وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

آشنایی با محرک‌های رشد گیاهی و نقش آنها در بهبود عملکرد محصولات کشاورزی در شرایط تنش شوری

نگارندگان

محمدهادی میرزاپور، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم

فریدون نوقلی‌پور، عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

محمدرضا نایینی، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم

نشریه فنی: ۶۴۶

۱۴۰۲

مشخصات اثر

عنوان: آشنایی با محرک‌های رشد گیاهی و نقش آنها در بهبود عملکرد محصولات کشاورزی در شرایط تنش شوری

نگارندگان: محمدهادی میرزاپور، فریدون نوقلی‌پور و محمدرضا نایینی

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

سال انتشار: ۱۴۰۲

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره ۶۵۰۵۲ در تاریخ ۱۴۰۲/۱۲/۱۶ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵ **صندوق پستی:** ۳۱۱-۳۱۷۸۵

نمابر : ۰۲۶۳۶۲۱۰۱۲۱ **تلفن:** ۳۶۲۰۱۹۰۰- ۰۲۶

وب‌سایت: http://www.swri.ir **پست الکترونیکی:** info.swri@areeo.ac.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱
تاریخچه مواد محرک زیستی ۲
انواع تنش‌ها ۳
محرک‌های رشد گیاهی ۶
طبقه‌بندی محرک‌های رشد گیاهی ۶
نقش محرک‌های رشد در کاهش تنش شوری ۱۴
بررسی جنبه‌های اقتصادی مصرف محرک‌های رشد در شرایط تنش شوری ۳۰
توصیه مقدار و زمان مصرف محرک‌های رشد در محصولات زراعی و باغی ۳۱
منابع ۳۳

مقدمه

محرک‌های رشد گیاهی، مواد طبیعی یا مصنوعی هستندکه قابل استفاده بر روی گیاه و در خاک هستند. این مواد، سبب ایجاد تغییراتی در فرآیندهای اساسی و سامانه‌ای گیاهان می‌شوند که قادر به بهبود رشد گیاهان، افزایش عملکرد و کیفیت محصول هستند. علاوه براین، محرک‌های رشد، نیاز به مصرف کود را کاهش داده و تحمل به تنش‌های غیرزنده را افزایش می‌دهند.

دسته‌بندی‌های مختلفی در خصوص محرک‌های رشد وجود دارد. گاه، این تقسیم‌بندی بر اساس منشاء ماده فعال و نحوه تأثیر آنهاست. گاهی، آن‌ها را بر اساس کارکردشان در گیاهان و یا براساس پاسخ‌های آن‌ها دسته‌بندی می‌کنند (۱۰۳).

محرک‌های رشد، گسترهٔ وسیعی از ترکیبات و مواد، شامل انواع مایه تلقیح‌های میکروبی، مشتقات بیوشیمیایی همانند اسیدهای آمینه، مواد هیومیکی و عصاره‌های جلبک دریایی می‌شوند. طبق نظر شورای صنعت محرک‌های رشد اروپائی (EBIC[1])، این مواد برای رشد گیاه، حاوی ترکیبات یا ریزجاندارانی هستند که وظیفهٔ آنها تحریک فرآیندهای طبیعی برای افزایش جذب و کارایی عناصر غذایی، بالابردن تحمل به تنش غیرزنده و بهبود کیفیت محصول می‌باشد. بیش از ۵۰ درصد از سهم بازار محرک‌های رشد در اروپا را محرک‌های بیوشیمیایی، شامل پروتئین شکسته شده (هیدرولیز شده)، عصاره‌های جلبک دریایی و مواد هیومیکی تشکیل می‌دهند. ارزش آن گاهی تا میلیاردها دلار برآورد شده است (۴۶). مزیت اصلی محرک‌های رشد، از یک سو به حداقل رساندن مصرف نهاده‌های تولید (عمدتاً کودها و آفت‌کش‌ها) و از سوی دیگر تقویت رشد و نمو گیاهان در طول چرخه زندگی‌شان با تکیه بر ویژگی هورمونی آنهاست. بهبود مدیریت عملیات زراعی (کاشت و داشت) از دیگر مزیت‌های مواد محرک زیستی می‌باشد.

در حال حاضر، تنش‌های زنده و غیرزنده، یکی از دغدغه‌های مهم در توسعه کمّی و کیفی گیاهان زراعی‌ست و بخش قابل توجهی از هدررفت محصولات زراعی و باغی به دلیل تنش‌های غیرزنده از جمله شوری است. یکی از اهداف استفاده از محرک‌های رشد، بهبود و افزایش بهره‌وری و عملکرد این گیاهان در شرایط تنش می‌باشد (۱۰۳). براساس آمار سازمان خواربار جهانی، مقدار مصرف محرک‌های رشد در ایران، از دو تُن در ۱۹۹۳، به حدود ۵۰ تُن در سال ۲۰۱۱ میلادی رسیده است (۴۴) که این رقم، همچنان در حال رشد می‌باشد.

[1] - European Bio-stimulants Industry Council (EBIC)

مصرف محرک‌های رشد رویکردی نوین و بالقوه برای تنظیم و تعدیل فرایندهای کارکردی گیاهان در راستای ارتقاء رشد، کاهش اثرات محدودیت‌های ناشی از تنش‌ها و افزایش عملکرد گیاهی‌است. نتایج مطالعات متعدد روی مصرف محرک‌های رشد (از جمله اسیدهای هیومیک، هورمون‌ها، عصاره جلبک‌ها، مخمرها و باکتری‌های محرک زیستی) در گیاهان در معرض تنش‌های غیرزنده از جمله تنش شوری، نشان‌دهنده‌ی بهبود رشد و عملکرد گیاهان در این شرایط می‌باشد (۱۰۳). هدف نوشته‌ی حاضر، آشنایی اجمالی با محرک‌های رشد گیاه و بررسی استفاده از این ترکیبات در محصولات متاثر از تنش شوری و تأثیر آنها بر رشد و عملکرد کمّی و کیفی محصولات زراعی و بررسی جنبه‌ی اقتصادی مصرف این مواد می‌باشد.

تاریخچه مواد محرک زیستی

اولین رویکرد نظریه‌ی "محرک زیست‌زاد[1]" در سال ۱۹۳۳ در اتحاد جماهیر شوروی و توسط دکتر فیلاتوف آغاز شد (۴۵). وی معتقد بود که با ذخیرهٔ مواد زیستی (با منشاء جانوری یا گیاهی) در بدن موجودات، این مواد قادرند فرآیندهای سوخت‌وساز را در گیاهان تحریک کنند. همچنین، هنگامی که این مواد غنی از محرک‌های زیست‌زاد، به موجودات بیمار یا دچار تنش وارد شوند، قدرت بازسازی موجودات را افزایش می‌دهند (۴۵). در طول دهه ۱۹۵۰، بلاگووشچنسکی (۲۲) محرک‌های زیست‌زاد را به عنوان اسیدهای آلی با اثرات محرکی در افزایش فعالیت آنزیمی در گیاهان تعریف کرد. بنابر تعریف برلین و روسو (۲۱)، ترکیبات محرک زیست‌زاد، رشد و بنیه گیاه را با افزایش کارایی جذب عناصر غذایی و آب افزایش می‌دهند. با این وجود، آنها به عنوان محصولات غیر کودی و مواد حاوی هورمون تعریف شده‌اند که در صورت مصرف (۸۹) می‌توانند رشد گیاه را در غلظت‌های پایین تحریک کنند (۴۷). شاید هرو (۵۱)، اولین بار، رویکرد امروزی را برای تعریف محرک‌های رشد ارائه نموده و این مفهوم را معرفی کرد که محرک‌های رشد باید بر اساس ویژگی‌هایی مانند فعال بودن در مقادیر اندک، بی‌خطر بودن از نظر زیست‌محیطی و دارا بودن اثرات سودمند قابل تکرار بر روی آنها تعریف نمود.

[1] - Biogenic

کافمن (۵۶) اولین طبقه‌بندی جدید از مواد محرک زیستی شامل مواد هیومیکی (HS[1])، محصولات حاوی هورمون (HCP[2])، و محصولات حاوی اسید آمینه (AACP[3]) ارائه کرد. شورای صنعت زیست محرک اروپا (EBIC[4]) تعریف دقیقی از محرک‌های رشد ارائه کرد (۹۵). در سطح اتحادیه اروپا، محرک‌های رشد به‌عنوان ماده یا موادی (غیر از کود و آفت‌کش‌ها) تعریف می‌شوند که وقتی روی گیاه، دانه‌ها یا بستر رشد در فرمول‌های ویژه استفاده می‌شوند، قادرند فرآیندهای عملکردی گیاهان را با بهبود رشد، توسعه و یا افزایش تحمل به تنش‌های غیرزنده اصلاح کنند (۳۵). این اتحادیه، در سال ۲۰۱۳، تعریف کامل‌تری از محرک‌های رشد ارائه کرده است. بر این اساس، محرک‌های رشد، مواد و یا ریزجاندارانی هستند که بر روی گیاه یا محیط ریشه مصرف می‌شوند و فرایندهای طبیعی را تحریک می‌کنند، کارایی جذب عناصر غذایی و تحمل تنش غیرزنده و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشند. محرک‌های رشد تأثیری بر انگل‌ها و عوامل بیماری‌زا ندارند و بنابراین در دسته آفت‌کش‌ها قرار نمی‌گیرند (۳۳).

انواع تنش‌ها

بسیاری از گیاهان در چرخه‌ی زندگی خود، از زمان جوانه زدن بذر تا رسیدگی، به طور مداوم در معرض انبوهی از تنش‌ها هستند. معمولا، تنش‌های موجود در بخش کشاورزی به دو دسته‌ی عمده‌ی تنش‌های زنده و غیرزنده تقسیم می‌شوند. تنش‌های زنده، توسط موجودات زنده از جمله حشرات، باکتری‌ها، قارچ‌ها و علف‌های هرز ایجاد می‌شوند که بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر منفی می‌گذارند. تنش‌های غیرزنده، عوامل محدودکننده‌ی رشد و بقای گیاه بوده که به شرایط آب و هوایی، خاکی و جغرافیایی منطقه وابسته هستند.

