علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۲ (۹۶ - ۷۹)
مقاله مروری
DOI: 10.22124/jms.2023.7685

سازوکارهای کلیدی تاثیر باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در کنترل تنش شوری (بذور تلقیح شده – پوشش‌دار زیستی) گندم

احمد اصغرزاده*[۱]، کبری ثقفی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۹

چکیده

گندم به‌عنوان غذای اصلی اغلب جوامع بشری، یک کالای راهبردی است. با بروز جنگ اکراین و روسیه و اخلال در تامین غلات و همچنین با تغییرات اقلیم در جهان، اهمیت گندم برای تغذیه جمعیت کره زمین بیش از پیش نمایان شده است. این گیاه به‌دلیل سازگاری گسترده با شرایط مختلف آب و هوایی، سهولت کشت، امکان نگهداری طولانی مدت، ارزش غذایی مناسب و قابلیت مصرف در اشکال مختلف، بسیار حائز اهمیت است. قرار گرفتن ایران در اقلیم گرم و خشک و در نتیجه شور بودن درصد زیادی از زمین‌های زراعی، ایجاب می‌نماید که بیشترین توجه به مطالعه و پژوهش در مورد راز و رمزها و روش های افزایش تولید این محصول راهبردی در شرایط تنش(خشکی و شوری) به‌عمل آید. بنابراین باید به‌دنبال راهکارهای ارزان و موثر جهت افزایش تولید این محصول بود. برای مقابله با تنش شوری، روش‌های مختلفی از جمله آبشویی خاک‌های شور، مدیریت مناسب آبیاری و کشت، استفاده از ارقام گیاهی مقاوم به شوری و کاربرد انواع کودهای زیستی به‌عنوان پوشش بذر و یا تلقیح آن مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از ریزجانداران مفید یکی از راهکارهای زیستی و موثر محسوب می‌شود که در کنار مصرف معقول کودها و مواد شیمیایی، توجه به قابلیت‌های تاثیرگذاری متنوع و بسیار موثر آن‌ها در محیط ریشه و برگ برای پرایمینگ زیستی و مولکولی بذر، برای مقابله با شوری و خشکی و در نهایت تولید محصول درکشور نیز جدی گرفته شده و کاربردی گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، پوشش زیستی بذر، تلقیح بذر، گندم

۱- عضو هیات علمی، بخش بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
a_asgharzadeh_2000@yahoo.com
۲- دکتری اصلاح نباتات، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. kobra_saghafi@yahoo.com
*نویسنده مسئول: a_asgharzadeh_2000@yahoo.com

مقدمه

اهمیت گندم

گندم به‌عنوان محصول محوری و کلیدی کشاورزی، جایگاه و اهمیت ویژه‌ای در عرصه سیاسی، اقتصادی و سلامت کشورها به‌خصوص کشورهای درحال توسعه ایفا می‌کند (Laino *et al*. 2015; Seleiman *et al*. 2021). به نظر می‌رسد تامین این محصول برای جوامعی مانند ایران (با شرایط ویژه سیاسی و تحریم) به معنی ایجاد امنیت غذایی و ثبات کشور بوده و حیات طبقات متوسط و ضعیف جامعه شدیداً تحت تاثیر این محصول می‌باشد (Mosavi, 2007). هر ایرانی به‌طور متوسط ۱۶۰ کیلوگرم گندم به اشکال مختلف مصرف می‌کند (Anonymous, 2023) و این مقدار مصرف با افزایش فقر و حذف اقلام پروتئینی و دیگر محصولات غذایی و تغییر منابع تامین انرژی به‌دلیل افزایش قیمت‌ها، شدیداً افزایش پیدا می‌کند. با لحاظ جمعیت و ذخایر احتیاطی، نیاز کشور به این محصول بیش از ۱۴ میلیون تن برآورد شده است. بر اساس آمارها، تولید گندم در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ حدود ۱۱/۱ و در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ حدود ۱۱/۵ میلیون تن بوده و مابقی نیاز کشور نیز از طریق واردات تامین شده است (Anonymous, 2022). این شرایط ایجاب می‌نماید که بیشترین توجه به مطالعه و پژوهش در مورد افزایش تولید این محصول راهبردی به عمل آید. از آنجا که اصلاح ژنتیک بسیار وقت‌گیر و گران بوده و انتخاب طبیعی ارقام شوری‌پسند گندم هنوز چندان موفق نبوده‌اند، لذا کشت ارقام تجاری مقاوم به شوری گندم در جهان همه‌گیر نشده است. در چنین شرایطی باید به‌دنبال روش‌های ارزان، موثر، کاربردی و سریع بود که بتواند در شرایط شوری خاک و آب و تغییر اقلیم، موجب افزایش تولید گندم و یا حداقل حفظ تولید در سطح موجود گردد (Seleiman *et al*., 2021). پوشش بذر گندم و تلقیح آن موقع کاشت می‌تواند یکی از موثرترین و ارزانترین روش‌ها برای مقابله با تنش شوری و حتی خشکی در تولید گندم کشور باشد.

بررسی اراضی شور و اثرات تنش شوری

یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در ایران، شوری آب و خاک است. موضوعی که در کنار کمبود آب، در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان "مرگ سفید" در کشاورزی نام می‌برند. بالغ بر ۱۷ میلیون کیلومترمربع از زمین‌های جهان تحت تاثیر شوری قرار دارد و سالانه حدود ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های تحت کشت جهان در اثر شوری حاصل از آبیاری یا گسترش خاک‌های شور از چرخه تولید خارج می‌شوند (Munns, 2005; Khan *et al*., 2015; FAO, 2021; Negacz *et al*., 2022). در چین، هند، پاکستان، ایران، عراق، آمریکا و استرالیا شوری به‌طور جدی مساله‌ساز است و ایران از نظر گسترش خاک‌های شور پس از روسیه، هند و پاکستان در رتبه چهارم جهان قرار گرفته است. بنا بر مطالعات خاکشناسی انجام شده طی سال‌های ۱۳۳۲ تا ۱۳۸۸ از مجموع ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشور که دارای خاک‌های مبتلا به‌درجات مختلف شوری هستند (شکل ۱)، حدود ۴/۳ میلیون هکتار اراضی هستند که به غیر از شوری محدودیت دیگری ندارند (حدود ۱/۱ میلیون هکتار (۵/۲۷درصد) از این اراضی دارای شوری ۱۴ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر هستند. بیش از ۴/۲ میلیون هکتار (۵۷ درصد) دارای شوری ۱۶ تا ۳۲ دسی زیمنس بر مترند و بیش از ۶۶۰ هزار هکتار (۵/۱۵ درصد) دارای شوری بیش از ۲۲ دسی‌زیمنس برمتر بوده‌اند که جزو اراضی غیر قابل کشت محسوب می‌شوند و فقط ۴/۸ درصد از کل ۶/۸ میلیون هکتار اراضی کشاورزی مبتلا به شوری در کشور دارای مسئله آب زیرزمینی در محدوده رشد ریشه‌اند. این مزیتی است که اصلاح این بخش از خاک‌های شور را از جنبه‌های فنی و اقتصادی به‌صرفه کرده است (Momeni, 2010).

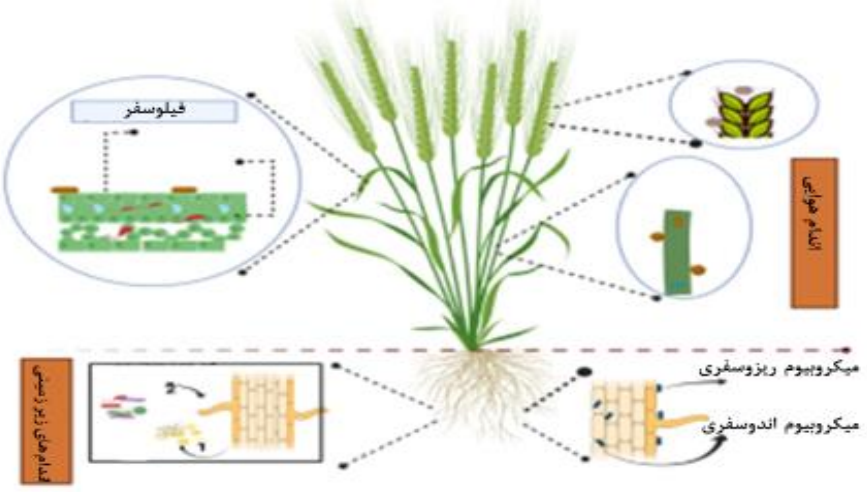
بخش‌های وسیعی از کشور مانند دشت‌های حاصلخیز قزوین و مغان و گرگان و گنبد، آزادگان، ورامین تا گرمسار، سیستان تا فارس تا نوار حاشیه‌ای جنوب کشور و اراضی حاصل‌خیز اطراف زاینده‌رود، به‌نحوی، و با درجاتی از تنش شوری متاثر هستند و انتظار می‌رود که به‌تدریج از دسترس خارج شوند. پیش‌بینی می‌شود این میزان تا ۷۵ درصد کل اراضی فاریاب کشور پیشروی نماید (Momeni, 2010). افزایش شوری خاک به طور عمده تحت تاثیر عواملی نظیر اقلیم، توپوگرافی، آبیاری و فعالیت‌های انسانی و صنعتی قرار دارد (Negacz *et al*., 2022; Gupta and Huang 2014). رشد و نمو اندک گیاهان در خاک‌های شور مربوط به بالا بودن فشار اسمزی ناشی از وفور کاتیون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و آنیون‌های کلر، سولفات، HCO_3، و نیترات است

