دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

اثر تنش اسمزی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام گندم

مریم طهماسب عالی[۱]، علی اصغری[۲]، امید سفالیان[۳]، حمیدرضا محمددوست چمن‌آباد[۳] و علی رسول‌زاده[۳]

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشیار، دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: ali_asgharii@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۳/ ۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱

چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی تاثیر تنش اسمزی بر خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام گندم به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی در سه تکراردر سال ۱۳۹۲ در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. ۲۰ رقم گندم در سه سطح تنش اسمزی (۰، ٦- و ۱۲- بار) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش بر تمامی صفات مورد بررسی به جز کارتنوئید، کلروفیل b و عملکرد کوانتوم تاثیر معنی‌دار داشت. مقایسات میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال یک درصد نشان داد که افزایش تنش اسمزی باعث افزایش میانگین صفاتی مانند قندمحلول، پرولین و کلروفیل a در اکثر ارقام گردید، اما میانگین صفاتی مانند فلورسانس اولیه، فلورسانس حداکثر، کارتنوئید و فلورسانس متغیر در بیشتر ارقام مانند تجن، گاسکوژن، میهن، رسول، گاسپارد و بک‌کراس روشن زمستانه نسبت به سطح شاهد کاهش نشان داد. هم‌چنین میانگین صفات عملکرد کوانتوم و کلروفیل b در تعداد زیادی از ارقام مانند آرتا، کویر و بک‌کراس روشن زمستانه در سطح تنش اسمزی ٦- بار بیشترین مقدار را دارا بود. براساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس صفات فیزیولوژیک در سطح شاهدو تنش اسمزی، ارقام زرین، اینیا، آرتا، مغان ۱، تجن و شیرودی انحراف از میانگین کل بالاتری برای اکثر صفات داشتند. در سطح تنش اسمزی ٦- بار ارقام ارگ، توس، میهن، مغان ۳، اروم، کویر، بک‌کراس‌روشن زمستانه و شیرودی و در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار ارقام میهن، گاسکوژن، مغان ۲ و رسول در گروه ارقام متحمل به تنش اسمزی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تجزیه خوشه‌ای، تنش اسمزی، فلورسانس کلروفیل، قند

مقدمه

اهمیت اقتصادی غلات به‌ویژه گندم در شرایط دیم، ایجاب می‌کند که هر گونه راهکاری برای بهینه‌سازی سیستم تولید این محصول در کشور مورد ارزیابی و کاربرد قرار گیرد. کاهش اثر تنش‌های محیطی با استفاده از روش‌هایی مثل آبیاری، مصرف کود و روش‌های مناسب کاشت در این مناطق با محدودیت مواجه است. بنابراین، اصلاح ژنتیکی گیاهان برای به حداقل رساندن اثر تنش‌های محیطی تلاشی مهم به‌شمار می‌آید. یکی از اهداف تحقیقات به‌نژادی در مناطق خشک و کم آب، ترکیب تحمل خشکی با افزایش و پایداری عملکرد است (۱۹). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محیطی است که روی اکثر مراحل رشد گیاه مانند مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه و هم‌چنین ساختار اندام و فعالیت آنها آثار مخرب و زیان‌آوری وارد می‌سازد (۲۴،۱). باتوجه به کاهش بارندگی‌های سالانه و افزایش خشکی و دمای هوا، تولید ارقام متحمل و دارای پتانسیل عملکرد بالا برای اصلاح‌گران اهمیت بسیاری دارد (۷). جهت به‌نژادی و اصلاح ارقام متحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و حصول عملکرد مطلوب و پایدار، بایستی نقاط ضعف و قوت ارقام شناسایی گردد. گیاهان در هنگام تنش خشکی با تغییراتی که در برخی از خصوصیات فیزیولوژیک خود ایجاد می‌کنند، به تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند. یکی از این پاسخ‌ها تجمع پرولین است (۲۰). به علاوه، پرولین نقش اسمولیتی به عنوان مخزن کربن و نیتروژن دارد (۱۶). تجزیه مولکول‌های درشت‌تر در سلول‌های گیاهان عالی به منظور گریز از انجام پلاسمولیز و برقراری تورژسانس بر اثر برخی از تنش‌های محیطی تحقق می‌یابد. شکسته شدن مولکول‌های درشت نظیر، نشاسته به ساکارز سپس به گلوکز و فروکتوز موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی و نیز موجب افزایش غلظت قند در سلول می‌شود (۱۱). هم‌چنین، تجمع قندهای محلول در شرایط تنش سبب تنظیم اسمزی و کاهش از دست دادن آب سلول و حفظ آماس سلولی می‌شود (۱۳). در اثر خشکی، تشکیل پلاستیدهای جدید، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتن و لوتئین کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که نسبت کلروفیل a به کلروفیل b نیز تغییر می‌یابد (۲۰،۱۴).کمبود آب سبب آسیب به رنگدانه‌ها و پلاستیدها می‌گردد. کاهش محتوی کلروفیل نیز تحت تنش گزارش شده است (۸). با تغییر مقدار کلروفیل، فلورسانس کلروفیل نیز تغییر پیدا می‌کند. تکنیک اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل در سال‌های اخیر در مطالعات اکوفیزیولوژی گیاهی به عنوان یک روش سریع، حساس و غیر تخریبی مورد توجه بسیار قرار گرفته است و فتوسیستم Π نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی به عوامل محیطی از جمله خشکی در گیاهان عالی بازی می‌کند (۱۷،۵). در این تکنیک از شاخص‌ها و روش‌های متعددی برای مطالعه فرایندهای دخیل در خاصیت فلورسانس کلروفیل استفاده می‌گردد. به‌عنوان مثال، در حالت عادت کرده به تاریکی، پارامتر Fv/Fm نشان‌دهنده‌ی حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم Π بوده و شاخص حساسی برای عملکرد فتوسنتزی گیاه می‌باشد (۱۰). بنابراین، در مطالعات متعددی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گرفته است (۲۴).

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تنش اسمزی روی صفات فیزیولوژیک و تحمل ارقام گندم به تنش اسمزی بود. در این پژوهش، برایبکسان نگه‌داشتن اثر عوامل محیطی و مطالعه دقیق‌تر صفات، از محیط کنترل شده آبکشت استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تاثیر تنش اسمزی روی صفات فیزیولوژیکدر ۲۰ رقم گندم (جدول ۱)و تحمل ارقام نسبت به تنش اسمزی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح تنش شامل تیمار شاهد(محلول هوگلندکامل (جدول ۲)) و تیمارهای فشار اسمزی ۶- و ۱۲- بارحاصل از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ بود. بعد از جوانه‌زنی بذور در پتری‌دیش، گیاهچه‌های یکنواخت به گلدان‌ها انتقال داده شدند. برای شناور نگه‌داشتن گیاهچه‌ها در سطح محلول غذایی در گلدان‌ها، گیاهچه‌ها در داخل لوله‌های اپندورفی که درپوش و انتهای آن‌ها قیچی شده بود، جاسازی و در سوراخ‌های ایجاد شده در صفحات یونولیت قرار گرفتند، به‌طوریکه ریشه‌چه‌ها داخل محلول غذایی قرار گرفتند. گیاهچه‌ها تا مرحله یادداشت‌برداری در گلدان‌های پلاستیکی محتوی تیمارهای مذکور و در گلخانه مجهز به سیستم گرمایش و روشنایی رشد یافتند و محلول‌های غذایی گلدان‌ها هر هفته تعویض شد. در طول رشد گیاهچه‌ها دمای گلخانه در شبانه‌روز ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت بود. بوته‌ها تا مرحله دو تا سه برگی با محلول هوگلند یک دوم و سپس بامحلول هوگلند کامل تغذیه شدند. بعد از مرحله دو تا سه برگی تنش اسمزی با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ اعمال شد. برای جلوگیری از شوک اسمزی، درسه مرحله طی سه روز متوالی پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ به ظروف حاوی محلول‌های غذایی افزوده شد تا در نهایت فشار اسمزی مورد نظر در محیط کشت به دست آید. دو هفته پس از اعمال تنش، نمونه‌برداری انجام شد و صفاتی مانند محتوای قندهای محلول، پرولین، فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی به شرح زیر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل از دستگاه OSI۳۰ (کمپانی ADC Bioscietific) استفاده شد. تمام اندازه‌گیری‌ها درساعات ۱۰ تا ۱۳ به‌منظور به‌حداقل رساندن تغییرات روزانه انجام شد. برای این منظور از جوان‌ترین برگ کامل استفاده گردید. با استفاده از گیره‌های مخصوص، برگ گیاهان به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. پس از سپری شدن این مدت گیره‌ها به فیبرنوری دستگاه متصل و دریچه گیره‌ها باز شد و پارامترهای فلورسانس اولیه (Fo)، فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (F_V=Fm-Fo) و پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_V/Fm) به‌دست آمد.

