بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت

بررسی تلقیح همزمان باکتری‌های رایزوبیوم و حل کننده فسفات بر عملکرد لوبیا در شرایط کم آبی

زهرا کاظمی

اساتید راهنما

دکتر احمد غلامی دکتر منوچهر قلی‌پور

اساتید مشاور

مهندس مهدی رحیمی دکتر علیرضا فلاح

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۸۹

تقدیم با عشق به

پروردگارم، آفرینندهٔ خوبی‌ها و

آستان پر مهر و محبت پدر و مادر عزیزم که پیوسته رفیق راهم بوده‌اند

و شوق علم اندوزی و امید را همواره در وجودم زنده نگه داشته‌اند.

حمد و سپاس خدایی را که ذات او عین هستی است و هستی او مهر علم و نور است. درود خالقی را که به من توفیق داد تا در زمره پویندگان علم و معرفت باشم. باشد که این مجموعه هر چند ناچیز، قطره‌ای بر دریای بیکران علم بیفزاید. بی‌شک انجام این تحقیق بدون راهنمایی‌های بزرگوارانی که در طی مسیر مرا یاری نمودند، میسر نبود. در این راه خود را مدیون اساتید گرانقدری می‌دانم که علم و اخلاق را به من آموختند. از زحمات بی‌دریغ و خالصانه استادان گرانقدرم جناب آقایان دکتر احمد غلامی، دکتر منوچهر قلی‌پور، مهندس مهدی رحیمی و دکتر علیرضا فلاح که راهنمایی و مشاوره این پایان‌نامه را به عهده داشتند و با راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ارزنده خود در تمامی مراحل انجام این پژوهش دلسوزانه مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم، سلامتی ایشان را از خداوند منان خواستارم و آرزومند توفیق روزافزون این اساتید ارزشمند می‌باشم. مراتب قدردانی خود را از اساتید گرانقدرم جناب آقایان دکتر برادران و دکتر درخشان که علاوه بر اینکه داوری پایان‌نامه را عهده‌دار بودند صبورانه در تکمیل این پژوهش مرا یاری نمودند ابراز می‌دارم. از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر عباس دخت، دکتر مکاریان، دکتر عامریان، دکتر قربانی، پدر و مادر فداکار و صبورم، خواهر مهربانم و همسر محترمشان دکتر اسکی، برادرانم، همکلاسی‌های مهربانم مهندسین قاضوی، اکبری، حسنی، احمدی، نقی‌پور، شاه حسینی و شمس آبادی، دوستان گرامی به ویژه دوست عزیزم خانم مریم دلفانی به پاس همراهی‌ها و فراهم آوردن محیطی صمیمی بی‌نهایت سپاسگذارم.

چکیده

از آنجائیکه خشکی به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدود کننده‌ی رشد و تولید گیاهان زراعی شناخته شده و موجب تغییر در برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک رشد گیاه می‌شود، استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید جهت کاهش خسارات ناشی از تنش‌های محیطی از راه حل‌های نوین در کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. جهت بررسی این موضوع در گیاه لوبیا چشم بلبلی آزمایشی در سال ۱۳۸۸ به صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. فاکتور اصلی، تنش کم آبیاری شامل ۳ سطح شاهد، کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی بود. فاکتورهای فرعی شامل باکتری تثبیت کننده نیتروژن در دو سطح شاهد و مصرف باکتری و باکتری حل کننده فسفات در سه سطح شاهد، باسیلوس کوآگولانز و سودوموناس پوتیدا بودند. تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی موجب کاهش وزن کل بوته، وزن خشک ساقه، طول غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد. همچنین تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی موجب کاهش تعداد دانه گردید. از لحاظ آماری تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی و ۵۰٪ گلدهی در وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، فاصله اولین نیام از سطح خاک، تعداد غلاف و وزن خشک غلاف در یک سطح قرار گرفتند. هر چند کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی تاثیر منفی بیشتری داشت. تلقیح گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم تاثیر معنی‌داری بر تعداد گره، وزن تر و خشک گره و صفات نامبرده به جز شاخص برداشت و طول غلاف داشت. به طوری که مصرف این باکتری سبب افزایش صفات مذکور گردید. اثر باکتری حل کننده فسفات همچون باکتری تثبیت کننده نیتروژن بر تمامی صفات به جز شاخص برداشت و طول غلاف معنی‌دار شد. در تمام ترکیبات تیماری باکتری سودوموناس پوتیدا بیشترین تاثیر را اعمال کرد. اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک کل بوته، ساقه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، فاصله اولین نیام از سطح خاک، وزن خشک غلاف، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار شد. گیاهانی که با هیچ گونه کمبود آبی مواجه نبودند و با باکتری تلقیح یافتند، میزان بیشتری از این صفات را نشان دادند. اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک ساقه و وزن صد دانه معنی‌دار شد. نتایج این تحقیق نشان داد که گیاهان تلقیح یافته توانایی تحمل تنش بیشتری در مقایسه با گیاهان تلقیح نیافته نشان دادند. تلقیح توام باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات بر وزن خشک کل بوته، ساقه، فاصله اولین غلاف از سطح خاک، تعداد دانه، عملکرد دانه، وزن صد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. نتایج نشان داد مصرف توام این باکتری‌ها تاثیر بیشتری بر این صفات داشتند. اثر متقابل هر سه عامل آزمایش بر هیچ یک از صفات معنی‌دار نشد.

واژگان کلیدی: باکتری تثبیت کننده نیتروژن، باکتری حل کننده فسفات، تنش کم آبیاری، لوبیا چشم بلبلی،

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

تاثیر تلقیح همزمان باکتری رایزوبیوم و حل‌کننده فسفر در شرایط کم‌آبیاری بر برخی از پارامترهای زراعی لوبیا، یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات، تهران، دانشگاه شهید بهشتی، ۴-۲ مرداد ماه، ۱۳۸۹.

فهرست مطلب‌ها

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: بررسی منابع	
۲-۱- لوبیا چشم بلبلی	٤
۲-۱-۱- رشد و نمو	٤
۲-۱-۲-کود و عناصر غذایی	٥
۲-۱-۳- عملیات زراعی	٦
۲-۱-۳-۱- عملیات داشت	٦
۲-۱-۳-۲- برداشت	۷
۲-۲- اثر پتانسیل آب خاک بر رشد	۸
۲-۲-۱- اثرات تنش آب	۸
۲-۲-۱-۱- اثرات تنش آبی بر رشد گیاه	۸
۲-۲-۱-۲- اثرات تنش آب بر ساختمان گیاه	۹
۲-۲-۲- کم آبیاری	۹
۲-۲-۳- واکنش ریشه به خاک خشک	۱۰
۲-۲-۴- ABA و استحکام دیواره‌ی سلولی برگ	۱۱
۲-۲-۵- چرخه‌ی زندگی یا فنولوژی در محیط‌های خشک	۱۲
۲-۲-۶- اثر ABA بر طویل شدن ریشه	۱٤
۲-۲-۷- کنترل جذب آب به وسیله ریشه‌ها	۱٥
۲-۲-۸- کنترل تلفات آب از طریق برگ‌ها	۱٦
۲-۲-۹- خشکی و تغذیه معدنی	۱۷
۲-۲-۹-۱ نیتروژن و خشکی	۱۷

۲-۲-۹-۲- اثر خشکی بر همزیستی ۱۸
۲-۲-۹-۳- فسفر و خشکی ۱۹
۲-۳- کودهای بیولوژیک ۲۰
۲-۳-۱- باکتری‌های حل‌کننده فسفر ۲۲
۲-۳-۲- نقش میکروارگانیسم‌ها در حلالیت فسفات‌ها ۲۳
۲-۳-۳- افزایش دسترسی گیاه به فسفر ۲٤
۲-۳-۴- روابط با موجودات تثبیت‌کننده نیتروژن ۲٦
۲-۳-۶- فرآیند همزیستی در رابطه بقولات-رایزوبیوم ۲۷
۲-۳-۷- نقش فلاونوئیدها ۲۸
۲-۳-۸- ورود باکتری‌ها از طریق تارهای کشنده ریشه ۲۸
۲-۳-۹- گیاهان قادرند برخی ترکیبات آلی فسفره را حل کنند ۳۱
۲-۳-۱۰- تراوش ترکیبات حل‌کننده‌ی فسفات ۳۲
۲-۳-۱۱- تاثیر کودهای بیولوژیک بر رشد و عملکرد گیاه ۳۳

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱- زمان و موقعیت محل اجرای آزمایش ۳٦
۳-۲- ویژگی‌های آب و هوایی ۳٦
۳-۳- خصوصیات خاک مورد آزمایش ۳٦
۳-۴- مشخصات طرح آزمایشی ۳۷
۳-۵- عملیات اجرایی ۳۸
۳-۶- آماده سازی زمین و کاشت ۳۸
۳-۷- آماده‌سازی بذرها ۳۹
۳-۸- عملیات داشت ۳۹

۳-۸-۱- مبارزه با علف‌های هرز و دفع آفات ۳۹
۳-۸-۲- آبیاری ٤٠
۳-۹- نمونه‌برداری ٤٠
۳-۱۰- ارزیابی صفات مرفولوژیک ٤٠
۳-۱۰-۱- سطح و وزن خشک برگ ٤٠
۳-۱۱- برآورد شاخص‌های رشد ٤١
۳-۱۱-۱- شاخص سطح برگ (LAI) ٤١
۳-۱۱-۲- سرعت رشد گیاه (CGR) ٤٢
۳-۱۱-۳- سرعت رشد نسبی (RGR) ٤٢
۳-۱۲- تجزیه آماری نتایج ٤٢

فصل چهارم: نتایج بحث

۴-۱- وزن خشک کل بوته ۴۳
۴-۲- وزن خشک برگ ۴۷
۴-۳- وزن خشک ساقه ۵۱
۴-۴- ارتفاع بوته ۵۵
۴-۵- فاصله اولین غلاف از سطح خاک ۵۸
۴-۶- تعداد شاخه های فرعی ۶۱
۴-۷- تعداد گره ۶۴
۴-۸- وزن تر و خشک گره ۶۷
۴-۹- تعداد غلاف ۷۱
۴-۱۰- وزن خشک غلاف ۷۴
۴-۱۱- طول غلاف ۷۶

۴-۱۲- تعداد دانه ۷۷
۴-۱۳- عملکرد دانه ۸۱
۴-۱۴- وزن صد دانه ۸۵
۴-۱۵- عملکرد بیولوژیک ۸۹
۴-۱۶- شاخص برداشت ۹۲
۴-۱۷- شاخص سطح برگ (LAI) ۹۳
۴-۱۸- سرعت رشد محصول (CGR) ۹۵
۴-۱۹- سرعت رشد نسبی (RGR) ۹۶
نتیجه گیری ۹۷
پیشنهادها ۹۸
پیوست ۱۰۰
منابع ۱۱۰

فهرست شکل‌ها

شکل **صفحه**

۲-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۳۶

۴-۲- تاثیر باکتری تثبیت کننده نیتروژن بر وزن خشک کل بوته در روزهای مختلف ۴۵

۴-۳- تاثیر حل کننده فسفات بر وزن خشک کل بوته در روزهای مختلف پس از کاشت ۴۶

۴-۴- تاثیر تنش کم آبیاری بر وزن خشک کل بوته در ۱۲۰ روز پس از کاشت ۴۶

۴-۵- اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک کل بوته ۴۶

۴-۶- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات در ۱۰۵ روز پس از کاشت ۴۷

۴-۷- اثر متقابل باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در بر وزن خشک کل بوته ۴۷

۴-۸- اثر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک برگ در روزهای مختلف پس از کاشت ۵۰

۴-۹- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک برگ در روزهای مختلف پس از کاشت ۵۰

۴-۱۰- اثر تنش کم‌آبیاری بر وزن خشک برگ در ۱۲۰ روزپس از کاشت ۵۰

۴-۱۱- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک ساقه ۵۳

۴-۱۲- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک ساقه ۵۳

۴-۱۳- اثر تنش کم آبیاری بر وزن خشک ساقه در ۱۲۰ روز پس از کاشت ۵۳

۴-۱۴- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم بر وزن خشک ساقه در ۱۲۰ روز پس از کاشت ۵۴

۴-۱۵- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک ساقه ۵۴

۴-۱۶- اثر متقابل باکتری باکتری رایزوبیوم و حل کننده فسفات بر وزن خشک ساقه ۵۴

۴-۱۷- اثر تنش کم‌آبیاری بر ارتفاع بوته ۵۶

۴-۱۸- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر ارتفاع بوته ۵۷

۴-۱۹- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر ارتفاع بوته ۵۷

۴-۲۰- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر ارتفاع بوته ۵۷

۴-۲۱- تاثیر تنش کم آبیاری بر فاصله اولین نیام از سطح خاک ۶۰

۴-۲۲- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر فاصله اولین نیام از سطح خاک ۶۰
۴-۲۳- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر فاصله اولین نیام از سطح خاک ۶۰
۴-۲۴- اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر فاصله اولین غلاف از خاک ۶۱
۴-۲۵- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم و حل کننده فسفات بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک ۶۱
۴-۲۶- اثر تنش کم آبیاری بر تعداد شاخه جانبی ۶۳
۴-۲۷- اثر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد شاخه جانبی ۶۳
۴-۲۸- اثر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد شاخه جانبی ۶۳
۴-۲۹- اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد شاخه جانبی ۶۴
۴-۳۰- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد گره ۶۶
۴-۳۱- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد گره ۶۶
۴-۳۲- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن تر گره ۶۹
۴-۳۳- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک گره ۷۰
۴-۳۴- اثر باکتری حل کننده فسفات بر وزن تر گره ۷۰
۴-۳۵- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک گره ۷۰
۴-۳۶- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن تر گره ۷۱
۴-۳۷- اثر تنش کم آبیاری بر تعداد غلاف ۷۳
۴-۳۸- تاثیر رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد غلاف ۷۳
۴-۳۹- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد غلاف ۷۳
۴-۴۰- اثر تنش کم آبیاری بر وزن خشک غلاف ۷۵
۴-۴۱- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک غلاف ۷۵
۴-۴۲- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک غلاف ۷۶
۴-۴۳- تاثیر باکتری حل کننده فسفات وزن خشک غلاف ۷۶
۴-۴۴- تاثیر تنش کم آبیاری بر طول غلاف ۷۷

۴-۴۵- اثر تنش کم آبیاری بر تعداد دانه ۷۹
۴-۴۶- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد دانه ۸۰
۴-۴۷- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد دانه ۸۰
۴-۴۸- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات بر تعداد دانه ۸۰
۴-۴۹- تاثیر تنش کم آبیاری بر عملکرد ۸۳
۴-۵۰- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر عملکرد ۸۴
۴-۵۱- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد ۸۴
۴-۵۲- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد ۸۴
۴-۵۳- اثر تنش کم آبیاری بر وزن صد دانه ۸۷
۴-۵۴- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن صد دانه ۸۷
۴-۵۵- اثر باکتری حل کننده فسفات بر وزن صد دانه ۸۸
۴-۵۶- اثر متقابل تنش کم آبیاری باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن صد دانه ۸۸
۴-۵۷- اثر متقابل تنش کم آبیاری باکتری و حل کننده فسفات بر وزن صد دانه ۸۸
۴-۵۸- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات بر وزن صد دانه ۸۹
۴-۵۹- اثر تنش کم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک ۹۰
۴-۶۰- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر عملکرد بیولوژیک ۹۱
۴-۶۱- اثر باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد بیولوژیک ۹۱
۴-۶۲- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر عملکرد بیولوژیک ۹۱
۴-۶۳- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد بیولوژیک ۹۲
۴-۶۴- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر شاخص برداشت ۹۳
۴-۶۶- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر شاخص سطح برگ ۹۴
۴-۶۷- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر شاخص سطح برگ ۹۴
۴-۶۹- تاثیر باکتری رازوبیوم لگومینوزارم بر سرعت رشد محصول ۹۵

۴-۷۰- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر سرعت رشد محصول ۹۶
۴-۷۲- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر سرعت رشد نسبی ۹۷
۴-۷۳- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر سرعت رشد نسبی ۹۷

فهرست جدول‌ها **صفحه**

پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک کل بوته تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف ۱۰۰

پیوست ۲- میانگین مربعات وزن خشک برگ تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف ۱۰۰

پیوست ۳- میانگین مربعات وزن خشک ساقه تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف ۱۰۱

پیوست ۴- میانگین مربعات تعداد گره تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف ۱۰۱

پیوست ۵- میانگین مربعات وزن تر گره تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف ۱۰۲

پیوست ۶- میانگین مربعات وزن خشک گره تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف ۱۰۲

پیوست ۷- میانگین مربعات صفات مختلف تحت تاثیر تنش کم آبیاری، باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف ۱۰۳

پیوست ۸- میانگین مربعات صفات مختلف تحت تاثیر تنش کم آبیاری، باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در ۱۲۰ روز پس از کاشت ۱۰۴

پیوست ۹- میانگین مربعات صفات مختلف تحت تاثیر تنش کم آبیاری، باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در ۱۲۰ روز پس از کاشت ۱۰۵

پیوست ۱۰- تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا چشم بلبلی(LAI) مشاهده شده در طول دوره رشد ۱۰۶

پیوست ۱۱- تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر تغییرات سرعت رشد محصول لوبیا چشم بلبلی(CGR) مشاهده شده در طول دوره رشد (گرم بر متر مربع در روز) ۱۰۷

پیوست ۱۲- تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر تغییرات سرعت رشد نسبی لوبیا چشم بلبلی(RGR) مشاهده شده در طول دوره رشد(گرم بر متر مربع در روز) ۱۰۸
شکل پیوست ۱- نقشه کاشت آزمایش شامل تنش کم آبیاری، باکتری تثبیت کننده نیتروژن و باکتری حل کننده فسفات ۱۰۹

مقدمه

تنش‌های محیطی از مهمترین عوامل کاهش دهنده‌ی عملکرد گیاهان زراعی در جهان است. اگر تنش‌های محیطی به گیاه وارد نشود، مسلماً عملکرد واقعی باید با عملکرد پتانسیل گیاه برابر می‌شد. گیاهان مختلف در برابر تنش کم‌آبی عکس‌العمل متفاوتی از خود نشان می‌دهند. تنش کم آبی می‌تواند از برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز، طویل شدن بافت‌ها و اندام‌ها ممانعت نموده و یا حتی باعث توقف آنها شود.

خسارت ناشی از کمبود آب موجب کاهش تولید در اثر تاخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف و یا از میان رفتن گیاهان مستقر شده، مستعد شدن گیاه به حمله آفات و بیماری‌ها، تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان و یا کاهش کیفیت محصول گیاهان زراعی می‌گردد.

محدودیت اراضی مستعد و قابل کشت همراه با افزایش تقاضا برای مواد غذایی محققین بخش کشاورزی را با چالش بزرگی روبرو نموده است. به همین جهت، در شرایطی که عملاً توسعه اراضی کشور مقدور نیست، بیشتر نگاه‌ها به افزایش عملکرد در واحد سطح معطوف شده است. از مولفه‌های اساسی افزایش عملکرد محصولات، مصرف بیشتر نهاده‌ها به ویژه کودهای شیمیایی است. هرچند کاربرد آنها مشکلاتی چون بر هم زدن تعادل مواد غذایی در خاک، اختلال در حلالیت و جذب عناصر غذایی و همزیستی رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی را ایجاد می‌کند. از راه‌های اساسی فائق آمدن بر این مشکلات، که علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی، در حفظ توازن طبیعی محیط نیز نقش دارد، استفاده از کودهای زیستی است.

این تولیدات زیستی در برخی موارد به عنوان جایگزین و در بیشتر موارد به عنوان مکمل کودهای شیمیایی پایداری تولید را در نظام‌های کشاورزی تضمین می‌کنند. در بین ریز جانداران خاک که در حضور مستقیم و یا وجود فرآورده‌های متابولیت آنها در محیط ریشه بر رشد و نمو گیاهان تاثیر مثبتی

داشته و به عنوان کودهای زیستی مورد توجه محققین قرار دارند، می‌توان به انواع باکتری‌ها اشاره نمود که در اصطلاح باکتری‌های محرک رشد گیاه نامیده می‌شوند.

تولید هورمون‌های گیاهی، کاهش پتانسیل الکتریکی غشا، القا مقاومت سیستمیک در گیاهان برای مقابله با عوامل زیستی بیماریزا و نیز افزایش تحرک عناصر غذایی غیر محلول و در نتیجه بهبود جذب موادغذایی توسط گیاهان از جمله مکانیسم‌هایی هستند که در نتیجه تقابل این باکتری‌ها با گیاهان، موجب بروز اثرات مثبت و سودمند می‌شوند.

از جمله باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توان به جنس‌های Pseudomonas و Baccillus اشاره نمود که دارای پتانسیل همراهی با گیاهان زراعی هستند و در این رابطه مزایایی همانند بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش عملکرد گیاهان و نیز مقابله با بیماری‌های خاکزی را فراهم می‌سازند. به همین دلیل استفاده از آنها به عنوان کود زیستی در سال‌های اخیر مورد توجه بوده و تاثیر کاربرد سویه‌های مختلف آنها به صورت مایه تلقیح بر تعداد زیادی از گیاهان میزبان مانند غلات، بقولات و ... مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است.

بر این اساس اهداف زیر در تحقیق حاضر مورد مطالعه قرار می‌گیرد:

-بررسی تاثیر تنش کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه لوبیا چشم‌بلبلی بر برخی پارامترهای زراعی

-بررسی تاثیر تنش کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد در لوبیا چشم بلبلی

-بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر برخی خصوصیات زراعی لوبیاچشم‌بلبلی در شرایط تنش کم آبیاری

-بررسی تاثیر باکتری‌ها بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی و تجزیه و تحلیل رشد آن

-تعیین اثر متقابل در بین ریزموجودات مورد بررسی

با دستیابی به اهداف فوق علاوه بر شناسایی انواع سویه‌های سازگار با شرایط محیطی منطقه و موثر بر رشد گیاه لوبیا چشم‌بلبلی برای تلقیح بذور، می‌توان اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی بر محیط زیست را کاهش داده و بدینوسیله تعادل اکوسیستم خاک و پایداری بلند مدت آن گام برداشت. همچنین با استفاده از این باکتری‌ها می‌توان اثرات نامطلوب تنش کم‌آبیاری را کاهش دهیم.

۲-۱- لوبیا چشم بلبلی

لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis*) را با نام‌های دیگری، مانند لوبیا چشم سیاه، نخود چشم سیاه، نخود جنوبی، نخود چینی و نخود تیله‌ای (مرمری) نیز می‌شناسند.

غرب آفریقا و هندوستان، از مراکز تنوع و پراکندگی لوبیا چشم بلبلی می‌باشند. این لوبیا جهت مصارف دانه و لگوم علوفه‌ای در سیستم‌های مختلف کشاورزی در بسیاری از کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکای لاتین کشت می‌گردد. بزرگترین کشورهای تولید کننده‌ی بذر لوبیا چشم بلبلی، عبارتند از: هند، برزیل، نیجریه و تعدادی از کشورهای غرب آفریقا (سامرفیلد و همکاران، ۱۹۸۳). این گیاه برای مردم بسیاری از کشورهای در حال توسعه، منبع اصلی پروتئین می‌باشد. بذور بالغ آن حاوی ۲۳٪ پروتئین، ۹٪ نشاسته، ۲٪ چربیست (ایکرود و داگتی، ۱۹۶۴). کیفیت بالای پروتئین در لوبیا چشم بلبلی، مکمل طبیعی برای مواد خام دانه‌ی غلات می‌باشد، چرا که بیشتر حاوی آمینو اسید لیزین است، ولیکن همانند سایر لگوم‌ها از نظر آمینو اسیدهای گوگرددار (میتونین و سیستین) فقیر می‌باشند.

۲-۱-۱- رشد و نمو

لوبیا چشم بلبلی، یک گیاه علفی یک‌ساله از تیره حبوبات است. جوانه‌زنی آن، از نوع برون زمینی است و مساله خواب بذر در ارقام این گیاه گزارش نشده است. لوبیا به سرما حساس است و در اثر یخبندان از بین می‌رود. این گیاه، نسبت به شرایط گرم و خشک دارای مقاومت است (پیورسجلو، ۱۹۸۷). دمای بالاتر از ۲۸ درجه سانتی‌گراد، باعث نمو غیرطبیعی دانه گرده و ناشکوفایی بساک می‌گردد و در دماهای کمتر از آن، عملکرد لوبیا کاهش می‌یابد (واراگ و هال، ۱۹۸۴).

به منظور تولید بالاتر، دسترسی به میزان آب مطلوب، ضروری می‌باشد و در شرایط تنش رطوبتی، میزان تولید و مراحل رشد گیاه کاهش می‌یابد. حساسترین مرحله رشد گیاه لوبیا چشم بلبلی به بروز خشکی، مرحله گلدهی و پرشدن غلاف‌ها می‌باشد (شویوز و همکاران، ۱۹۸۱). بر طبق گزارش لباناسوکاز و همکاران (۱۹۸۱)، بروز تنش رطوبتی طی مرحله گلدهی و پرشدن غلاف‌ها به ترتیب محصول دانه را ۴۴ و ۲۹٪ نسبت به شرایط کنترل شده، کاهش می‌دهد.

لوبیا چشم بلبلی در دامنه وسیعی از خاک‌ها قادر به رشد و نمو است. نیاز اولیه‌ی این گیاه، زهکشی مناسب و وجود باکتری‌های تثبیت کننده‌ی نیتروژن در خاک می‌باشد (مارتین و لئونارد، ۱۹۶۷). لوبیا در خاک‌های اسیدی رشد خوبی دارد و در اراضی با اسیدیته‌ی ۶، عملکرد خوبی داشته است. به طور نسبی به خاک‌های شور حساس بوده و آستانه‌ی کاهش محصول آن در اثر شوری، به میزان ۱/۳ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. به ازای هر واحد افزایش شوری از مقدار ذکر شده، عملکرد، حدود ۱۴٪ کاهش می‌یابد (ماس و هافمن، ۱۹۷۷).

۲-۱-۲- کود و عناصر غذایی

لوبیا چشم بلبلی همانند سایر لگوم‌ها با نوع بخصوصی از باکتری رایزوبیوم همزیستی می‌کند. رایزوبیوم، نیتروژن اتمسفر را تحت فرآیندی که تثبیت نیتروژن نامیده می‌شود قابل دسترس گیاه میزبان می‌سازد (دیویس و ژانگ، ۱۹۹۱). مطالعات زیادی در محیط‌های کنترل شده بر روی تغذیه لوبیا چشم بلبلی انجام شده است. استفاده از نیتروژن در مرحله رشد رویشی در مقایسه با زمان گلدهی تاثیر بیشتری بر افزایش محصول دارد به شرط آنکه عوامل اصلی رشد در طول دوره زندگی گیاه به طور مطلوب فراهم باشد. آزمایشات مزرعه‌ای نشان داده است که افزایش مقدار اولیه نیتروژن (۱۵ الی ۲۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک، رشد رویشی را حتی در گیاهانی که به نحوی با رایزوبیوم تلقیح شده‌اند، بیشتر می‌کند. محتوای

کم رطوبت در خاک‌های نیمه خشک تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را در لوبیا چشم بلبلی محدود می‌کند (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۲).

معمولاً کشاورزان آمریکای لاتین، آسیا و آفریقا، برای کشت لوبیا از کود استفاده نمی‌کنند. در حالی که معمولاً با استفاده از کود به شرط آنکه در طی فصل رویشی آب کافی در دسترس باشد، محصول این گیاهان افزایش می‌یابد. فسفر، مهمترین عنصر محدود کننده تولید در خاک‌های اسیدی آمریکای لاتین، آفریقا و آسیا می‌باشد و این در حالی است که این قاره‌ها، بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند.

اطلاعات پیرامون جذب عناصر غذایی بوسیله لوبیا در شرایط اقلیمی متفاوت ناچیز است (فتحی، ۱۳۷۸). طبق نظر راکی و روبرت (۱۹۷۴) یک تن محصول لوبیا چشم بلبلی، در حدود ۴۰ کیلوگرم نیتروژن، ۴/۷ کیلوگرم فسفر، ۴۰ کیلوگرم پتاس، ۱/۴ کیلوگرم منیزیم و ۴ کیلوگرم گوگرد در هکتار از زمین تخلیه می‌کند.

۲-۱-۳- عملیات زراعی

۲-۱-۳-۱- عملیات داشت

بذرهای لوبیا چشم‌بلبلی برای جوانه زدن حدود ۲۶ الی ۸۳ درصد وزن خود آب جذب می‌کنند (کوچکی، ۱۳۷۷). مقدار آب مورد نیاز گیاه و تعداد دفعات آبیاری به جنس زمین و آب و هوای منطقه کشت بستگی دارد. معمولاً پس از سبز شدن این گیاه با دور آبیاری ۷ تا ۱۰ روز یک بار مزرعه را آبیاری و این آبیاری تا هنگام زرد شدن غلاف‌ها ادامه می‌یابد (کوچکی، ۱۳۷۷). در مزرعه به علت اینکه لوبیا چشم‌بلبلی دارای شاخ و برگ و قدرت رویشی زیادی می‌باشد بایستی اقدام به تنک کردن بوته‌ها نمود تا فضای کافی برای استفاده کامل گیاه از نور آفتاب، مواد غذایی و رطوبت خاک فراهم گردد. معمولاً موقع

کاشت، فاصله بذور را از یکدیگر ۵ تا ۶ سانتی‌متر در نظر می‌گیرند و وقتی بوته‌ها به مرحله ۳ یا ۴ برگی رسیدند و دیگر احتمال از بین رفتن بعضی از بوته‌ها به وسیله سله بستن خاک و امراض و آفات نباتی و غیره نمی‌رود، یک در میان بوته‌ها را تنک می‌کنند تا فاصله بوته‌ها از همدیگر ۱۰ الی ۱۲ سانتی‌متر برسد و بتوان محصول خوبی برداشت نمود. در بعضی ارقام لوبیا چشم بلبلی به علت داشتن شاخ و برگ فراوان و سنگینی زیاد بعضی اوقات بوته‌ها به طرف زمین متمایل شده و با بوته‌های ردیف‌های بعدی مخلوط می‌شوند (مجنون حسینی، ۱۳۷۲). برای جلوگیری از این امر بهتر است که پای بوته‌های این ارقام خاک داده شود، که این عمل در زراعت‌های خطی در موقع وجین کردن علف‌های هرز به آسانی و به کمک بیل با کندن مقداری خاک از وسط خطوط کاشت و ریختن آن در اطراف ساقه‌های لوبیا چشم‌بلبلی انجام می‌شود. در زراعت‌های خطی و کپه‌ای از وجین کارهای موتوری استفاده می‌شود. پشت دستگاه وجین کار می‌توان نهرکن کوچکی نصب نموده که پس از وجین کردن، خاک را روی پشته‌ها بریزد. معمولاً وقتی بوته‌های لوبیا چشم بلبلی ۲ تا ۴ برگه شدند اقدام به عملیات وجین و سله شکنی همزمان می‌نمایند و پس از آن هر وقت احتیاج به وجین یا سله شکنی مجدد باشد این اعمال را بایستی ۲ تا ۳ بار در طی دوره‌ی رشد انجام داد.

۲-۱-۳-۲- برداشت

دوره کامل رشد لوبیا چشم‌بلبلی در واریته‌های مختلف به طور متوسط حدود ۹۰ تا ۱۲۰ روز طول می‌کشد. زمان رسیدن محصول موقعی است که ساقه‌ها و غلاف‌ها کاملاً خشک شده و رطوبت دانه‌ها به حدی کاهش می‌یابد که در تماس با دست خشک و شکننده به نظر می‌رسد. لوبیا چشم بلبلی محصولی است که در چند چین برداشت می‌شود. البته محصول را در یک چین هم می‌توان برداشت نمود ولی مقدار آن کم خواهد شد (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۷۲، مجنون حسینی، ۱۳۷۲).

۲-۲- اثر پتانسیل آب خاک بر رشد

تعدادی از فرآیندهای گیاه به پتانسیل آبی بسیار حساستر از هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز هستند. کاهش رشد در خاک‌هایی با پتانسیل آبی پایین، تا حد زیادی به فرآیندهای بسیار حساس مانند طویل شدن سلول‌های برگ و ساخت پروتئین‌ها مربوط می‌شود. در پتانسیل آبی پایین، سرعت توسعه برگ کاهش می‌یابد، در صورتیکه سرعت طویل شدن ریشه خیلی کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در پتانسیل پایین آب خاک، ممکن است علی‌رغم کاهش آماس سلول‌های ریشه، طویل شدن سلول‌ها ادامه یابد. این وضعیت حاکی از افزایش توان سلول‌های در حال طویل شدن است. این افزایش توان به دو فرآیند ارتباط پیدا می‌کند (ویو و همکاران، ۱۹۹۶):

۱. افزایش توسعه نوک ریشه در پتانسیل پایین آب خاک

۲. افزایش قابلیت توسعه دیواره سلول

این تصور که کاهش توسعه برگ را به دلیل از بین رفتن آماس در سلول‌های برگ فرض کنیم، گمراه کننده است. البته غالباً آماس از بین نمی‌رود و کاهش رشد برگ، به دلیل تفاوت دیواره‌ی سلول‌های برگ (ون ولکن برگ و بویر، ۱۹۸۵) در واکنش به پیام‌های شیمیایی رسیده از ریشه‌هایی است که با خاک خشک در تماس هستند (دیویس و ژانگ، ۱۹۹۱).

۲-۲-۱- اثرات تنش آب

۲-۲-۱-۱- اثرات تنش آب بر رشد گیاه

با بسته شدن روزنه‌ها میزان فتوسنتز کاهش پیدا کرده و تامین دی اکسید کربن نیز تقلیل می‌یابد. ولی تنش آب همچنین توانایی پروتوپلاسم را برای عمل فتوسنتز کاهش داده و کاهش فتوسنتز باعث می‌شود جابجایی کربوهیدرات‌ها و مواد تنظیم کننده‌ی رشد تقلیل یافته و اختلال در متابولیسم نیتروژن نیز به کاهش کربوهیدرات موجود برای رشد در مقایسه با گیاهانی که تحت تنش قرار نگرفته‌اند، کم می‌باشد. صدمات وارده در اثر تنش آب در برخی از مراحل بحرانی بیش از مراحل دیگر است. دوره بحرانی زمانی است که اندام‌های زایشی گیاه تشکیل یافته و موقع گرده افشانی و تلقیح فرا می‌رسد (علیزاده،۱۳۸۱)

۲-۲-۱-۲- اثرات تنش آب بر ساختمان گیاه

گیاهانی که در معرض تنش آبی قرار دارند نه تنها اندازه‌شان کاهش می‌یابد بلکه خصوصیات ساختمانی و بخصوص برگ‌های آنها نیز تغییر می‌کند. سطح برگ، اندازه سلول‌ها و حجم منافذ بین سلولی معمولاً کاهش پیدا می‌کند ولی مقدار کوتین، تعداد کرک‌ها، تعداد رگبرگ‌ها، روزنه‌ها و ضخامت لایه‌های پارانشیمی برگ‌ها افزایش می‌یابد. نتیجه‌ی این وضعیت ضخامت نسبتاً زیاد، چرمی شدن، کوتینی شدن شاخ و برگ است که از خصایص گیاهان مقاوم به خشکی است. تقریباً هر گیاهی که با تنش آب مواجه می‌گردد یکی از این علائم در آن مشاهده خواهد شد (علیزاده، ۱۳۸۱).

به طور کلی وضعیت آب در گیاه به وسیله‌ی تنش آب سلول کنترل می‌گردد. مهم‌ترین اثرات کمبود آب در بافت‌های مریستمی بر روی فعالیت‌های سازندگی DNA و RNA و مواد جدار سلول می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۱).

۲-۲-۲- کم آبیاری

کم آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت تنش آب است که همراه بـا کـاهش محصول در واحد سطح می‌باشد. گرچه، راهکار بهینه از نقطه نظر زارع، کاربرد حجمی از آب آبیاری است که درآمد خالص او را به حداکثر می‌رساند و نه مقدار آبی که بیشترین محصول را تولید مـی‌کنـد. هـدف اصلی از اجرای کم آبیاری، همانا افزایش راندمان کاربرد آب، چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هـر نوبت و یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین بازدهی را دارند. هنگامی که مشکلاتی از نظر تامین سرمایه، انرژی، نیروی کارگر و یا سایر منابع انسانی وجود داشته باشد یا هنگامی که هزینه‌ی این گونه منابع زیـاد باشد، اعمال کم آبیاری می‌تواند در افزایش سود مفید واقع شود.

در مناطقی که کشاورزان آب کمی در اختیار دارند تا با آن گیاهان را آبیاری کنند، می‌تواننـد یکـی از راه‌های زیر را انتخاب کنند:

۱. سطح زیر کشت را کاهش دهند و آب را تا حد کافی و نیاز در اختیـار گیاهـان باقیمانـده قـرار دهند و یا تمام سطح را زیر کشت برده ولی بخشی از نیاز آبی گیاهان را برآورده کنند.

