

تأثیر تنفس خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم

هادی شهبازی^۱، احمد ارزانی^{*۱} و محسن اسماعیل زاده مقدم^۲

^۱گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ^۲عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
(تاریخ دریافت: ۰۸/۰۵/۹۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۲۰/۰۶/۱۳۹۳)

چکیده:

مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیک لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم به تنفس خشکی به شناسایی ساز و کارهای مؤثر در تحمل به خشکی کمک می‌کند. در این راستا طی یک آزمایش مزرعه‌ای، اثر تنفس خشکی بر غلظت کلروفیل، میزان پرولین برگ پرچم، طول برگ، مساحت برگ، طول دم گل آذین و ارتفاع بوته با استفاده از ۱۶۹ لاین نوترکیب، در قالب دو طرح جداگانه به صورت لاتیس ساده با چهار تکرار و با دو رژیم رطوبتی عادی و تنفس کم‌آبی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (لورک) در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ اجرا شد. اعمال رژیم‌های آبیاری براساس اطلاعات تنفس تبیخیر (شامل آبیاری براساس ۷۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبیخیر از تنفس تبیخیر کلاس A) و رطوبت وزنی خاک در عمق مؤثر نفوذ ریشه انجام شد. لاین‌های نوترکیب مورد استفاده از تلاقی دو رقم متتحمل و حساس به خشکی حاصل شده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که لاین‌های نوترکیب موجب ارزیابی دارای تفاوت معنی‌داری از نظر همه صفات در شرایط تنفس خشکی و بیشتر صفات در شرایط عادی بودند. تنفس خشکی موجب کاهش محتوای کلروفیل (a+b)، عرض برگ، طول برگ، طول دم گل آذین، ارتفاع بوته، سطح برگ پرچم و افزایش محتوای پرولین گردید. اگرچه تنفس خشکی موجب افزایش محتوای پرولین برگ و کاهش طول دم گل آذین و سطح برگ پرچم در هر دو گروه لاین‌های حساس و متتحمل گردید، اما این تغییرات بطور معنی‌داری در لاین‌های متتحمل کمتر از لاین‌های حساس بود. از این‌رو شاید بتوان از صفات فیزیولوژیک محتوای اسید‌آمینه پرولین، طول دم گل آذین و سطح برگ پرچم در شرایط تنفس نسبت به شرایط مطلوب آبی، بعنوان ابزاری برای انتخاب لاین‌های متتحمل به خشکی گندم نان استفاده کرد.

کلمات کلیدی: محتوای کلروفیل، میزان پرولین، لاین نوترکیب، تنفس خشکی و صفات فیزیولوژیک

مقدمه:

تحقیقات بنیادی در درک واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان به تنفس خشکی اجرا شده است در حالی که اختلاف بین عملکرد در شرایط طبیعی و تنفس و عدم پایداری معضل مهم می‌باشد. بنابراین ایجاد ارقام متتحمل به خشکی دارای عملکرد پایدار بعنوان راهکار مهم در تولید تضمینی غذا برای نسل‌های آینده مطرح می‌باشد(Cattivellia *et al.*, 2008). برای این منظور لازم است جنبه‌های فیزیولوژیک تحمل خشکی مورد مطالعه قرار

گیاهان در طول دوره رشد در معرض انواع تنفس‌های زنده (آفات و بیماری‌ها) و تنفس‌های غیر زنده (خشکی و شوری و گرمای) قرار داشته که آنها را وادر به واکنش‌های فیزیولوژیک می‌نماید(Tas *et al.*, 2007). خشکی یکی از مهمترین تنفس‌های محیطی در کشاورزی است و تلاش‌های زیادی برای اصلاح گیاهان، تحت تنفس آبی انجام شده است، در این راستا

کوچک شدن برگ‌ها می‌شود، عموماً گیاهان متتحمل به خشکی دارای برگ‌های کم عرض و طول هستند. در آزمایشات Sanchez-Blanco و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است که تنش خشکی سطح برگ و سرعت رشد آن را کاهش می‌دهد، همچنین Blum (۲۰۰۵) پیشنهاد می‌کند که کوچک شدن سطح برگ در شرایط خشکی از کاهش از دست رفتن آب برگ‌ها جلوگیری می‌کند و به نظر می‌رسد که تنش در مراحل ابتدایی باعث افزایش سطح برگ شود که گیاه بتواند مواد فتوستراتی بیشتری تولید کند و سریعتر دوران تکاملی خود را به پایان رساند، اما با افزایش شدت تنش گیاه سطح برگ خود را تعديل می‌کند.