استخراج پرولین از برگ‌ها با استفاده از روش بیتس و همکاران (۶) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری قندهای محلول از روش ایریگوئن و همکاران (۹) استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل از بافت تازه برگی استفاده شد. ۰/۲ گرم از بافت برگ با استن ۸۰ درصد به تدریج ساییده شد، تا کلروفیل وارد محلول استنی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور سانتریفوژ گردید و سپس جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۵۲ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل و کارتنوئیدها طبق معادله‌های زیر به دست آمد (۴). کلروفیل کل از مجموع کلروفیل a و کلروفیل b بدست آمد.

فرمول (۱):

Chlorophylla=[(19.3*A6630.86*A645)V]/100W

فرمول (۲):

Chlorophyll b= [(19.3*A6453.6*A663)V]/100W

فرمول (۳):

Carotenoides= [100(A470)+3.27(mg chl. a) – 104(mg chl. b)]/227

که در این فرمول‌ها V: حجم نهایی فالکون و W: وزن نمونه برگی می‌باشد.

بعد از انجام تبدیل لگاریتمی برای داده‌های مربوط به صفات فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط نرم‌افزار SPSS، برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS و SAS و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکندرسطح احتمالیکدرصد صورت گرفت. جهت گروه‌بندی لاین‌ها از روش تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward استفاده شد. به‌منظور تعیین ویژگی‌های هر گروه از نظر کلیه صفات مورد مطالعه، انحراف از میانگین کل برای هر گروه محاسبه گردید.

جدول ۱- اسامی ارقام گندم مورد استفاده در آزمایش

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

شماره	اسم رقم	شماره	اسم رقم	شماره	اسم رقم
۱	مغان۱	۸	دریا	۱۵	گاسپارد
۲	مغان۲	۹	ارگ	۱۶	بک‌کراس‌روشن‌زمستانه
۳	مغان۳	۱۰	اروم	۱۷	رسول
۴	آرتا	۱۱	سوسن	۱۸	تجن
۵	اترک	۱۲	اینیا	۱۹	گاسکوژن
۶	شیرودی	۱۳	زرین	۲۰	میهن
۷	کویر	۱۴	توس		

جدول ۲- ترکیبات محلول غذایی هوگلند مورد استفاده در این آزمایش
Table 2. Hoagland's nutrient solution compounds that used in this experiment

شماره	نام ماده شیمیایی	غلظت نهایی µM	شماره	نام ماده شیمیایی	غلظت نهایی µM
۱	$Ca(NO_3)_2$	۲۵۰۰	۶	H_3BO_3	۲۳
۲	KNO_3	۳۰۰	۷	$MnSO_4$	۵
۳	$MgSO_4$	۱۵۰۰	۸	$ZnSO_4$	۰/۴
۴	KH_2PO_4	۱۷۰۰	۹	$CuSO_4$	۰/۲
۵	$FeSO_4$	۵۰	۱۰	H_2MoO_4	۰/۱

نتایج و بحث

بین سطوح تنش اسمزی از نظر تمامی صفات به جز عملکرد کوانتوم، کلروفیل b و کارتنوئید اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. بین ارقام گندم نیز از نظر صفات محتوای قند محلول، پرولین، کلروفیل a و کلروفیل کل اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اثر متقابل تنش و رقم نیز در مورد تمامی صفات به جز کلروفیل کل معنی‌دار بود. این نشان می‌دهد که روند تغییرات بین لاین‌ها از لحاظ این صفات، در سطوح تنش یکسان نبود (جدول ۳).

در سطح شاهد تنش اسمزی، رقم زرین بیشترین مقدار و ارقام مغان ۲، اترک، دریا، بک کراس روشن زمستانه و رسول کمترین مقدار قند محلول را به خود اختصاص دادند. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، بیشترین مقدار قند محلول مربوط به رقم ارگ و کمترین مقدار مربوط به رقم دریا بود. در شرایط تنش اسمزی ۱۲- بار، ارقام مغان ۲ و ارگ بیشترین و رقم دریا کمترین مقدار قند محلول را داشتند. میانگین قندهای محلول در ارقام مورد مطالعه به استثنای ارقام اینیا و زرین با افزایش میزان تنش روند افزایشی داشت (جدول ۴). سابری واسمیت (۲۲) مشاهده کردند که تحت تنش خشکی و شوری محتوای ساکارز و اسیدهای آمینه در ۶ واریته گندم افزایش یافت.

میزان پرولین در سطح شاهد، در ارقام اینیا و زرین بیشترین و در ارقام مغان ۲، اترک، تجن و رسول کمترین مقدار بود. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، رقم زرین بیشترین و رقم اترک کمترین مقدار پرولین را نشان دادند. ارقام زرین، رسول و گاسکوژن در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار، بیشترین و رقم اترک کمترین میزان پرولین را به خود اختصاص داد. میزان پرولین در تمامی ارقام با افزایش سطح تنش اسمزی روند افزایشی داشت (جدول ۴). نقوی و همکاران (۱۸) گزارش کردند که در ارقام گندم تحت شرایط تنش خشکی، میزان اسید آمینه پرولین افزایش یافت. افزایش غلظت پرولین تحت تنش ممکن است نشان‌دهنده نقش احتمالی این اسیدآمینه در تنظیم اسمزی باشد (۱۵). در برگ‌های بالغ تجزیه پروتئین‌ها باعث کاهش غلظت آن‌ها و در نتیجه افزایش اسیدهای امینه آزاد از جمله پرولین می‌شود (۱۲).

در شرایط بدون تنش، ارقام شیرودی و گاسکوژن بیشترین و رقم اینیا کمترین میزان فلورسانس اولیه را به خود اختصاص دادند. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، بیشترین میزان فلورسانس اولیه در رقم مغان ۱ و کمترین مقدار آن در ارقام اروم، گاسپارد و گاسکوژن مشاهده شد. در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار، بیشترین میزان این صفت در رقم اروم و کمترین مقدار آن در ارقام مغان ۲ و مغان ۳ مشاهده شد. در ارقام مغان ۱، مغان ۲، اترک و دریا میزان فلورسانس اولیه در سطح تنش اسمزی ۶- بار بیش از سطح بدون تنش و سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بود. هم‌چنین، در ارقام اروم، اینیا، زرین، توس، گاسپارد، بک کراس روشن زمستانه، رسول، گاسکوژن، تجن و میهن در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار مقدار فلورسانس اولیه بیشتر از مقدار آن در سطح تنش اسمزی ۶- بار بود و در بقیه ارقام میانگین این صفت روند کاهشی را نشان داد (شکل ۳). فلورسانس اولیه تحت تاثیر تنش‌های محیطی که تغییرات ساختاری در مراکز واکنش اولیه‌ی فتوسیستم Π به وجود می‌آورند، قرار می‌گیرد. بنابراین، خسارت خشکی و گرما با خسارت به مراکز واکنش فتوسیستم Π موجب افزایش شدید فلورسانس اولیه می‌گردند (۲۱،۳).

بیشترین میزان فلورسانس حداکثر در سطح شاهد، مربوط به رقم گاسکوژن و کمترین مقدار آن مربوط به ارقام اینیا، زرین و توس بود. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، بیشترین میزان این صفت در ارقام مغان ۱ و اترک و کمترین مقدار آن مربوط به رقم گاسکوژن بود. در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیشترین مقدار فلورسانس حداکثر در ارقام اینیا و زرین و کمترین مقدار آن در ارقام مغان ۲، آرتا و اترک مشاهده شد. در ارقام مغان ۱، مغان ۲، مغان ۳، اترک و دریا میزان فلورسانس حداکثر در سطح تنش اسمزی ۶- بار بیشتر از میزان آن در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار و شرایط بدون تنش بود. در ارقام اروم، اینیا، زرین، توس و گاسپارد میزان فلورسانس حداکثر در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیشتر از سطح تنش اسمزی ۶- بار و سطح بدون تنش بود. در ارقام بک کراس روشن زمستانه، گاسکوژن، تجن و میهن میزان فلورسانس حداکثر در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیش از سطح تنش اسمزی ۶- بار بود (شکل ۴).در سطح شاهد بیشترین مقدار فلورسانس متغیر در رقم گاسکوژن و کمترین مقدار آن در ارقام اینیا و توس مشاهده شد. درحالی‌که، رقم گاسکوژن در سطح تنش اسمزی ۶- بار کمترین مقدار فلورسانس متغیر را داشت. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، بیشترین میزان فلورسانس متغیر مربوط به رقم مغان ۱ و اترک بود. در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار، بیشترین میزان فلورسانس متغیر مربوط به ارقام اینیا و زرین و کمترین میزان آن مربوط به ارقام آرتا و اترک بود. در ارقام مغان ۱، مغان ۲، مغان ۳، اترک و دریا میزان فلورسانس متغیر در سطح تنش اسمزی ۶- بار بیشتر از مقدار فلورسانس متغیر این ارقام در سطح شاهد و سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بود و در ارقام اروم، سوسن، اینیا، زرین، توس و گاسپارد مقدار آن در سطح تنش

اسمزی ۱۲- بار بیشتر از مقدار آن در تنش اسمزی ۶- بار بود. و در بقیه ارقام روند کاهشی مشاهده شد (جدول ۴). کارایی افت غیر فتوشیمیایی فلورسانس نیز به عوامل بیرونی و درونی زیادی وابسته بوده و در تغییرات فلورسانس حداکثر منعکس می‌گردد (۱۷). در واقع، تنش خشکی با تأثیر سوئی که بر احیای کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه سیستم به‌سرعت به فلورسانس حداکثر می‌رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود.

