نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی/ جلد ٦/ شماره ١/ ١٣٩٧

نقش باکتری *آزوسپیریلوم* بر عملکرد گندم در یک خاک آهکی

محمد حسین ارزانش[1]

استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ،گرگان ، ایران. **mharzanesh@yahoo.com**

دریافت: مهر ١٣٩٦ و پذیرش: تیر ١٣٩٧

چکیده

باکتری *آزوسپیریلوم* با تولید مواد محرک رشد سهم بسزایی در افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی دارد. اما تفاوت های زیادی بین جدایه‌هاوجود دارد که این امر باعث تفاوت در اثر بخشی آنها می‌گردد. در این تحقیق ابتدا جدایه‌ها بر اساس ویژگی های مرفولوژیکی و خصوصیات محرک رشدی مانند میزان تثبیت نیتروزن ، حلالیت فسفر نامحلول، تولید اکسین و سیدروفور ، سیانید هیدروژن (HCN) و آنزیم ACC-deaminas مقایسه شدند. در ادامه تاثیر پنج جدایه با ویژگی های تحریک کنندگی رشد بیشتر روی عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم مروارید مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار باکتریایی شامل پنج جدایه آزوسپیریلومی و یک تیمار شاهد(بدون تلقیح باکتری) با چهار تکرار در ایستگاه عراقی محله مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان که در گروه برزگ Torriorthents اجرا گردید. نتایج تلقیح بذور با جدایه‌های منتخب نشان دادند که تاثیر جدایه‌های مختلف باکتری *آزوسپیریلوم* بر اجزای عملکرد گندم مانند طول خوشه ، طول پدانکل(ساقه زیر خوشه) ، تعداد دانه در خوشه ، تعداد خوشه در متر مربع ، وزن هزاردانه ، عملکرد دانه و عملکرد کاه وکلش از نظر آماری و در سطح یک درصد با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت که این امر منجر به افزایش به ترتیب ١۴/٩١، ٢۵/۴٧،٩۴/۶٨، ٢۴/٩٧، ۶/٨٢، ٢٠/۴٢، ٣٧/٧٨ درصدی نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح شد.

واژه‌های کلیدی: اثر بخشی ، کود زیستی، باکتری محرک رشد گیاه ، غلات.

---

١ –آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ،گرگان ، ایران.

مقدمه

یکی از مشکلات خاک‌های کشور بالا بودن میزان کربنات کلسیم یا آهک در خاک‌ها می‌باشد. این مشکل می‌تواند باعث افزایش اسیدیته خاک و به تبع آن کاهش برخی از عناصر غذایی همچون فسفر و عناصر میکرو شود. در حالی که باکتری محرک رشد گیاه و از جمله *ازوسپیریلوم* می‌توانند با تولید اسیدهای آلی در ناحیه ریشه و نیز توسعه سیستم ریشه‌ای باعث جذب بهتر این عناصر توسط گیاهان به ویژه غلات شوند. تفاوت اثر بخشی یا کارایی باکتری‌های محرک رشد گیاه در مناطق مختلف دنیا بسیار متفاوت است (اوکن و لابرندا گونزالز، ۱۹۹٤). این در حالی است که این اختلاف‌ها در بین جنس‌های مختلف می‌تواند بیشتر باشد. در نتیجه عدم اطلاع از میزان اثر بخشی جدایه‌های مورد استفاده در ساخت کودهای زیستی می‌تواند یکی از سئوالات مهم در هنگام مصرف آنها در هر منطقه باشد. یکی از باکتری‌هایی که در سال‌های اخیر به وفور در ساخت کودهای زیستی در ایران استفاده می‌شود *آزوسپیریلوم* است. گونه‌های *Azospirillum* در خاک‌ها و به تعداد بیشتر روی سطح ریشه گیاهان مناطق مختلف دیده شده‌اند. باکتری *Azospirillum* با بسیاری از گیاهان یک ساله، چند ساله، گیاهان زراعی و علفی همیاری برقرار می‌نماید. این باکتری دارای جمعیت فراوانی در ریزوسفر و فضای بین سلولی ریشه غلات و دیگر گیاهان است (باشان و هولگین، ۱۹۹۷).

از نقش‌های مفید این باکتری‌ها می‌توان به تثبیت نیتروژن، تولید هورمونهای محرک رشد گیاه اشاره نمود (بوتینی و همکاران، ۱۹۸۹؛ بارتل، ۱۹۹۷)، بهبود جذب آب و عناصر غذایی (میشلزو همکاران، ۱۹۸۹؛ جرمن،۲۰۰۰)، افزایش حلالیت فسفات‌های نامحلول (کریج و هل،۱۹۹٤؛ سشاردی و همکاران، ۲۰۰۰)، تولید سیدروفور (شاه و همکاران، ۱۹۹۲) ماحصل ترشح تمام مواد ذکر شده توسعه سطح فعالیت‌های ریشه‌ای گیاه و در نتیجه افزایش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی (ویسی، ۲۰۰۳؛)، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم (اشرف فوزمان و همکاران، ۲۰۰۹) و در نهایت افزایش عملکرد می‌باشد (اوکن و لابرندا گونزالز، ۱۹۹٤؛ اسکاری و همکاران، ۲۰۰۹؛ ریگس و همکاران،۲۰۰۱؛ حسین و همکاران،۲۰۱۵).

همچنین تولید ویتامین (داهم و همکاران، ۱۹۹۳)، تولید سیدورفور (ساها و همکارن، ۲۰۱۳؛) کنترل عوامل بیماری زا (باشان و هولگین، ۱۹۹۷؛ رومئو و همکاران، ۲۰۰۳؛ نارندرا و همکاران، ۲۰۱۵)، ارتباط سینرژیستی با سایر باکتری‌های مفید خاکزی (بوردمن و همکاران، ۱۹۹٦؛ پرساد و بابو، ۲۰۱۷)، تولید نیتریت (باشان و هولگین، ۱۹۹۷؛ مولینا – فاورو و همکاران، ۲۰۰۸)، تولید محصولات صنعتی (اوکن و ایتزیگسون، ۱۹۹۵)، زیست پالایی فاضلاب‌ها (باشان و دی باشان، ۲۰۱۰؛ دی باشان و همکاران، ۲۰۰۲؛ دی باشان و همکاران، ۲۰۰٤)، احیا جنگل‌های مانگرو، احیا اراضی فرسایش یافته، تجزیه بقایای سمی (باشان و هولگین، ۱۹۹۷) از دیگر نقش‌های مفید این باکتری می‌باشد.