وجود ذخایر بیشتر آسیمیلات‌ها در ساقه‌ی ژنتیپ‌های پابلند و مصرف آنها در دوران پر شدن دانه در شرایط تنش خشکی انتهایی در این رابطه می‌تواند نقش داشته باشد، ارتفاع بوته گندم از صفاتی است که در سال‌ها پیش نظر محققین اصلاح نباتات را به خود معطوف کرده است، اگرچه ارقام پابلند به شرایط نامطلوب محیطی سازگاری خوبی دارند و با حداقل مراقبت عملکرد نسبتاً مناسبی تولید می‌کنند ولی در کشاورزی نوین، در اثر بکارگیری شیوه‌های مدرن کشت و استفاده از کودهای شیمیایی رشد رویشی افزایش داشته و خسارات جبران ناپذیری بهعلت وقوع پدیده خوابیدگی محصول در ارقام پابلند و حساس ایجاد شده است، بنابراین در شرایط نرمال ارقام پاکوتاه و در شرایط تنش خشکی ارقام پابلند ارجحیت دارند (Huyuan *et al.*, 2007).

دم گل آذین یا بالاترین میانگرۀ ساقه به عنوان یکی از اندام‌های تأمین کننده هیدرات کرین دانه در گیاه گندم محسوب می‌شود و در بسیاری از تحقیقات کشاورزی ارتباط این اندام با عملکرد و اجزای عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفته است (Fleury *et al.*, 2010). تجمع مقادیر قابل توجهی از کربوهیدرات‌های مازاد بر نیاز گیاه در دم گل آذین و انتقال مجدد آنها به دانه‌های در حال پر شدن یکی از دلایل اهمیت این اندام در تعیین عملکرد دانه گندم بیان شده است. در تحقیقی توسط Wardlow و Wilenbrink (۱۹۹۴) روی گندم

داده و صفات فیزیولوژیکی مطلوب تعیین و در برنامه‌های به نژادی استفاده نمود. تحمل خشکی یک صفت ساده و تک ژنی نیست، بلکه یک صفت کمی و پیچیده با جنبه‌های مختلف می‌باشد. بنابراین تحمل خشکی حاصل ترکیبی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی است که با محتوای کلروفیل، تجمع پرولین، طول و عرض برگ پرچم، اندازه دم گل آذین و پارامترهای دیگر مرتبط می‌باشد. 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، پرولین به عنوان تنظیم کننده‌ای مؤثر در K^+ کانال‌های نفوذپذیر یونی می‌باشد، علاوه بر این تأثیر مستقیمی بر هموستازی داخل سلولی K^+/Na^+ دارد (Cuin and Shabala, 2007) و سطح فعالیت گونه‌های اکسیژن را در طی تنش اسمزی کاهش می‌دهد (Hong *et al.*, 2000). ضمن اینکه سطح بیان تولید پرولین در اثر مواجه با تنش‌ها افزایش می‌یابد و به عنوان محافظ اسمزی عمل می‌کند و با محافظت غشاء پلاسمایی در برابر رادیکال‌های آزاد کاهشی ناشی از خسارت نوری باعث پایداری مجموعه‌ای فتوسیستم II و حفظ ساختار آزیم‌ها و پروتئین‌ها می‌شود (Sivakumar *et al.*, 2000)، کمبود آب سبب آسیب به رنگدانه‌ها و پلاستیدها می‌شود، حفظ غلظت کلروفیل تحت تنش به ثبات فتوسترن در این شرایط کمک می‌کند. برخی تحقیقات نشان دادند که ارقام پاکوتاه گندم با سطح برگ پرچم کوچکتر، غلظت کلروفیل بیشتر و ظرفیت تبادل خالص CO_2 بیشتری در مقایسه با ارقام پابلند دارند، به نظر می‌رسد که کاهش فتوسترن تحت تنش تا حدی به واسطه‌ی کاهش غلظت کلروفیل است (Hong *et al.*, 2000).

تنش رطوبتی بر گسترش برگ تأثیر گذاشته و مقدار تجمع مواد آلی را در این اندام به شدت تغییر می‌دهد و به این دلیل که رشد زایشی و تشکیل دانه در شرایط تنش رطوبتی به این ذخایر وابسته است، این صفت دارای اهمیت بسیار است. تنش‌های غیر زنده همانند خشکی که در طول مراحل مختلف گیاه اتفاق می‌افتد بسیاری از خصوصیات سبزینه گیاهی را نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی تغییر داده و گاهی موجب

اعمال رژیم‌های آبیاری براساس اطلاعات تشت تبخیر و رطوبت وزنی خاک در عمق مؤثر نفوذ ریشه انجام شد. حجم آب آبیاری بر مبنای رسیدن رطوبت خاک تا عمق مورد نظر به حد ظرفیت مزرعه و مقدار آب لازم در هر کرت در هر آبیاری طبق رابطه زیر اندازه‌گیری شد (Zimmerman, 2002).