تنش غیرزنده

مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده، شامل تنش آبی (خشکی و ماندابی)، تجمع نمک‌ها و برخی ترکیبات شیمیایی در خاک (شوری، سدیمی، آهک و گچ)، دما و تابش غیربهینه

1 - Humic substances
2 - Hormone containing products
3 - Amino acid containing products
4 - European Bio-stimulants Industry Council (EBIC)

(تنش دمایی و تنش نوری) و فقر حاصلخیزی خاک (پایین بودن قابلیت استفاده عناصر غذایی و یا سمیت عناصر آنها، پی - اچ نامناسب خاک، و عدم تعادل عناصر غذایی خاک) هستند که باعث تغییراتی در ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و ترکیب شیمیایی محصولات می‌شوند. این تغییرات می‌توانند ظاهر و یا ارزش غذایی محصول را به گونه‌ای تغییر دهند که غیرقابل فروش و یا مصرف شود (۸۲).

تنش اکسیداتیو، پدیده‌ای است که در شرایط نامطلوب ایجاد می‌شود. معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که اختلالی در تعادل بین میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS[1]) و میزان خنثی شدن آن‌ها رخ می‌دهد. معمولاً، مقدار اندکی از گونه‌های فعال اکسیژن در طی فرآیند سوخت و ساز گیاه (از جمله فتوسنتز یا تنفس) توسط واکنش‌های مختلف تولید می‌شوند. اما، در شرایط تنش غیرزنده، مقدار این گونه‌های فعال اکسیژن به طور چشمگیری افزایش یافته و در صورت عدم خنثی سازی، می‌تواند منجر به آسیب و مرگ سلولی شود (شکل ۱). افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن فعال در شرایط تنش، علاوه بر سمّیت آن برای پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک، نقش کلیدی در برانگیختن واکنش گیاه برای خنثی کردن این گونه‌ها بازی می‌کند و در نتیجه‌ی مداخله‌ی سامانه‌ی آنتی‌اکسیدانی، غلظت آنها تعدیل و به حالت غیرسمّی تبدیل می‌شود. گروه‌های وسیعی از مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی (آنزیمی یا غیرآنزیمی) در بافت‌های گیاهی انباشته می‌شوند تا گونه‌های اکسیژن فعال ناشی از تنش را خنثی کنند. همچنین، گیاهان، با ساخت مولکول‌های آنتی‌اکسیدان و تجمع قندها و پرولین، محافظت اسمزی را افزایش می‌دهند (۸۲).

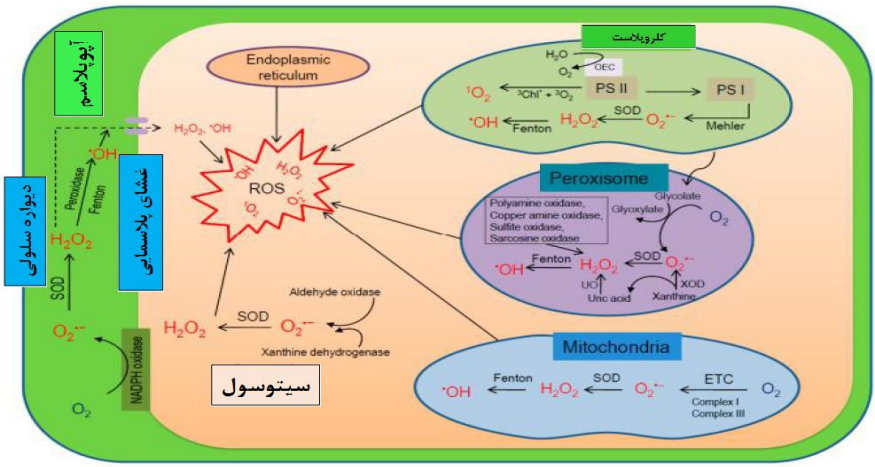
تنش شوری

شوری یکی از عوامل تنش‌زای محیطی است که به‌دلیل اثرات منفی بر جوانه زنی بذر، و تولید شاخساره و اختلال درجذب آب و عناصر غذایی باعث کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. اصطلاح شوری در کشاورزی، به وجود غلظت بالا و زیان‌بار نمک‌های محلول برای گیاه و ناحیه ریشه اشاره دارد. غلظت‌های بالاتر از حد معمول املاح، باعث افزایش غلظت برخی از یون‌ها، از جمله سدیم و کلر در گیاه و ایجاد سمیت و نیز

[1] - Reactive Oxygen Species

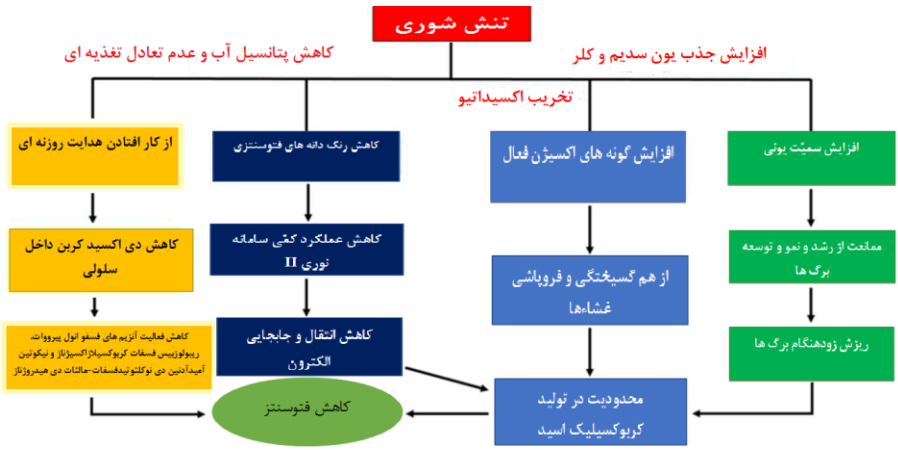
افزایش فشار اسمزی آب و خاک شده و بدنبال آن کاهش جذب آب و برهم‌خوردن تعادل در جذب عناصر غذایی توسط ریشه شده، و در نهایت رشد گیاه را مختل می‌کند.

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، تنش شوری، گیاهان را به روش‌های مختلفی از جمله اثرات اسمزی، سمّیت یون‌های ویژه و یا اختلالات تغذیه‌ای متاثر می‌کند (۵۵).



شکل ۱- مکان‌ها و فرآیندهای تولید گونه‌های اکسیژن فعال در داخل سلول‌های گیاهی (۸۲)

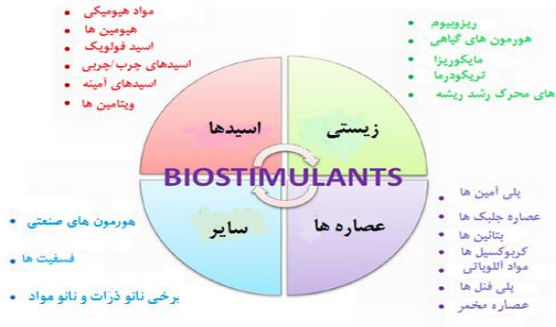
[ROS: گونه های اکسیژن فعال]



شکل ۲- نمودار الگویی اثرات منفی تنش شوری خاک بر کارکرد و فرآیند گیاهان زراعی (۵۵)

محرک‌های رشد گیاهی

محرک‌های رشد، به فرآورده‌های به‌دست آمده از مواد آلی یا معدنی و یا ریزجاندارانی اطلاق می‌گردد که به بهبود رشد و عملکرد گیاه و کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های غیرزنده از جمله شوری منجر می‌شوند. شناخته شده‌ترین اجزای تشکیل دهنده‌ی این مواد، شامل برخی عناصر معدنی (ازجمله سیلیسیوم و فسفیت)، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، قندهای پلی و الیگوساکاریدی و هورمون‌های طبیعی گیاهی می‌باشند. این مواد، قادرند فرآیندهای گیاهی را به شکل ویژه‌ای تغییر دهند تا کارآیی مصرف آب و عناصر غذایی بهبود یابد، همچنین، رشد گیاه را تحریک نمایند و در شرایط تنش، با افزایش سوخت و ساز اولیه و ثانویه، با این تنش‌ها مقابله کنند (۸۵).



شکل ۳- گسترهٔ محرک‌های رشد مورد استفاده در کشاورزی بر اساس منشأ تولید و مواد تشکیل‌دهندهٔ آنها (۳۴ و ۳۵)

طبقه‌بندی محرک‌های رشد گیاهی

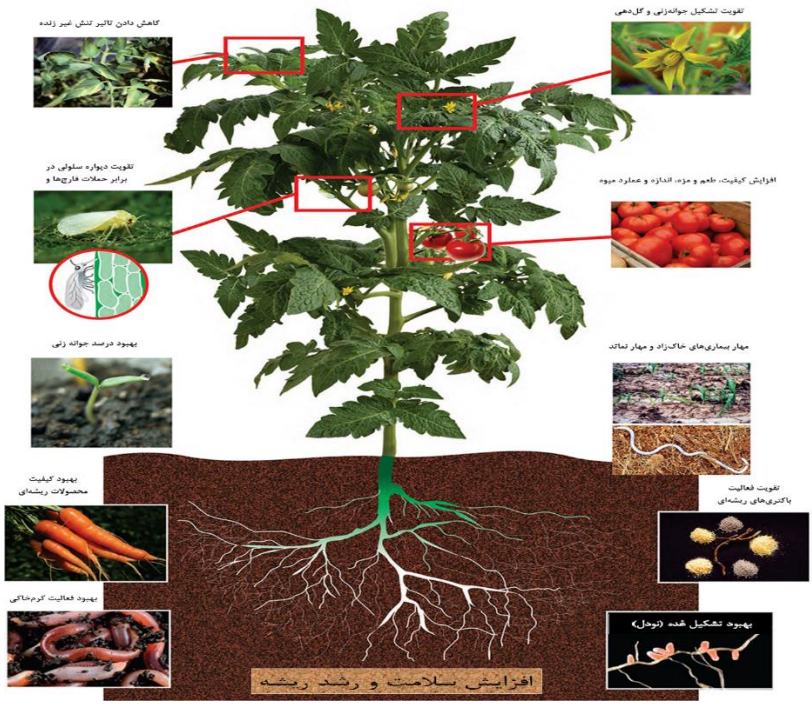
دسته‌بندی‌های متعددی از فرآورده‌های محرک زیستی توسط محققان مختلف با محوریت جزء اصلی یا نحوه عملکرد این مواد پیشنهاد شده است. در ادامه، دسته‌بندی محرک‌های رشد بر اساس منشأ تولید و مواد تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها توضیح داده می‌شود.

