

ارزیابی نقش تنظیم اسمزی دانه گرده، محتوای آب نسبی و تراکم روزنه در تحمل خشکی
در ۴۰ رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.)
Contribution of pollen grain osmoregulation, relative water content and
stomata density on drought tolerance in 40 bread wheat
(*Triticuma estivum* L.) cultivars

مریم نظری^۱ و روح اله عبدالشاهی^۲

چکیده

نظری، م. و ر. عبدالشاهی. ۱۳۹۲. ارزیابی نقش تنظیم اسمزی دانه گرده، محتوای آب نسبی و تراکم روزنه در تحمل خشکی در ۴۰ رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.). مجله علوم زراعی ایران. ۱۵(۳): ۲۳۳-۲۲۲.

به منظور بررسی تأثیر توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده، محتوای نسبی آب برگ و تراکم روزنه در واحد سطح برگ پرچم بر تحمل خشکی ۴۰ رقم گندم نان و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه، دو آزمایش مجزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۹ در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. توانایی تنظیم اسمزی در دانه گرده با استفاده از نسبت مساحت تصویر دانه‌های گرده در شرایط تنش خشکی (محلول ۵۰ درصد، ۱۲- مگاپاسکال) به شرایط بدون تنش (محلول ۳۰ درصد، ۲- مگاپاسکال) پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و رقم بر عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک ارقام گندم معنی‌دار بود. تنش خشکی باعث کاهش ۳۳ درصدی عملکرد دانه، کاهش ۱۵/۴ درصدی محتوای آب نسبی برگ و افزایش ۲۱ درصدی تراکم روزنه در واحد سطح برگ شد. توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده در ارقام آذر ۲، دز، آزادی، هامون، کرج ۳، سیلان، امید و تجن بیشتر از یک بود و به عنوان ارقام دارای توانایی اسمزی شناخته شدند. تنظیم اسمزی دانه گرده همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط تنش داشته ($r = 0.41^{**}$) از این رو به طور مستقیم باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی شد. جهت ارزیابی تحمل خشکی ارقام گندم مورد بررسی از شاخص تحمل تنش (STI) استفاده شد. بر اساس این شاخص، رقم آذر ۲ مقاوم‌ترین رقم به خشکی شناسایی شد. این رقم دارای بیشترین توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده نیز بود، بنابراین به نظر می‌رسد که یکی از سازوکارهای تحمل به خشکی در این رقم، توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده است.

واژه‌های کلیدی: تراکم روزنه، تنش خشکی، شاخص تحمل تنش، گندم نان و صفات فیزیولوژیک.

مقدمه

شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به خشکی، از معیارهای مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل در جمعیت‌های بزرگ گیاهی محسوب می‌شوند (Winter *et al.*, 1988). 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 و تحت تأثیر اثرات افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها قرار دارد (Bajji *et al.*, 2001; Bozhanova and Dechev, 2010). 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 (Rascio *et al.*, 1994). صفت تنظیم اسمزی در برگ پرچم و دانه گرده می‌تواند به عنوان یک شاخص در برنامه‌های به نژادی گندم برای افزایش تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Delpere *et al.*, 2003; Maghsoudi Moud and Yamagishi, 2005). از آنجا که یک نسخه از DNA بوته مادری در سلول‌های دانه گرده وجود دارد، بنابراین هرگاه دانه‌های گرده در معرض محلول تنش‌زایی نظیر پلی اتیلن گلاکول قرار گیرند، ژن‌های مربوط به تنظیم اسمزی بیان شده و صفات مربوط به آن‌ها بروز می‌نمایند (Morgan, 1991; Morgan, 1999)، بنابراین می‌توان از دانه گرده برای تشخیص توانایی تنظیم اسمزی در گیاهان استفاده کرد (Morgan, 1999; Bozhanova and Dechev, 2010). گزارش شده است که تنظیم اسمزی رابطه مثبت با عملکرد دانه داشته و عملکرد دانه ارقام دارای توانایی تنظیم اسمزی در شرایط خشکی بیشتر از ارقام فاقد توانایی اسمزی است (Morgan, 1988; Maghsoudi and Maghsoudi Moud, 2008).

محتوای آب نسبی برگ (RWC) شاخص مهمی برای تعیین وضعیت آب گیاه محسوب می‌شود و می‌توان از این صفت به عنوان معیار انتخاب در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود (Lugojan and Ciulca, 2011; Ganji Arjenaki *et al.*, 2012). با افزایش میزان تنش خشکی در گندم، محتوای آب نسبی برگ نیز کاهش می‌یابد (Ganji Arjenaki *et al.*, 2012). معمولاً ارقام متحمل به تنش دارای محتوای آب نسبی بالاتری در شرایط تنش خشکی هستند (Shonfeld *et al.*, 1988). سیدیک و همکاران (Siddique *et al.*, 2000) گزارش کردند که در طی دوره رشد گندم تحت تنش، محتوای آب نسبی از ۸۸ درصد به ۴۵ درصد کاهش پیدا کرد.

روزنه‌ها در جلوگیری از تلفات آب در گیاه، سهم زیادی دارند و کنترل کننده اصلی تبادلات گازی بین سلول‌های برگ و هوا می‌باشند. میسکین و همکاران (Miskin *et al.*, 1972) گزارش کردند که کاهش تراکم روزنه می‌تواند به افزایش مقاومت به خشکی در ارقام جو منجر شود. علی رغم اینکه تعداد روزنه در واحد سطح از ویژگی‌های یک گونه گیاهی می‌باشد، اما این صفت تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار می‌گیرد (Miller, 1983).

