دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هفتم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۶ (۲۳۳-۲۱۷)

تاثیر سولفات روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی

امین عباسی[۱*]، فریبرز شکاری[۲]، سید بهمن موسوی[۳] و عبداله جوانمرد[۴]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۴

چکیده

تنش خشکی و کمبود عنصر روی از عوامل مهم تاثیرگذار بر کاهش کمیت و کیفیت گندم تولیدی می‌باشد. در پژوهش حاضر، اثر روش‌های زی‌فزونی سولفات‌روی (بذر خشک، پیش‌تیمار، کاربرد خاکی و افشانه‌کردن) تحت شرایط تنش خشکی (آبیاری کامل، تنش در مرحله ظهور برگ پرچم، تنش در مرحله ظهور ریشک) بر صفات مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد دانه و نیز صفات مرتبط با ارزش غذایی دانه گندم، رقم هما، با استفاده از طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بروز همزمان تنش خشکی و کمبود عنصر روی در مراحل ظهور برگ‌پرچم و ظهور ریشک باعث کاهش کیفیت و کمیت گندم شد، به‌طوری‌که علاوه بر کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، موجب کاهش توانایی جذب روی از خاک، کاهش غلظت روی دانه، کاهش قابلیت جذب روی از دانه و کاهش سنتز پروتئین شد. نتایج این پژوهش نشان داد که افشانه‌کردن این عنصر سبب افزایش بیش از ۷۷/۱۹ درصدی غلظت عنصر روی در دانه (از ۷/۲ به ۴۰/۵ گرم بر کیلوگرم)، پیش‌تیمار سولفات‌روی باعث افزایش ۱۷/۶۹ درصدی پروتئین ذخیره شده در دانه (از ۱۳/۱ به ۱۴/۶ درصد) و کاربرد خاکی سولفات‌روی موجب افزایش حداقل ۱۱/۹۷ درصدی در عملکرد دانه (از ۱۵۲۴ به ۱۷۳۷ کیلوگرم در هکتار)، کاهش ۶/۱۸ درصدی اسید فیتیک و کاهش چشمگیر ۷۸/۹ درصدی نسبت مولی اسید فیتیک طی تنش خشکی در مرحله ظهور برگ‌پرچم شد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، اسید فیتیک، پروتئین، میزان روی دانه، نسبت مولی

۱- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۴- دانشیار، مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
* نویسنده مسئول: a.abbasi25@yahoo.com

مقدمه

تنش خشکی یکی از عمده‌ترین مشکلات تاثیرگذار بر عملکرد گندم در دیم‌زارهای جهان است (Sun *et al.*, 2012). در واقع، جذب عناصر غذایی از محلول خاک به میزان زیادی با شدت تنش خشکی، مرحله رشدی گیاه به هنگام وقوع تنش خشکی و نوع گیاه زراعی مرتبط است (Havlin *et al.*, 2013). خشکی از راه تاثیر بر رشد ریشه و تحرک عناصر کانی در خاک، فرایند جذب عناصر را متاثر ساخته و موجب بروز کمبود در گیاه خواهد شد (Fageria *et al.*, 2002). در تغذیه درست گیاه نه تنها باید هر عنصر غذایی به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد، بلکه ایجاد تعادل و رعایت نسبت میان جذب عناصر نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Sawan *et al.*, 2011). در این میان، عنصر روی جزو عناصری است که وجود آن می‌تواند موجب افزایش کمی و کیفی محصول گندم شود (Shekari *et al.*, 2015). بر اساس بررسی فائو (FAO, 2013)، حدود ۵۰ درصد از نمونه خاک‌های جمع‌آوری شده از ۲۵ کشور جهان دچار کمبود روی هستند و این سطح در خاک‌های ایران و برخی کشورهای خاورمیانه بیش‌تر است (Roohani, 2012). بایستی توجه داشت که وجود عنصر روی می‌تواند با ایجاد تغییرات رشدی (Yilmaz *et al.*, 1997; Wissuwa *et al.*, 2006)، تاثیر در سنتز پیش‌ماده کلروفیل (Said-Al Ahl and Mohmuod, 2010)، افزایش متابولیسم پروتئین‌ها (Rion and Alloway, 2004)، تقسیم یاخته (Ebrahimian and Bybordi, 2011)، لقاح و باروری جنسی (Ebrahimian and Bybordi, 2011) و غیره در تحمل گیاهان به تنش نیز موثر باشد و حتی بیش از اغلب عناصر در تحمل به تنش خشکی دخالت کند (Ahmed *et al.*, 2009). از این رو، هرگونه اختلال در تامین این عنصر حساسیت گیاه را به تنش‌های محیطی تشدید خواهد کرد (Cakmak, 2000).

دسترسی به روی یکی از عوامل افزایش کمی و کیفی عملکرد در گیاهان زراعی و به ویژه در غلات به‌شمار می‌آید (Kaya *et al.*, 2002; Singh, 2004; Shahid *et al.*, 2010; Shekari *et al.*, 2015). قلعه‌نویی و همکاران (Ghalenoei *et al.*, 2014) در پژوهش‌های خود گزارش کردند که افزایش عملکرد دانه در گندم به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر کاربرد مقادیر مناسب روی قرار دارد. بر اساس یک پژوهش سه ساله در رابطه با شناسایی نیاز غذایی گندم به عنصر روی، برنان و همکاران (Brennan *et al.*, 1993) گزارش کردند که مصرف روی قادر است عملکرد دانه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت شرایط تنش و بدون تنش افزایش دهد. وجود عنصر روی گذشته از افزایش کمی عملکرد، می‌تواند موجب بهبود کیفی عملکرد نیز شود (Shahid *et al.*, 2010; Erdal *et al.*, 2002; Ning *et al.*, 2009; *Kaya et al.*, 2009). بهبود یاد شده در کیفیت از سویی متاثر از افزایش خود این عنصر در ذخایر دانه است، به‌طوری‌که جذب این عنصر از راه تغذیه، از دیدگاه تندرستی بشر از ارزش فراوانی برخوردار است (Roohani *et al.*, 2013) و از سوی دیگر، با تاثیر بر افزایش میزان پروتئین دانه، به افزایش ارزش غذایی آرد حاصله خواهد انجامید (Tavallali *et al.*, 2010). شایان ذکر است که وجود روی بر موازنه میان تولید نشاسته و پروتئین دانه (Rion and Alloway, 2004) و افزایش میزان قندهای محلول (Rabie *et al.*, 1992) نیز تاثیرگذار است. علی‌رغم این مساله، افزایش میزان روی دانه همواره نمی‌تواند منجر به افزایش کیفیت محصول شود، زیرا قابلیت جذب عنصر روی توسط سیستم بدن از محصول حاصله، تا حد زیادی با عوامل درونی گیاه در ارتباط است (Lu and Miller 1989; Dong *et al.*, 1995; Cakmak *et al.*, 1996). یکی از این عوامل تاثیرگذار، مقدار فیتات موجود در دانه است (Gibson *et al.*, 2010; Sandstead and Freeland-Graves, 2014)، به‌طوری‌که تشکیل ترکیب نامحلول اسید فیتیک و روی موجود در دانه، مانع جذب عنصر روی توسط بدن انسان خواهد شد (Geetha *et al.*, 2015). یادآوری می‌شود که نمک‌های فیتات در pHهای قلیایی با پروتئین ایجاد کمپلکس می‌کنند که این امر تجزیه آنزیمی پروتئین حاصله را در بدن مختل می‌سازد (Partridge, 2014). نسبت مولی اسید فیتیک به روی در بخش‌های خوراکی گیاهان، به‌عنوان شاخصی مناسب از قابلیت جذب روی برای مصرف‌کنندگان شناخته می‌شود (Boscher *et al.*, 2001). این شاخص نخستین بار توسط سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۹۶ معرفی و حد قابل قبول آن کمتر از ۲۵ قید شد (WHO, 1996). گزارش حاصل از پژوهش‌های گوناگون نشان می‌دهند که روش‌های به‌زراعی و زی‌فزونی قادرند با افزودن بر میزان جذب روی از خاک، این نسبت را تحت تاثیر قرار دهند (Erdal *et al.*, 2002; Coelho *et al.*, 2007; Ning *et*

al., 2009; Kaya *et al.*, 2009; Subramanian *et al.*, 2009)

