نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۵ شمارهٔ۱، صفحهٔ۱۱۶-۱۰۳، نیمهٔ اول ۱۳۹۳

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 5, No. 1, 2014, p. 103-116

بررسی تأثیر تنش خشکی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و فلوئورسانس کلروفیل گیاهچه‌های لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

معصومه سادات راستی ثانی[1*]، مهرداد لاهوتی[2] و علی گنجعلی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- عضو هیئت علمی(استاد) گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- عضو هیئت علمی(دانشیار) گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم و پژوهشکدهٔ علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۰۴

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکنندهٔ رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق دنیا است. به‌منظور بررسی اثرات تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا، آزمایشی با دو رقم لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) (درخشان و گلی) در چهار تیمار تنش خشکی شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و شاهد۱۰۰درصد ظرفیت زراعی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که صفات مورفولوژیک مورد بررسی از قبیل ارتفاع گیاه، سطح برگ، سطح ریشه، مجموع طول ریشه‌ها و نیز وزن‌خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت ($p\leq0.01$). همچنین نتایج نشان داد که صفات فیزیولوژیک بررسی‌شده از قبیل محتوای آب نسبی برگ (RWC)، شاخص پایداری غشاء (MSI)، میزان کارآیی فتوسیستمII (Fv/Fm) و عملکرد کوانتومی‌فتوسنتز (Y) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافتند ($p\leq0.01$)؛ ولی مقاومت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل (SPAD) در گیاهچه‌های لوبیا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p\leq0.01$). میزان افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی رقم درخشان در تنش شدید (۲۵درصد ظرفیت زراعی) نسبت به شاهد بیشتر از گلی بود. مقادیر RWC، MSI و Fv/Fm در تنش شدید نسبت به شاهد در رقم گلی کاهش بیشتری از درخشان نشان داد. نتایج این بررسی نشان داد که رقم درخشان احتمالاً از طریق بکارگیری مکانیسم‌های مختلف تحمل به خشکی نسبت به رقم گلی تا حدی کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. اغلب صفات فیزیولوژیک رقم درخشان، در سطح خشکی ۷۵درصد ظرفیت زراعی و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، صفات مورفولوژی و فیزیولوژی، فلوئورسانس کلروفیل، لوبیا

مقدمه

حبوبات با داشتن حدود ۲۵درصد پروتئین، نقش مهمی در تأمین پروتئین مورد نیاز انسان دارند. حبوبات در ایران پس از گندم و برنج، مهم‌ترین محصولات هستند. از آنجا که حدود دوسوم زمین‌های زیرکشت ایران در مناطق نیمه‌خشک و دیم‌خیز قرار دارند، لذا تهیه ارقام با مقاومت بالا به تنش‌های خشکی، یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های اصلاحی است. از طرف دیگر، لوبیا(*Phaseolus vulgaris* L.) به‌عنوان تأمین‌کننده پروتئین گیاهی در کشورهای درحال‌رشد و نیز در کشورهای پیشرفته به‌عنوان مکمل غذایی، مصرف زیادی دارد (Ebrahimi *et al*., 2010; Majnon Hoseini, 1996). تنش خشکی، از عوامل اصلی کاهش محصول در سراسر جهان است و میانگین کاهش محصول ناشی از تنش خشکی در نقاط مختلف دنیا بیش از ۵۰درصد گزارش شده است (Zlatev & Yordanov, 2004). کشور ما دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است و کمبود آب، یکی از مشکلات اساسی کشاورزی ایران است؛ لذا وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان امری اجتناب‌ناپذیر است. واکنش گیاهان مختلف و حتی رقم‌های مختلف نسبت به تنش خشکی متفاوت است (Zabet *et al*., 2003).

تنش خشکی از طریق کاهش محتوای آب، فشار آماس، پتانسیل کل آب، پژمردگی و بسته‌شدن روزنه‌ها بر فرآیندهای رشد و نمو گیاهان مؤثر واقع می‌شود. رشد گیاه وابسته به تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن آن است و تمام این حوادث تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. در شرایط تنش خشکی، کاهش ارتفاع بوته ممکن است به کاهش بزرگ‌شدن سلول مربوط بوده و کاهش رشد سلول به پایین‌بودن فشار آماس و همچنین پیری برگ مربوط باشد. سیستم ریشه‌ای گسترده که

* **نویسندهٔ مسئول:** تلفن: ۳۸۶۸۶۳۷۰-۰۵۱، همراه: ۰۹۳۵۲۳۸۱۳۰۹
m.rastisani@yahoo.com

توانایی گیاه را برای مصرف آب افزایش می‌دهد، مکانیزم اساسی سازگاری به خشکی است (Jaleel *et al*., 2008). یکی از اثرات تنش خشکی، کاهش صفاتی مانند طول ساقه، وزن‌خشک اندام هوایی، سطح برگ و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی است (Ahmed *et al*., 2002). کاهش وزن‌خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی در لوبیا نیز گزارش شده است (Ashraf & Iram, 2005).

خشکی اثرات عمیقی بر رشد، محصول و کیفیت گیاه دارد. اولین اثر ناشی از تنش، ازدست‌دادن آماس است که بر سرعت انبساط سلول و اندازهٔ نهایی سلول اثر می‌گذارد. آماس، فرآیندی بسیارحساس به تنش خشکی است و فقدان آن در اثر تنش، کاهش سرعت رشد، کاهش طویل‌شدن ساقه، کاهش گسترش برگ و کاستی از گشودگی روزنه را در پی دارد (Kumar & Purohit, 2001). از پیامدهای دیگرِ تنش خشکی، تغییر میزان فعالیت فتوسیستمII و همچنین تخریب ساختمان پروتئینD_1 موجود در فتوسیستمII و در نتیجه افزایش فلوئورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی است (Ahmed *et al*., 2002). اندازه‌گیری فلوئورسانس کلروفیل روشی سریع، دقیق و غیرمخرب است که به‌طور گسترده‌ای در بررسی آسیب ایجادشده در سیستم فتوسنتز گیاه در واکنش به تنش‌های محیطی استفاده می‌شود (Netto *et al*., 2005). کارایی فتوسیستمII، به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی میزان تحمل گونه‌های مختلف گیاهی به تنش خشکی مطرح است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که عملکرد کوانتومی‌فتوسنتز(Y) و همچنین سرعت انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می‌یابند (Zlatev & Yordanov, 2004).