۲. راهکار دوم مرتبط با کم آبیاری است. گرچه کم آبیاری قرن‌هاست که در کشور ایران به صورت سنتی توسط کشاورزان عمل می‌گردد و یا شاید در سایر کشورهای خشک و نیمه خشـک نیـز بـا آن بـه نحوی آشنا هستند، اما این روش چنان تحولی را در اقتصاد آب در بخش کشـاورزی بـه همـراه داشـته و خواهد داشت که نیازمند تبیین مفاهیم و تحقیق پیرامون جنبه‌های علمـی، عملـی و کـاربردی آن اسـت (انگلیش و جیمز، ۱۹۹۰)

۲-۲-۳- واکنش ریشه به خاک خشک

پاسیورا (۱۹۸۸)برای پاسخ دادن به این سئوال که آیا ریشه خاک خشک را حس کرده و پیام‌هایی بـه برگ ارسال می‌کند آزمایشی طراحی کرد و در اطراف ریشه گیاهچـه‌هـای گنـدم کشـت شـده در خـاک

خشک، از لوله فشار استفاده نمود. همچنان که خاک خشک می‌شد فشار هیدروستاتیک لوله تا حدی زیاد می‌شد که روابط آبی اندام‌های هوایی این گیاهان مشابه گیاهـان واقـع در شـرایط آب و هـوایی مطلـوب می‌گردید. رشد برگ در گندم‌های تیمار شده، شبیه گندم‌هایی که در خاک خشک و خارج از اتـاق فشـار قرار داشتند، کاهش یافت. از جمله شواهد دیگر، آزمایشی است که بر روی درختان سـیب انجـام شـد. در این آزمایش ریشه درختان در دو ظرف جداگانه قرار داده شدند. به طوری که یکی از این ظروف مرطوب و دیگری خشک بود. خشکی خاک در یکی از ظروف، آغـازش و توسـعه بـرگ را محـدود کـرد. در حالیکـه ریشه‌های موجود در خاک مرطوب، روابط آبی اندام‌های هوایی را شبیه گیاهان شاهد حفظ کردنـد. قطـع ریشه‌هایی که در تماس با خاک خشک بودند باعث شد که رشد برگ بهبود حاصل کند. بنابراین این‌گونه تاثیر بر روی برگ گیاهچه‌های گندم و درختان سیب، باید به اثرات خشکی خاک، بدون نیاز به تغییـر در وضعیت آبی اندام‌های هوایی، ربط داشته باشد (دیویس و همکاران، ۱۹۹۴). علاوه بر اثراتـی کـه خشـکی خاک بر هدایت روزنه‌ای دارد، پیام‌های هیدرولیکی نیز ممکن است در تاثیری که خشکی خاک بـر رشـد برگ دارد، نقش داشته باشد (دود و دیویس، ۱۹۹۶). بنابراین چندین مسیر انتقال پیام وجود دارد کـه در شرایط کمبود آب رشد گیاه را کاهش می‌دهد.

۲-۲-۴- ABA و استحکام دیواره‌ی سلولی برگ

اثر تنش آب بر رشد برگ از طریق هورمون آبسیسیک اسید (ABA) اعمال می‌شود. خشـکی خـاک و شوری باعث افزایش غلظت این هورمون در برگ‌ها می‌شـوند (تردیـو و همکـاران، ۱۹۹۲ و هـی و کرامـر، ۱۹۹۶).

واکنش اندام‌های هوایی گیاه به کاهش پتانسیل آب خاک شدیدتر از واکنش ریشه‌هاست. این امر به دلیل آن است که اثر بازدارندگی ABA بر رشد برگ بیشتر از اثر آن بر ریشه است (سب و همکاران، ۱۹۹۰).

ABA در شرایط تنش آب باعث کاهش اسیدیته‌ی دیواره‌ی سلول می‌شود (ون ولکن برگ و بویر، ۱۹۸۵) و اسیدی شدن دیواره هم موجب شل شدن آن می‌گردد. هنگامی که گیاه در معرض تنش آبی قرار می‌گیرد، دیواره سلولی برگ‌ها سخت‌تر می‌شود و از طرفی ABA درونی بیشتر و رشد برگ‌ها کمتر می‌شود. ABA احتمالاً از طریق اثر بر بیوسنتز اتیلن رشد برگ‌ها و ریشه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۲-۲-۵- چرخه‌ی زندگی یا فنولوژی در محیط‌های خشک

در اقلیم‌هایی با فصول خشک و مرطوب، بیشتر گیاهان یک‌ساله طوری تکامل یافته‌اند که چرخه‌ی زندگیشان را قبل از فرا رسیدن خشکی خیلی شدید کامل نمایند. این روش مقاومت به خشکی بوسیله می و میلتورپ (۱۹۹۲)، فرار از خشکی[1] نامیده شد. یک چرخه زندگی کوتاه و بلوغ سریع به عنوان صفات با ارزش جهت مقاومت به خشکی گیاهان یک ساله در چنین محیط‌هایی توصیف شده‌اند. در یک مقایسه ارقام گندم کشت شده در مکزیک فیشر و مورر (۱۹۷۸) سهم فرار از خشکی را در عملکرد، ۳ تا ۸ گرم در متر مربع در روز تعیین کردند. نتایج مشابهی از مزیت ارقام زودرس در مقایسه با دیررس در ارزن مرواریدی (*Pennisetum jlaucum*) به وسیله بیدیگر و همکاران (۱۹۸۷) و در سویا (*Glycine max*) به وسیله‌ی موچو و سینکلر (۱۹۸۶) گزارش شده است. شدت و زمان خشکی ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای از سالی به سال دیگر فرق نماید و انتخاب یک روش جهت سازگاری، جهت انعطاف‌پذیری رشد باشد. بنابراین در سال‌های مرطوبتر گیاهان مدت طولانی‌تری رشد خواهند کرد و محصول قابل برداشت

[1] Drought escape

بیشتری تولید خواهند نمود. چنین برتری‌هـایی در لوبیـا چشـم‌بلبلـی (لازاروف و پیـتمن، ۱۹۶۶) و ارزن مرواریدی که در معرض خشکسالی اواسط فصل بوده‌اند (بیدیگر و همکاران، ۱۹۸۷) نشان داده شده است. از طرف دیگر برمنر و پرستون (۱۹۹۰) دریافتند که خصلت زودرسی قوی آفتابگردان موجب می‌شود کـه عملکرد بیشتری را در مقایسه با سورگوم در طی خشـکی پایـان دوره داشـته باشـد. بیـدیگر و همکـاران (۱۹۸۷) نتیجه گرفتند که اگر احتمال وقوع تنش در زمان‌های مختلف چرخه‌ی رشد محصـول ناشـناخته باشد، استفاده از فنولوژی جهت استفاده در محاسبه پتانسیل فرار از خشکی غیر ممکن است. هنگامی که بارندگی‌های پراکنده عمدتاً در طی فصل خشک صورت بگیرد، عکس‌العمل‌های گیاه خیلی پیچیده است، زیرا مراحل رشدی مختلف حساسیت‌های متفاوتی به خشکی داشته و سهم آنها در عملکرد متفاوت است. این امر می‌تواند به آسانی به وسیله‌ی آزمایش‌های حذف بارندگی بـا آبیـاری در مراحـل مختلـف چرخـه زندگی گیاه مشخص شود (هارتون و همکاران، ۱۹۹۰). مثلاً آبیاری محصولاتی نظیر نخود یا توت فرنگـی در طی مراحل رویشی ممکن است باعث رشد رویشی بیش از حد به قیمت کاهش تولید گل و میوه شود.

خشکی خصوصاً در دوره گلدهی ممکن است خسارت‌زا باشد، زیرا قابلیت زنده ماندن و جوانه‌زدن دانه گرده را کاهش داده (اینجین و اسپرینت، ۱۹۷۳) و موجب اختلال در همزمانی رسیدگی مادگی و پرچم و تاخیر در رشد و نمو و در نتیجه آغاز گلدهی در ذرت می‌شود (براون و همکاران، ۱۹۷۶).

به نظر می‌رسد مراحل اولیه نمو بعد از باروری در بعضی از گیاهان نظیر سویا (مونس، ۱۹۸۸) و پنبـه (کومار و همکاران، ۱۹۸۴) حساسترین مرحله به خشکی باشد. ماشک (*Vicia faba*) در همه مراحل رشد به طور یکسانی به خشکی حساس است. در صورت وقوع خشکی پس از آغاز گلدهی رشـد و نمـو ممکـن است به وسیله تنش تسریع شود (ماسل و پاسیورا، ۱۹۸۷). تنش خشکی ممکن است همیشه عملکـرد را کاهش ندهد، هر چند تنش ملایم طی گلدهی تولید گل در ماشک (گرامر و همکاران، ۱۹۸۷) و عملکـرد الیاف در پنبه (کومار و همکاران، ۱۹۸۴) را افزایش می‌دهد. گیاهان چمنی چند ساله در هنگـام گلـدهی

نسبت به مرحله رویشی به خشکی حساسترند (توماس و ایوانس، ۱۹۹۰). آنهایی که متعلق به اقلیم‌های خشک هستند ممکن است گلدهی و تشکیل دانه را قبل از شروع خشکی شدید کامل نموده و سپس تا شروع مجدد بارندگی پاییز در حالت رکود باقی بمانند که توانایی آنها در جهت بهبود سریع یک خصوصیت زراعی مهم محسوب می‌شود. چنین گیاهانی باید قادر باشند که اوایل دوره خشکی ذخایر کربوهیدرات و نیتروژن را به صورت پروتئین‌های ذخیره‌ای رویشی (برمنر و پریستون، ۱۹۹۰) انباشته کنند تا قادر به زنده ماندن در تابستان باشند. گیاهچه‌های جوان به خشکی بسیار حساسند و لگوم‌ها نسبت به علف‌های چمنی حساسترند. احتمالاً بدین دلیل که ریشه‌های آنها قادرند به شکاف‌های خاک نفوذ کنند (هامفرس، ۱۹۸۹) یا در صورت از بین رفتن ریشه بذری، تولید ریشه‌های جانبی نمایند. تفاوت‌های ژنتیکی در مقاومت به خشکی در گیاهان بالغ ممکن است در گیاهچه‌ها آشکار شود و این امر ممکن است فرصت‌های مفیدی برای به‌گزینی و انتخاب به وجود آورد. بذور خشک شده به وسیله آبگیری مجدد در یک محیط اسمزی که از جوانه‌زنی آنها قبل از کاشت جلوگیری می‌کند، ممکن است استقرار گیاه را تحت شرایط تنش آب بهبود دهند.

۲-۲-۶- اثر ABA بر طویل شدن ریشه

ریشه‌هایی که یک تنش ملایم آبی را تجربه می‌کنند، ممکن است استحکام دیواره سلول‌هایشان کاهش یافته و سرعت رشد آنها افزایش یابد. کاهش استحکام دیواره احتمالاً به دلیل آن است که ABA باعث افزایش فعالیت XET می‌شود. XET آنزیم مشهوری است که در کاهش استحکام دیواره دخالت دارد. افزایش ظرفیت کاهش استحکام دیواره در واکنش به تنش آب، امری رایج است و احتمالاً نوعی سازگاری برای خاک‌های خشک می‌باشد که باعث بهره‌برداری از سطح ایستابی در حالت افت می‌شود. البته در ریشه‌های ذرت نیز همانند برگ‌ها، تنش اسمزی تاثیری بر فشار آماس سلول‌های ریشه نداشت ولی غلظت

محلول اسمزی را تا حدی زیاد کرد که اختلاف پتانسیل آب سلول و محیط ریشه حفظ شد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴).

پایین آمدن پتانسیل آب اطراف ریشه باعث می‌شود انتقال قند به ریشه‌ها افزایش یابد. این امر احتمالاً به دلیل کم شدن رشد برگ‌هاست. از آنجا که فتوسنتز کمتر از رشد برگ، تحت تاثیر قرار می‌گیرد، بنابراین حداقل در مراحل اولیه تنش، ممکن است انتقال قند و همچنین رشد ریشه هم به طور مطلق و هم به طور نسبی افزایش یابند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۲-۷- کنترل جذب آب به وسیله ریشه‌ها

بسیاری از گونه‌های گیاهی به وسیله افزایش سهم مواد آسمیله اختصاص یافته به رشد ریشه و بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و حجم آب قابل دسترس برای گیاه به خشکی پاسخ می‌دهند (پاراراجاسینگوم و کنیول، ۱۹۹۰). این امر می‌تواند به علت تفاوت حساسیت ریشه‌ها و اندام‌های هوایی به اسید آبسیزیک داخلی و تنظیم اسمزی بیشتر در ریشه‌ها باشد (شارپ و دیوس، ۱۹۸۹). تحت شرایطی وزن کل ریشه ممکن است افزایش پیدا کند.

هنگامی که خاک خشک می‌شودحرکت آب به درون ریشه کند می‌شود (کوک و همکاران، ۱۹۹۰). این جریان آهسته، افزایش مقاومت خاک را بیان می‌کند. اتفاق نظر بر این است که مقاومت در توده خاک وجود ندارد، بلکه در ریشه به تنهایی و شاید به دلیل انسداد آوند چوبی (میلبورن، ۱۹۷۹) و یا در فضای بین ریشه و خاک شاید به دلیل انقباض ریشه در خاک (هوفاکر و همکاران، ۱۹۷۰) وجود دارد.

جایی که کمبود آب خاک هرگز مساله ساز نیست، یک سیستم ریشه‌ای گسترده در یک محصول، به معنی تلف نمودن منابعی است که می‌تواند در تولید محصول اقتصادی بیشتری به کار گرفته شود (پاراراجانسیگوم و کنیول، ۱۹۹۰). به طور کلی به نظر می‌رسد که فقط تعداد کمی ریشه‌های عمیق

ممکن است جهت تهیه آب برای یک گیاه تحت تنش خشکی نیاز باشد (پاسیورا، ۱۹۸۸). میـزان کـارایی ریشه‌ها در جذب آب با فاصله گرفتن از نوک ریشه کاهش می‌یابد (هانسون و هیتز، ۱۹۸۲) و این ممکـن است به این دلیل باشد که ریشه‌های جوان نسبت به ریشه‌های مسن در جذب آب موثرتر می‌باشند. یـک استفاده کارآمدتر از منابع آب، مخصوصاً توسط گیاهان یک ساله، برای سیستم ریشه این است که از نظـر فنولوژی انعطاف‌پذیر باشند و فقط هنگامی که به وسـیله خشـکی تهدیـد شـدند عمیـق شـوند. دو عیـب ریشه‌های عمیق عبارتند از:

۱. آنها عمدتاً آب را فراهم می‌کنند ولی مواد غذایی کمی جـذب مـی‌کننـد، زیـرا بیشـترین مـواد معدنی قابل دسترس در لایه‌های فوقانی خاک تجمع یافته‌اند.

۲. در خاکهای اسیدی ممکن است به وسیله ازدیاد یون‌های آلومینیوم مسموم شوند، پدیده‌ای کـه ممکن است به وسیله اصلاح نباتات کاهش داده شود (گای، ۱۹۹۴).

۲-۲-۸- کنترل تلفات آب از طریق برگ‌ها

هدایت روزنه‌ای ظاهراً به وسیله‌ی سه مکانیسم پاسخ محیطی کنترل می‌شود.

۱. تبخیر از اپیدرم به ویژه در مناطقی از برگ که کوتیکول نازکتر و احتمالاً نفوذپذیرتر است.

۲. مکانیسم دوم در پاسخ به وضع ظاهری آب برگ در رابطه با هدایت و پتانسیل آب که بستگی به ماهیت تنش خشکی دارد، می‌باشد. روزنه هنگامی بسته می‌شود که آماس سلولی از بین می‌رود. بـه نظـر می‌رسد به علت انتقال مجدد اسید آبسیزیک از کلروپلاست‌ها به آپوپلاست سلول محافظ، متابولیسم یونی، غشای پلاسمایی تغییر یافته و بسته شدن روزنه را تحریک می‌کند.

۳. مکانیسم سوم جهت بسته شدن روزنه در پاسخ به علائم شیمیایی (احتمـالاً ABA) اسـت کـه بوسیله ریشه‌هایی که در معرض خاک خشک قرار می‌گیرند به وجـود آمـده و از طریـق آونـد چـوبی بـه

آپوپلاست سلول محافظ منتقل می‌گردند. این امر می‌تواند به دلیل بسته شدن ناقص روزنه حتی قبل از اینکه القای خشکی تغییری را در پتانسیل آب کل بوجود آورد، باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۲-۹- خشکی و تغذیه معدنی

۲-۲-۹-۱- نیتروژن و خشکی

در طی خشکی در مزرعه، مقدار نیتروژن و جذب آن ممکن است افزایش یا کاهش یابد یا بدون تغییر باقی بماند. کاربرد نیتروژن زیاد منتهی به توان زیادتر و استخراج آب عمیقتر در گندم تحت خشکی و کارایی مصرف آب بیشتر در علف‌های چمنی شده است. در داخل گیاه، نیترات به نیتریت تبدیل شده و به وسیله نیترات ردوکتاز (NR) کاتالیز می‌شود که نیتریت خود تبدیل به آمونیاک می‌شود (آنزیم نیتریت ردوکتاز NIR) و سپس از طریق گلوتامین (آنزیم گلوتامین سینتاز) و گلوتامات (آنزیم گلوتامات سینتتاز) به اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها تبدیل می‌شود. تبدیل به گلوتامین بسته به گونه ممکن است در ریشه‌ها یا برگ‌ها صورت گیرد. هانسون و هیتز (۱۹۸۲) دو اصل طراحی شده جهت توضیح تغییرات در متابولیسم نیتروژن طی خشکی پیشنهاد کردند:

۱. به دست آوردن یک تعادل بین متابولیسم نیتروژن و کربن از طریق کاهش ساخت آنزیم
۲. حفظ غلظت پایین نیتریت و آمونیاک که می‌تواند ایجاد سمیت کند.

بنابراین فعالیت NR، اولین آنزیم زنجیره، نسبت به NIR به تنش آب حساستر است که کاهنده تشکیل و تجمع نیتریت است. آنزیم‌های بعدی، گلوتامین سینتتاز، نیز مهم هستند، بنابراین از تجمع آمونیاک جلوگیری می‌شود. تنفس نوری نسبت به فرآیندهای متابولیکی دیگر کمتر به خشکی حساس است و بنابراین مصرف گلوتامین ادامه خواهد داشت (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴).

در لگوم‌ها تثبیت نیتروژن حتی به کاهش اندک پتانسیل آب حساس است و نسبت به فتوسنتز، جذب نیتروژن یا تنفس گره بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تامین کم نیتروژن ممکن است فرآیندهای بیوفیزیکی را تحت تاثیر قرار دهد که موجب کاهش هدایت هیدرولیکی در آفتابگردان و قابلیت اتساع دیواره سلولی گوجه فرنگی می‌شود. نیترات ممکن است همچنین در تنظیم فشار اسمزی مخصوصاً در نور کم که تامین کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آلی کم است، دخیل باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۲-۹-۲- اثر خشکی بر همزیستی

آب یکی از مهمترین عوامل در راندمان تثبیت نیتروژن در گیاهان خانواده لگومینوز می‌باشد. همزیستی رایزوبیوم و گیاه تحت تاثیر خشکی کاهش محسوسی پیدا می‌کند، زیرا لگوم‌ها نسبت به کمبود آب بسیار حساسند (لومل، ۲۰۰۱). در خاک‌های خشک، همزیستی به دلیل غیاب تارهای کشنده معمولی محدود می‌گردد و از طرف دیگر در شرایط کمبود آب، تارهای کشنده به صورت منشعب ظاهر می‌شوند که برای همزیستی رایزوبیومی مناسب نمی‌باشند (لومل، ۲۰۰۱). خشکی، میزان تثبیت نیتروژن و تنفس گره‌ها را کاهش می‌دهد و این خسارت به دلیل غلظت بالای نمک در کنار یا درون گره‌ها می‌باشد (لومل، ۲۰۰۱). مطالعات بلاسونهرامانیان و سینکا (۲۰۰۶) روی رایزوبیوم یونجه نشان داد که با افزایش خشکی از ۰/۰۳- به ۱- مگا پاسگال تعداد گره‌ها، وزن خشک گیاه و مقدار نیتروژن اندام‌های هوایی کاهش یافت. مطالعات روی لوبیا نیز نشان داد که تحت تنش خشکی در طول دوره رویشی به طور مشخص تعداد گره‌ها و وزن خشک گره‌ها کم می‌شود. اما هنگامی که مقدار کمی آب به این گیاهان اضافه گردید تعداد گره‌ها و وزن خشک آنها به طور معنی‌داری از تیمار شاهد که هیچ آبی دریافت نکرده بود بیشتر شد (رضایی و کامگار حقیقتی، ۱۳۷۷). اگرچه تنش آب حدود ۵ درصد از فتوسنتز گیاه می‌کاهد، اما در چنین حالتی فعالیت استیلن گره‌ها، ۷ درصد کاهش می‌یابد. بدین ترتیب افزایش مقاومت به پخش

اکسیژن از میان کورتکس گره‌ها به بخش مرکزی بافت امکان‌پذیر می‌شود. چنین امری نشان می‌دهد که تثبیت نیتروژن کاهش یافته است (لومل، ۲۰۰۱). مطالعات روی گره‌سازی سویا تحت تنش خشکی نیز نشان داد که تعداد گره‌ها نسبت به شاهد بسیار کمتر است. در این مطالعه مشخص گردید که تنش آب بر روی گره‌ها در وهله اول باعث می‌شود پلاسمودسماتا که ارتباط گره‌ها را با سلول‌های گیاهی میسر می‌سازد تخریب گردد. این عمل منجر به چروکیدگی سطح گره‌ها و نهایتاً تخریب فضای بین سلولی یا کوتیکول در بافت می‌شود.

به طور کلی خشکی میزان تثبیت نیتروژن، تنفس گره‌ها و وزن خشک گیاه را کاهش می‌دهد و بدین ترتیب عملکرد محصول کاهش می‌یابد (لومل، ۲۰۰۱).

۲-۲-۹-۳- فسفر و خشکی

جذب فسفر هنگام خشکی نه تنها به وسیله قابلیت دسترسی محدود در خاک، بلکه به دلیل کاهش قدرت جذب ریشه‌ها در شرایط خشکی محدود می‌شود. دای و کوپلند (۱۹۹۱) دریافتند که در جو جذب فسفر همبستگی منفی با تعداد روزهایی که در آن سطح خاک خشک شده است، دارد و به نظر می‌رسد که کمبود فسفر در شرایط خشکی عملکرد را محدود می‌کند. در ریشه فسفر به سرعت تبدیل به نوکلئوتیدها و فرم‌های آلی دیگر می‌شود. به نظر می‌رسد کمبود فسفر ناشی از تنش خشکی، بر روی متابولیسم نوکلئوتیدهای آدنینی ADP و ATP تاثیر شدیدتری می‌گذارد. این امر می‌تواند علت کاهش اولیه در رشد باشد که قبل از کاهش آماس صورت می‌گیرد. هنگام برطرف شدن تنش آب، سطوح فسفر معدنی در برگ‌های فلفل و لولیوم به اندازه سرعت رشد بهبود نمی‌یابد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴). کمبود فسفر همچنین روابط آب گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و هدایت روزنه‌ای می‌تواند به مقدار زیادی کاهش پیدا کند. مثلاً در شبدر و برنج این امر ممکن است به این دلیل باشد که کاهش فسفر، حساسیت

روزنه‌ها به ABA را افزایش می‌دهد. کمبود فسفر سرعت هدایت هیدرولیکی در پنبه را کاهش می‌دهد که منجر به پایین آوردن پتانسیل، کاهش توسعه برگ و در نهایت عملکرد پایین‌تر می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۳- کودهای بیولوژیک

کیفیت خاک نه تنها به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن وابسته است، بلکه ارتباط بسیار نزدیکی با خصوصیات بیولوژیکی آن نیز دارد (ابهین مستو و همکاران، ۲۰۰۶). یک سیستم ریشه‌ای فعال، ترکیبات آلی را به طور منظم به محیط ریشه گیاه آزاد می‌کند. این ترکیبات موجب رشد و افزایش جامعه میکروبی خاک شده که بدنبال آن تنوع کارکردی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (مندال و همکاران، ۲۰۰۷). اهمیت جوامع میکروبی برای کارکرد یک اکوسیستم به دلیل نقش مهمی است که در فرآیندهای خاک که تعیین کننده تولید گیاه می‌باشند، ایفا می‌کنند (تیلاک و همکاران، ۲۰۰۵). تعداد قابل توجهی از گونه‌های باکتریایی و قارچی خاک، همزیست با گیاهان بوده و اثرات مفیدی بر رشد آنها دارند (وسی، ۲۰۰۳).

امروزه عقیده بر آن است که روابط متقابل بین ریشه گیاه و ریزموجودات خاک توسط مداخلات انسان از طریق فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی تحت تاثیر قرار گرفته است (لینچ، ۲۰۰۲). از آنجا که در یک سیستم خاک_گیاه، محیط ریشه (رایزوسفر) حکم مرکز ثقل انرژی در خاک است، لذا هر تغییری در مدیریت حاصلخیزی خاک اعم از توازن یا عدم توازن کوددهی و یا استفاده از موادآلی و غیره، پس‌خور زیادی در رابطه‌ی خاک_گیاه داشته و متعاقباً تولیدات کشاورزی و پایداری نظام را تحت تاثیر قرار می‌دهد (مندال و همکاران، ۲۰۰۷).

در حال حاضر کودهای بیولوژیک به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی، به منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند (ویو و همکاران، ۱۹۹۶).

کود بیولوژیک عبارت است از مواد نگهدارنده‌ای با یک یا چند میکروارگانیسم مفید خاکزی و یا فرآورده متابولیک آنها که به منظور تامین عناصر غذایی گیاهان استفاده می‌شوند. نخستین کود بیولوژیک با نام نیتراژین در آمریکا حاوی باکتری‌های رایزوبیوم توسط ناب و هیلتز در سال ۱۸۹۵ برای فروش عرضه شد (صالح راستین، ۱۳۸۰).

در همین زمان در روسیه محققین این کشور تلقیح بذر با *Bacillus spp*. و در سال ۱۹۰۹ تلقیح با *Azotobacter chroococcum* را توصیه کردند. در سال ۱۹۳۰ انیستیتو میکروبیولوژی کشاورزی روسیه استفاده وسیع از *Bacillus megaterium* را آغاز کرد و در سال ۱۹۶۲ تولید صنعتی این باکتری‌ها پاسخگوی زراعتی معادل ۳۵ میلیون هکتار بوده است. دانشمندان چینی در سال ۱۹۴۰ باکتری‌های فسفاتی در تثبیت نیتروژن را برای تامین نیاز فسفر و نیتروژن گیاهان جداسازی نموده و به کار بردند.

اکان و لابانرا گونزالز (۱۹۹۴) معتقدند ریز موجوداتی که به عنوان کود زیستی به کار می‌روند، همانند کودهای شیمیایی عناصر غذایی جدید به خاک وارد نکرده، بلکه تنها از منابع موجود در محیط استفاده می‌نمایند. ریز موجوداتی به عنوان کود زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند که با استفاده از تثبیت بیولوژیکی نیتروژن[1]، افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی (به عنوان مثال با انحلال فسفات‌ها) و یا افزایش توانمندی گیاهان در جذب مواد غذایی (توسعه سیستم ریشه‌ای) موجب افزایش رشد گیاه شوند (اکان و لابانرا گونزالز، ۱۹۹۴).

مایه تلقیح‌های رایزوبیومی که تثبیت کننده نیتروژن اتمسفری هستند و مقادیری حتی تا ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در شرایط مناسب تثبیت می‌کنند از بارزترین کودهای بیولوژیک هستند. مقدار کل تثبیت نیتروژن در دنیا سالانه به ۱۷۵ میلیون تن بالغ می‌شود که نیمی از آن از طریق سیستم

[1] Biological Nitrogen Fixation (BNF)

همزیستی و رایزوبیوم‌هاست که با کل تولیدات کارخانه‌های تولید کننده کودهای نیتروژنی برابری می‌نماید و ارزش آن ۸/۵ میلیارد دلار گزارش شده است (صالح راستین، ۱۳۸۰).

۲-۳-۱- باکتری‌های حل‌کننده فسفر

فسفر بعد از نیتروژن و پتاسیم مهمترین عنصر مورد نیاز گیاهان (کیم و همکاران، ۱۹۹۸) و ریزجانداران بوده و مهمترین نقش آن در فرآیند تولید و انتقال انرژی است (سوباراو، ۱۹۸۸، ملکوتی و نفیسی، ۱۳۷۳). شکل‌های مختلف فسفر در خاک بوسیله خصوصیات طبیعی خاک شامل pH، کاتیون‌های محلول و تبادلی (Fe_{+2}، Ca_{+2}، Mg_{+2})، نوع ذرات خاک و سطح آن کنترل می‌شود. این عنصر در خاک به دو شکل معدنی و آلی یافت می‌شود (کیم و همکاران، ۱۹۹۸) که شکل معدنی آن به صورت ۱۷۰ کانی مختلف، شامل ترکیبات کلسیم، آهن، آلومینییوم، فلوئور و شکل آلی آن به صورت ترکیبات فیتین، فسفولیپیدها و اسیدهای نوکلوئیک است (سوباراو، ۱۹۸۸). تامین فسفر مورد نیاز گیاهان از دو طریق استفاده از کودهای شیمیایی و بیولوژیک امکان‌پذیر است (رالستون و مکبرید، ۱۹۷۶).

مقدار زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک نامحلول شده به طوری که در خاک‌های آهکی به ترکیبات نامحلول کلسیم و منیزیم و در خاک‌های اسیدی به فسفات آهن و آلومینیوم تبدیل شده و از دسترس گیاهان خارج می‌شود (کیم و همکاران، ۱۹۹۸، وایت لاو و همکاران، ۱۹۹۷). استفاده از ریزجاندارانی بنام حل‌کننده‌های فسفات[1] (PSM) برای تبدیل شکل نامحلول فسفر به شکل محلول ضروری به نظر می‌رسد (بانیک و دی، ۱۹۸۲).

[1] Phosphat Solubilizing Microorganism

بیشترین درصد ریزجانداران حل‌کننده‌فسفات را در خاک باکتری‌ها و قارچ‌ها تشکیل می‌دهند، لذا آنها را به دو دسته باکتری‌های حل‌کننده‌فسفات (PSB) و قارچ‌های حل‌کننده فسفات[1] (PSF) تقسیم می‌کنند (وایت لاو و همکاران، ۱۹۹۷). این ریزجانداران قادرند ترکیبات نامحلول فسفر را حل کرده و فسفر موجود در آنها را آزاد نمایند.

تعداد باکتری‌های حل‌کننده فسفات بیشتر به نوع کشت، نوع خاک، ترکیب فیزیکی خاک، مقدار هوموس و فسفر خاک بستگی دارد. این محققین میانگین جمعیت PSB و PSF را در ۲۹ خاک به ترتیب برابر ۰/۵و ۰/۱ درصد میانگین کل باکتری‌ها و قارچ‌ها اعلام کرده‌اند. گرچه این ریز جانداران درصد کمتری از جمعیت میکروبی را به خود اختصاص می‌دادند ولی در اکثر خاک‌های زیر کشت سبزیجات و بقولات (یحیی و الزوی، ۱۹۸۹) و مراتع و خاک‌های جنگلی گزارش شده است. فسفر تثبیت شده در خاک بستگی به pH و نوع خاک دارد. در خاکهای اسیدی، اکسید آزاد و هیدروکسید آلومینیوم و آهن باعث تثبیت فسفر شده، در صورتیکه در خاکهای قلیایی به وسیله کلسیم تثبیت می‌شود که موجب کاهش تاثیر فسفر قابل حل می‌شود.

تعدادی از باکتری‌ها در محیط رایزوسفر گیاه با ریشه ارتباط داشته و موجب سودهایی برای گیاه می‌شود (گلیک، ۱۹۹۵). از مهمترین PSB می‌توان به *Enterobacter agglomerans* ، *Bacillus circulans*، *Bacillus megaterium var phosphaticum*، *Pseudomonas striata*، *Bacillus subtilis*، *Bacillus polymyxa*، *Agrobacterium radiobacter* اشاره کرد (کوندا و گائور، ۱۹۸۴).

۲-۳-۲- نقش میکروارگانیسم‌ها در حلالیت فسفات‌ها

[2] Phosphat Solubilizing Fungi

بسیاری از باکتری‌های خاک، خصوصاً باکتری‌هایی از جنس‌های *Pseudomonas* ، *Bacillus* و قارچ‌های وابسته به جنس‌های *Penicillium* و *Aspergillus* قادر هستند تا فسفات‌های غیر محلول در خاک را به فرم‌های محلول تبدیل نمایند. عمل تبدیل به وسیله ترشحات اسیدهای آلی مانند اسید فومیک، استیک، پروپیونیک، لاکتیک، کلیکونیک، فوماریک و سوکسینیک انجام می‌شود. نقش این اسیدها ابتدا کاهش pH است و سپس پیوند موجود در فرم‌های فسفات را تجزیه می‌کنند. برخی از هیدروکسی اسیدها ممکن است در اثر ترکیب با کلسیم و آهن به صورت شلات در آمده و تاثیر بسزایی در افزایش حلالیت و مصرف فسفات‌ها ایفا نمایند (گارت سن، ۱۹۴۸، گاور و همکاران، ۱۹۷۲).

۲-۳-۳- افزایش دسترسی گیاه به فسفر

علی‌رغم وجود فسفر به فرم آلی و غیرآلی و مقادیر زیاد آن در خاک، این عنصر یکی از عوامل مهم محدود کننده رشد گیاه است. غلظت فسفر آزاد و قابل دسترس برای گیاه حتی در خاک‌های حاصلخیز معمولاً بیشتر از ۱۰µMنیست. این در حالیست که گیاهان قادرند تنها فرم‌های محلول فسفر یعنی H_2PO_4 و Hpo_4- را جذب نمایند (بیور و برانز، ۱۹۸۰). فسفر محلول واکنش‌پذیری بالایی با کلسیم، آهن یا آلومینیوم دارد که تولید رسوب کرده و این عنصر را از دسترس گیاه خارج می‌کند. با تولید چنین کمپلکس‌هایی، ۷۵ تا ۹۰ درصد کودهای فسفری از چرخه مصرف گیاه خارج می‌شود. در این میان استفاده از کودهای زیستی منجر به افزایش انحلال فسفات تجمع یافته در خاک شده و آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. به عنوان مثال باکتری‌های مختلفی وجود دارند که می‌توانند منابع ارزانتری از فسفر مانند سنگ فسفات را به فرم محلول درآورند (دوبرینر، ۱۹۹۷).اگرچه انواع باکتری‌های حل‌کننده فسفات (به ویژه جنس‌های باسیلوس و سودوموناس) بطور طبیعی در خاک یافت می‌شوند ولی تعداد و جمعیت آنها برای رقابت با سایر باکتری‌های موجود در رایزوسفر کافی نیست (ریچاردسون، ۲۰۰۱). بنابراین تلقیح

گیاهان با باکتری‌های هدف در غلظت‌های بسیار بالاتر از آنچه بطور طبیعی در خاک یافت می‌شود، به منظور پیشرفت فرآیندهای انحلال فسفات لازم است تا به این ترتیب عملکرد گیاه بهبود یابد. محققین با تلقیح بذور با دو سویه مختلف از *R.legominosarum* (با توانایی محلول کردن فسفات)، کلونیزاسیون ریشه غلظت فسفر را در کاهو و ذرت افزایش دادند. این محققین نتیجه گرفتند که تاثیر محلول کردن فسفر توسط این باکتری‌ها و نیز دیگر موجودات خاکزی از این نوع، نقش بسیار مهمی در افزایش رشد گیاه به ویژه در خاک‌های نیمه حاصلخیز و بسیار حاصلخیز ایفا می‌کند (چابوت و همکاران، ۱۹۹۶).

بعلاوه باکتری‌های درگیر در محلول‌سازی فسفر می‌توانند با روشهایی چون قابلیت دسترسی به عناصر غذایی مانند آهن و تولید مواد محرک رشد، عملکرد و رشد گیاه را تحت تاثیر قرار دهند (ریچاردسون، ۲۰۰۱). از جمله مطالعات مختلفی که در این زمینه صورت گرفته است می‌توان به همیاری *B.circulans* و *Cladosporium herbarum* با گندم (سینگ و کاپور، ۱۹۹۹) و نیز *P.chlororaphis* و *p.putida* با سویا (کاتلن و همکاران، ۱۹۹۹) اشاره کرد. بر این اساس نقش ویژه انحلال فسفات در رشد گیاه مورد تردید قرار می‌گیرد. در مجموع باید توجه داشت که توانایی محلول کردن فسفات در رایزوسفر توسط باکتری به منزله قابلیت آن برای قرار گرفتن در گروه باکتری‌های محرک رشد گیاه نیست. به عنوان مثال کاتلن و همکاران (۱۹۹۹) از بین ۵ ایزوله دارای توانایی انحلال فسفات، تنها توانستند دو ایزوله با تاثیر مثبت بر رشد گیاهچه سویا شناسایی کنند.

