

ارزیابی برخی صفات فیزیولوژیکی در جمعیت‌هایی از *Aegilops triuncialis* تحت تنش خشکی

زهرا تقی‌پور^۱، رسول اصغری زکریا^{۲*}، ناصر زارع^۳ و پریسا شیخ‌زاده^۳

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲- نویسنده مسئول مکاتبات، دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

پست الکترونیک: r-asghari@ uma.ac.ir

۳- استادیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۷

چکیده

به منظور ارزیابی فیزیولوژیکی تحمل به تنش خشکی در جمعیت‌هایی از گونه *Aegilops triuncialis*، آزمایشی در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۰ اجرا شد. سه رژیم آبیاری به صورت آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله تورم سنبله و آبیاری تا مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله به عنوان سطوح عامل اول و هشت جمعیت مختلف از *A. triuncialis* به عنوان سطوح عامل دوم در نظر گرفته شدند. مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m ، F_M) و تعداد روزنه با افزایش تنش خشکی کاهش یافت. کاهش قابل ملاحظه‌ای در محتوای کلروفیل و میزان کارتنوئید برگ در شرایط تنش خشکی به ویژه در تنش مرحله تورم سنبله مشاهده شد. همچنین وقوع تنش خشکی موجب کاهش ۲۶ درصدی در محتوای نسبی آب برگ نسبت به شرایط بدون تنش گردید. میزان هدایت روزنه‌ای نیز در تنش مرحله تورم سنبله ۴۶ درصد و در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله ۵۵ درصد کاهش یافته، اما میزان پرولین افزایش پیدا کرد. در شرایط کم آبی در مرحله ظهور سنبله، جمعیت‌های هوراند، مرند و ماکو از نظر محتوای نسبی آب برگ نسبت به سایر جمعیت‌ها برتری نسبی داشتند و می‌توان آنها را به عنوان جمعیت‌های متحمل به تنش خشکی برای مطالعات بعدی معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: آزیلوپس، پرولین، تعداد روزنه، تنش خشکی، فلورسانس کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ

مقدمه

بیشترین پراکنش را در جهان دارد و تا ارتفاع ۲۷۰۰ متری از سطح دریا یافت می‌شود. به علت پلی‌پلوئید بودن، سازگاری این گونه به شرایط محیطی بیشتر است (Van Slageren, 1994).

خشکی یکی از مهمترین تهدیدهای جهانی برای تولید مواد غذایی به‌شمار می‌آید که عامل برهم زنده تعادل گیاه از طریق اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و بیولوژیک می‌باشد (Ober et al., 2005). از مهمترین تغییرات ناشی از این تنش، کاهش محتوای آب نسبی برگ (RWC) است. این صفت می‌تواند توانمندی گیاه را در تحمل به تنش

گونه‌های آزیلوپس از خویشاوندان وحشی گندم منبع با ارزشی برای ژن‌های مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و اصلاح صفات کمی و کیفی گندم به‌شمار می‌روند (Schneider & Molnar-Lang, 2008). گونه *Aegilops triuncialis* تتراپلوئید ($2n=4x=28$) با فرمول ژنومی UUCC است که از تلاقی بین گونه‌های *Aegilops umbellulata* (با فرمول ژنومی UU) و *Aegilops caudata* (با فرمول ژنومی CC) به وجود آمده است (Wang et al., 1997). این گونه در بین گونه‌های مختلف آزیلوپس

روزنه‌های سطح برگ از اتلاف بیشتر آب موجود در گیاه از طریق تعرق جلوگیری می‌شود. در نتیجه، ورود دی‌اکسید کربن به برگ نیز کاهش یافته که منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود (Cornic, 2000). پرولین یکی از اسید آمینه‌های فعال در تنظیم اسمزی سلول است که علاوه بر ذخیره نیتروژن، با کاهش قابلیت اسمزی سیتوپلاسم، گیاه را در تحمل تنش یاری می‌دهد (Rontein et al., 2002).

آگاهی از تنوع ژنتیکی موجود در ارقام اهلی و خویشاوندان وحشی یک گونه گیاهی، در بکارگیری آنها در برنامه‌های اصلاحی از اهمیت زیادی برخوردار است (Hardon et al., 1994). در این راستا، یکی از اصول مهم و راهبردی در اصلاح نباتات، شناسایی ژن‌های مفید در ذخایر توارثی گیاهی به‌عنوان یک برنامه پیش اصلاحی است. بنابراین، هدف از این پژوهش، مطالعه تأثیر تنش خشکی بر تغییرات پارامترهای فلورسانس کلروفیل، تجمع پرولین، عوامل روزنه‌ای و شناسایی جمعیت‌های متحمل به خشکی در گونه *A. triuncialis* از خویشاوندان وحشی گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه محقق اردبیلی در پاییز ۱۳۹۰ به اجرا درآمد. هشت جمعیت مختلف از گونه *A. triuncialis* شامل جمعیت‌های ماکو، مرند، هشتروند، نمین، هوراند، کرج، مشگین‌شهر و اهر در سه سطح مختلف آبیاری شامل آبیاری کامل به‌عنوان شاهد براساس نیاز گیاه و شرایط محیطی، آبیاری تا مرحله متورم شدن سنبله (مرحله رشدی ۴۵ زادوکس) و بعد قطع آبیاری تا مرحله برداشت و آبیاری تا ۵۰ درصد ظهور خوشه (مرحله رشدی ۵۵ زادوکس) و بعد قطع آبیاری تا مرحله برداشت به‌عنوان سطوح تنش مورد ارزیابی قرار گرفتند. اعمال تیمار در هر گلدان پس از مشاهده ۵۰ درصد تعداد بوته‌های ظاهر شده در آن مرحله (متورم شدن سنبله و یا ۵۰ درصد ظهور خوشه) انجام گردید. بذرهای ابتدا با هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی شدند و پس از شستشو در آب مقطر، درون ظروف پتری استریل که کف آن با کاغذ صافی استریل پوشانده شده بود، قرار گرفتند. بعد از جوانه‌زنی بذرهای در دستگاه ژرminatور در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، گیاهچه‌های یکنواخت به‌داخل گلدان‌های

خشکی نشان دهد. کاهش محتوای آب نسبی و بسته شدن روزنه‌ها اولین تأثیر خشکی بوده که از طریق اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی، موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود. تنش خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ و ایجاد محدودیت روزنه‌ای، باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز می‌شود (Yang et al., 2007; Molnar et al., 2002). بر اثر تنش خشکی محتوی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل *a* و *b*) در برگ‌ها کاهش می‌یابد (Burce, 1991; Behra et al., 2002). نتایج بیشتر بررسی‌ها گویای آن است که کمبود آب از طریق کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (Burce, 1991)، کاهش در فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی به‌ویژه آنزیم روبیسکو (Fendina et al., 1993)، کاهش فتوسنتز و رشد (Hassan, 2006) موجب کاهش عملکرد می‌شود.

