علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۴ (ص ۲۲۶-۲۱۷)

اثر تنش خشکی بر تخصیص مواد فتوسنتزی ژنوتیپ‌های لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)

زهرا رضائی[1*] و فرهاد جباری[2]
۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه زنجان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱/۷)

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر تخصیص مواد فتوسنتزی گیاه لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه زنجان اجرا شد. در این آزمایش، سطوح آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب و تنش خشکی بعد از گلدهی) در کرت‌های اصلی و شش ژنوتیپ لوبیاچیتی (محلی خمین، COS16، صدری، KS21193، KS21191، KS21189) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج این بررسی نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر نسبت وزن ساقه و نسبت وزن غلاف داشت. ژنوتیپ KS21191 در شرایط تنش خشکی به‌دلیل تخصیص کمتر مواد فتوسنتزی به برگ‌ها و برخورداری از وزن خشک غلاف و زیست‌تودهٔ بیشتر، از عملکرد دانهٔ بیشتری برخوردار بود. در کل ژنوتیپ‌هایی که مواد فتوسنتزی کمتری به برگ‌ها و ساقه، و بیشترین مواد فتوسنتزی را به غلاف اختصاص دادند، در شرایط تنش برتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: **زیست‌توده، عملکرد دانه، نسبت وزن ساقه، نسبت وزن غلاف، وزن خشک غلاف.**

مقدمه

خشکی یکی از تنش‌های مهم غیرزیستی است که تغییرات زیادی را در خصوصیات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه القا می‌کند (Zobayed *et al.*, 2007). حدود ۶۰ درصد تولید لوبیا در کشورهای در حال توسعه، تحت شرایط تنش خشکی صورت می‌گیرد (Turkan *et al.*, 2005). در ایران نیز به‌عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک، این گیاه بعد از نخود و عدس بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. به‌همین دلیل شناسایی روش‌های بهبود عملکرد این گیاه و بهره‌گیری از عوامل تولید با توجه به قرارگیری کشور در این شرایط در کنار انتخاب رقم مناسب اهمیت زیادی دارد (Kouchacki & Banayan Avval, 1994).

گیاه لوبیا به شرایط آب و خاک و کیفیت آن بسیار حساس است و عملکرد آن حتی در دوره‌های کوتاه‌مدت تنش خشکی کاهش می‌یابد (Majnon Hoseini, 2009). در صورت فراهمی رطوبت، رشد غلاف‌ها و بلوغ آنها در یک دورهٔ طولانی‌تر انجام می‌گیرد و برگ‌ها آهسته‌تر پیر می‌شوند (Parsa & Bagheri, 2008). انباشت مادهٔ خشک به‌عنوان یک صفت مهم برای حصول عملکرد زیاد در حبوبات مورد توجه است (Saxena *et al.*, 1990). تفاوت معنی‌داری در تجمع مادهٔ خشک بین ارقام مختلف لوبیا که تحت تنش رطوبتی متوسط تا شدید قرار داشتند، گزارش شده است (Rosales-serna *et al.*, 2002). اغلب همبستگی قوی و مثبت بین کل مادهٔ خشک تولیدی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی مشاهده شده است (Shenkut & Brick, 2003).

یکی از اثرهای اولیهٔ تنش خشکی، کاهش رشد رویشی است (Hopkins, 1999). کمبود آب خاک سبب

* تلفن: ۰۹۱۲۷۴۲۸۲۹۶
E-mail: zahrarezaei185@yahoo.com

تخریب سلولی و تغییر محتوای هورمون رشد در برگ می‌شود (Nilsen & Orcutt, 1996). تنش خشکی سبب کاهش طویل شدن برگ‌ها، وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگچه، متوسط سطح برگ و فشار تورژسانس در بافت‌های گیاهی می‌شود. این عمل بر فرایندهای فیزیولوژیک مانند فتوسنتز، انتقال، جذب و تنفس اثر دارد و رشد را کاهش می‌دهد (Sivakumar & Shaw, 1978; Jolaei, 2005). محققان زیادی کاهش شدید انتقال نیتروژن، تولید بیوماس و بازده مصرف آب ارقام لوبیا را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Foster *et al.*, 1995; Kisman, 2003).

علاوه بر تجمع مادهٔ خشک، تسهیم مواد پرورده بین اندام مختلف گیاه در تعیین عملکرد اقتصادی بسیار مهم است (Frahm *et al.*, 2004). تنش خشکی الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی را نیز تغییر می‌دهد. به‌طور کلی، رشد بخش‌های هوایی و به‌ویژه برگ‌ها در مقایسه با رشد ریشه نسبت به تنش خشکی از حساسیت بیشتری برخوردار است. کاهش رشد برگ‌ها در شرایط تنش به نفع گیاه است، چراکه با کاهش سطح برگ تعرق گیاه نیز کاهش می‌یابد (Hopkins, 1999). ارقامی که برگ کمتری تولید کنند، تعرق کمتری به‌ازای سطح برگ دارند و زیست‌تودهٔ بیشتری به‌ازای مصرف هر واحد آب تولید می‌کنند. در ضمن نسبت فتوسنتز به تعرق نیز در ارقام مذکور بیشتر است. بنابراین، نسبت‌های بیشتر فتوسنتز به تعرق و تولید زیست‌تودهٔ بیشتر به‌ازای واحد تعرق که در نتیجهٔ زیست‌تودهٔ کمتر برگ حاصل می‌شود، احتمالاً صفتی مطلوب برای محیط‌های خشک است (Boogard *et al.*, 1996).

هدف این تحقیق، ارزیابی نحوهٔ توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های لوبیاچیتی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی و ارتباط آن با عملکرد دانه در این شرایط است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی میزان و چگونگی تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و غلاف) ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به خشکی لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه زنجان، در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ صورت گرفت. منطقهٔ زنجان از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک است (Kazemi Arbat, 1999) برخی ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

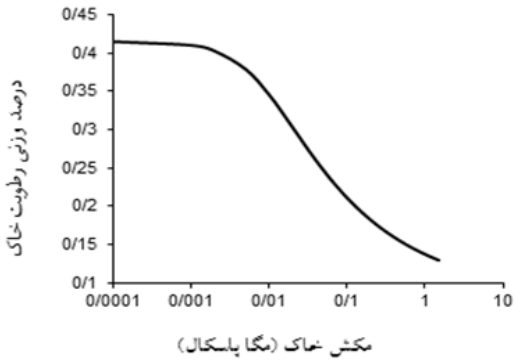
جدول ۱. برخی ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰

		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بارندگی کل (میلی‌متر)		۱	۸۲/۱	۱/۱	۲۶/۵	۴۵/۳	۲۱/۵	۹۴/۳	۵۵	۱۷/۷	۱/۱	۰/۲	۰/۲
میانگین درجهٔ حرارت روزانه (سانتی‌گراد)	حداکثر	۲۳/۱	۹/۹	۷/۴	۶/۴	۲/۴	۵/۶	۱۵/۴	۲۲/۳	۲۶/۷	۳۰/۲	۳۲/۸	۲۹/۱
	حداقل	۶/۴	۰/۶	-۵/۹	-۴/۶	-۷/۱	-۴/۹	۲/۶	۷/۲	۱۱/۱	۱۳/۷	۰/۸	۱۳/۴

ویژگی‌های اقلیمی منطقه، در طی دورهٔ رشد گیاه به‌صورت اعداد برجسته در داخل جدول نشان داده شده‌اند.

در این آزمایش، سطوح آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب در طی فصل رشد یا شاهد و تنش خشکی) در کرت‌های اصلی و شش ژنوتیپ لوبیاچیتی (محلی خمین، COS16، صدری، KS21193، KS21191، KS21189) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تنش خشکی از مرحلهٔ گلدهی (مرحلهٔ R1) اعمال شد. تیمار شاهد به‌طور تقریبی هر هفته یک‌بار آبیاری شد، به‌گونه‌ای که رطوبت خاک در محدودهٔ رطوبت سهل‌الوصول (۱۸ تا ۲۲ درصد رطوبت وزنی) حفظ شود. با توجه به شکل ۱، درصد وزنی رطوبت خاک مزرعهٔ آزمایش در ظرفیت زراعی، ۳۳ درصد و در نقطهٔ پژمردگی دائم، ۱۲ درصد تعیین شد و از آنجا که کمبود مجاز مدیریتی (MAD) لوبیا ۰/۴ است (Keller & Bliesner, 1990)، مقدار رطوبت سهل‌الوصول ۱۸ تا ۲۲ درصد وزنی تعیین شد. تیمار تنش خشکی وقتی آبیاری می‌شد که پتانسیل آب خاک آن به ۱/۵- مگاپاسکال برسد. برای تعیین درصدی از رطوبت خاک که در آن پتانسیل آب خاک به ۱/۵- مگاپاسکال می‌رسید از منحنی رطوبتی خاک استفاده شد (شکل ۱).

به این منظور، بعد از قطع آبیاری هر دو روز یک‌بار نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت و درصد رطوبت وزنی تعیین شد و آبیاری تیمار تنش وقتی صورت گرفت که درصد رطوبت خاک به ۱۲ درصد (نقطهٔ پژمردگی دائم) رسید. برای ترسیم منحنی رطوبتی خاک، نمونه‌برداری صورت گرفت و پتانسیل آب خاک در رطوبت‌های مختلف توسط آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان تعیین شد. سپس منحنی رطوبتی که ارتباط بین درصد رطوبت وزنی و مکش خاک را نشان می‌داد، ترسیم شد (شکل ۱). از بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، سه ژنوتیپ اول ارقام تجاری‌اند که در حال حاضر در سطح وسیع کشت می‌شوند. سه ژنوتیپ بعدی، نویدبخش و در حال معرفی به کشاورزان هستند. عملیات کاشت در اردیبهشت ۱۳۹۱ صورت گرفت. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بوته‌ها بر روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت کپه‌ای صورت گرفت و در هر کپه سه بذر کاشته شد. هر کرت آزمایش شامل پنج خط ۵ متری بود. گیاهچه‌ها در مرحلهٔ پنج‌برگی تنک شدند تا در هر کپه فقط یک گیاهچه باقی بماند و تراکم ده بوته در مترمربع به‌دست آید. عمق کاشت بذر، سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز در سه نوبت با وجین دستی صورت گرفت. در هر واحد آزمایشی دو ردیف از پنج ردیف و نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. مصرف کودهای شیمیایی بر مبنای نتایج آزمون خاک انجام گرفت.



شکل ۱. منحنی رطوبتی خاک محل اجرای آزمایش

برخی ویژگی‌های مرتبط با خاک مزرعهٔ محل اجرای آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های مرتبط با خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	pH	EC (ds/m)	OC (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
لوم شنی	۷/۶	۱/۲	۱/۷۵	۰/۲	۸/۴	۱۵۶

برای برآورد زیست‌توده و تخصیص آن بین برگ، ساقه و غلاف، از سه بوته از هر کرت در ابتدای مرحلهٔ غلاف‌دهی (مرحلهٔ R2) نمونه‌برداری شد. به این منظور، همهٔ بوته‌ها از فاصلهٔ ۱ سانتی‌متری سطح زمین قطع شدند. در هر نمونه‌برداری گیاه پس از تفکیک به اجزای مختلف (برگ، ساقه و غلاف) به‌مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی در دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس خشک و سپس با ترازوی حساس (AND, EK) توزین شد. آن‌گاه نسبت وزن ساقه (Stem Weight Ratio)، نسبت وزن برگ (Leaf Weight Ratio) و نسبت وزن نیام (Pod Weight Ratio) براساس روابط زیر محاسبه شد (Jabbari *et al.*, 2010).

$$SWR = \frac{SDW}{TDW} \quad (۱)$$

$$LWR = \frac{LDW}{TDW} \quad (۲)$$

$$PWR = \frac{PDW}{TDW} \quad (۳)$$

که: SDW، LDW و PDW به‌ترتیب وزن خشک ساقه، برگ و نیام؛ و TDW وزن خشک کل بر حسب گرم است.

برای تعیین عملکرد دانه، ده بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و عملکرد دانهٔ آن تعیین شد. تجزیهٔ واریانس و سایر محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS انجام پذیرفت و مقایسهٔ میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ($P\leq ۰/۰۵$) صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک ساقه (SDW)

نتایج تجزیهٔ واریانس، اختلاف معنی‌داری را از نظر وزن خشک ساقه بین سطوح تنش در سطح ۵ در صد و اثر ژنوتیپ‌ها در سطح ۱ درصد نشان داد، ولی اثر متقابل سطح تنش در ژنوتیپ معنی‌دار نشد (جدول ۳). وزن خشک ساقه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به‌ترتیب ۱۶/۹ و ۱۰/۷۲ گرم به‌ازای بوته بود. به‌عبارت دیگر، تنش خشکی موجب کاهش ۳۶/۶ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد. کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک ساقهٔ نخود در اثر تنش خشکی و همچنین کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک ساقهٔ لوبیاچیتی مشاهده شده است (Nazari Nasi, 2010; Sivaramaiah *et al.*, 2007). اصولاً کاهش وزن خشک ساقه به‌دلیل کاهش فتوسنتز و در پی آن، کاهش تولید مواد غذایی توسط گیاه و از طرف دیگر کاهش دورهٔ رشد گیاه و آغاز زودرس انتقال مجدد مواد از ساقه امری دور از انتظار نیست.

وزن خشک برگ (LDW)

سطوح مختلف آبیاری اثر معنی‌داری بر وزن خشک برگ در سطح احتمال ۵ درصد داشت، ولی اثر ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). در واقع تنش خشکی موجب کاهش ۵۲ درصدی وزن خشک برگ شد. همچنین کاهشی ۳۳ درصدی در وزن خشک برگ لوبیاچیتی در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Nazari Nasi, 2010). در بین اندام‌های گیاهی، برگ‌ها حساسیت بیشتری به تنش دارند (Hopkins, 1999). همچنین اثر متقابل سطوح تنش در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در همهٔ ژنوتیپ‌های مورد بررسی، وزن خشک برگ در اثر تنش خشکی کاهش یافت. در عین حال، بیشترین و کمترین کاهش به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های خمین و KS21193 مشاهده شد. کاهش وزن خشک برگ در ژنوتیپ‌های محلی خمین، COS16، صدری، KS21193، KS21191 و KS21189 به‌ترتیب ۶۶/۵، ۵۷، ۳۶/۸، ۳۱/۷، ۵۲، ۶۰/۳ درصد بود. همچنین، بیشترین وزن خشک برگ در شرایط آبیاری مطلوب از ژنوتیپ COS16 به‌دست آمد که از این لحاظ به‌جز ژنوتیپ صدری که کمترین میزان را دارا بود، با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین میزان وزن خشک برگ در ژنوتیپ KS21193 و کمترین میزان آن در ژنوتیپ KS21189 مشاهده شد (جدول۵).

جدول ۳. میانگین مربعات برخی پارامترهای مرتبط با رشد لوبیاچیتی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک غلاف	زیست‌توده
تکرار	۳	۲۸۰/۵۹*	۱۲۰/۲۴ns	۱۷۴/۵۷ns	۱۶۳۰/۳۱*
سطوح آبیاری	۱	۴۶۲/۲۷*	۶۵۹/۸۶*	۲۲۰/۵۰ns	۳۸۴۸/۶۸*
خطای اصلی	۳	۳۰/۹۵	۴۷/۴۱	۴۳/۳۹	۲۶۶/۴۵
ژنوتیپ‌ها	۵	۱۸/۱۲**	۳۱/۰۵ns	۸۱/۴۷**	۲۱۰/۳۷ns
سطوح آبیاری × ژنوتیپ	۵	۲۳/۳۵ns	۱۷/۸۵**	۱۵/۰۳**	۱۰۶/۳۷**
خطای فرعی	۳۰	۲۲/۴۲	۱۹/۳۷	۲۷/۲۳	۱۴۶/۱۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۹/۸	۱۰/۴	۵/۵	۱۲/۶

ns، * و **: نبود تفاوت معنی‌دار، و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

وزن خشک غلاف (PDW)

در این بررسی، از نظر وزن خشک غلاف اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش مشاهده نشد، ولی اثر ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل سطوح تنش در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در عین‌حال تنش خشکی سبب کاهش ۳۴ درصدی وزن خشک غلاف در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب شد. همچنین کاهش ۳۲ درصدی وزن خشک غلاف لوبیاچیتی در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Nazari Nasi, 2010). اثر متقابل سطوح آبیاری در ژنوتیپ از لحاظ وزن خشک

غلاف معنی‌دار بود (جدول ۵). در همهٔ ژنوتیپ‌های مورد بررسی وزن خشک غلاف کاهش یافت. کاهش وزن خشک غلاف در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ‌های محلی خمین، COS16، صدری، KS21193، KS21191 و KS21189 به‌ترتیب ۳۱/۵، ۵۱/۷، ۳۸، ۴، ۲۲/۵ و ۶۳ درصد بود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ژنوتیپ KS21193 کمترین، و ژنوتیپ KS21189 بیشترین کاهش وزن خشک نیام را در شرایط تنش به خود اختصاص دادند. همچنین، بیشترین وزن خشک غلاف در شرایط آبیاری مطلوب از ژنوتیپ KS21191 به‌دست آمد که به‌جز ژنوتیپ COS16 که کمترین میزان را داشت با سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش خشکی هم بیشترین وزن خشک غلاف از ژنوتیپ KS21191 به‌دست آمد که به‌جز ژنوتیپ COS16 که کمترین میزان را در شرایط تنش نیز دارا بود با سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

زیست‌توده

تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک زیست‌توده در سطح ۵ درصد شد، ولی اثر ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). زیست‌توده نشان‌دهندهٔ مادهٔ خشک تجمع‌یافته در اندام هوایی است. در این بررسی تنش خشکی موجب کاهش ۴۱ درصدی زیست‌توده شد. کاهش وزن مادهٔ خشک به‌دلیل کاهش رشد گیاه، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقباً کاهش فتوسنتز و افزایش مواد بازدارندهٔ رشد و کاهش هورمون‌ها (اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها) و پیری و ریزش برگ‌هاست (Hayat & Bhatt & Srinivasa Roa, 2005; Ahmad, 2007). همچنین کاهش ۵۰ درصدی برای زیست‌توده در شرایط تنش خشکی در گیاه نخود و کاهش ۴۰ درصدی در زیست‌تودهٔ لوبیاچیتی گزارش شده است (Nazari Nasi, 2010; Romdhane *et al.*, 2009). اثر متقابل سطوح تنش در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول۳). تنش خشکی در همهٔ ژنوتیپ‌های مورد بررسی میزان زیست‌توده را کاهش داد، اما کمترین کاهش زیست‌توده در ژنوتیپ KS21193 مشاهده شد. همچنین، در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین میزان زیست‌توده از ژنوتیپ KS21191 و کمترین میزان آن از ژنوتیپ صدری به‌دست آمد که با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری نداشتند. در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین و کمترین میزان زیست‌توده به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های KS21193 و KS21189 حاصل شد که با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

نسبت وزن ساقه (SWR)

نتایج تجزیهٔ واریانس، اختلاف معنی‌داری را بین سطوح تنش و اثر ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد نشان داد. ولی اثر متقابل سطوح تنش در ژنوتیپ معنی‌دار نبود (جدول ۴). نسبت وزن ساقه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به‌ترتیب ۸۲ و ۵۹ درصد بود. در واقع تنش خشکی موجب کاهش ۲۸ درصدی نسبت وزن ساقه شد. کاهش نسبت وزن ساقه در شرایط تنش خشکی در آزمایش‌های دیگر نیز گزارش شده است (Jabbari *et al.*, 2010). دلیل کاهش نسبت وزن ساقه در شرایط تنش خشکی این است که بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی در شرایط تنش به اندام‌های زایشی اختصاص می‌یابد و چون بخش‌های زایشی و ساقه همواره بر سر مواد فتوسنتزی با هم رقابت می‌کنند، سهم ساقه از وزن خشک کل کمتر می‌شود.

نسبت وزن برگ (LWR)

تنش خشکی اثر معنی‌داری بر نسبت وزن برگ نداشت، ولی اثر ژنوتیپ‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول۴). اثر متقابل سطوح آبیاری در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. در ژنوتیپ صدری نسبت وزن برگ در اثر تنش خشکی تحت تأثیر قرار نگرفت اما در سایر ژنوتیپ‌ها کاهش یافت (جدول ۵). کاهش در نسبت وزن برگ در گیاه گندم (Jabbari *et al.*, 2010) و گیاه یونجه (Erice *et al.*, 2010) نیز در اثر تنش خشکی گزارش شده است.

با توجه به جدول مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول ۵) بیشترین نسبت وزن برگ در شرایط آبیاری مطلوب از ژنوتیپ COS16 و کمترین آن از ژنوتیپ محلی خمین به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین و کمترین نسبت وزن برگ به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های COS16 و KS21191 حاصل شد (جدول ۵). به‌نظر

می‌رسد ژنوتیپ‌هایی که از وزن خشک برگ بیشتری در مرحلهٔ زایشی برخوردارند، با تخلیهٔ رطوبتی خاک میزان تولید دانه را کاهش می‌دهند.

در بین اندام‌های گیاهی برگ‌ها حساسیت بیشتری نسبت به تنش دارند (Chartzoulakis *et al.*, 2002; Gorka *et al.*, 2011). ازآنجا که بخش عمده‌ای از تعرق از راه برگ‌ها صورت می‌گیرد، به‌نظر می‌رسد تخصیص کمتر مواد فتوسنتزی به برگ که موجب کاهش تعرق می‌شود، سبب اجتناب گیاه از تنش خشکی می‌گردد (Hopkins, 1999).

جدول ۴. میانگین مربعات برخی پارامترهای مرتبط با رشد لوبیاچیتی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات			
		نسبت وزن ساقه	نسبت وزن برگ	نسبت وزن غلاف	عملکرد دانه
تکرار	۳	۰/۰۵*	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۳**	۲۶۶۳۱۹۰/۶^{ns}
سطوح آبیاری	۱	۰/۵۹**	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۱**	۷۵۷۳۶۱۹/۴*
خطای اصلی	۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۷۰۷۷۷۴/۱
ژنوتیپ‌ها	۵	۰/۰۶*	۰/۰۱۵*	۰/۰۳**	۷۴۵۸۹۱/۲**
سطوح آبیاری × ژنوتیپ	۵	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۱**	۰/۰۱^{ns}	۱۹۴۴۹۱/۱*
خطای فرعی	۳۰	۰/۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۶۹۱۹۴/۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۶	۴/۸	۱۱/۹	۱۳/۱

ns، * و **: نبود تفاوت معنی‌دار، و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین پارامترهای مربوط به تخصیص مواد فتوسنتزی و عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیاچیتی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

تیمار	ژنوتیپ‌ها	میانگین				
		وزن خشک برگ ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک غلاف ($g.plant^{-1}$)	زیست‌توده ($g.plant^{-1}$)	نسبت وزن برگ به وزن خشک کل	عملکرد دانه (kg/ha)
آبیاری مطلوب	محلی خمین	۱۵/۵۶ abc	۱۰/۲۶ abcd	۴۳/۵۳ ab	۰/۳۵ abc	۱۵۲۴bc
	COS16	۱۸/۵۵ a	۸/۵۹ bcd	۴۵/۷۶ ab	۰/۴۱ a	۱۶۶۴ b
	صدری	۱۰/۱۸abcde	۱۲/۲۷ abcd	۳۶/۰۶abcd	۰/۲۷ bc	۱۱۱۶ cde
	KS21193	۱۲/۶۷ abcd	۱۲/۶۶ abcd	۴۱/۷۲ abc	۰/۳۰ abc	۱۳۹۱bcd
	KS21191	۱۶/۴۴ ab	۱۷/۵۶ a	۵۳/۹۱ a	۰/۳۰ abc	۲۳۵۱ a
	KS21189	۱۲/۱۵abcde	۱۴/۲ ab	۴۱/۶۷ abc	۰/۳۰ abc	۱۶۳۵ b
تنش خشکی	محلی خمین	۵/۲۲ ef	۷/۰۳ bcd	۱۹/۸۵ d	۰/۲۹ abc	۶۷۹ fg
	COS16	۸/۰۰۷ def	۴/۱۵ d	۲۲/۶۹ cd	۰/۳۶ ab	۶۴۷ g
	صدری	۶/۴۳ def	۷/۶۳ bcd	۲۶/۸۲ bcd	۰/۲۸ abc	۵۸۵ g
	KS21193	۸/۶۸ cdef	۱۲/۱۶ abcd	۳۳/۷۵ bcd	۰/۲۷ bc	۱۰۷۳ def
	KS21191	۷/۹۱ def	۱۳/۶۰ abc	۳۳/۵۲ bcd	۰/۲۳ c	۱۲۰۳ cd
	KS21189	۴/۸۳ f	۵/۲۴ cd	۱۸/۵۵ d	۰/۲۷ bc	۷۲۷ efg

هر ستون میانگین چهار عدد است. میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

نسبت وزن غلاف (PWR)

نتایج تجزیهٔ واریانس، اختلاف معنی‌داری را بین سطوح تنش و اثر ژنوتیپ‌ها در سطح ۱ درصد نشان داد، ولی اثر متقابل سطوح تنش در ژنوتیپ معنی‌دار نشد (جدول۴). در کل تنش خشکی سبب افزایش ۵/۲ درصدی نسبت وزن غلاف شد. بنابراین مشاهده می‌شود که گیاه لوبیا در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، درصد بیشتری از زیست‌توده را به غلاف اختصاص داده و تمایل به اجتناب از شرایط تنش‌زا دارد. به‌نظر می‌رسد که گیاهان مقاوم به تنش

خشکی با کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی برگ و ساقه و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به غلاف‌ها قادر به تولید محصول بیشتری هستند. یک صفت مهم برای سازگاری به خشکی، ظرفیت ارقام برای توزیع مجدد اسمیلات‌های ذخیره‌شده به دانه است و ارقامی مقاوم به خشکی محسوب می‌شوند که در تولید اسمیلات‌ها و انتقال به دانه و غلاف کارامدتر باشند (Romdhane *et al.*, 2009). نتایج آزمایش‌های دیگر نیز بر این موضوع تأکید دارد (Jabbari *et al.*, 2010).

عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار)

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر سطوح تنش در سطح ۵ درصد و اثر ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آنها به‌ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش خشکی به‌ترتیب ۱۶۱۳/۴ و ۸۱۸/۱ کیلوگرم در هکتار بود. به‌عبارت‌دیگر اعمال تنش خشکی سبب کاهش ۴۹/۳ درصدی عملکرد دانهٔ لوبیاچیتی نسبت به شرایط شاهد شد. میزان کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های محلی خمین، COS16، صدری، KS21193، KS21191 و KS21189 به‌ترتیب ۵۵/۵، ۶۱، ۴۷/۵، ۲۳، ۴۹، ۵۵/۵ درصد بود. ژنوتیپ KS21193، که کمترین کاهش عملکرد را داشت، در شرایط تنش بعد از ژنوتیپ KS21191، بیشترین وزن خشک غلاف و کمترین نسبت وزن برگ را دارا بود. بیشترین میزان زیست‌توده را نیز در این شرایط دارا بود (جدول ۵)، که می‌تواند دلیل کاهش کمتر این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها باشد. از دلایل کاهش بیشتر عملکرد دانهٔ ژنوتیپ COS16 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، می‌توان به دارا بودن کمترین وزن خشک غلاف و بیشترین نسبت وزن برگ در شرایط تنش خشکی، نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها اشاره کرد (جدول ۵). نتایج تحقیقات سایر آزمایش‌ها نیز حاکی از کاهش عملکرد دانه در گیاه لوبیا بر اثر تنش خشکی است (Munoz- Perea *et al.*, 2006; Parida-Ramirez *et al.*, 2005).

مقایسهٔ میانگین اثرهای متقابل سطوح تنش و ژنوتیپ (جدول ۵) نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ KS21191 بود که با سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین میزان عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب مربوط به ژنوتیپ صدری و بیشترین میزان آن در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ KS21191 بود که البته با ژنوتیپ‌های KS21193 و KS21189 تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان عملکرد دانه نیز در شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ صدری بود.

همبستگی بین صفات

ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در جدول ۶ مشاهده می‌شود. در شرایط آبیاری مطلوب عملکرد دانه با وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک غلاف و وزن خشک کل و نسبت وزن ساقه همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، بوته‌های درشت‌تر لوبیا، در شرایط فاریاب عملکرد بیشتری تولید می‌کنند. عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب با نسبت وزن ساقه همبستگی منفی و با وزن خشک غلاف همبستگی مثبتی نشان می‌دهد. در شرایط تنش خشکی هم وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک غلاف و وزن خشک کل و نسبت وزن غلاف همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند (جدول ۶). نتایج آزمایش‌های دیگر نیز مؤید این مطلب است (Nazari Nasi, 2010). به‌عبارت دیگر ژنوتیپ‌هایی که درصد بیشتری از وزن خشک خود را به غلاف اختصاص دهند و غلاف‌های بیشتر و سنگین‌تری داشته باشند، در شرایط تنش خشکی از عملکرد دانهٔ بیشتری برخوردار خواهند بود. در آزمایش‌های دیگری نیز، همبستگی بالا بین عملکرد دانه با وزن خشک غلاف گزارش شده است (Habibi *et al.*, 2008). در ضمن بین نسبت وزن ساقه و نسبت وزن برگ با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی همبستگی منفی مشاهده می‌شود (جدول ۶). همبستگی منفی معنی‌داری هم بین نسبت وزن غلاف با وزن خشک برگ و نسبت وزن ساقه و نسبت وزن برگ در شرایط تنش خشکی وجود دارد (جدول ۶). این یافته‌ها مؤید آن است که ساقه و برگ‌ها با غلاف‌ها برای دریافت مواد فتوسنتزی باهم رقابت می‌کنند و در صورتی که گیاه لوبیا دارای ساقهٔ سنگین‌تری باشد،

درصد کمتری از مواد فتوسنتزی را به غلاف اختصاص می‌دهد که این موجب کاهش عملکرد می‌شود. این یافته‌ها با یافته‌های محققان دیگر نیز مطابقت دارد (Jabbari *et al.*, 2010).

جدول ۶. ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی (اعداد بالایی) و آبیاری مطلوب (اعداد پایینی)

	SDW	LDW	PDW	TDW	SWR	LWR	PWR
LDW	۰/۶۰**						
	۰/۸۹**						
PDW	۰/۷۷**	۰/۴*					
	۰/۶۸**	۰/۴۸*					
TDW	۰/۸۳**	۰/۶۷**	.۰/۹۵**				
	۰/۹۲**	۰/۸۶**	۰/۸۶**				
SWR	۰/۱۴	-۰/۱۶	-۰/۱۱	-۰/۱۴			
	-۰/۳۸	-۰/۴۰	-۰/۳۸	-۰/۴۵*			
LWR	-۰/۴۶*	۰/۲۶ns	-۰/۸۵**	-۰/۶۹**	۰/۰۸		
	۰/۱۶ns	۰/۴۲*	-۰/۵۳**	-۰/۰۶ns	۰/۴۳*		
PWR	۰/۴۶*	-۰/۲۶ns	۰/۸۵**	۰/۶۸**	-۰/۸۰	-۱**	
	-۰/۱۶ns	-۰/۴۲*	۰/۵۳**	۰/۰۶ ns	۰/۳۰	-۱**	
YIELD	۰/۵۷**	۰/۴۲*	۰/۷۶**	۰/۷۶**	-۰/۱۵	-۰/۶۴**	۰/۶۴**
	۰/۷۱**	۰/۷۲**	۰/۵۴**	۰/۷۴**	-۰/۵۷**	۰/۱۵ ns	-۰/۱۵ns

ns، * و **: نبود تفاوت معنی‌دار، و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

نتیجه‌گیری

تنش خشکی در مراحل زایشی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک غلاف، زیست‌توده، نسبت وزن ساقه، نسبت وزن برگ و عملکرد دانهٔ گیاه زراعی لوبیاچیتی شد. کاهش عمدهٔ عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در نتیجهٔ افت وزن خشک غلاف و وزن زیست‌توده بود. همچنین تنش خشکی به افزایش نسبت وزن غلاف منجر شد. به‌نظر می‌رسد که گیاهان مقاوم به تنش خشکی با کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی برگ و ساقه و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به غلاف‌ها قادر به تولید محصول بیشتری هستند. در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های KS21191 و KS21193 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، بیشترین وزن خشک غلاف و زیست‌توده را دارا بودند و مواد فتوسنتزی کمتری به برگ‌ها اختصاص دادند که در نتیجه این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی دارای عملکرد دانهٔ بیشتری نیز بودند. بنابراین می‌توان از این دو ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب برای ارزیابی‌های تکمیلی در شرایط تنش کمبود آب استفاده کرد. ژنوتیپ صدری در شرایط تنش خشکی به‌دلیل اختصاص درصد بیشتری از وزن خشک کل به برگ‌ها (نسبت وزن برگ بیشتر) و وزن خشک غلاف کمتر نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، عملکرد دانهٔ کمتری در شرایط تنش خشکی داشت.

به‌طور کلی تنش خشکی موجب تغییر در تخصیص مواد فتوسنتزی می‌شود و به تحقیقات بیشتری در این زمینه نیاز است. با توجه به اینکه این آزمایش در یک سال زراعی انجام گرفته است، پیشنهاد می‌شود که این آزمایش در چند سال و در مناطق مختلف دیگر نیز بررسی شود.

REFERENCES

1. Bhatt, R. M. & Srinivasa Roa, N. K. (2005). Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian J.Plant Physiol*, 10, 54-59.
2. Boogard, R., Veneklaas, E. & Lambers, H. (1996). The association of biomass allocation with growth and water use efficiency of two *T.aestivum* cultivars. *Australian Journal of Plant Physiology*, 23, 751-761.
3. Chartzoulakis, K., Patakas, A., Kofidis, G., Bosabalidis, A. & Nastou, A. (2002). Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Sci. Hortic*, 95, 39-50.