(Shrivastava and Kumar, 2015). با افزایش فشار اسمزی، گیاه برای جذب مقدار معینی آب و عناصر غذایی باید انرژی حیاتی بیشتری صرف کند. چون گیاه کل انرژی حیاتی خود را نمی‌تواند فقط صرف غلبه بر فشار اسمزی خاک نماید، به‌ناچار فقط بخشی از آب موجود در خاک را جذب می‌کند، و این عامل محدودیت رشد گیاه را به‌دنبال دارد. همچنین سمیت مستقیم ناشی از حضور بیش از حد برخی از این یون‌ها بر گیاه اثر منفی گذاشته و فراوانی نسبی هر یک از آنها نیز منجر به به‌هم خوردن تعادل عناصر غذایی موجود در درون گیاه می‌گردد (Latif *et al*., 2022; Cuevas *et al*. 2019; Seleiman *et al*. 2021 ; Malakouti *et al*., 2002). در اغلب موارد، تنش‌های اسمزی و یونی حاصل از تنش شوری سبب تولید انواع گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) شده که این گونه‌ها سبب اختلال در عمل غشاء می‌شود و سلول‌ها در اثر تنش اکسیداتیو می‌میرند. گیاهان و ریزجانداران برای مقابله با این وضعیت، باید قادر به تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو نظیر کاتالاز، پراکسیداز، گلوتاتیون رداکتاز و سوپراکسیددیسموتاز که پالاینده انواع اکسیژن فعال هستند، باشند که با صرف انرژی فرآوان تولید می‌شوند (Jeyasri *et al*., 2021; Shrivastava and Kumar, 2015; Yan *et al*., 2015; Seleiman *et al*., 2021). البته شوری و خشکی در سراسر دنیا وجود دارد اما تفاوت در نوع مدیریت، سبب کاهش و یا افزایش اثرات مخرب و دامنه اثر آن می‌گردد. اکوسیستم‌های زیادی در ایران وجود داشته است که از نظر اکولوژیکی و اقتصادی دارای اهمیت زیادی بوده ولی با سوء مدیریت به نمک‌زار تبدیل شده‌اند (نمونه بارز آن اراضی اطراف دریاچه ارومیه است). علاوه بر خسارات اقتصادی و زیست‌محیطی، تغییر شغل، تخلیه روستاها و تغییر ترکیب جمعیتی، خسارت اجتماعی جبران‌ناپذیر ناشی از تنش شوری است (Maybodi and Gharayazi. 2002). از عملیات‌های مدیریتی و انواع فناوری‌های مناسب که در شرایط شور به افزایش عملکرد و کنترل و یا کاهش اثرات مخرب شوری کمک می‌کنند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Latif *et al*., 2022; Seleiman *et al*., 2021; Cuevas *et al*., 2019; Ober *et al*., 2021; Shrivastava and Kumar, 2015):

فناوری‌های زیستی (زیستی) (استفاده از ارقام مقاوم به شوری و انواع ریزجانداران مفید برای افزایش تحمل به شوری گیاهان زراعی به‌صورت تلقیح و یا بذرمال)(شکل ۱).

فناوری هیدرولیکی (روش‌های مناسب آبیاری، آب‌شویی و مخلوط کردن آب‌های شور با آب‌های با کیفیت بهتر به‌منظور رقیق‌سازی و شستشوی نمک از محیط جوانه‌زنی بذر و ریشه).

فناوری‌های فیزیکی (تهیه بستر بذر مناسب و محل کشت بذر در پشته‌ها و ردیف‌ها با استفاده از روش‌های خاص کاشت و تعیین الگوی کشت مناسب با تأکید بر جایگزینی و کشت مخلوط گیاهان شورپسند با گیاهان رایج).



شکل ۱- اجزاء گندم تحت نفوذ و تاثیر ریز جانداران مفید برای القاء مقاومت به شوری (Chen *et al*., 2022)

Figure 1. Wheat components under affect of beneficial microorganism empire for salinity reseistane induction (Chen *et al*., 2022)

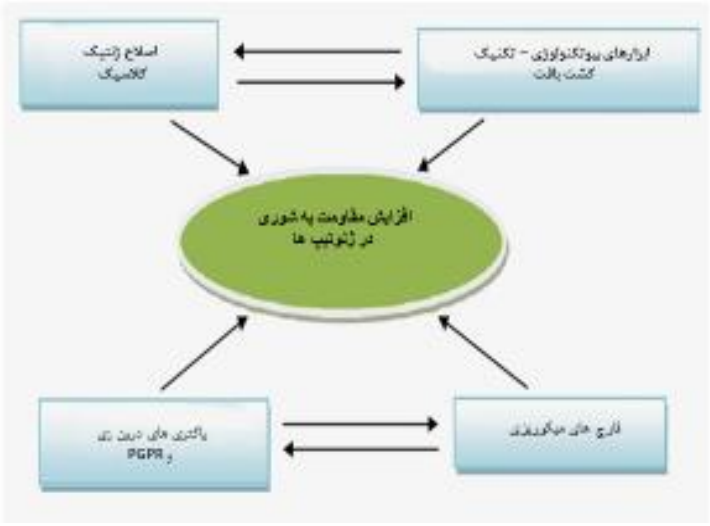
فناوری‌های شیمیایی (استفاده از کودهای آلی، شیمیایی و مواد شیمیایی اصلاح کننده خاک نظیر، اسید سولفوریک، سولفات‌های آهن، گچ، پلی‌فسفات آمونیوم، پلی‌فسفات کلسیم و همچنین مواد القاءکننده تحمل به شوری در گیاهان زراعی که مستلزم داشتن آب مناسب است).

فناوری‌های نوین (روش‌های مهندسی ژنتیک و انتقال ژن تحمل به شوری از طریق انتقال QTL های شناسایی شده به واریته‌های پرمحصول زراعی از گونه‌های مقاوم و انتخاب و استفاده از تکنیک خاموش‌سازی ژن به‌منظور بررسی نقش و عمل ژن‌های هدف در تحمل به شوری، انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب به کمک نشانگرهای مولکولی و استفاده از تکنیک‌هایی نظیر کشت بافت و سلول و مهندسی ریشه به‌عنوان راه حل دیگری برای مقابله با تنش در گندم نیز مطرح شده است (Shrivastava and Kumar, 2015; Ober *et al.*, 2021; Seleiman *et al*. 2021).

راه حل قطعی و دراز مدت برای اصلاح خاک‌های شور، چیزی جز به‌سازی آن‌ها از طریق مصرف مواد اصلاحی و آبشویی نیست. لیکن دستیابی به این هدف در بسیاری از موارد پرهزینه بوده و اجرایی نیست، بنابراین در چنین شرایطی برای دسترسی به عملکرد مطلوب، شناخت ویژگی‌های آب و خاک و اطلاع از رفتار گیاهان مختلف و واکنش آن‌ها به شوری امری بنیادی است (Gupta and Huang 2014; Shrivastava and Kumar, 2015). تامین صحیح و به مقدار کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه یکی دیگر از مواردی است که برای موفقیت در بهره‌برداری از اراضی شور می‌تواند اثرگذار باشد. با عرضه صحیح عناصر غذایی در مقدار و نسبت بهینه، شرایط گیاه باید به‌گونه‌ای تغییر داده شود که رشد گیاه در اثر جذب عناصر غذایی (کنترل جذب یون‌های مضر و تعادل نسبی عناصر در گیاه) بهبود یافته و محصول مناسبی به‌دست آید (Cuevas *et al.*, 2019; Shrivastava and Kumar, 2015). محققین دریافته‌اند که یکی از اثرات شوری بر گیاه، کوتاه شدن دوره رشد آن است، لذا تغذیه گیاه در این شرایط اهمیت بیشتری می‌یابد. شوری خاک همچنین مانع تکثیر و فعالیت ریزجانداران و تنوع و مقدار زیست‌توده خاک می‌شود و جمعیت آنها را به‌شدت کاهش می‌دهد، از طرفی بعضی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه توسط فعالیت همین ریزجانداران تولید یا به صورت قابل جذب در می‌آید. بدین ترتیب، با توقف یا کند شدن فعالیت آنها، گیاه دچار کمبود مواد غذایی می‌گردد (Chen *et al.*, 2022; Cuevas *et al.*, 2019). نکته مهم دیگر این است که کودهای شیمیایی خود نوعی نمک بوده و مصرف زیاد آن‌ها ممکن است به شوری خاک بیفزاید. بنابراین اضافه نمودن ترکیبات کودی به خاک شور باید با علم به ضریب شوری و اثرات جانبی آن‌ها صورت گیرد. گیاه مقداری از عناصر غذایی ضروری را از منابع کودی جذب و در ساختار خود استفاده می‌کند، اما انواع نمک‌ها (عامل شوری) در صورت عدم آب‌شویی در خاک باقی می‌مانند و به مرور زمان بر روی سطوح کلوئیدهای خاک می‌چسبند. دربسیاری از مناطق کشور که با محدودیت منابع آبی مواجه هستند، محدودیت‌های شدیدی درمقدار آب مورد نیاز برای آب‌شویی خاک وجود دارد و هر سال بر شوری خاک و آب افزوده می‌شود و روند تخریب خاک‌ها به‌طور غیرقابل برگشت و هشدار دهنده‌ای در حال توسعه است و در دراز مدت اثرات آن به‌صورت فاجعه‌ای عظیم، ظهور خواهد کرد (Cuevas *et al.*, 2019).

هرچند نمونه‌های موفق جهانی مخصوصاً در چین (برنج تجاری مقاوم به شوری) و گندم مقاوم به شوری در استفاده از فناوری‌های نوین و انتقال ژن‌های مقاومت، به گونه‌های زراعی پرمحصول غلات وجود دارد (Qin *et al.*, 2020)، ولی به‌دلیل وجود ابهامات در مورد چگونگی ایجاد مقاومت پایدار به شوری، چندژنی و پیچیده بودن صفت تحمل به شوری ناشی از نحوه عمل ژن‌ها، استفاده از این تکنولوژی را گران و محدود به کشورهای خاص با دانش فنی قوی نموده است که به‌راحتی در اغلب کشورها قابل اجرا نیست و پروژه زمان‌بری محسوب می‌شود (Shrivastava and Kumar, 2015). همچنین مشکلات خاص ناشی از کشت بافت، از قبیل وقوع جهش-های متعدد از دلایل عدم موفقیت و همه‌گیری روش‌های نوین می‌باشد (Qin *et al.*, 2020) با وجود امیدهای بسیار، در حال حاضر روش کلاسیک ارزان، سریع و استاندارد اصلاح نباتات برای ایجاد مقاومت به شوری جهت اصلاح ارقام تجاری مقاوم برای تولید ارقام پایدار درخاک‌های شور وجود ندارد (Shrivastava and Kumar, 2015). از طرفی به‌دلیل غیریکنواختی خاک در

اراضی شور، کارایی روش‌های انتخاب طبیعی و روش‌های اصلاحی که بر مبنای انتخاب پایه‌گذاری شده‌اند، چندان قابل‌توجه نیست شکل(۲)، (Qin *et al.*, 2020; Maybodi and Gharayazi, 2002). هر چند در چند سال اخیر، جهان به‌روش نوین کریسپر کس9 (CRISPR/Cas9) به‌عنوان آخرین دستاورد بشر در زمینه اصلاح ژنتیک موجودات و گیاهان، دل‌بسته است.