$$W = (FC - \theta) \rho DA$$

در این رابطه، W = حجم آب مصرفی بر حسب متر مکعب، FC = درصد وزن رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، θ = درصد وزنی رطوبت نمونه خاک، D = عمق آب آبیاری و A = مساحت کرت بر حسب متر مربع می‌باشد. برای محاسبه عمق آب آبیاری نمونه‌های خاک از عمق $0\text{--}30$ سانتی‌متر برداشت شد و درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (FC معادل 0.3 مگا پاسگال) و رطوبت پژمردگی دائمی ($1/5$ مگاپاسگال) بدست آمد و پس از آن عدد بدست آمده در عمق توسعه ریشه ضرب شد و با اعمال ضریب تخلیه مجاز مدیریتی (با توجه به بافت خاک مزرعه و نوع گیاه $50\text{--}80$ درصد) میزان عمق آب آبیاری محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی در هنگام آبیاری از پارشال فلوم شماره 4 استفاده شد. دبی آب پارشال فلوم پس از ثابت شدن جریان آب سرریز با استفاده از فرمول زیر اندازه‌گیری شد. پس از تقسیم حجم کل آب لازم بر دبی پارشال فلوم مدت زمان ورود آب به هر کرت مشخص شد (Zimmerman, 2002).

$$Q = 0.0294 h^{2/102}$$

در این فرمول Q = دبی آب ورودی به پارشال فلوم بر حسب لیتر در ثانیه، h = ارتفاع آب در پارشال فلوم بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. زمان لازم برای هر کرت با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Zimmerman, 2002).

$$t = W/Q$$

که در این رابطه W = حجم آب لازم (لیتر)، Q = دبی آب ورودی (لیتر در ثانیه)، t = مدت زمان آبیاری (ثانیه). خصوصیات مورد اندازه‌گیری شامل محتوای کلروفیل، میزان پرولین برگ پرچم، طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، مساحت برگ پرچم، طول پدانکل، ارتفاع بوته و عملکرد دانه بود.

در استرالیا مشاهده گردید که قسمت پایین دم گل آذین که به وسیله غلاف برگ پرچم پوشیده شده بود بیشترین مواد فتوسنتزی را در خود تجمع داد و بالاترین نقش را در انتقال مجدد داشته و در شرایط تنفس خشکی این اندام از کاهش شدید عملکرد دانه جلوگیری می‌کند. دانش موجود برای کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با خشکی کافی نمی‌باشد و نمی‌توان از آنها در برنامه‌های بهترادی استفاده نمود، بنابراین به روش‌هایی برای تأکید بیشتر، بررسی جنبه‌های ژنتیکی و مدیریت ژن‌های سازگار با شرایط تنفس خشکی نیاز می‌باشد. این پژوهش به منظور بررسی جنبه‌های فیزیولوژیکی در لاین‌های اینبرد نوتریکیب گندم حاصل از تلاقی دو رقم گندم متتحمل و حساس به خشکی در دو شرایط آبی عادی و کم‌آبی اجرا شده است.

مواد و روش‌ها:

این مطالعه در سال زراعی 1390 – 1389 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف آباد در 40 کیلومتری جنوب غربی اصفهان در عرض جغرافیایی 22 درجه و 32 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 51 درجه و 32 دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا 1630 متر، اجراء شد. برپایه طبقه‌بندی کوپن این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک و خنک با تابستان‌های خشک است. متوسط بارندگی و درجه حرارت منطقه به ترتیب 140 میلی‌متر و $14/5$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. خاک مزرعه دارای بافت لومی رسی با جرم مخصوص ظاهری $1/4$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و $pH=7/8$ می‌باشد. اعمال تنفس رطوبتی در مرحله ساقه روی و با استفاده از تشت تبخیر کلاس A ، اجراء شد. آبیاری در حالت عدم تنفس کم آبی پس از 70 میلی‌متر تبخیر تجمعی و در حالت تنفس کم آبی پس از 130 میلی‌متر تبخیر تجمعی صورت می‌گرفت. تعداد 169 لاین اینبرد نوتریکیب حاصل از تلاقی دو رقم Babax و حساس به خشکی *Seri M82* متحمل به خشکی (CIMMYT) کندم که از مرکز بین‌المللی اصلاح گندم و ذرت (CIMMYT) واقع در مکزیک تهیه شده بود، استفاده شد. لاین‌ها در یک طرح لاتیس 13×13 با چهار تکرار (دو تکرار شاهد و دو تکرار تنفس خشکی) مورد بررسی قرار گرفتند.

