Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

The study of different irrigation regimes on the osmoregulation of pollen grain and chlorophyll and proline content in wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.)

Zahra Karimi Dastgerdi[1], Shahram Mohammady[*2], Saadollah Hoshmand[3], Mohammad Rabiei[4]

1. Ph.D. Student, Dept. of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: z.karimi1370@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mohammadyshahram@yahoo.com
3. Professor, Dept. of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: houshmand@sku.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: rabiei@sku.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 06.25.2021
Revised: 08.21.2021
Accepted: 09.21.2021

Keywords:
Different Irrigation Regimes, Pollen grain osmoregulation, Proline and chlorophyll, Wheat

ABSTRACT

Background and Objectives: Drought reduces the water potential of the soil and in such conditions the plant can osmoregulation in order to preserve and continue water absorption. Osmoregulation in pollen grains can be used as an indicator in wheat breeding programs to increase drought tolerance. The aim of this study was to study drought tolerance and selection of the most tolerant genotype of wheat through the effect of different irrigation regimes on chlorophyll, proline, osmoregulation of pollen grains and selection of the best genotypes for planting in arid and semi-arid regions with high yield.

Materials and Methods: In order to analyze the effects of three different humidity regimes on the osmoregulation of pollen grain, chlorophyll and proline content three different experiments were carried out in randomized completely block designs with three replications. The three different humidity regimes included normal conditions (without stress), water-stress in meiosis stage and continuous water stress (30% of Field Capacity). The genotypes studied in this experiment included genotype Alvand, Ehdaei 81, Ehdaei 82, Oxley and Chinese Spring.

Results: The results of analysis of variance in non-stress and stress conditions showed that there was a significant difference between genotypes in terms of most traits. The reaction of wheat genotypes was different in three experiments, but drought stress increased proline content and decreased chlorophyll content in all stresses. Chinese Spring genotype under normal irrigation conditions and stress in meiosis stage and 30% field capacity stress by storing more proline and chlorophyll and preventing the decomposition of these materials were identified as the most drought tolerant genotype. Osmoregulation has a positive relationship with grain yield and genotype Ehdaei 82 (1.05 g) have the ability of osmoregulation and high grain yield under drought stress conditions in the meiotic stage. Under different water conditions, the higher projected pollen grain area PEG 50% and the smaller projected pollen grain area PEG 30%, Osmoregulation increases significantly.

Conclusion: The results showed that drought stress reduced the evaluated traits and genotype is more tolerant to drought that stores the highest content of proline and chlorophyll in leaves. Chinese Spring genotype was the most tolerant genotype with the highest content of proline and chlorophyll and high osmoregulation under normal irrigation conditions. Chinese Spring is in the group of genotype does not have the ability of osmoregulation and is suitable for dry conditions. This genotype is adapted to stress conditions by using other drought tolerance mechanisms and if improved for osmoregulation under stress conditions, it can be more adapted for cultivation in arid areas.

Cite this article: Karimi Dastgerdi, Zahra, Mohammady, Shahram, Hoshmand, Saadollah, Rabiei, Mohammad. 2022. The study of different irrigation regimes on the osmoregulation of pollen grain and chlorophyll and proline content in wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Production Research*, 29 (2), 159-182.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2021.19257.2841
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

بررسی تأثیر رژیم‌های متفاوت تنش خشکی بر توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده و محتوای کلروفیل و پرولین در ژنوتیپ‌های گندم

زهرا کریمی دستگردی[۱]، شهرام محمدی*[۲]، سعداله هوشمند[۳]، محمد ربیعی[۴]

۱. دانشجوی دکتری گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. شهرکرد، ایران. رایانامه: z.karimi1370@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: mohammadyshahram@yahoo.com
۳. استاد گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران. رایانامه: houshmand@sku.ac.ir
۴. استادیار گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران. رایانامه: rabiei@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰

واژه‌های کلیدی:
پرولین و کلروفیل،
تنش خشکی،
تنظیم اسمزی دانه گرده،
گندم

چکیده

سابقه و هدف: خشکی باعث کاهش پتانسیل آب خاک شده و در این شرایط گیاه به منظور حفظ جذب آب می‌تواند به تنظیم اسمزی اقدام کند. تنظیم اسمزی در دانه گرده می‌تواند به‌عنوان یک شاخص در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این پژوهش بررسی تحمل به خشکی و انتخاب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های گندم از طریق اثر سطوح متفاوت آبیاری بر محتوای کلروفیل، پرولین، تنظیم اسمزی دانه گرده و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک با عملکرد بالا بود.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر سه رژیم متفاوت تنش خشکی بر توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده و محتوای کلروفیل و پرولین سه آزمایش جداگانه (کشت در شرایط بدون تنش (آبیاری نرمال)، کشت در شرایط تنش در مرحله میوز (مراحل ۴۰-۴۹ زادوکس) و تنش تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و ۵ ژنوتیپ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی واقع در دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۹ انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این آزمایش شامل ژنوتیپ الوند، ژنوتیپ‌های در دست اصلاح اهدایی ۸۱، اهدایی ۸۲، ژنوتیپ‌های خارجی اکسلی و چاینزاسپرینگ بودند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس در شرایط بدون تنش و تنش نشان داد که از لحاظ اکثر صفات، بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد وجود داشت. عکس‌العمل ژنوتیپ‌های گندم در سه آزمایش متفاوت بود، ولی تنش خشکی در همه انواع تنش‌ها موجب افزایش محتوای پرولین و کاهش محتوای کلروفیل شد. ژنوتیپ چاینزاسپرینگ در شرایط

آبیاری نرمال (به ترتیب با مقادیر ۲۹/۶۶ و ۷۲/۰۰ میلی‌گرم بر گرم کلروفیل و پرولین) و در شرایط تنش در مرحله میوز و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (به ترتیب با ۲۸/۵۷ و ۲۳/۲۰ میلی‌گرم برگرم کلروفیل و ۱۰۰/۵۰ و ۱۱۸/۷۵ میلی‌گرم بر گرم پرولین) با ذخیره حجم بیش‌تر پرولین و کلروفیل و جلوگیری از تجزیه این مواد متحمل‌ترین ژنوتیپ به خشکی شناخته شد. تنظیم اسمزی رابطه مثبت با عملکرد دانه داشته و عملکرد دانه ژنوتیپ اهدایی ۸۲ (۱/۰۵ گرم) با توانایی تنظیم اسمزی بالا در شرایط خشکی در مرحله میوز بیش‌تر از ژنوتیپ‌های فاقد توانایی تنظیم اسمزی است. در شرایط متفاوت آبی هرچه مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن گلایکول ۵۰ درصد بیش‌تر و مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن گلایکول ۳۰ درصد کم‌تر باشد، تنظیم اسمزی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد که تنش خشکی در همه انواع تنش‌ها موجب کاهش صفات مورد ارزیابی گردید و ژنوتیپی به خشکی متحمل‌تر است که بیش‌ترین محتوای پرولین و کلروفیل را در برگ‌ها ذخیره کند. به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های دارای توانایی تنظیم اسمزی در صفت تحمل به خشکی مشترک هستند. ژنوتیپ چاینزاسپرینگ با دارا بودن بیش‌ترین محتوای پرولین و کلروفیل و توانایی تنظیم اسمزی بالا در شرایط آبیاری نرمال متحمل‌ترین ژنوتیپ بود. این ژنوتیپ در گروه ژنوتیپ‌های فاقد توانایی تنظیم اسمزی می‌باشد و مناسب برای کشت در شرایط خشک است که با استفاده از سایر سازوکارهای تحمل به خشکی به شرایط تنش سازگاری داشته و در صورتی که برای توانایی تنظیم اسمزی در شرایط تنش بهبود یابد، می‌تواند سازگاری بیش‌تری برای کشت در مناطق خشک پیدا کند.

