نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۵ شمارهٔ۲، صفحهٔ ۵۶-۴۳، نیمهٔ دوم ۱۳۹۳

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 5, No. 2, 2014, p. 43-56

تأثیر پیش‌تیمار باکتری‌های محرک رشد (PGPR) بر برخی پارامترهای رشدی و رنگدانه‌های فتوسنتزی دو رقم گیاه لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش شوری

هانیه فیروزی[1]، همت‌اله پیردشتی[2*] و سید جابر حسینی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سبزیکاری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۲- دانشیار، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۴

چکیده

حفظ محیط زیست و تولید محصولات کشاورزی سالم، در حال حاضر از اهداف مهم کشاورزی پایدار است. همچنین با توجه به فراوانی منابع آب و خاک شور در کشور، تحقیقی به‌منظور بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد بر برخی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم گیاه لوبیا سبز در مقاومت به تنش شوری در آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل رقم در دو سطح (بومی و هیبرید)، تنش شوری در چهار سطح (۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر کلریدسدیم) و همچنین پیش‌تیمار باکتری‌های محرک رشد در دو سطح (عدم‌تلقیح و تلقیح باکتری حاوی *آزوسپیریلیوم برازیلنس* و *ازتوباکتر کروکوکوم*) بودند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل: وزن تر و خشک برگ، سطح و تعداد برگ، تعداد و طول دمبرگ، وزن تر و خشک دمبرگ، کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، *a+b*، کاروتنوئید، SPAD و وزن تر غلاف که عملکرد در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که اثر متقابل رقم و باکتری در تمامی رنگدانه‌های مورد مطالعه و همچنین صفات وزن تر، خشک بوته و سطح برگ معنی‌دار بود. در این برهم‌کنش، تلقیح باکتری باعث افزایش ۱۱ درصدی سطح برگ نسبت به تیمار عدم تلقیح شد. اثرات متقابل رقم و شوری نیز در تمامی رنگدانه‌های مورد مطالعه به‌جز عدد SPAD و صفات مورفولوژیک (وزن تر ساقه، وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، وزن خشک دمبرگ) و عملکرد بیولوژیک غلاف اثر معنی‌داری داشت. حداکثر عملکرد به‌میزان ۳/۶ گرم در بوته در تیمار رقم هیبرید و شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. اثر متقابل باکتری و شوری علاوه بر تمامی پارامترهای بیوشیمیایی مورد مطالعه به‌جز کاروتنوئید، صفات وزن تر و سطح برگ، وزن تر و خشک دمبرگ، و عملکرد معنی‌دار بودند. تیمار تلقیح باکتری در تمامی سطوح مورد بررسی بر عملکرد مؤثر بود و تیمار ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و تلقیح، بیشترین عملکرد غلاف را به‌خود اختصاص داد که نسبت به تیمار عدم تلقیح ۳۴ درصد افزایش داشت. در مجموع نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر نقش مفید باکتری‌های افزاینده رشد در فرآیندهای بیوشیمیایی، مورفولوژیکی و همچنین بهبود رشدی گیاه به‌ویژه در شرایط تنش شوری ملایم است.

واژه‌های کلیدی: *آزوسپیریلیوم*، *ازتوباکتر*، تلقیح، کلروفیل، هیبرید

مقدمه

لوبیا سبز با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. گیاهی از خانواده بقولات می‌باشد که در بین حبوبات از نظر سطح زیرکشت و ارزش اقتصادی مقام اول را داراست. همچنین با داشتن ۲۵-۲۰ درصد پروتئین و ۵۶-۵۰ درصد کربوهیدرات دومین لگوم مهم بعد از نخود در سراسر دنیا محسوب می‌شود (Mcclean *et al.*, 2004; Calvo *et al.*, 2014). لوبیا سبز تازه سرشار از ویتامین‌های A، B، C و مواد معدنی مانند آهن، فسفر، کلسیم و پتاسیم است و با این که از کالری کمی برخوردار است، اما به‌خاطر داشتن ویتامین‌ها و مواد معدنی از نظر تغذیه‌ای بسیار مقوی می‌باشد (Kiyani, 2009).

شوری پس از خشکی مهم‌ترین تنش محیطی در سطح جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک و از جمله ایران است. میلیون‌ها هکتار از اراضی در سراسر جهان شورتر از آن هستند که از نظر اقتصادی بتوان از آن‌ها محصول به‌دست آورد (Banaei *et al.*, 2004). از آن‌جایی که حل مسأله شوری و رفع مشکل آن مستلزم صرف تلاشی درازمدت و هزینه هنگفت است، بنابراین آنچه که در حال حاضر از اهمیت ویژه‌ای

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۲۱۱۷۳۱، h.pirdashti@sanru.ac.ir

برخوردار می‌باشد، برنامه‌ریزی مناسب برای حل مشکل شوری از طریق تلاش برای یافتن و پرورش گیاهانی است که بتوانند در شرایط شوری محیط نیز عملکرد قابل‌قبولی داشته باشند (Ipek *et al.*, 2014). اثرات شوری بر گیاهان بسیار پیچیده می‌باشد. مهم‌ترین واکنش گیاه به افزایش شوری خاک، کاهش میزان رشد است (Shiyab *et al.*, 2013). شوری موجب محدود نمودن فعالیت کلروفیل‌ها، آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها و اختلال در وظیفه غشای کلروپلاست می‌شود. در شرایط تنش شوری بخشی از انرژی تولید شده توسط گیاه به‌جای اینکه صرف رشد گیاه شود، صرف نگه‌داری گیاه در شرایط تنش می‌شود و به‌همین دلیل رشد آن کاهش می‌یابد (Garrido *et al.*, 2014). شوری با ایجاد سه محدودیت عمده باعث کاهش رشد می‌گردد: ۱) کاهش پتانسیل آب در منطقه ریشه که موجب کاهش آب می‌شود؛ ۲) مسمومیت ناشی از یون‌های سدیم، کلرید و دیگر یون‌ها؛ ۳) عدم توازن عناصر غذایی ناشی از کاهش جذب یا انتقال به سیستم هوایی و یا هر دو (Gama *et al.*, 2007).

