نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد پنجم، شماره اول، ۱۳۹٤
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر کاربرد باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد گیاه بر کاهش اثرات تنش شوری در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)

داود سقفی[۱]، *حسینعلی علیخانی[۲] و بابک متشرع‌زاده[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، [۲]استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران،
[۳]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۲٦

چکیده

یک آزمایش گلخانه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد گیاه بر رشد و ترکیب یونی کلزا تحت تنش شوری، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، اجرا شد. چهار سطح شوری ۰، ۳، ٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از مخلوط املاح NaCl و $MgCl_2$ در گلدان‌ها اعمال گردید. بذور کلزا با جدایه‌های انتخاب شده (T_2= باکتری Sm29، T_3= باکتری Sm103، T_4= باکتری Rlp307، T_5= باکتری Rlp281، T_6= باکتری Rlp258، T_7= باکتری Rlp266) و شاهد (T_1) تلقیح شدند. در مجموع، با افزایش سطوح شوری شاخص‌های رشد (به‌جز کلروفیل) و ترکیب یونی (به‌جز پتاسیم و سدیم) گیاه کلزا کاهش یافت. نتایج نشان داد مایه‌زنی با باکتری‌های ریزوبیومی تحت تنش شوری، سبب افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) کلروفیل (تا ۸/۳٤ درصد)، سطح برگ (تا ۱۷ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (تا ۸/۷۸ درصد)، وزن تر اندام هوایی (تا ۲۰/٤ درصد) و وزن تر ریشه (تا ٤۹ درصد) نسبت به شاهد گردید. به‌علاوه، مایه‌زنی باکتری جذب یون سدیم را کاهش (تا ۲۹ درصد) و تجمع نیترون، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز را در اندام هوایی نسبت به شاهد افزایش داد. بین جدایه‌های انتخاب شده، T_5 (مقاوم به شوری، مولد ACC- دآمیناز، IAA و حل‌کننده فسفات‌های نامحلول معدنی) تحت تنش شوری کارایی بهتری را نشان داد. افزایش رشد و جذب عناصر غذایی در این جدایه، می‌تواند به‌دلیل تعادل تغذیه‌ای بهتر باشد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت استفاده از زادمایه باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد اثرات منفی شوری را بر شاخص‌های رشد و شرایط تغذیه‌ای کلزا کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های ریزوبیومی، ترکیب یونی، رشد، شوری، کلزا

مقدمه

شمار خاک‌هایی که در جهان تحت‌تأثیر شوری قرار گرفته‌اند، ۹۰۰ میلیون هکتار برآورد شده است که ٦ درصد از کل اراضی دنیا را در بر می‌گیرد (فلاور، ۲۰۰٤). توزیع و پراکندگی اراضی شور در سطح جهان یکنواخت نیست به‌طوری‌که قاره استرالیا با حدود ۳٦۰ میلیون هکتار و قاره آسیا با حدود ۳۱۰

* مسئول مکاتبه: halikhan@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

میلیون هکتار اراضی شور دارای بیش‌ترین سطح اراضی شور می‌باشند. در آسیا نیز بعد از شوروی سابق، چین، هندوستان و پاکستان، بیش‌ترین سطح خاک‌های شور به ایران تعلق دارد (ICARDA، ۲۰۰۲). به‌طوری‌که آمار فائو (۲۰۰۵) بیانگر این است که ۲۵/۵ میلیون هکتار از اراضی ایران شور و ۸/۵ میلیون هکتار بسیار شور هستند. شوری در اثر پدیده‌های طبیعی (برای مثال بارندگی کم) یا فعالیت بشر (مانند عملیات نامناسب کشاورزی) پدید می‌آید و رشد گیاهان و تولید محصول را، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش می‌دهد (شانون، ۱۹۸٤)، آبشویی نمک‌ها به لایه‌های عمقی خاک با آب فراوان، معمول‌ترین روش کاهش مقدار نمک در منطقه ریشه می‌باشد (کوادیر و همکاران، ۲۰۰۳). با این حال، آبشویی خاک در مناطق به دور از منابع آبی و یا زهکشی پایین، مشکل است. در این مناطق، وجود تبخیر بالا نیز منجر به شوری خاک می‌گردد. شوری خاک با اثرات منفی مانند تنش اسمزی، سمیت یون‌های سدیم و کلر، تولید اتیلن، پلاسمولیز، عدم تعادل یونی و مداخله در فتوسنتز، مانع از رشد و توسعه گیاهان می‌شود (سایرام و تیاقی، ۲۰۰٤).

یکی از روش‌های کاهش اثرات منفی تنش شوری، راه‌کارهای بیولوژیکی مثل استفاده از باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد گیاه (PGPR)[1] مقاوم به شوری می‌باشد (باسیلیو و همکاران، ۲۰۰٤). پژوهش‌ها ثابت کرده است که ریزوبیوم‌ها نیز فعالیت‌های محرک رشدی را با گیاهان غیرلگوم نشان می‌دهند (محبوب و همکاران، ۲۰۰۸). مکانیسم‌هایی که به این باکتری‌ها نسبت داده می‌شود شامل: افزایش تحرک و کارایی جذب عناصر غذایی (بیسواس و همکاران، ۲۰۰۰)، انحلال فسفات‌های نامحلول (علیخانی و همکاران، ۲۰۰٦)، تولید هورمون‌های گیاهی مانند IAA (داکورا، ۲۰۰۳) و ویتامین‌ها (دبلاری و همکاران، ۲۰۰۳)، تولید آنزیم ACC-دآمیناز (ما و همکاران، ۲۰۰۳) می‌باشد.

برهم‌کنش‌های بین گیاهان و باکتری‌های مفید نشان داده است که این باکتری‌ها با مکانیسم‌های مختلف در برابر تنش‌های محدودکننده محیطی، از گیاهان محافظت می‌کنند. یکی از این مکانیسم‌ها تغییر در مورفولوژی ریشه است که هورمون‌های گیاهی به‌ویژه IAA نقش مهمی در این فرآیند دارند (پوترز و همکاران، ۲۰۰۷). مشخص شده است که باکتری‌های فرا ریشه‌ای با تولید IAA و در نتیجه افزایش رشد ریشه و تشکیل ریشه‌های جانبی، رشد گیاهان را در شرایط تنش افزایش می‌دهند (لونگ و همکاران، ۲۰۰۸). طی پژوهشی گیاهان گندم و لوبیا در شرایط شور با باکتری آزوسپریلوم تلقیح شدند و نتایج نشان داد که گیاهان مایه‌زنی شده در مقایسه با تیمار شاهد، رشد بیش‌تری داشتند (باسیلیو و همکاران، ۲۰۰٤). از طرفی وقتی گیاهان تحت تنش شوری قرار می‌گیرند، غلظت اتیلن درونی آن‌ها افزایش می‌یابد (زاپاتا و همکاران، ۲۰۰٤). شاهارونا و همکاران (۲۰۰۷a) مشاهده کردند که گیاهک‌های نخودفرنگی مایه‌زنی شده با باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز با کاهش غلظت اتیلن تنشی در گیاه، سبب افزایش ارتفاع گیاه و طول ریشه شدند. سرگیوا و همکاران (۲۰۰٦) تأثیر مایه‌زنی باکتری آگروباکتریوم ریزوژنز مولد ACC-دآمیناز را بر رشد گیاه کلزا در شرایط شور بررسی نمودند، ایشان بیان کردند که در تیمارهای باکتری افزایش در وزن تر و خشک، محتوای کلروفیل و پروتئن برگ گیاه نسبت به تیمار شاهد، منجر به مقاومت گیاه در مقابل شوری گردیده است. جلیلی و همکاران (۲۰۰۹) نیز طی پژوهشی تأثیر باکتری‌های

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

Archive of SID

www.SID.ir

سودوموناس فلورسنس و پوتیدا را بر رشد گیاه کلزا تحت تنش شوری مطالعه کردند، نتایج نشان داد تیمارهای باکتری با افزایش جوانه‌زنی بذور کلزا و رشد دانهال، اثرات منفی شوری بر رشد گیاه را کاهش داده‌اند.

در شرایط شور به‌دلیل عدم تعادل عناصر غذایی رشد گیاهان کاهش می‌یابد، بنابراین وجود تعادل در تجمع یونی، جذب و توزیع یون‌ها، به‌ویژه بین غلظت سدیم با سایر یون‌ها درون گیاهان لازم می‌باشد و توانایی گیاهان برای مقاومت به شرایط شور، به محدود شدن جذب سدیم و جذب پیوسته پتاسیم توسط ریشه‌ها نسبت داده می‌شود (اشرف، ۲۰۰٤). نادیم و همکاران (۲۰۰۷) در اثر مایه‌زنی بذور ذرت با باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز دریافتند جذب فسفر و پتاسیم تحت تنش شوری افزایش می‌یابد. ایشان نتیجه گرفتند که مایه‌زنی با جدایه‌های PGPR احتمالاً با تنظیم نسبت پتاسیم به سدیم و نگهداری تعادل عناصر غذایی، رشد گیاهان را در شرایط شور افزایش می‌دهند. ویواس و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند تحت تنش شوری در اثر مایه‌زنی جدایه باسیلوس در گیاه کاهو غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب ۵، ۷۰ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین نادیم و همکاران (۲۰۰٦) اثر باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز را بر ترکیب شیمیایی گیاه ذرت تحت تنش شوری بررسی کردند. نتایج نشان داد غلظت نیتروژن و فسفر به‌ترتیب ۵۵ و ٥٦ درصد افزایش و غلظت سدیم حدود ١٦ درصد در اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. به عقیده آن‌ها تیمارهای PGPR با کاهش عدم تعادل یونی، اثرات منفی شوری بر رشد گیاه را کاهش داده‌اند.