بیشترین میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم در سطح شاهد مربوط به ارقام مغان ۱ و اروم و کمترین مقدار آن مربوط به رقم شیرودی بود. در سطح تنش اسمزی ۶- بار بیشترین میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم در ارقام مغان ۳، آرتا و بک‌کراس‌روشنو کمترین مقدار آن در رقم گاسکوژن مشاهده شد. در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار، بیشترین میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم در ارقام زرین و تجن، اینیا و توسو کمترین مقدار آن در رقم آرتا و اترک مشاهده شد. در ارقام مغان ۳، آرتا، اترک، شیرودی، بک کراس روشن زمستانه، رسول و میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم در سطح تنش اسمزی ۶- بار بیشتر از سطح شاهد و تنش اسمزی ۱۲- بار بود و در ارقام اینیا، توس و گاسکوژن میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیشتر از سطح شاهد و سطح تنش اسمزی ۶- بار بود و بقیه ارقام روند کاهشی را نشان دادند (جدول ۴). تنش اسمزی موجب کاهش عملکرد کوانتوم می‌شود و تحت شرایط تنش اسمزی به ثبات فتوسنتز کمک می‌کند (۸). در سطح شاهد بیشترین مقدار کلروفیل a در ارقام آرتا و شیرودی و کمترین مقدار آن در رقم مغان ۳ مشاهده شد. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به رقم‌های آرتا، شیرودی و گاسپارد و کمترین مقدار آن مربوط به رقم‌های اینیا، رسول و گاسکوژن بود. در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار، بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به ارقام مغان ۱، اترک، شیرودی، میهن و سوسن و کمترین میزان آن مربوط به رقم اینیا بود. در همه‌ی ارقام، میزان کلروفیل a در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیشتر از سطح شاهد و تنش اسمزی ۶- بار و در ارقام اینیا و تجن میزان این صفت در سطح شاهد بیشتر از سطح تنش اسمزی ۶- بار بود (جدول ۵). کمبود آب سبب آسیب به رنگدانه‌ها و پلاستیدها می‌گردد. اعمال تنش خشکی غلظت کلروفیل a را به طور متوسط در حدود ۳۵ درصد و کلروفیل b را ۳۸ درصد کاهش داد (۱). در سطح شاهد حداکثر مقدار کلروفیل b مربوط به ارقام ارگ و اینیا بود و کمترین مقدار آن را ارقام مغان ۱ و زرین به خود اختصاص داد. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به رقم کویر و کمترین میزان آن مربوط به ارقام رسول بود. در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به رقم میهن و کمترین مقدار آن را رقم گاسپارد به خود اختصاص داد. هم‌چنین، در ارقام مغان ۱، آرتا، کویر و اروم میزان کلروفیل b در سطح تنش اسمزی ۶- بار بیشتر از سطح شاهد و سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بود و در ارقام سوسن، زرین، رسول و میهن میزان کلروفیل b در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیشتر از سطح شاهد و سطح تنش اسمزی ۶- بار بود (جدول ۴). دوام فتوسنتز و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش اسمزی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل تنش اسمزی است (۳). بیشترین میزان کارتنوئید در سطح شاهد در رقم شیرودی و کمترین مقدار آن در ارقام آرتا و مشاهده شد. در سطح تنش اسمزی ۶- بار ارقام اروم و گاسکوژن بیشترین مقدار کارتنوئید و ارقام رسول و میهن کمترین مقدار آن را به خود اختصاص داد. در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار بیشترین مقدار کارتنوئید در رقم رسول و کمترین میزان آن در ارقام مغان ۳ و تجن مشاهده شد. در ارقام مغان ۱، آرتا، کویر، اروم، زرین، بک کراس روشن زمستانه و گاسکوژن میزان کارتنوئید در تنش اسمزی ۶- بار بیشتر از تنش اسمزی ۱۲- بار و شاهد بود و در ارقام مغان ۲، اترک، دریا، توس، رسول و میهن میزان کارتنوئید در تنش اسمزی ۱۲- بار بیشتر از شاهد و تنش اسمزی ۶- بار بود.

در بقیه ارقام میزان کاروتنوئید روند کاهشی را از سطح بدون تنش به سمت افزایش تنش اسمزی داشتند (جدول ۴). کاروتنوئیدها از طریق مکانیسم چرخه گزانتوفیل، باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند (۲). بنابراین، با توجه به نقش حفاظتی کاروتنوئیدها، افزایش معنی‌دار مقدار کاروتنوئیدها در ارقام متحمل در طی تنش، قابل توجیه است. مقایسه سطوح تنش اسمزی از نظر صفت کلروفیل کل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل در سطح شاهد و کمترین میزان مربوط به سطح تنش اسمزی ۶- بار بود (جدول ۵). صارمی‌راد و همکاران (۲۳) نیز گزارش کردند که در شرایط تنش کادمیوم میزان کلروفیل در ارقام گندم کاهش می‌یابد. مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر این صفت نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به ارقام آرتا و شیرودی و کمترین مقدار مربوط به رقم مغان ۳ بود (جدول ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در ارقام گندم تحت شرایط تنش اسمزی

Table 3. Analysis of variance for measured physiological traits in wheat cultivars at osmotic stress condition

		میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	قند محلول	پرولین	فلورسانس اولیه	فلورسانس حداکثر	فلورسانس متغیر	عملکرد کوانتوم	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	کلروفیل کل
تنش	۲	۶/۷۲**	۳/۳۶**	۰/۱۳**	۰/۲۴**	۰/۲۷**	۰/۰۰۱۵^{ns}	۱/۲۵**	۰/۰۸۸^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۳۹**
رقم	۱۹	۰/۵۹**	۰/۱۱**	۰/۱۱۰^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۱۹^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۳**	۰/۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۵**
تنش×رقم	۳۸	۰/۱۹**	۰/۰۲۲**	۰/۰۲۵**	۰/۰۳۷**	۰/۰۴۸**	۰/۰۰۱۵*	۰/۰۱۷**	۰/۰۷**	۰/۰۳۳**	۰/۰۰۶^{ns}
خطا	۱۲۰	۰/۰۵۹	۰/۰۰۵۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۴۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵۹
ضریب تغییرات (٪)		۲۲/۴۴	۱۱/۶۸	۴/۵۱	۳/۹۸	۴/۸۲	۳/۴۶	۱۲/۹۷	۱۷/۴۷	۱۰/۹۴	۱۲/۳۹

ns، ** و *: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۱و ۵ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر صفات مورد مطالعه در سه سطح تنش اسمزی با روش دانکن

Table 4. Mean comparison of studied traits in wheat cultivars under three osmotic stress levels using Duncan's method