شکل ۲- روش‌های مختلف برای مقابله و افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری (Shrivastava and Kumar 2015)

Figure 2. Different method for inducing salt stress tolerance and confronting (Shrivastava and Kumar 2015)

نقش بالقوه باکتری‌های PGPR در کنترل تنش شوری

اگر چه فلور میکروبی خاک کمتر از نیم درصد از وزن خاک را تشکیل می‌دهد ولی نقش بسیار اساسی در خاک داشته و بدون این موجودات، خاک معنی خود را به‌عنوان بسترکشت از دست می‌دهد (Yan *et al.*, 2015) و میکروبیولوژی و زیست‌فناوری خاک به علم مطالعه و بکارگیری این موجودات زنده میکروسکوپی و فراورده‌های متابولیکی آنها برای افزایش رشد و عملکرد گیاهان اطلاق می‌گردد. در این علم سعی بر این است که از ریز جانداران خاک‌زی و برگ‌زی که در افزایش قابلیت استفاده گیاه از عناصر غذایی، بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و افزایش عملکرد گیاه نقش دارند، انتخاب و به‌صورت کودهای زیستی و یا انواع مایه تلقیح‌های پروبیوتیک به‌صورت تلقیح، بذرمال، محلول‌پاشی و حتی به‌صورت کود آبیاری در اختیار گیاهان مختلف قرار گیرند (Ji *et al.*, 2022; Mącik *et al.*, 2020; Dodd and Perez-Alfocea 2012; Sajid *et al.*, 2017). تعداد زیادی از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه با سابقه‌ای بیش از یک قرن، با انتخاب بهترین باکتری‌ها و قارچ‌ها، اقدام به تولید کودهای زیستی می‌نمایند، توجه جدی به عوارض زیست‌محیطی ناشی از بکارگیری بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی، همچنین اثر مخرب این کودها در شورشدن اراضی کشاورزی و خارج شدن تدریجی این اراضی از چرخه کشت، عامل تشویق این کشورها به تولید و مصرف انبوه انواع مایه تلقیح‌ها اعلام شده است (Rai *et al.*, 2020; Cuevas *et al.*, 2019; Khavazi and Malakouti 2002). البته در دهه‌های اخیر با افزایش تقاضا برای محصولات ارگانیک، تولید و مصرف این نوع نهاده‌های ارگانیک با شتاب فزاینده‌ای رو به فزونی گذاشته است (Backer *et al.*, 2018).

بحران شدید مواد غذایی که در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ درکشورهای آمریکای جنوبی (برزیل) ناشی از افت تولید محصولات اساسی این کشور اتفاق افتاد، امنیت غذایی را در این کشورها شدیداً به چالش کشید تا جایی که این مسئله به صورت یکی از رویدادهای مهم قرن بیستم در این کشور قلمداد گردید (Mosavi, 2007). این بحران باعث ایجاد تحولات عمیق و ساختاری در سیاست‌های مربوط به امنیت غذایی و کشت این کشورها شده است. در برزیل آزادسازی بازار و حمایت‌های نهاده‌ای از تولید و همچنین گسترش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها مورد توجه قرار گرفت (Silva and Grennes,

1999). کشور برزیل از سال ۱۹۶۱ تحقیقات خود در زمینه تثبیت زیستی نیتروژن در همزیستی با گیاه سویا را شروع کرده و اکنون دارای سویه‌های برتر از مایه تلقیح سویا است که بدون هیچ‌گونه مصرف کود نیتروژنه، تنها با تلقیح بذر و یا پوشش‌دار کردن، حداکثر عملکرد ممکن را ایجاد می‌کند و از این رو سهم عمده‌ای در صرفه‌جویی ارزی و حفاظت از محیط زیست در این کشور دارد و در حال توسعه این تجربه برای دیگر محصولات کشاورزی از جمله تلقیح و پوشش‌دهی بذرهای غلات هستند (Barbosa *et al*.2023; Backer *et al*.2018). استفاده از این تکنولوژی برای افزایش تحمل به شوری گیاهان زراعی و مدیریت تغذیه به‌وسیله کودهای زیستی به‌عنوان یکی از مهمترین فناوری‌ها محسوب می‌شود که در سال-های اخیر توسعه‌یافته و از آن به‌عنوان میکروبیوم گیاهی (Plant Microbiota or Plant Microbium) نیز یاد شده است (Cortivoa *et al*., 2017; Backer *et al*., 2018; Compant *et al*., 2019). مطالعات نشان می-دهد که باکتری‌های شور زی مقدار نمک را بیشتر از آنچه که در محیط محلول خارجی وجود دارد از طریق برداشت فعال یون‌ها در پروتوپلاسم خود انباشته می‌کنند، لذا فشار آب داخل سلول در مقایسه با محلول خارجی منفی‌تر باقی می‌ماند و سیستم‌های آنزیمی آن‌ها به نحوی تکامل یافته-اند که در سطوح بالای نمک در پروتوپلاسم خود همچنان انجام وظیفه می‌نمایند (Yan et al., 2015) . در بعضی از گونه‌های باکتریایی، باکتری‌هایی با تحمل کمتر به شوری وجود دارند که سامانه‌های آنزیمی آن‌ها با غلظت بالای نمک تطابق نداشته و برای تنظیم فشار اسمزی در پروتوپلاسم خود از محلول‌های آلی استفاده می‌کنند (Caton, 2004; Barin, *et al* 2015). مطالعات نشان داده که برخی از باکتری‌ها و قارچ‌ها با سازوکارهای متنوع، در محیط اطراف ریشه گیاهان تلقیح شده، به کاهش اثرات تنش خشکی و شوری کمک می‌کنند. این مکانیسم-ها عبارتند از تولید پلی‌ساکاریدها، تجمع اسمولیت‌ها، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی تنظیم تولید اتیلن تنشی در گیاه از طریق تولید آنزیم ACC–دآمیناز، تولید اکسین توسط تحریک کننده‌های ACC سنتتاز، تثبیت زیستی نیتروژن، حل‌کنندگی فسفات، پتاسیم و روی و... که این مکانیسم‌ها سبب افزایش جوانه‌زنی بذر، افزایش حجم، سطح ریشه و تعداد تارهای کشنده، افزایش رشد اندام هوایی بوته، افزایش سبزینگی، تولید مواد محرک رشد، تثبیت نیتروژن و تامین بخشی از نیاز نیتروژن گیاه، کمک به جذب فسفر، روی و پتاس، کمک به افزایش جمعیت میکروبی مفید خاک، و در نهایت سبب حفظ توان تولید در دراز مدت شده و به این ترتیب سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی از جمله شوری می‌شوند (Shrivastava and Kumar 2015; Krishna *et al*., 2016, Barin, *et al*., 2015). تحقیقات ثقفی و همکاران (Saghafi *et al*., 2013) نیز نشانگر تأثیر معنی‌دار و مثبت باکتری‌های محرک رشد بر اکثر صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهایی است که بذرها با ترکیبی از جنس‌های متفاوت در شرایط شور تلقیح شده بودند. براساس نتایج حاصل از مقایسه بین ارقام، باکتری‌ها در رقم حساس تاثیرگذاری بیشتری داشتند. بنابراین بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش مشخص شد که در سطوح شوری مورد مطالعه، تلقیح با باکتری‌های منتخب باعث کند شدن روند کاهش رشد در صفات مورد مطالعه شده و باکتری‌ها توانستند شاخص‌های رشد گیاه را در شرایط شور به‌طور معنی‌داری بهبود بخشند (Saghafi *et al*., 2013). علاوه بر مزایای فوق، استفاده از باکتری‌های محرک رشد و انواع مایه تلقیح‌ها دارای صرفه اقتصادی به دلیل کم بودن حجم مصرفی کود زیستی (مخصوصاً به-صورت پوشش بذر) نسبت به کودهای شیمیایی و صرفه-جویی در هزینه‌های حمل و نقل، انبارداری و توزیع در بردارد.

تنظیم تولید اتیلن در گیاه از طریق تولید آنزیم ACC–دآمیناز

یکی از دلایل عمده کاهش یا عدم رشد گیاه در شرایط تنش‌های غیر زنده نظیر شوری و خشکی، افزایش تولید و تجمع اتیلن درمحیط ریشه گیاه است. باکتری‌های ریزوسفری PGPR با توانایی تولید آنزیم ACC Deaminase می‌توانند میزان اتیلن محیط ریشه گیاه را کاهش داده و تا حد زیادی اثرات سوء شوری را تعدیل نمایند. گاز اتیلن یک محرک رشد گیاه است و بسته به-میزان غلظت، فرآیندهای فیزیولوژیکی طبیعی و مرحله رشدی گیاه، می‌تواند اثر تحریک‌کنندگی و یا بازدارندگی داشته باشد. اتیلن همچنین در خاک توسط فرایندهای زیستی و غیرزیستی تولید می‌شود (Shrivastava and Kumar 2015; Krishna *et al*., 2016; Sajid *et al*.,

2017). تحقیقات گلیک (Glick, 2012) نشان می‌دهد که برخی از انواع باکتری‌های محرک رشد می‌توانند آنزیم ACC deaminase را تولید کرده و از این طریق، میزان تولید اتیلن را در محیط ریشه و در محیط اطراف بذرهای در حال جوانه‌زنی کنترل می‌کنند. این آنزیم به‌صورت غیرمستقیم و عمدتاً از طریق کاهش سطح اتیلن تنشی در گیاه سبب کاهش اثرات منفی این هورمون در رشد و توسعه اندام‌های گیاهی به‌ویژه ریشه شده و باعث افزایش جوانه‌زنی بذر و تداوم رشد گیاه می‌گردد. ماده ACC (آمینو سیکلو پروپان ۱-کربوکسیلات) پیش‌ساز سنتز اتیلن است و در نتیجه فعالیت آنزیم ACC – اکسیداز، به اتیلن تبدیل می‌شود. سویه‌های تولیدکننده آنزیم ACC-deaminase قادرند از پیری زودرس ناشی از انواع تنش مانند غرقاب، عوامل بیماری‌زا، فلزات سمی و شوری محافظت کنند (Saleem *et* Shrivastava and Kumar 2015 *al*., 2007; Glick. 2012;). گیاهانی که با باکتری‌های حاوی این آنزیم تیمار می‌شوند به‌دلیل کاهش اتیلن در آن‌ها دارای رشد ریشه بیشتر و نسبت به تنش مقاومت بیشتری خواهند داشت. تلقیح باکتری‌های PGPR برای گیاهان حساس به اتیلن نظیر کلزا، گوجه‌فرنگی و فلفل توصیه شده است. گزارش‌های مشابه زیادی در کشور نیز نشان داده است که گیاهان تلقیح شده و یا پوشش‌دار شده با انواع باکتری‌های PGPR دارای آنزیم ACC ـ دآمیناز قادرند در شرایط تنش شوری و حتی در شرایط خشکی رشد بهتری داشته باشند (Glick, 2012; Saghafi *et* Shrivastava and *al*., 2013; Sajid *et al*., 2017 Kumar 2015; Krishna *et al*., 2016;).

فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (سوپر اکسید دیسموتاز (Superoxide Dismutase (SOD، کاتالاز (Catalase (CAT، اسید اسکوربیک، توکوفرول، انواع ترکیبات فنلی) به‌عنوان اولین و مهمترین راه دفاعی و عکس‌العمل بیوشیمیایی در برابر صدمات مولکولی مخرب به‌عنوان سیستم‌های جاروب کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن ((Reactive oxygen species (ROS) هستند و موجب مقاومت و پایداری گیاهان در برابر تنش‌هایی همچون شوری و خشکی می‌شوند (Seleiman *et al*. 2021; Ma *et al*., 2020; Krishna *et al*., 2016,). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد، میزان فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدان در شرایط شور در گیاهان تلقیح شده با سویه‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد، با افزایش تنش، میزان فعالیت آنزیم‌ها نیز افزایش می‌یابد و کمتر بودن فعالیت آنزیم در تیمارهای حاوی باکتری، نشان دهنده این است که باکتری گیاه را در شرایط مناسب‌تری قرار داده است (Saghafi *et al*., 2013; Compant *et al*., 2019)، به‌طوری که تلقیح با باکتری سبب پاکسازی یا کاهش رادیکال‌های مخرب اکسیژن شده و مقدار فعالیت سیستم دفاعی گیاه که همان فعالیت‌های آنزیم-های آنتی‌اکسیدانی است، کاهش می‌یابد (Seleiman *et al*., 2021; Moradi and Abdelbaghi, 2007) (Saghafi *et al*., 2013). هان و لی (Han and Lee. 2005a, b) نیز در بررسی مشابه، مشاهده کردند که تلقیح بذور کاهو با باکتری‌های محرک رشد تحت تنش شوری، با افزایش سطوح کلرید سدیم فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی کاهش می‌یابد. محققین مختلفی نشان داده‌اند که با کاربرد قارچ میکوریزا میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی تحت تنش شوری کاهش می‌یابد و افزایش رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش شوری مشاهده می‌شود. گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا از طریق افزایش دسترسی عناصر کم‌مصرف دخیل در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیدازدیسموتاز می‌شود (Kohler *et al*., 2008). نتایج مطالعات عمر و همکاران (Omar *et al*., 2009) نیز نشان داده که آنتی‌اکسیدان‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان جو تلقیح نشده با آزوسپریلوم به میزان زیادی بیشتر از گیاهان تلقیح شده با باکتری آزوسپریلوم برازیلنس بوده است. مطالعه مروری انجام شده توسط شیرواستاوا و کومار (Shrivastava and Kumar 2015) نیز نشانگر اثرات بسیار مفید باکتری‌ها در تولید انواع مواد محافظ توسط باکتری‌ها برای کنترل تنش شوری در گیاهان است. سلیمان و همکاران (Seleiman *et al*., 2021) نیز اثرات اختصاصی باکتری‌های محرک رشد بر افزایش تحمل گندم را جمع‌آوری و بر موثر بودن این سازوکارها در افزایش رشد گندم در ارقام مقاوم و حساس تاکید کردند. آن‌ها نشان دادند که تولید رادیکال-های آزاد اکسیژن (ROS) سبب تخریب چربی‌ها و پروتئین‌ها در سلول‌های گندم تحت تنش شوری می‌گردد.

محافظ‌های اسمزی (Osmotic Protectants)

با توجه به اینکه تنش اسمزی سبب تحریک جذب یون‌ها (مانند Na^+ و Cl^-) و ذخیره شدن آن در واکوئل می‌شود، گیاهان برای حفظ تعادل یون‌ها در سیتوپلاسم راهی جز خارج کردن مازاد سدیم از واکوئل را ندارد. زمانی که تنش اسمزی رخ می‌دهد، گیاه بیشتر مایل به جذب یون‌های سمی نظیر Na^+ در مقایسه با بیوسنتز اسمولیت‌ها و جذب کاتیون‌های Ca^{2+} , K^+, Zn^{2+} می‌شود (Seleiman *et al*., 2021). از لحاظ مصرف انرژی، استفاده از یون‌ها و جذب آن‌ها برای گیاه از لحاظ مصرف انرژی سودمندتر است زیرا ذخیره‌سازی یون‌ها در واکوئل تنها به ۴-۳ مول ATP ولی بیوسنتز اسمولیت نیاز به ۵۰-۳۰ مول ATP دارد. واکنش باکتری‌ها و قارچ‌ها در برابر تنش اسمزی، القاء تجمع اسمولیت‌هایی نظیر پرولین، گلایسن بتائین و ساکاروز در گیاهان جهت جلوگیری از پلاسمولیز سلول‌ها می‌باشد. در واقع ریزجانداران با این روش، خلاء ناشی از انرژی لازم برای سنتز این ترکیبات توسط گیاه را فراهم می‌آورد (Ma *et al*., 2020).

ما و همکاران (Ma *et al*., 2020) بیان کردند که بیشترین میزان تجمع پرولین در گیاه تحت تنش شوری در حضور باکتری *Bacillus* رخ می‌دهد. نتایج مشابهی توسط چن و همکاران (Chen *et al*., 2022) گزارش شده که نشان داده‌اند تلقیح *Arabidopsis thaliana* با *Bacillus subtilis* باعث تجمع پرولین و افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری می‌شود. مطالعات زیادی نشان می‌دهد که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا با تجمع بیشتر اسمولیت‌ها مقاومت بیشتری به تنش شوری دارند. همچنین این محققین دریافتند که میکوریزا در تجمع بتائین در شرایط تنش شوری موثر می‌باشد و گلایسین بتائین گیاه را در مقابل اثرات مخرب تنش شوری محافظت می‌کند. گزارش‌های مختلفی وجود دارد که نشان می‌دهد گیاهان تیمار شده با میکوریزا میزان تولید بتائین بیشتری داشته که به تنظیم اسمزی گیاه کمک نموده و درنتیجه باعث افزایش کارایی فتوسنتز گیاه می‌شود. مطالعات و گزارش‌های زیادی در خصوص تجمع اسمولیت‌های نظیر پرولین، گلایسین بتائین در اثر تلقیح گیاهان با انواع باکتری‌های PGPR از قبیل باسیلوس، آزوسپریلوم، ازتوباکتر، سودوموناس و رایزوبیوم به‌عنوان اولین واکنش سازگاری گیاهان درتنش شوری وجود دارد (Moslemi *et al*., 2012; Ma *et al*., 2020) افزایش میزان پرولین و مقاومت بالاتر گیاه به تنش کم‌آبی در اثر تلقیح با باکتری آزوسپیریلوم لیپوفروم و سودوموناس پوتیدا را گزارش شده است. باکتری‌ها با تغییر در سازوکار دفاعی گیاه و افزایش پرولین با اکسیژن‌های رادیکال آزاد مقابله می‌کنند (Korres *et al*., 2022).

تولید اگزو پلی ساکاریدها (Exeo poly saccharides-EPSs)

درحضور انبوه جمعیت میکروبی و فراهمی ماده آلی ساده ترشح شده توسط ریشه‌های گیاهان، مواد اگزو پلی‌ساکاریدی به نام موسیلاژ تولید می‌شود. موسیلاژ میکروبی به‌همراه موسیلاژهای گیاهی و ذرات خاک اطراف ریشه لایه موسیژل (Mucigel) را در اطراف ریشه‌های جوان تغذیه کننده به‌وجود می‌آورند، این لایه با توان بالای جذب رطوبت و عناصر غذایی امکان تداوم جذب این مواد را فراهم می‌سازد و اثرات زیان‌بار تنش را کاهش می‌دهد (Khavazi and Malakouti 2002; Latif *et al*., 2022). همچنین اگزو پلی‌ساکاریدهای تولید شده توسط باکتری‌های محرک رشد سبب باند کردن کاتیون‌هایی نظیر Na^+ شده و مقدار Na^+ قابل دسترس برای جذب توسط گیاه را کاهش می‌دهند و با افزایش جذب دیگر کاتیون‌ها سبب تعدیل تنش می‌شوند (Ashraf *et al*., 2004). افزایش مقاومت گیاه ذرت نسبت به تنش شوری با کاهش جذب Na^+ و نسبت Na^+/K^+ توسط هان و لی (Han and Lee 2005 a, b) گزارش شده است. ویواز و همکاران (Vivas *et al*., 2003) گزارش کردند که در شرایط شور در گیاه سویا با تلقیح سویه‌های تولید کننده EPSs ملاحظه شد که تلقیح با این سویه‌ها نه‌تنها باعث کاهش جذب Na^+ و Cl^- شده بلکه سبب افزایش جذب عناصر غذایی کم‌مصرف (N, P, K) می‌گردد. تلقیح با سویه‌های باسیلوس مولد EPSs در شرایط شور در گیاه کاهو سبب افزایش ۵ و ۷۰ و ۵۰ درصدی در جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم شده است. اثر این باکتری‌ها در جوانه‌زنی بذر سویا در محدود کردن جذب سدیم توسط ریشه در گندم توسط اشرف و همکاران (Ashraf *et al*., 2004) گزارش شده است. همچنین گزارشاتی مبنی بر تاثیر مثبت و مفید باکتری‌های مولد EPSs در حفظ اکولوژی، ساختار فیزیکی خاک و جلوگیری از خشک شدن خاک از طریق پر کردن فضاهای خالی سطح تماس

ریشه و برقراری ارتباط کامل بین خاک ریزوسفری و سطح ریشه توسط حقاق و همکاران (Haggag *et al*., 2015)، رابرسون و همکاران (Roberson *et al*.,1992) و راس و همکاران (Ross *et al*., 2000) نیز گزارش شده است. محافظت از آسیب‌دیدگی ریشه از برخورد با مواد سخت در حین پیشروی در خاک از دیگر مزایای اگزو پلی-ساکاریدهای تولید شده توسط باکتری‌ها عنوان شده است. لطیف و همکاران (Latif et al., 2022) نیز اثرات مفید تلقیح گیاه گندم با سویه مولد پلی‌ساکارید و افزایش معنی‌داری در رشد گیاه را گزارش کرده‌اند.