استناد: کریمی دستگردی، زهرا، محمدی، شهرام، هوشمند، سعداله، ربیعی، محمد (۱۴۰۱). بررسی تأثیر رژیم‌های متفاوت تنش خشکی بر توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده و محتوای کلروفیل و پرولین در ژنوتیپ‌های گندم. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹ (۲)، ۱۸۲-۱۵۹.

DOI: 10.22069/JOPP.2021.19257.2841

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

آب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک است. تقریباً ۳۲ درصد از مناطق کشت گندم انواع مختلفی از تنش خشکی را در طول فصل رشد تجربه می‌کنند (۱). کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و میانگین بارندگی آن حدود یک سوم میانگین جهانی بارندگی می‌باشد، بنابراین با تنش‌های خشکی و خشکسالی‌های متناوبی درگیر است (۲). تنش خشکی باعث کاهش پتانسیل آب خاک شده و در چنین شرایطی گیاه به منظور حفظ و ادامه جذب آب می‌تواند به تنظیم اسمزی اقدام کند. تنظیم اسمزی یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل و سازگاری سلول در مواجهه با تنش خشکی است (۳). صفت تنظیم اسمزی در برگ پرچم و دانه گرده می‌تواند به‌عنوان یک شاخص در برنامه‌های به‌نژادی گندم برای افزایش تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (۴). تنظیم اسمزی، بر اثر کاهش پتانسیل اسمزی از طریق تجمع املاح در سلول‌های گیاهی حاصل شده و با حفظ فشار آماس سلول‌ها، به توسعه سلولی و رشد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند (۵). گیاهان غلظت بعضی از متابولیت‌ها را با استفاده از این سازوکار در سلول‌های خود افزایش می‌دهند (۶). مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی، بیش‌تر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی هستند. پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد (۷). در شرایط کمبود آب تولید پرولین آزاد افزایش می‌یابد که سبب کاهش پتانسیل آبی محلول خاک و افزایش فشار اسمزی شیره سلول می‌شود (۸). در گندم تحت تنش خشکی پرولین محلول‌های اسمزی غالب بوده است (۹). گزارش شده است که تحت تنش خشکی محتوای پرولین در رقم گندم مقاوم، بیش‌تر از رقم حساس بود (۹).

به نظر می‌رسد تنش خشکی و کاهش آب بافت‌های گیاهی سبب کاهش رشد، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، تحت‌تأثیر قرار گرفتن تنفس و تجمع پرولین می‌شود (۱۰، ۱۱ و ۱۲). در تنش خشکی فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم دچار اختلال می‌گردد تنش خشکی با تاثیر روی میزان فتوسنتز گیاه و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث کاهش عملکرد می‌گردد (۱۳). میزان رنگیزه فتوسنتزی کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (۱۴). دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی‌مقاومت به تنش است. کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل گردیده و گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است در اثر تنش به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌شود (۱۵). بر همین اساس پژوهش‌گران بسیاری اثر منفی و کاهنده تنش خشکی را بر کلروفیل a و b، پروتئین و پرولین به اثبات رسانده‌اند (۱ و ۱۲). پسارکلی (۱۹۹۹) بیان می‌دارد که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (۱۶).

از آن‌جا که یک نسخه از DNA بوته مادری در سلول‌های دانه گرده وجود دارد، بنابراین هر گاه دانه‌های گرده در معرض محلول تنش‌زایی مانند پلی‌اتیلن‌گلایکول قرار گیرند، ژن‌های مربوط به تنظیم اسمزی بیان شده و صفات مربـوط به آن‌ها بروز می‌نمایند (۱۷)، بنابراین می‌توان از دانه گرده برای

تشخیص توانایی تنظیم اسمزی در گیاهان استفاده کرد (۳ و ۱۷). مطالعات نشان می‌دهد که بین میزان عملکرد دانه و تنظیم اسمزی همبستگی مثبت وجود دارد. هرچه توانایی تنظیم اسمزی در گیاه بالاتر باشد، تحمل به خشکی بیش‌تر بوده و در نتیجه عملکرد بیش‌تری به‌دست می‌آید (۱۸).

هدف از این پژوهش بررسی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم با استفاده از اثر سطوح متفاوت تنش خشکی بر میزان رنگیزه فتوسنتزی کلروفیل، اسید آمینه پرولین، تنظیم اسمزی دانه گرده و در نتیجه انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها برای کاشت در مناطق خشک و نیمه خشک و در نتیجه شناسایی ارقام دارای عملکرد بالا برای کشت در این مناطق بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر شرایط متفاوت تنش آبی بر میزان کلروفیل، پرولین و تنظیم اسمزی دانه گرده ژنوتیپ‌های گندم شامل ارقام اصلاح شده و ژنوتیپ‌های در دست اصلاح آزمایش‌های جداگانه بر پایه طرح آزمایشی بلوک کامل تصادفی با ۴ تکرار و در سه شرایط متفاوت از تنش آبی در مجموعه گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. کاشت بذور در اسفند ۱۳۹۸ صورت گرفت و از هر ژنوتیپ سه بذر در گلدان‌ها با قطر ۲۰ سانتی‌متر و پر شده با نسبت برابر از خاک ماسه، خاک معمولی و گیاه خاک کاشته شدند. در جدول نام و منشا ژنوتیپ‌ها آمده است.

جدول ۱- نام و منشا ارقام و لاین‌های مورد استفاده.

Table 1. Name and origin of cultivars and lines used.

شماره* Number*	نام ژنوتیپ Genotype	منشا Source
1	الوند (Alvand)	ایران (رقم زراعی) Iran (Agricultural cultivar)
2	اهدایی ۸۱ (Ehdaei81)	لاین نوترکیب حاصل تلاقی Recombinant line from the intersection Chinese Spring×Yecora Rojo
3	اهدایی ۸۲ (Ehdaei82)	لاین نوترکیب حاصل تلاقی Recombinant line from the intersection Chinese Spring×Yecora Rojo
4	اکسلی (Oxley)	استرالیا (رقم زراعی) Australia (Agricultural cultivar)
5	چاینزاسپرینگ (ChineseSpring)	چین (رقم بومی) China (native cultivar)

* ژنوتیپ‌های ارائه شده ردیف‌های ۳ و ۴ توسط آقای دکتر اهدایی تولید و ارسال شده است

* Genotypes 3 and 4 Were Submitted by Dr. Ehdaei

روش اعمال تنش: این آزمایش در سه شرایط رطوبتی جداگانه انجام شد. در حالت اول گیاهان در شرایط نرمال رطوبتی رشد داده شدند. در این حالت ظرفیت مزرعه‌ای خاک گلدان‌ها هیچ‌گاه از ۷۰ درصد پایین‌تر نیامد. هر یک روز در میان تعدادی از گلدان‌ها وزن و با توجه به کاهش وزن و قبل از رسیدن ظرفیت مزرعه‌ای به پایین ۷۰ درصد، همه گلدان‌ها تا ظرفیت مزرعه‌ای آبیاری شدند. در شرایط دوم یک نوع تنش پیوسته بعد از استقرار گیاه اعمال شد. در این حالت به گیاهان تا سطح ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای تنش وارد شد. این تنش تا رسیدن کامل گیاه ادامه یافت و در شرایط سوم تنها در مرحله تقسیم میوز (مراحل تا ۴۰-۴۹ زادوکس) به مدت ۷ روز بسته به درجه حرارت محیط آبیاری متوقف شد. قبل و بعد از این مراحل گلدان‌ها تا ظرفیت مزرعه‌ای آبیاری شدند. در این حالت گیاهان تنها در مراحل تقسیم میوز تحت تنش قرار گرفتند و قبل و بعد از آن در شرایط نرمال آبیاری شدند.

صفات مورد بررسی

پرولین: مقدار پرولین با استفاده از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد (۱۹). در مرحله زایشی ۰/۰۱ تا ۰/۱ گرم از بافت برگ نمونه‌های گندم با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیک ۳ درصد سائیده شد تا مخلوط یکنواختی حاصل شود و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست آمده را به همراه ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین افزوده و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از سرد شدن محلول، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه و بلافاصله مخلوط شد. فاز آلی به رنگ صورتی در بالا و فاز بی‌رنگ و شفاف در زیر فاز آلی تشکیل شد. بخش رویی جدا و جذب آن با استفاده از اسپکتروفتومتر پس از کالیبره کردن با تولوئن در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد.

