



تغییرات عملکرد ماده خشک و برخی از اسمولیت‌ها و عناصر در ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش کم‌آبی

نصیبه توکلی^{۱*}، علی عبادی خزینه^۲ و حوریه توکلی^۱

چکیده

به منظور بررسی تغییرات برخی اسمولیت‌ها و میزان عناصر در ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح تنش کم‌آبی (۸۵٪ (شاهد)، ۶۰٪ و ۳۵٪ ظرفیت زراعی) و پنج ژنوتیپ گندم (میهن، C-88D-7، C-88D-17، C-88D-19 و C88D-20) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، میزان پتاسیم کاهش ولی عناصر سدیم، فسفر و همچنین اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول به طور معنی‌داری افزایش یافتند. با این حال، کمبود آب، میزان پروتئین کل را در ژنوتیپ‌های C-88D-19، C-88D-17 و C-88D-20 و کلسیم را در رقم میهن و ژنوتیپ C-88D-19 کاهش داد. درحالی‌که تاثیر کم‌آبی بر سایر ژنوتیپ‌ها منجر به افزایش این صفات‌ها شد. به طوری‌که، پروتئین کل در رقم میهن و ژنوتیپ C-88D-7 و میزان کلسیم در C-88D-20، C-88D-17 و C-88D-7 با تشدید تنش افزایش یافت. به نظر می‌سد در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی، رقم میهن و ژنوتیپ‌های C-88D-17 و C-88D-19 دارای مقاومت نسبی به تنش در شرایط گلخانه‌ای می‌باشند. همچنین، از آنجایی که ژنوتیپ C-88D-20 تحت تاثیر تنش کمترین تجمع پرولین و عملکرد ماده خشک را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تولید کرده و کاهش انباشت قندهای محلول و پروتئین کل هم در آن مشاهده شدند، به نظر می‌رسد این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به تنش کمبود آب حساس باشد.

واژگان کلیدی: پرولین، ژنوتیپ‌های گندم، کم‌آبی، عناصر.

nasibehtavakoli93@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۱۷

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(* نگارنده‌ی مسئول)

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مقدمه

گندم از گیاهان مهمی است که نقش کلیدی در غذای سراسر جهان ایفا می‌کند. در برخی از کشورها از جمله ایران، گندم مقدار زیادی از کالری مورد نیاز روزانه را تامین می‌کند (Cakmak, 2008).

گیاهان زراعی در طول دوره رشد خود با درجه‌ای از کم آبی مواجه می‌شوند که بر فعالیت فیزیولوژیک گیاه تاثیرگذار می‌باشد (Hanson et al., 1986). شرایط تنش باعث تشکیل انواع اکسیژن فعال شده که فعالیت آن باعث بروز صدماتی مثل اکسید شدن چربی‌ها، تغییر ساختار غشا، از هم پاشیدگی یکپارچگی آن، تغییر ساختار پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها و اختلال در رشته‌های پروتئینی می‌گردد. گیاه با تجمع پرولین، افزایش ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌سازی می‌تواند در برابر تنش ایجاد شده، مقاومت کند (Hong et al., 2000). از آنجایی که فشار آماس (تورگر) بالای سلول‌ها برای انجام فعالیت‌های مهم فیزیولوژیک از جمله رشد سلول‌ها و حرکات روزنه‌ای ضرورت دارد، برای حفظ فشار تورگر در شرایط تنش کم‌آبی، انجام پدیده‌ای موسوم به تنظیم اسمزی اهمیت ویژه‌ای دارد (Hanson et al., 1986). در برخی از گیاهان برای حفظ پتانسیل اسمزی در مراحل اولیه تنش کم‌آبی، چندین اسیدآمینو افزایش می‌یابد که با ادامه کم‌آبی تنها تجمع و ذخیره‌ی پرولین مشاهده می‌شود (Rajinder, 1987). تجمع پرولین در گیاهان در معرض کم‌آبی تنها نتیجه‌ی تنش نبوده بلکه قسمتی از سیستم دفاعی متابولیک بر علیه تنش غیرزنده می‌باشد (Turkan, 2011). مونوساکاریدها نیز نقش اصلی در پاسخ اولیه به کم آبی را بر عهده دارند. علاوه بر این، تجمع قندها در گیاهان رشد یافته در معرض کمبود آب یک نشانه وابسته به ژنوتیپ حساس برای بهبود مقاومت به کم آبی بوده و محتوای قندهای

محلول ممکن است روش مؤثری در انتخاب گونه‌های مقاوم به کم آبی باشد (Kerepesi, 1998). پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده افزایش میزان پرولین و قند محلول در ارقام برنج (Choudhary et al., 2005; Roychoudhury et al., 2008) و گندم دوروم (Bajji et al., 2001) در شرایط تنش خشکی بود.

از اثرات تنش کم‌آبی، کاهش پتانسیل آب خاک می‌باشد که منجر به کاهش جذب عناصر غذایی می‌شود (Patakas et al., 2002). کلسیم یکی از عناصر مهم بوده که در دیواره سلولی نقش استحکامی ایفا می‌کند. گزارش شده است که که کلسیم فقط یک عنصر غذایی پرمصرف نبوده، بلکه نقش مهمی در متابولیسم و توسعه گیاه ایفا می‌کند (Poovaiah and Reddy, 2000). از جمله نقش‌های کلسیم در گیاهان شامل تعدیل‌کننده رشد، متابولیسم و نیز به عنوان پیام‌رسان ثانویه در گیاهان می‌باشد. از این‌رو مطالعه در مورد اثر کلسیم در تنش‌های ایجاد شده بر گیاه ضروری به نظر می‌رسد (Sanders et al., 1999). سفر نیز در ترکیب اسیدهای نوکلئیک و غشاهای سلولی گیاهان حضور داشته و در تبادلات انرژی، فتوسنتز و سوخت و ساز قند در اندام‌های مختلف گیاهان نقش دارد. از جمله نقش‌های مهم شناخته شده سفر تاثیر آن در تحریک تثبیت CO₂، بازداری سنتز نشاسته در کلروپلاست و در نتیجه فعال‌سازی سنتز قندهای سه کربنه می‌باشد (Marschner, 1995). پتاسیم از عناصر غذایی اصلی و فراوان‌ترین کاتیون داخل سلول‌های گیاهی بوده (Very and Sentenac, 2003) و وجود مقدار کافی از آن با توجه به نقشی که در حفظ پتانسیل آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفت آب دارد، در شرایط تنش آبی، سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید

ژنوتیپ‌های گندم درون گلخانه‌هایی با گنجایش ۱۰ کیلوگرم در گلخانه و تحت شرایط میانگین ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و دمای روزانه 28 ± 0.5 و دمای شبانه ۱۶ درجه سلسیوس کشت شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش کم‌آبی در سه سطح (۸۵ (شاهد)، ۶۰ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی) و ۵ ژنوتیپ گندم (C-88D7، C-88D-17، C88D-19، C88D-20 و رقم میهن) بودند. تنش کم‌آبی در مرحله گیاهچه‌ای (سه برگچه‌ای) بر اساس ظرفیت زراعی (FC) با روش وزنی تعیین گردید و تیمارهای تنش بر حسب درصد‌های ظرفیت زراعی با توزین روزانه گلخانه‌ها اعمال شد.

