

ارزیابی تنش خشکی بر عملکرد دانه و صفات کیفی سه جمعیت گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia royleana* Benth.)

فاطمه پیرجلیلی^۱ و حشمت امید^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، پست الکترونیک: omidi@shahed.ac.ir

تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۵

تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۴

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و خصوصیات کیفی سه جمعیت گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia royleana* Benth.)، مطالعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی گیاهان دارویی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در ۳۰ کیلومتری جنوب تهران انجام شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۳-۹۴ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۴ سطح خشکی از مرحله گلدهی به عنوان فاکتور اصلی (۱- متوسط پتانسیل رطوبت خاک در حد ۰/۵- اتمسفر به عنوان شاهد (FC)، ۲- پتانسیل رطوبت خاک حدود ۳/۵- اتمسفر به عنوان تنش ملایم، ۳- پتانسیل رطوبت خاک حدود ۶/۵- اتمسفر به عنوان تنش نسبتاً شدید، ۴- پتانسیل رطوبت خاک ۹- اتمسفر به عنوان تنش شدید) و جمعیت‌های بالنگو (شامل ۳ جمعیت از استان‌های مشهد، کرمان و طالقان) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد دانه، میزان کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، درصد موسیلاژ، فاکتور تورم و محتوای پرولین بود. نتایج نشان داد که جمعیت، اثر برهم‌کنش خشکی و جمعیت بر کلروفیل a، کلروفیل کل، پرولین و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. خشکی بر عملکرد دانه، رنگ‌رزه‌های فتوسنتزی و محتوای پرولین برگ در سطح احتمال ۱٪ و بر کلروفیل کل در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار و بر میزان کلروفیل b غیرمعنی‌دار شد. در تنش شدید، بیشترین میزان تغییر پرولین در جمعیت مشهد و سطح تنش نسبتاً شدید (۲۶/۲۶) نسبت به شاهد (۰/۷) بود، همچنین میزان کلروفیل a (۰/۵ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید در تنش متوسط (۰/۹۶ میلی‌گرم بر گرم) نسبت به شاهد کاهش پیدا کردند. در بین جمعیت‌های مورد بررسی در شرایط شاهد (ظرفیت مزرعه‌ای) بیشترین عملکرد دانه مربوط به جمعیت مشهد با تولید ۹۴۰/۷۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه در شرایط تنش شدید (۹- اتمسفر) مربوط به جمعیت طالقان ۱۹۴/۴۳ کیلوگرم در هکتار بود.

واژه‌های کلیدی: بالنگو (*Lallemantia royleana* Benth.)، پرولین، خشکی، درصد موسیلاژ، کلروفیل، فاکتور تورم.

مقدمه

(Zarezade et al., 2007). گیاهان دارویی و اسانس‌دار خانواده نعناعیان به دلیل انعطاف اکولوژیکی بسیار زیاد نسبت به اقلیم‌های متنوع یکی از ذخایر ژنتیکی مهم گیاهی

بالنگو (*Lallemantia royleana* Benth) یکی از گیاهان اسانس‌دار خانواده نعناعیان (Lamiaceae) می‌باشد

جهان است (Abedi & Pakniyat, 2010). کشور ایران نیز با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر (برابر یک‌سوم میانگین جهانی) جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد (Jafarzadeh et al., 2010).

آب یکی از مهمترین عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد و نمو و مواد مؤثره گیاهان مختلف دارویی دارد (Zhua et al., 2009). محققان در تحقیقات خود نشان دادند که تنش‌های محیطی باعث افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌شود (Zobayed et al., 2005). محققان دیگر در تحقیقات خود بر روی گیاهان دارویی نشان دادند که تنش کم‌آبی باعث کاهش شدید عملکرد در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)، نعناع (*Mentha piperita* L.) (Delfine et al., 2005) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) می‌شود (Bettaieb et al., 2009). بنابراین، با توجه به هدف کشت محصول، به‌منظور رسیدن به حداکثر عملکرد در شرایط تنش می‌توان به جای آبیاری کامل، برنامه‌ای مناسب برای مصرف بهینه آب بکار برد و تنها در مراحل بحرانی از آب استفاده کرد که در این صورت تأثیر خشکی کاهش می‌یابد (Kamkar et al., 2011).

رنگریزه‌های فتوسنتزی در محل غشاهای تیلاکوئید کلروپلاست برگ به‌عنوان واحد فتوسنتزی در گیاه نقش ویژه‌ای دارند، رنگریزه‌های اصلی شامل کلروفیل a و b و رنگریزه‌های کمکی شامل کاروتنوئیدها و گزانتوفیل‌ها نقش بسزایی در فتوسنتز گیاه در شرایط خشکی دارند. واکنش ژنوتیپ‌ها و حتی جمعیت‌های یک گونه با تعداد برگ بیشتر در شرایط تنش که توان فتوسنتزی بالایی دارند، نسبت به تنش متفاوت بوده اما این موضوع با تعرق بیشتر گیاه در این شرایط در تقابل است (Kafi et al., 2010). فلورسانس کلروفیل به‌عنوان یک معیار سنجش برای بررسی تأثیر تنش‌های محیطی، از جمله تنش آب بر گونه‌های زراعی و تعیین میزان مقاومت به خشکی در آنها پیشنهاد شده‌است (Movahedi et al., 2002). زیرا خشکی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود (Kafi

محسوب می‌شوند و به دلیل دارا بودن موسیلاژ و ترکیب‌های معطر بسیار متنوع، در صنایع آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد فراوان دارند (Zarezade et al., 2007).

موسیلاژها در الکل‌ها غیرمحلول ولی در آب محلول می‌باشند و پس از جذب آب متورم و حجیم می‌شوند و با توجه به نوع موسیلاژ میزان تورم می‌تواند متفاوت باشد که به آن فاکتور تورم اطلاق می‌گردد که بیانگر کیفیت (Swelling factor) موسیلاژ می‌باشد. مهمترین خواص دارویی موسیلاژها، خاصیت ضدسوزش آنهاست، به‌طوری که موسیلاژ لایه محافظ ظریفی بر روی غشای مخاطی معده تولید می‌کند و مانع اثر عوامل سوزش‌آور بر سطوح مذکور می‌شود. از خاصیت جذب آب موسیلاژها، برای کاهش آب موجود در لوله گوارش (در اسهال‌های مزمن، به‌عنوان قابض) استفاده می‌کنند (Omidbaigi, 2010).

خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است (Abedi & Pakniyat, 2010). تنش خشکی به‌عنوان مهمترین تنش غیرزیستی نقش مهمی در کاهش عملکرد گیاهان دارویی دارد (Jafarzadeh et al., 2010). براساس مطالعات انجام‌شده، تنش خشکی از بین عوامل ایجادکننده تنش مانند بیماری‌ها، آفات، علف‌های هرز، غرقابی، شوری و سرما به‌تنهایی عامل کاهش ۴۵ درصدی عملکرد دانه در گیاهان معرفی شده است. بررسی‌ها نشان داده که خشکی و تنش آب به همراه تغییر الگوهای بارندگی و حرارتی یکی از مهمترین فاکتورها در کاهش عملکرد به‌شمار می‌آید (Jafarzadeh et al., 2010).

تأثیر تنش بر گیاه به عوامل محیطی و توانایی زیستی گیاه مورد نظر در محیط‌های نامناسب بستگی دارد. به‌همین دلیل تعریف شرایط محیطی تنش‌زا از گیاهی به گیاه دیگر متفاوت است (Vafabakhsh et al., 2009). اما بیشترین کاهش عملکرد در گیاهان به‌دلیل تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، شوری و درجه حرارت بالا و پایین می‌باشد (Fanaee et al., 2009) و عموماً خشکسالی مهمترین عامل محدودکننده رشد گیاه و تولید محصول در سراسر نقاط

شاهد طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. مشخصات مزرعه تحقیقاتی در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۳ سطح خشکی از مرحله انتهای گلدهی به عنوان فاکتور اصلی (۱- متوسط پتانسیل رطوبت خاک در حد ۰/۵- اتمسفر به عنوان شاهد (FC)، ۲- پتانسیل رطوبت خاک حدود ۳/۵- اتمسفر به عنوان تنش ملایم، ۳- پتانسیل رطوبت خاک حدود ۶/۵- اتمسفر به عنوان تنش نسبتاً شدید، ۴- قابلیت رطوبت خاک ۹- اتمسفر به عنوان تنش شدید) و ۳ جمعیت بالنگو از استان‌های کرمان، تهران و مشهد می‌باشد. پس از محاسبه قابلیت‌های رطوبتی خاک اعمال سطوح تنش به روش آبیاری نشتی (جوی و پشته‌ای) و تبدیل قابلیت اعمال تنش به روز برای قابلیت‌های رطوبتی به ترتیب انجام شد.

توصیه کودی براساس جدول تجزیه خاک (جدول ۲) انجام گردید. از این رو با توجه به توصیه کودی و کمبود نیتروژن خاک، مقداری کود نیتروژنه (حدود ۱۷۰ کیلوگرم اوره) و فسفات (حدود ۱۸۰ کیلوگرم) به مزرعه داده شد. به منظور اعمال تنش خشکی دستگاه اکوتسیومتر به مدت دو ماه قبل از اعمال تنش در منطقه ریشه در خاک قرار داده شد. پس از نصب دستگاه خاک به طور کامل اشباع شده و روند تغییرات مکش خاک (و محتوای رطوبت خاک) به مدت ۶۰ روز و با فاصله زمانی یک ساعت رصد شد. پس از طی مدت مذکور داده‌ها از حسگر دستگاه به رایانه منتقل و ضمن تجزیه و تحلیل اطلاعات رسم نمودار انجام شد. براساس قرائت داده‌های میکروپروسور و تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط رایانه و رسیدن به پتانسیل آبی مورد نظر دور آبیاری و زمان اعمال تنش مشخص گردید.

در این آزمایش از روش Sharma و Koul (۱۹۸۶) برای تعیین فاکتور تورم دانه و همچنین روش استخراج گرم برای استخراج موسیلاژ دانه استفاده شد. ابتدا یک گرم دانه خشک را در ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۱ نرمال تا زمانی که در پوسته دانه تغییر رنگ بوجود آید حرارت داده و پس از مشاهده این وضعیت محلول موسیلاژ اولیه بدست می‌آید

(*et al.*, 2010). همچنین کلروفیل‌سازی در تنش‌های شدید آب متوقف می‌شود (Kafi *et al.*, 2010).

هنگامی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود. یکی از این آمینواسیدها پرولین است و غلظت آن در برگ، در هر زمان، به مدت زمان تنش، پتانسیل آب برگ و میزان انتقال آن به قسمت‌های دیگر گیاه وابسته است (Hamrahi *et al.*, 2008). بنابراین بیشتر گیاهان از سازوکار یکسانی در مقاومت به تنش از جمله خشکی بهره نمی‌برند بلکه یک گیاه ممکن است چندین روش برای سازگاری با تنش داشته باشد (Taiz & Zeeiger, 2006).

از آن جایی که تنش کم‌آبی یکی از عوامل محیطی مؤثر بر کاهش عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی ماده مؤثره دارویی می‌باشد و از طرفی تأثیر آن بر گونه‌های مختلف متفاوت می‌باشد، بنابراین بررسی تحمل به خشکی گونه‌های مختلف تحت تأثیر شرایط کم‌آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو در گیاهان دارویی نیز با توجه به اهمیت اهلی‌کردن و کشت زراعی آنها، گزینش ارقام مقاوم به خشکی الزامی به نظر می‌رسد (Bajji *et al.*, 2001). با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده که با افزایش مصرف آنها (Omidbaigi, 2010) نیاز به توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی آنها نیز ضرورت می‌یابد (Noroozpoor & Rezvani Moghaddam, 2006). هدف از انجام این آزمایش ارزیابی اثر خشکی بر عملکرد دانه، میزان رنگرزه‌های فتوستنتزی، محتوای پرولین، درصد موسیلاژ و فاکتور تورم جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه، رنگرزه‌های فتوستنتزی، محتوای پرولین، درصد موسیلاژ و فاکتور تورم جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia royleana Benth.*)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه

شد. برای تعیین فاکتور تورم مقدار یک گرم بذر خشک را در استوانه مدرج ۲۵ میلی‌لیتری ریخته، سپس به آن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه کردیم. بعد از ۲۴ ساعت افزایش حجم بذرها متورم، که همان عدد فاکتور تورم می‌باشد اندازه‌گیری شد. سپس برای تعیین مقدار تورم برای هر گرم موسیلاژ از رابطه زیر استفاده و به‌عنوان فاکتور کیفیت بذر مورد بررسی قرار گرفت.

$$\text{میزان موسیلاژ} / (100 \times \text{فاکتور تورم}) = \text{تعیین مقدار تورم برای هر گرم موسیلاژ}$$

۶ مولار اضافه و به ملایمت حرارت داده شد. سپس مقدار ۰/۵ گرم نمونه تازه برگ را در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ همراه با مقداری کوارتز در هاون چینی ساییده شد و هم‌وزنات حاصل از آن با ۱۳۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. آنگاه ۲ میلی‌لیتر از عصاره‌های صاف شده به لوله‌های درب‌دار منتقل و مقدار ۲ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن اضافه گردید و به مدت یک ساعت در آب ۱۰۰°C قرار داده شدند. پس از سرد کردن لوله‌ها مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و با دستگاه ورتکس به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه لوله‌ها تکان داده شدند. سرانجام میزان جذب فاز رویی قرمز رنگ حاوی پرولین محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفوتومتر قرائت گردید. با استفاده از معادله رگرسیون و منحنی استاندارد حاصل از غلظت و جذب نوری محلول‌های استاندارد میزان پرولین موجود در نمونه‌ها برحسب میکرومول در ۱ گرم وزن تر محاسبه شد. برای تهیه محلول‌های استاندارد پرولین، مقدار ۰/۵ گرم پرولین خالص در ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ (۳/۳) گرم از اسید سولفوسالیسیلیک خشک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد.