گزارش شده است که باکتری‌های ریزوبیومی نیز از طریق تغییر در مورفولوی ریشه و در نتیجه افزایش کارایی استفاده از آب و عناصر غذایی، سبب افزایش مقاومت گیاهان به شوری می‌شوند (محبوب و همکاران، ۲۰۰۹). لی و هان (۲۰۰۵) تحت تنش شوری، گیاه کاهو را با باکتری‌های ریزوبیوم و سراشیا تلقیح کردند، نتایج نشان داد که در تیمارهای مایه‌زنی شده جذب فسفر و کلسیم در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. رمضانیان و همکاران (۲۰۰٤) کارایی باکتری‌های ریزوبیومی مولد ACC- دآمیناز را برای تعدیل اثرات سوء اتیلن تنشی در گیاه گندم بررسی کردند. طبق نتایج، مایه‌زنی باعث افزایش معنی‌دار طول ساقه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های اولیه، وزن ریشه و ساقه نسبت به شاهد گردید. خسروی و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی تأثیر باکتری‌های ریزوبیومی مولد ACC- دآمیناز را بر رشد گیاه گندم تحت تنش شوری و خشکی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که مایه‌زنی با این باکتری‌ها از طریق افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، طول ریشه، جذب عناصر غذایی آهن، منگنز و مس نسبت به شاهد، منجر به کاهش اثرات مخرب تنش شوری بر رشد گیاه شده است. بنابراین این پژوهش نیز با هدف بررسی اثر ریزوبیوم‌های محرک رشد، بر شاخص‌های رشد و محتوای عناصر غذایی گیاه کلزا تحت تنش شوری انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۰ در گلخانه گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

تیمارها شامل: شوری در چهار سطح .S، S_1، S_2 و S_3 (به‌ترتیب ۰، ۳، ٦ و ۹ دسی زیمنس بر متر) و نوع باکتری (در هفت سطح T_1= بدون باکتری، T_2= باکتری Sm29، T_3= باکتری Sm103، T_4= باکتری Rlp307، T_5= باکتری Rlp281، T_6= باکتری Rlp258، T_7= باکتری Rlp266)، بودند. باکتری‌های ریزوبیومی (شماره‌های ۲۹ و ۱۰۳ متعلق به گونه *سینوریزوبیوم ملیلوتی* (Sm) و شماره‌های ۲۵۸، ۲٦٦، ۲۸۱ و ۳۰۷ متعلق به گونه *ریزوبیوم لگومینوزاروم* بیووار *فازئولی* (Rlp)) از بانک ژن گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران تهیه گردید و برخی صفات محرک رشدی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). میزان تحمل به شوری جدایه‌ها در محیط YMA[1] با ترکیبی از املاح NaCl و $MgCl_2$ (با نسبت مولی ۱ به ۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون کمی توان تولید IAA به روش پتن و گلیک (۲۰۰۲) در محیط DF[2] (شامل ٤ گرم در لیتر KH_2PO_4، ٦ گرم در لیتر Na_2HPO_4، ۰/۲ گرم در لیتر $MgSO_4.7H_2O$، ۲ گرم در لیتر گلوکز، ۲ گرم در لیتر گلوکونیک اسید، ۲ گرم در لیتر سیتریک اسید و همچنین عناصر میکرو شامل: ۱ میلی‌گرم در لیتر $FeSO_4.7H_2O$، ۱۰ میکروگرم در لیتر H_3BO_3، ۱۰ میکروگرم در لیتر $MnSO_4.7H_2O$، ۱۲٤/٦ میکروگرم در لیتر $ZnSO_4.7H_2O$، ۸/۲۲ میکروگرم در لیتر $CuSO_4.7H_2O$، ۱۰ میکروگرم در لیتر MoO_3 و pH=۷/۲)، آزمون کیفی (نیمه‌کمی) تولید آنزیم ACC- دآمیناز به روش پنروز و گلیک (۲۰۰۱) در محیط RMM[3] (شامل سه جزء A: ۱/۰۲۵ گرم K_2HPO_4، ۰/۷۲۵ گرم KH_2PO_4، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و pH برابر ۷، جزء B: ۰/۰۷۵ گرم NaCl، ۰/۰۰۵ گرم $CaCl_2$، ۰/۲۵ گرم $MgSO_4.7H_2O$، ۵ گرم مانیتول و ۵ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند، جزء C: پانتوتنیک اسید، بیوتین و تیامین، هر کدام به مقدار ۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) بررسی گردید و جدایه‌هایی که اندازه کلنی آن‌ها بر روی محیط RMM+ACC بزرگ‌تر از محیط شاهد مثبت (RMM+NH_4Cl) بود، به‌عنوان جدایه‌های توانمند (+) ارزیابی شدند. همچنین آزمون کمی انحلال فسفات‌های نامحلول معدنی در محیط کشت مایع اسپربر (۱۰ گرم در لیتر گلوکز، ۰/۵ گرم در لیتر عصاره مخمر، ۰/۱ گرم در لیتر $CaCl_2$، ۰/۲۵ گرم در لیتر $MgSO_4.7H_2O$، ۲/۵ گرم در لیتر $Ca_3(PO_4)_2$، ۱۵ گرم در لیتر آگار) به روش زرد (جئون و همکاران، ۲۰۰۳) انجام شد. برای تهیه زادمایه جدایه‌های منتخب، باکتری‌ها بر روی محیط YMB[4] کشت و به‌مدت ٤۸ تا ۷۲ ساعت (بسته به سرعت رشد باکتری) در دمای ۲۸ درجه سلسیوس بر روی شیکر دورانی با شدت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. پس از رشد کافی باکتری درون محیط کشت، ابتدا دانسیته نوری (OD)[5] سوسپانسیون‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل؛ Unico^{TM} 1100, USA) در طول موج ۵۷۰ نانومتر قرائت و آنگاه با استفاده از منحنی رشد (OD-CFU) و براساس فاکتور رقت[6] و از طریق افزودن مقادیر لازم آب مقطر استریل جمعیت باکتری در تمامی سوسپانسیون‌ها در حد $cfu.ml^{-1}$ 4×10^9 تنظیم گردید. به این ترتیب امکان برداشت و کاربرد تعداد یکسان سلول باکتری زنده برای آزمون‌های مورد نظر فراهم گردید.

1- Yeast extract Mannitol Agar
2- DF Salt Minimal Medium
3- Rhizobia Minimal Medium
4- Yeast extract Mannitol Broth
5- Optical Density
6- Dilution Factor

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱- خصوصیات محرک رشدی جدایه‌های مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای.

جدایه	تحمل به شوری*	توان تولید ایندول استیک اسید IAA (میکروگرم بر میلی‌لیتر) بعد از ۷۲ ساعت	توان تولید ACC دآمیناز بعد از ۹۶ ساعت	مقدار فسفر حل‌شده (ppm) بعد از ۱۲۰ ساعت
Rlp281	متحمل	۱۰/۲	+	۱۲۸
Rlp307	متحمل	۱۰/۲	+	–
Sm103	متحمل	–	+	۹۸
Sm29	متحمل	–	–	۱۵۵
Rlp258	متحمل	–	–	–
Rlp266	حساس	–	–	–

* حساس: عدم رشد در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس به بالا، متحمل: توان رشد در شوری ٤٠ دسی‌زیمنس بر متر.

+: توان تولید ACC- دآمیناز، -: عدم تولید ACC- دآمیناز.

برای کشت گلخانه‌ای از منطقه اطراف کرج نمونه خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر تهیه و از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد. همچنین نمونه‌ای از همان خاک بعد از عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری، برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (بافت به روش هیدرومتر، ظرفیت زراعی توسط دستگاه صفحات فشاری، ماده آلی به روش والکلی بلک، کربنات کلسیم به روش کلسیمتری، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر به روش اولسن و پتاسیم به روش استات آمونیوم) براساس روش‌های متداول (احیایی و بهبهانی‌زاده، ۱۹۹۳) مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۲). نیاز غذایی گیاه با توجه به نتایج آزمون خاک و براساس توصیه کودی تأمین گردید (خادمی و همکاران، ۲۰۰۰). در مرحله بعد مقدار ۵ کیلوگرم خاک الک شده به‌ازای هر گلدان توزین و درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. در این آزمایش از گیاه کلزا رقم RGS003 تهیه شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج استفاده گردید. بذور کلزا به‌مدت ۳۰ ثانیه در الکل ۹٦ درصد و بعد به‌مدت ۲-۱/۵ دقیقه در محلول وایتکس رقیق (۵ درصد) ضدعفونی سطحی و ۸-۷ مرتبه با آب مقطر استریل شستشو گردیدند. سپس بذور برای جوانه‌دار شدن درون ظروف پتری استریل شامل آب- آگار (۱۰ گرم آگار در یک لیتر آب مقطر) به فواصل منظم از هم قرار گرفته و درون انکوباتور با دمای ۲۸-۲٦ درجه سلسیوس گذاشته شدند. پس از ۲٤ ساعت هنگامی که ریشه‌چه‌ها ظاهر شدند، پنج بذر جوانه‌دار شده در هر گلدان کشت شد و مقدار یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون کشت تازه هر جدایه پای هر بذر جوانه‌دار شده مایه‌زنی گردید. برای تیمار شاهد منفی (T_1) از YMB بدون باکتری استفاده شد. پس از ظهور گیاهچه‌ها، تعداد آن‌ها به ۲ عدد در هر گلدان کاهش داده شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای.

خصوصیت خاک	مقدار	خصوصیت خاک	مقدار
شن (درصد)	۳۹	نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۵۳
سیلت (درصد)	۳٦	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۵/٦
رس (درصد)	۲۵	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۳۰
کلاس بافت	لوم	سدیم محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۲
درصد ظرفیت مزرعه (FC)	۱٦	آهن قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/٦۷
pH (عصاره اشباع)	۸/۱۰	روی قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۳۸
EC عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۲۸	منگنز قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳/۵۷
کربن آلی (درصد)	۰/۰٤۳	مس قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/٦۱
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۸/۲۰	جمعیت کل میکروبی (cfu/g.soil)	$۲/۵\times ۱۰^{۵}$

اعمال تنش شوری در تمام سطوح (تیمارها) دو هفته بعد از سبز شدن بذرها با استفاده از محلول مخلوط املاح NaCl و $MgCl_2$ انجام شد. قبل از آبیاری گلدان‌ها با آب شور، سه گلدان شاهد برای هر سطح شوری در نظر گرفته شد و با اضافه کردن آب شور به‌تدریج قابلیت هدایت الکتریکی گلدان‌ها اندازه‌گیری گردید و مشخص شد که اگر گلدان‌های هر سطح شوری با محلول‌های فوق به‌تدریج در ۸ مرحله (دامنه رطوبتی ۸۰-۷۰ درصد ظرفیت زراعی) آبیاری شوند، شوری‌های مورد نظر تأمین می‌شود.