در این آزمایش سه دوره نمونه‌برداری انجام شد. اما به دلیل عدم اختلاف معنی‌دار بین زمان‌های نمونه‌برداری فقط از نمونه مرحله گیاهچه برای بررسی استفاده شد. کود مورد نیاز بر اساس آزمون تجزیه خاک تامین گردید (نیتروژن به میزان 100 kg.ha^{-1} ، پتاسیم 80 kg.ha^{-1} و فسفر به مقدار 80 kg.ha^{-1} به خاک افزوده شد). نتایج آزمون تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

اندازه‌گیری میزان عناصر اندام‌های هوایی

مقدار یک گرم از اندام هوایی خشک در داخل بوته چینی ریخته شده و در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت، تا به طور کامل خاکستر شود. بعد از این مدت به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر از اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه کرده و تا نقطه جوش حرارت داده شد. سپس نمونه داخل بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف و با آب مقطر به حجم رسانده شد. برای تعیین میزان پتاسیم، کلسیم و سدیم ابتدا محلول‌های استاندارد هر کدام از این عناصر تهیه شده و غلظت عناصر توسط دستگاه طیف‌سنج شعله‌ای (فلم فتومتر) و با استفاده از روش ویلیام (William,

فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد (Daneshian *et al.*, 2002). تنش‌های محیطی مختلف از جمله خشکی از جذب و انتقال K^+ در گیاهان جلوگیری کرده و اهمیت پتاسیم در کاهش سمیت سدیم بیشتر قابل درک است. همچنین، پژوهش‌های پیشین نشان داده است که سدیم نقش بازدارنده بر میزان جذب پتاسیم دارند (Shabala and Cuin, 2008). سدیم، کاتیون قابل حل در بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و اغلب گیاهان به غلظت بالای سدیم حساس می‌باشند. زیرا پایداری یون‌های داخل سلول را برهم زده و منجر به عملکرد نامناسب غشا و تضعیف واکنش‌های متابولیکی و بازدارندگی رشد شده و سرانجام سبب مرگ سلول می‌شود (Wang *et al.*, 2004). نتایج صنایعی (Sanayei, 2012) نشان داد که تنش کم‌آبی میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم را در گیاه کاهش می‌دهد، در حالی‌که موجب افزایش سدیم و کلسیم می‌شود. از آنجایی که گیاه جهت مقابله با تنش‌های محیطی از مکانیزم‌های مختلفی از جمله تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و مولکولی استفاده می‌کند و با توجه به اهمیت اسمولیت‌هایی مانند پرولین، قند محلول و تاثیر عناصر بر تنظیم اسمزی، در این پژوهش تاثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد ماده خشک، میزان جذب عناصر و تغییرات برخی از اسمولیت‌ها در ژنوتیپ‌های مختلف گندم بررسی شد و هدف از این آزمایش، بررسی میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نسبت به تنش کم‌آبی، آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۲ به مورد اجرا گذاشته شد. بذرها

سنجش پروتئین کل

برای سنجش پروتئین کل، ابتدا ۰/۵ گرم نمونه تر برگ در هاون چینی در مجاورت نیتروژن مایع پودر شد و با ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج هموزن گردید. مخلوط حاصل درون لوله پلاستیکی داخل یخ قرار داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۱ دقیقه با سرعت ۱۱۵۰۰ دور در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفوژ و قسمت روشن‌تر برداشته شد. لوله‌های جدید به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. پس از سانتریفوژ، لوله‌ها در داخل یخ قرار داده شد. در این مرحله از قسمت روشن‌تر هر لوله ۷۰۰ میکرولیتر برداشته و داخل لوله پلاستیکی ریخته و برای تعیین مقدار کمی پروتئین‌ها از روش برادفورد و همکاران (Bradford *et al.*, 1976) استفاده شد.

تعیین وزن خشک اندام‌های مختلف در مرحله ۴-۶ برگی انجام شد. پس از جدا کردن اندام‌ها آنها را در پاکت مقوایی قرار داده و در آن که قبلاً دمای آن روی ۷۵ درجه سلسیوس تنظیم و راه‌اندازی شده بود به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (ریشه‌ها قبل از جدا شدن از ساقه با جریان آرام شیر آب شسته شدند).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۵٪ و رسم شکل‌ها با استفاده از Excel انجام شد.

۲۰۰۰) خوانده شد. اندازه‌گیری فسفر نیز به روش جونز (Jones, 2001) انجام شد.

سنجش مقدار پرولین

اندازه‌گیری پرولین از جوانترین برگ‌ها (سومین برگ) با استفاده از روش بیتز و همکاران (Bates *et al.*, 1973) انجام گرفت. به این صورت که مقدار ۰/۱ گرم بافت برگ در دو میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد ساییده شده و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس از عصاره حاصل برای اندازه‌گیری پرولین استفاده شد. جذب در دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید.

سنجش مقدار قندهای کل برگ

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات، ابتدا عصاره الکلی از برگ‌ها تهیه شد. بدین صورت که، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگ در هاون چینی کاملاً هموزن گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به آن اضافه و به لوله آزمایش درب‌دار منتقل و به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شد. مایع رویی جدا و به لوله‌ی دیگری منتقل شده و سپس دو بار و در هر بار ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ به بخش جامد باقی‌مانده اضافه و کاملاً شستشو گردید و بخش مایع رویی به لوله آزمایش منتقل شد. عصاره‌ی حاصل، به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. برای سنجش قند محلول از روش اوموکولو و همکاران (Omokolo *et al.*, 1996) استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Soil properties in experiment

خواص فیزیکیوشیمی خاک Soil physicochemical characteristics								
شوری	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	رس	سیلت	شن	لوم
Salt (ds/m)	Organic carbon(%)	Nitrogen (%)	Phosphorus (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	Clay (%)	Silt (%)	Gravel (%)	Loam (%)
0.625	0.62	0.06	8.5	170	2	14	84	0

نتایج و بحث

پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کم‌آبی و ژنوتیپ بر میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین در رقم میهن تحت تنش شدید (۳۵٪ ظرفیت زراعی) و کمترین میزان آن در ژنوتیپ C-88D-7 در شاهد^۱ (FC ۸۵٪) مشاهده شد. میزان سنتز پرولین در ژنوتیپ‌های مورد بررسی از روند افزایشی برخوردار بود که البته این میزان افزایش در ژنوتیپ C-88D-19 و رقم میهن از شدت بالاتری برخوردار بود (شکل ۱). توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.*, 2015) بیان کردند که تنش موجب افزایش سنتز پرولین می‌گردد و پروتئین کل را کاهش می‌دهد. افزایش تجمع پرولین در طی تنش، نقش چندگانه محافظتی داشته و یک بررسی طولانی مدت در مورد پرولین نشان می‌دهد، پرولین یک اسمولیت خنثی بوده که ساختارهای سلولی را حفظ کرده و منجر به پایداری آنزیم‌ها می‌شود (Kavi *et al.*, 2005). بنابراین، ژنوتیپ‌هایی که توانسته‌اند در شرایط تنش میزان پرولین را افزایش دهند قدرت بیشتری در تحمل تنش وارد شده دارند. در شرایط تنش شدید کمترین میزان پرولین در ژنوتیپ C-88D-20 مشاهده شد. همچنین، در این ژنوتیپ میزان قند محلول (شکل ۲) و میزان پروتئین (شکل ۴) کاهش معنی‌داری نشان داد. به نظر می‌رسد این ژنوتیپ برای حفظ پتانسیل اسمزی از پرولین به میزان کم استفاده کرده و از قند محلول بهره‌ای نمی‌برد. همچنین، از آنجایی که افزایش پرولین در تنش کمبود آب موجب محافظت از پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود (Turkan, 2011) بنابراین احتمالاً این ژنوتیپ قادر به محافظت از پروتئین‌ها در برابر تنش نمی‌باشد.