که آن را به ظرف دیگر انتقال دادیم، سپس دانه‌های باقیمانده در ظرف اول را دو بار و هر بار با ۵ میلی‌لیتر آب‌جوش شستشو داده و به محلول موسیلاژ اولیه اضافه شد. آنگاه ۶۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درجه به محلول موسیلاژ بدست آمده اضافه و به مدت ۵ ساعت در یخچال نگهداری شد. رسوب حاصل پس از صاف کردن در آون ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفت. سپس از این مراحل توزین ماده جدا شده و یا به‌عبارتی موسیلاژ انجام

میزان کلروفیل با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) و میزان کاروتنوئید با استفاده از روش Gu و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد. به این ترتیب که ۰/۵ گرم بافت تازه برگ را با ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به‌طور کامل عصاره‌گیری کرده، سپس عصاره حاصل را با کاغذ صافی صاف کرده و آن را به حجم رسانده و به‌وسیله اسپکتروفوتومتر میزان کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و میزان کاروتنوئید در طول موج ۴۸۰ نانومتر قرائت شد.

غلظت کلروفیل‌های a و b از فرمول‌های زیر بدست آمد:

$$\begin{aligned} C_a &= 12.7 (A_{663}) - 2.69 (A_{645}) \times V/1000W \\ C_b &= 22.9 (A_{645}) - 2.69 (A_{663}) \times V/1000W \\ C_T &= 20.2 (A_{645}) + 8.02 (A_{663}) \times V/1000W \end{aligned}$$

C، میزان غلظت؛ V، حجم عصاره و W، وزن نمونه است.

در رابطه کاروتنوئید:

$$\text{Carotenoid} = 7.6 (A_{480}) - 14.9 (A_{510}) \times VD/1000W$$

A، میزان جذب نوری؛ V، حجم عصاره؛ D، نسبت رقت

و W؛ وزن نمونه است.

سنجش پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) بدست آمد. ابتدا برای تهیه معرف ناین‌هیدرین مقدار ۱/۲۵ گرم ناین‌هیدرین داخل ارلن حاوی ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک

جدول ۱- مشخصات مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی شاهد

میانگین سالیانه بارندگی (mm)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین سالیانه دما (C)
۲۱۶	۳۴' و ۳۵°	۸' و ۵۱°	۱۱۹۰	۱۷/۱

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

شوری (dS/m)	اسیدیته (pH)	O.C (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Texture			Soil T
						Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	
۱/۲	۷/۷۱	۰/۵۷	۰/۰۵	۷/۶	۲۷۰	۴۴/۰	۳۶/۰	۲۰/۰	لومی

نتایج

کلروفیل a

باتوجه به جدول مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو، با افزایش خشکی میزان کلروفیل جمعیت‌های کرمان و طالقان نسبت به شاهد ۰/۵- اتمسفر کاهش و جمعیت مشهد با افزایش خشکی میزان آن نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین و کمترین میزان کلروفیل به ترتیب مربوط به جمعیت کرمان (۰/۷۴ میلی‌گرم) و جمعیت طالقان (۰/۱۲ میلی‌گرم بر گرم) بود (شکل ۱).

کلروفیل b

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت، با افزایش خشکی میزان کلروفیل b جمعیت‌های طالقان و مشهد افزایش یافت. سطح تنش نسبتاً شدید (۹/۵- اتمسفر) بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b به ترتیب مربوط به جمعیت طالقان (۰/۶ میلی‌گرم) و مشهد (۰/۴۴ میلی‌گرم) بر گرم بود (شکل ۲).

کلروفیل کل

در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و جمعیت با افزایش خشکی میزان کلروفیل کل جمعیت مشهد نسبت به شاهد افزایش و جمعیت طالقان و کرمان نسبت به

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد اندازه‌گیری در سطح احتمال ۱٪ ($P < 0.01$) و بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال ۵٪ ($P = 0.05$) داشت (جدول ۳). جمعیت، اثر برهم‌کنش خشکی و جمعیت بر کلروفیل a، کلروفیل کل، پرولین و عملکرد کل دانه در سطح احتمال ۱٪ ($P < 0.01$) معنی‌دار شد. خشکی بر میزان کلروفیل b غیرمعنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح خشکی نشان داد که با افزایش تنش خشکی کلروفیل a، کلروفیل کل نسبت به شاهد کاهش یافت. با افزایش سطح خشکی از شاهد (۰/۵- اتمسفر) به تنش نسبتاً شدید (۹- اتمسفر) میزان پرولین بافت برگ افزایش یافت (جدول ۴).

در میان جمعیت‌های بالنگو، جمعیت کرمان دارای بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۷۳ میلی‌گرم بر گرم) و کلروفیل کل (۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم) می‌باشد و بیشترین میزان کاروتنوئید برگ مربوط به جمعیت طالقان (۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم) است. جمعیت مشهد بیشترین میزان پرولین بافت برگ (۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم) را داشت (جدول ۵).

درصد موسیلاژ

خشکی، جمعیت و اثر برهم‌کنش آنها بر درصد موسیلاژ بذر در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین خشکی نشان داد که با افزایش خشکی درصد موسیلاژ بذر کاهش پیدا کرد، به طوری که کمترین درصد موسیلاژ مربوط به تیمار تنش نسبتاً شدید با پتانسیل رطوبت ۹- اتمسفر (۳/۱٪) بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین درصد موسیلاژ به ترتیب مربوط به جمعیت‌های طالقان با ۴/۶٪ و کرمان با ۳/۰۵٪ می‌باشد (جدول ۵). با توجه به نتایج اثرات برهم‌کنش، جمعیت طالقان با ۷/۱٪ در تنش ملایم و جمعیت کرمان با ۲/۸٪ در تنش متوسط به ترتیب بیشترین و کمترین درصد موسیلاژ را دارند (شکل ۳).

