دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره ششم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۵ (۱۸۴-۱۷۳)

اثر اسید سالیسیلیک و تنش کمبود آب پس از گرده‌افشانی بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف گندم

راضیه فرجزاده[۱]، نورعلی ساجدی[۲*] و تقی بابایی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۶

چکیده

تنش کمبود آب می‌تواند کمیت و کیفیت محصولات زراعی را کاهش دهد. به منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک و تنش خشکی در مرحله زایشی بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف گندم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. آبیاری در سه سطح شامل آبیاری معمول و بدون تنش (شاهد)، تنش خشکی پس از گرده‌افشانی همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی بدون محلول‌پاشی به عنوان عامل اصلی و هفت رقم گندم شامل اروم، زارع، میهن، پیشگام، الوند، بک‌کراس روشن و لاین C-78-14 به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی عملکرد ارقام تحت تنش را نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد. رقم اروم نسبت به ارقام دیگر دارای بیشترین عملکرد دانه تحت هر سه شرایط بدون تنش (۹۶۰۲/۷ کیلوگرم در هکتار)، تنش خشکی (۴۶۳۲/۷ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۴۹۳۵/۷ کیلوگرم در هکتار) بود. این رقم تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی از میزان نشت یونی پایینی برخوردار بود. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه را در ارقام الوند، بک‌کراس روشن، زارع، میهن، پیشگام، لاین C-78-14 و اروم به‌ترتیب ۷۵/۶، ۴۹/۲، ۲۸/۶، ۲۰/۲۱، ۱۹/۷، ۱۲/۰۵ و ۶/۵ درصد افزایش داد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی، رقم الوند و بک-کراس روشن بیشترین واکنش را نسبت به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، رشد زایشی، عملکرد دانه، نشت یونی

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۳- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک، ایران
* نویسنده مسئول: n-sajedi@iau-arak.ac.ir

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در دنیا محسوب می‌شود. در حال حاضر رشد و نمو گندم در نواحی زیادی از دنیا به شدت تحت تاثیر خشکی قرار می‌گیرد (Abdelkader *et al.*, 2010). خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش رشد و عملکرد گندم می‌شود (Majer *et al.*, 2008). کاهش پتانسیل آب در اثر تنش خشکی باعث کاهش تقسیم سلولی، رشد اندام‌های گیاه، فتوسنتز خالص، سنتز پروتئین و تغییر توازن هورمونی گیاه می‌شود (Ji *et al.*, 2010). حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش رطوبتی، پانزده روز قبل از گرده‌افشانی است که عمدتاً بر تعداد دانه در هر سنبله تاثیر می‌گذارد. این دوره ۵ تا ۱۶ روز قبل از ظهور سنبله هم‌زمان با طویل شدن سنبله، رشد بساک‌ها و مادگی است. اعمال تنش هم‌زمان با وقوع تقسیمات میوز در سلول‌های مادری دانه گرده در بساک‌ها موجب رشد غیر طبیعی بساک می‌شود، در حالی‌که روی اندام‌های ماده تاثیری ندارد (Fisher and Maure, 1978). تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی تا پر شدن دانه به دلیل کاهش تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد می‌شود (Maiti *et al.*, 2000). گزارش شده است که اگر تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی یا کمی قبل از آن روی دهد، تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد. کمبود آب پس از گلدهی (گرده‌افشانی) احتمالاً از طریق آسیب رساندن به فرآیند باروری دانه‌ها می‌تواند تعداد دانه در سنبله را کاهش دهد (Wardlaw and Willenbrink, 1994) .

افزایش مقاومت گیاهان از راه‌های مختلف امکان‌پذیر است. در مقایسه با روش‌های اصلاحی که اغلب بلند مدت و پرهزینه هستند، استفاده از مواد شیمیایی شامل اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و غیره آسان‌تر و ارزان‌تر است (Bartels and Sunkar, 2005). تیمار گیاهان با این ترکیبات می‌تواند قبل یا در طول دوره رشد آن‌ها انجام می‌شود. اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و براسینولید، ترکیبات طبیعی موجود در گیاه هستند که در مقادیر خیلی کم تولید می‌شوند و در واکنش‌های مربوط به تنش دخالت می‌کنند و آثار منفی تنش در گیاه را تعدیل می‌کنند (Gharib and Hegazi, 2010). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان مهم در پاسخ‌های گیاه به تنش‌های متعدد زیستی و غیرزیستی شناخته شده است (EL-Tayeb, 2005). تیمار با اسید سالیسیلیک تحمل گیاه به تنش اسمزی (Singh and Usha, 2003) وکم‌آبی (Saruhan, 2012) را افزایش می‌دهد. اسید سالیسیلیک به عنوان یک مولکول پیام رسان در نظر گرفته می‌شود که باعث افزایش ترکیبات دفاعی مانند پرولین و بتائین گلایسین می‌شود. از طرف دیگر افزایش رشد در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک نیز در گندم و سویا (Eraslan *et al.*, 2007) گزارش شده است. اثر حفاظتی اسید سالیسیلیک روی گیاهان در شرایط تنش کمبود آب، از طریق جلوگیری از کاهش میزان اسید ایندول استیک اسید و حفظ تجمع اسید آبسیزیک و پرولین می‌باشد (Sakhabutdinova *et al.*, 2003). بنابراین، با توجه به نقش اسید سالیسیلیک در کاهش آثار منفی تنش خشکی، این تحقیق اجرا شد که هدف از انجام آن، بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک هفت ژنوتیپ گندم تحت شرایط معمول آبیاری و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی در شرایط آب و هوایی اراک بود.