در این پژوهش، تاثیر روش‌های گوناگون زی‌فزونی سولفات‌روی شامل کاربرد خاکی، افشانه‌کردن و پیش‌تیمار بر گندم رقم هما، در شرایط کشتزار، در راستای افزایش تحمل این گیاه نسبت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی و نیز آثار تیمارهای یاد شده بر کمیت و کیفیت عملکرد دانه و توانایی دسترسی به روی موجود در دانه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی افزایش میزان عنصر روی در ساختارهای گیاهی و نیز تغییرات حاصل از روش‌های مختلف زی‌فزونی سولفات‌روی بر کمیت و کیفیت گندم رقم هما، تحت شرایط تنش خشکی در کشتزار پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. آزمایش در قالب کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. دو عامل شامل تنش خشکی (آبیاری کامل شامل پنج دور آبیاری بر اساس عرف منطقه)، تنش در مرحله ظهور برگ پرچم (کد ۸ از کدبندی رشدی Feekes) و تنش در مرحله ظهور ریشک‌ها (کد ۱۰/۱ از کدبندی رشدی Feekes) و روش‌های زی‌فزونی عنصر روی (بذرخشک، پیش‌تیمار، کاربرد خاکی و افشانه‌کردن)، در نظر گرفته شد. بذرخشک شامل بذر تیمار نشده، بذر پیش‌تیمار شده شامل انجام پیش‌تیمار با محلول ۵ درصد سولفات‌روی، کاربرد خاکی با استفاده از ۲۵ کیلوگرم کود سولفات‌روی ($ZnSO_4,7H_2O$) در مرحله کاشت بذر و افشانه‌کردن نیز شامل پاشش محلول ۵ درصد سولفات روی در مرحله ظهور برگ ماقبل برگ پرچم بود. برای جلوگیری از تاثیر بارندگی‌ها بر کشتزار و اثر آن‌ها بر تیمارها، پوشش‌های پلاستیکی با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی در روزهایی با احتمال بارش روی کشتزار در نظر گرفته شد. همچنین، جهت یکنواختی شرایط محیطی در بین سطوح مختلف آبیاری، پوشش‌ها بی‌درنگ پس از سپری‌شدن روزهای بارانی برداشته شدند. به‌منظور برگزیدن خاک مناسب، نخست نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری کشتزارهای گوناکون تهیه و غلظت برخی از عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک طبق جدول شماره ۱ اندازه‌گیری شد (Ehiaee and Behbahanizadeh, 1993). برای اجرای آزمایش، خاک کشتزاری که کمترین میزان عنصر روی را داشت، گزینش شد. تغذیه کودی کشتزار به دو شکل کود پایه و کود سرک صورت گرفت. کود پایه شامل فسفر (۱۶ کیلوگرم در هکتار از منبع کود فسفات آمونیوم) و نیتروژن (۹۲ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره و ۱۰ کیلوگرم از منبع کود فسفات آمونیوم) بود. صفات مورد مطالعه شامل شمار سنبله در بوته، شمار دانه در سنبله و وزن هزار دانه بودند که برای آن‌ها در اواخر دوره پر شدن دانه از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی گزینش و صفات مورد نظر اندازه گرفته شد. عملکرد بوته‌های برداشت شده پس از حذف حاشیه‌ها و حذف نیم‌متر از هر دو سر ردیف‌های میانی، از یک متر باقی مانده دو ردیف میانی انتخاب و پس از خرمنکوبی وزن دانه‌ها (با رطوبت ۱۱ الی ۱۳ درصد) توزین و به صورت عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) ثبت شد. میزان پروتئین دانه با بکارگیری دستگاه آنالایزر بذر (Zeltex- USA. ZX50) اندازه‌گیری شد. میزان پروتئین در هر تکرار با سه مشاهده تعیین و میانگین آن‌ها به‌عنوان یک تکرار منظور شد. اندازه‌گیری غلظت روی شاخساره و دانه‌های برداشت شده از واحدهای آزمایشی با بهره‌گیری از روش wet ashing (Jon and loon, 1980) به انجام رسید. در این روش برای تخریب بافت آلی از پرکلریدریک اسید و نیتریک اسید استفاده شد. در پی آن، میزان عنصر روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی شیمادزو (Shimadzu AA-6300) اندازه‌گیری شد.

توانایی در جذب عنصر روی از خاک نیز با بهره‌گیری از رابطه (۱) محاسبه شد (Makower, 1970):

$$ZA = (SZC \times SY) + (GZC \times GY) \qquad (۱)$$

که در آن، ZA میزان جذب روی (گرم در هکتار)، SZC غلظت روی در شاخساره (گرم بر کیلوگرم)، SY عملکرد شاخساره (کیلوگرم در هکتار)، GZC غلظت روی در دانه (گرم بر کیلوگرم) و GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده پیش از کاشت

Table 1. Physical and chemical properties of the studied soil before planting

ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده Measured characteristics		مقدار Value	ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده Measured characteristics		مقدار Value
Soil texture	بافت خاک	Sandy loam	Total nitrogen	نیتروژن کل	0.06
pH	اسیدیته	7.43	P availability (mg/kg)	فسفر قابل جذب	3.96
Electrical conductivity (ds/m)	هدایت الکتریکی	0.42	K availability (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب	360
Calcium carbonate equivalent	کربنات کلسیم معادل	9.75	Zn availability (mg/kg)	روی قابل جذب	0.41
Organic carbon	کربن آلی	0.31	Mn availability (mg/kg)	منگنز قابل جذب	1.53
Saturation moisture	رطوبت اشباع	45	Fe availability (mg/kg)	آهن قابل جذب	3.12

از آنجایی که میزان قندهای محلول می‌تواند از توانایی دسترسی گیاه به میزان روی موجود در محیط متاثر شود، سنجش این ویژگی با بهره‌گیری از معرف آنترون در طول موج ۶۳۰ نانومتر انجام شد (Yemm and Wilhs, 1954). طی این روش از D -گلوکز به‌عنوان استاندارد استفاده شد. با توجه به این‌که قابلیت جذب روی موجود در دانه توسط بدن انسان با میزان اسید فیتیک موجود در این اندام مرتبط است، اندازه‌گیری اسیدفیتیک دانه نیز به روش هوگ و لانتزچ (Haug and Lantzsch, 1983) صورت گرفت. در همین راستا با عنایت به ارزش نسبت مولی اسید فیتیک به روی، این مولفه بر اساس رابطه (۲) برآورد شد:

$$FZR = \frac{FA/660}{ZC/65.4} \qquad (۲)$$

در این رابطه، FZR نسبت مولی اسید فیتیک به روی، FA غلظت اسید فیتیک (میلی‌گرم در صد گرم) و ZC غلظت عنصر روی (میلی‌گرم در هکتار) است.

قبل از تجزیه واریانس، نرمال‌بودن توزیع داده‌ها و خطاها و افزایشی بودن اثر بلوک و تیمار بررسی شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت. برای انجام تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای GenStat 12، SPSS17 و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شمار سنبله

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش روش‌های زی‌فزونی و سطوح تنش خشکی بر صفت شمار سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر همین اساس، بیش‌ترین شمار سنبله به‌ترتیب، متعلق به پیش‌تیمار بذر با سولفات‌روی و کاربرد خاکی این ترکیب درهمه سطوح تنش خشکی، به‌ویژه در وضعیت تیمار آبیاری کامل بود. افشانه‌کردن سولفات‌روی و تیمار بذرخشک بدون تفاوت معنی‌دار، در همه مراحل تیمار تنش خشکی در پایین‌ترین سطح قرار گرفت (شکل ۱). شمار سنبله در واحد سطح یکی از اجزای مهم عملکرد در گندم است که همراه با تعداد دانه در هر سنبله تعیین‌کننده تعداد دانه در واحد سطح، به‌عنوان مهم‌ترین جزء عملکرد گندم می‌باشد (Kafi *et al.*, 2005). باید توجه داشت که تعداد بالقوه پنجه‌ها و سنبله‌های گیاه از زمان سبز شدن گیاهچه تا ایجاد شش تا هشت برگ قابل رویت در ساقه اصلی ایجاد می‌شود (Thomas and Smart, 1993) و پس از مرحله چهار تا شش‌برگی امکان تولید سنبله‌های بارور وجود نخواهد داشت (Kirby, 1983). این مولفه که تابع تعداد پنجه‌های بارور در واحد سطح است، تحت تاثیر عوامل گوناگونی قرار می‌گیرد که یکی از آن‌ها حاصل‌خیزی خاک است (Kafi *et al.*, 2005; Shekari *et al.*, 2010). گذشته از این، اعمالی همانند پیش‌تیمار که قادر به بهبود رشد اولیه گیاه هستند، می‌توانند بر رشد بعدی نیز تاثیر گذاشته و از راه‌های گوناگون عملکرد را بهبود بخشند (Shekari *et al.*, 2015). در پژوهش‌های متعدد آشکار شد که پیش‌تیمار بذر با عنصر روی و نیز کاربرد خاکی این عنصر در پیش از دوره رویشی، با تاثیر بر درصد سبز شدن گیاهچه‌ها، توان ایجاد پنجه‌های بارور و قابلیت تولید سنبله در واحد سطح را به‌شکل چشم‌گیری افزایش می‌دهد (Khan *et al.*, 2007 and 2008; Mahmodi *et al.*, 2015). مانیگوپا و همکاران (Manigopa *et al.*, 2007) نشان دادند که در کل، فرایند پیش‌تیمار در