کلروفیل: جهت ارزیابی غلظت کلروفیل برگ از روش پیشنهادی آرنون (۱۹۵۶) استفاده شد (۲۰). بدین‌منظور ۰/۲ گرم از بافت برگ توزین و به قطعات کوچکی خرد شده و در یک هاون چینی در مقداری استون ۸۰ درصد کاملاً سائیده و حجم آن با استون ۸۰ درصد به ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. اپتیکال دانسیته عصاره برگ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۴۰ نانومتر قرائت گردید (۲۰، ۲۱).

توانایی تنظیم اسمزی: در این مطالعه تنظیم اسمزی روی دانه‌های گرده بررسی شد. برای انجام این کار نمونه‌برداری از دانه‌های گرده انجام و برای بررسی تنظیم اسمزی از روش مورگان (۱۹۹۹) استفاده شد (۱۷). پس از آمادگی بساک‌ها برای گرده‌افشانی از هر سنبلچه یک گلچه جدا و با دقت یکی از کیسه‌های بساک از داخل آن خارج و به دو نیم تقسیم و هر نیم روی یک لام جداگانه قرار گرفت. روی یک نیمه محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول ۳۰ درصد وزنی به عنوان شاهد و به نیمه دیگر محلول ۵۰ درصد وزنی به‌عنوان تنش خشکی اضافه شد. هم‌چنین محلول ۱۰ میلی‌مول کلرید پتاسیم به عنوان پایه در تهیه محلول‌های ۳۰ و ۵۰ درصد پلی‌اتیلن‌گلیکول مورد استفاده قرار گرفت (۱۷ و ۲۲). پس از آزاد شدن دانه‌های گرده در محلول باقی‌مانده بساک خارج شد. روی هر لام یک لامل قرار گرفته و پس از چند ساعت در اثر خروج مقداری

از محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول به بیرون از لامل و خشک شدن تدریجی، لامل بر روی لام ثابت شد. با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۴۰X اسلایدهای تهیه شده بررسی شدند. برای اندازه‌گیری خصوصیات دانه‌های گرده قسمت وسطی اسلایدها که دارای کیفیت مطلوبی هستند انتخاب و ابعاد دانه گرده با استفاده از لنز مدرج اندازه‌گیری و برای اندازه‌گیری مساحت دانه‌گرده استفاده شدند. از نسبت مساحت دانه گرده در محیط تنش به مساحت دانه گرده در محیط شاهد برای شناسایی ارقام دارای توانایی اسمزی استفاده شد (۱۸). در ارقام دارای توانایی تنظیم اسمزی، دانه‌های گرده در شرایط تنش شکل معمول خود را حفظ کردند و به حالت متورم باقی می‌مانند بنابراین در این ارقام نسبت تصویر دانه‌های گرده در شرایط تنش به مساحت تصویر دانه گرده در شرایط شاهد بیش‌تر از یک شد، ولی در ارقام فاقد توانایی تنظیم اسمزی، دانه‌های گرده در شرایط تنش دچار چروکیدگی شدند و نسبت مساحت دانه‌های گرده شرایط تنش به مساحت تصویر دانه‌های گرده شاهد کم‌تر از یک شد (۱۷ و ۲۳).

صفات زراعی: صفات زراعی اندازه‌گیری شده شامل عملکرد دانه در بوته، عملکرد زیستی (وزن خشک کل اندام هوایی) و شاخص برداشت که از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک است بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: برای همه صفات اندازه‌گیری شده تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با استفاده از نرم‌افزارآماری SAS نسخه ۹/۰ انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به کلروفیل (a، b و کل)، کاروتنوئید، پرولین و شاخص برداشت نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاه از لحاظ آماری در همه سطوح آبیاری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول‌های ۲، ۳ و ۴). بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه در بوته در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله میوز اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید و اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود. نتایج تجزیه واریانس برای صفات مربوط به خصوصیات دانه گرده در شرایط متفاوت آبیاری نشان داد که شرایط آبیاری نرمال و تنش در مرحله میوز باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها برای صفات مساحت دانه گرده با حضور پلی‌اتیلن گلیکول ۵۰ درصد و نسبت مساحت دانه گرده شد. تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۱) بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای صفت مساحت دانه گرده با حضور پلی‌اتیلن‌گلیکول ۳۰ درصد شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط آبیاری نرمال.

Table 2. Analysis of variance of characters under normal irrigation conditions (70% Field Capacity).

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای کاروتنوئید Carotenoids content	محتوای پرولین Proline content	مساحت دانه گرده Pollen grain area		نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%
							PEG 30%	PEG 50%	
تیمار Treat	4	34.24**	2.11**	53.20**	0.05**	521.85**	460506.59^{ns}	212454.38**	0.11*
بلوک Block	3	0.4^{ns}	0.27**	1.19*	0.001^{ns}	15.42^{ns}	109900.98^{ns}	238548.52**	0.08^{ns}
خطا Error	12	0.13	0.02	0.29	0.001	9.80	198038.34	36717.25	0.03
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		1.77	2.33	2.03	10.71	5.49	20.60	11.38	22.22

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد زیستی Biological yield	وزن صد دانه 100 Seed yield	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد دانه در بوته Grain yield
تیمار Treat	4	3.27*	1.83**	168.61**	0.30^{ns}
بلوک Block	3	0.65^{ns}	0.55*	18.47^{ns}	0.07^{ns}
خطا Error	12	0.85	0.13	24.89	0.19
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		21.40	16.66	14.54	30.23

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش در مرحله میوز.

Table 3. Analysis of variance of characters under water-stress (stress in meiotic stage).

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای کاروتنوئید Carotenoids content	محتوای پرولین Proline content	مساحت دانه گرده Pollen grain area		نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%
							PEG 30%	PEG 50%	
تیمار Treat	4	49.61**	4.37**	73.86**	0.03**	429.08**	51497.72ns	441138.74**	0.14**
بلوک Block	3	0.30 ns	0.13 ns	0.89 ns	0.00001 ns	49.40 ns	1628.45 ns	22609.69 ns	0.003 ns
خطا Error	12	0.32	0.04	0.88	0.001	19.61	40728.68	20978.33	0.01
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.29	4.10	4.19	9.08	4.91	10.29	9.49	12.75

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد زیستی Biological yield	وزن صد دانه 100 Seed yield	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد دانه در بوته Grain yield
تیمار Treat	4	3.30**	1.09ns	399.88**	0.08ns
بلوک Block	3	0.04 ns	0.77 ns	6.39 ns	0.02 ns
خطا Error	12	0.53	0.53	51.17	0.04
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		18.82	38.54	25.51	20.76

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی.

Table 4. Analysis of variance of characters under water-stress (30% of Field Capacity).