مواد و روش ها

به منظور بررسی تاثیر اسید سالیسیلیک و قطع آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک ارقام گندم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی در اراک با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۵۹ متری از سطح دریا انجام شد. جهت تعیین خصوصیات خاک محل آزمایش در زمان کاشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارایه شده است. آب آبیاری مورد استفاده نیز دارای pH برابر ۷/۸ و هدایت الکتریکی ۷۲۰ میکروموس و مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها به ترتیب ۸/۱ و ۸/۴ میلی‌اکی والان در لیتر بود.

مواد گیاهی مورد بررسی هفت ژنوتیپ با تیپ رشد زمستانه و بینابین (جدول ۲) بود که تحت سه شرایط شامل آبیاری معمول (بدون قطع آبیاری)، قطع آبیاری پس از گرده‌افشانی همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

(۲- هیدروکسی بنزوئیک اسید) و قطع آبیاری پس از گرده‌افشانی قرار گرفتند. علت انتخاب این ژنوتیپ‌ها این بود که ژنوتیپ‌های مورد استفاده، ارقام و لاین‌های تجاری مورد کشت در غالب مناطق سرد کشور به ویژه در استان مرکزی هستند. در بین ژنوتیپ‌ها، رقم الوند حساس‌ترین رقم به خشکی و بقیه ژنوتیپ‌ها درجه متفاوتی از مقاومت به خشکی را دارند. اسید سالیسیلیک بعد از گرده‌افشانی در ساعت ۸ صبح در کرت‌های مورد نظر محلول‌پاشی شد. محلول مورد استفاده برای این منظور ۶۰۰۰ میلی‌لیتر اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. قبل از کشت، یک نوبت دیسک، دو بار تسطیح عمود بر هم و کودپاشی انجام شد.

کود مصرفی بر اساس آزمون خاک تعیین شد که شامل ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از منبع فسفات آمونیوم، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره بود که در دو نوبت به‌صورت پایه و سرک استفاده شد. ابعاد هر کرت آزمایشی ۱/۲ × ۴ متر بود. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از آلودگی بذرها به سیاهک پنهان، قبل از کاشت از قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت ۲ در هزار استفاده شد. آبیاری به صورت نشتی انجام شد. در تیمار قطع آبیاری، آبیاری تا مرحله چکمه‌ای گیاه انجام شد و پس از این مرحله آبیاری قطع و تا پایان فصل زراعی و برداشت محصول آبیاری دیگری انجام نشد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ نیز مخلوطی از علف‌کش‌های گران‌استار و بوماسوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار به ترتیب در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن استفاده شد.

نمونه‌برداری در دو مرحله گلدهی و رسیدگی انجام شد. محتوی آب نسبی برگ و میزان نشت یونی سلول در مرحله ظهور سنبله اندازه‌گیری شدند. از هر کرت ۱۰ برگ جوان کاملاً توسعه یافته از ۵ بوته برداشت و در داخل نایلون پلاستیکی قرار داده شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و دیسک‌هایی به قطر تقریبی ۳ سانتی‌متر از محل پهنک برگ‌ها تهیه و وزن تر (FW) آنها با ترازوی دقیق با دقت یک صدم محاسبه شد. سپس دیسک‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند و نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن اشباع (SW) مجدداً توزین شدند. در نهایت دیسک‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. به این ترتیب، محتوی آب نسبی برگ (RWC) ارقام مورد مطالعه از رابطه (۱) محاسبه شد (Turner, 1981):

$$RWC = \frac{FW - DW}{SW - DW} \times 100 \qquad (۱)$$

برای محاسبه نشت یونی سلول، در مرحله ظهور سنبله از ۱۰ برگ جوان توسعه‌یافته مربوط به ۵ بوته تصادفی از هر کرت آزمایشی، دیسک‌هایی به قطر تقریبی ۳ سانتی‌متر از محل پهنک برگ‌ها تهیه و سپس دیسک‌ها به داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر محلول مانیتول با پتانسیل ۲- بار منتقل شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در دمای ۲۵ درجه سیلیسیوس قرائت شد (Aman *et al.*, 2005). اجزای عملکرد دانه از برداشت ۲۰ بوته از هر کرت آزمایشی تعیین شدند. در برداشت نهایی پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خطوط میانی هر کرت، باقیمانده کرت با استفاده از کمباین ویژه تحقیقاتی برداشت و عملکرد نهایی تیمارها بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

Table 1. Physical and chemical properties of the experimental soil (0-30 cm)

بافت خاک Soil texture	کربن آلی Organic carbon (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	ازت کل Total nitrogen (%)	درصد اشباع Saturation percentage	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC
Clay loam	0.48	4.82	56	0.07	35.5	7.7	0.502

جدول ۲- مشخصات تیپ رشدی ژنوتیپ‌ها
Table 2. The growth type characteristics of the studied genotypes

شماره ژنوتیپ Genotypic code	Genotype	نام ژنوتیپ	Growth type	تیپ رشد
G1	Oroum	اروم	Winter and intermediate	زمستانه و بینابین
G2	Zare	زارع	Winter	زمستانه
G3	Mihan	میهن	Winter	زمستانه
G4	Pishgam	پیشگام	Intermediate	بینابین
G5	Alvand	الوند	Intermediate	بینابین
G6	B.C. Roshan	بک‌کراس روشن	Intermediate	بینابین
G7	Line C-78-14	لاین C-78-14	Semi-winter	نیمه زمستانه

