



نقش باکتری باسیلوس در افزایش رشد گیاه

Bacillus subtilis: A plant–growth promoting
rhizobacterium that also impacts biotic stress

تهیه شده توسط واحد فنی
شرکت نهاده گستر گوهر ثمر



***Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress**

گیاهان با بسیاری از عوامل زیستی مانند ویروس ها، باکتری ها، نماتدها، علف های هرز و عنکبوتیان مواجه می شوند. این موجودات با برهم زدن متابولیسم طبیعی، استرس زیستی را در میزبان خود ایجاد می کنند و در نتیجه رشد گیاه را محدود می کنند و یا عامل مرگ و میر گیاهان هستند. با این حال، برخی از عوامل زیستی به صورت همزیستی یا هم افزایی با گیاهان میزبان خود، تعامل دارند.

برخی از میکروبها می توانند برای گیاهان مفید باشند و نقشی مشابه کودهای شیمیایی و آفتکشها داشته باشند و به عنوان یک کود زیستی و یا آفتکشهای زیستی عمل کنند. ریزوباکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) می توانند به طور قابل توجهی رشد گیاه را افزایش دهند و نشان دهنده یک تعامل مفید دوجانبه گیاه و میکروب باشند.

Bacillus subtilis

یک باکتری غیر بیماریزاست که در خاک زندگی می کند و قادر به تولید اسپورهای مقاوم است که در برابر دامنه وسیعی از شرایط مقاوم می باشند

همچنین قادر به تشکیل ساختار های چند سلولی (بیوفيلم) که در ازدیاد یا تهاجم به میزبان نقش دارد (با کلونیزه کردن نوک ریشه باعث حفاظت گیاه در برابر حمله پاتوژن می شوند)

همچنین انواعی از ترکیبات فعال بیولوژیکی در برابر پاتوژنهای بیماریزای گیاهی تولید می کند و قادر به افزایش مقاومت گیاه می شود و به خاطر این خصوصیات یک عامل کنترل بیولوژیک است.

گونه‌های باسیلوس یک نوع اصلی از ریزوباکتری‌ها هستند که می‌توانند اسپورهایی تشکیل دهند که می‌توانند برای مدت طولانی در شرایط محیطی سخت در خاک زنده بمانند. رشد گیاه توسط PGPR ها از طریق القای مقاومت سیستمیک، آنتی بیوز و حذف رقابتی صورت می‌گیرد. بنابراین، کاربرد میکروب ها می‌تواند برای القای مقاومت سیستمیک در گیاهان در برابر عوامل زنده و افزایش تحمل به تنش های محیطی مورد استفاده قرار گیرد.

Bacillus subtilis مکانیسم کنترل بیولوژیکی مستقیم و غیرمستقیم را برای سرکوب بیماری های ناشی از پاتوژن ها نشان می‌دهد. مکانیسم مستقیم شامل سنتز بسیاری از متابولیت‌های ثانویه، هورمون‌ها، آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی و آنتی‌اکسیدان‌هایی است که به گیاه در دفاع در برابر حمله پاتوژن کمک می‌کنند.

مکانیسم غیر مستقیم شامل تحریک رشد گیاه و القای مقاومت سیستمیک اکتسابی است. *Bacillus subtilis* همچنین می تواند فسفر خاک را حل کند، تثبیت نیتروژن را تقویت کند و سیدروفورهایی تولید کند که رشد گیاه را تقویت کرده و رشد پاتوژن ها را سرکوب می کند. *Bacillus subtilis* با القای بیان ژن های پاسخ به استرس، فیتوهورمون ها و متابولیت های مرتبط با استرس، تحمل استرس را در میزبان های گیاهی خود افزایش می دهد.

این میکروارگانیسم های ریزوسفری، با ویژگی ها، تنوع و ارتباط منحصر به فرد خود با گیاهان، باید بیشتر برای رفع نیازهای سیستم های تولید ارگانیک و پایدار مورد بهره برداری قرار گیرند.

گونه های باسیلوس می توانند اندوسپورهایی تشکیل دهند که در برابر شرایط سخت محیطی بسیار انعطاف پذیر هستند و همچنین می توانند متابولیت هایی ترشح کنند که رشد و سلامت گیاه را تحریک می کنند. بنابراین، کاربرد موفقیت آمیز میکروب های مفید الگویی برای افزایش تحمل استرس و سازگاری با تغییرات آب و هوایی فراهم می کند.