عرض برگ پرچم، مساحت برگ پرچم، طول پدانکل، ارتفاع بوته و عملکرد دانه در شرایط تنفس خشکی بودند. در حالیکه در شرایط عدم تنفس خشکی (عادی) لاین‌های نوترکیب از لحاظ بیشتر صفات از جمله میان صفات فیزیولوژیک مورد بررسی معلوم شد که معیار میزان افزایش پرولین در لاین‌های متحمل به خشکی شاخص مناسب‌تری برای نشان دادن تحمل به خشکی بوده است زیرا پرولین تحت تنفس خشکی افزایش بیشتری از خود نسبت به شاهد نشان داد که در اثر این تنفس، افزایش پرولین در لاین‌های متحمل نسبت به لاین‌های حساس بیشتر بوده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد لاین‌های نوترکیب گندم در شرایط بدون تنفس رطوبتی تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان پرولین نداشته‌اند در حالی که در شرایط تنفس رطوبتی از لحاظ این صفت تفاوت، بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) بود (جدول ۱ و ۲).

میانگین کل پرولین با توجه به جدول ۳ در شرایط شاهد و تنفس خشکی به ترتیب $1/11$ و $2/21$ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه بود که در اثر تنفس رطوبتی به میزان $98/75$ درصد افزایش محتوای پرولین مشاهده شد. براساس آزمون مقایسه میانگین بین لاین‌های اینبرد نوترکیب، لاین‌های 66 ، 82 ، 80 ، 70 ، 63 ، 43 ، 102 ، 127 و 134 بیشترین افزایش محتوای پرولین و لاین‌های 161 ، 143 ، 149 و 38 کمترین افزایش محتوای پرولین را داشتند. با توجه به نتایج جدول ۳ میزان محتوای پرولین در لاین‌های متحمل در شرایط عادی رطوبتی $0/6$ میلی‌گرم بر گرم و در شرایط تنفس رطوبتی $2/8$ میلی‌گرم بر گرم برگ و لاین‌های حساس در شرایط عادی رطوبتی $1/8$ و در شرایط تنفس رطوبتی $1/9$ میلی‌گرم بر گرم تازه بودند، ضمن اینکه بین محتوای پرولین لاین‌های مذبور با عملکرد دانه هماهنگی کاملی وجود داشته است (جدول ۳). قابل ذکر است که چنین هماهنگی بین تاثیرپذیری محتوای پرولین برگ و عملکرد دانه لاین‌های نوترکیب حساس و متحمل به تنفس خشکی برای سایر صفات مورد مطالعه مشاهده نگردید و بنابراین می‌توان اظهار نمود که در این آزمایش محتوای پرولین بعنوان بهترین شاخص تحمل به تنفس خشکی شناخته شد. Bandurska و

میزان کلروفیل با دستگاه اسپکتروفوتومتر (U-1800)، Hitachi, Japan مرحله پس از گرده افشاری با استفاده از روش Lichtenthaler و Buschmann (۲۰۰۱) اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه غلظت کلروفیل‌های a، b و کل (بر حسب میلی‌گرم در گرم برگ تازه) ترتیب از روابط ۱، ۲ و ۳ استفاده شد:

$$[\text{chl}a](\text{mgg}^{-1}) = [(12.7 \times \text{Abs}663) - (2.6 \times \text{Abs}645)] \times \text{ml Acetone / mg}$$

$$[\text{chl}b](\text{mgg}^{-1}) = [(22.9 \times \text{Abs}645) - (4.68 \times \text{Abs}663)] \times \text{ml Acetone / mg}$$

$$[\text{chltotal}](\text{mgg}^{-1}) = [\text{chl}a] + [\text{chl}b]$$

در این روابط، $\text{chl}a + \text{chl}b$ و $\text{chl}b$ به ترتیب غلظت کلروفیل‌های a، b و کل و $\text{Abs}663$ و $\text{Abs}645$ عبارت از جذب در طول موج‌های 645 و 663 نانومتر می‌باشند.

محتوای پرولین برگ با استفاده روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که اسپکتروفوتومتر در طول موج 520 نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین در مرحله پس از گرده افشاری، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

اندازه‌گیری عرض برگ پرچم از پهنه ترین قسمت برگ و طول برگ پرچم از قسمت محل اتصال برگ به ساقه تا نوک برگ و طول دم گل آذین از قسمت آخرین گره تا ابتدای خوشة با استفاده از خط کش و مساحت برگ با استفاده از دستگاه green leaf area meter (OSK-Model GA-5) اندازه گیری شد. محاسبات آماری از جمله تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از نرم افزار SAS، انجام گرفت. میانگین لاین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($LSD_{0.05}$) مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث:

در مطالعه حاضر تاثیر خشکی بر روی لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که لاین‌های نوترکیب مورد ارزیابی دارای تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مورد مطالعه مشتمل بر کلروفیل، میزان پرولین برگ پرچم، طول برگ پرچم،