افزایش میزان پرولین ژنوتیپ‌های C-88D-17 و C-88D-19 در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال (شکل ۱) را می‌توان به تجزیه بیشتر پروتئین در آنها نسبت داد (شکل ۳). به نظر می‌رسد که افزایش پرولین به انرژی بیشتری نیاز دارد که این انرژی از کاهش ماده خشک تامین می‌شود. مقدار اکسیداسیون پرولین در گیاهان تحت شرایط نرمال به قدری کم است که مقادیر بالای پرولین در شرایط تنش را نمی‌تواند توجیه کند، بنابراین افزایش غلظت پرولین در شرایط تنش در گیاهان بدلیل سنتز آن می‌باشد (Staden *et al.*, 1999).

قند محلول

با توجه به جدول ۲ تفاوت معنی‌داری برای اثر متقابل تنش و ژنوتیپ وجود داشت. با افزایش تنش کم‌آبی میزان قندهای محلول در همه ژنوتیپ‌ها به جز C-88D-20 به شدت افزایش یافت. بیشترین قند محلول سنتز شده (۰/۹۷ میلی‌گرم بر گرم) در تنش شدید ۳۵٪ ظرفیت زراعی و در ژنوتیپ C-88D-7 مشاهده شد که با میزان قند محلول در رقم میهن (۰/۹۶ میلی‌گرم بر گرم) در همین شدت تنش اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). کاهش قند محلول در ژنوتیپ C-88D-20 ممکن است ناشی از نیاز پایین به مواد فتوسنتزی به دلیل توقف رشد باشد (Ehdaie *et al.*, 2006). زیرا این ژنوتیپ کمترین تجمع ماده خشک را نشان داد. در سایر ژنوتیپ‌ها میزان قند محلول افزایش یافت که ممکن است علت آن افزایش هیدرولیز نشاسته، کاهش انتقال ساکارز و یا حتی ساختن قند جدید، باشد (De Souza *et al.*, 2005). بررسی میزان قندهای محلول ممکن است روش مفیدی در انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی باشد (Pagter *et al.*, 2005). زیرا در شرایط وقوع تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌های مقاوم که قادر به حفظ پتانسیل اسمزی خود هستند توانایی افزایش میزان قندهای

۱- Field capacity

پروتئین باشد. افزایش سرعت تجزیه پروتئین‌ها نیز ممکن است از نتایج شرایط بروز تنش باشد (Bolen and Baskakov, 2001).

کلسیم

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) تفاوت معنی‌داری بین اثر متقابل تنش کم آبی و ژنوتیپ در سطح احتمال ۱٪ از نظر میزان کلسیم مشاهده شد. معنی‌دار بودن اثر متقابل تیمارهای آزمایشی را می‌توان به متفاوت بودن واکنش ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در سطوح مختلف تنش کم آبی نسبت داد. به طوری که بیشترین میزان کلسیم (۰/۴۶۷ میکروگرم بر گرم) در رقم میهن در شرایط بدون تنش و کمترین میزان این عنصر (۰/۴۳ میکروگرم بر گرم) در ژنوتیپ C-88D-17 و تحت شرایط مطلوب آبی (۸۵٪ FC) مشاهده شد. میزان کلسیم در ژنوتیپ C-88D-17 و C-88D-19 در تنش ۶۰٪ FC نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد ولی در تنش شدید (۳۵٪ FC) کاهش معنی‌داری در میزان کلسیم این ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. همچنین، افزایش شدت تنش از ۸۵٪ FC به ۳۵٪ FC منجر به کاهش معنی‌داری در میزان کلسیم رقم میهن شد، اما در ژنوتیپ‌های C-88D-7 و C-88D-20 موجب افزایش این عنصر گردید (شکل ۵). پژوهش‌های قبلی نشان داده است که ABA، کم‌آبی، شوری و سرما منجر به افزایش سطح کلسیم درون سلولی می‌شود (Sanders *et al.*, 1999). از نظر مارش너 (Marschner, 1995) افزایش غلظت کلسیم در گیاه در شرایط تنش کم آبی اتفاق افتاده و در شرایط نرمال آبی، گیاه هزینه‌ای برای جذب بیشتر آن صرف نمی‌کند. بنابراین، ممکن است در ژنوتیپ‌های C-88D-7 و C-88D-20 که میزان کلسیم آنها با تشدید تنش افزایش یافته است از این عنصر به عنوان مکانیزم‌های تحمل تنش بهره برده‌اند. در برخی پژوهش‌ها نیز گزارش شده که با کاهش

محلول را داشته و ژنوتیپ حساس مقدار کمتری از قند محلول را انباشته می‌کند. بررسی رابطه رگرسیونی بین ماده خشک و قند محلول در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش نشان داد که در ژنوتیپ C-88D-7 و رقم میهن منفی و ژنوتیپ C-88D-20 مثبت بود (شکل ۳)، که این امر نشان می‌دهد سنتز قندهای محلول نیاز به انرژی دارد و احتمالاً این انرژی را از طریق کاهش مصرف انرژی برای تجمع ماده خشک تامین می‌کند.

پروتئین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش کمبود آب و ژنوتیپ‌های مختلف بر میزان پروتئین محلول معنی‌دار بود (جدول ۲) و با افزایش شدت تنش در برخی از ژنوتیپ‌ها کاهش و در بعضی دیگر افزایش پیدا کرد. چنان‌که بیشترین میزان پروتئین (۲۸۳/۷۳ mg/g) مربوط به رقم میهن تحت تنش شدید (۳۵٪ FC) بود و کمترین میزان پروتئین کل (۱۸۹/۹۹ mg/g) در ژنوتیپ C-88D-7 در شرایط مطلوب رطوبتی مشاهده شد (شکل ۴).