برخی از انواع ترکیبات آلی فرار (VOCs) منتشر شده از سویه باسیلوس سوبتیلیس (GB03) نشان داده شده است که به گیاهان برای بازیابی از تنش کمک می کنند. گونه های باسیلوس همچنین اگزوپلی ساکاریدها و سیدروفورها ترشح می کنند که حرکت یون های سمی را مهار یا متوقف می کنند و به حفظ تعادل یونی و همچنین جذب آب توسط ریشه کمک می کنند. این ترکیبات همچنین جمعیت میکروبی بیماریزا را مهار می کنند.

کلونیزاسیون ریشه ها توسط *Bacillus subtilis* هم برای باکتری و هم برای گیاه میزبان مفید است. تقریباً ۳۰ درصد کربن ثابت تولید شده توسط گیاهان از طریق ترشحات ریشه ترشح می شود. که یک منبع غذایی برای ریزوباکترها را فراهم می کند و در ازای آن، ریزوباکترها رشد گیاه را تحریک کرده و میزبان خود را در برابر استرس محافظت می کنند.

Molecular Aspects of Plant Growth Promotion and Protection by *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis یکی از ریزوباکتری های محرک رشد گیاه است که به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. این می تواند رشد گیاه و همچنین کنترل پاتوژن های گیاهی را از طریق مکانیسم های مختلف، از جمله بهبود در دسترس بودن مواد مغذی و تغییر هموستاز هورمون های گیاهی و همچنین تولید مواد ضد میکروبی و ایجاد مقاومت سیستمیک القایی، افزایش دهد.

کلونیزاسیون باکتریایی ریشه گیاه گامی حیاتی در تعامل بین میکروب و گیاه است و بنابراین به نظر می رسد که از اهمیت زیادی برای تقویت رشد و اثرات کنترل زیستی آن برخوردار باشد. یک کلونیزاسیون موفق ریشه به هر دو ویژگی باکتری، شامل: تحرک و تشکیل بیوفیلم و همچنین به تعامل سیگنال با گیاه بستگی دارد.

بسیاری از مواد مغذی و عناصر کمیاب مهم گیاهی مانند نیتروژن، فسفر و آهن در خاک به شکلی غیرقابل دسترس برای گیاهان وجود دارند و بنابراین باید قبل از آن توسط ریزوباکتری ها ثابت یا متحرک شوند. (حیات و همکاران ۲۰۱۰)

به عنوان مثال، گیاهان قادر به استفاده مستقیم از نیتروژن اتمسفر نیستند. *B. subtilis* برای تثبیت نیتروژن اتمسفر و همچنین ترویج گره‌زایی توسط باکتری‌های دیگر و در نتیجه بهبود کلونیزاسیون ریزوباکتری‌های همزیست بومی شناخته شده است (Elkoca و همکاران ۲۰۰۷). یکی دیگر از مواد مغذی ضروری که باید قبل از استفاده توسط گیاهان فعال شود، فسفر است. *B. subtilis* قادر است فسفر را از طریق تولید اسیدهای آلی مختلف که آن را به شکل محلول تبدیل کند.

(Saeid et al. 2018)

علاوه بر این، یون های فلزی، مانند آهن، اغلب یک عامل محدود کننده برای رشد گیاه هستند. مطالعات نشان داده اند که *B. subtilis* با تسهیل حرکت آهن از طریق اسیدی شدن ریزوسفر و با القای تنظیم مثبت ژن های جذب آهن در گیاهان، محتوای آهن را در گیاهان افزایش می دهد. (Freitas et al. 2015; Zhang et al. 2009)

B. subtilis طیف گسترده ای از ترکیبات را تولید می کند که مستقیماً رشد گیاه را به طرق مختلف تحت تأثیر قرار می دهد. اول از همه، *B. subtilis* قادر است به طور فعال هموستاز هورمون رشد گیاه را تغییر دهد و بنابراین تقسیم سلولی و رشد گیاه را، یا از طریق تولید خود هورمون های رشد گیاهی و یا با القای تولید در گیاهان از طریق ترکیبات ترشح شده، تقویت می کند.

