpr.v8i2.51644

تأثیر تغذیه برگی میکرو و نانو ذرات عنصر روی بر برخی صفات رشدی و کیفی ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش خشکی

حسن مکاریان[1*]، حسن شجاعی[2]، علی دماوندی[3]، عباس نصیری دهسرخی[4] و احمد اخیانی[5]

۱- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان
۳- مربی آموزشی و عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۵- استادیار خاکشناسی (تغذیه گیاهان)، مرکز تحقیقات کشاورزی سمنان (شاهرود)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی عنصر روی بر رشد و عملکرد ماش تحت تأثیر تنش آب، آزمایشی به‌صورت کرت های خُردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی شاهرود در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش کم‌آبی در دو سطح: یک نوبت قطع آبیاری در مرحله۵۰درصد گلدهی، یک نوبت قطع آبیاری در مرحله۵۰درصد غلافدهی و شاهد (آبیاری کامل)، به‌عنوان کرت اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی عنصر روی در کرت‌های فرعی در چهار سطح پنج و ۱۰گرم در لیتر نانو اکسید روی (Nano-ZnO) و پنج و ۱۰گرم در لیتر اکسید روی (Zno) و شاهد (بدون محلول‌پاشی) بودند. نتایج نشان داد محلول‌پاشی عنصر روی به شکل‌های معمولی و نانو، ارتفاع گیاه، محتوای پرولین و عملکرد بیولوژیک و دانه را در حالت تنش خشکی و عدم تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین تأثیر عنصر روی بر گیاه به‌ترتیب مربوط به کاربرد ۱۰گرم نانواکسید روی، ۱۰گرم اکسیدروی، پنج گرم نانو اکسید روی و پنج گرم اکسید روی بود. محلول‌پاشی با ۱۰گرم نانو ذرات اکسید روی در شرایط عدم تنش، تنش در گلدهی و غلافدهی به‌ترتیب باعث افزایش ۶/۶ ، ۳/۶ و ۵/۴درصدی عملکرد نسبت به عدم کاربرد آن گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی عنصر روی به‌صورت نانو ذرات نسبت به اکسید روی معمولی تأثیر بیشتری بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ماش نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، عملکرد دانه، محتوای پرولین

مقدمه

در کشور ایران اقلیم خشک و نیمه‌خشک اغلب مناطق را تحت تأثیر قرار داده و خصوصاً خشکسالی‌های اخیر بر مشکل کم‌آبی افزوده است (Laalinia *et al.*, 2012). از طرفی تنش کمبود آب جزء تنش‌های عمومی می‌باشد که آثار بسیار نامطلوبی بر رشد و نمو گیاهان می‌گذارد (Blum, 2005). در بین گیاهان زراعی، لگوم‌های دانه‌ای از عمده‌ترین منابع پروتئینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب شده و نقش عمده‌ای در اقتصاد این مناطق دارند (Thomas *et al.*, 2003). ماش با نام علمی *Vigna radiate* L. از جمله گیاهان خانواده بقولات است که درحال حاضر در قسمت‌های مختلف دنیا کشت می‌شود و نقش به‌سزایی در تغذیه مردم کشورهای درحال توسعه دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد ماش وقوع تنش خشکی در مراحل مختلف رشدونمو گیاه است که از طریق تسریع تاریخ ظهور جوانه گل و طول دوره رشد گیاه، سبب کاهش عملکرد می‌گردد (Kashiwgi *et al.*, 2003).

تغییرات در فناوری‌های مرتبط با کشاورزی، عامل عمده شکل‌دهی کشاورزی مدرن است. فناوری نانو موقعیت برجسته‌ای در دگرگونی تولیدات کشاورزی به‌خود اختصاص داده است. توسعه نانو دستگاه‌ها و نانو مواد می‌تواند کاربردهای جدیدی را در بیوتکنولوژی گیاهی و کشاورزی داشته باشد و اجازه پیشرفت‌های گسترده‌ای را در پژوهش‌های کشاورزی ازجمله در تکنولوژی بذر، کاهش اتلاف انرژی مواد غذایی و

*نویسنده مسئول: تلفن همراه: ۰۹۱۵۳۵۹۸۴۰۴، h.makarian@yahoo.com

علوم گیاه‌پزشکی (پیشگیری بیماری‌ها و درمان گیاهان با نانو ذرات) می‌دهد (Scrinis & Lyons, 2007). نانو کودها آسان جذب گیاهان می‌شوند و از کودهای شیمیایی کارآمدتر هستند، با محیط زیست سازگار هستند، آلودگی ندارند، شوری خاک را افزایش نمی‌دهند و کیفیت خاک را افزایش می‌دهند (Mazaherinia *et al*., 2010). در پژوهشی گزارش شد که کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات تأثیر بیشتری در افزایش رشد ریشه نخود نسبت به شکل معمول آن داشت (Pandey, 2010). در آزمایشی گلخانه‌ای مشاهده شد که کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی داری در غلظت آهن گیاه، طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن دانه در سنبله، کل وزن خشک کاه و کلش، وزن هزاردانه و وزن دانه در گلدان در گندم (*Triticum aestivum* L.) داشته است. ممکن است این افزایش به‌دلیل خاصیت نانو ذرات و حلالیت بیشتر آن‌ها و سبک و کوچک‌بودن آن‌ها و شانس برخورد بیشتر ریشه‌ها به ذرات نانو نسبت به ذرات اکسید آهن معمولی باشد (Salehi & Tamaskoni, 2008). پژوهشگران قطر کم نانو ذرات را عامل جذب و انتقال بیشتر و تأثیرگذاری بیشتر آن‌ها می‌دانند (Monica & Cremonini, 2009).

کمبود عنصر روی در خاک تمام کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه دنیا گزارش شده است، همچنین گزارش شده است یکی از شایع‌ترین اختلالات تغذیه‌ای در گیاهان و خاک های مناطق مختلف جهان کمبود عنصر روی می‌باشد، به‌طوری که در مراحل اولیه رشد، کمبود عنصر روی رشد اولیه گیاهچه ها را به تأخیر انداخته و باعث حساسیت گیاهچه‌ها به دوره‌های خشکی بعدی می‌شود (Harris *et al*., 2007). مطالعاتی در خصوص نقش عنصر روی در فیزیولوژی اندام‌های زایشی در بسیاری از گیاهان عالی انجام شده که بیانگر آن است که کمبود عنصر روی سبب تغییرات جزئی در اندام‌های زایشی گیاه شده که در نهایت کاهش تولید را به‌دنبال خواهد داشت. تغذیه برگی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم‌مصرف است (Swiader, 2000). در آزمایش (2011) El-Fouly *et al*, محلول‌پاشی عناصر آهن، منگنز و روی موجب بهبود رشد گندم تحت تنش شوری گردید. عنصر روی در افزایش کارآیی مصرف آب نیز بسیار مؤثر است. کاربرد عنصر روی اثرات تنش آبی را تعدیل و رشد گیاه را افزایش می‌دهد. در آزمایش (2009) Sheykhbagloo *et al*, محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط تنش آبی منجر به افزایش تعداد دانه در بلال، درصد پروتئین و روغن دانه ذرت (*Zea mayz* L.) گردید. در همین راستا گزارش شده‌است که مصرف روی در غلظت‌های بالا در شرایط تنش خشکی می‌تواند رشد ریشه‌ها را بهبود داده و تشکیل آوند چوبی را در مقایسه با گیاهان دارای کمبود روی افزایش دهد (El-Fouly *et al*., 2011).