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای کاروتنوئید Carotenoids content	محتوای پرولین Proline content	مساحت دانه گرده Pollen grain area		نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%
							PEG 30%	PEG 50%	
تیمار Treat	4	25.56**	2.62**	31.48**	0.03**	841.20**	479045.27**	13943.27^{ns}	0.05^{ns}
بلوک Block	3	0.23 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.56 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	38.60 ^{ns}	11721.41 ^{ns}	38526.92 ^{ns}	0.02 ^{ns}
خطا Error	12	0.28	0.06	1.31	0.001	17.27	52950.06	77847.71	0.03
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.22	4.95	5.52	9.78	4.24	11.53	21.31	25.68

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ٤-

Continue Table 4.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد زیستی Biological yield	وزن صد دانه 100 Seed yield	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد دانه در بوته Grain yield
تیمار Treat	4	1.53^{ns}	1.17**	362.53**	0.19**
بلوک Block	3	0.22 ^{ns}	0.06 ^{ns}	12.48 ^{ns}	0.05*
خطا Error	12	0.52	0.04	22.06	0.01
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		21.39	11.77	20.97	16.23

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

اثر تنش خشکی روی غلظت کلروفیل: در گندم، کاهش محصول به واسطه خشکسالی‌های اخیر در سرتاسر جهان از یک سو و تقاضای روزافزون از سوی دیگر باعث شده است که تلاش‌های گسترده‌ای در جهت شناسایی صفات مرتبط با مقاومت به خشکی و استفاده از راهکارهای اصلاح با هدف توسعه ارقام مقاوم به خشکی صورت گیرد. میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه شناسایی ارقام مقاوم به خشکی است (۲۴). دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش است. ژنوتیپ چاینزاسپرینگ در شرایط تنش در مرحله میوز و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و شرایط بدون تنش با دارا بودن بیش‌ترین میزان کلروفیل a، b و کل مقاوم‌ترین ژنوتیپ به خشکی بود و ژنوتیپ الوند با تجزیه کلروفیل در زمان وقوع تنش با کم‌ترین غلظت کلروفیل حساس‌ترین ژنوتیپ به خشکی بود (جدول‌های ۵، ۶ و ۷). تنش خشکی در مراحل مختلف رشد اثرات متفاوتی به جا می‌گذارد. اثر منفی تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بیش‌تر از سایر مراحل رشد می‌باشد. در این پژوهش بررسی اثر تنش خشکی روی میزان کلروفیل نشان داد که خشکی در مرحله میوز و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی باعث تجزیه و کاهش در میزان غلظت کلروفیل a، b و کل می‌شود. میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (۲۴). با کاهش محتوای کلروفیل میزان فتوسنتز کاهش یافته در نتیجه میزان عملکرد دانه در بوته و حجم سبز رویشی و در نتیجه شاخص برداشت نیز کاهش یافت. لنبانی و ارزانی (۲۰۱۱) بیان نمود که در گیاهان علائم بروز تنش‌های اکسیداتیو شامل کاهش محتوای کلروفیل و نفوذپذیری غشاء می‌باشند که منجربه کاهش فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه می‌شوند. تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل گردیده و کاهش کلروفیل موجب کاهش فتوسنتز شده در نتیجه رشد گیاه گندم و متعاقب آن عملکرد محصول کاهش می‌یابد (۲۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم در شرایط آبیاری نرمال.

Table 5. Mean Comparison under normal irrigation conditions (70% Field Capacity).

ژنوتیپ‌ها Genotypes	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll b (mg/g)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم) Total chlorophyll (mg/g)	محتوای کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم) Carotenoids content (mg/g)	محتوای پرولین (میلی‌گرم بر گرم) Proline content (mg/g)	مساحت دانه گرده (میکرومتر مربع) Pollen grain area (μm²)		نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%
						PEG 30%	PEG 50%	
اکسلی Oxley	21.12^{b}	6.01^{a}	27.44^{c}	0.52^{a}	66.55^{b}	2707.0^{a}	1593.3^{b}	0.63^{c}
اهدایی۸۱ Ehdaei81	20.15^{c}	5.58^{c}	25.78^{d}	0.26^{cd}	46.75^{c}	1872.3^{b}	1783.6^{ab}	0.96^{ab}
الوند Alvand	15.76^{d}	4.44^{d}	20.30^{e}	0.24^{d}	50.50^{c}	2259.3^{ab}	1506.8^{b}	0.70^{bc}
اهدایی۸۲ Ehdaei82	22.79^{a}	5.47^{c}	28.38^{a}	0.31^{c}	49.30^{c}	1935.5^{b}	1494.5^{b}	0.78^{abc}
چاینزاسپرینگ Chinese Spring	22.97^{a}	6.37^{a}	29.66^{a}	0.39^{b}	72.00^{a}	2025.1^{ab}	2040.4^{a}	1.02^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون $LSD_{0.05}$ اختلاف معنی‌دار ندارند

In each column, means having similar letters are not significantly different Using LSD test at 5 percent of probability

ادامه جدول ۵-

Continue Table 5.

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد زیستی (گرم) Biological yield (g)	وزن صد دانه (گرم) 100 Seed yield (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%)	عملکرد دانه در بوته (گرم) Grain yield (g)
اکسلی Oxley	5.29^{a}	1.66^{b}	26.04^{c}	1.39^{ab}
اهدایی۸۱ Ehdaei81	2.85^{b}	1.72^{b}	37.58^{ab}	1.06^{b}
الوند Alvand	4.51^{a}	2.06^{b}	33.31^{bc}	1.50^{ab}
اهدایی۸۲ Ehdaei82	4.19^{ab}	3.33^{a}	43.26^{a}	1.83^{a}
چاینزاسپرینگ Chinese Spring	4.69^{a}	2.12^{b}	31.40^{bc}	1.50^{ab}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون $LSD_{0.05}$ اختلاف معنی‌دار ندارند

In each column, means having similar letters are not significantly different Using LSD test at 5 percent of probability

جدول ٦- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم در شرایط تنش در مرحله میوز.

Table 6. Mean Comparison under meiotic stress conditions (stress in meiotic stage).

ژنوتیپ‌ها Genotypes	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll b (mg/g)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم) Total chlorophyll (mg/g)	محتوای کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم) Carotenoids content (mg/g)	محتوای پرولین (میلی‌گرم بر گرم) Proline content (mg/g)	مساحت دانه گرده (میکرومتر مربع) Pollen grain area (μm²)		نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%
						PEG 30%	PEG 50%	
اکسلی Oxley	17.64[b]	5.24[b]	23.09[b]	0.39[a]	92.50[b]	1935.5[a]	1295.3[c]	0.67[b]
اهدایی ۸۱ Ehdaei81	15.97[c]	4.55[c]	20.68[c]	0.23[c]	79.75[c]	2088.8[a]	1425.6[bc]	0.69[b]
الوند Alvand	12.81[d]	3.81[d]	16.72[d]	0.17[d]	99.00[ab]	1842.9[a]	1254.2[c]	0.69[b]
اهدایی ۸۲ Ehdaei82	22.54[a]	6.64[a]	28.57[a]	0.31[b]	100.50[a]	2067.0[a]	1585.0[b]	0.77[b]
چاینزاسپرینگ Chinese Spring	17.60[b]	5.01[b]	22.79[d]	0.26[c]	78.75[c]	1842.9[a]	2074.1[a]	1.12[a]

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون $LSD_{0.05}$ اختلاف معنی‌دار ندارند

In each column, means having similar letters are not significantly different Using LSD test at 5 percent of probability

ادامه جدول ٦-

Continue Table 6.

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد زیستی (گرم) Biological yield (g)	وزن صد دانه (گرم) 100 Seed yield (g)	عملکرد دانه در بوته (گرم) Grain yield (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%)
اکسلی Oxley	4.34[ab]	1.36[a]	0.90[ab]	20.79[cd]
اهدایی ۸۱ Ehdaei81	5.13[a]	1.33[a]	0.82[b]	15.92[d]
الوند Alvand	2.81[c]	2.05[a]	1.09[ab]	39.79[a]
اهدایی ۸۲ Ehdaei82	3.26[bc]	2.42[a]	1.05[ab]	27.77[bc]
چاینزاسپرینگ Chinese Spring	3.85[bc]	2.32[a]	1.17[a]	35.93[ab]

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون $LSD_{0.05}$ اختلاف معنی‌دار ندارند

In each column, means having similar letters are not significantly different Using LSD test at 5 percent of probability

جدول ۷- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم در شرایط تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی.

Table 7. Mean Comparison under water stress (30% of field capacity).