امروزه استفاده از کودهای بیولوژیک (میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ و باکتری) به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد، مسئله مهمی در جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد. مطالعات پژوهشگران نشان داده است گروهی از میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر وجود دارند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سبب افزایش رشد گیاهان می‌شوند، این میکروارگانیسم‌ها به ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)[1] معروفند (Ma *et al.*, 2011). ریزوباکترهای محرک رشد گیاه از مهم‌ترین کودهای بیولوژیک بوده و با افزایش فراهمی زیستی عناصر غذایی، نظیر تثبیت زیستی نیتروژن، محلول‌کردن فسفر و پتاسیم و کاهش یا پیشگیری از بروز اثرات زیان‌آور بیماری‌زایی میکروارگانیسم‌های دیگر از طریق تولید انواع آنتی‌بیوتیک‌ها و سیدروفورها سبب افزایش رشد گیاهان شده و عملکرد گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشند (Chaiharn *et al.*, 2008). مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد علاوه بر فراهمی عناصر غذایی از تشدید تنش اسمزی که در اثر افزودن کودهای شیمیایی به زمین‌های شور اتفاق می‌افتد، جلوگیری به‌عمل می‌آورند این در حالی است که استفاده ازکودهای شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی نه تنها باعث تخریب ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک می‌شود، بلکه کیفیت محصولات تولید شده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Koochaki *et al.*, 2008). بنابراین، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی بهبود شرایط رشدی گیاه لوبیاسبز در تنش شوری با مصرف کودهای بیولوژیک طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۱ انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل تنش شوری در چهار سطح (۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) با محلول حاوی نمک کلریدسدیم، رقم در دو سطح (بومی و هیبرید) و همچنین تلقیح باکتریایی در دو سطح (عدم‌تلقیح و تلقیح با کود بیولوژیک[2] (حاوی *آزوسپیریلیوم برازیلنس* و *ازتوباکتر کروکوکوم* و جمعیت تقریبی باکتری حدود 10^8 در هر میلی‌لیتر) بود. ابتدا باکتری‌های محرک رشد مورد نیاز این آزمایش در آزمایشگاه کشت شد. پس از تأیید زنده بودن باکتری‌ها محلول۳۰ درصدی آن جهت تلقیح بذر آماده گردید. برای اعمال پیش‌تیمار PGPR بذور به‌مدت یک ساعت در محلول مورد نظر خیسانده شدند و سپس در سایه خشک گردید. این تیمار پیش‌رویشی بوده و قبل از کاشت اعمال و در مقابل، بذور شاهد در آب مقطر خیسانده شد. در مرحله بعد بذور درگلدان کشت شدند. برای این آزمایش گلدان‌هایی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در هر گلدان از ۱۰ کیلوگرم خاک آون خشک استفاده گردید. خاک مورد استفاده حاوی نسبت ۱:۲ خاک مزرعه و ماسه بود که پس از الک کردن کاملاً مخلوط و به مدت ۴۸ ساعت در ۱۰۰درجه سانتیگراد (بدون استفاده از فشار هوا) استریل شد (Kungu *et al.*, 2008). در طول دوره رشد، آبیاری به‌صورت روزانه جهت نگهداری رطوبت در حد ظرفیت زراعی انجام شد و برای آبیاری تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. بعد از ظهور اولین برگ سه برگچه‌ای (سه هفته پس از جوانه‌زنی بذرها) تنش شوری اعمال و پنج هفته پس از اعمال تنش نمونه‌برداری انجام شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل: وزن تر و خشک برگ، سطح و تعداد برگ، تعداد و طول دمبرگ، وزن تر و خشک دمبرگ، کلروفیل a، کلروفیل b، a+b، کاروتنوئید، SPAD و وزن تر غلاف که عملکرد در نظر گرفته شد. ابتدا جهت تعیین وزن تر از ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده گردید و سپس وزن خشک نمونه‌ها پس از مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتن در آون بر حسب گرم در بوته محاسبه گردید. سطح برگ با ترسیم بر کاغذ میلی‌متری و بر حسب سانتی‌متر مربع محاسبه شد. طول

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

2- *Azospirillium brazilence* and *Azotobacter chroococcum*

دمبرگ با استفاده از خط‌کش و بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و برای اندازه‌گیری محتوای نسبی کلروفیل برگ (SPAD)[1] از دستگاه کلروفیل‌متر استفاده شد. با این روش ابتدا دستگاه کالیبره و برگ مورد نظر (قسمت میانی آخرین برگ کاملاً توسعه یافته و برای همه گلدان‌ها در یک موقعیت) را میان دو لبه دستگاه قرار گرفته و عدد ظاهر شده قرائت گردید. در نهایت میانگین اعداد قرائت شده به آن تیمار اختصاص داده شد. جهت اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی از روش پورا و همکاران (Porra *et al*.,1989) استفاده شد. تجزیه آماری داده‌های آزمایش با کمک نرم‌افزارSAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها برای صفات مورد ارزیابی با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

الف- صفات مورفولوژیک

با توجه به جدول تجزیه واریانس مربوط به صفات مورفولوژیک (جدول ۲)، اثر ساده رقم بر صفات وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، تعداد، طول و وزن خشک دمبرگ معنی‌دار بود. تیمار تلقیح باکتری بر صفات وزن تر و سطح برگ در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت. اثر سطوح مختلف تنش شوری بر تمامی پارامترهای مورفولوژیک برگ و دمبرگ معنی‌دار بود. بین رقم و باکتری از نظر صفات وزن تر و خشک برگ ($P\leq$۰/۰۵)، سطح برگ ($P\leq$۰/۰۱) و همچنین بین رقم و شوری از نظر صفات وزن تر و خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک دمبرگ ($P\leq$۰/۰۱) بر همکنش معنی‌داری مشاهده شد. علاوه بر این، اثر متقابل باکتری و شوری بر صفات وزن تر برگ و وزن خشک دمبرگ ($P\leq$۰/۰۱)، سطح برگ و وزن تر دمبرگ ($P\leq$۰/۰۵) معنی‌دار بود. همچنین بر همکنش سه‌گانه و معنی‌داری بین رقم، باکتری و شوری از نظر همه صفات اندازه‌گیری‌شده وجود داشت.

جدول۱- میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورفولوژیک برگ و دمبرگ گیاه لوبیا سبز

Table 1. Mean square of experimental treatments on morphological traits leaf and petiol in green bean

منابع تغییرات		درجه آزادی	برگ (Leaf)				دمبرگ (Petiol)			
			تعداد	وزن تر	وزن خشک	سطح	تعداد	وزن تر	وزن خشک	طول
Source of variation		df	Number	Fresh weight	Dry weight	Area	Number	Fresh weight	Dry weight	Length
رقم	Cultivar (C)	1	17.18^{ns}	21.10**	1.13**	880.81**	7.56*	0.13^{ns}	0.010*	355.20**
باکتری	Bactria (B)	1	3.13^{ns}	9.62**	0.04^{ns}	758.33**	1.56^{ns}	0.05^{ns}	0.003^{ns}	116.70^{ns}
شوری	Salinity (S)	3	119.50**	55.40**	0.86**	7005.91**	17.79**	1.79**	0.023**	1370.82**
رقم × باکتری	C × B	1	0.80^{ns}	7.23*	0.36*	548.10**	3.56^{ns}	0.013^{ns}	0.001^{ns}	25.47^{ns}
رقم × شوری	C × S	3	9.20^{ns}	7.92**	0.25**	1975.88**	1.77^{ns}	0.30^{ns}	0.008**	52.87^{ns}
باکتری × شوری	B × S	3	8.71^{ns}	4.92**	0.021^{ns}	254.07*	3.18^{ns}	0.38*	0.029**	99.78^{ns}
رقم × باکتری × شوری	C × B × S	3	62.27**	17.64**	0.32**	980.34*	4.12*	0.34*	0.009**	162.96**
خطای آزمایشی	Experimental error	48	7.3	0.7	0.03	69.1	1.3	0.12	0.001	40.1
ضریب تغییرات (٪)	CV (%)	-	18.96	15.00	18.53	6.60	22.80	27.93	22.23	14.70