ردیف	نام و مدل	دستگاه	آزادی	درجه	برولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	طرول پیدائل	مساحت بروگ	طرول بروگ	عرض بروگ	ارتفاع بروگ	ارتفاع بروگ	عملکرد داله	میانگین مربیات	
۱	تکرار																
	بیمار																
۱۷۸۵۲	۱۲۹۳	۰/۰۸۶	۰/۳۲	۰/۵۳۳	۰/۰۲۶	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۰۸۸	۰/۰۲۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۸۶	۰/۰۳۲	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۸۶	
۲۰۲۷۴۵۰	۱۰۵۸/۴۳	۰/۰۳۳۰	۰/۰۱۰۱	۰/۰۷۶۴	۰/۰۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۰۷۰	۰/۰۱۶۰	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	
۲۸۸۷۸۴۷۰۰	۱۰۵۳/۲۹	۰/۰۰۲۵۰	۰/۰۵۹۰	۰/۰۵۹۰	۰/۰۳۴۰	۰/۰۱۵۰	۰/۰۳۴۰	۰/۰۳۴۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۰	
۱۰۹۲۰۷۱۰	۹۱۷/۰۸	۰/۰۰۳۰	۳/۰۲۰	۰/۰۷۷/۲۴	۰/۰۶۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	
۷۰۶۷۰۸	۳۷/۹۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۱۱۰/۰۹	۱۱۰/۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	
۲۰۵۸/۱۳	۳۷۱/۲۹	۰/۰۰۷	۰/۱۳۳	۰/۱۳۳	۰/۱۵۰/۰۲	۰/۱۵۰/۰۲	۰/۱۵۰/۰۲	۰/۱۵۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	۰/۱۳۰/۰۲	
	بازدهی نسبت به																
	داخل بلوک																
	(CRBD)																

* معنی دار بودن در سطح ۱ درصد

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در لاین‌های ابتداء نوتکیپ گندم در شرایط تنش خشکی

میانگین منیعهات	ارتفاع بوته	عرض برگ	طول برگ	مساحت برگ	مساحت پستانکی	کلروفل a+b	کلروفل a	کلروفل b	برولین	منابع تغییرات	درجه آزادی	تکرار	تعداد
۱۷۹۱۷۱۸	۱۰/۰۵	۰/۴	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۱۱	۰/۴۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰/۹	۱			
۱۶۴۰۵۰۵۰۴	۱۱/۳۳	۰/۰	۱/۷۹۰	۱/۷/۶۳۰	۱/۳/۶۵	۱/۷/۱۹۰	۰/۰۹۴۰*	۰/۰۹۴۰*	۰/۰۸۳۰*	۱/۷۸	۱۷۸	تصحیح نشده	
۱۸۰۳۲۲۳۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰	۱/۷/۷۳۰*	۰/۷۳۸*	۰/۷۳۸*	۰/۷/۲۳۰*	۰/۰۵۹۰*	۰/۰۵۹۰*	۰/۰۸۳۰*	۰/۰۳۹۰*	۱۷۸	تصحیح شده	
۷۹۰۵۰۷۱	۱۹۱/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱۱	۰/۷/۹۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۲۴	بلوک تنظیم شده در تکرار	
۴۰۵۰۹۷	۳۳/۶۷	۰/۰	۰/۱۰۵	۰/۷۰*	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰/۱۳	۴۴	خطا	
۳۲۵۰۹۹	۱۰/۴۹	۱/۵۳/۴۹	۰/۴	۰/۱۳/۲۷	۰/۱۳/۲۷	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰/۰۱	۱۴	داده بلوک	
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۳۳/۱۱	٪/٪ RCBD	باذهن
											**	بهترین بمعنى دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد	

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفو- فیزیولوژیک در لاین‌های متصل و حسامن در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی

لامنی متصل به تنش خشکی	ارتفاع بوته (cm)	عرض برگ (cm)	ارتفاع بوته (cm)	عرض برگ (cm)	مساحت برگ (cm)	طول پستانکی (cm)	کلروفل کل (mg g ⁻¹)	برولین (mg g ⁻¹)	صفات
۷۸۷۷	۱۰/۸	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۰/۱۳	۱/۲	۰/۷/۸	۰/۷/۸	نرمال (شاهد)
۵۹۳۸	۱۰/۰	۱/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۱۸	۱/۲/۳	۰/۷/۷	۰/۷/۸	تشنج خشکی
لامنی حسامن به تنش خشکی	ارتفاع بوته (cm)	عرض برگ (cm)	ارتفاع بوته (cm)	عرض برگ (cm)	مساحت برگ (cm)	طول پستانکی (cm)	کلروفل کل (mg g ⁻¹)	برولین (mg g ⁻¹)	صفات
۵۳۶۹	۱۰/۰	۱/۱	۰/۸/۹	۰/۸/۹	۰/۱۸	۰/۷/۷	۰/۷/۷	۰/۷/۷	نرمال (شاهد)
۲۸۸۹/۸	۷/۰/۲	۰/۰/۸	۰/۰/۸	۰/۰/۸	۰/۱۰	۰/۵/۲	۰/۷/۳	۰/۷/۴	تشنج خشکی