افزایش شدت تنش موجب افزایش میزان پروتئین در ژنوتیپ C-88D-7 و رقم میهن گردید. گزارش شده است که مکانیزمی که قندها برای محافظت از سلول‌ها در طی تنش کم آبی استفاده می‌کنند، شامل جایگزینی گروه هیدروژن قندها به عنوان قسمت آب‌دوست بوده و تاثیر متقابل بر پروتئین‌ها و غشای سلولی در طی از دست رفتن آب دارد. به این ترتیب کربوهیدرات‌ها به وسیله تاثیر متقابل با پروتئین‌ها و غشاها از طریق پیوند هیدروژنی، از غیرطبیعی شدن پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند (Al- Rumaih and Al- Rumaih, 2007). با توجه به این مسئله ممکن است افزایش پروتئین کل در رقم میهن و ژنوتیپ C-88D-7 به دلیل نقش ترکیبات محافظت کننده از جمله قندهای محلول بر

می‌باشد به طوری که جذب عناصر کانی با میزان سن گیاه رابطه عکس دارد (Marschner, 1995). بنابراین، با توجه به افزایش فسفر در شرایط تنش، ممکن است به دلیل نیاز بالای گیاهچه‌ها به فسفر میزان جذب این عنصر افزایش پیدا کرده باشد. همچنین، از نظر مارشنر (Marschner, 1995) ژنوتیپ‌های مختلف، تفاوت‌های چشمگیری در مورد جذب عناصر نشان می‌دهند. همچنین، ممکن است افزایش مواد قندی و پرولین برای تنظیم اسمزی در ریشه‌ها منجر به افزایش جذب یون‌هایی مانند فسفر شود. احتمالاً گیاهچه‌ها انرژی خود را به جای افزایش ماده خشک برای جذب فسفر استفاده کردند.

سدیم

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تاثیر متقابل تنش کم آبی و ژنوتیپ بر محتوای سدیم بود (جدول ۲). غلظت سدیم با میزان دسترسی به رطوبت رابطه‌ی معکوس نشان داده و با کاهش رطوبت، غلظت سدیم افزایش یافت. بیشترین میزان سدیم در تنش شدید (FC ۳۵٪) و در ژنوتیپ C-88D-19 قابل مشاهده بود و کمترین میزان جذب این عنصر در شرایط نرمال در ژنوتیپ‌های C-88D-7 و C-88D-17 مشاهده شد. در ژنوتیپ‌های C-88D-17 و C-88D-20 میزان جذب سدیم در سطح دوم تنش (FC ۶۰٪) افزایش یافت. همچنین، کاهش معنی‌داری با کم شدن میزان رطوبت تا ۳۵٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۷). هنگام بروز تنش، میزان سدیم جذب شده افزایش می‌یابد و گیاه برای جلوگیری از سمیت ناشی از افزایش سدیم، آن را در واکوئل ذخیره می‌کند یا مانع از ورود آن می‌شود (Bohnert et al., 1999). با تشدید تنش ممکن است به علت افزایش بیش از حد غلظت سدیم، این ژنوتیپ‌ها از ورود سدیم جلوگیری کرده‌اند. نتایج آرزمجو و همکاران (Arazmju et al., 2009) نشان داد که با افزایش

رطوبت خاک، حرکت کلسیم از خاک به سمت گیاه کاهش می‌یابد. همچنین، جذب کلسیم توسط گیاه عمدتاً به سرعت تعرق بستگی دارد که در شرایط تنش خشکی محدود شدن سرعت تعرق سبب کاهش جذب کلسیم می‌شود (SetayeshMehr and Ganjali, 2013). کرامر و همکاران (Cramer et al., 1994) بیان کردند که هر چه یک گیاه میزان کاتیون‌های غیرسدیمی مثل کلسیم و پتاسیم بیشتری در بافت‌های خود داشته باشد به شرایط تنش متحمل‌تر است.

فسفر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش کم آبی و ژنوتیپ بر میزان فسفر معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر متقابل تیمارهای آزمایشی نشان داد که با افزایش شدت تنش میزان فسفر افزایش نشان داد. به طوری که بیشترین میزان فسفر در رقم میهن در شرایط تنش شدید (FC ۳۵٪) و کمترین میزان این عنصر در شرایط بدون تنش (FC ۸۵٪) در ژنوتیپ‌های C-88D-7 و C-88D-17 مشاهده شد. در رقم میهن و ژنوتیپ C-88D-19 در شرایط تنش متوسط (FC ۶۰٪) نسبت به شرایط نرمال (FC ۸۵٪) میزان جذب فسفر کاسته شد، ولی تشدید تنش (FC ۳۵٪) منجر به افزایش جذب فسفر گردید. در سایر ژنوتیپ‌ها میزان جذب فسفر روند افزایشی داشت (شکل ۶). ممکن است واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد آزمایش و وجود رابطه آنتاگونیستی بین فسفر و پتاسیم موجب افزایش جذب فسفر در شرایط تنش در مقایسه با پتاسیم شده باشد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار تنش کم آبی بر روند جذب و تجمع عناصر غذایی، مسئله‌ی نیاز متفاوت گیاه در دوره‌های مختلف رشدی به عناصر غذایی می‌باشد، روند جذب و تجمع فسفر با توجه به نیاز گیاه در دوره‌های مختلف رشد، متفاوت

گرفت و کمترین میزان جذب (۳/۲۸ میکروگرم بر گرم) این عنصر در رقم میهن تحت تنش شدید (FC ۳۵٪) مشاهده شد (شکل ۸). کاهش جذب پتاسیم با افزایش شدت تنش، با نتایج آرزمجو و همکاران (Arazmju *et al.*, 2009) مطابقت دارد. احتمالاً علت کاهش پتاسیم در شرایط تنش کم آبی، کاهش میزان حلالیت پتاسیم و متعاقب آن، کاهش جذب آن توسط ریشه‌های گیاه باشد. از طرف دیگر کلوئیدهای خاک با قدرت بیشتری پتاسیم را جذب کرده و مانع جذب آن توسط ریشه می‌شوند. پتاسیم از جمله عناصری است که در سیتوپلاسم و کلروپلاست‌ها، به ایجاد تنظیم اسمزی به میزان زیادی کمک می‌کند (Marschner, 1995). همچنین پتاسیم یک کوفاکتور ضروری برای بسیاری از آنزیم‌ها می‌باشد (Hadi *et al.*, 2008)، بنابراین وجود این عنصر در افزایش تحمل به تنش ضروری می‌باشد. در این پژوهش پتاسیم کاهش و سدیم افزایش یافته است. در شرایطی که سدیم بر پتاسیم غلبه دارد، حتی با وجود ناقلین با تمایل بالا باز هم در گیاه کمبود پتاسیم ایجاد می‌شود (Hadi *et al.*, 2008). همچنین کمبود آب منجر به افزایش غلظت مواد محلول در اطراف ریشه شده و افزایش پتانسیل اسمزی خاک از جذب عناصر می‌کاهد (Bohnert *et al.*, 1999).

عملکرد ماده خشک

اثرات اصلی کم آبی و ژنوتیپ بر ماده خشک معنی‌دار بود. بیشترین میزان عملکرد ماده خشک در ژنوتیپ C-88D-17 و کمترین میزان آن در ژنوتیپ C-88D-20 مشاهده شد و در بین سطوح تیمار کم آبی، شاهد دارای بیشترین میزان عملکرد ماده خشک بود. افزایش شدت تنش منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد ماده خشک شد. به طوری که در تنش شدید (۳۵ درصد ظرفیت زراعی) کمترین میزان ماده خشک مشاهده گردید (شکل ۱۰).