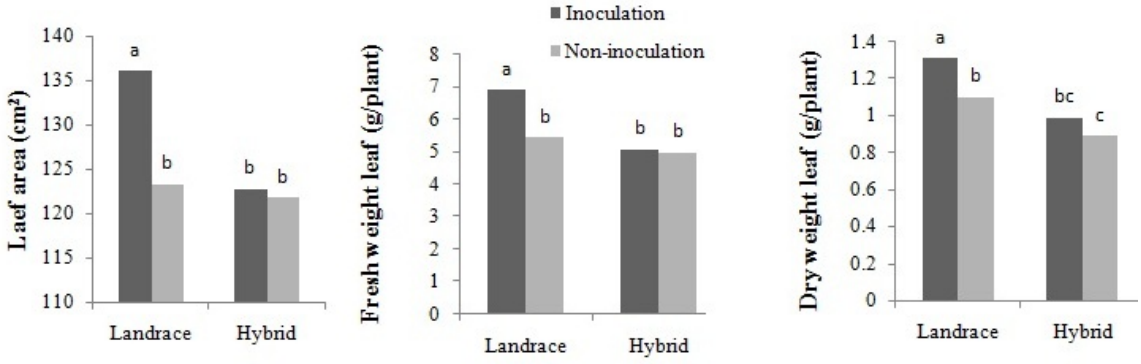
* و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد

ns, *, **: No significant, significant at 5 and 1% levels of probability

1- Soil Plant Analysis Development

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و باکتری بر صفات مورفولوژیک برگ و دمبرگ گیاه لوبیا سبز

با توجه به نمودار مقایسه میانگین، مشاهده شد که تلقیح باکتری موجب افزایش وزن تر و خشک و سطح برگ نسبت به تیمار عدم تلقیح (شاهد) در رقم محلی شد (شکل ۱). نتایج نشان داد که تلقیح باکتری در صفات فوق روی رقم هیبرید اثرگذار نبود که احتمالاً این امر به ژنتیک و رقم گیاه مربوط است که نیاز به بررسی بیشتر و آزمایش‌های تکمیلی دارد. میزان سطح برگ در شرایط تلقیح نسبت به عدم تلقیح در سطح بالاتری بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان سطح برگ (۱۳۶/۰۳ سانتی‌متر مربع) در تیمار محلی و تلقیح باکتری مشاهده شد که نسبت به سطح عدم تلقیح ۱۱ درصد بیشتر بود. همچنین روند تغییرات در صفت وزن تر برگ همانند صفت سطح برگ بود، به‌طوری‌که تیمار رقم محلی و تلقیح باکتری بالاترین میزان وزن تر برگ را به‌خود اختصاص داد. حداکثر وزن خشک برگ در تیمار رقم محلی و تلقیح باکتری و حداقل میزان این پارامتر با حدود ۳۲ درصد کاهش در رقم هیبرید و عدم تلقیح باکتری مشاهده شد. در این راستا، در بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد در گیاه سیاه‌دانه نشان داده شد که میزان سطح برگ و وزن تر و خشک بوته در حضور باکتری نسبت به تیمار عدم تلقیح افزایش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (Khorramdel *et al*., 2008). بهبود رشد گیاه در اثر آغشته کردن بذر با کودهای بیولوژیک می‌تواند ناشی از تأثیر این میکروارگانیسم‌ها روی فعالیت‌های فیزیولوژیک و متابولیک گیاه و نیز تثبیت نیتروژن باشد و بخشی دیگر از این اثر افزایشی، بهبود کارآیی گیاه در اثر ترشح هورمون‌هایی نظیر سیتوکینین و اکسین می‌باشد که جذب آب و مواد غذایی را تحریک می‌کند. از سوی دیگر مطالعات نشان داد که باکتری با تولید جیبرلین سبب افزایش تارهای کشنده می‌شود، لذا جذب عناصر غذایی از خاک بهتر صورت گرفته و رشد گیاه بهبود می‌یابد (Zahir *et al*., 2004). بدین ترتیب به‌نظر می‌رسد تلقیح با باکتری‌های تلقیح‌کننده از طریق افزایش سطح جذب ریشه و توسعه سیستم ریشه‌ای موجب افزایش رشد شده که این امر در نهایت بهبود سطح برگ و وزن تر و خشک را به‌دنبال داشته است.



شکل۱- اثر تلقیح باکتری بر صفات سطح برگ و وزن تر و خشک برگ در ارقام محلی و هیبرید لوبیا سبز

Fig. 1. Effect of bacteria inoculation on leaf area, fresh and dry weights of leaf in landrace and hybrid cultivars of green bean

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری بر پارامترهای مورفولوژیک برگ و دمبرگ گیاه لوبیا سبز

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری (جدول ۳) نشان داد که با افزایش سطوح شوری وزن تر برگ در رقم محلی حدود ۴۵ درصد کاهش یافت، به‌طوری‌که تیمار شاهد و رقم محلی دارای بیشترین مقدار این صفت بود که با تیمار شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم محلی در یک سطح قرار گرفت. کمترین میزان وزن تر برگ در رقم هیبرید و شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. به‌طور کلی با افزایش تنش شوری وزن خشک برگ در هر دو رقم هیبرید و محلی نسبت به شاهد کاهش یافت. بیشترین میزان این صفت در تیمار شاهد و رقم محلی (۱/۵۶ گرم) وجود داشت و تیمار شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم هیبرید (۰/۵۷ گرم) از کمترین میزان وزن خشک برگ برخوردار بود. تیمار رقم محلی و شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان وزن خشک دمبرگ را به‌خود اختصاص داد که با تیمار شاهد و رقم محلی و همچنین تیمار شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم هیبرید در یک سطح آماری قرار گرفتند. همچنین کمترین وزن خشک دمبرگ مربوط به تیمار رقم هیبرید و شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود که با تیمار رقم محلی در همین سطح شوری در یک

گروه مشترک قرار گرفت. با افزایش سطوح شوری از میزان سطح برگ در رقم هیبرید به‌طور چشمگیری کاسته شد. حداکثر سطح برگ در رقم محلی و شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که با تیمار شاهد و رقم هیبرید در یک گروه مشترک قرار گرفت. در این مورد به نظر می‌رسد رقم محلی تا دامنه مشخصی از تنش شوری را از طریق مکانسیم‌های خاصی نظیر افزایش سطح برگ (جدول ۲) کنترل می‌کند لیکن با افزایش بیش از اندازه‌ی شوری و اثرات سوء آن بر ساختار کلروفیل (جدول ۶) و تخریب بافت گیاه، سطح برگ نیز کاهش می‌یابد. محققان در پژوهشی افزایش مقدار کلروفیل در اثر تنش ملایم را به افزایش وزن مخصوص برگ نسبت دادند (Taiz & Zeiger, 2001). در آزمایش فوق نیز بیشترین وزن تر برگ متعلق به تیمار رقم محلی بود و از آنجایی‌که افزایش وزن تر افزایش سطح برگ را به دنبال خواهد داشت، می‌توان این مورد را یکی از عوامل افزایش غیر منتظره سطح برگ در سطح ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر دانست. در این راستا بین سطح برگ و وزن تر برگ همبستگی مثبت و کاملاً معنی‌داری ($r=0.77^{**}$) مشاهده شد (داده‌ها نشان داده نشد). در مجموع می‌توان گفت که شوری بر اکثر پارامترهای مورفولوژیک برگ در هر دو رقم هیبرید و محلی نسبت به شاهد تأثیرگذار بود که نتایج این آزمایش با نتایج نورانی آزاد (Norani Azad, 2008) در بررسی تأثیر سطوح شوری بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه شوید و لاولی و همکاران (Lovelli *et al*., 2012) در گیاه گوجه‌فرنگی مطابقت داشت. علاوه بر این در بررسی اثرات تنش شوری بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک چغندرقند کاهش معنی‌داری در وزن خشک گیاه مشاهده گردید. بنا به گزارش محققان کاهش وزن گیاه تحت تنش شوری امری ثابت شده است که علت آن نیز به خاطر وجود شرایط اسمزی در منطقه ریشه، کاهش میزان جذب آب توسط گیاه و در نتیجه کاهش رشد و به‌طور کلی کاهش وزن گیاه می‌باشد (Emadi *et al*., 2009). به نظر می‌رسد رشد اندام هوایی بر اثر شوری، به‌علت اثر بازدارندگی آن روی تقسیم سلولی و توسعه نقطه رویش، جوانه‌ها و مریستم‌های انتهایی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر تجمع بالای نمک در برگ‌ها، افزایش میزان تعرق و کاهش سطح برگ را به همراه دارد (Maghsoudi & Maghsoudi, 2008).