حل‌کنندگی عناصر نامحلول

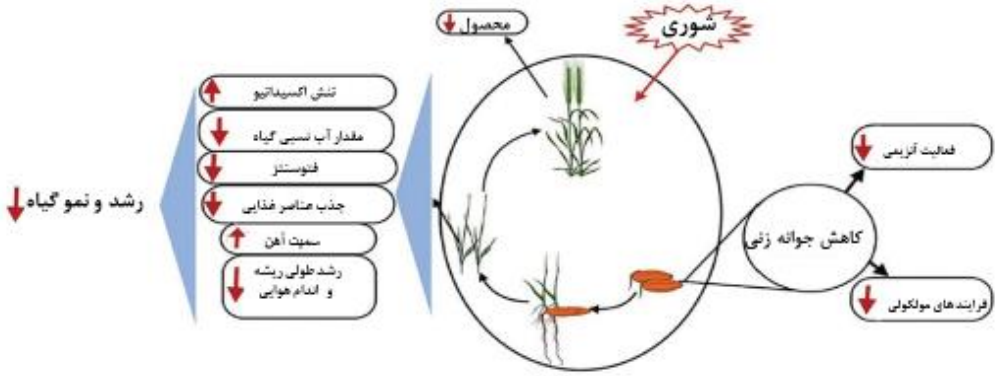
فسفر از مهمترین عناصر مورد نیاز گیاهان می‌باشد که کمبود آن کاهش رشد و عملکرد را به‌دنبال دارد. بر اساس تخمین‌ها از (نظر تئوری)، در اغلب خاک‌ها، میزان فسفر انباشته در اراضی کشاورزی در صورت قابل جذب شدن توسط گیاه، می‌تواند نیاز گیاهان به فسفر را برای حداکثر عملکرد تضمین نماید، ولی در مواقعی که گیاه با تنش-های محیطی به‌ویژه خشکی و شوری روبرو می‌شود، فسفر اضافه شده به خاک به‌صورت رسوب در می‌آید. از طرفی استفاده از کودهای شیمیایی به‌دلیل تاثیر آن‌ها در افزایش فشار اسمزی محلول خاک و کاهش توانایی گیاه در جذب آب و نهایتاً تشدید شرایط تنشی محدودیت زیادی دارد. به‌کارگیری کودهای زیستی حل کننده فسفر، در این اراضی که مشکل جذب فسفر درآن‌ها جدی‌تر است، یکی از راهکارهای مفید می‌باشد. این نهاده‌های زیستی در واقع حاوی ریزجاندارانی هستند که از طریق فرآیندهای ویژه‌ای می‌توانند حلالیت ترکیبات فسفره رسوب کرده در خاک را افزایش داده و بدین صورت بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه را تامین نمایند (Kumar *et al*., 2022). گزارش‌های متعددی مبنی بر تاثیر مثبت و معنی‌دار باکتری‌های محرک رشد در غلبه بر محدودیت‌های موجود در جذب فسفر در این اراضی وجود دارد. تحقیقات زیادی توسط محققین، افزایش محصول را در اثر تلقیح گیاهان مختلف با باکتری‌های حل‌کننده فسفر نسبت به گیاهان تلقیح نشده در شرایط مختلف خاک گزارش کرده‌اند (Kumar *et al*., 2022).

با وجود اینکه اغلب مطالعات نشان می‌دهد که در خاک‌های شور، عنصر روی موجب افزایش تحمل گیاه به شوری و افزایش عملکرد آن می‌شود. مطالعات دیگر نشان داده است که میزان روی قابل استفاده باعث افزایش شوری می‌شود. دلیل این موضوع جایگزینی روی (Zn) قابل تبادل با سدیم (Na) اعلام شده است. از طرفی آهکی بودن خاک‌ها در نواحی خشک و نیمه‌خشک که بارندگی کم است، موجب کاهش شدید در حلالیت عناصر ریزمغذی به ویژه روی می گردد و در نتیجه غلظت این عنصر در گیاهان کاهش می‌یابد. مصرف غیر متعادل کودهای پرمصرف به‌ویژه کودهای فسفاته باعث کاهش حلالیت روی به‌دلیل اثر متقابل منفی بین فسفر و روی می‌شود. یکی از روش‌های نوین و مطمئن برای غلبه بر عدم توانایی گیاه در جذب روی (و غنی‌سازی زیستی محصول گندم)، استفاده از باکتری‌های حل‌کننده روی نظیر ساکارومیسس، باسیلوس سوبتیلیس، انواع سودوموناس و تیوباسیلوس است (Kumar *et al*., 2022; Bapiri *et al*., 2012).

جوانه‌زنی و استقرار گیاه در خاک

جوانه‌زنی بذر یک فرایند پیچیده فیزیولوژیک و وابسته به تغییرات تنظیم‌کننده‌های رشد و آب در بذر است، شوری عموماً به‌دلیل اخلال در جذب آب، باعث تاخیر در جوانه‌زنی و کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌گردد (شکل ۳). گندم و جو در مرحله جوانه‌زنی بذر تحمل کمی نسبت به شوری دارند و علت تاخیر در جوانه‌زنی در اثر تنش، کاهش میزان و سرعت جذب آب و همچنین تاثیر منفی پتانسیل‌های اسمزی و سمیت یون‌ها بر فرآیندهای هیدرولیز آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذور یا اثر مستقیم نمک بر روی رشد جنین و عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین و به خواب رفتن گیاهان تحت تنش بعنوان یک راهبرد سازگاری در شرایط نامساعد می-باشد (Korres *et al*., 2022; Shrivastava and Kumar, 2015). با توجه به اینکه مهمترین اثر شوری بر غلات در مراحل جوانه‌زنی، استقرار بذر، رشد رویشی و آغاز مراحل زایشی می‌باشد. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد نقش مهمی در استقرار و جوانه‌زنی گیاه گندم دارد. نقش باکتری‌ها در افزایش جوانه‌زنی بذرها را می‌توان به تاثیر آن‌ها در کاهش نیاز آبی گیاهچه‌ها و همچنین افزایش جذب آب طی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها و تنظیم هورمونی ربط داد (Saghafi *et al*., 2013; Shrivastava and Kumar, 2015; Seleiman *et al*., 2021; Cortivo *et al*., 2020; Korres *et al*., 2022).

تاخیر در جوانه‌زنی همچنین ممکن است در اثر تغییر در توازن تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در اثر تنش باشد (Seleiman *et al*., 2021; Korres *et al*., 2022). تحت شرایط نامساعد محیطی سطوح درون‌زای تنظیم-کننده‌ها، دچار تغییرات اساسی می‌شود و برخی از سویه‌های PGPR قادرند از طریق دخالت در غلظت مواد تنظیم‌کننده‌ی رشد گیاهی شناخته شده، رشد و نمو گیاهان را افزایش دهند. بنابراین تیمار گندم با باکتری‌های تولیدکننده تنظیم‌کننده‌های رشدی، می‌تواند روشی موثر و ارزان جهت کاهش اثرات تنش‌های محیطی غیر زیستی باشد (Ji *et al*., 2022; Seleiman *et al*. 2021).



شکل ۳- اثرات مخرب شوری بر جوانه‌زنی، رشد و تولید گندم (Seleiman *et al*., 2021)

Figure 3. Effect of salinity on germination, growth and yield of wheat (Seleiman *et al*., 2021)

افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی

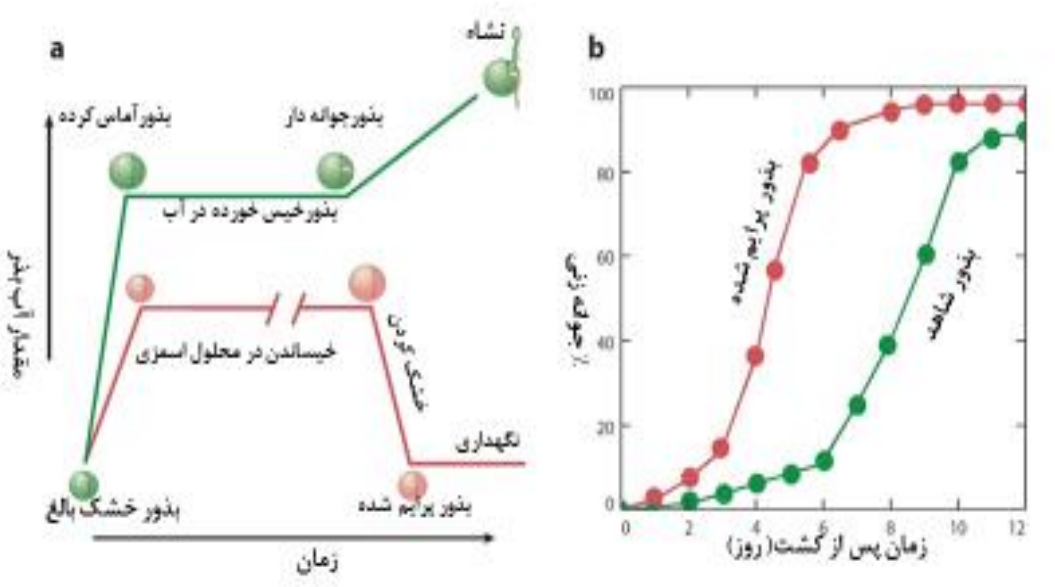
تنش شوری سبب اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی از طریق تخریب این رنگیزه‌ها در اثر تخریب سیستم فتوسنتزکننده یعنی کلروپلاست‌ها یا افزایش در فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز که تحت شرایط تنش بیان می‌شوند، بوده و سبب بروز صدماتی از قبیل از بین‌رفتن رنگدانه‌هائی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه‌ای شوند.

کاهش سبزینگی برگ در شرایط تنش ممکن است به خاطر کاهش جریان نیتروژن به بافت‌ها و تغییر در فعالیت آنزیم‌هایی مثل نیترات ریداکتاز باشد. تیمار بذر با باکتری-های PGPR موجب تغییر و اصلاح ساختار دیواره سلولی و تغییرات بیوشیمیایی فیزیولوژیکی می‌شود که منجر به سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های مرتبط با پایداری رنگدانه‌ها می‌گردد. این باکتری‌ها با افزایش فرآهمی آب و مواد غذایی دراختیار گیاه، باعث ساخت رنگیزه‌های بیشتر شده و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر می‌نمایند. افزایش مقدار کلروفیل در اثر تلقیح با ریزجانداران، به‌دلیل اثرات تقابلی سدیم با منیزیم است و از آنجا که ریزجانداران به جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کنند، می‌توانند سنتز کلروفیل را افزایش دهند. مسلمی و همکاران (Moslemi *et al*., 2012) در بررسی تعدادی از سویه‌های PGPR در شرایط تنش خشکی نشان دادند که تلقیح بذر با باکتری‌های آزوسپیریلوم لیپوفروم + سودوموناس پوتیدا، میزان کلروفیل a، b و a+b را افزایش می‌دهد. نادیم و همکاران (Nadeem *et al*., 2007) با بررسی تعدادی از سویه‌های PGPR برروی گیاه ذرت در شرایط شور، ضمن اندازه‌گیری مقدار آنزیم ACC دآمیناز در این سویه‌ها مشاهده کردند که با افزایش شوری در گیاهان تلقیح نشده با این سویه‌ها، میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید کاهش می‌یابد. ولی در گیاهان تلقیح شده به موازات افزایش مقدار این آنزیم، مقدار شاخص‌های مذکور نیز افزایش می‌یابد. همچنین ثقفی و همکاران (Saghafi *et al*., 207) افزایش مقدار میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید در گندم تلقیح شده با سویه‌های مختلف PGPR در شرایط تنش شوری نسبت به گیاهان تلقیح نشده را گزارش کردند.