شدت تنش کم آبی میزان سدیم افزایش می‌یابد. از آنجایی که در اکثر گیاهان مقاوم به تنش کم آبی جذب املاحی مانند سدیم و افزایش غلظت آنها در داخل گیاه، مکانیزمی برای تحمل به تنش و تلاش برای جذب آب می‌باشد (Marschner, 1995)، ممکن است رقم میهن و ژنوتیپ‌های C-88D-7 و C-88D-19 از این مکانیزم جهت تنظیم اسمزی و کاهش اثرات کم آبی بهره‌مند باشند. ذخیره کردن سدیم در واکوئل جهت جلوگیری از اثرات سمی آن بوهنرت و همکاران (Bohnert *et al.*, 1999) ممکن است منجر به کاهش پتانسیل اسمزی سلول شده و به جذب آب کمک کند که این مساله را می‌توان به عنوان یکی از فاکتورهای سنجش تحمل دانست (Munns and James, 2003). ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 2001) بیان کردند که هر چه قدرت جذبی ریشه بیشتر باشد مقدار سدیم بافت گیاهی بیشتر می‌شود. همچنین، اثر رقابتی سدیم با دیگر کاتیون‌ها موجب کاهش جذب آنها می‌شود. اگرچه رگرسیون بین ماده خشک تولیدی و سدیم تجمع یافته در برگ در تمام ژنوتیپ‌های مورد آزمایش منفی بود، اما رگرسیون معنی‌دار بین این صفات فقط در مورد ژنوتیپ‌های میهن و C-88D-19 مشاهده گردید (شکل ۹). این مساله نشان می‌دهد که افزایش جذب سدیم منجر به کاهش ماده خشک می‌شود. زیرا جذب سدیم و جلوگیری از آسیب‌های ناشی از آن به انرژی زیادی نیاز دارد که این امر از تجمع ماده خشک می‌کاهد.

پتاسیم

نتایج نشان داد که اثر متقابل کم آبی و ژنوتیپ بر میزان جذب پتاسیم معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش شدت تنش در همه ژنوتیپ‌ها به غیر از ژنوتیپ C-88D-19 میزان پتاسیم کاهش یافت. بیشترین میزان پتاسیم جذب شده (۴/۴۲ میکروگرم بر گرم) به ژنوتیپ C-88D-7 در شرایط نرمال تعلق

فسفر را در پی داشت. اگرچه سدیم به‌عنوان یک تخریب کننده ساختار غشایی مطرح می‌باشد اما ممکن است در غلظت کم به حفظ پتانسیل سلولی کمک کند. ژنوتیپ‌های بکار رفته در این آزمایش دارای سازوکارهای مختلفی برای تحمل تنش کم آبی بوده و از مسیرهای متفاوت برای تحمل به تنش بهره بردند. به‌طوری‌که در تنش شدید ژنوتیپ C-88D-17 بیشترین عملکرد ماده خشک، فسفر و پروتئین کل را نشان داد. همچنین، رقم میهن دارای بیشترین میزان پرولین و قند محلول بود. با این حال تشدید تنش در ژنوتیپ C-88D-20 موجب شد تا کمترین تجمع پرولین و کاهش انباشت قندهای محلول و پروتئین کل اتفاق افتد. همچنین، این ژنوتیپ کمترین تجمع ماده خشک را نشان داد. با توجه به نتایج حاصل از صفات اندازه‌گیری شده به نظر می‌رسد رقم میهن و ژنوتیپ‌های C-88D-17 و C-88D-19 در شرایط گلخانه‌ای نسبت به تنش تحمل نشان می‌دهند. درحالی که ژنوتیپ C-88D-20 حساسیت زیادی نسبت به تنش نشان داد.

پژوهش‌های موسوی و همکاران (2010, *et al.*) نشان داد که تنش شدید باعث کاهش ۶۲/۷ درصدی عملکرد ماده خشک کل نسبت به تیمار بدون تنش شد. نتایج این پژوهش نیز نشان‌دهنده تاثیر نامطلوب تنش بر ماده خشک تولیدی بود. رشد اولین مکانیزیمی است که توسط تنش متوقف می‌شود (Gardner *et al.*, 1999)، در نتیجه مقدار زیادی از انرژی به سمت تولید آنزیم‌ها و اسمولیت‌ها سوق می‌یابد. وجود پتاسیم علاوه بر جلوگیری از هدررفت آب در شرایط تنش آبی، سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد (Daneshian *et al.*, 2002). بنابراین، به نظر می‌رسد افزایش انباشته شدن پتاسیم توانسته است موجب افزایش توان اسمزی گیاه شده و به افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش ماده خشک کمک کرده باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که تنش کم آبی منجر به کاهش جذب عناصری مانند پتاسیم و کلسیم در برخی از ژنوتیپ‌ها شده و افزایش جذب سدیم و

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش کم آبی بر میزان جذب عناصر و برخی از تنظیم کننده‌های اسمزی در ژنوتیپ‌های گندم

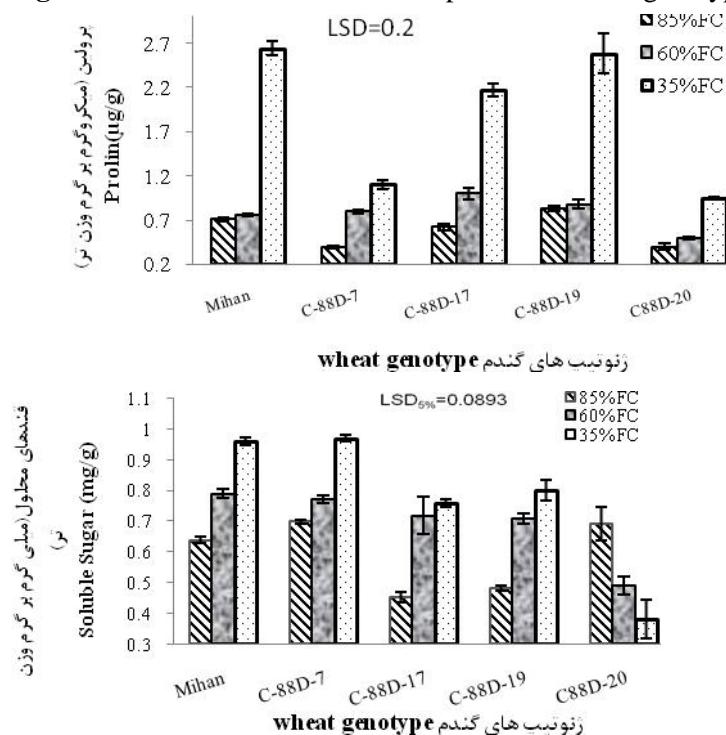
Table 2- Analysis of variance effects of water deficit on nutrient uptake and some osmotic adjustment in wheat genotypes

میانگین مربعات (MS)									
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	پرولین Proline	قند محلول Soluble Sugar	پروتئین کل Total protein	کلسیم calcium	فسفر Phosphorus	سدیم Sodium	پتاسیم Potassium	ماده خشک Dry Matter
کم آبی Water stress	2	7.34**	0.129**	815**	0.0007 _{ns}	0.00072**	0.01**	0.62**	0.465**
ژنوتیپ Genotype	4	1.25**	0.131**	786**	0.0056**	0.0003**	0.014**	0.52**	0.079*
کم آبی × ژنوتیپ *Water stress Genotype	8	0.46**	0.063**	940**	0.0012**	0.00012**	0.0031*	0.139*	0.017 _{ns}
خطا	30	0.015	0.0028	24	0.00024	0.0000022	0.0012	0.044	0.0217
ضریب تغییرات CV(%)	-	11.32	7.75	1.91	3.88	3.23	1.8	5.6	23.18