جدول۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری بر پارامترهای مورفولوژیک برگ و دمبرگ گیاه لوبیا سبز

Table 2. Mean comparison of interaction effect between cultivar and salinity on morphological traits of leaf and petiol in green bean

سطح برگ	وزن خشک دمبرگ	وزن خشک برگ	وزن تر برگ	Treatment	تیمار
Leaf area (cm^2)	Petiol dry weigh	Leaf dry weight ($g.plant^{-1}$)	Leaf fresh weight	شوری Salinity ($dS.m^{-1}$)	رقم Cultivar
127.20^{d}	0.24^{a}	1.56^{a}	7.71^{a}	0	محلی Landrace
145.91^{a}	0.18^{b}	1.15^{b}	6.96^{ab}	2.5	
132.53^{cd}	0.25^{a}	1.12^{b}	5.79^{d}	5	
113.03^{e}	0.13^{c}	0.99^{bc}	4.27^{e}	7.5	
141.49^{ab}	0.18^{c}	1.16^{b}	5.82^{d}	0	هیبرید Hybrid
137.12^{bc}	0.21^{ab}	0.94^{bc}	6.80^{bc}	2.5	
133.82^{b-d}	0.18^{b}	0.86^{c}	6.00^{cd}	5	
76.55^{f}	0.13^{c}	0.57^{d}	1.52^{f}	7.5	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability levels

مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری و شوری بر پارامترهای مورفولوژیک برگ و دمبرگ گیاه لوبیا سبز

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین وزن تر برگ در شرایط تلقیح باکتری به میزان ۸/۰۲ گرم مربوط به تیمار شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود که نسبت به تیمار عدم تلقیح در همین سطح شوری ۴۰ درصد افزایش داشت (جدول ۴). در سطوح بالاتر شوری تفاوت چشمگیری در میزان وزن تر برگ وجود داشت، به‌طوری‌که کمترین میزان وزن تر برگ در هر دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح باکتری مربوط به سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. حداکثر وزن تر دمبرگ با میانگین ۱/۶۵ گرم به تیمار عدم تلقیح باکتری و شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت که با تیمار تلقیح و شاهد و همچنین تیمار عدم تلقیح باکتری و شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت. در مقابل، کمترین میزان این صفت با کاهش چشمگیری مربوط به تیمار عدم تلقیح باکتری و شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. در صفت وزن خشک دمبرگ، به‌طور کلی با افزایش سطوح شوری، روند نزولی مشاهده شد. بیشترین میزان این صفت در تیمار شاهد (سطح صفر دسی‌زیمنس بر متر) و تلقیح باکتری مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم تلقیح ۲۲ درصد اختلاف داشت. از سوی دیگر شوری ۷/۵

دسی‌زیمنس بر متر و عدم تلقیح باکتری با تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارای کمترین میزان این پارامتر بود که با تیمار تلقیح و شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و همچنین تیمار عدم تلقیح و شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر در یک گروه مشترک قرار گرفتند. بین تیمارهای شاهد، شوری ۲/۵ و پنج دسی‌زیمنس بر متر تفاوت چندانی از لحاظ میزان سطح برگ در شرایط تلقیح باکتری وجود نداشت. بیشترین سطح برگ در تیمار شاهد و تلقیح باکتری وجود داشت که با تیمارهای تلقیح باکتری و شوری ۲/۵ و پنج دسی‌زیمنس بر متر و همچنین تیمار عدم تلقیح و شاهد در یک سطح آماری قرار گرفتند. شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر دارای کمترین میزان سطح برگ در هر دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح باکتری بود (جدول ۴). می‌توان گفت که در تیمارهای کاربرد باکتری میزان پارامترهای مورفولوژیک نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری افزایش یافت، به‌طوری‌که سطح برگ با افزایش شوری کاهش نشان داد اما تلقیح باکتری باعث افزایش این صفت شد. در بررسی کاربرد دو گونه باکتری محرک رشد تحت تنش شوری در گیاه کاهو نشان داده شد که میزان سطح برگ و وزن تر و خشک بوته در محیط شور و حضور باکتری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت. باکتری‌های محرک رشد در روش غیر مستقیم با استفاده از مکانیسم‌های خاصی اثرات مضر بیماری‌گرهای گیاهی را تعدیل نموده و به‌این طریق موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. اما در روش مستقیم این باکتری‌ها با تثبیت آزادزی نیتروژن، تولید متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه در کاهش اثرات سوء اتیلن تنشی، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (Han & Lee, 2005). در همین راستا، یکی از دلایل کاهش یا عدم رشد گیاه در شرایط تنش‌های غیرزنده چون شوری، به تجمع اتیلن در بافت‌ها نسبت داده شد که مکانیسم اصلی به‌کار گرفته شده توسط باکتری‌های محرک رشد در کاهش میزان اتیلن می‌باشد (Penrose & Glick, 2003). همچنین، باکتری‌های محرک رشد با تولید سیدروفورها و مواد کلات‌کننده میزان فراهمی عناصر کم‌مصرف در شرایط شور را افزایش می‌دهند (Cheng *et al*., 2007) که این مسئله باعث می‌شود تا گیاهان دامنه وسیعی از تنش‌های محیطی را تحمل نمایند (Gilick *et al*., 2001).

جدول۳- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری و شوری بر پارامترهای مورفولوژیک برگ و دمبرگ گیاه لوبیا سبز

Table 3. Mean comparison of interaction effect between bactria and salinity on morphological traits of leaf and petiol in green bean

سطح برگ	وزن خشک دمبرگ	وزن تر دمبرگ	وزن تر برگ	Treatment	تیمار
Leaf area (cm^2)	Petiol dry weigh	Leaf fresh weight ($g.plant^{-1}$)	Leaf fresh weight	شوری Salinity ($dS.m^{-1}$)	باکتری Bactria
141.57^{a}	0.27^{a}	1.58^{ab}	6.97^{b}	0	تلقیح Inoculation
140.49^{a}	0.16^{cd}	1.26^{bc}	8.02^{a}	2.5	
138.03^{a}	0.20^{bc}	1.29^{bc}	5.71^{d}	5	
97.50^{c}	0.15^{de}	0.98^{d}	3.28^{e}	7.5	
141.70^{a}	0.22^{b}	1.60^{ab}	6.56^{bc}	0	عدم تلقیح Non-inoculation
129.15^{b}	0.23^{b}	1.65^{a}	5.74^{cd}	2.5	
127.12^{b}	0.15^{de}	1.23^{cd}	6.07^{cd}	5	
92.08^{c}	0.11^{e}	0.64^{e}	2.51^{e}	7.5	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability levels

ب- صفات فیزیولوژیک

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه لوبیا سبز نشان داد که اثر ساده رقم در غلظت کلروفیل *a*، *b*، *a+b* و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). تیمار تلقیح باکتری در غلظت کلروفیل *a* و کاروتنوئید در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت. با این وجود، تنش شوری تمامی رنگدانه‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شده (کلروفیل *a*، *b*، *a+b*، کاروتنوئید و عدد SPAD) را به‌طور کاملاً معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل رقم و باکتری در همه صفات و اثر متقابل رقم و شوری در تمامی صفات به‌جز عدد SPAD معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل باکتری و شوری در تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز کاروتنوئید معنی‌دار شد.