با توجه به موارد اشاره شده، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ارقام لوبیا و چگونگی واکنش این ارقام به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ارقام لوبیاقرمز گلی و درخشان، آزمایشی با چهار سطح رطوبتی شامل، شاهد (۱۰۰درصد ظرفیت زراعی[1])، ۲۵درصد، ۵۰درصد و ۷۵درصد ظرفیت زراعی با دو رقم لوبیاقرمز مذکور انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی گروه زیست‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد در سال۱۳۸۹ اجرا شد. هر واحد آزمایشی از یک گلدان به حجم دو لیتر که با نسبت ۳:۱ به‌ترتیب از ماسه و خاک زراعی پُر شده بودند، تشکیل شد. درصد رطوبت خاک از طریق اندازه‌گیری روزانه درصد وزنی رطوبت خاک هر گلدان و اضافه‌نمودن آب مصرفی به آن، تنظیم شد. مدت۱۰روز پس از کاشت، سطوح مختلف تنش خشکی اِعمال شد. حدود چهارهفته پس از کاشت، گلدان‌ها تخریب شده و گیاهان به دو بخش ریشه و اندام هوایی تفکیک شدند. تمامی ریشه‌های هر گیاه به‌طور کامل و با حداقل آسیب‌دیدگی، شسته و به‌منظور جلوگیری از پلاسیدگی، بلافاصله به یخچال منتقل شدند. صفاتی مانند مجموع طول ریشه‌ها (TRL)[2]، سطح ریشه (RA)[3] و وزن‌خشک ریشه (RDW)[4]، اندازه‌گیری و محاسبه شدند. اندام‌های هوایی و ریشه‌ها نیز پس از اندازه‌گیری سطح برگ (LA)[5]، به‌مدت ۴۸ساعت در آون ۷۲درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن‌خشک اندام هوایی و ریشه با ترازوی AND مدل GT-300 با دقّت ۰/۰۰۱± گرم تعیین شد. اندازه ارتفاع بوته با خط‌کش و سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ تعیین شد. طول و سطح ریشه‌ها نیز برای هر گیاه با یک اسکنر متصل به کامپیوتر، پس از رنگ‌آمیزی، اسکن و با استفاده از نرم‌افزار ROOT EDGE (Root Edge, 1999) تعیین شد.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC)[6] مقدار توزین شده‌ای از برگ دوم هر گیاه قبل از برداشت گیاهان، به‌مدت ۴۸ساعت در آب‌مقطر غوطه‌ور شد. پس از خروج از آب، سطح برگ‌ها با دستمال‌کاغذی خشک و سپس وزن شدند. برگ‌ها در آون ۷۰درجه به‌مدت ۴۸ساعت خشک شدند و وزن‌خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. محتوای آب نسبی با استفاده از معادله زیر (Bian & Jiang, 2009) محاسبه شد:

معادله (۱):

$$RWC= (FW- DW)/(TW- DW)$$

در این معادله، RWC محتوای آب نسبی، FW وزن تَر برگ، DW وزن‌خشک برگ و TW وزن برگ در حالت تورژسانس کامل است.

برای تعیین شاخص پایداری غشاء سلولی، ۰/۱گرم از برگ دوم هر گیاه داخل دو سری لوله آزمایش حاوی۱۰میلی‌لیتر آب‌مقطر گذاشته شدند. یک سری از لوله‌ها در بن‌ماری

[1] Field capacity (FC)

[2] Total root length (TRL)
[3] Root area (RA)
[4] Root dry weight (RDW)
[5] Leaf area (LA)
[6] Relative water content (RWC)

۴۰درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰دقیقه و سری دیگر لوله‌ها در بن‌ماری ۱۰۰درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰دقیقه قرار گرفتند. پس از رسیدن دمای لوله‌ها به دمای محیط، هدایت الکتریکی نمونه‌ها با دستگاه ECمتر اندازه‌گیری شد و سپس شاخص پایداری غشاء از معادلهٔ زیر به‌دست آمد (Shanahan *et al*., 1990).

معادله (۲):

$$MSI= [1- (C_1/C_2)] .100$$

در این معادله، C_1 هدایت الکتریکی آب در دمای ۴۰درجه سانتی‌گراد و C_2 هدایت الکتریکی آب در دمای ۱۰۰درجه سانتی‌گراد است.

برای اندازه‌گیری میزان فلوئورسانس کلروفیل و میزان کارایی فتوسیستمII، ابتدا سطح برگ‌های جوان توسعه یافته قبل از مرحله برداشت گیاهان با قرارگرفتن گیره بر روی آن‌ها به‌مدت ۲۰دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفتند و سپس عملکرد فتوسیستمII، سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی‌فتوسنتز با دستگاه کلروفیل‌فلورومتر مدل OS5-FI اندازه‌گیری شد. برای سنجش عملکرد فتوسیستمII، نسبت Fv (تفاوت حداکثر فلوئورسانس با حداقل فلوئورسانس [Fm-Fo]) به Fm (حداکثر فلوئورسانس) اندازه‌گیری شد. Fo، عملکرد فلوئورسانس در غیاب نور فتوسنتزی است که همان حداقل فلوئورسانس است (Maxwell & Johnson, 2000).

مقاومت روزنه‌ای توسط دستگاه POROMETER AP4 و شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) مدل OPTI-SCIENCES CCM-200 در سومین برگ گیاه اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Mstat-C انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ($p\leq0.01$) استفاده شد. نمودارهای مربوطه به وسیله نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

در این آزمایش ارتفاع گیاه لوبیا به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی ارتفاع گیاه در هر دو رقم نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل 1a). بیشترین ارتفاع گیاه در رقم گلی و درخشان مربوط به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴۸/۴ و ۲۵/۸ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع در هر دو رقم مربوط به تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی بود. میزان کاهش ارتفاع گیاه در رقم درخشان در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد ۱۶/۳ و در رقم گلی ۲۶/۲ سانتی‌متر بود. تنش خشکی یک فاکتور محدودکنندهٔ و مهم در فاز ابتدایی رشد و استقرار گیاه است. فرایند رشدونمو شامل تقسیم سلول، طویل‌شدن سلول‌ها و تمایز است و این مراحل به علت وابستگی آن‌ها به فشار آماس به کمبود آب بسیارحساس هستند (Sikuku *et al*., 2010). در گیاه سویا طول ساقه در شرایط تنش خشکی کاهش یافت (Jaleel *et al*., 2009). در تحقیقی بر روی ماش، بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی را مربوط به ارتفاع گیاه و کمترین آسیب را به عملکرد اقتصادی و تعداد دانه در غلاف اعلام کردند. آنها نیز علت کاهش ارتفاع گیاه و تعداد گره در ساقه تحت تنش خشکی را کاهش تقسیم سلولی و کاهش رشد رویشی گیاه و در نهایت کاهش عملکرد بیولوژیکی گیاه در طی تنش اعلام کردند (Zabet *et al*., 2003).

جدول ۱- منابع تغییر، درجات آزادی و میانگین مربعات برای برخی صفات مورفولوژیک گیاهچه‌های لوبیاقرمز

Table 1. Source of variances, degree of freedom and mean of squares for some morphological characteristics of Red bean seedlings