شرایط مزرعه‌ای منجر به استقرار بهتر بوته‌ها و عملکرد بالاتر گیاهان شد. در واقع، بذرهای پیش‌تیمار شده توانستند تعداد گیاهچه‌های بیش‌تری را ایجاد کنند. یلماز و همکاران (Yilmaz *et al.*, 1997) نیز نشان دادند که به‌کارگیری روی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای آن شد که از میان اجزای یاد شده تاثیر روی بر شمار سنبله در متر مربع بیش‌تر از بقیه مولفه‌ها بود. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2008) نیز طی پژوهش مشابهی گزارش کردند که کاربرد خاکی پنج تا ۳۵ کیلوگرم سولفات‌روی در هکتار موجب افزایش شمار سنبله در متر مربع شد. در خاک‌هایی با کمبود عنصر روی، گیاهانی که از بذرهای پیش‌تیمار شده با عنصر روی تولید می‌شوند، با توجه به سرعت استقرار بالا و گسترش سازگان ریشه‌ای در زمان کوتاه‌تر می‌توانند عناصر غذایی و آب را سریع‌تر جذب کنند و از نظر رشدی نیز جلوتر از گیاهان بدون پیش‌تیمار باشند (Basra *et al.*, 2006; Ajory *et al.*, 2004).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در رقم هما در اثر سولفات‌روی تحت شرایط تنش خشکی

Tabele 2. Analysis of variance of the studied traits in Homa variety affected by zinc sulfate under drought stress

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)					
		شمار سنبله No. of spike	شمار دانه No. of seed	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	قندهای محلول Soluble sugar	غلظت روی در شاخسار Zn in shoot
تنش Stress	2	339.69*	118.08**	964.77 **	3448090 **	0.0312 **	0.000034 **
اشتباه اصلی Error a	4	6.361	0.083	0.56	978	0.0001	0.00000036
سولفات‌روی Zn	3	1558.4**	5.1481**	52.91 **	123570 **	0.00038 ^{ns}	0.00047 **
سولفات روی×تنش Stress×Zn	6	31.324**	0.787*	6.111 **	18346 **	0.00013 ^{ns}	0.0000026 **
خطای فرعی Error b	18	1.657	0.1296	0.3519	1162	0.00012	0.00000034
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.3	3.2	3.5	6.1	1.8	3

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- ادامه

Table 4. Continued

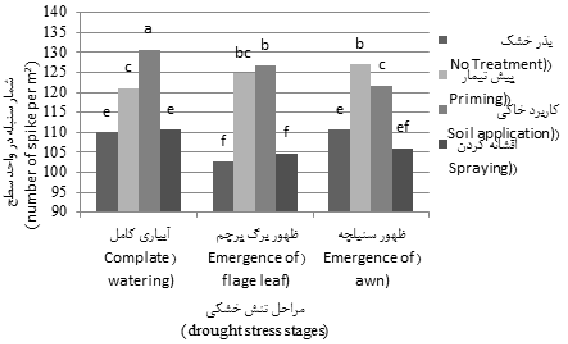
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)				
		مقدار عنصر روی Zinc content	اسید فیتیک Phytic acid	نسبت مولی Molar ratio)	میزان جذب روی Zinc absorption	پروتئین Protein
تنش Stress	2	61.3553 **	1.38035**	10.204 ^{ns}	16362.2 **	52.33 **
اشتباه اصلی Error a	4	0.1978	0.00136	2.439	4.18	0.174
سولفات‌روی Zn	3	1868.17 **	3.0304**	1289.61 **	15498.8 **	4.831 **
سولفات روی×تنش Stress×Zn	6	13.2060 **	0.02897 ^{ns}	1.474 ^{ns}	1028.52 **	1.3129 **
خطای فرعی Error b	18	0.4329	0.00682	3.905	4.537	0.1838
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	3.2	4.4	12.7	1.7	3.7

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

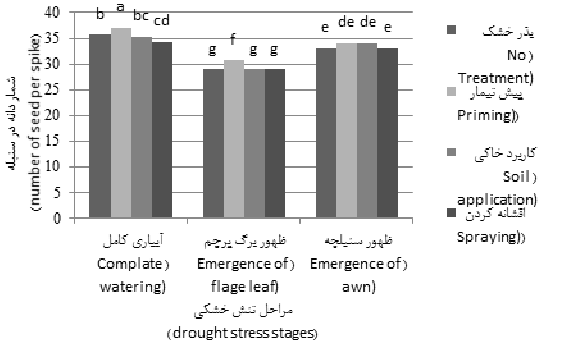
شمار دانه در سنبله

شمار دانه در سنبله نیز تحت تاثیر برهم‌کنش فاکتورهای مورد بررسی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). پیش‌تیمار بذرها با سولفات‌روی توانست موجب افزایش تعداد دانه در سنبله در شرایط آبیاری کامل و در تیمار وقوع تنش در مرحله ظهور برگ‌پرچم شود، این در حالی بود که روش‌های دیگر زی‌فزونی تاثیر معنی‌داری در تیمارهای تنش نداشتند (شکل ۲). شمار دانه در سنبله اصلی‌ترین جزء عملکرد در گندم به‌شمار می‌آید و شکل‌گیری و افزایش این جزء به تسهیم افزون‌تر شیره پرورده توسط برگ‌پرچم و برگ زیرین آن به سنبله، طی دوره سه هفته‌ای پیش از گل‌شکفتگی مربوط می‌شود (Shekari *et al.*, 2010). همچنین، وقوع هر نوع تنش در این مرحله می‌تواند با کاستن از میزان فتوسنتز، بر شمار نهایی دانه در سنبله تاثیر گذارد (Kafi *et al.*, 2005). این در حالی است که نرخ رشد جذب عناصر ضروری نیز در این مرحله در بیش‌ترین حد خود است (Karlen and Sadler, 1990). عنصر روی در تشکیل، تسهیم و بهره‌گیری از فتوسینتات‌ها نقش‌های متعددی را بر عهده دارد (Pandey, 2009). خورانا و چاترجه (Khurana and Chatterjee, 2001) نقش عنصر روی را در آغازش و نمو گل‌ها، قابلیت زنده مانی گرده و نمو بساک، تولید ماده خشک و تسهیم آن بین اندام‌های گیاهی ذکر کردند و اذعان داشتند که کمبود عنصر روی باعث تشکیل شمار کمتر دانه در هر سنبله می‌شود. باجسی و همکاران (Bagci *et al.*, 2007) طی پژوهشی مشخص کردند که در گندم‌های نان و دوروم، مصرف عنصر روی تعداد سنبلچه‌های عقیم را تحت هر دو شرایط دیم و آبی به‌میزان زیادی کاهش داد. آنها بیان داشتند که آبیاری بدون مصرف عنصر روی تاثیر معنی‌داری بر کاهش تعداد عقیمی سنبلچه‌ها نداشت.



شکل ۱- اثر روش‌های کاربرد سولفات‌روی در مراحل مختلف تنش خشکی بر شمار سنبله در واحد سطح

Figure 1. Effect of application methods of zinc sulfate on number of spike per m^2 under drought stress stages



شکل ۲: اثر روش‌های کاربرد سولفات‌روی در مراحل مختلف تنش خشکی بر شمار دانه در سنبله

Figure 2. Effect of application methods of zinc sulfate on number of grain per spike under in drought stress stages

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش سطوح تنش خشکی و روش‌های زی‌فزونی بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در اینجا نیز پیش‌تیمار و به‌ویژه کاربرد خاکی توانست وزن هزار دانه گندم‌های مورد آزمایش را افزایش دهد (شکل ۳). این افزایش در همه تیمارهای سطوح تنش خشکی مشاهده شد، به‌طوری‌که میزان افزایش برای کاربرد خاکی سولفات‌روی در تیمارهای آبیاری کامل، اعمال تنش خشکی در مرحله ظهور ریشک و مرحله ظهور برگ پرچم به‌ترتیب برابر با ۵۰/۳۳، ۴۲/۹۳ و ۳۲/۳ گرم بود. باید توجه داشت که ۷۰ تا ۹۰ درصد وزن خشک دانه از مواد فتوسنتزی ساخته شده طی مرحله پرشدن دانه حاصل می‌شود (Austin *et al.*, 1975) بنابراین، محدودیت در تولید مواد فتوسنتزی طی این مرحله و یا بخشی از آن می‌تواند موجب محدودیت وزن دانه‌ها شود. به بیان دیگر وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پرشدن دانه است و از دو منبع فتوسنتز جاری و بازگسیل مواد اندوخته‌ای در گیاه فراهم می‌شود. در شرایط تنش خشکی پیش از مرحله گرده‌افشانی به‌دلیل کوتاه شدن دوره رشد رویشی کربوهیدرات‌های کمتری در گیاه ذخیره می‌شود. کم‌بودن کربوهیدرات‌های اندوخته‌ای و کاهش دوام سطح

برگ در مرحله پر شدن دانه‌ها سبب کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی خواهد شد (Gholinezhad *et al.*, 2009). بخت و همکاران (Bakht *et al.*, 2010) گزارش کردند که بذرهای پیش‌تیمار شده دانه‌های درشت‌تری را در مقایسه با شاهد تولید کردند. باسرا و همکاران (Basra *et al.*, 2006) نیز بیان داشتند که پیش‌تیمار بذر برنج قبل از کاشت، وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. چاکماک (Cakmak, 2008) نیز بیان داشت که سولفات روی از راه افزایش میزان قندهای محلول و حفظ پتانسیل اسمزی، باعث ذخیره کربوهیدرات‌ها برای متابولیسم پایه سلولی و افزایش وزن هزار دانه می‌شود. میرزاپور و خوشگفتارمنش (Mirzapor and Khoshgoftarmanesh, 2008) نیز گزارش کردند که به کارگیری سولفات‌روی به میزان نیم کیلوگرم در هکتار موجب افزایش وزن هزار دانه می‌شود.