دوران پرشدن دانه دارد، بنابراین قبل از ورود گیاه به مرحله زایشی تنش ملایم خشکی باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. تفاوت بین لاین‌ها از نظر افزایش یا کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی ممکن است به علت تفاوت در مرحله رشدی آنها باشد. در این آزمایش نیز به نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل به دلیل اندازه‌گیری کلروفیل در مراحل زایشی و پس از اعمال چندین مرتبه تنش خشکی باشد ضمن اینکه کاهش کلروفیل تحت تنش خشکی احتمالاً به واسطه اثر کلروفیلاز و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌باشد. Sayar و همکاران (۲۰۰۸) کاهش محتوای کلروفیل را در اثر تنش خشکی در گندم گزارش کرده‌اند که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. همچنین Lonbani و Arzani (۲۰۱۱) کاهش محتوای کلروفیل را در برخی از ژنتوتیپ‌های گندم و تریتیکاله در اثر تنش خشکی گزارش کرده‌اند و Sio-Se Mardeh و همکاران (۲۰۰۶) نیز شاهد کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی در آزمایش خود بودند.

نتایج تجزیه واریانس در شرایط بدون تنش رطوبتی نشان داد که تفاوت بین لاین‌ها برای طول دم گل آذین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۱). همچنین در شرایط تنش رطوبتی بین لاین‌ها اختلاف بسیار معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). میانگین کل طول دم گل آذین لاین‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. طول دم گل آذین لاین‌ها در شرایط عادی رطوبتی ۱۴ سانتی‌متر و در شرایط تنش رطوبتی ۹/۵۲ سانتی‌متر بود. تغییرات اندازه‌ی این صفت از شرایط عادی به تنش رطوبتی ۳۲ درصد بود و تنش رطوبتی باعث کاهش اندازه‌ی دم گل آذین لاین‌ها شد. لاین‌های متحمل در شرایط عادی رطوبتی دارای ۱۳/۲ سانتی‌متر و در شرایط تنش رطوبتی ۱۲/۳ سانتی‌متر طول دم گل آذین بودند در حالی که لاین‌های حساس در شرایط عادی رطوبتی ۱۷/۷ سانتی‌متر و در شرایط تنش رطوبتی ۷/۳ سانتی‌متر طول دم گل آذین داشتند. تنش رطوبتی در لاین متحمل تغییر چندانی در طول دم گل آذین ایجاد نکرده بود در حالی که در لاین‌های حساس این تغییر بسیار چشمگیر بود و باعث اختلاف معنی‌داری در طول

(۲۰۰۳) Stroinski گزارش کرده‌اند که میزان پرولین در برگ‌های جو دو برابر افزایش نشان داد که نشان دهنده تحمل به کم آبی بوده است، بطوری‌که ارقام متحمل، پرولین بیشتری نسبت به ارقام حساس داشتند همچنین Mallick و همکاران (۲۰۱۱) شاهد افزایش میزان پرولین در برخی از ژنتوتیپ‌های گندم در اثر تنش خشکی بودند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. لوتز و همکاران (۱۹۹۶) چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در واکنش گیاه به تنش پیشنهاد کرده‌اند که شامل ۱-تحریک سنتز پرولین از اسید‌گلوتامیک، ۲- کاهش صادرات آن از طریق آوند آبکشی، ۳- جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش ۴- تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها.

نتایج تجزیه واریانس در شرایط بدون تنش رطوبتی نشان داد که لاین‌های مورد آزمایش از لحاظ محتوای کلروفیل a، b و مجموع کلروفیل a + b اختلاف بسیار معنی‌داری ($P < 0.01$) داشته‌اند (جدول ۱). در شرایط تنش خشکی نیز اختلاف بسیار معنی‌داری بین لاین‌های مورد بررسی در محتوای کلروفیل وجود داشت. محتوای کل کلروفیل در شرایط بدون تنش رطوبتی در دامنه‌ی بین ۴/۳۲ و ۲/۳۸ (میلی‌گرم/گرم) و در شرایط تنش رطوبتی در دامنه‌ی بین ۴/۰۴ و ۱/۳۷ متفاوت بود (جدول ۳). لاین‌های ۱۲۵، ۱۳۶، ۱۲۹، ۱۳۳، ۱۴۹، ۱۳۴ و ۱۴۵ بیشترین کاهش محتوای کلروفیل b و به عنوان لاین‌های حساس و لاین‌های ۱۵۳، ۱۲، ۵۲، ۴۳، ۷۴، ۵۴ و ۸ کمترین کاهش محتوای کلروفیل b و به عنوان لاین‌های مقاوم بودند در حالی که اختلاف بین لاین‌های ۱۴، ۱۳، ۸۰، ۱۶۳، ۱۳، ۱۴۹، ۶، ۹۱ و ۱ و ۹۶ به عنوان لاین‌های حساس به خشکی در مقابل لاین‌های ۱۰۲، ۱۴۱، ۴۶، ۱۵۴، ۱۶، ۵۰، ۴۷ و ۶۴ متحمل به خشکی برای محتوای کلروفیل a در دو شرایط تنش رطوبتی بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) بود. در مورد تغییرات محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی گزارشات ضد و نقیضی وجود دارد، به نظر می‌رسد گیاه در مراحل ابتدایی تنش سعی در تکمیل چرخه حیاتی خود دارد، بدین ترتیب با افزایش مقدار کلروفیل سعی در تولید ماده فتوستنتزی بیشتر و تسريع در