نتایج وبحث

اثر رقم بر محتوی آب نسبی برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین بین ارقام نشان داد که بیشترین محتوی آب نسبی برگ معادل ۶۴/۹۰ درصد از رقم پیشگام به دست آمد که با ارقام اروم، زارع، میهن، بک‌کراس روشن و لاین C-78-14 اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین محتوی آب نسبی برگ نیز معادل ۵۵/۱۲ درصد از رقم الوند به دست آمد (جدول ۴). در شرایط قطع آبیاری، کمترین میزان محتوی آب نسبی برگ معادل ۴۷/۷۴ درصد از رقم الوند به دست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد رقم الوند از حساسیت بالایی به خشکی برخوردار است. نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، محتوی آب نسبی برگ در ارقام الوند و لاین C-78-14 به ترتیب ۲۶/۲۶ و ۸/۱ درصد افزایش یافت (جدول ۵). به نظر می‌رسد مکانیسم‌های تحمل به تنش کمبود آب در رقم الوند و لاین C-78-14 ضعیف‌تر از سایر ارقام است و از این‌رو با استفاده از عوامل تعدیل کننده تنش مانند اسید سالیسیلیک می‌توان مکانیسم‌های دفاعی را تقویت کرد. نتایج یک آزمایش نشان داده است که تنش خشکی باعث افت پتانسیل آب برگ، کاهش میزان شدت تعرق و نیترات انتقال یافته از طریق آوندهای چوبی در برگ‌های گندم می‌شود (Hayat and Ahmad, 2007). تیمار با اسید سالیسیلیک موجب افزایش تحمل به کم آبی در چهار رقم زراعی گندم شد و زیست‌توده و محتوی آب برگ را افزایش داد (Loutfy, 2012). در گیاهانی که با اسید سالیسیلیک تیمار شدند، محتوی آب نسبی، وزن خشک، میزان کلروفیل و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو افزایش یافت (Singh and Usha, 2003) که با نتایج این تحقیق از نظر محتوای آب نسبی مطابقت داشت. در گیاه گوجه فرنگی در شرایط تنش اسمزی نیز تیمار با اسید سالیسیلیک موجب افزایش پتانسیل آب شد. علت این امر، تاثیر اسید سالیسیلیک بر تجمع ترکیبات آلی معرفی شد که در نتیجه پتانسیل سلول تغییر می‌یابد و زمینه جذب آب فراهم می‌شود (Szepesi *et al.*, 2005).

اثر رقم و اثر متقابل تنش × رقم بر نشت یونی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین ارقام نشان داد که بیشترین نشت یونی معادل ۴۹/۴۳ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در لاین C-78-14 مشاهده شد که با رقم الوند اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار نشت یونی نیز معادل ۲۲/۶۳ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از رقم اروم به دست آمد که با ارقام میهن، پیشگام و بک‌کراس روشن در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). دلیل پایین بودن میزان نشت یونی در این ارقام این بود که محتوای آب نسبی برگ در این ارقام بالا بود که این موضوع بیانگر سلامت و پایداری بیشتر غشاهای سیتوپلاسمی است. مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین نشت یونی معادل ۵۲/۴۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از لاین C-78-14 در شرایط قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به دست آمد. کمترین میزان نشت یونی معادل ۱۹/۹۶ و ۱۹/۷۲ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر نیز به‌ترتیب از رقم اروم در شرایط قطع آبیاری همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و رقم بک‌کراس روشن در شرایط قطع آبیاری به دست آمد. کمترین میزان نشت یونی در شرایط آبیاری معمول از ارقام اروم و پیشگام (به‌ترتیب با مقادیر ۲۰/۷۶ و ۲۱/۸۱

میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)، در شرایط قطع آبیاری از ارقام بک‌کراس روشن، میهن و اوروم (به‌ترتیب ۱۹/۷۲، ۲۰/۱۵ و ۲۷/۱۹ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) و در شرایط قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از ارقام اروم و بک‌کراس روشن (به‌ترتیب ۱۹/۹۶ و ۲۵/۳۹ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) حاصل شد. به نظر می‌رسد که ارقام بک‌کراس روشن و اروم از تحمل نسبتاً بالاتری به تنش خشکی برخوردار باشند. با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، میزان نشت یونی در رقم اروم ۳۶/۲ و در رقم الوند ۲۳ درصد کاهش یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد این دو رقم نسبت به کاربرد عوامل تعدیل کننده تنش مثل اسید سالیسیلیک واکنش بهتری نشان می‌دهند. نتایج این تحقیق با نتایج جیریایی و ساجدی (Jiriaie and Sajedi, 2012) مطابقت داشت. آنها گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شدید خشکی، میزان نشت یونی را در گندم رقم شیرار به طور معنی‌داری کاهش داد. گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش تحمل گیاهان به عوامل تنش‌زا می‌شود و به عنوان یک راهکار برای جلوگیری از آثار مخرب تنش‌های محیطی مصرف و کاربرد آن باعث کاهش نشت یونی از سلول‌های گیاهی می‌شود (Borsiani *et al.*, 2001). اسید سالیسیلیک از طریق توسعه واکنش‌های ضد تنش باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش کمبود آب بر ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه

Table 3. Analysis of variance of the effect of drought stress on the studied genotypes

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	محتوی آب نسبی برگ RWC	نشت یونی Ion leakage	تعداد دانه در سنبله No. of grain/spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	زیست‌توده Biomass	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	3	146.50^{ns}	102.85^{ns}	121.211**	15.760^{ns}	1913469.2^{ns}	0.756*	24.670^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	122.72^{ns}	51.12^{ns}	555.563**	111.195**	63418410.3**	3.148**	97.975**
خطای اصلی Main error	4	31.04	181.70	11.989	18.638	1179474.5	0.118	8.563
ژنوتیپ Genotype (G)	6	167.87*	793.22**	65.914*	8.859^{ns}	4614393.9**	0.483^{ns}	**58.249
آبیاری × ژنوتیپ I × G	12	54.21^{ns}	232.02**	50.222*	60.821**	1680554.0*	0.513*	**56.369
خطای فرعی Sub-error	36	77.26	81.69	20.118	15.608	772748.5	0.209	9.719
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	14.49	26.69	12.42	11.305	17.79	15.33	7.543