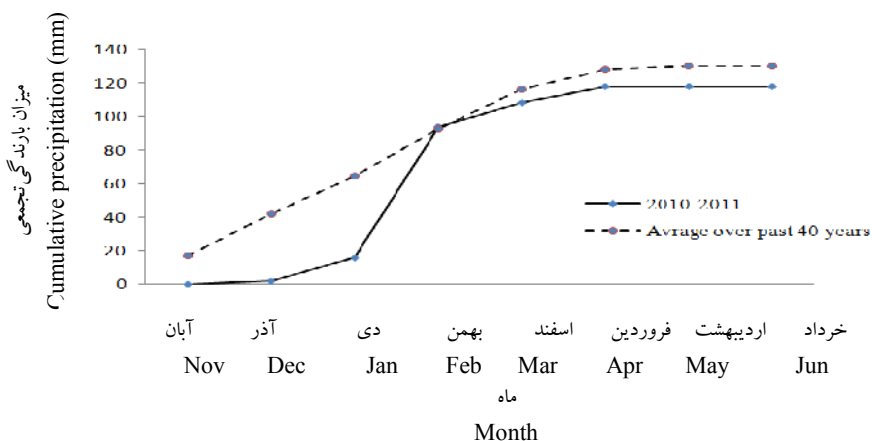
در این پژوهش به منظور ارزیابی سازوکارهای فیزیولوژیک مقاومت به خشکی در ۴۰ رقم گندم نان در شرایط آب و هوایی کرمان، صفات فیزیولوژیک توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده، محتوای آب نسبی و فراوانی روزنه در واحد سطح برگ پرچم اندازه‌گیری شدند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آذر ماه ۱۳۸۹ با استفاده از ۴۰ رقم گندم نان (جدول ۱)، در زمینی با مساحت ۹۰۰ متر مربع واقع در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه، طول جغرافیایی

ماهانه در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و ۴۰ سال گذشته در شهر کرمان در شکل یک ارائه شده است. بافت خاک لوم شنی، دارای $pH=7/9$ و هدایت

۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه و ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا اجرا شد. کرمان بر اساس اقلیم بندی کوپن، جزء مناطق خشک محسوب می شود. میانگین بارندگی تجمعی



شکل ۱- میانگین بارندگی تجمعی در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و ۴۰ سال گذشته در شهر کرمان

Fig 1. Mean of precipitation during 2010-2011 growing season and over the last 40 years in Kerman city

(Morgan, 1999) انجام شد. محلول پلی اتیلن گلیکول (۶۰۰۰) ۳۰ درصد وزنی (معادل ۲- مگاپاسکال) برای ایجاد محیط شاهد و محلول پلی اتیلن گلیکول (۶۰۰۰) ۵۰ درصد وزنی (معادل ۱۲- مگاپاسکال) برای ایجاد محیط تنش خشکی استفاده شد. با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی $40\times$ مجهز به دوربین عکاسی دیجیتال، از اسلایدها عکس تهیه شد و مساحت دانه‌های گرده با استفاده از نرم افزار Scion-Image بر حسب میکرون متر مربع اندازه گیری شد. از نسبت مساحت دانه گرده در محیط تنش به مساحت دانه گرده در محیط شاهد (شاخص توانایی تنظیم اسمزی) برای شناسایی ارقام دارای توانایی اسمزی استفاده شد (Maghsoudi and MaghsoudiMoud, 2008). محتوای آب نسبی برگ پرچم (RWC) برای محیط شاهد و تنش در دو مرحله (اواسط و اواخر سنبله دهی) با فاصله زمانی ۱۰ روز اندازه گیری شد (Shonfeld *et al.*, 1988). برای اندازه گیری فراوانی روزنه در واحد سطح رویی برگ پرچم، از هر کرت آزمایشی یک برگ پرچم به صورت تصادفی انتخاب

الکتریکی $2/11$ دسی زیمنس بر متر در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر خاک بود. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در دو شرایط بدون تنش (شاهد) و تنش خشکی هر کدام در سه تکرار اجرا شد. دو محیط شاهد و تنش با استفاده از پشته با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر جدا شدند. ابعاد هر کرت 120×175 سانتی متر، شامل ۶ ردیف با فواصل ۲۵ سانتی متر به طول ۱۲۰ سانتی متر و تراکم ۱۱۴ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. آبیاری از هنگام کاشت تا مرحله ۳ برگی برای هر دو محیط شاهد و خشکی به صورت یکسان، ولی پس از آن منبع تامین رطوبت محیط تنش صرفاً بر اساس نزولات آسمانی بود و آبیاری محیط شاهد بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه و نیاز ظاهری گیاه (هر ۱۰ روز یک مرتبه) تا پایان دوره رشد انجام شد. به منظور اندازه گیری صفت تنظیم اسمزی دانه گرده، در زمان گرده افشانی از هر ژنوتیپ در هر کرت بدون تنش دو اسلاید دانه گرده تهیه شد. نمونه برداری از دانه‌های گرده مطابق روش مورگان

شد. روی قسمت میانی هر برگ لاک بی رنگ زده شد و پس از خشک شدن، یک قطعه چسب نواری روی قسمت لاک زده قرار داده شد تا تصویر روزنه‌ها روی تکه چسب نقش ببندد. پس از آن قطعه چسب بر روی لام قرار داده شد و با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگمایی ۴۰X، تراکم روزنه در دایره دیدی که به طور تصادفی انتخاب شده بود، اندازه گیری شد (Miskinet *al.*, 1972). مساحت دایره دید در بزرگمایی ۴۰X با استفاده از لام مدرج، ۰/۰۲۳۴ میلی متر مربع بود.

مبارزه با علف‌های هرز برای هر دو محیط به صورت دستی انجام گرفت. برداشت محصول کرت‌های تحت تنش در اواسط خردادماه و برای محیط شاهد در اواخر خردادماه انجام شد. در هنگام برداشت تمام گیاهان ۴ خط وسط هر کرت آزمایشی برداشت شدند. جهت شناسایی بهتر ارقام متحمل به خشکی، از شاخص تحمل خشکی (Stress Tolerance Index)

$$STI = \frac{(y_p)(y_s)}{(\bar{y}_p)^2} \quad (1)$$

تجزیه و تحلیل‌های داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (Version 9.1) و Excel و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. با استفاده از آزمون بارتلت، همگنی واریانس‌های خطا در دو شرایط شاهد و تنش خشکی تایید شده و تجزیه مرکب برای صفات مورد بررسی انجام شد.