همچنین آبیاری گلدان‌های تحت تنش به روش وزنی و به‌صورت فوق صورت گرفت تا هیچ‌گونه تنش رطوبتی به گیاه وارد نشود. دمای گلخانه در طول دوره رشد در محدوده ۳۲-۲٤ درجه سلسیوس و نور گلخانه توسط ترکیبی از لامپ‌های هالوژن زرد و سفید به‌طور یک در میان به‌میزان متوسط ۱۳۰۰۰ لوکس و با طول دوره روشنایی ۱٤ ساعت تنظیم گردید.

پس از رشد کافی گیاهان کلزا طی یک دوره ٤/۵ ماهه، بوته‌ها برداشت و صفات زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند: سطح برگ به‌ازای هر نشاء، میزان کلروفیل، وزن تر اندام هوایی و ریشه (شاخص سطح برگ، با دستگاه سطح برگ‌سنج و میزان کلروفیل با دستگاه اسپد متر). برای تهیه عصاره گیاه به‌منظور اندازه‌گیری غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) عناصر Cu، Mn، Zn، Fe، P، K و Na در بافت گیاهی، از روش سوزاندن خشک و حل کردن خاکستر به‌دست آمده در ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال استفاده شد (امامی، ۱۹۹۳؛ کوتنی، ۱۹۸۰). بعد از آماده شدن عصاره گیاهی، غلظت سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (ELE) و غلظت آهن، روی، منگنز و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA6600) اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر نیز به روش رنگ‌سنجی در طول موج ٤۳۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV3100) تعیین شد و نیتروژن کل با روش هضم توسط دستگاه کجلدال اندازه‌گیری گردید (امامی، ۱۹۹۳؛ کوتنی، ۱۹۸۰). پس از اندازه‌گیری غلظت عناصر (درصد برای عناصر ماکرو و سدیم، میلی‌گرم بر کیلوگرم برای عناصر میکرو)، نسبت جذب (میلی‌گرم به‌ازای هر گلدان) عناصر مختلف براساس وزن خشک اندام هوایی محاسبه گردید. همچنین محتوای نسبی آب برگ[1] (RWC) نیز از رابطه زیر (برتامینی و همکاران، ۲۰۰٦) محاسبه گردید:

1- Relative Water Content

Archive of SID

www.SID.ir

$$RWC = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژسانس}}$$

داده‌ها با نرم‌افزار SAS تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار MSTAT-C محاسبه گردیدند.

نتایج

اثرات اصلی شوری و باکتری بر شاخص‌های رشد کلزا: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس صفات سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ گیاه و کلروفیل نشان داد که اثر شوری و باکتری بر این صفات معنی‌دار ($P<0/01$) بود. (جدول۳). نتایج مقایسه میانگین برای عدد کلروفیل (شاخص SPAD) نشان داد که با افزایش سطوح شوری مقدار این شاخص افزایش یافت به‌طوری‌که بالاترین مقدار آن در سطح شوری S_3 (EC=۹ دسی‌زیمنس بر متر) به‌دست آمد که افزایش ۲۵/۳۸ درصدی در مقایسه با شاهد نشان داد (شکل ۱–A). همچنین میانگین صفات سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ گیاه با افزایش سطح شوری کاهش یافت (شکل ۱–B و C).

اثر تیمارهای باکتریایی بر عدد کلروفیل نشان داد تیمارهای T_3، T_4 و T_5 به‌ترتیب با ۸/۳۴، ۵/۶۸ و ۳/۲۲ درصد باعث افزایش این شاخص نسبت به تیمار شاهد شدند، ولی اثر سایر تیمارها معنی‌دار نبود (شکل ۱–A). در اثر مایه‌زنی باکتری، بیش‌ترین مقادیر سطح برگ (۳۸۷۳ سانتی مترمربع) از تیمار T_4 به‌دست آمد و T_5 با مقدار ۳۷۸۵ سانتی‌مترمربع در مقام دوم قرار داشت. همچنین تیمارهای T_3 و T_6 بدون اختلاف معنی‌دار با این تیمارها (T_5 و T_4) در رتبه‌های بعدی واقع شدند. در مورد محتوای نسبی آب برگ گیاه نیز تیمار T_5 با افزایش ۸/۷۸ درصدی بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد و تیمار T_4 با افزایش ۸/۶۸ درصدی در مقام دوم قرار گرفت که اختلاف این دو تیمار با تیمارهای T_3 و T_6 از نظر آماری معنی‌دار نشد (شکل ۱–B و C).

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری بر صفات وزن تر ریشه و اندام هوایی معنی‌دار ($P<0/01$) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین این صفات نیز نشان داد که وزن تر اندام هوایی (۹/۳۳ تا ۲۵/۷ درصد) و ریشه (۱۷/۷۶ تا ۳۸/۶ درصد)، نسبت به شرایط بدون تنش (S۰) کاهش یافتند. اثر تیمارهای باکتری نیز بر صفات فوق معنی‌دار ($P<0/01$) گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین افزایش میزان وزن تر اندام هوایی (۲۰/۴۵ درصد) و ریشه (۴۹ درصد) به‌ترتیب از تیمارهای T_5 و T_4 بدست آمد (شکل ۲–A و B).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر باکتری و شوری بر شاخص‌های رشد کلزا.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل	سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه
باکتری (B)	۶	۳۱/۴۵**	۴۹۳۵**	۶۱/۴**	۱۷۱/۸**	۴۰/۳۶**
شوری (S)	۳	۵۰۲**	۱۰۸۵۷۴**	۱۴۹۶**	۱۴۲۶**	۱۱۳**
B*S	۱۸	۱/۶۷^{ns}	۱۰۶۰^{ns}	۸/۱۳^{ns}	۱۱/۴۷*	۱/۵۷**
خطا	۵۶	۲/۳۹	۶۳۴	۸/۴۵	۲/۸۴	۰/۷۹
ضریب تغییرات	-	۳/۰۸	۶/۹۷	۳/۸۹	۳/۶۹	۷/۸۶

Archive of SID

www.SID.ir

اثرات اصلی شوری و باکتری بر جذب عناصر غذایی و سدیم اندام هوایی کلزا: طبق نتایج حاصله از تجزیه واریانس، اثر شوری و باکتری بر پتاسیم، سدیم، نسبت پتاسیم به سدیم، نیتروژن و فسفر معنی‌دار (P<۰/۰۱) گردید (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که بیش‌ترین غلظت (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) پتاسیم و سدیم از سطح شوری S_3 (EC=۹ دسی‌زیمنس بر متر)، به‌ترتیب با افزایش ۲۳ و ٦۸۹ درصد، نسبت به شرایط بدون تنش (S.) به‌دست آمد. به‌علاوه تحت تنش شوری جذب (میلی‌گرم به‌ازای هر گلدان) نیتروژن و فسفر کاهش نشان داد. در اثر مایه‌زنی با تیمارهای باکتری بیش‌ترین مقادیر پتاسیم از تیمارهای T_3 و T_0 به‌دست آمد که اختلاف این دو با تیمار T_4 از نظر آماری معنی‌دار نشد. ولی در مورد سدیم روند برعکس بود به‌طوری‌که براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت آن به‌ترتیب از تیمارهای T_1 (شاهد) و T_3 به‌دست آمد. درمورد نسبت پتاسیم به سدیم نیز همه تیمارهای باکتری باعث افزایش معنی‌دار این نسبت در مقایسه با شاهد شدند. ولی بین تیمارهای باکتری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با این حال، بیش‌ترین مقادیر نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار T_3 (با افزایش ۳۷ درصدی نسبت به شاهد) مشاهده شد. همه تیمارهای باکتریایی باعث افزایش جذب نیتروژن نسبت به تیمار شاهد شدند و بیش‌ترین میانگین جذب مربوط به تیمارهای T_0 و T_4 بود که به‌ترتیب افزایش ۵۳/٦، ۵۲/۹ درصدی را نسبت به شاهد نشان دادند. میانگین مقدار کل جذب فسفر اندام هوایی نیز در همه تیمارهای باکتریایی (۱۱ تا ٤۳ درصد) افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار جذب فسفر مربوط به تیمارهای T_3، T_4 و T_0 بود (جدول ۵).

طبق نتایج حاصله از تجزیه واریانس، اثر شوری و باکتری بر جذب (میلی‌گرم به‌ازای هر گلدان) عناصر میکرو شامل آهن، روی، مس و منگنز معنی‌دار (P<۰/۰۱) گردید (جدول ٤). میانگین مقادیر عناصر میکرو با افزایش سطح شوری کاهش یافت. تیمارهای باکتری نیز باعث افزایش جذب این عناصر در اندام هوایی شدند. طبق نتایج مقایسه میانگین، بالاترین مقادیر آهن (۱۷۳ درصد) و مس (٤۲ درصد) از تیمار T_0 به‌دست آمد. همچنین بیش‌ترین میانگین روی و منگنز در تیمارهای T_4 و T_0 مشاهده شد و بین این تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۵).

جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر باکتری و شوری بر جذب عناصر غذایی و سدیم اندام هوایی کلزا.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		Na	K	K/Na	N	P	Fe	Zn	Cu	Mn
باکتری (B)	٦	۰/۱۳۵**	۰/۱٦**	۱/۳٤**	۳۵۱٦۲**	۳٦۱/۵**	۲۰**	۰/٤۹**	۰/۰۲٦**	۲/۳**
شوری (S)	۳	۱۹/۳**	۰/۷۳**	۱۸۲/٦**	۲۷۹۲٦٦**	۲٦٤۵**	۱٦٤**	۵/۸**	۰/۳۷٦**	۳۱**
B*S	۱۸	۰/۰٤٦**	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۲٦^{ns}	۲۲۵٦**	۳۸/۳**	٦/۸۵**	۰/۰۵**	۰/۰۰۲**	۰/۲٦^{ns}
خطا	۵٦	۰/۰۱۲	۰/۰۳۸	۰/۲۸	٤۹۲	۸/۱٤	۰/۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۰/۳۵
ضریب تغییرات	-	۹	۸/۸	۱۵/۷	٦/۲۵	۷/۲	۸/۷۸	۵/۸۲	٦	۱۷/٦۵

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

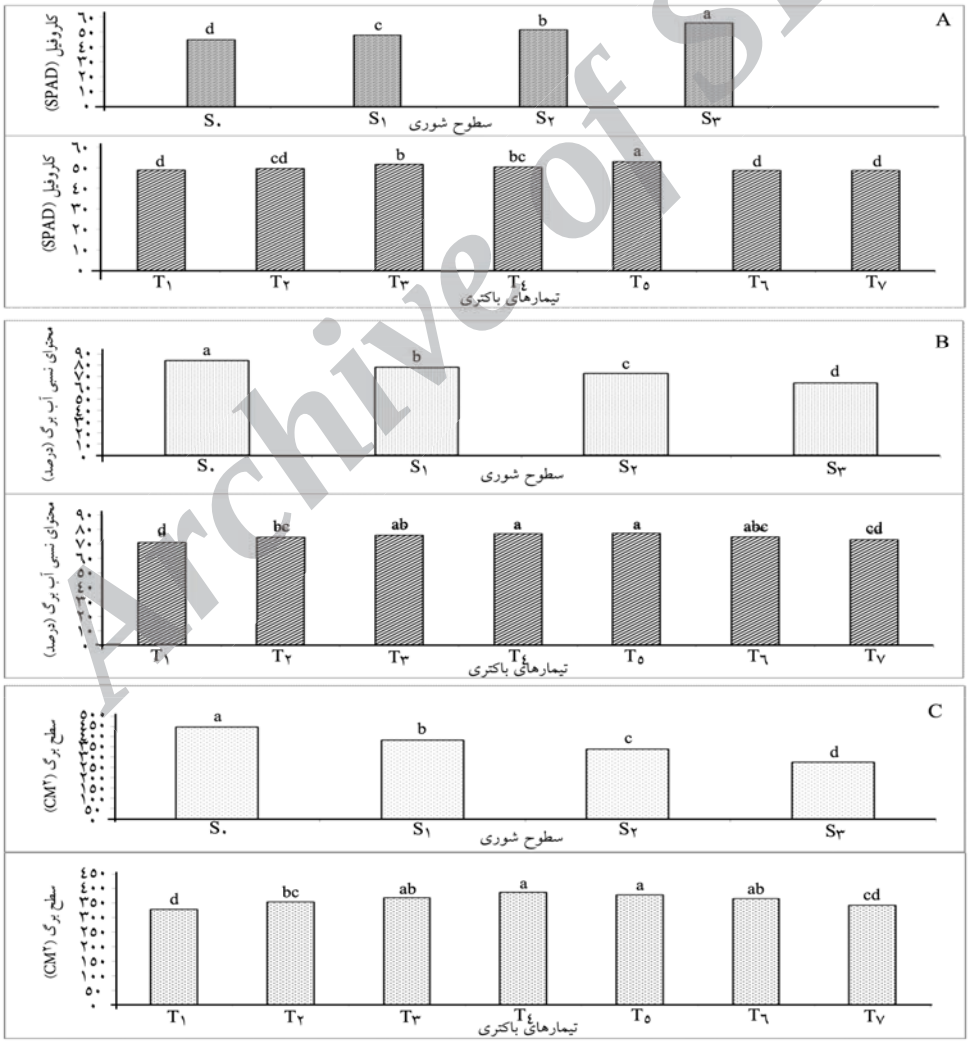
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی باکتری و شوری بر جذب عناصر غذایی (mg/pot)، سدیم و پتاسیم (g/۱۰۰g) در اندام هوایی کلزا.

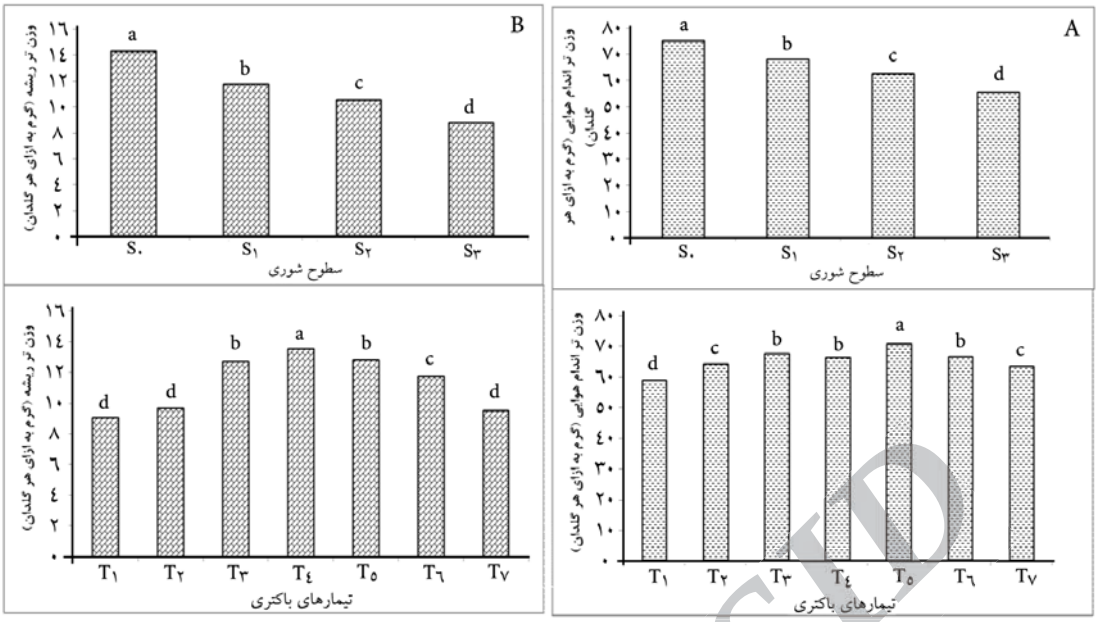
تیمار	Na	K	K/Na	N	P	Fe	Zn	Cu	Mn
T_1	۱/٤۲^{a}	۲/۰۷^{c}	۲/۷٤^{b}	۲۷۲^{d}	۳۱/٤۳^{d}	۲/۲٤^{f}	۱/۱۷^{e}	۰/۳۸^{d}	۲/٦٦^{c}
T_2	۱/۲۱^{b}	۲/۲۱^{abc}	۳/۵۱^{a}	۳۲٤^{c}	۳۵/۸۲^{c}	۳/٦۲^{d}	۱/٦۲^{b}	۰/٤٤^{c}	۳/۱۵^{bc}
T_3	۱/۰۷^{c}	۲/۳۷^{a}	۳/۷٦^{a}	۳۸۵^{b}	٤۵/۱۹^{a}	۳/۵۷^{d}	۱/۵۲^{c}	۰/٤٦^{bc}	۳/٤۳^{ab}
T_4	۱/۲٤^{b}	۲/۳٤^{ab}	۳/۵٦^{a}	٤۱٦^{a}	٤۳/۵۵^{a}	٤/۹۲^{b}	۱/۷۷^{a}	۰/٤٦^{bc}	۳/۷٤^{a}
T_5	۱/۲^{b}	۲/۳٦^{a}	۳/٦۳^{a}	٤۱۸^{a}	٤۵/۰۷^{a}	٦/۱۲^{a}	۱/۷۳^{a}	۰/۵٤^{a}	۳/۹^{a}
T_6	۱/۲۵^{b}	۲/۱٤^{c}	۳/۳۱^{a}	۳۳۷^{c}	٤۱/۱۸^{b}	٤/٤۹^{c}	۱/۵۵^{bc}	۰/٤۷^{b}	۳/۵۸^{ab}
T_7	۱/۲۹^{b}	۲/۱۸^{bc}	۳/۳۱^{a}	۳۲۷^{c}	۳۵/۰۹^{c}	۲/۹۹^{e}	۱/٤۲^{d}	۰/٤۵^{bc}	۳/۰۵^{bc}
S.	۰/۲۸^{d}	۲^{d}	۷/٤^{a}	٤۹۰^{a}	۵٤^{a}	۷/٦^{a}	۲/۲۳^{a}	۰/٦۲^{a}	۵^{a}
S_1	۰/۵۷^{c}	۲/۱۷^{c}	۳/۸۵^{b}	۳۸۸^{b}	٤۱^{b}	٤/۸^{b}	۱/٦۳^{b}	۰/٤۹^{b}	۳/۵^{b}
S_2	۱/۹^{b}	۲/۲۹^{b}	۱/۲۷^{c}	۳۲٤^{c}	۳۵^{c}	۲/۲۳^{c}	۱/۳^{c}	۰/٤۱^{c}	۲/۸^{c}
S_3	۲/۲۱^{a}	۲/٤٦^{a}	۱/۰۹^{c}	۲۱۵^{d}	۲۷/٦^{d}	۱/۳۷^{d}	۰/۹۹^{d}	۰/۳^{d}	۲/۱^{d}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار هستند.



شکل ۱- اثرات اصلی شوری و باکتری بر میانگین A) عدد کلروفیل B) محتوای نسبی آب برگ C) سطح برگ گیاه کلزا.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار هستند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- اثرات اصلی شوری و باکتری بر میانگین A) وزن تر اندام هوایی B) وزن تر ریشه گیاه کلزا.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار هستند.

اثرات متقابل شوری و باکتری بر شاخص‌های رشد کلزا: اثرات متقابل شوری و باکتری بر کلروفیل، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نشد. ولی اثر متقابل شوری و تیمار باکتری برای صفات وزن تر اندام هوایی و ریشه به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). تحت تنش شوری، بیش‌ترین میانگین وزن تر اندام هوایی (افزایش ۲٤ درصد) در سطح شوری S_0، از تیمار T_5 به‌دست آمد. حتی در سطوح شوری S_2 و S_3 نیز تیمارهای T_5 و T_3 به‌ترتیب افزایش ۲۲ و ۲۲ درصد را در وزن تر اندام هوایی نشان دادند. همچنین بیش‌ترین میانگین وزن تر ریشه (٤۱ تا ۵۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) در تمام سطوح شوری در تیمار T_4 مشاهده شد (شکل ۳-A و B).