کشور ایران در منطقه جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. گیاهان موجود در این مناطق، در مراحل مختلف رشد خود در معرض تنش خشکی هستند؛ از طرفی عناصر غذایی از قبیل روی می‌توانند در مقاومت گیاه به تنش های مختلف محیطی نقش به‌سزایی داشته باشند. از آنجاکه عنصر روی نقش مهمی در متابولیسم گیاهان دارد، لذا این پژوهش جهت تعیین اثر عنصر روی به‌شکل میکرو و نانو ذرات، بر صفات رشدی و کیفی گیاه ماش در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان شاهرود اجرا شد. این مزرعه در عرض جغرافیایی ۳۶درجه و ۲۵دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴درجه و ۵۷دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۹متر است. اقلیم منطقه از نوع خشک تا نیمه‌خشک و خاک محل آزمایش از نوع لوم رس می‌باشد. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عامل اصلی، تنش خشکی شامل قطع آبیاری در مرحله ۵۰درصد گلدهی و مرحله ۵۰درصد غلافدهی و آبیاری کامل (شاهد) و عامل فرعی شامل محلول‌پاشی به دو شکل نانو اکسید روی و معمولی مشتمل بر چهار سطحِ پنج و ۱۰گرم در لیتر نانواکسید روی، پنج و ۱۰گرم در لیتر اکسید روی معمولی و شاهد (بدون محلول‌پاشی) بودند. زمین موردنظر برای کشت در اسفند سال ۱۳۹۰ توسط گاوآهن برگردان‌دار با شخم عمیق برگردانده شد. عملیات تکمیلی تهیه بستر شامل شخم سطحی، دیسک، تسطیح و آماده‌سازی کرت ها در اوایل خردادماه همان سال انجام شد. بر اساس آزمایش خاک، ۱۰۰کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (P_2O_5) و ۱۵۰کیلوگرم در هکتار کود نیترات آمونیوم (NH_4NO_3) مورد استفاده قرار گرفت. کود فسفاته و یک سوم کود نیتروژن قبل کاشت مخلوط با خاک و مابقی کود نیتروژنه به‌صورت سرک در دو مرحله طی فصل رشد استفاده گردید. کاشت بذر ماش در دهه سوم خرداد۱۳۹۱ انجام شد. محلول‌پاشی یک‌بار در زمان ۴۰روز بعد از کاشت و یک‌بار هم در زمان ۵۵روز بعد از کاشت انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل شِش ردیف کاشت چهار متری با فاصله بین ردیف ۳۰سانتی‌متر بود. در طول فصل رشد، وجین علف‌های‌هرز به‌صورت هر دو هفته یک‌بار و با دست انجام شد. برای نمونه‌برداری دو ردیف کناری و نیم‌متر ابتدا و انتهای هر

کرت به‌عنوان حاشیه حذف شدند. مساحت نمونه‌برداری سه‌متر بود که در هر نمونه‌برداری ۱۰بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و پس از قطع‌کردن به‌منظور اندازه‌گیری صفات موردنظر به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور اندازه‌گیری میزان پروتئین بذر، بعد از خشک‌شدن کامل، بذرها به آزمایشگاه انتقال و با دستگاه کجلدال تک مدل ۲۱۰۰ ساخت کارخانه FOSS کشور سوئد میزان پروتئین دانه ارزیابی گردید. نیتروژن دانه با استفاده از روش کجلدال محاسبه گردید و بعد از ضرب‌شدن این مقدار در فاکتور پروتئینی ماش، درصد پروتئین دانه به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها نیز از روش Arnone (1959) استفاده شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار MSTATC، ترسیم نمودارها با EXCEL و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل تنش در محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر ارتفاع ماش معنی دار بود (جدول ۲).

جدول۱- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

Table 1. Physical and chemical analysis of soil

بافت خاک Soil texture	روی Zn (ppm)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن N (درصد)	کربن آلی O.C (درصد)	pH	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)
لومی loam	1.1	280	10	0.08	0.4	7.8	1.5

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات ماش تحت تأثیر محلول‌پاشی عنصر روی و تنش خشکی

Table 2- Analyses of variance of some traits of mungbean due to foliar application of Zn and drought stress

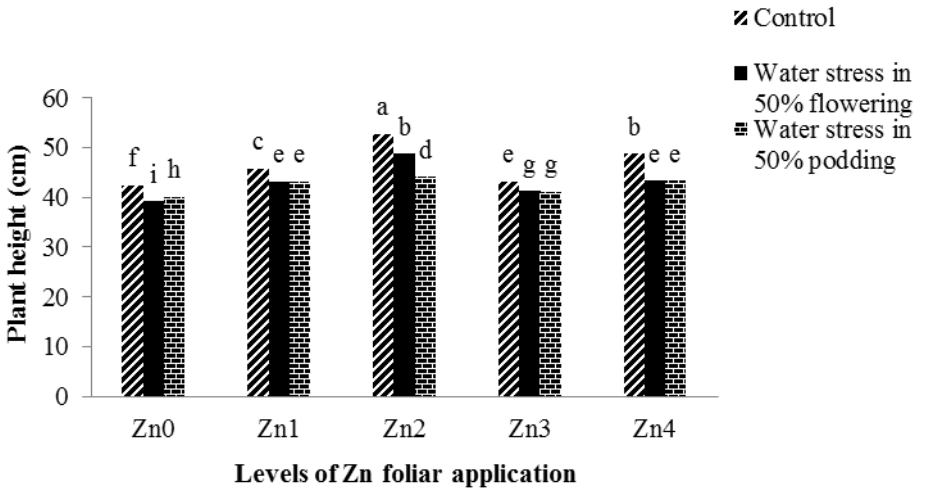
Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS								
			ارتفاع گیاه Height	تعداد شاخه فرعی number of branches	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid content	پروتئین دانه Seed protein	پرولین Proline	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
Replication	بلوک	3	71.48^{**}	42.52^{**}	0.001^{**}	0.0016^{**}	0.052^{ns}	77.76^{**}	9^{**}	44000^{**}	1869^{**}
stress	تنش	2	50.51^{**}	29.98^{**}	0.007^{**}	0.006^{**}	0.002^{ns}	36.55^{**}	4.33^{**}	156865^{**}	4511^{**}
Error(a)	خطای a	6	0.08	0.19	0.0000	0.0000	0.035	1.76	0.63	41	57.43
foliar application	محلول‌پاشی	4	73.36^{**}	22.21^{**}	0.0001^{ns}	0.0001^{ns}	0.01^{ns}	5.91^{ns}	1.3^{**}	10352^{**}	2495^{**}
stress× foliar application	تنش × محلول‌پاشی	8	2.11^{**}	1.25^{**}	0.0001^{ns}	0.0002^{ns}	0.006^{ns}	4.29^{ns}	0.22^{ns}	1006^{**}	100.5^{*}
Error(b)	خطای b	36	0.09	0.14	0.0001	0.0001	0.009	2.5	0.13	41.66	20.83
C.V (%)	ضریب تغییرات		15.67	18.21	14.17	16.4	19.95	18.31	18.6	14.38	17.93

*، ** و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

*, ** and ns: significant at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$ and non-significant respectively.

بررسی اثر متقابل تنش خشکی در محلول‌پاشی نشان داد که تنش خشکی در مراحل گلدهی و غلافدهی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شاهد گردید و این کاهش ارتفاع در مرحله گلدهی بیشتر از مرحله غلافدهی بود (شکل ۱). اما محلول‌پاشی با نانواکسید و اکسید روی توانست این کاهش ارتفاع را جبران و در این میان محلول‌پاشی با ۱۰گرم نانواکسید روی نسبت به سایر سطوح محلول‌پاشی تأثیر بیشتری در تعدیل تنش خشکی داشت. در شرایط عدم تنش نیز محلول‌پاشی با ۱۰گرم نانواکسید روی بیشترین ارتفاع را تولید کرد. در شرایط تنش، تخصیص مواد کربوهیدراتی بین قسمت های مختلف گیاه تغییر می‌کند، لذا گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه اختصاص می‌دهد و درنتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش‌های هوایی از جمله ساقه می‌رسد که این امر ضمن توسعه بخش جاذب رطوبت و عناصر غذایی

(ریشه‌ها)، سبب کاهش سهم شاخساره و ارتفاع بوته می‌گردد (Silva *et al.*, 2012). در آزمایشی قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد ماش، کاهش ارتفاع گیاه را به‌دنبال داشته است، اما محلول‌پاشی با عناصر روی، پتاسیم و منیزیم در این شرایط نقش تعدیل‌کننده داشت، به‌طوری‌که عنصر منیزیم در شرایط تنش در مرحله رویشی نقشی بیشتر از دو عنصر دیگر داشت، اما محلول‌پاشی روی در شرایط تنش در مراحل گلدهی و غلافدهی از منیزیم و پتاسیم مؤثرتر بوده است (Thalooth *et al.*, 2006). در مطالعه دیگر نیز استفاده از محلول‌پاشی عنصر روی، نقش معنی‌داری در افزایش ارتفاع گیاه داشته است. مصرف کود روی به‌صورت محلول‌پاشی به مقدار یک لیتر در هکتار باعث افزایش ارتفاع سویا نسبت به شاهد گردید (Jamsom *et al.*, 2009). بنابراین به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی استفاده از نانو ذرات عنصر روی و روی معمولی تا حدود زیادی اثرات کاهش ارتفاع توسط کم‌آبی را جبران می کند.