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

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

اثر سطوح آبیاری بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که با اعمال تنش کمبود آب در مرحله زایشی تعداد دانه در سنبله کاهش یافت. بیشترین تعداد دانه معادل ۴۱/۸۶ از تیمار آبیاری کامل تا مرحله رسیدن حاصل شد. در تیمار قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تیمار قطع آبیاری به تنهایی، تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۷/۶ و ۲۳/۶ درصد کاهش یافت. بنابراین، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، تعداد دانه در سنبله را به میزان ۷/۹ درصد افزایش داد (جدول ۴). این موضوع بیانگر اهمیت استفاده از اسید سالیسیلیک در شرایط تنش‌زا است. اثر رقم بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله معادل ۳۹/۷۶ از رقم میهن به دست آمد که با ارقام اروم، پیشگام و لاین C-78-14 اختلاف

معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد دانه نیز معادل ۳۲/۵۴ از رقم زارع به‌دست آمد که با ارقام اروم، الوند و بک‌کراس روشن در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری × رقم نیز بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که تحت شرایط معمول آبیاری، بیشترین تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب از ارقام پیشگام، میهن، لاین C-78-14، الوند و اروم حاصل شد، اما در شرایط قطع آبیاری بیشترین تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب از رقم میهن و در شرایط قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به ترتیب از لاین C-78-14 و رقم میهن حاصل شد. با قطع آبیاری تعداد دانه در سنبله در رقم الوند (۶۷/۰۴ درصد)، لاین C-78-14 (۵۶/۷۶ درصد)، پیشگام (۴۹/۸ درصد)، اروم (۲۰/۷ درصد)، میهن (۱۴/۷ درصد)، بک‌کراس روشن (۱۴/۰۱ درصد) و زارع (۸/۴ درصد) کاهش یافت. بنابراین، رقم الوند، لاین C-78-14 و رقم پیشگام از نظر تعداد دانه در سنبله نسبت به قطع آبیاری حساسیت بیشتری را نشان دادند و کمترین حساسیت مربوط به رقم زارع بود. با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، تعداد دانه در سنبله در ارقام الوند و لاین C-78-14 به ترتیب ۳۰/۱۶ و ۵۰/۹ درصد افزایش نشان داد. این موضوع بیانگر واکنش بهتر این ژنوتیپ‌ها به اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی است. کاهش تعداد دانه در اثر وقوع تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی و بعد از آن می‌تواند ناشی از اختلال در گرده‌افشانی، عقیم‌شدن دانه گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره از بخش‌های مختلف گیاهی از جمله ساقه باشد (Entz and Flower, 1990).

اثر سطوح آبیاری و اثر متقابل آبیاری در رقم بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که با اعمال تنش کمبود آب در مرحله زایشی وزن هزار دانه کاهش یافت. بیشترین وزن هزار دانه معادل ۳۷/۵۵ گرم از تیمار آبیاری کامل تا مرحله رسیدن حاصل شد. در تیمار قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تیمار قطع آبیاری به تنهایی، وزن هزار دانه نسبت به شاهد به ترتیب ۱۱/۶ و ۹/۲ درصد کاهش یافت. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که علت کاهش وزن هزار دانه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، افزایش تعداد دانه در سنبله بوده و کاهش انتقال مواد در شرایط تنش خشکی به حدی بوده است که کاربرد اسید سالیسیلیک نتوانسته از طریق حفظ محتوای آب سلول آن را جبران کند و حتی اثر منفی اعمال داشته است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین وزن هزار دانه از ارقام اروم و زارع (به‌ترتیب معادل ۳۵/۹۸ و ۳۳/۳۳ گرم) به‌دست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین و کمترین وزن هزار دانه از رقم الوند در شرایط آبیاری کامل (۴۳/۸۳ گرم) و قطع آبیاری (۲۴/۴۷ گرم) به‌دست آمد (جدول ۴). با قطع آبیاری، رقم الوند (۷۹/۱ درصد)، بک‌کراس روشن (۹/۲ درصد)، پیشگام (۸/۳ درصد)، اروم (۶ درصد) و لاین C-78-14 (۴/۲ درصد) کاهش و ارقام زارع و میهن به‌ترتیب با ۱/۶ درصد و ۱۳/۲ درصد افزایش وزن هزار دانه را نشان دادند. بنابراین، رقم الوند از نظر وزن هزار دانه نسبت به قطع آبیاری حساس‌ترین و ارقام میهن و زارع متحمل‌ترین بودند. با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، وزن هزار دانه در رقم الوند ۴۷/۹ درصد و در رقم بک‌کراس روشن ۴/۶ درصد افزایش یافت. این ارقام واکنش بهتری در شرایط تنش خشکی نسبت به کاربرد اسید سالیسیلیک نشان دادند، به‌طوری که با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در رقم الوند محتوای آب نسبی برگ افزایش و در رقم بک‌کراس روشن میزان نشت یونی کاهش یافت (جدول ۵). خشکی در طی مرحله پرشدن دانه معمولاً وزن دانه را کاهش می‌دهد. این امر احتمالاً به دلیل کاهش مواد پرورده برای رشد دانه‌ها است. کاهش تولید مواد پرورده نیز به کاهش فرآیند فتوسنتزی مربوط می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها مرتبط است (Morgan, 1977). اردلانی و همکاران (Ardalani *et al.*, 2015) گزارش کردند که تنش خشکی پس از گرده‌افشانی در چهار ژنوتیپ گندم نان باعث کاهش ۲۴ درصدی وزن هزار دانه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، عملکرد دانه از طریق کاهش وزن هزار دانه کاهش یافت. گزارش شده است که تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی بیشتر روی وزن هزار دانه موثر است و آن را کاهش می‌دهد، در این مرحله هر گونه کاهش در میزان آب قابل دسترس گیاه به دلیل اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، موجب کوچک و ضعیف شدن دانه‌ها می‌شود (Dalvandi *et al.*, 2013). در این تحقیق نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری و ژنوتیپ بر صفات اندازه‌گیری شده

Table 4. Mean comparisons of the effect of irrigation and genotype on the measured traits