عملکرد دانه

در پژوهش حاضر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر برهم‌کنش روش‌های زی‌فزونی روی و سطوح تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). به این ترتیب، بیش‌ترین عملکرد دانه با میزان ۲۴۴۹/۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به کاربرد خاکی سولفات‌روی در شرایط آبیاری کامل و کمترین مقدار آن با میزان ۱۰۱۱ و ۱۰۵۲ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در تیمار بذر خشک و افشانه کردن سولفات‌روی در تنش مرحله ظهور برگ‌پرچم مشاهده شد (جدول ۳). با کاربرد خاکی عنصر روی در شرایط آبیاری کامل میزان عملکرد گندم نسبت به تیمار عدم بکارگیری روی در همین شرایط ۱۹/۳ درصد افزایش یافت. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری شمار سنبله در واحد سطح، شمار دانه در سنبله و وزن هزار دانه به‌عنوان اجزای عملکرد دانه، تاییدی بر افزایش عملکرد دانه در این تیمارها می‌باشد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). تنش خشکی همه فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد که در نهایت، با تاثیر منفی بر تقسیم یاخته‌ای گیاهان باعث کاهش سطح برگ به‌عنوان منبع فتوسنتزی خواهد شد که در نهایت باعث کاهش عملکرد در گیاهان می‌شود (Yang *et al.*, 2009). از سویی، کمبود روی در گندم در گام نخست رشد و در گام بعدی، عملکرد نهایی را کاهش می‌دهد، چرا که عنصر روی در دامنه‌ی گسترده‌ای از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیولوژیک تاثیر دارد (Khan *et al.*, 2008). تنش خشکی و کمبود عنصر روی در کنار هم به‌مراتب تاثیرات بیش‌تری را بر عملکرد خواهند داشت. طبق پژوهش‌های منگل و کیرکبای (Mengel and Kirkby, 2001) اختلال در فراهمی عناصر کانی می‌تواند حساسیت گیاه را به‌ویژه تحت شرایط تنش تشدید کند و تولید محصول را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد.

عنصر روی در تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی بیش از عناصر دیگر دخالت دارد (Cakmak, 2000). خان و همکاران (Khan *et al.*, 1998) اثبات کردند که تحت شرایط مزرعه‌ای و همراه با افت رطوبت خاک، افزودن عنصر روی می‌تواند پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای را در گیاه افزایش دهد. کمبود عنصر روی توانایی و قابلیت این گیاه را در حفظ پتانسیل اسمزی تحت شرایط تنش خشکی کاهش می‌دهد (Khan *et al.*, 2004). همچنین، عنصر روی از راه بهبود تبادلات گازی و بخار آب برگ آسیب‌های ناشی از تنش خشکی را کاهش و رشد گیاه را افزایش داد (Ahmad *et al.*, 2009). در همین راستا، چاکماک و همکاران (Cakmk *et al.*, 2009) گزارش کردند که بهره‌گیری از سولفات‌روی نسبت به غلظت صفر در شرایط بدون تنش، باعث افزایش ۲۷ درصدی عملکرد دانه شد. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2009) نیز بیان داشتند که در شرایط آبیاری کامل عنصر روی با تاثیر بر فرآیند فتوسنتز، رشد گیاه را بهبود بخشید. ایشان نتیجه‌گیری کردند که کمبود این عنصر مصرف آب را توسط گیاه کاهش می‌دهد، زیرا کمبود عنصر روی با کاستن از رشد ریشه، توانایی گیاه را در بهره‌گیری از ذخایر رطوبتی خاک محدود می‌کند. چاکماک (Cakmak, 2009) در مطالعه‌ای دیگر کارآیی بیش‌تر روی را در شرایط بدون تنش، به غیرمتحرک بودن این عنصر در شرایط یاد شده نسبت داد. بایستی توجه داشت از آنجایی که کمبود عنصر روی نخست در برگ‌های جوان نمایان می‌شود، از این‌رو وجود رطوبت میان‌بافتی کمک بیش‌تری را در گسیل آن از خاک به اندام‌های هوایی و سرانجام بخش گل‌آذین خواهد داشت (Cakmak, 2009).

جدول ۳- مقایسه میانگین مربوط به صفات میزان روی شاخساره، عملکرد، پروتئین و میزان جذب عنصر روی رقم هما تحت تأثیر تیمارهای مصرف سولفات‌روی و اعمال تنش خشکی

Table 3- compare means of yield, shoot zinc, protein and zinc absorption rate in Homa cultivare under the Zinc Sulfate and drought stress

تنش خشکی Drought Stress	تیمار Treatment		میزان روی شاخساره Zinc content in shoot	عملکرد Yield	پروتئین Protein	میزان جذب روی Zinc absorption rate
آبیاری کامل Complate watering	No Treatment	بذر خشک	0.017de	2053.3b	13.16b	100.98d
	Priming	پیش‌تیمار	0.016e	2114.6b	13.9ab	131.5c
	Soil application	کاربرد خاکی	0.033b	2449.6a	14.6a	269.5a
	Spraying	افشانه کردن	0.043a	2018.3b	14.36ab	166.18b
مرحله ظهور برگ پرچم Emergence of flage leaf	No Treatment	بذر خشک	0.014e	1524.6d	8.5f	63.6e
	Priming	پیش‌تیمار	0.014e	1675c	11.63c	121.6c
	Soil application	کاربرد خاکی	0.027c	1732c	10.4cde	154.7bc
	Spraying	افشانه کردن	0.032bc	1562.6d	9.6ef	150.9bc
مرحله ظهور ریشک‌ها Emergence of awn	No Treatment	بذر خشک	0.014e	1011f	10.4cde	59.27e
	Priming	پیش‌تیمار	0.018d	1112ef	11.4cd	88.59de
	Soil application	کاربرد خاکی	0.026c	1112e	11.43cd	144.7bcd
	Spraying	افشانه کردن	0.027c	1052f	10.23de	141.9bcd

میزان قندهای محلول

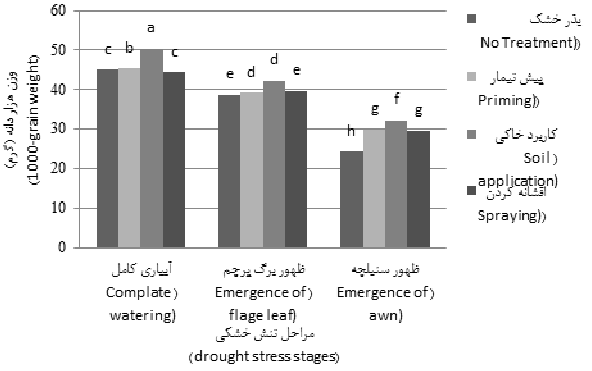
میزان قندهای محلول در این پژوهش فقط تحت تاثیر وضعیت آب خاک قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که محتوای قند در برگ‌های درگیر با تنش نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۴). تیمار تنش خشکی در مرحله ظهور برگ‌پرچم، قند بیش‌تری را نسبت به بقیه تیمارها داشت که ممکن است در حفظ بهتر پتانسیل هیدریک برگی در شرایط تنش دخالت داشته باشد. از دیدگاه نظری، پلی‌ساکاریدها به‌طور معمول، تحت تنش اسمزی تجزیه می‌شوند و با تولید قندهای محلول پتانسیل اسمزی یاخته را کاهش می‌دهند. به ایجاد این وضعیت، یاخته‌های گیاهی آب کمتری از دست می‌دهند و اغلب، نسبت به تنش خشکی مقاوم‌تر می‌شوند. افزون بر این، قندها از راه ایجاد تعادل اسمزی سیتوسول با واکوئل، یاخته‌های گیاهی را محافظت و با وارد شدن به واکنش با ماکرومولکول‌هایی همانند آنزیم‌ها ساختار آنها را تثبیت می‌کنند. بنا به گفته هوگسترا و همکاران (Hoekstra *et al.*, 2001) و سانجز و همکاران (Sanchez *et al.*, 1998) کربوهیدارت‌ها در مدت بروز تنش نقش محافظت از ساختار پروتئین‌ها وغشاهای یاخته‌ای را بر عهده دارند. کاربرد عنصر روی در پژوهش‌های متعددی در گیاهان گلرنگ، بادام، کدو و لوبیا، باعث افزایش میزان قندهای محلول شده است (Dixi *et al.*, 1987; Abedi *et al.*, 2010; Sorkhi Lalelou *et al.*, 2013; Yadavi *et al.*, 2014). در همین ارتباط، رابی و همکاران (Rabie *et al.*, 1992) اظهار داشتند که به احتمال فراوان، عنصر روی نقشی اساسی در فعال کردن آنزیم‌های مرتبط با چرخه فروگشت کربوهیدرات‌ها دارد که در صورت کمبود این عنصر کارایی چرخه یادشده تحت تاثیر قرار خواهد گرفت.