فاکتور تورم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، خشکی و اثر برهم‌کنش خشکی و جمعیت بر فاکتور تورم در سطح یک درصد معنی‌دار و اثر جمعیت معنی‌دار نشد (شکل ۷). با افزایش خشکی از ۰/۵- اتمسفر به ۶/۵- اتمسفر مقدار فاکتور تورم افزایش و در پتانسیل رطوبت ۹- اتمسفر به شدت کاهش پیدا کرد (جدول ۴). اثر برهم‌کنش خشکی و جمعیت نشان داد که بیشترین فاکتور تورم مربوط به جمعیت طالقان با (۲/۵۴) در پتانسیل رطوبت ۶/۵- اتمسفر می‌باشد (شکل ۴).

ضرایب همبستگی

نتایج همبستگی ساده صفات فیزیولوژیکی نشان داد که بین کلروفیل a با کلروفیل b و کلروفیل کل همبستگی مثبت در سطح ۱٪ و با میزان کاروتنوئید در سطح ۵٪ همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد و با میزان پرولین غیرمعنی‌دار گردید (جدول ۶).

شاهد کاهش یافت. بیشترین و کمترین میزان کلروفیل کل به ترتیب مربوط به جمعیت‌های کرمان (۱/۲۳ میلی‌گرم) و طالقان (۰/۷۲ میلی‌گرم) بر گرم در سطح تنش نسبتاً شدید (۹- اتمسفر) بود (شکل ۳).

کاروتنوئید

مقایسه میانگین برهم‌کنش خشکی و جمعیت‌های بالنگو نشان داد که در جمعیت‌های مشهد و طالقان با افزایش خشکی از ۰/۵- اتمسفر به ۹- اتمسفر کاروتنوئید بافت برگ افزایش و میزان کاروتنوئید بافت برگ جمعیت کرمان در شاهد (۹۸/۲۲ میلی‌گرم) نسبت به تنش شدید (۴۷/۱۸ میلی‌گرم) بر گرم کاهش یافت (شکل ۴).

پرولین

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و جمعیت نشان داد با افزایش سطح تنش از ۰/۵- اتمسفر به ۹- اتمسفر محتوی پرولین بافت برگ افزایش پیدا کرد. در تنش شدید، بیشترین میزان تغییر پرولین در جمعیت مشهد و سطح تنش نسبتاً شدید (۲۶/۲۶ میلی‌گرم) نسبت به شاهد (۰/۷ میلی‌گرم) بر گرم بود (شکل ۵).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو نشان داد که با افزایش سطح خشکی از ۰/۵- اتمسفر به ۹- اتمسفر عملکرد دانه کاهش یافت (شکل ۸). در بین جمعیت‌های بالنگو بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه در تنش شدید به ترتیب مربوط به جمعیت‌های طالقان (۱۹۴/۴۳ کیلوگرم) و مشهد (۱۰۱/۵۷ کیلوگرم) در هکتار بود. جمعیت مشهد بیشترین کاهش عملکرد را نسبت به سطح شاهد (۹۴۰/۷۸ کیلوگرم در هکتار) داشت (شکل ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مختلف جمعیت‌های بالنگو تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پرولین	درصد موسیلاژ	فاکتور تورم	عملکرد دانه
تکرار (R)	۲	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۰۱۵ ns	۹۱/۳۰۷ ns	۵/۳۴ *	۰/۱۸	۰/۰۱۳	۲۰/۱۳ ns
تنش خشکی (D)	۳	۰/۰۳۸ **	۰/۰۱۱ ns	۰/۰۳۹ *	۱۹۵۶/۴۵ **	۴۳۹/۲۵ **	۳/۴۲ **	۳/۶۳ **	۳۵۰۰۹۰/۹۴ **
خطای اصلی	۶	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۲۱ ns	۱۴/۶۲ ns	۰/۶۹۱ ns	۰/۱۲۵	۰/۰۰۰۱	۴۱۳۷/۵۹ ns
جمعیت (G)	۲	۰/۱۸۷ **	۰/۱۲۷ **	۰/۴۷۷ **	۲۲۵۷/۲۶ **	۱۳۰/۵۵ **	۷/۷۲ **	۰/۰۰۰۱ ns	۲۲۵۳۲۵/۹۲ **
G×D	۶	۰/۲۷۴ **	۰/۰۴۳ **	۰/۴۵۷ **	۱۴۷۱/۶۹ **	۸۸/۶۳۱ **	۳/۶۳ **	۲/۶۲ **	۸۹۲۶۸/۲۷ **
خطای فرعی	۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۵۳/۴۹	۱/۴۱	۰/۱۵۹	۰/۰۰۰۱	۳۷۵۶/۱۳
ضریب تغییرات (cv%)		۹/۳۲	۱۵/۵۲	۱۰/۲۵	۱۳/۲۳	۱۲/۴۴	۱۰/۷۶	۱/۲۲	۱۶/۹۹

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی

(اعداد ستون درصد موسیلاژ و فاکتور تورم مشابه جدول بالاست)

تنش خشکی	کلروفیل a (mg/gr)	کلروفیل کل (mg/gr)	کاروتنوئید (mg/gr)	پرولین (mg/gr)	درصد موسیلاژ	فاکتور تورم	عملکرد دانه (kg/h)
شاهد ۰/۵- اتمسفر	۰/۶۵ a	۱/۱۷ a	۷۰/۴۹ a	۳/۰۳ d	۳/۷۲ b	۰/۵۶ c	۶۱۱/۷۸ a
تنش ملایم ۳/۵- اتمسفر	۰/۶۲ a	۱/۰۷ a	۴۹ c	۴/۵۶ c	۴/۵۱ a	۱/۰۶ b	۴۱۱/۳۴ b
تنش متوسط ۶/۵- اتمسفر	۰/۵۷ ab	۱/۰۴ a	۳۷/۷۰ d	۱۲/۸۶ b	۳/۴۵ bc	۱/۵۶ a	۲۶۲/۷۴ c
تنش نسبتاً شدید ۹- اتمسفر	۰/۵۰ b	۱/۰۲ a	۶۳/۷۷ b	۱۷/۸۰ a	۳/۱۱ c	۰/۰۸۳ d	۱۵۷ d

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ و ۱٪ هستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو

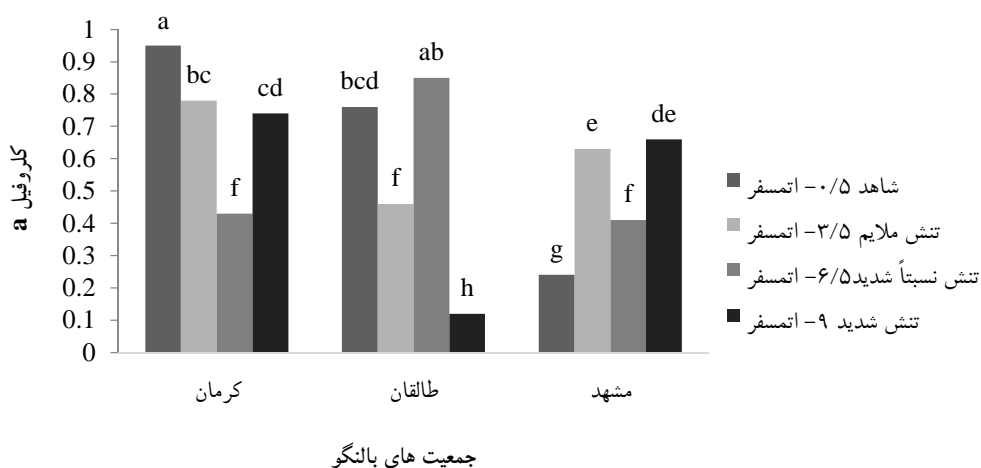
جمعیت بالنگو	کلروفیل a (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کلروفیل کل (mg/g)	کاروتنوئید (mg/g)	پرولین (mg/g)	درصد موسیلاژ	فاکتور تورم	عملکرد دانه (kg/h)
کرمان	۰/۷۳ a	۰/۵۲ a	۱/۲۵ a	۵۶/۹۹ b	۸/۵۷ b	۳/۰۵ c	۱۴۰۵/۸ a	۲۰۴/۱۲ b
طالقان	۰/۵۵ b	۰/۵۷ a	۱/۱۲ b	۶۷/۹۹ a	۶/۸۷ c	۴/۶ a	۱۰۸۶/۲ b	۴۱۹/۳۷ a
مشهد	۰/۴۸ c	۰/۳۷ b	۰/۸۶ c	۴۰/۷۳ c	۱۳/۲۴ a	۳/۴ b	۱۲۰۹/۱ b	۴۵۸/۶۶ a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ و ۱٪ هستند.

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در جمعیت‌های بالنگو تحت تنش خشکی

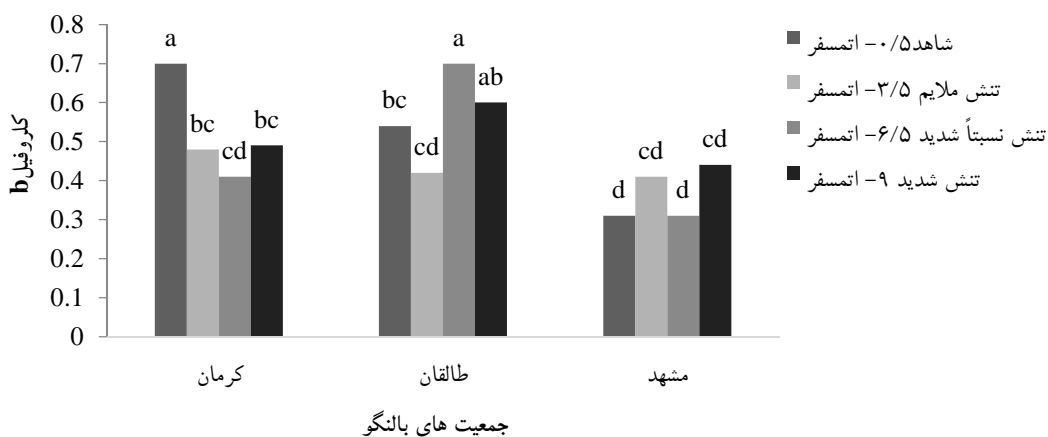
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
							۱	۱- کلروفیل a
						۱	۰/۵۰۲ **	۲- کلروفیل b
					۱	۰/۷۷۶ **	۰/۹۳۵ **	۳- کلروفیل کل
			۱	۰/۵۶۰ **	۰/۷۷۷ **	۰/۳۳۱ *	۰/۳۳۱ *	۴- کاروتنوئید
			۰/۱۱ ns	-۰/۱۳ ns	-۰/۱۵ ns	-۰/۰۹ ns	-۰/۰۹ ns	۵- پرولین
		۱	-۰/۲۱۵ ns	-۰/۰۹۸ ns	۰/۰۱۴۴ ns	-۰/۱۴۶ ns	-۰/۱۱۵ ns	۶- درصد موسیلاژ
	۱	۰/۱۴۶ ns	۰/۴۱۵ *	-۰/۳۳۲ *	۰/۱۳۵ ns	۰/۰۹۸ ns	۰/۱۳۰ ns	۷- فاکتور تورم
۱	۰/۱۴۶ ns	۰/۳۳۶ *	-۰/۶۴۳ **	-۰/۱۷۶ ns	۰/۳۰۸ ns	-۰/۳۱۹ *	-۰/۲۴۴ ns	۸- عملکرد دانه

ns. * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪



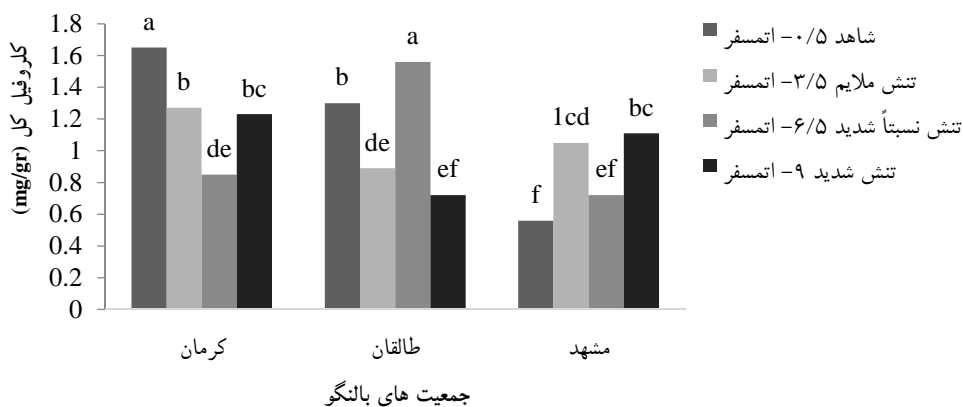
شکل ۱- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر میزان کلروفیل a بافت برگ

(میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)