تیمارها Treatment	محتوای آب نسبی برگ RWC (%)	نشت یونی Ion leakage (µS/cm)	تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	زیست‌توده Biomass (g/plant)	شاخص برداشت Harvest index (%)
آبیاری* Irrigation*							
I1	63.45[a]	32.48 a	41.86 a	37.55 a	6872.2 a	3.43 a	43.77 a
I2	59.22[a]	35.55 a	34.49 b	33.20 b	4445.8 b	2.81 b	40.54 b
I3	59.30[a]	33.52 a	31.96 b	34.08 ab	3504.3 c	2.72 b	39.67 b
ژنوتیپ Genotype							
Oroum (G1)	56.76[ab]	22.63 d	35.53 a-d	35.98 a	6390.3 a	2.83 ab	44.94 a
Zare (G2)	64.17[ab]	37.43 bc	32.54 d	33.33 a	4060.0 b	2.54 b	41.02 bc
Mihan (G3)	63.66 ab	26.55 d	39.76 a	34.90 a	4985.8 b	3.18 a	42.46 ab
Pishgam (G4)	64.90 a	28.28 d	38.10 a-c	34.02a	4530.2 b	2.96 ab	41.69 b
Alvand (G5)	55.12 b	41.37 ab	33.67cd	34.83 a	4872.9 b	3.07 a	38.03 c
B.C. Roshan (G6)	56.39 ab	31.27 cd	34.67 b-d	35.71 a	4957.3 b	3.12 a	38.10 c
C7814 (G7)	63.56 ab	49.43 a	38.48ab	35.83 a	4786.4 b	3.18 a	43.06 ab

*: I1 آبیاری معمول (شاهد)، I2 تنش خشکی همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و I3 تنش خشکی است.

*: I1, Normal irrigation (control); I2, drought stress with foliar application of salisilic acid and I3, drought stress.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری و رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی عملکرد دانه کاهش نسبت به شاهد کاهش یافت. گزارش شده است که اعمال تنش رطوبتی قبل از گرده افشانی (حد فاصل مرحله سنبلچه انتهایی و ظهور برگ پرچم)، تعداد سنبله بارور در واحد سطح را به میزان ۶۰ تا ۷۰ درصد و تعداد دانه در سنبله را به میزان ۴۰ درصد نسبت به شاهد (بدون تنش) کاهش می‌دهد و کاهش شدید عملکرد دانه گندم در اثر تنش خشکی مربوط به کاهش این دو جزء مهم عملکرد دانه می‌باشد (Robertson and Giunta, 1994). نتایج تحقیق حاضر در خصوص کاهش تعداد دانه در اثر تنش خشکی با نتایج محققین بالا مطابقت داشت. نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه ۲۶/۹ درصد افزایش یافت. با توجه به نتایج، علت کاهش عملکرد در اثر قطع آبیاری مربوط به کاهش محتوای آب نسبی برگ، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین ارقام نشان داد که بیشترین عملکرد دانه معادل ۶۳۹۰ کیلوگرم در هکتار از رقم اروم حاصل شد، اما با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری نداشت. این رقم از محتوای آب نسبی، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت بالاتر و میزان نشت یونی پایین‌تری برخوردار بود (جدول ۴). مقایسه اثر متقابل نیز نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه با ۹۶۰۲/۷ کیلوگرم در هکتار را رقم اروم تحت شرایط معمول آبیاری تولید کرد که دارای تفاوت معنی‌داری با همه ارقام دیگر داشت. کم‌ترین عملکرد دانه نیز فقط با ۲۶۲۷/۳ و ۲۶۶۷/۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب مربوط به ارقام الوند و زارع بود که تحت شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری) به‌دست آمد. بررسی اثر متقابل نشان داد که در شرایط نرمال رطوبتی به ترتیب ارقام اروم، الوند، بک‌کراس روشن و میهن از عملکرد بالاتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند. در شرایط قطع آبیاری بیشترین عملکرد از ارقام اروم و لاین C-78-14 حاصل شد. رقم الوند در شرایط قطع آبیاری از محتوای آب نسبی برگ پایین و نشت یونی نسبتاً بالایی برخوردار بود. همچنین، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در رقم الوند در شرایط قطع آبیاری به شدت کاهش یافت. نتایج نشان داد با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، عملکرد دانه در ارقام اروم، زارع، میهن، پیشگام، الوند، بک‌کراس روشن و لاین C-78-14 به ترتیب ۶/۵، ۲۸/۶، ۲۰/۲۱، ۱۹/۷، ۷۵/۶، ۴۹/۲ و ۱۲/۰۵درصد افزایش یافت. نتایج این تحقیق با نتایج جیریایی و ساجدی (Jiriaie and Sajedi, 2012) مطابقت داشت. آنها گزارش کردند که در شرایط آبیاری معادل ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک عملکرد دانه در گندم رقم شیرار به طور معنی‌داری نسبت به عدم

محلول‌پاشی افزایش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری می‌توان صفات اگروفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام الوند و بک‌کراس روشن را افزایش داد. به نظر می‌رسد این ارقام از مکانیسم‌های دفاعی ضعیف‌تری نسبت به سایر ارقام در شرایط تنش‌زا برخوردار هستند که با محلول‌پاشی عوامل تعدیل‌کننده تنش می‌توان آثار منفی تنش خشکی را کاهش داد. گزارش شده است که تیمار گندم با اسید سالیسیلیک موجب ایجاد مقاومت در مقابل شوری (Shakirova and Bezrukova, 1997) و کمبود آب (Bezrukova *et al.*, 2001) و نیز باعث مقاومت در برابر آثار زیان‌آور تجمع عناصر سنگین در برنج شده است (Mishra and Choudhuri, 1999).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ بر صفات اندازه‌گیری شده

Table 4. Mean comparisons of the irrigation × genotype interaction effect on the measured traits