همچنین همه حل‌کننده‌های فسفات PGPR[1]، رشد گیاه را با افزایش قابلیت دسترسی به این عنصر برای گیاهان میزبان بهبود نمی‌بخشند. دفرتیز و همکاران (۱۹۹۷) از میان تعدادی از انواع حل‌کننده فسفات گونه‌های *Bacillus sp.* و *Xanthomonus maltophilia* را یافتند که تاثیر مثبتی بر رشد کلزا داشتند ولی بر مقدار فسفر گیاه میزبان بی‌اثر بودند.

[1] Plant Growth Promoting Rhizobacteria

تامین فسفر مورد نیاز گیاهان توسط باکتری‌ها از دو منبع مختلف فسفات‌های معدنی و ترکیبات آلی حاوی فسفر و تبدیل آنها به فرم‌های قابل دسترس صورت می‌گیرد (هالدر و همکاران، ۱۹۹۹). انحلال فسفات‌های معدنی توسط باکتری‌ها، با تولید انواع مختلفی از اسیدهای آلی انجام می‌شود. در بین اسیدهای آلی تولید اسید گلیکونیک عمومی‌ترین ترکیب برای محلول کردن فسفات معدنی است. این ترکیب اسید آلی است که توسط باکتری‌هایی چون *Pseudomonas sp.* و *Erwinia herbicola* تولید می‌شود (لیو و همکاران، ۱۹۹۲). برخی دیگر از باکتری‌ها مانند *R.legominosarum* (لیو و همکاران، ۱۹۹۲) و *Bacillus firmus* اسید ۲-کتوگلوکنیک تولید می‌نماید. انواع دیگری از اسیدهای آلی نیز در بین حل‌کننده‌های فسفات شناسایی شده‌اند (ایلمر و اسپینر، ۱۹۹۲). اسیدهای آلی با گروه‌های فسفات برای امکان جذب در خاک رقابت می‌کنند و با Fe^{+3}, Al^{+3} و Ca^{+2} کمپلکس‌های قویتری از فسفات تشکیل می‌دهند در نتیجه فسفر می‌تواند از ترکیبات معدنی در اثر تشکیل کمپلکس‌های فوق و یا جلوگیری از جذب فسفر به مکان‌های جذب دیگر آزاد شود (جونز و دارا، ۱۹۹۵). فسفر از مواد آلی به کمک دو گروه اصلی از آنزیم‌ها آزاد می‌گردد. دسته اول فسفاتازها هستند که قادرند فسفر را از نوکلئوتیدها و فسفات‌های قندی تامین کنند و دسته دوم فیتازها که بطور اختصاصی موجب آزاد شدن فسفر از اسید فیتیک می‌شوند. عمده فعالیت آنزیم‌های فوق مربوط به خانواده *Enterobacteraceae* است. تولید این آنزیم‌ها توسط مکانیسم‌های تنظیم‌کننده خاصی کنترل می‌شود. بنابراین دریافت و کشف فعالیت آنزیم‌ها تنها در شرایط محیطی ویژه امکان‌پذیر است.

۲-۳-۴- روابط با موجودات تثبیت‌کننده نیتروژن

نیتروژن مهمترین عنصر غذایی محدود کننده رشد بسیاری از گیاهان در بسیاری از محیط‌ها می‌باشد (بهلول و همکاران، ۱۹۹۲). نیتروژن در خاک در معرض آبشویی سریع قرار می‌گیرد و به علت اینکه حتی

به صورت گاز نیتروژن به جو وارد شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود، نگهداری آن نیازمند احیای مداوم N_2 جوی می‌باشد. احیای زیستی گاز N_2 به آمونیاک فقط توسط برخی پروکاریوت‌ها انجام می‌شود و فرآیندی شدیداً حساس به اکسیژن می‌باشد. کارآمدترین ریزموجودات تثبیت کننده N_2 با گیاهان عالی همزیستی برقرار می‌کنند که در این همزیستی انرژی لازم برای تثبیت N_2 توسط گیاه تامین می‌شود (میلور و کولینگ، ۱۹۹۵). روابط همزیستی با ریزموجوداتی که N_2 جوی را تثبیت می‌کنند برای گیاه همزیست اهمیت زیادی دارد به ویژه در محیط‌هایی که نیتروژن، رشد گیاه را شدیداً محدود می‌کند. در چنین حالتی همزیستی به علت کاهش نیاز به کودهای شیمیایی هزینه‌بر دارای اهمیت می‌باشد.

۲-۳-۵- تثبیت N_2 بوسیله همزیستی، محدود به تعداد کمی گونه‌های گیاهی است

به علت اهمیت قابل توجه اقتصادی، گسترده‌ترین روابط مطالعه شده بین ریزموجودات تثبیت کننده نیتروژن و گیاهان آوندی، شامل همزیستی بین باکتری‌های جنس‌های *Rhizobium*، *Bradyrhizobium*، *Sinorhizobium*، *Mesorhizobium* یا *Azorhizobium* (که مجموعاً به عنوان رایزوبیوم‌ها شناخته می‌شوند و بیش از ۳۰۰۰ گونه بقولات می‌باشد. *Parasponia* تنها گونه غیر بقولات شناخته شده است که دارای رابطه همزیستی با رایزوبیوم می‌باشد. در همه فقط موارد گره‌های ریشه[1] تشکیل می‌شود به استثنای *Azorhizobium* که هم در ریشه و هم در ساقه گره‌ها را تشکیل می‌شوند (ون رین و ون درلیدن، ۱۹۹۵). همزیستی بین رایزوبیوم‌ها و بقولات زراعی اهمیت بسیار زیادی، به ویژه در نقاطی که مصرف کودها کم است، دارد.

۲-۳-۶- فرآیند همزیستی در رابطه بقولات-رایزوبیوم

[1] Root nodales

قبل از تشکیل گره ترکیبات فنلی ویژه (فلاونوئیدها: فلاون‌ها، فلاوانون‌ها یا ایزوفلاون‌ها) و بتایین‌ها از ریشه بقولات آزاد می‌شوند (فیلیپس و همکاران، ۱۹۹۴). همین فلاونوئیدها یا فلاونوئیدهای مشابه به عنوان آنتی‌بیوتیک (فیتوآلکین) به محض همزیستی به ریزموجودات بیماریزا القا می‌شوند. تفاوت‌های ظریفی که بین گونه‌های گیاهی میزبان ممکن است تعیین کننده وجود اثر متقابل بین یک باکتری و یک گیاه باشد که منجر به همزیستی یا بیماریزایی می‌شود. فلاونوئیدها به یک فرآورده ژن باکتریایی متصل شده و سپس با یک راه‌انداز ویژه در ژنوم *Rhizobium* برهم کنش می‌نمایند. این راه‌اندازها با ژن‌هایی رابطه دارند که موجب تشکیل گره می‌باشند (تشکیل گره یا ژن‌های گره). فرآورده‌های این ژن‌ها باعث پیچیدگی تارهای کشنده ریشه‌ی گیاه و تقسیمات سلول‌های کورتکس ریشه شده که در مشاهدات میکروسکوپی جز اولین رخدادهای فرآیند تشکیل گره می‌باشند.

۲-۳-۷- نقش فلاونوئیدها

اختصاصی بودن نسبی میزبان و رایزوبیوم‌ها توسط نوع فلاونوئیدهای آزاد شده‌ی میزبان و حساسیت راه‌انداز رایزوبیوم برای یک نوع فلاونوئید تعیین می‌شود. گونه‌های رایزوبیومی که دارای دامنه‌ی اختصاصی وسیعی هستند نسبت به گونه‌های اختصاصی‌تر، به فلاونوئیدهای بیشتری عکس‌العمل نشان می‌دهند. اما اگر غلظت فلاونوئیدها افزایش پیدا کند، ممکن است در گونه‌های رایزوبیوم اختصاصی‌تر نیز عکس‌العملی دیده شود. به علاوه، گونه‌های غیر بقولات ممکن است فلاونوئیدها را ترشح کنند و بسیاری از بقولات فلاونوئیدهایی ترشح می‌کنند که راه‌اندازهای گونه‌هایی از رایزوبیوم را فعال می‌کنند که نمی‌توانند باعث همزیستی شوند. بنابراین، غیر از فلاونوئیدها باید عوامل دیگری در اختصاصی بودن دخیل باشند (اسپاین، ۱۹۹۵).

۲-۳-۸- ورود باکتری‌ها از طریق تارهای کشنده ریشه

به دنبال آزاد شدن فلاونوئیدها توسط میزبان و آزاد شدن عوامل گره توسط رایزوبیوم، باکتری‌ها به سرعت در رایزوسفر تکثیر می‌شوند. باکتری‌ها به تارهای کشنده ریشه چسبیده و تارهایی را که رشدشان به تازگی متوقف شده است را تحت تاثیر قرار می‌دهند. سپس دیواره‌ی سلولی تارهای کشنده‌ای که تحت تاثیر قرار گرفته‌اند از راس تا حدودی تجزیه می‌شوند، در این فرآیند تارهای کشنده پیچیده می‌شوند و باکتری‌ها به آنها می‌چسبند. در مناطقی از تارهای ریشه که به علت وجود رایزوبیوم‌ها تغییر شکل یافته‌اند، دیواره سلولی تجزیه شده و امکان ورود باکتری‌ها به ریشه فراهم می‌شود. یک رشته همزیستی با پیچ‌خوردن دیواره سلولی تشکیل می‌شود. این رشته شامل اجزای دیواره سلولی است که مشابه اجزای دیواره سلولی تارهای طبیعی ریشه می‌باشند. رشته همزیستی با سرعت ۱۰-۷ میکرومتر در ساعت به سمت تارهای ریشه رشد کرده و مجرایی برای رسیدن باکتری‌ها به کورتکس ایجاد می‌کند. به نظر می‌رسد نوک رشته باز است. مسدود بودن نوک رشته منجر به بی‌اثر شدن رشته همزیستی می‌شود. تشکیل رشته همزیستی ممکن است کاملاً مشابه طویل شدن دیواره سلولی اپیدرمی باشد که در واکنش به نفوذ عوامل بیماریزا صورت می‌گیرد (وانس، ۱۹۹۶).

فقط یک تا پنج درصد کل تارهای ریشه آلوده می‌شوند و فقط ۲۰ درصد این همزیستی‌ها منجر به تشکیل گره می‌شود. دلیل این امر احتمالاً ناشی از تولید کیتینازها توسط گیاه میزبان می‌باشد. این آنزیم‌ها عامل گره شبه کیتینی را تجزیه می‌کنند (میلور و کالینگ، ۱۹۹۵). بقولات حاوی کیتینازهای مختلف می‌باشند. در یکی از مراحل اولیه‌ی همزیستی، میزبان تولید کیتینازی می‌نماید که عوامل گره‌ی گونه‌های رایزوبیومی را که همزیست‌های مناسبی نیستند تجزیه می‌کند. در این روش، گیاه از ورود باکتری‌هایی که نمی‌توانند ایجاد همزیستی نمایند جلوگیری می‌کنند. بنابراین کیتینازها عامل دیگری هستند که در تعیین اختصاصی بودن میزبان-مهمان موثر هستند. در مرحله‌ی بعد، کیتینازهای مختلفی

تولید می‌شوند که علیه عامل گره‌زایی باکتری‌ها با رایزوبیوم مشابه، که مهمان‌های مناسبی هستند، موثر می‌باشند. این احتمال وجود دارد که این سازوکار برای کنترل ورود رایزوبیوم و برای پیشگیری از تشکیل گره‌هایی بیش از آنچه که می‌توانند توسط میزبان حمایت شوند، باشد. علاوه بر این، تجزیه عوامل گره از ورود باکتری‌هایی که به اشتباه به عنوان عامل بیماریزا شناسایی شده‌اند، پیشگیری می‌نماید. نژادهایی از رایزوبیوم که عامل گره بیش از حدی تولید می‌کنند در حقیقت منجر به یک عکس‌العمل دفاعی از جانب گیاه می‌شوند. عامل گره نه تنها توسط فعالیت کیتیناز گیاه تجزیه می‌شود، بلکه از بروز ژن‌های گره باکتریایی در مراحل بعدی همزیستی نیز جلوگیری می‌کند. ترکیبات فنلی گیاهان ممکن است در این جلوگیری نقش داشته باشند. اگر رایزوبیوم قادر به تشخیص مولکول جلوگیری کننده گیاهی نباشد ممکن است رایزوبیوم به عنوان یک عامل بیماریزا تشخیص داده شود و ایجاد همزیستی متوقف شود. از این نکته یک احتمال دیگر در مورد اختصاصی بودن میزبان-مهمان نتیجه می‌شود (میلور و کالینک، ۱۹۹۵). اگرهمزیستی موفقیت‌آمیز باشد، ژن‌های ویژه سپس در کورتکس داخلی و دایره محیطی فعال می‌شوند. تقسیمات سلولی در کورتکس داخلی بر خلاف قطب‌های نخستین آوندهای چوبی آغاز می‌شود و در نتیجه به دلیل وجود رایزوبیوم‌ها یک مریستم تازه شکل می‌گیرد. این مریستم باعث تشکیل گره ریشه می‌شود. رشته همزیستی به سمت داخل رشد می‌کند و سرانجام باکتری‌ها به سیتوپلاسم سلول‌های پارانشیمی مرکز گره در حال شکل‌گیری می‌رسند. در داخل سلول گیاه میزبان آلوده باکتری‌ها تا مدتی به تقسیم ادامه می‌دهند و به باکتروئید تمایز می‌یابند که در محیط‌های کشت آزمایشگاهی مشخص شده که توانایی رشد آن کاهش یافته و ممکن است به شکل‌های مختلف طویل شود. در اکثر بقولات باکتروئیدها توسط یک غشای پری باکتروئید احاطه می‌شوند تا یک واحد همزیستی تشکیل شود (وایت هد و دی، ۱۹۹۷). نوع اول واحدهای همزیستی بیشتر طویل و گره‌های استوانه‌ای شکل دارند که نامحدود (مریستمی)[1]

[1] Indeterminate

خوانده می‌شوند و در شبدر یا نخود دیده می‌شوند و نوع دوم معمولاً کروی شکل بوده و گره‌های محدود[1] و بدون مریستم خوانده می‌شود که در لوبیا چشم‌بلبلی یا سویا دیده می‌شوند. با این حال در ساختار واحدهای همزیستی تنوعات فراوانی دیده می‌شود و تعداد کمی از بقولات دارای گره‌هایی هستند که فاقد واحدهای همزیست می‌باشند که در این حالت باکتری‌ها به شکل رشته‌های همزیستی با انشعابات متعدد باقی می‌مانند. گره‌های بالغ انواع محدود و نامحدود کاملاً متفاوت از هم می‌باشند، اما آغازش آنها شبیه است (وانس، ۱۹۹۶).

بازدارندگی از همزیستی بقولات رایزوبیوم در pH پایین و در حضور منابع زیاد نیتروژن در pH پایین، از تشکیل گره در بقولات جلوگیری می‌شود. به دلیل اینکه تثبیت نیتروژن باعث کاهش pH خاک می‌شود، استفاده‌ی مداوم از بقولات در کشاورزی نیازمند تامین منظم آهک است.

۲-۳-۹- گیاهان قادرند برخی ترکیبات آلی فسفره را حل کنند

در خاک‌های زراعی ۳۰ تا ۷۰٪ کل فسفات موجود به صورت آلی است. در خاک‌های فقیر چمنزارها و جنگل‌ها این مقدار به ۸۵ تا ۹۵٪ (مک‌لان و همکاران، ۱۹۹۴) و یا در خاک‌های آلی توندرا به ۹۹٪ بالغ می‌شود (کیلند، ۱۹۹۴). گونه‌های جنس باقلا می‌توانند فیتات (اینوسیتول فسفات، جز عمده‌ای از فسفر آلی موجود در خاک)، RNA و گلسیروفسفات (که در خاک موجود است)، را علاوه بر فسفات معدنی، به دلیل فعالیت فسفاتازها در خاک جذب کنند (آدامز و پیت، ۱۹۹۲). تولید فسفاتازها توسط ریشه‌ها یک منبع اضافی فسفات را تامین می‌کند، آنزیم‌های هیدرولیزکننده ترکیبات آلی فسفات‌دار، موجب آزاد شدن فسفات معدنی شده که توسط ریشه‌ها جذب خواهد شد (کروهلر و لینکنیز، ۱۹۹۱). تولید فسفاتاز در اثر ذخیره‌ی اندک فسفات برای گیاه افزایش می‌یابد. ریشه‌ها نیز ممکن است یک سری مواد آلی دفع کنند

[1] Determinate

که به عنوان سوبسترایی برای میکروارگانیسم‌های تولید کننده آنزیم‌های هیدرولیز کننده فسفات معدنی عمل نمایند (ریچاردسون، ۲۰۰۱). با وجود مکانیزم دقیقی که توسط آن فسفات آلی هیدرولیز می‌شود، غلظت فسفات آلی نزدیک به سطح ریشه‌ها ممکن است در شبدر (*Trifolium alexandrinum*) به ۶۵٪ و در گندم (*Triticum aestivum*) به ۸۶٪ کاهش یابد (طرفدار و جانگ، ۱۹۸۷). این بدان مفهوم خواهد بود که ریشه در خاک دسترسی زیادی به اشکال آلی فسفر دارد.

ظرفیت استفاده از فسفات آلی در میان گونه‌ها متفاوت بوده و به شرایط خاک نیز وابسته است. این ظرفیت استفاده تقریباً از صفر تا اندازه‌ی جذب فسفات معدنی نوسان دارد (هوبل و بیک، ۱۹۹۳).

۲-۳-۱۰- تراوش ترکیبات حل‌کننده‌ی فسفات

برخی از گیاهان سازگار با خاک‌های کم فسفر، ترکیبات اسیدی (اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید پیسیدیک) از خود تراوش می‌کنند. خاصیت اسیدی، حلالیت فسفات در خاک را افزایش می‌دهد. ترکیبات شلاتی به کاتیون‌ها چسبیده، لذا فسفات را از سوبستراهای کم‌محلول آزاد خواهند کرد. این دو فرآیند شیب انتشار برای فسفات را بین توده‌ی خاک و سطح ریشه زیاد می‌کند. اسید سیتریک، فسفات را از ترکیبات فسفات کلسیم آزاد می‌کند، در حالیکه اسید پیسیدیک (اسیدP-هیدروکسی بنزیل تارتاریک) همراه با فنل‌های احیا کننده، فسفات را از ترکیبات فسفات آهن با کارایی بیشتر آزاد می‌کند (مارشنر، ۱۹۹۳). ظرفیت تراوش میزان اسید سیتریک و سایر اسیدها به افزایش فعالیت فسفو انول پیروات کربوکسیلاز (PEP)، مالت دی‌هیدروژناز و سیترات سینتتاز بستگی دارد (جانسون و همکارن، ۱۹۹۴).

بیشترین میزان تراوش سیترات در فاصله‌ی یک تا سه سانتی‌متری از نوک ریشه (یعنی ناحیه‌ی جوانترین ریشه‌های خوشه‌ای) اتفاق می‌افتد. تراوش سیترات توسط بافت‌های ریشه‌ای بالغ‌تر (۷ تا ۹ سانتی‌متری از نوک ریشه) تقریباً ۸۰٪ (در واحد طول ریشه) کمتر می‌باشد. افزایش سنتز سیترات موجب

افزایش صادرات آن خواهد شد (کریتسینگ و همکاران، ۱۹۹۸). همان‌گونه که انتظار می‌رود فعالیت PEP کربوکسیلاز و مالات دهیدروژناز در فاصله یک تا سه سانتی‌متری از نوک ریشه که تراوش سیترات بیشترین مقدار بوده حداکثر مقدار را دارا می‌باشد. مکانیزمی که موجب آزاد شدن سریع و توده‌ای اسیدهای آلی می‌گردد هنوز شناخته نشده است. گرچه تراوش سیترات در ناحیه‌ی نزدیک به نوک ریشه بیشترین مقدار را دارد، با این حال ظرفیت فسفات از محیط به همان اندازه در نزدیک به ریشه بالا بوده و با دور شدن از نوک ریشه کاهش می‌یابد. ولی در عوض غالب فسفات موجود در خاک به وسیله‌ی سلول‌های نوک ریشه تخلیه شده و مقدار اندکی فسفر برای جذب نواحی پیرتر ریشه باقی خواهد ماند. بنابراین کاهش مقدار تراوش سیترات در نواحی پیرتر ریشه موجب صرفه‌جویی در منابع کربن شده، بی‌آنکه تاثیر منفی در جذب فسفات به جا بگذارد. ظرفیت تراوش ترکیبات اسیدی و شلات کننده به گونه‌هایی با ساختار مورفولوژیکی نظیر ریشه‌های خوشه‌ای محدود نمی‌گردد. گونه‌های متعلق به خانواده‌ی چلپائیان نیز به مقدار زیادی اسید سیتریک تراوش می‌کنند که موجب افزایش ظرفیت حلالیت سنگ فسفات می‌گردد.

۲-۳-۱۱- تاثیر کودهای بیولوژیک بر رشد و عملکرد گیاه

واکنش گیاهان به تلقیح با PGPR در گونه‌های غلات و غیر غلات به شرح ذیل گزارش شده است:

۱. افزایش در وزن خشک کل گیاه
۲. افزایش میزان نیتروژن در ساقه و دانه‌ها
۳. افزایش تعداد کل پنجه‌ها، پنجه‌های بارور و خوشه‌ها
۴. گلدهی و خوشه‌دهی سریع‌تر گیاه
۵. افزایش تعداد سنبله و دانه در هر سنبله

۶. افزایش وزن دانه

۷. افزایش ارتفاع گیاه و اندازه برگ

۸. افزایش سرعت جوانه‌زنی (وارمبورگ و همکاران، ۱۹۸۷)

تاثیر تلقیح با PGPR در افزایش عملکرد کل در گیاهان رشد یافته در مزرعه بطـور معمـول در حـدود ۳۰-۱۰٪ گزارش شده است (واتاناب و لین، ۱۹۸۴). در برخی گزارشات مقادیر بسیار بالاتری از عملکرد در حدود ۲۷۰-۵۰٪ نسبت به شاهد گزارش شد. حتی افزایش عملکرد متوسطی بالغ بر ۲۰٪ در واکـنش بـه تلقیح اگر بطور مداوم و پیوسته بدست آید برای کشاورزی مدرن مفید می‌باشد. تلقیح پنبه و بادام‌زمینـی با گونه‌های باکتریایی از قبیل سودوموناس و باسیلوس بطور معنی‌داری موجب افزایش رشد ریشه و ساقه و همچنین افزایش میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ترکیبات گیاهی شد (واتانـاب و لـین، ۱۹۸۴). روپـل (۱۹۸۷)، گزارش کرد که رشد گیاه و جذب موادغذایی توسط باکتری‌های سودوموناس و آزوسـپیرلیوم در ذرت و لگوم‌ها در آب و هوای معتدل بهبود می‌یابد. تلقیح بذر با باسیلوس منجر به افزایش عملکرد گندم، حجم چسبندگی خاک به ریشه، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و تحریک رشـد گیـاه شـد (بـتلان فـلاوی و همکاران، ۱۹۹۷). PGPR می‌تواند رشد گیاه را بوسیله سنتز فیتوهورمون‌هـا، ویتـامین‌هـا و جلـوگیری از سنتز اتیلن، افزایش مقاومت به تنش، بهبود جذب مواد غذایی، حلالیت فسفات معـدنی و معـدنی کـردن فسفات آلی افزایش دهد (لوسی و همکاران، ۲۰۰۴). فواید رشد گیاه به همراه PGPR شامل افزایش میزان جوانه‌زنی، رشد ریشه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، محتوای نیتـروژن، محتـوای پـروتئین، مقاومـت بـه خشکی، وزن ریشه و ساقه، عملکرد و تاخیر در پیری برگ می‌باشد (دوبلار و همکاران، ۲۰۰۳). گونه‌هـای باسیلوس تثبیت کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات منجر به افزایش عملکرد در جو (ساهین و همکـاران، ۲۰۰۴) شدند. واکنش‌های رشدی گیاه به تلقیح با توجه به گونه باکتری، میزان مواد آلـی خـاک، مرحلـه رشدی گیاه و تاریخ برداشت متفاوت می‌باشد (کاکمکی و همکاران، ۲۰۰۶). کارلتی (۲۰۰۲) نشان داد که

این باکتری‌ها از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد مثل ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها موجب افزایش رشد گیاه، درصد جوانه‌زنی بذرها، ریشه‌زایی و گسترش ریشه می‌گردند. PGPRها با سنتز انواع ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه باعث افزایش رشد و کیفیت محصول می‌شوند. این باکتری‌ها از طریق مکانیزم‌های مختلف باعث ایجاد مقاومت سیستمیک در گیاهان می‌شوند. مقاومت سیستمیک باعث می‌شود که گیاه دامنه وسیعی از استرس‌های محیطی را همانند عدم تهویه، همزیستی به عناصر سنگین، شوری، تنش آبی، آفات و بیماری‌ها و ... را تحمل نماید (کیک و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج حاصل از بررسی‌های انجام گرفته توسط حمیدی و همکاران (۱۳۸۴) با کاربرد مایه تلقیح سویه‌هایی از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه برای تلقیح دورگ‌های دیررس ذرت مشخص نمودند که به طور کلی این باکتری‌ها به طور قابل توجهی قابلیت جوانه زنی بذر، رشد ریشه، بنیه و استقرار گیاهچه، فنولوژی، روند تجمع ماده خشک، شاخص‌های رشد، عملکرد علوفه سیلویی و عملکرد دانه را به گونه‌ای تحت تاثیر قرار دادند که رشد و نمو و عملکرد به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. در ایران نیز حسن‌زاده (۱۳۷۳) در سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۱ با آغشته کردن سه مرحله‌ای بذر لوبیا چشم بلبلی با استرین G_2 از سودوموناس موجب تسریع جوانه‌زنی بذور در آزمایشگاه و افزایش معنی‌دار گیاهچه‌ها در گلخانه شد.

۳-۱- زمان و موقعیت محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در شهر بسطام به اجرا در آمد. شهر بسطام درعرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۵ دقیقه طول شمالی واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است.

۳-۲- ویژگی‌های آب و هوایی

بر اساس تقسیم‌بندی‌های اقلیمی منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است. میانگین بارندگی سالانه بین ۱۶۰-۱۵۰ میلی‌متر بوده و بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود میانگین سالانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است.

۳-۳- خصوصیات خاک مورد آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه مرکب تهیه و سپس نمونه خاک مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج

تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک در جدول۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله بافت خاک لومی تعیین گردید.

جدول ۲-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

درصد اشباع (S.P)	۳۰/۶
هدایت الکتریکی ($Ec \times 10^3$)	۸/۰۹
اسیدیته گل اشباع (pH of pasta)	۷/۸۹
درصد مواد خنثی شونده (% T. N. V.)	۲۷/۰
کربن آلی (% O.C)	۰/۷۹
نیتروژن کل (Total N%)	۰/۰۵۷
فسفر قابل جذب (P(ava) P. P. M)	۱۴/۰
پتاسیم قابل جذب (K(ava) P. P. M)	۱۴۳/۰
رس (% Clay)	۲۲/۰
لای (% Silt)	۴۴/۰
شن (% Sand)	۳۲/۰
درصد رطوبت	۱/۵
نسبت جذب سدیم (SAR)	۴/۱
مجموع کاتیون ها (m.e./lit)	۸۱/۲
(m.e./lit) Na^+	۲۲/۲
(m.e./lit) Mg^{2+}	۲۶/۰
(m.e./lit) Ca^{2+}	۳۳/۰
مجموع آنیون ها (m.e./lit)	۸۰/۶
(m.e./lit) So_4^{2-}	۲۸/۶
(m.e./lit) Cl^-	۴۷/۵
(m.e./lit) Hco_3^-	۴/۵
(m.e./lit) Co_3^{2-}	۰/۰

۳-۴- مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به صورت اسپیلت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد استفاده در این طرح شامل، تنش کم آبی (A) به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح شاهد (a_1)، تنش کم آبی در۵۰٪ گلدهی مصادف با ۹۰ روز پس از کاشت (a_2)، تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی مصادف با ۱۰۵ روز پس از کاشت (a_3) ، باکتری تثبیت کننده نیتروژن (B) در دو سطح شاهد ((b_1 و تلقیح با رایزوبیوم لگومینوزارم (b_2) و باکتری حل کننده فسفات (C) در سه سطح شاهد (c_1)، باسیلوس کوآگولانز (c_2) و سودوموناس پوتیدا (c_3) به عنوان فاکتورهای فرعی بودند.

۳-۵- عملیات اجرایی

در هر تکرار ۱۸ کرت هر یک به مساحت ۲۵۹/۲ متر مربع قرار گرفت. هر کرت شامل ۳ ردیف کاشت و وبه طول ۶ متر بود و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مرز بین کرت‌ها با یک پشته کشت نشده مشخص شد.

۳-۶- آماده سازی زمین و کاشت

عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل اردیبهشت ۱۳۸۸ صورت گرفت. در ابتدا زمین مورد نظر توسط گاوآهن برگردان دار شخم زده شد و سپس اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. در پایان به وسیله فاروئر پشته‌هایی به عرض ۷۰ سانتی‌متر در جهت شمالی جنوبی ایجاد گردید. ابتدا ابعاد کرت‌ها در زمین مورد آزمایش مشخص شد و پس از تعیین کرت‌ها، جوی‌های آبیاری تعبیه گردیدند.

فاصله بذور روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط خاک، نوع آبیاری و ... بذور در عمق ۵ سانتی‌متری خاک قرار داده شدند.

برای جلوگیری از عمل تداخل و همزیستی باکتری‌ها یک خط به صورت نکاشت به عنوان محافظ بین کرت‌های اصلی قرار گرفت. جوی‌های آبیاری به نحوی تعبیه شد که آب آبیاری اضافی هر تکرار توسط یک جوی خروجی در انتهای کرت‌ها از مزرعه خارج شود. کاشت بذور و تلقیح در تاریخ ۴ خرداد به پایان رسید و اولین آبیاری در همان روز به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. مدتی پس از کاشت مقداری کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوانم استارتر به کرت‌های آزمایشی اعمال گردید.

۳-۷- آماده‌سازی بذرها

بذر لوبیای مورد استفاده، لوبیا چشم بلبلی رقم مشهد بود. پیش از اقدام به کاشت، برای اطمینان از عدم هر گونه همزیستی قبلی، بذور چندین بار شستشو و ضدعفونی شدند. به منظور جلوگیری از کاهش جمعیت باکتری‌ها حداقل فاصله زمانی بین تلقیح بذور تا کاشت کمتر از ۱ ساعت در نظر گرفته شد. متناسب با سطح کاشت در تیمارهای مختلف مقدار مشخصی از بذور توزین شده و با محلول ۱۰٪ آب قند آغشته گردید. در مرحله بعد مقدار تعیین شده از هر مایه تلقیح (با جمعیت تقریبی $۱۰^{۸}$ باکتری در هر میلی‌متر) به بذور افزوده و به طور کامل مخلوط شدند. پس از فرآیند تلقیح، بذور در سایه خشک شده و برای کشت به مزرعه منتقل شدند.

۳-۸- عملیات داشت

۳-۸-۱- مبارزه با علف‌های هرز و دفع آفات

وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به صورت دستی انجام شد. وجین علف‌های هرز در طول فصل زراعی برای جلوگیری از گسترش علف‌های هرز و نیز آفات و بیماری‌های احتمالی به طور مستمر و به شکل دستی انجام گرفت. در طول فصل رشد بیماری و آفت خاصی مشاهده نشد.

۳-۸-۲- آبیاری

آبیاری کرت‌ها به صورت جداگانه، از طریق نهرها و جوی‌های ایجاد شده به همین منظور انجام گرفت. بطوری که اعمال تنش کم‌آبی در مرحله ۵۰٪ گلدهی و غلاف‌دهی با قطع آبیاری به مدت ۱۴ روز صورت گرفت.

۳-۹- نمونه‌برداری

با توجه به تیمار باکتری‌های رایزوبیوم و حل کننده فسفات، اولین نمونه‌برداری از ۳۰ روز پس از کاشت آغاز شد و ۷ نمونه برداری به فاصله ۱۴ روز یکبار تا پایان فصل رشد انجام شد. نحوه نمونه‌برداری به این صورت بود که از ۳ ردیف کاشت در هر کرت، دو ردیف کناری و ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان حاشیه حذف شدند. سپس ۳ بوته به نحوی انتخاب شدند که بتوانند تا حد زیادی خصوصیات کرت مربوط را نشان دهند. در هر نمونه‌برداری قطع بوته‌ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه انجام گرفت.

۳-۱۰- ارزیابی صفات مرفولوژیک

پس از انجام نمونه‌برداری بوته‌ها در پاکت‌های شماره‌گذاری شده قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه قسمت‌های مختلف گیاه شامل برگ و ساقه جدا گردید و پس از اندازه‌گیری سطح برگ و نیز وزن خشک ساقه و برگ به طور جداگانه اقدام به بررسی شاخص‌های رشدی در این گیاه شد.

۳-۱۰-۱- سطح و وزن خشک برگ

اندازه‌گیری سطح برگ با توجه به ارتباط سطح و وزن برگ محاسبه گردید. برگ‌ها در داخل پاکت شماره‌گذاری شده قرار داده شدند، سپس آنها را در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار دادند. پس از اعمال زمان لازم، پاکت‌ها به مدت ۲۰ تا ۲۵ دقیقه در هوای آزمایشگاه نگهداری شدند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و در نهایت با ترازوی حساس به دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند.

در مجموع صفات دیگری همچون وزن خشک ساقه، ارتفاع بوته، تعداد گره، وزن خشک گره، فاصله اولین غلاف از سطح خاک، طول غلاف، وزن دانه، وزن صد دانه، تعداد غلاف و وزن خشک غلاف و... اندازه‌گیری شد.

۳-۱۱- برآورد شاخص‌های رشد

به شاخص‌هایی که اجزای رشد گیاهان زراعی را از نظر کمی ارزیابی می‌کنند، شاخص‌های رشد گویند. اندازه‌گیری دو عامل سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی در فواصل مکرر لازمه تجزیه و تحلیل رشد است. کمیت‌های دیگر برای تجزیه و تحلیل رشد مورد بررسی در این آزمایش شامل موارد زیر بودند:

LAI: شاخص سطح برگ گیاه

CGR: سرعت رشد محصول

RGR: سرعت رشد نسبی

۳-۱۱-۱- شاخص سطح برگ (LAI[1])

بر اساس تعریف واژه شاخص سطح برگ عبارت است از: نسبت سطح برگ محصول به سطح زمینی که محصول روی آن سایه می‌اندازد. از آنجا که تشعشع خورشیدی به طور یکنواخت روی سطح زمین پخش می‌شود لذا، LAI یک معیار تقریبی از مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشیدی برای آنها قابل دسترس می‌باشد.

۳-۱۱-۲- سرعت رشد گیاه (CGR[2])

با معناترین واژه تجزیه و تحلیل رشد در جوامع گیاهی سرعت رشد گیاه است که نمایانگر میزان تجمع ماده خشک در گیاهان در یک واحد زمانی مشخص در واحد سطح خاک می‌باشد (آکا، ۲۰۰۲).

$$CGR= (W_2-W_1)/(SA(t_2-t_1) \qquad (۱-۲)$$

که در آن SA سطح زمین، W_1 و W_2 وزن خشک گیاه در زمان‌های t_1 و t_2 است.

۳-۱۱-۳- سرعت رشد نسبی (RGR[3])

سرعت رشد نسبی بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن خشک اولیه در یک فاصله زمانی مشخص است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). در این بررسی مقدار RGR از معادله زیر محاسبه گردید.

$$RGR= (InW_2-InW_1)/(T_2-T_1) \qquad (۲-۲)$$

---

[۱] Leaf Area Index
[1] Crop Growth Rate
[2] Relative Growth Rate

در این رابطه، W_1 و W_2 وزن خشک گیاه در زمان‌های t_1 و t_2 است.

۳-۱۲- تجزیه آماری نتایج

در این تحقیق برای تجزیه واریانس اعداد خام از نرم‌افزار MSTATC و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد (لوک و همکاران، ۲۰۰۴). نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار EXCEL ترسیم شدند.

۴-۱- وزن خشک کل بوته

منظور از وزن خشک کل در لوبیا چشم بلبلی، کل ماده خشک تولید شده در اندام‌های مختلف گیاه از جمله برگ، ساقه، غلاف و دانه است. وزن خشک کل بوته در ۳۰، ۴۵، ۷۵، ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت به طور معنی‌داری در سطح اطمینان ۱ درصد تحت تاثیر تلقیح گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم قرار گرفت (جداول پیوست ۱، ۷ و ۸). در ۱۲۰ روز پس از کاشت (مصادف با زمان برداشت) بیشترین وزن خشک کل بوته با مصرف باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم به دست آمد (شکل ۴-۲).