نتایج اولیه استفاده از *آزوسپیریلوم* در طی بیست سال در اکثر نقاط دنیا نشان داد که اثر بخشی این باکتری می‌تواند با توجه به متغیر بودن اقلیم و مدیریت زراعی ار ۵ تا ۳۵ درصد تغییر نماید (اوکن و لابرندا گونزالز، ۱۹۹٤؛). در اکثر این مقالات به استفاده از جدایه‌های بومی و سازگار با محیط‌های مصرف روی نتیجه دهی بهتر آنها تاکید شده است) (اوکن و لابرندا گونزالز، ۱۹۹٤؛). از طرفی استفاده از *آزوسپیریلوم* در مناطق دیمزارها نیز نشان داده است که می‌تواند روی افزایش عملکرد و تولید بیشتر گیاهان زراعی در مناطق زیر حد مطلوب بسیار موثر باشد (باشان، هوانگ و دی باشان، ۲۰۱۷؛ کاسان و دیاز-زوریتا، ۲۰۱۷؛). این در حالی است که گندم در اکثر مناطق دنیا در دیمزارها کاشته می‌شود. در نتیجه استفاده از جدایه‌های بومی و موثر با توانایی خوب از لحاظ ویژگی-های محرک رشدی می تواند باعث کمیت وکیفیت

محصولات زراعی در این مناطق شود. یکی از اهداف طرح حاضرمقایسه توانایی‌های محرک رشد جدایه‌های *آزوسپیریلوم* بومی و استفاده از پتانسیل خوب آنها برای افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم در استان گلستان است؛ زیرا این استان نزدیک به ۳۰۰ هزار هکتار اراضی دیم دارد (احمدی و همکاران،۱۳۹۵) که در صورت واکنش پذیری ارقام غالب گندم به این این جدایه‌های بومی و سازگار می‌توان امید به افزایش عملکرد در واحد سطح داشت.

مواد و روش‌ها

تهیه جدایه‌های *آزوسپیریلومی* و شناسایی جنس و گونه

در این آزمایش از پنج جدایه *آزوسپیریلومی* بومی ایران که توسط نویسنده در طرح استفاده از باکتریهای *Azospirillum* برای افزایش عملکرد گندم (ارزانش و همکاران، ۱۳۸۹) جداسازی و در بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب نگاه‌داری می‌شدند، استفاده شد. با این توضیح که در این طرح از جدایه‌هایی که منشا و خاستگاه آنها گلستان و از سطح ریشه یا ریزوپلان بودند، استفاده شد. برای شناسایی جنس و گونه منتسب از از آزمون‌های رشد در محیط سه در صد کلرور سدیم (اکرت و همکاران، ۲۰۰۱)، نیازمندی به بیوتین، اسیدی کردن محیط کشت پپتون به اضافه گلوکز (توان استفاده از گلوکز، تولید اشکال پلئو مرفیک (شکل های مختلط از باسیل وکوکوسی) در محیط NFB نیمه جامد (تراند و همکاران، ۱۹۷۸؛ هولت و همکاران، ۱۹۹٤) استفاده گردید. برای شناسایی بهتر این جدایه‌ها با چهار جدایه متعلق به مجموعه میکروبی آلمان DSMZ مقایسه شدند (ارزانش و همکاران، ۱۳۸۸؛ ارزانش وهمکاران، ۱۳۸۷).

بررسی خصوصیات محرک رشد گیاه (PGPR) جدایه‌های آزوسپیریلوم (*Azospirillum* spp.) بومی

ویژگی‌ها و خصوصیات مورد اندازه‌گیری شامل تثبیت نیتروژن (پیاو و همکاران، ۲۰۰۵؛ ترنر و گیبسون، ۱۹۸۰)، انحلال فسفر نامحلول معدنی وآلی (تغییر یافته اسربر، ۱۹۵۷)، تولید هورمون IAA (اکسین)(بریک و همکاران، ۱۹۹۱)، تولید سیدروفور (الکساندر و زوبر، ۱۹۹۱) و تولید آنزیم ACC- دآمیناز (پنروز و گلیک، ۲۰۰۳؛ آمیکو و همکاران، ۲۰۰۵) بودند. لازم به ذکر است که تولید سیدورفور بعد از ۹٦ ساعت انکوباسیون، تولید سیدورفور بعد از ٤۸ ساعت به صورت اندازه‌گیری نسبت قطر هاله به قطر کلنی بر حسب میلی متر، رشد جدایه های *آزوسپیریلومی* به روش کدورت سنجی در طول موج ٦۰۰ نانومتر در محیط ACC +NFb (تغییر یافته روش پنروز و گلیک، ۲۰۰۳) و بعد از ٤۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد و تولید ایندول استیک اسید بعد از ۹٦ ساعت ساعت انکوباسیون در دمای ۳۲ درجه سانتی گراد اندازه‌گیری شدند.

آزمون مزرعه‌ای

قبل از اعمال تیمارهای آزمایشی یک نمونه خاک مرکب از سطح مزرعه به روش معمول از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشته شد. آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی شامل قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس قابل استفاده، بافت، درصد اشباع (SP)، کربنات کلسیم روی این نمونه مرکب انجام شد.

این آزمایش در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با پنج تیمار باکتری *آزوسپیریلوم* (AZ1، AZ2، AZ3، AZ4، AZ5) و یک تیمار شاهد (بدون باکتری) در چهار تکرار بر روی گیاه گندم در ایستگاه عراقی محله مرکزتحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان اجرا گردید. تعداد کرتهای آزمایشی در مجموع ٢٤ کرت در ابعاد ۵ × ۷۸/۱ متر بوده است. تراکم دانه ۳۵۰ عدد در هر متر مربع و رقم مورد نظر مروارید یا N8019 از بخش

اصلاح و گواهی بذر مرکز تهیه و در تاریخ ۱۵ آذر ماه ۱۳۸٦ کشت شدند.

برای اعمال تیمارهای آزمایشی هر یک از جدایه‌های منتخب *آزوسپیریلوم* در محیط نوترینت براث[2] تلقیح و پس از ٤۸ ساعت قراردهی روی شیکر دورانی با دوران ۱۲۰ دور در دقیقه و رسیدن به جمعیت مطلوب ($۲/۳ \times ۱۰^{۸}$ باکتری در هر میلی لیتر)، به بذرهای ضد عفونی شده سطحی گندم به نسبت دو درصد وزنی تلقیح شدند، بعد از خشک شدن بذرهای تلقیح شده در سایه و دمای محیط آنها در کرتهای آزمایشی به صورت دستی و با تعویض دستکش‌ها در هر کرت کشت شدند. پس از تکمیل دوره رشد گیاه اقدام به نمونه‌برداری در سطح یک متر مربع از گیاه از هر کرت آزمایشی شد.