ژنوتیپ‌ها Genotypes	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم) Chlorophyll b (mg/g)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم) Total chlorophyll (mg/g)	محتوای کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم) Carotenoids content (mg/g)	محتوای پرولین (میلی‌گرم بر گرم) Proline content (mg/g)	مساحت دانه گرده (میکرومتر مربع) Pollen grain area (μm^2)		نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%
						PEG 30%	PEG 50%	
اکسلی Oxley	17.34^{b}	4.88^{b}	21.86^{ab}	0.37^{a}	102.75^{b}	2314.5^{a}	1366.4^{a}	0.59^{ab}
اهدایی ۸۱ Ehdaei81	15.60^{c}	4.72^{b}	20.21^{b}	0.20^{c}	84.00^{c}	2036.1^{ab}	1378.7^{a}	0.68^{ab}
الوند Alvand	12.56^{d}	3.60^{c}	16.08^{c}	0.15^{d}	99.75^{b}	1793.2^{bc}	1258.5^{a}	0.70^{ab}
اهدایی ۸۲ Ehdaei82	19.25^{a}	5.87^{a}	23.20^{a}	0.27^{a}	118.75^{a}	2317.0^{a}	1286.1^{a}	0.56^{b}
چاینزاسپرینگ Chinese Spring	17.47^{b}	4.88^{b}	22.20^{a}	0.22^{c}	84.25^{c}	1514.5^{c}	1256.9^{a}	0.84^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون $LSD_{0.05}$ اختلاف معنی‌دار ندارند

In each column, means having similar letters are not significantly different Using LSD test at 5 percent of probability

ادامه جدول ۷-

Continue Table 7.

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد زیستی (گرم) Biological yield (g)	وزن صد دانه (گرم) 100 Seed yield (g)	عملکرد دانه در بوته (گرم) Grain yield (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%)
اکسلی Oxley	3.99^{a}	1.10^{d}	0.73^{bc}	18.16^{c}
اهدایی ۸۱ Ehdaei81	3.56^{a}	1.33^{cd}	0.42^{d}	12.76^{c}
الوند Alvand	3.47^{a}	2.41^{a}	0.97^{a}	28.44^{b}
اهدایی ۸۲ Ehdaei82	2.33^{b}	2.09^{b}	0.58^{cd}	16.70^{c}
چاینزاسپرینگ Chinese Spring	3.51^{a}	1.56^{c}	0.84^{ab}	35.91^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون $LSD_{0.05}$ اختلاف معنی‌دار ندارند

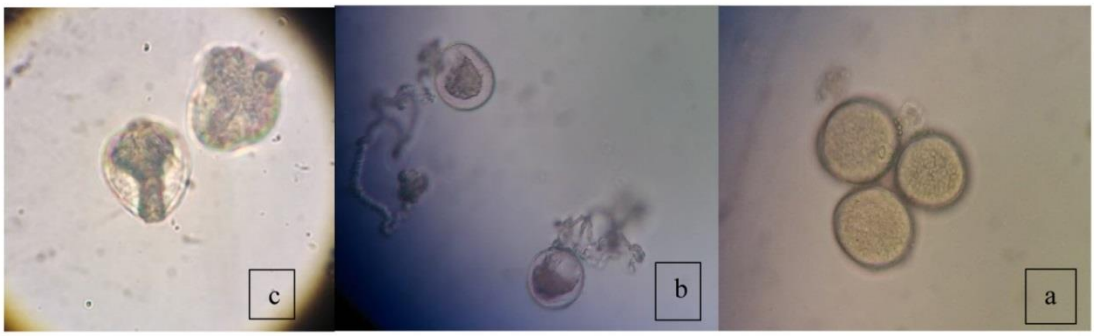
In each column, means having similar letters are not significantly different Using LSD test at 5 percent of probability

اثر تنش خشکی بر غلظت اسیدآمینه پرولین: مقایسه میانگین برای صفت میزان پرولین در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط متفاوت آبی نشان داد که در صورت آبیاری کامل و شرایط بدون تنش و نیز در شرایط تنش ژنوتیپ چاینزاسپرینگ بیش‌ترین میزان پرولین را داشت. کمترین میزان پرولین در شرایط بدون تنش و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در ژنوتیپ اهدایی ۸۱ (به ترتیب ۴۶/۷۵ و ۸۴/۰۰ µg/g) بود و با وقوع تنش در مرحله زایشی میزان اسیدآمینه پرولین در ژنوتیپ اهدایی ۸۲ با میانگین ۷۸/۷۵ µg/g به کم‌ترین غلظت خود رسید. در این پژوهش تحت تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافت. افزایش غلظت پرولین در گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته‌اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش می‌باشد. از آن‌جایی‌که کلروفیل و پرولین هر دو پیش ماده مشترکی به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش پرولین در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش کلروفیل می‌گردد (۲۶ و ۲۷). پژوهش‌گران گزارش کردند که میزان پرولین در برگ‌های جو دو برابر افزایش نشان داد که نشان‌دهنده تحمل به کم آبی بوده به طوری که ارقام متحمل، پرولین بیش‌تری نسبت به ارقام حساس داشتند (۲۷). تنش خشکی باعث تجزیه و کاهش غلظت پروتئین‌ها در برگ‌های بالغ شده و در نتیجه اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین افزایش می‌یابد. این اسیدآمینه به عنوان یکی از اسمولیت‌ها می‌تواند نقش مهمی در تنظیم اسمزی سلول‌ها داشته باشد (۲۷). در مطالعه هونگ بو و همکاران (۲۰۰۶) که بر روی گیاه گندم انجام شد میزان پرولین به عنوان شاخص مطلوبی در ارزیابی به مقاومت به خشکی معرفی گردید (۲۸).

اثر تنش خشکی بر میزان کاروتنوئید: مقایسات میانگین ژنوتیپ‌های گندم برای میزان کارتنوئید نشان داد که در شرایط متفاوت آبیاری ژنوتیپ اکسلی بیش‌ترین میزان کاروتنوئید (به ترتیب در شرایط بدون تنش، تنش در مرحله میوز و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی ۰/۵۲، ۰/۳۹ و ۰/۳۷ mg/g) را به خود اختصاص داد و کم‌ترین میزان آن در ژنوتیپ الوند در شرایط متفاوت آبی دیده شد. به‌طورکلی در شرایط بدون تنش میزان کلروفیل و کاروتنوئید حداکثر و میزان پرولین حداقل و سطوح تنش خشکی در مرحله میوز و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی کم‌ترین میزان کلروفیل و کاروتنوئید و بیش‌ترین میزان پرولین را داشتند. رنگدانه‌های کاروتنوئید در جمع‌آوری انرژی که می‌تواند در فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد و محافظت از تخریب کلروفیل نقش اساسی دارد (۲۷). بنابراین با وقوع تنش خشکی و تجزیه کاروتنوئید محافظت از کلروفیل‌ها کاهش یافته و غلظت کلروفیل و در نتیجه میزان فتوسنتز نیز روند کاهشی خواهد داشت.

توانایی تنظیم اسمزی: مساحت تصویر دانه‌های گرده ژنوتیپ‌های مختلف در محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول ۳۰ و ۵۰ درصد و نسبت مساحت‌ها در محلول ۵۰ درصد به ۳۰ درصد در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که این جدول‌ها نشان می‌دهد، نسبت مساحت تصویر دانه‌های گرده در شرایط آبیاری نرمال در ژنوتیپ چاینزاسپرینگ و در شرایط تنش در مرحله میوز ژنوتیپ اهدایی ۸۲ بیش‌تر از واحد و در بقیه ارقام کم‌تر از واحد می‌باشد. در ژنوتیپ‌های دارای توانایی تنظیم اسمزی، به دلیل این‌که تنظیم اسمزی به طور کامل انجام می‌شود، انتظار می‌رود که دانه‌های گرده در شرایط تنش خشکی به حالت متورم باقی مانده و شکل معمول

خود را حفظ کنند (شکل ۱ a) در این حالت نسبت مساحت تصویر دانه‌های گرده تیمار شده با PEG ۵۰٪ به مساحت تصویر دانه‌های گرده شاهد PEG ۳۰٪ از واحد بیش‌تر شد، اما در ارقام فاقد توانایی تنظیم اسمزی، به دلیل عدم بیان ژن or، دانه‌های گرده در محلول تنش زا چروکیده می‌شوند (شکل ۱ b و c) نسبت مساحت تصویر دانه‌های گرده تیمار شده بر مساحت تصویر دانه‌های گرده شاهد کم‌تر از واحد می‌شود (۱۷).