(Arkhipova et al. 2005)

دو ترکیب آلی فرار تولید شده توسط *B. subtilis*، یعنی ۳-هیدروکسی-۲-بوتانون (استوئین) و ۲،۳-بوتانندیول، نشان داده شده است که رشد گیاه را با تغییر هموستاز سیتوکینین و اتیلن افزایش می دهند. تلقیح با سویه های مولد *B. subtilis* یا استفاده از ۲،۳-بوتانندیول خالص منجر به افزایش قابل توجهی در اندازه برگ نوع وحشی *Arabidopsis thaliana* شد. (Xie et al. 2014)

علاوه بر مولکول‌های سیگنالی که به طور غیرمستقیم بر هموستاز هورمونی تأثیر می‌گذارند، *B. subtilis* می‌تواند خود هورمون‌های گیاهی تولید کند. آرکیپووا و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که تلقیح با سویه *B. subtilis* تولید کننده سیتوکینین منجر به افزایش قابل توجهی تجمع سیتوکینین در گیاهان کاهو شد که منجر به بهبود رشد و عملکرد شد. (Arkhipova et al. 2005)

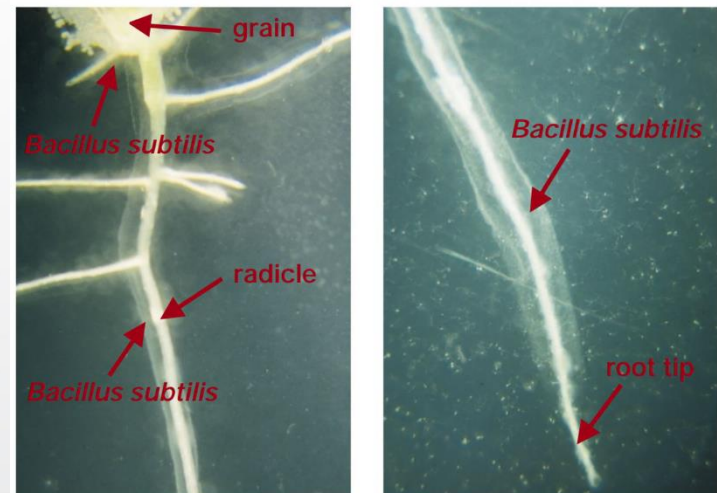
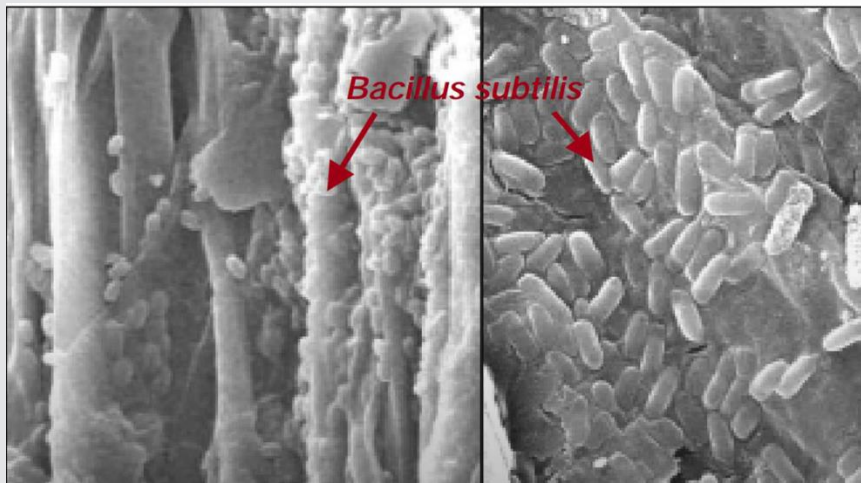
علاوه بر تحریک مستقیم رشد گیاه، *B. subtilis* قادر است تنش‌های غیرزیستی را کاهش دهد که در غیر این صورت عملکرد بهینه محصول را محدود می‌کند. تنش آب و نمک دو محدودیت عمده برای کشاورزی مدرن هستند. در واقع، خشکسالی یکی از استرس‌زاترین عوامل محیطی است که بر عملکرد محصول در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد و حتی ممکن است از طریق تغییرات آب و هوایی در آینده نزدیک تشدید شود (Li et al. 2009)

آب شیرین یک منبع محدود است و آبیاری محصولات زراعی ممکن است در دهه‌های آینده کاهش یابد. علاوه بر این، آبیاری طولانی مدت منجر به شور شدن خاک می‌شود و تاکنون حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد از زمین‌های زراعی آبیاری شده توسط نمک آلوده شده است (Fita et al. 2015)