پارامترهای اندازه‌گیری: طول خوشه، طول پدانکل، تعداد دانه در خوشه، تعداد خوشه در متر مربع، وزن هزار دانه، طول ساقه، عملکرد دانه، تعداد سنبلچه در سنبله و عملکرد کاه و کلش مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج و یافته‌ها

محل برداشت نمونه‌ها و ناحیه جداسازی می-تواند روی اثر بخشی جدایه‌ها تاثیر داشته باشد. محل نمونه برداری و ناحیه جداسازی جدایه‌های *آزوسپیریلومی* در جدول- ۱ آورده شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود سه نمونه جدایه‌های *آزوسپیریلومی* از مناطق دیم و متاثر از شوری جمع‌آوری و نمونه‌گیری شدند.

از لحاظ ویژگی‌های محرک رشدی و نوع مواد محرک رشد بین جنس‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه با هم تفاوت وجود دارد (سانگ – مو و همکاران، ۲۰۱٤). این تفاوت بین نوع، مقدار و شرایط تولید حتی در گونه‌ها و بین گونه‌ها نیز وجود داشت. آزمایشات ویژگی‌های محرک رشد گیاه جدایه‌های بومی نشان داد که بیشترین میزان تثبیت نیتروژن، تولید سیدوروفور، مصرف CCA، حلالیت فسفر و تولید ایندول استیک اسید به ترتیب مربوط به جدایه‌های AZ5، AZ3، AZ1، AZ1 و AZ5 بود (جدول ۲).

نتایج آزمایش تجزیه نمونه خاک مزرعه نشان داد که خاک مزبور از لحاظ فسفر زیر حد بحرانی فسفر ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم قرار داشت. شمارش جمعیت باکتری‌های *آزوسپیریلوم* بومی نیز نشان داد که لحاظ فراوانی، جمعیت از ۲/۳ تا ۳/٤ واحد لگاریتمی متغیر و متعلق به گونه *lipoferum.A* بودند. توصیه کودی در این مرحله شامل استفاده از سه مرحله کود دهی بود. در مرحله اول کود دهی پایه به میزان ۷۵ کیلوگرم کود اوره و ۲۵ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل، ۲۵ کیلوگرم سولفات آهن،۲۵ کیلوگرم منگنز و ۲۵ کیلوگرم روی در هر هکتار داده شد. کود مرحله دوم و سوم به صورت سرک به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در محله پنجه دهی و ۷۵ کیلوگرم در مرحله ساقه رفتن به همه کرت‌ها داده شد (جدول ۳).

نتایج آزمایش مزرعه‌ای تاثیر تلقیح جدایه‌های آزوسپیریلومی محرک رشد گیاه (PGPR) بر برخی از شاخص‌های عملکرد گندم رقم مروارید (N-80-19) نشان داد که تاثیر تیمار روی پارامترهای طول خوشه، طول پدانکل، تعداد دانه در خوشه تعداد خوشه در متر مربع، وزن هزار دانه، طول ساقه، تعداد سنبلچه در سنبله و در نهایت روی عملکرد دانه و کاه و کلش در سطح پنج درصد از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ٤).

مقایسه میانگین شاخص‌های رشدی گیاه گندم نشان داد که بیشترین تاثیر جدایه هاروی عملکرد مربوط به تیمار AZ8 وسپس مربوط به تیمار های AZ3 و AZ1 است. بیشترین میزان عملکرد کاه و کلش نیز متعلق یه تیمارهای AZ5،AZ2 و AZ3 بود و کمترین شاخص‌های رشدی مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۵).

[2] Nutrient Broth

جدول ١- محل های برداشت نمونه های خاک و محل جداسازی جدایه های *Azospirillum*

شماره جدایه	آدرس محل های برداشت	محل جداسازی	جنس و گونه منتسب *
AZ1	گنبد- بین اق بند وچپر قویمه	ریزوپلان	*A.lipoferum*
AZ2	گلستان – آق قلا- شور حیات	ریزوپلان	*A.brasilense*
AZ3	گلستان – مینودشت- روبروی شهرک صنعتی	ریزوپلان	*A.lipoferum*
AZ4	گلستان – کردکوی – سالیکنده	ریزوپلان	*A.irakense*
AZ5	گلستان- اینچه برون – نرسیده به دریاچه الاگل	ریزوپلان	*A.lipoferum*

منبع: ارزانش و همکاران ، ١٣٨٧؛ ارزانش و همکاران،١٣٨٨ ؛ ارزانش و همکاران ، ١٣٨٩

جدول -٢ ویژگی های محرک رشدی جدایه های *آزوسپیریلوم*

شماره جدایه	مقدار اتیلن تولید شده ($nmol.h^{-1}.ml^{-1}$)	تولید سیدورفور ($h.c^{-1}$)	توانایی رشد در محیط NFb+ AC *	حل فسفرنامحلول ($mg.l^{-1}$)	تولید IAA ($mg.kg^{-1}$)
AZ25	٥٨/٧٧	٨/٢١	٠/٠٠٩	٨/٧٧	١٢/٣٧
AZ8	١٤/٣٠	٨/٢٠	٠/٠٢٨	٨/٧٩	١٤/٥٤
AZ5	٤/٧٦	٥/٠٠	٠/٠١٣	٨/٨٧	٣٢/١٩
AZ1	٣٤/٢٤	٦/٠٠	٠/٠٢٥	٨/٨٢	٣٢/٢٨
AZ10	٤٣/٠٠	٦/٤٣	٠/٠١٤	٩/٠٠	٣٣/٧٦

* منبع: روش تغییر یافته پنروز و گلیک، ٢٠٠٣

جدول ٣- خصوصیات فیزیکی، شیمیایی مزرعه آزمایشی در ایستگاه عراقی محله

pH	EC (m/ds)	N (%)	Pava ($mg.kg^{-1}$)	Kava ($mg.kg^{-1}$)	٣CaCO (%)	Fe ($mgkg^{-1}$)	Zn ($mgkg^{-1}$)	Cu ($mg.l^{-1}$)	Mn ($mgkg^{-1}$)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture	SP (%)	FC (%)	PWP (%)
٧/٦٠	١/٠٠	٠/١٧	١٠/٧٠	٣٦١	٢٤	٦/٨٠	١/٦٠	٢/٢٠	٢/٤٠	١٢	٥٨	٣٠	سیلتی کلی لوم	٥١	٢٠	٦