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی عنصر روی بر ارتفاع بوته گیاه ماش

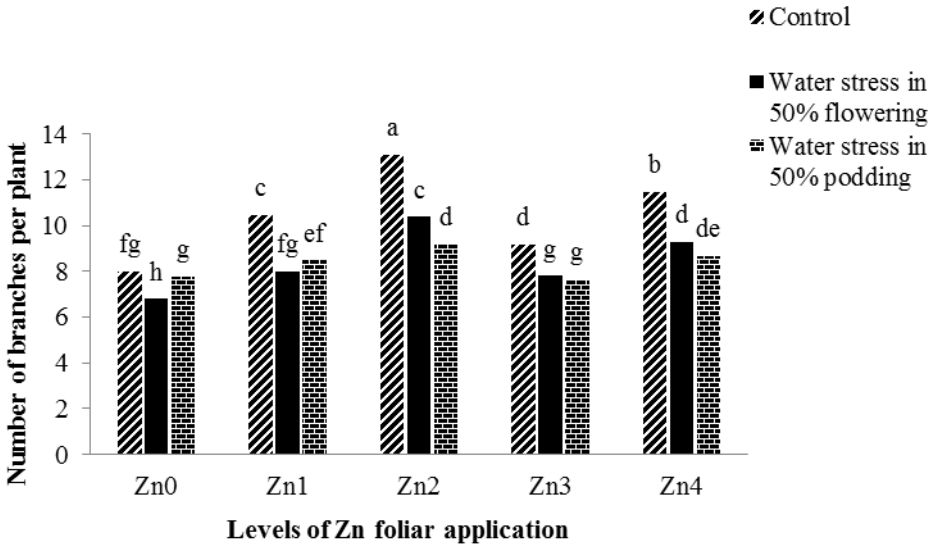
Zn0: شاهد، Zn1: ۵گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn2: ۱۰گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn3: ۵گرم در لیتر اکسید روی، Zn4: ۱۰گرم در لیتر اکسید روی

Fig. 1. Interaction effect of water stress and foliar application of Zn element on plant height of mungbean

Zn0: Control, Zn1: 5 grams per liter nano zinc oxide, Zn2: 10 grams per liter nano zinc oxide, Zn3: 5 grams per liter zinc oxide, Zn4: 10 grams per liter zinc oxide

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی و اثر متقابل تنش در محلول‌پاشی بر تعداد شاخه فرعی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی اثر محدودکننده‌تری نسبت به قطع آبیاری در مرحله غلافدهی بر شاخه‌دهی دارد. تعداد شاخه فرعی در پاسخ به محلول‌پاشی به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت، به طوری‌که در تیمار محلول‌پاشی با ۱۰گرم نانواکسید روی تعداد شاخه فرعی نسبت به شاهد افزایش ۴۷درصدی نشان داد و پس از آن تیمار محلول‌پاشی با ۱۰گرم اکسید روی، پنج گرم نانواکسید روی و محلول‌پاشی با پنج گرم اکسید روی قرار داشتند (نتایج نشان داده نشده است). بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که تنش باعث کاهش تعداد شاخه فرعی در بوته شد، به‌طوری‌که در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی این کاهش نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله غلافدهی محسوس‌تر بود. اما محلول‌پاشی توانست کاهش تعداد شاخه در بوته توسط تنش را تعدیل کند و در این بین محلول‌پاشی با ۱۰گرم نانواکسید روی اثر بیشتری نسبت به سایر سطوح محلول‌پاشی داشته است (شکل ۲). نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰گرم نانو اکسید و اکسید روی معمولی در شرایط تنش توانست به‌طور معنی‌داری تعداد شاخی فرعی را نسبت به تیمار عدم تنش و عدم کاربرد روی افزایش دهد. در گیاهان دیگر نیز اثرات مثبت محلول‌پاشی با عناصر مختلف گزارش شده است. نتایج Pirzad *et al*, (2013) نشان داد کاربرد غلظت‌های ۲ و چهار در هزار عنصر روی باعث افزایش تعداد شاخه فرعی گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) نسبت به شاهد گردید. Thalooth *et al*, (2006) نشان دادند که در ماش تحت شرایط تنش خشکی تعداد شاخه‌های تولیدشده در هر بوته به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. اما محلول‌پاشی با عنصر روی در مراحل رشد رویشی و زایشی

به‌طور مؤثری از طریق تحریک جوانه‌های جانبی و همچنین افزایش تقسیم سلولی، از کاهش تعداد شاخه فرعی جلوگیری می‌کند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به‌نظر می‌رسد نانواکسید روی به جهت جذب بیشتر نسبت به کود معمولی توانسته است تأثیر بیشتری بر تعداد شاخه فرعی گذاشته و مقدار این صفت را افزایش دهد.



شکل۲- اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی عنصر روی بر تعداد شاخه فرعی گیاه ماش

Zn0: شاهد، Zn1: ۵گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn2:۱۰گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn3:۵گرم در لیتر اکسید روی، Zn4:۱۰گرم در لیتر اکسید روی

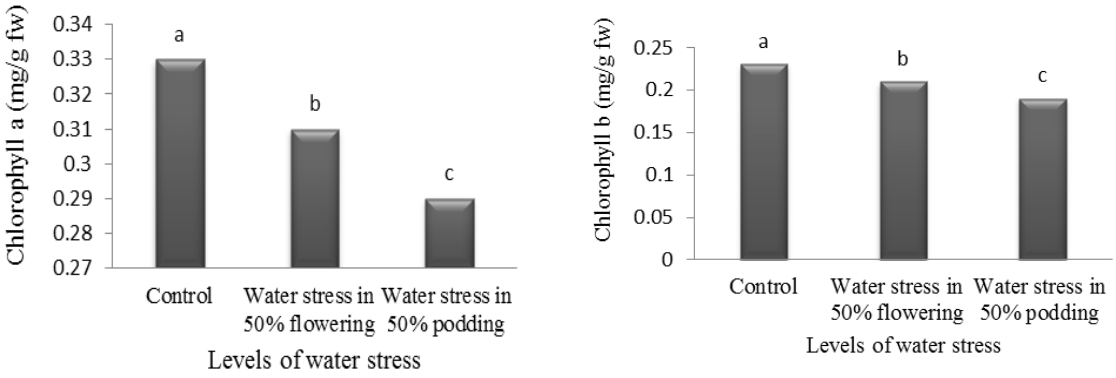
Fig. 2. Interaction effect of water stress and foliar application of Zn element on number of branches of mungbean

Zn0: Control, Zn1: 5 grams per liter nano zinc oxide, Zn2: 10 grams per liter nano zinc oxide, Zn3: 5 grams per liter zinc oxide, Zn4: 10 grams per liter zinc oxide

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل a وb معنی‌دار بود (جدول۲). براساس مقایسه میانگین، بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به شاهد بود. تنش در مرحله گلدهی و غلافدهی غلظت کلروفیل a را به‌ترتیب ۴/۲ و ۱۵درصد نسبت به شاهد کاهش داد که این میزان کاهش از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل۳). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به شاهد و کمترین مقدار آن مربوط به قطع آبیاری در مرحله غلافدهی بود (شکل ۳)، به‌طوری‌که قطع آبیاری در مرحله غلافدهی باعث کاهش ۱۷/۴درصدی کلروفیل b نسبت به شاهد گردید.