جدول ۴- میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز

Table 4. Mean square of experimental treatments on physiological traits in green bean

عدد SPAD SPAD value	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل $a+b$ Chl $a+b$	کلروفیل b Chl b	کلروفیل a Chl a	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation	
152.52^{ns}	1.51**	19.06**	12.19**	0.55**	1	Cultivar (C)	رقم
156.25^{ns}	3.07**	0.52^{ns}	0.89^{ns}	0.61**	1	Bactria (B)	باکتری
26801.82**	1.10**	61.18**	28.49**	14.01**	3	Salinity (S)	شوری
449.44*	0.00009*	4.49**	25.74**	0.18*	1	C × B	رقم × باکتری
61.30^{ns}	0.0023*	10.72**	4.28**	0.48**	3	C × S	رقم × شوری
457.28**	0.0041^{ns}	1.81*	2.95**	1.11**	3	B × S	باکتری × شوری
721.88**	0.0033^{ns}	6.75**	8.22**	0.36**	3	C × B × S	رقم × باکتری × شوری
54.01	0.0031	0.52	0.64	0.03	48	Experimental error	خطای آزمایشی
13.12	4.69	10.85	12.30	15.70	-	CV (%)	ضریب تغییرات (٪)

ns, *, **: No significant, significant at 5 and 1% levels of probability ns غیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، *

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و باکتری بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز

با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۶)، تلقیح باکتری در هر دو رقم هیبرید و محلی باعث افزایش اکثر رنگدانه‌های مورد مطالعه شد. کمترین غلظت کلروفیل a به میزان ۰/۸۹ میکروگرم در میلی‌لیتر در تیمار رقم هیبرید و عدم تلقیح باکتری مشاهده شد و سایر تیمارها در یک سطح آماری قرار گرفتند. بیشترین غلظت کلروفیل b در رقم محلی و تلقیح باکتری (۷/۶۹ میکروگرم در میلی‌لیتر) و کمترین غلظت در تیمار رقم هیبرید و عدم تلقیح باکتری (۵/۵۵ میکروگرم در میلی‌لیتر) مشاهده شد. همچنین تیمار رقم محلی و عدم تلقیح با تیمار هیبرید و تلقیح باکتری در یک سطح آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر دو رقم هیبرید و محلی، تلقیح باکتری باعث افزایش به‌ترتیب ۱۶ و ۲۰ درصدی غلظت کلروفیل b شد. تیمار رقم محلی و تلقیح باکتری از بالاترین غلظت کلروفیل $a+b$ برخوردار بود که با تیمار محلی و عدم تلقیح در یک گروه قرار گرفت. کمترین غلظت نیز در رقم هیبرید و عدم تلقیح باکتری مشاهده شد. در بین تیمارها از لحاظ میزان کاروتنوئید اختلاف قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین غلظت در تیمار محلی و تلقیح باکتری و کمترین غلظت در تیمار هیبرید و عدم تلقیح باکتری وجود داشت. تلقیح باکتری در محتوای نسبی کلروفیل برگ (SPAD) در رقم محلی اثرگذار نبود اما در مقابل تلقیح باکتری در رقم هیبرید با ۱۶ درصد افزایش نسبت به تیمار عدم تلقیح بیشترین میزان عدد SPAD را نشان داد. بر اساس نتایج همبستگی، بین کلروفیل $a+b$ و SPAD همبستگی مثبت و کاملاً معنی‌داری ($r=0.67^{**}$) وجود داشت (داده‌ها نشان داده نشد). در این زمینه نتایج محققان نشان داد که تلقیح باکتریایی در گیاه آفتابگردان، موجب افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید شد. در واقع می‌توان گفت که باکتری آب و مواد غذایی بیشتری را به‌صورت بهینه در اختیار گیاه قرار داده است که در نتیجه میزان ساخت رنگیزه‌ها را افزایش داده و انتقال آب و مواد فتوسنتزی را در گیاه تسهیل می‌نماید (Marius *et al*., 2005).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و باکتری بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز

Table 5. Mean comparison of interaction effect between cultivar and bactria on physiological traits of green bean

عدد SPAD SPAD number	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل $a+b$ Chl $a+b$	کلروفیل b Chl b	کلروفیل a Chl a	Treatment باکتری Bactria		تیمار رقم Cultivar
		($\mu g.ml^{-1}$)					
55.73^{b}	1.57^{a}	7.39^{a}	7.69^{a}	1.18^{a}	Inoculation	تلقیح	محلی
53.56^{b}	1.26^{b}	7.04^{a}	6.18^{b}	1.27^{a}	Non-inoculation	عدم تلقیح	Landrace
61.95^{a}	1.13^{c}	4.47^{b}	6.58^{b}	1.19^{a}	Inoculation	تلقیح	هیبرید
53.52^{b}	0.82^{d}	5.76^{c}	5.55^{c}	0.89^{b}	Non-inoculation	عدم تلقیح	Hybrid

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability levels

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز

با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۷)، با افزایش سطوح شوری غلظت کلروفیل *a* در هر دو رقم محلی و هیبرید روند نزولی داشت به‌طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل a در هر دو رقم در سطح شاهد (صفر دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. حداقل غلظت کلروفیل *a* در رقم محلی و شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که با تیمار رقم محلی و شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر و همچنین تیمار رقم هیبرید و شوری پنج و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در یک سطح آماری قرار گرفت. بیشترین غلظت کلروفیل *b* در رقم محلی و شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر وجود داشت. کمترین غلظت کلروفیل *b* در رقم هیبرید و شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که با تیمار رقم محلی در همین سطح شوری در یک گروه مشترک قرار گرفت. غلظت کلروفیل a+b نیز در تمامی سطوح شوری اختلاف معنی‌داری را نشان داد، به‌طوری‌که بیشترین میزان *a+b* در تیمار شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم محلی مشاهده شد که نسبت به رقم هیبرید در همین سطح شوری حدود ۲۶ درصد بیشتر بود. کمترین میزان این صفت در هر دو رقم هیبرید و محلی در تیمار شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. غلظت کاروتنوئید با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها در سطوح مختلف شوری نسبت به سطح عدم تنش (صفر دسی‌زیمنس بر متر) کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین غلظت آن به‌میزان ۱/۶۷ میکروگرم در میلی‌لیتر در سطح صفر دسی‌زیمنس بر متر و رقم محلی مشاهده شده است. همچنین کمترین میزان غلظت کاروتنوئید به سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم هیبرید تعلق داشت. در این آزمایش غلظت رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید در هر دو رقم با افزایش سطوح شوری کاهش یافت که با نتایج محققان دیگر در دو گیاه سویا (Weisany *et al*., 2011) و گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری (Talebzade *et al*., 2009) همسویی داشت. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری به‌دلیل فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیلاز گزارش شده است. همچنین بعضی از مواد تنظیم کننده رشد نظیر آبسزیک اسید و اتیلن موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شوند (Sultan, 2005). تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن موجود در شرایط تنش نیز بر ساختار کلروپلاست آسیب می‌رساند و باعث کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (Desingh *et al.,* 2007). با این وجود در گیاهان عالی مقدار کلروفیل در گیاهان حساس به شوری مانند گوجه‌فرنگی، نخود، سیب‌زمینی و لوبیا کاهش می‌یابد اما در گیاهان متحمل به شوری مانند خردل مقدار کلروفیل افزایش می‌یابد (Kafi *et al*., 2009). با این حال گزارش‌های معدودی از تأثیر افزایشی شوری روی محتوای کلروفیل‌ها در دست است. هر چند، این افزایش ممکن است نتیجه افزایش تعداد کلروپلاست در برگ‌های تحت تنش باشد. علاوه‌بر آن میزان سنتز کلروفیل گیاهان مختلف به هنگام شوری نتیجه عملکرد مسیرهای مختلف سنتزی است که با آنزیم‌های متفاوت قابل پیگیری بوده و این آنزیم‌ها پاسخ‌های متفاوت به شوری نشان می‌دهند (Jamil *et al*., 2007).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز

Table 6. Mean comparison of interaction effect between cultivar and salinity on physiological traits of green bean

کاروتنوئید	کلروفیل *a + b*	کلروفیل *b*	کلروفیل *a*	Treatment	تیمار
Carotenoid	Chl *a+b*	Chl *b*	Chl *a*	شوری	رقم
	($\mu g.ml^{-1}$)			Salinity ($dS.m^{-1}$)	Cultivar
1.67^{a}	8.55^{b}	7.50^{b}	2.51^{a}	0	
1.40^{b}	10.18^{a}	9.10^{a}	1.38^{b}	2.5	محلی
1.27^{bc}	5.48^{e}	5.89^{de}	0.56^{cd}	5	Landrace
1.12^{c}	4.63^{f}	5.25^{ef}	0.45^{d}	7.5	
1.36^{b}	6.58^{d}	6.22^{d}	2.46^{a}	0	
1.05^{e}	7.44^{c}	7.10^{bc}	0.68^{c}	2.5	هیبرید
0.93^{f}	6.47^{d}	6.33^{cd}	0.51^{cd}	5	Hybrid
0.74^{g}	3.98^{f}	4.59^{f}	0.50^{cd}	7.5	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability levels

مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری و شوری بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز

نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌های اثر متقابل باکتری و شوری (جدول ۸) نشان داد که با افزایش سطوح شوری از غلظت کلروفیل *a* در هر دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح باکتری کاسته شد. بیشترین غلظت کلروفیل *a* در تیمار تلقیح باکتری و در سطح شاهد (صفر دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم تلقیح در همین سطح حدود ۴۷ درصد افزایش داشت. در مقابل تیمار شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و عدم تلقیح باکتری از حداقل غلظت کلروفیل *a* برخوردار بود که با تیمار شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر در یک گروه قرار گرفت. سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر دارای بیشترین غلظت کلروفیل *b* در هر دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح باکتری بود که با افزایش شوری از میزان کلروفیل *b* نیز کاسته شد. به‌طوری‌که شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار عدم تلقیح دارای کمترین میزان کلروفیل *b* بود. روند تغییرات کلروفیل *a+b* تا حدودی همانند کلروفیل *b* بود. بیشترین میزان محتوای کلروفیل کل برگ (عدد SPAD) با ۱۰ درصد افزایش نسبت به تیمار عدم تلقیح، به تیمار شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر (شاهد) و تلقیح باکتری تعلق داشت. اما پس از اعمال تنش شوری افت چشمگیری در میزان آن مشاهده شد. به‌طوری‌که شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار عدم تلقیح کمترین میزان این پارامتر (۱۹/۲۷ میکروگرم در میلی‌لیتر) را به‌خود اختصاص داد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که حداکثر میزان رنگدانه‌های مورد مطالعه در تیمار تلقیح باکتری وجود داشت. در این زمینه در خصوص تغییرات کلروفیل در گیاه کاهو تحت تنش شوری و اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بررسی‌هایی انجام شد و نشان داده شد که تلقیح باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش غلظت کلروفیل نسبت به تیمار شاهد شد (Han & Lee, 2005). این امر می‌تواند مربوط به تولید و ترشح ترکیبات تحریک‌کننده رشد گیاه و یا برخی هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد باشد که توسط ریزموجودات در خاک تولید شده و رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این باکتری‌ها از طریق مکانیسم‌های مختلف نظیر تولید انواع آنتی‌بیوتیک و همچنین از طریق تولید فیتوهورمون‌ها مثل اکسین‌ها، جیبرلین‌ها باعث ایجاد مقاومت سیستمیک در گیاهان می‌شوند (Barea *et al*., 2005).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح با باکتری و سطوح شوری در پارامترهای فیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز

Table 7. Mean comparison of interaction effect between cultivar and salinity on physiological traits of green bean

عدد SPAD	کلروفیل *a* + *b*	کلروفیل *b*	کلروفیل *a*	Treatment	تیمار
SPAD number	Chl *a*+*b*	Chl *b* ($\mu g.ml^{-1}$)	Chl *a*	شوری Salinity ($dS.m^{-1}$)	باکتری Bactria
105.23[a]	7.05[c]	6.60[cd]	2.96[a]	0	تلقیح Inoculation
72.36[c]	9.11[a]	8.55[a]	0.94[c]	2.5	
20.33[d]	5.96[d]	5.86[de]	0.59[d]	5	
20.58[d]	4.19[e]	5.45[e]	0.59[d]	7.5	
96.56[b]	8.08[b]	7.12[bc]	2.01[b]	0	عدم تلقیح Non-inoculation
89.55[b]	8.52[ab]	7.66[b]	1.11[c]	2.5	
23.63[d]	6.00[d]	6.35[cd]	0.46[de]	5	
19.27[f]	4.42[e]	4.39[f]	0.36[e]	7.5	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر ندارند

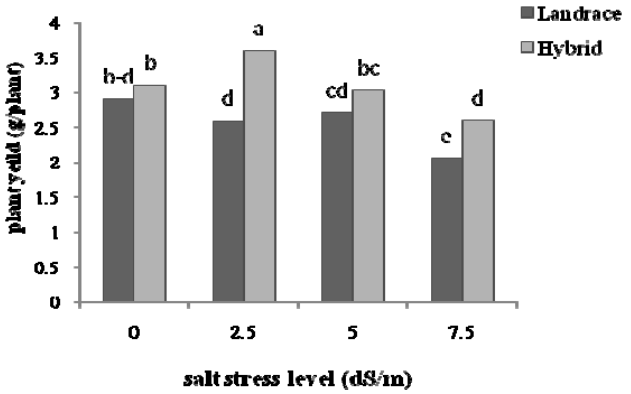
Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability levels

ج: عملکرد غلاف

در اثر متقابل رقم و شوری مشاهده شد که رقم هیبرید در تمامی سطوح شوری نسبت به رقم محلی از لحاظ صفت عملکرد غلاف در سطح بالاتری قرار گرفت (شکل ۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بالاترین میزان عملکرد مربوط به رقم هیبرید و شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود که ۲۸ درصد بیشتر از رقم محلی در همین سطح بود. همچنین کمترین میزان عملکرد در تیمار رقم محلی و شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. نتایج نشان داد که بین رقم هیبرید و محلی از لحاظ صفت عملکرد غلاف و مقاومت به شوری اختلاف چشمگیری وجود دارد. رقم هیبرید در واقع اشاره به بذر F1 دارد که از راه مستقیم از تلاقی دو والدی که از نظر ژنتیکی متفاوت هستند، تولید می‌گردد. در این ارقام، صفات کیفی و مفید هر دو والد با هم ترکیب شده و منتج به پدیده‌ای به‌نام نیروی هیبریدی[1] (برتری هیبرید نسبت به والدین) می‌گردد،