جدول ۱- فهرست اسامی ارقام گندم نان مورد آزمایش

Table 1. The name of bread wheat cultivars used in this experiment

| Cultivar | رقم | cultivar | رقم | cultivar | رقم | Cultivar | رقم |
|-----------|----------|------------|----------|----------|---------|----------|---------|
| Rasool | رسول | Bzostaya | بزوستایا | Mv-17 | Mv-17 | Roshan | روشن |
| Omid | امید | Sabalan | سبالان | Chamran | چمران | Alamout | الموت |
| Moghan 2 | مغان ۲ | Sholeh | شعله | Hirmand | هیرمند | Gaspard | گاسپارد |
| Karaj 3 | کرج ۳ | Star | استار | Ws-82-9 | Ws-82-9 | Shiraz | شیراز |
| Dez | دز | Hamoon | هامون | Akbari | اکبری | Tous | طوس |
| Sardari | سرداری | Azadi | آزادی | Zarin | زرین | Bahar | بهار |
| Darab 2 | داراب ۲ | Mahdavi | مهدوی | Zagross | زاگرس | Bam | بم |
| Niknejd | نیک نژاد | Shahpasand | شاه پسند | Ghuds | قدس | Alvand | الوند |
| Karaj 2 | کرج ۲ | Marvdasht | مرودشت | Tajan | تجن | VeeNac | وری ناک |
| Excalibur | اکسکلیبر | Azar 2 | آذر ۲ | Kavir | کویر | Pishtaz | پشتاز |

شرایط تنش شکل معمول خود را حفظ کنند و به حالت متورم باقی بمانند (شکل ۲، A₁ و A₂)، بنابراین در این ارقام نسبت مساحت تصویر دانه‌های گرده در شرایط تنش به مساحت تصویر دانه‌های گرده در شرایط شاهد (شاخص توانایی تنظیم اسمزی) بیشتر از یک بود، ولی در ارقام فاقد توانایی تنظیم اسمزی، دانه‌های

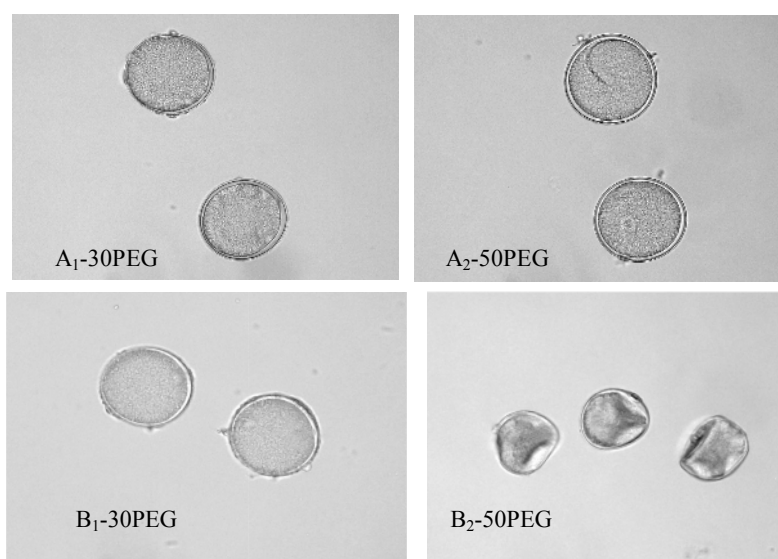
نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش، بین ارقام گندم مورد بررسی تفاوت معنی داری از نظر تنظیم اسمزی مشاهده شد. با توجه به این که در ارقام دارای توانایی تنظیم اسمزی، انتظار می رود که دانه‌های گرده در

با تنش خشکی هستند. مقصودی مود و یاماگیشی (MaghsoudiMoud and Yamagishi, 2005) با بررسی توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده شش رقم مختلف گندم، گزارش کردند که در ژنوتیپ‌های Asukaze, BR10 و سرداری، نسبت مساحت تصویر دانه گرده در محلول پلی اتیلن گلیکول ۵۰ به ۳۰ درصد، کمتر از یک و ژنوتیپ‌های BR9 و سبلان والوند بیشتر از یک بود.

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه در تیمار شاهد و

گرده در شرایط تنش دچار چروکیدگی شدند (شکل ۲. B_1 و B_2) و نسبت مساحت تصویر دانه‌های گرده شرایط تنش به مساحت تصویر دانه‌های گرده شاهد کمتر از یک می‌شود (Morgan, 1999; Eivazi *et al.*, 2007). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که تنظیم اسمزی ارقام آذر ۲، کرج ۳، دز، هامون، تجن، سبلان، آزادی و امید بیشتر از یک بود و به نظر می‌رسد که این ارقام دارای این سازوکار بوده و بقیه فاقد این سازوکار جهت مقابله



شکل ۲- دانه‌های گرده دارای توانایی تنظیم اسمزی (گندم رقم آذر ۲ A_1 -30 PEG و A_2 -50 PEG به ترتیب در محلول ۳۰ و ۵۰ درصد پلی اتیلن گلیکول) و فاقد توانایی تنظیم اسمزی (گندم رقم بهار B_1 -30 PEG و B_2 -50 PEG به ترتیب در محلول ۳۰ و ۵۰ درصد پلی اتیلن گلیکول) با بزرگ نمای عدسی چشمی 10X و شیئی 40X

Fig. 2. Pollen grain of capable for osmoregulation (Azar 2 wheat cultivar A_1 -30 PEG and A_2 -50 PEG under 30% and 50% PEG solutions respectively) and incapable for osmoregulation (Bahar wheat cultivar A_1 -30 PEG and A_2 -50 PEG under 30% and 50% PEG solutions respectively) ocular 10X, objective 40X