شکل ۱- a، b و c دانه‌های گرده نرمال، چروکیده و ترک خورده (عکس از نگارنده).

Fig. 1. a, b and c: normal, shrunken and burst pollen grains respectively.

ارقام دارای توانایی تنظیم اسمزی به نظر می‌رسد که در داشتن توانایی تنظیم اسمزی به عنوان یک صفت تحمل به خشکی مشترک هستند. با توجه به این‌که منشاء این ارقام متفاوت است، انتظار می‌رود که از لحاظ خصوصیات دیگری که ممکن است در ایجاد مقاومت به خشکی در آن‌ها وجود داشته باشد، سهم داشته باشند. ژنوتیپ چاینزاسپرینگ با دارا بودن بیش‌ترین غلظت پرولین و کلروفیل و توانایی تنظیم اسمزی بالا در شرایط بدون تنش و آبیاری کامل متحمل‌ترین ژنوتیپ به خشکی بود. از طرف دیگر در شرایط تنش ژنوتیپ چاینزاسپرینگ تنظیم اسمزی مناسبی از خود نشان نداد و در گروه ارقام فاقد توانایی تنظیم اسمزی قرار گرفت. استنباط می‌شود که این رقم با استفاده از سایر سازوکارهای تحمل به خشکی به شرایط تنش خشکی سازگاری داشته باشند و در صورتی که برای توانایی تنظیم اسمزی در شرایط تنش بهبود یابند بتوانند سازگاری بیش‌تری برای کشت در مناطق خشک پیدا کنند.

عملکرد دانه در بوته و وزن صد دانه: با توجه به جدول‌های مقایسات میانگین (جدول‌های ۵، ۶ و ۷)، براساس نوع ژنوتیپ عملکرد دانه و وزن صد دانه در شرایط تنش با کاهش همراه بوده و در شرایط نرمال و تنش در مرحله میوز ژنوتیپ اهدایی ۸۲ بیش‌ترین عملکرد دانه و وزن صد دانه (به ترتیب ۱/۸۳ و ۱/۱۷ گرم برای عملکرد دانه) (۳/۳۳ و ۲/۴۲ گرم برای وزن صد دانه) و ژنوتیپ اهدایی ۸۱ (به ترتیب ۱/۰۶ و ۰/۸۲ گرم) کم‌ترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. سایر نتایج نیز نشان داده‌اند که معمولاً کاهش در عملکرد دانه تحت شرایط تنش مشاهده می‌شود که این می‌تواند ناشی از کاهش تعداد دانه و یا وزن هزاردانه باشد. تنش خشکی در کاهش رشد و نمو گیاهان نقش مهمی دارد. کم‌ترین عملکرد موقعی است که تنش خشکی در طول مراحل رشد اعمال شود (۲۹). در شرایط تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در ژنوتیپ الوند (۰/۹۷ گرم) و کم‌ترین میزان عملکرد دانه در بوته در

ژنوتیپ اهدایی ۸۱ (۰/۴۲ گرم) مشاهده گردید. تأثیر تنش تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی عمدتا از طریق تأثیر بر وزن دانه اعمال می‌شود؛ بنابراین مرحله پر شدن دانه برای اجتناب از چروکیده شدن و کوچک شدن دانه‌ها باید آب مورد نیاز گیاه را تامین کرد و نباید گیاه با تنش روبرو شود (۳۰). نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر مبنی بر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی با یافته‌های قندی و جلالی (۲۰۱۳) در گندم مطابقت دارد (۳۱). رابطه مشخصی بین کاهش میزان کلروفیل برگ پرچم در ارقام مختلف در اثر تنش و مقاومت به خشکی آن‌ها از لحاظ عملکرد دانه در این بررسی مشاهده نشد که با نتایج مطالعه احمدی و سی و سه مرده (۲۰۰۴) مطابقت دارد (۳۲).

تأثیر تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی عمدتاً از طریق تأثیر بر وزن دانه اعمال می‌شود. وزن دانه در سنبله یکی از اجزای اصلی عملکرد دانه در گندم می‌باشد و به عنوان یک صفت مهم در انتخاب برای مقاومت به خشکی و درجه حرارت بالا مورد توجه قرار گرفته است بنابراین مرحله پر شدن دانه برای اجتناب از چروکیده شدن و کوچک شدن دانه‌ها باید آب مورد نیاز گیاه را تامین کرد و نباید گیاه با تنش روبرو شود (۲۹ و ۳۰). بنابراین ژنوتیپ الوند با داشتن بیش‌ترین وزن دانه (۲/۴۱ گرم) مقاوم‌ترین ژنوتیپ در شرایط تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی از نظر این صفت می‌باشد.

عملکرد زیستی: برای برآورد عملکرد بیولوژیک همه ماده خشک در بالای سطح خاک در نظر گرفته می‌شود. این مقدار شامل کاه و کلش و دانه می‌باشد. تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر تیمار برای وزن کل ماده خشک، در شرایط تنش در مرحله میوز و بدون تنش (جدول‌های ۲، ۳ و ۴) می‌باشد. در مطالعه فانی (۲۰۰۹) گزارش شد که برای وزن کل ماده خشک ژنوتیپ‌های مختلف گندم در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (۳۳) این در حالی است که در مطالعه رئیسی (۲۰۰۸) اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر وزن خشک در سطوح مختلف آبیاری وجود نداشت (۳۴). مقایسات ژنوتیپ‌ها برای صفت عملکرد زیستی نشان داد که در شرایط نرمال و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بیش‌ترین عملکرد زیستی در ژنوتیپ اکسلی (۵/۲۹ و ۳/۹۹ گرم) دیده شد به نظر می‌رسد این رقم با افزایش وزن زیست‌توده عملکرد خوبی را به خود اختصاص داده و در نهایت عملکرد بالای خود را از طریق افزایش تعداد پنجه در واحد سطح و نه وزن صد دانه به‌دست آورده است. در شرایط تنش میوز بیش‌ترین عملکرد زیستی در ژنوتیپ اهدایی ۸۱ و کم‌ترین مقدار عملکرد زیستی در ژنوتیپ الوند دیده شد. با توجه به این‌که تنش خشکی باعث کاهش طول دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی می‌شود پس تنش خشکی در این مرحله احتمال دارد از طریق کاهش رشد رویشی بر وزن بذر تأثیر گذاشته و باعث کاهش آن گردد (۳۳). نبی‌پور و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که کاهش عملکرد زیستی در اثر تنش مداوم خشکی می‌تواند ناشی از تأثیر منفی بر تعداد پنجه و تعداد سنبله باشد (۳۵). تنش رطوبت در مراحل مختلف نموی گندم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیستی و عملکرد دانه گندم شده است (۳۶).

شاخص برداشت: در شرایط تنش، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت و این کاهش موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود. مقایسات برای صفت شاخص برداشت در مراحل مختلف تنش آبی نشان داد که ژنوتیپ اهدایی ۸۲ در شرایط آبیاری نرمال و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بیش‌ترین میزان شاخص برداشت را به‌ترتیب با مقادیر

۴۳/۲۶ و ۳۵/۹۱ گرم به خود اختصاص دادند. در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ اکسلی با کم‌ترین میزان عملکرد زیستی، شاخص برداشت کمی را نشان داد.

