Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 13, No. 2, December 2022, p. 91-103
Original Research; DOI: 10.22067/ijpr.v13i2.2109-1013

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۳ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوّم ۱۴۰۱
صفحهٔ ۱۰۳-۹۱، نوع مقاله: پژوهشی

بررسی پارامترهای فتوسنتزی و عملکردی و ارتباط بین آن‌ها در ژنوتیپ‌های عدس در شرایط دیم

سیده سودابه شبیری، علی‌اکبر اسدی* و محمود عظیمی

۱- استادیاران بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

(به‌ترتیب s.shobeiri@yahoo.com ، asadipm@gmail.com و mahmoud.azimiir@gmail.com)

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰، **بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۵/۲۹، **پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۶/۰۵؛ **انتشار آنلاین مقاله:** ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
شبیری، س.س.، اسدی، ع.ا.، و عظیمی، م. ۱۴۰۱. بررسی پارامترهای فتوسنتزی و عملکردی و ارتباط بین آن‌ها در ژنوتیپ‌های عدس در شرایط دیم. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۳(۲): ۱۰۳-۹۱.

چکیده

به‌منظور بررسی پارامترهای فتوسنتزی و عملکردی گیاه عدس در شرایط دیم، لاین‌های منتخب عدس به همراه ارقام شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات دیم خدابنده استان زنجان در دو فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در صفات تابش فعال فتوسنتزی، دمای برگ، کارآیی مصرف آب فتوسنتزی، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب، وزن ۱۰۰دانه و عملکرد بین دو سال اجرای آزمایش وجود دارد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفات دمای برگ، میزان فتوسنتز، ارتفاع گیاه، وزن ۱۰۰دانه و عملکرد اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند که حاکی از تنوع بالای ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها از لحاظ این صفات بود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ G5، ژنوتیپی با ویژگی‌های برتر زراعی بود که جهت معرفی به عنوان رقم با پتانسیل عملکرد بالا قابل بررسی می‌باشد. میزان فتوسنتز با دمای برگ همبستگی منفی معنی‌دار و با صفات میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب و وزن ۱۰۰دانه همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. در نهایت، تجزیه رگرسیون نشان داد که دو صفت هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای تبیین‌کننده تغییرات میزان فتوسنتز بودند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه رگرسیون؛ تعرق؛ فتوسنتز؛ هدایت روزنه‌ای؛ هدایت مزوفیلی

مقدمه

در میان گیاهان زراعی مناطق خشک و نیمه‌خشک، عدس (*Lens culinaris* Medik.) ازجمله گیاهانی است که غالباً در اراضی حاشیه‌ای و در خاک‌های نه‌چندان حاصلخیز کشت می‌شود. کشت این گیاه در کشورهای درحال‌توسعه تقریباً یک‌چهارم نیاز پروتئین را تأمین می‌کند و با دارابودن حدود ۲۸درصد پروتئین نقش مهمی را در تغذیه مردم این نواحی ایفا می‌کند. این گیاه همچنین قادر است که از طریق تثبیت نیتروژن، باعث بهبود حاصلخیزی خاک شده و درنتیجه میزان استفاده از کود شیمیایی را کاهش دهد (Singh & Saxena, 1993).

با توجه به توسعه کشت و تولید حبوبات و اهمیت بررسی‌های ژنتیکی در اصلاح گیاهان، شناسایی پتانسیل ژنتیکی این گیاهان دارای اهمیت بسیار زیادی است (Nouri Gorghari *et al.*, 2015). از آنجا که ایران یکی از مراکز تنوع عدس در جهان بوده است، پیش‌بینی می‌شود که تنوع زیادی در بین توده‌های بومی این گیاه یافت شود (Saman *et al.*, 2012). داشتن اطلاعات در مورد تنوع ژنتیکی و روابط بین ژنوتیپ‌ها برای درک تغییرپذیری ژنتیکی قابل‌دسترس و پتانسیل استفاده از آن در برنامه‌های اصلاحی مهم است (Fikiru *et al.*, 2010). بیشتربودن تنوع، احتمال یافتن ژن‌ها یا ترکیبات ژنتیکی موردنظر اصلاحگر را بالا برده و با افزایش تنوع ژنتیکی در یک جامعه محدوده انتخاب در گزینش طبیعی و مصنوعی وسیع‌تر می‌شود (Nouri Gorghari *et al.*, 2015). مهم‌ترین معیار برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های

* نویسنده مسئول: asadipm@gmail.com

برتر ارزیابی ویژگی‌های مورفولوژیکی و بررسی اجزای عملکرد می‌باشد (Ghahghaei *et al*., 2010; Zahedi *et al*., 2016). صفات تعداد بوته در واحد سطح، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه از اجزای اصلی عملکرد عدس محسوب می‌شوند (Ghahghaei *et al*., 2010). با توجه به مطالعات گذشته که بر روی عدس انجام گرفته، مشخص شد که بهبود پتانسیل عملکرد در واحد سطح می‌تواند یکی از معیارهای مهم در افزایش تولید این گیاه باشد (Zahedi *et al*., 2016). افزایش عملکرد در واحد سطح عمدتاً از طریق اصلاح و ایجاد ارقام پرمحصول، بهبود خصوصیات و افزایش پتانسیل‌های کمی و کیفی امکان‌پذیر می‌باشد (Fakheri & Mohammadpour, 2016). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل میزان کم بارندگی و توزیع نامناسب بارندگی، پراکنش آن از سالی به سال دیگر متغیر بوده و تحت چنین شرایطی عملکرد دانه در سال‌های متوالی نوسانات فراوانی نشان می‌دهد. به همین دلیل اصلاح ارقام از طریق انتخاب برای عملکرد دانه، به علت وراثت‌پذیری پایین و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بالا، چندان موفقیت‌آمیز نیست (Richards *et al*., 2001).