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively.
ns, *, **: به ترتیب نمایانگر غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

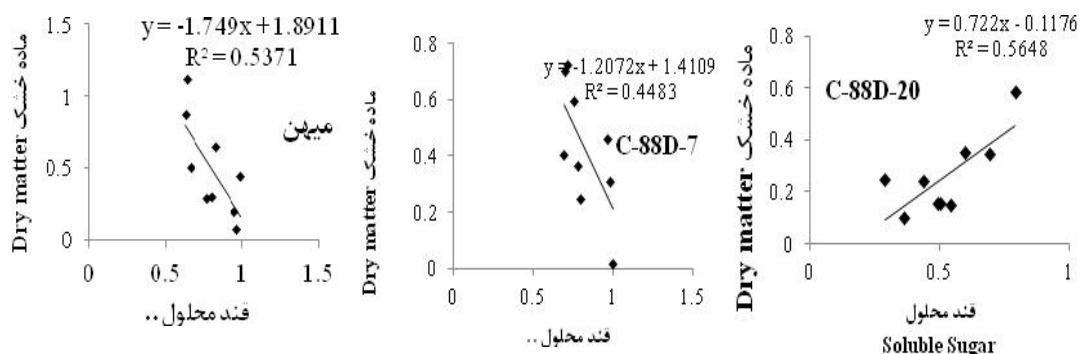
شکل ۱- اثر تنش کم آبی بر میزان سنتز پرولین در ژنوتیپ‌های گندم

Figure 1- Effects of water deficit on proline in wheat genotypes

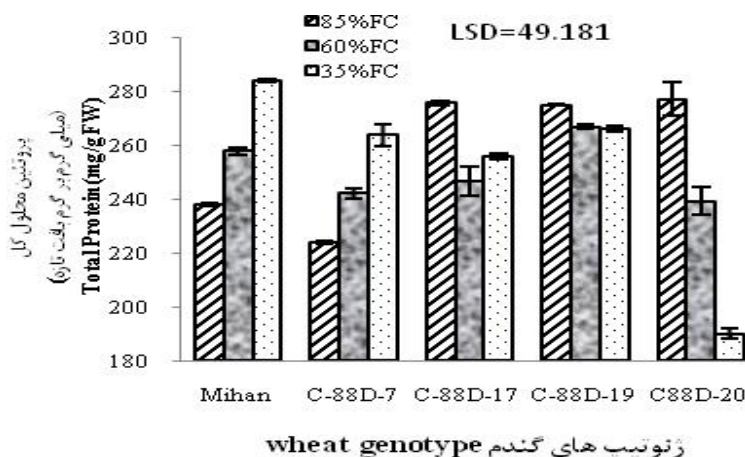


شکل ۲- اثر تنش کم آبی بر میزان تولید قندهای محلول در ژنوتیپ‌های گندم

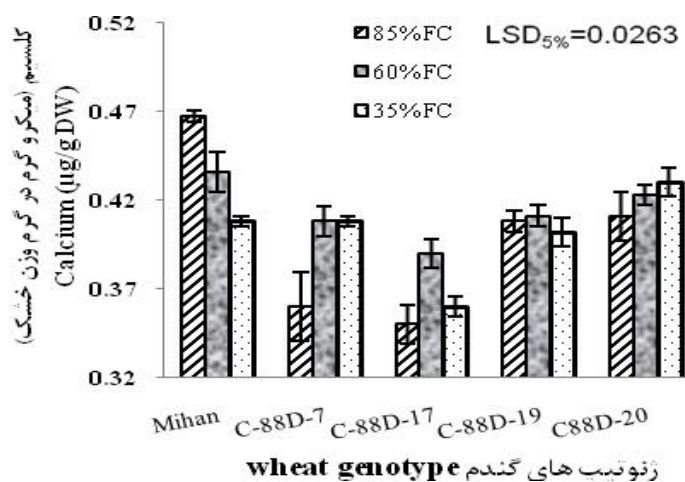
Figure 2- Effects of water deficit on soluble sugar in wheat genotypes



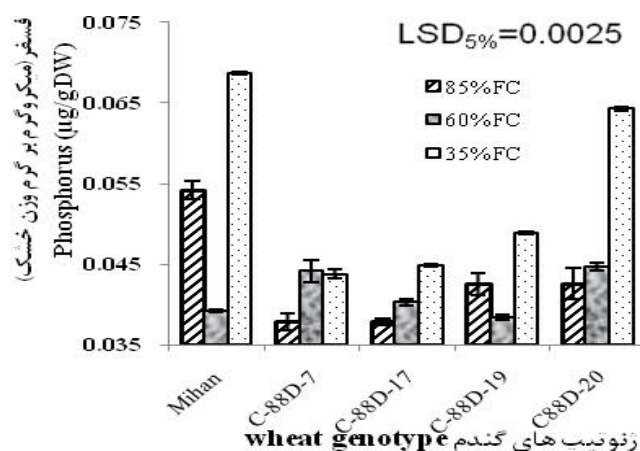
شکل ۳- رگرسیون ماده خشک روی قند محلول در رقم میهن و ژنوتیپ‌های C-88D-7 و C-88D-20
Figure 3- Regression between dry matter and soluble sugar in Mihan, C-88D-20 and C-88D-7 genotypes



شکل ۴- اثر تنش کم آبی بر تغییرات پروتئین کل در ژنوتیپ‌های گندم
Figure 4- Effects of water deficit on total protein in wheat genotypes

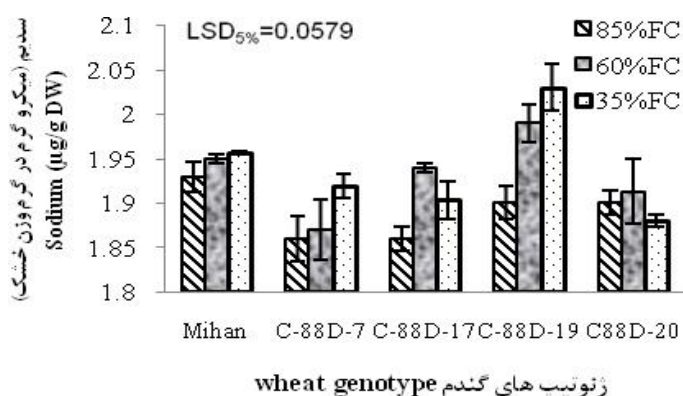


شکل ۵- اثر تنش کم آبی بر میزان کلسیم در ژنوتیپ‌های گندم
Figure 5- Effects of water deficit on calcium in wheat genotypes