مشتقات طبیعی

عصاره جلبک دریایی

این ترکیبات با فرمولاسیون‌های گوناگون، عمدتاً از جلبک‌های بزرگ قرمز، سبز و قهوه‌ای استحصال می‌شوند (۲۰) و به‌عنوان محرک‌های رشد، به رشد و نمو گیاهان در

محیط‌های مختلف کمک می‌کنند. این عصاره‌ها، غالبا حاوی عناصر کم‌مصرفی مانند روی و منگنز هستند و فعالیت سامانه‌ی آنزیمی گیاه را در مواجهه با تنش‌ها بهبود می‌بخشند (۲۴). جلبک‌های دریایی مورد استفاده در تولید محرک‌های رشد، حاوی سیتوکینین‌ها، اُکسین‌ها و یا سایر ترکیبات شبه هورمونی هستند. همچنین، این عصاره‌ها، حاوی بسیاری از ترکیبات معدنی و آلی فعال شامل انواع پلی ساکاریدها از جمله لامینارین، فوکویدان، آلژینات‌ها و هورمون‌های گیاهی بوده که به رشد گیاه کمک می‌کنند (۲۶). به‌علاوه، در صورت مصرف به شکل محلول‌پاشی، قادرند رشد گیاه، تحمل به تنش غیرزنده، فعالیت فتوسنتزی و مقاومت به قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها را افزایش دهند و عملکرد و بهره‌وری بسیاری از محصولات زراعی را افزایش دهند. عصاره‌های جلبک دریایی، به‌عنوان محرک رشد، به‌دلیل وجود مواد آلی، برای بهبود تخلخل تهویه‌ای خاک و به‌خاطر وجود برخی عناصر غذایی و بعضی هورمون‌های رشدی به افزایش تحمل گیاه به تنش‌ها کمک می‌کنند.



شکل ۴– خلاصه‌ای از مزایا و تأثیر استفاده از عصاره جلبک دریایی در سامانه گیاه – خاک (۱۱)

عصارهٔ مخمرها

عصاره‌ی مخمرها، منبع طبیعی تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین، پیریدوکسین و ویتامین‌های ب۱، ب۲، ب۳، ب۱۲، سیتوکینین و بسیاری از عناصر غذایی و ترکیبات آلی است که با افزایش تولید پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها، باعث افزایش تقسیم و رشد سلول‌ها می‌شوند. مصرف این عصاره‌ها، سبب افزایش جذب عناصر غذایی و تولید هورمون‌های گیاهی می‌شود. همچنین، تبدیل فسفر نامحلول به شکل محلول و افزایش دسترسی گیاهان به فسفر را بهبود و در نهایت، رشد گیاه را افزایش می‌دهند (۷۷).

مواد هیومیکی

مواد هیومیکی، شامل بقایای تجزیه‌شدهٔ گیاهی، حیوانی و ریزجانداران و فعالیت زیستی آنها در خاک است که بسته به نوع بقایا و شرایط محیطی تشکیل آنها، دارای ساختمان شیمیایی گوناگونی هستند. همچنین، میزان تأثیرگذاری این مواد، به شرایط محیطی، نوع گیاه، مقدار و نحوه کاربرد آنها وابسته می‌باشد (۷۶). اجزای اصلی آلی لیگنیت، خاک و زغال سنگ نارس، هیومیک و فولویک هستند. تجزیه زیستی مواد آلی، منجر به تولید مخلوطی از اسیدهای حاوی گروه‌های فنولیک و کربوکسیل یا همان اسید هیومیک و فولویک می‌شود. اسید هیومیک، برعکس اسید فولویک، دارای وزن مولکولی زیاد و حاوی اکسیژن اندک می‌باشد. مواد هیومیکی به‌عنوان محرک زیستی، جذب عناصر غذایی توسط ریشه را بهبود بخشیده (۷۰) و باتوجه به ویژگی پلی‌آنیونی آن (دارای چندین نقطهٔ با بار منفی)، باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌شوند. همچنین گزارش شده که مواد هیومیکی، فعالیت آنزیم H^+-ATP_{ases} غشای پلاسمایی را تحریک می‌کند (۵۴) که به سُست شدن دیواره سلولی، اتساع و در آخر، رشد بافت گیاهی کمک می‌کنند. به‌علاوه، مواد هیومیکی، محتوای اکسین درون‌زا و اسید جیبرلیک گیاه را افزایش می‌دهند (۱۰).

فرآورده‌های حاوی پروتئین‌های هیدرولیز شده و اسیدهای آمینه

این فرآورده‌ها شامل ترکیبی از اسیدهای آمینه، پپتیدهای ساده حاصل از ترکیب چند اسید آمینه، پلی پپتیدها و پروتئین‌های تغییر ساختمان یافته هستند که از منابع گیاهی یا

حیوانی و از طریق هیدرولیز شیمیایی، آنزیمی و یا حرارتی و یا ترکیبی از این روش‌ها به دست می‌آیند. به‌طورکلی، همان‌طور که برخی پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند مصرف این فرآورده‌ها، تحمل گیاهان را به برخی تنش‌های غیرزنده افزایش می‌دهد. اسیدهای آمینه‌ی گلوتامین و آسپاراژین به عنوان منابع و اشکال نیتروژن انتقالی و تغییردهنده‌ی نسبت کربن به نیتروژن در گیاه عمل می‌کنند. سایر اسیدهای آمینه از جمله تریپتوفان، متیونین، پرولین و آرژنین به عنوان پیش‌ساز برخی ترکیبات ثانویه و هورمون‌ها، به طور مستقیم و یا غیرمستقیم باعث افزایش مقاومت گیاهان در برابر شرایط تنش زنده و غیرزنده می‌شوند (۹۶). اسیدهای آمینه، پیش‌ساز بسیاری از زیست مولکول‌های اختصاصی از جمله هورمون‌ها، کوآنزیم‌ها، نوکلوتیدها و پلی‌مرهای دیواره سلولی هستند و در فعالیت فتوسنتزی نقش قابل توجهی دارند (۹)، لذا، به‌عنوان تحریک‌کننده‌ی رشد گیاه، نقش مهمی در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی دارند (۶۱). از اثرات مثبت دیگر اسیدهای آمینه بر عملکرد گیاه می‌توان به نقش آن‌ها در افزایش نسخه‌برداری mRNA، فعال‌سازی فرآیند ساخت کربوهیدرات‌ها، ساختِ زیستی کلروفیل و افزایش مقدار پروتئین گیاه اشاره کرد (۵۷). در شرایط تنش‌های محیطی، غلظت اسیدهای آمینه در گیاه افزایش می‌یابد که این اسیدهای آمینه می‌توانند به‌عنوان عامل اُسمولیت[۱] عمل کرده و در تنظیم انتقال یون، باز شدن روزنه‌ها، حفظ پروتئین‌ها، استحکام غشاء سلولی، فعالیت برخی آنزیم‌ها و سمیت زدایی فلزات سنگین نقش به‌سزایی ایفا کنند (۷۱).

ریزجانداران

در این گروه باکتری‌ها، قارچ‌های رشته‌ای و ریزجلبک‌ها قرار می‌گیرند. منشا این ریزجانداران، کمپوست‌ها، خاک، آب، کودهای دامی و یا سایر مواد آلی است. این محرک‌های رشد برای بهبود عملکرد محصولات کشاورزی، در خاک مصرف می‌شوند و علاوه بر افزایش جذب عناصر از طریق تثبیت نیتروژن و حل کردن عناصر غذایی تثبیت شده، با القای سنتز زیستی هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها، سطوح هورمون‌های گیاه را تغییر می‌دهند. همچنین، با تولید ترکیبات آلی فرار، سبب افزایش مقاومت گیاهان در برابر

[۱] اُسمولیت‌ها ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم هستند که بر خصوصیات مایعات زیستی تأثیر می‌گذارند. نقش اصلی اصلی آنها حفظ یکپارچگی سلول‌ها با تأثیر بر گرانروی، نقطه ذوب و مقاومت یونی محلول آبی است.

تنش‌های غیرزنده می‌شوند. باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد (PGPR[1]) به دلیل افزایش مقاوت گیاهان به تنش‌های غیرزنده، قادرند فعالیت‌های شیمیایی و زیستی گیاهان را افزایش دهند. ریزجاندارانی که به صورت لایه‌ی نازک محافظی روی سطح ریشه قرار می‌گیرند، جذب عناصر غذایی و آب توسط گیاه را افزایش می‌دهند (۹۸).

- **باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد** (PGPR): باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد، ریزجانداران مفید و مؤثر در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده هستند که در نزدیکی ریشه‌های گیاه، در ناحیه‌ای به نام ریزوسفر قرار دارند و شامل جنس‌های: *Alcaligenes*، *Azospirillum*، *Azotobacter*، *Agrobacterium*، *Bacillus*، *Bradyrhizobium*، *Burkholderia*، *Caulobacter*، *Chromobacterium*، *Enterobacter*، *Herbaspirillum*، *Klebsiella*، *Mesorhizobium*، *Micrococcus*، *Pseudomonas*، *Rhizobium*، *Rhodococcus*، *Serratia* و *Flavobacterium*، *Erwinia*، *Arthrobacter* هستند. باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد را بر اساس تعامل‌شان با گیاهان، می‌توان به باکتری‌های همزیست (زندگی در بافت‌های گیاهی و تبادل متابولیت‌ها) و آزاد - زی (زندگی در خارج از بافت‌های گیاهی) تقسیم کرد (۱۶). علاوه بر جنس‌های مذکور، اخیراً، اکتینوباکترها به‌دلیل اثرات مفید بر سلامت (مقابله با عوامل بیماری‌زای گیاهی) و بهبود جذب عناصر غذایی در گیاه، مورد توجه ویژه‌ای واقع شده‌اند. این باکتری‌های رشته‌ای، گروه وسیعی از ترکیبات فعال زیستی را تولید می‌کنند که به عنوان مواد محرک رشد گیاه (از جمله سیدروفورها، ترکیبات ضد قارچی، آنزیم‌های هیدرولیتیک، اسید هیدروسیانیک و گاز آمونیاک) عمل می‌کنند. همچنین، برخی هورمون‌های گیاهی را ساخته، نیتروژن جوّی را تثبیت کرده و فسفات معدنی تثبیت شده را حل می‌کنند. با تولید آنزیم ۱-آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید (ACC) دِآمیناز، اتیلن تولید شده در اثر تنش را مهار می‌کنند (۸۱ و ۸۷). همچنین، با تضعیف اثرات عوامل بیماری‌زای گیاهی و از طریق سازوکار مقاومت القایی سامانه‌ای[2] و تولید ترکیبات ضد باکتریایی (از جمله فنژیسین، کیتیناز، باکتریوسین، زوویترمایسین، و آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی)، به طور غیرمستقیم رشد گیاه را تشدید می‌نمایند (۱۶).