گزارش شده است که *B. subtilis* قادر به افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی و شوری است. وو و همکاران (۲۰۲۰) اخیراً نشان داد که تلقیح با *B. subtilis* GOT9 باعث افزایش تحمل به خشکی و تنش شوری در *A. thaliana* و *Brassica campestris* از طریق تعدیل بیان ژن گیاهی، از جمله تنظیم دگرگونی ژن‌های بیوستنز برای آبسزیک اسید (ABA)، یکی از هورمون‌های گیاهی اصلی برای تنظیم استرس علاوه بر این، ژانگ و همکاران. (۲۰۱۰)

نشان داد که *B. subtilis* همچنین قادر به افزایش استرس اسمزی مستقل از سطح ABA در *A. thaliana* است. در این مورد، *B. subtilis* توانست آسیب‌های ناشی از خشکسالی را از طریق افزایش بیوستنز محافظت‌کننده اسمزی در گیاه و تنظیم اندام خاص HKT1 وارد کننده Na^+ گیاه به حداقل برساند (Zhang et al. 2010).

سیگنالی که مسئول ایجاد بیوفیلیم روی ریشه است، یک طرفه از گیاه به میکروب نیست، بلکه یک اثر متقابل بین آنهاست. علاوه بر ترکیبات تولید شده توسط گیاه که باعث ایجاد پاسخ شیمیایی و تشکیل بیوفیلیم در سلول‌های باکتریایی می‌شود، *B. subtilis* می‌تواند بر بیان ژن در گیاهان تأثیر بگذارد که باعث ایجاد کلونیزاسیون ریشه می‌شود.



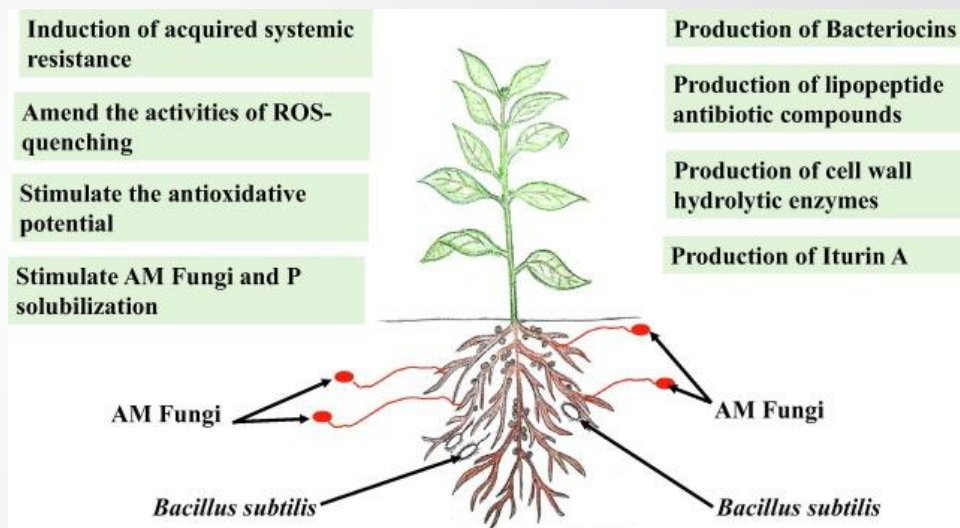
کاهش ژن‌های دخیل در پاسخ ایمنی ذاتی گیاه ممکن است نقش مهمی در طول استقرار *B. subtilis* روی ریشه داشته باشد، زیرا ممکن است به سلول‌های باکتریایی کمک کند تا از مکانیسم‌های دفاعی گیاه در طول کلونیزاسیون اولیه، فرار کنند.

مکانیسم دیگری برای فرار از پاسخ‌های ایمنی ذاتی گیاه توسط دنگ و همکاران مشاهده شده است. (۲۰۱۹)، که توضیح داد که چگونه *B. subtilis* BSn5 اندوفیت می‌تواند فلاژلین‌های تولید شده را از طریق تولید آنتی بیوتیک سابتیلومایسین بپوشاند و در نتیجه تحریک پاسخ دفاعی گیاه را کاهش دهد.