تیمار* Treatment*	محتوای آب نسبی برگ RWC (%)	نشت یونی Ion leakage (µS/cm)	تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	زیست‌توده Biomass (g/plant)	شاخص برداشت Harvest index (%)
I_1G_1	58.63^{abc}	20.76^{ef}	40.51^{a-d}	40.90^{ab}	9602.7^{a}	3.48^{a-d}	47.67^{ab}
I_1G_2	67.43^{ab}	27.12^{c-f}	34.09^{d-g}	34.27^{b-d}	6081.3^{b-d}	2.43^{gh}	42.67^{a-f}
I_1G_3	65.55^{ab}	25.36^{d-f}	44.83^{ab}	32.73^{cd}	6824.7^{bc}	3.65^{ab}	40.07^{c-f}
$I1G_4$	69.58^{a}	21.81^{ef}	48.45^{a}	36.67^{a-c}	5546.7^{c-e}	3.60^{ab}	44.20^{a-d}
I_1G_5	57.34^{abc}	39.93^{a-d}	42.48^{a-c}	43.83^{a}	7377.0^{b}	4.05^{a}	45.60^{a-c}
I_1G_6	63.79^{abc}	48.70^{ab}	38.31^{b-e}	37.27^{a-c}	6913.0^{bc}	3.36^{a-f}	37.90^{ef}
I_1G_7	61.80^{abc}	43.73^{a-c}	44.38^{ab}	37.20^{a-c}	5760.0^{cd}	3.42^{a-e}	48.30^{a}
I_2G_1	52.07^{abc}	19.96^{f}	32.51^{d-g}	28.47^{de}	4935.7^{d-f}	2.32^{gh}	38.80^{d-f}
I_2G_2	62.25^{abc}	42.86^{a-d}	32.10^{d-g}	30.90^{c-e}	3431.3^{f-h}	2.57^{e-h}	38.57^{d-f}
I_2G_3	59.49^{abc}	34.16^{b-f}	35.40^{cf}	34.90^{b-d}	4439.7^{d-g}	2.87^{b-h}	43.13^{a-e}
$I2G_4$	62.32^{abc}	36.36^{f}	33.50^{d-g}	31.57^{cd}	4382.7^{d-g}	2.50^{f-h}	41.77^{b-f}
I_2G_5	60.28^{abc}	37.74^{a-e}	33.10^{d-g}	36.20^{b-d}	4614.3^{d-g}	2.98^{b-h}	40.03^{c-f}
I_2G_6	51.16^{bc}	25.39^{d-f}	32.11^{d-g}	35.73^{b-d}	4766.0^{d-g}	2.88^{b-h}	39.47^{d-f}
I_2G_7	66.95^{ab}	52.40^{a}	42.74^{a-c}	34.63^{b-d}	4544.0^{d-g}	3.52^{a-c}	42.03^{b-f}
I_3G_1	59.59^{abc}	27.19^{c-f}	33.56^{d-g}	38.57^{a-c}	4632.7^{d-g}	2.68^{c-h}	48.37^{a}
I_3G_2	62.85^{abc}	42.31^{a-d}	31.44^{e-g}	34.83^{b-d}	2667.3^{h}	2.63^{c-h}	41.83^{b-f}
I_3G_3	65.95^{ab}	20.15^{ef}	20.15^{b-e}	37.07^{a-c}	3693.0^{f-h}	3.03^{b-h}	44.17^{a-d}
I_3G_4	62.82^{abc}	26.67^{c-f}	32.34^{d-g}	33.83^{b-d}	3661.3^{f-g}	2.79^{b-h}	39.10^{d-f}
I_3G_5	47.74^{c}	46.43^{ab}	25.43^{g}	24.47^{e}	2627.3^{h}	2.16^{h}	28.47^{g}
I_3G_6	54.22^{abc}	19.72^{f}	33.60^{d-g}	34.13^{b-d}	3193.0^{gh}	3.13^{b-g}	36.93^{f}
I_3G_7	61.93^{abc}	52.16^{a}	28.31^{fg}	35.67^{b-d}	4055.3^{e-h}	2.59^{d-h}	38.83^{d-f}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

*: I1 آبیاری معمول، I2 تنش خشکی همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، I3 تنش خشکی، G1 رقم اروم، G2 زارع، G3 میهن، G4 پیشگام، G5 الوند، G6 بک‌کراس روشن و G7 لاین C-78-14 است.

Means followed by similar letters have not significant differences by Duncan's multiple range test.

*: I1, Normal irrigation (control); I2, drought stress with foliar application of salisilic acid; I3, drought stress; G1, Oroum; G2, Zare; G3, Mihan; G4, Pishgam; G5, Alnand; G6, Roshan-back cross and G7, C-78-14 line.

اثر سطوح آبیاری بر زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با اعمال تنش کمبود آب در مرحله زایشی، زیست‌توده بوته کاهش یافت. بیشترین زیست‌توده معادل ۳/۴۳ گرم در بوته از تیمار آبیاری کامل تا مرحله رسیدن حاصل شد. در تیمار قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تیمار قطع آبیاری به تنهایی، زیست‌توده بوته نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸/۱ و ۲۰/۷ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک به عنوان یک شبه هورمون از طریق بهبود فرایندهای فیزیولوژیک باعث تولید هورمون‌های محرک

رشد گیاهی می‌شود (Shakirova and Bezrukova, 1997). ساجدی و قلی‌نژاد (Sajedi and Gholinezhad, 2012) گزارش کردند که با مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط دیم، زیست‌توده ارقام گندم نسبت به شاهد ۱۰ درصد افزایش یافت. اثر متقابل آبیاری در رقم نیز بر زیست توده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در شرایط آبیاری کامل بیشترین زیست‌توده معادل ۴/۰۵ گرم در بوته از رقم الوند و کمترین زیست‌توده معادل ۲/۴۳ گرم در بوته از رقم زارع حاصل شد (جدول ۴). در شرایط قطع آبیاری، بیشترین زیست‌توده از ارقام میهن، پیشگام و بک‌کراس روشن و کمترین زیست‌توده از رقم الوند حاصل شد. نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، مقدار زیست‌توده در ارقام الوند و لاین C-78-14 به‌ترتیب ۳۷/۹ و ۳۵/۹ درصد افزایش یافت. حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی در غلات، حد فاصل سنبله‌رفتن تا گلدهی است و واریته هایی که قبل از گلدهی بتوانند زیست‌توده بالایی تولید کنند و ذخیره مواد فتوسنتزی در ساقه را افزایش دهند، به‌عنوان واریته‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شوند (Winkel, 1989).