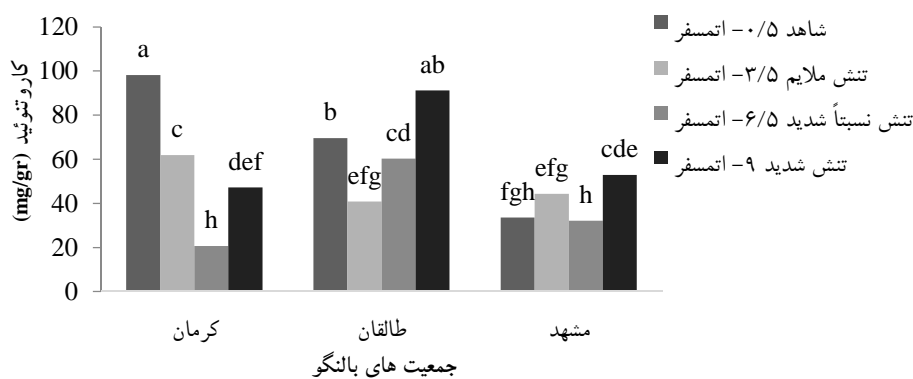


شکل ۲- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر میزان کلروفیل b بافت برگ

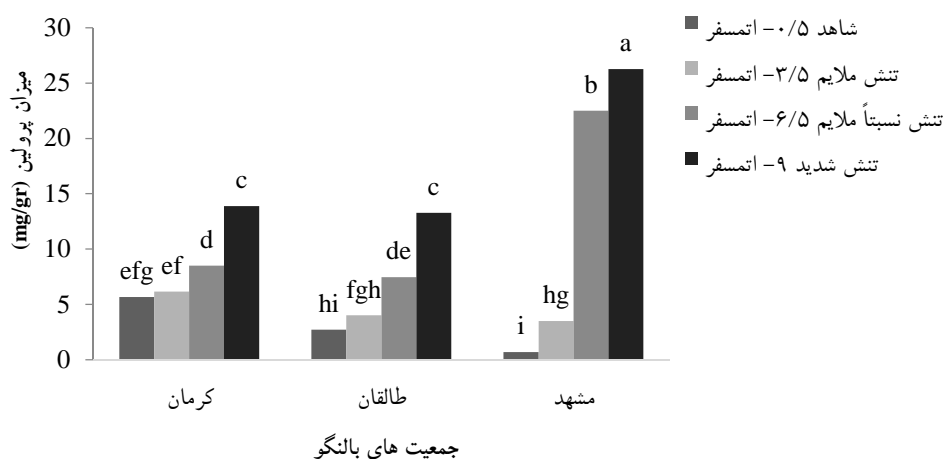
(میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)



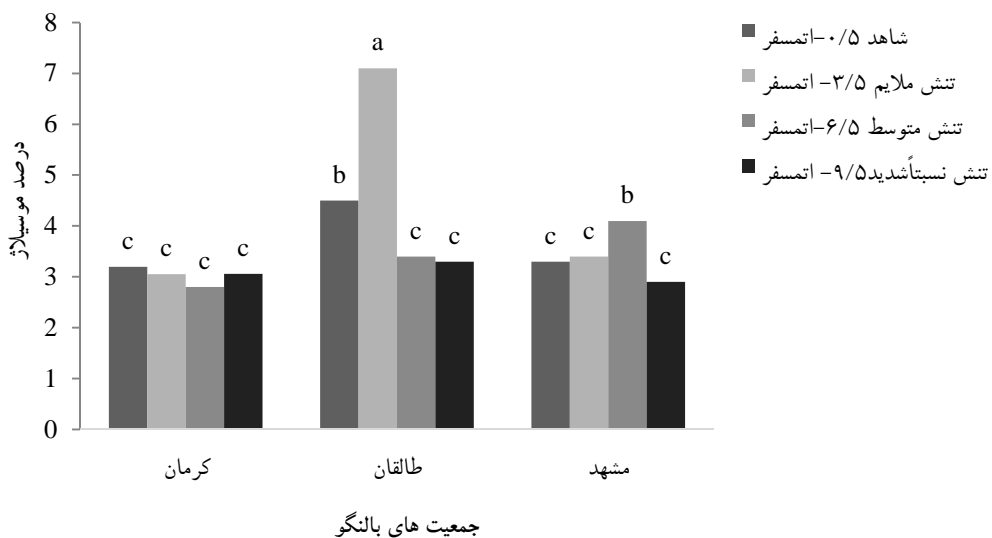
شکل ۳- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر میزان کلروفیل کل بافت برگ (میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)



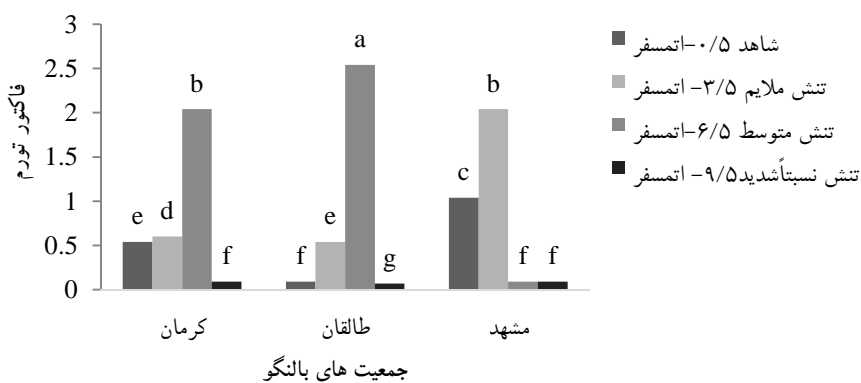
شکل ۴- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر میزان کاروتنوئید بافت برگ (میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)



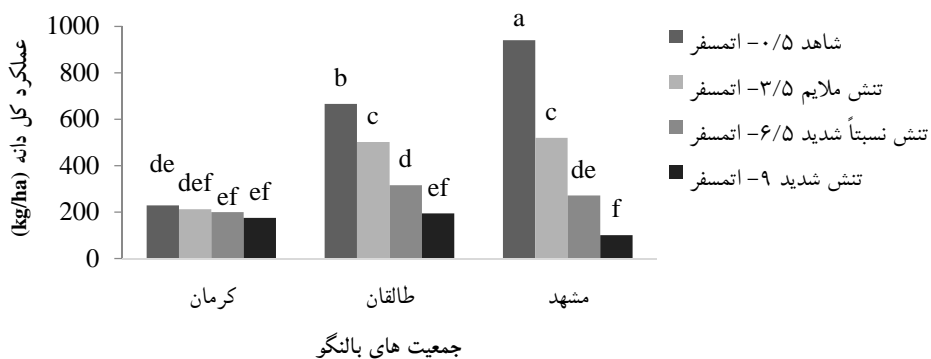
شکل ۵- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر میزان پرولین بافت برگ (میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)



شکل ۶- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر درصد موسیلاژ (میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)



شکل ۷- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر فاکتور تورم (میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)



شکل ۸- مقایسه میانگین برهم کنش خشکی و جمعیت بر عملکرد کل دانه (میانگین های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری هستند)