جدول ٤- جدول تجزیه واریانس شاخص های رشد گیاه گندم در مرحله برداشت گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		طول خوشه	طول پدانکل	تعداد دانه در خوشه	تعداد خوشه در متر مربع	وزن هزار دانه	طول ساقه	عملکرد دانه	تعداد سنبلچه در سنبله	عملکرد کاه و کلش
تیمار	٥	٠/٣٧٦*	٩٥/٦١**	٦٤/٨٧**	٣٩٩٠/٥٠*	٤/^{ns}٩٧	١١/^{ns}٩٠	٥٢٤٨/٥٦*	٠/^{ns}٨١	١٦٤٧٩/٤٨**
بلوک	٣	٠/^{ns}٠٦	١/^{ns}٦٢	٢٢/^{ns}٤٠	١٢٢٣/^{ns}٨٣	٠/^{ns}٠٩	٢/^{ns}٠١	٩٤٨/^{ns}٢٨	٠/^{ns}٣٠	٧٣٨٨/^{ns}٧٥
خطا	١٥	٠/^{ns}١١	٢/^{ns}٩٤	١٢/^{ns}٣٤	١١١١/^{ns}٤٢	٢/^{ns}١٦	١٤/^{ns}٠١	١١٦٤/^{ns}٠١	٠/^{ns}٥٠	٣٠٦٣/^{ns}٧٨
کل	٢٣									

جدول ٥- مقایسه میانگین شاخص های رشد گیاه گندم در مرحله برداشت گندم

تیمار	طول خوشه (cm)		طول پدانکل (cm)		تعداد دانه در خوشه		تعداد خوشه در متر مربع		وزن هزار دانه (g)		طول ساقه (cm)		عملکرد دانه ($kg.h^{-1}$)		تعداد سنبلچه در سنبله		عملکرد کاه و کلش ($kg.h^{-1}$)	
شاهد	٦/١٠	b	٢٥/٦١	b	٣٧/٠١	c	٣٠٥/٢٠	c	٤٣/٤٧	b	٧٥/٣٣	a	٥١٤٠/٣٥	c	١٥/١٦	b	٥٣٢٠/٢٥	e
AZ1	٦/٨٤	a	٣٧/٥٠	a	٤١/٤٥	bc	٣١٧/٧٥	bc	٤٥/٥٢	ab	٧٦/٠٨	a	٥٧٢٠/٩٥	ab	١٦/٤٦	a	٦٠٧٠/٠٥	dc
AZ5	٦/٨٩	a	٣٧/٧٠٠	a	٤٤/٣٣	b	٣٥٤/٥٠	ab	٤٥/٤٠	ab	٧٨/٤٠	a	٥٥٣٠/٧٣	bc	١٥/٨٢	ab	٦٨١٠/٢٨	ab
AZ3	٧/٠١	a	٣٧/٥٦	a	٤٩/٩٧	a	٣٨١/٧٥	ab	٤٦/٣٥	a	٧٣/٩٧	a	٥٨٧٠/٦٥	ab	١٦/٥١	a	٦٤٢٠/٤٥	bc
AZ4	٦/٧٧	a	٣٧/٨٢	a	٤٢/٥٠	b	٣٤٨/٢٥	bc	٤٦/٦٥	a	٧٤/٨١	a	٥٤٥٠/٧٠	bc	١٥/٩٨	ab	٥٦٤٠/٣٠	de
AZ2	٦/٥٨	ab	٣٧/٣٣	a	٤٤/١٧	b	٤٠٦/٧٥	a	٤٥/٣٥	ab	٧٧/٧٧	a	٦١٩٠/٠٥	a	١٦/٢٣	a	٧٣٣٠/٤٥	a

از لحاظ اثر بخشی نیز تاثیر تلقیح جدایه‌های بومی روی شاخص‌های رشدی گندم نشان داد که بیشترین تاثیر تلقیح باکتری *آزوسپیریلوم* روی طول خوشه، طول پدانکل، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، طول ساقه، عملکرد دانه، تعداد سنبلچه در سنبله و عملکرد کاه و کلش به ترتیب مربوط به جدایه های AZ3 (۱٤,۹۱ درصد)،AZ4 (٤۷,٦۸ درصد)، AZ3 (۲۵,۹٤ در صد)، AZ2 (۲٤,۹۷)، AZ4 (٦,۸۲ درصد)، AZ4 (٤,۰۸ درصد)، AZ2 (۲۰,٤۲ درصد)، AZ3 (۸,۵۸ درصد) و AZ2(۳۷,۷۸ درصد) بود.

بیشترین اثر بخشی روی طول پدانکل بودکه اکثر این جدایه‌ها از این نظر خوب بودند. اگرچه تولید هورمون‌های رشد گیاه مانند IAA باعث افزایش تقسیم سلولی در ریشه، افزایش تعداد تارهای موئین وریشه‌های جانبی، کاهش فاصله بین نوک ریشه ومنطقه تارهای موئین وافزایش تعداد انشعابات تارهای موئین ازتاثیرات تلقیح آزوسپیریلوم برروی مرفولوژی ریشه گیاه میزبان هستند (میشلز و وندلدین و ون گول، ۱۹۸۹؛ کاپولنیک و همکاران، ۱۹۸۵) ممکن است روی افزایش طول پدانکل تاثیر داشته باشد.

یکی از مهمترین دلایل نسبت دادن توانایی ار تقاء رشد گیاهان به جنس *آزوسپیریلوم*، تولید فیتوهورمون‌های متعددی است که باعث افزایش رشد ریشه، بهبود جذب آب وعناصر معدنی ودر نهایت تولید بیشتر محصول می‌شود (باشان و همکاران، ۲۰۰٤) بطور مثال تولید اکسین، جیبرلین وسیتوکنین در کشت‌های خالص A.*brasilense* یافت شده است (میشلز و وندلدین و ون گول، ۱۹۸۹. در جوانه‌های ذرت تلقیح شده با آزوسپیریلوم در مقایسه با گیاه شاهد تلقیح نشده مقادیر نسبتاً زیادی از ایندول تری استیک اسید (IAA) به حالت آزاد و فعال، همینطور ایندول بوتیریک اسید و GA3 شناسایی شده است (کارننو- لوپز و همکاران، ۲۰۰۰؛ اوکن و ایتزیگسون، ۱۹۹٤).