فتوسنتز مهم‌ترین فرایند گیاهی است که نقش بسزایی در تثبیت کربن و تولید مواد آلی در گیاهان دارد (Bishop & Boghbe, 1998). حساس‌ترین شاخص برای بررسی وضعیت فیزیولوژیکی گیاه، بررسی رفتار روزنه‌هاست. واکنش برگ‌ها به‌عنوان اندام اصلی فتوسنتزکننده با توجه به دمای هوا، دمای برگ، رطوبت نسبی هوا و سایر ویژگی‌های محیطی متفاوت است. حفظ و نگهداری سرعت طبیعی تبادلات گازی از جمله ویژگی‌هایی است که باعث افزایش رشد و عملکرد می‌شود. روزنه‌ها مدخل اصلی گیاه هستند و شکاف روزنه‌ها نقش مهمی را در کنترل تبادلات گازی، تعرق و فتوسنتز ایفا می‌کنند (Anyia & Herzogh, 2004). بستن روزنه‌ها موجب کاهش همزمان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای می‌شود. روزنه‌ها میزان کارآیی مصرف آب و در نهایت ظرفیت عملکرد را در فرایند فتوسنتزی تحت تأثیر قرار می‌دهند. اندازه روزنه‌ها عموماً در واکنش به عوامل محیطی و درونی تحت تأثیر قرار گرفته و درنتیجه مقدار آب تعرق‌یافته و گازکربنیک جذب‌شده تغییر می‌یابد. نتایج مطالعات حاکی از این است که درصد بالایی از آب واردشده در گیاه از طریق تعرق روزنه‌ای خارج می‌شود. تعداد روزنه‌ها در واحد سطح و اندازه آن‌ها نیز نقش مهمی در تبادلات گازی گیاه دارند. مطالعات انجام‌شده نشان داده است که با افزایش سن برگ، هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. ضمن این که رابطه ضعیفی بین فتوسنتز و میزان هدایت روزنه‌ای وجود دارد. روزنه‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی ازجمله نور، میزان رطوبت، غلظت دی‌اکسید کربن و وضعیت آبی گیاه قرار می‌گیرند (Brownlee, 2001). تنش خشکی با کاهش پتانسیل آب در گیاه و محتوی نسبی آب در برگ، بسته‌شدن روزنه‌ها را تحریک کرده و به دنبال بسته‌شدن روزنه‌ها، محتوای دی‌اکسید کربن داخل برگ تقلیل یافته و با تقویت انتقال الکترون به اکسیژن باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد (Reddy *et al*., 2004). این گونه‌های سمی اکسیژن بسیار فعال بوده و متابولیسم طبیعی سلولی را از طریق اکسایش بر هم می‌زنند. مقدار رطوبت خاک سبب نوسانات زیادی در میزان فتوسنتز گیاهان شده و از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای بر عملکرد گیاهان اثرگذار می‌باشد. دو دسته از عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای بر میزان فتوسنتز برگ مؤثر می‌باشند. عوامل روزنه‌ای منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شوند و عوامل غیرروزنه‌ای از طریق کاهش آب بر فرایندهای بیوشیمیایی فراوری کربن تأثیرگذار هستند (Ahmadi & Siosemardeh., 2005).

کاهش میزان تعرق در شرایط تنش خشکی، می‌تواند به‌عنوان مکانیسمی جهت حفظ آب برگ و جلوگیری از هدررفتن آن طی تعرق مطرح باشد (Karimi *et al*., 2015). اما از طرف دیگر می‌تواند به انتقال غیرفعال در آوند چوب و انتقال فعال در آوند آبکش صدمه وارد کند، بدین‌صورت که با بسته‌شدن روزنه‌ها و محدودشدن تعرق، مکش حاصل از تعرق که نقش در فرایند صعود آب در آوند چوب دارد، کاهش می‌یابد (Hosseinzadeh *et al*., 2016). با کاهش اختلاف پتانسیل فشاری منفی ناشی از مکش تعرق و انتقال غیرفعال در آوند چوب، جذب آب و سایر عناصر مغذی و مورد نیاز گیاه به وسیله ریشه مختل شده و درنتیجه منجر به تشدید اثرات منفی تنش خشکی در گیاه می‌شود (Amiri *et al*., 2015) با توجه به این که مکانیسم انتقال شیره پرورده در آوند آبکش ارتباط مستقیم با انتقال غیرفعال دارد، بنابراین انتقال شیره پرورده نیز با اختلال روبه‌رو می‌شود (Hosseinzadeh *et al*., 2016). مطالعات مختلف نشان داده است که گیاهانی که از مکانیسم‌های کارآمدتری برای کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها به‌منظور تنظیم تعرق برخوردار هستند، قادر به تحمل بهتر شرایط تنش خشکی خواهند بود و با حفظ بیشتر آب درون برگی و اختلال کمتر در انتقال فعال و غیرفعال، امکان رشد و انجام فرایندهای سلولی را بهتر فراهم می‌نمایند (Karimi *et al*., 2015; Yordanov *et al*., 2003; Rahbarian *et al*., 2011).

ارقام متحمل به خشکی عدس با استفاده از ساز و کارهای کارآمد در تحمل به تنش رطوبتی نظیر فعالیت بیشتر

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان بیشتر پرولین نسبت به ارقام حساس، کمتر تحت تأثیر اثرات منفی تنش رطوبتی قرار می‌گیرند (Ahmadpour *et al*., 2016a). همان‌طور که اشاره شد، از مؤثرترین راهکارها در مقابله با تنش خشکی، بهبود روش‌های زراعی و دستیابی به ارقام متحمل برای کشت است. بنابراین بررسی اثرات تنش خشکی و شناسایی ارقام متحمل و حساس به تنش خشکی در گیاه عدس از اهمیت زیادی برخوردار است (Kafi *et al*., 2005). به‌نژادگران و فیزیولوژیست‌های گیاهی بر این باور هستند که برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام سازگار در مناطق با محدودیت منابع آب، شناخت صفات زراعی مؤثر بر عملکرد دانه در شرایط تنش از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود، بنابراین گزینش غیرمستقیم بر اساس صفات فیزیولوژی به‌عنوان مکملی برای گزینش ارقام با پتانسیل عملکرد بالا پیشنهاد شده است (Singh, 2000). از دیدگاه به‌نژادی، هر صفت فیزیولوژیک می‌بایست تنوع ژنتیکی وسیع، همبستگی ژنتیکی قوی با عملکرد دانه و وراثت‌پذیری بالاتر نسبت به عملکرد داشته (Jakson *et al*., 1996) و ارزیابی آن سریع، آسان و ارزان باشد (Araus *et al*., 2001).

با این توضیحات، افزایش آگاهی از صفات فیزیولوژیک مؤثر در شکل‌گیری عملکرد دانه می‌تواند معیاری مناسب جهت انتخاب این صفات برای اصلاح عملکرد دانه باشد. تحقیقات متعددی بر روی شاخص‌های فتوسنتزی در گیاهان زراعی با تعداد محدود ژنوتیپ در شرایط تنش اجرا شده است، اما با توجه به واکنش متفاوت شاخص‌های فتوسنتزی در شرایط تنش، آگاهی از تنوع ژنوتیپی شاخص‌های فتوسنتزی در شرایط کشت و روابط آن‌ها با عملکرد دانه حائز اهمیت است. با وجود مطالعات فراوان در مورد نقش صفات فیزیولوژیک در تحمل تنش خشکی در گیاهان زراعی، مطالعاتی از این دست بر روی عدس به‌ویژه در ایران محدود است و این تحقیق با هدف تعیین ژنوتیپ‌های دارای صفات مطلوب فیزیولوژیک و عملکردی و ارتباط این صفات با عملکرد و فتوسنتز در شرایط کشت دیم طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از ۱۷ لاین منتخب عدس به همراه ارقام شاهد کیمیا، بیله‌سوار و سنا (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه دیم خدابنده در طول ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۹دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۸۷۵ متر از سطح دریا در دو فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. آمار هواشناسی در جدول ۲ نشان داده شده است. هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط ۴ متری به فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر بود. پس از شخم و آماده‌سازی زمین که شامل دیسک و لولر و ایجاد شیار در پاییز بود. با مساعدشدن شرایط اقلیمی منطقه، کشت در اواخر اسفندماه صورت گرفت. کود لازم پس از آزمایش خاک اعمال شد. در طول فصل رشد مراقبت‌های معمول زراعی نظیر وجین علف‌های‌هرز و مبارزه با آفات به‌طور یکسان برای تمام کرت‌ها صورت گرفت. در نهایت علاوه بر صفات فیزیولوژیک، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن۱۰۰دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. صفات فیزیولوژیک مورد بررسی شامل میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ ($\mu mol/m^2\ s$)، هدایت روزنه‌ای ($mol/m^2\ s$)، میزان تعرق ($mmol/m^2\ s$)، تابش فعال فتوسنتزی ($\mu mol/m^2\ s$)، دمای برگ، غلظت داخلی دی‌اکسید کربن ($\mu mol/mol$)، کارآیی مصرف آب فتوسنتزی ($\mu mol\ CO_2/mol\ H_2O$) برابر با تقسیم میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی($mmol\ CO_2/m^2\ s$) برابر با تقسیم فتوسنتز به غلظت دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای و کارآیی مصرف آب ($\mu mol\ CO_2/mol\ H_2O$) برابر با تقسیم میزان فتوسنتز بر تعرق حاصل محاسبه شد. میزان کمتر فتوسنتز و فرآوری دی‌اکسید کربن در حضور مقادیر بالای دی‌اکسید کربن داخل روزنه‌ای به مفهوم پایین‌بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلول‌های مزوفیل در استفاده از دی‌اکسید کربن می‌باشد. کارآیی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازای هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی طی یک نوبت برای هر ژنوتیپ در مرحله بعد از گلدهی در ساعات ۱۰ تا ۱۲ صبح و در شدت نور بیشتر از ۱۰۰۰ لوکس انجام شد. اندازه‌گیری‌های شاخص‌های فتوسنتزی توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادل گازی قابل‌حمل مدل L.C.I ساخت کشور انگلستان انجام شد. صفات ارتفاع گیاه، وزن۱۰۰دانه، تعداد غلاف و عملکرد (کیلوگرم در هکتار) برای هر ژنوتیپ در هر کرت اندازه گیری شد.