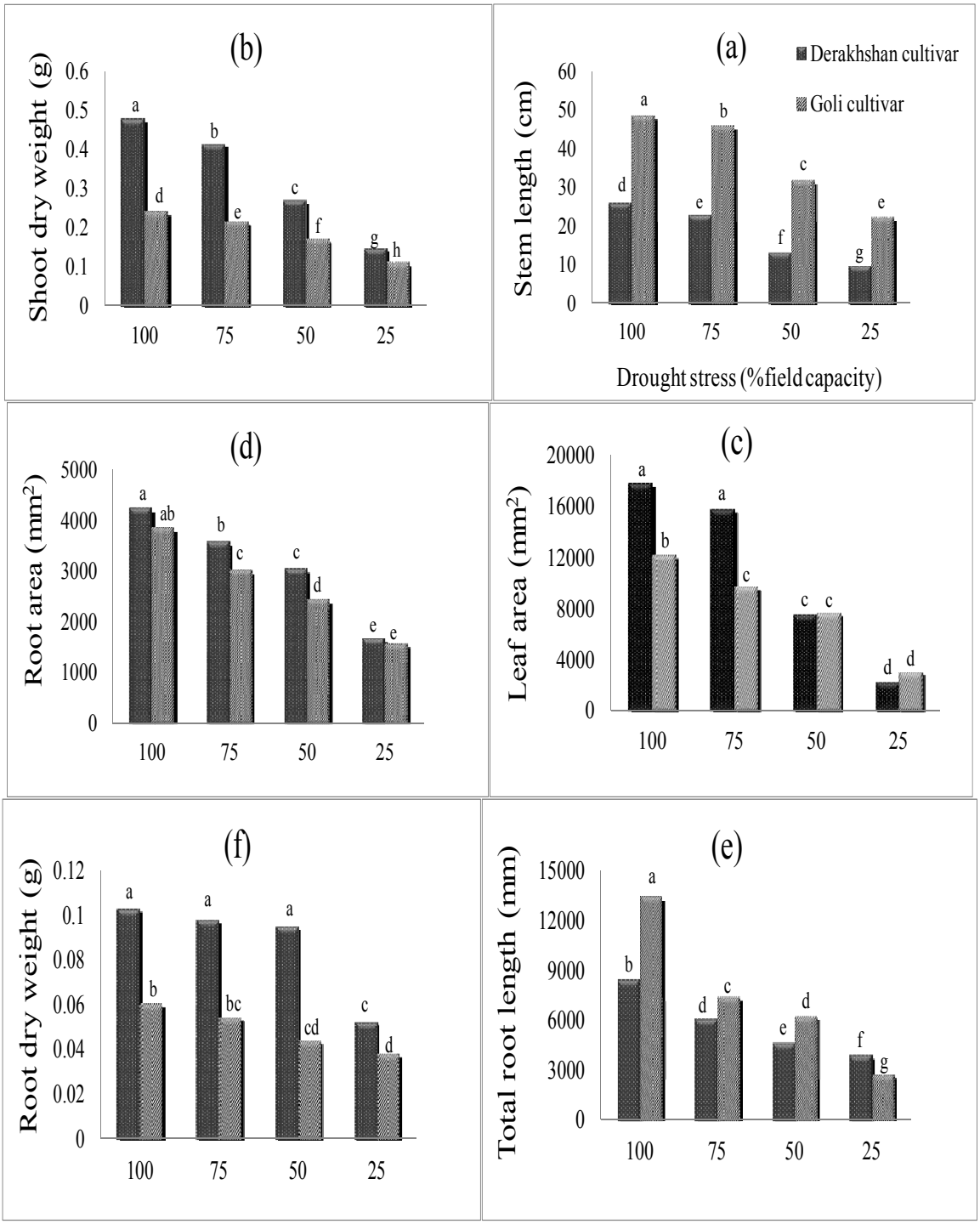
منابع تغییر S.O.V.	درجهٔ آزادی df	ارتفاع گیاه Stem length	وزن‌خشک اندام هوایی Shoot dry weight	سطح برگ Leaf area	سطح ریشه Root area	مجموع طول ریشه Total root length	وزن‌خشک ریشه Root dry weight	نسبت وزن‌خشک ریشه به ساقه Root/Shoot
خشکی Drought	3	**	**	**	**	**	**	**
رقم Cultivar	1	**	**	**	**	**	**	**
خشکی×رقم Drought×Cultivar	3	**	**	**	ns	**	**	**

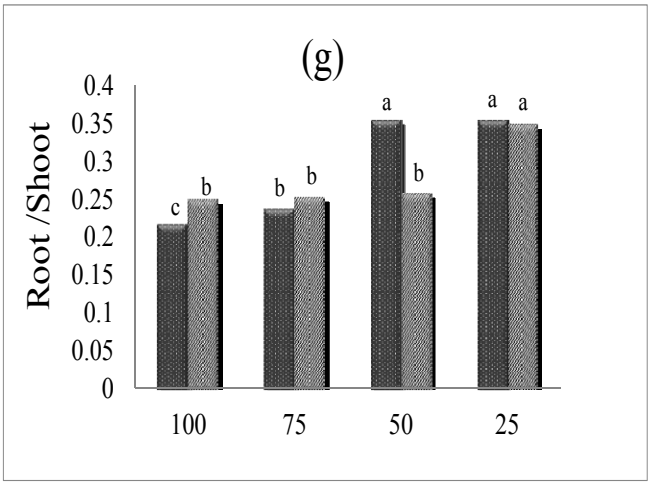
ns و ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱درصد

ns and **: non-significant & significant at 0.01, respectively

وزن‌خشک اندام هوایی

با افزایش تنش خشکی وزن‌خشک اندام هوایی گیاهچه‌های لوبیا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۱) و در این ارتباط تفاوت‌های معنی‌داری بین سطوح مختلف تیماری مشاهده شد (شکل 1b). بیشترین میزان وزن‌خشک اندام هوایی به تیمار شاهد و رقم درخشان و کمترین وزن‌خشک به تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی و رقم گلی اختصاص داشت.





شکل۱- اثرات تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک ارقام لوبیاقرمز؛ a: ارتفاع گیاه، b: وزن‌خشک اندام هوایی، c: سطح برگ، d: سطح ریشه($p \leq 0.05$)، e: مجموع طول ریشه‌ها، f: وزن‌خشک ریشه، g: نسبت وزن ریشه به ساقه

حروف مشترک، نشان‌دهندهٔ عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن ($p \leq 0.01$) می‌باشد.

Fig. 1. Effects of drought stress on some morphological characteristics of Red bean cultivars. a: Stem length; b: Shoot dry weight; c: Leaf area; d: Root area ($p \leq 0.05$); e: Total root length; f: Root dry weight; g: Root/Shoot

Common letters indicate no significant difference among the means based on Duncan test ($p \leq 0.01$).

کاهش وزن‌خشک اندام هوایی در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد، حدود ۶۹ و ۵۵درصد به‌ترتیب برای ارقام درخشان و گلی مشاهده شد. احتمالاً کاهش فتوسنتز، افزایش مواد بازدارنده رشد و کاهش هورمون‌ها (اکسین و سیتوکینین) در تنش خشکی از جمله عواملی است که رشد و وزن‌خشک اندام هوایی را کاهش می‌دهد (Hayat & Ahmad, 2007).

کاهش وزن ماده خشک به‌دلیل کاهش رشد گیاه و پیری و ریزش برگ‌ها می‌باشد (Bhatt & Srinivasa Rao, 2005). کاهش وزن‌خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی در لوبیا نیز گزارش شده است (Ashraf & Iram, 2005). در تحقیقی روی برنج، وزن‌خشک ساقه، برگ و ریشه با افزایش کمبود آب، کاهش یافت. کاهش وزن‌خشک ساقه می‌تواند با نرخ کاهش تولید برگ و کاهش تعداد برگ‌ها همراه باشد (Sikuku *et al*., 2010). خسارت رایج تنش خشکی بر گیاهان زراعی، کاهش تولید بیوماسِ تر و خشک است (Farooq *et al*., 2009). در یک آزمایش، وزن‌خشک اندام هوایی گیاهان نخود تحت تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. بیشتربودن وزن‌خشک اندام هوایی در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی ممکن است به رشد بیشتر ریشه‌ها مربوط باشد. توسعه بیشتر ریشه‌ها در شرایط تنش خشکی به جذب بیشتر آب و مواد غذایی و افزایش رشد در شرایط تنش کمک می‌کند (Rahbarian *et al*., 2011).