ثابت شده است که آزوسپیریلوم قادر به تولید ایندول تری استیک اسید (IAA) از طریق راه‌های بیوسنتزی متعددی مانند آمینوترانسفراز، ایندول تری استامید و مسیرهای مستقل از تریپتوفان است (شکل های ۱ و ۲). تولید جیبرلین‌ها شامل انواع GA1, GA3 و ISO- GA3 نیزدر کشت های *A.lipoferum* مشخص شده است (کاسان و همکاران، ۲۰۰۱).

تنظیم کننده‌های رشد ساخته شده توسط *Azospirillum* علاوه بر تعییرات مرفولوژیکی ریشه روی سرعت تنفس، متابولیسم، رشد و توسعه ریشه نیزتاثیر می‌گذارند و در نتیجه جذب آب و عناصرغذایی در گیاهان تلقیح شده را افزایش می‌دهند (هولگین و همکاران، ۱۹۹۹). هورمون ایندول استیک اسید سبب افزایش انبساط پذیری دیواره سلولی می‌شود. اکسین‌ها مستقیماً به دیواره سلولی نمی‌چسبند؛ اما در غشای پلاسمایی یا درون سلول عمل می‌کند. این بدان معناست که سلول‌های گیاه در پاسخ به IAA باید بعضی از عوامل نرم کننده دیواره سلولی را آزاد کنند که انبساط پذیری را افزایش دهد. یون هیدروژن یک نرم کننده دیواره سلولی مناسب است. اکسین سبب می‌شود که سلول‌های حساس فعالانه به انتقال پروتون‌ها به درون ناحیه دیواره مبادرت نمایند. در نتیجه کاهش آنزیم‌های نرم کننده دیواره فعال می‌شوند وشکستن اتصالات اصلی دیواره سلولی را افزایش داده، انبساط پذیری دیواره زیاد می‌گردد.

در ریشه‌های کلنیزه شده توسط *Azospirillum*

تغییرات فیزیولوژیکی خاصی مشاهده شده است که یک مورد آن تغییر فعالیت تنفسی ریشه است .سرعت تنفس ریشه‌های تلقیح شده نسبت به تلقیح نشده به ازای یک گرم وزن خشک ریشه، کاهش پیدا کرده و در نتیجه با صرف انرژی کمتر ماده خشک بیشتری در ریشه‌های تلقیح شده تجمع پیدا کرده است (میشلز و همکاران، ۱۹۸۹).

در ریشه‌های کلنیزه شده توسط *Azospirillum*

تغییرات فیزیولوژیکی خاصی مشاهده شده است که یک

مورد آن تغییر فعالیت تنفسی ریشه است .سرعت تنفس ریشه‌های تلقیح شده نسبت به تلقیح نشده به ازای یک گرم وزن خشک ریشه، کاهش پیدا کرده و در نتیجه با صرف انرژی کمتر ماده خشک بیشتری در ریشه‌های تلقیح شده تجمع پیدا کرده است (میشلز و همکاران، ١٩٨٩).

باکتری *Azospirillum* در توزیع ترکیبات کربنی داخل گیاه نقش دارد. همچنین توانایی این باکتری در افزایش جذب آب وعناصر معدنی از خاک ثابت شده است. به طور کلی *Azospirillum* بر روی کارایی ریشه از دو طریق اثر می‌گذارد. کارایی ریشه به عنوان یک اندام جذب کننده افزایش می‌یابد و در حالت تلقیح رشد ساقه را افزایش می‌یابد (باشان و دبروسکی، ١٩٩٦).

گونه *آزوسپیریلوم لیپوفروم* باعث افزایش رشد در ذرت به دلیل تجمع اسید آمینه آزاد و شکرهای محلول در طی استرس خشکی شد (قدیسا و همکاران، ٢٠١٣).

تولید هورمون ابسیزیک اسید و جیبرلین در محیط کشت شیمیایی معین توسط *آزوسپیریلوم برازیلنس* باعث کاهش تنش خشکی در ذرت شد (کوهن و همکاران، ٢٠٠٨).

وضعیت بهتر آب در گیاهچه‌های گندم تلقیح شده با *آزوسپیریلوم* تحت شرایط تنش اسمزی در نتیجه تغییرات مرفولوژیکی در آوند چوب کلئوپتیل گزارش شده است (پرایرا و همکاران، ٢٠١٢).

تجمع تری هالوز در *آزوسپیریلوم برازیلنس* باعث افزایش تحمل به خشکی و افزایش تولید ذی توده در ذر ت گردید (رودریگز سالازا و همکاران، ٢٠٠٩).

در نهایت می‌توان جنین نتیجه گیری کرد که استفاده از *آزوسپیریلوم* باعث افزایش عملکرد گندم شد. این افزایش عملکرد نتیجه تلفیق مکانیسم‌های مختلف است. در واقع همانطوری که از نتایج آنالیز ویژگی‌های محرک رشدی جدایه‌ها معلوم می‌شود جدایه AZ2 در مقایسه با سایر جدایه‌ها در سطح پایین‌تری قرار داشت، اما ممکن است همین پایین‌تر بودن توانایی با هم دیگر باعث بیشتر شدن مکانیسن تلفیقی نهایی شده باشد. باشان و همکاران نیز مکانیسن تلفیقی را عامل اصلی اثرات مثبت تلقیح باکتری‌های محرک رشد می‌داند (باشان، هولگین و دی باشان، ٢٠٠٤) از طرفی خاستگاه این باکتری کمترین فاصله مکانی را به محل آزمایش نشان می‌دهد. همچنین امکان دارد که حتی مقادیر بسیار کم آنزیم ACC دآمیناز که در این آزمایش با توانایی رشد جدایه‌های *آزوسپیریلومی* در محیط فاقد نیتروژن و دارای توانایی شکستن ملکول ACC مشخص شده توانسته در مقایسه با سایر جدایه‌ها باعث افزایش بیشتر پارامترهای رشدی و عملکردی شده باشد.

نتیجه گیری کلی

خاک‌های آهکی با دارابودن مقدار زیاد آهک دارای سطح فسفر و عناصر میکروی قابل جذب کمتری هستند. برای کاهش این اثرات می‌توان از روش ساده و ارزان قیمت تلقیح بذور گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد و به ویژه جنس *آزوسپیریلوم* برای غلات استفاده نمود. واکنش پذیری ارقام به تلقیح به باکتری‌های محرک رشد گیاه تحت تاثیرگونه و جدایه‌های باکتری قرار می‌گیرد و استفاده از جدایه بومی و موثر می‌تواند علاوه بر کاهش اثرات تنش‌های تغذیه‌ای باعث افزایش عملکرد یا اجزای عملکرد گیاهان زراعی شوند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در اثر تلقیح بذور گندم رقم مروارید با جدایه‌های بومی *آزوسپیریلوم* به طور مثال جدایه AZ2 میزان عملکرد آن می‌تواند تا یک تن افزایش یابد.