اثرات متقابل شوری و باکتری بر جذب عناصر غذایی و سدیم اندام هوایی کلزا: اثرات متقابل شوری در باکتری برای عناصر فسفر، نیتروژن، سدیم معنی‌دار ($P<0/01$) و برای پتاسیم غیرمعنی‌دار گردید (جدول ٤). تحت تنش شوری، تیمارهای باکتری باعث افزایش جذب فسفر (از ۳٤ تا ٦۰ درصد) شدند. و در تمامی سطوح شوری بیش‌ترین مقادیر مربوط به تیمارهای T_3، T_4 و T_5 بود. همچنین بین تیمارهای باکتری در سطح S_3 اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. به‌طور مشابه، در تیمارهای باکتری جذب نیتروژن نیز (از ۵۰ تا ۹۸ درصد) افزایش یافت. و بیش‌ترین مقادیر آن از تیمارهای T_4 و T_5 به‌دست آمد. تحت تنش شوری، تیمارهای باکتری باعث کاهش غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه شدند. در سطوح شوری S_2 و S_3 کم‌ترین مقدار آن (به‌ترتیب کاهش ۲۹ و ۱۹ درصد نسبت به شاهد) از تیمار T_3 به‌دست آمد. با این حال در سطوح S_0 و S_1 تیمارهای باکتری اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان ندادند (جدول ٦).

اثرات متقابل شوری و باکتری برای عناصر میکرو (آهن، روی و مس) معنی‌دار ($P<0/01$) و برای منگنز غیرمعنی‌دار گردید (جدول ٤). طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین مقدار جذب (میلی‌گرم به‌ازای هر گلدان) آهن از سطح شوری S_0 به‌دست

Archive of SID
www.SID.ir

آمد که مربوط به تیمار T_4 بود و در سطوح شوری S_1 و S_2 بالاترین مقادیر جذب از تیمار T_5 به‌دست آمد. به‌علاوه، در سطوح شوری S_3 بین تیمارهای باکتری تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. در مورد عنصر روی در سطوح شوری S_1، S_2 و S_3 بالاترین مقادیر جذب از تیمارهای T_4 و T_5 به‌دست آمد. در حالی‌که، بالاترین مقدار آن (۷۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) در سطح شوری .S فقط در تیمار T_4 مشاهده شد. نتایج نشان داد که بالاترین مقدار جذب مس (تا ۵۶ درصد افزایش نسبت به شاهد) در سطح شوری S_3 مربوط به تیمار T_5 بود. با این‌حال، در سطوح شوری .S، S_1 و S_2 نیز بیش‌ترین مقادیر جذب در این تیمار مشاهده شد (جدول ۶).

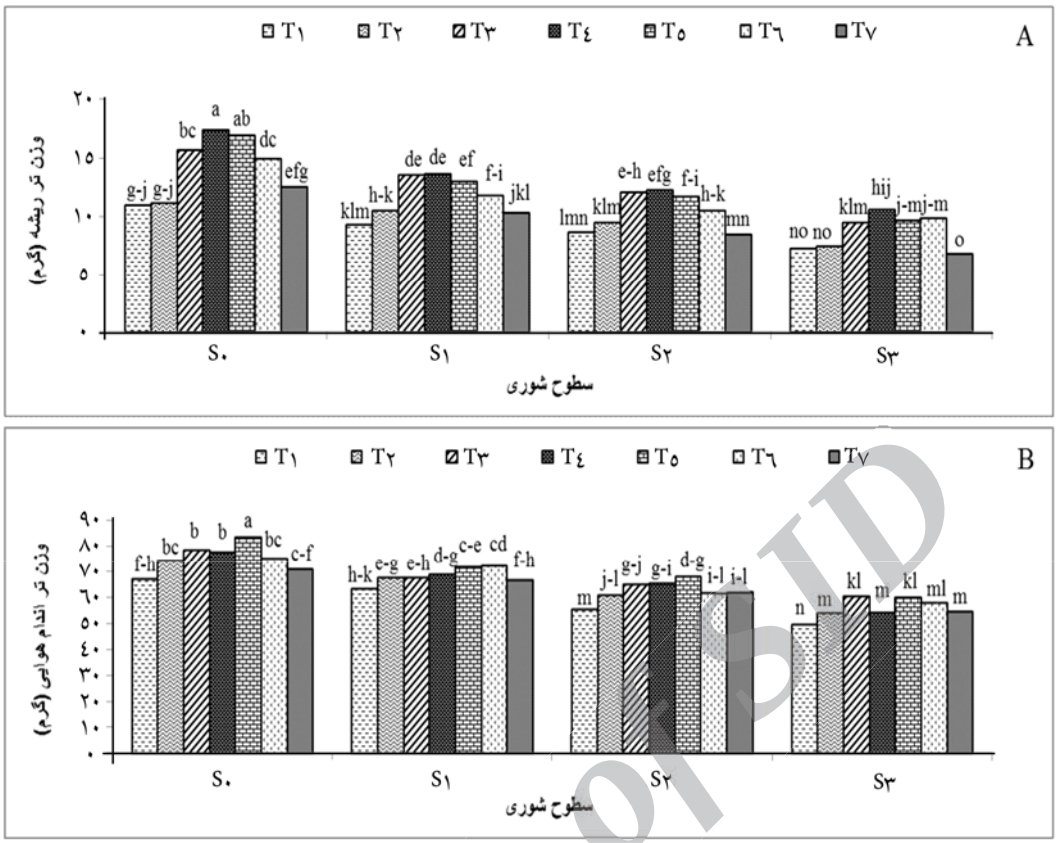
جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل باکتری در شوری بر جذب عناصر غذایی (mg/pot)، سدیم و پتاسیم (g/100g) اندام هوایی کلزا.

تیمار شوری	تیمار باکتری	Na	K	K/Na	N	P	Fe	Zn	Cu	Mn
	T_1	۰/۲۸^{l}	۱/۸۷^{h}	۶/۶۴^{b}	۳۹۰^{ef}	۴۰/۰۷^{efg}	۳/۷^{hi}	۱/۶۱^{f}	۰/۵۱^{ef}	۴$^{c-f}$
	T_2	۰/۲۷^{l}	۲/۰۳$^{e-h}$	۷/۷۱^{a}	۴۴۴^{cd}	۴۵/۵۸^{cde}	۷/۳۸^{d}	۲/۴۴^{b}	۰/۵۷^{c}	۴/۶^{bcd}
	T_3	۰/۳^{kl}	۲/۱۸$^{c-h}$	۷/۸۹^{a}	۵۲۴^{b}	۶۳/۳۵^{a}	۶/۲۱^{e}	۲/۲^{c}	۰/۶۴^{b}	۴/۷۳^{bc}
S_1	T_4	۰/۳^{kl}	۲/۱$^{d-h}$	۷/۵۹^{a}	۶۰۵^{a}	۶۳/۴^{a}	۱۱/۹۷^{a}	۲/۷۴^{a}	۰/۶۵^{b}	۵/۸۵^{a}
	T_5	۰/۲۸^{l}	۲/۱۷$^{c-h}$	۷/۶۲^{a}	۵۸۴^{a}	۶۴/۲^{a}	۱۰/۵^{b}	۲/۴۸^{b}	۰/۷۸^{a}	۶/۰۷^{a}
	T_6	۰/۲۶^{l}	۱/۸۶^{h}	۷/۲۴^{ab}	۴۵۱^{cd}	۵۸/۳^{b}	۷/۸۸^{d}	۲/۱۷^{c}	۰/۶۳^{b}	۵/۴۴^{ab}
	T_7	۰/۲۷^{l}	۱/۹۵^{gh}	۷/۱۲^{ab}	۴۳۴^{d}	۴۳/۸$^{c-f}$	۵/۴۷^{f}	۲^{d}	۰/۵۸^{c}	۴/۲۸^{cde}
	T_1	۰/۸۴^{i}	۲$^{f-h}$	۲/۳۸^{c}	۲۹۱^{i}	۳۲/۶^{ijk}	۱/۲۱^{jk}	۲/۹۵^{j}	۰/۴۱^{h}	۲/۷۵$^{g-k}$
	T_2	۰/۵۵^{j}	۲/۱۶$^{c-h}$	۳/۹۴^{c}	۳۴۵^{gh}	۳۷/۸۶^{ghi}	۳/۳^{ij}	۱/۶۶^{f}	۰/۴۷^{f}	۳/۲۷$^{e-j}$
	T_3	۰/۵۱^{j}	۲/۳۴$^{a-g}$	۴/۲۴^{c}	۴۲۱^{de}	۴۶/۴۵^{cd}	۴/۵۳^{g}	۱/۵۳^{gh}	۰/۴۹^{ef}	۳/۵$^{d-i}$
S_2	T_4	۰/۴۹^{jk}	۲/۲۶$^{b-g}$	۴/۲۸^{c}	۴۵۴^{cd}	۴۵^{cde}	۴^{gh}	۱/۸۴^{e}	۰/۴۷^{f}	۳/۸۷$^{c-g}$
	T_5	۰/۵^{j}	۲/۲۶$^{b-g}$	۴/۳۸^{c}	۴۷۶^{c}	۴۷/۳^{c}	۹/۱۷^{c}	۱/۹^{de}	۰/۵۵^{d}	۳/۹۶$^{c-f}$
	T_6	۰/۵۵^{j}	۲/۰۳$^{e-h}$	۳/۷۸^{c}	۳۶۶^{fg}	۴۱/۳$^{d-g}$	۶/۲۸^{e}	۱/۶۴^{f}	۰/۵۲^{e}	۳/۶۲$^{e-h}$
	T_7	۰/۵۳^{j}	۲/۱۱$^{d-h}$	۴^{c}	۳۶۷^{fg}	۳۸/۲^{gh}	۳/۲^{ij}	۱/۶^{fg}	۰/۵۰۷^{ef}	۳/۵۸$^{d-h}$
	T_1	۲/۰۶$^{c-f}$	۲/۱۳$^{d-h}$	۱/۰۴^{e}	۲۴۴^{j}	۲۸/۳۸$^{k-n}$	۱/۴۷^{lm}	۱/۰۷^{lm}	۰/۳۶^{ij}	۲/۲۶^{jk}
	T_2	۱/۷۶^{g}	۲/۲۶$^{b-g}$	۱/۳۲^{e}	۲۹۲^{i}	۳۲/۷۸^{ijk}	۲/۳۳^{k}	۱/۳۶^{i}	۰/۴۱^{h}	۲/۶۲$^{h-k}$
	T_3	۱/۴۵^{h}	۲/۴$^{a-e}$	۱/۶۵^{e}	۳۵۶^{fg}	۳۹/۲۳^{fg}	۲/۳۳^{k}	۱/۲۹^{ij}	۰/۴۲^{gh}	۳/۰۷$^{f-j}$
S_3	T_4	۲^{ef}	۲/۴$^{a-e}$	۱/۲۹^{e}	۳۸۱^{fg}	۳۷/۷۴^{ghi}	۲/۲۲^{k}	۱/۴۳^{h}	۰/۴۱۴^{h}	۳$^{f-j}$
	T_5	۱/۹۵^{f}	۲/۳۳$^{a-g}$	۱/۴^{e}	۳۶۶^{fg}	۳۹/۲^{fg}	۲/۹۳^{j}	۱/۴۴^{h}	۰/۴۶^{fg}	۳/۲$^{e-j}$
	T_6	۲^{ef}	۲/۳۲$^{a-g}$	۱/۱۶^{e}	۳۱۵^{hi}	۳۶/۶$^{g-j}$	۲/۲۱^{k}	۱/۳۵^{i}	۰/۴۱۴^{h}	۲/۹^{fij}
	T_7	۲/۰۹$^{b-f}$	۲/۲۲$^{b-h}$	۱/۰۷^{e}	۳۱۶^{hi}	۳۳/۳$^{h-k}$	۲/۱^{kl}	۱/۲۵^{jk}	۰/۴۲^{gh}	۲/۷۳$^{g-k}$
	T_1	۲/۵^{a}	۲/۲۷$^{b-g}$	۰/۹۲^{e}	۱۶۶^{l}	۲۳/۶^{n}	۰/۸۳^{n}	۰/۷۹^{n}	۰/۲۳^{m}	۱/۶۳^{k}
	T_2	۲/۲۵^{bc}	۲/۳۸$^{a-f}$	۱/۰۵^{e}	۲۱۶^{jk}	۲۷/۰۶^{lmn}	۱/۴۹^{lm}	۱/۰۳^{m}	۰/۳۲^{kl}	۲/۱۱^{jk}
	T_3	۲/۰۱۶$^{d-f}$	۲/۵۵$^{a-c}$	۱/۲۸^{e}	۲۴۰^{j}	۳۱/۷۴^{jkl}	۱/۲^{mn}	۱/۰۵^{lm}	۰/۳۰۵^{l}	۲/۴۱^{ijk}
	T_4	۲/۲$^{b-e}$	۲/۵۸^{ab}	۱/۰۹^{e}	۲۲۶^{jk}	۲۸/۱$^{k-n}$	۱/۴۶^{lm}	۱/۰۶^{lm}	۰/۳۱^{l}	۲/۲۶^{jk}
	T_5	۲/۰۵$^{d-f}$	۲/۶۶^{a}	۱/۱۴^{e}	۲۴۹^{j}	۲۹/۶^{klm}	۱/۸۷^{kl}	۱/۱^{kl}	۰/۳۶^{ij}	۲/۴۶$^{h-k}$
	T_6	۲/۲۱$^{b-d}$	۲/۳۵$^{a-f}$	۱/۰۶^{e}	۲۱۷^{jk}	۲۸/۵$^{k-n}$	۱/۵۷^{lm}	۱/۰۵^{lm}	۰/۳۱۷^{kl}	۲/۳۶^{ijk}
	T_7	۲/۲۷^{b}	۲/۴۵$^{a-d}$	۱/۰۶^{e}	۱۹۲^{kl}	۲۵^{mn}	۱/۱۹^{mn}	۰/۸۴^{n}	۰/۲۹^{l}	۲/۶۳^{k}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در شوری بر A) وزن تر ریشه B) وزن تراندام هوایی گیاه کلزا.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد بدون تفاوت معنی‌دار هستند.