امروزه فلورسانس کلروفیل به‌عنوان ابزاری مناسب جهت مطالعه کارکرد فتوسنتز در پاسخ به تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی مورد توجه به‌نژادگران قرار گرفته است (Maxwell & Johnson, 1990; Monneveux et al., 2000). تنش خشکی موجب کاهش فلورسانس متغیر (F_v) و عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) می‌شود (Paknejad et al., 2007). وقتی شدت نور کافی باشد فلورسانس از مقدار F_0 به حداکثر مقدار خود یعنی F_m افزایش می‌یابد (Shir-Mard-Kermanshahi, 2003). نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (F_v/F_m)، نشان‌دهنده بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II می‌باشد و برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند، در حدود ۰/۸۵ می‌باشد و در شرایط تنش خشکی، شوری و گرما مقدار آن کمتر خواهد شد (Zhao et al., 2007). همچنین گزارش شده است که فلورسانس حداکثر (F_m) در شرایط تنش خشکی در چغندر کاهش می‌یابد (Mohammadian et al., 2003; Vazan et al., 2003).

تعداد و تراکم روزنه در گیاهان مختلف و حتی در درون یک گونه خاص گیاهی نیز متغیر است. گیاهانی که در محیط‌های مرطوب رشد می‌کنند دارای روزنه بیشتر و کوچکتر نسبت به گیاهان رشد یافته در زیستگاه‌های خشک هستند (Heidari Sharif-Abad, 2000). در شرایط تنش خشکی، روزنه‌ها به‌منظور کاهش تلفات آب بسته می‌شوند (Brownlee, 2001). در شرایط تنش خشکی، با بسته شدن

۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و RWC از طریق رابطه زیر به دست آمد (Schlemmer *et al.*, 2005):

$$RWC = \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژانس})}{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})} \times 100$$

برای سنجش کلروفیل از بافت تازه برگ‌گی استفاده شد. ۰/۲ گرم از بافت برگ با استون ۸۰٪ به تدریج ساییده شد تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و در نهایت حجم محلول با استون ۸۰٪ به ۲۰ میلی لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۹۷۰ g سانتی‌فیوژ گردید و بعد جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵، ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل و کارتنوئید طبق معادله‌های زیر به دست آمد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 * A_{663} - 0.86 * A_{645}) V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 * A_{645} - 3.6 * A_{663}) V/100W$$

$$\text{Carotenoids} = 100(A_{470}) + 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/22$$

V: حجم نهایی فالكون و W: وزن نمونه برگ‌گی می‌باشد.

برای محاسبه درصد تغییرات صفات در اثر کم آبی از فرمول زیر استفاده شد.

$$\text{درصد تغییر صفت} = (Y_p - Y_s) / Y_p \times 100$$

که در آن Y_p و Y_s به ترتیب میانگین صفت در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشند. مثبت بودن درصد تغییر صفت به معنی افت میزان آن صفت و منفی بودن آن به منزله افزایش آن در محیط‌های تنش خواهد بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9 و در صورت معنی‌دار بودن برش‌دهی اثر متقابل انجام شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون Lsmeans در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف تنش خشکی و بین جمعیت‌ها و همچنین اثر متقابل

پلاستیکی (به طول ۴۰، عرض ۳۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) به تعداد ۲۰ بوته در هر گلدان منتقل شدند. تنظیمات گلخانه شامل رطوبت نسبی ۴۰ درصد، دمای دوره روشنایی $3 \pm$ ۲۰ درجه سانتی‌گراد، دمای دوره تاریکی $3 \pm$ ۱۶ درجه سانتی‌گراد و طول روز و شب به ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت بود. کلیه عملیات داشت و برداشت برای همه تیمارها به صورت یکسان اجرا شد. برای اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل از دستگاه OSI 30 (کمپانی ADC Bioscientific) استفاده شد. تمام اندازه‌گیری‌ها در ساعات ۱۰ تا ۱۳ به منظور به حداقل رساندن تغییرات روزانه انجام شد. در ابتدا گیره‌های مخصوص پس از اطمینان از بسته بودن دریچه‌های آنها روی برگ‌ها نصب شدند، به طوری که از رگبرگ اصلی فاصله داشته باشند. برگ‌ها به مدت ۱۵ دقیقه برای توقف واکنش روشنایی فتوسنتز در تاریکی قرار گرفتند. پس از سپری شدن این مدت گیره‌ها به فیبر نوری دستگاه متصل شدند و دریچه گیره‌ها باز شدند و پارامترهای فلورسانس اولیه (F_0)، فلورسانس حداکثر (F_M) و نیز قابلیت عملکرد کوانتوم (F_V/F_M) به دست آمد. هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل Leaf Porometer SC-1 که با قرار دادن برگ پرچم در داخل سنسور دستگاه، اعداد مربوط به میزان مقاومت روزنه بر حسب $\text{mmol}^2/\text{m}^2\text{s}$ قرائت شد. برای اندازه‌گیری تعداد روزنه از لاک بی‌رنگ معمولی استفاده شد. به این ترتیب که برگ جدا شده از بوته، روی یک قطعه‌ای شیشه‌ای صاف قرار داده شد و با دستمال کاغذی لایه فوقانی به آرامی تمیز شد. سپس لایه مذکور با قشری نازک از لاک بیرنگ پوشانیده شد. پس از خشک شدن لاک با استفاده از نوار چسب معمولی لایه فوق را برداشته و روی یک لام تمیز چسبانده و با استفاده از میکروسکوپ نوری ($10\times$) تعداد روزنه‌ها در میلی‌متر مربع شمارش شد.

استخراج پرولین با استفاده از روش (Bates, *et al.*, 1973) انجام شد. غلظت پرولین برای هر نمونه بر حسب میکروگرم پرولین در هر گرم وزن تر محاسبه شد. دو هفته پس از اعمال تنش، برای اندازه‌گیری RWC، چند برگ از قسمت‌های بالایی بوته انتخاب و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن تورژانس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق، داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به منظور تعیین وزن خشک به مدت

با این تفاوت که برای F_V/F_M در شرایط بدون تنش و برای محتوی کلروفیل b در تنش مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله بین جمعیت‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در بقیه سطوح تنش تفاوت معنی‌داری از نظر آماری وجود داشت (جدول ۲). میانگین صفات مورد مطالعه در هر سطح تنش و درصد کاهش آنها نسبت به شرایط بدون تنش در جدول ۳ و نتایج مقایسه میانگین بین جمعیت‌ها در هر سطح تنش به روش Lsmeans در جدول ۴ نشان داده شده است.