غلظت عنصر روی در شاخساره

غلظت عنصر روی در شاخساره تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای مورد مطالعه نشان داد (جدول ۲). در برگ گیاهان تحت تنش، غلظت عنصر روی تغییر کمی را نسبت به شرایط آبیاری کامل داشت (جدول ۳). در همین راستا وایت و همکاران (White *et al.*, 2002) اظهار داشتند که روش‌هایی که به افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌انجامد، به‌طور معمول، غلظت عناصر کانی را در بافت‌های گیاهی کاهش می‌دهند. وجود آب در جذب و گسیل عنصر روی نقش مهمی را ایفا می‌کند، اما در شرایط تنش خشکی، کمبود آب علاوه بر جذب آب، فراهمی و جذب عناصر غذایی به‌ویژه عنصر روی را نیز متاثر می‌سازد (White *et al.*, 2002) اما شاید سرعت‌های پایین‌تر رشدی ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی از

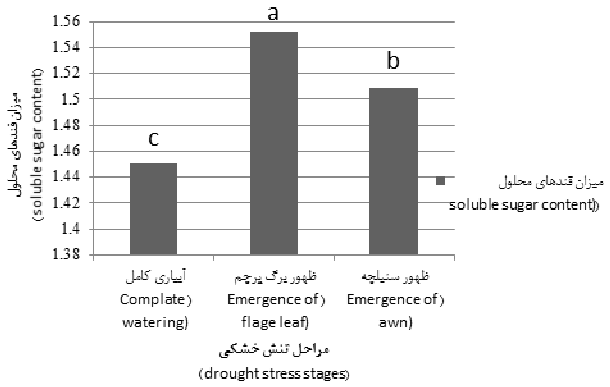
اثر کمبود روی جلوگیری کند و غلظت عنصر روی را در واحد سطح در شاخساره‌های این گیاهان افزایش دهد.

طی این پژوهش بیش‌ترین غلظت عنصر روی در شاخساره مربوط به افشانه‌کردن سولفات‌روی در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن مربوط به تیمار بذر خشک و پیش‌تیمار در تنش مرحله ظهور برگ‌پرچم بود که تیمارهای بذر خشک در شرایط تنش مرحله ظهور ریشک‌ها و پیش‌تیمار آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری را با آنها نداشتند. افشانه‌کردن عنصر روی و افزودن سولفات‌روی پیش از کاشت بر غلظت عنصر روی شاخساره اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت و موجب افزایش آن از ۰/۰۱۷ در تیمار بدون مصرف روی به مقادیر ۰/۰۴۳ و ۰/۰۳۳ به‌ترتیب در تیمارهای افشانه‌کردن و کاربرد خاکی سولفات‌روی تحت شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۳). لازیم و همکاران (Lazim *et al.*, 1989) حد بحرانی عنصر روی را در گندم‌های مورد مطالعه، ۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین کردند. بنا به گزارش فاگریا (Fageria, 2009) اغلب گیاهان زراعی برای تولید بیشینه عملکرد اقتصادی به غلظت عنصر روی برگی بیش از ۱۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگی نیاز دارند. ساکال و همکاران (Sakal *et al.*, 1988) اعلام کردند که هر چه حاصل‌خیزی خاک از نظر عنصر روی بیش‌تر باشد، مقدار تخلیه روی از خاک نیز افزون‌ترخواهد بود. به‌عبارت دیگر، با افزایش میزان روی در خاک مقدار جذب کل روی توسط گندم نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۳- اثر روش‌های کاربرد سولفات‌روی در مراحل مختلف تنش خشکی بر وزن هزار دانه

Figure 3. Effect of application methods of zinc sulfate on 1000-grain weight under drought stress stages



شکل ۴- اثر روش‌های کاربرد سولفات‌روی در مراحل مختلف تنش خشکی بر میزان قندهای محلول

Figure4. Effect of application methods of zinc sulfate on soluble sugar content under drought stress stages

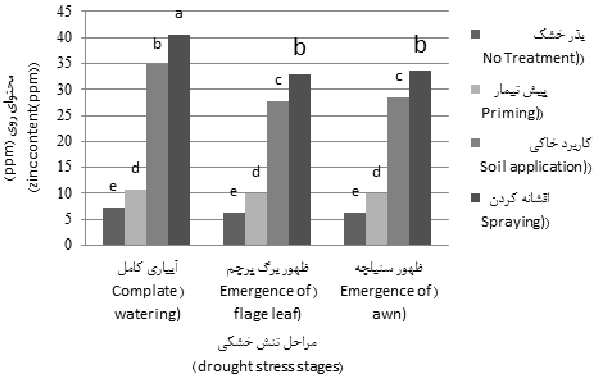
غلظت عنصر روی در دانه

طی این پژوهش برهم‌کنش سولفات‌روی با سطوح تنش خشکی بر غلظت روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار ذخیره عنصر روی دانه در این آزمایش با مقدار ۴۰/۵۶ پی‌پی‌ام مربوط به تیمار افشانه‌کردن سولفات‌روی در شرایط بدون تنش بود (شکل ۵). موحدی و همکاران (Movahhedy *et al.*, 2009) گزارش کردند که افشانه‌کردن عنصر روی بر اندام‌های هوایی، گذشته از رشد ریشه و شاخساره، می‌تواند موجب افزایش عملکرد و غلظت روی دانه شود. بر پایه گزارش لازیم و همکاران (Lazim *et al.*, 1989) غلظت بحرانی عنصر روی در دانه ۲۷ پی‌پی‌ام می‌باشد. باتوجه به نتایج پژوهش کنونی آشکار می‌شود که غلظت روی در تیمار عدم کاربرد سولفات‌روی پایین‌تر از میزان یاد شده بوده است. افزون بر این، انجام پیش‌تیمار با سولفات‌روی در این پژوهش نتوانست میزان روی را به بیش‌تر از حد بحرانی افزایش دهد. این در حالی است که افشانه‌کردن سولفات‌روی در همه مراحل تنش خشکی قادر به افزایش معنی‌دار این مولفه به بیش از حد بحرانی شد (شکل ۵). در همین راستا، اوزتورک و همکاران (Ozturk *et al.*, 2006) و چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 2010) بیان داشتند که افشانه‌کردن برگی روی بسیار بیش‌تر از کاربرد خاکی آن در افزایش غلظت روی دانه موثر می‌باشد. همچنین، آنها افشانه‌کردن روی را در مراحل آخر پر شدن دانه، موثرترین راه برای بهینه‌سازی غلظت روی دانه دانستند. افزون بر این،

گزارش‌هایی مبنی بر موثر بودن افشانه‌کردن برگی روی در مراحل شکمی و شیری دانه وجود دارد که به‌طور میانگین توانست غلظت روی دانه را تا حدود ۱۴۰ درصد افزایش دهد (Cakmak, 2010). جالب توجه است که در روش افشانه‌کردن، بهره‌گیری از ترکیب سولفات‌روی دارای کارآیی افزون‌تری نسبت به ترکیبات دیگر برخوردار از روی بود (Cakmak, 2008; Shahid *et al.*, 2010).

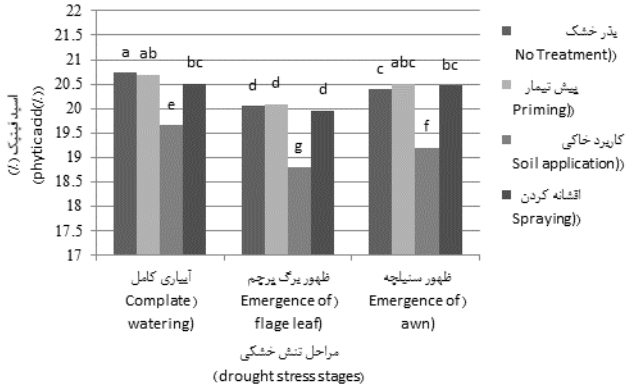
اسید فیتیک دانه

در خصوص اسید فیتیک دانه، فقط آثار اصلی روش‌های زی‌فزونی و سطوح تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار اسید فیتیک با ۲۰/۷۲ درصد مربوط به تیمار عدم مصرف سولفات‌روی در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن با مقدار ۱۸/۸ درصد مربوط به کاربرد خاکی عنصر روی تحت تنش خشکی در مرحله ظهور برگ‌پرچم بود (شکل ۶). اسید فیتیک ۵۰ تا ۸۰ درصد کل فسفر دانه را شامل می‌شود که با تشکیل پیوند نیرومند با عناصری همچون روی و آهن، غلظت این عناصر را به‌شدت کاهش می‌دهد و سبب اختلال در جذب و هضم آن‌ها در دستگاه گوارش انسان می‌شود (Urbano *et al.*, 2000; Prasad, 2003). پورقاسم گرگری و همکاران (Pourghasem Gargari *et al.*, 2005) اذعان داشتند که کمبود عنصر روی یکی از گسترده‌ترین ناهنجاری‌های تغذیه‌ای و عامل اصلی در پایین آوردن کیفیت نان‌های مصرفی برخی از کلان‌شهرها می‌باشد. آنها دلیل اصلی این کمبود را به مقدار زیاد به اسید فیتیک نسبت دادند. در همین راستا اردال و همکاران (Erdal *et al.*, 2002) با افزایش ۲۳ کیلوگرم روی در هکتار در کشتزارهای ترکیه غلظت فسفر را از ۳/۹ درصد به ۳/۵ درصد و غلظت اسید فیتیک را از ۱۰/۷ میلی‌گرم به ۹/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش دادند.