اثر سطوح مختلف آبیاری بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی، شاخص برداشت کاهش یافت. بیشترین شاخص برداشت معادل ۴۳/۷۷ درصد از تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد. در تیمار قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تیمار قطع آبیاری به تنهایی، شاخص برداشت نسبت به شاهد به ترتیب ۷/۴ و ۹/۴ درصد کاهش یافت. اعمال تنش به‌ویژه پس از مرحله گلدهی، کاهش معنی‌دار شاخص برداشت را به دنبال داشت (Dastfa *et al.*, 2008). اثر رقم بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ارقام نشان داد که بیشترین شاخص برداشت معادل ۴۴/۹۴ درصد از رقم اروم حاصل شد که با رقم میهن و لاین C-78-14 اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین شاخص برداشت نیز معادل ۳۸/۰۳ درصد از رقم الوند به‌دست آمد که با ارقام زارع و بک‌کراس روشن در یک گروه آماری قرار گرفتند. به نظر می‌رسد که بالا بودن عملکرد رقم اروم ناشی از شاخص برداشت بالای آن می‌باشد (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری و رقم بر شاخص برداشت نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، بیشترین شاخص برداشت به ترتیب از لاین C-78-14 و ارقام اروم، الوند، پیشگام و زارع حاصل شد. در شرایط تنش خشکی نیز ارقام اروم و میهن بیشترین شاخص برداشت را داشتند. در شرایط قطع آبیاری توام با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بیشترین شاخص برداشت از رقم میهن حاصل شد. با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، شاخص برداشت در ارقام پیشگام، الوند، بک‌کراس روشن و لاین C-78-14 به ترتیب ۶/۸، ۴۰/۶، ۶/۸ و ۸/۲ درصد افزایش یافت. به نظر می‌رسد در شرایط تنش کمبود آب، می‌توان با کشت رقم الوند و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، عملکرد دانه را از طریق افزایش شاخص برداشت افزایش داد. عبدلی و سعیدی (Abdoli and Saeidi, 2013) گزارش کردند که وقوع تنش خشکی پس از گرده‌افشانی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان، شاخص برداشت را به میزان ۲۴/۸ درصد کاهش داد. در شرایط تنش خشکی، در برگ‌هایی که پتانسیل تورژسانس آن‌ها به صفر نزدیک است، تولید اسید آبسیزیک افزایش می‌یابد و باعث سقط دانه‌های در حال تشکیل می‌شود و بنابراین تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد. به همین دلیل، به نظر می‌رسد ارقامی که فاقد توانایی تنظیم اسمزی هستند، دانه کمتری تولید می‌کنند و در نتیجه شاخص برداشت آن‌ها کاهش می‌یابد (Morgan,1992).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، صفات اگروفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام الوند و بک‌کراس روشن را بیشتر از سایر ارقام افزایش داد. به نظر می‌رسد این ارقام از مکانیسم‌های دفاعی ضعیف‌تری نسبت به سایر ارقام در شرایط تنش برخوردار هستند که با محلول‌پاشی عوامل تعدیل‌کننده تنش می‌توان آثار منفی تنش خشکی را به میزان قابل توجهی کاهش داد. نتایج کلی این آزمایش نشان داد که رقم اروم در هر سه شرایط معمول آبیاری و قطع آبیاری به تنهایی یا همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد.

References

Abdelkader, A. F., Hassanein, R. A., Abo-Aly, M. M., Attia, M. S. and Bakir, E. M. 2010. Screening the biosafety of wheat produced from pretreated grains to enhance tolerance against drought using physiological and spectroscopic methods. **Food Chemical Toxicology** 48: 1827-1835.

Abdoli, M. and Saeidi, M. 2013. Evaluation of water deficiency at the post anthesis and source limitation during grain filling on grain yield, yield formation, some morphological and phonological traits and gas exchange of bread wheat cultivar. **Albanian Journal of Agriculture Sciences** 12 (2): 255-265.

Aman, Y. A., Habibi, D., Mashhadi Akbar Boujar, M. and Khodabandeh, N. 2005. Antioxidant enzyme as index for select of different genotypes of sunflower for drought tolerance. **Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding** 1 (1): 1-11. (In Persian with English Abstract).

Ardalani, S., Saeidi, M., Jalali Honarmand, S., Eghbal Ghobadi, M. and Abdoli, M. 2015. Effect of post anthesis drought stress on some agronomic and physiological traits related to source strength in four bread wheat genotypes. **Cereal Research** 5 (1): 46-65. (In Persian with English Abstract).

Bartels, D. and Sunkar, R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Review in Plant Science** 24: 23-58.

Bezrukova, M. V., Sakhabutdinova, R., Fatkhutdinova, R. A., Kyldiarova, I. and Shakirova F. 2001. The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit. **Agrochemiya** 2: 51-54.

Borsiani, O., Valpuesta, V. and Botella, M. N. 2001. Evidence for a role of salicylic acide in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedling. **Plant Physiology** 126: 1024-1030.

Dalvandi, G., Ghanbari-Odivi, A., Farnia, A., Khalil-Tahmasebi, B. and Nabati, E. 2013. Effects of drought stress on the growth, yield and yield components of four wheat populations in different growth stages. **Advances in Environmental Biology** 7 (4): 619-624.