باکتری حل کننده‌ی فسفات در تمامی مراحل نمونه برداری تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک کل بوته داشت (جداول پیوست ۱، ۷ و ۸). برای مثال، در ۱۲۰ روز پس از کاشت کاربرد هر دو سویه باکتری سبب افزایش وزن خشک کل بوته نسبت به شاهد شد. از نظر میزان تاثیر باکتری حل کننده فسفات، دو سویه به کار رفته از نظر آماری با هم اختلاف داشتند (شکل ۴-۳). وزن خشک کل بوته در تمام تیمارها تا زمان برداشت نهایی محصول روند افزایشی داشت. لوکاس-گارسیا و همکاران (۲۰۰۴) معتقدند، تولید هورمون‌های گیاهی توسط باکتری‌های محرک رشد با تاثیر بر فرآیند تخصیص مواد در گیاه موجب تغییر در اندازه محصول می‌شود. تحقیقات نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد، نظیر سودوموناس، ازتوباکتر و باسیلوس قادر به تولید موادی مانند هورمون‌ها و ویتامین‌های گروه B هستند. این مواد

می‌توانند توسط ریشه گیاه جذب شده و ترکیبات مورد نیاز برای رشد ریشه، ساقه و ماده خشک گیاه را فراهم آورند. اگامبردیوا و همکاران (۲۰۰۳)، نشان دادند که تلقیح گندم با سویه‌های مختلف Pseudomonas، Bacillus و Arthrobacter موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد. در مطالعه این محققین طول ساقه و ریشه در گندم تلقیح یافته با *Arthrobacter simplex* افزایش ۲۲٪ و ۱۷٪ درصدی نسبت به شاهد بدست آمد.

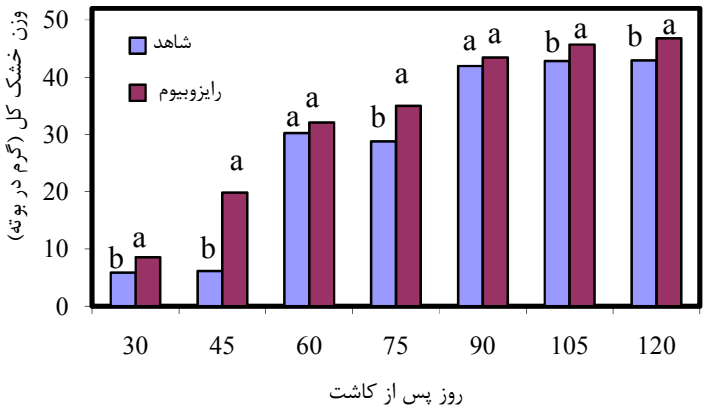
اثر تنش کم آبیاری در ۱۰۵ روزپس از کاشت (مصادف با اعمال تنش کم آبیاری در۵۰٪ غلاف دهی) و ۱۲۰ روز پس از کاشت (زمان برداشت) بر وزن خشک کل بوته معنی‌دار شد (جداول پیوست ۷ و ۸). در ۱۰۵ و ۱۲۰روز پس از کاشت، بیشترین وزن خشک کل بوته متعلق به شاهد بود. در ۱۲۰ روز پس از کاشت کمترین وزن خشک کل بوته در تیمار کمبود آب در ۵۰٪ غلاف دهی مشاهده شد (شکل ۴-۴).

اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن فقط در ۱۲۰ روز پس از کاشت بر وزن خشک کل بوته معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). بیشترین وزن خشک کل بوته (حدود ۵۱/۸۴ گرم در بوته) در شرایطی به دست آمد که گیاه با تنش آب مواجه نبود و با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم تلقیح یافت. کمترین وزن خشک بوته در تنش کم آبیاری در زمان ۵۰٪ غلاف دهی و عدم تلقیح با باکتری به میزان ۳۹/۷ گرم در بوته مشاهده شد (شکل ۴-۵). سینگ و همکاران (۱۹۹۷) به این نتیجه رسیدند که لوبیا چشم بلبلی یک گیاه مقاوم به خشکی است و توانایی بی‌نظیری در تثبیت نیتروژن در خاک‌های فقیر دارد. استفاده از این باکتری‌ها در هنگام تنش موجب تخفیف اثرات تنش بر گیاه شده و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد. این گیاه همچنین توانایی تحمل سایه را دارد. بنابراین همراه با غلات و گیاهان ریشه‌ای کاشت می‌شود.

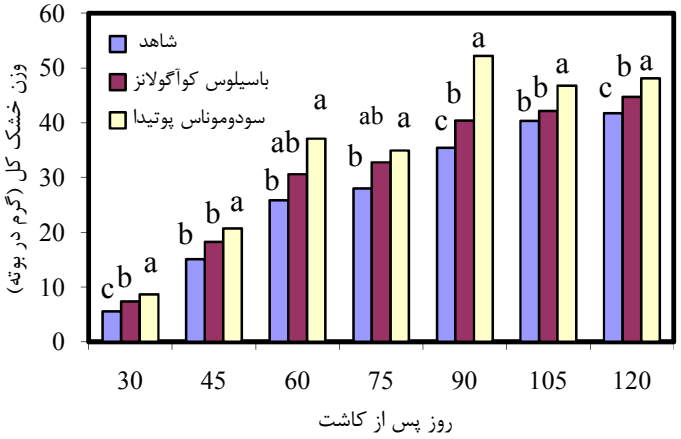
اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده‌ی فسفات فقط در ۱۰۵ روز پس از کاشت بر وزن خشک کل بوته معنی‌دار شد (جدول پیوست ۷). در این زمان تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی بر گیاه

اعمال شده بود و نتایج حاکی از آن بود که عدم کمبود آب و مصرف باکتری سودوموناس پوتیدا و باسیلوس کوآگولانز به ترتیب بیشترین وزن خشک کل بوته (حدود ۴۴/۱۷ و ۴۱/۶۰ گرم در بوته) را نسبت به سایر سطوح به خود اختصاص دادند. کمترین وزن خشک کل بوته متعلق به تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و باکتری باسیلوس کوآگولانز بود که با تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و عدم مصرف باکتری در یک سطح آماری قرار داشتند (شکل ۴-۶).

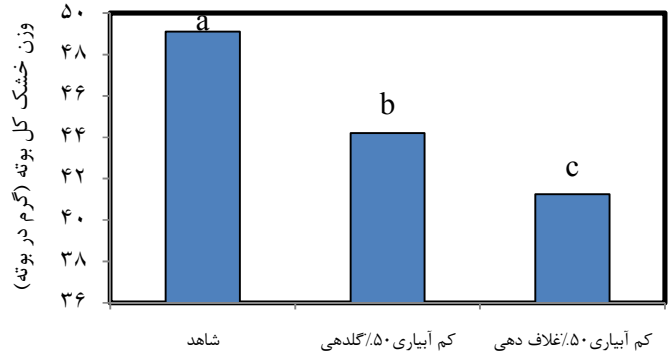
تلقیح توام دو باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن و حل کننده‌ی فسفات بر وزن خشک کل بوته فقط در ۱۲۰ روز پس از کاشت (مصادف با زمان برداشت) معنی‌دار بود (جدول پیوست ۸). ترکیب باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و سودوموناس پوتیدا با اختصاص ۵۰/۷۴ گرم در بوته، بیشترین وزن خشک کل بوته و تیمار شاهد کمترین وزن خشک (۴۰/۱۸ گرم در بوته) را دارا بود (شکل ۴-۷). شریف (۱۹۹۰) در آزمایشی اثرات متقابل باکتری‌های حل کننده فسفات، قارچ‌های VAM و باکتری‌های همیار تثبیت کننده نیتروژن را بر رشد و جذب عناصر غذایی ارزن مورد ارزیابی قرار داد و بیان کرد که وزن خشک قسمت‌های هوایی در گیاهان تلقیح یافته با باکتری حل کننده فسفات به همراه سنگ فسفات، در مقایسه با گیاهان تیمار شده با محلول منو کلسیم فسفات در خاک استریل، به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین در یک آزمایش گلدانی اثرات توام و انفرادی این دو باکتری را روی رشد و عملکرد گندم مورد مطالعه قرار داده و مشاهده کردند که اثرات توام دو باکتری بیشتر از تاثیر منفرد هر باکتری است که می‌تواند نشان دهنده اثرات تشدید کنندگی بین باکتری‌ها باشد (شریف، ۱۹۹۰).



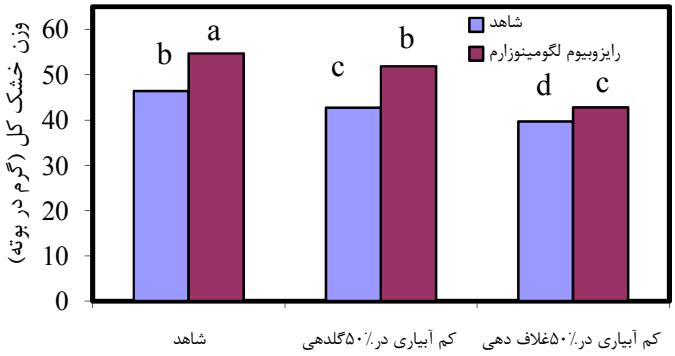
شکل۴-۲- تاثیر باکتری تثبیت کننده نیتروژن بر وزن خشک کل بوته در روزهای مختلف



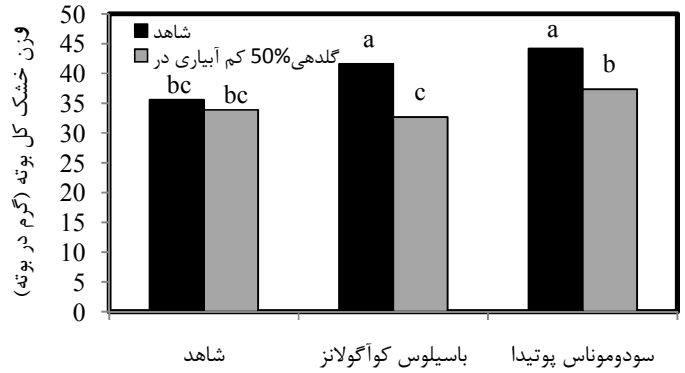
شکل ۴-۳- تاثیر حل کننده فسفات بر وزن خشک کل بوته در روزهای مختلف پس از کاشت



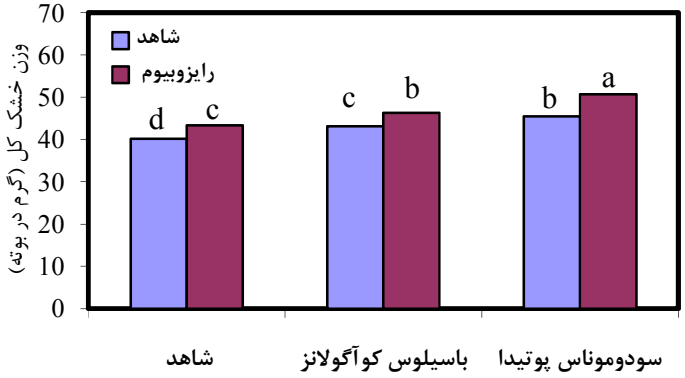
شکل ۴-۴- تاثیر تنش کم آبیاری بر وزن خشک کل بوته در ۱۲۰ روز پس از کاشت



شکل ۴-۵- اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک کل بوته



شکل ۴-۶- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک کل بوته در ۱۰۵ روز پس از کاشت



شکل ۴-۷- اثر متقابل باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات بر وزن خشک کل بوته

۴-۲- وزن خشک برگ

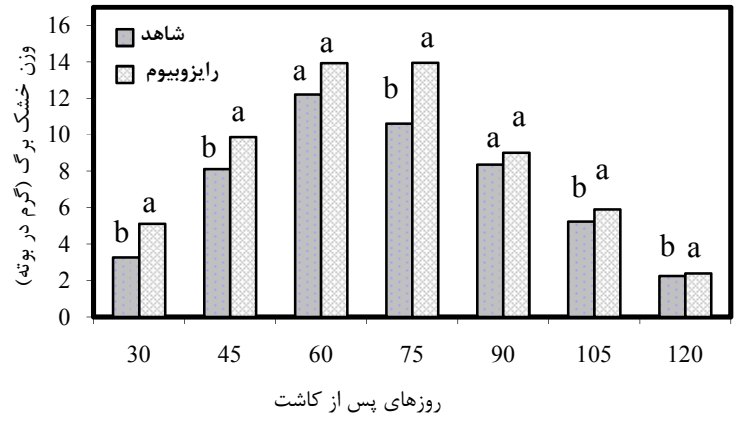
نتایج آزمایش نشان داد، باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن در ۳۰، ۴۵، ۷۵، ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ داشت (جداول پیوست ۲، ۷ و ۸). در زمان‌های مذکور، وزن خشک برگ به طور معنی‌داری تحت تاثیر کاربرد باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم قرار گرفت و وزن خشک برگ را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۴-۸). محمدی و همکاران (۲۰۰۲) دو گونه *Rhizobium leguminozarum* و *Rhizobium etli* را از مهمترین و کارآمدترین سویه‌ها در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در لوبیا معرفی کردند. نتایج شناسایی و جداسازی رایزوبیوم همزیست با لوبیا توسط هانگریا و همکاران (۲۰۰۰) نشان داد که این باکتری به دلیل توانایی بالا در تثبیت نیتروژن و تولید عملکرد بیشتر، باکتری مناسب برای تلقیح تجاری لوبیا می‌باشد.

اثر باکتری حل کننده‌ی فسفات در ۳۰، ۴۵، ۷۵، ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت بر وزن خشک برگ معنی‌دار بود (۲، ۷ و ۸). در ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت به علت ریزش برگ‌ها و انتقال مواد غذایی از برگ‌ها به سمت اندام‌های اقتصادی وزن برگ کاهش یافت. در این زمان بیشترین وزن خشک برگ در تلقیح با باکتری سودوموناس پوتیدا مشاهده شد، که با شاهد و باکتری باسیلوس کوآگولانز از لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌داری بود (شکل ۴-۹) . رودریگوئز ناوارو و همکاران (۱۹۹۹) اثرات متقابل معنی‌داری بر بیوماس اندام هوایی، وزن خشک غلاف و میزان غلطت نیتروژن در آوند چوبی به دست آوردند. لوبیا در شرایط محیطی مناسب به تلقیح با باکتری همزیست واکنش نشان می‌دهد ولی اغلب خاک‌ها فاقد باکتری کارآمد هستند یا اینکه تعداد آنها کم می‌باشد. افزایش طول اندام‌های هوایی و تعداد برگ و نیز سطح برگ در نتیجه کاربرد PGPR در خاک یا همراه بذر در گیاهان مختلف توسط وی و همکاران (۱۹۹۶) گزارش شده است. مطالعه کاکماک و همکاران (۲۰۰۶)، بر روی تاثیر برخی از انواع باکتری‌های محرک رشد از

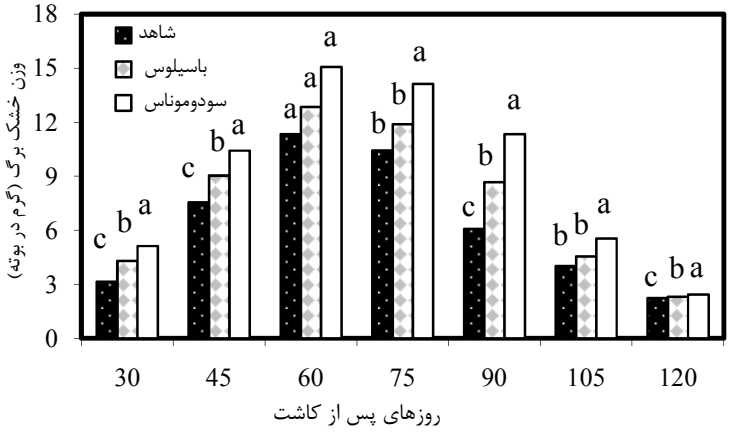
جمله *Psedomunas putida*، نشان داد این باکتری وزن خشک برگ و غده در چغندرقند را از حدود ۶۰ روز پس از تلقیح در مقایسه با شاهد بطور معنی‌داری افزایش داد. رشد در بوته‌های تلقیح یافته با این باکتری در ادامه فصل رشد بیشتر شده و در ۱۶۵ روز پس از تلقیح بیشترین اثر خود را به ویژه بر وزن خشک برگ نشان داد.

اثر تنش کم آبیاری در ۱۲۰ روز پس از کاشت که مصادف با زمان برداشت نهائی بود بر وزن خشک برگ معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). در این زمان، بیشترین وزن خشک برگ مربوط به شرایط عدم تنش و کمترین آن در شرایط تنش کم آبیاری در ۵۰٪غلاف دهی مشاهده شد (شکل ۴-۱۰). شاکل و هال ۱۹۷۹ نشان دادند که وقتی خشکی به گیاه لوبیا اعمال شد برگچه‌ها صبح‌ها به سمت نور رفته و بعد از ظهرها از طریق جهت گیری عمودی از نور اجتناب کردند. این حالت‌ها که به ترتیب نورگرایی و نورگریزی نامیده می‌شوند باعث می‌شود که دریافت نور روی برگچه‌ها کاهش پیدا کند. گیاهانی که به خوبی آبیاری شده‌اند خاصیت گرایش به سمت نور را داشته و با جهت گیری افقی در بعد از ظهرها دریافت نور را به حداکثر می‌رساندند. هسیائو (۱۹۷۳) عنوان کرد ریزش برگ‌ها نشان دهنده این است که لوبیا چشم بلبلی به تنش خشکی حساس است. پتانسیل آب برگ در ظهر به طور پیشرونده با زمان کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل در برگ‌ها باعث فشار به سلول‌ها می‌شود و همچنین کاهش توسعه برگ‌ها را موجب می‌شود. تقسیم سلولی نسبت به توسعه سلولی حساسیت کمتری به تنش خشکی نشان می‌دهد. کزلوسکی (۱۹۷۶) عنوان کرد که تنش آب تعادل هورمونی را در برگ‌های لوبیا تغییر می‌دهد. در طول دوران تنش آبی حالتی پیش می‌آید که گیاهان برای تولید تمام جوانه‌هایی که انتظار می‌رفت رشد کنند، توانایی ندارند. بنابراین ذخیره آب اندازه جوانه‌ها را افزایش می‌دهد، بدون اینکه تاثیری بر وزن کل جوانه‌ها و فعالیت ویژه جوانه بگذارد.

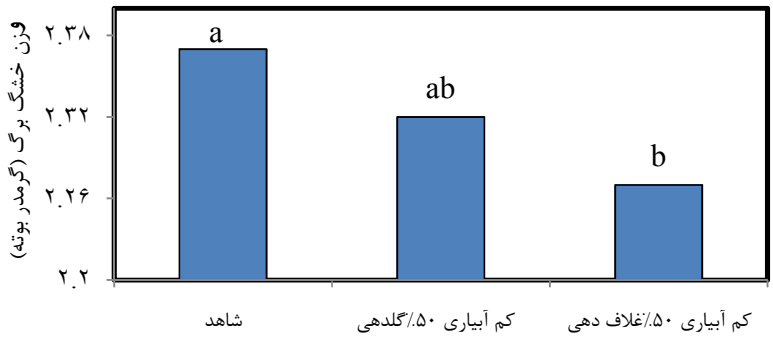
نتایج این بررسی نشان داد در زمان‌های مختلف نمونه برداری هیچ یک از اثرات متقابل بر وزن خشک برگ معنی‌دار نشدند (جداول پیوست ۲، ۷ و ۸).



شکل ۴-۸- اثر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک برگ در روزهای مختلف پس از کاشت



شکل ۴-۹- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک برگ در روزهای مختلف پس از کاشت



شکل ۴-۱۰- اثر تنش کم‌آبیاری بر وزن خشک برگ در ۱۲۰ روزپس از کاشت

۴-۳- وزن خشک ساقه

اثر باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن بر وزن خشک ساقه در ۳۰، ۷۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت معنی‌دار شد (جداول پیوست۳ و ۸). در تمام این زمان‌ها، بیشترین وزن خشک ساقه در شرایط مصرف باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم حاصل شد (شکل ۴-۱۱). هر چند اثر این باکتری در ۴۵، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت معنی‌دار نبود، ولی بوته‌های تلقیح یافته با این باکتری وزن خشک ساقه‌ی بیشتری نسبت به بوته‌های تلقیح نیافته نشان دادند.

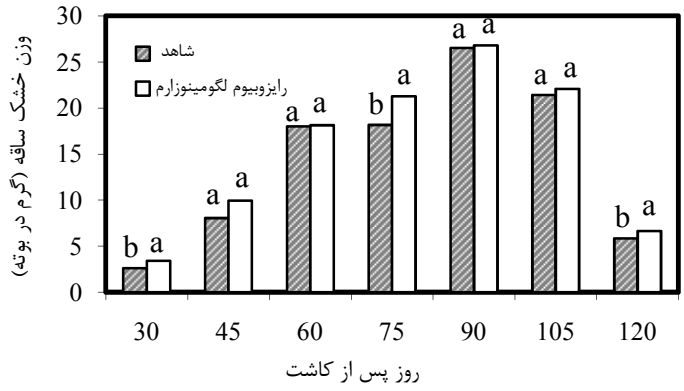
باکتری حل کننده‌ی فسفات در ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از کاشت تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه داشت (جداول پیوست ۲ و ۸). در تمام مراحل نمونه برداری، باکتری سودوموناس پوتیدا نسبت به باسیلوس تاثیر بیشتری داشت. ۳۰ و ۶۰ روز پس از کاشت تفاوت معنی‌داری میان دو باکتری سودوموناس پوتیدا و باسیلوس کوآگولانز مشاهده نشد. مصرف باکتری سودوموناس پوتیدا در ۱۲۰ روز پس از کاشت سبب افزایش ۴۰ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به شاهد شد (شکل ۴-۱۲).

اثر تنش کم آبیاری در ۱۲۰ روز پس از کاشت (زمان برداشت) بر وزن خشک ساقه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). در زمان برداشت وزن خشک ساقه در شرایط تنش کم آبیاری در۵۰٪ غلاف دهی و ۵۰٪ گلدهی معادل۲۵/۳۴ و ۱۶/۹۴ درصد نسبت به عدم تنش کاهش یافت (شکل ۴-۱۳).

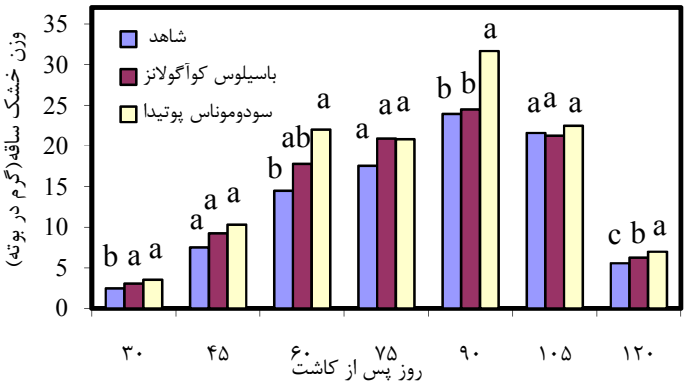
اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن در ۱۲۰ روز پس از کاشت بر وزن خشک ساقه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). در این زمان، بیشترین وزن خشک ساقه در شرایطی به دست آمد که هیچ گونه تنشی به گیاه اعمال نشده و از باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم استفاده شد. عدم مصرف باکتری و تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی بیشترین کاهش را بر وزن خشک ساقه داشت (۴-۱۴).

اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات در ۱۲۰ روز پس از کاشت بر وزن خشک ساقه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). شکل ۴-۱۵ نیز مؤید این موضوع است که بیشترین وزن خشک ساقه در تنش کم آبیاری با باکتری متعلق به عدم کمبود آب و تلقیح با باکتری سودوموناس پوتیدا است. این شکل نشان می‌دهد کمترین وزن خشک ساقه در تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم تلقیح با باکتری سودوموناس پوتیدا مشاهده می‌شود.

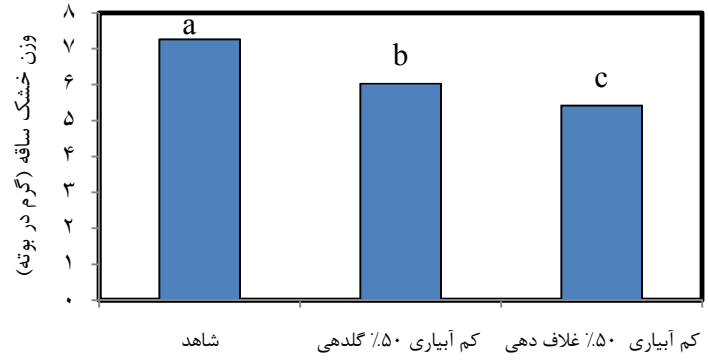
تلقیح توام دو باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن و حل کننده‌ی فسفات بر وزن خشک ساقه فقط در ۱۲۰ روز پس از کاشت، مصادف با زمان برداشت بسیار معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). بیشترین وزن خشک ساقه در ترکیب باکتری سودوموناس پوتیدا و رایزوبیوم لگومینوزارم به میزان ۷/۵۴ گرم در بوته و کمترین میزان در شاهد (۵/۲۲ گرم در بوته) مشاهده شد (شکل ۴-۱۶). این باکتری‌ها به دلیل اثرات سینرژیستی بر یکدیگر موجب افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی شده و رشد و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند (ویکرام، ۲۰۰۷). برطبق تحقیقات در بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر گیاه سورگوم مشخص شد، تلقیح با انواعی از باکتری‌ها وزن خشک اندام‌های هوایی را به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد و نیز در مقایسه با کاربرد سنگ فسفات افزایش داد (ویکرام، ۲۰۰۷). بر طبق نتایج نظارت (۱۳۸۵)، تلقیح توام سویه‌های مختلف باکتری افزایش دهنده‌ی رشد گیاه به طور معنی‌داری وزن خشک ساقه ($P< ۰/۰۵$) و وزن خشک برگ در ذرت ($P< ۰/۰۱$) را افزایش داد.



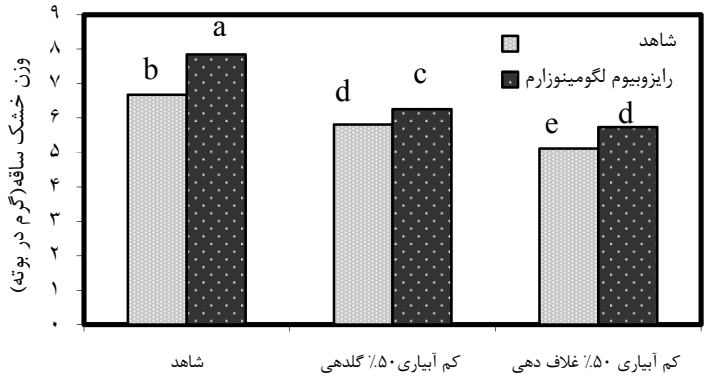
شکل ۴-۱۱- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک ساقه



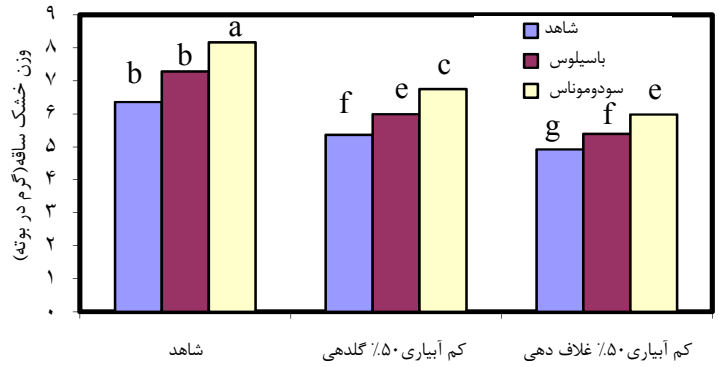
شکل ۴-۱۲- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک ساقه



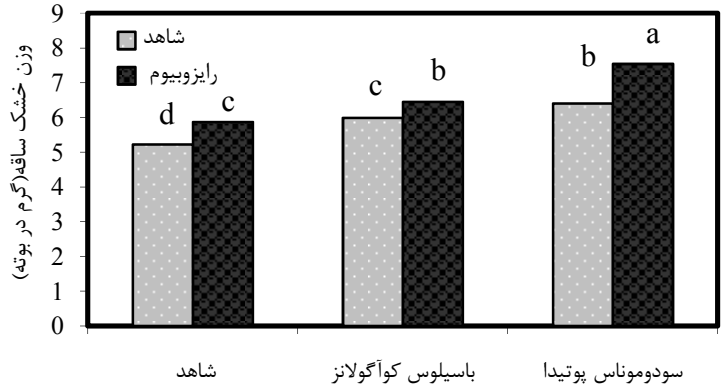
شکل ۴-۱۳- اثر تنش کم آبیاری بر وزن خشک ساقه در ۱۲۰ روز پس از کاشت



شکل ۴-۱۴- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم بر وزن خشک ساقه در ۱۲۰ روز پس از کاشت



شکل ۴-۱۵- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک ساقه در ۱۲۰ روز پس از کاشت



شکل ۴-۱۶- اثر متقابل باکتری باکتری رایزوبیوم و حل کننده فسفات بر وزن خشک ساقه در ۱۲۰ روز پس از کاشت

۴-۴- ارتفاع بوته

نتایج تجزیه‌ی واریانس تاثیر عوامل مورد آزمایش بر ارتفاع بوته لوبیا چشم بلبلی در جدول پیوست ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان داد اثر تنش کم آبیاری بر ارتفاع بوته در ۱۲۰ روز پس از کاشت معنی‌دار بود ($P< ۰/۰۱$). در این زمان بیشترین ارتفاع بوته مربوط به شاهد و کمترین ارتفاع مربوط به کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی بود که با کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۴-۱۷). دانشمند (۱۳۸۲) بیان کرد، اعمال تنش خشکی در دوره رشد زایشی کلزا موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد. برادران (۱۳۸۵) در بررسی تاثیر تنش خشکی بر خصوصیات مرفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد ارقام پاییزه کلزا به این نتیجه رسید که تنش خشکی موجب کاهش شدید ارتفاع بوته شد.

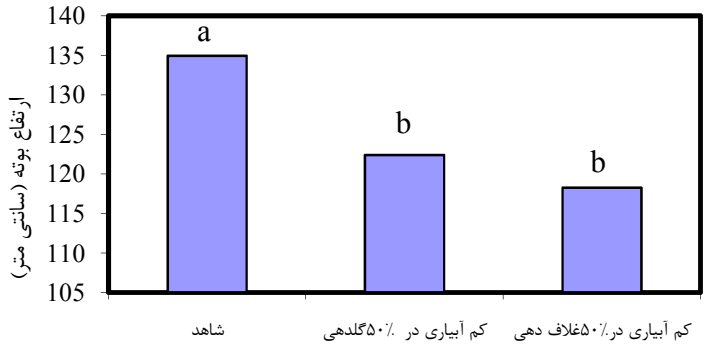
ارتفاع بوته تحت تاثیر تلقیح با باکتری تثبیت کننده نیتروژن قرار گرفت (جدول پیوست ۸). بیشترین میزان ارتفاع بوته در ۱۲۰ روز پس از کاشت مصادف با زمان برداشت با مصرف باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم به میزان ۱۳۴/۲۲ سانتی متر و کمترین ارتفاع در بوته‌های شاهد به میزان ۱۱۶/۱۸ سانتی متر مشاهده شد (شکل ۴-۱۸).

تاثیر باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات بر ارتفاع بوته‌های لوبیا چشم بلبلی معنی‌دار بود (جدول پیوست ۸). میانگین نتایج به دست آمده نشان داد که ارتفاع بوته‌های تلقیح یافته با سودوموناس پوتیدا اختلاف معنی‌داری با بوته‌های تلقیح یافته با باسیلوس کوآگولانز و شاهد داشته و ارتفاع بوته را در مقایسه با آن دو افزایش داد. استفاده از باکتری باسیلوس نیز تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نسبت به شاهد داشت ولی تاثیر آن نسبت به سودوموناس پوتیدا کمتر بود (شکل ۴-۱۹).

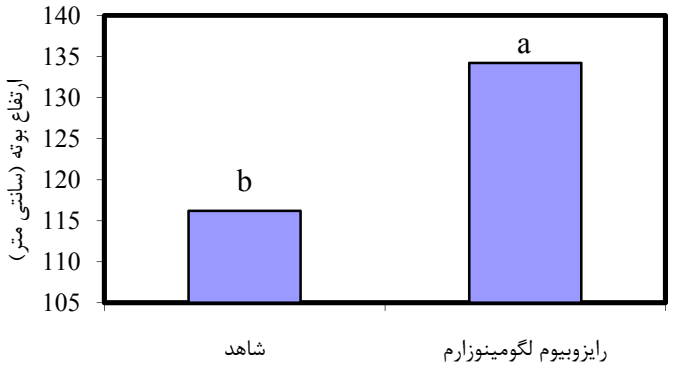
بورد و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که رایزوباکتری‌های محرک رشد می‌توانند ارتفاع بوته و توانایی تولید در گیاه را از طریق تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش دسترسی به عناصر غذایی، تسهیل در جذب مواد غذایی توسط گیاه، کاهش سمیت فلزات سنگین و القای مقاومت سیستمیک علیه عوامل بیماریزا

افزایش دهند. کاندان (۲۰۰۰) افزایش سطح برگ و ارتفاع در بوته‌های گوجه فرنگی پس از تلقیح با ترکیب سویه‌های CHAO و CPO-1 از باکتری *P. fluoresceas* را نتیجه افزایش غلظت کلروفیل و توانایی فتوسنتز گیاه گزارش کرد.

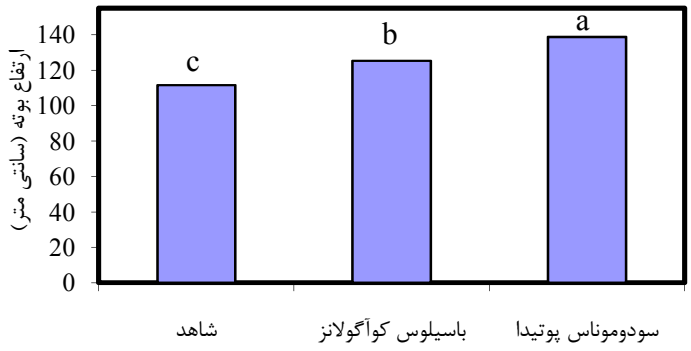
در بین تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش تنها اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده نیتروژن در ۱۲۰ روز پس از کاشت بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). بلندترین بوته (۱۴۴/۹۱ سانتی متر) در شرایطی به دست آمد که هیچ گونه تنشی به گیاه اعمال نشد و گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم تلقیح شد. کمترین میزان (۱۰۵/۵۵ سانتی متر) در شرایط تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم مصرف باکتری مشاهده شد (شکل ۴-۲۰). تکثیر باکتری‌های رایزوبیوم در اطراف ریشه لگومینوز می تواند موجب افزایش قابلیت جذب عناصری مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم و آهن شده و برقراری این همزیستی به تحمل شرایط نامطلوب محیطی در گیاه کمک می‌کند (صالح راستین، ۱۳۷۵). تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر افزایش ارتفاع بوته معمولاً نتیجه تثبیت نیتروژن، تولید ترکیبات تنظیم کننده رشد مانند اکسین، افزایش پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیم‌هایی مانند فسفاتازهای اسیدی و پراکسیدازها گزارش شده است (شوکت و همکاران، ۲۰۰۶).



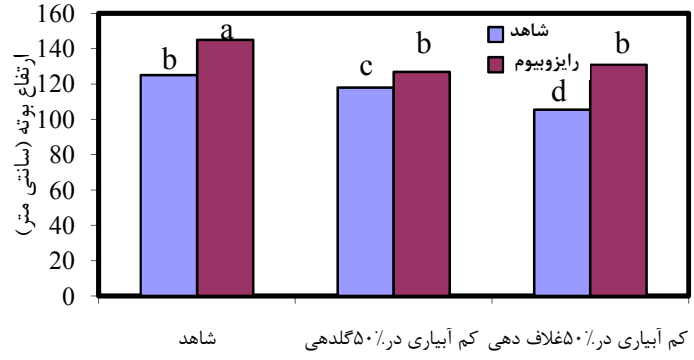
شکل ۴-۱۷- اثر تنش کم‌آبیاری بر ارتفاع بوته



شکل ۴-۱۸- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر ارتفاع بوته



شکل ۴-۱۹- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر ارتفاع بوته



شکل ۴-۲۰- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر ارتفاع بوته

۴-۵- فاصله اولین غلاف از سطح خاک

تنش کم آبیاری تاثیر معنی‌داری بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک در ۱۲۰ روز پس از کاشت داشت (جدول پیوست ۸). در این زمان، بیشترین فاصله غلاف از سطح خاک مربوط به عدم کمبود آب به عنوان شاهد و کمترین آن مربوط به شرایط تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و ۵۰٪ غلاف دهی بود (شکل ۴-۲۱).

تلقیح توسط باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر فاصله‌ی اولین غلاف از سطح خاک تاثیر معنی‌دار داشت (جدول پیوست ۸). بیشترین فاصله غلاف از سطح خاک به دلیل تامین عناصر غذایی توسط باکتری‌ها و افزایش رشد گیاه با استفاده از باکتری به میزان ۶۳/۲۵ سانتی متر و کوتاهترین فاصله با عدم مصرف باکتری به میزان ۵۳/۶۷ سانتی متر مشاهده شد (شکل ۴-۲۲).