نتایج Maiti *et al*, (2000) نشان داد در شرایط قطع آبیاری، محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید در برگ‌های ماش کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر محلول‌پاشی عنصر روی تأثیر معنی‌داری در افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی نشان نداد که با نتایج Thalooth *et al*, (2006) مطابقت دارد. این محققان نشان دادند که محلول‌پاشی با عنصر منیزیم به‌دلیل شرکت این عنصر در ساختار مولکول‌های کلروفیل a و b از کاهش این رنگدانه‌ها در اثر تنش خشکی تا حدود زیادی جلوگیری می‌کند، اما برای عنصر روی اثر قابل‌ملاحظه‌ای در جلوگیری از کاهش رنگدانه‌ها در شرایط تنش خشکی مشاهده نکردند.

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات تنش و محلول‌پاشی عنصر روی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر صفت میزان کارتنوئید معنی‌دار نبود. کاروتنوئیدها یکی از رنگیزه‌های کلیدی و مهم سیستم آنتی‌اکسیدانتی در گیاهان بوده که گروه بزرگی از مولکول‌های ایزوپرنوئید را تشکیل می دهند و به تخریب اکسیداتیو نیز حساس می‌باشند. در پژوهشی مشاهده شد که در سطوح متوسط ($8\ ds.m^{-1}$) و بالای تنش شوری ($12\ ds.m^{-1}$) تغییری در میزان کاروتنوئید مشاهده نگردید. زیرا کاروتنوئیدها می‌توانند تنش اکسیداتیو ایجادشده در اثر شوری را گیاه قهوه (*Coffea arabica*) کاهش دهند (Simkin *et al*., 2008). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر قطع آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین در تیمار قطع آبیاری در مرحله غلافدهی با ۳۱درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد و کمترین میزان پرولین مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۴). اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر میزان پرولین تأثیر معنی‌داری نبود (جدول ۲).

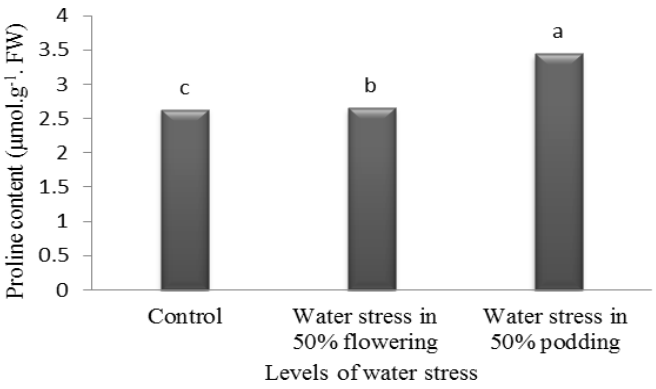


شکل ۳- اثر تنش خشکی بر غلظت کلروفیل *a* (چپ) و کلروفیل *b* (راست) درگیاه ماش

Fig. 3. Effect of water stress on concentration of chlorophyll *a* (Left) and *b* (Right) in mungbean plant

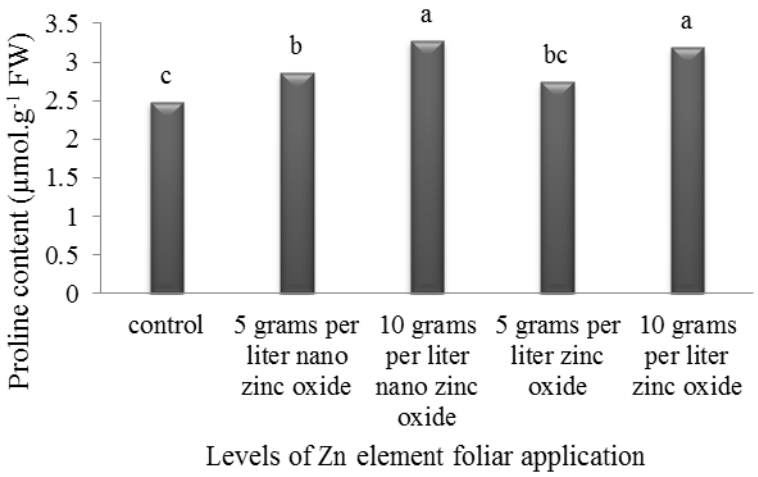
نتایج نشان داد که در بین سطوح محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با ۱۰گرم نانواکسید روی با افزایش ۳۲درصدی نسبت به شاهد بیشترین تأثیر را بر میزان پرولین دارا بود، هرچند این تیمار تفاوت معنی‌داری با محلول‌پاشی با ۱۰گرم روی از نظر تأثیر بر این صفت نشان نداد (شکل ۵). همچنین بین تیمار محلول‌پاشی با پنج گرم روی و پنج گرم نانواکسید روی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اما کاربرد پنج گرم نانو اکسید روی توانست به‌طور معنی‌داری میزان پرولین را نسبت به شاهد افزایش دهد. Maiti *et al*, (2000) گزارش کردند که تجمع پرولین یک مکانیسم سازگاری به تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش خشکی می‌باشد، به‌طوری که در شرایط تنش خشکی با باعث کاهش ازدست‌دهی آب گیاه می‌شود. در پژوهش Thalooth *et al*, (2006) بیشترین میزان پرولین ماش در شرایط تنش خشکی در مرحله غلافدهی و تیمار محلول‌پاشی با پتاسیم به‌دست آمد. اما اثر دو عنصر روی و منیزیم معنی‌دار نبود. پرولین اسیدآمینه ذخیره‌شده در سیتوپلاسم بوده و احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد.

پرولین به‌طور کلی از دو مسیر عمده ساخته می‌شود: مسیرگلوتامات که آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند و مسیر اورنتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری واقع هستند. مسیر گلوتامات در گیاهان آلی اهمیت بیشتری دارد و به‌نظر می‌رسد آنزیم‌های کلیدی این مسیر به محلول‌پاشی روی و آهن واکنش مثبت نشان می‌دهند (Delaney *et al*., 1993). با توجه به نتایج تحقیقات مختلف به نظر می‌رسد استفاده از محلول‌پاشی روی به‌صورت ذرات نانو از طریق جذب بهتر به وسیله گیاه به‌خصوص در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین شده و از این طریق در تعدیل اثر تنش خشکی نقش مؤثری ایفا می‌کند.