تجزیه واریانس بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی توسط نرم‌افزار SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه همبستگی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر تابع میزان فتوسنتز و عملکرد کل نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد (لازم به ذکر است که در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر فتوسنتز از صفاتی که از پارامتر فتوسنتز در محاسبه آن‌ها به کار رفته است استفاده نشد).

جدول۱- ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Genotypes used in the experiment

کد Code	ژنوتیپ Genotype	منشأ Source	کد Code	ژنوتیپ Genotype	منشأ Source
G1	FLIP2012-2L	ICARDA	**G11**	FLIP2012-207L	ICARDA
G2	FLIP2012-8L	ICARDA	**G12**	FLIP2012-245L	ICARDA
G3	FLIP2012-9L	ICARDA	**G13**	FLIP2012-262L	ICARDA
G4	FLIP2013-2L	ICARDA	**G14**	FLIP2012-13L	ICARDA
G5	FLIP2013-15L	ICARDA	**G15**	FLIP2012-24L	ICARDA
G6	FLIP2013-25L	ICARDA	**G16**	FLIP2012-45L	ICARDA
G7	FLIP2013-29L	ICARDA	**G17**	precoz	Argentina
G8	FLIP2014-021L	ICARDA	**G18**	Kimia	IRAN
G9	FLIP2012-3L	ICARDA	**G19**	Bilehsevar	IRAN
G10	FLIP2012-196L	ICARDA	**G20**	Sana(Check)	IRAN

جدول ۲- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم خدابنده زنجان در دو سال زراعی

Table 2. Meteorological statistics of Zanjan Khodabandeh rainfed agricultural research station in two cropping years

ماه Month	سال زراعی ۹۸ -۹۷ Crop year 2018-2019			سال زراعی ۹۹-۹۸ Crop year 2019-2020		
	حداکثر دمای مطلق (سانتی‌گراد) Absolute maximum temperature (C °)	حداقل دمای مطلق (سانتی‌گراد) Absolute minimum temperature (C °)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	حداکثر دمای مطلق (سانتی‌گراد) Absolute maximum temperature (C °)	حداقل دمای مطلق (سانتی‌گراد) Absolute minimum temperature (C °)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)
October	5	27	15.5	5.6	29.8	17.2
November	0.4	20.8	7.1	-10	16.8	6.4
December	-2.6	12.6	4.3	-8.2	10.6	1.9
January	-10.4	9.4	-0.7	-13.4	10.2	-1.2
February	-9.4	10.6	0.8	-20	10.4	-2.9
March	-7.2	14.8	2.6	-9.2	17.4	5.6
April	-5.4	19.8	6.8	-1.6	18	6.6
May	-4.2	24.2	12.2	3.2	24	12.8
June	7.6	31.2	20	8	32.6	21.4

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. تفاوت معنی‌داری در صفات تابش فعال فتوسنتزی، دمای برگ، کارآیی مصرف آب فتوسنتزی، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب، وزن۱۰۰دانه و عملکرد بین دو سال اجرای آزمایش مشاهده شد که با توجه به پارامترهای اقلیمی متفاوت در دو سال اجرای آزمایش منطقی به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفات دمای برگ، میزان فتوسنتز، ارتفاع گیاه، وزن۱۰۰دانه و عملکرد اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند. این نتایج حاکی از تنوع بالای ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها ازلحاظ این صفات بود. از طرف دیگر اثرمتقابل ژنوتیپ × سال در تمامی صفات بررسی‌شده معنی‌دار نبود که نشان می‌دهد روند تغییرات این صفات بین ژنوتیپ‌ها در طول دو سال مورد بررسی یکسان بود.

بین دو سال مورد بررسی ازنظر دمای برگ تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که در سال اول دمای برگ ۲۶/۷۵ و در سال دوم ۳۲/۰۸ درجه بود. البته با توجه به دمای متفاوت دو روز اندازه‌گیری این اختلاف طبیعی می‌باشد. دامنه تغییرات دمایی برگ در بین ژنوتیپ‌ها بین ۳۲/۶۵ برای ژنوتیپ G2 تا ۳۴/۱۷ برای ژنوتیپ G18 متغیر بود. بااین‌حال ژنوتیپ G5 نیز با ژنوتیپ G2 اختلاف معنی‌دار نشان داده و دمای برگ کمتری را نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها نشان دادند (جدول ۴). بیشترین میزان فتوسنتز مربوط به ژنوتیپ‌های G5 و G16 با میزان ۱۱/۳۵۷ و ۱۰/۶۷۲ و کمترین میزان مربوط به ژنوتیپ‌های G10 و G12 با میزان ۶/۹۵۷ و ۷/۲۴۸ بود (جدول۴). تنش کم‌آبی عموماً با کاهش آب قابل‌دسترس در خاک رخ می‌دهد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان نسبت به شرایط کمبود آب می‌گردد (Johnson *et al.*, 2002; Ganjeali *et al.*, 2011). در این

میان تغییرات فیزیولوژیک در برگ‌ها و سیستم فتوسنتزی گیاهان در شرایط تنش کمبود آب نقش مهمی در تحمل به تنش ایفا می‌کند (Singh *et al.*, 2005; Piper *et al.*, 2007). کاهش فتوسنتز خالص و CO_2 زیر روزنه در پژوهش‌های مختلف به‌عنوان مهم‌ترین اثر منفی ناشی از تنش کم‌آبی بیان شده است (Flexas & Medrano, 2008; Jaleel *et al.*, 2008). مطالعات مختلف نشان داده است که گیاهان با ساز و کارهای کارآمد در ارتباط با تنظیم عملکرد روزنه‌های برگی قادر به تحمل بهتر شرایط تنش کم‌آبی خواهند بود، به‌طوری‌که با حفظ بیشتر آب درون برگی و اختلال کمتر در انتقال فعال و غیرفعال، امکان رشد و انجام فرایندهای سلولی را بهتر فراهم می‌نمایند (Pagter *et al.*, 2005; Bender Ozenç, 2008; Guerfel *et al.*, 2008). از طرف دیگر میزان فتوسنتز خالص با زمان ثابت نمی‌باشد و با افزایش سن گیاه یک روند کاهشی نشان می‌دهد.

تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده از نظر ارتفاع گیاه مشاهده شد، به‌طوری‌که مقایسه میانگین‌ها نشان داد ژنوتیپ‌های G5 و G1 با ارتفاع ۲۲/۴۶۷ و ۲۲/۳ بلندترین و ژنوتیپ‌های G12 و G15 با ارتفاع ۲۰/۲۶۷ و ۲۰/۲۳۳ کوتاه‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. با توجه به معنی‌داربودن اثر ژنوتیپ و مقایسات میانگین بین ژنوتیپ‌ها (جداول ۳ و ۴) مشخص شد که ژنوتیپ‌های G7، G5 و G15 با وزن ۱۰۰دانه ۶/۸۲۲، ۶/۷۷۳ و ۶/۶۰۸ گرم بیشترین و ژنوتیپ‌های G19، G16 و G17 با وزن ۱۰۰دانه ۳/۸۴، ۴/۴۳۲ و ۴/۳۶۵ گرم کمترین وزن ۱۰۰دانه را دارا هستند (جدول۴). در نهایت با توجه به معنی‌داربودن اثر ژنوتیپ و مقایسات میانگین بین ژنوتیپ‌ها (جداول ۳ و ۴) مشخص شد که ژنوتیپ‌های G13، G5 و G11 با عملکرد ۴۹۳/۸۹، ۴۶۴/۴۵ و ۴۶۳/۲۳ گرم بیشترین و ژنوتیپ‌های G17 و G13 با ۲۷۸/۱۳ و ۲۹۸/۹۲ گرم کمترین میزان عملکرد در هکتار را نشان دادند.

به نظر می‌رسد بالاتربودن عملکرد دانه در ژنوتیپ‌هایی مانند G5 و G13 به دلیل بالاتربودن وزن ۱۰۰دانه این ژنوتیپ‌ها باشد. ازآنجاکه، عملکرد دانه مطلوب وابستگی بسیاری به رشد رویشی بهینه و مقادیر اجزای عملکرد دانه دارد، هر دلیلی که سبب افت این عوامل گردد، در نهایت کاهش عملکرد دانه را در پی خواهد داشت. در شرایط خشکی از یک‌سو با کاهش اختلاف پتانسیل فشاری منفی ناشی از مکش تعرق و انتقال غیرفعال در آوند چوب، جذب آب و سایر عناصر مغذی و مورد نیاز گیاه به‌وسیله ریشه مختل شده (Zaltev & Yordanov, 2004; Hosseinzadeh *et al.*, 2016)؛ و از سوی دیگر با کاهش تولید ترکیبات فتوسنتزی روند انتقال شیره پرورده به ترتیب در آوند آبکش دچار اختلال شده و در نهایت تأثیر شدید بر خصوصیات رشدی و عملکردی گیاهان دارد (Ahmadpour *et al.*, 2016a).

باید دانست که با استفاده از تجزیه واریانس، انتخاب بر اساس کارآیی فنوتیپی جداگانه ژنوتیپ‌ها یا ژنوتیپ‌های منفرد با توجه به منشأ و نوع ژنوتیپ صورت می‌گیرد (Fikru *et al.*, 2014). آسیمیلاسیون خالص CO_2 از طریق فرایند فتوسنتز، اولین مرحله تولید بیوماس است (Anyia & Herzog, 2004) و سرعت آسیمیلاسیون خالص حساس‌ترین جزء ظرفیت بیوشیمیایی به تنش کم‌آبی است و می‌تواند نقطه کنترل کلیدی تحمل خشکی باشد (Kruger *et al.*, 1995).

محققان (Zou *et al.*, 2007) نشان دادند که تنش کم‌آبی در طول مدت پرشدن دانه میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را کاهش داده و پیری برگ را تسریع می‌کند. وجود تفاوت‌های معنی‌دار در این صفات نشان‌دهنده تنوع ژنوتیپ‌های مورد بررسی ازنظر این صفات و امکان گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس آن‌ها می‌باشد، بدین معنا که این تنوع می‌تواند پایه کارهای اصلاحی قرار گیرد.

در بررسی ژنوتیپ‌های عدس توسط محققان دیگر نیز اختلاف، بسیار معنی‌داری برای صفاتی مانند عملکرد بیولوژیک (Salehi *et al.*, 2007; Ghahghaei *et al.*, 2010; Fakheri & Mohammadpour, 2016; Pezeshkpour & Afkhar, 2019)، عملکرد دانه (Pezeshkpour & Afkhar, 2019; Salehi *et al.*, 2007; Ghahghaei *et al.*, 2010; Fikiru *et al.*, 2010; Yazdi samadi *et al.*, 2004; Zahedi *et al.*, 2016)، وزن ۱۰۰دانه (Fakheri & Mohammadpour, 2016; Fikiru *et al.*, 2010; Salehi *et al.*, 2007; Zahedi *et al.*, 2016; Pezeshkpour & Afkhar, 2019) مشاهده شد که نتایج حاصل از این مطالعه را تائید می‌کنند.

همبستگی

میزان فتوسنتز با دمای برگ همبستگی منفی معنی‌دار و با صفات میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب و وزن ۱۰۰دانه همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). کاهش هماهنگ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای تحت شرایط محیطی، نشان‌دهنده محدودیت روزنه‌ای در فتوسنتز است (Austin, 1989). در مطالعات مختلف بر روی اثرات تنش خشکی بر گیاهان مشاهده شد که تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز خالص می‌شود (Bahadoran *et al.*, 2015; Flexas & Medrano, 2008). با توجه به همبستگی منفی این دو پارامتر نتایج این مطالعه نیز با نتایج فوق، مطابقت دارد. بسته‌شدن روزنه‌ها موجب توقف فتوسنتز می‌گردد که با وجود

حفظ آب، به علت افزایش دمای برگ نامطلوب است. نرخ بالاتر فتوسنتز بدون وجود تغییرات قابل‌توجهی در عملکرد می‌تواند به دلیل اثرات چندژنی عملکرد در طی پرشدن دانه و یا به دلیل روش اندازه‌گیری میزان فتوسنتز (به‌عنوان‌مثال، در یک برگ و تنها برای یک دوره کوتاه از زمان) باشد. مطالعات متعدد بر روی حبوبات از قبیل نخود، لوبیا و عدس نشان داده است که تحت تأثیر تنش خشکی غلظت CO_2 درون برگی به واسطه بسته‌شدن، روزنه‌ها کاهش می‌یابد (Amiri *et al.*, 2015; Parsa & Bagheri, 2008). بسته‌شدن روزنه‌ها در طی تنش خشکی گرچه به‌منظور کاهش هدررفت آب صورت می گیرد، اما به علت ممانعت از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Johnson *et al.*, 2002).