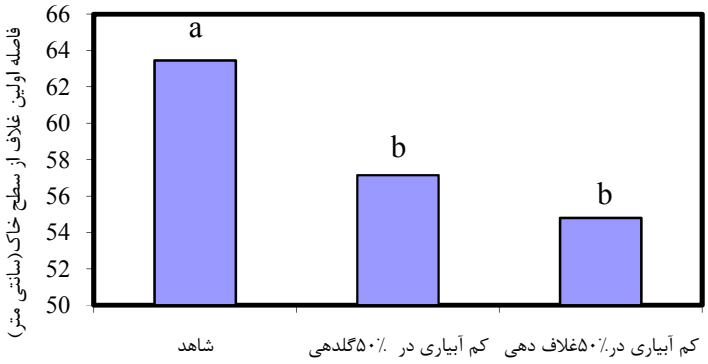
باکتری حل کننده فسفات تاثیر معنی‌داری بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک داشت (جدول پیوست ۸). تفاوت معنی‌داری میان سه سطح باکتری حل کننده فسفات بر این صفت مشاهده شد. به طوری که باکتری سودوموناس پوتیدا با اعمال بیشترین تاثیر در راس قرار گرفت (شکل ۴-۲۳). فسفر نقش مهمی در تغذیه‌ی گیاه و تثبیت نیتروژن در لگوم‌ها ایفا می‌کند. بهره‌گیری از موجودات مفید خاکزی به منظور بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و تامین سلامتی گیاه از مهمترین شیوه‌های علمی برای کمک به پایداری تعادل سیستم زنده خاک و جلوگیری از خطر تراکم آلاینده‌های شیمیایی در محیط زیست، محسوب می‌شود. تحقیقات انجام یافته در مورد اثرات متقابل بین حل کنندگان فسفات و باکتری تثبیت کننده ی نیتروژن بیانگر رابطه‌ی سینرژیستی بین آنهاست (ویکرام، ۲۰۰۷).

اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده نیتروژن بر فاصله اولین غلاف در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). در شرایطی که گیاه با هیچ گونه کمبود آبی مواجه نشده بود و با

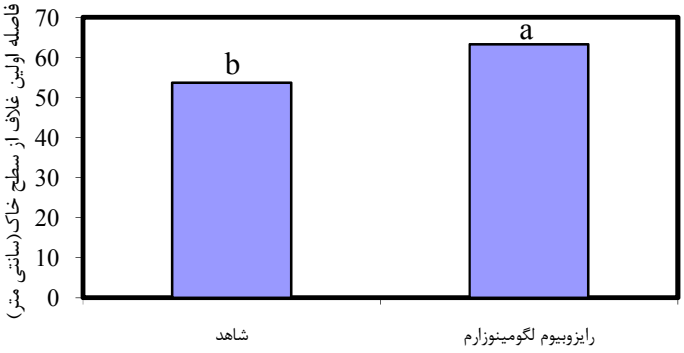
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم تلقیح یافت بیشترین فاصله غلاف از سطح خاک به دست آمد. این در حالی است که کمترین فاصله در شرایط تنش کم آبیاری در ۵۰٪غلاف دهی و عدم تلقیح مشاهده شد که از لحاظ آماری با تیمار تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و عدم تلقیح در یک سطح قرار داشت (شکل ۴-۲۴). استفاده از باکتری های تثبیت کننده نیتروژن به همراه گیاهان، موجب می شود نیتروژنی که به خاک اضافه می شود به فرم آلی تبدیل و به تدریج موجب اصلاح سطح حاصلخیزی خاک و بهبود کمی و کیفی محصول شود (صالح راستین، ۱۳۸۰).

کاربرد همزمان باکتری تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک معنی‌دار بود (جدول پیوست ۸). نتایج مقایسات میانگین نشان داد بیشترین فاصله اولین غلاف از سطح خاک در ترکیب باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و سودوموناس پوتیدا و کمترین فاصله غلاف در تیمار عدم تلقیح با باکتری‌ها به عنوان شاهد به دست آمد (شکل ۴-۲۵). روزاس و همکاران (۱۹۸۹) در آزمایش مزرعه‌ای روی سویا، اثرات متقابل بین باکتری هم زیست (*Bradyrhizobium japonicum*) و باکتری حل کننده فسفات (*Pseudomonas putida*) را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند این دو باکتری در کنارهم موجب بهبود شرایط رشد گیاه گردیده و به افزایش رشد و عملکرد در سویا کمک فراوانی می‌نماید.

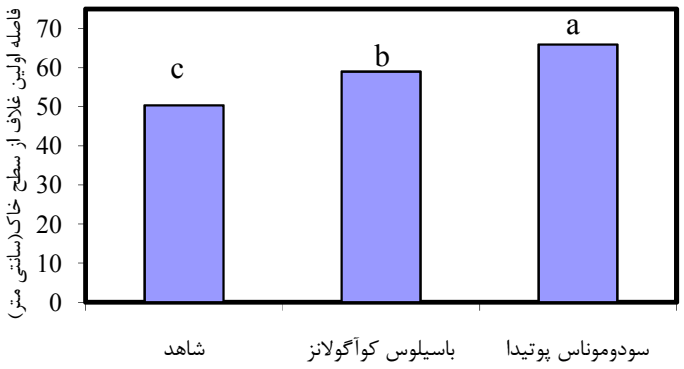
اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات و اثر متقابل هر سه عامل آزمایش بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک معنی‌دار نبود (جدول ضمیمه ۸).



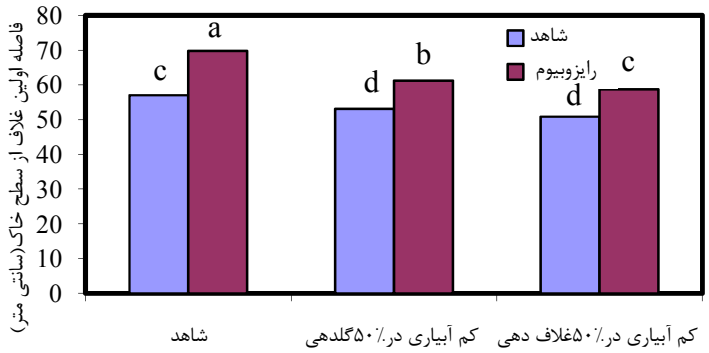
شکل ۴-۲۱- تاثیر تنش کم آبیاری بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک



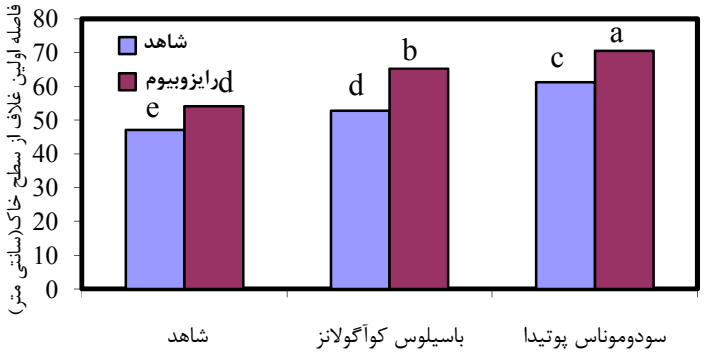
شکل ۴-۲۲- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک



شکل ۴-۲۳- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک



شکل ۴-۲۴- اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر فاصله اولین غلاف از خاک



شکل ۴-۲۵- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم و حل کننده فسفات بر فاصله اولین غلاف از سطح خاک

۴-۶- تعداد شاخه‌های فرعی

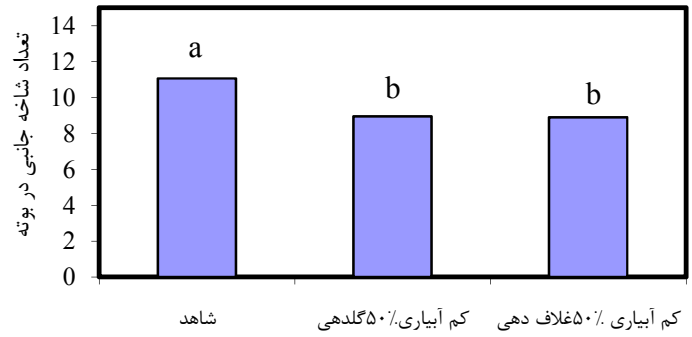
نتایج تجزیه واریانس در جدول پیوست ۸ نشان داد، اثر تنش کم آبیاری بر تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه لوبیا چشم بلبلی بسیار معنی‌دار شد. تفاوت آماری معنی‌داری میان تنش کم‌آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و ۵۰٪ غلاف‌دهی بر تعداد شاخه‌های فرعی مشاهده نشد، هر چند هر دو با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. به طوری که تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و ۵۰٪ غلاف دهی به ترتیب موجب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی به میزان ۱۹/۰۹ و ۱۹/۶۳ درصد نسبت به شاهد شد (شکل ۴-۲۶). نیلسن (۱۹۹۷) بیان

کرد که تنش خشکی در مرحله رشد زایشی در کلزا، موجب شاخه‌های فرعی کمتر نسبت به سایر مراحل رشد می گردد. نیلسن و جامیک (۱۹۹۶) در بررسی اثر تنش خشکی روی کلزا مشاهده کردند، تنش خشکی اعمال شده در دوره‌ی پرشدن دانه در مقایسه با سایر مراحل رشد، تعداد شاخه فرعی کمتری تولید کرد.

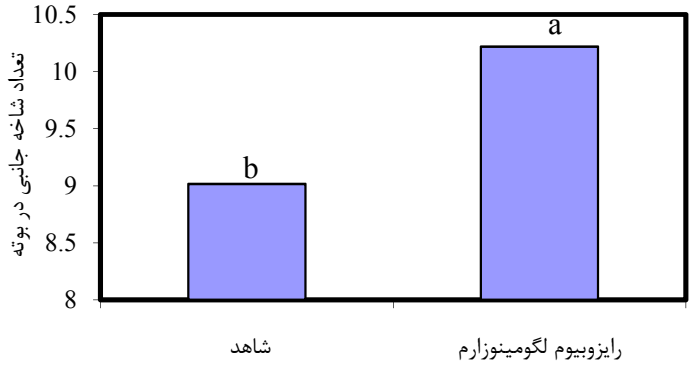
تلقیح گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم به طور معنی‌داری، تعداد شاخه‌های فرعی را افزایش داد (جدول پیوست ۸). تلقیح با این باکتری، موجب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی بیشتری نسبت به شاهد شد.

اثر تلقیح با باکتری حل کننده فسفات بر تعداد شاخه‌های فرعی در لوبیا معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). در این زمان، بیشترین شاخه‌ی فرعی در شرایطی که گیاه با باکتری سودوموناس پوتیدا تلقیح یافته و کمترین میزان در شرایطی که از باکتری استفاده نشده بود (بوته‌های شاهد) حاصل شد (شکل ۴-۲۸).

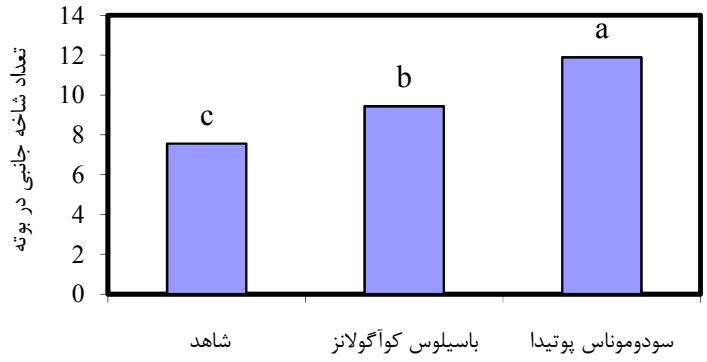
در بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد شاخه‌های فرعی معنی‌دار بود (جدول پیوست ۸). نتایج مقایسات میانگین نشان داد، عدم تنش کم آبیاری و استفاده از باکتری رایزوبیوم موجب افزایش ۴۳/۴۸ درصدی تعداد شاخه‌های فرعی نسبت به تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم مصرف باکتری (به عنوان کمترین تعداد شاخه‌های فرعی) شد (شکل ۴-۲۹).



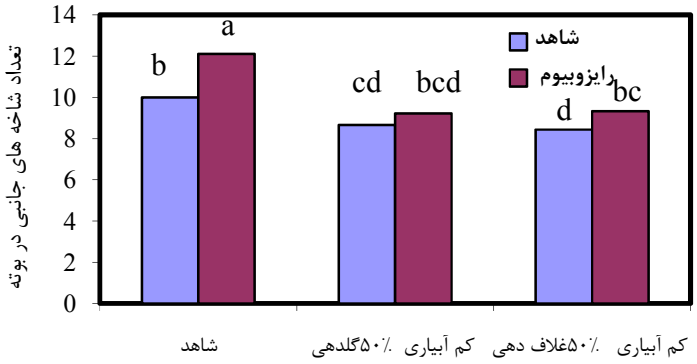
شکل ۴-۲۶- اثر تنش کم آبیاری بر تعداد شاخه جانبی



شکل ۴-۲۷- اثر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد شاخه جانبی



شکل ۴-۲۸- اثر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد شاخه جانبی



شکل ۴-۲۹- اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد شاخه جانبی

۴-۷- تعداد گره ریشه

باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، از طریق ریشه های مویین به گیاه وارد می‌شوند. در شرایط مناسب مزرعه گره‌های متورم صورتی رنگ را می توان روی ریشه گیاهچه‌های آغشته شده به راحتی مشاهده کرد. در ابتدا گره‌ها کروی یا استوانه‌ای هستند. اندازه گره‌ها می‌تواند تا ۲ سانتی‌متر برسد. تعداد گره‌ها نیز متفاوت بوده، ولی تعداد کم آنها توسط اندازه بزرگ گره‌ها جبران می‌گردد. هر دو عامل اندازه و تعداد گره‌ها (تعداد گره) تحت تاثیر شرایط محیطی هستند. گره‌های فعال را می توان با برش مقطعی آنها و مشاهده‌ی رنگ صورتی تشخیص داد. غده‌های غیر فعال، سفید تا سبز رنگ هستند. در مراحل نهایی رشد نخود، رنگ گره‌ها به سبز گرایش پیدا می‌کنند، که نشانه‌ی پیر شدن آنهاست. پس از این مرحله گره‌ها چروکیده و خشک می‌شوند، اما عمدتاً به ریشه چسبیده باقی می‌مانند. در این مرحله باکتری‌ها از گره‌ها جدا شده و به خاک باز می‌گردند (علی اصغرزاده، ۱۳۷۶).

اثر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد گره در ۴۵ (مصادف با اولین اندازه‌گیری)، ۶۰، ۷۵ و ۱۰۵ روز پس از کاشت (آخرین اندازه‌گیری) معنی‌دار بود (جداول پیوست ۴ و ۷). طی این مدت متوسط تعداد

گره‌ها از نخستین مرحله‌ی نمونه برداری تا آخرین مرحله افزایش یافت و این افزایش در بوته‌های تلقیح شده با باکتری در مقایسه با بوته‌های شاهد معنی‌دار بود (شکل ۴-۳۰). برای مثال در ۱۰۵ روز پس از کاشت بوته‌های تلقیح یافته ۵/۴۶ درصد تعداد گره بیشتری نسبت به بوته‌های شاهد داشتند.

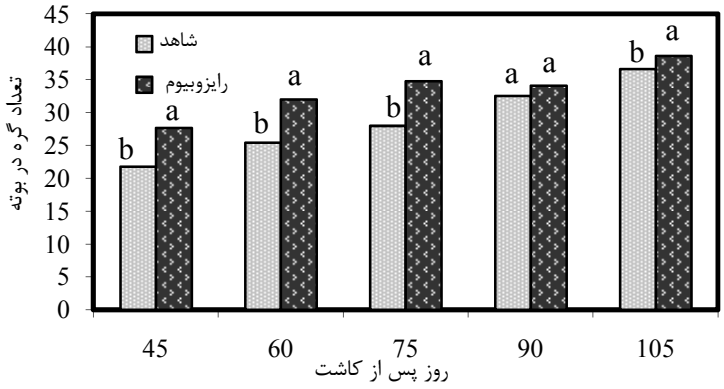
اثرات تشدید کننده رشد گیاهانی که با رایزوبیوم تلقیح شده‌اند، عمدتاً به دلیل تولید فیتوهورمون، محدود شدن قارچ پاتوژن، تثبیت نیتروژن ملکولی و سایر عناصر است (چابوت و همکاران، ۱۹۹۶). مقدار تثبیت نیتروژن از طریق همزیستی از یک مکان به مکان دیگر ممکن است بسیار متفاوت باشد. این امر به عوامل خاک از قبیل pH، فراهم بودن پتاس، فسفر، وجود فلزات سنگین و رطوبت خاک بستگی دارد.

همچنین تاثیر باکتری حل کننده‌ی فسفات در تمامی مراحل نمونه برداری (۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ روز پس از کاشت) بر تعداد گره در ریشه گیاه معنی‌دار بود (جداول پیوست ۴ و ۷). از ابتدا تا نزدیک شدن به انتهای رشد، تاثیر باکتری سودوموناس پوتیدا بر تعداد گره بیشتر بود. هر چند در ۷۵ روز پس از کاشت باکتری سودوموناس پوتیدا و باسیلوس کوآگولانز در یک سطح آماری قرار گرفتند ولی در دیگر روزها تاثیر باکتری سودوموناس بیشتر بود (شکل ۴-۳۱).

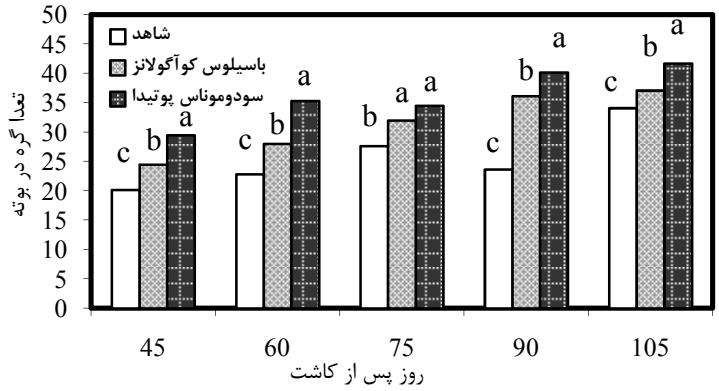
ساتویچ (۲۰۰۶) در بررسی خود نشان داد که، باکتری‌های محرک رشد می‌توانند مقاومت ارقام گندم را به شوری افزایش داده و در شرایط خشک موجب بهبود عملکرد گیاه شده و مقدارآن را از ۸/۸ تا ۶۳/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش دهند. وسیول و همکاران (۲۰۰۱)، در تحقیقی که روی سویا انجام دادند، متوجه شدند که تلقیح باکتری حل کننده فسفات به نام (*Pseudomonas striata*) به همراه باکتری *Bradyrhizobium* گره زایی و وزن خشگ گره‌ها را افزایش داد. روزاس و همکاران (۲۰۰۲)، آزمایش مزرعه‌ای روی سویا انجام دادند. در این آزمایش که اثر متقابل بین باکتری همزیست سویا *Bradyrhizobium japonicum* و باکتری حل کننده فسفات بنام *Pseudomonas putida* مورد بررسی قرار گرفت، محققین گزارش کردند که هنگام تلقیح توام این دو باکتری، افزایش معنی‌داری در گره‌زایی

ریشه‌ها مشاهده می‌شود. هانگریا و همکاران (۲۰۰۰)، ملاحظه کردند که لوبیا تلقیح شده با ۸ سویه مختلف باکتری رایزوبیوم، از نظر تعداد و وزن خشگ گره در بوته تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در بررسی آنها که در۲ منطقه و به مدت ۲ سال انجام شد، تلقیح بذور لوبیا با دو سویه‌ی PRF81 نسبت به تلقیح با سایر سویه‌ها و همچنین شاهد، بیشترین میزان وزن خشک و تعداد گره در مرحله اوایل گلدهی (۴۲ روز پس از سبز شدن) را تولید کرد.

اثر تنش کم آبیاری در ۱۰۵ روز پس از کاشت و هیچ یک از اثرات متقابل بر تعداد گره معنی‌دار نشد (جداول پیوست ۴ و ۷).



شکل ۴-۳۰- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد گره



شکل ۴-۳۱- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد گره

۴-۸- وزن تر و خشک گره ریشه

اثر باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن بر وزن تر گره در ۶۰، ۷۵ و ۱۰۵ روز پس از کاشت معنی‌دار بود (جداول پیوست ۵ و ۷). بررسی روند تغییرات وزن تر گره بین بوته‌های شاهد و تلقیح یافته با باکتری در طول دوره رشد (شکل ۴-۳۲) نشان داد که در کل فصل به جز ۱۰۵ روز ژس از کاشت وزن تر گره در بوته‌های تلقیح یافته با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم در مقایسه با شاهد بیشتر بود. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود. وزن تر گره‌ها در زمان گلدهی (۱۰۵ روز پس از کاشت) حداکثر مقدار بود که نشان می‌داد در این مرحله اوج فعالیت گره‌ها صورت می‌گیرد. همچنین این باکتری تاثیر معنی‌داری در ۶۰ و ۱۰۵ روز پس از کاشت بر وزن خشک گره داشت (جداول پیوست ۶ و ۷). همانند وزن تر گره، بیشترین وزن خشک گره مربوط به باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بود (شکل ۴-۳۳). نتایج تحقیقات شیسانیا (۲۰۰۲) نشان داد که تلقیح لوبیا با رایزوبیوم سویه‌ی R3254 در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای در دو منطقه پر باران و کم باران طی مراحل مختلف رشد (۲۱، ۴۲ و ۷۰ روز پس از سبز شدن) دارای حداکثر وزن خشک گره و تعداد گره در بوته در مقایسه با شاهد بود.

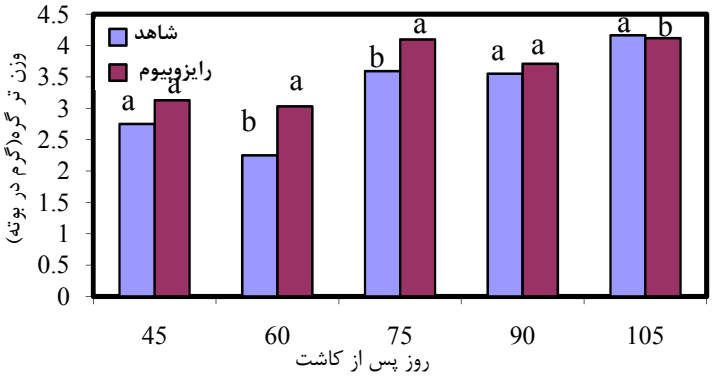
باکتری حل کننده‌ی فسفات در تمامی مراحل نمونه برداری تاثیر بسیار معنی‌داری بر وزن تر و خشک گره‌ها داشت (جداول پیوست ۵، ۶ و ۷). نتایج حاکی از افزایش وزن تر و خشک گره در اثر کاربرد این باکتری‌ها بود. به طوری که وزن تر گره‌ها در بوته‌های تلقیح یافته با باکتری سودوموناس پوتیدا بیشتر بود که از لحاظ آماری نسبت به دو سطح دیگر برتر و متفاوت بود (شکل ۴-۳۴). در وزن خشک گره تنها در ۴۵ روز پس از کاشت تفاوت معنی‌داری میان دو سطح باکتری سودوموناس پوتیدا و باسیلوس کوآگولانز مشاهده نشد (شکل ۴-۳۵). یومینگ و همکاران (۲۰۰۳)، در ارزیابی سه سویه مختلف *Bacillus* شامل *B. subtilis NEB4*، *B. subtilis NEB5* و *B. thuringiensis NEB17* افزایش گره زایی و رشد در سویا را در شرایط گلخانه و مزرعه گزارش نمودند. در این بررسی بیشترین میزان افزایش در تعداد گره، وزن گره،

وزن اندامهای هوایی، وزن ریشه، کل بوته، نیتروژن کل و عملکرد دانه درتلقیح توام این باکتری ها و باکتری *Bradyrhizobium* (غیر اندوفیت) حاصل شد.

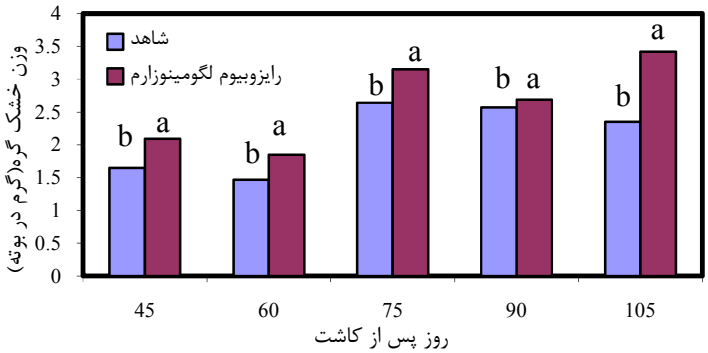
اثر متقابل تنش و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم در ۱۰۵ روز پس از کاشت بر وزن تر گره بسیار معنی‌دار شد (جدول پیوست ۷). در بوته‌های شاهد (بوته‌هایی که آبیاری مناسب شده بودند) و تلقیح شده با باکتری میزان وزن تر گره به طور معنی‌داری بیشتر بود و در گیاهانی که با باکتری تلقیح نیافته بودند تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و عدم تنش موجب کاهش وزن تر گره نسبت به شرایط تلقیح بوته‌ها با باکتری وزن تر گره کاهش یافت. (شکل ۴-۳۶). در یک آزمایش گلخانه ای که توسط مارسیا و همکاران (۲۰۰۸) بر روی لوبیا انجام شد، اثرات تنش خشکی در لوبیا تلقیح شده با *Rhizobium tropici* و *Paenibacillus polymyxa* بررسی شد. تنش به طور مداوم از طریق کنترل پتانسیل ماتریک توسط سفال متخلخل به گیاه اعمال می‌شد. لوبیا در گلدان‌هایی با خاک Luvic Neosol تحت سه پتانسیل ماتریک مختلف (S_1= -۷Kpa، S_2 = -۷۰ و S_3< -۸۵) رشد نمود. تعدادی از بذرها با *R. tropici*، تعدادی با *P. polymyxa* و تعدادی با ترکیب توام آنها تلقیح شدند. تلقیح لوبیا با رایزوبیوم و پنی باسیلوس موجب افزایش نیتروژن و گره‌زایی در مقایسه با لوبیای تلقیح شده با رایزوبیوم تنها شد. این موضوع به ویژه در پتانسیل ماتریک S_3< -۸۵ بسیار آشکار بود. استرس خشکی موجب تغییر تعادل هورمونی (افزایش ABA برگ، کاهش IAA و GA_3، ریزش و تخریب زآتین در برگ‌های لوبیا شد. سیتوکنین داخلی تحت تنش خشکی به علت افزایش ABA کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که لوبیاهای تلقیح یافته با باکتری‌های تثبیت کننده‌ی نیتروژن برخی از اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهند. در آزمایشی که توسط مارسیا و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد، تعداد گره، وزن خشک گره، رشد و تجمع ماده خشک اندام های هوایی گیاه لوبیا، به علت تنش خشکی کاهش یافت. گیاهان تلقیح یافته با باکتری رایزوبیوم فازئولی که تحت تنش خشکی واقع شدند، محتوای نیتروژن بیشتری در اندام‌های هوایی خود نسبت به گیاهان تلقیح

نیافته داشتند. تنش خشکی موجب کاهش میزان پروتئین گره‌ها شد. والنزوئلا و اسمیت (۲۰۰۲) عنوان کردند که وقتی لوبیا چشم بلبلی تحت شرایط مطلوب رطوبتی باشد به سرعت رشد می‌یابد و ریشه‌ها به عمق ۴۸ تا ۶۱ سانتی متری می رسد و بیشتر رشد گیاه در لایه‌ی اولیه خاک صورت می‌گیرد. اما زمانی که با خشکی مواجه می‌شوند، ریشه‌های بالایی می‌توانند برای رسیدن به پروفیل خاک عمیق‌تر رشد کرده و به عمق ۲۴۰ سانتی‌متری برسند.

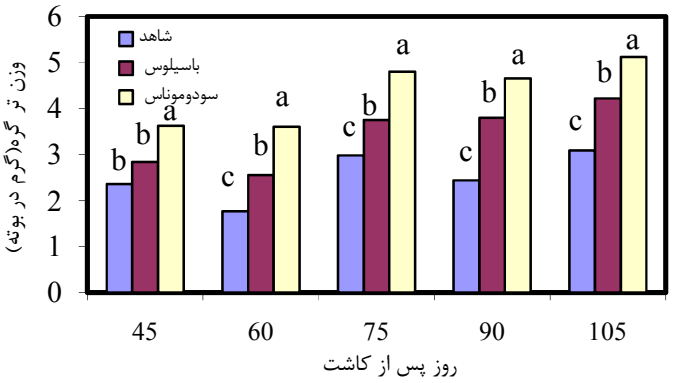
اثر تنش کم آبیاری در ۱۰۵ روز پس از کاشت بر وزن تر و خشک گره، اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات و تلقیح توام دو باکتری تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات بر وزن تر و خشک گره و اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده نیتروژن بر وزن خشک گره معنی‌دار نشدند (جداول پیوست ۵، ۶ و ۷).



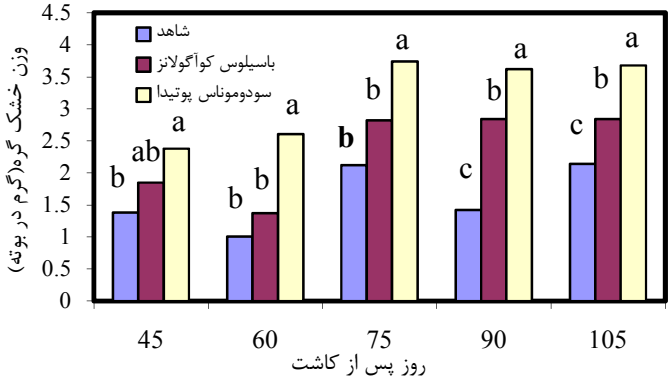
شکل ۴-۳۲- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن تر گره



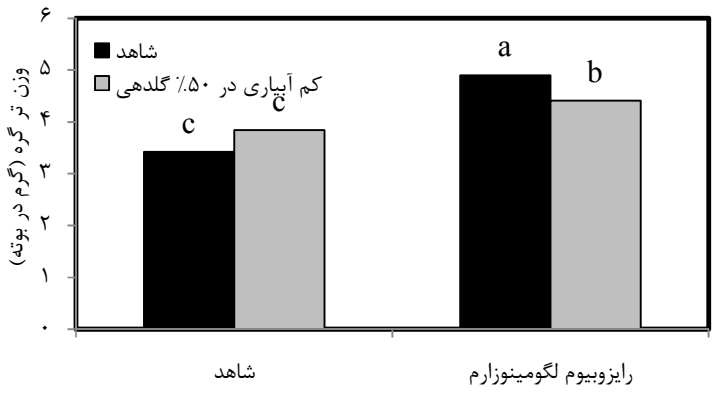
شکل ۴-۳۳- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک گره



شکل ۴-۳۴- اثر باکتری حل کننده فسفات بر وزن تر گره



شکل ۴-۳۵- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر وزن خشک گره



شکل ۴-۳۶- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن تر گره در ۱۰۵ روز پس از کاشت

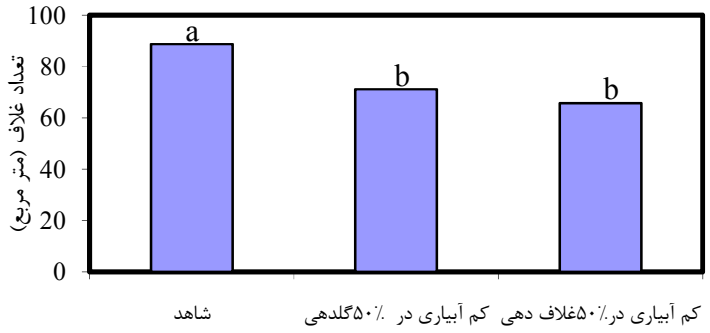
۴-۹- تعداد غلاف در متر مربع

جدول پیوست ۹ نتایج تجزیه واریانس تعداد غلاف در متر مربع را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن بود که در ۱۲۰ روز پس از کاشت (زمان برداشت گیاه) اثر تنش کم آبیاری بر تعداد غلاف در متر مربع بسیار معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین تعداد غلاف مربوط به شرایط عدم تنش و کمترین مقدار به ترتیب مربوط به تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی و گلدهی بود که در یک سطح آماری قرار داشتند. به طوری که این صفت در بوته‌های کرت‌های شاهد به ترتیب ۳۴/۶۴ و ۲۴/۷۴ درصد بیشتر از کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی و گلدهی بود (شکل ۴-۳۷). زابلوتوویچ و همکاران (۱۹۸۱) عنوان داشتند، کافی نبودن بارش و یا توزیع نامناسب آب، عملکرد لوبیا چشم بلبلی را کاهش می دهد. اگر این توزیع نامناسب آب در دوران اواسط گلدهی و دوران بسته شدن غلاف ها باشد، خسارت بیشتر است. هاشم و همکاران (۱۹۹۸) کاهش معنی‌داری در تعداد غلاف و وزن دانه در گیاهانی که در اواخر رشد رویشی و آغاز تنش کم آبی قرار گرفته، مشاهده نمودند.

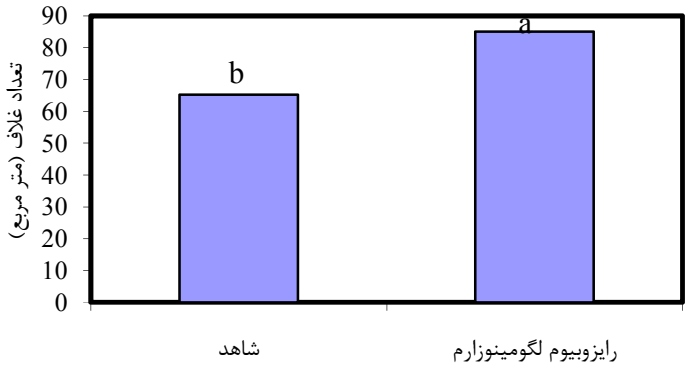
تلقیح گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم تاثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف داشت (جدول پیوست ۹). استفاده از این باکتری در مقایسه با شاهد منجر به افزایش ۳۰/۴۱ درصدی تعداد غلاف شد (شکل ۴-۳۸). قاسمی پیربلوطی و همکاران (۱۳۸۱) در بررسی بوته‌های تلقیح یافته با باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن، از نظر تعداد غلاف در بوته اختلاف بسیار معنی‌داری را بین تلقیح و عدم تلقیح با باکتری مشاهده نمودند. تلقیح بذر ارقام لوبیا با رایزوبیوم سویه‌ی L-125 منطقه الشتر با میانگین ۱۲/۷۷ غلاف در بوته بیشترین و شاهد (بدون تلقیح) با میانگین ۷/۸۸ غلاف دربوته کمترین تعداد غلاف را دارا بودند. در بررسی شیسانیا (۲۰۰۲) لوبیای تلقیح شده با رایزوبیوم سویه ی R3254 بیشترین تعداد غلاف در بوته و شاهد کمترین تعداد غلاف در بوته را در دو منطقه ی کم باران و پرباران کنیا دارا بودند.

اثر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد غلاف در متر مربع بسیار معنی‌دار شد (جدول پیوست ۹). باکتری سودوموناس پوتیدا اثر افزاینده‌ای بر تعداد غلاف داشت. به طوری که تعداد غلاف با کاربرد این باکتری ۳۲/۹۸ و ۱۶/۶۳ عدد در متر مربع به ترتیب نسبت به شاهد و باکتری باسیلوس کوآگولانز بیشتر بود (شکل ۴-۳۹).

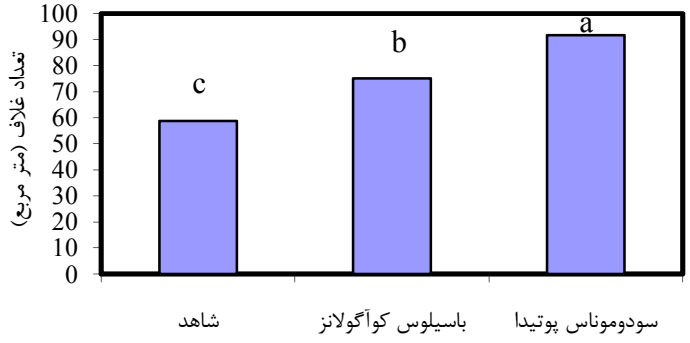
در این تحقیق اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن، اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات، تلقیح توام باکتری حل کننده‌ی فسفات و تثبیت کننده‌ی نیتروژن و اثر متقابل سه عامل آزمایش بر تعداد غلاف معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۹).