این افزایش عملکرد متاثر از تغییر دراجزای عملکرد بود. بیشترین تاثیر تلقیح باکتری *آزوسپیریلوم* روی طول خوشه، طول پدانکل، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، طول ساقه، عملکرد دانه، تعداد سنبلچه در سنبله و عملکرد کاه و کلش بود. لذا در صورت استفاده از این جدایه‌ها در تولید کودهای زیستی امکان افزایش تولید در واحد سطح برای جامعه بهره‌برداران امکان‌پذیر است.

برای دستیابی به این نتایج در نقاط دیگر، باید از کودهای زیستی استفاده نمود. کودهای زیستی در مقایسه با کودهای دیگر به دلایلی همچون قیمت پایین‌تر، مصرف کمتر، امکان تولید داخل، نداشتن اثرات سو روی محیط زیست، حیوان و انسان، افزایش راندمان کودهای شیمیایی و کاهش مصرف آب می‌توانند جایگزین مناسبی برای تمام یا بخش قابل ملاحظه‌ای از کودهای دیگر یاشند. برای تولید کودهای زیستی باید ابتدا میکروارگانیسم مناسب انتخاب و بعد از غربالگری در شرایط آزمایشکاهی و مزرعه‌ای آزمون شوند. بعد از انتخاب جدایه مناسب، این جدایه‌های در محیط کشت‌های اختصاصی تکثیر شده و در مرحله بعد با مواد مناسبی که حامل نام دارند ترکیب می‌شوند. مواد حامل می‌توانند مایع یا جامد باشند. مواد حامل نقش نگهدارنده را داشته و میکروارگانیسم‌های مفید را از زمان تولید در کارخانه تا زمان مصرف در مزرعه در خود جای می‌دهند.

محصول حاصل کود زیستی یا مایه تلقیح میکروبی نام دارد. این مواد به صورت بذرمال استفاده شده یا به صورت پوششی در بذرهای پوشش دار شده قابل مصرف هستند. در سال‌های اخیر نیز استفاده از کودهای زیستی در کشور افزایش یافته و کشاورزان زیادی با نام و اثرات آنها آشنایی دارند. معمولا این کودهای زیستی به میزان دو درصد وزنی یا حجمی با بذر اکثر محصولات زراعی قابل استفاده هستند. در انواع پودری قبل از اختلاط با بذر، ابتدا لازم است بذور با مقادیر مناسبی از مواد چسباننده آغشته شوند (معمولاً به نسبت دو درصد وزنی به وزنی یا حجمی به حجمی) و در مرحله بعد با مایه تلقیح‌های میکروبی مخلوط شوند تا مقدار مناسبی از باکتری یا میکروارگانیسم روی بذر بنشیند. بعد از مدت زمان کوتاهی از آغشته سازی بذور با کودهای زیستی در سایه هوا خشک شده و بلافاصله کشت می‌شوند. در این حالت بیشترین تاثیر این کودهای زیستی حاصل می‌شود. در این طرح نیز جدایه‌های مناسبی غربال شده‌اند که امکان استفاده از آنها در تولید و ساخت کودهای زیستی برای گندم فراهم شده است. به عبارتی ساده‌تر این که کشاورزان به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم بذر کود زیستی فراهم شده از این باکتری را می‌توانند بعد از مرطوب سازی بذر با آب یا ماده چسباننده و مخلوط کردن آن در سایه و هوا خشک شدن آن داخل تانک حاوی بذر ریخته و اقدام به کاشت نمایند.

رهیافت ترویجی

در سال‌های اخیر استفاده از کودهای زیستی در کشور افزایش یافته و کشاورزان زیادی با نام و اثرات آنها آشنایی دارند. معمولا این کودهای زیستی به میزان دو درصد وزنی یا حجمی با بذر اکثر محصولات زراعی قابل استفاده هستند. در انواع پودری قبل از اختلاط با بذر ، ابتدا لازم است بذور با مقادیر مناسبی از مواد چسباننده آغشته شوند(معمولاً به نسبت دو درصد وزنی به وزنی یا حجمی به حجمی) و در مرحله بعد با مایه تلقیح های میکروبی مخلوط شوند تا مقدار مناسبی از باکتری یا میکروارگانیسم روی بذر بنشیند. بعد از مدت زمان کوتاهی از آغشته سازی بذور با کودهای زیستی در سایه هوا خشک شده و بلافاصله کشت می شوند. در این حالت بیشترین تاثیر این کودهای زیستی حاصل می شود. در این طرح جدایه‌های مناسبی از باکتری های جنس *آزوسپیریلوم* غربال شده اند که امکان استفاده از آنها در تولید و ساخت کودهای زیستی برای گندم فراهم شده است. به عبارتی ساده تر این که کشاورزان به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم بذر کود زیستی فراهم شده ا ز این باکتری را می توانند بعد از مرطوب سازی بذر با آب یا ماده چسباننده و مخلوط کردن آن در سایه و هواخشک شدن آن را داخل تانک حاوی بذر ریخته و اقدام به کاشت نمایند.

سپاسگزاری

از همکاران محترم در بخش خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان که

در انجام آزمایش‌های مربوط به تجزیه خاک و اجرای طرح در مزرعه با مجر ی همکاری نموده‌اند و از همکاران بخش اصلاح و تهیه نهال بذر برای در اختیار قرا دادن بذر و زمین مورد نیاز برای اجرای این طرح تحقیق و تشکر را دارم.

فهرست منابع

١. احمدی،ک. قلیزاده، ح.ا. عبادزاده،ح.ر.حاتمی،ف. فضلی استبرق،م.حسین پور،ر.کاظمیان،آ. و رفیعی،م..١٣٩٥. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ٩٤ -١٣٩٣جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامهریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ١٦٣ص

٢. ارزانش، م.ح.رحیمیان، ح.ا.علیخانی،ح.ع.خاوازی،ک.١٣٨٨.جداسازی و گروه بندی جدایه های *Azospirillum* بومی خاک های ایران ، مجله پژوهشهای خاک(علوم خاک و آب).جلد٢٣(٢): ٢٠٥- ٢١٥

٣. ارزانش، م. ح. کشاورز،پ.همتی،ا.توسلی،ع.ر.١٣٨٩. استفاده از باکتری های *Azospirillum* برای افزایش عملکرد گندم. گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و اب .شماره نشریه ١٥٤٦. ٨٦ص

٤. ارزانش،م. ح. ، علیخانی،ح. ع. رحیمیان، ح. ا.، خاوازی، ک.، بی همتا، م. ر. ١٣٨٧. بررسی پتانسیل کاربرد برخی ازجدایه های *آزوسپیریلومی* محرک رشد گیاه بر عملکرد گندم در سطوح مختلف خشکی . پایان نامه دکتری رشته بیولوژِی و بیوتکنولوژی خاک. گروه مهندسی علوم خاک.دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع . دانشگاه تهران. کرج. ایران. ٢٠٨ص.