[1] - Plant-growth promoting rhizobacteria
[2] - Induced Systemic Resistance (ISR)

- **قارچ‌های مایکوریزای آربوسکولار:** قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار (*Arbuscular mycorrhizas*)، یکی از فراوان‌ترین ریزجانداران ایجاد کننده‌ی همزیستی اجباری با ریشه‌های گیاهان هستند. این ریزجانداران، اثرات تنش‌ها را از طریق جذب مستقیم آب وانتقال آن توسط هیف‌های قارچ به میزبان (۱۴)، تنظیم اسمزی (۱۲) و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی (۲۳) کاهش می‌دهند. همچنین، این قارچ‌ها در مبارزه زیستی با عوامل بیماری‌زا به گیاهان کمک می‌کنند. برخی از گونه‌های این قارچ شامل *Glomus mosseae*، *Glomus inttraradices* و *Glomus etunicatum* می‌باشد. ویژگی کلیدی هم‌زیستی بین قارچ‌های مایکوریزایی و گیاهان، وجود ساختار آربوسکول است که به‌عنوان ساختاری مکنده درون سلول‌های غشایی ریشه تشکیل شده و واسطه تبادل متابولیت بین قارچ و گیاه است (۹۱).

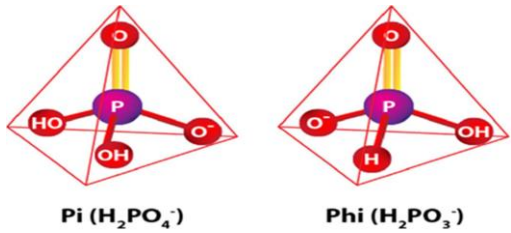
- **قارچ‌های گونه تریکودراما:** گونه‌های تریکودرما با تقویت رشد گیاه و برنامه‌ریزی مجدد بیان ژن در ریشه و اندام هوایی، ضمن کمک به گیاه در برابر تنش‌های محیطی (مانند خشکی و شوری) جذب عناصر غذایی و آب را بهبود می بخشند. به‌علاوه، به دلیل توانایی آنها در مهار بسیاری از عوامل بیماری‌زای قارچی، به‌عنوان ریزجانداری مفید هستند (۶۲). این ریزجانداران در اطراف ریشه، با تولید مقادیر زیادی آنزیم‌های خارج سلولی (از جمله ۶-پنتیل-۲اچ-پایران-۲-۱ و اکسین اسید ایندول-۳-استیک) سبب مرگ قارچ‌های مضر بیماری‌زای گیاهی می‌شوند (۶۲).

هورمون‌های گیاهی

رشد و نمو گیاهان، حاصل برهمکنش و توازن قوانین پیچیده ژنتیکی، محیطی و هورمونی است. هورمون‌های گیاهی، ترکیباتی طبیعی با ساختارهای متنوع هستند که از راه‌های مختلف وظیفه‌ی تنظیمی خود را در گیاه اعمال می‌کنند. ترکیبات هورمون گیاهی جزو محرک‌های رشد یا بازدارنده‌های زیستی آلی هستند که فرآیندهای کارکردی گیاهان را تنظیم و آنزیم‌های ویژه‌ای را در سلول‌ها فعال یا مهار می‌کنند. برخی از هورمون‌های گیاه عبارتند از اکسین، جیبرلین، اتیلن، سیتوکینین و اسید آبسیزیک (۷۷).

سایر مواد

محرک‌های رشد صنعتی: این مواد شامل ترکیبات فنلی، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه (هورمون‌های مصنوعی)، نمک‌های معدنی و مواد مختلف با ویژگی محرک گیاهی هستند.
فسفیت: در طول سه دهۀ گذشته، فسفیت (Phi؛ H_2PO_3) یا اسید فسفرو (ارتو فسفره)، که شکل احیا شده فسفات (Pi) است (شکل ۳)، به طور گسترده به‌عنوان آفت کش، کود شیمیایی و محرک زیستی استفاده شده است. ثابت شده که فسفیت، به‌عنوان یک محرک زیستی، جذب و یا تثبیت کاتیون‌ها، تحمل تنش‌های غیرزنده و پایداری تولید محصول و همچنین، رشد ریشه، عملکرد و ارزش غذایی محصولات باغبانی را افزایش داده است (۹۴).



شکل ۵: ساختمان چهاروجهی ساختار شیمیایی سه بُعدی فسفات ($H_2PO_4^-$؛ Pi) و فسفیت ($H_2PO_3^-$؛ Phi) (۹۴)

هورمون‌های صنعتی: این مواد مصنوعی، شامل اسید ایندول بوتیریک، آدنین، آدنوزین مونو فسفات و آدنوزین مونو فسفات حلقوی، پلی اتیلن گلیکول، اسیدهای کربوکسیلیک و فنولیک بوده و اثرات مطلوب بر رشد و عملکرد محصول به آن‌ها نسبت داده شده است (۷۷).
برخی نانو ذرات و نانو مواد: نانو ذرات و نانو مواد معمولاً به ذرات با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر اطلاق می‌شود. این ذرات، دارای ویژگی‌هایی سوای از شکل توده‌ای آن ماده هستند. زمانی که نانو مواد به‌شکل محلول‌پاشی و یا در محلول غذایی و در مقادیر اندک استفاده می‌شوند، بهره‌وری تولید و مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده را زیر تأثیر قرار می‌دهند. البته، ویژگی محرک زیستی بودن این مواد به ساختار آن‌ها وابسته است. احتمالاً برهمکنش بین ریشه گیاهان و سطح کوچک این مواد، تأثیر مثبتی بر انتقال یون‌ها و متابولیت‌ها از غشاء سلولی و بهبود عملکرد گیرنده‌های موجود در سلول‌های ریشه داشته باشد. این اثر به

تغییرات محیطی از لحاظ انرژی و یا بار الکتریکی وابسته بوده و مستقل از ترکیب شیمیایی مواد نانو ذره هست. علاوه‌براین، برخی نانو مواد، عناصر شیمیایی از جمله آهن و یا کربن را آزاد می‌کنند که برای گیاهان مفید است (۵۸).

سیلیسیوم (Si): سیلیسیوم در خاک دارای غلظت قابل توجهی بوه و عمدتاً به شکل سیلیکاتی (از جمله سیلیکات‌های آهن و آلومینیوم) وجود دارد. با وجود فراوانی بالای این عنصر در خاک، گیاهان قادر به جذب مستقیم آن نیستند و تنها در غلظت‌های بین ۰/۱ تا ۲ میلی مولار و در پی-اچ های کمتر از ۹ به شکل اسید سیلیسیک (H_4SiO_4) جذب ریشه می‌شوند. غلظت سیلیسیوم در اندام هوایی گیاهان، بسته به نوع گیاه، بین ۰/۱ تا ۱۰ درصد ماده خشک گیاهی متغیر است (۴۲). سیلیسیوم، به‌عنوان عنصری مفید برای افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های مختلف زنده و غیرزنده در نظر گرفته می‌شود (۱۸). همچنین، با بهبود حجم و تراکم ریشه، بنیه گیاه را تقویت می‌کند. از سایر تأثیرات سیلیسیوم می‌توان کمک به استحکام و یکپارچگی ساختار دیواره سلولی گیاه و مقاومت به تنش‌های خشکی و سرما و نیز، تقویت گیاه در مبارزه با آفات و بیماری‌ها اشاره کرد (۷۹).

کاربرد خاکی سیلیسیوم کلوئیدی (۵۴۴کیلوگرم سیلیسیوم در هکتار)، غلظت سیلیسیوم قابل جذب گیاه را افزایش داد، درحالی‌که محلول‌پاشی آن (۴۲۸کیلوگرم سیلیسیوم در هکتار) باعث افزایش غلظت سیلیسیوم کل در برگ، عملکرد و وزن خوشه انگور شد (۸۸).

کیتوزان: کیتوزان، شکل اسِتیل‌زدایی شده‌ی کیتین (یک هم‌بَسپار[1] از ان-اسِتیل-دی-گلوکوزامین[2] و دی-گلوکوزامین) است. این ماده، یک زیست‌بَسپار[3] طبیعی است که در اسکلت بیرونی حشرات، دیواره سلولی قارچ‌ها و پوسته‌ی سخت پوستان یافت می‌شود. کیتوزان‌ها چندین ژن دفاعی را در گیاهان تقویت می‌کنند (به عنوان مثال، ژن‌های مرتبط با تولید گلوکاناز و کیتیناز برای مبارزه با عوامل بیماری‌زا). علاوه‌براین، در مهار گونه‌های اکسیژن فعال، سبب تولید آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز می‌شوند. از کیتوزان‌ها به‌عنوان محرک زیستی در افزایش تحمل گیاهان به تنش غیرزنده و مقاومت به عوامل بیماری‌زا استفاده

[1] - co-polymer
[2] - N-acetyl-d-glucosamine
[3] - Biopolymer

شده است. اثر کیتوزان در مقاومت القایی سامانه‌ای درخت انگور را می‌توان به توانایی آن در تولید درون سلولی گستره‌ی وسیعی از آنتی‌اکسیدان‌ها (مانند رسوراترول[1]) مرتبط دانست (۷۴).

نقش محرک‌های رشد در کاهش تنش شوری

بررسی پژوهش‌گران نشان داده که محرک‌های رشد با تولید مواد زیر به کاهش اثرات تنش شوری کمک می‌کنند (۴۹):

۱- هورمون‌های گیاهی: غالب محرک‌های رشد، باعث تولید تنظیم کننده‌های رشد شده و گیاهان را وادار به تولید هورمون‌هایی مانند ایندول استیک اسید، جیبرلین، سیتوکینین و اسید آبسیزیک می‌کنند.

۲- آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک اسید دِآمیناز: مطالعات اخیر نشان داده چندین گونه از باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد (PGPR) دارای آنزیم آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک اسید دِآمیناز هستند که قادر به جداسازی آلفاکتوبوتیرات[2] و آمونیاک و تبدیل به اتیلن به‌عنوان پیش‌ساز آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک اسید عمل می‌کند.

۳- حفظ تعادل و پایداری [3]یون‌ها: تعادل یونی را می‌توان به‌عنوان قدرت گیاه و یا سامانه‌های داخلی سلول در حضور هرگونه تنش محیطی، برای ثابت نگه داشتن غلظت یون‌های داخلی خود در حد طبیعی توصیف کرد. حفظ تعادل و پایداری داخل سلولی یون‌ها برای تمامی فرآیندها و عملکرد گیاه بسیار مهم است.