شکل ۴-۳۷- اثر تنش کم آبیاری بر تعداد غلاف



شکل ۴-۳۸- تاثیر رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد غلاف



شکل ۴-۳۹- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد غلاف

۴-۱۰ وزن خشک غلاف در متر مربع

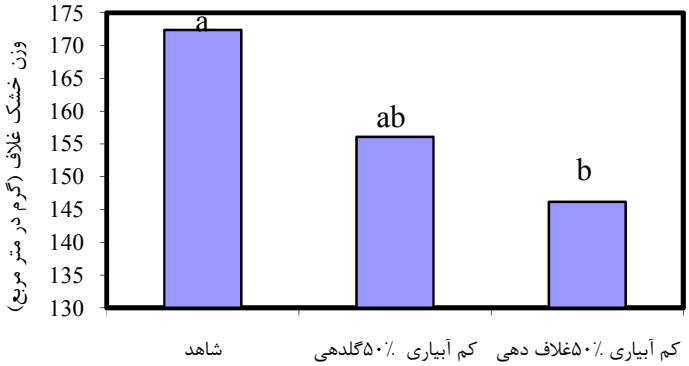
نتایج آزمایش نشان داد، در زمان برداشت (۱۲۰ روز پس از کاشت)، اثر تنش کم آبیاری بر وزن خشک غلاف در متر مربع در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). میانگین نتایج به دست آمده نشان داد، سطوح تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و ۵۰٪ غلاف دهی موجب کاهش وزن خشک غلاف نسبت به شاهد شدند (شکل ۴-۴۰). فیشر و هوگان (۱۹۶۵) عنوان داشتند که اثرات مضر تنش خشکی در مرحله‌ی گلدهی و پر شدن غلاف‌ها با آبیاری مجدد کمتر می‌شود. وقتی گیاهان درمرحله‌ی گلدهی دوباره آبیاری می‌شوند، فعالیت‌های تولید مثلی گیاهان شروع می‌شود. اما بسیاری از غلاف‌ها به دلیل تنش از بین رفته‌اند.

وزن خشک غلاف در متر مربع، تحت تاثیر تلقیح با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم قرار گرفت (جدول پیوست ۹). بوته‌های تلقیح یافته با باکتری وزن خشک غلاف بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۴-۴۱). احتمالاً اختلاف اخیر مربوط به میزان فراهمی نیتروژن و توان تثبیت نیتروژن توسط باکتری همزیست می‌باشد که موجب افزایش وزن خشک غلاف نسبت به شاهد شد.

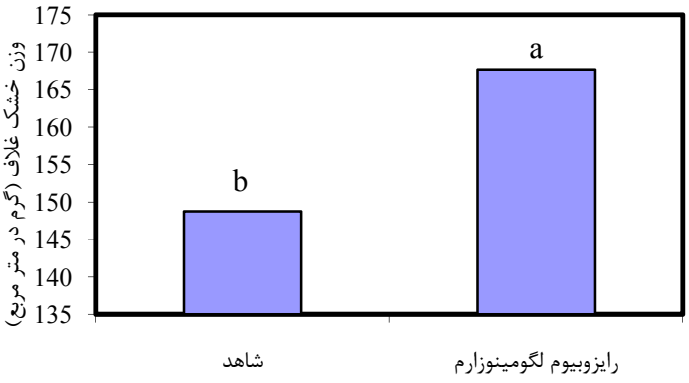
اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک غلاف در متر مربع معنی دار شد (جدول پیوست ۹). ملاحظه می‌شود که با اعمال تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم تلقیح با باکتری کمترین وزن خشک غلاف (۱۴۰/۱۴ گرم در متر مربع) به دست آمد. در حالی که بیشترین وزن خشک غلاف به میزان (۱۸۷/۶۱ گرم در متر مربع) در شرایط عدم تنش و مصرف باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم مشاهده شد. وزن خشک غلاف در بوته‌هایی که تحت تنش قرار گرفته بودند در شرایطی که از باکتری رایزوبیوم استفاده شد بیشتر بود (شکل ۴-۴۲).

باکتری حل کننده‌ی فسفات تاثیر معنی‌دار و مثبتی بر وزن خشک غلاف در متر مربع داشت (جدول پیوست ۹). نتایج مقایسات میانگین نشان داد، تفاوت معنی‌داری میان سطوح مختلف وجود داشت. به

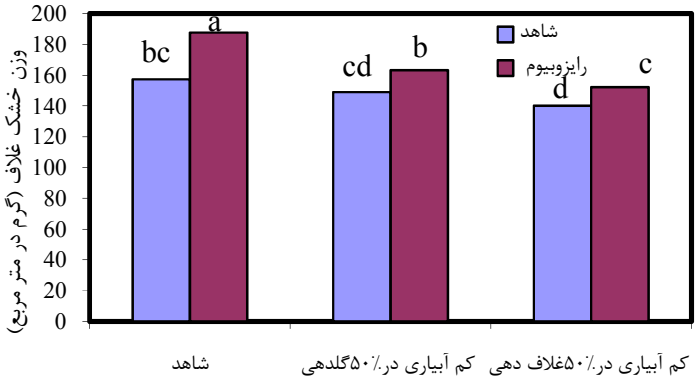
طوری که بیشترین اثر مربوط به تلقیح گیاه با سودوموناس پوتیدا بود و موجب افزایش ۱۸/۸۴ درصدی وزن خشک غلاف نسبت به شاهد شد (شکل ۴-۴۳). سایر اثرات متقابل بر وزن خشک غلاف بی‌تاثیر بودند (جدول پیوست ۹).



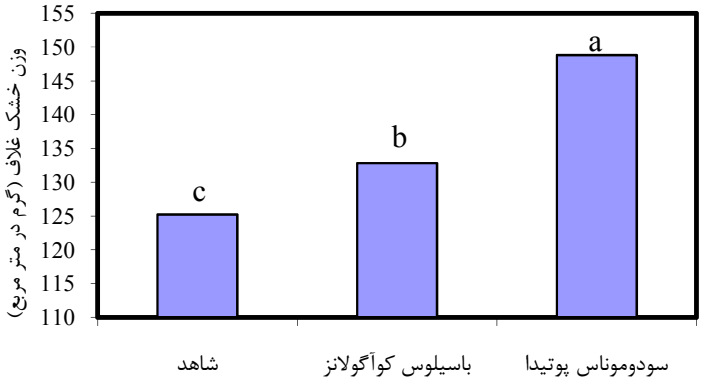
شکل ۴-۴۰- اثر تنش کم آبیاری بر وزن خشک غلاف



شکل ۴-۴۱- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک غلاف



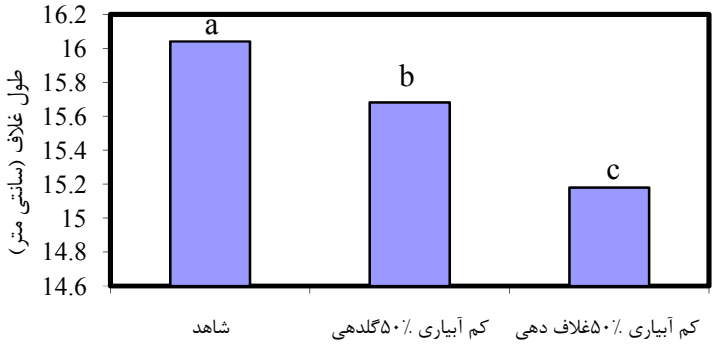
شکل ۴-۴۲- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن خشک غلاف



شکل ۴-۴۳ تاثیر باکتری حل کننده فسفات وزن خشک غلاف

۴-۱۱- طول غلاف

بر اساس نتایج تجزیه واریانس در جدول پیوست ۸، اثر تنش کم آبیاری بر طول غلاف بسیار معنی‌دار شد. طول غلاف در بوته‌های تحت تنش، نسبت به شاهد کوچکتر بود. کوتاه‌ترین نیام مربوط به شرایط تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی (۱۵/۱۷ سانتی متر) و بلندترین نیام مربوط به بوته‌های شاهد (۱۶/۰۴ سانتی متر) بود (شکل ۴-۴۴). هیچ یک از اثرات اصلی دیگر و اثرات متقابل بر طول غلاف معنی‌دار نشدند (جدول پیوست ۹).



شکل ۴-۴۴- تاثیر تنش کم آبیاری بر طول غلاف

۴-۱۲- تعداد دانه در بوته

اثر تنش کم آبیاری بر تعدا دانه بسیار معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). بیشترین تعداد دانه متعلق به عدم تنش بود. تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی منجر به کاهش بیشتر دانه نسبت به کمبود آب در ۵۰٪ غلاف دهی شد (شکل ۴-۴۵).

از دلایل کاهش تعداد دانه به هنگام تنش خشکی می‌توان به کاهش تعداد گل‌ها و کم شدن تعداد گل‌هایی که به دانه تبدیل می‌شوند اشاره نمود. از طرفی می‌دانیم که انتقال مواد از آوند آبکش هم به فتوسنتز، که مواد اصلی را تولید می‌نماید و هم به متابولیسم مخزن وابسته است. تنش خشکی، فتوسنتز و مصرف مواد فتوسنتزی را در برگ‌های در حال رشد و توسعه کاهش می‌دهد. نتیجه این امر این است که خشکی به صورت غیرمستقیم، میزان مواد فتوسنتزی صادر شده از برگ‌ها را کاهش می‌دهد، زیرا انتقال شیره پرورده از آوند آبکش وابسته به پتانسیل آب است. در مواجهه با تنش خشکی، پتانسیل آب در آوند آبکش کاهش یافته و این امر انتقال مواد فتوسنتزی و در نهایت مقدار آسیمیلات های ذخیره‌ای را کاسته و می‌توان گفت که آسیب‌پذیری تشکیل دانه را در شرایط خشکی افزایش می‌دهد (کافی و همکاران، ۱۳۸۲).

تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد دانه بسیار معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). تعداد دانه‌های تلقیح یافته با این باکتری به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافتند (شکل ۴-۴۶).

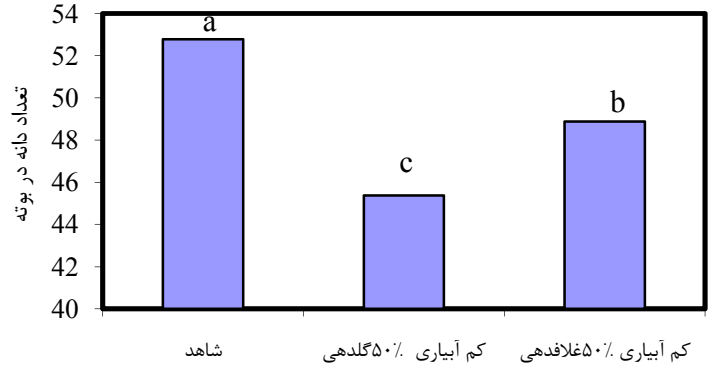
بر طبق نتایج قاسمی پیربلوطی و همکاران (۱۳۸۱)، تعداد دانه در غلاف یکی از اجزای مهم عملکرد دانه بوده که تحت تاثیر تلقیح با باکتری تثبیت کننده‌ی نیتروژن قرار گرفت. بوته‌های تلقیح یافته با باکتری احتمالاً به دلیل فراهمی میزان مناسب نیتروژن گیاه و اثر مثبت آن بر طول دوره پرشدن دانه از طریق افزایش دوام شاخص سطح برگ و تخصیص بیشتر مواد به دانه موجب افزایش وزن دانه شده است (گراهام و رانلی،۱۹۹۷). نتایج تحقیقات نشان داده است که مصرف مایه تلقیح با استفاده از سوش‌های برتر باکتریایی می‌تواند موجب تولید اقتصادی محصول و صرفه‌جویی در مصرف کودهای نیتروژن‌دار گردد و نیز تلقیح باکتریایی با افزایش توان مقابله گیاه در مقابل هجوم بیماری‌های خاکزاد و نداشتن اثرات سوء محیطی به لحاظ آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی گامی مهم در جهت کشاورزی پایدار است (خودشناس و همکاران، ۱۳۸۲).

نتایج آزمایش نشان داد تلقیح گیاه با باکتری حل کننده‌ی فسفات بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). بیشترین تعداد دانه به میزان ۵۴/۴۱ عدد در بوته در شرایطی که بوته‌ها با باکتری سودوموناس پوتیدا تلقیح شده بودند و کمترین تعداد در بوته‌های شاهد (۴۳/۵۸ عدد در بوته) به دست آمد (شکل ۴-۴۷).

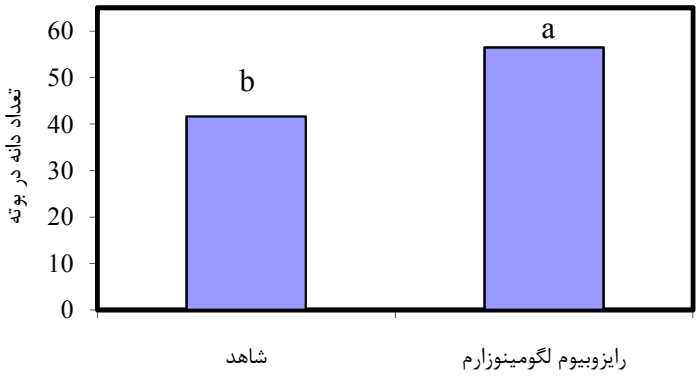
تلقیح توام گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده‌ی فسفات بر تعداد دانه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). میانگین نتایج به دست آمده نشان داد، ترکیب باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و سودوموناس پوتیدا تعداد دانه‌ی بیشتری نسبت به سایر سطوح تولید کرد و شاهد (عدم تلقیح با باکتری‌ها) کمترین تعداد دانه در بوته را دارا بود (شکل ۴-۴۸). بوته‌های تلقیح یافته با باکتری تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات در مجموع تعداد دانه بیشتری نسبت به تلقیح با یک باکتری و یا عدم

تلقیح داشتند. مطالعات زیدی و همکاران (۲۰۰۳) در خصوص اثر رایزوبیوم به همراه میکروارگانیسم‌های حل کننده‌ی فسفات بر نخود نشان داد، عملکرد دانه و کلش در کاربرد ترکیب آن‌ها در مقایسه با تلقیح هر یک از آن‌ها افزایش بیشتری پیدا کرد. در این حالت بیشترین میزان عملکرد نیز در ترکیب *Rhizobium Sp.*، *P. striata* و *G. fasciculatum* حاصل شد. همچنین همراه شدن این قارچ و باکتری‌ها ، گره‌زایی و جذب مواد غذایی را در مقایسه با شاهد در نخود افزایش داد. این افزایش ناشی از اثرات تجمعی ریز موجودات شامل تعادل در جذب عناصر غذایی، به ویژه افزایش جذب N و P و ترشح مواد محرک رشد گزارش شده است.

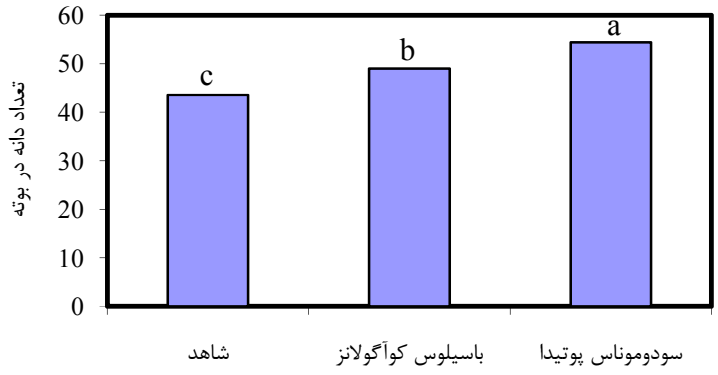
اثر متقابل تنش کم آبیاری × باکتری رایزوبیوم لگومینوارم، تنش کم آبیاری × باکتری حل کننده فسفات و اثر متقابل سه گانه عوامل آزمایش بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار نبود.



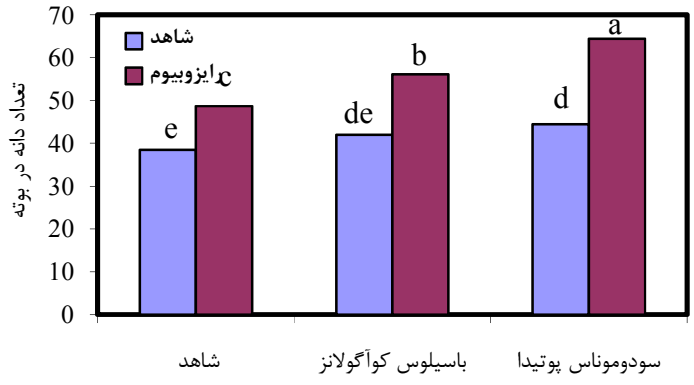
شکل ۴-۴۵- اثر تنش کم آبیاری بر تعداد دانه



شکل ۴-۴۶- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر تعداد دانه



شکل ۴-۴۷- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد دانه



شکل ۴-۴۸- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات بر تعداد دانه

۴-۱۳- عملکرد دانه در متر مربع

عملکرد دانه تحت تاثیر تنش کم آبیاری قرار گرفت (جدول پیوست ۹). بررسی عملکرد دانـه در زمـان برداشت نشان داد، عملکرد دانه در متر مربع در شرایط تـنش کـم آبیـاری در ۵۰٪ غـلاف دهـی کـاهش شدیدی پیدا کرد. در شرایط کمبود آب در ۵۰٪ غلاف دهی عملکرد ۲۳/۰۴ درصد کمتر از شاهد بود. بـه علت اعمال تنش در ۵۰٪ گلدهی، تعدادی از گل‌ها برای حفظ بقا و تحمل تنش در گیاه ریزش یافته و در نتیجه تعداد غلاف کمتری تشکیل شد. از سویی تنش در ۵۰٪ غلاف دهی سبب کمتـر و کـوچکتر شـدن تعداد و وزن دانه شد. در مجموع این عوامل موجب کاهش عملکرد نسبت به شرایط عدم تنش مـی‌شـوند (شکل ۴-۴۹). هنگامی که پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد، غلظت ABA در برگ‌هـا افـزایش مـی‌یابـد. هدایت روزنه‌ای به علت کمبود پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد. افـزایش ABA در گیاهـان بـه ویـژه در ریشه‌ها به میزان رطوبت خاک بستگی دارد. هنگـامی کـه گیاهـان بـا یـک دوره تـنش خشـکی مواجهـه می‌شوند، بیوسنتز ABA در ریشه‌ها افزایش یافته و از طریق آوند چوبی بـه انـدام‌هـای هـوایی منتقـل و موجب بسته شدن روزنه‌ها می‌گردند. این هورمون بر هدایت آب در سلول‌های گیاهی و رشد ریشه‌ها تاثیر گذار است. بسته شدن روزنه‌ها میزان فتوسنتز گیاه را تحت تاثیر قرار داده و کاهش تولید در گیاه را منجر می‌شوند. حال اگر این تنش در دوران گلدهی و غلاف بندی در گیاه صورت گیرد، بـر محصـول گیـاه اثـر گذاشته و موجب کاهش عملکرد در گیاه می‌گردد (گوماس و همکاران، ۲۰۰۴). رضائی و کامگـار حقیقـی (۱۳۵۷) در منطقه‌ی باجگاه واقع در شمال شرقی شیراز با ۱۸۱۰ متر ارتفاع از سطح دریـا، بـا توجـه بـه مسئله مدیریت مزرعه و امکان کمبود آب در دوره داشت محصول لوبیا چشم بلبلی، تاثیر تنش رطوبتی بر عملکرد لوبیا چشم بلبلی و تعیین ضریب حساسیت نسبی گیاه به تنش رطوبتی را بررسی کردنـد. نتـایج آنها نشان داد که تنش رطوبتی در مرحله‌ی گلدهی، غلاف دهی و پرکردن غلاف باعث کاهش وزن دانه به میزان ۲۵٪ شد. به علاوه تنش رطوبتی موجب کوچک شدن و چروکیدگی دانه لوبیا شد. مائور و همکاران

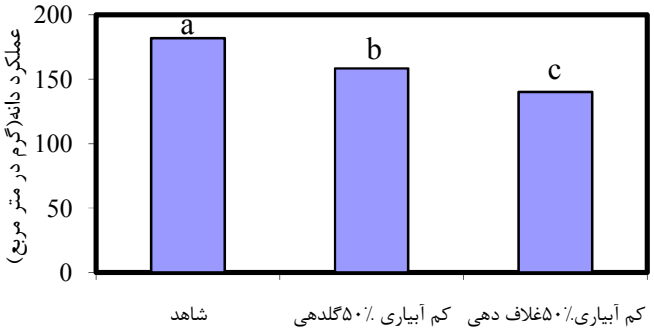
(۱۹۷۶) عنوان داشتند زمانی که کمبود آب در مرحله گلدهی و غلاف بندی رخ دهد، عملکرد کاهش می‌یابد. لوبیا به شرایط آب و خاک و کیفیت آن حساس بوده و عملکرد آن حتی از دوره‌های کوتاه کمبود آب صدمه می‌بیند و صدمه حاصل از خشکی و مصرف آن با سن گیاه افزایش می‌یابد. آنها به طور کلی کم آبیاری را از مرحله‌ی گلدهی تا دانه‌بندی در کاهش محصول دانه مهم گزارش نموده‌اند.

در این بررسی اثر باکتری تثبیت کننده نیتروژن بر عملکرد دانه بسیار معنی‌دار شد (جدول پیوست ۹). بوته‌های تلقیح یافته، ۱۱/۸۱ درصد عملکرد بیشتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند (شکل۴-۵۰). تغییرات در عملکرد احتمالاً مربوط به اختلاف در میزان توان تثبیت نیتروژن و فراهمی نیتروژن برای گیاه توسط سویه‌های مختلف باکتری می‌باشد (هانگریا و همکاران، ۲۰۰۰).

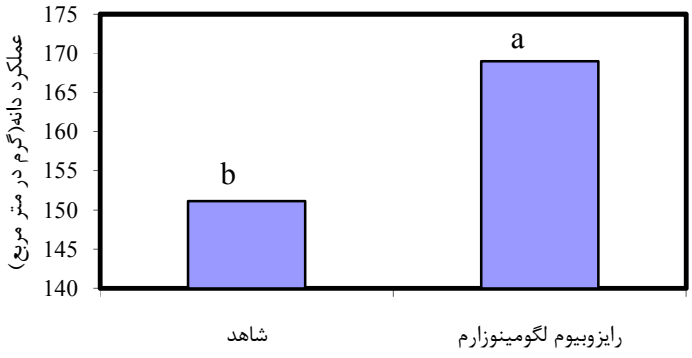
اثر باکتری‌های حل کننده فسفات بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ضمیمه ۹). بیشترین عملکرد به میزان ۱۷۲/۹۷ گرم در متر مربع در بوته‌های تلقیح یافته با باکتری سودوموناس پوتیدا و کمترین عملکرد به میزان ۱۴۵/۴۵ گرم در متر مربع در بوته‌های تلقیح نیافته (شاهد) مشاهده شد (شکل ۴-۵۱). باکتری‌های PGPR از طریق تغییر در فیزیولوژی و مورفولوژی ریشه گیاهان تلقیح شده، موجب افزایش جذب عناصر و رشد بیشتر گیاهان می‌شوند. اثرات تشدید کننده‌ی رشد گیاهانی که با باکتری رایزوبیوم تلقیح شده‌اند، به دلیل تولید فیتوهورمون، محدود شدن رشد، قارچ‌های پاتوژن، تثبیت نیتروژن مولکولی افزایش کارآیی منابع نیتروژن‌دار و سایر عناصر دیگر، تولید و ترشح سیدروفورها و ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های محیطی بوده‌اند (حمیدی و همکاران، ۱۳۸۴).

تلقیح توام لوبیا چشم بلبلی با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده‌ی فسفات نیز بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول پیوست ۹). میانگین نتایج به دست آمده نشان داد، ترکیب دو باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و سودوموناس پوتیدا با تولید ۱۸۴/۴۶ گرم در متر مربع عملکرد در راس قرار گرفته و به دنبال آن بوته‌های تلقیح نیافته با باکتری‌ها به عنوان شاهد (۱۳۹/۲۶ گرم در متر مربع) از کمترین میزان

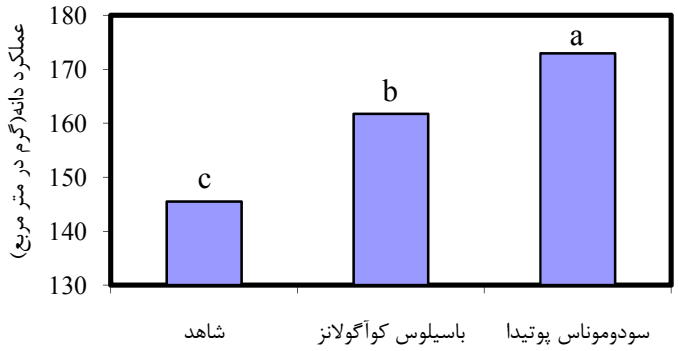
عملکرد برخوردار بودند. نتایج نشان داد مصرف توام این باکتری‌ها به دلیل روابط سینرژیستی سبب افزایش تعداد دانه و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه شدند (شکل ۴-۵۲). طبق نتایج راثی پور و علی اصغرزاده (۱۳۸۶) تلقیح توام باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات و برادی رایزوبیوم در سویا موجب افزایش درصد فسفر و نیتروژن بخش هوایی گیاه و افزایش در عملکرد دانه نسبت به سایر تیمارها گردید. با توجه به اهمیت موضوع، به نظر می‌رسد شناسایی این میکروارگانیسم‌ها و به کارگیری آنها در تامین فسفر گیاهان از منابع نامحلول در خاک، کاملاً ضروری است. در مطالعه اثر انواع کودهای زیستی بر ارقام گندم مشخص شد، تلقیح با Azospirillum و Azorhizobium و ترکیب این باکتری‌ها عملکرد دانه را در رقم Sakha8 به ترتیب ۵۳/۴، ۲۷/۹، ۲۹/۶٪ در مقایسه با شاهد افزایش داد. این افزایش عملکرد در رقم Side1 به ترتیب ۵۵/۶، ۳۷/۱ و ۴۲/۵٪ نسبت به شاهد بود (الهواری و همکاران، ۲۰۰۲). تلقیح توام سویه‌های از *Psedomunas. striata*، *Bacillus. polymyxa* و *Arbascular. brasilense* موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه، میزان تولید ماده خشک و جذب N و P در سورگوم شد (الجوادی و گائور، ۱۹۹۲). دیگر اثرات متقابل در این آزمایش بر عملکرد دانه معنی‌دار نشدند (جدول پیوست ۹).



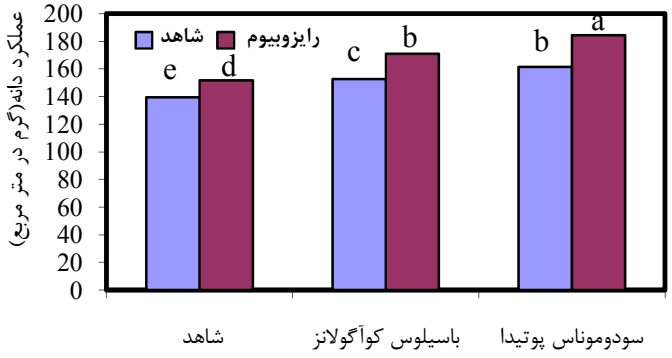
شکل ۴-۴۹- تاثیر تنش کم آبیاری بر عملکرد



شکل ۴-۵۰- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر عملکرد



شکل۴-۵۱- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد



شکل ۴-۵۲- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد

۴-۱۴- وزن صد دانه

جدول پیوست ۹، نتایج تجزیه واریانس وزن صد دانه را نشان می‌دهد. اثر تنش کم آبیاری بر وزن صد دانه در سطح اطمینان ۱ درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج، در هر دو شرایط تنش وزن صد دانه رو به کاهش نهاد. با این تفاوت که در شرایط کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی به دلیل عدم موثر انتقال مواد به غلاف‌ها و دانه‌ها، وزن صد دانه نسبت به کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی کمتر بود (شکل ۴-۵۳). جنوبی و دانشیان (۱۳۸۵)، طی پژوهشی روی سویا اظهار داشتند، بعد از رفع تنش کم آبی، در شرایط وجود فرصت کافی برای رشد، گیاه با توسعه اجزای رویشی، وزن هزار دانه را افزایش داده و کاهش تعداد دانه در گیاه را جبران می‌کند. به این جهت با اختصاص مواد بیشتر برای تولید اندام‌های فعال فتوسنتز کننده نسبت به بافت‌های ساختمانی، مواد فتوسنتزی بیشتری تولید نموده و به مقصدها انتقال می‌دهد. بنابراین اعمال تنش در این مرحله تاثیر چندانی بر گیاه نداشت. اما در شرایط اعمال تنش در زمان تشکیل غلاف، گیاه به اواخر رشد رویشی خود نزدیک گردید. بنابراین وقوع تنش موجب کاهش قابل توجه فعالیت فتوسنتز شده و بعد از رفع تنش، فرصتی برای گیاه باقی نمانده تا به افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی بپردازد، در نتیجه وزن هزار دانه کاهش یافت. در واقع وقوع تنش در مرحله نمو دانه که مصادف با مرحله انتقال مواد ذخیره‌ای به دانه می‌باشد، منجر به کاهش سرعت انتقال مواد به دانه می‌شود. در پایان گلدهی، ریزش برگ‌های پایین جامعه گیاهی آغاز می‌گردد و به دلیل عدم وجود رطوبت کافی، ساقه‌ها و برگ‌ها قادر به انتقال مناسب مواد فتوسنتزی نیستند. رفع تنش در انتهای فصل نیز فقط می‌تواند قسمتی از مواد ذخیره‌ای که در اندام‌های رویشی انباشته می‌شود را به دانه منتقل نماید.

باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم تاثیر بسیار معنی‌داری بر وزن صد دانه داشت (جدول پیوست ۹). به طوری که بوته‌های تلقیح یافته با این باکتری وزن صد دانه‌ی بیشتری نسبت به شاهد داشت (شکل ۴-۵۴).

همچنین نتایج نشان داد وزن صد دانه تحت تاثیر تلقیح با باکتری حل کننده فسفات قرار گرفت (جدول پیوست ۹). به طوری که باکتری سودوموناس پوتیدا موجب ۸/۶۱ درصد افزایش در وزن صد دانه نسبت به شاهد شد (شکل ۴-۵۵).

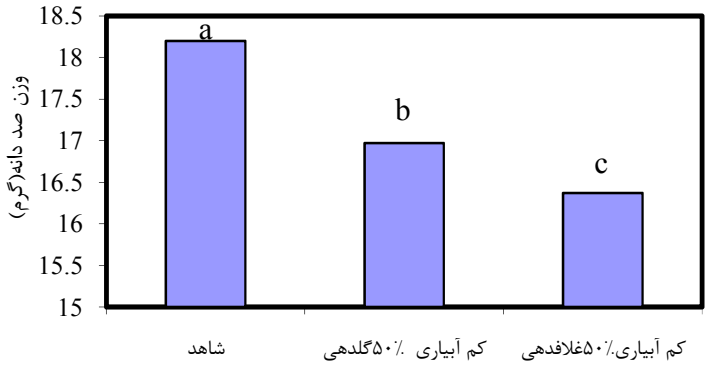
اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن صد دانه معنی دار بود (جدول پیوست ۹). بیشترین وزن صد دانه به میزان ۱۸/۷۹ گرم در تیمار عدم تنش و تلقیح با باکتری و کمترین وزن صد دانه به میزان ۱۶/۰۵ در شرایط کمبود آب در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم تلقیح با باکتری مشاهده شد. در مجموع نتایج نشان داد استفاده از این باکتری تا حدی سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش بر عملکرد گیاه می‌گردد (شکل ۴-۵۶).

اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده‌ی فسفات بر وزن صد دانه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). بیشترین وزن صد دانه در شرایطی به دست آمد که هیچ گونه تنشی به گیاه وارد نشده و با باکتری سودوموناس پوتیدا همزیست بود. کمبود آب در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم مصرف باکتری بیشترین تاثیر منفی را بر وزن صد دانه اعمال کرد (شکل ۴-۵۷).

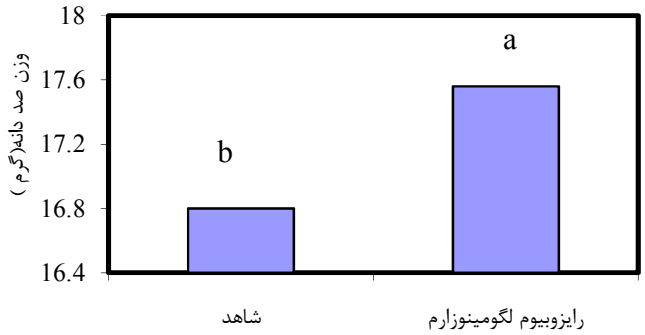
نتایج نشان داد وزن صد دانه به طور معنی داری تحت تاثیر تلقیح توام باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و باکتری حل کننده فسفات قرار گرفت (جدول پیوست ۹). متوسط وزن صد دانه در زمان برداشت برای ترکیب تیماری باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و سودوموناس برابر ۱۸/۴۸ گرم و برای شاهد ۱۶/۱۶ گرم بود. یعنی بیشترین میزان در شرایط تلقیح دو باکتری به دست آمد (شکل ۴-۵۸)

ویکرام (۲۰۰۷)، تاثیر تلقیح سورگوم با باکتری حل کننده‌ی فسفات بر میزان تجمع فسفر در دانه و عملکرد و در نتیجه انحلال فسفات‌های غیر آلی و تولید مقادیر قابل توجهی از IAA و GA گزارش کرد. تلقیح بذور با *Rhizobium meliloti* همراه با فسفوریت مقدار نیتروژن و فسفر را در اندام‌های مختلف سبز در مقایسه با شاهد افزایش داد و موجب افزایش عملکرد در گیاه شد (اگامبردیور و همکاران، ۲۰۰۳).

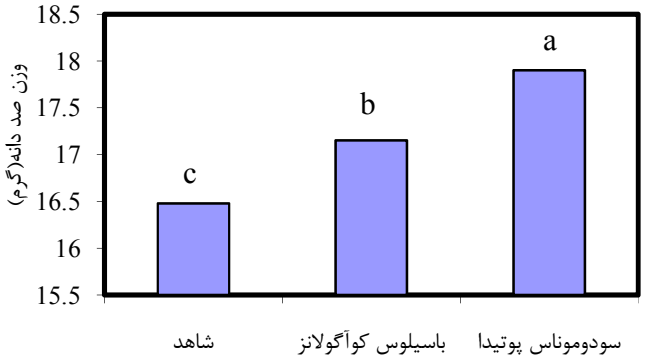
اثر متقابل تنش × باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم × حل کننده فسفات بر وزن صد دانه معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۹).



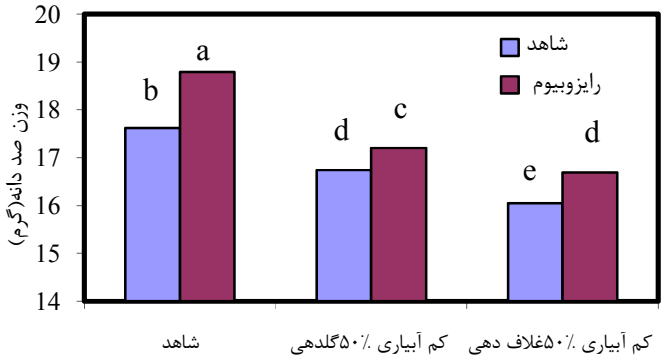
شکل ۴-۵۳- اثر تنش کم آبیاری بر وزن صد دانه



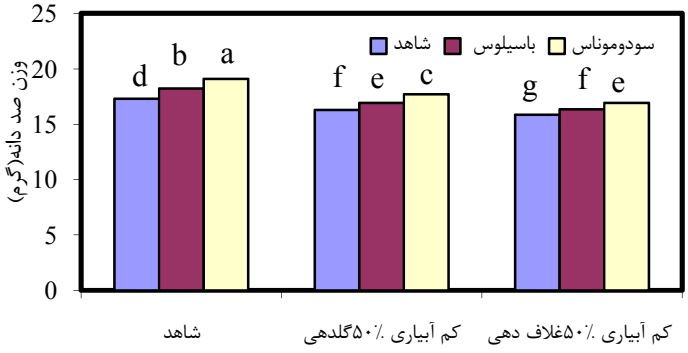
شکل ۴-۵۴- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن صد دانه



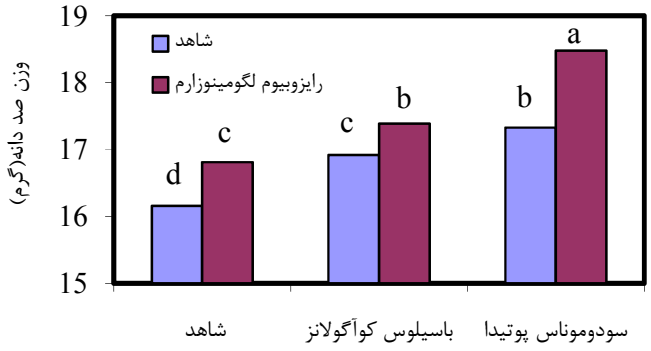
شکل ۴-۵۵- اثر باکتری حل کننده فسفات بر وزن صد دانه



شکل ۴-۵۶- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر وزن صد دانه



شکل ۴-۵۷- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات بر وزن صد دانه



شکل ۴-۵۸- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات بر وزن صد دانه

۴-۱۵- عملکرد بیولوژیک

جدول پیوست ۹ نتایج تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک را در ۱۲۰ روز پس از کاشت نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، اثر تنش کم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. کمترین عملکرد در شرایطی به دست آمد که گیاه با کمبود آب در ۵۰٪ غلاف دهی مواجه شد هر چند تفاوت معنی‌داری میان دو سطح تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و غلاف دهی مشاهده نشد (شکل ۴-۵۹).