5. Alexander, D.B., Zuberer, D.A. 1991. Use of chrome azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. Biology and Fertility of Soils 12:39–45
6. Arzanesh, M.H., Alikhani, H.A., Rahimiyan,H.A., Khavarzi, K. ,Bihamta,M.R. 2009. The potential effects of some *Azospirillum* strains as plant growth promoting rhizobacteria on wheat (*Trichum asetivum* L.) yeild under drought stress Ph.D. Thesis, Department of Soil science , Faculty of Soil and Water Engineering. University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.210 pp.
7. Ashrafuzzaman, M. H. F, Ismail, M.R., Ismail, M.D.R., Hoque, M.D.A., Shaidullah, S.M., Menon, S. 2009. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. African Journal of Biotechnology, 8: 1247-1252.
8. Askary, M., Mostajeran, A., Amooaghaei, R. and Mostajeran, M. 2009. Influence of the Co-inoculation *Azospirillum* brasilense and Rhizobium meliloti plus 2,4-D on Grain Yield and N, P, K Content of Triticum aestivum (Cv. Baccros and Mahdavi. American-Eurasian Journal Of Agricultural & Environmental Sciences, 5 (3): 296-307.
9. Bartel, B. 1997. Auxin biosynthesis. Annu.Rev.Plant Physiol.Plant Mol.Biol.48:51-66.
10. Bashan Y., De-Bashan L.E., 2010. How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth-a Critical Assessment, Advance in Agronomy, 108:77-136
11. Bashan, Y., and Holguin, G. 1997. *Azospirillum*-plant relationships: Environmental and physiological advances (1990–1996). Canadian Journal of Microbiology,43: 103–121.
12. Bashan, Y., Dubrovsky, J.G. 1996 . *Azospirillum* spp. participation in dry matter partitioning in grasses at the whole plant level. Biology and Fertility of Soils,23(4):435-440
13. Bashan, Y., Holguin, G., de-Bashan, L.E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997–2003). Canadian Journal of Microbiology,50: 521–577.
14. Bashan, Y., Puente, M.E., Rodriguez-Mendoza, M.N., Toledo, G., Holguin, G. , Ferrera-Cerrato, R., and Pedrin, S. 1995. Survival of *Azospirillum brasilense* in the bulk soil and rhizosphere of 23 soil types. Appl. Environ. Microbiology, 61: 1938-1945.

15. Bottini, R., Fulchieri, M., Pearce, D., Pharis, R.P. 1989. Identification of gibberellins A1, A3 and iso A3 in cultures of *Azospirillum lipoferum*. Plant Physiolology, 90:45–47.
16. Bric, J. M., Bostock, R. M., Silverstone, S. E. 1991. Rapid In-Situ assay for indole-acetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. Applied and Environmental Microbiology. 57: 535-538.
17. Burdman, S., Kigel, J., Okon, Y. 1996. Effects of *Azospirillum brasilense* on nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Soil Biology and Biochemistry, 29:923–929.
18. Caceres, E. A. R, 1982. Improved medium for isolation of *Azospirillum* spp. Applied and Environmental Microbiology, 44: 990–991.
19. Cassán, F., Bottini, R., Schneider, G., Piccoli, P. 2001 *Azospirillum brasilense* and *Azospirillum lipoferum* hydrolyze conjugates of GA20 and metabolize the resultant aglycones to GA1 in seedlings of rice dwarf mutants. Plant Physiology,125:2053–2058
20. Cassan, F., Diaz-Zorita ,M. 2016. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field, Soil Biology and Biochemistry, 103: 117-130
21. Cohen, A.C., Bottini, R., Piccoli, P.N .2008.*Azosprillium brasilense* Sp 245 produces ABA in chemically defined culture medium and increases ABA content in Arabidopsis plants. Plant Growth Regulation, 54:97–103
22. Coninck, K. D., Horemans, S., Randombage, S. and Vlassak, K. 1998. Occurrence and survival of *Azospirillum* spp. in temperate regions. Plant and Soil,110: 213-218.
23. Dahm, H., Róz˙ycki, H., Strzelczyk, E, Li, C.Y. 1993. Production of B-group vitamins by *Azospirillum* spp. grown in media of different pH at different temperatures. Zentralbl Mikrobiol, 148:195–203.
24. De-Bashan, L.E., Moreno, M., Hernandez, J.P., and Bashan, Y. 2002. Removal of ammonium and phosphorus ions from synthetic wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* coimmobilized in alginate beads with the microalgae growth promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. Water Research. 36: 2941–2948.
25. De-Bashan, L.E., Hernández, J.P., Morey, T., and Bashan, Y. 2004. Microalgae growth-promoting bacteria as “helpers” for microalgae: A novel approach for removing ammonium and phosphorus from municiPDAl wastewater. Water Research, 38: 466–474.
26. Dell’Amico, E., Cavalca, L., and Andreoni, V. 2008. Improvement of *Brassica napus* growth under cadmium stress by cadmium resistant rhizobacteria Soil Biology and Biochemistry, 40 : 74-84
27. Dell’Amico, E., Cavalca, L., and Andreoni, V. 2005. Analysis of rhizobacterial communities in perennial *Graminaceae* from polluted water meadow soil, and screening ofmetal-resistant, potentially plant growth-promoting bacteria. FEMS Microbiology, 52(2):153-62
28. Eckert, B., Weber, O. M., Kirchhof, G., Halbritter, A., Stoffels, M. and Hartmann, A. 2001. *Azospirillum doebereinerae* sp. nov., a new nitrogen fixing bacteria associated with the C4-grass *Miscanthus*. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 51:17–26.
29. German, M.A., Burdman, S., Okon, Y., Kigel, J. 2000. Effects of *Azospirillum brasilense* on root morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under different water regimes. Biology and Fertility of Soils, 2: 259–264.
30. Holguin, G., Pdatten, C.L., and Glick, B.R. 1999. Genetics and molecular biology of *Azospirillum*. Biology and Fertility of Soils, 29: 10–23.
31. Hossain, M., Jahan, I., Akter, S., Rahman, N., Rahman, S. M. 2015. Effects of *Azospirillum* isolates from paddy fields on the growth of rice plants. Research in Biotechnology, 6(2): 15-22.
32. Mertens, T., Hess, D. 1984. Yield increase in spring wheat (*Triticum asetivum* L.) inoculated with *Azospirillum lipoferum* under greenhouse and field conditions of a temperate region. Plant and Soil, 82: 87-99.
33. Michiels, K., Vanderleyden, J., Van Gool, A. 1989. *Azospirillum* plant root association: A review. Biology and Fertility of Soils, 8:356–368.