و بالایی ($r = 0.41^{**}$) بین توانایی تنظیم اسمزی (نسبت مساحت دانه گرده در شرایط تنش به بدون تنش) و عملکرد دانه در شرایط تنش مشاهده شد (جدول ۳). مقایسه ارقام گندم مورد بررسی از نظر عملکرد دانه نشان داد که در شرایط تنش، عملکرد گروه واجد توانایی تنظیم اسمزی ۱/۲ برابر بیشتر از گروه

تنش خشکی نشان داد که اثر خشکی و رقم روی این صفت معنی‌دار بود. بین عملکرد دانه هر دو محیط شاهد و تنش و شاخص STI همبستگی‌های معنی‌دار بالایی مشاهده شد (جدول ۳)، از این رو شاخص مذکور جهت غربال ارقام حساس و مقاوم به خشکی مناسب به نظر می‌رسد. در این آزمایش همبستگی مثبت

جدول ۲- مقایسه میانگین مساحت تصویر دانه کرده در محلول‌های ۳۰ و ۵۰ درصد پلی اتیلن گلايکول، عملکرد دانه و شاخص تحمل تنش در ارقام گندم

Table 2. Mean comparison of projected pollen area in 30% and 50% PEG, grain yield and STI in wheat cultivars

| Wheat cultivars | ارقام گندم | مساحت دانه گرد (μm ²) | | تنظیم اسمزی Osmoregulation | عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹) | | شاخص تحمل تنش STI |
|-----------------|------------|-----------------------------------|------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| | | PEG 30% | PEG 50% | | بدون تنش خشکی Normal | تنش خشکی Drought stress | |
| Azar 2 | آذر ۲ | 2454.4 n-q | 3231.9 de | 1.340 a | 4263 abc | 3865 a | 1.40 a |
| Karaj 3 | کرج ۳ | 1766.2 rt | 1957.3 l-p | 1.200 b | 4090 abc | 1823 fgh | 0.63 f-l |
| Dez | دز | 2374.5 opq | 2752.2 e-j | 1.156 b | 2263 k-l | 1990 fgh | 0.38 klm |
| Hamoon | هامون | 4132.6 b | 4590.8 a | 1.093 bc | 4226 abc | 2360 c-h | 0.85 c-h |
| Sabalan | سبالان | 2626.4 m-p | 2861.7 d-j | 1.090 bc | 3925 a-d | 3405 abc | 1.13 abc |
| Tajan | تجن | 2166.1 pqr | 2575.4 g-k | 1.090 bc | 2820 e-l | 2690 b-g | 0.640 f-k |
| Azadi | آزادی | 3696.8 b-f | 4014.2 b | 1.086 bc | 3585 a-j | 3655 ab | 1.10 abc |
| Omid | امید | 1732.5 r | 1832.7 nop | 1.076 bcd | 3133 c-k | 2280 d-h | 0.61 f-m |
| Roshan | روشن | 2741.7 l-o | 2363.2 i-o | 0.865 e-k | 4380 ab | 3290 a-e | 1.22 ab |
| Moghan 2 | مغان ۲ | 3650.0 b-g | 2655.5 e-j | 0.770 h-n | 3765 a-h | 2110 fgh | 0.67 f-k |
| Karaj 2 | کرج ۲ | 5007.3 a | 4151.6 ab | 0.880 e-k | 4525 a | 2316 c-h | 0.89 c-g |
| Excalibur | اکسکلیبر | 3428.9 d-j | 2448.7 h-m | 0.633 nop | 2735 f-l | 1645 gh | 0.61 f-m |
| Mahdavi | مهدوی | 3136.4 f-m | 2832.6 e-j | 0.923 d-i | 3633 a-i | 3800 a | 1.17 abc |
| Darab 2 | داراب ۲ | 2934.8 j-n | 2409.9 h-n | 0.850 e-k | 3240 b-k | 1975 fgh | 0.54 h-m |
| Niknejad | نیک نژاد | 2812.1 k-o | 1787.9 op | 0.680 l-o | 3800 a-h | 2470 c-h | 0.65 f-k |
| Kavir | کویر | 3096.8 g-m | 2804.4 e-j | 0.896 e-j | 2716 g-l | 2390 c-h | 0.55 g-m |
| Bahar | بهار | 3645.8 b-g | 2513.6 h-l | 0.656 no | 3900 a-f | 2070 fgh | 0.69 f-k |
| Hirmand | هیرمند | 3666.0 b-f | 2284.5 j-o | 0.643 nop | 3445 a-j | 1870 fgh | 0.55 g-m |
| Mv-17 | Mv-17 | 3902.3 bcd | 3494.9 def | 0.820 e-m | 2415 kl | 1406 h | 0.29 lm |
| Marvdasht | مرودشت | 3324.4 e-k | 2592.0 f-k | 0.876 e-k | 4226 abc | 2533 c-g | 0.91 b-f |
| Chamran | چمران | 3414.4 d-j | 3027.0 d-h | 0.886 e-k | 2725 f-l | 2590 c-g | 0.60 f-m |
| Star | استار | 4071.9 bc | 2566.7 g-k | 0.766 i-n | 3170 c-k | 1935 fgh | 0.52 h-m |
| Rasool | رسول | 3749.0 b-e | 3454.8 cd | 0.935 c-h | 1950 l | 1606 gh | 0.27 m |
| Alvand | الوند | 3060.4 h-m | 1866.4 m-p | 0.595 op | 3445 a-j | 2540 c-g | 0.74 e-j |
| Ghuds | قدس | 3629.0 b-g | 2924.5 d-i | 0.733 j-o | 4385 ab | 1750 fgh | 0.67 f-k |
| Bam | بم | 3691.5 b-f | 2866.5 d-j | 0.776 g-n | 2465 i-l | 2155 fgh | 0.45 i-m |
| Zarin | زرین | 3035.9 i-m | 2311.9 i-o | 0.733 j-o | 3453 a-j | 2570 c-g | 0.75 e-j |
| Pishtaz | پیشناز | 2706.7 l-o | 2596.6 f-k | 0.783 f-n | 4065 a-d | 2263 d-h | 0.78 d-i |
| Shiraz | شیراز | 3475.9 d-j | 3025.7 d-h | 0.830 e-l | 4310 abc | 2836 a-f | 1.04 b-e |
| Alamout | الموت | 3541.2 c-i | 3134.5 d-g | 0.910 e-i | 3510 a-j | 2205 d-h | 0.66 f-k |
| Zagross | زاگرس | 3610.1 b-h | 1518.8 pq | 0.495 p | 2675 h-l | 2125 fgh | 0.48 i-m |
| VeeNac | وری ناک | 1684.0 r | 1633.9 pq | 0.945 c-f | 2730 f-l | 1763 fgh | 0.41 j-m |
| Akbari | اکبری | 2711.7 l-o | 2022.7 k-p | 0.770 h-n | 3815 a-h | 2370 c-h | 0.77 d-i |
| Sardari | سرداری | 2783.3 k-o | 2695.4 e-j | 0.965 cde | 3766 a-h | 1946 fgh | 0.62 f-l |
| Sholeh | شعله | 2751.0 l-o | 2584.5 f-k | 0.940 c-g | 4360 ab | 2085 fgh | 0.77 d-i |
| Ws-82-9 | Ws-82-9 | 3923.1 bcd | 3232.1 de | 0.790 f-n | 2903 d-l | 2460 c-h | 0.61 f-m |
| Gaspard | گاسپارد | 1662.1 r | 1220.1 q | 0.756 i-n | 3130 c-k | 1606 gh | 0.43 i-m |
| Shahpasand | شاه پسند | 2014.9 qr | 1514.8 pq | 0.723 k-o | 2505 i-l | 2190 e-h | 0.47 i-m |
| Bzostaya | بزوستایا | 3201.7 e-l | 2826.2 e-j | 0.880 e-k | 3693 a-h | 1963 fgh | 0.62 f-l |
| Tous | توس | 3607.7 b-h | 3822.0 bc | 0.865 e-k | 3873 a-g | 3305 a-d | 1.09 a-d |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