پرایمینگ زیستی بذر گندم (Wheat Seed Biopriming)

جوانه‌زنی بذر یکی از حساس‌ترین مراحل استقرار گیاه در مزرعه، مخصوصاً در شرایط شور و خشکی است که طی آن، بذر آب جذب کرده و طی فرایندهای بسیار پیچیده بیوشیمیایی و تغییرات هورمونی، از مرحله بذری به مرحله تولید ساقه و ریشه تغییر وضعیت می‌دهد (Rajjou *et al*.,

2012; Sghayar *et al*. 2023) روش‌های زیادی برای افزایش درصد جوانه‌زنی و قدرت بذر برای بقاء در شرایط نامساعد محیطی به‌کار می رود که شایع‌ترین آن‌ها پرایمینگ با آب، انواع مواد شیمیایی، انواع تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، محرک‌های رشد شیمیایی، غلظت‌های نمکی و حرارت است (شکل۴)، (Abbasdokht., , Sghayar *et al*., 2023 2011; Krishna *et al*., 2016; Feghhenabi, *et al*., 2020; Seleiman *et al*., 2021; Hamidi *et al*., 2021; Khan *et al*., 2022).



شکل۴- روش اعمال پرایمینگ (a) و اثر آن بر جوانه‌زنی بذر (b) (Rajjou et al., 2012)

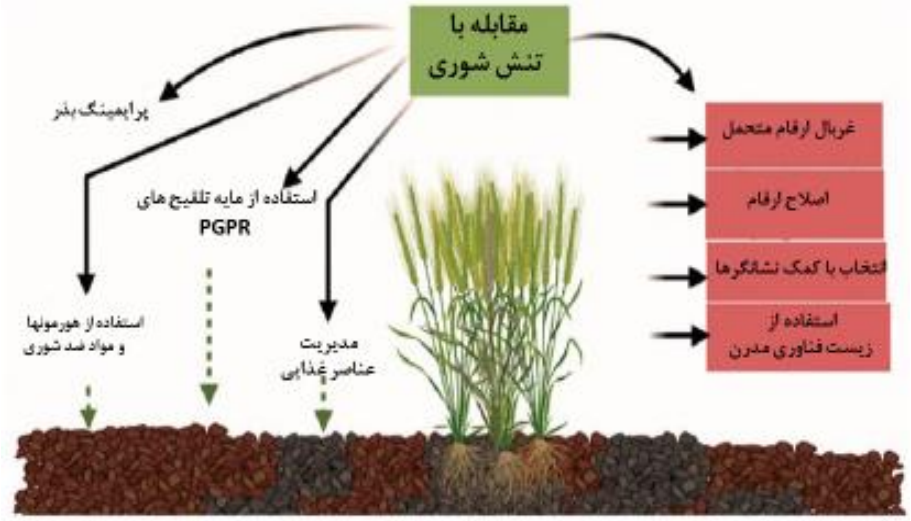
Figure 4. Method of Priming (a) and its effect on germination(b) (Rajjou et al., 2012)

اثرات مثبت و موفقیت پرایمینگ به‌عنوان یک روش اقتصادی برای مقابله با شوری خاک در کشت انواع محصولات کشاورزی مخصوصاً غلات ثابت شده است و در بسیاری از کشورها به عنوان یک روش موثر در گندم مورد استفاده است (Khan *et al*. 2022; Seleiman *et al*., 2021; Cortivo *et al*., 2020). با توسعه دانش بشری در زمینه کودهای زیستی و زیست مهارگرها و تبادلات مولکولی بین گیاهان و ریزجانداران محیط بذر، ریشه و برگ، استفاده از ریزجانداران مفید در کشاورزی برای مقابله با انواع تنش-های زیستی و غیرزیستی افزایش یافته است (Ji *et al*., 2022; Ma *et al*., 2020). اگر چه روش‌های مصرف این موادزیستی متنوع است، ولی تلقیح و پوشش‌دار کردن زیستی بذر به‌عنوان روشی موثر و ارزان در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته تا در تکمیل و افزایش اثرات مفید روش‌های پرایمینگ معمول و هورمونی، بر کارایی آن بیافزاید. در این روش ریزجانداران مفید به‌عنوان پوشش ثانویه بذر(اغلب به‌عنوان یک لایه نازک و مجزا) مورد استفاده قرار گرفته و سبب افزایش مقاومت هر چه بیشتر بذر در شرایط شور و افزایش جوانه‌زنی بذر و استقرار آن در شرایط شور می گردد (Fiodor *et al*., 2023; Korres *et al*., 2022; Ji *et al*., 2022; Ma *et al*., 2020; Mahmood *et al*., 2016; Saghafi *et al*., 2013). در شکل (۵) خلاصه سازوکارهای مفید، موثر و ارزان در کاهش اثرات سوء شوری آورده شده است، استفاده از این ریزجانداران به‌صورت پرایمینگ زیستی (Biopriming) در گندم بسیار موثر شناخته شده است (Seleiman *et al*., 2021). تحقیقات نشان می‌دهد که تلقیح بذر با کنسرسیومی از باکتری‌های مفید بیش از استفاده از تک سویه‌ها در افزایش محصول و مقاومت گیاهان به شرایط نامساعد مقیدتر است (Hamidi *et al*., 2021).

پرایمینگ مولکولی (Molecular Priming)

افزایش تنش‌های شوری و خشکی ابعاد جهانی یافته است ولی با افزایش دانش بشر در سطوح مولکولی، محققین راهکارهای متعددی را برای مقابله با آن در پیش گرفته‌اند. در سال‌های اخیر، پرایمینگ مولکولی بذرها به‌عنوان یک راه حل مطرح شده که شامل انواع مواد شیمیایی، معدنی، زیستی، هورمونی و مواد محرک رشد و تولیدات جانبی ریزجانداران می-

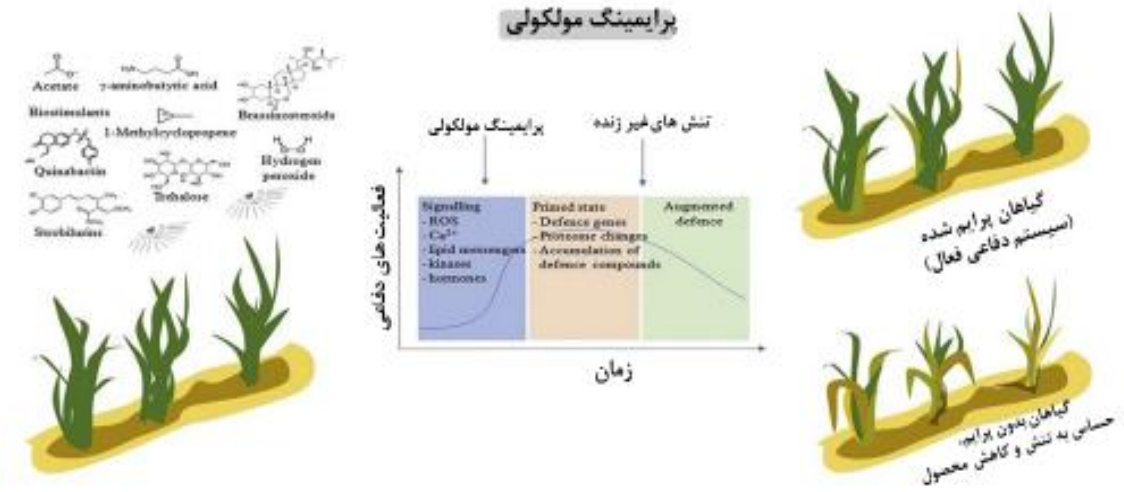
باشد که بعضی از آن‌ها به‌دلیل ملاحظات زیست محیطی تنها در سطح آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفته و امکان مصرف عام را ندارند ولی بعضی از این مولکول‌ها محصولات زیستی ناشی از



شکل۵- راهکارهای موثر برای مقابله با تنش شوری در گندم (Seleiman *et al*., 2021)

Figure 5. Effective methods for Salinity stress mitigation

تلقیح باکتری‌ها و قارچ‌ها بوده و سازوکارهای ژنی را در بذرها و گیاهان حاصل از آن‌ها فعال می‌کنند که نتیجه آن مقاومت گیاهان به شرایط تنش شوری و خشکی است. در شکل ۶ خلاصه ای از مولکول‌ها و مواد مورد استفاده آورده شده است (Kercheva *et a*l., 2020; Korres *et al*., 2022). این مطالعات افق جدیدی را برای مقابله با اثرات مخرب شوری و استقرار بهتر بذرها در مناطق تحت تنش و در نهایت تولید بیشتر محصولات را نوید می‌دهد که پوشش زیستی بذر و یا تلقیح بذر گندم همراه با بعضی از این مولکول‌ها به‌عنوان یک راه حل دوستدار محیط زیست، ارزان و کاربردی می‌تواند در سطح مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. با افزایش دانش ما در خصوص اثرات مولکول‌ها در افزایش مقاومت گیاهان به شوری، و تعیین توالی کامل ژنوم باکتری‌ها و گیاهان از جمله غلات این امیدواری را ایجاد می‌کند که در آینده نزدیک شاهد روش‌های پرایمینگ ژنی نیز باشیم و با استفاده از تلقیح بذرها با باکتری‌های دارای ژن‌های خاص، و حتی قطعات ژنی بتوانیم در سطح ژنی نیز افزایش مقاومت را به گیاهان از جمله گندم القاء نماییم.