وزن ۱۰۰دانه با صفات دمای برگ همبستگی منفی معنی‌دار و با هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). خشکی و کمبود آب در خاک بیشترین تأثیر را در کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاه در مراحل مختلف فنولوژیک (گیاهچه‌ای، گلدهی و غلافدهی) گیاه دارد (Parsa & Bagheri, 2008). از مهم‌ترین اثرات ابتدایی تنش خشکی بر گیاهان می‌توان به کاهش ورود CO_2، بازدارندگی در انتقال الکترون، کاهش عملکرد فتوسیستمII و در نهایت کاهش تثبیت CO_2 و فتوسنتز خالص و در نهایت عملکرد اشاره کرد (Ahmadpour & Hosseinzadeh, 2017; Hosseinzadeh *et al.*, 2014). گیاهان با بستن روزنه‌های برگی در جهت کاهش تعرق و حفظ آب به‌عنوان اولین مکانیسم به تنش کمبود آب پاسخ می‌دهند (Hamdi *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 2002; Hosseinzadeh *et al.*, 2016). در نهایت دمای برگ با صفات هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب، ارتفاع گیاه و وزن ۱۰۰دانه همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). تنش کمبود آب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در اکثر نقاط دنیا و ازجمله کشور ایران به شمار می آید (Rahbarian *et al.*, 2011; Amiri *et al.*, 2015). تنش خشکی از متداول ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را از طریق اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی و بیولوژیک با محدودیت روبه‌رو کرده و بازده عملکردی گیاه را کاهش داده است (Nasr Esfahani & Madakar Haghjou, 2015). ازجمله مهم‌ترین دلایل پایین‌بودن پتانسیل عملکرد عدس در ایران، می‌توان به عملکرد پایین ارقام رایج، اتخاذ روش‌های نامناسب تولید و وقوع تنش‌های زیستی و غیرزیستی طی فصل رشد این گیاه اشاره کرد (Ahmadpour *et al.*, 2016b).

نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری‌شده بر میزان فتوسنتز به‌عنوان متغیر تابع (جدول۶) نشان داد که دو صفت هدایت روزنه‌ای با تأثیر مثبت معنی‌دار و CO_2 زیر روزنه‌ای با تأثیر منفی معنی‌دار تبیین‌کننده تغییرات میزان فتوسنتز می باشند. همان‌طور که در تجزیه همبستگی مشاهده شد، عملکرد کل همبستگی معنی‌داری با هیچ‌کدام از صفات فیزیولوژیکی بررسی‌شده نشان نداد. نتیجه تجزیه رگرسیون این صفات بر روی عملکرد نیز معنی‌دار نبود و هیچ کدام از صفات وارد مدل رگرسیونی نشدند.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فتوسنتزی و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های عدس

Table 3. Analysis of variance of photosynthetic traits and grain yield in lentil genotypes

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	تشعشع فعال فتوسنتزی Photosynthetically active radiation	دمای برگ Leaf temperature	CO_2 زیر روزنه‌ای Sub stomatal CO_2	تعرق Transpiration rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	فتوسنتز Photosynthesis	کارآیی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency
Year	سال	1	364762.1**	448.15**	6750	4.485	0.000083	48.488	5296.05**
Error 1	خطای ۱	4	38683.9	51.88	1938.77	2.156	0.0009	5.715	300.6
Genotype	ژنوتیپ	19	1344.4	1.158*	750.65	0.773	0.00103	7.012*	323.49
Genotype*Year	ژنوتیپ در سال	19	1224.7	0.388	875.14	0.626	0.0009	3.05	444.03
Error 2	خطای ۲	76	1154.8	0.602	886.01	0.492	0.00076	3.887	412.49
CV	ضریب تغییرات		1.7	2.31	16.35	20.5	29.7	20.9	19.19

ادامه جدول۳ در صفحه بعد

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	هدایت مزوفیلی Mesophilic conductivity	کارآیی مصرف آب Water use efficiency	ارتفاع گیاه Plant height	وزن۱۰۰دانه 100-Seed weight	تعداد غلاف Number of pods	عملکرد Yield
Year	سال	1	0.004**	12.77**	1.24	1.714**	18.4	3663485.2**
Error1	خطای ۱	4	0.00024	1.34	2.649	0.0098	14.9	2324.8
Genotpe	ژنوتیپ	19	0.0003	0.263	2.77**	4.71**	1.418	17519.7**
Genotpe*Year	ژنوتیپ در سال	19	0.0001	0.128	1.27	0.052	1.06	7998.29
Error2	خطای ۲	76	0.000198	0.164	0.769	0.018	1.13	6402.8
CV	ضریب تغییرات		26.3	14.4	4.18	2.46	11.59	20.4

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

** and *: Significant at 1% and 5% probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مرتبط با فتوسنتز و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف عدس

Table 4. Comparison of mean traits related to photosynthesis and yield in different lentil genotypes

ژنوتیپ Genotype	تشعشع فعال فتوسنتزی (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthetic activated radiation (µmol/m² s)		دمای برگ (سانتی‌گراد) Leaf temperature (C °)		زیر CO_2 روزنه‌ای (میکرومول بر مول) Sub stumatal CO_2 (µmol/mol)		تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) Transpiration rate (mmol/m² s)		هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه) Stomatal conductance (mol/m² s)		فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthesis (µmol/m² s)		کارآیی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO_2 بر مول آب) Photosynthetic water use efficienc (µmol CO_2/mol H_2O)	
G1	1955.8	abcd	33.467	abcdef	172.67	ab	3.385	abc	0.092	abcd	9.985	abc	113.12	ab
G2	1927.5	d	32.65	f	172.33	ab	3.272	abcd	0.1	ab	9.893	abc	104.4	ab
G3	1948.5	bcd	33.267	bcdef	188.67	ab	3.39	abc	0.095	abcd	9.348	abcd	100.72	ab
G4	1951	abcd	33.183	ecdf	189	ab	3.607	ab	0.102	ab	10.177	abc	99.97	ab
G5	1957	abcd	32.7	ef	177.5	ab	3.665	ab	0.11	ab	11.357	a	105.36	ab
G6	1952	abcd	33.067	edf	186.83	ab	3.702	ab	0.105	ab	9.737	abc	102.98	ab
G7	1967.3	abc	33.55	abcde	176.17	ab	3.615	ab	0.098	abc	10.15	abc	104.73	ab
G8	1955.5	abcd	33.367	abcdef	174.83	ab	3.445	ab	0.093	abcd	9.993	abc	109.66	ab
G9	1976.3	abc	33.183	ecdf	164.83	b	3.505	ab	0.095	abcd	10.275	abc	116.87	a
G10	1954.2	abcd	33.6	abcd	177.3	ab	2.553	d	0.063	d	6.957	e	112.07	ab
G11	1989	a	33.383	abcdef	180.5	ab	3.185	abcd	0.083	abcd	8.81	bcde	106.5	ab
G12	1960.8	abcd	34.15	ab	185.67	ab	2.62	cd	0.067	cd	7.248	de	114.16	ab
G13	1948.2	bcd	33.783	abcd	199	ab	3.975	a	0.115	a	10.188	abc	91.47	b
G14	1973	abc	33.917	abcd	195.33	ab	3.595	ab	0.095	abcd	8.75	bcde	97.83	ab
G15	1985.5	ab	33.333	abcdef	171.83	ab	3.535	ab	0.1	ab	10.672	ab	110.08	ab
G16	1968.8	abc	34.067	abc	166.33	b	3.162	bcd	0.082	bcd	8.932	bcde	109.26	ab
G17	1973.3	abc	33.9	abcd	202.5	a	3.967	ab	0.105	ab	9.282	abcd	93.04	b
G18	1976.3	abc	34.167	a	195	ab	3.442	ab	0.085	abcd	8.157	cde	101.1	ab
G19	1945.8	cd	33.917	abcd	182.83	ab	3.502	ab	0.09	abcd	9.27	abcd	103.96	ab
G20	1967.3	abc	33.633	abcd	165	b	3.24	abcd	0.082	bcd	9.507	abcd	118.66	a