سطح برگ

سطح برگ در هر دو رقم در اثر تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بین ارقام لوبیا در سطح رطوبتی شاهد و ۷۵درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری از نظر سطح برگ وجود داشت، ولی در سطح رطوبتی ۵۰ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی، این اختلاف، معنی‌دار نبود (شکل 1c). میزان کاهش سطح برگ با افزایش تیمار خشکی، در رقم درخشان محسوس‌تر بود و بیشترین و کمترین میزان سطح برگ به‌ترتیب به تیمار شاهد و ۲۵درصد ظرفیت زراعی و رقم درخشان اختصاص داشت. کاهش سطح برگ در رقم درخشان در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد حدود ۸۷درصد و در رقم گلی در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد حدود ۷۵درصد بود. مهار رشد برگ در اثر تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک پاسخ سازشی درنظرگرفته شود. بنابراین تنش خشکی، تولید سطح برگ و در نهایت میزان تعرق گیاهان را محدود می‌کند (Sikuku *et al*., 2010). تنش خشکی عمدتاً رشد برگ و به‌نوبهٔ خود، سطح برگ را در بسیاری از گونه‌های گیاهی کاهش می‌دهد (Farooq *et al*., 2009). در مطالعه روی گیاه عدس مشخص شد که با کمبود آب، سطح برگ به‌شدت کاهش یافت. تولید و توسعه برگ به کمبود آب بسیار حساس می‌باشد و علت آن، نیاز مبرم فرآیندهای تقسیم سلولی و رشد به فشار تورژسانس سلولی است که آب، نیروی محرکه آن است (Pagter *et al*., 2005).

سطح ریشه

سطح ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش تیمار خشکی، سطح ریشه در ارقام لوبیا کاهش نشان داد (جدول ۱). از نظر سطح ریشه بین ارقام در سطوح رطوبتی ۷۵ و ۵۰درصد ظرفیت زراعی، تفاوت معنی‌داری وجود داشت (شکل 1d). در تمام تیمارها میزان سطح ریشه در رقم درخشان بیشتر از گلی بود، ولی میزان آن تنها در تیمارهای ۷۵ و ۵۰درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار بود. میزان کاهش سطح ریشه در هر دو رقم در سطح رطوبتی ۲۵درصد نسبت به شاهد حدود ۶۰درصد بود.

مجموع طول ریشه‌ها

نتایج، حاکی از تأثیر معنی‌دار تنش خشکی بر مجموع طول ریشه بود ($p\leq0.01$). با افزایش سطح خشکی، مجموع طول ریشه در دو رقم به‌طور کاملاً مشخصی کاهش یافت. میزان کاهش مجموع طول ریشه با افزایش خشکی، در رقم گلی محسوس‌تر بود (شکل 1e) و بیشترین مجموع طول ریشه به رقم گلی در تیمار شاهد و کمترین آن نیز به تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی به همین رقم تعلق داشت. تغییرات مجموع طول ریشه در سطح ۲۵درصد خشکی نسبت به شاهد، حدود ۵۴ و ۸۰درصد به‌ترتیب برای ارقام درخشان و گلی مشاهده شد.

وزن‌خشک ریشه

با افزایش تنش خشکی وزن‌خشک ریشه لوبیا کاهش یافت. نتایج نشان داد که تغییرات وزن‌خشک ریشه در رقم درخشان در تیمارهای ۷۵ و ۵۰درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد معنی‌دار نبود و تنها در سطح خشکی ۲۵درصد ظرفیت زراعی کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده شد. در رقم گلی، کاهش وزن‌خشک ریشه در تمام تیمارها (به جز ۷۵درصد ظرفیت زراعی) نسبت به شاهد معنی‌دار بود. وزن‌خشک ریشه در رقم گلی در سطوح تیماری ۲۵ و ۵۰درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشتند. در این آزمایش وزن‌خشک ریشه در رقم درخشان در تمام سطوح خشکی بیشتر از رقم گلی بود (شکل 1f).

محققان در بررسی اثرات کمبود آب بر مورفولوژی و فیزیولوژی سه واریته برنج تحت شرایط دیم دریافتند که ارتفاع، بیومس گیاه و اندازه ریشه با کاهش آب خاک کاهش یافتند. آنها مشاهده کردند که با افزایش کمبود آب وزن‌خشک ریشه و طول ریشه کاهش یافت و گیاهان شاهد، طول ریشه بیشتری نسبت به گیاهان تحت تیمارهای خشکی داشتند. مهار رشد ریشه ممکن است به کاهش توسعه‌پذیری بافت نوک ریشه به علت سخت‌شدن دیواره‌های سلولی مربوط باشد. کاهش رشد ریشه روی رشد گیاه تأثیر منفی داشته است. احتمالاً این موضوع به سطح تماس کم ریشه برای جذب آب و نمک‌های معدنی مربوط می‌شود (Sikuku *et al*., 2010). طی تنش خشکی تعداد روزنه‌ها کاهش می‌یابد. احتمالاً این امر منجر به سنتز ماده خشک بخش هوایی و انتقال آن به ریشه شده و متعاقب آن وزن‌خشک گیاه کاهش می‌یابد (Yadav & Bhushan, 2001). گیاهانی که طول ریشه اصلی و تعداد ریشه‌های جانبی بالاتری دارند، نسبت به گیاهانی که این خصوصیات را کمتر دارا هستند، مقاومت و تحمل بیشتری به تنش خشکی دارند (Singh *et al*., 2000). تنظیم اسمزی و مجموع طول ریشه‌ها به میزان رطوبت خاک وابسته است. این صفات مهم‌ترین عوامل در خصوص حفظ آماس و رشد گیاه تحت شرایط خشکی در طی مرحله گیاهچه‌ای است. اعتقاد بر این است که استفاده از آب در دسترس توسط سیستم‌های ریشه‌ای یا تنظیم اسمزی در شرایط کمبود آب می‌تواند رشد گیاه یا آماس سلول را برای بقا حفظ کند (Kusaka *et al*., 2005).

محققان در مطالعه ژنوتیپ‌های باقلا مقادیر متفاوتی را برای طول ریشه و گستردگی آن هنگام قرارگرفتن در شرایط متفاوت رطوبتی خاک ثبت کردند. این محققان اظهار داشتند که طول مجموع ریشه‌ها می‌تواند به‌عنوان یک معیار مهم در گزینش ارقام مقاوم به خشکی مورد استفاده قرار گیرد. تفاوت‌های ژنوتیپیِ ویژگی‌های ریشه و اندام‌های هوایی، اغلب در مراحل اولیۀ رشد آشکار می‌شود و این حقیقت را می‌توان به‌عنوان یک روش مناسب و آسان در گزینش ارقام یا ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار داد (Elshazly & Warboys, 1989).

نسبت وزن‌خشک ریشه به اندام هوایی

با افزایش سطح خشکی، نسبت وزن‌خشک ریشه به وزن‌خشک اندام هوایی در هر دو رقم افزایش یافت (شکل 1g). در رقم درخشان بین سطوح ۵۰ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در رقم گلی نیز بین تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمارها ی ۷۵ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری بین دو رقم در نسبت ریشه به اندام هوایی مشاهده نشد. تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی رقم گلی و تیمارهای ۵۰ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی رقم درخشان دارای نسبت ریشه به اندام هوایی بیشتری بود. تغییرات نسبت ریشه به اندام هوایی در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد در رقم درخشان نسبت به گلی بیشتر بود.