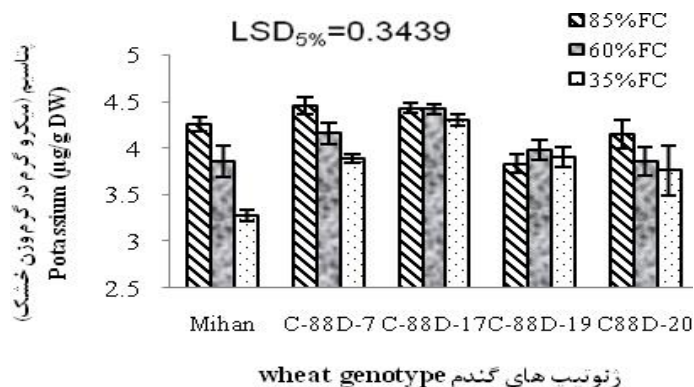
شکل ۶- تاثیر تنش کم آبی بر میزان فسفر در ژنوتیپ‌های گندم

Figure 6- Effect of water stress on phosphorus in wheat genotypes



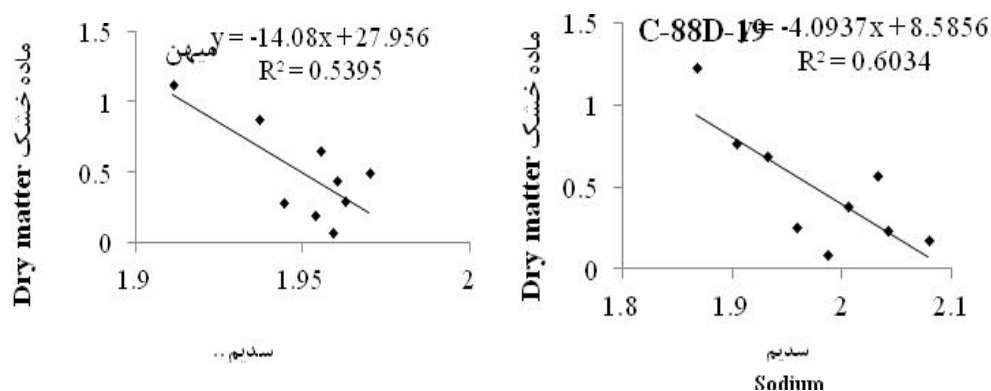
شکل ۷- اثر تنش کم آبی بر محتوای سدیم در ژنوتیپ‌های گندم

Figure 7- Effects of water deficit on sodium in wheat genotypes



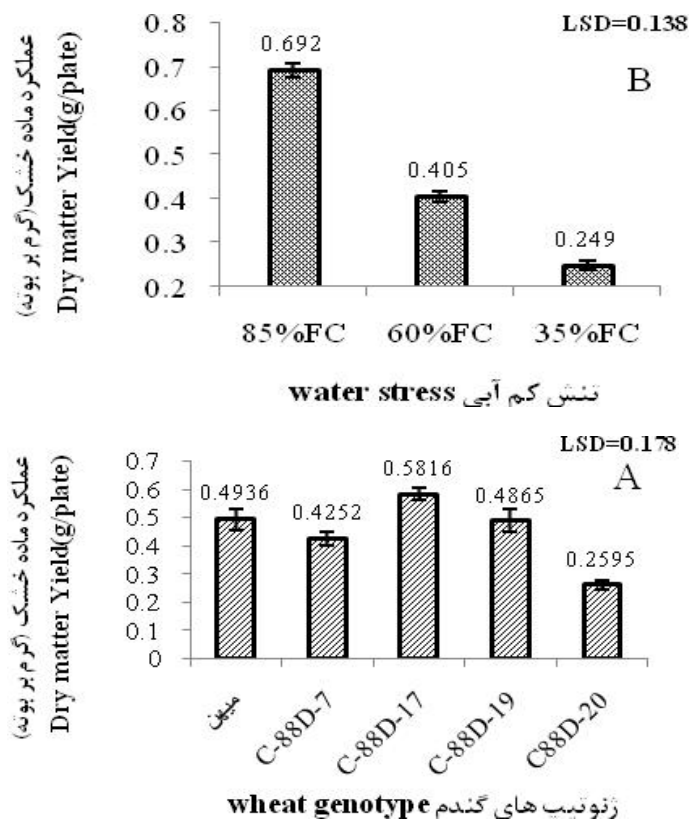
شکل ۸- تاثیر تنش کم آبی بر پتاسیم در ژنوتیپ‌های گندم

Figure 8- Effects of water stress on potassium in wheat genotypes



شکل ۹- رگرسیون بین ماده خشک روی سدیم در ژنوتیپ C-88D-19 و رقم میهن (در سایر ژنوتیپها رابطه معنی داری وجود نداشت).

Figure 9- Regression between dry matter and sodium in C-88D-19 genotype and Mihan cultivar



شکل ۱۰- A-مقایسه ژنوتیپهای گندم از نظر عملکرد ماده خشک B- تاثیر تنش کم آبی بر عملکرد ماده خشک

Figure 10- A-Comparison of wheat genotypes with respect to dry matter B- effects of water deficit on dry matter

References

منابع مورد استفاده

- Al- Rumaih, M.M., and M.M. Al-Rumaih. 2007. Physiological response of two species of datura to uniconazole and salt stress. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 5: 450-453.
- Arazmjou, A., M. Heydari, and M. Ghanbari. 2009. Effects of drought stress and three types of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrients absorption in *Matricaria chamomilla* L. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*. 25(2): 482-492. (In Persian).
- Azevedo, R.A., P. Arruda, W.L. Turner, and P.J. Lea. 1997. The biosynthesis and metabolism of the aspartate derived amino acids in higher plants. *Phytochemistry*. 46: 395-419.
- Bajji, M., S. Lutts, and J. Kinet, 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*. 160 (4): 669-681.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-208.
- Bohnert, H.J., D.E. Nelson, and R.G. Jensen. 1999. Adaptation to environmental stresses. *The Plant Cell*. 7: 1099-1111.
- Bolen, D.W., and I.V. Baskakov. 2001. The Osmophobic effect: Natural selection of a thermodynamic force in protein folding. *Journal of Molecular Biology*. 310(5): 955-963.
- Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Biochemistry*. 72: 248-254.
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*. 302(1-2): 1-17.
- Choudhary, N.L., R.K. Sairam, and A. Tyagi. 2005. Expression of delta1-pyrroline-5-carboxylate synthetase gene during drought in rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*. 42(6): 366-370.
- Cramer, G.R., G.J. Alberico, and C. Schmidt. 1994. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. *Australian Journal of Plant Physiology*. 21: 675-692.
- Daneshian, J., A. Majidi Hrvan, and P. Jonoubi. 2002. The effect of drought stress and different amounts of potassium on quantitative and qualitative characteristics of soybean. *Journal of Agriculture Science*. 8(1): 95-108
- Davies, M.J. 2005. The oxidative environment and protein damage. *Biochemistry Biophysics Acta*. 1703: 93-109.
- De Souza, C.R., J.P. Maroco, T.P. Dos Santos, M.L. Rodrigues, C.M. Lopes, J.S. Pereira, and M.M. Chaves. 2005. Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon

isotope composition ($\delta C-13$) of field-grown grapevines under Mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany*. 56: 2163-2172.