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه، در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

Means with dissimilar letters are significantly different at the 5% level.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مرتبط با فتوسنتز و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف عدس

Table 4. Comparison of mean traits related to photosynthesis and yield in different lentil genotypes

ژنوتیپ Genotype	هدایت مزوفیلی (میلی مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) Mesophilic conductivity ($mmol\ CO_2/m^2\ s$)		کارآیی مصرف آب (میکرومول CO_2 بر مول آب) Water use efficiency ($\mu mol\ CO_2/mol\ H_2O$)		ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)		وزن۱۰۰دانه (گرم) 100-Seed weight (gr)		تعداد غلاف Number of pods		عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (Kg/h)	
G1	0.0587	abcd	2.986	ab	22.3	ab	5.275	i	8.333	d	385.53	bcde
G2	0.0527	abcdef	3.023	a	21.9	abc	5.632	gh	8.933	abcd	350.4	cdef
G3	0.0492	bcdef	2.808	abcd	20.8	ed	5.722	g	8.233	d	298.92	ef
G4	0.0555	abcdef	2.825	abcd	21.067	cde	5.965	f	9.567	abc	383.25	bcde
G5	0.0665	a	3.106	a	22.467	a	6.773	a	10.1	a	464.45	ab
G6	0.0547	abcdef	2.844	abcd	20.7	ed	6.047	ef	9.167	abcd	367.66	cdef
G7	0.0582	abcd	2.909	abc	21.933	abc	6.822	a	9.3	abcd	428.89	abc
G8	0.0573	abcde	2.928	abc	20.6	ed	6.4	c	8.833	bcd	419.62	abcd
G9	0.0637	ab	3.124	a	20.633	ed	6.005	f	8.667	cd	336.1	def
G10	0.0417	ef	2.759	abcd	21.2	cde	4.707	j	9.567	abc	438.18	abc
G11	0.0523	abcdef	2.811	abcd	20.4	ed	4.765	j	10.033	ab	463.23	ab
G12	0.0395	f	2.752	abcd	20.267	e	4.653	j	9.267	abcd	394.87	bcd
G13	0.0527	abcdef	2.554	bcd	20.8	ed	6.185	de	8.967	abcd	493.89	a
G14	0.0492	bcdef	2.487	cd	20.5	ed	6.265	cd	9	abcd	377.97	bcde
G15	0.0615	abc	3.016	ab	20.233	e	6.608	b	8.967	abcd	408.04	abcd
G16	0.0547	abcdef	2.829	abcd	21.3	bcd	4.432	k	8.933	abcd	374.28	bcde
G17	0.047	cdef	2.442	d	20.8	ed	4.365	k	9.633	abc	278.13	f
G18	0.043	def	2.429	d	20.4	ed	4.77	j	9.167	abcd	382.57	bcde
G19	0.0515	abcdef	2.672	abcd	20.267	e	3.84	l	9.567	abc	360.63	cdef
G20	0.06	abc	3.004	ab	20.933	cde	5.477	h	9.2	abcd	430.35	abc

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه، در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

Means with dissimilar letters are significantly different at the 5% level.

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مطالعه شده

Table 5. Simple correlation coefficients between the studied traits in the studied genotypes

	PAR	LT	SS	TR	SC	P	PWUE	MC	WUE	PH	100SW	NP	Y
PAR	1												
LT	0.36	1											
SS	-0.22	0.21	1										
TR	0.03	-0.18	0.38	1									
SC	-0.19	-0.47*	0.34	0.93**	1								
P	-0.1	-0.64**	-0.2	0.72**	0.84**	1							
PWUE	0.18	-0.1	-0.89**	-0.65**	-0.61**	-0.12	1						
MC	0.09	-0.6**	-0.59**	0.45*	0.54*	0.89**	0.27	1					
WUE	-0.12	-0.72**	-0.79**	-0.17	0.05	0.53*	0.69**	0.74**	1				
PH	-0.38	-0.49*	-0.23	0.06	0.24	0.4	0.08	0.42	0.46*	1			
100SW	-0.02	-0.57**	-0.12	0.42	0.58**	0.58**	-0.06	0.62**	0.44*	0.29	1		
NP	0.19	-0.02	0.16	-0.02	-0.05	-0.1	-0.16	-0.07	-0.15	0.06	-0.19	1	
Y	0.1	-0.05	-0.22	-0.13	-0.06	0.08	0.15	0.21	0.17	0.16	0.32	0.38	1

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

PAR (Photosynthetic activated radiation): تشعشع فعال فتوسنتزی؛ LT (Leaf temperature): دمای برگ؛ SS (Sub stumatal CO_2): CO2 زیر روزنه‌ای؛ TR (Transpiration rate): تعرق؛ SC (Stomatal conductance): هدایت روزنه‌ای؛ P (Photosynthesis): فتوسنتز؛ PWUE (Photosynthetic water use efficienc): کارآیی مصرف آب فتوسنتزی؛ MC (Mesophilic conductivity): هدایت مزوفیلی؛ WUE (Water use efficiency): کارآیی مصرف آب؛ PH (Plant height): ارتفاع گیاه؛ 100SW (100-Seed weight): وزن۱۰۰دانه، NP (Number of pods): تعداد غلاف؛ Y (Yield): عملکرد در هکتار

** and *: Significant at 1% and 5% probability levels, respectively

جدول ۶- جدول تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات فیزیولوژیک بر روی میزان فتوسنتز

Table 6. Stepwise regression analysis of physiological traits on photosynthesis

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS	R^2	R_{Adjust}
Regression	رگرسیون	2	10.623**	0.98	0.95
Residual	باقیمانده	17	0.057		

صفات واردشده به مدل Traites entered into the model		ضرایب رگرسیون Regression coefficient
ضریب ثابت	Constsnt	11.121**±3.894
هدایت روزنه‌ای	Stomatal conductance	83.858**±4.414
CO_2 زیر روزنه‌ای	Sub stumatal CO_2	-0.052**±0.005