از آنجایی که نسبت بالاتر ریشه به اندام‌های هوایی (اندام‌های جذب‌کننده آب نسبت به اندام‌های مصرف‌کننده) توان گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی بهبود می‌بخشد، لذا اغلب متخصصان فیزیولوژی این نسبت را به‌عنوان یک معیار برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی کرده‌اند. در یک آزمایش، تنش خشکی، نسبت ریشه به اندام هوایی را در ژنوتیپ‌های نخود افزایش داد(Ganjeali & Bagheri, 2011). در آزمایش دیگری نسبت ریشه به اندام هوایی در سه رقم برنج با افزایش تنش خشکی افزایش یافت، در این آزمایش، افزایشی در نسبت ریشه به ساقه در طول دوره تنش خشکی مشاهده شد. حساسیت متفاوت ریشه‌ها و ساقه‌ها به کمبود آب منجر به تغییر در نسبت ریشه به اندا م هوایی در شرایط خشکی می‌شود. کاهش در رشد ساقه همراه با ادامه رشد ریشه منجر به بهبود در وضعیت آب گیاه تحت شرایط کمبود شدید آب می‌شود (Sikuku *et al*., 2010).

محتوای نسبی آب

در این آزمایش، محتوای نسبی آب برگ لوبیا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش سطح خشکی محتوای نسبی آب برگ گیاهچه‌های لوبیا کاهش یافت (شکل ۲a). محتوای نسبی آب در رقم گلی در تمام تیمارهای خشکی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت، درحالی‌که در رقم درخشان، کاهش محتوای نسبی آب فقط در تیمار ۷۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. در تمام تیمارها رقم گلی از نظر محتوای نسبی آب از سطح بالاتری برخوردار بود، ولی فقط تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵درصد ظرفیت زراعی بین دو رقم تفاوت معنی‌داری داشت. در یک آزمایش در گیاه برنج، تنش خشکی باعث کاهش میزان نسبی آب برگ شد. مقدار نسبی آب برگ به‌طور مستقیم با آماس یاخته و پتانسیل آبی گیاه ارتباط دارد. از طرف دیگر تورم، در ارتباط با توسعه و تقسیم سلولی است و بدین‌ترتیب ارتباطی بین میزان نسبی آب برگ و عملکرد بیولوژیک وجود دارد (Yadav & Bhushan, 2001). در یک آزمایش با افزایش تنش خشکی در گندم، RWC کاهش یافت. در بررسی‌های انجام‌شده مشخص شده است که معمولاً، ولی نه همیشه، ارقام مقاوم به خشکی از RWC بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار هستند (Schonfeld *et al*., 1988). محققان بیان کردند که کمبود آب به‌طور آشکاری محتوای نسبی آب را در برگ‌های لوبیا کاهش می‌دهد (Turkan *et al*., 2005). در مطالعه اثر تنش کمبود آب بر گیاه عدس، کاهش محتوای نسبی آب برگ به دنبال کمبود آب تأیید شد (Salehpour *et al*., 2009).

شاخص پایداری غشاء

با افزایش تنش خشکی میزان شاخص پایداری غشاء در ارقام لوبیا کاهش یافت. میزان کاهش MSI در طی تنش خشکی در رقم گلی لوبیا در تمام تیمارها نسبت به شاهد معنی‌دار بود، ولی در رقم درخشان فقط در تیمارهای ۵۰ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد معنی‌دار بود (شکل ۲b). همچنین تفاوت معنی‌داری در میزان شاخص پایداری غشاء در تیمارهای ۷۵ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی بین دو رقم وجود داشت و رقم درخشان نسبت به گلی از سطح شاخص پایداری غشاء بالاتری برخوردار بود.

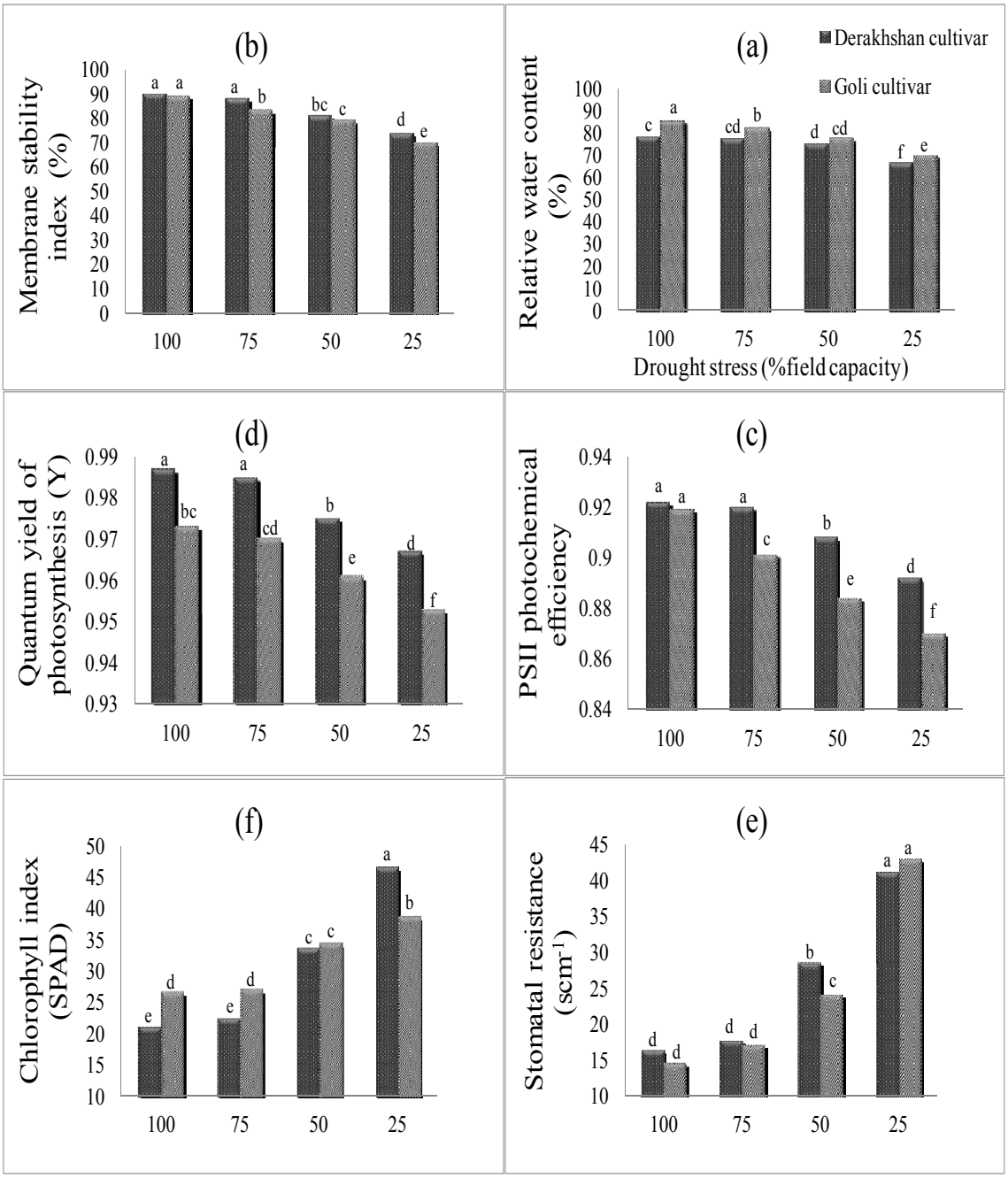
جدول ۲- منابع تغییر، درجات آزادی و میانگین مربعات برای برخی صفات فیزیولوژیک گیاهچه‌های لوبیاقرمز