آنها از لحاظ مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل (F_0 ، F_M و F_V/F_M)، محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید برگ، میزان پرولین، هدایت روزنه‌ای، تعداد روزنه در سطح زیرین برگ و محتوی آب نسبی برگ اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده رفتار متفاوت جمعیت‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد. اثر متقابل جمعیت و تنش خشکی برای تعداد روزنه در سطح رویی برگ معنی‌دار نشد (جدول ۱). برش‌دهی اثر متقابل برای صفات مورد مطالعه نیز نشان داد که در تمامی سطوح تنش تفاوت بین جمعیت‌ها معنی‌دار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیکی در جمعیت‌های *A. triuncialis*

منابع تغییر آزادی درجه	فلورسانس اولیه (F_0)	فلورسانس حداکثر (FM)	قابلیت عملکرد			کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	میزان پرولین	میزان هدایت روزنه‌ای	تعداد روزنه		محتوای آب نسبی
			کوانتوم	حداکثر (FM)	کوانتوم						کوانتوم	سطح رویی برگ	
۷	۱۴۶۷۹/۳*	۳۶۳۲۰/۶**	۰/۰۱۲**	۰/۰۷۵**	۰/۰۰۹**	۰/۱۶۸**	۰/۰۶۶**	۲۵۸/۲۵**	۷۵۴۰/۸**	۷۶۳۲/۵**	۴۹۸/۳۴**	جمعیت	
۲	۱۰۱۵۸/۳**	۴۶۶۳۹۳/۸**	۰/۰۲۶**	۰/۲۱۵**	۰/۰۶۲**	۰/۱۶۱**	۱۱/۵۱**	۶۶۷۴/۶۹**	۳۸۸۱۱/۷**	۲۷۳۶۱/۱**	۱۸۵۶/۶**	تنش خشکی	
۱۴	۳۹۲۵/۵**	۵۸۲۳۷**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۸**	۰/۰۵۵**	۱۵۷/۹۱**	۶۴۷/۰۵ ^{ns}	۸۹۱/۰۷**	۱۰۸/۱**	جمعیت × تنش	
۴۸	۷۰۸/۲۵	۷۵۶۷/۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۲	۸/۳۳۳	۵۰۹/۵	۳۵۴/۶	۳/۸۲	اشتباه آزمایشی	
ضریب تغییرات (%)	۱۳/۵	۱۰/۶	۳/۵	۶/۲	۲۲/۵۳	۲/۷	۲۷/۹۳	۷/۵۹	۷/۸	۷/۴	۳/۲		

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از برش‌دهی واریانس اثر متقابل جمعیت‌های *A. triuncialis* در سطوح مختلف تنش خشکی

سطوح تنش	درجه آزادی اولیه (F_0)	فلورسانس حداکثر (FM)	قابلیت عملکرد			کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	میزان پرولین	میزان هدایت روزنه‌ای	تعداد روزنه سطح زیرین برگ	محتوای آب نسبی
			کوانتوم	حداکثر (FM)	کوانتوم							
۷	۱۷۲۳/۹*	۷۱۰۴۳**	۰/۰۰۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۱۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۴۲**	۰/۰۴۷**	۴۲۹/۶۸**	۴۲۸۱/۳**	۲۶۴/۷**	بدون تنش	
۷	۱۴۵۶۳**	۶۳۳۴۶**	۰/۰۱۶۸**	۰/۰۳۵**	۰/۰۰۳**	۰/۰۵۸**	۰/۰۰۹**	۱۱۹/۷۸**	۳۱۱۴/۰۴**	۲۳۹/۰۲**	تنش در مرحله تورم سنبله	
۷	۶۲۴۳/۴**	۳۲۹۲۷**	۰/۰۰۴۳**	۰/۰۳۷**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۸۳**	۰/۰۳۶**	۱۲۴/۵۷**	۲۰۱۹/۲۴**	۲۱۰/۸**	تنش در مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله	

ns, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۳ - میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف تنش خشکی و درصد کاهش آنها نسبت به شرایط بدون تنش

درصد کاهش میانگین صفات		میانگین			صفت
آبیاری تا مرحله تورم سنبله	آبیاری تا مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله	آبیاری تا مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله	آبیاری تا مرحله تورم سنبله	شاهد	
-۱۶/۴	-۲۲/۵	۲۰۵/۹	۲۱۶/۶	۱۷۶/۸۲	F_0 (فلورسانس اولیه) (m/s)
۳۶/۰	۲۳/۳	۷۲۲/۵	۷۴۸/۹	۹۷۶/۱۱	F_M (فلورسانس حداکثر) (m/s)
۱۰/۰	۱۱/۳	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۸۰	F_V/F_M (عملکرد کوانتوم) (m/s)
۳۵/۱	۴۸/۲	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۳۷	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۴۹/۴	۶۴/۶	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۴	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۱۸/۶	۲۷/۱	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۵۹	کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر)
-۶۲/۹	-۲۸۶/۹	۰/۷۵	۱/۷۸	۰/۴۶	پروکلین (میکرومول در گرم بافت تازه)
۵۴/۵	۴۵/۸	۲۵/۹	۳۰/۹	۵۷/۱	هدایت روزنه‌ای (میلی مول / مترمربع ثانیه)
۱۵/۶	۲۳/۸	۲۸۱/۲۵	۲۵۲/۹۱	۳۳۲/۲۶	تعداد روزنه سطح رویی برگ
۱۲/۱	۲۳/۵	۲۵۲/۲	۲۱۹/۳۷	۲۸۶/۹	تعداد روزنه سطح زیری برگ
۲۵/۶	۲۵/۷	۵۴/۰۹	۵۴	۷۲/۷	محتوای آب نسبی (%)

بحث

جمعیت‌های اهر و مرند اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین مقدار آن برای جمعیت‌های مشکین‌شهر، ماکو و کرج مشاهده شد. بیشترین مقدار F_M در تنش مرحله تورم سنبله برای جمعیت‌های اهر، هشتروند، هوراند، کرج و ماکو مشاهده شد. در این سطح از تنش کمترین مقدار F_M برای جمعیت نمین به‌دست آمد. در تیمار آبیاری تا مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله بیشترین مقدار F_M مربوط به جمعیت‌های اهر، مشکین‌شهر و مرند و کمترین مقدار آن برای جمعیت‌های ماکو، نمین و هوراند مشاهده شد. البته جمعیت‌های هشتروند و کرج اختلاف آماری معنی‌داری با این دو گروه نداشتند (جدول ۴).