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

** and *: Significant at 1% and 5% probability levels, respectively

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های گیاهان به تنش کمبود آب در خاک، تغییر ویژگی‌های فتوسنتزی است و با توجه به ارتباط مستقیم فتوسنتز با عملکرد و اجزای عملکرد گیاه، بررسی این خصوصیات به‌منظور گزینش ارقام متحمل به تنش کم‌آبی ضروری است. نتایج نشان داد که در این محصول دو صفت هدایت روزنه‌ای و CO_2 زیر روزنه‌ای تبیین‌کننده تغییرات میزان فتوسنتز می باشند. تنوع ژنتیکی برای اصلاح گیاهان زراعی بسیار مهم بوده و تنوع بالاتر ژنوتیپ‌ها شانس بیشتری برای تولید انواع گیاهان مطلوب را فراهم می‌کند. در این تحقیق تنوع ژنتیکی مشاهده‌شده در صفات می تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس بیان فنوتیپی کمک کند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور بهبود صفات مهم اقتصادی استفاده کرد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز ژنوتیپ G5، ژنوتیپی با خصوصیات برتر زراعی بوده که می تواند جهت بررسی امکان معرفی به عنوان رقم جدید مورد ارزیابی بیشتری قرار گیرد.

منابع

1. Ahmadpour, R., and Hosseinzadeh, S.R. 2017. Change in growth and photosynthetic parameters of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to methanol foliar application and drought stress. International Journal of Agriculture and Biosciences 6(1): 7-12. (In Persian with English abstract).
2. Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., and Armand, N. 2016a. Evaluation of methanol role in reducing the negative effects of water deficit stress in lentil (*Lens culinaris* Medik). Iranian Journal of Plant Process and Function 5: 1-13. (In Persian with English abstract).
3. Ahmadpour, A., Hosseinzadeh S.R., and Chashiani, S. 2016b. Study of root morpho-physiological and biochemical characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to moisture stress. Journal of Plant environmntal Physiology 11(43): 39-51. (In Persian with English abstract).
4. Ahmadi, A., and Siosemardeh, A. 2005. Investigation on physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and nonstomatal Limitations. International Journal of Agriculture and Biology 7(5): 807-811. (In Persian with English abstract).
5. Amiri, H., Ismaili, A., and Hosseinzadeh, S.R. 2015. Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). Compost Science and Utilization 25(3): 152-165.
6. Anyia, A.O., and Herzog, H. 2004. Water use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. European Journal of Agronomy 20: 327-339.
7. Araus, J.L., Casadesus, J., and Bort, J. 2001. Recent tools for the screening of physiological traits determining yield. In: M.P. Reynolds, J.L. Ortiz- Monasterio and A. McNab (Eds.). Application of physiology in wheat breeding. Mexico. D.F.CIMMYT, 59-77.
8. Austin, R.B. 1989. Genetic variation in photosynthesis. Journal of Agricultural Science 112: 287-293.
9. Bahadoran, M., Abrishamchi, P., Ejtehadi, H., and Ghassemzadeh, F. 2015. Study on some physiological characteristics of *Salsola richteri* in drought condition in the two desert regions of the South Khorasan province. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 1-14.

10. Bender Ozenç, D. 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in Hazelnut Husk compost under waterdeficit stress. Compost Science and Utilization 16: 125-13.
11. Bishop, D.L., and Bugbee, B.G. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat. Journal of Plant Physiology 153: 558-565.
12. Brownlee, C. 2001. The long and short of stomatal density signals. Trends in Plant Science 6: 441-442.
13. Fakheri, B.A., and Mohammadpour Vashvaei, R. 2016. Genetic variation and factor analysis of morphological and phonological traits for macrosperma and microsperma lentils lines. 94: 15-29. (In Persian with English abstract).
14. Fikiru, E., Tesfaye, K., and Bekele, E. 2010. A comparative study of morphological and molecular diversity in Ethiopian lentil (*Lens culinaris*) landraces. African Journal of Plant Science 4(7): 242-254.
15. Fikru, M., Mekbib, F., Kumar, S., Ahmed, S., and Sharma, T.R. 2014. Phenotypic variability and characteristics of Lentil (*Lens culinaris*) germplasm of Ethiopia by multivariate analysis. Journal of Agricultural and Crop Research 2(6): 104-116.
16. Flexas, J., and Medrano, H. 2008. Droughtinhibition of photosynthesis in C3-plants: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. Annual of Botany 183: 183-189.
17. Ganjeali, A., Parsa, H., and Bagheri, A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. Agriculture Water Management 98: 1477-1484. (In Persian with English abstract).
18. Ghahghaei, M., Galavi, M., Ramroodi, M., and Bagheri, A. 2010. The comparison of yield and yield components of Lentil genotypes at low irrigation in Sistan region. Iranian Journal of Field Crop Research 8(3): 431-437. (In Persian with English abstract).
19. Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Cha, W., and Zarrouk, M. 2008. Impacts of water stress on gas exchange, water elations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 1: 1-7.
20. Hamdi, A., Erskine, W., and Gates, P. 1992. Adaptation of lentil seed yield to varying moisture supply. Crop Science 32: 987-990.
21. Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica 54(1): 87-92.
22. Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A., and Ahmadpour, R. 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology 5: 115-132. (In Persian with English abstract).
23. Jackson, P., Robertson, M., Cooper, M., and Hammer, G. 1996. The role of physiological understanding in plant breeding; from a breeding perspective. Field Crops Research 49: 11-39.
24. Jaleel, C.A., Gopi, R., and Panneerselvam, R. 2008. Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. Comptes Rendus Biology 331: 272-277.
25. Johnson, J.D., Tognetti, T., and Paris, P. 2002. Water relations and gas exchange in poplar and willow under water stress and elevated atmospheric CO_2. Physiology Plantarum 115: 93-100.
26. Kafi, M., Nezami, A., Hosaini, H., and Masomi, A. 2005. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 3: 69-80. (In Persian with English abstract).
27. Karimi, S., Yadollahi, A., and Arzani, K. 2015. Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. Photosynthetica 53: 29-34.
28. Kruger, G.H.J., Van Rensburg, L., and Mahtis, P. 1995. Carbon dioxide fixation: stomatal and non-stomatal limitations in drought stressed *Nicotina tobacum* L. cultivar. Xth International Photosynthesis Congress, Montpellier, France 5: 505-510.
29. Nasr Esfahani, M., and Madadkar Haghjou, M. 2015. Response of *Glycine max* to drought stress in relation to growth parameters and some key enzymes of carbon and nitrogen metabolism. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 77-89. (In Persian with English abstract).
30. Nouri Goghari, M., Dashti, H., Madah Hosseini S., and Dehghan, E. 2015. Evaluation of genetic diversity of Lentil germplasm using morphological traits in Bardsir. Iranian Journal of Field Crop Science 45(4): 541-551. (In Persian with English abstract).
31. Pagter, M., Bragato, C., and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. Aquatic Botany 81: 285-299.
32. Parsa, M., and Bagheri, A. 2008. Legumes. Publications Jahad University of Mashhad.
33. Pezeshkpour, P., and Afkar, S. 2019. Assessment of variability of lentil genotypes for agronomic traits using multivariate analyses. Journal of Crop Breeding 11(30): 142-151. (In Persian with English abstract).