Table 2. Source of variances, degree of freedom and mean of squares for some physiological characteristics of Red bean seedlings

منابع تغییر S.O.V.	درجهٔ آزادی df	محتوای نسبی آب Relative water content	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	مقاومت روزنه Stomatal resistance	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (SPAD)	کارآیی فتوسیستمII PSII Photochemical efficiency	عملکرد کوانتومی‌فتوسنتز Quantum yield of photosynthesis
خشکی Drought	3	**	**	**	**	**	**
رقم Cultivar	1	**	**	*	ns	**	**
خشکی×رقم Drought×Cultivar	3	ns	ns	**	**	**	ns

ns ، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد و ۱درصد

ns, *, **: non-significant & significant at 0.05 & 0.01, respectively



شکل ۲- اثر تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک ارقام لوبیاقرمز؛ a: محتوای نسبی آب ($p\leq 0.05$)؛ b: شاخص پایداری غشاء ($p\leq 0.05$)؛ c: کارآیی فتوسیستمII؛ d: عملکرد کوانتومی‌فتوسنتز ($p \leq 0.05$)؛ e: مقاومت روزنه؛ f: شاخص کلروفیل

حروف مشترک، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن ($p\leq 0.01$) می‌باشد.

Fig. 2. Effects of drought stress on some physiological characteristics of Red bean cultivars.
a: Relative water content ($p\leq 0.05$); b: Membrane stability index ($p\leq 0.05$); c: PSII photochemical efficiency; d: Quantum yield of photosynthesis ($p\leq 0.05$); e: Stomatal resistance; f: Chlorophyll index

Common letters indicate no significant difference among the means based on Duncan test ($p\leq 0.01$).

میزان کاهش MSI در گیاهچه‌های ارقام لوبیا در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی محسوس بود. در تمام تیمارها میزان شاخص پایداری غشاء در رقم درخشان از سطح بالاتری نسبت به رقم گلی برخوردار بود. درجه آسیب به غشاء سلول ناشی از تنش خشکی یا تنش گرما به‌راحتی ممکن است از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از سلول‌ها برآورد شود (Ghobadi *et al*., 2011). تنش خشکی از طریق افزایش تولید مواد تخریب‌کننده غشاء از جمله پراکسید هیدروژن، سبب تخریب غشاء سلولی شده و در نتیجه، ضریب پایداری غشاء در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد. افزایش پراکسیداسیون چربی و به‌دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشاء سلول در گیاهان گندم (Sairam & Saxena, 2000) و لوبیا (Turkan *et al*., 2005) و عدس (Salehpour *et al*., 2009) نیز گزارش شده است.

کارایی فتوسیستمII و عملکرد کوانتومی فتوسنتز

با افزایش تنش خشکی کارآیی فتوسیستمII در ارقام لوبیا به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) کاهش یافت (جدول ۲). همچنین رقم و اثر متقابل خشکی و رقم تأثیر معنی‌داری بر کارآیی فتوسیستمII داشتند. در رقم گلی تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف رطوبتی از نظر کارآیی فتوسیستمII وجود داشت، درحالی‌که در رقم درخشان میزان کارآیی فتوسیستمII تنها در تیمارهای ۵۰ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد معنی‌دار بود (شکل ۲c). در تمام ترکیبات تیماری مقدار Fv/Fm در رقم درخشان بیشتر از رقم گلی بود. میزان کاهش نسبت Fv/Fm در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد در رقم گلی بیشتر از رقم درخشان بود. با افزایش تنش خشکی عملکرد کوانتومی فتوسنتز (Y) ارقام لوبیا کاهش نشان یافت. کاهش عملکرد کوانتومی فتوسنتز در هر دو رقم لوبیاقرمز در تیمارهای۵۰ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد معنی‌دار بود و کاهش Y در سطح خشکی ۷۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد کوانتومی فتوسنتز بین ارقام لوبیا در سطوح مختلف رطوبتی وجود داشت و در سطوح مختلف تیماری عملکرد کوانتومی فتوسنتز در رقم درخشان از میزان بیشتری برخوردار بود (شکل ۲d).

در شرایط تنش خشکی تجمع Q_B غیراحیاء افزایش می‌یابد که این امر نشان‌دهندهٔ عدم انتقال الکترون از Q_A^- احیاء به Q_B است. در چنین شرایطی تجمع Q_A^- نیز افزایش می‌یابد. علت این امر هنوز کاملاً مشخص نیست، ولی ممکن است کاهش آسیمیلاسیون CO_2 در اثر بسته‌شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی منجر به مصرف‌نشدن محصولات حاصل از زنجیره انتقال الکترون (ATP، NADPH) شده و از این طریق میزان فرودوکسین احیاء افزایش یافته و به‌دنبال افزایش فرودوکسین احیاءشده، تولید رادیکال‌های فعال افزایش یافته و از این طریق، تغییر و یا تخریب پروتئین‌های غشاء تیلاکوئید صورت گیرد. بنابراین تخریب پروتئین‌های غشاء تیلاکوئید مانع انتقال الکترون از جایگاه پذیرنده فتوسیستمII می‌گردد و این امر موجب کاهش سرعت انتقال الکترون، افزایش فلوئورسانس کلروفیل و کاهش عملکرد فتوسیستمII می‌شود (Piper *et al*., 2007; Tilahun & Sven, 2003).

تغییر میزان فعالیت فتوسیستمII و همچنین تخریب ساختمان پروتئینD_1 موجود در فتوسیستمII در نتیجه افزایش فلوئورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی است (Ahmed *et al*., 2002). نتایج حاصل از بررسی‌ها مؤید این است که کمپلکس آزادکننده اکسیژن فتوسیستمII و مراکز واکنش فتوسیستمII تحت تأثیر تنش خشکی تخریب می‌شوند. اثر تخریبی تنش خشکی بر پروتئینD_1 که در ساختمان فتوسیستمII قرار دارد نیز گزارش شده است (Lu & Zhang, 1998; Zlatev & Yordanov, 2004).

کاهش سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسنتز گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به‌دلیل تخریب سیکل کالوین، به‌تأخیرافتادن احیاء کوئینون‌ها و همچنین تخریب زنجیره انتقال الکترون غشاء تیلاکوئید باشد (Tilahun & Sven, 2003). کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش خشکی می‌تواند نشان‌دهندهٔ این موضوع باشد که انتقال الکترون از فتوسیستمII به فتوسیستمI تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و کاهش می‌یابد (Lu & Zhang, 1998). در یک آزمایش، تنش خشکی نسبت Fv/Fm ژنوتیپ‌های نخود را به‌صورت معنی‌داری کاهش داد. در این آزمایش، ژنوتیپ‌های نخود حساس به خشکی، Fv/Fm کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در مراحل گیاهچه‌ای و غلاف‌دهی داشتند (Rahbarian *et al*., 2011). کارایی فتوسیستمII، به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی میزان تحمل گونه‌های مختلف گیاهی به تنش خشکی مطرح است. نتایج حاصل از بررسی‌ها مؤید این است که عملکرد کوانتومی فتوسنتز (Y) تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Zlatev & Yordanov, 2004).