بحث

تحت تنش شوری، شاخص‌های رشدی مانند سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، وزن تر ریشه و اندام هوایی کاهش یافت. به‌طور مشابه، آندریلیو و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که شوری اثر منفی بر وزن ریشه و اندام هوایی و سطح برگ گیاه کاهو دارد. در شرایط شور، فتوسنتز گیاه در واحد سطح برگ به‌دلیل بسته شدن روزنه‌های برگ و کاهش سرعت تبادل دی‌اکسیدکربن و محدودیت گسترش برگ‌ها کاهش می‌یابد. همچنین کاهش سطح برگ احتمالاً می‌تواند ناشی از کاهش سرعت تقسیم سلولی و یا کاهش سرعت گسترش سلول‌ها و یا به‌علت کم شدن تورژسانس سلولی گیاه باشد (تدین و امام، ۲۰۰۷). کاهش در محتوای نسبی آب برگ گیاه تحت تنش شوری بیان‌کننده کمبود آب در گیاه است. نادیم و همکاران (۲۰۰٦) با انجام آزمایش‌هایی بر روی ذرت و یلدریم و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه بر روی تربچه به نتایج مشابهی دست یافتند. این امر ممکن است به‌دلیل ایجاد پتانسیل اسمزی، جلوگیری از جذب آب توسط ریشه و در نتیجه کمبود آب در گیاه باشد (شمس‌الدین و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در این پژوهش ریشه نسبت به اندام هوایی بیش‌تر تحت‌تأثیر تنش شوری قرار گرفته است. احتمالاً اتیلن تنشی سبب اختلال در فعالیت متابولیکی و فرآیندهای فیزیولوژیکی شده است و از آن‌جایی‌که ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی در تماس بیش‌تر با محلول نمک بوده‌اند، بنابراین این اختلال در ریشه‌ها بیش‌تر از اندام هوایی بود که با نتایج مایاک و همکاران (۲۰۰٤) همخوانی دارد. در هر حال شاید

Archive of SID
www.SID.ir

پاسخ اولیه و فوری گیاه در برابر تنش شوری، کاهش در تجمع ماده خشک در ریشه و اندام هوایی باشد که علت این امر کاهش طول ریشه و اندام هوایی و تجزیه پروتئین‌ها است (حاج‌غنی و همکاران، ۲۰۰۸).

در این پژوهش مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد منجر به افزایش سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ گردید. نیز مشاهده گزارش شده است که استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد در گیاهان مختلف منجر به افزایش سطح برگ گردیده و این امر به توانایی این باکتری‌ها در تولید هورمون گیاهی IAA (اسپیین و همکاران، ۲۰۰۹) و افزایش دسترسی عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر) نسبت داده شد (غلامی و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهش‌های مختلف نیز افزایش در مورد محتوای نسبی آب برگ در اثر مایه‌زنی با PGPR گزارش شده است (یلدریم و همکاران، ۲۰۰۸؛ کارلیداق و همکاران، ۲۰۱۱). احتمالاً این باکتری‌ها از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای (به‌واسطه تولید IAA و ACC- دآمیناز) با تشکیل ریشه‌های طویل‌تر، سبب بهبود جذب آب از اعماق خاک شده و کارایی استفاده از آب را تحت تنش افزایش می‌دهند (ارشد و همکاران، ۲۰۰۸). مایه‌زنی با تیمارهای باکتریایی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش در وزن ریشه و اندام هوایی گردید. پژوهش‌های سایر پژوهش‌گران نیز نشان داده است که باکتری‌های PGPR اثرات مثبتی بر وزن ریشه و اندام هوایی، رشد گیاهان و عملکرد دانه داشته‌اند (کاکماکی و همکاران، ۲۰۰۷؛ بیاری و همکاران، ۲۰۰۸). اثرات مثبت این باکتری‌ها بر رشد گیاه، تغییرات در مورفولوژی ریشه، به‌طور عمده افزایش ریشه‌های جانبی و تعداد تارهای کشنده و طول ریشه است (کاکماکی و همکاران، ۲۰۰۷). شاهارونا و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که رابطه خطی معنی‌داری بین فعالیت ACC- دآمیناز زیاد جدایه‌ها و افزایش رشد ریشه وجود دارد. طبق نتایج حاصله، باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز سبب افزایش رشد ریشه شدند و باکتری‌های بدون ACC- دآمیناز اثر ناچیزی بر روی رشد ریشه داشتند. سیدیکی و همکاران (۲۰۱۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین در برخی موارد، در شرایط آزمایشگاهی بعضی از جدایه‌ها تولید IAA و حل‌کنندگی فسفات را از خود نشان نمی‌دهند. اما می‌توانند باعث افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاهان در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای شوند (داتا و همکاران، ۲۰۱۱).

تحت تنش شوری، مقدار کلروفیل ۸/۳٤ درصد افزایش یافت. که احتمالاً به‌دلیل وجود یون منیزیم در محیط و افزایش غلظت پتاسیم (که با کاهش غلظت سدیم و پایداری غشای پلاسمایی سبب حفظ محتوای کلروفیل گیاهان می‌شود) باشد (بانو و فاطیما، ۲۰۰۹). گزارش‌هایی مبنی بر افزایش میزان کلروفیل در اثر تیمار گیاهان کاهو و گندم با باکتری‌های PGPR وجود دارد (لی و هان، ۲۰۰۵b؛ باشان و همکاران، ۲۰۰٦). به نظر می‌رسد این باکتری‌ها با افزایش میزان جذب نیتروژن، آهن و منگنز سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ در گیاهچه‌ها می‌شوند (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهش دیگری نیز مایه‌زنی با جدایه‌های PGPR تحت تنش شوری مقدار کلروفیل را در گیاهان گندم افزایش داد که احتمالاً به‌دلیل افزایش سطح برگ فتوسنتزکننده در گیاهان تلقیح‌شده نسبت به شاهد باشد (زهیر و همکاران، ۲۰۰۹). در این پژوهش، فقط جدایه‌های مولد ACC- دآمیناز (T_3، T_4 و T_5) افزایش قابل ملاحظه در مقدار کلروفیل را نسبت به شاهد نشان دادند. از آن‌جایی‌که در شرایط تنشی، تولید اتیلن سبب پیر شدن برگ می‌شود و این جدایه‌ها با ممانعت از سنتز اتیلن از تجزیه سریع کلروفیل جلوگیری می‌کنند (نادیم و همکاران، ۲۰۱۰).

Archive of SID

www.SID.ir

تحت تنش شوری، کاهش رشد ریشه و ناکارآمدی آن در بهره‌گیری از خاک به‌واسطه تولید اتیلن تنشی (سیدیکی و همکاران، ۲۰۱۱) و کاهش فعالیت انتقال‌دهنده‌های یونی توسط سدیم (یائو و همکاران، ۲۰۱۰) منجر به کاهش جذب عناصر غذایی می‌گردند. همچنین پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش شوری خاک، غلظت عناصر میکرو و ماکرو در اندام هوایی گیاهان کاهش می‌یابد (ال- کاراکی، ۲۰۰٦؛ گیری و همکاران، ۲۰۰۷).