Arzani (۲۰۱۱) شاهد افزایش این صفات در گذر از شرایط مطلوب رطوبتی به شرایط تنفس خشکی بودند که این می‌تواند به اختلاف شدت تنفس، مدت تنفس و زمان اندازه‌گیری صفات بعد از اعمال تنفس بستگی داشته باشد همچنین در مطالعه حاضراندازه‌گیری سطح برگ در مراحل زایشی و پس از چند بار اعمال تنفس انجام گرفته است و باعث شد تا سطح برگ پرچم در اثر تنفس خشکی کاهش یابد.

ارتفاع بوته اصولاً صفتی ارثی بوده و با زودرسی و دیررسی گیاه ارتباط دارد، اغلب ژنوتیپ‌های دیررس در مقام مقایسه با ژنوتیپ‌های زودرس از ارتفاع بیشتری برخوردارند (Mittler, 2006). تفاوت بین دو تیمار رطوبتی برای ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی دانه از لحاظ آماری بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) بود. بنابراین تنوع ژنتیکی کافی برای انتخاب از نظر این صفت وجود دارد. میانگین کل ارتفاع بوته لاین‌ها در شرایط عادی رطوبتی ۱۱۰ سانتی‌متر و در شرایط تنفس رطوبتی ۹۳/۴ سانتی‌متر بود (جدول ۳). لاین‌های متحمل در شرایط عادی رطوبتی دارای ارتفاع بوته ۱۰۸ سانتی‌متر و در شرایط تنفس رطوبتی ۱۰۴ سانتی‌متر بودند. ارتفاع بوته لاین‌های حساس در شرایط عادی رطوبتی ۱۰۰ سانتی‌متر و در شرایط تنفس رطوبتی ۷۰/۲ سانتی‌متر بوده و تنفس رطوبتی باعث شد تا لاین‌های حساس در واکنش به تنفس رطوبتی کاهش بیشتری در این صفات داشته باشند در حالی که لاین‌های متحمل تغییر چندانی در این صفات نداشتند (جدول ۳). ارتفاع بوته تحت تأثیر تنفس خشکی ۱۵/۱۰ درصد کاهش پیدا کرد و اختلاف بین لاین‌ها در مورد این صفت تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) را نشان دادند. در مطالعات انجام شده توسط Sio-Se Mardeh و همکاران (۲۰۰۶) نیز تأثیر خشکی بر روی گندم گزارش کردند که تنفس خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته از شرایط بهینه به تنفس رطوبتی شده است که با نتایج مطالعه حاضر هماهنگی دارد و کاهش ارتفاع بوته احتمالاً می‌تواند به خاطر کاهش مرحله رویشی و فرار از خشکی و تکمیل سریع مرحله زایشی باشد.

دم گل آذین در گذر از شرایط عادی به تنفس رطوبتی شد (جدول ۳). این اختلاف در کاهش طول دم گل لاین‌های حساس و عدم تاثیرپذیری آن در لاین‌های متحمل را می‌توان اینگونه توجیه نمود که برگ پرچم منبع اصلی شیره پرورده بوده در حالی که دم گل به عنوان اندام توزیع کننده شیره پرورده از جمله کربوهیدرات‌ها عمل می‌کند و بنابراین در لاین‌های متحمل در شرایط تنفس رطوبتی فتوستز کمتر تحت تاثیر تنفس قرار گرفته و شیره پرورده کافی برای رشد و نمو دم گل و همین طور انتقال به دانه‌ها موجود بوده است (Kong *et al.*, 2010).