ارقام گندم	قند محلول			پرولین			فلورسانس اولیه			فلورسانس حداکثر			فلورسانس متغیر		
	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار
مغان ۱	۰/۸۳^{bcd}	۰/۸۷۷$^{d-f}$	۰/۹۲۳^{ef}	۰/۴۸$^{a-c}$	۰/۵۶۷$^{e-g}$	۰/۶۵۳$^{e-h}$	۲۰۷$^{b-e}$	۲۹۳/۳۳^{a}	۱۷۶/۶۷^{ab}	۱۰۷۸/۳^{ab}	۱۱۸۶/۳^{a}	۵۹۲/۷^{de}	۸۷۱/۳^{a}	۸۹۳^{a}	۴۱۶^{de}
مغان ۲	۰/۴۳^{ef}	۱/۳۷۷$^{a-c}$	۲/۲۱۴^{a}	۰/۲۷^{f}	۰/۵۰۴^{fg}	۰/۷۴$^{d-g}$	۲۱۴/۳۳$^{b-e}$	۲۳۲/۶۷$^{a-d}$	۱۴۹/۳۳^{b}	۹۹۱/۷^{ab}	۱۰۴۹^{ab}	۵۴۹^{e}	۷۷۷/۳^{a}	۸۱۶/۳$^{a-c}$	۳۹۹/۷^{de}
مغان ۳	۰/۸۵^{bcd}	۱/۱۹$^{a-d}$	۱/۵۲۳$^{b-e}$	۰/۴۷$^{a-c}$	۰/۵۴f^{g}	۰/۶۱۲^{gh}	۲۳۸/۶۷$^{a-e}$	۲۱۸/۶۷$^{a-e}$	۱۴۳/۶۷^{b}	۹۱۹^{ab}	۹۶۵/۷$^{a-c}$	۵۶۹^{de}	۶۸۰/۳^{a}	۷۴۷$^{a-d}$	۴۲۵/۳^{de}
آرتا	۰/۷^{bcd}	۱/۰۴۵$^{b-e}$	۱/۳۹۱$^{c-e}$	۰/۳۷^{de}	۰/۶۸۵$^{b-d}$	۱/۰۰۱$^{a-c}$	۱۸۸$^{c-e}$	۱۷۶/۶۷$^{b-e}$	۱۶۷^{ab}	۸۵۳/۷^{ab}	۸۳۶$^{a-d}$	۵۳۹^{e}	۶۶۵/۷^{a}	۶۵۹/۳$^{a-e}$	۳۷۲^{e}
اترک	۰/۴۷^{ef}	۰/۶۸۱^{ef}	۰/۸۸۲^{ef}	۰/۲۸^{f}	۰/۳۹۵^{h}	۰/۵۱۱^{h}	۲۱۱/۳۳$^{b-e}$	۲۴۳^{ab}	۱۶۷^{ab}	۸۱۹/۳^{b}	۱۰۷۰/۷^{ab}	۵۴۱^{e}	۶۰۸^{a}	۸۲۷/۷^{ab}	۳۷۴^{e}
شیرودی	۱/۰۳^{b}	۱/۲۰۴$^{a-d}$	۱/۳۳۸$^{c-e}$	۰/۵۱^{ab}	۰/۷۶۳^{ab}	۱/۰۱۲^{ab}	۳۱۰/۳۳^{a}	۱۹۳/۶۷$^{b-e}$	۱۸۳/۳۳^{ab}	۹۹۰/۷^{ab}	۸۲۲/۷$^{a-e}$	۷۰۴$^{b-e}$	۶۸۰/۳^{a}	۶۲۹$^{a-e}$	۵۲۰/۷$^{b-e}$
کویر	۰/۷۵$^{b-e}$	۱/۲۰۲$^{a-d}$	۱/۶۴۹^{abc}	۰/۴۷^{bc}	۰/۶۵$^{c-e}$	۰/۸۳۵$^{b-e}$	۲۱۰$^{b-e}$	۱۸۳b-^{e}	۱۶۰^{ab}	۸۶۵^{ab}	۷۰۲$^{b-e}$	۶۴۸$^{c-e}$	۶۵۵^{a}	۵۱۹$^{b-f}$	۴۸۸$^{c-e}$
دریا	۰/۴۵^{ef}	۰/۵۲۳^{f}	۰/۵۹۲^{f}	۰/۲۹^{ef}	۰/۵۵۱$^{e-g}$	۰/۸۰۹$^{c-f}$	۲۰۳/۳۳$^{b-e}$	۲۳۴/۶۷$^{a-c}$	۲۰۰/۶۷^{ab}	۹۶۴/۳^{ab}	۱۰۰۳$^{a-c}$	۸۲۰/۷$^{a-e}$	۷۶۱^{a}	۷۶۸/۳$^{a-c}$	۶۲۰$^{a-e}$
ارگ	۰/۸۲^{bcd}	۱/۴۹۲^{a}	۲/۱۵۸^{ab}	۰/۳۶^{de}	۰/۵۹۴$^{d-f}$	۰/۸۲۷$^{b-f}$	۲۴۲$^{a-e}$	۲۰۲/۶۷$^{b-e}$	۱۹۶^{ab}	۱۱۷۳/۳^{ab}	۸۹۹$^{a-d}$	۸۶۲/۳$^{a-e}$	۹۳۱/۳^{a}	۶۹۶/۳$^{a-e}$	۶۶۶/۳$^{a-e}$
اروم	۰/۸۲$^{d-f}$	۰/۹۵۶$^{c-e}$	۱/۳۰۹$^{c-e}$	۰/۳۶^{df}	۰/۵۳۵f^{g}	۰/۸۰۸$^{c-f}$	۱۸۱/۶۷^{de}	۱۳۲/۳۳^{e}	۲۳۹/۶۷^{a}	۹۶۸/۳^{ab}	۵۵۶^{de}	۹۸۴/۳$^{a-c}$	۷۸۶/۷^{a}	۴۲۳/۷$^{d-f}$	۷۴۴/۷$^{a-c}$
سوسن	۰/۷۳۳$^{b-f}$	۱/۳۶۱^{ab}	۱/۹۹$^{a-c}$	۰/۴۲^{cd}	۰/۵۷۴^{ef}	۰/۷۳۲$^{d-g}$	۲۲۰/۶۷$^{a-e}$	۱۶۸/۶۷$^{b-e}$	۱۵۶^{b}	۱۰۰۵/۷^{ab}	۵۷۱^{de}	۶۴۹/۷$^{c-e}$	۷۸۵^{a}	۴۰۲/۳^{ef}	۴۹۳/۷$^{c-e}$
اینیا	۱/۰۰۲^{bc}	۰/۹۲۸^{de}	۰/۸۵۴^{ef}	۰/۵۲^{ab}	۰/۷۵۳$^{a-c}$	۰/۹۹$^{a-c}$	۱۵۷/۶۷^{e}	۱۵۴/۶۷$^{b-e}$	۲۲۶^{ab}	۷۵۱/۷^{b}	۵۲۲^{de}	۱۰۹۳^{a}	۵۹۳^{a}	۳۶۷/۳^{ef}	۸۶۷^{a}
زرین	۱/۵۸^{a}	۱/۴۳۵^{ab}	۱/۲۸۸^{de}	۰/۵۵^{a}	۰/۸۲۱^{a}	۱/۰۹۳^{a}	۱۷۴^{de}	۱۶۲/۳۳$^{b-e}$	۲۲۲/۶۷^{ab}	۷۹۵/۷^{b}	۵۵۷^{de}	۱۰۵۵/۳^{ab}	۶۲۱/۷^{a}	۳۹۴/۷^{ef}	۸۳۲/۷^{ab}
توس	۰/۶۹$^{c-f}$	۱/۲۶۷$^{a-d}$	۱/۸۳۸$^{a-d}$	۰/۲۹^{ef}	۰/۴۶۳^{gh}	۰/۶۳۴$^{f-h}$	۱۷۹/۳۳^{de}	۱۵۹/۳۳$^{b-e}$	۲۱۴/۶۷^{ab}	۷۵۸/۷^{b}	۵۴۸^{de}	۱۰۰۶$^{a-c}$	۵۷۹/۳^{a}	۳۸۸/۷^{ef}	۷۹۱/۳$^{a-c}$
گاسپارد	۰/۶۲$^{d-f}$	۰/۷۶^{ef}	۰/۸۹۸^{ef}	۰/۳۷^{de}	۰/۶۱۴$^{d-f}$	۰/۸۵۸$^{b-d}$	۲۱۲/۳۳$^{b-e}$	۱۴۴d^{e}	۱۹۶^{ab}	۸۷۵/۷^{ab}	۶۳۳/۷$^{c-e}$	۸۸۵$^{a-e}$	۶۶۳/۳^{a}	۴۸۹/۷$^{c-f}$	۶۸۹$^{a-e}$
بک‌کراس‌روشن	۰/۴۴^{ef}	۰/۹۵۱$^{c-e}$	۱/۴۶۲$^{c-e}$	۰/۲۶^{df}	۰/۶۱$^{d-f}$	۰/۹۶۲$^{a-c}$	۲۵۳/۳۳$^{a-d}$	۱۶۶/۳۳$^{b-e}$	۲۰۴^{ab}	۱۰۲۵/۷^{ab}	۷۵۳/۳$^{b-e}$	۷۶۴$^{a-e}$	۷۷۲^{a}	۵۸۷$^{a-f}$	۵۶۰$^{a-e}$
رسول	۰/۴۲^{f}	۰/۹۱^{de}	۱/۴۰۱$^{c-e}$	۰/۲۸^{f}	۰/۶۸۷$^{b-d}$	۱/۰۹۶^{a}	۲۵۱/۶۷$^{b-e}$	۱۸۴/۶۷$^{b-e}$	۲۱۵^{ab}	۱۰۳۵/۷^{ab}	۸۰۰/۳$^{a-e}$	۷۵۶$^{a-e}$	۷۸۴^{a}	۶۱۵/۷$^{a-f}$	۵۴۱$^{b-e}$
تجن	۰/۷۲$^{b-f}$	۱/۰۶۲$^{b-e}$	۱/۴۰۳$^{c-e}$	۰/۲۴^{f}	۰/۵۵۶$^{e-g}$	۰/۸۶۸$^{b-d}$	۲۹۲/۳۳^{ab}	۱۷۳/۶۷$^{b-e}$	۱۷۴/۶۷^{ab}	۱۰۹۵^{ab}	۷۵۱$^{b-e}$	۸۳۱/۳$^{a-e}$	۸۰۲/۷^{a}	۵۷۷/۳$^{a-f}$	۶۵۷$^{a-e}$
گاسکوژن	۰/۸۷^{bcd}	۱/۲۴۵$^{a-d}$	۱/۶۲۴$^{a-d}$	۰/۴۶^{bc}	۰/۷۶۵^{ab}	۱/۰۷۵^{a}	۳۰۸^{a}	۱۴۱^{e}	۱۶۲^{ab}	۱۳۲۹^{a}	۴۳۱/۳^{e}	۶۶۵/۷$^{c-e}$	۱۰۲۱^{a}	۲۹۰/۳^{f}	۵۰۳/۷$^{c-e}$
میهن	۰/۸۳^{bcd}	۱/۱۷۹$^{a-d}$	۱/۵۲۶$^{b-e}$	۰/۴۸$^{a-c}$	۰/۷۳۱$^{a-c}$	۰/۹۷۸$^{a-c}$	۲۷۵/۶۷$^{a-c}$	۱۴۴/۶۷$^{c-e}$	۲۲۶^{ab}	۱۰۸۷^{ab}	۶۳۵/۷$^{c-e}$	۹۳۷/۷$^{a-d}$	۸۱۱/۳^{a}	۴۹۱$^{c-f}$	۷۱۱ /۷$^{a-d}$