در این پژوهش تیمارهای باکتری جذب عناصر میکرو را افزایش دادند احتمالاً جدایه‌های PGPR از طریق افزایش رشد ریشه باعث افزایش تماس ذرات خاک با سیستم ریشه‌ای و متعاقباً افزایش جذب عناصر میکرو شده‌اند (شیرمردی و همکاران، ۲۰۱۰). به‌علاوه، PGPR با تولید اسیدهای آلی در ریزوسفر و در نتیجه کاهش pH (ارتورک و همکاران، ۲۰۱۱)، همچنین افزایش ترشحات ریشه‌ای مانند مواد احیایی و کلات‌کننده، ممکن است جذب این عناصر را توسط ریشه افزایش داده باشند. به‌علاوه، مایه‌زنی با باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز و حل‌کننده فسفات (T_3 و T_5) بیش‌ترین میزان جذب فسفر را نشان داد. مایاک و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند مایه‌زنی با باکتری آکروموباکتر مولد ACC- دآمیناز مقدار فسفر را در محیط شور افزایش می‌دهد. آنها نتیجه گرفتند ریزوباکتری‌های مولد ACC- دآمیناز علاوه‌بر کاهش اثرات تنش شوری، احتمالاً انحلال‌پذیری و یا جذب فسفر را نیز افزایش داده‌اند. با این حال، این پژوهش‌گران نتوانستند مکانیسم افزایش جذب فسفر را توسط این باکتری‌ها توضیح دهند. گزارش شده است در اثر تیمار گیاهان با باکتری‌های مولد IAA، سطح سیستم ریشه‌ای افزایش یافته و در نتیجه با اشغال حجم زیادی از خاک منطقه اطراف ریشه، منجر به افزایش جذب نیترات توسط گیاه می‌شود (باست‌میا و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین، احتمالاً جدایه‌های PGPR با محدود کردن جذب کلر توسط ریشه و انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاه، جذب نیترات را توسط گیاه افزایش می‌دهند (کارلیداق و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش نیز بیش‌ترین میزان جذب نیتروژن در تیمارهای مولد IAA وجود داشت. این نتایج با یافته‌های ویواس و همکاران (۲۰۰۳)، نادیم و همکاران (۲۰۰٦) همخوانی دارد که گزارش کردند غلظت نیتروژن و فسفر تحت تنش شوری در تیمارهای PGPR افزایش یافت.

در این پژوهش غلظت عناصر پتاسیم و سدیم تحت تنش شوری افزایش یافت. غلامی و راهمی (۲۰۱۰) نیز نشان دادند با افزایش شدت تنش خشکی میزان پتاسیم در اندام هوایی به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت، که دلیل این امر می‌تواند به‌علت نقش این کاتیون در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای باشد (آخوندی و همکاران، ۲۰۰٦). افزایش در غلظت سدیم نیز می‌تواند به دلایل فراوانی یون‌های سدیمی در محیط ریشه و همچنین کاهش رشد گیاه در اثر سمیت یون سدیم در شوری‌های بالاتر (عکس اثر رقت) باشد. مایه‌زنی با تیمارهای باکتری (مولد ACC- دآمیناز) جذب پتاسیم را افزایش داد. که می‌توان گفت تجمع پتاسیم در برگ‌ها در اثر تیمارهای باکتریایی احتمالاً به‌علت تغییرات در فعالیت غشا و در نتیجه ترشح پروتون از ریشه‌ها بوده است (کارلیداق و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین غلظت سدیم در تیمارهای باکتری (مولد ACC- دآمیناز) در سطوح شوری بالاتر کاهش نشان داد و این با نتایج هامدیا و همکاران (۲۰۰٤) همخوانی دارد که گزارش کردند تحت تنش شوری غلظت سدیم در گیاه ذرت در اثر تیمار با جدایه‌های PGPR کاهش یافت. احتمالاً جدایه‌های PGPR با تولید اگزوپلی‌ساکاریدها (پیوند کردن سدیم و کاهش دسترسی آن برای جذب گیاه)

Archive of SID

www.SID.ir

(اشرف و همکاران، ۲۰۰٤) و ACC- دآمیناز (تغییر انتخاب‌پذیری سدیم و پتاسیم برای جذب گیاه) اثرات منفی تنش شوری را از طریق کاهش جذب سدیم و در نتیجه افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان کاهش داده‌اند (نادیم و همکاران، ۲۰۰٦).

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش مایه‌زنی باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد می‌تواند اثرات منفی تنش شوری را بر گیاه کلزا کاهش دهد و این امر با مکانیسم‌هایی مانند افزایش کلروفیل، سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، زیتوده ریشه و اندام هوایی و بهبود جذب عناصر غذایی و کاهش جذب سدیم در اندام هوایی محقق می‌شود. به‌علاوه، پاسخ‌های گیاه به مایه‌زنی نشان داد که جدایه‌های T_3، T_4 و T_5 پتانسیل استفاده به‌عنوان PGPR برای افزایش رشد و شرایط تغذیه‌ای کلزا را تحت تنش شوری دارند. در بین این جدایه‌ها، T_5 بیش‌ترین کارایی را نشان داد که احتمالاً به‌دلیل تعادل تغذیه‌ای بهتر گیاهان تیمار شده با این جدایه باشد. با این حال، پژوهش‌های بیش‌تری لازم است تا کارایی این جدایه‌ها تحت تنش‌های مختلف و شرایط مزرعه‌ای نیز مشخص شود.

منابع

1.Adriolo, J.L., Luz, G.L., Witter, M.H., Godoi, R.S., Barros, G.T., and Bortolotto, C. 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. Hort. Brasil. 23: 931-934.

2.Akhundi, M., Safar Nezhad, A., and Lahuti, M. 2006. The effects of drought stress on prolin and elements accumulation in Medicago Satvia (Yazdi, Nik shahri, Ranger L.). Agr. Sci. 1: 165-174.

3.Alikhani, H.A., Saleh-Rastin, N., and Antoun, H. 2006. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils. Plant & Soil. 287: 35-41.

4.Al-Karaki, G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Sci. Hort. 109: 1-7.

5.Arshad, M., Shaharoona, B., and Mahmood, T. 2008. Inoculation with Pseudomonas spp. Containing ACC-Deaminase Partially Eliminates the Effects of Drought Stress on Growth, Yield and Ripening of Pea (*Pisum sativum* L.). Pedosphere. 18: 611-620.

6.Ashraf, M., Hasnain, S., Berge, O., and Mahmood, T. 2004. Inoculation wheat seedlings with exopolysaccharides-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. Biol. Fert. Soils. 40: 157-162.

7.Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora. 199: 361-376.

8.Bacilio, M., Rodriguez, H., Moreno, M., Hernandez, J.P., and Bashan, Y. 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp-tagged Azospirillum lipoferum. Biol. Fert. Soils. 40: 188-193.

9.Bano, A., and Fatima, M. 2009. Salt tolerance in *Zea mays* L., following inoculation with Rhizobium and Pseudomonas. Biol. Fertil. Soils. 45: 405-413.

10.BasetMia, M.A., Shamsuddin, Z.H., and Maziah, M. 2010. Use of Plant Growth Promoting Bacteria in Banana: A NewInsight for Sustainable Banana Production. Int. J. Agr. Biol. 12: 459-467.

11.Bashan, Y., Bustillos, J.J., Leyva, L.A., Hernandez, J.P., and Bacilio, M. 2006. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by Azospirillum brasilense. Biol. Fert. Soils. 42: 279-285.

12.Bertamini, M.L., Zulini, K., and Nedunchezhian, N. 2006. Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological response in grapevine (*Vitis Viniera* L. cv. Riesling) plants. Photosynthetica. 44: 151-154.

Archive of SID

www.SID.ir

13.Biari, A., Gholami, A., and Rahmani, H.A. 2008. Growth Promoting and Enhanced Nutrient Uptake of Maize (*Zea mays* L.) by Application of Plant Growth Promoting Rizobacteria in Arid Region of Iran. J. Biol. Sci. 8: 1015-1020.
14.Biswas, J.C., Ladha, J.K., and Dazzo, F.B. 2000. Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. Soil Sci. Soci. A. J. 64: 1644-1650.
15.Cakmakci, R., Erat, M., Erdog, U., and Donmez, M.F. 2007. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 288-295.
16.Cottenie, A. 1980. Methods of Plant Analysis. Soil and Plant Testing, Pp: 64-100.
17.Dakora, F.D. 2003. Defining new roles for plant and rhizobial molecules in sole and mixed plant cultures involving symbiotic legumes. New Phytology. 158: 39-49.
18.Datta, M., Palit, R., Sengupta, C., Pandit, M.K., and Banerjee, S. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria enhance growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) under field conditions. A. J. C. S. 5: 531-536.
19.Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., and Okon, Y. 2003. Plant growth promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Plant & Soil. 22: 107-149.
20.Ehyaee, M., and Behbahanizadeh, A.A. 1993. The methods of soil chemistry analysis. Soil and Water Research Institute, Tehran. Iran.
21.Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
22.Erturk, Y., Cakmakci, R., Duyar, O., and Turan, M. 2011. The Effects of Plant Growth Promoting Rhizibacteria on Vegetative Growth & Leaf Nutrient Contents of Hazelnut Seedling (Thurkish hazelnut cv. Tombul & Sivri). Int. J. Soil Sci. 6: 188-198.
23.FAO. 2005. Available on URL:http://www.fao.org.
24.Flowers, T. 2004. Improving crop salt tolerance. J. Exp. Bot. 55: 307-319.
25.Gholami, M., and Rahemi, M. 2010. Effect of water stress and recovery on water status and osmotic adjustments of miniature rose meshkinjan. Res. J. Environ. Sci. 4: 288-293.
26.Gholami, S., Shahsavani, A., and Nezarat, S. 2009. The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. World Academy of Sci. Engin. Tech. 49: 19-24.
27.Giri, B., Kapoor, R., and Mukerji, K.G. 2007. Improved tolerance of Acacia nilotica to salt stress by arbuscular mycorrhiza, Glomus Fasciculatum may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. Microb. Ecol. 54: 753-760.
28.Hajghani, M., Saffari, M., and Magsudi, A.A. 2008. The effects of NaCl in deferent levels on germination & seedling growth Carthamus tinctorius L. Agr. Sci. Natur. Res. 45: 449-458.
29.Hamdia, M.A.E.S., Shaddad, M.A.K., and Doaa, M.M. 2004. Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of Azospirillum brasilense inoculation on maize cultivars grown under salt stress conditions. Plant Growth Reg. 44: 165-174.
30.Han, H.S., and Lee, K.D. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. Res. J. Agric. Biol. Sci. 1: 210-215.
31.Hosseinzadah, F., Satei, A., and Ramezanpour, M.R. 2011. Effects of Mycorhiza and Plant Growth Promoting Rizobacteria on Growth, Nutrients Uptake and Physiological Characteritics in Calendula officinalis L. Middle-East J. Sci. Res. 8: 947-953.
32.ICARDA. 2002. International cooperation Highlands regional program.
33.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. J. Plant Physiol. 166: 667-674.
34.Jeon, J.S., Lee, S.S., Kim, H.Y., Ahn, T.S., and Song, H.G. 2003. Plant growth promoting in soil by som inoculated microorganism. J. Microbiol. 41: 271-276.
35.Karlidag, H., Esitken, A., Yildirim, E., Figen Donmez, M., and Turan, M. 2011. Effects of Plant Growth Promoting Bacteria on Yield, Growth, Leaf Water Content, Membrane Permeability and Ionic Composition of Strawberry Under Saline Conditions. J. Plant Nutr. 34: 34-45.