"ارزیابی نقش تنظیم اسمزی دانه گرده،....."

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات گیاهی و شاخص تحمل تنش ارقام گندم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Correlation coefficients between plant characteristics and STI of wheat cultivars under normal and drought stress conditions

| | عملکرد دانه Grain yield | محتوای آب نسبی (۱) Relative water content:RWC (1) | محتوای آب نسبی (۲) Relative water content:RWC (2) | فراوانی روزنه Stomatal frequency: SF | تنظیم اسمزی Osmoregulation | | شاخص تحمل تنش STI |
|--------------------|----------------------------|--|--|---|-------------------------------|----------|----------------------|
| | | | | | بدون تنش | تنش خشکی | |
| Grain yield | عملکرد دانه | 1 | 0.12 | -0.08 | -0.24 | 0.14 | 0.73** |
| RWC (1) | محتوای آب نسبی (۱) | 1 | -0.04 | 0.00 | -0.13 | -0.13 | -0.04 |
| RWC (2) | محتوای آب نسبی (۲) | | 1 | 0.38 * | 0.19 | 0.19 | -0.07 |
| Stomatal frequency | فراوانی روزنه | | | 1 | -0.07 | -0.07 | -0.09 |
| Osmoregulation | تنظیم اسمزی | | | | 1 | 1 | 0.33 |
| STI | شاخص تحمل تنش | | | | | | 1 |
| Drought stress | | | | | | | |
| Grain yield | عملکرد دانه | 1 | -0.28 | 0.05 | 0.02 | 0.41** | 0.88** |
| RWC (1) | محتوای آب نسبی (۱) | 1 | -0.05 | -0.05 | -0.23 | -0.10 | -0.19 |
| RWC (2) | محتوای آب نسبی (۲) | | 1 | -0.01 | -0.11 | -0.11 | -0.08 |
| Stomatal frequency | فراوانی روزنه | | | 1 | -0.21* | -0.21* | 0.15 |

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- مقایسه توانایی تنظیم اسمزی دانه گرده و عملکرد دانه ارقام گندم

Table 4. Comparison of osmoregulation capability and grain yield of wheat cultivars

| Grouping | گروه بندی ↑ | میانگین عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹) | | میانگین مساحت دانه گرده Mean pollen area (μm ²) | | تنظیم اسمزی Osmoregulation |
|----------------------------|------------------|---|----------------------------|--|--------------------|-------------------------------|
| | | بدون تنش Normal | تنش خشکی Drought stress | تنش خشکی Drought stress | بدون تنش Normal | |
| | | Incapable for Osmoregulation | فاقد تنظیم اسمزی | 3430 | 2260 | |
| Capable for Osmoregulation | واجد تنظیم اسمزی | 3530 | 2750 | 2977 | 2618.69 | 1.14 |

↑ ارقام آذر ۲، کرج ۳، دز، هامون، تاجن، سبلان، آزادی و امید واجد توانایی تنظیم اسمزی و سایر ارقام فاقد توانایی تنظیم اسمزی هستند

↑Azar 2, Karaj 3, Dez, Hamoon, Tajan, Sabalan, Azadi and Omid cultivars are capable for osmoregulation and another cultivars are incapable for osmoregulation

برگ پرچم در مرحله دوم محیط خشکی و شاهد (اواخر گلدهی) معنی دار بود. این موضوع نشان دهنده تأثیر زیاد خشکی انتهایی فصل بر صفت مورد نظر می‌باشد، به طوری که تنش خشکی منجر به کاهش ۱۵/۴ درصدی محتوای آب نسبی شد. کاهش نسبی رطوبت برگ در اثر تنش خشکی، دارای همبستگی مثبت و زیادی با محتوای رطوبتی خاک می‌باشد (Nautiyal *et al.*, 2002). در این آزمایش ارقام شیراز، چمران، نیک نژاد، هامون، آزادی، آذر ۲، سبلان، طوس و روشن که محتوای آب نسبی بالایی داشتند، از عملکرد بالایی در شرایط تنش خشکی و یا درصد کاهش عملکرد کمتری برخوردار بودند. به نظر می‌رسد که محتوای آب نسبی برگ زیاد در ارقام مذکور، ساز و کاری مناسب در تحمل خشکی محسوب می‌شود. در همین زمینه لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2003) بیان داشتند که محتوای نسبی آب برگ پرچم، شاخص مهمی برای تعیین وضعیت آبی گیاه و شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی محسوب می‌شود.