در شرایط تنش در مرحله زایشی ژنوتیپ اهدایی ۸۲ بیش‌ترین میزان شاخص برداشت را به خود اختصاص داد و کم‌ترین میزان شاخص برداشت در شرایط تنش در مرحله میوز و تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در ژنوتیپ اهدایی ۸۱ دیده شد. شاخص برداشت بیانگر توان ژنوتیپ در اختصاص بیش‌تر مواد فتوسنتزی در جهت عملکرد اقتصادی می‌باشد (۳۷). انتقال مجدد مواد فتوسنتزی پدیده‌ای است که در همه حالات در گیاه رخ می‌دهد و می‌تواند بر افزایش شاخص برداشت مؤثر باشد؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که بتوانند هنگام بروز تنش مواد فتوسنتزی را از قسمت‌های رویشی مانند ساقه و ریشه به دانه انتقال دهند، دارای شاخص برداشت بالاتری خواهند بود (۳۸). در پژوهش‌های مشابه اعمال تنش به ویژه پس از مرحله گلدهی کاهش معنی‌دار شاخص برداشت را به دنبال داشته است (۳۹) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارند. در پژوهشی مشابه قندی و جلالی (۲۰۱۳) گزارش کردند کمبود آب و بروز تنش خشکی در محیط رشد گندم باعث کاهش اندازه گیاه و وزن خشک اندام‌ها، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها، کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود (۱۷ و ۳۱).

همبستگی: نتایج نشان داد میان محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و مجموع کلروفیل b+a، محتوی کاروتنوئید و پرولین با عملکرد دانه در هر سه شرایط محیطی تنش و بدون تنش رطوبتی همبستگی مشاهده نشد. همبستگی میان محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و مجموع کلروفیل b+a و کاروتنوئید در شرایط عادی و تنش رطوبتی در مرحله میوز و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مثبت و بسیار معنی‌دار بود. همبستگی معنی‌داری بین محتوی پرولین و کلروفیل و کاروتنوئید در شرایط آبیاری نرمال و تنش در مرحله زایشی دیده نشد و تنها با وقوع تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی همبستگی مثبت و معنی‌داری دیده شد. در شرایط آبیاری نرمال با افزایش محتوای کاروتنوئید عملکرد دانه کاهش یافت و با کاهش محتوای پرولین افزایش معنی‌داری در شاخص برداشت دیده شد. در شرایط تنش با افزایش عملکرد زیستی، شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و دلیل آن کاهش عملکرد دانه در بوته است. مقدار اسیدآمینه پرولین با زیاد شدن شدت تنش کم آبی بیش‌تر می‌شود و به عنوان ماده اسمزی محافظت‌کننده ممکن است منجر به تغییراتی در تراوای غشاء و سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود از طرفی پرولین در تنظیم اسمزی نقش دارد و جایگاه‌هایی برای نگهداری کربن و ازت فراهم می‌آورد که در نتیجه آن محتوای کلروفیل برگ کاهش می‌یابد.

شاخص توانایی تنظیم اسمزی و مساحت دانه‌های گرده در شرایط تنش و بدون تنش خشکی با عملکرد و با شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در شرایط متفاوت آبی هرچه مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن‌گلایکول ۵۰ درصد بیش‌تر و مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن گلایکول ۳۰ درصد کم‌تر باشد، تنظیم اسمزی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

جدول ۸- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری نرمال.

Table 8. Correlation coefficients of characters under normal irrigation conditions (70% Field Capacity).

صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%	1											
مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن ۳۰ درصد Pollen grain area PEG 30%	-0.71**	1										
مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن ۵۰ درصد Pollen grain area PEG 50%	0.79**	-0.15ns	1									
شاخص برداشت Harvest Index	0.06ns	-0.41 ns	-0.23 ns	1								
عملکرد دانه در بوته Grain yield	-0.17 ns	-0.08 ns	0.30 ns	0.45*	1							
پرولین Proline content	0.32 ns	0.07 ns	0.51*	-0.64**	0.03 ns	1						
کاروتنوئید Carotenoids content	-0.14 ns	0.47*	0.21 ns	-0.11 ns	-0.45*	0.44*	1					
کلروفیل کل Total chlorophyll	0.13 ns	0.14 ns	0.31 ns	0.08 ns	-0.02 ns	0.29 ns	0.79**	1				
کلروفیل b Chlorophyll b	0.13 ns	0.14 ns	0.33 ns	0.08 ns	0.01 ns	0.24 ns	0.76**	0.97**	1			
کلروفیل a Chlorophyll a	0.19 ns	0.03 ns	0.31 ns	-0.02 ns	0.06 ns	0.33 ns	0.75**	0.98**	0.92**	1		
عملکرد زیستی Biological yield	-0.29 ns	0.26 ns	-0.21 ns	-0.29 ns	0.71**	0.51*	0.29 ns	0.12 ns	0.10 ns	0.09 ns	1	
وزن صد دانه 100 Seed yield	0.08 ns	-0.31 ns	-0.15 ns	0.49*	0.31 ns	-0.27 ns	-0.20 ns	0.24 ns	0.19 ns	0.26 ns	-0.05 ns	1

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۹- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش در مرحله میوز.

Table 9. Correlation coefficients of characters under water-stress (meiotic stress condition).

صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%	1											
مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن ۳۰ درصد Pollen grain area PEG 30%	-0.42*	1										
مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن ۵۰ درصد Pollen grain area PEG 50%	0.92**	0.04 ns	1									
شاخص برداشت Harvest Index	0.33*	0.26 ns	0.26 ns	1								
عملکرد دانه در بوته Grain yield	0.54**	0.44*	0.42*	0.73**	1							
پرولین Proline content	0.27 ns	0.27 ns	-0.23 ns	0.08 ns	0.11 ns	1						
کاروتنوئید Carotenoids content	0.03 ns	0.30 ns	-0.15 ns	-0.23 ns	-0.41 ns	-0.03 ns	1					
کلروفیل کل Total chlorophyll	0.30 ns	0.17 ns	0.40 ns	-0.04 ns	0.41 ns	-0.07 ns	0.56**	1				
کلروفیل b Chlorophyll b	0.22 ns	0.13 ns	0.30 ns	-0.05 ns	-0.23 ns	0.09 ns	0.61**	0.92**	1			
کلروفیل a Chlorophyll a	0.29 ns	0.20 ns	0.41 ns	0.37 ns	-0.01 ns	0.15 ns	0.48*	0.95**	0.94**	1		
عملکرد زیستی Biological yield	-0.13 ns	0.02 ns	-0.13 ns	-0.79**	-0.24 ns	-0.19 ns	0.31 ns	0.45*	0.42 ns	0.39 ns	1	
وزن صد دانه 100 Seed yield	0.35 ns	-0.10 ns	0.36 ns	0.28 ns	0.42 ns	0.025 ns	0.20 ns	-0.04 ns	0.01 ns	0.05 ns	-0.23 ns	1

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی.

Table 10. Correlation coefficients of characters under water-stress (30% of Field Capacity).

صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
نسبت مساحت دانه گرده Pollen grain area ratio (50:30)%	1											
مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن ۳۰ درصد Pollen grain area PEG 30%	-0.58**	1										
مساحت دانه گرده در حضور پلی‌اتیلن ۵۰ درصد Pollen grain area PEG 50%	0.66**	0.19^{ns}	1									
شاخص برداشت Harvest Index	0.53*	0.67**	0.04^{ns}	1								
عملکرد دانه در بوته Grain yield	0.26*	0.41*	0.14^{ns}	0.78**	1							
پرولین Proline content	-0.46*	0.70**	0.01^{ns}	0.06^{ns}	-0.28^{ns}	1						
کاروتنوئید Carotenoids content	-0.09^{ns}	0.51*	0.26^{ns}	-0.01^{ns}	-0.02^{ns}	0.67**	1					
کلروفیل کل Total chlorophyll	-0.02^{ns}	0.19^{ns}	0.04^{ns}	-0.32^{ns}	-0.03^{ns}	0.45**	0.60**	1				
کلروفیل b Chlorophyll b	-0.11^{ns}	0.27^{ns}	-0.003^{ns}	-0.32^{ns}	-0.1^{ns}	0.59**	0.61**	0.97**	1			
کلروفیل a Chlorophyll a	-0.04^{ns}	0.18^{ns}	0.02^{ns}	-0.06^{ns}	-0.35^{ns}	0.47*	0.57**	0.99**	0.97**	1		
عملکرد زیستی Biological yield	-0.52*	0.52*	-0.18^{ns}	-0.64**	-0.09^{ns}	0.35^{ns}	0.003^{ns}	-0.16^{ns}	-0.08^{ns}	-017^{ns}	1	
وزن صد دانه 100 Seed yield	0.20^{ns}	-0.57**	-0.32^{ns}	0.74**	0.68**	-0.39^{ns}	-0.37^{ns}	-0.42^{ns}	-0.42^{ns}	-0.43*	-0.40^{ns}	1

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** Non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

منابع

1.Sharifa, S. and Muriefah, A. 2015. Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of Soybean (Glycine max) plants grown under water stress conditions. Int. J. Advan. Res. Biol. Sci. 2: 7. 81-93.