Dastfal, M., Barati, V., Navabi., F. and Haghightnia, H. 2008. Effect of terminal drought stress on grain yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in dry and warm conditions in South of Fars province. **Plant and Seed** 25 (3): 331-346. (In Persian with English Abstract).

EL-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. **Plant Growth Regulation** 45: 215-225.

Entz, M. H. and Flower, D. B. 1990. Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to post-anthesis environmental stress. **Crop Science** 30: 1119-1123.

Gharib, F. A. and Hegazi, A. Z. 2010. Salicylic acid ameliorates germination, seedling growth, phytohormone and enzymes activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under cold stress. **Journal of American Science** 6 (10): 675-683.

Hayat, S. and Ahmad, A. 2007. Salicylic acid: Plant hormones. Springer. pp: 97-99.

Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L. D., Condon, A. G., Richards, R. A. and Dolferus, R. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. **Plant, Cell and Environment** 33: 926-942.

Jiriaie, M. and Sajedi A. S. 2012. Effect of plant growth regulators on agro physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Shahriar under water deficit stress. **Research on Crops** 13 (1): 37-45.

Loutfy, N., El-Tayeb, M. A., Hassanen, A. M., Moustafa, M. F. M., Sakuma, Y. and Inouhe, M. 2012. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Research** 125 (1): 173-184.

Maiti, R. K., Moreno-Limon, S. and Wesche-Ebeling, P. 2000. Responses of some crops to various abiotic stress factors and its physiological and biochemical basis of resistances. **Agriculture Review** 21: 155-167.

Majer, P., Sass, L., Lelley, T., Cseuz, L., Vass, I., Dudits, D. and Pauk, J. 2008. Testing drought tolerance of wheat by a complex stress diagnostic system installed in greenhouse. **Acta Biologica Szegediensis** 52: 97-100.

Mishra, A. and Choudhuri, M. A. 1999. Effect of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. **Biologia Plantarum** 42 (3): 409-415.

Morgan, J. M. 1977. Changes in diffusive conductance and water potential of wheat plants before and after anthesis. **Australian Journal of Plant Physiology** 4: 75-86.

Morgan, J. M. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. **Australian Journal of Plant Physiology** 19: 67-76.

Robertson, M. J. and Giunta, F. 1994. Responses of spring wheat exposed to pre-anthesis water stress. **Australian Journal of Agricultural Research** 45: 19-35.

Sajedi, N. A. and Gholinezhad, A. 2012. Response of yield and yield component of dry land wheat cultivars to salicylic acid and selenium. **Iranian Journal of Field Crops Research** 10 (3): 614-621. (In Persian with English Abstract).

Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R., Bezrukova, M. V. and Shakirova, F. M. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. **Bulgarian Journal of Plant Physiology** (Special issue): 314-319.

Saruhan, N., Saglam, A. and Kadioglu, A. 2012. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. **Acta Physiologiae Plantarum** 34 (1): 97-106.

Shakirova, F. M. and Bezrukova M. V. 1997. Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. **Biology Bulletin** 24: 109-112.

Shakirova, F. M., Shakhbutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdionova, R. A. and Fatkhutdionova, D. R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. **Plant Science** 164: 317-322.

Singh, B. and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. **Plant Growth Regulation** 39: 137-141.

Szepesi, A., Csiszar, J., Bajkan, S., Gemes, K., Horvath, F., Erdei, L., Deer, A., Simon, L. M. and Tari, I. 2005. Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. **Acta Biologica Szegediensis** 49 (1-2): 123-125.

Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil** 58: 336-339.

Wardlaw, I. F. and Willenbrink, J. 1994. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: The relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. **Australian Journal of Plant Physiology** 21: 255-271.

Winkel, A. 1989. Breeding for drought tolerance in cereals. **Vortage-Fur-Pflanzenzvchtuny** 16: 368-375.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 6, No. 2, Summer 2016 (173-184)

Effect of salicylic acid and post anthesis water deficit stress on some agronomic and physiological traits of different wheat genotypes

Raziyeh Farajzadeh[1], Nour Ali Sajedi[2*] and Taghi Babaei[3]

Received: July 17, 2015 Accepted: October 8, 2015

Abstract

Water deficit stress decreased the quality and quantity of crops. To investigate the effect of salicylic acid and drought stress at reproductive stages on agronomic and physiological traits of different wheat genotypes, an experiment was carried out as split plot based on randomized complete block design with three replications in Agriculture and Natural Resources Research Center of Markazi province, Arak, Iran, in 2012-2013. The experimental factors were included irrigation with three levels (Non-drought stress as control, drought stress after anthesis along with foliar application of salicylic acid (SA) and drought stress after anthesis without salicylic acid) as main factor and seven wheat genotypes (Oroum, Zare, Mihan, Pishgam, Alvand, Roshan-back cross and C-78-14 line) as sub-factor. The results showed that drought stress decrease grain yield of the genotypes compared to normal condition. The maximum grain yield under three conditions, normal (9602.7 kg/ha), drought stress (4632.7 kg/ha) and drought stress along with foliar application of SA (4935.7 kg/ha) was belong to Oroum genotype. This genotype had low ion leakage under both normal and drought stress condition. Foliar application of SA increased the grain yield of Alvand, Roshan-back cross, Zare, Mihan, Pishgam, C-78-14 line and Oroum by 75.6, 49.2, 28.6, 20.21, 19.7, 12.05 and 6.5 percentage, respectively, under drought stress. In total, the results of this research showed that the highest response of agro-physiological traits to salicylic acid was belong to Alvand and Roshan-back cross under drought stress.

Keywords: Drought stress, Grain yield, Ion leakage, Reproductive growth

1. Former M. Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
3. Scientific Board Member, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Markazi Province, Arak, Iran
* Corresponding author: n-sajedi@iau-arak.ac.ir