Archive of SID
www.SID.ir

36.Khademi, Z., Rezaee, H., Malakuti, M.J., and Milani, P. 2000. Balance nutrition of canola. Tehran, Iran.
37.Khosravi, H., Alikhani, H., and Yakhchali, B. 2007. Evaluation the effects of Rhizobia containing ACC deaminase on growth of wheat under the salinity & drought stress. University of Tehran, Karaj.
38.Long, H.H., Schmidt, D.D., and Baldwin, I.T. 2008. Native bacterial endophytes promote host growth in a species-specific manner; phytohormone manipulations do not result in common growth responses. Plos One 3: e2702. Doi: 10.1371.
39.Ma, W., Sebestianova, S.B., Sebestian, J., and Burd, G.I. 2003. Prevalence of ACC-deaminase in Rhizobium spp. Antonie Van Leeuwenhoek. 83: 285-291.
40.Mayak, S., Tirosh, T., and Glick, B.R. 2004. Plant growth promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant Physiol. Bioch. 42: 565-572.
41.Mehboob, I., Zahir, Z.A., Mahboob, A., Shahzad, S.M., Jawad, A., and Arshad, M. 2008. Preliminary screening of rhizobium isolates for improving growth of maize seedlings under axenic conditions. Soil & Environ. 27: 64-71.
42.Mehboob, I., Naveed, M., and Zahir, Z.A. 2009. Rhizobial Association with Non-Legumes: Mechanismsand Appl. Crit. Rev. Plant Sci. 28: 432-456.
43.Nadeem, S.M., Hussain, I., Naveed, M., Asghar, H.N., Zahir, Z.A., and Arshad, M. 2006. Performance of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Containing ACC-Deaminase Activity for Improving Growth of Maize Under Salt-Stressed Conditions. Pak. J. Agri. Sci. 43: 121-114.
44.Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., and Arshad, M. 2007. Preliminary investigations on inducing salt tolerance in maize through inoculation with rhizobacteria containing ACC deaminase activity. Can. J. Microbiol. 53: 1141-1149.
45.Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., Arshad, M., and Shahzad, S.M. 2006. Variation in growth and ion uptake of maize due to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria under salt stress. Plant, Soil & Environ. 25: 78-84.
46.Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., and Ashraf, M. 2010. Microbial ACC-Deaminase: Prospects and Applications for Inducing Salt Tolerance in Plants. Crit. Rev. Plant Sci. 29: 360-393.
47.Patten, C.L., and Glick, B.R. 2002. Role of pseudomonas putida indole acetic acid in development of host plant root system. Appl. Environ. Microbiol. 68: 3795-3801.
48.Penrose, D.M., and Glick, B.R. 2001. Levels of ACC and related compounds in exudates and extracts of canola seeds treated with ACC deaminase-containing plant growth promoting bacteria. Can. J. Microbiol. 47: 368-372.
49.Potters, G., Pasternak, T.P., Guisez, Y., Palme, K.J., and Jansen, M.A.K. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Trends in Plant Sci. 12: 98-105.
50.Qadir, M., Steffens, D., Yan, F., and Schubert, S. 2003. Proton release by N2-fixing plant roots: A possible contribution to phytoremediation of calcareous sodic soils. J. Plant. Nutr. Soil Sci. 166: 14-22.
51.Ramazaneean, A., Alikhani, H., Saleh-Rastin, N., and Lakzian, A. 2004. Effectiveness some native Rhizobium ssp. containing ACC-deaminase in amelioration the negative effects of stress ethylene on growth parameters of wheat. University of Tehran, Karaj.
52.Sairam, R.K., and Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Current Salinity Tolerance in Plants Strategies for Crop Improvement, New York, USA. Sci. 86: 407-421.
53.Sergeeva, E., Shah, S., and Glick, B.R. 2006. Growth of transgenic canola (*Brassica napus* cv. Westar) expressing a bacterial 1-aminocyclopropane-1- carboxylate (ACC) deaminase gene on high concentrations of salt. World J. Microbiol. Biotech. 22: 277-282.
54.Shaharoona, B., Arshad, M., and Khalid, A. 2007a. Differential response of etiolated pea seedlings to inoculation with rhizobacteria capable of utilizing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate or L-methionine. J. Microbiol. 45: 15-20.

Archive of SID

www.SID.ir

55. Shams Odin, M., Salary, B., and Asgarian, A. 2008. Investigation the effects of NaCl Priming on some agronomic & physiologic characteristic of Maize (single grass 704) in salinity condition. Agr. Sci. Natur. Res. 46: 143-153.
56. Shannon, M.C. 1984. Breeding, selection, and the genetics of salt tolerance. In: R.C. Staples & G.H. Toenniessen (Eds), Salinity Tolerance in Plants-Strategies for Crop Improvement, pp. 231-254. Wiley-Interscience Publication, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
57. Shirmardi, M., Savaghebi, G.R., Khavazi, K., Akbarzadeh, A., Farahbakhsh, M., Rejali, F., and Sadat, A. 2010. Effect of microbial inoculants on uptake of nutrient elements in two cultivars of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Saline Soils. Not. Sci. Biol. 2: 57-66.
58. Siddikee, A., Glick, B.R., Chauhan, S., Yim, W., and Sa, T. 2011. Enhancement of growth and salt tolerance of red pepper seedlings (*Capsicum annuum* L.) by regulating stress ethylene synthesis with halotolerant bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase activity. Plant Physiol. Bioch. 49: 427-434.
59. Spaepen, S., Vanderleyden, J., and Okon, Y. 2009. Plant Growth-Promoting Actions of Rhizobacteria, Review Article. Advances in Botanical Res. 51: 283-320.
60. Tadayon, M.R., and Emam, Y. 2007. Physiologic & morphologic reactions in two variety barley for salinity stress & its relative with grain yield. Agr. Sci. Natur. Res. 1: 253-262.
61. Vivas, A., Marulanda, A., Ruiz-Lozano, J.M., Barea, J.M., and Azcon, R. 2003. Influence of a Bacillus sp. on physilogical activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant response to PEG-induced drought stress. Mycorriza. 13: 249-256.
62. Yao, L., Wu, Z., Zheng, Y., Kaleem, I., and Li, C. 2010. Growth promotion and protection against salt stress by *Pseudomonas putida* Rs-198 on cotton. Euro. J. Soil Biol. 46: 49-54.
63. Yildirim, E., Figen Donmez, M., and Turan, M. 2008. Mitigation of salt stress in radish (*Raphanus Sativus* l.) by plant growth promoting rhizobacteria. Roumanian Biotech Letters. 13: 3933-3943.
64. Zahir, Z.A., Ghani, U., Naveed, M., Nadeem, S.M., and Asghar, H.N. 2009. Comparative Effectiveness of Pseudomonas and Serratia sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. Arch. Microbiol. 191: 415-424.
65. Zapata, P.J., Serrano, M., Pretel, M.T., Amoros, A., and Botella, M. 2004. Polyamines and ethylene changes during germination of different plant species under salinity Plant. Sci. 167: 781-788.

Archive of SID

www.SID.ir

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(1), 2015
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of plant growth promoting rhizobia on ameliorating the effects of salt stress in canola (*Brassica napus* L.)

D. Saghafi[1], *H.A. Alikhani[2] and B. Motesharezadeh[3]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran,
[2]Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran,
[3]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran
Received: 04/26/2013; Accepted: 11/17/2013

Abstract

A pot study was conducted in order to evaluate the effect of Plant Growth Promoting Rhizobia (PGPR) on the growth and ionic composition of canola under salt stress conditions, as factorial in randomized complete block design with three replications. salinity in four levels of 0, 3, 6 and 9 dS/m were evaluated with mixture of salts NaCl and $MgCl_2$. Canola seeds were inoculated with selected strains (T_2: Sm29, T_3: Sm103, T_4: Rlp307, T_5: Rlp281, T_6: Rlp258 and T_7: Rlp266) and uninoculated control (T_1). In general, with the increase in salinity, the growth parameters (except Chlorophyll) and ionic composition (except Na and K) of canola decreased. The results indicated that inoculation with rhizobia under the salinity, significantly ($P<0.01$) increased the Chlorophyll (up to 8.34%), leaf area (up to 17%), relative water content (8.78%), shoot and root fresh weight (up to 20.4 and 49% respectively), compared to un-inoculated control. Similarly, inoculation restricted (up to 29%) the uptake of Na+ and enhanced the accumulation of N, P, K, Fe, Zn, Cu and Mn in shoot compared to control. Among the selected strains, T_5 (salt tolerance, able to produce IAA, ACC-deaminase and dissolved insoluble inorganic phosphates) performed better under the salinity stress. Probably, the promotion of growth and nutrients uptake by this strain, its due to the better nutritional balance. In general, it can be concluded that inoculation with plant growth promoting rhizobia can ameliorate the deleterious effects of salt stress on nutrition and the growth parameters of canola.

Keywords: Canola, Growth, Ions composition, Rhizobia, Salinity

Archive of SID

* Corresponding Authors; Email: halikhan@ut.ac.ir

www.SID.ir