شکل ۵- اثر روش‌های کاربرد سولفات‌روی در مراحل مختلف تنش خشکی بر مقدار عنصر روی

Figure 5. Effect of application methods of zinc sulfate on zinc content under drought stress stages



شکل ۶- اثر روش‌های کاربرد سولفات‌روی در مراحل مختلف تنش خشکی بر اسید فیتیک

Figure 6. Effect of application methods of zinc sulfate on Phytic Acid under drought stress stages

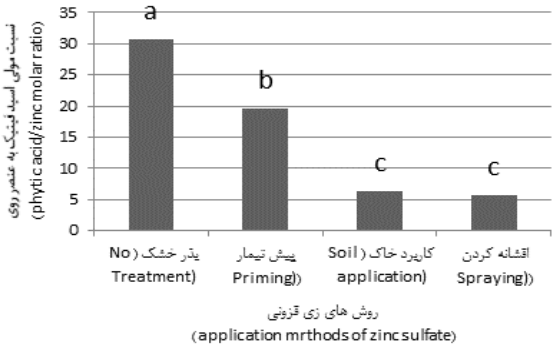
نسبت مولی اسید فیتیک

نسبت مولی اسید فیتیک فقط تحت تاثیر روش‌های زی‌فزونی قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان این نسبت به‌ترتیب مربوط به بذرخشک و پیش‌تیمار بذر با سولفات‌روی و کاربرد خاکی و افشانه‌کردن این ترکیب بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر در مراحل بعدی قرار گرفتند. یادآوری می‌شود که نسبت مولی نشان دهنده کاهش قابلیت جذب روی است. اردال و همکاران (Erdal *et al.*, 2002) با کاربرد عنصر روی توانستند نسبت اسید فیتیک به روی را از ۴۹ به ۳۹ کاهش دهند. در کشتزارهای ایران نیز ملکوتی و همکاران (Malakoti *et al.*, 2011) گزارش کردند که غلظت اسید فیتیک در نمونه‌های گندم گرفته شده طی ۱۵ سال از ده استان کشور ۱۰/۴۹ گرم در کیلوگرم، غلظت روی ۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و شاخص مولی اسید فیتیک به روی حدود ۳۷ بود. در حالی که با مصرف بهینه کود در همان کشتزارها، غلظت اسید فیتیک به ۹/۰۷ گرم در کیلوگرم

کاهش و غلظت روی به ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش و شاخص مولی تا حدود ۲۶ کاهش یافت (شکل ۷).

جذب عنصر روی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان جذب عنصر روی توسط گیاه در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر برهم‌کنش روش‌های زی‌فزونی و سطوح تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد خاکی سولفات‌روی، باعث افزایش بیش‌تر میزان جذب روی نسبت به سایر روش‌های زی‌فزونی در تمامی تیمارهای آبیاری شد. در این بین، کاربرد خاکی سولفات‌روی با مقدار ۲۶۹/۵۲ گرم در هکتار در تیمار آبیاری کامل بیشترین و تیمارهای عدم کاربرد سولفات‌روی در مراحل تنش خشکی ظهور ریشک‌ها و ظهور برگ‌پرچم به‌ترتیب با مقادیر۵۹/۲۷ و ۶۳/۶ گرم در هکتار در کمترین مقدار خود قرار داشتند (جدول ۳). در بین عوامل موثر بر قابلیت جذب عنصر روی، عمدتاً میزان کل روی خاک و رژیم رطوبتی خاک نقش مهم‌تری دارند، اما سایر عوامل نظیر شرایط اقلیمی، اثر متقابل روی با سایر عناصر پرمصرف و کم مصرف، pH، مواد آلی، محل‌های جذب و فعالیت میکروبی نیز در اولویت بعدی قرار دارند (Morgahan and Mascagni, 1991). با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک عنصر روی در محلول خاک کاهش می‌یابد و با توجه به محدودیت رشد ریشه و میزان جذب عنصر روی توسط گیاه به‌طور مضاعفی کاهش نشان می‌دهد. کاربرد خاکی و انجام محلول‌پاشی عنصر روی می‌تواند در جبران کمبود این عنصر نقش موثری داشته باشد (Banks, 2004). رحیم‌زاده و همکاران (Rahimzadeh *et al.*, 2010) نشان دادند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی تاثیر شگرفی بر بهبود رشد و عملکرد گیاه آفتابگردان داشت.



شکل ۷- اثر روش‌های کاربرد سولفات‌روی در مراحل مختلف تنش خشکی بر نسبت مولی اسید فیتیک به عنصر روی

Figure 7. Effect of application mrthods of zinc sulfate on phytic acid/zinc molar ratio under drought stress stages

پروتئین دانه

میزان پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر سطوح تنش خشکی و روش‌های زی‌فزونی روی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش این عوامل نشان داد که بیش‌ترین پروتئین دانه با مقدار ۱۴/۶۶ درصد مربوط به تیمار کاربرد خاکی سولفات‌روی تحت آبیاری کامل بود که با افشانه‌کردن و پیش‌تیمار در این شرایط تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). کمترین مقدار آن نیز با ۸/۵۶ درصد مربوط به تیمار عدم کاربرد سولفات‌روی تحت شرایط تنش مرحله ظهور برگ‌پرچم بود (جدول ۳). مارشنر (Marschner, 1993) در پژوهش خود در گندم افزایش درصد پروتئین دانه را با مصرف سولفات روی گزارش کرد. بنا به اظهارات دانیل و همکاران (Daniel *et al.*, 2003) عنصر روی در تولید پروتئین نقش مهمی را ایفا می‌کند و می‌تواند درصد آن را افزایش دهد. خاندکار و همکاران (Khandkar *et al.*, 1992) و چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 1996) نشان دادند که افزایش عنصر روی می‌تواند باعث افزایش میزان پروتئین دانه شود. باقی‌زاده و حاج‌محمد رضایی (Baghizadeh and Hajmohammadrezaei, 2011) و تجلیل و همکاران (Tajlil *et al.*, 2014) نیز بیان داشتند که پیش‌تیمار بذر با عنصر روی تاثیر معنی‌داری بر روی میزان پروتئین دانه داشت. در خصوص سازوکار این مساله بیان شده است که عنصر روی در فعال

کردن آنزیم گلوتامیک دهیدروژناز تاثیر مستقیم دارد که این امر باعث افزایش گلوتن ذخیره‌شده در دانه و در نتیجه افزایش میزان پروتئین دانه خواهد شد (Keram, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

بروز همزمان تنش خشکی و کمبود عنصر روی در مراحل ظهور برگ‌پرچم و ظهور ریشک‌ها با تاثیر منفی بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه و نیز افت توانایی جذب عنصر روی از خاک، کاهش غلظت روی دانه، کاهش قابلیت جذب روی از دانه و کاهش سنتز پروتئین باعث کاستن از کیفیت تغذیه‌ای و کمیت محصول گندم شد. در این پژوهش کاربرد خاکی سولفات‌روی توانست وزن هزار دانه را از ۲۴/۳ تا ۳۲/۳ گرم تحت شرایط تنش در مرحله ظهور برگ پرچم بهبود بخشد. از طرفی، کاربرد همین تیمار باعث کاهش مقدار اسید فیتیک از ۲۰/۷ و ۲۰ درصد به‌ترتیب تحت شرایط آبیاری کامل و تنش مرحله ظهور برگ پرچم به مقدار ۱۹/۶ و ۱۸/۸ درصد در همین مراحل شد. تیمار کاربرد خاکی سولفات‌روی با افزایش میزان پروتئین دانه تحت شرایط تنش خشکی در مرحله ظهور برگ پرچم از مقدار ۸/۵ به مقدار ۱۰/۴ درصد تاثیر مثبتی بر مقدار این پارامتر داشت. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که در بین تیمارهای استفاده شده، کاربرد خاکی سولفات‌روی علاوه بر افزایش کمی محصول، در افزایش کیفیت تغذیه‌ای دانه‌های برداشت شده تحت شرایط تنش خشکی نیز تاثیر مستقیم داشت.

References

Abedi, S., Movahedi, M., Yedoi, A. and Adhame, E. 2010. Effect of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. **Electronic Journal of Crop Production** 4 (1): 75-95. (In Persian with English Abstract).

Ahmed, N., Fiaz, A., Abidand, M. and Amanullah, M. 2009. Impact of zinc fertilization on gas exchange characteristics and water use efficiency of cotton crop under arid environment. **Pakistan Journal of Botany**., 41 (5): 2189-2197.