شیب کاهشی عملکرد کوانتومی شاخص مناسبی برای ارزیابی ممانعت نوری در گیاهانی است که تحت تنش خشکی قرار گرفته‌اند (Paknejad et al., 2007). کاهش نسبت F_V/F_M در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده کاهش کارایی فتوسیستم II است که به‌علت کاهش انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تأثیر تنش خشکی است (Lu and Zhang, 1998). وقوع تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار قابلیت عملکرد کوانتوم (F_V/F_M) شد. کاهش ۱۱ درصدی نسبت F_V/F_M با اعمال تنش در مرحله تورم

با افزایش شدت تنش خشکی میزان F_0 به‌طور معنی‌داری زیاد شد (جدول ۲). به‌طوری که تنش در مرحله تورم سنبله افزایش ۲۲/۵ درصدی را در میزان F_0 نشان داد. در شرایط بدون تنش بیشترین F_0 مربوط به جمعیت‌های اهر و هوراند بود، که به‌غیر از جمعیت‌های ماکو و مرند با سایر جمعیت‌ها اختلاف معنی‌داری نداشتند. با اعمال تنش در مرحله تورم سنبله، جمعیت اهر بیشترین F_0 و جمعیت‌های مشکین‌شهر و مرند کمترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند ولی اختلاف آنها با جمعیت‌های ماکو و کرج معنی‌دار نبود. همچنین بین جمعیت‌های هشتروند، نمین و هوراند اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله بیشترین مقدار F_0 برای جمعیت اهر و کمترین مقدار آن برای جمعیت هوراند به‌دست آمد که با جمعیت‌های مشکین‌شهر، ماکو و نمین اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). همچنین با افزایش شدت تنش خشکی میزان F_M به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳)، به‌طوری که در تنش در مرحله تورم سنبله ۲۶ درصد کاهش نشان داد. در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار F_M را جمعیت‌های هشتروند، نمین و هوراند داشتند و با

نداشتند. در تنش مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله جمعیت هشتگرد بیشترین مقدار F_v/F_m را دارا بود و با جمعیت‌های مشکین‌شهر، ماکو و هوراند اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار این پارامتر مربوط به جمعیت‌های اهر و نمین بود (جدول ۴).

سنبله و ۱۰ درصدی در تنش در مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله (جدول ۳) نشان‌دهنده کاهش میزان حفاظت نوری و دلیلی است بر اینکه تنش خشکی بر کارایی فتوسنتز اثر معنی‌داری گذاشته است (Ali-Dib *et al.*, 1994). در تنش مرحله تورم سنبله کمترین F_v/F_m در جمعیت‌های اهر و نمین مشاهده گردید و سایر جمعیت‌ها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر

جدول ۴- میانگین جمعیت‌های *A. triuncialis* در شرایط بدون تنش و تنش خشکی از لحاظ صفات مورد اندازه‌گیری