نتایج تجربیه واریانس در شرایط بدون تنفس رطوبتی نشان دهنده اختلاف بسیار معنی‌دار لاین‌های مورد بررسی برای صفات طول و عرض برگ بود در حالی که برای مساحت برگ پرچم اختلاف معنی‌دار ($P < 0.01$) و برای مساحت برگ پرچم اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) بین لاین‌ها مشاهده شد (جدول ۱ و ۲). لاین‌های متحمل در شرایط عادی رطوبتی دارای ۲۶ سانتی‌متر مربع مساحت برگ پرچم و در شرایط تنفس رطوبتی دارای ۱۸ سانتی‌متر مربع و لاین‌های حساس در شرایط عادی رطوبتی دارای ۲۸/۴ سانتی‌متر مربع و در شرایط تنفس رطوبتی ۱۵/۲ سانتی‌متر مربع از لحاظ این صفت بودند و لاین حساس در گذر از شرایط عادی رطوبتی به شرایط تنفس رطوبتی کاهش معنی‌داری در این صفت از خود نشان دادند (جدول ۳). بنابر Paroda (۲۰۰۵) توسعه سطح برگ جنبه دیگری در واکنش به خشکی است اما در حالت تشديد تدریجی خشکی، گیاهان سطح برگ خود را تعديل می‌کنند تا اتفاق آب از سایه انداز گیاه متناسب با آب موجود در خاک تنظیم شود. هدر روی آب از سطح گیاه عمدهاً به مساحت تعرق کننده گیاه وابسته است (Mittler, 2006). کاهش مساحت برگ، طول و عرض برگ پرچم در شرایط تنفس خشکی را نیز می‌توان در مطالعات Huyuan و همکارانش (۲۰۰۷) مشاهده شد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد در حالی که Lonbani و

منابع:

- Agronomy Research 9: 315–329.
- Putts, S. J., Kint M. and Bouharmont J. (1996) Effect of various salts and mannitol onion and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice callus cultures. Plant Science 27: 55-60.
- Mallick, S. A., Gupta, M., Mondal, S. K. and Sinha, B. K. (2011) Characterization of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes on the basis of metabolic changes associated with water stress. Indian Journal Agriculture Science 81: 767–71.
- Mittler, R. (2006) Abiotic stress, the field environment and stress combination. Trends Plant Science 11:15-19.
- Paroda, R. (2004) Scaling-up: how to reach a billion resource-poor farmers in developing countries. New directions for a diverse planet". Proceedings of 4th International Crop Science Congress, 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia
- Sanchez-Blanco, M. J., Rodriguez, P., Olmos, E., Morales, M. A. and Torrecillas, A. (2004) Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, mineral content and ultrastructural in *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants. Journal Environment Quality 33: 1369-1375.
- Sayar, R., Khemira, H., Kameli, A. and Mosbahi, M. (2008) Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Agronomy Research 6: 79-90.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini K., and Mohammadi, V. (2006) Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research 98: 222–229.
- Sivakumar, P., Sharmila, P. and Saradhi, P. P. (2000) Proline alleviates salt-stressed induced enhancement in ribulose-1, 5-bisphosphate oxygenase activity. Biochemical and Biophysical Research Communications 279: 512–515.
- Tas, S. and Tas, B. (2007) Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidy in Turkiye. World Journal of Agricultural Sciences 3:178-183.
- Wardlow, I. F. and Wilenbrink, J. (1994) Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation of sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. Australian Journal of Plant Physiology. 21: 255-271.
- Zimmerman, J. D. (2002) Irrigation, John Wiley & Sons Inc. New York.
- Bandurska, H. and Stroinski, A. (2003) ABA and proline accumulation in leaves and roots of wild (*Hordeum spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare*) barley genotypes under deficit water conditions. Acta Physiologiae Plantarum 25: 55-61.
- Bates Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39:205–207
- Blum, A. (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. Australian Journal of Agricultural Research 56:1159-1168.
- Cattivellia, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A. and Michele Stanca, A. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research 105: 1–14.
- Cuin, T. A. and Shabala, S. (2007) Compatible solutes reduce ROS-induced potassium efflux in *Arabidopsis* roots. Plant Cell Environment 30: 875–885.
- Fleury, D., Jefferies, S., Kuchel, H. and Langridge, P. (2010) Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. Journal of Experimental Botany 61: 3211-3222.
- Hong, Z. L., Lakkineni, K., Zhang, Z. M. and Verma, D. P. S. (2000) Removal offeedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetaseresults in increased proline accumulation and protection of plantsfrom osmotic stress. Plant Physiology 122: 1129–1136.
- Huyuan, F., Xue, Li. S. and Wang, L. X. (2007) The interactive effects of enhanced UV-B radiation and soil drought on spring wheat. South African Journal of Botany 73: 429–434.
- Kong, L. A., F. H. Wang, B. Feng, S. D. Li, J. S. Si, and B. Zhang, (2010) The structural and photosynthetic characteristics of the exposed peduncle of wheat (*Triticum aestivum* L.): an important photosynthate source for grain-filling. BMC Plant Biology 10: 141–151.
- Lichtenthaler, H. K. and Buschmann C. (2001) Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in food Analytical Chemistry F4.3.1–F4.3.8.
- Lonbani, M. and Arzani, A. (2011) Morphophysiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat.