

تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی و محتوای رنگدانه‌های نورساختی در ژنوتیپ‌های لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.)

الهام سلطانی^۱، عبدالهادی حسین‌زاده^{۲*} و علی‌رضا عباسی^۲

۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر، ۱۶ ژنوتیپ لوبیای معمولی در سطوح مختلف تنش اسمزی شاهد، ۴-، ۸- و ۱۲- بار پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار بررسی شد. تنش خشکی از روز اول کشت بذر در پتری دیش اعمال و نمونه‌گیری ۹ روز پس از اعمال تنش از ریشه‌چه و ساقه‌چه انجام شد. نتایج نشان داد، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود. به منظور ارزیابی تأثیر فیزیولوژی مقاومت به تنش خشکی سه ژنوتیپ GE-288، K-S-31167 و Naz حاصل از غربالگری آزمایش جوانه‌زنی در سطوح تنش ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به همراه شاهد در مرحله گیاهچه‌ای بررسی شد. تنش خشکی پنج هفته پس از کاشت اعمال و ده روز پس از اعمال تنش نمونه‌گیری از سه برگچه دوم انجام شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث تغییر در محتوای رنگدانه‌های نورساختی (فتوستزی) و محتوای نسبی آب می‌شود. ژنوتیپ متحمل K-S-31167 نسبت به دو ژنوتیپ به نسبت متحمل GE-288 و حساس Naz رنگدانه‌های نورساختی و محتوای نسبی آب بیشتر داشت. که نشان‌دهنده پایداری غشایی بالاتر این ژنوتیپ در شرایط تنش است.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، جوانه‌زنی، لوبیا، محتوای سبزینه و کاروتنوئید.

Effects of drought stress on germination and photosynthetic pigments content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes

Elham Soltani¹, Abdol Hadi Hosseinzadeh^{2*} and Alireza Abbasi²

1, 2. Former M. Sc. Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Agricultural Science and Engineering College, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Dec. 8, 2015 - Accepted: Mar. 1, 2016)

ABSTRACT

To evaluate the effects of drought stress on seed characteristics, seeds of the tolerant and sensitive genotypes of common bean were placed in petri dishes containing polyethylene glycol 6000 with concentration equal to -4, -8 and -12 bar, according to CRD Design with three replication using factorial arrangement, Nine day later, radicle and caulicle length were measured. The result showed that drought stress decreased germination speed and percentage, radicle and caulicle length, radicle fresh and dry weight, caulicle fresh and dry weight. To study the physiological processes, three genotypes including K-S-31167, GE-288 and Naz were respectively tolerant, relatively tolerant and sensitive to drought stress were selected from first experiment and were subjected to 4 level of drought stress based on 25, 50, 75 and 100 percent of field capacity using CRD design with three replication using factorial arrangement, Drought stress was applied five weeks after planting and lasted for 10 days. Second trifoliolate were used for sampling. The results indicated significant changes in the photosynthetic pigments content (PPC) and relative water content (RWC). Tolerant genotype (K-S-31167) had greater PPC and RWC compare to relatively tolerant genotype (GE-288) and sensitive genotype (Naz). This indicates that resistant genotype had higher membrane stability during stress.

Keywords: Common bean, drought, germination, photosynthetic pigments.

مقدمه

لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) دومین گیاه لگوم پس از سویا است که با داشتن پروتئین، فیبر و مواد کانی بالا به‌عنوان یک غذای کامل مطرح است (Beebe & McClafferty, 2006). حدود ۶۰ درصد از تولید لوبیا در کشورهای در حال توسعه در شرایط تنش خشکی انجام می‌گیرد (Singh, 2007). خشکی منجر به کاهش قابلیت دسترسی به آب شده و در نتیجه اثرگذاری نامطلوبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دارد (Kaya, 2006). یکی از پیامدهای رایج ناشی از تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب در بستر بذر است که در مراحل اولیه جوانه‌زنی، منجر به کاهش جذب آب توسط دانه و بازدارندهٔ تداوم فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی شده (Boydak, 2003) و در نتیجه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه می‌شود (Kafi, 2005; Ghani et al., 2009).

در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری، میزان محتوای نسبی آب، سبزینه (کلروفیل) و کارتنوئید تغییر می‌کند. مشخص شده است که در شرایط تنش، غشاء پلاسمایی از نخستین قسمت‌هایی است که آسیب می‌بیند (Levitt et al., 1980). پایداری غشاء یاخته‌ای و محتوای نسبی آب از صفات مهم برای انتخاب رقم‌ها برای تحمل به خشکی هستند و ژنوتیپ‌هایی با محتوای نسبی آب بالا، عملکرد دانه بالایی تولید می‌نمایند، این ژنوتیپ‌ها از راه حفظ توازن آب در برگ‌ها تنش خشکی را بهتر تحمل می‌کنند (Saneoka et al., 2004; Bayoumi et al., 2008; Gunes et al., 2008).

تنش‌های غیرزنده مانند تنش خشکی، هم با تأثیر اسمزی و هم با تأثیر سمیت یون، در گیاهان موجب تغییر میزان سبزینه و کارتنوئید می‌شود. کارایی نورساخت (فتوسنتز) موجب کاهش فرایندهای رشدی و نمو گیاه مانند جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و در نهایت، کاهش تولید محصول می‌شود (Zheng, 2009). یکی از مهم‌ترین اثرگذاری تنش خشکی آسیب‌های اکسایشی (اکسیداتیو) است که سبب معیوب شدن

سامانه‌های دفع مسمومیت از گونه‌های اکسیژن رادیکال آزاد می‌شود و پراکسیداسیون اسیدهای چرب، کاهش محتوای سبزینه و کاهش رنگدانه‌های کمکی مانند کاروتنوئیدها را در پی دارد (Arshi et al., 2012; Sharifi, 2012; Rasool, 2013).

با توجه به اهمیت بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر در رویارویی گیاه با انواع تنش‌ها لازم است که در مورد نحوهٔ تحمل تنش خشکی در ژنوتیپ‌های لوبیا تحقیقی صورت پذیرد. هدف از این تحقیق ارزیابی جوانه‌زنی و رشد اولیهٔ گیاهچه‌ها و میزان سبزینه و کاروتنوئید در مرحلهٔ گیاهچه‌ای در سطوح مختلف خشکی بین ژنوتیپ‌های لوبیا بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش شانزده ژنوتیپ لوبیا (ژنوتیپ‌های GE-288, Bahman, Naz, ۷۴۴, ۱۵۲۳, ۷۶۱, ۷۲۱, ۴۴۳, ۷۹۶, ۶۹۸, ۷۸۸, ۲۸۸, ۱۴۶۶, K-S-31167, ۷۸۴, ۱۶۹) که از بانک ژن گروه زراعت واقع در دانشکدهٔ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج تهیه شده بودند در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط نرمال و تنش خشکی با پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ قرار گرفتند. تنش خشکی در سه سطح شامل ۴-، ۸-، ۱۲- بار و شاهد به روش Michel & Kaufmann (1972) اعمال شد. به‌منظور ارزیابی جوانه‌زنی بذر، پس از ضدعفونی بذر با هیپوکلرید سدیم درصد ۲ به مدت ۴ دقیقه و شستشو با آب مقطر، در پتری‌دیش‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر ده عدد بذر لوبیا قرار داده شده و به هریک از پتری‌دیش‌ها ۱۰ میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ افزوده شد و بذرهای شاهد نیز با آب مقطر تیمار شدند. در نهایت پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور و در تاریکی در دمای بهینه برای جوانه‌زنی بذر لوبیا (۲۰ درجهٔ سلسیوس) قرار داده شد. خروج (میلی‌متری ریشه‌چه به‌عنوان معیار بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد، درصد جوانه‌زنی محاسبه شد و یادداشت‌برداری روزانه انجام گرفت و در نهایت پس از ۹ روز طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه و وزن تر ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها سپس به مدت سه

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC)

سنجش محتوای نسبی آب به روش Weatherley & Barrs (1962) انجام و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$= \text{محتوای نسبی آب } (\%) \times 100 = \frac{(\text{وزن خشک نمونه گیاهی} - \text{وزن تر نمونه گیاهی})}{(\text{وزن خشک نمونه گیاهی} - \text{وزن آماس})}$$

اندازه‌گیری محتوای سبزینه و کاروتنوئید

سنجش محتوای سبزینه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفوتومتر، Shimadzu uv 180) و به روش Arnon (1949) انجام شد. تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین صفات به روش دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد با نرم‌افزار SAS انجام شد. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه دارد و با کاهش پتانسیل آب و افزایش میزان خشکی این صفات کاهش می‌یابد (جدول ۱ و شکل‌های ۱ تا ۴). بررسی روند تغییرپذیری (منحنی پاسخ) برای سطوح تنش نیز نشان داد که رابطه خطی با شیب منفی بین سرعت جوانه‌زنی و تنش خشکی و طول ریشه‌چه و تنش خشکی و همچنین رابطه درجه دوم بین دیگر صفات و تنش خشکی وجود دارد (شکل‌های ۵ تا ۸).

درصد جوانه زنی و سرعت جوانه‌زنی

بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی به ترتیب در سطح شاهد (۱۰۰ درصد) و ۸- بار (۵۰ درصد) مشاهده شد (شکل ۱). در سطح ۴- بار به‌جز ژنوتیپ Naz در دیگر ژنوتیپ‌ها درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری نداشت (شکل ۱). در سطح ۸- بار تغییر معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ K-S-31167 نسبت به شاهد خود مشاهده نشد ولی دو ژنوتیپ دیگر نسبت به شاهد خود، کاهش معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی نشان دادند،

روز در آون و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از سه روز وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. همچنین سرعت جوانه‌زنی برابر رابطه زیر محاسبه شد (Khan & Ungar, 1984):

$$GR = \sum Gi / Ti$$

GR = سرعت جوانه‌زنی

Gi = درصد جوانه‌زنی در روز iام

Ti = شمار روزهای تا جوانه‌زنی

آزمایش گلخانه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۲ در گلخانه گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج انجام شد. سطوح آبیاری شامل آبیاری معمولی، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان عامل اول و ژنوتیپ‌های به‌دست‌آمده از غربالگری آزمون جوانه‌زنی شامل ژنوتیپ متحمل (K-S-31167)، به نسبت متحمل (GE-288)، حساس (Naz) به‌عنوان عامل دوم در نظر گرفته شدند. در آغاز خاک موجود در گلخانه از الک عبور داده شد و به نسبت ۳:۲ با ماسه بادی (۳ خاک و ۲ ماسه بادی) مخلوط شد. میزان ظرفیت زراعی (FC) خاک نیز با استفاده از دستگاه دیسک صفحه فشاری^۱ اندازه‌گیری شد که میزان آن ۱۸ درصد بود. از گلدان‌های سفالی ۲ کیلوگرمی برای کشت استفاده شد. از هر ژنوتیپ شمار پنج عدد بذر پس از ضدعفونی با هیپوکلرید ۲ درصد در گلدان‌ها کشت شد. پس از سبز شدن و ظهور برگ‌های اصلی، گلدان‌ها به شمار سه بوته در هر گلدان تنک شدند. شرایط نوری و دمایی رشد گیاهان شامل ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی با دمای ۲۲ درجه سلسیوس بود. در آغاز به‌اندازه ظرفیت زراعی خاک آبیاری صورت گرفت و پس از پنج هفته از کشت گیاهان، تیمارهای مختلف آزمایشی اعمال شد. در نهایت ده روز پس از اعمال تنش برای انجام آزمایش‌ها از سه برگچه دوم گیاهان نمونه برگی گرفته شد.

1. Field Capacity
2. Pressure plate

اذعان داشتند که با کاهش پتانسیل آب ناشی از PEG درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. تنش خشکی و محدودیت جذب آب توسط دانه، از راه تأثیر بر انتقال ذخایر دانه و ساخت (سنتر) پروتئین‌ها در رویان به‌احتمال علت اصلی کاهش میزان جوانه‌زنی است (Dodd & Donovan, 1999).

به‌طوری‌که در این سطح تنش ژنوتیپ K-S-31167 کمترین درصد کاهش جوانه‌زنی (۳ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) و ژنوتیپ Naz بیشترین میزان آن (۵۰ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) را داشتند (شکل ۱). این نتایج با یافته‌های دیگر محققان همخوانی دارد (Ghani *et al.*, 2009; Heidari & Purusef, 2011). آنان

جدول ۱. تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه ۱۶ ژنوتیپ لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۴، -۸ و -۱۲ بار

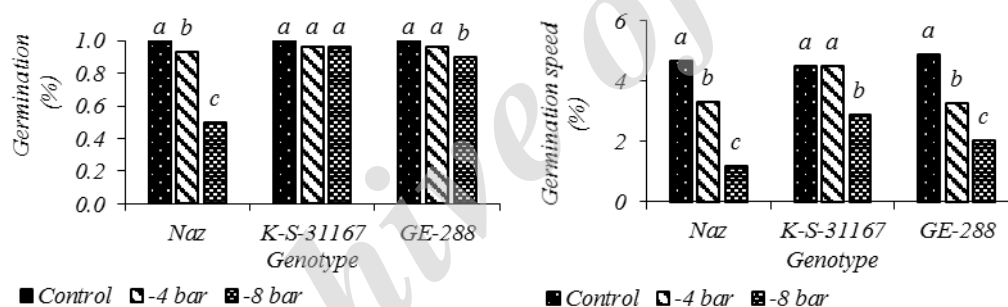
Table 1. Analysis of variance for the percentage germination, germination speed, radicle length, plumule length, radicle fresh weight, radicle dry weight, plumule fresh weight, plumule dry weight in K-S-31167, GE-288 and Naz bean genotypes at control, -4, -8 and -12 bar

ANOVA	df	Mean squares							
		Germination percentage	Germination speed	Radicle length	Plumule length	Radicle Fresh weight	Radicle dry weight	Plumule fresh weight	Plumule dry weight
Genotypes	15	0.14**	2.15**	4.11**	1.034**	0.18**	0.002**	0.39**	0.003
Stress	3	9.11**	181.62**	116.74**	97.13	6.41**	0.057**	46.89	0.25**
Genotypes × Stress	45	0.08**	0.74**	1.28**	0.46**	0.12**	0.001**	0.35**	0.002**
Error	128	0.004	0.05	0.02	0.01	0.0004	0.00001	0.01	0.00003
CV (%)		11.01	10.12	8.17	8.16	7.92	8.96	16.5	9.88

** Significant ($P \leq 0.01$).

** معنادار در سطح احتمال یک درصد.

CV: Coefficient of Variation



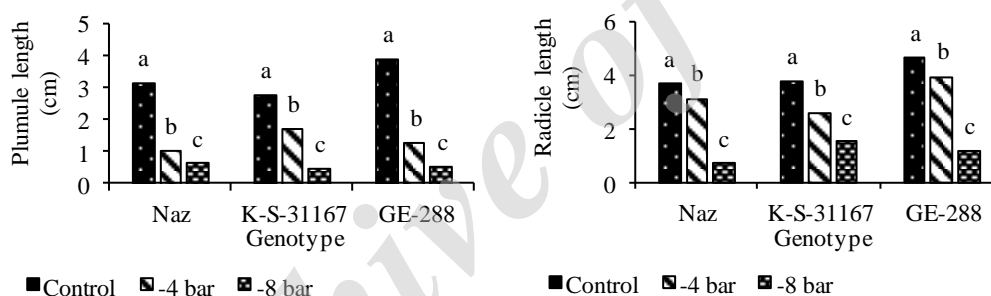
شکل ۱. میانگین درصد جوانه‌زنی (شکل سمت چپ) و سرعت جوانه‌زنی (شکل سمت راست) ژنوتیپ‌های K-S-31167، GE-288 و Naz لوبیا در ۳ سطح تیماری شاهد، -۴ و -۸ بار (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند).

Figure 1. Change in the percentage germination and germination speed in K-S-31167, GE-288 and Naz bean genotypes at control, -4 and -8 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$).

کمترین کاهش سرعت جوانه‌زنی و ژنوتیپ GE-288 (۳۳/۵ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) بیشترین میزان آن را داشتند (شکل ۱). در سطح -۸ بار همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان دادند، در این سطح تنش کمترین کاهش سرعت جوانه‌زنی در ژنوتیپ K-S-31167 (۳۵/۸۸ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن در ژنوتیپ Naz (۷۴/۷ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۱). این نتایج با یافته‌های دیگر محققان

بیشترین و کمترین درصد سرعت جوانه‌زنی به ترتیب در سطح شاهد و -۸ بار مشاهده شد (شکل ۱) در سطح شاهد بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به ژنوتیپ GE-288 (۴/۸۸ درصد در روز) و کمترین سرعت مربوط به ژنوتیپ K-S-31167 (۴/۴۷ درصد در روز) بود (شکل ۱). در سطح -۴ بار به‌جز ژنوتیپ K-S-31167 دیگر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان دادند، در این سطح تنش ژنوتیپ K-S-31167 (۰ درصد کاهش نسبت به شاهد خود)

در سطح شاهد و ۸- بار مشاهده شد (شکل ۲). در سطح شاهد بیشترین طول ریشه‌چه مربوط به ژنوتیپ GE-288 و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ Naz بود (شکل ۲). در سطح ۴- بار همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان دادند در این سطح تنش ژنوتیپ Naz (۴/۶۲ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) کمترین کاهش طول ریشه‌چه و ژنوتیپ K-S-31167 (۳۱/۴۱ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) بیشترین میزان آن را داشتند (شکل ۲). در سطح ۸- بار نیز همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان دادند و در این سطح تنش کمترین کاهش طول ریشه‌چه در ژنوتیپ K-S-31167 (۵۹ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن در ژنوتیپ Naz (۸۰ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲. میانگین طول ریشه‌چه (شکل سمت چپ) و ساقه‌چه (شکل سمت راست) ژنوتیپ‌های Naz، K-S-31167، GE-288 و Naz لوبیا در ۳ سطح تیماری شاهد، ۴- و ۸- بار (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند).

Figure 2. Change in the radicle length and plumule length in K-S-31167, GE-288 and Naz bean genotypes at control, -4 and -8 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$).

نسبت به شاهد خود نشان دادند، در این سطح تنش کمترین کاهش طول ساقه‌چه در ژنوتیپ Naz (۷۷/۸۸ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن در ژنوتیپ GE-288 (۸۶/۰۶ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۲). این نتایج با یافته‌های دیگر محققان همخوانی دارد آنان بیان داشتند که با کاهش پتانسیل آب ناشی از PEG طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. شرایط کم‌آبی و پتانسیل منفی آن روی جذب آب یاخته‌ها تأثیر گذاشته و در نتیجه فشار آماس

همخوانی دارد (Ghani *et al.*, 2009; Heidari & Purusef, 2011). آنان بیان داشتند که با کاهش پتانسیل آب ناشی از PEG سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که این موضوع گویای آن است که افزایش خشکی اثر بازدارندگی بر جوانه‌زنی بذر دارد. به نظر می‌رسد این اثر ناشی از افزایش فشار اسمزی و کاهش جذب آب توسط بذر باشد. چنانچه جذب آب توسط بذر دچار اختلال شود و یا جذب به‌آرامی صورت گیرد، فعالیت‌های سوخت‌وسازی (متابولیکی) جوانه‌زنی درون بذر به‌آرامی انجام خواهد شد و در نتیجه مدت‌زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و لذا سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (De & Kar, 1994).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

بیشترین و کمترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به ترتیب

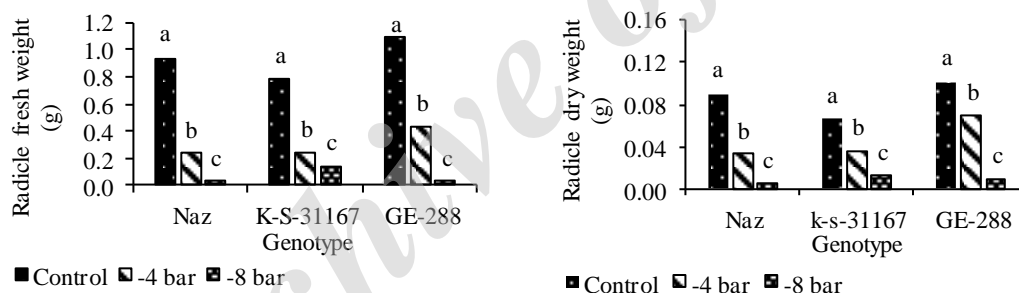
از نظر طول ساقه‌چه در سطح شاهد بیشترین طول ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ GE-288 و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ K-S-31167 بود (شکل ۲). در سطح ۴- بار همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد خود نشان دادند در این سطح تنش ژنوتیپ K-S-31167 (۳۷/۷ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) کمترین کاهش طول ساقه‌چه و ژنوتیپ GE-288 (۶۶/۷۴ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) بیشترین میزان کاهش را دارا بودند (شکل ۲). در سطح ۸- بار نیز همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری

شاهد خود تفاوت معنی‌داری نشان دادند. در این سطح تنش ژنوتیپ GE-288 کمترین کاهش وزن تر و خشک ریشه‌چه (۶۰/۸۴ درصد کاهش وزن تر ریشه‌چه و ۳۲/۳۵ درصد کاهش وزن خشک ریشه‌چه نسبت به شاهد خود) و ژنوتیپ Naz بیشترین میزان کاهش این صفات (۷۴/۷۹ درصد کاهش وزن تر ریشه‌چه و ۶۳/۳۳ درصد کاهش وزن خشک ریشه‌چه نسبت به شاهد خود) را داشتند. در سطح ۸- بار نیز همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند و در این سطح تنش کمترین کاهش وزن تر و خشک ریشه‌چه در ژنوتیپ K-S-31167 (۸۱/۶۳ درصد کاهش وزن تر ریشه‌چه و ۸۰/۶۰ درصد کاهش وزن خشک ریشه‌چه نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان این صفات در ژنوتیپ Naz (۹۶/۸۱ درصد کاهش وزن تر ریشه‌چه و ۹۴/۴۴ درصد کاهش وزن خشک ریشه‌چه نسبت به شاهد خود) مشاهده شد.

(تورژسانس) لازم برای بزرگ شدن یاخته‌ها کاهش یافته و توقف و کند شدن رشد را سریع می‌کند. در شرایط تنش خشکی کاهش جذب آب توسط بذرها باعث کاهش سرعت فعالیت‌های سوخت‌وسازی بذرها، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) می‌شود (Ghani *et al.*, 2009; Macar *et al.*, 2009; Haidari & Purusef, 2011).

وزن تر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

با افزایش تنش از ۰ به ۸- بار، وزن تر و خشک ریشه‌چه کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۳). در سطح شاهد کمترین و بیشترین وزن تر و خشک ریشه‌چه به ترتیب در ژنوتیپ‌های K-S-31167 و GE-288 مشاهده شد (شکل ۳). در سطح ۴- بار همه ژنوتیپ‌ها از نظر کاهش وزن تر و وزن خشک ریشه‌چه نسبت به



شکل ۳. میانگین وزن تر ریشه‌چه (شکل سمت چپ) و وزن خشک ریشه‌چه (شکل سمت راست) ژنوتیپ‌های K-S-31167، Naz و GE-288 لوبیا در ۳ سطح تیماری شاهد، ۴- و ۸- بار (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند).

Figure 3. Change in the radicle fresh weight and radicle dry weight in K-S-31167, GE-288 and Naz bean genotypes at control, -4 and -8 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$).

خود) و K-S-31167 (۶۱/۳۹ درصد کاهش وزن خشک ساقه‌چه نسبت به شاهد خود) به ترتیب کمترین کاهش وزن تر و خشک ساقه‌چه را داشتند و ژنوتیپ Naz بیشترین میزان کاهش این صفات (۸۶/۳۴ درصد کاهش وزن تر ساقه‌چه و ۶۸/۱۵ درصد کاهش وزن خشک ساقه‌چه نسبت به شاهد خود) را داشت (شکل ۴). در سطح ۸- بار نیز همه ژنوتیپ‌ها نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند، در این سطح تنش کمترین کاهش وزن تر و خشک ساقه‌چه در

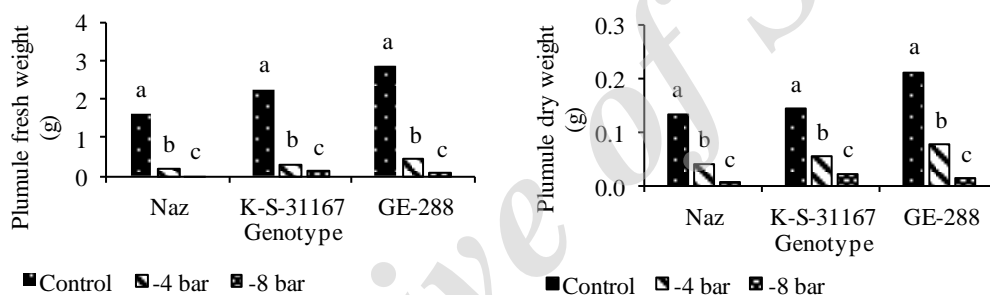
همچنین بیشترین وزن تر و خشک ساقه‌چه به پتانسیل آب ۰ و کمترین آن به پتانسیل ۸- بار تعلق داشت (شکل ۴). در سطح شاهد کمترین و بیشترین وزن تر و خشک ساقه‌چه به ترتیب در ژنوتیپ‌های Naz و GE-288 مشاهده شد (شکل ۴). در سطح ۴- بار همه ژنوتیپ‌ها از نظر کاهش وزن تر و وزن خشک ساقه‌چه نسبت به شاهد خود تفاوت معنی‌داری نشان دادند. در این سطح تنش ژنوتیپ‌های GE-288 (۸۴/۶۲ درصد کاهش وزن تر ساقه‌چه نسبت به شاهد

شده است که بنا بر نتایج این بررسی است (Haidari & Purusef, 2011; De & Kar, 1994). به نظر می‌رسد کاهش وزن تر در گیاهان در شرایط تنش خشکی، به دلیل جلوگیری از توسعه و رشد یاخته‌های ناشی از کاهش فشار تورگر باشد (Rane *et al.*, 2001). کاهش وزن ماده خشک به دلیل کاهش رشد گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش نورساخت و پیری و ریزش برگ‌ها است (Bhatt & Srinivasa-Rao, 2005).

محتوای نسبی آب (RWC)

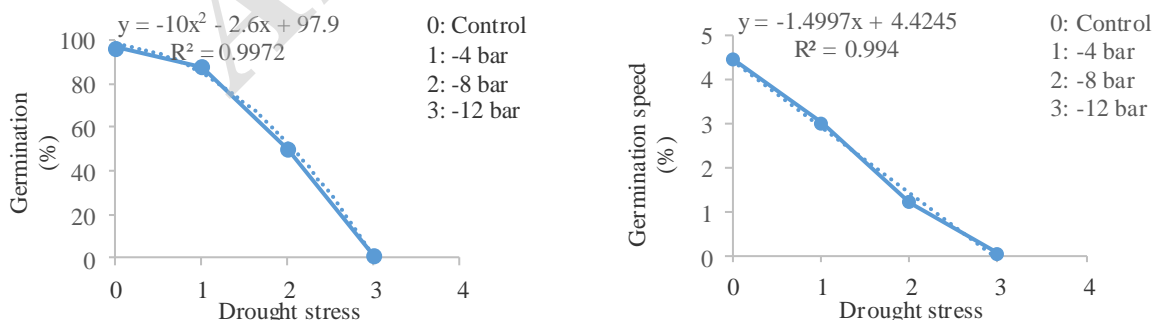
نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که محتوای نسبی آب تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، با کاهش پتانسیل آب، این صفت کاهش می‌یابد (جدول ۲ و شکل ۹).

ژنوتیپ K-S-31167 (به ترتیب با ۹۴ درصد و ۸۲/۷۶ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن‌ها در ژنوتیپ Naz (۹۸/۲۴ درصد کاهش وزن تر ساقه‌چه و ۹۴/۸۱ درصد کاهش وزن خشک ساقه‌چه نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۴). بنا بر نتایج به دست آمده وزن تر گیاهچه به شدت تحت تأثیر خشکی قرار گرفته و کاهش چشمگیری با افزایش تنش نشان داد. علت این امر ناشی از وجود مولکول‌های بزرگ پلی‌اتیلن گلیکول است که جذب آب را توسط ریشه کاهش می‌دهند و سبب خشک شدن گیاه می‌شود. که این امر احتمال دارد به علت بسته شدن مسیر حرکت آب در گیاه باشد (Lowlor & Cornic, 2002). کاهش وزن تر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی در دیگر بررسی‌ها نیز گزارش



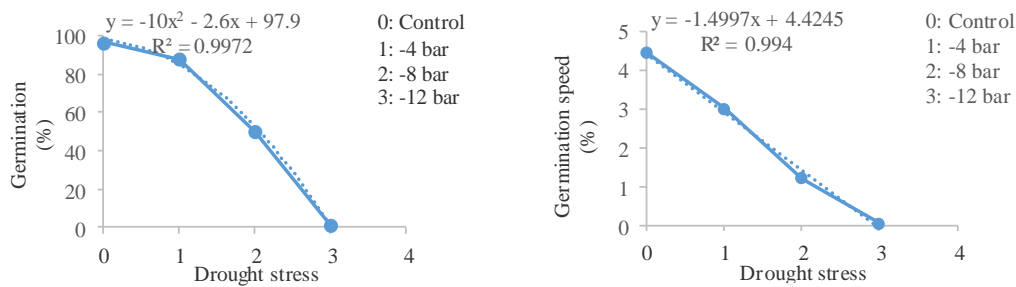
شکل ۴. میانگین وزن تر ساقه‌چه (شکل سمت چپ) و وزن خشک ساقه‌چه (شکل سمت راست) ژنوتیپ‌های K-S-31167، GE-288 و Naz لوبیا در ۳ سطح تیماری شاهد، -۴ و -۸ بار. (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند).

Figure 4. Change in the plumule fresh weight and plumule dry weight in K-S-31167, GE-288 and Naz bean genotypes at control, -4 and -8 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$)



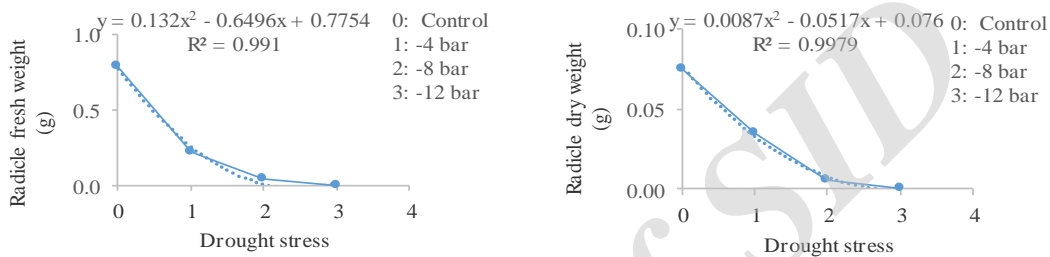
شکل ۵. مدل رگرسیونی درصد جوانه‌زنی (شکل سمت چپ) و سرعت جوانه‌زنی (شکل سمت راست) ۱۶ ژنوتیپ لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۴، -۸ و -۱۲ بار

Figure 5. Regression model of percentage germination and germination speed in 16 genotypes of beans at control, 4, -8 and -12 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$)



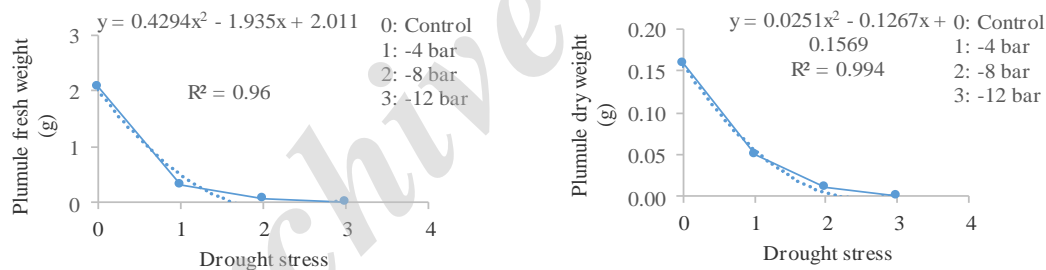
شکل ۶. مدل رگرسیونی طول ریشه‌چه (شکل سمت چپ) و طول ساقه‌چه (شکل سمت راست) ۱۶ ژنوتیپ لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۴، -۸ و -۱۲ بار

Figure 6. Regression model of radicle length and plumule length in 16 genotypes of beans at control, -4, -8 and -12 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$)



شکل ۷. مدل رگرسیونی وزن تر ریشه‌چه (شکل سمت چپ) و وزن خشک ریشه‌چه (شکل سمت راست) ۱۶ ژنوتیپ لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۴، -۸ و -۱۲ بار

Figure 7. Regression model of radicle fresh weight and radicle dry weight in 16 genotypes of beans at control, -4, -8 and -12 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$)



شکل ۸. مدل رگرسیونی وزن تر ساقه‌چه (شکل سمت چپ) و وزن خشک ساقه‌چه (شکل سمت راست) ۱۶ ژنوتیپ لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، -۴، -۸ و -۱۲ بار

Figure 8. Regression model of plumule fresh weight and plumule dry weight in 16 genotypes of beans at control, -4, -8 and -12 bar. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$)

جدول ۲. تجزیه واریانس محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید ژنوتیپ‌های K-S-31167، Naz و GE-288 لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، ۵۰، ۷۵ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی

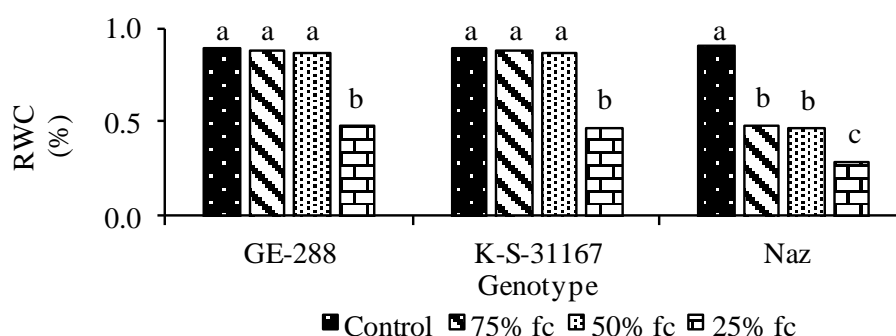
Table 2. Analysis of variance for RWC, Chlorophyll a (a), Chlorophyll b (b), Total chlorophyll and Carotenoid (c) in bean genotypes K-S-31167, GE-288 and Naz at three levels control, 50, 75 and 25% of field capacity

ANOVA	df	Mean squares				
		RWC	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid
Genotypes	2	0.19**	1.66**	1.47**	6.33**	83.94**
Stress	3	0.46**	219.72**	159.35**	431.39**	77.14**
Genotypes × Stress	6	0.05**	3.6**	3.43**	9.51**	14.74**
Error	24	0.003	0.18	0.13	0.15	0.13
CV (%)		8.31	3.25	3.34	2.08	3.57

** Significant ($P \leq 0.01$).

** معنادار در سطح احتمال یک درصد.

CV: Coefficient of Variation



شکل ۹. مقدار محتوای نسبی آب ژنوتیپ‌های GE-288، K-S-31167 و Naz لوبیا در ۴ سطح تیماری شاهد، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند). Figure 9. Change in the content of RWC in K-S-31167, GE-288 and Naz bean genotypes at control, 75, 50 and 25% FC levels. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$)

سبزینه b، سبزینه کل و کاروتنوئید نشان داد که در سطح احتمال ۱ درصد ژنوتیپ‌ها و سطوح مختلف تنش تفاوت معنی‌داری با هم دارند و بین ژنوتیپ‌ها و سطوح تنش نیز اثر متقابل وجود دارد (جدول ۲ و شکل ۱۰). روند تغییر رنگدانه‌های نورساختی در هر سه ژنوتیپ به صورت افزایش و سپس کاهش بود (شکل ۱۰). در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی افزایش معنی‌داری در رنگدانه‌های نورساختی هر سه ژنوتیپ نسبت به شاهد رخ داد (شکل ۱۰). در این سطح تنش کمترین افزایش در محتوای سبزینه a در ژنوتیپ GE288 (۲۹/۸۶ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن‌ها در ژنوتیپ Naz (۴۳/۵۱ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۱۰). در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی کمترین افزایش در محتوای سبزینه b در ژنوتیپ K-S-31167 (۲۷/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن‌ها در ژنوتیپ Naz (۵۵/۰۸ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۱۰). در همین سطح تنش کمترین افزایش در محتوای سبزینه کل در ژنوتیپ K-S31167 (۱۰/۴۴ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن‌ها در ژنوتیپ Naz (۳۷/۸۹ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۱۰). همچنین کمترین افزایش در محتوای کاروتنوئید در ژنوتیپ K-S31167 (۲۶/۴۷ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن‌ها در ژنوتیپ Naz (۷۳/۱۲ درصد

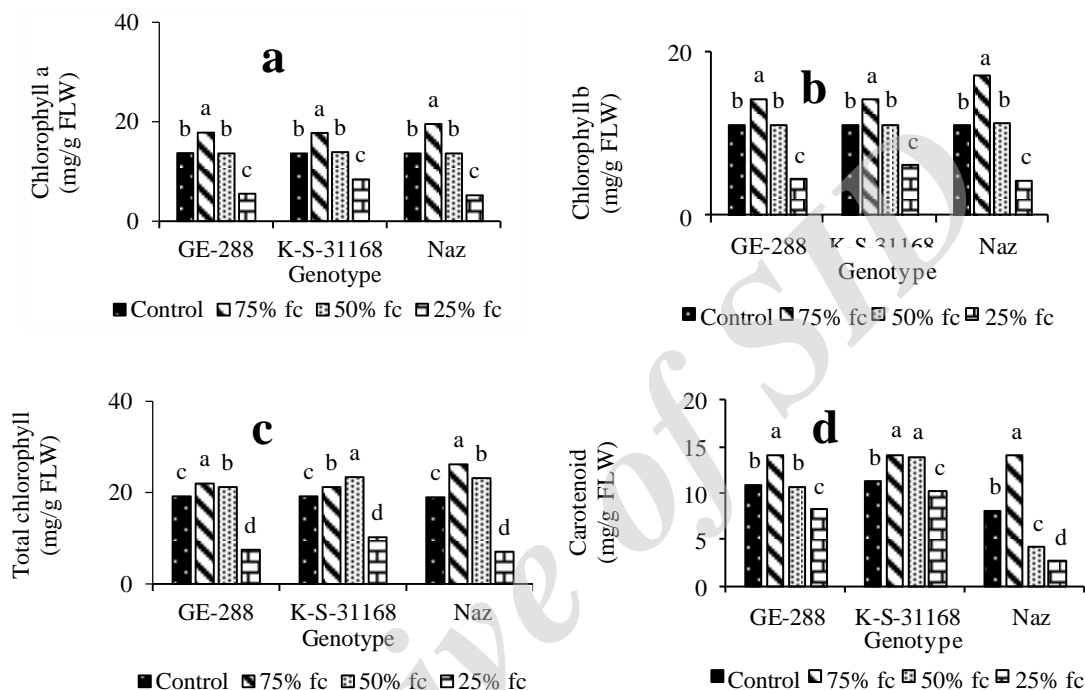
مقایسه میزان محتوای نسبی آب در سطوح شاهد، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نشان داد که تنش باعث کاهش پیوسته و معنی‌داری در محتوای نسبی آب می‌شود. به طوری که در این آزمایش بیشترین میزان محتوای نسبی آب مربوط به شرایط شاهد یا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به میزان ۹۰ درصد و کمترین میزان آن مربوط به سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به میزان ۲۸ درصد بود (شکل ۹). کاهش محتوای نسبی آب در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در ژنوتیپ‌های متحمل و به نسبت متحمل K-S-31167 و GE-288، ۴۳ درصد و در ژنوتیپ حساس Naz، ۶۲ درصد بود (شکل ۹). بنابراین به احتمال این ژنوتیپ در شرایط تنش شدید عملکرد مناسبی نداشته باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که دو ژنوتیپ K-S-31167 و GE-288 در شرایط تنش شدید برتری قابل توجهی نسبت به ژنوتیپ Naz داشته باشند. این احتمال وجود دارد که بالاتر بودن محتوای نسبی آب در ژنوتیپ متحمل K-S-31167 به دلیل پاسخ سریع‌تر به تنش و بسته شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی بیشتر و کسانای (الاستیسیته) کمتر دیواره یاخته‌ای باشد (Silva et al., 2007). بسیاری از محققان کاهش محتوای نسبی آب را در شرایط تنش خشکی بیان کرده‌اند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Ghaderi et al., 2011; Ghanbari et al., 2013).

سبزینه و کاروتنوئید

نتایج به دست آمده از تحقیق برای مقادیر سبزینه a،

افزایش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۱۰). دیگر محققان نیز افزایش محتوای رنگدانه‌های نورساختی را در سطح تنش خفیف گزارش کرده‌اند و میزان بیشتر رنگدانه‌ها را به تجمع مواد محلول در سیتوزول یاخته و کاهش اندازه یاخته نسبت داده‌اند. لذا در واحد سطح شمار یاخته بیشتری وجود دارد (شکل ۱۰).

افزایش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۱۰). دیگر محققان نیز افزایش محتوای رنگدانه‌های نورساختی را در سطح تنش خفیف گزارش کرده‌اند و میزان بیشتر رنگدانه‌ها را به تجمع مواد محلول در سیتوزول یاخته و کاهش اندازه یاخته نسبت داده‌اند. لذا در واحد سطح شمار یاخته بیشتری وجود دارد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. تغییر محتوای کلروفیل a (شکل بالا سمت چپ)، کلروفیل b (شکل بالا سمت راست)، کلروفیل کل (شکل پایین سمت چپ) و کاروتنوئید (شکل پایین سمت راست) ژنوتیپ‌های GE-288، Naz و K-S-31167 در سطوح تیماری شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (در هر ژنوتیپ ستون‌های دارای حرف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند).

Figure 10. Change in the content of Chlorophyll a (a), Chlorophyll b (b), Total chlorophyll and Carotenoid (c) in K-S-31167, GE-288 and Naz bean genotypes at control, 75, 50 and 25% FC levels. Different letters indicate significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.01$).

افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (۲۴/۵۹ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) ولی در همین سطح تنش محتوای کاروتنوئید در ژنوتیپ‌های GE-288 و Naz نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافت (به ترتیب ۱/۸۶ درصد و ۴۸ درصد کاهش نسبت به شاهد خود) (شکل ۱۰). در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی محتوای رنگدانه‌های نورساختی در هر سه ژنوتیپ کاهش معنی‌داری یافت. در این سطح تنش بیشترین میزان کاهش در محتوای رنگدانه‌های نورساختی در ژنوتیپ Naz (به ترتیب ۶۱/۵۶ درصد،

در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی محتوای سبزینه a و b در هر سه ژنوتیپ و میزان کاروتنوئید در ژنوتیپ GE-288 نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری نداشت در همین سطح تنش در هر سه ژنوتیپ افزایش معنی‌داری در محتوای سبزینه کل مشاهده شد. کمترین افزایش در محتوای سبزینه کل در ژنوتیپ GE-288 (۱۰/۳۸ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) و بیشترین میزان آن‌ها در ژنوتیپ Naz (۲۲/۰۹ درصد افزایش نسبت به شاهد خود) مشاهده شد (شکل ۱۰). همچنین محتوای کاروتنوئید در ژنوتیپ K-S-31167

تنش بررسی و مشخص شد که تحریک ساخت سبزینه در برگ‌های جوان به علت فعال شدن آنزیم‌ها در مرحله وابسته به نور زیست‌ساخت است (Nicolaeva *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد بذرهایی که در شرایط جوانه‌زنی توانستند شاخص‌های برتری داشته باشند، در مرحله گیاهچه‌ای نیز چنین ویژگی‌ای داشتند. بر پایه ارزیابی صفات مربوط به جوانه‌زنی K-S-31167 به‌عنوان ژنوتیپ متحمل و Naz به‌عنوان ژنوتیپ حساس در نظر گرفته شد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از سنجش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (Soltani, 2014) نشان داد که ژنوتیپ K-S-31167 نسبت به دو ژنوتیپ GE-288 و Naz رنگدانه‌های نورساختی، محتوای پرولین و محتوای نسبی آب بیشتر و نشت یونی کمتر داشت. که نشان‌دهنده پایداری غشایی بالاتر این ژنوتیپ طی تنش است. محتوای پرولین بیشتر در ژنوتیپ K-S-31167 نشان‌دهنده سامانه پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) قوی‌تر این ژنوتیپ نسبت به دو ژنوتیپ GE-288 و Naz است. بنابراین ژنوتیپ‌های K-S-31167 و Naz تا حدودی از نظر تحمل یا حساس بودن مانند مرحله جوانه‌زنی رفتار کردند. در نهایت بر پایه آزمایش‌هایی که صورت گرفت با توجه به این‌که ژنوتیپ K-S-31167 از نظر بیشتر صفات مورد بررسی تحت تنش خشکی تحمل بهتری نشان داد و Naz حساسیت بیشتری نشان داد بنابراین ترتیب ژنوتیپ‌ها بر پایه تحمل خشکی به ترتیب K-S-31167 (متحمل)، GE-288 (به نسبت متحمل) و Naz (حساس) است.

سپاسگزاری

از مسئولان محترم قطب حبوبات که در جهت اجرای هرچه بهتر این طرح نهایت همکاری و مساعدت را به عمل آوردند و بخشی از هزینه این طرح را تقبل کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶۰/۵۶ درصد، ۶۲/۷۱ درصد، ۶۶/۶۸ درصد کاهش در سبزینه a، سبزینه b، سبزینه کل و کاروتنوئید نسبت به شاهد خود) و کمترین میزان کاهش در محتوای رنگدانه‌های نورساختی در ژنوتیپ K-S-31167 (به ترتیب ۳۸/۱۶ درصد، ۴۴/۵۵ درصد، ۴۶/۸۱ درصد، ۸/۸۳ درصد کاهش در سبزینه a، سبزینه b، سبزینه کل و کاروتنوئید نسبت به شاهد خود) مشاهده شد. نتایج نشان داد که بیشترین کاهش در محتوای رنگدانه‌های نورساختی در ژنوتیپ Naz و در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی وجود داشت (شکل ۱۰). در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی ژنوتیپ K-S-31167 به‌صورت معنی‌داری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر محتوای سبزینه‌ای و کاروتنوئید بیشتری داشت (شکل ۱۰). دیگر محققان نیز گزارش کرده‌اند که ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر محتوای سبزینه و کاروتنوئید بیشتری طی تنش خشکی دارند که با این نتایج همخوانی دارد آنان بیان داشتند که در برخی شرایط ژن‌های زیست‌ساخت (بیوسنتز)کننده کاروتنوئید مانند بتاکاروتن هیدروکسیلاز^۱ تعیین‌کننده زیست‌ساخت آبسزیک اسید بوده و می‌توانند مقاومت گیاهان به خشکی و تنش اکسایشی را با تعدیل کردن سطوح گزانتوفیل‌ها و ساخت آبسزیک اسید تغییر دهند. بنابراین افزایش میزان کاروتنوئید می‌تواند به دلیل تولید آبسزیک اسید باشد (Jaleel *et al.*, 2009; Du *et al.*, 2010; Cazzonelli, 2011) کاهش محتوای رنگدانه‌ها ممکن است به دلیل تولید ROS، افزایش فعالیت کلروفیل‌ازها، تغییر فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن مانند نیترات ردوکتاز باشد (Parida *et al.*, 2004; Nicolaeva *et al.*, 2010). گزارش شده است که کاهش تجمع کربن در شرایط تنش خشکی به دلیل تخریب پروتئین‌های D1 در نظام نوری ۲ (فتوسیستم II) است اما دلایل این عمل تاکنون مشخص نشده است (Lawlor & Cornic, 2002). همچنین تغییر کم در محتوای سبزینه به دلیل مقاومت سامانه رنگیزه به پساییدگی در رقم‌های گندم گزارش شده است. تغییرات محتوای سبزینه در شرایط

1. β -carotene hydroxylase

REFERENCES

1. Arnon, D. T. (1949). Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Plant Physiology*, 24, 1-15.
2. Arshi, A., Ahmad, A., Aref, I. M. & Iqbal, M. (2012). Comparative studies on antioxidant enzyme action and ion accumulation in soybean cultivars under salinity stress. *Journal of Environmental Biology*, 33, 9-20.
3. Barss, H. D. & Weatherley, P. E. (1962). A re examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Science*, 15, 413-428.
4. Bayoumi, T. Y., Manal, H. & Metwali, E. M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in bean genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 14 (6), 2341-2352.
5. Beebe, S. & McClafferty, B. (2006). 'Bio-Fortified Beans', Breeding Crops for Better Nutrition. HarvestPlus, CIAT, Cali-Colombia.
6. Bhatt, R. M. & Srinivasa-Rao, N. K. (2005). Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 10, 54-59.
7. Blume, A. & Ebercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Journal of Crop Science*, 27(1), 43-47.
8. Boydak, M., Dirik, H., Tilki, F. & Calikoglu, M. (2003). Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture*, 27, 91-97.
9. Cazzonelli, C. I. (2011). Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Journal of Functional Plant Biology*, 38, 833-847.
10. De, F. & Kar, R. K. (1994). Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*) under water stress induced by PEG-6000. *Journal of Seed Science and Technology*, 23, 301-304.
11. Dodd, G. L. & Donovan, L. A. (1999). Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany*, 86, 1146-1153.
12. Du, H., Wang, N., Cui, F., Li, X., Xiao, J. & Xiong, L. (2010). Characterisation of the beta-carotene hydroxylase gene DSM2 conferring drought and oxidative stress resistance by increasing xanthophylls and abscisic acid synthesis in rice. *Journal of Plant Physiology*, 154, 1304-1318.
13. Ghaderi, N., Talaie, A. R., Ebadi, A. & Lessani, H. (2011). The physiological response of three Iranian grape cultivars to progressive drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 601-609.
14. Ghanbari, A. A., Shakiba, M. R., Toorchi, M. & Choukan, R. (2013). Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. *European Journal of Experimental Biology*, 3(1), 487-492.
15. Ghani, A., Azizi, M. & Tehranifar, A. (2009). Response of *Achillea* species to drought stress induce by polyethylene glycol in germination stage. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(2), 261-271. (in Farsi)
16. Gunes, A., Inal, A., Adak, M. S., Bagci, E. G., Cicek, N. & Eraslan, F. (2008). Effect of drought stress implemented at pre-or post-anthesis stage on some physiological parameters as screening criteria in chickpea cultivars. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(1), 59-67.
17. Heidari, N. & Purusef, M. (2011). Effect of seed priming with polyethylene glycol and sodium chloride on germination and growth indices of *Pimpinella anisum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(3), 509-516. (in Farsi)
18. Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Jasim, H., Somasundaram, R. & Pannerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105.
19. Kafi, M., Nezami, A., Hosaini, H. & 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(1), 69-80. (in Farsi)
20. Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cıkılı, Y. & Kolsarıcı, O. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 291-295.
21. Khan, M. A. & Ungar, I. A. (1984). The effect of salinity and temperature on the germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* willd. *American Journal of Botany*, 71(4), 481-489.
22. Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stress: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. (2nd ed.). Academic Press, PP: NewYork, 3-211.
23. Lawlor, D. W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Journal of Plant Cell and Environment*, 25, 275-294.

24. Macar, T. K., Turan, O. & Ekmekci, Y. (2009). Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. *Gazi University Journal of Science*, 22, 5-14.
25. Maguire, J. D. (1962). Seed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Journal of Crop Science*, 2, 176-177.
26. Michel, E. B. & Kaufmann, M. K. (1972). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Journal of Plant Physiology*, 51, 914-916.
27. Nikolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., Shugaev, A. G. & Bukhov N G. (2010). Effect of Drought on Chlorophyll Content and Antioxidant Enzyme Activities in Leaves of Three Wheat Cultivars Varying in Productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57(1), 87-95.
28. Parida, A. K., Das, A. B. & Mitra, B. (2004). Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Journal of Trees*, 18(2), 167-174.
29. Rane, J., Maheshwari, M. & Nagarajan, S. (2001). Effect of pre-anthesis water stress on growth, photosynthesis and yield of six wheat cultivars differing in drought tolerance. *Indian Journal of Plant Physiology*, 6, 53-60.
30. Ranjbarfordoei, A., Samson, R., Lemeur, R. & Van-Damme, P. (2002). Effects of osmotic drought stress induced by a combination of NaCl and polyethylene glycol on leaf water status, photosynthetic gas exchange, and water use efficiency of *Pistacia khinjuk* and *P. mutica*. *Journal of Photosynthetic*, 40, 165-169.
31. Rasool, S., Ahmad, A., Siddiqi, T. O. & Ahmad, P. (2013). Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Journal of Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 1039-1050.
32. Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S. & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 52(3), 131-138.
33. Sharifi, P., Amirnia, P., Majidi, R., Hashem, E., Roustaii, H., Nakhoda, M. B., Alipoor Mohammad, H. & Moradi, F. (2012). Relationship between drought stress and some antioxidant enzymes with cell membrane and chlorophyll stability in wheat lines. *African Journal of Microbiology Research*, 6(3), 617-623.
34. Singh, S. P. (2007). Drought resistant in race Durango dry bean landraces and cultivars. *Journal of Agronomy*, 99, 1219-1225.
35. Silva, M. D. A., Jifon, J. L., Da Silva, J. A. & Sharma, V. (2007). Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3), 193-201.
36. Soltani, E. (2014). *Biochemical and molecular changes in a number of bean genotypes under drought stress*. M. Sc. thesis. Faculty of Agricultural Science and Engineering, Department of Agronomy and Plant Breeding. University of Tehran, Karaj. (in Farsi)
37. Zare, M., Mehrabi-oladi, A. A. & Sharafzadeh, Sh. (2006). Investigation of GA3 and Kinetin Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat under Salinity Stress. *Journal of Agricultural Sciences*, 12(4), 855-865.
38. Zheng, Yh., Xu, Xb., Wang, My., Zheng, Xh., Li, Zj. & Jiang, Gm. (2009). Responses of salt-tolerant and intolerant wheat genotypes to sodium chloride: photosynthesis, antioxidants activities, and yield. *Journal of Photosynthetic*, 47, 87-94.