4. Erice, G., Louahlia, S., Irigoyen, J. J., Sanchez-Diaz, M. & Avice, J. C. (2010). Biomass partitioning, morphology and water status of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *J. Plant Physiol*, 167, 114-120.
5. Frahm, M. A., Rosas, J. C., Mayek-Perez, N., Lopez-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J.A. & Kelly, J. D. (2004). Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136(2), 223-232.
6. Foster, E. F., Pajarito, A. & AcostaGallegos, J. (1995). Moisture stress impact on N partitioning, N remobilization and N-use efficiency in beans (*Phaseolus vulgaris*). *J Agric Sci (Cambridge)*, 124, 27-37.
7. Gorka, E., Louahlia, S., Irigoyen, J. J., Sánchez-Díaz, M., Alami, I. T. & Avice, J. C. (2011). Water use efficiency, transpiration and net CO2 exchange of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 72, 123-130.
8. Habibi, G. R., Bihamta, M. R., Souhani, A. R. & Dorii, H. R. (2008) .A study of some morphological characteristics affecting grain yield and yield components in bean under reduced irrigation. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 39 (1), 51-62. (in Farsi)
9. Hayat, S. & Ahmad, A. (2007). Salicylic acid. A plant hormone. *Springer*, 97-99.
10. Hopkins, W. G. (1999). *Introduction to Plant Physiology*. John Wiely. New York.
11. Jabbari, F., Ahmadi, A. & Pour Yousef, M. (2010). Evaluation of relative growth rate and allocation of assimilates in resistant and susceptible wheat cultivars (*Cicer arietinum* L.) to drought stress. *Iranian Journal of Modern Agricultural Technologies*, 4(2), 41-58. (in Farsi)
12. Jolaei, M. (2005). *The effect of mild water stress on some physiological characteristics and the level of enzyme activity of anti-oxidants of different cultivars of wheat*. MSc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. (in Farsi)
13. Kazemi Arbat, H. (1999). *Dryland farming*. Tabriz University Publications. Tabriz, Iran, pp 507. (in Farsi)
14. Keller, J. & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkler and trickle irrigation*. An avi book, Van Nostrand Reinhold, New York, pp 652.
15. Kisman, A. (2003). Effects of drought stress on growth and yield of soybean. *Sci. Phil. Term paper. Borgor Agric. Univ. (Institut Ppertanian Borgor).*
16. Kouchacki, A. & Banayan Avval, M. (1994). *Agricultural crops*. Third Edition. Mashhad University Jihad Publications, Mashhad, Iran. (in Farsi)
17. Lak, S., Naderi, N., Siadat, S. A., Aynehband, A. & Noormohammadi, G. h. (2007). Effects of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid KSC 704 at different nitrogen rates and plant population. *Iranian J. Agric. Sci. Natur, Resour*, 14(2), 63-76. (in Farsi)
18. Majnon Hosein, N. (2009). *Agronomy and Pulses Production*, 4th edition. Tehran University Jihad Publications, Tehran, Iran. (in Farsi)
19. Munoz- Perea, C.G., Teran, H., Allen, R.G., Wright, J.L., Westermann, D.T. & Singh, S.P. (2006). Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci*, 46, 2111-2120.
20. Nazari Nasi, H. (2010). *Effect of drought stress on cell membrane stability, photosynthesis rate, relative water content and seed yield of pinto bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars*. M. Sc. dissertation, University of zanjan, Zanjan, Iran. (in Farsi)
21. Nilsen, E. T. & Orcutt, D. M. (1996). The Physiology of plants under *stress*. John Wiley & sons, New York. pp. 322-361.
22. Parida-Ramirez, J. S., Acosta-Gallegos, J. A., Acosta-Diaz, E., Mayek- Perez, N. & Kelly, J. D. (2005). Partitioning and partitioning rate to seed yield in drought stressed and non-stressed dry bean genotypes. *Ann. Rep. Bean Improv, Crop*, 48, 153-175.
23. Parsa, M. & Bagheri, A. (2008). *Legumes*. Mashhad University Jihad Publications. Mashhad, Iran, pp 522. (in Farsi)
24. Richards, R. A. (1987). Physiology and the breeding of winter-grown creales for dry areas. 133-145. In Srivestave J. P., E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma eds. *Drought tolerance in winter cereals*. John Wiley Press. New York.
25. Romdhane, S. B., Trabelsib, M., Elarbi, M., Lajudie, P. & Mhamdia, R. (2009). The diversity of rhizobia nodulating chickpea (*Cicer arietinum*) under water deficiency as a source of more efficient inoculants. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 2568-2572.
26. Rosales-Serna, R., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J. A., Trejo-Lopez, C., Ortiz-Cereceres, J. & Kelly, J. D. (2002). Yield and phenological adjustment in four drought-stressed common bean cultivars. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop*, 45, 198-199.
27. Rynolds, M. P., Mujeeb-kazi, A. & Sawkins, M. (2005). Prospects for utilizing plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought and salinity-prone environments. *Ann. Biol*, 146, 239-259.

28. Saxena, C. M., Silim, S. N. & Singh, B. K. (1990). Effect of supplementary irrigation during reproductive growth on winter and spring chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a Mediterranean environment. *J. Agric. Sci*, 114, 285-293.
29. Shenkut, A. A. & Brick, M. A. (2003). Traits associated with dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) productivity under diverse soil moisture environments. *Euphytica*, 133(3), 339-347.
30. Sivakumar M. V. K. & Shaw, R. H. (1978). Methods of growth analysis in field grown soybean (*Glycine max* L. Merill). *Ann Bot*, 42, 213-222.
31. Sivaramaiah, N., Malik, D. K. & Sindhu, S. S. (2007). Improvement in symbiotic efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*) by co inoculation of *Bacillus* strains with *Mesorhizobium* sp. *Cicer*. *Indian Journal of Microbiology*, 47, 51-56.
32. Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. & Koca, H. (2005). Differential responses 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.
33. Zobayed, S. M. A., Afreen, F. & Kozai, T. (2007). Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. Johns wort plants under a water stress condition. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 109-116.