سطوح آبیاری	اکوتیپ	فلورسانس اولیه (F0)	فلورسانس حداکثر (FM)	قابلیت عملکرد کوانتوم (FV/FM)	کلروفیل <i>a</i> (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل <i>b</i> (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	میزان پرولین (میکروگرم)	میزان هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول / مترمربع ثانیه)	تعداد روزنه محتوای سطح زیرین آب نسبی برگ (%)	
	اهر	۲۰۱/۲۵a	۱۰۲۹/۵ab	۰/۸۰۳a	۰/۴۱۴b	۰/۱۹۹a	۰/۶۵b	۰/۴۱۵ab	۴۴/۸۸c	۲۵۷/۰۲c	۸۱/۶۵b
	مشکین‌شهر	۱۶۹/۰۶ab	۸۲۲/۶۶c	۰/۷۸۶a	۰/۳۰۷e	۰/۱۳۱b	۰/۵۸d	۰/۳۷۷ab	۵۲/۱۰c	۲۸۴/۶۳bc	۵۴/۸۷e
	ماکو	۱۴۰/۹۱b	۷۶۸/۶۲c	۰/۷۸۷a	۰/۳۸۲c	۰/۱۲۷b	۰/۵۴e	۰/۳۱۸ab	۷۹/۴۷a	۲۳۱/۹۲cd	۷۹/۴۱bc
بدون تنش	مرند	۱۵۰/۱۶b	۱۰۳۵/۵ab	۰/۷۹۸a	۰/۴۵۳a	۰/۱۱۱b	۰/۶۹a	۰/۵۹۸ab	۵۲/۴۰c	۲۷۸/۶۱bc	۷۵/۱۸c
	هشتگرد	۱۷۴/۹۶ab	۱۰۵۱/۱۲a	۰/۷۹۵a	۰/۲۸۰f	۰/۱۱۳b	۰/۳۳f	۰/۳۱۴ab	۶۶/۴۵b	۳۰۲/۷۰b	۵۸/۸۹e
	نمین	۱۹۳/۶۶ab	۱۱۱۷/۰۰a	۰/۷۷۹a	۰/۳۷۹c	۰/۱۲۱b	۰/۷۰۴a	۰/۶۰۳a	۴۸/۲۷c	۳۳۲/۳۲a	۷۶/۴۸c
	هوراند	۲۰۹/۶۱a	۱۱۷۵/۰۰a	۰/۸۰۳a	۰/۴۵۵a	۰/۱۶۰ab	۰/۶۸۲a	۰/۶۰۷a	۶۴/۹۷b	۲۶۴/۵۵c	۸۸/۱۷a
	کرج	۱۷۵/۰۰ab	۸۰۹/۵۰c	۰/۷۸۴a	۰/۳۵۱d	۰/۰۹۵b	۰/۶۱۵c	۰/۴۸۱ab	۴۸/۲۵c	۳۴۳/۳۶a	۶۶/۹۵d
	اهر	۳۸۱/۵a	۸۳۲/۵۰a	۰/۶۴۵b	۰/۲۴۳c	۰/۰۸۳ab	۰/۴۳d	۱/۵۱۰ab	۳۱/۶۵b	۲۱۳/۳۵b	۴۲/۹۶cd
آبیاری تا مرحله تورم سنبله	مشکین‌شهر	۱۷۳/۸۳c	۷۲۵/۰۰b	۰/۷۶۳a	۰/۰۶۶f	۰/۰۴۰b	۰/۰۴۸c	۱/۷۸۵a	۳۳/۹۷ab	۲۱۷/۸۶b	۴۶/۰۹c
	ماکو	۱۷۸/۳۳bc	۷۴۶/۰۰ab	۰/۷۷۵a	۰/۱۴۴e	۰/۰۵۴b	۰/۰۲۵e	۱/۸۶۶a	۳۹/۲۰a	۱۹۵/۷۷bc	۶۶/۴۰a
	مرند	۱۶۱/۵۸c	۷۰۶/۰۰b	۰/۷۶۹a	۰/۳۵۰a	۰/۰۲۵b	۰/۰۵۹b	۲/۰۲۰a	۲۸/۱۷b	۲۲۳/۸۹b	۶۵/۲۴ab
	هشتگرد	۲۰۴/۰۰b	۸۴۲/۲۵a	۰/۷۶۲a	۰/۰۴۳f	۰/۰۲۱b	۰/۰۱۹f	۱/۸۷۴a	۲۷/۹۵b	۱۶۶/۶۶c	۴۵/۶۸c
	نمین	۲۲۰/۴۱b	۴۲۳/۷۵c	۰/۵۸۲b	۰/۲۰۷d	۰/۰۴۳b	۰/۰۵۵۲a	۱/۷۰۰ab	۱۹/۷۵c	۲۷۳/۵۹a	۴۱/۱۱d
	هوراند	۲۱۳/۲۵b	۸۵۲/۱۲a	۰/۷۸۱a	۰/۳۱۶b	۰/۱۲۴a	۰/۵۵۳a	۱/۹۱۶a	۲۸/۶۵b	۲۱۴/۳۵b	۶۱/۸۱b
	کرج	۱۹۹/۷۵bc	۸۶۴/۲۵a	۰/۷۷۳a	۰/۱۹۶d	۰/۰۶۱b	۰/۵۵۴a	۱/۵۷۹ab	۳۸/۰۰a	۲۴۹/۴۹ab	۶۲/۷۰ab
	اهر	۳۰۲/۰۰a	۸۹۱/۵۰a	۰/۶۷۹c	۰/۲۱۰d	۰/۰۵۲a	۰/۰۵۷۰b	۰/۶۹۲ab	۳۱/۵۵a	۲۳۷/۴۴bc	۵۰/۸۹b
آبیاری تا مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله	مشکین‌شهر	۱۸۸/۰۰bc	۸۱۲/۲۵a	۰/۷۶۸ab	۰/۰۵۶f	۰/۰۵۶a	۰/۰۳۸f	۰/۵۲۱b	۱۸/۳۸b	۲۴۶/۹۸b	۴۷/۱۷bc
	ماکو	۱۷۵/۵۸bc	۶۵۰/۷۵b	۰/۷۶۲ab	۰/۲۷۶bc	۰/۱۰۷a	۰/۰۴۳e	۰/۸۲۴a	۳۴/۸۵a	۲۱۲/۳۴c	۶۶/۲۳a
	مرند	۲۲۲/۰۰b	۸۰۰/۰۰a	۰/۷۳۶b	۰/۳۷۵a	۰/۰۵۹a	۰/۰۶۰۴a	۰/۸۰۵a	۳۱/۸۰a	۲۴۳/۴۶b	۶۶/۹۲a
	هشتگرد	۱۹۴/۶۶b	۶۹۸/۳۳ab	۰/۷۸۳a	۰/۱۰۹e	۰/۱۰۱a	۰/۱۳۷g	۰/۱۲۰a	۲۱/۱۲b	۲۵۱/۰۰d	۴۷/۲۶bc
	نمین	۱۹۰/۵۰bc	۵۸۷/۵۰b	۰/۶۸۴c	۰/۳۰۰b	۰/۰۷۱a	۰/۰۶۰۶a	۰/۶۹۴ab	۱۹/۲۰b	۲۹۱/۶۶a	۴۳/۹۵c
	هوراند	۱۵۰/۰۰c	۶۲۱/۳۳b	۰/۷۵۵ab	۰/۳۴۸a	۰/۰۶۹a	۰/۰۶۱۰a	۰/۸۵۰a	۲۹/۰۵a	۲۴۷/۴۸b	۶۵/۵۵a
	کرج	۲۲۴/۵۰b	۷۱۸/۵۰ab	۰/۷۳۴b	۰/۲۵۴c	۰/۰۵۶a	۰/۰۵۷۷b	۰/۶۸۱ab	۲۲/۷۵b	۲۸۷/۱۴a	۴۴/۷۴c

در هر ستون و هر سطح تنش حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

جدول ۵- میانگین تعداد روزنه در سطح رویی برگ در اکوتیپ‌های *A. triuncialis* و سطوح مختلف تنش خشکی

ردیف	اکوتیپ و سطح تنش	تعداد روزنه
۱	محل	۲۷۴/۰۹bc
۲	مشگین شهر	۲۷۶/۱۰bc
۳	ماکو	۲۵۳/۳۴d
۴	مرند	۲۸۹/۶۵b
۵	هشترود	۲۷۲/۹۰bc
۶	نمین	۳۲۱/۷۸a
۷	هوراند	۲۸۰/۶۲b
۸	کرج	۳۴۱/۹۳a
۱	شاهد	۳۳۲/۲۶a
۲	آبیاری تا مرحله تورم سنبله	۲۵۲/۹۱c
۳	آبیاری تا مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله	۲۸۱/۲۵b

اعدادی که با حروف مشترک نشان داده شده‌اند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بیشترین میزان F_v/F_m و F_m در سطح شاهد مشاهده شد و با افزایش تنش خشکی از میزان آنها کاسته شد (جدول ۳). اما با افزایش تنش بر میزان F_0 افزوده شد که نشان‌دهنده تخریب مراکز واکنش فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی بود. مقدار F_v/F_m با افزایش تنش، روند کاهشی را نشان داد. قابلیت عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) بستگی زیادی به قابلیت آب برگ دارد و شرایط خشکی باعث می‌شود که مقدار آن به زیر یک برود. جمعیت‌های متحمل به خشکی نسبت F_v/F_m بالاتری در مقایسه با جمعیت‌های حساس دارند که نشان‌دهنده بالا بودن کارایی فتوسیستم II در جمعیت‌های مقاوم است (Fracheboud, 2006). خشکی باعث کاهش میزان فتوسنتز در گندم و گونه‌های مختلف اژیلویس می‌شود (Shah & Paulsen, 2003; Dulai et al., 2006; Liu et al., 2006).