۴- تجمع اُسمولیت‌ها: اسمولیت‌ها ترکیباتی هستند که با کمک به تنظیم فشار اسمزی سیتوپلاسم و حفظ پروتئین‌ها و غشای سلولی در شرایط تنش (خشکی، نمک یا دما)، نقش مهمی در سازگاری سلول‌ها با شرایط مختلف تنش غیرزنده ایفا می‌کنند.

۵- تولید پرولین: پرولین یکی از اسیدآمینه‌های ضروری است که در بسیاری از تنش‌های غیرزنده از جمله خشکی، شوری و دمایی، در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابد. این اسیدآمینه به تعادل عوامل اسمزی در داخل سیتوپلاسم سلول گیاهی کمک زیادی

---

1 - Resveratrol
2 - Alphaketobutyrate
3 - Homeostasis

می‌کند. درحال‌حاضر، غلظت این اسیدآمینه، به‌عنوان یک مولکول نشان‌گر برای تشخیص شرایط تنش مدّ نظر قرار دارد.

۶- گلایسین بتائین: یکی دیگر از اسیدآمینه‌های ضروری است که معمولاً در گونه‌های مختلف گیاهان در تنش‌های غیرزنده تجمع می‌یابد. این اسید آمینه، قادرست ساختارها و فعالیت‌های آنزیم‌های سلولی را حفظ و تثبیت کند.

۷- قندهای محلول: نقش قندهای محلول در خلال تنش در درون سلول گیاهی، تنها به محافظت‌کنندگی اسمزی محدود نبوده بلکه به‌عنوان ماده غذایی برای رشد گیاه و تنظیم‌کننده‌های بیان ژن نیز عمل می‌کنند. انواع مختلفی از قندهای تنظیم کننده‌ی اسمز شامل ساکارز، فروکتوز، مالتوز، رامنوز و تری‌هالوز وجود دارد.

۸- تولید پلی ساکاریدها توسط میکروب‌ها: پلی ساکاریدها مواد خارج سلولی بَسپاری (پلیمری) هستند که توسط باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد از جمله *Pseudomonas* spp.، *Bacillus* spp.، *Sinorhizobium* spp.، *Escherichia* spp.، *Acetobacter* spp.، *Halomonas* spp.، *Geobacillus thermodenitrificans*، *Halococcus* sp.، *Bacillus licheniformis* و *Halobacterium* sp. و در ناحیه‌ی ریزوسفر تشکیل می‌شوند. این پلی ساکاریدها، عملاً به‌عنوان رابط بین سلول‌های ریشه و محیط اطراف بوده و به‌شکل یک روکش یا غشاء نازک زیستی، بین ریشه و خاک واقع می‌شوند. این مواد، به‌عنوان عامل بازدارنده در برابر خشک شدن، اشعه ماوراء بنفش و تنش نمک عمل می‌کنند. همچنین باعث اتصال ذرات خاک و تشکیل خاک‌دانه‌های ریز و درشت می‌شوند که این امر منجربه تقویت منافذ درشت و ساختمان خاک ریزوسفر و در نتیجه، دسترسی بیشتر گیاهان به آب می‌شود.

۹- ساخت‌زیستی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: در حین انجام فرآیندهای طبیعی مربوط به سوخت‌وساز سلولی (از جمله تنفس و فتوسنتز)، مقادیر اندکی از گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و به عنوان محصولات جانبی تشکیل می‌شود. این گونه‌ها شامل سوپراکسید (O_2)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، اکسید رادیکال هیدروکسیل (OH^-)، اکسید نیتریک (NO^-)، اکسید رادیکال هیدروپراکسید (HOO^-)، اکسید رادیکال لیپید پراکسید (ROO^-)، پروکسی نیتریت ($ONOO^-$) و اکسیژن منفرد می‌شود. هر یک، نقش علامت‌دهی ویژه‌ای در سامانه‌های گیاه و در طول رشد و نمو آن دارند. در زمان تنش‌های غیرزنده (به‌ویژه

شوری)، غلظت این گونه‌ها به حد سمّیت می‌رسد. این غلظت، به‌عنوان یک مهارکننده‌ی فعالیت زیستی و سوخت و سازی در سلول عمل کرده و به اجزای سلولی از جمله پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک آسیب می‌رساند. در مقابل، گیاهان، سازوکارهای مؤثری مانند استفاده از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و یا آنزیم‌های مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال تولید می‌کنند تا تأثیر این گونه‌ها را کاهش داده و آنها را از آسیب محافظت کنند.

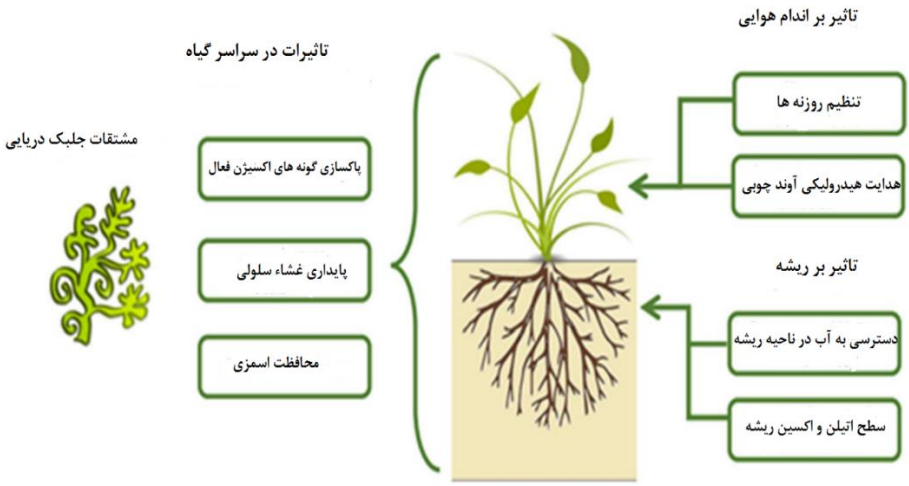
۱۰- بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان: به‌دلیل برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای در شرایط تنش، رشد و نمو و عملکرد گیاه با مشکل مواجه می‌شود. از طرفی، وضعیت تغذیه گیاهان به گونه‌ای چشمگیر بر توانایی‌شان در پاسخ به این شرایط تأثیر زیادی دارد. در این حالت، مصرف محرک‌های رشد، اثرهای سوء برهم خوردن تعادل عناصر را کاهش می‌دهند.

نقش برخی محرک‌های رشد بر عملکرد محصولات زراعی و باغی در شرایط تنش شوری

به‌طورکلی، تأثیر انواع مختلف محرک‌های رشد بر گیاهان زیر تنش شوری شامل تأثیر مستقیم و غیرمستقیم است. اثرات غیرمستقیم به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نسبت داده می‌شود در حالی که تأثیرات مستقیم، مربوط به بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاه (ریشه و اندام هوایی) بوده که باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری می‌شود. همچنین، مصرف محرک‌های رشد، به‌عنوان روشی در تولید پایدار محصول و رویکردی معنی‌دار برای مقابله با تنش شوری در گیاهان معرفی شده است (۱۰۳).

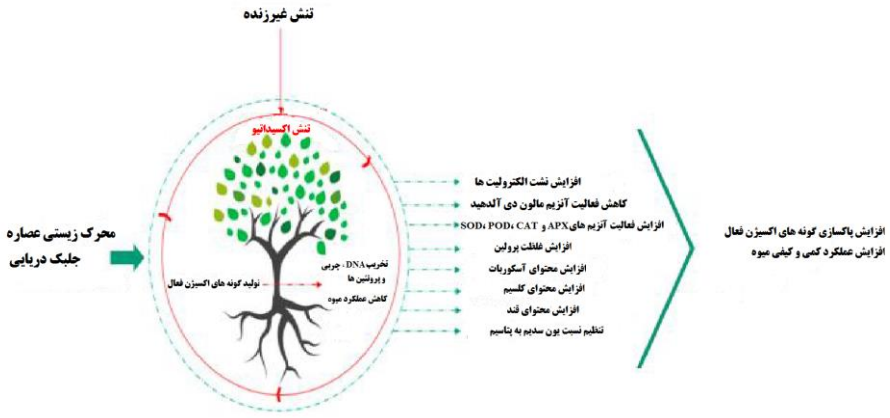
نقش عصاره‌های جلبک دریایی

عصاره‌های جلبک دریایی به‌عنوان محرک زیستی از مسیرهای گوناگون تحمل گیاه به تنش غیرزنده (به‌ویژه شوری) را افزایش می دهند (شکل‌های ۶، ۷ و ۸). ترکیبات فعال زیستی موجود در عصاره جلبک‌ها قادرند تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها بهبود بخشند (جدول‌های ۱، ۲ و ۳).



شکل ۶- خلاصه سازوکارهای مهم تأثیرگذاری عصاره جلبک بر تحمل به تنش شوری (۱۰۰)

شکل ۷- تأثیر مثبت عصاره جلبک دریایی بر کل سامانه خاک - گیاه در شرایط تنش غیرزنده (۱۰۰)



شکل ۸- تأثیر عصاره جلبک دریایی بر گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه متأثر از تنش غیرزنده (۳۷).

(SOD: سوپراکسیداز دیسماتاز؛ POD: پراکسیداز؛ CAT: کاتالاز؛ APX: آسکوربات پراکسیداز)

جدول ۱- ترکیب شیمیایی عصاره‌ی جلبک *Ascophyllum nodosum* (۴۰)

عنصر غذایی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	سدیم	آهن	منگنز	روی	مس
	درصد ماده خشک						میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک			
غلظت	۱۳/۳	۲/۲۲	۲/۱۳	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۰۱	۱۹۳۶	۶۸	۲۱	۱۸

متوسط میزان آلجنیک اسید: ۲۴-۱۰ درصد

جدول ۲- محتوای اسید آمینه‌ی موجود در عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* (۴۰)

آسپارتیک	ترئونین	سرین	گلوتامیک	پرولین	گلایسین	آلانین	والین	متیونین	ایزولوسین	لوسین	تایروزین	فنیل آلانین	هیستیدین	لایزین	آرجنین	سیستین	کل اسیدآمینه
درصد																	
۱/۵	۷/۱۰	۷/۰	۲/۲۴	۰/۶۷	۱/۰۷	۱/۵۵	۱/۱	۳/۳۲	۱/۷۰	۰/۲۰۹	۵/۵۳	۷/۰۷	۲/۰۲۴	۷/۰	۰/۹۸	۲/۲۰	۱۵/۸۹

جدول ۳- مقدار هورمون‌های گیاهی موجود در جلبک *Ascophyllum nodosum*، با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (۴۰)

نوع هورمون گیاهی	اسید ایندول استیک	اسید ایندول بوتریک	اسید جیبرلیک
	میلی‌گرم در گرم		
غلظت	۱۳/۶۶	۳/۲۵	۱/۱۹

در پژوهشی، مصرف محرک‌زیستی حاوی عصاره‌ی جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum*، در کاهو و کلزا در شرایط تنش شوری (۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، باعث افزایش قابل توجه عملکرد و وزن خشک ریشه‌ی این گیاهان شد (۵۰).