مقاومت روزنه

با افزایش خشکی، مقاومت روزنه به‌طور معنی‌داری در گیاهچه‌های ارقام لوبیاقرمز افزایش یافت (جدول ۲). در ارقام لوبیا افزایش میزان مقاومت روزنه تنها در تیمار ۷۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود. میزان مقاومت روزنه در تمام تیمارها (به جز تیمار ۵۰درصد ظرفیت زراعی) بین دو رقم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۲e). در تیمار ۵۰درصد ظرفیت زراعی بیشترین و کمترین مقاومت روزنه ۲۸/۵ و ۲۴/۱ scm^{-1}، به‌ترتیب به ارقام درخشان و گلی اختصاص داشت. حرکت آب در سیستم اتمسفر-گیاه-خاک در پاسخ به تفاوت پتانسیل رخ می‌دهد و در جهت کاهش انرژی از خاک به ریشه گیاه و از طریق آوند چوبی به برگ‌ها است. با کاهش محتوای آب خاک، پتانسیل آب برگ و خاک نیز کاهش می‌یابد، در نتیجه کمبود آب در برگ‌ها ایجاد می‌شود و فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه کاهش یافته و باعث بسته‌شدن روزنه می‌شود. بنابراین مقاومت برای انتقال بخار آب از برگ‌ها افزایش می‌یابد. فشار تورگر سلول‌های محافظ روزنه نه‌تنها توسط پتانسیل آب برگ، بلکه توسط دما، نور و غلظت CO_2 هوای پیرامون تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kanemasu & Tanner, 1969). تغییرات فیزیولوژیک سریع مانند کاهش سطح برگ و افزایش مقاومت روزنه‌ای جزء مکانیسم‌های اجتناب از تنش خشکی معرفی شده‌اند (Machado & Paulsen, 2001). در شرایط تنش خشکی در گیاه ذرت خوشه‌ای، افزایش زیادی در مقاومت روزنه مشاهده شد که با کاهشی در فتوسنتز این گیاهان همراه بود (Kanemasu *et al*., 1973). کاهش رطوبت خاک ممکن است منجر به کاهش محتوای آب برگ‌ها شود که نتیجهٔ آن، کاهش فشار تورگر سلول‌های محافظ روزنه، کاهش قطر منافذ روزنه و کاهش تعرق می‌باشد. علاوه بر این، افزایش مقاومت روزنه ممکن است منجر به کاهش انتقال آب در برگ‌ها شده و نهایتاً کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش تعرق و محدودشدن فتوسنتز را به دنبال دارد (Tezara *et al*., 2002).

شاخص کلروفیل

با افزایش تنش خشکی، شاخص کلروفیل در برگ ارقام لوبیاقرمز افزایش یافت. افزایش شاخص کلروفیل در هر دو رقم در تیمارهای ۵۰ و ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد معنی‌دار بود. همچنین تفاوت مقدار شاخص کلروفیل در تمام سطوح خشکی (به جز تیمار ۵۰درصد ظرفیت زراعی) بین دو رقم معنی‌دار بود (شکل ۲f). دامنه تغییر عدد SPAD لوبیا در رقم درخشان در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد ۲۵/۴ و در رقم گلی ۱۱/۹ بود. بیشترین و کمترین میزان شاخص کلروفیل به‌ترتیب به تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی و تیمار شاهد و به رقم درخشان اختصاص داشت. کلروفیل‌متر ابزار تشخیصی ساده و قابل‌حمل است که سبزی یا غلظت کلروفیل نسبی برگ را اندازه‌گیری می‌کند. در مقایسه با روش‌های سنتی مخرب، استفاده از این تجهیزات موجب صرفه‌جویی در زمان، فضا و منابع است (Netto *et al*., 2005). افزایش عدد SPAD درشرایط تنش نیز احتمالاً به‌علت کاهش سطح برگ و تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها می‌باشد. در واقع، گیاه با کمترکردن سطح برگ در شرایط تنش، سطح تعرق‌کننده را جهت جلوگیری از اتلاف آب کم کرده و در نتیجه با کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد (Salehi *et al*., 2003).

با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ کاهش می‌یابد، ولی نسبت کلروفیل a/b افزایش می‌یابد. قابل‌ذکر است که برخی محققان افزایش نسبت کلروفیل a/b را موجب تیره‌شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر می‌دانند (Antolin *et al*., 1995; Salehi *et al*., 2003). بنابراین افزایش عدد SPAD درشرایط تنش نیز احتمالاً به‌علت کاهش سطح برگ و تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌نظر می‌رسد که گیاهان مقاوم، با کاهش سطح اندام هوایی و افزایش نسبت ریشه به کل گیاه، شرایط خشکی را بهتر تحمل می‌کنند. وقتی آب مورد نیاز گیاه در خاک کاهش یابد، نسبت وزن ریشه به ساقه افزایش می‌یابد، زیرا ریشه در مقایسه با ساقه حساسیت کمتری نسبت به کاهش پتانسیل آب دارد. از طرفی افزایش رشد بخش ریشه‌ای در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک پاسخ دفاعی جهت جذب بیشتر آب و کاهش اثرات تنش خشکی محسوب می‌شود. این تحقیق نشان داد که ارتفاع گیاه، سطح برگ، سطح ریشه، مجموع طول ریشه‌ها و نیز وزن‌خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط تنش خشکی در هر دو رقم لوبیاقرمز کاهش یافت. میزان کاهش ارتفاع گیاه لوبیا، سطح برگ و وزن‌خشک اندام هوایی در لوبیاقرمز رقم درخشان در تنش خشکی شدید (تیمار ۲۵درصد ظررفیت زراعی) نسبت به شاهد بیشتر از رقم گلی بود. در تمام تیمارها وزن‌خشک

ریشه رقم درخشان بیشتر از رقم گلی بود و میزان افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی رقم درخشان در تنش شدید نسبت به شاهد بیشتر از گلی بود.

در بررسی صفات فیزیولوژیک مشاهده شد که با افزایش تنش خشکی RWC، MSI، Fv/Fm، عملکرد کوانتومی‌فتوسنتز (Y) در ارقام لوبیا کاهش یافت؛ ولی مقاومت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل در گیاهچه‌های لوبیا تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

مقادیر RWC، MSI و Fv/Fm در تنش شدید نسبت به شاهد در رقم گلی کاهش بیشتری از درخشان نشان داد. در تنش‌های خشکی شدید، شدت افزایش مقاومت روزنه نسبت به شاهد در رقم گلی بیشتر از درخشان بود، ولی شدت افزایش عدد کلروفیل‌متر در رقم درخشان بیشتر از گلی بود که ممکن است به این علت باشد که رقم درخشان با کاهش بیشتر سطح برگ مانع ازدست‌رفتن آب از طریق تعرق می‌شود و به‌دنبال آن با کاهش بیشتر سطح برگ، میزان شاخص کلروفیل رقم درخشان نسبت به رقم گلی افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. نتایج این بررسی نشان داد که رقم درخشان احتمالاً از طریق به‌کارگیری مکانیسم‌های مختلف تحمل به خشکی نسبت به رقم گلی تا حدی کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. همچنین در مورد تمام ویژگی‌های فیزیولوژیک مورد بررسی، در رقم درخشان بین سطح خشکی ۷۵درصد ظرفیت زراعی و شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

سپاسگزاری

از گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم و پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی به خاطر فراهم‌آوردن حمایت‌های علمی و آزمایشگاهی جهت انجام این پروژه تحقیقی سپاسگزاری می‌نماییم.