شکل۴ - مقایسه میانگین اثر تنش بر پرولین برگ در گیاه ماش

Fig. 4. Effect of water stress on proline content of mungbean plant



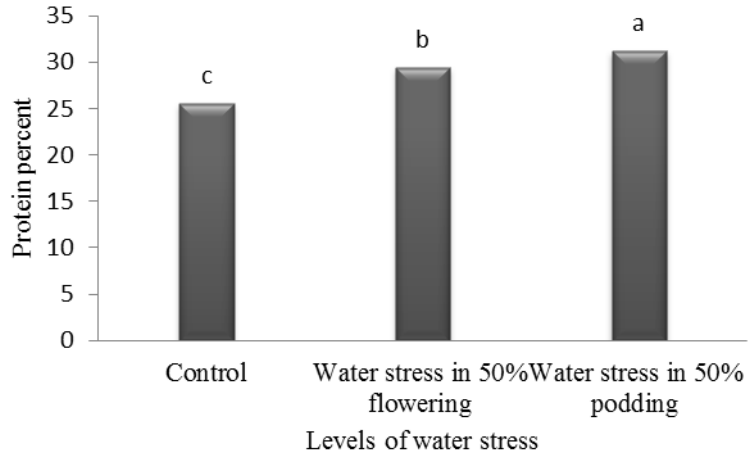
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عنصر روی بر پرولین برگ در گیاه ماش

Zn0: شاهد، Zn1: ۵گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn2:۱۰گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn3:۵گرم در لیتر اکسید روی، Zn4:۱۰گرم در لیتر اکسید روی

Fig. 5. Effect of foliar application of zinc element on proline content of mungbean plant

Zn0: Control, Zn1: 5 grams per liter nano zinc oxide, Zn2: 10 grams per liter nano zinc oxide, Zn3: 5 grams per liter zinc oxide, Zn4: 10 grams per liter zinc oxide

اثر تنش کم‌آبیاری در سطح یک درصد بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). اما اثر محلول‌پاشی عنصر روی و اثر متقابل محلول‌پاشی در تنش تأثیر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه ماش نداشت. بیشترین درصد پروتئین در تیمار قطع آبیاری در مرحله غلافدهی (با حدود ۲۲درصد افزایش نسبت به شاهد) به‌دست آمد و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (بدون تنش) بود (شکل ۶). Zhao *et al*, (2004) بیان داشتند که تنش کم‌آبی در مرحله پُرکردن دانه محتوای پروتئین را افزایش می‌دهد. همین محققان بیان کردند که در طی دوره خشکی، انتقال مواد به‌علت کاهش آب قابل‌دسترس، منجر به تغییر غلظت برخی از متابولیت‌ها می‌شود. از سوی دیگر میزان محلول‌های سازگار به خشکی نظیر قندها، قندهای الکلی، آمینواسیدهای ویژه نظیر پرولین، گلیسین و بتائین افزایش می‌یابد. افزایش پروتئین دانه در شرایط تنش به‌طورعمده مربوط به کاهش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه به‌واسطه کاهش فتوسنتز خالص می‌باشد، نه افزایش مطلق در میزان پروتئین. درهمین ارتباط گزارش شده است که فرآیندهای تولید پروتئین به خشکی مقاوم‌تر هستند، بنابراین در شرایط تنش خشکی، افت تولید نشاسته چشمگیرتر است (Mcdonald, 1992).



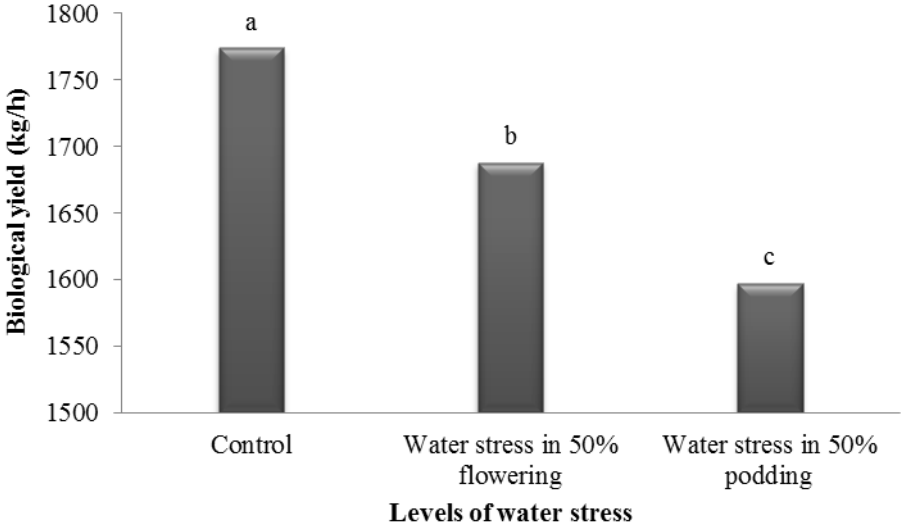
شکل ۶- اثر تنش خشکی بر درصد پروتئین دانه ماش

Fig. 6. Effect of water stress on protein percent of mungbean grain

از طرف دیگر در شرایط تنش خشکی، جذب و تثبیت دی اکسیدکربن بر اثر بسته‌شدن نسبی روزنه‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین، میزان کلی مواد پرورده برای پُرشدن دانه کاهش می‌یابد. در حالی‌که انتقال دوباره نیتروژن از برگ‌ها به دانه کاهش نمی‌یابد و این امر سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود (Ahmadi & Baiker, 2001). Thalooth *et al*, (2006) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی گیاه ماش به‌وسیله عنصر روی تأثیر کمتری نسبت به پتاسیم و منیزیم در افزایش میزان پروتئین دارد.

در تأیید نتایج سایر محققان همبستگی منفی بالا (۸۲درصد) بین عملکرد بیولوژیک و درصد پروتئین (نتایج نشان داده نشده است)، حاکی از این نکته است که مجموعه عواملی که باعث کاهش مواد فتوسنتزی و کربوهیدراتی و در نهایت عملکرد بیولوژیک می‌شوند، افزایش میزان پروتئین در گیاه را به‌دنبال خواهند داشت.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای قطع آبیاری و محلول‌پاشی بر زیست‌توده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین زیست‌توده مربوط به تیمار شاهد (بدون تنش) و کمترین زیست‌توده مربوط به قطع آبیاری در مرحله غلافدهی و بعد از آن قطع آبیاری در مرحله گلدهی بود (شکل ۷).

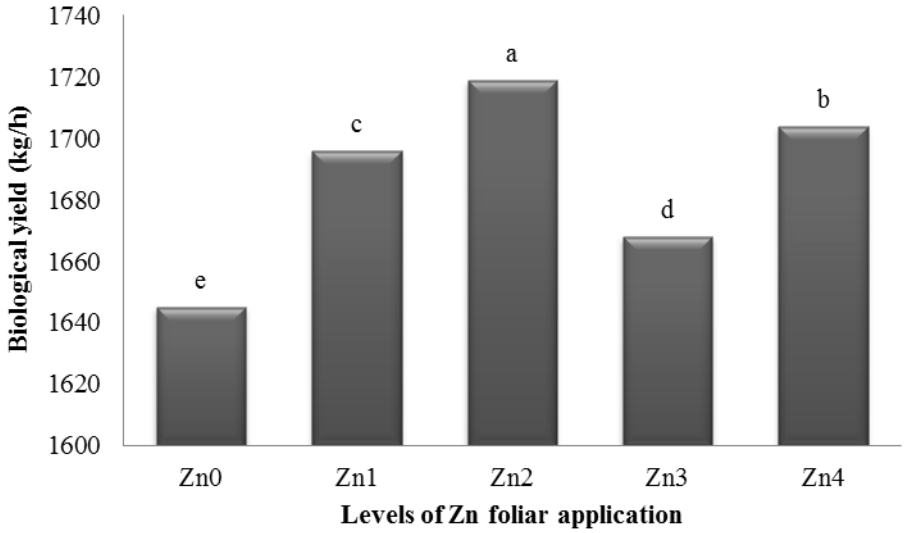


شکل ۷- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر زیست‌توده گیاه ماش

Fig. 7. Effect of water stress on biological yield of mungbean plant

در مطالعه‌ای مشخص شد اعمال تنش کم‌آبی در دو زمان شروع گلدهی و تشکیل نیام، باعث کاهش بیوماس در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی گردید (Pak Mehr *et al*., 2011). همچنین نتایج آزمایش حاضر نشان داد در بین سطوح محلول‌پاشی بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک مربوط به محلول‌پاشی ۱۰گرم نانواکسید روی و بعد از آن محلول‌پاشی با ۱۰گرم روی، محلول‌پاشی با پنج گرم نانواکسید روی و پنج گرم اکسید روی بود (شکل ۸). گزارش شده است که محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی نخود (*Cicer arietinum*) از طریق افزایش رشد، تعداد شاخه در بوته و همچنین تعداد دانه در بوته، موجبات تشکیل ماده خشک بیشتری را فراهم آورد (Hamzei *et al*., 2014).