بحث

مطالعه تنش خشکی بر میزان عملکرد، ویژگی‌های موسیلاژ و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه و همچنین میزان پرولین بافت برگ جمعیت‌های بالنگو در منطقه در نوع خود برای نخستین بار انجام شد. تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد اندازه‌گیری (بجز کلروفیل b) داشت (جدول ۳). در بسیاری از گونه‌های تحت تنش خشکی کاهش مقدار رنگیزه‌های گیاهی گزارش شده‌است (Kuznetsov & Shevykova, 1999)، اما در بعضی دیگر نیز مشاهده شده که مقدار کلروفیل تحت تنش خشکی تغییر معنی‌داری ندارد (Egert & Tevini, 2002; Mohsenzadeh et al., 2006). به‌عنوان مثال مشاهده شده که ۵ روز تنش خشکی تغییر معنی‌داری در مقدار کلروفیل گیاه *Aeluropus lagopoides* ایجاد نکرده اما ۱۱ روز تنش مقدار کلروفیل را کاهش داده‌است (Mohsenzadeh et al., 2006). در گیاه سیر (*Allium schoenoprasum*) نیز گزارش شده‌است که تنش خشکی به مدت ۹ روز تأثیر معنی‌داری در مقدار کلروفیل در مقایسه با گیاه شاهد نداشته‌است (Egert & Tevini, 2002). اثر تنش خشکی بر روی ویژگی‌های بیوشیمیایی، خشک شدن بافت‌های برگ نه تنها مانع ساخته شدن کلروفیل می‌شود بلکه به نظر می‌رسد که موجب تحریک فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و باعث تخریب کلروفیل می‌شود. افزایش سطح خشکی از شاهد (۵/۰- اتمسفر) به تنش نسبتاً شدید (۹- اتمسفر) کلروفیل a و کلروفیل کل کاهش و میزان پرولین بافت برگ افزایش یافت (جدول ۲). خشکی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. در اثر خشکی تشکیل پلاستیدهای جدید کلروفیل a و b و کاروتن کاهش یافته و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تغییر می‌یابد (Heidari Sharif Abad, 2001). در شرایط کمبود آب غلظت اسید آمینه پرولین افزایش می‌یابد. از آنجایی که کلروفیل و پرولین هر دو از پیش‌ماده متحرکی به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، بنابراین می‌توان گفت افزایش سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش سنتز کلروفیل می‌گردد (Aspinal & Paleg, 1981). خشکی بر

میزان کلروفیل b غیرمعنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج این تحقیق با کاهش کلروفیل a و کلروفیل بافت برگ که در اثر کمبود رطوبت خاک در خردل (Begum & Paul, 1993)، سویا (Cox & Jolliff, 1981)، گندم (Safai & Qadiri, 1998) و انیسون (Zehtab Salmasi, 2002) گزارش شده‌است، مطابقت دارد اما در مورد کاروتنوئید برگ در اثر کمبود رطوبت خاک با بررسی‌های یادشده مغایرت دارد.

علت افزایش موسیلاژ در شرایط تنش کم‌آبی در پوسته بذر، ناشی از سازگاری ژنتیک و مورفولوژیک گیاه به تنش خشکی برای حفظ جنین نوپارور بذر در برابر خشکی شدید می‌باشد. در طبقه‌بندی تجاری موسیلاژ، سه شاخص نقش تعیین‌کننده دارند که عبارتند از: مقدار موسیلاژ، فاکتور تورم و وزن یکصد بذر (Ebrahimzadeh Mabood et al., 1997). برخی محققان معتقدند که فاکتور تورم در میزان موسیلاژ کل بذر مؤثر می‌باشد. اگر این چنین باشد باید گونه‌هایی که فاکتور تورم بالا دارند دارای مقدار موسیلاژ بیشتری نیز باشند (Sharma & Koul, 1986). در تأیید این بیان تأکید شده‌است که فاکتور تورم در مقدار موسیلاژ تأثیری ندارد (Ebrahimzadeh Mabood et al., 1997). توسعه وارپته‌های مقاوم به خشکی که عملکرد بالایی تولید کنند به‌عنوان یک هدف در برنامه‌های اصلاحی برای مناطقی که خشکی در مرحله زایشی و گلدهی اتفاق می‌افتد شناسایی شده‌است (Griffiths & Parry, 2002). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که علاوه بر اینکه عملکرد دانه تحت تأثیر کم‌آبی قرار گرفته است، ژنوتیپ‌ها نیز از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند.

مطابق جدول ۴ با افزایش سطح خشکی از ۵/۰- اتمسفر به ۹- اتمسفر عملکرد دانه کاهش یافت. در میان جمعیت‌های بالنگو بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به جمعیت‌های مشهد (۴۵۸/۶۶ کیلوگرم در هکتار) و کرمان (۲۰۴/۱۲ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵) و در اثر برهم‌کنش خشکی و جمعیت، بیشترین عملکرد دانه در تنش شدید (پتانسیل رطوبت ۹- اتمسفر) مربوط به جمعیت طالقان با میزان تولید ۱۹۴/۴۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶).