- Ehdaie, B., G.A. Alloush, M.A. Madore, and J.G. Waines. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. Post anthesis changes in internode dry matter. *Crop Science*. 46: 735-746.
- Galili, G., G. Tang, X. Zhu, and B. Gakiere. 2001. Lysine catabolism: a stress and development super-regulated metabolic pathway. *Plant Biology*. 4: 261-266.
- Gardner, P., R. Brent Pearce, and R.L. Mitchell. 1999. Physiology of crop plants. Jahad Mashhad University Press. (In Persian).
- Hanson, A., N.E. Hoffman, and C. Samper. 1986. Identifying and manipulating metabolic stress-resistance. *Horticultural Science*. 21: 1313-1317.
- Hare, P.D., and W.A. Cress. 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*. 21: 79-102.
- Hong, Z., K. Lakkineni, Z. Zhang, and D.P. Verma. 2000. Removal of feedback inhibition of δ (1)-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiology*. 122(4): 1129-1136.
- Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conduction soil tests and plant analysis. CRC Press LLC, U.S.
- Kavi Kishor, P.B., S. Sangam, R.N. Amrutha, P. Sri Laxmi, K.R. Naidu, and K. Rao. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*. 88(3): 424-438.
- Kerepesi, I. 1998. Osmotic and salt stresses induced differential alteration in water soluble carbohydrate content in wheat seedling. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 5347-5354.
- Losak, T., J. Hlusek, R. Filipcik, L. Pospisilova, J. Manasek, and K. Prokes. 2010. Effect of nitrogen fertilization on metabolism of essential and non-essential amino acids yield-grown grain maize (*Zea mays* L). *Plant, Soil Environment*. 56: 574-579.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Academic Press. Ltd. London. 889p.
- Mousavi, S.G.R., M.J. Mir Hadi, S.A. Siadat, Gh. Noor Mohamadi, and F. Darvish. 2010. Effect of water stress and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of Sorghum and forage millet. *Journal of New Agricultural Sciences*. 5 (15): 101-114. (In Persian).
- Munns, R., and R.A. James. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant & Soil*. 253: 201-218.
- Natali, S., C. Bignami, and A. Fusari. 1991. Water consumption, photosynthesis, transpiration and leaf water potential in *Olea europaea* L. cv. "Frantoio" at different levels of available water. *Journal of Agriculture*. 121 (3): 205-212.

- Omokolo, N.D., N.G. Tsala, and P.F. Djocgoue. 1996. Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with *Phytophthora megakarya* Bra and Grif. *Annual Botany –London*. 77:153-158.
- Pagter, M., C. Bragato, and H. Brix, 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*. 81: 285-299.
- Pang, XM., Z.Y. Zhang, X.P. Wen, Y. Ban, and T. Moriguchi. 2007. Polyamines, all purpose players in response to environment stresses in plants. *Plant Stress*. 1: 173-188.
- Patakas, A., N. Nikolaou, E. Zioziou, K. Radoglou, and B. Noitsakis. 2002. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought stressed grapevines. *Plant Science*. 163: 361-367.
- Poovaiah, B.W., and A.S.N. Reddy. 2000. Calcium messenger systems in plants. *Critical Reviews in Plant Science*. 6: 47-102.
- Roje, S. 2006. S-Adenosyl-l-methionine: beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*. 67: 1986-1698.
- Roychoudhury, A., S. Basu, S.N. Sarkar, and D.N. Sengupta. 2008. Comparative physiological and molecular responses of a common aromatic indica rice cultivar to high salinity with non-aromatic indica rice cultivars. *Plant Cell Reports*. 27(8): 1395–1410.
- Sanayei, S. 2012. Effect of mineral nitrogen on growth and nitrogen use efficiency of alfalfa under water deficit. MSc thesis of University of Mohaghegh Ardabili. (In Persian).
- Sanders, D., C. Brownlee, and J.F. Harper. 1999. Communicating with calcium. *Plant Cell*. 11: 691-706.
- Setayesh Mehr, Z., and A. Ganjali. 2013. Evolution of effect of water stress on dill growth and physiological parameter. *Horticulture Science*. 27(1): 27-35.
- Shabala, S., and T.A. Cuin. 2008. Potassium transport and plant salt tolerance. *Plant Physiology*. 133: 651-69.
- Silveira, J.A.G., S.A.M. Araujo, J.P.M.S. Lima, and R.A.Viegas. 2010. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplexnum mularia*. *Environmental and Experimental Botany*. 66: 1-8.
- Staden, J., P.D. Hare, and W.A. Cress. 1999. Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating stress-related signal transduction. *Journal of Experimental Botany*. 50 (333): 413-434.
- Tavakoli, H., A. Ebadi, P. Tizfahm, and N.Tavakoli. 2015. Effect of MgCl₂ pretreatment on germination characteristics and physiological processes of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under different temperatures. *Journal of Seed Research*. 4(4): 70-82. (In Persian).
- Turkan, I. 2011. Plant responses to drought and salinity stress. Development in a post-Genomic era. *Advances Botany Research*. 593p.
- Very, A.A., and H. Sentenac. 2003. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*. 54: 575-603.

- Wang, S., Ch. Wan, Y. Wang, H. Chen, Z. Zhou, H. Fu, and R.E. Sosebee. 2004. The characteristics of Na⁺, K⁺ and free proline distribution in several drought-resistant plants of the Alexa Desert, China. *Journal of Arid Environments*. 56: 525-539.
- William, H. 2000. Official methods of analysis of AOAC international. 17nd ed. USA: AOAC International. 100p.
- Zhu, G.Y., J.M. Kinett, and S. Lutts. 2001. Characterizations of rice (*Oryza sativa* L.) F₃ populations selected for salt resistance. I. Physiological behavior during vegetative growth. *Euphytica*. 121: 250-263

Variations of Dry Matter Yield, Some of Osmolytes and Nutrient Elements in Wheat Genotypes (*Triticum aestivum* L.) under Drought Stress

Tavakoli, N.¹, A. Ebadi Khazineh^{2*}, and H. Tavakoli³

Received: December 2014, Accepted: 8 August 2015

Abstract

To study variations of osmolytes and nutrient elements in wheat genotypes under drought stress a factorial experiment based on completely randomized design with three replications was carried in both greenhouse and laboratory of Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. Treatments consisted of water deficit in three levels (85%, 60% and 35% of field capacity) and five wheat genotypes (Mihan, C-88D-7, C-88D-17, C88D-19 and C88D-20). Results showed that increasing water deficit resulted in reduced amount of potassium, whereas, elements like sodium, phosphorus, proline and soluble sugar were significantly increased. Drought stress, however, reduced the total protein content in C-88D-19, C-88D-17 and C-88D-20 genotypes and, calcium content in 'Mihan' and C-88D-19. In the mean time, protein and calcium contents increased in other genotypes in such a way that total protein content of 'Mihan' and C-88D-7 and, calcium content of C-88D-20, C-88D-17 and C-88D-7 were increased with increasing drought stress. Since C-88D-20 showed lowest proline and soluble sugar accumulation and biomass production than other genotypes it would be considered as a sensitive genotype to water stress as compared to the other genotypes.

Key words: Elements, Proline, Water deficit, Wheat genotypes.

1- MSc. Graduated of Agronomy, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3- PhD. Student of Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

* *Corresponding Author:* nasibhtavakoli93@gmail.com