تلقیح گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم تاثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت. به طوری که عملکرد در مقایسه با شاهد افزایش ۱۱/۸۳ درصدی نشان داد (شکل ۴-۶۰).

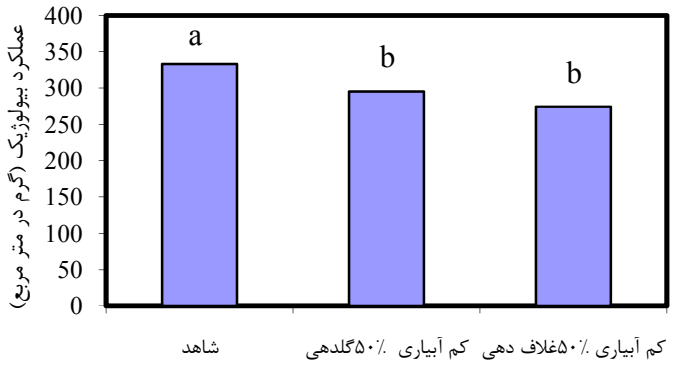
اثر باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد بیولوژیک بسیار معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). باکتری سودوموناس پوتیدا موجب افزایش این صفت نسبت به شاهد شد و اختلاف معنی‌داری میان سطوح مختلف عامل مورد بررسی مشاهده شد (شکل ۴-۶۱).

اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). در این شرایط کمترین عملکرد در واحد سطح در تیمار کمبود آب در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم

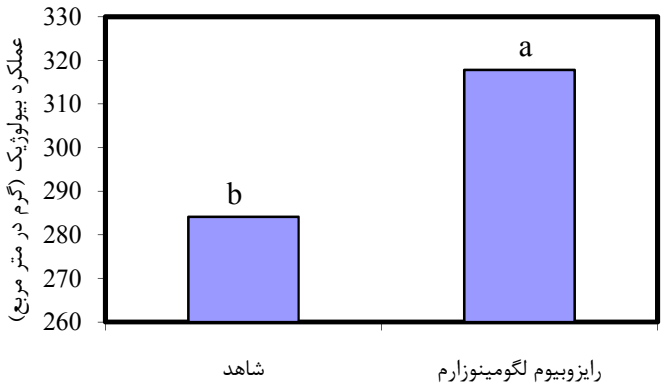
مصرف باکتری مشاهده شد که عملکرد را در مقایسه با شرایط عدم تنش و تلقیح با باکتری به عنوان بهترین تیمار ۲۸/۴۷ درصد کاهش داد (شکل ۴-۶۲).

تلقیح توام گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده‌ی فسفات بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول پیوست ۹). میانگین نتایج بدست آمده نشان داد، تیمار باکتری رایزوبیوم و سودوموناس پوتیدا موجب افزایش ۳۴/۳ درصدی به شاهد شد. بوته‌های تلقیح یافته با باکتری عملکرد بیولوژیک بیشتری نسبت به شاهد (تیمار تلقیح نیافته) نشان دادند (شکل ۴-۶۳).

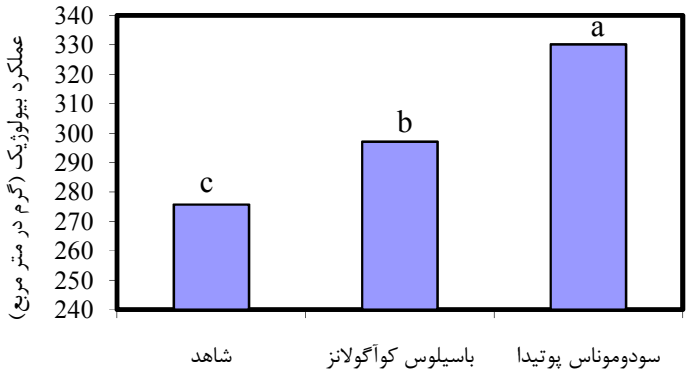
اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده‌ی فسفات و اثر متقابل سه گانه‌ی عوامل آزمایش بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۹).



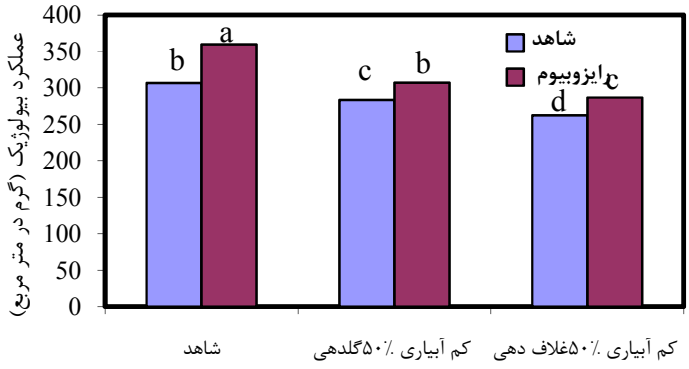
شکل ۴-۵۹- اثر تنش کم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک



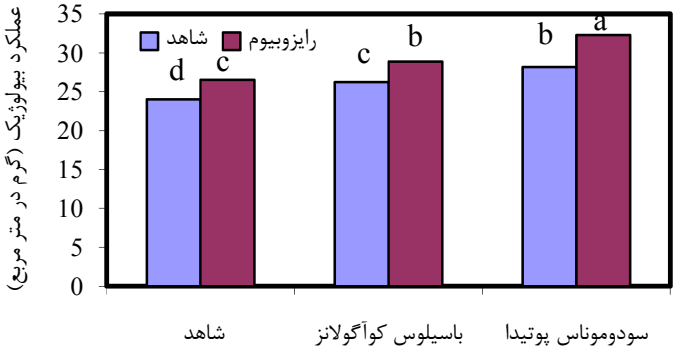
شکل ۴-۶۰- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر عملکرد بیولوژیک



شکل ۴-۶۱- اثر باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد بیولوژیک



شکل ۴-۶۲- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر عملکرد بیولوژیک

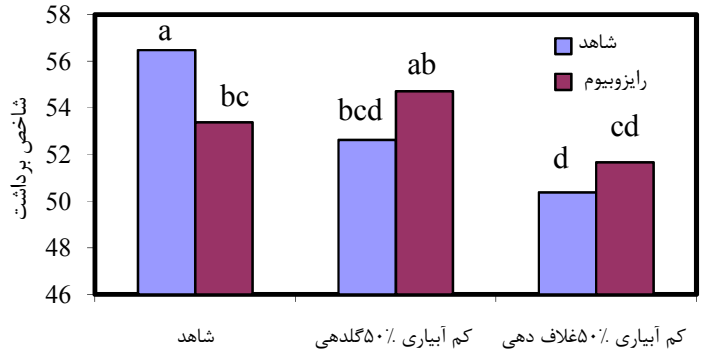


شکل ۴-۶۳- اثر متقابل باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم و باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد بیولوژیک

۴-۱۶- شاخص برداشت

در این بررسی اثرات اصلی تنش کم آبیاری و باکتری تثبیت کننده نیتروژن، باکتری حل کننده فسفات و اثرات متقابل تنش کم آبیاری و باکتری حل کننده فسفات، تلقیح توام دو باکتری و اثر متقابل سه عامل آزمایش بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول پیوست ۹).

بر اساس نتایج جدول پیوست ۹، اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر شاخص برداشت معنی‌دار بود ($P< ۰/۰۵$). بیشترین شاخص برداشت در شرایط عدم تنش و تلقیح با باکتری به دست آمد. در حالی که کمترین شاخص برداشت مربوط به وقوع تنش در ۵۰٪ غلاف دهی و عدم مصرف باکتری بود (شکل ۴-۶۴).



شکل ۴-۶۴- اثر متقابل تنش کم آبیاری و باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر شاخص برداشت

۴-۱۷- شاخص سطح برگ (LAI)

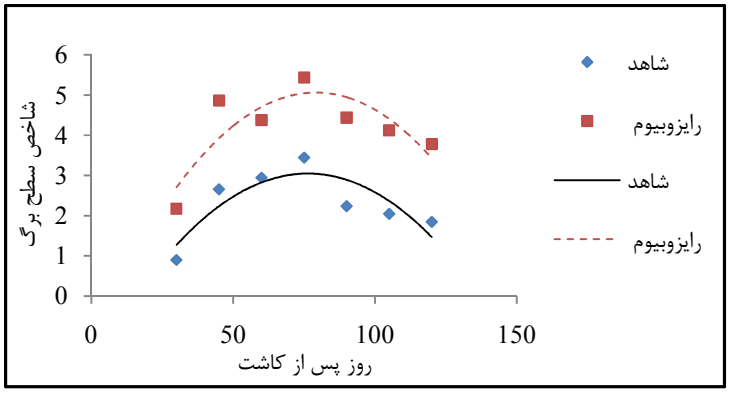
میزان افزایش سطح برگ تعیین کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است. به این ترتیب با تغییر در سطح برگ که تحت تاثیر ژنوتیپ، تراکم بوته، آب و هوا و حاصلخیزی خاک قرار دارد، عملکرد گیاه نیز متفاوت است (باویک و باویک، ۲۰۰۲).

از آنجا که سطح برگ در مراحل اولیه کم است، لذا مقدار قابل توجهی از انرژی خورشیدی تا مدت چند هفته جذب نخواهد شد.

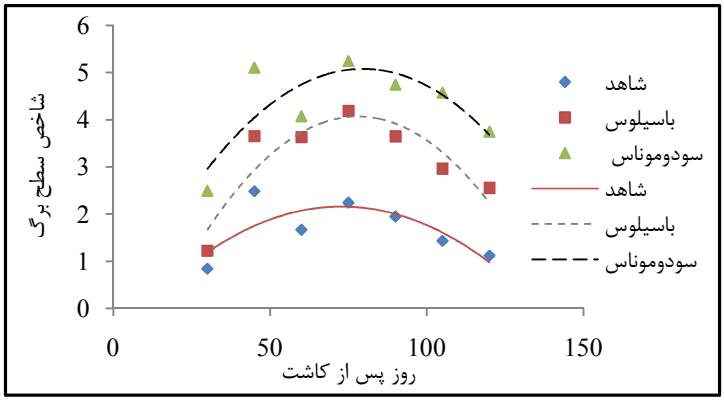
تغییرات شاخص سطح برگ تحت تاثیر تلقیح بوته‌ها با باکتری تثبیت کننده نیتروژن در شکل ۴-۶۵ نشان داده شده است. این باکتری تاثیر قابل توجهی بر روند شاخص سطح برگ نسبت به شاهد گذاشت. با گذشت ۳۰ روز پس از کاشت گیاهان به تلقیح با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم پاسخ داده و مقدار LAI در بوته‌های تلقیح یافته بیشتر از شاهد بود. حداکثر میزان شاخص سطح برگ در ۷۵ روز پس از کاشت بدست آمد. در انتهای فصل رشد، شاخص سطح برگ کاهش یافت (شکل ۴-۶۶ و جدول پیوست ۱۰).

روند تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ برگ به کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات نشان داد که این باکتری‌ها موجب افزایش میزان LAI بوته‌های تلقیح یافته شدند (شکل ۴-۶۶). با استقرار باکتری‌ها

در خاک و تطابق با شرایط محیطی میزان تاثیر آنها بر شاخص سطح برگ در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد. حداکثر میزان LAI در ۷۵ روز پس از کاشت و از تلقیح با سودوموناس پوتیدا به میزان ۵/۲۵۱ حاصل شد (جدول پیوست ۱۰). مطالعات نشان می‌دهد که حفظ سطح فتوسنتزی برگ، همزمان با مرحله پر شدن دانه‌ها می‌تواند بر عملکرد تاثیر مستقیمی داشته و مقدار آن را افزایش دهد (جنتر و همکاران، ۱۹۷۰).



شکل ۴-۶۵- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر شاخص سطح برگ



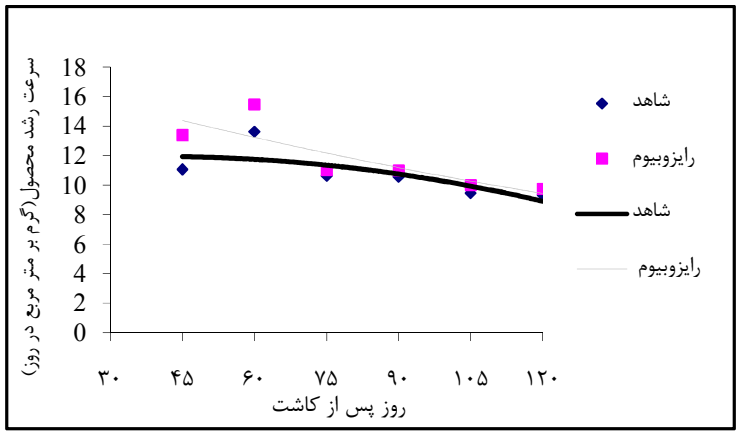
شکل ۴-۶۶- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر شاخص سطح برگ

۴-۱۸- سرعت رشد محصول (CGR)

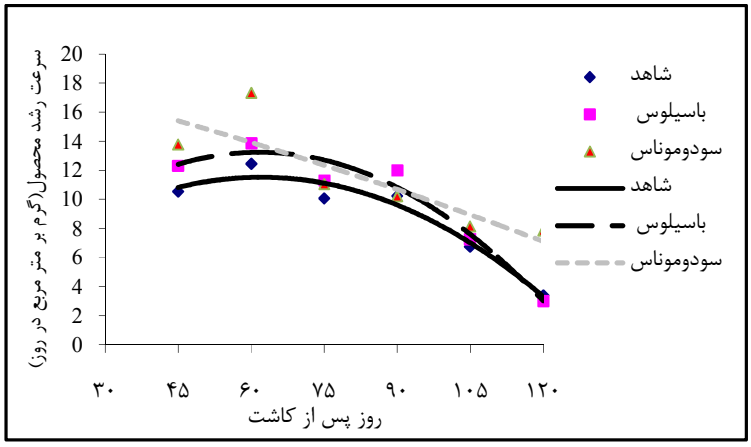
بررسی تغییرات CGR در طول دوره رشد لوبیا نشان داد، در مراحل ابتدایی رشد مقدار سرعت رشد محصول پایین بود. کامل نبودن پوشش گیاهی و جذب درصد کمی از نور خورشید، عامل اصلی پایین بودن سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد است.

در نتیجه تلقیح با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم میزان CGR بیشتراز شاهد بود. بیشترین مقدار سرعت رشد محصول در ۴۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت به میزان ۱۵/۴۸ گرم بر متر مربع در روز در تیمار باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم به دست آمد (شکل ۴-۶۷).

سرعت رشد محصول در پاسخ به تلقیح با باکتری حل کننده فسفات در شکل ۴-۶۸ نشان داده شده است. در ۳۰ تا ۴۵ روز پس از کاشت، CGR تحت تاثیر کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا و باسیلوس کوآگولانز قرار گرفت (جدول پیوست ۱۱). تاثیر باکتری سودوموناس پوتیدا نسبت به باکتری باسیلوس بیشتر بود. در ۴۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت بیشترین میزان CGR در تیمار تلقیح یافته با سودوموناس پوتیدا بدست آمد. در طول دوه رشد و نمو گیاه و توسعه سطح برگ، سرعت رشد محصول افزایش یافت. در این بررسی پس از رسیدن CGR به حد نهایی خود مقدار آن به تدریج کاهش یافت.



شکل ۴-۶۷- تاثیر باکتری رازوبیوم لگومینوزارم بر سرعت رشد محصول

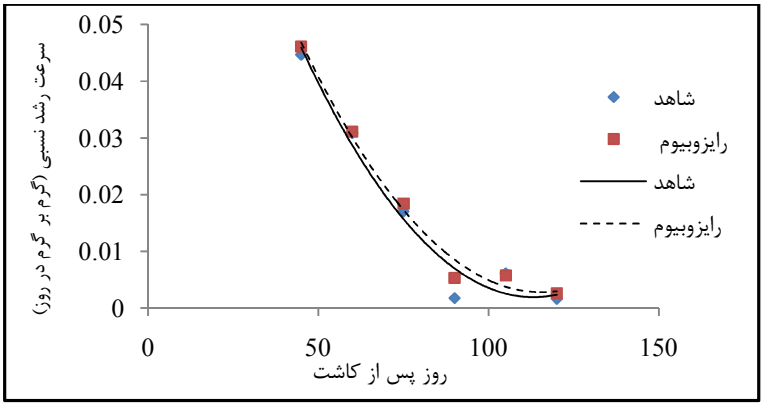


شکل ۴-۶۸- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر سرعت رشد محصول

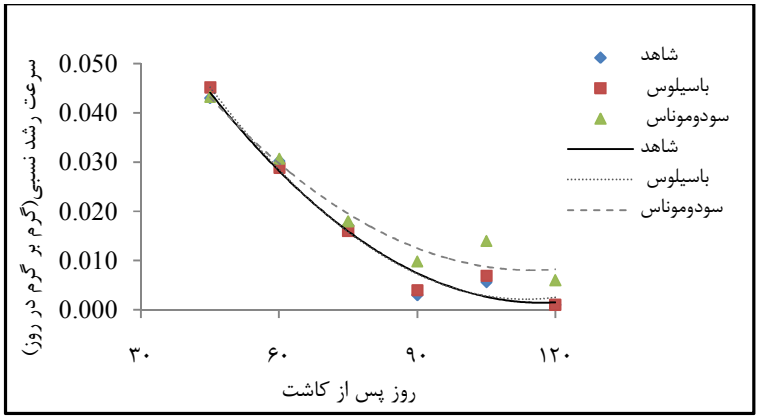
۴-۱۹- سرعت رشد نسبی (RGR)

میزان سرعت رشد نسبی پس از جوانه زنی به کندی آغاز شده و متعاقب آن به سرعت افزایش می‌یابد. به این ترتیب در اولین نمونه‌برداری (۳۰ تا ۴۵ روز پس از کاشت)، مقدار RGR در بالاترین حد خود قرار داشت. با گذشت زمان و رشد بیشتر گیاه مقدار سرعت رشد نسبی کند شد و کاهش پیدا نمود . سرعت رشد نسبی در پاسخ به تلقیح با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم افزایش بیشتری نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۴-۶۹). تلقیح گیاه با باکتری حل کننده فسفات نیز موجب افزایش RGR نسبت به شاهد گردید. در این میان باکتری سودوموناس پوتیدا اثر افزایشی خود را از ۹۰ روز پس از کاشت نشان داد (شکل ۴-۷۰).

کاهش در سرعت رشد نسبی در طول فصل رشد را به این دلیل دانسته‌اند که بافت‌های افزوده شده به گیاه بیشتر از نوع ساختاری بوده و بنابراین جز بافت‌های فعال در فتوسنتز به شمار نمی‌آیند و سهمی در رشد ندارند، علاوه بر این در سایه قرار گرفتن و افزایش سن برگ‌های پایینی نیز در کاهش RGR در طی فصل رشد موثر می‌باشند (عزیزی، ۱۳۷۲).



شکل ۴-۶۹- تاثیر باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم بر سرعت رشد نسبی



شکل ۴-۷۰- تاثیر باکتری حل کننده فسفات بر سرعت رشد نسبی

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق به طور خلاصه شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. تنش کم آبیاری موجب کاهش وزن خشک کل بوته، برگ و ساقه، ارتفاع بوته، فاصله اولین غلاف از سطح خاک، تعداد گره، وزن تر و خشک گره، تعداد و وزن خشک غلاف، تعداد و وزن دانه و صد دانه گردید.

۲. در تمامی این موارد به استثنای تعداد دانه، تنش کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی موجب کاهش بیشتری نسبت به تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی شد.

۳. تعداد دانه تحت تاثیر نامطلوب تنش کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی واقع شد.

۴. تلقیح گیاه با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم موجب افزایش صفات نامبرده نسبت به شاهد شد.

۵. باکتری حل کننده فسفات موجب افزایش صفات نامبرده گردید که از دو باکتری باسیلوس کوآگولانز و سودوموناس پوتیدا، سودوموناس پوتیدا تاثیر افزاینده‌ای اعمال کرد.

۶. باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم باعث افزایش شاخص‌های رشد گردید.

۷. تلقیح گیاه با باکتری حل کننده فسفات باعث افزایش LAI ، CGR و RGR گردید. در این بین سودوموناس پوتیدا افزایش بیشتری نشان داد.

۸. تلقیح توام باکتری تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات موجب افزایش وزن خشک کل بوته و ساقه، فاصله اولین غلاف از سطح خاک، وزن صد دانه، تعداد دانه و عملکرد بیولوژیک شد. تیمار ترکیبی باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و سودوموناس پوتیدا نسبت به سایر تیمارها تاثیر بیشتری اعمال کرد.

۹. تلقیح گیاه با این باکتری‌ها باعث کاهش اثرات نامطلوب تنش کم آبیاری بر رشد لوبیا چشم بلبلی شد.

پیشنهادها

این تحقیق در یک سال زراعی، یک مکان و روی یک رقم صورت گرفت و به این دلیل موارد زیر برای دست یافتن به نتایج تکمیلی پیشنهاد می‌گردد:

۱. تکرار این آزمایش در شرایط مشابه و نیز در مناطق مختلف و با تنش‌های مختلف می‌تواند مفید باشد.

۲. عکس‌العمل ارقام بیشتری از لوبیا چشم بلبلی نسبت به تلقیح با باکتری تثبیت کننده نیتروژن مورد آزمون قرار گیرد.

۳. استفاده از سویه‌های مختلف باکتری حل کننده فسفات بر لوبیا چشم بلبلی به منظور انتخاب مفیدترین سویه برای یک منطقه (به طور مثال بسطام)

۴. مطالعات گسترده‌تر در مورد اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر روی دیگر گیاهان زراعی به ویژه حبوبات

۵. تحقیق بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی باکتری‌های مورد آزمایش و تعیین ارتباط آنها با ویژگی‌های رشدی گیاه میزبان

۶. بررسی اثرات متقابل باکتری‌ها و ریزموجودات خاکزی برای شناسایی بهترین ترکیب

۷. در این پژوهش آب به عنوان عامل محدود کننده‌ی رشد عملکرد گیاه بود، پیشنهاد می‌شود، تاثیر باکتری‌های محرک رشد در مهار سایر تنش‌های زیستی و غیر زیستی مطالعه گردد.

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک کل بوته تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییییر	درجه آزادی	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۱/۶۵	۱۷/۶۱	۲۶/۲۲	۲۷/۵۹	۶/۳۵
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۳۳/۱**	۶۰/۴۲**	۱۵/۸۳	۱۷۲/۷۳**	۱۰/۱۱
باکتری حل کننده فسفات	۲	۱۴/۰۸**	۴۸/۵۷**	۱۹۱/۵۶*	۷۶/۰۸*	۴۴۶/۱۲**
رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۲	۱/۴۴	۳/۱۳	۲/۴۷	۵/۹۲	۳/۶
خطا	۱۰	۰/۷۳	۵/۲۵	۴۰/۷۲	۱۶/۴۱	۱۰/۸۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۸۷	۱۲/۷۲	۲۰/۴۸	۱۲/۷۱	۷/۷۲

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۲- میانگین مربعات وزن خشک برگ تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۶۵۹	۸/۴۸**	۳/۹۲	۱۴/۰۳	۴/۶۱
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۱۵/۴۳**	۱۴/۰۴**	۱۳/۳۶	۴۲/۵۹**	۱/۸۵
باکتری حل کننده فسفات	۲	۵/۹۳**	۱۲/۳۶**	۲۱/۲۵	۲۰/۶۳*	۴۱/۴۵
رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۲	۰/۹۲۶	۰/۲۷۵	۲/۲۸	۱/۰۸	۱/۰۲
خطا	۱۰	۰/۲۶۳	۰/۹۳۹	۸/۸۹	۳/۹۵	۲/۱۳
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۲۵	۱۰/۷۶	۲۲/۸	۱۶/۳۶	۱۶/۸

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات وزن خشک ساقه تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۲۳۵	۱/۶۶	۱۳/۴۷	۹/۴۸	۴/۳۷
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۳/۰۱**	۱۶/۲	۰/۱۰۴	۴۳/۷۷*	۰/۳۴
باکتری حل کننده فسفات	۲	۱/۷۳**	۱۲/۰۱	۸۵/۲۴*	۲۱/۸۸	۱۱۱/۳۹**
رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۲	۰/۵۴۷	۲/۴	۰/۰۴۴	۱/۹۴	۴/۸۱
خطا	۱۰	۰/۱۹	۳/۳۸	۱۸/۷۴	۸/۱۶	۸/۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۵۱	۲۰/۴۱	۲۳/۹۵	۱۴/۴۸	۱۱/۰۶

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۴- میانگین مربعات تعداد گره تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۳/۳۸	۱۳/۷۲	۱۳/۳۸	۲۴/۵
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۱۵۶/۰۵**	۱۹۳/۳۸**	۲۰۶/۷۲**	۱۰/۸۸
باکتری حل کننده فسفات	۲	۱۳۰/۸۸**	۲۳۶/۷۲**	۷۱/۷۲*	۴۴۴/۵**
رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۲	۶/۸۸	۳/۷۲	۷/۰۵	۳۰/۳۸
خطا	۱۰	۶/۷۲	۵/۹۸	۹/۵۲	۹/۰۳
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۴۹	۸/۵۲	۹/۸۳	۹/۰۲

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۵- میانگین مربعات وزن تر گره تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۱۱۹	۰/۰۴۴	۰/۵۶	۲/۸۱*
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۰/۶۶۱	۲/۷۵**	۱/۱۳*	۰/۱۱۹
باکتری حل کننده فسفات	۲	۲/۴**	۵/۰۵**	۵/۰۴**	۷/۴۵**
رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۲	۰/۰۲۶	۰/۰۷۹	۰/۰۴۸	۰/۳۱۲
خطا	۱۰	۰/۱۹۵	۰/۰۸۱	۰/۱۳۷	۰/۳۸۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۹۹	۱۰/۷۴	۹/۶۲	۱۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۶- میانگین مربعات وزن خشک گره تحت تاثیر باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در نمونه برداری‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۰/۱۸۲	۰/۰۵۵	۰/۰۲۸	۲/۷۷*
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۰/۸۵	۰/۶۶۸*	۱/۱۶	۰/۰۶۵
باکتری حل کننده فسفات	۲	۱/۴۹*	۴/۲۷**	۳/۹۳**	۷/۵۱**
رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۲	۰/۱۲۵	۰/۳۷۷	۰/۰۰۲	۰/۲۳۴
خطا	۱۰	۰/۲۰۸	۰/۰۹۵	۰/۳۳۸	۰/۳۷۱
ضریب تغییرات (درصد)		۲۴/۳	۱۸/۵	۲۰/۰۸	۲۳/۱۵

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات صفات مختلف تحت تاثیر تنش کم آبیاری، باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در ۱۰۵ روز پس از کاشت

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک کل بوته	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	تعداد گره	وزن تر گره	وزن خشک گره
تکرار	۲	۱۲۲/۸۳	۰/۸۴	۲۳/۸۴	۱۸/۱۱	۳/۳۶	۱/۸۶
تنش کم آبیاری	۱	۳۰۲/۸۴*	۱۳/۷۲	۸۶/۶۹	۳۶	۰/۰۱۲	۰/۲۸
خطای اول	۲	۱۳/۲	۰/۹۴۹	۷/۸۶	۵۰/۳۳	۲/۵۴	۲/۳۳
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۷۷/۶۳**	۳/۹۹*	۴/۱۱	۴۰۰**	۹/۵۴**	۱۰/۲۸**
تنش × باکتری رایزوبیوم	۱	۳۴/۱۳	۰/۰۴۵	۱۸/۵۵	۵/۴۴	۱/۸۶**	۰/۷۶۹
باکتری حل کننده فسفات	۲	۱۰۹/۹۳**	۸/۹۴**	۴/۷۱	۱۷۵/۰۲**	۱۲/۳۸**	۷/۱۶**
تنش × باکتری حل کننده فسفات	۲	۴۱/۴۱*	۰/۸۳۴	۲۱/۳۲	۴/۰۸	۰/۲۲۵	۰/۰۰۲
رایزوبیوم لگومینوزارم × حل کننده فسفات	۲	۱۹/۶۶	۱/۸۶	۱۷/۱۲	۱/۷۵	۰/۰۱۴	۰/۰۹۳
تنش × رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۲	۸/۳۴	۰/۴۲	۳/۲	۶/۳۶	۰/۱۲۱	۰/۱۴۱
خطای دوم	۲۰	۹/۳۱	۰/۸۲۸	۶/۹۷	۶/۶۸	۰/۲۲۳	۰/۵۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۱۳	۱۶/۳۲	۱۲/۱۵	۶/۸۸	۱۱/۳۸	۲۴/۶

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۸- میانگین مربعات صفات مختلف تحت تاثیر تنش کم آبیاری، باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در ۱۲۰ روز پس از کاشت

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک کل بوته	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	ارتفاع بوته	طول غلاف	تعداد شاخه فرعی	فاصله اولین غلاف از سطح خاک
تکرار	۲	۱/۰۹	۰/۰۱۵	۰/۲۸۷	۱۱۳/۳۵	۱/۴۴*	۱/۲۴	۴۶۲/۹۵**
تنش کم آبیاری	۲	۲۸۴/۰۹**	۰/۰۴۷*	۱۵/۸۳**	۱۳۶۲/۷۳**	۳/۴**	۲۷/۴۶**	۳۵۹/۲۹**
خطای اول	۴	۴/۵۷	۰/۰۰۵	۰/۴۱	۲۵/۹۲	۰/۱۴۱	۰/۷۹۶	۱۰/۸۷
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۱۹۹/۷۹**	۰/۲۴۷**	۷/۵۷**	۴۳۹۵/۸**	۱/۰۸	۱۸/۹۶**	۱۲۳۸/۸۸**
تنش × باکتری رایزوبیوم	۲	۸/۷۸**	۰/۰۰۵	۰/۶۲۹**	۳۱۹/۵۹**	۰/۱۷۳	۳/۰۱*	۳۳/۴۴*
باکتری حل کننده فسفات	۲	۱۸۱/۴۶**	۰/۱۷۹**	۹/۰۹**	۳۳۴۶/۸۴**	۰/۰۴۸	۸۴/۹۶**	۱۰۵۹/۶۹**
تنش × باکتری حل کننده فسفات	۴	۱/۶۵	۰/۰۰۱	۰/۲۲۲*	۵۸/۲۵	۰/۴۱۴	۱/۰۱	۸/۹۳
رایزوبیوم لگومینوزارم × حل کننده فسفات	۲	۶/۸۴**	۰/۰۰۶	۰/۵۶۳**	۱۰۲/۰۱	۰/۶۱۹	۱/۴	۳۴/۵۶*
تنش × رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۴	۰/۵۵۳	۰/۰۰۱	۰/۰۴۴	۵۵/۳۳	۰/۰۷۸	۰/۴۶۳	۳/۷۲
خطای دوم	۳۰	۰/۹۷۲	۰/۰۰۲	۰/۰۷۵	۴۴/۰۵	۰/۵۰۴	۰/۷۴۴	۶/۵۱
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۲	۱/۸۹	۴/۳۷	۵/۳	۴/۵۴	۸/۹۶	۴/۶۳

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۹- میانگین مربعات صفات مختلف تحت تاثیر تنش کم آبیاری، باکتری‌های رایزوبیوم لگومینوزارم و حل کننده فسفات در ۱۲۰ روز پس از کاشت

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف	وزن خشک غلاف	تعداد دانه	عملکرد دانه	وزن صد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	۲	۹۶/۳۱	۴۸۶/۸۴	۲۸/۶۶*	۲۶۹/۰۱**	۰/۱۹۹	۱۸۷/۸	۲۵/۶۳
تنش کم آبیاری	۲	۲۶۲۰/۸۷**	۳۱۶۰/۱۳*	۲۴۶/۷**	۷۹۴۱/۸۶**	۱۵/۷۱**	۱۵۸۷۸/۰۸**	۷۱/۳۴
خطای اول	۴	۳۹/۳	۳۹۹/۴۴	۱/۷۶	۸/۵۷	۰/۴۱۳	۸۰۷/۱۲	۳۰/۴۳
باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم	۱	۵۳۱۵/۱۳**	۴۸۳۸/۴۱**	۲۹۳۹/۱۵**	۴۳۰۴/۶۱**	۷/۶۹**	۱۵۲۹۵/۷۷**	۰/۱۲۱
تنش × باکتری رایزوبیوم	۲	۸۷/۱۵	۴۵۰/۹۳*	۴/۷۸	۵/۶۹	۰/۶۱۸**	۱۲۳۸/۵۷**	۳۵/۲۰*
باکتری حل کننده فسفات	۲	۴۸۹۳/۸۶**	۳۵۵۸/۱۴**	۵۲۸/۰۸**	۳۴۴۸/۷۱**	۹/۰۸**	۱۳۵۷۴/۳۴**	۱۰/۳۶
تنش × باکتری حل کننده فسفات	۴	۶۶/۴۶	۵۴/۵۲	۹/۶۳	۱۲/۸۸	۰/۲۲۲*	۲۱۵/۱۲	۷/۶۶
رایزوبیوم لگومینوزارم × حل کننده فسفات	۲	۹۱/۱۷	۸۳/۸۴	۱۰۸/۵**	۱۲۶/۵۴**	۰/۵۶۵**	۴۹۹/۸۵	۷/۳۶۶/۱۱
تنش × رایزوبیوم × حل کننده فسفات	۴	۱۲۳/۱۹	۵۰/۴۲	۳/۹۲	۹/۷۷	۰/۰۴۴	۷۷/۴۴	۳۶/۱۱/۶۵
خطای دوم	۳۰	۵۴/۱۳	۴/۱۲۷	۱۶/۶	۱۷/۳۸	۰/۰۷۷	۱۶۴/۰۷	۶/۶۵
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۷۹	۷/۱۳	۸/۳۱	۲/۶۱	۱/۶۱	۴/۲۶	۴/۸۵

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۱۰- تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا چشم بلبلی(LAI) مشاهده شده در طول دوره رشد

	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰ روز پس از کاشت
باکتری تثبیت کننده نیتروژن							
شاهد	۰/۸۹۹	۲/۶۶	۲/۹۵	۳/۴۵	۲/۲۴	۲/۰۵	۱/۸۵
رایزوبیوم لگومینوزارم	۲/۱۷	۴/۸۶	۴/۳۷	۵/۴۴	۲/۴۴۵	۴/۱۲	۳/۷۸
باکتری حل کننده فسفات							
شاهد	۰/۸۴۳	۲/۴۸۹	۱/۶۷	۲/۲۴۵	۱/۹۵	۱/۴۳۵	۱/۱۲
باسیلوس کوآگولانز	۱/۲۳	۳/۶۵۶	۳/۶۳۳	۴/۱۹۵	۳/۶۵	۲/۹۷	۲/۵۶
سودوموناس پوتیدا	۲/۴۹۷	۵/۱۰۹	۵/۱۰۹	۵/۲۵۱	۴/۷۵	۴/۵۸	۳/۷۵

جدول پیوست ۱۱- تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر تغییرات سرعت رشد محصول لوبیا چشم بلبلی(CGR) مشاهده شده در طول دوره رشد (گرم بر متر مربع در روز)

	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	۶۰-۷۵	۷۵-۹۰	۹۰-۱۰۵	۱۰۵-۱۲۰ روز پس از کاشت
باکتری تثبیت کننده نیتروژن						
شاهد	۱۱/۰۵	۱۳/۶۲	۱۰/۶۲	۱۰/۵۶	۹/۴۵	۹/۳۲
رایزوبیوم لگومینوزارم	۱۳/۳۸	۱۵/۴۸	۱۱/۰۱	۱۱/۰۰	۱۰/۰۱	۹/۷۵
باکتری حل کننده فسفات						
شاهد	۱۰/۵۳	۱۲/۴۵	۱۰/۰۷	۱۰/۲۵	۶/۷۵	۳/۴
باسیلوس کوآگولانز	۱۲/۳۳	۱۳/۸۶	۱۱/۳۱	۱۲/۰۱	۷/۲۵	۲/۹۸
سودوموناس پوتیدا	۱۳/۷۹	۱۷/۳۵	۱۱/۰۶	۱۰/۲۳	۸/۱۴	۷/۸۶

جدول پیوست ۱۲- تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر تغییرات سرعت رشد نسبی لوبیا چشم بلبلی(RGR) مشاهده شده در طول دوره رشد(گرم در روز)

	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	۶۰-۷۵	۷۵-۹۰	۹۰-۱۰۵	۱۰۵-۱۲۰ روز پس از کاشت
باکتری تثبیت کننده نیتروژن						
شاهد	۰/۰۴۴۷	۰/۰۳۰۸	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۶۱۲	۰/۰۰۱۶۳
رایزوبیوم لگومینوزارم	۰/۰۴۶۱	۰/۰۳۱۱	۰/۰۱۸۴	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۵۷۶	۰/۰۰۲۶۲
باکتری حل کننده فسفات						
شاهد	۰/۰۴۳	۰/۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱
باسیلوس کوآگولانز	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱
سودوموناس پوتیدا	۰/۰۴۳	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶

شکل پیوست ۱- نقشه کاشت آزمایش شامل تنش کم آبیاری، باکتری تثبیت کننده نیتروژن و باکتری حل کننده فسفات (a_1, a_2 و a_3 به ترتیب عدم تش کم آبیاری، کم آبیاری در ۵۰٪ گلدهی و کم آبیاری در ۵۰٪ غلاف دهی، b_1 و b_2 عدم تلقیح و تلقیح با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم، c_2,c_1 و c_3 عدم تلقیح، تلقیح با باسیلوس کوآگولانز و تلقیح با سودوموناس پوتیدا می‌باشند).

a_2						a_1						a_3					
b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_1	b_2	b_1	b_2	b_2	b_1	b_2	b_1
c_1	c_1	c_2	c_3	c_3	c_2	c_1	c_1	c_3	c_3	c_2	c_2	c_3	c_1	c_2	c_2	c_3	c_1

a_1						a_3						a_2					
b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_2	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2
c_3	c_2	c_1	c_3	c_2	c_1	c_2	c_3	c_1	c_3	c_2	c_1	c_3	c_1	c_2	c_3	c_1	c_2

a_3						a_2						a_1					
b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_2	b_1	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2
c_1	c_2	c_3	c_1	c_2	c_3	c_1	c_2	c_3	c_2	c_1	c_3	c_1	c_2	c_2	c_1	c_3	c_3

L.P

برادران، ر. (۱۳۸۵) "بررسی تاثیر خشکی روی خصوصیات مرفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد ارقام پاییزه کلزا" پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات. تهران. ۱۸۷ ص.