تعداد روزنه در واحد سطح برگ پرچم، بین ارقام گندم تفاوت معنی‌داری داشت که نشان دهنده وجود تفاوت ژنتیکی بین آنها می‌باشد. تیر و همکاران (Tear *et al.*, 1971) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. علاوه بر این، اثر تنش رطوبتی روی این صفت معنی دار و منجر به افزایش ۲۱ درصدی تعداد روزنه در واحد سطح برگ شد. وان دروورت و فولر (Van de Roovaort and Fuller, 1935) بیان داشتند که در شرایطی که میزان آب کافی در دسترس گیاه باشد، در مقایسه با شرایطی که گیاه تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد، تراکم روزنه‌ها کمتر است. میلر (Miller, 1983) نیز گزارش کرد که تراکم روزنه علاوه بر عوامل ژنتیکی، تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد که دلیل افزایش تعداد روزنه در شرایط خشکی، کاهش سطح برگ است. بلام و

فاقد توانایی اسمزی و درصد کاهش عملکرد کمتر از گروه فاقد توانایی اسمزی بود (جدول ۴). درصد کاهش عملکرد در گروه واجد و فاقد توانایی اسمزی به ترتیب ۲۲ و ۳۴ درصد بود. با در نظر گرفتن شاخص STI ارقامی مانند آذر ۲ و آزادی که واجد توانایی تنظیم اسمزی بودند، متحمل به خشکی نیز شناخته شدند. در گروه ارقام فاقد تنظیم اسمزی، ارقام متحمل به خشکی نظیر مهدوی و نیک نژاد مشاهده شدند که این موضوع نشان دهنده وجود سازوکارهای دیگر تحمل به خشکی مانند محتوای آب نسبی بالا در ارقام یاد شده است.

در آزمایش مقصودی و مقصودی مود (Maghsoudi and Maghsoudi Moud, 2008) که اندازه‌گیری صفت تنظیم اسمزی دانه کرده در محیط گلخانه انجام شده بود، ارقام دز و امید در گروه ارقام واجد توانایی اسمزی قرار گرفتند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. به نظر می‌رسد که وجود بعضی از تفاوت‌ها در گروه بندی ارقام، نشان دهنده وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در مورد این صفت است.

تجزیه واریانس محتوای آب نسبی برگ پرچم در طی دو مرحله اواسط گلدهی (RWC1) و اواخر گلدهی (RWC2) نشان داد که در هر دو مرحله، اندازه‌گیری این صفت برای شرایط شاهد، تفاوت معنی‌داری بین ارقام وجود نداشت، ولی در هر دو مرحله در شرایط تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده شد. مقایسه ارقام گندم مورد بررسی از نظر این صفت در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل، می‌توان اظهار داشت که وجود شرایط خشکی منجر به تفاوت بین ارقام از نظر محتوای آب نسبی شده است. این موضوع با نتایج سعیدی و همکاران (Saeidi *et al.*, 2010) مبنی بر تفاوت معنی دار بین ارقام گندم از نظر محتوای آب نسبی (فقط در شرایط تنش) مطابقت دارد.

اثر تنش خشکی روی صفت محتوای آب نسبی

جدول ۵- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی و فراوانی روزنه برگ پرچم ارقام گندم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 5. Mean comparison of wheat cultivars for relative water content (RWC) and stomatal frequency (SF) in flag leaf under normal and drought stress conditions