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر صفات مورد مطالعه در سه سطح تنش اسمزی با روش دانکن

Table 4. Mean comparison of studied traits in wheat cultivars under three osmotic stress levels using Duncan's method

	عملکرد کوانتوم				کلروفیل a			کلروفیل b		کارتنوئید		
ارقام گندم	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار	شاهد	تنش اسمزی ۶- بار	تنش اسمزی ۱۲- بار
مغان ۱	۰/۷۹۵^{a}	۰/۷۵۵^{a}	۰/۷۰۱^{cd}	۲/۸۹۷^{ab}	۳/۰۷۲$^{d-g}$	۵/۰۱۷^{a}	۰/۷۱۵^{c}	۱/۱۵۱$^{a-c}$	۰/۸۹۳$^{a-e}$	۹/۸۵۵^{bc}	۱۴/۴۴۴$^{a-d}$	۱۱/۰۰۳$^{a-c}$
مغان ۲	۰/۷۸۱^{a}	۰/۷۷۸^{a}	۰/۷۲۵$^{a-d}$	۲/۴۶۴$^{a-f}$	۳/۴۴۳$^{c-e}$	۴/۲۴۰$^{a-c}$	۱/۱۷۲$^{a-c}$	۰/۷۹۱^{bc}	۱/۳۷۳^{ab}	۱۱/۲۸۸$^{a-c}$	۱۰/۳۸۶$^{b-d}$	۱۶/۴۸۴^{ab}
مغان ۳	۰/۷۳۹^{ab}	۰/۷۷۹^{a}	۰/۷۴۷$^{a-d}$	۱/۱۵۳^{f}	۳/۳۴۱$^{d-f}$	۳/۵۲۹^{cd}	۱/۴۴۹$^{a-c}$	۰/۸۴۲$^{a-c}$	۰/۷۳۲^{de}	۱۵/۹۴۷$^{a-c}$	۱۳/۴۴۵$^{a-d}$	۹/۲۶۲^{c}
آرتا	۰/۷۷۵^{a}	۰/۷۸۲^{a}	۰/۶۸۹^{d}	۳/۱۰۲^{a}	۴/۶۴۵^{a}	۴/۶۷۹^{ab}	۰/۹۱۳^{bc}	۱/۲۵۳$^{a-c}$	۰/۷۹۵^{ab}	۹/۱۲۳^{c}	۱۴/۹۲۴$^{a-d}$	۱۲/۵۳۴$^{a-c}$
اترک	۰/۷۲۳^{ab}	۰/۷۷۰^{a}	۰/۶۸۸^{d}	۱/۹۲۷^{de}	۲/۸۴۴$^{d-g}$	۴/۷۵۷^{a}	۱/۲۹۷$^{a-c}$	۰/۸۰۹$^{a-c}$	۱/۳۷۲^{ab}	۱۲/۵۰۱$^{a-c}$	۹/۹۹۹^{cd}	۱۴/۵۹$^{a-c}$
شیرودی	۰/۶۷۸^{b}	۰/۷۵۱^{a}	۰/۷۳۶$^{a-d}$	۲/۹۵۸^{a}	۴/۵۰۶^{ab}	۴/۷۷۰^{a}	۱/۵۴۱^{ab}	۰/۸۶۲$^{a-c}$	۰/۷۸۷$^{c-e}$	۱۶/۸۲۶^{a}	۱۱/۹۶۴$^{a-d}$	۱۰/۹۸۵$^{a-c}$
کویر	۰/۷۵۳^{ab}	۰/۷۳۳^{a}	۰/۷۴۹$^{a-d}$	۲/۴۵$^{a-f}$	۲/۹۴۷$^{d-g}$	۴/۵۷۴^{ab}	۰/۹۰۶^{bc}	۰/۸۵۹$^{a-c}$	۰/۹۴۹$^{a-e}$	۱۰/۸۵۲$^{a-c}$	۱۴/۴۶۸$^{a-d}$	۱۱/۸۱۵$^{a-c}$
دریا	۰/۷۸۷^{a}	۰/۷۶۳^{a}	۰/۷۵۰$^{a-d}$	۲/۰۲۲$^{c-e}$	۲/۴۰۰^{fg}	۴/۲۶۷$^{a-c}$	۱/۳۴۸$^{a-c}$	۰/۸۵۹$^{a-c}$	۱/۳۳۲$^{a-c}$	۱۱/۷۰۶$^{a-c}$	۱۰/۵۳۷$^{b-d}$	۱۴/۲۱۳$^{a-c}$
ارگ	۰/۷۹۴^{a}	۰/۷۶۸^{a}	۰/۷۷۱$^{a-c}$	۱/۸۰۱^{e}	۳/۸۰۶$^{a-d}$	۴/۴۰۴$^{a-c}$	۱/۶۴۴^{a}	۰/۹۴۶$^{a-c}$	۰/۶۹۲^{de}	۱۶/۱۳^{ab}	۱۲/۷۵۹$^{a-d}$	۱۰/۶۳۳$^{a-c}$
اروم	۰/۸۱۱^{a}	۰/۷۶۱^{a}	۰/۷۵۵$^{a-d}$	۱/۹۷۱^{de}	۲/۶۵۸$^{b-e}$	۳/۶۹۸$^{b-d}$	۰/۹۸۸$^{a-c}$	۱/۱۳۹$^{a-c}$	۱/۰۹۲$^{a-e}$	۹/۵۸۸^{bc}	۱۶/۸۵۶^{a}	۱۲/۸۹۷$^{a-c}$
سوسن	۰/۷۸۲^{a}	۰/۷۰۴^{ab}	۰/۷۵۸$^{a-d}$	۱/۸۱۸^{e}	۲/۶۵۵$^{e-g}$	۵/۰۵۷^{a}	۱/۰۰۷$^{a-c}$	۰/۸۹۳$^{a-c}$	۱/۳۱۶$^{a-c}$	۱۳/۲۱۱$^{a-c}$	۱۰/۳۷۱$^{b-d}$	۱۵/۶۹^{ab}
اینیا	۰/۷۸۹^{a}	۰/۷۰۳^{ab}	۰/۷۹۲^{a}	۲/۷۰۹$^{a-c}$	۲/۲۷۵^{g}	۳/۳۰۱^{d}	۱/۶۸۱^{a}	۱/۰۱۷$^{a-c}$	۰/۸۰۳$^{c-e}$	۱۲/۷۵۸$^{a-c}$	۱۳/۰۵۳$^{a-d}$	۱۰/۱۳۷^{bc}
زرین	۰/۷۷۹^{a}	۰/۷۰۷^{ab}	۰/۷۸۸^{a}	۲/۶۰۶$^{a-d}$	۲/۷۵۸$^{e-g}$	۴/۴۹۱$^{a-c}$	۰/۷۳۵^{c}	۱/۰۹۳$^{a-c}$	۱/۱۱۲$^{a-e}$	۹/۷۰۶^{bc}	۱۵/۸۸۷$^{a-c}$	۱۳/۲۷۳$^{a-c}$
توس	۰/۷۶۱^{ab}	۰/۷۰۷^{ab}	۰/۷۸۶^{a}	۲/۱۲۹$^{c-e}$	۳/۶۵۲$^{b-e}$	۴/۶۵۷^{ab}	۱/۱۸۵$^{a-c}$	۰/۸۷۱$^{a-c}$	۰/۸۸۶$^{c-e}$	۱۳/۵۲$^{a-c}$	۱۰/۲۲^{cd}	۱۶/۱۸۴^{ab}
گاسپارد	۰/۷۵۹^{ab}	۰/۷۶۴^{a}	۰/۷۷۵^{ab}	۲/۵۸۵$^{a-d}$	۴/۳۲۴$^{a-c}$	۴/۳۵۹$^{a-c}$	۱/۴۳۶$^{a-c}$	۰/۹۶۳$^{a-c}$	۰/۵۹۶^{e}	۱۵/۶۴۴$^{a-c}$	۱۳/۱۹۵$^{a-d}$	۱۱/۱۲۲$^{a-c}$
بک‌کراس‌روشن	۰/۷۵۱^{ab}	۰/۷۸۲^{a}	۰/۷۲۹$^{a-d}$	۲/۰۶۵$^{c-e}$	۳/۴۱۶$^{c-e}$	۴/۲۰۳$^{a-c}$	۱/۹۱۱b^{c}	۱/۲۶۱$^{a-c}$	۰/۸۳۵$^{b-e}$	۱۰/۱۳۷$^{a-c}$	۱۶/۴۵۶^{ab}	۱۳/۰۴۸$^{a-c}$
رسول	۰/۷۵۷^{ab}	۰/۷۶۴^{a}	۰/۷۰۸$^{b-d}$	۲/۰۹۴$^{c-e}$	۲/۳۰۴^{g}	۴/۳۹۴$^{a-c}$	۱/۱۷۶$^{a-c}$	۰/۶۹۱^{c}	۱/۲۵۶$^{a-d}$	۱۳/۸۴۱$^{a-c}$	۸/۸۵۷^{d}	۱۶/۸۶۱^{a}
تجن	۰/۷۳۳^{ab}	۰/۷۶۷^{a}	۰/۷۹۲^{a}	۲/۹۰۴^{ab}	۲/۷۹۴$^{e-g}$	۴/۲۳۳$^{a-c}$	۱/۳۱۲$^{a-c}$	۰/۹۱۹$^{a-c}$	۰/۷۸۹$^{c-e}$	۱۴/۶۷۱$^{a-c}$	۱۲/۱$^{a-d}$	۹/۱۹۶^{c}
گاسکوژن	۰/۷۴۳^{ab}	۰/۶۱۶^{b}	۰/۷۵۷$^{a-d}$	۲/۱۳۶$^{c-e}$	۲/۲۷۳^{g}	۴/۴۱۶$^{a-c}$	۰/۸۰۸^{bc}	۰/۴۲۵^{ab}	۱/۲۴۰$^{a-d}$	۹/۵۲۱^{bc}	۱۷/۲۲۶^{a}	۱۲/۸۵۷$^{a-c}$
میهن	۰/۷۴۵^{ab}	۰/۷۷۲^{a}	۰/۷۵۶$^{a-d}$	۲/۲۵۲$^{b-f}$	۳/۴۷۹$^{c-e}$	۴/۸۵۱^{a}	۰/۸۸۹^{bc}	۰/۹۳۴$^{a-c}$	۱/۴۵۱^{a}	۱۳/۵۹۹$^{a-c}$	۹/۴۸۲^{d}	۱۶/۰۰۱^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین سطوح تنش اسمزی از نظر صفت کلروفیل کل با روش دانکن