کاربرد پلی‌ساکارید گوگردی استخراج شده از ریزجلبک *Dunaliella salina* درگیاه گوجه فرنگی در شرایط تنش شوری (۶ گرم کلرید سدیم در لیتر)، باعث بهبود رشد گیاه و عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد. همچنین عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی با مصرف این عصاره بهبود یافت (۳۵).

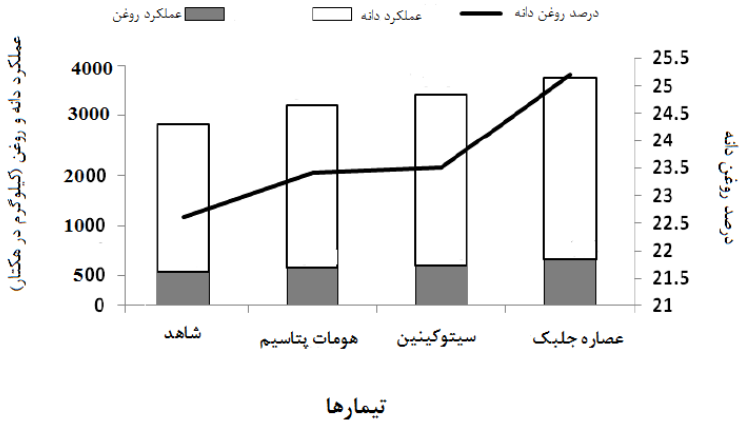
استفاده از عصاره جلبک دریایی *Sargassum muticum* و *Jania rubens* در شرایط شور (تا ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) در گیاه نخود، اثرات مضر نمک را با تنظیم سوخت و ساز اسیدآمینه، متعادل کردن محتوای یون در گیاه و بهبود شرایط محافظتی آنتی اکسیدانی، به میزان قابل توجهی کاهش داد. در این شرایط، ریشه‌ها، اسیدهای آمینه‌ای مانند سرین، ترئونین، پرولین و اسید آسپارتیک را برای مهار تنش شوری تولید می‌کنند (۷).

افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن آفتابگردان با محلول‌پاشی عصاره جلبک (*A. nodosum*) در شرایط تنش شوری خاک و آب (۷ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد (۳۹). افزایش نسبی عملکرد روغن، دانه و درصد روغن دانه، به‌ترتیب ۳۷، ۲۳ و ۱۲ درصد نسبت به شاهد بود (شکل ۹).

همچنین، گزارش شده که مصرف عصاره‌ی جلبک (*A. nodosum*) برای غلبه بر اثرات ناخوشایند ناشی از تنش شوری در چمن مرتعی[1] موثر بوده است (۶۹). در پژوهش دیگری،

[1] - Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L. cv. Plush)

محلول‌پاشی عصاره جلبک، اثر معنی‌داری بر عملکرد کلزا در شوری‌های بالاتر از ۸ دسی‌زیمنس‌برمتر آب آبیاری نداشت ولی تا شوری ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر آب آبیاری، تاثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته‌است (۶).



شکل ۹- تأثیر عصاره جلبک بر عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن آفتابگردان در شرایط تنش شوری (۳۹)

نقش مواد هیومیکی

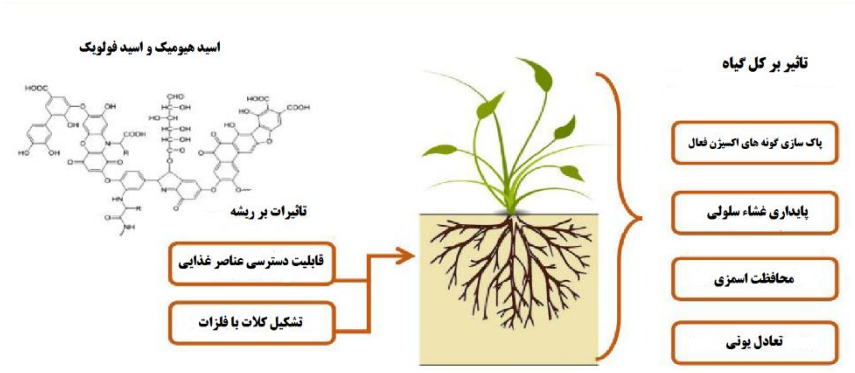
گزارش شده که ترکیبات حاوی اسید هیومیک نقش محافظتی در برابر تنش شوری در گیاه ایفا می‌کنند (۶۴،۱۵، و ۱۰۱). محرک زیستی اسید هیومیک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد (۲۸ و ۶۵). این مواد، قادر به تنظیم پتانسیل اسمزی سلول از طریق حفظ آماس سلولی و جذب آب در شرایط شور هستند (۷۳). به‌علاوه، این ترکیبات، با فعال کردن سازوکار دفاعی آنتی‌اکسیدانی و کاهش آزادسازی گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاه، نقش محافظتی ایفا می‌کنند. آنزیم‌های تولید شده، طی این سازوکارها برای پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن حیاتی هستند (۲۵ و ۳۶).

برخی پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که کاربرد اسید هیومیک، اثر شوری را در گیاهان توت‌فرنگی، ذرت و فلفل در شرایط شور کاهش می‌دهد (۶۶، ۷۵ و ۹۹). در تحقیقی روی گیاه لوبیا، مشاهده شد مصرف اسید هیومیک تا غلظت ۰/۱ درصد وزنی خاک و تا

شوری ۱۲۰ میلی مولار (معادل حدود ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر از منابع گوناگون نمک)، باعث افزایش سطح پرولین برگ و کاهش نشت یونی[1] شد. مصرف اسید هیومیک و فسفر در شرایط شور و در گیاه فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L. cv. Demre) باعث کاهش مقدار سدیم گیاه و افزایش سطوح نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منیزیم، گوگرد، منگنز و مس در ریشه و اندام هوایی شد (۲۷). در مطالعه‌ای، با محلول‌پاشی هیومات پتاسیم، افزایش قابل توجه عملکرد دانه و روغن آفتابگردان و نیز درصد روغن دانه نسبت به عدم مصرف این ماده را در شرایط شور گزارش کرده‌اند (۳۹). اما، نتایج بررسی‌های انجام شده در کلزا در شرایط شوری ۸ دسی‌زیمنس‌برمتر نشان داد، محلول‌پاشی اسید هیومیک به تنهایی، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای آن نداشته است (۶).

با توجه به موارد مذکور، مصرف ترکیبات حاوی اسید هیومیک، همبستگی قوی با سازوکارهای فرآیند و عملکرد گیاهان دارند. این سازوکارها به‌طور مستقیم بر نرخ فتوسنتز، تجمع زیست‌توده، غلظت نیترات، مقدار کلروفیل گیاه و ویژگی‌های تبادل گاز در برگ تأثیر می‌گذارند.

برخی سازوکارهای پیشنهادی تاثیر محرک‌های رشد حاوی اسید هیومیک و اسید فولویک بر گیاه در شرایط تنش شوری در شکل ۱۰ ذکر شده است.



شکل ۱۰- خلاصه‌ای از سازوکارهای پیشنهادی تأثیر محرک‌های رشد حاوی اسید هیومیک و اسید فولویک در شرایط تنش شوری (۱۰۰)

[1] - Electrolyte leakage

نقش عصاره‌های مخمر

یکی از شناخته‌ترین مخمرهایی که دارای چندین ترکیب فعال زیستی بوده و به افزایش کارایی رشد گیاه و عملکرد آن در شرایط تنش شوری کمک می‌کند، مخمر (*Saccharomyces cerevisiae*) است. عصاره مخمر، سرشار از ویتامین‌هایی مانند تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین (ویتامین ب۳) و پایریدوکسین و نیز ترکیباتی مانند قندها و اسیدهای آمینه است (جدول ۴). تأثیر مثبت مصرف این ترکیبات در برابر تنش‌های غیرزنده توسط برخی محققان گزارش شده است. مشاهده شده که محلول‌پاشی عصاره مخمر با غلظت ۵۰ میلی‌لیتر در لیتر، تأثیر منفی شوری (۲ درصد نمک در محلول) بر رشد رویشی گیاهچه‌های خرما را کاهش و رشد و عملکرد گیاه بهبود یافت (۳۰). در پژوهش دیگری، محلول‌پاشی عصاره‌ی فعال مخمر با غلظت ۱۰۰ میلی‌لیتر در لیتر، اثرات منفی شوری تا غلظت ۰/۸ درصد در محلول را کاهش داد. در این شرایط، تیمار عصاره مخمر تواناست با بهبود قابل توجه شرایط رشد رویشی گیاه، عملکرد آن را افزایش دهد.

از سوی دیگر، بذرمال دانه‌های فلفل شیرین با عصاره مخمر با غلظت ۲ گرم در لیتر، باعث بهبود عملکرد گیاه در شرایط شور (تا شوری ۰/۴ درصد نمک کلرید سدیم) شد (۸۰). به‌نظر می‌رسد با توجه به وجود هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکینین در عصاره مخمر، بذرمال آن، به افزایش حجم ریشه و بهبود رشد کمک نماید (۳۸). در پژوهش دیگری روی نعناع فلفلی، محلول پاشی عصاره جلبک با غلظت ۴ گرم در لیتر، باعث افزایش و بهبود مقادیر ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاه، غلظت کلروفیل‌های a، b و کل، کاروتنوئید، نیتروژن، پتاسیم، فسفر، قند محلول، فنول کل و میزان اسانس از یک سو و کاهش غلظت سدیم، نشت الکترولیت و پرولین از سوی دیگر در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (معادل ۹ دسی‌زیمنس‌برمتر) گردید (۱).