| Wheat cultivars | ارقام گندم | Normal بدون تنش | | | Drought stress تنش خشکی | | |
|-----------------|--------------|-----------------|----------|----------------------------------|-------------------------|----------|----------------------------------|
| | | RWC1 (%) | RWC2 (%) | Stomatal frequency روزنه فراوانی | RWC1 (%) | RWC2 (%) | Stomatal frequency روزنه فراوانی |
| Azar 2 | آذر ۲ | 92.6 bc | 86.6 a-d | 10.0 d-i | 87.0 bcd | 72.6 b-g | 12.5 b-g |
| Karaj 3 | کرج ۳ | 91.0 bc | 91.0 abc | 12.2 a-f | 91.3 abc | 67.5 e-h | 9.0 fg |
| Dez | دز | 89.5 c | 87.0 a-d | 9.5 e-i | 87.3 bcd | 73.5 a-g | 12.0 b-g |
| Hamoon | هامون | 92.5 abc | 87.0 a-d | 9.3 e-i | 88.0 a-d | 74.0 a-g | 11.5 c-g |
| Sabalan | سیلان | 91.3 abc | 93.3 a | 9.5 e-i | 87.0 bcd | 72.5 c-g | 17.6 a |
| Tajan | تجن | 85.3 c | 83.6bcd | 10.7 b-i | 88.3 a-d | 65.0 gh | 12.0 b-g |
| Azadi | آزادی | 92.5 abc | 84.0 bcd | 12.0 a-g | 89.3 a-d | 73.0 a-g | 14.3 a-e |
| Omid | امید | 92.3 abc | 89.3 a-d | 11.6 a-g | 89.0 a-d | 71.3 c-h | 8.5 g |
| Roshan | روشن | 91.6abc | 87.0 a-d | 10.0 d-i | 87.0 bcd | 73.0 a-g | 14.3 a-e |
| Moghan 2 | معان ۲ | 91.3 abc | 85.6 a-d | 11.0 b-h | 88.3 a-d | 73.0 a-g | 12.6 b-g |
| Karaj 2 | کرج ۲ | 93.0 abc | 82.6 d | 9.3 e-i | 85.3 cd | 85.0 ab | 10.0 efg |
| Excalibur | اکسکلیر | 90.3bc | 87.0 a-d | 12.3 a-f | 85.0 cd | 67.0 fgh | 16.0 abc |
| Mahdavi | مهدوی | 89.0 c | 85.0 bcd | 10.5 c-i | 88.0 a-d | 59.5 h | 12.7 b-g |
| Darab 2 | داراب ۲ | 92.0 abc | 86.0 a-d | 7.5 ij | 89.6 a-d | 66.0 fgh | 15.5 a-d |
| Niknejad | نیک نژاد | 93.3 abc | 86.6 a-d | 9.5 e-i | 90.0 a-d | 75.5 a-g | 14.2 a-e |
| Kavir | کویر | 91.0bc | 91.0 abc | 13.0 a-d | 93.6ab | 70.0 c-h | 15.7 a-d |
| Bahar | بهار | 91.3 abc | 85.3 a-d | 9.6 d-i | 84.3 cd | 65.0 gh | 11.7 b-g |
| Hirmand | هرمند | 90.3bc | 90.0 a-d | 13.5 abc | 91.6 abc | 70.3 c-h | 13.7 a-f |
| Mv-17 | Mv-17 | 91.6 abc | 91.6 ab | 9.6 d-i | 91.0 a-d | 81.6 abc | 12.5 b-g |
| Marvdasht | مرودشت | 87.6 c | 89.3 a-d | 9.6 d-i | 83.0 de | 75.0 a-g | 11.7 b-g |
| Chamran | چمران | 91.5abc | 88.3 a-d | 14.5 a | 88.0 a-d | 75.0 a-g | 12.6 b-g |
| Star | استار | 98.0 ab | 86.5 a-d | 9.6 d-i | 87.0 bcd | 76.0 a-g | 12.0 b-g |
| Rasool | رسول | 90.8 c | 85.0 bcd | 11.6 a-g | 91.6 abc | 74.0 a-g | 13.6 a-f |
| Alvand | الوند | 89.3 c | 82.6 d | 11.5 a-g | 88.3 a-d | 72.3 c-g | 14.5 a-e |
| Ghuds | قدس | 92.0 abc | 86.3 a-d | 11.1 a-h | 90.3 a-d | 79.5 a-e | 14.5 a-e |
| Bam | بم | 93.0 abc | 90.0 a-d | 12.5 a-e | 90.3 a-d | 71.6 c-g | 16.0 abc |
| Zarin | زرین | 93.6 abc | 82.0 d | 10.5 c-i | 89.0 a-d | 68.5 d-h | 15.1 a-d |
| Pishtaz | پیشاز | 92.5 abc | 87.6 a-d | 12.0 a-g | 88.6 a-d | 73.5 a-g | 10.2 efg |
| Shiraz | شیراز | 91.6 abc | 89.3 a-d | 11.0 b-h | 95.5 a | 85.3 a | 16.5 ab |
| Alamout | الموت | 99.0 a | 87.6 a-d | 14.0 ab | 89.0 a-d | 72.6 b-g | 12.2 b-g |
| Zagross | زاگرس | 95.3 abc | 82.0 d | 8.6 g-j | 90.6 a-d | 80.5 a-d | 12.1 b-g |
| VeeNac | وری ناک | 92.5abc | 88.0 a-d | 10.0 d-i | 88.6 a-d | 77.0 a-g | 12.6 b-g |
| Akbari | اکبری | 95.3abc | 85.3 a-d | 9.5 e-i | 88.6 a-d | 74.5 a-g | 15.3 a-d |
| Sardari | سرداری | 91.5 abc | 82.6 d | 6.0 j | 77.3 e | 68.3 d-h | 13.6 a-f |
| Sholeh | شعله | 91.0 bc | 83.3 cd | 9.0 f-j | 86.3 bcd | 72.5 c-g | 11.0 d-g |
| Ws-82-9 | Ws-82-9 | 91.0 bc | 86.0 a-d | 11.3 a-h | 87.3 bcd | 77.5 a-f | 12.0 b-g |
| Gaspard | گاسپارد | 91.3 abc | 91.6ab | 13.0 abc | 91.6 abc | 77.0 a-g | 15.5 a-d |
| Shahpasand | شاه پسند | 90.0 bc | 87.0 a-d | 10.3 c-i | 91.0 a-d | 77.3 a-g | 11.0 d-g |
| Bzostaya | بزوستایا | 92.0 abc | 86.0 a-d | 8.0 hij | 88.0 a-d | 76.5 a-g | 11.2 c-g |
| Tous | توس | 92.3 abc | 88.6 a-d | 10.7 b-i | 89.6 a-d | 78.3 a-f | 15.8 a-d |
| CV(%) | ضریب تغییرات | 5.2 | 4.5 | 14.6 | 4.3 | 7.4 | 15.7 |

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

گرفته به دلیل همبستگی بالایی که با عملکرد دانه در شرایط خشکی داشت، می‌تواند بعنوان شاخص مناسبی برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، ارقام والدی که از محتوای آب نسبی و توانایی تنظیم اسمزی دانه‌گرفته بیشتری برخوردار باشند، در اصلاح مقاومت به خشکی در ارقام گندم قابل استفاده هستند.