Table 5. Mean comparison of total chlorophyll for osmotic stress levels using Duncan's method

تیمار	کلروفیل کل
شاهد	۴/۶۴^{a}
تنش اسمزی ۶- بار	۴/۲۱^{b}
تنش اسمزی ۱۲- بار	۴/۲۵^{b}

میانگین‌هایی با حروف مشترک در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین ارقام گندم از نظر صفت کلروفیل کل در شرایط تنش اسمزی با روش دانکن

Table 6. Mean comparison of total chlorophyll in wheat cultivars under osmotic stress using Duncan's method

شماره	ارقام	کلروفیل کل	شماره	ارقام	کلروفیل کل
۱	مغان ۱	۴/۵۸^{abc}	۱۱	سوسن	۴/۲۷^{bcd}
۲	مغان ۲	۴/۴۹^{abc}	۱۲	اینیا	۳/۹۳^{cd}
۳	مغان ۳	۳/۶۸^{d}	۱۳	زرین	۴/۲۷^{bcd}
۴	آرتا	۵/۱۳^{a}	۱۴	توس	۴/۴۶$^{a-d}$
۵	اترک	۴/۳۴^{bcd}	۱۵	گاسپارد	۴/۷۵^{ab}
۶	شیرودی	۵/۱۴^{a}	۱۶	بک‌کراس‌روشن‌زمستانه	۴/۲۲^{bcd}
۷	کویر	۴/۴۵$^{a-d}$	۱۷	رسول	۳/۹۷^{bcd}
۸	دریا	۴/۰۸^{bcd}	۱۸	تجن	۴/۳۲^{bcd}
۹	ارگ	۴/۴۳$^{a-d}$	۱۹	گاسکوژن	۴/۱^{bcd}
۱۰	اروم	۴/۱۸^{bcd}	۲۰	میهن	۴/۶۲^{abc}

میانگین‌هایی با حروف مشترک در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار باهم ندارند.