جنوی، پ. و دانشیان، ج. (۱۳۸۵) "تأثیر کاربرد فسفر بر خصوصیات رویشی و زراعی سویا در شرایط تنش خشکی" **پژوهشنامه کشاورزی. فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان**. جلد ۱: شماره ۱، ص ۶۴.

حسن زاده، ن. (۱۳۷۳) **"بیوکنترل عوامل بیماری های گیاهی"** نشر آموزش کشاورزی. ۱۷۹ ص.

حمیدی، آ.، قلاوند، ا.، دهقان شعار، د.، ملکوتی، م.ج.، جوکان، ر. و اصغرزاده، ا. (۱۳۸۴). "تاثیر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های مرتبط با دورگ‌های دیررس ذرت" **چکیده مقالات اولین همایش ملی گیاهان علوفه‌ای کشور**، پردیس تهران، ۲۰-۱۸ مرداد ۱۳۸۴. صفحات ۱۷۱-۱۷۲.

خودشناس، م.، وادیور، م. و خاوازی، ک. (۱۳۸۲) "بررسی کارآیی باکتری ریزوبیوم در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در خاکهای زیر کشت لوبیا" **هشتمین کنگره علوم خاک ایران**. رشت . ص ۶ تا ۸.

دانشمند، ع.، شیرانی راد، ا.م. و اردکانی، م.ر. (۱۳۸۵) "ارزیابی تحمل به تنش کم آبی در ژنوتیپ‌های بهاره کلزا" **پژوهشنامه کشاورزی. فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان**. جلد ۱. شماره ۱: ۶۴ ص.

راثی پور، ل. و علی اصغر زاده، ن. (۱۳۸۶) "اثرات متقابل باکتری های حل کننده فسفات و *Bradyrhizobium japanicum* بر شاخص های رشد، غده بندی و جذب برخی عناصر غذائی در سویا" **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**. سال یازدهم. شماره چهارم (الف) .

رضائی، ع. و کامگار حقیقتی، ع. (۱۳۷۷) "تعیین ضرایب حسیاستی سنی گیاه لوبیا چشم بلبلی به تنفس رطوبتی در مراحی مختلف رشد" **مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی**. ۱۴۷ تا ۱۵۸.

سرمدنیا، غ. و کوچکی، ع. (۱۳۶۸) **"فیزیولوژی گیاهان زراعی"** انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۶۷ص.

صالح راستین، ن. (۱۳۷۵) **"بیولوژی خاک"** انتشارات دانشگاه تهران. ۲۱۵ ص.

صالح راستین، ن. (۱۳۸۰) "کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار"مجله علوم خاک و آب. ویژه نامه کودهای بیولوژیک.

عزیزی، م. (۱۳۷۲) "اثرات کودهای ازته بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزا عملکرد دانه سویا" پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

علیزاده، ا. (۱۳۸۱) **" طراحی سیستم های آبیاری"** انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). دانشگاه صنعتی. ص۸۷.

علی اصغر زاده، ن. (۱۳۷۶) **"میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک"** انتشارات دانشگاه تبریز. ۲۰۵ ص.

فتحی، ق. (۱۳۷۸) **"رشد و تغذیه گیاهان زراعی"** انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۷۲ ص.

قاسمی پیربلوطی، ع.، الله دادی، ا.، اکبری، غ.ع. و گل پرور، ا. (۱۳۸۴) "تأثیر تلقیح ارقام لوبیا با باکتری رایزوبیوم لگومینوزارم *R.Legminosarum bivor phaseolly* برعملکرد دانه و تثبیت نیتروژن در منطقه‌ی شهرکرد" **پژوهش و سازندگی**، ۱۸(۴): ۶۲ تا ۶۸.

کافی، م.، کامکار، ب. و مهدوی دامغانی، ع.ا. (۱۳۸۲) **"واکنش گیاهان زراعی به محیط رشد"** انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۹۷ ص .

کوچکی، ع. (۱۳۷۷) **"زراعت در مناطق خشک"** چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۰۲ ص.

کوچکی، ع.، زند، ا.، بنایان اول، م.، رضوانی مقدم، پ.، مهدوی دامغانی، ع.م.، جامی الاحمدی، م. و وصال، س. (۱۳۸۴). "اکوفیزیولوژی گیاهی" جلد اول. چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

کوچکی، ع. و بنایان اول، م. (۱۳۷۲) **" زراعت حبوبات"** انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۳۶ ص.

مجنون حسینی، ن. (۱۳۷۲) **"حبوبات در ایران"** انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران. ۲۴۰ ص.

ملکوتی، م.ج. و نفیسی، م. (۱۳۷۳) **" مصرف کود در اراضی زراعی"** ترجمه فاریاب، م. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران. ۲۴۲ ص.

منگل، ک. و کرکبی، ا. (۱۹۹۷) **"اصول تغذیه گیاه"** جلد دوم. ترجمه سالاردینی، ع. و مجتهدی، م. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. تهران. ۲۰۸ص.

نظارت، س. (۱۳۸۷) "ارزیابی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های رشد ذرت" پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی شاهرود.

Adams, M.A. and J.S. Pate. (1992). "Availability of organic and in organic forms of phosphorus to lupins (*Lupinus spp.*)" **plant soil**. 145:107-113.

Acquaah, G. (2002). "Principals of crop production (theory, technical and technology)" **Prentice-Hall of India, New Delhi**. PP:460.

Alagawadi, A.R. and A.C. Gaur. (1992). "Inoculation of *Azospirillum brasilense* and *phosphate solubilizing bascteria* on yield of sorghum(*Sorghum biocor L.*) in dry land" **Trop. Agric**. 69:347-50.

Aykroyd, W.R. and J. Doughty. (1964) "Legumes in human nutrition" **FAO Nutritional Studies, No. 19, FAO, Rome.**

Balasunhramanian, V. and K. Sinka. (2006). **"Effect of salt stress on growth, nodulations and nitrogen fixation in cowpea and mungbean"** Plant Physiol, Vol.36, pp 197-200,1976.

Banik, S. and B.K. Dey. (1982). “Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by incolation of some isolated Phosphate Solubilizing Microorganisus” **Plant and Soil**, 6:353-364

Baker, D.A. and P.E. Weatherly. (1969). “Water and solute transport by exuding root systems of *Ricinus communis*” **Journal of Eacperimental Botany**, 20:485-496.

Bavec, F. and M. Bavec. (2002). “Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100-400)”. **Eur. J. Agron.** 16:151-159.

Beever, R.E. and D.J.W. Burns. (1980). “Phosphorus uptake, storge and utilization by fangi”. **Adv.Bot. Res**. 8:127-219.

Bethlenfalvay, G.J., A.G. Azcon, and C. Aguilar. (1997). “Plant and soil response to Mycorrhizal fungiand rhizobacteria in nodulated or nitrate-fertilized” **Biol. Fertil. Soils.** 24:164-168.

Bidiger, F.R., V. Mahalakshimi, and G.D.P. Rao. (1987). “Assessment of drought resistance in pearl millet pennisetum americanum (L.) Leekej.I. Factors affecting Jields under stress.II.Estimation of genotype response to stress” **Australian Journal of Agricultural Researdm**, 38:37-48,49-59.

Bohlool, B.B., J.K. Ladha, D.P. Garrity, and T. George. (1992). “Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture”. **Plant. Soil**. 141:1-11.

Bremner, P.M. and G.K. Preston. (1990). “A Field comparison of sun flower (Helianthus annuus)and sorghum (*Sorghum bicolor*) in a long drying cycle. II. Plant water relations, growth and yield” **Australian Journal of Agricaltural Researd**, 41:463-478.

Broen, K.W., W.R. Sordan, and J.C. Thomas. (1976). “Water stress induced alterations of the stomatal response to decreses in leaf water potential” **Physiologia Plantarum**,37:1-5.

Brown, S.M., K.J. Oparka, .J.I. Sprentand and .K.N.B. Walsh. (1995). “Symplasmic transport in soybean root nodules”. **Soil Boil Biochem**. 27:387-399.

Burd, G.I., D.G. Dixon, and B.R. Glick. (1998). “A plant growth promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seed lings” **Appl. Environ. Microbiol**. 44:3663-3668.

Cakmakci, R., F. Donmez, A. Aydin, and F. Fiahin. (2006). “Growth promotin of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil condition” **Soil Biol. Biochem.** 38:1482-1487.

Carletti, S. (2002). “Use of plant growth-promoting rhizobacteria in plant micropagation” **In: Fifth International PGPR Workshop, Villa Carlos Paz**: 295.

Cattelan, A.J., P.G. Hartel, and J.J. Fuhrmann. (1999). “Screening for plant growth promoting rhizobacteria to promote early soybean growth” **Soil Sci. Soc. Am**. 63:1670-1680.

Chabot, R. and H. Antoun. (1996). ”Growth promotion of maize and lettuce by Phosphate Solubilizing Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli” **Plant and Soil.** 184:311-321.

Chabot, R., A. Hani, and P.M. Cescas. (1996). “Growth promotion of Maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium Leguminosarum bivar Phaseoli*” **Plant.Soil**. 184:311-21.

Chakmakc, R.I., F. Donmez., A. Aydin, and F. Stahin. (2006). “Growth promotion of plants by plant growth.promting rhizobacteria under green house and two differend field soil condtions” **Soil. Biol. Biochem.** 38:1482-1487.

Coronado, C., J.A. Zuanazzi, C. Sallund, J.C. Quirion, R. Esnault, H.P. Husson, A. Kondorosi, and P. Ratet. (1995). “Alfalfa root flavonoid production is nitrogen regulated” **Plant physiol**. 108:533-542.

Day, D.A. and L. Copeland. (1991). “carbon Metabolism and compartmentation in nitrogen-fixing legume nodules”. Plant Physiol. Biochem. 29:185-201.

Davies, W.J. and J. Zhang. (1991). “Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil” **Annu.Rev. Plant Physiol. Mol. Biol**. 42:55-76

Defreitas, J.R., M.R. Banerjee, and J.J. Germidu. (1997). “Phocphate solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of conola (*Brassica nupus* L.). **Biol. Fertil. Soils**. 24:358-364.

Dobbelaere, S., J. Vandeleyden, and Y. Yaacovokon. (2003). “Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere” Critial Rev. **Plant Sci**. 22:107-149.

Dobereiner, J. (1997). “Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions” **Soil.Biol.Biochem**. 29:771-774.

Dodd, I.C. and W.J. Davies. (1996). "The relation ship between leaf growth and ABA accumulation in the grass leaf elongation zone". **Plant Cell Environ**. 19:1047-1056.

Ebhinmasto, R., P.K. Chhonkar, D. Singh, and A.K. Patra. (2006). "Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisoil" **Soil Biology and Biochemistry**. 38:1577-1582.

Egamberdiyeva, D. and G. Hoflich. (2004). "Effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan" **Journal of Arid Environments.** 56:293-301.

Egamberdiyeva, D., J.S. Poberejskaya, O.M. Achina, P. Teryuhova, L. Sydalieva and A. Alive. (2003). "Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubhhilizing bacteria" 26th **Sou . Con. Till. conf.**

El-Hawary, M.J., I. EL-hawary. Fatem, A.M. EL-Ghamry and E. El-Naggar. (2002). "Effect of , application of biofertilizer on the yield and NPK uptake of some wheat genotypes as affected by the biological properties of soil" Pak. **J. Biol. Sci.** 5(11): 1181-1185.

Engin, M. and J.I. Sprent. (1973). "Effects of water stress on growth and nitrogen fixing activity of Trifolium repens". **New phytologist**, 72:117-126.

English, M.J. and L. James. (1990). "Deficit irrigation II:observation in Colombia basin" As CE, **J. Irrig. And Drain. Eng**. 116:413-429.

Fischer, R.A. and R.M. Hagan. (1965). "Plsnt water relations, irrigation management and crop yield" **Exp.Agric.** 1:161-177.

Fischer, R.A. and R. Maurer. (1978). "Drought responses in spring wheat cultivars.I.Grain yield responses" **Australian Journal of Agricultural Research**, 29:897-912.

Gaur, A.C., Ostwal, K.P. and R.S. Mathur. (1980). "Save superphosphate by using phosphobacteria" **kheti**, 32:23-25.

Gay, A.P. (1994). "Breeding for leaf water conductance, its heritability and its effect on water use in *Lolium perenne*" **Aspect of Applied Biology**, 38:41-46.

Genter, C.F., G.D. Jpnes, and M.T. Carter. (1997). "Dry matter accumulation and depletion in leaves, steams, and ears of maturing maize" **J. Agron**. 62: 535-537.

Glick, B.R. (1995). “The enhancement of plant growth by free living bacteria” can. **J. Microbiol**. 41109-117.

Glick, B.R., D. Penrose, and M. Wenbo. (2001). “Bacterial promotion of plant growth. **Biotecchnology Advances**. 19:135-138.

Gollan, T., N.C. Turner, and E.D. Schulze. (1985). “The responses of stomata and leaf gas exchange to vapor pressure deficits and soil water content. II. In the sclerophyllous woody species” **Nereum oleander Oecologia**, 65:356-362.

Gomes, M.M.A., A.M.M.A. Lagou, C.L. Medina, E.C. Machado, and M.A. Machado. (2004). “Interactions between leaf water potential,stomatal conductance and abscisic acid eontent of orange tree submitted to drought stress” Braz. **J. Plant physiol**.16:155-161.

Graham, P.H. and P. Ranalli. (1997). “Common bean (*Phaseolus vulgaris L*). **Field Crops Research** . 53:131-146 .

Grumer, R., R.S. Alberchtsen, and A.D. Hanson. (1987). “Growth and yield of baley inopopulations differing in solute potential” **Crop Science**, 28:991-995.

Halder, A.K., A.K. Mishra, P. Bhattacharyya, and P.K. Chakrabartty. (1990). “Solubilization of rock phosphate by *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*”. **J. Gen. Appl. Microbiol**. 36:81-92.

Hanson, A.D. and W.D. Hitz. (1982). “Metablic responses of mesophytes to plant water deficits” **Annual Review of Plant Physiology**, 33:163-203.

Hartuny, W., S. Slovik, and M. Baier. (1990). “pH changes and redistribution of abscisic acid within the leaf under stress.In Importance of Root to shoot communication in the Responses to Environmental Stress” edited by W.J. Davies and B. gffcoat, pp 215-236. Bristol: British society for plant Growth Regulation.

Hashem, A., M.N.A. Magumdar, A. Hamid, and M.M. Hossein. (1998). “Drought stress effects on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability and gas exchang of synthesized *Brassica napus*. **J. Agron and Grop Sci**. 180(3): 129-136.

He, T. and G.R. Cramer. (1996). “Abscisic asid concentration are correlated with leaf area reductions in two salt-stressed rapid-cycling Brassica species” **Plant Soil**. 179:25-33.

Hsiao, T.C. (1973). "Plant responses to water stress" **Ann. Rev. Plant Physiol.** 24:519-570.

Hubel, F. and F. Beck. (1993). "In-situ determination of the P-relations around the primary root of maize withe respect to inorganic and phytate-P". **Plant Soil**. 157:1-90.

Huffaker, R.G., T. Radin, G.E. kleinkopf and E.L. Cox. (1970). "Effects of mild water stress on enzymes of nitrat assimilation and of the earboxylative phase of photosynthesis in barley" **Crop Science**, 10:471-474.

Humphreys, M.W. (1989). "The controlled in trogression of Festuca arundinacea genes into Lolium multi, florum" **Eughtica**, 42:105-116.

Hungria, M.D., S. Andrade, L.M.O. Chueire, A. Probanza, F.J. Guttierre.and M. Megias. (2000). "Isolation and characterization of new defficient and competitive barn (*Phaseolus vulgaris L.*) rhizobiafrom Brazil" **Soil Biology and Biochemistry**. 32:1515-1528.

Hunt, R. (1978). "Plant Growth Analysis London: Edward Arnold"

Illmer, P. and F. Schinner. (1992). "Solubilization of inorganic phosphates by Microorganisms isolated from forest soil" **Soil. Biol. Biochem**. 24:389-95.

Johnson, J.F., D.L. Allan, C.P. Andvance. (1994). "phosphorus stress-inducted proteoid roots show altered metabolism in Lupinus albus". **Plant Physiol**. 104:675-665.

Jones, D.L and P.R. Darrah. (1995). "Influx and efflux of organic asids across the soil-root interface of *Zea mays L*. and its implications in the rhizosphere Cflow" **Plant. Soil.** 173:103-109.

Kandan, A. (2000). "Induction of systemic resistance against tomato spotted wilt viruus (TSWV) in tomato by fluorescent *Pseudomonas* strains" M. Sc. (Ag.)Thesis. Tamil Nadu. **Agri. Uni. Combatore. Ind**

Keerthisinghe, G., P. Hocking, P.R. Ryan, and E. Delhaize. (1998). "Proteoid roots of lupin (*Lupinus albus L.*):Effect of phosphorus supply on formation and spatial variation in citrate efflux and enzyme activity" **plant Cell Environ**., in press.

Kielland, K. (1994). "Amino acid absorption by arctic plants: Implications for plant nutrition and nitrogen cycling" **Ecology**. 75:2373-2383.

Kim, K.Y., D. Jordan, and G.A. Mcdonald. (1998). "Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbascular Mycorrhizae on tomato growth and soil Microbial activity" **Biol. Fertil. Soil**. 26:79-87.

Kim, K.Y., D. Jordan, and G.A. Mcdonald. (1998). "Enterobacter agglomerans phosphate solubilizing bacteria and Microbial activity in soil:effect of carbon sources" **Soil Biology and Biochemistry**, 89:995-1003.

Kock, J.D., L.P. Bruyn, and J.J. Human. (1990). "The relative sensitivity to plant water stress during the reproductive phase of upland cotton (*Gossypium hirsutum L.*)"**Irrigation Science**, 11:239-244.

Kozlowski, T.T. (1976). **"Water supply and leaf shedding"** In: T.T. kozlowski (ed.). Water Deficits and Plant Growth. Academic Press, New York, USA. 41:191-231.

Kroehler, C.J. and A.E. Linkins. (1991). "The absorptioon of inorganic phosphate from ^{32}P-labelled inositol hexaphosphat by Eriophorum uaginatum" **Oecologia.** 85:424-428.

Kumar, A., P. Singh, D.P. Singh, E.I. Singh, and H.C. Sharma. (1984). "Differences in osmoregulation in Brassica spacies" **Annals of Botany**, 54:537-541.

Kunda, B.S. and A.C. Gaur. (1984). "Rice response to inoculation with N_2-Fixing and P-solubilizing Microorganismsms" **Plant and Soil**, 79:227-234.

Labanauskas, C.K., P. Shouse, and L.H. Stolzy. (1981)."Effects of water stress at various growth stage on seed yield and nutrient concentrations of field grown cowpeas" **J. Soil Sei**.131:249-256.

Lazaroff, N. and M.G. Pitman. (1966). "Calcium and magnesium uptake by barley seedlings" **Australian Journal of Biological Science**, 19:991-1005.

Lindsay, W.L. (1979). "Chemical Equilibrium in soil" **John wiley and Sons**, New York.

Liu, T.S., L.Y. Lee, C.Y. Tai, C.H. Hung, Y.S. Chang, J.H. Wolfram, R. Rogers, and A.H. Goldstein. (1992). "Cloning of an *Erwinia herbicola* gene necessary for gluconic acid production and enhanced Mineral phosphate solubization in Escherichia coli HB101:Nucleotide sequence and probable involvement in biosynthesis of the coenzyme pyrroloquinoline quinine". **J. Bacteried**. 174:58-149.

Loeck, T.D., M. Liebman, C.A. cambardella, and T. Richard. (2004). Corn growth responsese to composted and fresh solid swine manures" **Crop. Sci.** 44:177-184.

Lommel, S.A., A.H. Mccain, and T.J. Morris. (2001). "Evalution of indirect enzyme-Linked immunosorbent assay for the palnt viruses" **Phytoputhology**, Vol.72, pp 1018-1022,1982.

Lucas-Garcia, J.A., A. Probanza., B. Rumos., M. Ruiz Palominc, and F.J. Gutierrez Manero. (2004). "Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper" **Agron.** 24:169-176.

Lucy, M., E. Reed, and B.R. Glick. (2004). "Applications of free living plant growth promoting rhizobacteria" **Antoine van Leeuwenhoek**. 86:1-25.

Lynch, J.M. (2002). "Resilience of the rhizosphere to anthropogenic disturbance" **Biodegradation**. 13:21-27.

Macklon, A.E.S., L.A. Mackie-Dawson, A. Sim, C.A. Shand, and A. Lilly. (1994). "soil presources,plant growth and rooting characteristics in nutrient poor up;and grasslands" **Plant Soil**. 163:257-266.

Mandal, A., A.K. Patra, D. Sigh, A. Swarup, and R. EbhinMasto. (2007). "Effect of long-term application of Manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages" **Bioresource Technology**. 98:3585-3592.

Marcia, V.B.F., H.A. Burity, C.R. Matinez, C.P. Chanway. (2008). "Allevation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici"*. **Applied Soil Ecology**. 40:182-188.

Marshner, H. (1993). **"General in troduction to the mineral nutrition of plants. In: Encyclopedia of plant physiology"** N.S., vol 15A,A. Lauchli and R.L. Bieleski (eds).

Martin, J.H. and W.H. Leonard. (1967). cowpeas, pp.663-671. "**In Principles of field. Crop production"**, 2nd ed. Mecmillan New York.

Masle, J., and J.B. Passioura. 1987. "Effects of soil strength on the growthy of wheat seedlings" Australian Journal of Plant Physioloy, 14:643-656.

Mass, E.V. and G.J. Hoffman. (1977). "Crop salt tolerance current assess ment" **J. Irrig**. **Drainage Div. Am. Soc. Civil Eng.** 103:115-134.

Maurer, A.R., D.P. Ormrod and N.J. Scott. (1976). "Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap beans" **Can.J.Plant.Sci**. 49:271-278.

May, L.H.C and F.L. Milthorpe. (1992). “Drought resistance of crop plants” **Field crop Abstracts**. 15:171-179.

Mellor, R.B. and D.B. Collinge. (1995). “A simple model based on known plant deference reactions is sufficient to explain most aspects of nodulation”. **J. Exp. Bot**. 46:1-18.

Milburn, J.A. (1979). “Water Floza in Plants”. **London: Longman.**

Mhamdi, R., G. Laguerre, M.E. Aouani, M. Mars, and N. Amarger. (2002). “Different species and symbiotic genotypes of field rhizobia can nodulate phaseolus vulgarisin Tunisian soils”. **Fems. Microbiology Ecology.** 41: 77-84.

Muchow, R.C. and T.R. Sinclair. (1986). “Water and nitrogen limitations in soybean grain production II Field and model analyses” **Field crops Research**, 15:143-156.

Munns, R. (1988). “Why measure osmotic adjustment” **Australian Journal of Plants Physiology**, 15:717-726.

Nielsen, D.C. (1997). “Water use and yield of canola under dry land conditions in the Central Great Plains” **J. Prod. Agric.** 10(2):307-313.

Nielsen, D.C., and J. Janick. (1996). “Potentential of canda asa dry lande crop in northeastern Colorado. Progress in new cros proceeding of the third national Sym” **Posim Indiana polis**. 22:282-187.

Okon, Y. and C.A. Labandera-Gonzalez. (1994). “Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years world wide field inoculation” **Soil. Biol. Biochem**. 26:591-601.

Pararajasingham, S. and P.P. Knievel. (1999). “Nitrogenaseactivity of cowpea (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*) during and after drought stress Canadian” **Journal of Plant Science**, 70:163-171.

Passiour, J.B. (1988) “Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing indrying soil” **Australian Journal of Plant Physiology**, 15:687-693.

Phillips, D.A., F.D. Dakora, E. Sande, C.M. Joseph, and J. Zon. (1994). “Synthesis, release, and transmission of alfalfa signal to rhizibial symbiots” **Plant Soil**. 161:69-80.

Purseglove, J.W.(1987) **“Tropical crops:Dicotyledons Longman New York”.**

Rachie, K.O. and L.M. Robert. (1974). “Grain legumes of the lowland tropics” **Adv Agron**. 26:1-132.

Rallston, D.B. and R.P. Mcbride. (1976). "Interaction of Mineral phosphate dissolving Microbes with red pine seedling" **plant and Soil**, 45:493-507.

Richardson, A.E. (2001). "Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plant". **Aust. J. Plant. Physoil**. 28:897-906.

Rodriguez-Navarro, D.N., C. Santamaria, F. Temprano, and E.O. Leidi. (1999). "Interaction effects between *Rhizobium* strain and been cultivar on nodulation, plant growth, biomass partitioning and exylem sap composition". **European Journal of Agronomy.** 11:131-143.

Rosas, S., M.A.I. Yahya, R.A. Abdul and B.H. Munam. (1989). "Availability of phosphorus in a cal careous soil treated with rock phosphate or superphosphate as effected by phosphate-dissolving fung" **Plant and Soil.** (20) 181-185.

Roses, S., M. Rovera, J. Andres, and N. Correa. (2002). "Effect of phosphorous solubilizing bacteria on rhizobia legume symbiosis. Proceedings of the 15th International Meeting on Microbial phosphate solubililization" Salamance university, 16-19 July, Salamanca, Spain.

Ruppel, S. (1987). "Isolation diazotropher bacterian aus der Rhizospher von Winterweizen and Charakterisierung ihrer Leistung sf" Diss.Akademie der Landwirt Schafts-Wissenschaften der DDR, M.uncheberg.

Saab, I.N., R.R. Sharp, J. Pritchard, and G.S. voetberg. (1990). "Increased endogenous abscisic asid maintan primary root growth and in hibits shoot growth maize seedlings at low water potentials" **Plant Physiol**. 93:1329-1336.

Sahin, F., R. Chakmake, and F. kantar. (2004). "Sugar beet and barley in relation to inoculation with N_2-fixing and phosphate solubilizing bacteria" **Plant and soil**. 265:123-129.

Sharif, M. 1990. "Interaction amony phosphate solubilizing bacteria, VAM fungus and associative N_2-fixing bacteria and their effects on growth and N and P uptake of pearl millet" Pak. **J. Soil. Sci.** 16:53-62.

Sharp, R.E. and W.J. Davies. (1989). **"Regulation of growth and development of plants with a restricted supply of water. In Plants under Stress"** edited by H.B. Jones, T.J. Flowers and M.B. Jones, pp 71-93. Cambrige: Camrige university press.

Shaukat, K., S. Affrasayab, and S. Hasnain. (2006). “Growth response of *Triticum aestivum* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer” Res. **J. Microbiol.** 1(4):330-338.

Shisanya, C.A. (2002). “Improvement of drought adapted tepary bean phaseolus acutifolius yield through biological nitrogen fixation in semi-arid SE-Kenya” **European Journal of Agronomy**. 6: 13-24.

Shouse, P., S. Dasberg, W.A. jury, and L.H. Stolzy. (1981) “Water deficit effects on water potential, yield and water use of cowpeas” **J. Agron**. 73:333-336.

Singh, B.B., Y. Mai-kodomi and T. Terao. (1999). “Relative drought tolerance of magor rainfed crops of the semi-ariol tropics” **Indian J Genet**. 59:1-8.

Singh, S. and K.K. Kapoor. (1999). “Inoculation with phosphate solubilizing Microorhanisms and a vesicular arbuscular Mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil”. **Biol. Fertil. Soils**. 28:139-144.

Spaink, H.P. (1995). “The molecular basis of infection and nodulation by rhizobia: The ins and outs of sympathogenesis”. **Annu. Rev. Phytoputhol**. 33:345-368.

Subbarao, W.S. (1988). **“Phosphate solubolizing Microorganisxs In: Biofertilizer in agriculture”** pp.133-142.

Summefield, R.J., F.R. Minchin, E.H. Roberts, and P. Hadley. (1983). Cowpea. pp 249-280 In:S.Yoshia (ed). **“Pontentiul productivity of field crops under different Environments”** IRRI, Manila, The Philippines.

Tarafdar, J.C. and A. Jungk. (1987). “Phosphatuse activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus”. **Biol. Fert. Soils**. 3:199-204.

Tardieu, F., J. Zhang, N. katergi, O. Bethenod, Palmer, and S.W.J. Davies. (1992). “Xylem ABA controls the stomatal conductance of field-grown maize subjected to soil compaction or soil drying” **Plant Cell Environ**. 15:193-197.

Thomas, H. and C. Evans. (1990). “In fluemce of drought and flowering on growth and water relations of perennial ryegrass populations” **Annals of Applied Biology**, 116:371-382.

Tilak, K.V.B.R., N. Ranganayaki, K.K. Pal, R.D., A.K. Saxena, C. Shekhar Nautiyal, and B.N. Johri. (2005). "Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria" **Current Science**. 89: 136-150.

Valenzuela, H. and J. Smith. (2002). "Cowpea. Departments of Tropical Plant and soil sciences and Natural Resoure and Environmental Management" **SA.GM.** 6:1-30.

Vance, C.P. (1996). **"Root-becteria. interactions. Symbiotic nitrogen fixation"** In:Plant roots: The hidden half Y.Waisel, A. Eshel, and u. kafkaki(eds). Marcel Dekker, New York, pp.723-755.

Vanrhijn, P. and J. vanderleyden. (1995). "The Rhizobium plant symbiosis" **Microbial. Rev**.59:124-142.

Vessy, J.K. (2003). "plant growth promoting rhizobactria as biofertilizers" **Plant Soil**. 255:571-586.

Vikram, A. (2007). "Efficacy of phosphate solubilizing bacteria isolated from vertisols on growth and yield parameters of sorghum" Res. **J. Microbiol** .2(7):550-559.

Volaire, F. (1995). "Growth, carbohydrate reserves and drought survival strategies of comtrasting Dactylis glomerata populations in a Mediterranean environment" **Journal of Applied Ecology**, 32:56-66.

Wani, S.P., S. Chandrapalaiah, M.A. Zambre and K.K. Lee. (1988). "Assocation between N2-fixing bacteria and pearlmillet plants. Response, mechanisms and resistand". **Plant soil.** 110:284-302.

Warembourg, F.R., R. Dreessen, K. Vlassak, and V. Lafont. (1987). "Peculiar effect of *Azospirillum* inoculation on growth and nitrogen balance of winter wheat (*Triticum aestivum*). **Biol. Fertil. Soils**. 4:55-59.

Warrag, M.O.A. and A.E. Hall. (1984). "Reproductive responses of cowpea(*Vigna unguicalata L.)* to heat stress.II.Responses to night air tempereature" **Field crops Res**. 8:17-33.

Wasule, D.L., S.R. Wadyalkar and A.N. Buldo. (2002). "Effect of phosphate solubilizing bacteria on role of Rhizobium on nodulation by soy bean. Proceedings of the 15th meeting on Microbial phosphate solubilizatio" Salamanca University , 16-19 July. Salamanca, Spain.

Watanabe, I. and C. Lin. (1984). “Response of wetland rice toinoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas SP*. **Soil Sci. Plant Nutr**.30:117-124.

Wei, G., J.W. Kloepper, and S. Tuzan. (1996). Induced systemic resistance to cucumber disease and increased plant growth by plant growth promoting rhizobacteria under field condition” **Phytopathol**. 86:221-224.

Whitelaw, M.A., T.Y. Harden and G.L. Bender. (1997). “Plant growth promotion of wheat inoculated with *Penicillium radicum sp*” **Nov. Australian Journal of soil Research**, 38:291-300.

Whithehead, L.F. and D.A. Day. (1997). “The peribacteriod membrane”. **Physiol. Plant**.100:30-44.

Wien, H.C. and R.J. Summerfield. (1984). Cowpea. pp.353-383. In:P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher (Eds.). “The Physialogy of Tropical Field Crops” Wiley, New York.

Wu, Y., R.E. Sharp, D.M. Durachko, and D.J. Cosgrove. (1996). “Growth maintenance of maize primary root at low water potentials involves in creases in cell-wall susceptibility to expansions” **Plant Physiol**. 111:765-772.

Yahya, A.J. and S.K. Al-Azawi. (1989). “Occurre nce of phosphate solubilizing bacteria in some Irani soils**” Plant and Soil**, 117:135-141.

Yuming, B., Z. Xiaomin, and L.S. Donald. (2003). “Enhanced soybean plant growth resulting from coinoculation of Bacillus strains with *Bradyrhizobium japonicum*” **Crop Sci**. 43:1774-1781.

Zablotowicz, R.M., D.D. Focht, and G.H. Cannell. (1981). “*Brady rhizobium liaoningense sp.nov.*, Isolated from the root nodules of soybeans.Inter” **J. Syst.Bacteriol**. 45:706.

Zaidi, A., M.D. Saghirkhan, and M.D. Amil. (2003). “Interactive effect of rhizotrophic microorgahisms on yield and nutrient of chickpea(*Cicer arietinum L.*). Eur. **J. Agro.** 19:15.

Abstract

Since the drought is known as one of the most important factors limiting the growth and production of crops and causes changes in some morphological and physiological characteristics of plant growth, applying beneficial microorganisms to reduce damage caused by environmental stress is considered as an innovative solution in sustainable agriculture. In order to investigate this issue an experiment was conducted on beans plants in Shahroud University Research farm as a spilit plot factorial based on completely randomized blocks in 3 replications in 1388. The main factor was deficit irrigation stress in 3 levels including: control treatment, deficit irrigation at 50% flowering and deficit irrigation at 50% poding. The sub factor contained nitrogen stabilizer bacteria in 2 levels including control treatment and bacteria applying, phosphate solubilizing bacteria in 3 levels including control, *Bacillus coagulanz* and *Pseudomonas putida*. deficit irrigation at 50% poding caused the total plant weight, stem dry weight, pod length, 100-seed weight, seed yield and biological yield decreased. Also deficit irrigation at 50% flowering decreased the seed number. in deficit irrigation at 50% flowering and deficit irrigation at 50% poding, leaf dry weight, plant height, number of lateral branches, first pod distance from the soil surface, pod number and pod dry weight statistically were at the same level. Although deficit irrigation at 50% poding had more negative effect. Plants inoculating with *Rhizobium leguminozarum* had significant impact on nodule number, nodule dry and fresh weight and the other expressed traits except harvest index and pod length. So as consumption of this bacteria caused the expressed traits to increase. Effect of phosphate solubilizing bacteria such as nitrogen stabilizer bacteria had significant impact on all traits except harvest index and pod length. In all the treatment compounds *Pseudomonas putida* had the most effect. The interaction of deficit irrigation stress and *Rhizobium leguminozarum* on plant and stem dry weight, plant height, number of lateral branches, first pod distance from the soil surface, pod dry weight, 100-seed weight, biological yield and harvest index were significant. Plants that did not faced any water deficit and inoculated with showed the higher amount of these traits. The interaction of water deficit stress and Phosphate solubilizing bacteria on stem dry weight and 100-seed weight was significant. The results showed that plant inoculating increases the stress tolerance. Effect of simultaneously using bacteria inoculation and nitrogen stabilizer bacteria on stem and total plant dry weight, first pod distance from the soil surface, seed yield, 100-seed weight and biological yield were significant. The results indicate that simultaneously using of these bacteria had stronger effect on plant traits. Interaction of the three factors had no effect on plant characteristics.

Key words: nitrogen stabilizer bacteria- phosphate solubilizing bacteria- deficit irrigation stress- growth index- yield of *Viga sinensis*