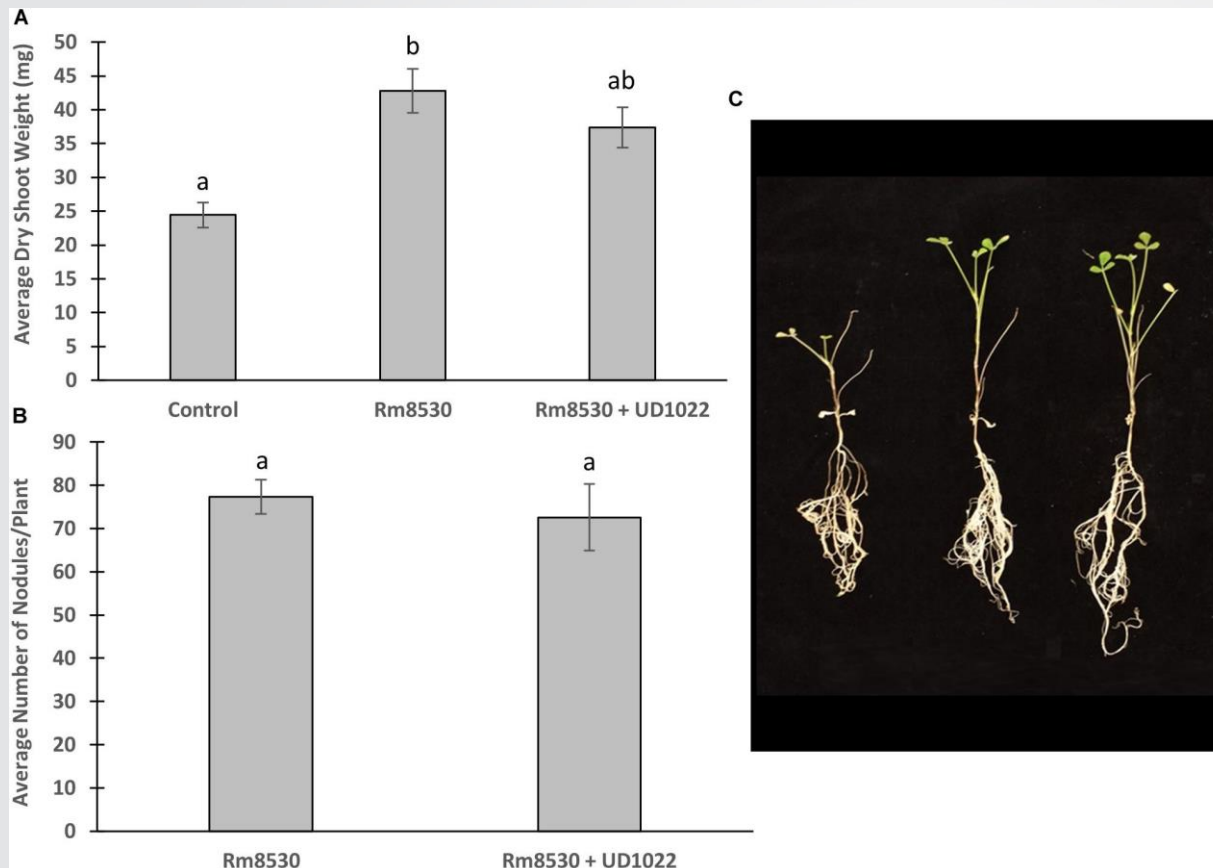
لازم به تاکید است که اکثر مطالعاتی که کلونیزاسیون ریشه *B. subtilis* را بررسی می‌کنند در شرایط استریل و بسیار کنترل شده انجام شده است. بدیهی است که این محیط از محیط طبیعی و پیچیده برای *B. subtilis*، یعنی ریزوسفر و ریشه گیاه دور است، و مشاهدات آزمایشگاهی اغلب در شرایط مزرعه به سختی قابل تکثیر هستند.

نشان داده شده است که ریزوسفر دارای ۱۰۱۱ سلول میکروبی در هر گرم است که نشان دهنده بیش از ۳۰۰۰۰ گونه است (Berendsen et al. 2012). یکی از دلایل تنوع در موفقیت کنترل زیستی در شرایط مزرعه ممکن است میکروبیوم‌های گیاهی طبیعی باشد. فعل و انفعالات بین میکروب‌ها می‌تواند هم مشارکتی یا رقابتی باشد، به این معنی که بسته به باکتری‌های همزمان، کلونیزاسیون ریشه توسط *B. subtilis* ممکن است بهبود یابد یا کاهش یابد یا حتی، موفقیت آمیز یا ناموفق باشد.

به عنوان مثال، *Pseudomonas protegens*، یکی دیگر از PGPRهای پرمصرف، قادر به مهار تشکیل بیوفیلم *B. subtilis* در کشت مشترک با تولید ترکیبی به نام ۲،۴-diacetylphloroglucinol است که با سرکوب ژن‌های اختصاصی بیوفیلم، تمایز سلولی را به تاخیر می‌اندازد (Powers et al. 2015). بر این اساس، تشکیل بیوفیلم نه تنها نقش مهمی در کلونیزاسیون ریشه به خودی خود ایفا می‌کند، بلکه تعامل با میکروب‌های همزمان را تعدیل می‌کند.