34. Michiels, K.W., Croes, C.L., and Vanderleyden, J. 1991. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. Journal of General of Microbiology, 137: 2241-2246.
35. Molina-Favero, C., Creus, C.M., Simontacchi, M., Puntarulo, S.,Lamattina, L. 2008. Aerobic nitric oxide production by *Azospirillum brasilense* Sp245 and its influence on root architecture in tomato, Molecular Plant- Microbe Interactions ,21: 1001-1009
36. Narendra Babu, A., Jogaiah, S., Itoc, S., Kestur Nagaraj, A., Tran ,L.S. 2015 . Improvement of growth, fruit weight and early blight disease protection of tomato plants by rhizosphere bacteria is correlated with their beneficial traits and induced biosynthesis of antioxidant peroxidase and polyphenol oxidase, Plant Scinece, 231: 62–73
37. Penrose, D.M., Glick, B.R .2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. Physiologia Plantarum ,118:10–15
38. Pereyra, M.A., Garcia, P., Colabelli, M.N., Barassi, C.A., Creus, C.M. 2012. A better water status inwheat seedlings induced by *Azospirillum* under osmotic stress is related to morphological changes in xylem vessels of the coleoptile. Applied Soil Ecology, 53:94–97
39. Piao, H. L., Lim, J. H., Kim, S. J., Cheong, G.W., andHwang, I. 2001. Constitu- tive over-expression of AtGSK1 induces NaCl stress responses in the absence of NaCl stress and results in enhanced NaCl tolerance in Arabidopsis. The Plant Journal, 27: 305–314.
40. Prasad,A., Babu,S.2017. Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). Annals of the Brazilian Academy of Sciences. 89(2): 1027-1040
41. Qudsaia, B., Noshinil, Y., Asghari, B., Nadia, Z, Abida, A., Fayazul, H .2013. Effect of *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays* L.) under drought stress. Pakistan Journal of Botany, 45:13–20
42. Riggs, P.J., Chelius, M.K., Iniguez, A.L., Kaeppler, S.M., Triplett, E.W. 2001. Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria. Australian Journal of Plant Physiology, 28:829–36.
43. Rodriguez-Salazar, J., Suarez, R., Caballero-Mellado, J., Itturiaga, G .2009. Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. FEMS(Federation of European Microbiological Societies) Microbiology Letters ,296:52–59
44. Romero A.M., Correa O.S., Moccia S., Rivas J.G., 2003 .Effect of *Azospirillum*-mediated plant growth promotion on the development of bacterial diseases on fresh-market and cherry tomato, Journal of Applied Microbiology,95, 832-838
45. Saha R., Saha N., Donofrio R.S., Bestervelt L.L., 2013 .Microbial siderophores: a mini review, Journal of Basic Microbiology, 53:303-317
46. Sang-MoK,RadhakrishnanR, KhanAL,Min-JiK, Jae-Man P, Bo-RaK, Dong-Hyun S, In-Jung L .2014. Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putida* H-2-3modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. Plant Physiology and Biochemistry, 84:115–124
47. Seshadri, S., Muthukumarasamy, R., Lakshminarasimhan, C., and Ignacimuthu, S. (2000). Solubilization of inorganic phosphates by *Azospirillum halopraeferans*. Current Science. 79: 565–567.
48. Shah, S., Rao, K.K., Desai, A. (1993). Production of catecholate type of siderophores by *Azospirillum lipoferum* M. Indian Journal of Expermental of Biology ,31:41–44.
49. Sperberg, J.I. 1958. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. Australian Journal Agriculture Research Economics, 9:778
50. Tarrand, J.J., Kreig, N.R., Döbereiner, J. (1978). A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with a descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov., and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerink) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. Candian Journal of Microbiology, 24:967-980.

51. Turner, G. L. & Gibson, A. H. (1980). Measurement of nitrogen fixation by indirect means. In *Methods for Evaluating Biological Nitrogen Fixation*, pp. 111-138. Edited by F. J. Bergersen. Chichester: Wiley.

Using *Azospirillum* to enhance wheat yield in calcareous soils

M. H. Arzanesh [1]

Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center , AREEO, Gorgan, Iran. **mharzanesh@yahoo.com**

Received: October 2017, and Accepted: July 2018

Abstract

Azospirillum plays a significant role in the quantitative and qualitative enhancement of crop yield. Its isolates, however, exhibit extreme differences as reflected in their impacts on crop yield. In this study, isolates of *Azospirillum* were initially compared with respect to their morphological traits and such growth promoting characteristics as nitrogen fixation; solubility of insoluble phosphorus; and their auxin, sidrophore, hydrogen cyanide (HCN), and ACC-deaminas enzyme production. Furthermore, five isolates characterized by superior growth promoting characteristics were investigated for their effects on yield and its components in wheat Morvarid cultivar. For this purpose, an experiment was conducted in a randomized complete block design with 6 bacterial treatments including five *Azospirillum* isolates and one control treatment (without bacterial inoculation) with 4 replicates at Iraqimahaleh Station, Golestan Agricultural and Natural Resources Research Center, where the soil is classified in the large Torriorthents Group. Results of seed inoculation in selected isolates showed that the impacts of different *Azospirillum* isolates on wheat yield components such as panicle length, peduncle length, number of seeds per panicle, number of panicles per square meter, weight of 1000 seeds, seed yield, and straw yield were statistically significant at 1% confidence level, as evidenced by increases of 14.91, 47.94, 25.98, 24.97, 82.86, 20.42, and 37.88%, respectively, in the above traits of Mordavid cultivar relative to those of the control with no inoculation.

Keywords: Effectiveness, Biofertilizer, Cereals, Plant Growth Promoting Bacteria.

1- Corresponding author: Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.