همکاران (Blum *et al.*, 1981) گزارش کردند در شرایطی که آب کافی در اختیار گیاه نباشد، کاهش سطح برگ نقش مهمی در سازگاری گونه‌ها با دمای بالا و تنش خشکی داشته و به تبع آن تراکم روزنه در واحد سطح افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که از بین صفات مورد بررسی، صفت تنظیم اسمزی دانه

References

- Bajji, M., S. Lutts and J. M. Kinet. 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.* 160: 669-681.
- Blum, A., G. Gozlan and J. Mayer. 1981.** The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. *Crop Sci.* 21: 495-499.
- Bozhanova, V. and D. Dechev. 2010.** Heritability of osmoregulation ability at durum wheat. *Agric. Sci. Technol.* 4: 169-173
- Delperee, C., J. M. Kinter and S. Lutts. 2003.** Low irradiance modifies the effect of water on survival and growth related parameter during the early development stages of buck wheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiol. Plant.* 119: 211-220.
- Eivazi, A. R., F. Talat, A. Saeed and H. Ranji. 2007.** Selection for osmoregulation gene to improve grain yield of wheat genotypes under osmotic stresses. *Pak. J. Biol. Sci.* 10: 3703-3707
- Fernandez G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: C.G. Kuo, (Editor), proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress condition, 13- 16 Aug. 1392, Tainan, Taiwan.
- Ganji-Arjenaki, F., R. Jabbari and A. Morshedi. 2012.** Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum L.*) varieties. *Int. J. Agric Crop Sci.* 4: 726-729
- Liu F., C. R. Jensen and M. N. T. Andersen. 2003.** Hydraulic and chemical signals in the control of leaf expansion and stomatal conductance in soybean exposed to drought stress. *Func. Plant Biol.* 30: 65-73.
- Lugojan, C. and S. Ciulca. 2011.** Evaluation of relative water content in winter wheat. *J. Hortic. Forest. Biotechnol.* 15: 173-177.
- Maghsoudi, K. and A. A. MaghsoudiMoud. 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: 1-14.

- MaghsoudiMoud, A. A. and T. Yamagishi. 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.
- Miller, E. C. 1983.** Plant physiology. Mc Grow-Hill Book Company Inc. New York. U. S. A.
- Miskin, K. E., D. C. Rasmusson, and D. N. Moss. 1972.** Inheritance and physiological effects of stomatal frequency in barley. Crop Sci. 12: 780-783.
- Morgan, J. M. 1988.** The use of coleoptile responses to water stress to differentiate wheat genotypes for osmoregulation, growth and yield. Ann. Bot. 62: 193-198.
- Morgan, J. M. 1991.** Gene controlling differences in osmoregulation in wheat. Aust. J. Plant. Physiol. 18: 249-57.
- 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.
- Nautiyal, P. C., N. R. Rachaputi and Y. C. Joshi. 2002.** Moisture-deficit-induced changes in leafwater content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. Field Crops Res. 74: 67-79.
- Rascio, A., C. Platani, G. Scalfati, A. Tonti and N. D. Fonzo. 1994.** The accumulation of solutes and water binding strength in durum wheat. Physiol. Plant. 90: 715-721.
- Saeidi, M., F. Moradi, A. Ahmadi, R. Spehri, G. Najafian and A. Shabani. 2010.** The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink-source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iran. J. Crop Sci. 12: 392-408. (In Persian with English abstract).
- Shonfeld, M. A., R. C. Johnson, B. F. Carver and D. W. Mornbinweng. 1988.** Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Sci. 28: 526-531.
- Siddique, M. R. B., A. Hamid and M. S. Islam. 2000.** Drought stress effects on water relations of wheat. Bet. Bull. Acad. Sin. 41: 35-39.
- Tear, I. D., C. J. Peterson, and A. G. Law. 1971.** Size and frequency of leaf stomata in cultivars of *Triticumaestivum* and other *Triticum* species. Crop Sci. 11: 496-498.
- Van de Roovaaort, E. and G. D. Fuller. 1935.** Stomatal frequency in cereals. J. Ecol. 16: 278-279.
- Winter, S. R., J. T. Musick and K. B. Porter. 1988.** Evaluation of screening techniques for breeding drought resistant winter wheat. Crop Sci. 28: 512-516.

Contribution of pollen grain osmoregulation, relative water content and stomata density in drought tolerance in 40 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars

Nazari, M.¹ and R. Abdolshahi²

ABSTRACT

Nazari, M. and R. Abdolshahi. 2013. Contribution of pollen grain osmoregulation, relative water content and stomata density in drought tolerance in 40 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **Iranian Journal of Crop Sciences. 15(3): 222-233. (In Persian).**

The contribution of physiological traits such as; osmoregulation capability of pollen grain, relative water content (RWC) and stomata density in flag leaf area to drought tolerance of 40 bread wheat cultivars was studied. To evaluate their effect of these traits on grain yield, two separate field experiments were designed and conducted in 2010 at experimental farm of college of agriculture, Kerman Shahid Bahonar University, Kerman, Iran using randomized complete block design with three replications. Osmoregulation capability of pollen grain was simulated using the ratio of projected pollen grains area under water stress to normal conditions in solutions containing 50% and 30% polyethylen glycol (PEG) 6000, respectively. Analysis of variance showed that the effect of drought stress and cultivar on grain yield and physiological traits were significant. Drought stress decreased grain yield by %33 and RWC by %15.4, but increased stomata density of flag leaf area by %21. Osmoregulation capability of pollen grain in Azar-2, Dez, Azadi, Hamoon, Karaj-3, Sabalan and Omid was greater than one, therefore these cultivars were identified as capable cultivars for osmoregulation. Osmoregulation capability of pollen grain showed highly significant correlation with grain yield under stress conditions ($r=0.41^{**}$). Thus, this mechanism directly contributed to increasing grain yield under drought stress. Stress Tolerance Index (STI) was also used for identification of drought tolerant genotypes. Based on this index, cv. Azar-2 was identified as the most drought tolerant genotype. This cultivar had also the highest osmoregulation capability. It can be concluded that pollen grain osmoregulation is a likely mechanism contributing to drought tolerance of cv. Azra-2.

Key words: Bread wheat, Drought stress, Physiological traits, Stomata density and Stress tolerance index.

Received: June 2012

Accepted: June 2013

1-MSc. Student, Kerman Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

2-Asisstant Prof., Kerman Shahid Bahonar University, Kerman, Iran (Corresponding author) (Email: abdosshahi@gmail.com)