بررسی اثر متقابل تنش در محلول‌پاشی نشان داد که زیست‌توده در پاسخ به کم‌آبیاری کاهش یافت، به‌طوری‌که تنش در مرحله غلافدهی تأثیر بیشتری نسبت به تنش در گلدهی روی زیست‌توده داشت (شکل ۹). محلول‌پاشی با ۱۰ گرم نانواکسید روی در شرایط بدون تنش (شاهد) و تنش در مرحله غلافدهی بیشترین زیست‌توده را دارا بود. همچنین در تیمار غلافدهی بین محلول‌پاشی پنج گرم اکسید روی و ۱۰گرم اکسید روی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. Basole *et al*, (2005) به اثر مثبت محلول‌پاشی عنصر روی در جلوگیری از کاهش زیست‌توده در شرایط خشکی اشاره کرده‌اند. همین محققان اذعان کرده‌اند که افزایش عملکرد زیستی با مصرف عناصر ریزمغذی می‌تواند با افزایش فعالیت فتوسنتزی، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته و در کل افزایش ماده خشک در بوته مرتبط باشد.

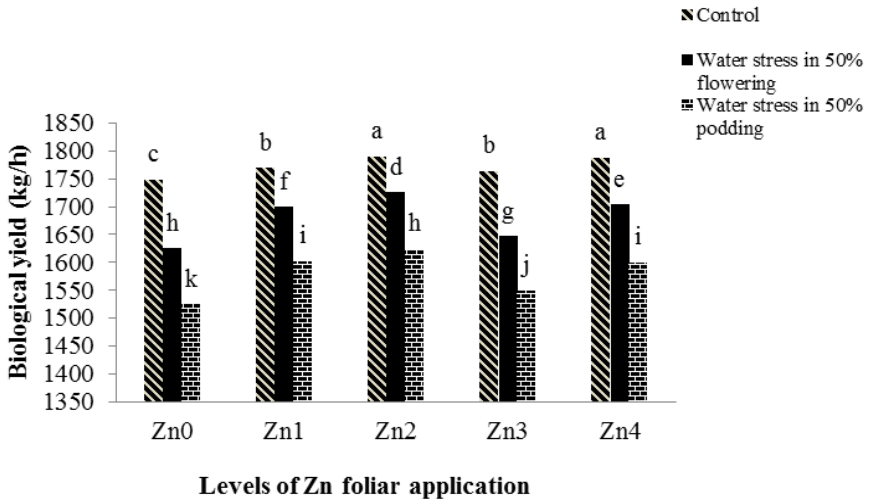


شکل ۸- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عنصر روی بر زیست توده گیاه ماش

Zn0: شاهد، Zn1: ۵گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn2:۱۰گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn3:۵گرم در لیتر اکسید روی، Zn4:۱۰گرم در لیتر اکسید روی

Fig. 8. Effect of foliar application of zinc element on biological yield of mungbean plant

Zn0: Control, Zn1: 5 grams per liter nano zinc oxide, Zn2: 10 grams per liter nano zinc oxide, Zn3: 5 grams per liter zinc oxide, Zn4: 10 grams per liter zinc oxide



شکل ۹- اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی عنصر روی بر زیست‌توده ماش

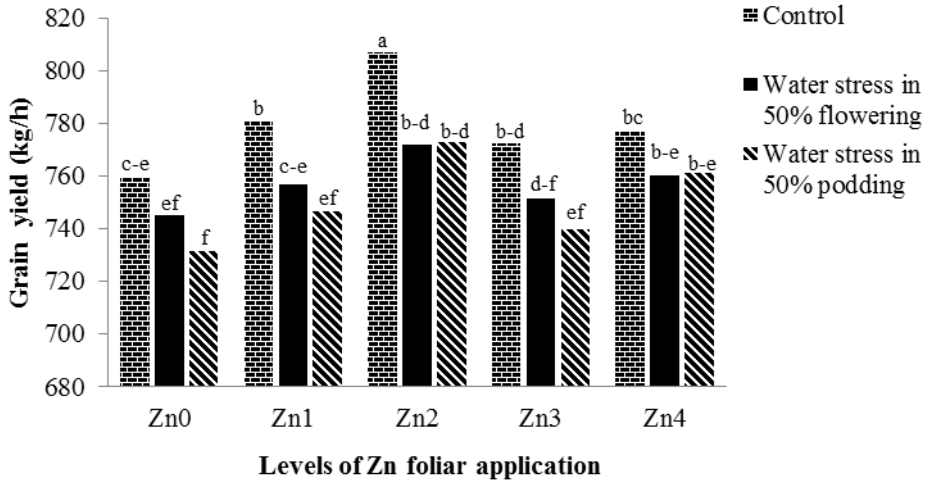
Zn0: شاهد، Zn1: ۵گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn2:۱۰گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn3:۵گرم در لیتر اکسید روی، Zn4:۱۰گرم در لیتر اکسید روی

Fig. 9. Interaction effects of water stress and foliar application of Zinc element on biomass of mungbean plant.

Zn0: Control, Zn1: 5 grams per liter nano zinc oxide, Zn2: 10 grams per liter nano zinc oxide, Zn3: 5 grams per liter zinc oxide, Zn4: 10 grams per liter zinc oxide

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر سطوح تنش خشکی و محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار تنش در مرحله غلافدهی و گلدهی عملکرد کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (داده‌ها نشان داده نشده است). همچنین محلول‌پاشی افزایش معنی‌دار عملکرد را در حالت تنش و عدم تنش به‌همراه داشت، اما تأثیر آن در حالت عدم تنش بیشتر بود، به‌طوری‌که کاربرد ۱۰گرم

نانواکسید روی در شرایط عدم تنش افزایش معنی‌دار هفت درصدی عملکرد را نسبت به شاهد نشان داد، اما در حالت تنش در غلافدهی افزایش عملکرد نسبت به شاهد برابر با ۵/۴درصد بود. محلول‌پاشی با ۱۰گرم اکسید روی، پنج گرم نانواکسید روی و پنج گرم اکسید روی در مراتب بعدی از نظر تأثیر بر این صفت قرار داشتند (شکل ۱۰). به‌طور کلی محلول‌پاشی در شرایط تنش توانست عملکرد ماش را معادل تیمار شاهد (عدم تنش و عدم محلول‌پاشی) افزایش دهد.



شکل۱۰- اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی عنصر روی، بر عملکرد دانه گیاه ماش

Zn0: شاهد، Zn1: ۵گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn2: ۱۰گرم در لیتر نانواکسید روی، Zn3:۵گرم در لیتر اکسید روی، Zn4:۱۰گرم در لیتر اکسید روی

Fig. 10. Interaction between water stress and foliar application of Zinc on grain yield of mungbean plant

Zn0: Control, Zn1: 5 grams per liter nano zinc oxide, Zn2: 10 grams per liter nano zinc oxide, Zn3: 5 grams per liter zinc oxide, Zn4: 10 grams per liter zinc oxide

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات مختلف گیاه ماش

Table 3. Correlation coefficients between different traits of mungbean plant

	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of branches	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	پرولین Proline	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid content	پروتئین Seed protein
ارتفاع بوته Plant height	1								
تعداد شاخه فرعی Number of branches	0.95**	1							
عملکرد دانه Grain yield	0.78**	0.79**	1						
عملکرد بیولوژیک biological yield	0.69**	0.74**	0.80**	1					
پرولین Proline	0.69**	0.72**	0.52**	0.49**	1				
کلروفیل a Chlorophyll a	0.84**	0.86**	0.79**	0.79**	0.71**	1			
کلروفیل b Chlorophyll b	0.85**	0.87**	0.79**	0.79**	0.72**	0.99**	1		
کارتنوئید محتوای Carotenoid content	-0.02 ns	-0.05 ns	0.04ns	0.04 ns	0.12 ns	-0.05 ns	-0.06 ns	1	
پروتئین بذر Seed protein	0.19 ns	0.21 ns	-0.06 ns	-0.82 ns	0.18 ns	-0.10 ns	-0.08 ns	-0.05 ns	1

** و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد(P≤۰/۰۱) و عدم معنی‌داری می‌باشد.

** and ns, significant at P ≤0.01 and no significant, respectively.

گزارش‌ها حاکی از آن است که محلول‌پاشی روی در سویا باعث افزایش طول دوره گلدهی و غلاف‌بندی و افزایش تعداد دانه در غلاف و افزایش سطح برگ و وزن خشک و درنتیجه افزایش عملکرد می‌گردد (Rose *et al*., 2002). در آزمایش ما نیز نتایج بررسی همبستگی نشان داد که صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، محتوای کلروفیل aو b و میزان پرولین رابطه مثبت و معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک و دانه داشت (جدول ۳). بنابراین هر عاملی که بر صفات مذکور تأثیر داشته باشد، در نهایت بر عملکرد گیاه نیز تأثیرگذار خواهد بود. عنصر روی به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت است و در شرایط تنش خشکی در ایجاد مقاومت گیاه نقش مهمی دارد (Welch, 2001). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده نانو ذرات اکسید روی نسبت به روی معمولی تأثیر بیشتری بر عملکرد ماش داشته است که با یافته‌های Jaberzadeh *et al*, (2010) در خصوص تأثیر مثبت نانو ذرات به خصوص در شرایط تنش خشکی در گندم مطابقت دارد. Pandey *et al*, (2006) گزارش کردند که مصرف نانو ذرات اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود موجب افزایش رشد این گیاه گردید. با توجه به افزایش عملکرد گیاهان تحت تأثیر نانو ذرات عناصر مختلف، انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. بالابودن کارآیی جذب و سطح مخصوص ذرات نانو در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (Monica & Cremonini, 2009). لذا افزایش عملکرد تحت تأثیر محلول‌پاشی روی به‌خصوص از نوع نانواکسید روی در شرایط تنش و عدم تنش به‌دور از انتظار نمی باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ماش تحت تأثیر تنش آبیاری در مرحله گلدهی و غلافدهی کاهش یافت، اما تأثیر تنش در مرحله گلدهی بر صفات ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی بیشتر بود، در حالی‌که تنش در مرحله غلافدهی نسبت به تنش در مرحله گلدهی عملکرد بیولوژیک و دانه را بیشتر تحت تأثیر منفی خود قرار داد. محلول‌پاشی عنصر روی به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در شرایط تنش و عدم تنش بهبود بخشید. درصد پروتئین دانه و کلروفیل a وb تحت تأثیر محلول‌پاشی قرار نگرفت. محلول‌پاشی روی در شرایط عدم قطع آبیاری بالاترین پارامترهای رشدی را در گیاه ماش به ثبت رسانید. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی روی، مخصوصاً ۱۰گرم نانواکسید روی به‌دلیل امتیازات ویژه ذرات نانو، اثر جبران‌کنندگی خوبی برای گیاه در برابر تنش خشکی ایجاد کرد و سبب افزایش معنی‌دار محتوای پرولین و متعاقباً رشد و عملکرد در ماش گردید. به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید روی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی سبب بهبود صفات کیفی و رشد گیاه ماش می‌شود و در این بین محلول‌پاشی با ۱۰ گرم نانواکسید روی تأثیر بیشتری نسبت به سایر تیمارها نشان داد.

منابع

1. Ahmadi, A., and Baiker, D.R. 2001. Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. Journal of Agricultural Science 31: 813-825. (In Persian with English Summary).
2. Arnon, D.I. 1959. Photosynthesis by isolated chloroplast. IV. Central concept and comparison of three photochemical reactions. Biochemica et Biophysica Acta 20: 440-446.
3. Basole, V.D., Deotale, R.D., Ilmulwar, S.R., Raut, S.S., and Kadwe, S.B. 2003. Effect of hormone and nutrients on morpho-physiological characters and yield of soybean. Journal of Soils and Crops 13: 135-139.
4. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutully exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168.
5. Delaney, A.J., Hu, C.A.A., Kishor, K.P.B., and Verma, D.P.S. 1993. Cloning ornithine-amino transferase DNA from *Vigna anconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coli* and regulation of proline biosynthesis. Journal of Biological Chemistry 268: 18673-18678.
6. Davar Zareii, F., Roozbahani, A., and Hosnamidi, A. 2014. Evaluation the effect of water stress and foliar application of Fe nanoparticles on yield, yield components and oil percentage of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2(4): 1150-1159.
7. Dumée, L.F., Lemoine, J.B., Ancel, A., Hameed, N., He, L., and Kong, L. 2015. Control of partial coalescence of self-assembled metal nano-particles across lyotropic liquid crystals templates towards long range meso-porous metal frameworks design. Nanomaterials 5: 1766-1781.

8. El-Fouly, M.M., Mobarak, Z.M., and Salama, Z.A. 2011. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. African Journal of Plant Science 5: 314-322.
9. Hamzei, J., Najjari, S., Sadeghi, F., and Seyedi, M. 2014. Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research 5(2): 9-18. (In Persian with English Summary).
10. Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., and Shah, H. 2007. Priming seeds with zinc sulphate solution increases yield of maize (*Zea mays* L.) on zinc-deficient soils. Field Crops Research 102: 119-127.
11. Hong, F., Zhou, J., and Liu, C. 2005. Effect of nano-TiO2 on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. Biological Trace Element Research 105: 269-79.
12. Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H.R., and Moradi, A. 2010. Effect of TiO2 nanoparticles spraying on agronomic characteristics of wheat under condition drought stress. Journal of Crop Ecophysiology 2(4): 295-301. (In Persian with English Summary).
13. Jamsom, M., Galeshi, S., Pahlavani, M.H., and Zeinali, E. 2009. Evaluation of zinc foliar application on yield components, seed yield and seed quality of two soybean cultivars in summer cultivation. Journal of Plant Production 16(1): 17-28.
14. Kashiwgi, J., Krishmamurthy, L., Crouch, J., and R. Serraj. 2006. Variability of root length density and it contributions to seed yield in chickpea under terminal drought stress. Field Crop Research 95: 171-181.
15. Laalinia, A.A., Majnoon Hosseini. N., and Galostian, M. 2012. Effect of water stress on yield and yield components of mung bean at different grows (*Vigna radiate* L.). Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 95: 108-115. (In Persian with English Summary).
16. Liscano, J.F., Wilson, C.E., Norman, RJ., and Slaton, NA. 2000. Zinc availability to rice from seven granular fertilizers. AAES Research Bulletin 963: 1-31.
17. Liu, X.M., Zhang, F.D., Zhang, S.Q., He, X.S., Fang, R., Feng, Z., and Wang, Y. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. Plant Nutrition Fertilizer Science 11:14-18.
18. Maiti, R.K., Moreno-Limon, S., and Wesche- Ebeling, P. 2000. Responses of some crops to various abiotic stress factors and its physiological and biochemical basis of resistances. Agricultural Reviews 21: 155-167.
19. Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Applied Sciences 7: 36-40.
20. Mcdonald, G.K. 1992. Effect of nitrogen fertilizer on growth grain yield and grain protein concentration of wheat. Crop Science 17: 791-793.
21. Monica, R.C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62: 161-165.
22. Pak Mehr, A., Rastgoo, M., Shekari, F., Saba, J., Vazayefi, M., and Zangani, A. 2011. Effect of salicylic acid priming on yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at reproductive stage. Iranian Journal of Pulses Research 2(1): 53-64. (In Persian with English Summary).
23. Pandey, A.C., Sanjay, S.S., and Yadav, R.S. 2010. Application of ZnO nanoparticlesin influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experience Nanoscience 5: 488-497.
24. Pandey, N., Pathak, G.C., and Sharma, C.P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 20: 89-96.
25. Pirzad, A.R., Tousi, P., and Darvishzadeh, R. 2013. Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 15(1): 12 -23. (In Persian with English Summary).
26. Prasad, T.N.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, TS., Sajanlal, PR., and Pradeep, T. 2012. Effect of manoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition 35: 905-927.
27. Rose, L.A., Feltion, W.L., and Banks, L.W. 2002. Responses of four soybean variations to foliar zinc fertilizer. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 21: 236-240.
28. Salehi, M., and Tamaskoni, F. 2008. Effect Nanocid at seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. Abstract of the First National Conference of Seed Science and Technology Iran. P: 358. (In Persian with English Summary).
29. Sehrawat, N., Jaiwal, P.K., Yadav, M., Bhat, K.V., and Sairam, R.K. 2013. Salinity stress restraining mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) production: gateway for genetic improvement. International Journal of Agricultural Crop Science 6: 505-509.
30. Scrinis, G., and Lyons, K. 2007. The emerging nano-corporate paradigm: nanotechnology and the transformation of nature, food and agri-food systems. International Journal of Sociology, Food Agriculture 15: 22-44.
31. Shailesh, K.D., Pramod, M., Rajashri, K., and Anand, K. 2013. Effect of nanoparticles suspension on the growth of mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. Nanotechnology Development 3: 1-5.

32. Silva, D.D., Kane, M.E., and Beeson, R.C. 2012. Changes in root and shoot growth and biomass partition resulting from different irrigation intervals for *Ligustrum japonicum* Thunb. Horticulture Science 47: (11): 1634-1640.
33. Simkin, A.J., Moreau, H., Kuntz, M., Pagny, G., Lin, C., Tanksley, S., and McCarthy, J. 2008. An investigation of carotenoid biosynthesis in *Coffea canephora* and *Coffea arabica*. Journal of Plant Physiology 165(10): 1087-106.
34. Swiader, J.M. 2000. Micronutrient fertilizer recommendation for vegetable crop. Horticulture Facts p: 21-35.
35. Thalooth, A.T., Tawfik, M.M., and Magda Mohamad, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. Bulletin of Egypt, World Journal of Agricultural Sciences 2(1): 37-46.
36. Thomas, R., Robertson, M.J., Fukai, S., and Peoples, M.B. 2003. The effect of timing and severity of water deficit on growth development, yield accumulation and nitrogen fixation of Mung bean. Field Crop Research 86: 67-80.
37. Umebese, C.E., Olatimilehin, T.O., and Ogunsusi, T.A. 2009. Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit. American Journal of Agriculture and Biology Science 4(3): 224-229.
38. Welch, R.M. 2001. Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. Plant Nutrition 92: 284-285.
39. Yang, F., Hong, F., and You, W. 2006. Influences of nanoanatase TiO2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-90.
40. Zhao, C., Liu, L., Wang, J., Huang, W., Song, X., and Li, C. 2004. Predicting grain protein content of winter wheat using remote sensing data based on nitrogen status and water stress. International Journal of Applied Earth Observation and Geo- information 7(1): 1-9.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 8, No. 2, 2017, p. 166-180

The effect of foliar application of Zinc oxide in common and nanoparticles forms on some growth and quality traits of Mungbean (*Vigna radiata* L.) under drought stress conditions

Makarian[1*], H., Shojaei[2], H., Damavandi[3], A., Nasiri Dehsorkhi[4], A. & Akhyani[5], A.

1. Associate Professor of Deptartment of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology
2. MSc. Student, Faculty of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University
3. MSc. in Agronomy, Faculty of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran
4. MSc. Student of Deptartment of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology
5. Assistant Professor in Soil Science, Shahrood (Semnan), Agricultural Research Center

Received: 14 December 2015
Accepted: 15 May 2016

DOI: 10.22067/ijpr.v8i2.51644

Introduction

Mungbean (*Vigna radiata* L.) is an important, environment friendly staple food legume with rich source of proteins, vitamins, and minerals for human. Drought stress is one of the most adverse factors of Mungbean growth and productivity. Proper nutrition under stress conditions could partly help the plant to tolerate different stresses. Zinc plays a key role in the synthesis of proteins, DNA, and RNA. By consumption of zinc, it is possible to improve the growth status of the plant in stress conditions. Various studies were carried out to understand the effect of nanoparticles on the growth of plants. For example, Hong *et al*. (2005) and Yang *et al*. (2006) reported that a proper concentration of nano-TiO2 was found to improve the growth of spinach by promoting photosynthesis and nitrogen metabolism. Nano-particles have high reactivity because of more specific surface area, more density of reactive areas, or increased reactivity of these areas on the particle surfaces. Thus, the objective of this research was to investigate the effect of foliar application of Zno_2 in common and nanoparticles forms on growth traits and yield of mungbean (*V. radiata* L.) under drought stress condition.

Materials & Methods

Experiment was carried out as a split plot in complete randomized block design with four replications in Shahrood Agricultural Research Center during the growing season of 2011-2012. Water stress at three levels (control, cutting of irrigation in 50% flowering and 50% pod setting stages) were assigned as main plots and zinc oxide foliar application in five levels (control, 5 and 10 gl^{-1} nano sized zinc oxide and 5 and 10 gl^{-1} non-nano-scale zinc oxide) were randomized in sub-plots. According to soil analysis experiment results, the soil was loam and having pH=7.8; EC=1.5 (dS/m); 0.4% of organic carbon; 0.08% N; 10, 280 and 1.1 ppm of P, K and Zn respectively. Zinc spraying on leaves was done two times at 40 and 55 day after planting. The plots were 24 m^2 with 6 sowing rows, 4 m long. Seeds were placed at 3 to 5 cm depth in each row. Irrigation operations were performed until the emergence once every 7 days. Afterwards at 50% flowering and 50% of pod formation stages, irrigation was disrupted. Intended traits were measured in the end of crop season. All data collected were subjected of analysis of variance (ANOVA) using MSTATC software procedure and the significant treatment means were separated using Duncan's multiple range test.

***Corresponding Author:** h.makarian@yahoo.com, Mobile: 09153598404

Results & Discussion

Results showed that the drought stress at flowering and podding stages decreased the height, number of branches, chlorophyll a, b, grain and biological yield in comparison to control treatment significantly, but the effect of drought stress at podding stage was more than drought stress at flowering. Water deficit in the plant disrupts many cellular and whole plant functions, having a negative impact on plant growth and reproduction. Thus, it is one of the most yield limiting factors as it affects growth and development. Seed protein and proline content increased under drought stress significantly, while there was no significant difference for carotenoid content between treatments. Foliar application of Zinc in common and nanoparticles forms increased the height, proline content, grain and biological yield in comparison to control treatment significantly. The results showed that foliar application of 10 grams per liter nano zinc oxide in normal and drought stress at flowering and podding stages increased the grain yield by 6.6, 3.6 and 5.4 percent in comparison to no spraying treatments respectively. The maximum effects of Zinc on increasing of traits was found by foliar application of 10 grams per liter nano zinc oxide, 10 grams per liter zinc oxide, 5 grams per liter nano zinc oxide and 5 grams per liter zinc oxide respectively. With the completion of Micro-Nutrients consumption through spraying, the growth state of plant can be improved in stress conditions. Liu *et al.* (2005) reported that nano-Fe2O3 promoted the growth and photosynthesis of peanut. Prasad *et al.* (2012) reported that nano-scale zinc oxide particles increased stem and root growth and pod yield of peanut as compared with ZnSO4 application. Reduction of particle size results in increased number of particles per unit of weight and specific surface area of a fertilizer that should increase contact of fertilizer with plant leading to increase in nutrient uptake. Nanoparticles have high reactivity because of more specific surface area, more density of reactive areas, or increased reactivity of these areas on the particle surfaces. These features in nano-scale simplify their absorption in plants.

Conclusion

Mungbean growth characteristics could positively influence by foliar application of zinc oxide as nano and micro-particles in drought stress conditions. But, the effects of nano-scale zinc oxide particles on plant growth and yield was more in comparison to micro particles zinc oxide in stress and non-stressed conditions.

Key words: Grain yield, Proline content, Water deficit stress