1- Hybrid vigor or Heterosis

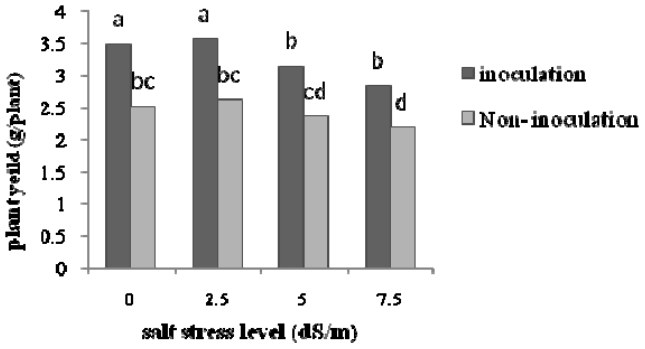
لذا این عامل باعث عملکرد بیشتر ارقام هیبرید در مقایسه با ارقام معمولی می‌شود (Arzani, 2009). با این وجود افزایش سطوح شوری باعث کاهش عملکرد در هر دو رقم شد. در پژوهش‌های دیگر، کاهش رشد و عملکرد گیاه سویا (Hamayun *et al*., 2010) و کاهش تعداد غلاف و در نهایت عملکرد کل گیاه لوبیا سبز (Abdel *et al*., 2010) و در اثر افزایش شوری گزارش شد. به نظر می‌رسد عدم آماس مناسب سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره‌ی رشد گیاه و نیز مکانیسم‌های فرار از تنش همگی می‌توانند از توسعه عادی سلول‌ها ممانعت و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد گیاه را در پی داشته باشند (Hamayun *et al*., 2010).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف شوری بر عملکرد گیاه لوبیا سبز در دو رقم هیبرید و محلی

Fig. 2. Effect of different salt stress levels on green bean yield of landrace and hybrid cultivars of green bean

نمودار مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری و شوری (شکل ۳) در مورد صفت عملکرد غلاف نشان داد که تیمار تلقیح باکتری در تمامی سطوح شوری نسبت به تیمار عدم تلقیح در سطح بالاتری قرار داشت. تیمار تلقیح در دو تیمار شاهد و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر از بالاترین میزان عملکرد غلاف برخوردار بود که با تیمار تلقیح و شاهد در یک گروه مشترک قرار گرفت. نتایج نشان داد که تلقیح باکتری باعث افزایش ۳۴ درصدی عملکرد غلاف نسبت به تیمار عدم تلقیح در سطح ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر شوری شد. کمترین میزان عملکرد غلاف نیز مربوط به تیمار عدم تلقیح و شوری پنج و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. در پژوهش حاضر، تنها صفت سطح برگ ($P\leq$۰/۰۱ *r=0.59;*) و کلروفیل *a* ($r=0.73$; $P\leq$۰/۰۱) با عملکرد غلاف همبستگی مثبت و کاملاً معنی‌داری داشتند (داده‌ها نشان داده نشد). بنا به گزارش محققان تولید فیتوهورمون‌ها از جمله اکسین توسط باکتری آزوسپیریلوم را یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاهان تلقیح‌شده با باکتری آزوسپیریلوم عنوان کردند (Koochaki *et al*., 2008). علاوه بر این نیز ثابت شده است که اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها ریزش برگ، گل و میوه را به تأخیر می‌اندازد (Fathi *et al*., 2000). در این راستا افزایش عملکرد کلزا تحت شرایط شوری در اثر تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد همراه با افزایش در میزان روغن، فعالیت سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب عناصر غذایی نیز گزارش شد (Jalili *et al*., 2009). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که *آزوسپریلیوم* با تعدیل شوری در بالابردن عملکرد دانه ارقام گندم نقش مثبت و معنی‌داری ایفا می‌کند. این محققان عنوان کردند *آزوسپیریلوم* با استفاده از محافظ اسمزی مناسب نظیر پرولین، گلیسین و بتائین در شرایط شور با تجمع مواد تنظیم کننده اسمتیک احتمالاً در ایجاد شرایط مناسب در تحمل به شوری کمک می‌کنند (Mostajeran *et al*., 2006).



شکل ۳- اثر سطوح مختلف شوری بر عملکرد غلاف گیاه لوبیا سبز در تیمار تلقیح و عدم تلقیح باکتری

Fig. 3. Effect of different salt stress levels on pod yield in inoculation and non-inoculation bactria treatments

در نهایت می‌توان بیان کرد در سطوح شوری پایین، باکتری می‌تواند اثرات نامطلوب تنش اسمتیک بر گیاه لوبیا سبز را کاهش داده و تا حد زیادی اثرات منفی تنش شوری را تعدیل نماید. هر چند قرار گرفتن گیاه لوبیا سبز تنش شوری کاهش رشد و عملکرد آن را در پی داشت اما تلقیح باکتریایی در سطوح مختلف تنش اثر مثبت و معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد غلاف گذاشت. همچنین رقم هیبرید در صفت عملکرد غلاف، که مهم‌ترین پارامتر این گیاه، می‌باشد کارامدتر از رقم محلی در شرایط تنش عمل می‌کند. در مجموع نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر نقش مفید باکتری‌های افزاینده رشد در فرآیندهای بیوشیمیایی، مورفولوژیکی و همچنین بهبود رشدی گیاه لوبیا سبز به‌ویژه در شرایط تنش شوری ملایم است.

منابع

1. Abdel-Mawgoud, A.M., El-Nemr, M.A., Tantawy, A.S., and Habib, A. 2010. Alleviation of salinity effects on green bean plants using some environmental friendly materials. Journal of Applied Sciences Research 6 (7): 871-878.
2. Arzani, A. 2009. Crops Improvements. Esfahan Technology University Publications. p 606. (In Persian).
3. Banaei, M., Momeni, A., Baybordi, M., Malakuti, M. 2004. Iran Soils; New Developments in the Diagnosis, Management and Exploitation, Soil and Water Research Institute. p 500. (In Persian).
4. Barea, J.M., Pozo, M.J., and Azcon-Aguilar, R. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. Journal of experimental Botany 56: 1761-1775.
5. Calvo-Polanco, M., Sánchez-Romera, B., and Aroca, R. 2014. Mild salt stress conditions induce Different responses in root hydraulic conductivity of *Phaseolus vulgaris* L. Over-Time 9 (3): 320-326.
6. Chaiharn, M., Chunhaleuchanon, S., Kozo, A., and Lumyong, S. 2008. Screening of rhizobacteria for their plant growth promoting activities. KMITL Science and Technology Journal 8:18-23.
7. Cheng, Z., Park, E., and Glick, B.R. 2007. 1- Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from Pseudomonas putida UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. Canadian Journal of Microbiology 53: 912-918.
8. Desingh, R., and Kanagaraj, G. 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. General and Applied Plant Physiology 33 (3-4): 221-234.
9. Emadi, A., Jones, R. J., and Brodsky, R. A. 2009. Cyclophosphamide and cancer: golden anniversary. Nature Reviews Clinical Oncology 6 (11): 638-647.
10. Fathi, G., Esmaeilpour, B. 2000. Plant Growth Substances, Mashhad University Press. p 288. (In Persian).
11. Gama, P.B.S., Inanaga, S., Tanaka, K., and Nakazaa, R. 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress, African Journal of Biotechnology 6 (2): 79-88.