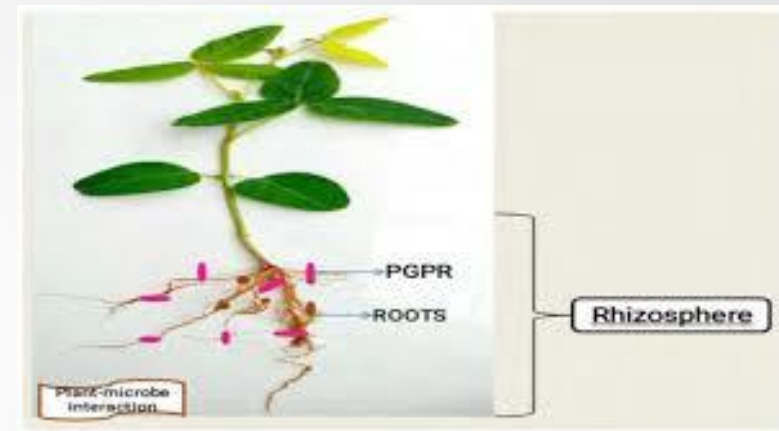
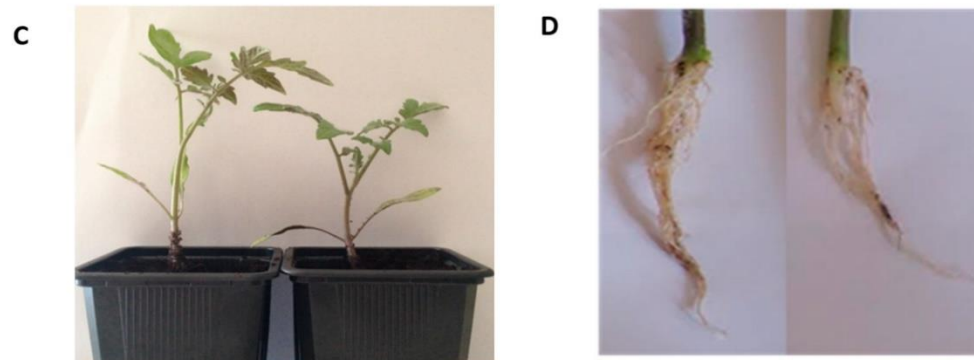
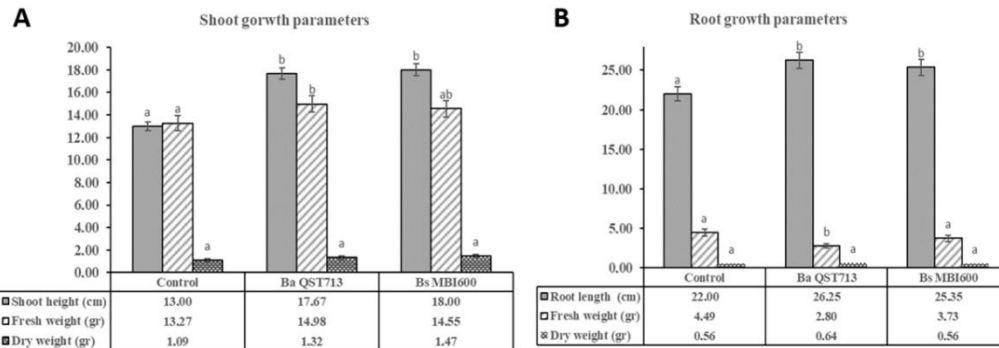


مکانیسم عمل باکتری *Bacillus subtilis*



شکل کلونی باکتری باسیلوس

مقایسه گیاهان تیمار شده با باکتری باسیلوس و شاهد



مقایسه گیاه تیمار شده با باسیلوس و شاهد

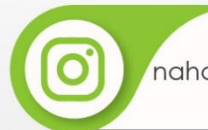


شیراز: چهار راه مصدق،
بلوار غدیر، نبش کوچه یک



۰۷۱-۳۷۲۵۴۵۹۵
۰۷۱-۳۷۲۵۴۵۵۳

تهیه شده توسط واحد فنی
شرکت نهاد گستر گوهر ثمر



nahadeh_gostar_gohar_samar_co



www.nahadehgostar.com