2.Akbari Moghaddam, H. 2012. Dry matter sharing and morphophysiological reactions of wheat cultivars under the influniverence of drought stress at different stages of growth. PhD Thesis in Agriculture. Faculty of Agriculture. Zabol University. 151p. (In Persian)

3.Bozhanova, V. and Dechev, D. 2010. Heritability of osmoregulation ability at durum wheat. Agric. Sci. Technol. 4: 2. 169-173.

4.Maghsoudi Moud, A.A. and Yamagishi, T. 2005. Application of projected pollen area response to drought stress to determine osmoregulation capability of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Int. J. Agric. Biol. 4: 604-605.

5.Rascio, A., Platani, C., Scalfati, G., Tonti, A. and Fonzo, N.D. 1994. The accumulation of solutes and water binding strength in durum wheat. Physiol. Plant. 90: 715-721.

6.Bohnert, H.J. and Jensen, R.G. 2009. Strategies for engineering water stress tolerance in plant. J. Agro. Plant Breed. 14: 89-97.

7.Majidi, A. 1993. Physiological mechanism of resistance to environmental constraints. Abstract Proceedings of the First Iranian Congress of Agriculture and Plant Breeding, University of Tehran. pp. 133-134. (In Persian)

8.Gzik, A. 1996. Accumulation of proline and pattern of α- amino acids in sugarbeet plants in response to osmotic, water and salt stress. J. Environ. Exp. Bot. 36: 1. 29-34.

9.Sabry, S.R.S., Smith, L.T. and Smith, G. M. 1995. Osmoregulation in spring wheat under drought and salinity stress. J. Gen. Breed. 49: 1. 55-60.

10.Tayebi, A., Afshari, H., Farahvash, F., Masood Sinki, J. and Nezarat, S. 2012. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. J. Plant Physiol. 2: 3. 445-453.

11.Yadolahi Deh Cheshmeh, P. Asgharipour, M.R. Khairy, N. and Qaderi, A. 2014a. Effect of drought stress and organic fertilizers on oil yield and biochemical properties of safflower. J. Prod. Oil Plants. 2: 1. 27-40. (In Persian)

12.Yadolahi Deh Cheshmeh, P., Bagheri, A.A., Amiri, A. and Ismailzadeh, P. 2014b. Effect of drought stress and chitosan foliar application on yield and photosynthetic pigments of sunflower. J. Crop Physiol. 6: 21. 73-83. (In Persian)

13.Castrillo, M. and Calcargo, A.M. 1989. Effects of water stress and rewatering on ribulose–I,5-bisphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. J. Hort. Sci. 64: 6. 717-724.

14.Gusegnova, I.M., Suleymanov, S.Y. and Aliyev, J.A. 2006. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of wheat genotypes differently tolerant to water stress. J. Biochem. Res.71: 2. 223-228.

15.Lawler, D.W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25: 2. 275-294.

16.Pessarkli, M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. 697p.

17.Morgan, J.M. 1999. Pollen grain expression of a gene controlling differences in osmoregulation in wheat leaves: a simple breeding method. Aust. J. Agric. Res. 50: 953-62.

18.Maghsoudi, K. and Maghsoudi Moud, A.A. 2008. Assessment of osmoregulation capability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using response of projected pollen grains to drought stress. Iran. J. Crop Sci. 10: 1. 1-14.

19.Bates, L.S., Waldren, R.P. and Tevre, I.V. 1973. Rapid determination of free proline for water- stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

20.Arnon, D.J. 1956. Chlorophyll absorption spectrum and quantitative determination. Biochem. Biophys. Acta. 20: 449-461.
21.Mackinney, G.1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. J. Biol. Chem. 140: 315-319.
22.Morgan, J.M. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. Aust. J. Plant. Physiol. 19: 67-76.
23.Eivazi, A.R., Talat, F., Saeed, A. and Ranji, H. 2007. Selection for osmoregulation gen to improve grain yield of wheat genotypes under osmotic stresses. J. Biol. Sci. 10: 20. 3703-3707.
24.Hase, S., Vankova, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozak, K. and Tran, L. 2012. Cytokinins metabolism and function in plant adaptation to environmental stresses. J. Plant Sci. 17: 3. 172-179.
25.Lonbani, M. and Arzani, A. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. Agriculture Research. 9: 1. 315-329.
26.Paleg, L. and Aspinall, D. 1981. Physiology and biochemistry of drought resistance in plants. American press, New York, 386p.
27.Malik, A., Colmer, T.D., Lambers, H. and Schortemyer, M. 2011. Changes in physiological and morphological traits of roots and shoots of wheat in response to different depths of waterlogging. Aust. J. Plant Physiol. 28: 1121-1131.
28.Hong Bo, S., Zongsuom, L. and Mingan, S. 2006. Changes of anti-oxidative enzymes and MDA content under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at maturation stage. Colloids. Surf. Bio. 45: 7-13.
29.Liu, F., Jensen, C.R. and Andersen, M.N. 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development its implication in altering pod set. J. Agro. Plant Breed. 86: 1-13.
30.Sangtarash, M.H. 2010. Responses of different wheat genotypes to drought stress applied at different growth stages. Pak. J. Biol. Sci. 13: 3. 114-119.
31.Ghandi, A. and Jalali, A. 2013. The effect of mild drought stress at the end of the growing season on the agronomic characteristics of wheat cultivars. J. Crop Prod. 6: 2. 117-134. (In Persian)
32.Ahmadi, A. and Sio-Se Mardeh, A. 2004. Effect of drought stress on dissolved carbohydrates of chlorophyll and proline in four wheat cultivars adapted to different climatic conditions of Iran. Iran, J. Agric. Sci. 35: 4. 753-763. (In Persian)
33.Fani, A. 2009. Effect of water-stress on sterility in genotypes of wheat and its relationship with yield. Master Thesis. Shahrekord University. (In Persian)
34.Raesi, A. 2008. Chromosomal location of genes controlling water–stress induced apical sterility of spike using candidate chromosomal substitution lines in wheat (*Triticum aestivum* L.). Master Thesis. Shahrekord University. (In Persian)
35.Nabi Pur, A., Yazdi Samadi, B., Zali, A. and Pustini, K. 2003. Investigation of the effect of drought on some morphological traits and the relationship between these traits and stress sensitivity index in several wheat genotypes. Desert. 1: 31-48. (In Persian)
36.Gholami, A. and Asadollahi Poor, A. 2008. Improving wheat grain yield under water stress by stem hydrocarbon reserve utilization. Pak. J. Biol. Sci. 11: 21. 2484-2489.
37.Majidi Fakhr, F., Paknejad, F., Ilkayi, M. and Khanpour, M. 2011. Investigation of deformation due to low water stress of autumn wheat cultivars using drought resistance indicators in Karaj region. J. Agric. Res. 3: 257-267. (In Persian)
38.Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Curr. Sci. 80: 6. 758-763.
39.Zare Feyzabadi, A. and Ghodsi, A. 2002. Investigation of drought tolerance of wheat lines and wheat cultivars in cold regions of the country. Agric. Sci. Indust. 2: 181-186.