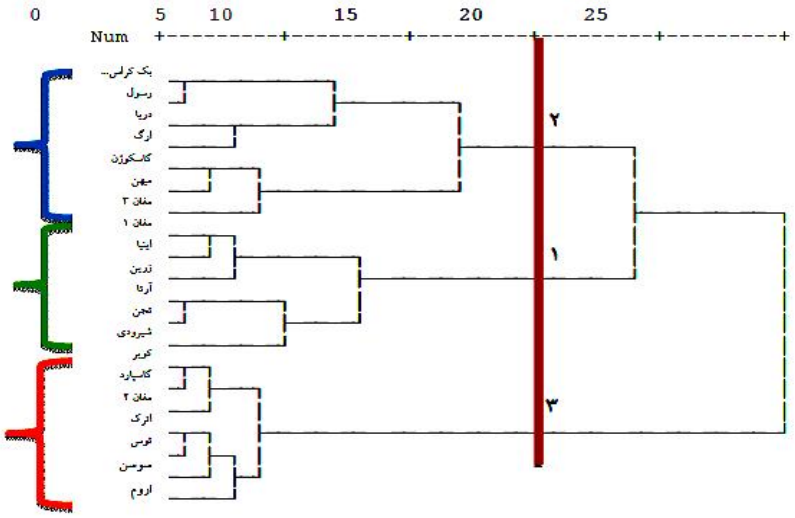
تجزیه خوشه‌ای

گروه‌بندی ارقام با استفاده از تجزیه خوشه‌ای براساس میانگین استاندارد شده صفات به روش Ward در سه سطح شاهد، تنش اسمزی ۶- بار و تنش اسمزی ۱۲- بار به‌طور جداگانه انجام شد (شکل‌های ۱، ۳ و ۵). برای تعیین تعداد مطلوب گروه‌ها، تجزیه واریانس چندمتغیره برپایه تجزیه واریانس یک‌طرفه نامتعادل برای هر یک از سطوح تنش صورت گرفت و گروه‌های حاصل در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. به منظور تعیین ویژگی‌های هر گروه از نظر کلیه صفات مورد مطالعه، انحراف از میانگین کل برای هر گروه محاسبه گردید (شکل‌های ۲، ۴ و ۶). در شرایط بدون تنش، ارقام در فاصله ۱۵ از نمودار درختی به سه گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل ارقام زرین، اینیا، آرتا، مغان ۱، تجن و شیرودی، گروه دوم شامل ارقام میهن، گاسکوژن، دریا، ارگ، رسول و بک‌کراس‌روشن‌زمستانه و گروه سوم شامل ارقام اترک، سوسن، مغان ۲، کویر، اروم، توس و گاسپارد بودند (شکل ۱). ارقام گروه اول از نظر بیشترصفات مانند قندهای محلول، عملکرد کوانتوم، فلورسانس اولیه، کلروفیل کل و پرولین میانگین بالاتر از میانگین کل را دارا بودند. در گروه دوم ارقام از نظر کارتنوئید و کلروفیل b بیشترین انحراف از میانگین کل را داشتند و ارقام گروه سوم از نظر برخی از صفات مانند فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر، بیشترین انحراف از میانگین کل را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). در شرایط بدون تنش با توجه به انحراف از میانگین کل صفات مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که ارقام گروه اول با داشتن انحراف از میانگین بالا برای اکثر صفات در گروه ارقام بهتر قرار گرفتند. در سطح تنش اسمزی ۶- بار، ارقام در فاصله ۱۵ از نمودار درختی به چهار گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل ارقام مغان ۲، سوسن، مغان ۱، اترک، دریا و تجن بود که ارقام این گروه از نظر صفات فلورسانس اولیه، فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر بیشترین انحراف از میانگین کل را به خود اختصاص دادند. در گروه دوم ارقام ارگ، توس، میهن، مغان ۳، اروم، کویر، بک‌کراس‌روشن زمستانه و شیرودی جای گرفتند که از نظر تعداد بیشتری از صفات مانند قندهای محلول، کارتنوئید و کلروفیل b بیشترین انحراف از میانگین کل را دارا بودند. گروه سوم شامل ارقام آرتا و گاسپارد بود و از نظر برخی صفات مانند کلروفیل a و کلروفیل کل انحراف از میانگین کل بالایی را داشت. در گروه چهارم ارقام اینیا، گاسکوژن، زرین و رسول جای گرفتند که از نظر صفات پرولین و عملکرد کوانتوم بیشترین انحراف از میانگین کل را به خود اختصاص دادند (شکل‌های ۳ و ۴). در شرایط تنش اسمزی -۶ بار ارقام گروه دوم با داشتن انحراف از میانگین کل بالا برای اکثر صفات در گروه ارقام متحمل قرار گرفتند و ارقام گروه سوم با داشتن انحراف از میانگین بالا برای تعداد کمی از صفات در گروه ارقام حساس قرار گرفتند.

در شرایط تنش اسمزی ۱۲- بار ارقام در فاصله ۱۵ از نمودار درختی به چهار گروه تقسیم شد. گروه اول شامل ارقام بک‌کراس‌روشن‌زمستانه، تجن، زرین، اروم، اینیا و مغان ۳، گروه دوم شامل ارقام میهن، گاسکوژن، مغان ۲ و رسول، گروه سوم شامل ارقام ارگ، توس، دریا، گاسپارد و مغان ۱ و گروه چهارم شامل ارقام اترک، سوسن، شیرودی، آرتا و کویر بودند (شکل ۵). در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار ارقام گروه اول از نظر برخی خصوصیات مانند فلورسانس حداکثر،

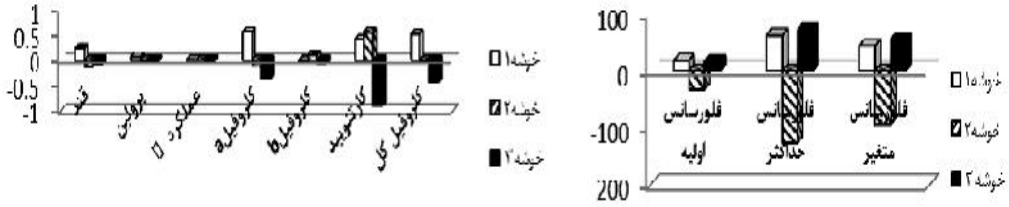
فلورسانس متغیر، فلورسانس اولیه و عملکرد کوانتوم انحراف از میانگین بالایی داشتند. در گروه دوم صفات قند محلول، کلروفیل کل، کارتنوئید، پرولین و کلروفیل a بیشترین انحراف از میانگین کل را دارا بودند. صفات پرولین، عملکرد کوانتوم و کلروفیل b در گروه سوم انحراف از میانگین کل بالایی را دارا بودند. گروه چهارم در شرایط تنش اسمزی ۱۲- بار از نظر صفت کلروفیل a، قند و کلروفیل کل بالاترین انحراف از میانگین کل را داشتند. با توجه به انحراف از میانگین کل صفات مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که ارقام گروه دوم با داشتن انحراف از میانگین بالا برای اکثر صفات در گروه ارقام متحمل به تنش اسمزی قرار گرفتند. ارقام گروه چهارم با داشتن انحراف از میانگین بالا برای تعداد کمی از صفات در گروه ارقام حساس جای گرفتند (شکل ۶) و در هر دو سطح تنش اسمزی رقم میهن به طور مشترک متحمل شناخته شد.

نتایج حاصل نشان داد که میانگین صفاتی مانند قندمحلول، پرولین و کلروفیل a در اکثر ارقام با افزایش تنش افزیش یافت. در حالی‌که، میانگین صفاتی مانند فلورسانس اولیه، فلورسانس حداکثر، کارتنوئید و فلورسانس متغیر در بیشتر ارقام نسبت به سطح شاهد کاهش نشان داد. در سطح تنش اسمزی ۶- بار ارقام ارگ، توس، میهن، مغان ۳، اروم، کویر، بک‌کراس‌روشن زمستانه و شیرودی از نظر صفاتی مانند قندهای محلول، کارتنوئید و کلروفیل b بهتر از بقیه ارقام بودند.



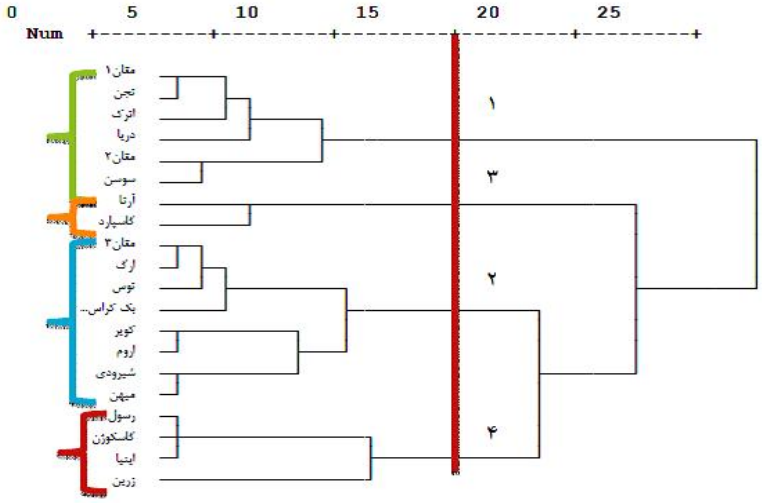
شکل ۱- گروه‌بندی ارقام گندم از نظر صفات مورد مطالعه به روش وارد در شرایط بدون تنش

Figure 1. Grouping of wheat cultivars bases on studied traits using Ward's method in non-stress (control) condition



شکل ۲- انحراف از میانگین کل صفات در سه خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای در سطح بدون تنش

Figure 2. Deviation from total means of traits for three groups obtained from cluster analysis in non-stress condition

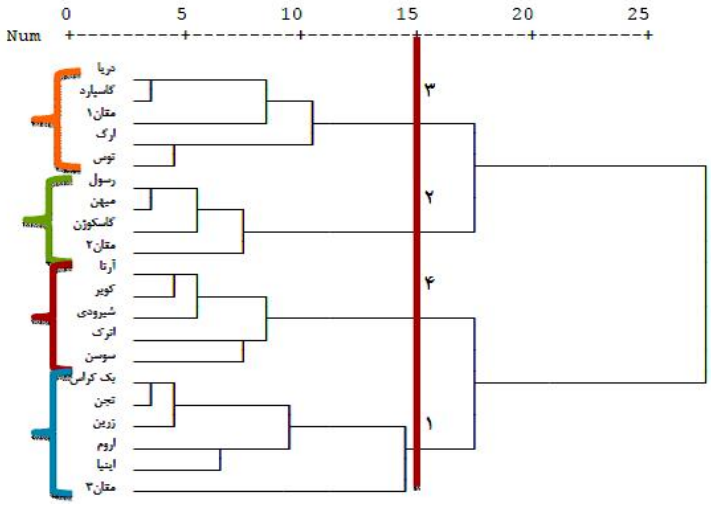


شکل ۳- گروه‌بندی ارقام گندم از نظر صفات مورد مطالعه به روش وارد در شرایط تنش اسمزی ۶- بار