در اثر تنش خشکی محتوی کلروفیل a در دو سطح تنش حدود ۴۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). مقایسه میانگین جمعیت‌ها در هر سطح تنش خشکی برای محتوی کلروفیل a (جدول ۴) نشان داد که در محیط بدون تنش و تنش مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله جمعیت‌های مرند و هوراند بیشترین محتوی کلروفیل a را داشتند. در تنش

مرحله تورم سنبله جمعیت مرند بیشترین و جمعیت‌های مشگین شهر و هشترود کمترین محتوی کلروفیل a را داشتند. در محیط بدون تنش و تنش در مرحله تورم سنبله جمعیت‌های اهر و هوراند بالاترین میزان کلروفیل b را داشتند (جدول ۴). نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل a و b در جمعیت‌ها کاهش یافته است. تنش خشکی موجب کاهش ۶۴ درصدی در میزان کلروفیل b در تنش مرحله تورم سنبله شد (جدول ۳). طبق مطالعات انجام شده تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل a در مراحل خوشه رفتن و ۲۰ روز پس از گل‌دهی در گندم شد، اما تأثیر آن بر مقدار کلروفیل b فقط در مراحل اولیه معنی‌دار بود. در تنش‌های شدید با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، تخریب کلروفیل نیز افزایش یافت که به تلفات کلروفیل منجر شد (Ahmadi & 2004, Siocemardeh). کاهش مقادیر کلروفیل تحت تأثیر تنش خشکی، توسط Kauseri و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. آنها اعلام کردند که میزان کلروفیل a و b در بسیاری از گیاهان متأثر از خشکی بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرد. در گیاه *A. tauschii* تأثیر تنش خشکی موجب کاهش ۴۷ درصدی در F_v/F_m و ۲۵ درصدی در محتوی کلروفیل گردید (Gautam et al., 2011). همچنین کاهش قابل ملاحظه‌ای در محتوی کلروفیل و کارتنوئید برگ در گونه‌های هگزاپلوئید و دیپلوئید گندم در مواجهه با خشکی گزارش شده است (Liu et al., 2006).

میزان کارتنوئید برگ در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت (جدول ۳)، به‌طوری که بیشترین کاهش (۲۷ درصد) در تنش مرحله تورم سنبله مشاهده شد. در محیط بدون تنش و تنش مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله بیشترین محتوی کارتنوئید در جمعیت‌های مرند، نمین و هوراند و کمترین محتوی کارتنوئید در جمعیت هشترود مشاهده شد (جدول ۴). در تنش مرحله تورم سنبله جمعیت‌های نمین، هوراند و کرج بیشترین و جمعیت هشترود کمترین محتوی کارتنوئید برگ را داشتند (جدول ۴). خشکی سبب کاهش محتوی رنگیزه‌های سلول‌های گیاهی (کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها) می‌شود (Heidari Sharif-Abad, 2000). کارتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو دارند و در

(RWC) را کنترل می‌نماید (Schlemmer *et al.*, 2005). گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش محتوی آب نسبی و قابلیت آب در ژنوتیپ‌های گونه *A. biuncialis* می‌شود و این امر ممکن است به علت بسته شدن روزنه‌ها باشد (Molnar *et al.*, 2002).

از لحاظ میزان پرولین در سطح شاهد جمعیت‌های ماکو و هشتروند کمترین مقدار را داشتند. در تنش مرحله تورم سنبله جمعیت اهر و در تنش مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله جمعیت مشکین شهر کمترین میزان تجمع پرولین را نشان دادند (جدول ۴). تجمع پرولین در تنش مرحله تورم سنبله افزایش ۲۸۶ درصدی و در تنش مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله، افزایش ۶۲/۹ درصدی داشت (جدول ۳). تجمع پرولین آزاد یک پاسخ متداول به تنش در گیاهان عالی می‌باشد (Cecile, *et al.*, 1994). میزان هدایت روزنه‌ای در تنش مرحله تورم سنبله ۴۶ درصد و مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله در حدود ۵۵ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در تنش مرحله تورم سنبله جمعیت‌های ماکو، کرج و مشکین شهر بیشترین و جمعیت نمین کمترین هدایت روزنه‌ای را داشتند. در تنش مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله اکوتیپ‌های اهر، ماکو، مرند و هوراند بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشتند (جدول ۴). خشکی محیط با تأثیر بر هدایت روزنه‌ای سبب کاهش آب درون بافتی برگ‌ها می‌شود. در دسترس بودن CO₂ در کلروپلاست، که عمده‌تاً توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، به‌عنوان سیگنالی در پاسخ به کمبود آب برای تنظیم متابولیسمی در برگ عمل می‌کند (Ahmadi & Siosemardeh, 2005).

روزنه‌های برگ نقش مهمی در زنده ماندن گیاهان در شرایط تنش ایفا می‌کنند. کاهش تعداد روزنه در اثر خشکی و بسته شدن آنها طی تنش خشکی منجر به کاهش تعرق و فتوسنتز می‌شود. راهکار آناتومیکی برگ‌ها برای کاهش تعرق، کاهش تعداد روزنه‌ها برای مقابله با تنش خشکی می‌باشد. تعداد روزنه در سطح رویی برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح تنش کاهش یافت و در تنش در مرحله تورم سنبله کاهش ۲۳ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین تعداد روزنه سطح رویی برگ در جمعیت‌های نمین و کرج و کمترین تعداد آن در جمعیت ماکو مشاهده شد. مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی نیز نشان داد (جدول ۵) که با شدیدتر شدن سطوح

سمیت‌زدایی از کلروفیل نقش داشته و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (Sanitata & Gabbriella, 1999). گونه‌هایی که بتوانند محتوی کاروتنوئید بیشتری داشته باشند، در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال، دفاع موفق‌تری داشته و در شرایط تنش کمبود آب تحمل بیشتری از خود نشان می‌دهند (Noctor & Foyer, 1998). تنش خشکی به‌طور میانگین باعث کاهش ۳۱ درصدی در میزان کلروفیل برگ در گونه‌های ازیلوپس می‌شود (Gautam *et al.*, 2011).

محتوای رطوبت نسبی (RWC) به‌عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های بیان آبی گیاه، نقش مهمی در تنظیم هدایت روزنه و در نتیجه سرعت فتوسنتزی گیاه دارد (Mitchell *et al.*, 2001). طبق گزارش Paknejad و همکاران (۲۰۰۷) اولین تأثیر تنش خشکی، کاهش محتوای آب نسبی برگ و بسته شدن روزنه‌هاست که از طریق اختلال در سیستم ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود. وقوع تنش موجب کاهش ۲۶ درصدی در محتوای نسبی آب برگ در دو سطح تنش مورد مطالعه نسبت به شرایط بدون تنش گردید (جدول ۳). در محیط بدون تنش جمعیت هوراند بیشترین و جمعیت‌های مشکین‌شهر و هشتروند کمترین RWC برگ را نشان دادند.