12. Garrido, Y., Tudela, J.A., Marín, A., Mestre, T., Martínez, V., and Gil, M.I. 2014. Physiological, phytochemical and structural changes of multi-leaf lettuce caused by salt stress. Journal of the Science of Food and Agriculture 94 (8): 1592-1599.
13. Gilick, B.R., Penrose, D., and Wenbo, M. 2001. Bacteria promotion of plant growth. Biotechnology Advances 19: 135- 146.
14. Hamayun, M., Afzal Khan, S., Latif Khan, A., and Shinwari, Z. 2010. Effect of salt stress on growth attributes and endogenous growth hormones of soybean cultivar hwangkeumkong. Pakistan Journal Botany 42 (5): 3103- 3112.
15. Han, H.S., Suppanjani, K., and Lee, D. 2004. Effect of coinoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Agronomy Journal 24: 169 - 176.
16. Ipek, M., Pirlak, L., Esitken, A., Figen Donmez, M., Turan, M., and Sahin, F. 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria (Pgpr) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions. Journal of Plant Nutrition 37 (7): 990-1001.
17. Jalili, F., Khavazi, K., Pazira, E., Nejati, A., Rahmani, H.A., Sadaghiani, H.R., and Miransari, M. 2009. Isolation and characterization of ACC deaminase-producing fluorescent pseudomonads, to alleviate salinity stress on canola (*Brassica napus* L.) growth. Journal of Plant Physiology 166 (6): 667-674.
18. Jamil, M., Rehman, S.H. and Rha, E.S. 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). Pakistan Journal of Botany 39: 753-760.
19. Kafi, M., and Mahdavi Damghani, A. 2000. Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants .Ferdowsi University of Mashhad Publications. p 467. (In Persian).
20. Khoramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mohalatiand, M., and Gorbani, R. 2008. Effects of biological fertilizers application on growth indices of *Nigella sativa* L. Iranian Agronomy Research 6: 285-294. [In Persian with English summary].
21. Kiyani, K. 2009. Benefits and Harms of Medicinal Herbs, Fruits and Vegetables, Dairy, Pulses, Nuts, etc. p 520. (In Persian).
22. Koochaki, A., Tabrizi, L., and Ghorbani, R. 2008. Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of hyssop *(Hyssopus officinalis)*. Iranian Journal of Field Crops Research. 6 (1): 127-137. (In Persian with English Summary).
23. Kungu, J.B., Lasco, R.D., Cruz, L.U.D., Cruz, R.E.D., and Husain, T. 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on copping ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. Pakistan Journal of Botany 40: 2217-2224.
24. Lovelli, S., Scope, A., Perniol, M., Tommaso, T., and Sofo, A. 2012. Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinzed tomato plants. Journal of Plant Physiology 169: 226-233.
25. Ma, Y., Prasad, M.N.V., Rajkumar, M., and Freitas, H. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. Biotechnology Advances 29 (2): 248-258.
26. Maghsoudi, A., and Maghsoudi, K. 2008. Salt stress effects on respiration and growth of germinated seeds of different wheat cultivars. World Journal of Agricultur Science 4: 351-358.
27. Marius, S., Octavita, A., Eugen, U., Vlad, A. 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus anuus* L.). Genetics and Molecular Biology 12 (2): 11-17.
28. McClean, P., Kami, J., and Gepts, P. 2004. Genomics and genetic diversity in common bean. Legume Crop Genomics 60-82.
29. Mostajeran, A., Amoagaei, R., and Emtiazi, G. 2006. Effects of Azospirillium and irrigation water salinity on grain yield and protein content of wheat cultivars. Scientific Journal of Esfahan University 18 (3): 248-260. [In Persian with English summary].
30. Norani Azad, H., and Haji Bagheri, M. 2008. Effect of salt stress on some physiological parameters of dill (*Anethum graveolens*). Modern Science of Agriculture Journal. 12: 93-100. (In Persian with English Summary).

31. Penrose, D.M., and Glick, B.R. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. Physiologia Plantarum 118 (1): 10-15.
32. Porra, R.J., Thompson, W.A., and Kriedemann, P.E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectrometry. Photosynthesis Research 975: 384-394.
33. Shiyab, S.M., Shatnawi, M.A., Shibli, R.A., Al Smeirat, N.G., Ayad, J., and Akash, M.W. 2013. Growth, nutrient acquisition and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress. Journal of Plant Nutrition 36 (4): 665-676.
34. Sultan, A. 2005. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany 42 (3): 211-220
35. Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Sinauer Associates Publication. p660.
36. Talebzadeh, Z., Mehdizadeh, H., and Abrishamchi, P. 2009. Determination of two Tomato (*Lycopersicon esculentum*) tolerance threshold to salinity. Journal Plant Ecophysiology 1: 64-77.
37. Weisany, W., Sohrabi, Y., and Heidari, Gh. 2011. Physiological responses of soybean to zinc application under salinity stress. Australian Journal of Crop Science 5 (11): 1441- 1447.
38. Zahir, A.Z., Arshad, M., and Franken Berger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria. Advances in Agronomy 81: 97-168.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 5, No. 2, 2014, p. 43-56

Evaluation of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on some grows parameters and photosynthetically pigments of two green bean *(Phaseolus vulgaris* L.) plant cultivars under salt stress conditions

Firoozi[1], H., Pirdashti[2*], H. & Hosseini[3], S.J.

1- Hoticultural Department, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
2-Associate Professor, Agronomy Department, Genetic and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan; Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
3-Department of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 5 June 2013
Accepted: 14 January 2015

Abstract

Nowadays, protection of environment and safe agricultural production are an important aims of the sustainable agriculture. Also, in attention to abundance of saline soil and water resources in the country, the present research was designed to evaluate PGPR inoculation effect on some morphological and physiological traits of two green bean plant cultivars under salinity stress conditions. A greenhouse experiment was designed on factorial arrangement based on completely randomized design with four replications at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2012. The treatments consist of salinity (sodium chloride) in four levels (0, 2.5, 5 and 7.5 $dS.m^{-1}$), two cultivars (landrace and Hybrid) and pretreatment of PGPR at two levels (non-inoculation and inoculation with *Azospirillium brazilence* and *Azotobacter chroococcum*). The results showed that interaction effect of cultivar and bacteria were significant on all physiological parameters, fresh and dry weights and leaf area. Bacteria inoculation increased leaf area with 11 % ratio than non-inoculation treatments. Also, interaction effect of cultivar and salinity were significant in all physiological parameters, shoot fresh weight, leaf fresh and dry weight, leaf area, petiol dry weight and yield except SPAD value. The maximum amount of pod yield with 3.6 gr per plant was observed in hybrid cultivar and 2.5 $dS.m^{-1}$ salt stress treatment. Interaction effect of bacteria and salinity were significant in all biochemical traits, leaf fresh weight, leaf area, petiol fresh and dry weights and yield. Bacteria inoculation influenced pod yield in all levels. The results exhibited 2.5 $dS.m^{-1}$ salt stress level and bacteria inoculation treatment with 34% obtained higher amount of pod yield ratio than non-inoculation treatment. In conclusion, results of this research represent the benefit role of PGPR on amelioration of biochemical, morphological parameters and plant growth improvement under mid salt stress conditions

Key words: *Azospirillium*, *Azotobacter*, Hybrid, Chlorophyll, Inoculation

* **Corresponding Author:** h.pirdashti@sanru.ac.ir, Tel: 0151-3822747