Figure 3. Grouping of wheat cultivars bases on studied traits using Ward's method in -6 bar osmotic stress condition

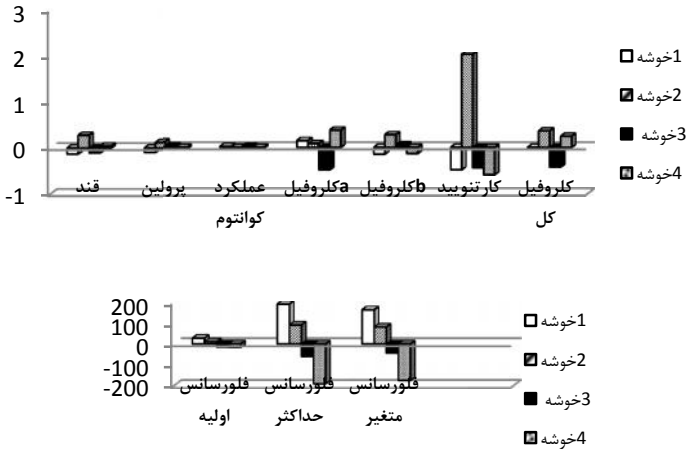
شکل ۴- انحراف از میانگین کل صفات درچهار خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای در سطح تنش اسمزی ۶- بار

Figure 4. . Deviation from total means of traits for four groups obtained from cluster analysis in -6 bar osmotic stress condition



شکل ۵- گروه‌بندی ارقام گندم از نظر صفات مورد مطالعه به روش وارد در شرایط تنش اسمزی ۱۲- بار

Figure 5. Grouping of wheat cultivars bases on studied traits using Ward's method in -12 bar osmotic stress condition



شکل ۶- انحراف از میانگین کل صفات در چهار خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار

Figure 6. Deviation from total means of traits for four groups obtained from cluster analysis in -12 bar osmotic stress condition

و در سطح تنش اسمزی ۱۲- بار ارقام میهن، گاسکوژن، مغان ۲ و رسول بیشترین انحراف از میانگین کل را برای صفات قند محلول، کلروفیل کل، کارتنوئید، پرولین و کلروفیل a داشتند. در هر دو سطح تنش رقم میهن تحمل بالایی را نشان داد. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای می‌توان از تلاقی رقم میهن با ارقامی مانند اترک، آرتا و کویر برای تولید جمعیت‌های پایه جهت انجام مطالعات ژنتیکی، اصلاحی و مکان‌یابی ژن‌های کنترل کننده صفات مرتبط با تنش اسمزی استفاده کرد.

منابع

1. Siosemardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and H. Ebrahimzadeh. 2003. Stomatal and non stomatal factors that control photosynthesis and they relation with drought resistance in wheat cultivars. Agricultural Science Journal of Iran, 35: 93-106 (In Persian).
2. Alizadeh, A. 1994. Relationship between water, soil and plant Ferdosi University press, Mashhad, pp 744 (In Persian).
3. Araus, J., L. Amaro, T. Voltas, J. Nakkoul and M.M. Nachit. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean condition. Fild Crop Research, 55: 209-223.
4. Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants Agriculture Journal, 23: 112-121.
5. Baker, N.R. and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany, 55: 1607-1621.
6. Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free prolin for water-stress stdies. Plant and Soil, 39: 205-207.
7. Blum, A. 1989. Plant breeding for stress environment CRD Press, INO, pp: 99-132.
8. Castrillo, M. and I. Trujillo. 1994. Ribulose-1-5, biphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein content in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. Photosynthetic, 30: 175-181.
9. Irigoyen, J.J., D.W. Emerich and M. Sanchez-Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. Physiology Plantarum, 84: 55-60.
10. Johnson, G.N., A.J. Young, J.D. Scholes and P. Horton. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. Plant Cell and Environment, 16: 673-679.
11. Kameli, A. and D.M. Lösel. 1993. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. Journal of Plant Physiology, 145: 363-366.
12. Kao, C.H. 1981. Senescence of rice leaves. VI. Comparative study of the metabolic changes of senescing turgid and water-stressed excised leaves. Plant and Cell Physiology, 22: 683-685.

13. Kumar, V., V. Shiram, N. Jawali and M.G. Shitole. 2007. Differential response of indica rice genotypes to NaCl stress in relation to physiological and biochemical parameters. Archive of Agronomy and Soil Science, 53: 581-592.
14. Lawlor, D.W. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: Stomata VS. Metabolism and the role of ATP. Annal so botany, 89: 871-885.
15. Martine, M., F. Micell, J.A. Morgan, M. and G. Scalet. 1993. Synthesis of osmotic ally active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. Journal of Agronomy *and* Crop Science, 17: 176-184.
16. Matysik, J., A.B. Bhalu and P. Mohnty. 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Science, 82: 525-532.
17. Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence-A practical guide. Experimental Botany, 51: 659-668.
18. Naghavi, M.R., M. Moghaddam, M. Toorchi and M.R. Shakiba. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars for physiological, morphological and agronomic traits under drought stress. Journal of Crop Breeding, 8: 64-77.
19. Osmanzai, M., S. Rajaram and E.B. Knapp. 1987. Breeding for moisture-stressed areas. Drought tolerance in winter cereals John Wiley and Sons New York, pp: 151-161.
20. Paknejad, F., E. Majidiheravan, Q. Noor mohammadi, A. Siyadat and S. Vazan. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. American Journal of Biochemistry and Biotechnology, 5: 162-169.
21. Sabry. S.R.S., L.T. Smith and G.M. Smith. 1995. Osmoregulation in spring wheat under drought and salinity stress. Journal of Genetics and Breeding, 49: 55-60.
22. Safarnejd, A. 2004. Characterization of somaclones of *Medicago sativa L*. for drought tolerance. Journal of Agriculture Science and Technology, 6**:** 121-127.
23. Sarami-rad, B., M. Shokrpour, O. Sofalian, S.E. Hashemi Nezhad, A. Avanes and E. Esfandiari. 2016. Association nalysis of AFLP and RAPD markers with cadmium accumulation in wheat. Journal of Crop Breeding, 8: 126-133.
24. Tambussi, E.A., S. Nogu´es, J.P. Ferrio, J. Voltas and J.L. Araus. 2005. Does a higher yield potential improve barley performance under Mediterranean conditions? A case study Field Crops Research, 91: 149-160.

Effect of Osmotic Stress on Some Physiological Characters of Wheat Cultivars

Maryam TahmasbeAli[1], Ali Asghari[2], Omid Sofalian[3], Hamidreza Mohammaddoust Chaman Abad[3] and Ali Rasoulzadeh[3]

1 and 3- M.Sc. Student and Associate Professor, University of Mohaghegh Ardabil
2- Associate Professor, University of Mohaghegh Ardabil (Corresponding author: ali_asgharii@yahoo.con)
Received: January 21, 2015 Accepted: April 21, 2015

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of osmotic stress on physiological characters of wheat cultivars as a factorial experiment based on completely randomized design with three replications in 2012 at the Mohaghegh Ardabili University. Twenty wheat cultivars studied in three stress levels (control, –6 and –12 Bars). Analysis of variance showed that the stress had significant effect on all traits, except of carotenoids, chlorophyll b and quantum yield. Comparisons of means by Duncan method at one percent probability level showed that increasing of osmotic stress increased averages of soluble sugar, proline and chlorophyll a in most cultivars. But, the average of chlorophyll fluorescence, maximum fluorescence (Fm), variable fluorescence (Fv) and carotenoids were decreased in more varieties such as Tajan, Gascogen, Mihan, Rasool, Gaspard and Roshan (winter type back cross) in compared with control level. Also, mean of quantum yield and chlorophyll b were greate in most varieties such as Arta and Roshan in -6 bar osmotic stress level. According to cluster analysis results based on physiological traits in control level, the varieties of Zarrin, Inia, Arta, Moghan1, Tajan and Shiroodi had high deviation from total mean for most of traits. In -6 bar osmotic stress, the varieties of Mihan, Shiroodi, Arg, Tous, Orum, Kavir, Moghan3 and Roshan (winter type back cross) and in -12 bar osmotic stress, the varieties of Mihan, Gascogen, Mihan, Moghan2 and Rasool categorized in tolerant varieties groups.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, Cluster analysis, Osmotic stress, Proline, Soluble sugar