در تنش مرحله تورم سنبله، جمعیت ماکو بیشترین میزان RWC را داشت که با جمعیت‌های مرند و کرج اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). جمعیت نمین بدون اختلاف معنی‌دار با جمعیت اهر کمترین میزان RWC را در این سطح از تنش داشت. در تنش مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله، جمعیت‌های ماکو، مرند و هوراند بیشترین و جمعیت‌های نمین و کرج بدون اختلاف معنی‌دار با جمعیت‌های مشکین‌شهر و هشتروند کمترین میزان RWC را داشتند. بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی در جمعیت‌های متحمل به تنش می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم‌کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیشتر آب به‌وسیله گسترش ریشه باشد (Rashidi, *et al.*, 2012; Ahmadi & Siosemardeh, 2005). در شرایط تنش خشکی گیاه روزنه‌های خود را می‌بندد و در نتیجه میزان دی‌اکسید کربن درون سلولی کاهش می‌یابد که منجر به افت میزان فشار آماس در اثر کاهش فتوسنتز و ساخت و ساز در برگ می‌شود (Vazan *et al.*, 2003). بنابراین، گیاه در طی روز با بسته نگاه داشتن روزنه‌ها، تا حدی محتوای نسبی آب برگ

نتیجه‌گیری کلی

نظر به اهمیت آزیلویس در اصلاح نباتات و تنوع وسیع این گونه در ایران می‌توان از جمعیت‌های متحمل به تنش برای انجام مطالعات ژنتیکی و مکان‌یابی ژن‌های کنترل‌کننده صفات مرتبط با تحمل به تنش خشکی استفاده کرد. بنابراین با جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده از صفات مورد مطالعه در این پژوهش، جمعیت‌های هوراند، مرند و ماکو را می‌توان به‌عنوان جمعیت‌های متحمل به تنش خشکی برای تحقیقات فیزیولوژیکی مولکولی بعدی معرفی نمود.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, A. and Siocemardeh, A., 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and Proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. *Agricultural Science*, 35: 753-763.
- Ahmadi, A. and Siosemardeh, A., 2005. Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance and non-stomatal limitations. *Journal of Iranian Agriculture Science*, 5: 807-811.
- Ali-Dib, T., Monneveux, P.H., Acevedo, J. and Nachil, M.M., 1994. Evaluation of proline analysis and chlorophyll fluorescence quenching measurements as drought tolerance indicators in durum wheat atmospheric CO₂. *Physiologia Plantarum*, 115: 93-100.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23:112-121.
- 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.
- Behra, R.K., Mishra, P.C., and Choudhury, N.K., 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Plant Physiology*, 159: 967-973.
- Brenner, M.L. and Cheikh, N., 1995. The role of hormones in photosynthate partitioning and seed filling. In: Davies, P. J., (Ed.). *Plant Hormones*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 649-670.
- Bredan, R.E. and Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*, 43: 2083-2088.
- Brownlee, C., 2001. The long and the short of stomatal density signals. *Trends in Plant Science*, 6: 441-442.
- Burce, J.A., 1991. Comparative responses of leaf conductance to humidity in single attached leaves, *Journal of Experimental Botany*, 32: 629-634.
- Cecile, B., Patrick, C., and Chavargieff, P., 1994. Light stress and oxidative cell damage in photoautotrophic cell suspension of *Euphorbia characias*. *Plant Physiology*, 106: 941-946.

تنش، تعداد روزنه در سطح رویی برگ کاهش می‌یابد. بیشترین میزان این صفت در شرایط بدون تنش بود و با افزایش تنش خشکی از میزان آن کاسته شد.

در شرایط بدون تنش جمعیت‌های نمین و کرج بیشترین تعداد روزنه در سطح زیرین برگ و کمترین تعداد را جمعیت‌های اهر و هوراند داشتند که اختلاف معنی‌داری با جمعیت‌های مشکین‌شهر، ماکو و مرند نداشتند. در تنش مرحله تورم سنبله و مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله، جمعیت‌های نمین و کرج بیشترین و هشترود کمترین تعداد روزنه سطح زیرین برگ را داشتند و بین سایر جمعیت‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). در تنش مرحله تورم سنبله بیشترین کاهش (۲۳ درصد) برای تعداد روزنه در سطح زیرین برگ مشاهده شد (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی، تعداد روزنه در کلیه جمعیت‌ها و در هر دو سطح برگ کاهش نشان داد. نتیجه این تحقیق با گزارش (Fu & Huang, 2004) مبنی بر کاهش تعداد روزنه در اثر تنش خشکی همخوانی دارد. در شرایط تنش خشکی روزنه‌ها به‌منظور کاهش تلفات آب بسته می‌شوند، در نتیجه نسبت CO₂ به O₂ در برگ‌ها کاهش یافته و از تثبیت CO₂ ممانعت می‌شود (Brownlee, 2001).

در سطوح تنش فلورسانس حداکثر (F_M) کمتری نسبت به سطح بدون تنش وجود داشته، که این کاهش در شرایط خشکی نشان‌دهنده اکسیداسیون کمتر کوئینون آ است که باعث کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی می‌شود. در شرایط تنش به‌علت ایجاد اختلال در مسیر انتقال الکترون و تخریب بافت‌های مرتبط با فتوسنتز، گیاه قادر به استفاده مطلوب از سوبسترا و انرژی نمی‌باشد. بسیاری از گزارش‌ها نشان داده است که کاهش میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای آب نسبی برگ در گیاه موجب کاهش فتوسنتز شده که در نهایت به کاهش عملکرد دانه منجر می‌گردد (Brenner & Cheikh, 1995; Liang *et al.*, 2002; Bredan & Egli, 2003). بنابراین، اگر محتوای رطوبت نسبی گیاه، میزان کلروفیل برگ‌ها، تعداد روزنه‌ها و کاروتنوئید در حد مطلوب حفظ شود، تا حدود زیادی از اثرات تنش خشکی کاسته خواهد شد. در نتیجه گیاه قادر خواهد بود حتی در شرایط تنش خشکی نیز به‌خوبی رشد و نمو کرده و عملکرد مناسبی را تولید کند.