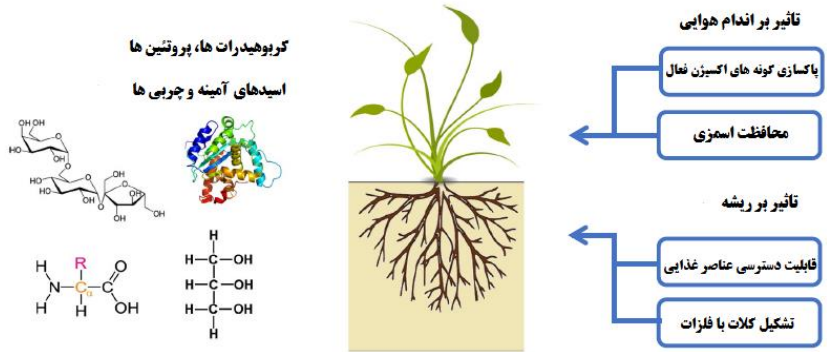
جدول ۴- برخی ترکیبات شیمیایی موجود در مخمر *Saccharomyces cerevisiae* (۸)

اسیدهای آمینه	مقدار	ویتامین‌ها	مقدار	تنظیم کننده رشد	مقدار
	درصد		میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک		میلی‌گرم در کیلوگرم
آلانین	۱/۶۹	ویتامین ب۱	۲۳/۳۳	آدنین	۳۱
آرجنین	۱/۴۹	ویتامین ب۲	۲۱/۰۴	بتائین	۵۶
اسید آسپارتیک	۲/۳۲	ویتامین ب۶	۲۰/۶۷	عناصر معدنی	
سیستین	۰/۶۳	ویتامین ب۱۲	۱۹/۱۷	نیتروژن	۶/۸۸ درصد
اسید گلوتامیک	۳/۷۶	تیامین	۲۳/۲۱	فسفر	۰/۶۶ درصد
گلایسین	۱/۴۵	ریبوفلاوین	۲۹/۲۷	پتاسیم	۰/۹۵ درصد
هیستیدین	۰/۷۱	اینوسیتول	۲۰/۴۳	منیزیم	۰/۱۹ درصد
ایزولوسین	۰/۸۵	بیوتین	۲۰/۰۴	کلسیم	۰/۱۷ درصد
لوسین	۱/۹۱	اسید نیکوتینیک	۷۳/۹۲	گوگرد	۰/۴۸ درصد
لایزین	۱/۱۳	اسید پانتوتنیک	۳۸/۴۳	آهن	۱۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم
فنیل آلانین	۱/۱۸	اسید آمینوبنزوئیک	۲۹/۴۹	روی	۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم
پرولین	۱/۲۹	اسید فولیک	۲۲/۲۶	مس	۵ میلی‌گرم در کیلوگرم
سرین	۱/۹۸	پایریدوکسین	۲۲/۰۹	منگنز	۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم
ترئونین	۱/۵۴			**سایر**	
تریپتوفان	۰/۲۵			پروتئین خام	۴۳ درصد
تایروزین	۰/۹۹			چربی خام	۲/۲ درصد
والین	۱/۴			کربوهیدرات	۳۳/۲۱ درصد
متیونین	۰/۴			فیبر خام	۷/۲ درصد

نقش پروتئین‌های هیدرولیز شده و ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه

این ترکیبات به روش‌های گوناگون، قادرند تحمل به تنش را در گیاهان افزایش دهند (شکل ۱۱). در پژوهشی، محرک زیستی استخراج شده از پروتئین هیدرولیز شده‌ی یونجه (*Medicago sativa* L.) و حاوی تریاکونتانول و اسید ایندول-۳-استیک (IAA)، در گیاه ذرت زیر تنش شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر مصرف شد. نتایج نشان داد گیاهان تیمار شده، حاوی فلاونوئید، پرولین و پتاسیم بیشتری در مقایسه با شاهد (عدم مصرف محرک) بودند (۴۱).

کاربرد مقادیر اندک از اسیدهای آمینه‌ی سازگار مانند پرولین و بتائین (غلظت ۰/۵ تا ۵ میلی‌مولار) در ریشه جو، منجر به کاهش فوری نشت یون پتاسیم (K^+) ناشی از کلرید سدیم (۱۰۰ میلی‌مولار معادل ۹ دسی‌زیمنس‌برمتر) شد، که نشان می‌دهد غلظت نسبتاً پایین املاح سازگار، بر جریان انتقال یون در سراسر غشاء سلولی تأثیر می‌گذارد (۲۹).



شکل ۱۱- سازوکارهای مرتبط با اثر محرک‌های رشد حاوی کربوهیدرات، پروتئین، اسید آمینه و چربی بر گیاهان متاثر از شوری (۱۰۰)

کاربرد اسیدهای آمینه‌یی نظیر تریپتوفان و متیونین در خاک، با افزایش تولید اکسین و اتیلن در خاک و بافت گیاه و همچنین افزایش جمعیت ریزجانداران مفید، رشد گیاه را بهبود می‌بخشند (۱۳). نتایج مطالعات به تأثیر مثبت تریپتوفان بر رشد ذرت و کلم اشاره کرده‌اند (۸۶). همچنین اسید آمینه متیونین نقش بسیار مهمی در تولید نیکوتامین دارد. نیکوتامین نیز

در ساخت و ترشح فیتوسیدروفورها از ریشه غلات و انتقال کمپلکس عناصر غذایی از آوند آبکش به گل و دانه گیاه مؤثر می‌باشد (۹۳). برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و حذف گونه‌های فعال اکسیژن باعث حفظ استحکام غشای سلولی از خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش شوری می‌شوند (۷۸). بر اساس مطالعات موجود، تریپتوفان به عنوان پیش‌ساز هورمون اکسین در گیاه عمل می‌کند (۸۶). به‌علاوه، این اسید آمینه در رشد و نمو گیاه و نیز پاسخ دفاعی گیاه به تنش‌ها نقش دارد. آرژنین برای رشد طبیعی ریشه موردنیاز است و در تنظیم فعالیت برخی آنزیم های گیاهی دخالت دارد (۱۰۲). هیستیدین نقش مهمی در ساخت آنزیم مورد نیاز در ساخت پلی آمین، اوره و اکسید نیتروژن درگیاه دارد ۱۰۲) و می‌تواند در کاهش تنش اکسیداتیو کمک کند.

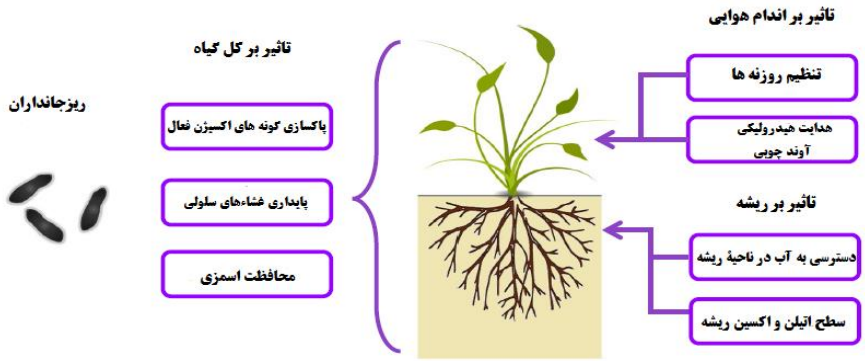
در آزمایش دیگری مشاهده شد کاربرد ماده محرک رشد حاوی اسید آمینه‌ی پرولین و گلوتامین کلات شده با عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش تحمل به تنش در گوجه‌فرنگی شد. این پژوهش‌گران بیان کردند که این افزایش تحمل، احتمالاً به دلیل افزایش کارایی مصرف آب باشد. اندازه‌گیری پرولین در این تیمار نیز نشان داد که با کاربرد این ماده‌ی محرک رشد، خسارت کمتری از طریق خشکی بر گیاه وارد شده است (۹۰).

نقش ریزجانداران

برخی از جنبه‌های مثبت تأثیرگذاری ریزجانداران بر افزایش تحمل گیاه به تنش غیرزنده در شکل ۱۲ نشان داده شده است (شکل ۱۲). پژوهش‌های اخیر نشان داده که تلقیح خاک‌ها با باکتری‌های محرک رشد ریشه‌ای (PGPR)، رشد گیاهان در شرایط تنش غیرزنده را بهبود می‌بخشد. غالب گزارش‌ها، نشان‌دهنده‌ی سطح بالای اسید ایندول استیک، به‌عنوان عامل کاهنده‌ی اثر تنش شوری و نیز تولید مواد خارج سلولی بَسپاری (پلیمری)[1] است. وجود این مواد خارج سلولی به‌صورت لایه‌ی نازک در اطراف ریشه، به حفظ رطوبت و یا بازیابی آب توسط گیاه کمک می‌کند. این کارکرد در تمامی تنش‌های غیرزنده (به‌ویژه تنش شوری) گزارش شده است (۴۸). در پژوهشی، تلقیح گیاه نخود (*Pisum sativum*) و لوبیا (*Vicia faba*) با باکتری *Rhizobium leguminosarum*، {سویه‌ی مقاوم به نمک (GRA19)}، باعث افزایش و بهبود

[1] - Extracellular polymeric substances (EPS)

عملکرد آنها در شرایط تنش متوسط شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم معادل ۹ دسی‌زیمنس-برمتر) شد. همچنین گیاهان نخود تلقیح شده با این سویه، دارای گره‌ها (ندول‌های) بزرگ و با کیفیت در تثبیت نیتروژن و نیز افزایش میزان نیتروژن تثبیت شده در این شرایط بودند (۳۲).