Ajouri, A., Haben, A. and Mathias, B. 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. 167 (5): 630-636.

Austin, R. B. and Jones, H. G. 1975. The physiology of wheat. Annual Report, 1974. Plant Breeding Institute, Cambridge,UK.

Bagci, S. A., Ekiz, H., Yilmaz, A. and Cakmak, I. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in central Anatolia. **Journal of Agronomy and Crop Science** 193 (3): 198-206.

Baghizadeh, A. and Hajmohammadrezaei, M. 2011. Effect of drought stress and its interaction with soluble sugar and salicylic acid on okra (*Hibisicus esculentus* L.) germination and seedling growth. **Journal of Stress and Biochemistry** 1: 55-65.

Bakht, J., Shafi, M. and Shah, R. 2010. Effect of various priming sources on yield and yield components of maize cultivars. **Pakistan Journal of Botany** 42 (6): 4123-4131.

Banks, L. W. 2004. Effect of liming of foliar zinc fertilizer on yield component of soybeans. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry** 22 (17): 226-231.

Basra, S. M. A., Waraich, E. A. and Khaliq, A. 2006. Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. **Seed Science and Technology** 34: 529-534.

Boscher, D., Lu, Z., Janssens, G., Van Caillie-Bertrand, M., Rubberiest, H., De, H. and Rycke, H. 2001. Invitro availability of zinc from infant foods with increasing phytic acidcontents. **British Journal of Nutrition** 86: 241-247.

Brennan, R. F., Armour, J. D. and Reuter, D. J. 1993. Diagnosis of zinc deficiency. In: Robson, A. D. (Ed.). Zinc in soils and plants. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.

Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist** 146 (2): 185-205.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil** 302 (1-2): 1-17.

Cakmak, I. 2009. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology** 10: 1016.

Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N. and Wang, Y. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 58: 9092-9102.

Cakmak, I., Yilmaz, A., Kalayci, M., Ekiz, E., Torum, B., Ernoglu, B. and Brown, H. J. 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in central Anatolia. **Plant and Soil** 180: 165-172.

Coelho, C. M. M., Benedito, V. A., Figueira, A., Vitorello, V. A. and Azevedo, R. A. 2007. Variation in the enzyme activity and gene expression of myo-inositol-3-phosphate synthase and phytate accumulation during seed development in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Acta Physiologiae Plantarum.** 29: 265-271.

Daniel, L. P. Roma, D., Bol, A., Nerdal, N. and Brown, K. H. 2003. Absorption of zinc from wheat products fortified with iron and either zinc sulfate or zincoxide. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 78: (2): 279-283.

Dixi, C. X., Yamdagin, R. and Jindal, P. C. 1978. Effect of foliar application of zinc and iron chlorsis and yield of Kinnow a mandarin hybrid. **Horticultural Science**. 10 (1): 13-19.

Ebrahimian, E. and Bybordi, A. 2011. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. **Journal of Food, Agriculture and Environment** 9: 422-427.

Ehiaee, A. and Behbahanizadeh, A. A. 1993. Description of the methods of soil analysis. Soil and Water Research Institute. Publication No. 893.

Erdal, I., Yilmaz, A., Tan, S. Torun B. and Cakmak, I. 2002. Phytic acid and phosphorus concentrations in seedsof wheat cultivars grown with and without zinc fertilization. **Journal of Plant Nutrition** 25 (1): 113-127.

Fageria, N. K. 2009. The use of nutrients in crop plants. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. and Clark, R. B. 2002. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy** 77: 185-268.

Ghalenoei, M., Moafporian, Gh. and Drostkar, M. 2014. Effect of potassium and zinc application on yield and yield components in normal irrigation and deficit irrigation. **Journal of Plant Ecophysiology** 6 (18): 55-68. (In Persian with English Abstract).

Partridge, G. 2014. Formulating cost effective pig diets with an advanced phytase. **International Pig Topics** 29 (2): 24-25.

Geetha Lavaniya, G., Alpers, D. H., Henry, J. B., Tran, C. D., Ramakrishna, B. S., Brown, I., Manary, M., Mortimer, E. and Young, G. P. 2015. The Relevance of the colon to zinc nutrition. **Nutrients** 7: 572-583.

Gholinezhad, E., Aynaband, A., Ghorthapeh, A. H., Noormohamadi, G. and Bernousi, I. 2009. Study of the effect of drought stress on yield, yield components and harvest indexof of sunflower hybrid Iroflor at different levels of nitrogen and plant population. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca** 37 (2): 85-94.

Haug, W. and Lantzsch, H. J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereal products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 34: 1423-1426.

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L. and Beaton, J. D. 2013. Soil fertility and fertilizers. (8th Ed.). Prentice Hall Publisher.

Hemantaranjan, A. and Grey, O. K. 1988. Iron and zinc fertilization withreference to the grain quality of *Triticum aestivum* L. **Journal of Plant Nutrition** 11: 1439-1450.

Hoekstra, F. A., Glovina, E. A. and Butinik, J. 2001. Mechanism of plant dessication tolerance. **Trends in Plant Sciences** 9: 431-438.

Kafi, M., Jafarzadeh, A. and Jamialahmadi, M. 2005. Wheat ecology, physiology and yield estimation. University of Mashhad Press. 417 p.

Karlen, D. L. and Sadler, E. J. 1990. Nutrient accumulation rates for wheat in the southeastern coastal plain. **Soil Science and Plant Analysis** 21: 1329-1352.

Kaya, M., Küçükyumuk, Z. and Erdal, I. 2009. Phytase activity, phytic acid, zinc, phosphorus and protein contents in different chickpea genotypes in relation to nitrogen and zinc fertilization. **African Journal of Biotechnology** 8 (18): 4508-4513.

Kaya, Y., Kaya, Y., Arisoy, R. Z. and Göcmen, A. 2002. Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc fertilization. **Pakistan Journal of Agronomy** 1: 142-144.

Keram, K. S. 2014. Response of zinc fertilization to wheat on yield, quality, nutrients uptake and soil fertility grown in a zinc deficient soil. **European Journal of Academic Essays** 1 (1): 22-26.

Khalil, M. M. 2002. Bioavailability of zinc in fiber–enriched bread fortified with zinc sulfate. **Nahrung** 46 (6): 389-393.

Khan, H. R, McDonald G. K. and Rengel, Z. 2004. Zinc fertilization and water stress affects plant water relations, stomatal conductance and osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arientinum* L.). **Plant and Soil** 267 (1): 271-284.

Khan, H. R., McDonald, G. K. and Rengel, Z. 1998. Chickpea genotypes differ in their sensitivity to Zn deficiency. **Plant and Soil** 198 (1): 11-18.

Khan, M. A., Fuller, M. P. and Baloch, F. S. 2008. Effect of soil applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. **Cereal Research Communications** 36 (4): 571-582.

Khan, R., Gurmani, A. R., Khan, M. S. and Gurmani, A. H. 2007. Effect of zinc application on rice yield under wheat rice system. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 10 (2): 235-239.

Khandkar, V. R., Jam, N. K. and Shinde, D. A. 1992. Response of irrigated wheat to ZnSO4 application in a Vertisol. **Journal of the Indian Society of Soil Science** 40: 399-400.

Khurana, N. and Chatterjee, C. 2001. Effect of zinc on reproductive physiology of pea (*Pisum sativum* L.). **Indian Journal of Agricultural Sciences** 72 (1): 57-59.

Kirby, E. J. M. 1983. Development of the cereals plant. In: Wright, D. W. (Ed.). The yield of cereals. Royal Agricultural Society of England, London. pp: 1-3.

Sorkhi Lalelou F., Shafagh-Kolvanagh, J. and Fateh, M. 2013. Effect of various concentrations of zinc on chlorophyll, starch, soluble sugars and proline in Naked pumpkin (*Cucurbita pepo*). **International Journal of Farming and Allied Sciences** 2 (24):1198-1202.

Large, E. C. 1954. Growth stages in cereals. **Plant Pathol**ogy 3:128-129.

Lazim, I. T., Mutradha, N. S. and Salih, A. M. 1989. Wheat (*Triticum aestivum* L.) response to Zn applications and its critical level in soils of centeral part of Iraq. **Journal of Agricultural and Water Resources Research** 8 (1): 81-92.

Mahmudi, J., Sharafi, S., Akhlaghi, S., Tanha, M. and Hassanzade, R. 2015. Effect of Zn and K elements on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Tarom Hashemi. **International Journal of Farming and Allied Sciences** 4 (1): 1-5.

Makower, R. U. 1970. Extraction and determination of phytic acid in beans. **Cereal Chemistry Journal** 47: 288.

Malakoti, J. 2011. Strategies for improving the quality of bread consumed in the country. **Journal of Food Science** 8 (31): 11-21. (In Persian with English Abstract).

Manigopa, C., Ghosh, J., Virk, D. S. and Prasad, S. C. 2007. Effect of seed priming on germination, growth and yield ofhorse gram cultivars. **Journal of Arid Legumes** 4 (1): 56-58.