34. Piper, F.I., Corcuera, L.J., Alberdi, M., and Lusk, C. 2007. Differential photosynthetic and survival responses to soil drought in two evergreen nothofagus species. Annals of Forest Science 64: 447-452.
35. Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica 53: 47-56.
36. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
37. Richards, R.A., Condon, A.G., and Rebetzke, G.J. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In: M.P. Reynolds, J.U. Ortiz-Monasterio and A. Mcnab (Eds.). Application of Physiology in Wheat Breeding Mexico, CIMMYT.
38. Salehi, M., Haghnazari, A., Shekari F., and Baleseni, H. 2007. Evaluation of relationship between different traits in Lentils (*Lens culinaris*). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11(41): 205-216. (In Persian with English abstract).
39. Saman, S.M., Mozafari, J., Vaezi, S., Abbasi Moghaddam, A., and Mostafaie, H. 2012. Genetic diversity of pod and seed characteristics in lentil germplasm of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 14(2): 171-182. (In Persian with English abstract).
40. Singh, B.D. 2000. Plant Breeding: Principles and Methods, Kalyani Publishers. 896pp.
41. Singh, K.B., and Saxena, M.C., 1993. Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legumes. The Hague, The Netherlands: Martinus Nijhoff/Junk.
42. Singh, G., Sekhon, H.S., and Kolar, J.S. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.
43. Yazdi Samadi, B., Majnoun Hosseini, N., and Peighambari, S.A. 2004. Evaluation of cold hardiness in Lentil genotypes (*Lens culinaris*). Seed and Plant Improvement Journal 20(1): 23-37. (In Persian with English abstract).
44. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgharestan Journal of Plant Physiology 2: 187-206.
45. Zahedi, F., Nabati, D., Mohammadi, M., and Karimzadeh, R.A. 2016. Path analysis to study Morpho-physiological traits, yield and traits related to yield of Lentil genotypes under rainfed condition. Journal of Plant Production 39(2): 71-80. (In Persian with English abstract).
46. Zlatev, Z.S., and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgharestan Journal of Plant Physiology 30: 3-18.
47. Zou, G.H., Liu, H.Y., Mei, H.W., Liu, G.L., Yu, X.Q., Li, M.S., Wu, J.H., Chen, L., and Luo, L.J. 2007. Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. Journal of Integrative Plant Biology 49: 1508-1516.

Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: **https://ijpr.um.ac.ir**
Vol. 13, No. 2, December 2022, p. 91-103 (Original Research Article)

Investigation of photosynthetic and yield traits and the relationship between them in lentil genotypes under rainfed conditions

Shobeiri, Seyedeh Soodabeh; Asadi*, Ali Akbar; and Azimi, Mahmoud

Asistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Zanjan, Iran
(s.shobeiri@yahoo.com; asadipm@gmail.com; mahmoud.azimiir@gmail.com; respectively)

The Dates:
Received: 21 September 2021; **Revised:** 20 August 2022
Accepted: 27 August 2022; **Available Online:** 22 December 2022

How to cite this article:
Shobeiri, S.S., Asadi, A.A., and Azimi, M. 2022. Investigation of photosynthetic and yield traits and the relationship between them in lentil genotypes under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research 13(2): 91-103. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/ijpr.v13i2.2109-1013

Inroduction

Considering the development of cultivation and production of legumes and the importance of genetic studies in plant breeding, identifying the genetic potential of these plants is very important. Knowledge of genetic diversity and relationships between genotypes is important for understanding available genetic variability and the potential to use it in breeding programs. According to previous studies on lentils, it was found that improving the yield potential per unit area can be one of the important criteria for increasing the production of this plant. Increasing the yield per unit area is possible mainly by modifying and creating high-yielding cultivars, improving the characteristics and increasing the quantitative and qualitative potentials. Breeders and plant physiologists believe that in order to be more productive in improving compatible cultivars in areas with limited water resources, recognizing the agronomic traits affecting grain yield under stress conditions will be of great importance; Therefore, indirect selection based on physiological traits has been proposed as a complement to the selection of cultivars with high yield potential. Considering the different reactions of photosynthetic indices under stress conditions, it is important to know the genotypic diversity of photosynthetic indices under culture conditions and their relationship with grain yield. Despite numerous studies on the role of physiological traits in drought tolerance in crops, recent studies on lentils, especially in Iran, are limited. This study was designed and carried out with the aim of determining genotypes with desirable physiological and yield traits and the relationship between these traits and photosynthesis under rainfed conditions.

Materials & Methods

In order to study the photosynthetic and yield parameters of lentil plant in rainfed conditions, selected advanced lentil lines with control cultivars were studied in a randomized complete block design with 3 replications in Khodabandeh dryland research station in Zanjan Province in two cropping seasons 2018 to 2020. Physiological traits included photosynthesis per unit leaf area, stomatal conductance, transpiration rate, photosynthetic activated radiation, sub stumatal CO_2, leaf temperature, photosynthetic water use efficiency, mesophilic conductivity and water use efficiency. Plant height, 100-seed weight, number of pods and yield (kg/ha) were also measured for each genotype in each plot. Analysis of variance and comparison of means were performed using Duncan's test at 5% probability level. Finally, correlation analysis and stepwise regression analysis were performed with the variables of photosynthesis rate and total yield.

Results & Discussion

The results showed that there was a significant difference in photosynthetic active radiation, leaf temperature, photosynthetic water use efficiency, mesophilic conductivity, water use efficiency, 100-grain

* **Corresponding Author:** asadipm@gmail.com

weight and yield between two years of experiment. The studied genotypes showed significant differences in leaf temperature, photosynthesis, plant height, 100-seed weight and yield, which indicated the high genetic diversity of these genotypes in terms of these traits. The interaction effect of genotype per year was not significant in all studied traits, which shows that the trend of changes in these traits between genotypes during the two years was the same. Among the studied genotypes, G5 genotype is a genotype with superior agronomic characteristics that can be recommended as a cultivar with high yield potential. Photosynthesis rate showed a significant negative correlation with leaf temperature and significant positive correlation with transpiration rate, stomatal conductance, mesophilic conductivity, water use efficiency and 100-grain weight. 100-seed weight showed a significant negative correlation with leaf temperature and a significant positive correlation with stomatal conductance, photosynthesis, mesophilic conductivity and water use efficiency. These results show that drought and lack of water in the soil have the greatest effect on reducing photosynthesis and plant yield at different phenological stages (seedling, flowering and podding) of the plant. Finally, regression analysis showed that stomatal conductance and sub stumatal CO_2 explained the changes in photosynthesis.

Conclusion

The results showed that for lentils, two traits of stomatal conductance and sub stumatal CO_2 concentration may explain the changes in photosynthesis. Genetic diversity is very important for crop breeding and higher diversity of genotypes provides a better chance of producing a variety of desirable cultivars. The observed genetic diversity in traits can help select superior genotypes based on phenotypic expression and can be used in breeding programs to improve economically important traits. Finally, among the studied genotypes, G5 genotype was found to be a genotype with superior agronomic characteristics that could be recommended to the farmers to improve lentil yield.

Keywords: Mesophilic conduction، Photosynthesis، Regression analysis، Stomatal conductance، Transpiration