- Mohammadian, R., Rahimian, H., Moghaddam, M. and Sadeghian, S.Y., 2003. Effect of early drought stress on sugar beets chlorophyll fluorescence. *Pakistan Journal of Biological Science*, 6:63-1769.
- Molnar, I., Gaspar, L., Stehli, L., Dulai, S., Sarvari, E., Kiraly, I., Galiba, G. and Molnar-Lang, M., 2002. The effects of drought stress on the photosynthetic processes of wheat and of *Aegilops biuncialis* genotypes originating from various habitats. Proceeding of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. *Acta Biologica*, 46: 115-116.
- Monneveux, P., Mekkaoui, M.E, and Xu. X., 1990. Physiological basis of salt tolerance in wheat. Chlorophyll fluorescence as a new tool for screening tolerant genotypes in wheat breeding. prospects and future approaches. Varna. Bulgaria. 1-33.
- Noctor, G., and Foyer, C.H., 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Plant Molecular Biology*, 49: 249-279.
- Ober, E.S, Le-Bloa, M., Clark, C. J.A., Royal, A., and Jaggard, K.W., 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in suger beet. *Field Crops Research*, 91: 231-249.
- Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Q., Siyadat, A. and Vazan, S., 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.
- Rashidi, Sh., Shirani Rad, A.M., Ayene Band, A., Javidfar, F., and Lak, SH. 2012. Study of relationship between droughts stresses tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*B. napus* L.). *Ann. Biol. Res*, 3: 564-569.
- Rontein, D., Basset, G., and Hanson, A.D., 2002. Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolite Engineering*, 4:49-46.
- Sanitata, L., and Gabbriella, R., 1999. Response to Cd in higher plants—Review. *Environment and Experimental Botany*, 45: 105-130.
- Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F., and Schepers, J.S., 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*, 97:106-112.
- Schneider, A., and Molnar-Lang, M., 2008. Utilisation of *Aegilops* (goatgrass) species to widen the genetic diversity of cultivated wheat. *Euphytica*, 163:1-19.
- Shah, N.H., and Paulsen, G.M., 2003. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*, 257:219-226.
- Shir-Mard Kermanshahi, M., 2003. Effects of reduced irrigation stress on some morphological and physiological traits on Sofflower cultivars. M.Sc. thesis, Islamic Azad Uneversiy, Karaj Branch.
- Van Slageren, M.W., 1994. Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (jaub. and Spach) Eig (*poaceae*). Wageningen Agricultural University. Wageningen, the Netherland, pp: 94-107.
- Cornic, G., 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5: 187-188.
- Dulai, S., Molnar, I., Pronay, J., Csernak, A., Tarnai, R., and Molnár-Láng, M., 2006. Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in *Aegilops* species originating from dry habitats. *Acta Biologica Szegediensis*, 50:11-17.
- Fendina, I.S., Tsonev, T. and Guleva, E.L., 1993. The effect of pretreatment with praline on the responses of (*Pisum sativum* L.) to salt stress. *Photosynthetica*, 29:521-527.
- Fracheboud, Y., 2006. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. Institute of Plant Sciences ETH, Universitatstrass, CH-8092 Zurich.
- Fu, J. and Huang, B., 2004. Leaf characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Acta Horticulture*, 661:233 – 239.
- Gautam, P.P., Fritz, A.K., Kirkham, M.B. K., and Gill, B., 2011. Response of *Aegilops* species to drought stress during reproductive stages of development. *Fundamental for Life. Soil, Crop & Environmental Sciences. Internatinal Annual Meetings*. 16-19.
- Hardon, J. J., Vosman, B., and Van Hintum, T.J.L., 1994. Identifying genetic resources and their ordination: The capabilities and limitations of modern biochemical and legal systems. Background Study Paper No. 4. FAO, Roma, 20p.
- Hassan, I.A., 2006. Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L. *Photosynthetica*, 44: 312-315.
- Heidari Sharif-Abad, H., 2000. Plants, aridity, and drought. Research Institute of Forests and Rangelans, Tehran, Iran, 200p.
- Kauseri, R.H., Athar, U.R., and Ashraf, M., 2006. Chlorophyll fluorescence: A Potential indicator for rapid assessment of water stress tolerance in Canola. *Pakistan Journal of Botany*, 38: 1501-1509.
- Liang, Z., Zhang, F., Shao, M., and Zhang, J., 2002. The relations of stomatal conuctance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 43: 187-192.
- Liu, W.J., Yuan, S., Zhang, N.H., Lei, T., Duan, H.G., Liang, H.G., and Lin, H.H., 2006. Effect of water stress on photosystem II in two wheat cultivars. *Biologia Plantarum*, 50:597-602.
- Lu, Q. and Zhang, J. 1998. Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence during flag leaf senescence of field-grown wheat plants. *Journal of Plant Physiology*, 149: 164-178
- Maxwell, K., and Johnson, G.N., 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Experimental Botany*, 51: 659-668.
- Mitchell, R. A., Mitchell, V.J. and Lawlor, D.W., 2001. Response of wheat canopy CO₂ and water gasexchange to soil water content under ambient and elevated CO₂. *Global Change Biology*, 7: 599-611.

- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X.Q. and Yin, H. J., 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosynthetica*, 45 (4): 613-619.
- Zhao, G. Q., Ma, B. L. and Ren, C. Z., 2007. Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to Salinity. *Crop Science*, 41: 123-13.
- Vazan, S., Ranji, Z., Hooshdar, M., Qalavand, A., and SaneiiShariat Panahi, M., 2003. Effect of drought stress on ABA accumulation and leaf stomata conductivity in sugar beet. *Iranian Journal of Crop Science*, 4:152-161.
- Wang, G., Miyashita, N.T., and Tsunewaki, K., 1997. Plasmon analyses of *Triticum* (wheat) and *Aegilops*: PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCR) analyses of organellar DNAs. *Proceeding of National Academy Sciences of the USA*, 94: 570-577.

Evaluation of drought stress tolerance in several populations of *Aegilops triuncialis* based on some physiological characteristics

Z. Taghipour¹, R. Asghari Zakaria^{2*}, N. Zare³ and P. Shaikh Zadeh³

1- M.Sc. Student of plant breeding, College of Agricultural Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran.

2* - Corresponding Author, Assoc. Prof., College of Agricultural Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran
Email: r-asghari@uma.ac.ir

3- Assist. Prof., College of Agricultural Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran.

Received: 01.08. 2013

Accepted: 28.05. 2014

Abstract

For evaluation of some physiological characteristics in several populations of *Aegilops triuncialis* under drought stress, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with three replications at Mohaghegh Ardabili University during 2011 under greenhouse conditions. Three moisture regimes as levels of the first factor were full irrigation, irrigation until booting stage and irrigation until 50% heading, and 8 different populations of *A. triuncialis* considered as levels of the second factor. Components of chlorophyll fluorescence (F_M , F_v/F_M) and number of stomata decreased with increasing severity of drought stress. There was a marked decrease in leaf chlorophyll and carotenoid content under drought stress condition particularly at booting stage. Drought stress also reduced 26% of leaf relative water content at both levels of stresses, as compared with non-stress conditions. Stomatal conductance decreased 46% and 55% in drought stress at booting and heading stages, respectively, but proline content increased. Under drought stress at heading stage, Hurand, Maku and Marand populations in terms of leaf relative water content were relatively superior to other populations and these populations could be considered as drought tolerant populations for future research.

Key words: *Aegilops*, Drought stress, Fluorescence chlorophyll, Proline, Relative water content, Stomata number