شکل ۶ – پرایمینگ مولکولی ، روشی جدید برای استفاده از محصولات میکروبی و مواد شیمیایی در تلقیح و پوشش بذر (Kercheva *et al*., 2020)

Figure 6. Molecular priming, new method for using of microbial products and chemicals for seed coating and inoculation (Kercheva *et al*., 2020)

نتیجه‌گیری

شوری خاک حاصل ترکیبی از عوامل متعدد، زمین شناسی، زیست محیطی، اقلیم و عوامل انسانی می‌باشد که دامنه وسیعی از اختلالات را درسلول‌ها و درکل گیاه ایجاد می‌کند. تحمل گیاهان به تنش شوری پدیده پیچیده‌ای است و علاوه بر اینکه ناشی از ساختار مورفولوژیکی گیاه است، تحت تاثیر فرایندهای زیستی و بیوشیمیایی سلول‌ها و بافت گیاه نیز قرار دارد. جداسازی و شناسایی نژادهای میکروبی که قابلیت استفاده به‌عنوان کود زیستی را برای استفاده تجاری دارند، مهمترین رویکرد در زمینه بیوتکنولوژی خاک کاربردی به‌شمار می‌رود. ثابت شده است که استفاده از کودهای زیستی علاوه بر اثرات کودی، قابلیت کنترل عوامل بیماریزای گیاهی را داشته و نقش موثری در القای تحمل به شوری و برطرف نمودن محدودیت‌های ایجاد شده توسط این تنش‌ها، از قبیل اثرات اسمزی، سمیت یونی و عدم تعادلات تغذیه‌ای و نهایتاً افزایش رشد گیاهان به‌ویژه گندم در محیط‌های پرتنش به ویژه شوری را می‌تواند داشته باشد. استفاده از مایه تلقیح ترکیبی، مرکب از چند جنس باکتری، تاثیر بیشتری در تعدیل اثرات تنش نسبت به سویه‌های تک سویه دارد (Hamidi *et al*., 2021; Rokhzadi *et al*., 2008). اثرات هم‌افزایی متقابل که در نتیجه کاربرد تلفیقی این ترکیبات به دست می‌آید، دلیل افزایش رشد در تیمارهای ترکیبی بوده و باعث بهبود مضاعف رشد گیاه می‌شود. البته در مطالعات سازگاری و همولوگ بودن سویه با رقم نیز در سطح تاثیرپذیری گیاهان از تلقیح نیز گزارش شده است. نتایج پژوهش‌های انجام شده در خصوص تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر تعدیل اثرات مخرب ناشی از تنش شوری تاکیدی است بر کارایی باکتری‌های محرک رشد گیاه PGPR و امکان استفاده از آنها در کشت گیاهان زراعی مخصوصا گندم، و نیز دلیل محکمی برای ضرورت مطالعه توانمندی‌های آن‌ها می‌باشد. از آنجا که گندم به‌عنوان محصول اصلی و مهم کشور، در تمامی اقلیم‌ها و مخصوصاً در شرایط خاکی نامساعد کشت می‌شود و نتایج تحقیقات موسسه تحقیقات خاک و آب در سه دهه اخیر به تکرار بر موفقیت مصرف مایه تلقیح‌های حاوی باکتری‌های محرک رشد در سطوح چند هزار هکتاری تایید شده است. امید است مصرف این مایه تلقیح‌ها به‌عنوان عوامل زیستی و دوست‌دار محیط زیست به صورت مایه تلقیح و یا پوشش بذر گندم در زراعت‌های کشور توسعه پیدا کند و با شناخت هر چه بیشتر سازوکارهای تحمل به شوری در گیاهان و همچنین نحوه تأثیر شوری بر عملکرد و اجزاء آن، امکان دستیابی به روش‌های جدیدتر برای مقابله با این تنش غیرزنده در کنار روش‌های موجود، بیشتر فراهم گردد. حال که در برنامه افزایش تولید در دیمزارها، وزارت جهاد کشاورزی، بذرمال کردن گندم را با فرمولاسیونی از عناصر غذایی (ریزمغذی و عناصر پرمصرف)، اسید آمینه و اسید هیومیک به‌عنوان یک برنامه کشوری در دستور کار گذاشته و دو سال است که با موفقیت در سطح کل مزارع در حال انجام دارد، با توجه به اثرات بسیار مفید انواع کودهای زیستی و قابلیت استفاده در پوشش بذر در فرمولاسیون‌های موجود، پیشنهاد می‌گردد این نهاده ارزشمند نیز به‌صورت پوشش بذر و یا حداقل به صورت تلقیح همراه با دیگر افزودنی‌های معدنی در برنامه مذکور لحاظ شده و بستر لازم را برای استفاده هر چه بیشتر از این ریزجانداران در راستای افزایش تولید محصول گندم در شرایط شوری و خشکی و حتی در شرایط عادی فراهم نماید. مصرف این نهاده زیستی در سایر محصولات زراعی نیز به راحتی قابل کاربرد است. خوشبختانه ظرفیت کشور برای تولید انواع کودهای زیستی بسیار بیش از نیاز کشور بوده و با تغییر رویکرد، می‌توان اثرات مفید آن را در مزارع به‌وضوح مشاهده کرد. استفاده از این ابزار در کنار روش‌های مرسوم، پرایمینگ و پرایمینگ مولکولی بذر، می‌تواند راهکار مناسب و ارزان برای مقابله با تغییرات اقلیم، و تنش‌های شوری و خشکی در مزارع گندم و دیگر محصولات زراعی و باغی باشد. اثرات مفید تلقیح بذرهای گندم برای مقابله با اثرات مخرب شوری و خشکی در مطالعات ما در موسسه تحقیقات خاک و آب و دانشگاه‌های کشور و منابع خارجی به فراوانی تایید و مصرف آن به‌عنوان یک نهاده موثر مورد تاکید قرار گرفته است. با توجه به تعیین توالی ژنی گندم (و دیگر محصولات زراعی و باغی) و باکتری‌های مورد استفاده در کودهای زیستی، توسعه این دانش و کاربردی شدن هر چه بیشتر شناخت توالی‌های ژنی موجودات می‌تواند افق‌های روشنی را برای پرایمینگ ژنی بذر در کشور را روشن‌تر نماید.

منابع

Abbasdokht, H. 2011. The effect of hydropriming and halopriming on germination and early growth stage of wheat (*Triticum aestivum* L.). Desert, 16:61-68. **(Journal)**

Anonymous. 2023. Let's know the most wasteful people in the world. Planning, Budgeting and strategic Monitoring, Firdausi Mashhad university. https://pbsm.um.ac.ir/index.php/fa/managerialsaturdays/1531-esrafkartarin . **(In Persian)**

Anonymous. 2022. Agricultural statistic. First volume, crops. Ministry of Agriculture center of information and communication. **(In Persian)**

Anonymous. 2022. Analytical report of wheat. Executive office of wheat. ministry of Agriculture. Deputy minister of Agriculture. Executive of wheat project. **(In Persian)**

Ashraf, M., Berge, S.H. and Mahmood, O.T. 2004. Inoculating wheat seedling with exopolysaccharide producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. Biology and Fertility of Soils, 40:157–162. **(Journal)**

Backer, R., Rokem, J.S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S. and Smith, D.L. 2018. Plant growth-promoting *Rhizobacteria*: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. Plant Science, 9:1473. **(Journal)**

Bapiri, A., Asgharzadeh, A., Mujallali, H., Khavazi, K. and Pazira, E. 2012. Evaluation of zinc solubilization potential by diferent strains of fluorescent *Pseudomonads*. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 16(3): 295-298. **(Journal)**

Barbosa, H.M., Alvarez, R.D.C.F., Lima, S.F.D., Cordeiro, M.A.S., Zanella, M.S. and Bernardo, V.F. 2023. *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* co-inoculation associated with cobalt and molybdenum application in the soybean crop. Ciência Rural, Santa Maria, 53:7. **(Journal)**

Barin, M., Aliasgharzad, N., Olsson, P.A. and Rasouli-Sadaghiani, M.H. 2015. Salinity-induced differences in soil microbial communities around the hypersaline Lake Urmia. Soil Research, 53(5):494-504. **(Journal)**

Gupta, B. and Huang, B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. International journal of genomics, 2014:18. **(Journal)**

Caton, T. 2004. Halotolerant aerobic heterotrophic bacteria from the great salt plains of Oklahoma. Microbial Ecology, 4: 449-462. **(Journal)**

Chen, J., Sharifi, R., Khan, M.S.S., Islam, F., Bhat, J.A., Kui, L. and Majeed, A. 2022. Wheat microbiome: structure, dynamics, and role in improving performance under stress environments. Front. Microbioly, 12:821546. **(Journal)**

Compant, S., Abdul Samad, A., Faist, H. and Angela Sessitsch, A. 2019. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. Journal of Advanced Research, 19 :(2019) 29–37. **(Journal)**

Cortivo, C.D., Ferrari, M., Visioli, G., Lauro, M., Fornasier, F., Barion, G., Panozzo, A. and Vamerali, T. 2020. Effects of seed-applied biofertilizers on *Rhizosphere* biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Field. Plant Science, 11:72. **(Journal)**

Cortivoa, C.D., Bariona, G., Visiolib, G., Mattarozzib, M., Moscaa, G. and Teofilo Vameralia, T. 2017. Increased root growth and nitrogen accumulation in common wheat following PGPR inoculation: Assessment of plant-microbe interactions by ESEM. Agriculture, Ecosystems and Environment, 247:396-408. **(Journal)**

Cuevas, J., Daliakopoulos, I.N., Moral, F.D., Hueso, J.J. and Tsanis, I.K. 2019. A Review of soil-improving cropping systems for soil salinization. Agronomy, 9:295. **(Journal)**

Dodd, I.C. and Perez-Alfocea, F. 2012. Microbial amelioration of crop salinity stress. Journal of Experimental Botany, 63 (9): 3415–3428. **(Journal)**

Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H. and Van Genuchten, M.T. 2020. Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). Agriculture Water Management, 231(3):106022. **(Journal)**

Fiodor, A., Ajijah N, Dziewit, L. and Pranaw, K. 2023. Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. Microbiology, 14:1142966. **(Journal)**

Food and Agriculture Organization. 2021. Global map of salt affected soils version 1.0. https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt affected-soils/en.

Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. Scientific, 1:15. **(Journal)**

Gupta, B. and Huang B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization. International Journal of Genomics, 2014: 18. **(Journal)**

Haggag, W.M., Abouziena, H.F., Abd-El-Kreem F. and El-Habbasha, S. 2015. Agriculture biotechnology for management of multiple biotic and abiotic environmental stress in crops. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 7(10):882-889. **(Journal)**

Hamidi, A., Asgharzadeh, A., Khavari, A., Akbari Vala, S. and Rajab Choukan, R. 2021. Effect of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) and *Mycorrhizae* Fungi on three Maize (*Zea mays* L.) Hybrids Some Seed Germination and Seedling Vigour Trait. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 31:3. **(Journal)**

Han, H.S. and Lee, K.D. 2005b. Plant growth promoting *rhizobacteria* effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of Lettuce under soil salinity. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 1(3): 210-215. **(Journal)**

Han, H.S. and Lee, K.D. 2005a. Physiological responses of soybean-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* with PGPR in saline soil conditions. Research journal of agriculture and biological sciences, 1(3):216–221. **(Journal)**

Jeyasri, R., Muthuramalingam, P., Satish, L., Pandian, S.K., Chen, J.-T., Ahmar, S., Wang, X., Mora-Poblete, F. and Ramesh, M. 2021. An Overview of abiotic stress in cereal crops: Negative impacts, regulation, biotechnology and integrated omics. Plants, 10:1472. **(Journal)**

Ji, C., Tian, H., Wang, X., Song, X., Ju, R., Li, H., Gao, Q., Li, C., Zhang, P., Li, J., Hao, L., Wang, C., Zhou, Y., Xu, R., Liu, Y., Du, J. and Liu, X. 2022. *Bacillus subtilis* HG-15, a Halotolerant Rhizoplane Bacterium, promotes growth and salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*). Hindawi. BioMed Research International, 2022:16. **(Journal)**

Kercheva, P., Meer, T.V.D., Sujeeth, N., Arno Verlee, A., Stevens, C.V., Breusegem, F.V. and Tsanko Gechev. 2020. Molecular priming as an approach to induce tolerance against abiotic and oxidative stresses in crop plants. Biotechnology Advances, 40:107503. **(Journal)**

Khan, M.O., Irfan, M., Muhammad, A., Ullah, I., Nawaz, S., Khalil, M.K. and Ahmad, M. 2022. A practical and economical strategy to mitigate salinity stress through seed priming. Frontiers in Environmental Science, 10:991977. **(Journal)**

Khan, M.S., Ahmad, D. and Adil Khan, M. 2015. Review: Agriculture and environmental biotechnology trends in genetic engineering of plants with (Na^+/H^+) antiporters for salt stress tolerance. Biotechnology and Biotechnological Equipment, 29(5):815-825. **(Journal)**

Khavazi, K. and Malakouti.M.J. 2002. Necessity for the production of Biofertilizer in Iran. ISBN: 964-6598-85-4. (In Persian)**(Book)**

Kohler, J., Hernandez, J.A., Caravaca, F. and Roldàn, A. 2008. Plant-growth-promotingrhizobacteria and abuscular mycorrhizal fungi modify alleviation biochemical mechanisms in water-stressed plants. Functional Plant Biology, 35:141-151. **(Journal)**

Korres, N., Dimitra, A., Loka, D.A., Gitsopoulos, T.K., Varanasi, V.K., Chachalis, D., Andrew Price, A. and Slaton, N.A. 2022. Salinity effects on rice, rice weeds, and strategies to secure crop productivity and effective weed control. A review. Agronomy for Sustainable Development, 42: 58. **(Journal)**

Krishna, S.S., Vurukonda, P., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and SkZ, A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research, 184:13–24. **(Journal)**

Kumar, K., Sindhu, D.S.S. and Kumar, R. 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. Current Research in Microbial Sciences, 3:100094. **(Journal)**

Laino, P., Limonta, M., Gerna, D. and Vaccino, P. 2015. Morpho-physiolological and qualitative traits of a bread wheat collection spanning a century of breeding in Italy. Biodiversity Data Journal, 3: e476. **(Journal)**

Latif, M., Bukhari, S.A.H., Alrajhi, A.A., Alotaibi, F.S., Ahmad, M., Shahzad, A.N., Dewidar, A.Z. and Mattar, M.A. 2022. Inducing drought tolerance in wheat through exopolysaccharide-Producing Rhizobacteria. Agronomy, 12:1140. **(Journal)**

Ma, Y., Dias, M.C. and Freitas, H. 2020. Drought and Salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. Frontiers in Plant Science. 11:59. **(Journal)**

Mącik, M., Gryta, A. and Frąc, M. 2020. Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. Advances in Agronomy, 162: 31-87. **(Journal)**

Mahmood, A., Turgay, O.C., Farooq, M. and Hayat, R. 2016. Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review. FEMS Microbiology Ecology, 92:112. **(Journal)**

Malakouti, M.J., Keshavarz, p., Sadat, C., Kholdbaren, B., 2002. Plant nutrition in saline condition. Deputy of horticulture, Agriculture Ministry. 233 page. **(Book)**

Maybodi, A.M. and Gharayazi, B. 2002. Physiological and genetic aspect of plant salinity stress. Isfahan University of technology publication. 288 pages. **(Book)**

Momeni, A. 2010. Geographical distribution and salinity levels of Iran's soil resources. Soil Research, 3:1-8. (In Persian)**(Journal)**

Moradi, F. and Abdelbaghi, M.I. 2007. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. Annals of Botany, 99: 1161–1173. **(Journal)**

Mosavi, H. 2007. Analysis on self-sufficiency of wheat production in Iran. 6th Iranian agriculture economic conference. Shiraz University. (In Persian)**(Conference)**

Moslemi, Z., Habibi, D., Asghsarzadeh, A., Ardakani, M.R., Mohammadi, A. and Sakari, A. 2012. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought dtress and normal conditions. American-Eurasian Journal, Agriculture and Environmental Science, 12(3): 358-364. **(Journal)**

Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytology, 167:645-663. **(Journal)**

Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M. and Arshad, M. 2007. Preliminary investigations on inducing salt tolerance in maize through inoculation with rhizobacteria containing ACC deaminase activity. Candian Journal of Microbiology, 53: 1141–1149. **(Journal)**

Negacz, K., Malek, Z., Vos, A.D. and Pier Vellinga, P. 2022. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. Journal of Arid Environments, 203:104775. **(Journal)**

Ober, E.S., Alahmad, S., Cockram, J., Forestan, C., Hickey, L.T., Kant, J. and Watt, M. 2021. Wheat root systems as a breeding target for climate resilience. Theoretical and Applied Genetics, 134(6): 1645-1662. **(Journal)**

Omar, M.N.A., Osman, M.E.H., Kasim, W.A. and Abd El-Daim, L.A. 2009. Improvement of salt tolerance mechanisms of barley cultivated under salt stress using *Azospirillum brasilense*. Salinity and Water Stress, 44:133. **(Journal)**

Qin, H., Li, Y. and Huang, R. 2020. Advances and challenges in the breeding of salt-tolerant rice. International Journal of Molecular Sciences, 21: 8385. **(Journal)**

Rai, S. and Shukla, N. 2020. Review article biofertilizer: An alternative of synthetic fertilizers. Plant Archives, 20(2):1374-1379. **(Journal)**

Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C. and Dominique Job, D. 2012. Seed germination and vigor. Annual Review of Plant Biology, 63:507–33. **(Journal)**

Roberson, E.B. and Firestone, M.K. 1992. Relationship between desiccation and exopolysaccharide production in a soil *Pseudomonas* sp. Applied Environmental Microbiology, 58:1284–1291. **(Journal)**

Rokhzadi, A., Asgharzadeh, A., Darvish, F., Nour-Mohammadi, G. and Majidi, E. 2008. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under field conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 3(2):253-257. **(Journal)**

Ross, I.L., Alami, Y., Harvey Achouak, P.R.W. and Ryder, M.H. 2000. Genetic diversity and biological control activity of novel species of closely related pseudomonads isolated from wheat field soils in South Australia. Applied Environmental Microbiology 66:1609–1616. **(Journal)**

Saghafi, K., Ahmadi, J., Asgharzadeh, A. and Esmailizad, A. 2013. An Evaluation of the influence of PGPR on wheat growth indices under saline stress. Soil Biology Journal, 1(1):47-59. (In Persian)**(Journal)**

Sajid, H., Zhang, J.H., Zhong, C., Zhu, L.F., Cao, X.C., Yu, S.M., Allen, B.J., Hu, J.J. and Jin, Q.Y. 2017. Effects of salt stress on rice growth, development characteristics, and the regulating ways: a review. Journal of Integrative Agriculture, 16: 2357–2374. **(Journal)**

Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S. and Bhatti, A.S. 2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 34:635–648. **(Journal)**

Seleiman, M.F., Aslam, M.T., Alhammad, B.A., Hassan, M.U., Maqbool, R., Chattha, M.U., Khan, I., Gitari, H.I., Uslu, O.S., Rana Roy, R. and Battaglia M.L. 2021. Salinity stress in wheat: Effects, mechanisms and management strategies. Review. Phyton-International journal of experimental botany, 91(4): 667-694. **(Journal)**

Sghayar, S., Debez, A., Lucchini, G., Abruzzese, A., Zorrig, W., Negrini, N., Morgutti, S., Abdelly, C., Sacchi, G.A., Pecchioni, N. and Vaccino, P. 2023. Seed priming mitigates high salinity impact on germination of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving carbohydrate and protein mobilization. American Society of Plant Biologists, 7(6): 497. **(Journal)**

Shrivastava, P. and Kumar, R. 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi Journal of Biological Sciences, 22:123–131. **(Journal)**

Silva, O.M. and Grennes, T. 1999. Wheat policy and economy-wide reform in Brazil. Agricultural Economics, 20:143-157. **(Journal)**

Vivas, A., Marulanda, A., Ruiz-Lozano, J.M., Barea, J.M. and Azcon, R. 2003. Influence of a *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG-induced drought stress. Mycorrhiza, 13(5):249-56. **(Journal)**

Yan, N., Marschnerc, P., Cao, W., Zuo, C. and Qin, W. 2015. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. International Soil and Water Conservation Research, 3316–323. **(Journal)**

The key mechanisms of growth promoting bacteria (PGPR) on the control of salinity stress (As seed coating and inoculation) in wheat

Ahmad Asgharzadeh[1*], Kobra Saghafi[2]

Received: November 1, 2023 Accepted: January 29, 2024

Abstract

Wheat, as a crucial staple food, has gained heightened importance following the Russia-Ukraine conflict and the escalating impacts of climate change. Its adaptability to various climates, ease of cultivation, and rich nutritional value make it indispensable. Iran, with its arid climate and saline arable lands, necessitates a focused study on innovative approaches for wheat cultivation. In this challenging environment, it's imperative to seek cost-effective methods to boost wheat production. Addressing salinity involves diverse techniques like leaching saline soils, improved irrigation management, cultivating salt-tolerant varieties, and utilizing biological fertilizers. Additionally, the application of effective microorganisms stands out as a promising biological method. By influencing the rhizosphere and leaf through biological and molecular priming, these microorganisms enhance the plant's resistance to salinity and drought, ultimately leading to increased growth and yield. Embracing such approaches is essential for sustainable wheat cultivation in these harsh conditions.

Keywords: Inoculation; Priming; Salt stress; Seed biocoating; Wheat

How to cite this article
Asgharzadeh, A. and Saghafi, K. 2024. The key mechanisms of growth promoting bacteria (PGPR) on the control of salinity stress (As seed coating and inoculation) in wheat. Iranian Journal of Seed Science and Research, 10(4): 79-96. (In Persian)**(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2023.7685

COPYRIGHTS
Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research
The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Faculty member, Department of Soil Biology, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. a_asgharzadeh_2000@yahoo.com
2. Ph.D in Plant Breadinding, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. kobra_saghafi@yahoo.com
*Corresponding author: a_asgharzadeh_2000@yahoo.com