- به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت نتایج بدست آمده نشان داد که خصوصیات مورفولوژیک جمعیت‌های بالنگو که اغلب از اجزای عملکرد پیکر رویشی محسوب می‌شوند، تحت تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت موسیلاژ بذر مانند درصد موسیلاژ و فاکتور تورم اثر داشته و با مدیریت صحیح منابع آب تا حدودی می‌توان عملکرد دانه را افزایش داد. به‌طور کلی در بین جمعیت‌های بالنگو بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به جمعیت‌های مشهد (۴۵۸/۶۶ کیلوگرم در هکتار) و کرمان (۲۰۴/۱۲ کیلوگرم در هکتار) بود.
- منابع مورد استفاده**
- Abedi, T. and Pakniyat, H., 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46: 27-34.
 - Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1): 1-15.
 - Aspinall, D. and Paleg, L.G., 1981. Proline accumulation. Physiological aspects, pp. 205-240. In: Paleg, L.G. and Aspinall, D., (Eds.). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press, New York, 492p.
 - Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
 - Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J.M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sciences*, 160: 669-681.
 - Begum, F.A. and Paul, N.K., 1993. Influence of soil moisture on growth, water use and yield of mustard. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 170(2): 136-141.
 - Bettaieb, I., Zakhama, N., Aidi Wannes, W., Kchouk, M.E. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*, 120(2): 271-275.
 - Cox, W.J. and Jolliff, G.D., 1981. Water retention of sunflower and soybean under irrigated and dry land conditions. *Crop Science*, 27: 553-557.
 - Delfine, S., Loreto, F., Pinelli, P., Tognetti, R. and Alvino, A., 2005. Isoprenoids content and photosynthetic limitations in rosemary and spearmint plants under water stress. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106(2-3): 243-252.
 - Ebrahimzadeh Mabood, H., Mirmasoomi, M. and Fakhr Tabatabaei, M., 1997. Mucilage production aspects of the culture in some areas fleawort, plantain, psyllium. *Pajouhesh & Sazandegi*, 4(33): 46-51.
 - Egert, M. and Tevini, M., 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Environmental and Experimental Botany*, 48: 43-49.
 - Fanaee, H.R., Golavi, M., Cafee, M., Ghanbari Banjar, A. and Shirani Rad, A.H., 2009. Effect of potassium fertilizer and irrigation on grain yield and water use efficiency in two varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.) and mustard Hindi (*Brassica juncea* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(3): 271-289.
 - Griffiths, H. and Parry, M.A.J., 2002. Plant responses to water stress. *Annals of Botany*, 89: 801-802.
 - Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z. and Gu, F., 2008. Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. *LWT: Food Science and Technology*, 41(6): 1082-1088.
 - Hamrahi, S., Habibi, D., Madani, H. and Mashhadi Akbar Boobar, M., 2008. Effect of cycocel and micronutrients on antioxidants rates as indices of drought resistance of rapeseed. *New Findings in Agriculture*, 2(3): 316-329.
 - Heidari Sharif Abad, H., 2001. *Plant, Drought and Famine*. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 200p.
 - Jafarzadeh, L., Omid, H. and Jafari, N., 2010. Effects of water stress on growth, essential oil content and proline content of marigold (*Calendula officinalis* L.). Sixteenth Conference and the Fourth International Conference of Biology Iran, 14-16 September, 1261-1262.
 - Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masumi, A. and Nabati, J., 2010. Physiology, environmental stresses in plants, *Jahad Daneshgahi*, 504p.
 - Kamkar, B., Daneshmand, A.R., Ghooshchi, F., Shiranirad, A.H. and Safahani Langeroudi, A.R., 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 98(6): 1005-1012.
 - Kuznetsov, V. and Shevykova, N.I., 1999. Proline under stress: biological role, metabolism, and

- L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 6(1): 193-204.
- Zarezade, A., M. Mirvakili and A. Mirhosseini, 2007. Identified of flora, life form and geographical distribution of plants Damgahan Mehriz of Yazd province. Pajoohesh & Sazandegi, 74: 129-137.
 - Zehtab Salmasi, S.A., 2002. Physiological Effects of Irrigation and Sowing Date on the Growth, Yield, Essential Oils and Medicinal Plant Anise Anethole PhD thesis, University of Tabriz.
 - Zarezade, A., Mirvakili, M. and Mirhosseini, A., 2007. Identified of flora, life form and geographical distribution of plants Damgahan Mehriz of Yazd province. Pajoohesh and Sazandegi, 74: 129-137.
 - Zehtab Salmasi, S.A., 2002. Physiological Effects of Irrigation and Sowing Date on the Growth, Yield, Essential Oils and Medicinal Plant Anise Anethole PhD thesis, University of Tabriz.
 - Zhua, Z., Lianga, Z., Hana, R. and Wang, X., 2009. Impact of fertilization on drought response in the medicinal herb *Bupleurum chinense* DC. Growth and saikosaponin production. Industrial Crops and Products, 29(2-3): 629-633.
 - Zobayed, S.M.A., Afreen, F. and Kozai, T., 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. John's wort. Plant Physiology and Biochemistry, 43(10-11): 977-984.
 - regulation. Russian Journal of Plant Physiology, 46(2): 274-287.
 - Mohsenzadeh, S., Malboobi, M.A., Razavi, K. and Farrahi-Aschtiani, H., 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (poaceae) to water stress. Environmental and Experimental Botany, 56(3): 314-322.
 - Noroozpoor, G. and Rezvani Moghaddam, P., 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Pajouhesh and Sazandegi, 73: 133-138.
 - Omidbaigi, R., 2010. Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 1). Publications by Astan Quds Razavi, Mashhad, 348p.
 - Safai, M. and Qadiri, H. 1998. Potential effects on the germination and growth of seedlings of six varieties of water plants in the greenhouse. Journal of Agricultural Sciences, 26: 17-19.
 - Sharma, P.K. and Koul, A.K., 1986. Mucilage in seeds of *Plantago ovata* and its wild allies. Journal of Ethnopharmacology, 17(3): 289-295.
 - Taiz, L. and Zeeiger, E., 2006. Plant Physiology. Sinauer Publishers Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, 738p.
 - Vafabakhsh, J., Nasiri Mahalati, M. and Kuchaki, A.R., 2009. Effects of drought stress on radiation use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus*

Effects of drought stress on grain yield and qualitative characteristics of three populations of *Lallemantia royleana* Benth.

F. Pirjalili¹ and H. Omid^{2*}

1- MSc. Student, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

2*- Corresponding author, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran, E-mail: omidi@shahed.ac.ir

Received: November 2015

Revised: July 2016

Accepted: July 2016

Abstract

This research was aimed to investigate the effects of drought stress on grain yield and qualitative characteristics of three populations of *Lallemantia royleana* Benth. The study was conducted in the research farm of Collage of Agriculture of Shahed University. This study was conducted in a split plot based on randomized complete block design (RCBD) with three replications during 2013-2014. The experimental factors consisted of four levels of drought stress as the main plots including control or soil water potential (SWP) of -0.5atm as field capacity (FC), soil water potential (SWP) of -3.5 atm as moderate stress, soil water potential (SWP) of -6.5 atm as relatively sever stress, and soil water potential (SWP) of -9 atm as severe stress. The Balangu populations including Mashhad, Kerman, and Taleghan were considered as sub-plots. The traits measured included grain yield, total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, mucilage percent, turgor factor, and proline content. The results showed that the population and the interaction of drought stress and population had significant effects on chlorophyll a, total chlorophyll, proline and grain yield at the 1% level. The effect of drought stress was found to be significant on grain yield, photosynthetic pigments, leaf proline content ($P<0.01$), and the total chlorophyll content ($P<5\%$). However, the effect of drought stress on the content of chlorophyll b was not significant. In the severe stress conditions, the greatest change in proline content was found in Mashhad population and the relatively high stress level (26.26) as compared to control (0.7). As well, the content of chlorophyll a (0.5 mg per gram) and carotenoid decreased in moderate stress (0.96 mg/g) as compared with control treatment. Among the study populations in the control treatment (field capacity), the highest grain yield (940.78kg per hectare) was obtained from Mashhad population and the lowest grain yield (194.43 kg per ha) in the severe stress conditions (-9 atm) was obtained from Taleghan population.

Keywords: Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.), proline, dehydration, mucilage percent, chlorophyll, turgor factor.