منابع

1. Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mung bean subjected to water logging. Plant Science 163: 117-123.
2. Antolin, M.C., Yoller, J., and Sanchez-Diaz, M. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. Plant Science 107: 159-165.
3. Ashraf, M., and Iram, A. 2005. Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. Flora 200: 446-535.
4. Bhatt, R.M., and Srinivasa Rao, N.K. 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. Indian J. Plant Physiol. 10: 54-59.
5. Bian, Sh., and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of *Kentucky bluegrass* in response to drought stress and recovery. Scientia Horticulturae 120: 264-270.
6. Ebrahimi, M., Bihamta, M., Hosein zade, A.A., Khialparast, F., and Golbashi, M. 2010. Evaluation reaction yield and yield components of white bean genotypes under water stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 8: 347-358. (In Persian).
7. Elshazly, M.S., and Warboys, I.B. 1989. The use of transparent flexible tubes for studying the root extension and elongation of beans (*Vicia faba*). J. Experimental. Agriculture 25: 35-37.
8. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29: 185-212.
9. Ganjeali, A., and Bagheri, A. 2011. Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 1: 101-110. (In Persian with English Summary).
10. Ghobadi, M., Khosravi, S., Kahrizi, D., and Shirvani, F. 2011. Study of water relations, chlorophyll and their correlations with grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. World Academy of Science, Engineering and Technology 78: 582-585.
11. Hayat, S., and Ahmad, A. 2007. Salicylic Acid a Plant Hormone. Springer. P. 97-99.
12. Jaleel, C.A., Manivannan, P., and Lakshmanan, G.M.A. 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of Catharanthus roseus under soil water deficits. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 61: 298-303.

13. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. Int. J. Agric. Biol. 11: 100-105.
14. Kanemasu, E.T., and Tanner, C.B. 1969. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf-water potential. Plant Physiol. 44: 1547-1552.
15. Kanemasu, E.T., An-Jen Chen, Powers, W.L., and Teare, I.D. 1973. Stomatal resistance as an indicator of water stress. Transcation of the Kansas Academy of Science 76: 159-163.
16. Kumar, A., and Purohit, S.S. 2001. Plant Physiology Fundamentals and Applications. Second Enlarged Edition. Agrobios (India).
17. Kusaka, M., Lalusin, A.G., and Fujimura, T. 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. Plant Sci. 168: 1-14.
18. Lu, C., and Zhang, J. 1998. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibitation in wheat plants. Australian Journal of Plant Physiology 25: 883.
19. Machado, S., and Paulsen, G.M. 2001. Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. Plant and Soil 223: 179-187.
20. Majnon Hoseini, N. 1996. Grains in Iran. Jahad Publisher Institute Affiliated to University Jahad. Tehran. p. 240. (In Persian).
21. Netto, A.T., Campostrini, E., Oliveira, J.G., and Bressan-Smith, R.E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a florescence and SPAD readings in coffee leaves. Scientia Horticulture 104: 199-209.
22. Pagter, M., Bragato, C., and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of phragmites Australia to water deficit. Aquatic Bot. 81: 285-299.
23. 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. Science 64: 447-452.
24. Rahbarian, R., Khavari-nejad, R.A., 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 Biological Cracoviensia Series Botanica 53: 47-56.
25. Sairam, R.K., and Saxena, D.C. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. J. Agronomy and Crop Sci. 184: 55-61.
26. Salehi, M., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2003. Leaf nitrogen and chlorophyll as indicators for salt stress. Iranian Journal of Field Crops Research 1: 199-205. (In Persian with English Summary).
27. Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., and Jamaati-e-Somarin Sh. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Sciences 3: 103-109.
28. Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., and Mornhinweg, D.W. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Sci. 28: 526-531.
29. Shanahan, J.F., Edwards, I.B., Quick, J.S., and Fenwick, J.R. 1990. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. Crop Science 30: 247-251.
30. Sikuku P.A., Netondo, G.W., Onyango, J.C., and Musyimi, D.M. 2010. Effects of water deficit on physiology and morphology of three varieties of NERICA rainfed rice (*Oryza sativa* L.). ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 5: 23-28.
31. Singh. D.N., Massod Ali R.I., and Basu, P.S. 2000. Genetic variation in dry matter partitioning in shoot and root influnces of chickpea to drought. 3rd International Crop Science Congress.
32. Tezara, W., Mitchel, V., Driscul, S.P., and Lawlor, D.W. 2002. Effects of water deficit and its interaction with CO_2 supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. Exp. Bot. 53: 1781-1791.
33. Tilahun, A., and Sven, S. 2003. Mechanisms of drought resistance in grain: PSII stomatal regulation and root growth. Ethiopian Journal of Science 26: 137-144.
34. Turkan, I., Melike, B., Ozdemir, F., and Koca, H. 2005. Differential response of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Sci. 168: 223-231.
35. Yadav, R.S., and Bhushan, C. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotype. Indian J. of Agric. Res. 2: 104-107.

36. Zabet, M., Hosein zade, A.H., Ahmadi, A., and Khialparast, F. 2003. Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). Iranian, J. Agric. Sci. 34: 889-898. (In Persian with English Summary).
37. Zlatev, Z.S., and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulg. J. Plant Physiol. 30: 3-18.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 5, No. 1, 2014, p. 103-116

Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.)

Sadat Rasti Sani[1*], M., Lahouti[2], M. & Ganjeali[3], A.

1. Young Researchers Club, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Professor, Biology Department, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad
3. Associate Professor, Biology Department, Faculty of Sciences & Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 11 April 2012
Accepted: 30 December 2012

Abstract

Drought is one of the most important factors limiting growth and yield in many parts of the world. In order to evaluate the effects of drought stress on some morphological and physiological traits of two cultivars of bean, two red beans (Derakhshan and Goli) in four drought treatments including 25%, 50%, 75%, control 100% field capacity were studied in a factorial experiment based on complete randomized design with three replications. Results showed that morphological traits inducing plant height, leaf area, root area, total root length and shoot and root dry weight were significantly ($p\leq0.01$) decreased under drought stress. So, results showed that physiological traits such as leaf relative water content (RWC), membrane stability index (MSI), PSII photochemical efficiency (Fv/Fm), and quantum yield of photosynthesis (Y) were significantly declined under drought stress ($p\leq0.01$). But, stomatal resistance and chlorophyll index (SPAD) significantly increased in bean seedlings under drought stress ($p\leq0.01$). The root to shoot ratio was increased further in Derakhshan cultivar in severe stress than control. RWC, MSI, and Fv/Fm showed a greater reduction in severe stress than control in Goli cultivar. Results showed that probably Derakhshan cultivar was affected fewer by drought stress, by means of applying drought tolerance different mechanisms than that of Goli cultivar. The Derakhshan cultivar in most physiological traits, was not represent significant differences between 75% of field capacity and control.

Key words: Bean, Chlorophyll fluorescence, Drought stress, Morphological and Physiological traits

* **Corresponding Author:** m.rastisani@yahoo.com, Mobile: 09352381309