Marschner, H. 1993. Mineral nutrition of hisherplants. (2nd Ed.). Academic Press.

Mengel, K. and Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. (5th Ed.). Kluwer Academic Publishers. 849 p.

Sun, M., Gao, Z. Q., Yang Z. P. and He, L. H. 2012. Absorption and accumulation characteristics of nitrogen in different wheat cultivars under irrigated and dryland conditions. **Australian Journal of Crop Science** 6 (4): 613-617.

Mirzapor, M. H. and Khoshgoftarmanesh, A. H. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield and oil content of sunflower seeds in a calcareous-sodic soil. **Agricultural Research: Water, Soil and Agricultural Plants** 8 (4): 74-61. (In Persian with English Abstract).

Morgahan, J. T. and H. J Mascagni, J. R. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: Martvedt, J. J. (Ed.). Micronutrients in agriculture. (2nd Ed.). SSSA. WI. pp: 371-426.

Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S. A. M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. **Industrial Crops and Products** 30: 82-92.

Ning, N., Liu, Z., Wang, Q., Lin, Z., Chen, S., Li, G., Wang, S. and Ding, Y. 2009. Effect of nitrogen fertilizer application on grain phytic acid and protein concentrations in Japonica rice and its variations with genotypes. **Journal of Cereal Science** 50: 49-55.

Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun H. J., Sayers, Z. and Cakmak, I. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum** 128 (1): 144-152.

Pandey, N., Pathak, G. C. and Sharma, C. P. 2009. Impairment in reproductive development is a major factor limiting yield of black gram under zinc deficiency. **Biologia Plantarum** 53 (4): 723-727.

Pourghasem Gargari, B., Mahboub S. A. and Razavieh, S. V. 2005. Phytic acid and its molar ratio to zinc in consumed breads in tabriz. **Journal of Urmia University of Medical Scinces** 16 (3): 136-142.

Prasad, A. S. 2003. Zinc deficiency. **British Medical Journal** 326 (7386): 409-410.

Rabie, M. H., Eleiwa, M. E., Aboseoud, M. A. and Khalil, K. M.1992. Effect of nickel on the content of carbohydrate and some mineral in corn and broad bean plant. **Journal of King Saud University Science** 4: 37.

Rahimzadeh, M., Kashani, A., Zarefizabady, A., Madani, H. and Soltani, E. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. 3 (1): 57-79.

Rajaram, S. 2001. Prospects and promise of wheat breeding in the 21st century. **Euphtica** 119: 3-15.

Rion, B. and Alloway, J. 2004. Fundamental aspects of zinc in soils and plants. **International Zinc Association** 1-128.

Roohani, N. 2012. Human zinc nutrition in arid regions with zinc deficiency in soils and crops (A case study in central Iran). DISS. ETH, No. 20393

Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R. and Schulin, R. 2013. Zinc and its importance for human health: An integrative review. **Journal of Research in Medical Sciences** 18: 144-157.

Gibson, R. S., Bailey, K. B., Gibbs, M. and Ferguson, E. L. 2010. A review of phytate, iron, zinc, and calcium concentrations in plant-based complementary foods used in low-income countries and implications for bioavailability. **Food and Nutrition Bulletin** 31 (2): S134-S146.

Said-Al A. H. and Mahmoud A. 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. **Ozean Journal of Applied Science** 3: 97-111.

Sakal, R., Sing, A. P. and Sinha, R. B. 1988. Effect of different soil fertility levels on the response of wheat to zinc application on Calciorthent. **Journal of the Indian Society of Soil Science** 36 (1): 125-127.

Sanchez, F. J., Manzanares, M., DeAndres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. **Field Crops Research** 59: 225-235.

Sandstead, H. H., Freeland-Graves J. H. 2014. Dietary phytate, zinc and hidden zinc deficiency. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology** 28 (4): 414-417.

Sawan, Z. M., Fahmy, A. H. and Yousef, S. E. 2011. Effect of potassium, zinc and phosphorus on seed yield, seed viability and seedling vigor of cotton (*Gossypium barbadense* L.). **Archives of Agronomy and Soil Science** 57: 75-90.

Shahid, H., Maqsood, M. A. and Rahmatullah. 2010. Increasing grain zinc and yield of wheat for the developing world: A review. **Emirates Journal of Food and Agriculture** 22: 326-339.

Shekari, F., Javanmard, A. and Abbasi, A. 2015. Zinc biofortification, preference or essential? **International Journal of Agriculture and Crop Sciences** 8 (3): 320-327.

Shekari, F., Mohammadi, H., Pourmohammad, A., Avanes, A., Khorshidi Benam, M. B. 2015. Spring wheat yielding and the content of protein and zinc in its grain depending on zinc fertilization. **Electronic Journal of Polish Agricultural Universities** 18 (1): #08.

Shekari, F., Shekari, F. and Esfandiari, E. A. 2010. Crop physiology (Translation). University of Maragheh. 412 p. (In Persian).

Singh, Y. P. 2004. Effect of nitrogen and zinc on wheat irrigated with alkali water. **Annals of Agricultural Research** 25: 233-236.

Subramanian, K. S., Tenshia, V., Jayalakhshmi, K. and Ramachandran, V. 2009. Role of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*)- (fungus aided) in zinc nutrition of maize. **Journal of Agriculture Biotechnology and Sustainable Development** 1: 029-038.

Tajlil, A. H., Pazoki, A. and Eradatmand-Asli, D. 2014. Effects of seed priming by mannitol and zinc sulfate on biochemical parameters and seed germination of chickpea. **International Journal of Farming and Allied Sciences** 3 (3): 294-298.

Tavallali, V., Rahemi, M., Eshghi, S., Kholdbarin, B. and Ramezanian, A. 2010. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 34: 349-359.

Thomas, H. and Smart, C. M. 1993. Crops that stay green. **Annals of Applied Biology** 123: 193-219.

Urbano, G., Lopez-Jurado, M., Aranda, P., Vidal-Valverde, C., Tenorio, E. and Porres, J. 2000. The role of phyticacid in legumes. **Journal of Physiology and Biochemistry** 56 (3): 283-294.

Wang, H., Liu, R. l. and Jin, Y. 2009. Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of maize. **Biologia Plantarum** 53 (1): 191-194

White, P. J., Helen, C. B., Vadim, D., Christopher, N. and Julia, M. D. 2002. Genes for calcium-permeable channels in the plasma membrane of plant root cells. **Biochimica et Biophysica Acta Biomembranes** 1564 (2): 299-309.

Wissuwa, M., Abdelbagi, M. I. and Yanagihara, S. 2006. Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. **Plant Physiology** 142 (2): 731-741.

WHO (World Health Organization). 1996. Trace element intakes inhuman nutrition and health. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 361 p.

Yadavi, A., Aboueshaghi, R. S., Movahhedi Dehnavi, M. and Balouchi, H. 2014. Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*phaseolus vulgaris* l.) Under drought stress. **Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences** 4 (4): 124-131.

Yang, Y., Timlin, D. J., Fleisher, D. H., Kim, S. H., Quebedeaux, B. and Reddy, V. R. 2009. Simulating leaf area of corn plants at contrasting water status. **Agricultural and Forest Meteorology** 149: 1161-1167.

Yemm, E. W. and Wilhs, A. J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemistry Journal** 57: 508-514.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A. and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. **Journal of Plant Nutrition** 20 (4): 461-471.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 7, No. 2, Summer 2017 (217-233)

The effect of zinc sulfate on quantity and quality of wheat grain under drought stress

Amin Abbasi[1*], Fariborz Shekari[2], Seyed Bahman Mosavi[3] and Abdollah Javanmard[4]

Received: March 15, 2015 Accepted: January 4, 2016

Abstract

Drought stress and zinc deficiency is an important factor influencing the reduction of the quantity and quality of wheat. In this research, the effect of application methods of zinc sulfate (dry-seed, priming, soil application and spraying) under drought stress conditions (complete irrigation, stress on emergence of flage leaf and stress on emergence of awn) on yield, yield components and traits related to nutritional value of wheat grain, variety Homa, was studied using a split plots experiment based on randomized complete block design with three replications. The results showed that the simultaneous incidence of droght stress and zinc deficiency in the emergence of flage leaf and emergence of awn stages caused a decrease in the quality and quantity of wheat, so that reduced yield and yield components, ability of zinc absorption from the soil, zinc concentration of grain, ability of zinc absorption from grains and protein synthesis. The results of this research indicated that sprying zinc element increased zinc concentration of wheat grain from 7.2 to 40.5 mg/kg (more than 77.19%), priming of zinc element increased seed storage protein from 13.1 to 14.6 percent (17.69%) and soil application of zinc sulfate increased grain yield from 1524 to 1737 kg/ha (at least 11.97%) and also decreased 18.6% of phytic acid and 78.9% of zinc molar ratio during drought stress at emergence of flag leaf stage.

Keywords: Yield components, Protein, Grain zinc content, Phytic acid, Molar ratio

1. Assist. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
2. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
3. Assoc. Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
4. Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
[*] Corresponding author: a.abbasi25@yahoo.com