شکل ۱۲- خلاصه‌ای از سازوکارهای تأثیر محرک‌های رشد حاوی ریزجانداران بر گیاهان در شرایط تنش شوری (۱۰۰)

باکتری *Hartmannibacter diazotrophicus* E19 (T)، قادر به استقرار در ریشه‌ی گیاه جو در تنش شوری (تا ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم معادل ۱۸ دسی‌زیمنس‌برمتر) می‌باشد. در پژوهشی، تلقیح ریشه جو با باکتری فوق، سبب افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب به میزان ۳۰۸ و ۱۸۹ درصد نسبت به عدم تلقیح ریشه شد. همچنین، محتوای نسبی آب ریشه‌های تلقیح شده، حدود سه و نیم برابر گیاهان شاهد بود. سازوکار پیشنهادی در افزایش تحمل به شوری در این پژوهش، تولید ۱- آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلات دی‌آمیناز توسط گیاه بود (۹۲). تلقیح بذر کاهو (*Lactuca sativa* L., cv Mantecosa) با باکتری *Azospirillum brasilense* در حضور نمک (۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم معادل ۷ دسی‌زیمنس‌برمتر)، باعث افزایش جوانه زنی و تحمل به شوری و در آخر، بالا رفتن وزن تر و خشک کل بوته‌ها در زمان برداشت شد. در این آزمایش، افزایش مقدار کلروفیل و اسید اسکوربیک (محتوای آنتی‌اکسیدانی) و نیز، افزایش ماندگاری گیاه با تلقیح باکتریایی مشاهده شد (۱۹). گیاه گندم تلقیح شده با *Azospirillum brasilense* (sp. 245)، هم در شرایط

تنش شوری (۳۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم معادل ۲۹ دسی‌زیمنس‌برمتر) و هم در شرایط تنش اسمزی (۲۰ و ۳۰ درصد پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰) نسبت به گیاهان تلقیح نشده، دارای وزن تر و وزن خشک اندام هوایی و ریشه و نیز محتوای نسبی آب بالاتری بود. تجزیه و تحلیل ترکیبات فسفولیپیدها و اسیدهای چرب در گندم تلقیح شده نشان داد که در گیاهان تلقیح شده، وضعیت توزیع فسفولیپیدهای ریشه تغییر می‌یابد و احتمالاً این امر منجر به افزایش تحمل به تنش شوری و اسمزی می‌شود (۵۳). آزمایش‌های مختلفی با استفاده از باکتری‌های مختلف محرک‌زیستی موثر در افزایش تحمل به تنش شوری انجام شده که در جدول ۵ به برخی از این پژوهش‌ها اشاره شده است.

جدول ۵- تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPB) در افزایش عملکرد و رشد گیاهان گوناگون زیر تنش شوری (۶۷)

نوع گیاه	نوع باکتری محرک رشد ریشه‌ای	غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)	اثر مفید بر گیاه
کاهو	*Azotolcter chroococcum*	۵۰ و ۱۰۰ (معادل ۴/۵ و ۹ دسی‌زیمنس‌برمتر)	افزایش طول ریشه‌چه و ساقه بذرهای جوانه زده
آفتابگردان	*Pseudomonas fluorescens* CECT 378T	۱۰۰ (معادل ۹ دسی‌زیمنس‌برمتر)	افزایش قابل توجه وزن تر گیاه، بهبود نسبت یون پتاسیم به سدیم
توت فرنگی	*Bacillus sp.*	۳۵ (معادل ۳ دسی‌زیمنس‌برمتر)	بهبود عملکرد میوه، مقدار آب برگ، ساختار یونی و نفوذپذیری غشاء سلولی
گندم	*Serratia sp.* SL-12	۱۵۰-۲۰۰ (معادل ۱۳/۵ تا ۱۸ دسی‌زیمنس‌برمتر)	بهبود شرایط رشد گیاه با افزایش طول ساقه و ریشه و نیز نسبت وزن خشک به وزن تر و همچنین، افزایش رنگدانه فتوسنتزی
ذرت	*Trichoderma harzianum* Th-6	۵۰-۱۵۰ (معادل ۴/۵ و ۱۳/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر)	بهبود هدایت روزنه، افزایش مقدار رنگدانه را و افزایش عملکرد فتوسنتزی
جو	*Azospirillum brasilense* NO40	۲۵۰ و ۳۵۰ (معادل ۲۲/۵ و ۳۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر)	کاهش سطح تعرق و هدایت روزنه‌ای، تجمع منیزیم، فسفر، پتاسیم، آهن و کلسیم

نقش قارچ‌های مایکوریزای آربوسکولار

در مطالعه‌ای فرا تحلیلی بر روی پژوهش‌های انجام شده در خصوص تأثیر مایکوریزا در شرایط شور بر گیاهان مختلف، مشاهده شد هم‌زیستی قارچ میکوریزا آربسکولار (AMF) می‌تواند با افزایش تحمل به شوری، تأثیر تنش را تعدیل کند. در مقایسه با گیاهان غیرهم‌زیست، گیاهان هم‌زیست با مایکوریزا، به‌طور قابل توجهی دارای زیست توده اندام هوایی و ریشه بالاتری نسبت به گیاهان غیرهم‌زیست، هم در شرایط بدون تنش و هم در حضور سطوح مختلف شوری در خاک بودند و این تفاوت‌ها با تنش شوری برجسته‌تر بود. تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که تجمع زیست توده‌ی ساقه و ریشه گیاه تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله چرخه زندگی میزبان، گروه قارچی و مدت زمان تیمار قارچ و شوری قرار دارد. به‌عنوان مثال، اثر جنس *Funneliformis* (از خانواده‌ی *Glomeraceae*) بر زیست توده اندام هوایی با افزایش سطح شوری معنی‌دارتر بود. علاوه بر این، در تنش شوری، تاثیر مایکوریزا بر گیاهان دولپه‌ای بیشتر از سایرین بود. همچنین، هنگامی که گیاهان مورد مطالعه، در تنش کوتاه مدت (کمتر از ۲ هفته) بودند هم‌زیستی، اثر مثبتی بر گیاه نداشت، ولی در تنش‌های طولانی مدت (بیش از ۴ هفته)، تأثیر هم‌زیستی مثبت و معنی‌دار بود. صرف نظر از سطح شوری، در گیاهان هم‌زیست با قارچ، وضعیت آب، کارایی فتوسنتزی و جذب کلسیم و پتاسیم بهبود یافت. جذب نیتروژن و فسفر در گیاهان هم‌زیست با قارچ بیشتر بود و با افزایش شوری، روند کاهشی را نشان داد، ولی با افزایش سطح تنش شوری، روند جذب صعودی این دو عنصر مشاهده شد. فعالیت آنزیم‌های مالون دی‌آلدئید (MDA)، پراکسیداز (POD)، و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و همچنین محتوای پرولین در گیاهان هم‌زیست با قارچ در تنش شوری تغییر کرد. تجمع پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) تنها در تنش‌های متوسط شوری اتفاق افتاد اما فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) بدون توجه به تنش شوری در گیاهان هم‌زیست با قارچ به طور معنی‌داری افزایش یافتند. در مجموع، قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار بر رشد و فرآیند و عملکرد گیاه تأثیر گذاشتند و تأثیر آنها در شرایط شور قابل توجه‌تر بود (۳۱).

نقش برخی نانو ذرات و نانو مواد

استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی برای سلامت انسان، حیوانات، گیاهان و محیط زیست مضر است. یکی از روش‌های مناسب برای افزایش عملکرد و بهره‌وری بهینه از منابع، بهبود تولید و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از نانو کودهاست. پاسخ گیاه پنبه به محلول‌پاشی نانو روی در شرایط تنش شوری توسط برخی محققان مورد بررسی قرار گرفته است. تنش شوری (آب دریای رقیق شده به نسبت ۱۰ و ۲۰ درصد)، باعث کاهش جذب عناصر غذایی شد. در این حال، مصرف نانو کود روی (Zn) به میزان ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، جذب این عناصر را افزایش داد (۵۲).

نقش سیلیسیوم

پژوهش‌های اخیر نشان داده جذب این عنصر توسط گیاهان می‌تواند اثر منفی تنش‌های زنده و غیرزنده را کاهش دهد. به طور کلی، نقش سودمند سیلیسیوم در تحریک رشد و نمو بسیاری از گونه‌های گیاهی شناخته شده است (۶۰، ۸۳ و ۱۰۴). اخیراً، مطالعات متعدد نشان داده است که سیلیسیوم به‌طور قابل توجهی تأثیر منفی تنش‌های فلزات سنگین (از جمله آلومینیوم و منگنز)، نمک، خشکی، سرما و یخزدگی را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، اثرات مفیدی بر رشد و تولید گیاهان داشته است (۴۳ و ۶۳). علاوه بر این، سیلیسیوم در کاهش اثر شوری در برخی گونه‌های گیاهی مانند جو (۶۰)، ذرت (۶۸)، گوجه فرنگی (۸۴) و گندم (۴۳ و ۹۷) موثر ذکر شده است. سیلیسیوم در گیاهان عالی، از طریق سازوکارهایی از جمله: (۱) تحریک سامانه‌های آنتی اکسیدانی در گیاهان، (۲) رسوب یون‌های فلزی سمی در ترکیب با سیلیسیوم، ۳) تثبیت یون‌های فلزی سمی در محیط ریشه، (۴) فرآیندهای جذب و (۵) محدودیت یون‌های فلزی در گیاهان، توانسته تنش‌های غیر زنده را مهار کند (۶۰). همچنین، سیلیسیوم، سمیت یونی ویژه در گیاهان زیر شوری را با کاهش تجمع این یون‌ها و یا بهبود وضعیت آب گیاه کاهش می‌دهد (۱۰۴). در پژوهشی مشاهده شد مصرف نانوسیلیکون به میزان ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، بیشترین مهار اثرات تنش شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم معادل ۹ دسی‌زیمنس‌برمتر) بر شاخص‌های رشد، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و درصد اسانس در گیاه نعناع فلفلی داشت (۳).

بررسی جنبه‌های اقتصادی مصرف محرک‌های رشد در شرایط تنش شوری

با توجه به محدودیت منابع موجود در کشور، استفاده از زیست فناوری‌های نوین، نقش مهمی در صرفه‌جویی مصرف نهاده‌ها و افزایش مزیت نسبی در تولیدات کشاورزی دارد. نتایج پژوهشی در خصوص مصرف برخی محرک‌های رشد در ایران بیانگر آن است که کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان نمونه‌ای از فناوری‌های زیستی منجر به بهبود مزیت تولید گندم و ذرت شد (۴). وی، افزایش مزیت تولید گندم و ذرت با استفاده از محرک‌های رشد نسبت به حالت پایه (استفاده از کود شیمیایی) را ناشی از کاهش هزینه‌های تولید به علت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و همچنین، افزایش درآمد ناشی از اثرات مطلوب کودهای محرک رشدی بر عملکرد محصولات ذکر نموده است. بر اساس این نتایج، تلفیق و جایگزینی کود زیستی نیتروژنی و فسفاتی با ۵۰ درصد کود شیمیایی، بیشترین اثر را در بهبود شاخص مزیت نسبی داشت. به‌طوری که با جایگزینی کودهای زیستی، شاخص هزینه‌ی منابع داخلی[1] گندم از ۱/۱۳ به ۰/۴۹ و در ذرت از ۰/۲۸ به ۰/۱۵ کاهش یافت. همچنین، بهبود شاخص‌های سودآوری خالص اجتماعی[2] و هزینه منفعت اجتماعی[3] منجر به بهبود مزیت نسبی تولید گندم و ذرت در این شرایط شد. بنابراین، بر اساس یافته‌های تحقیق، اجرای مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی در داخل مزرعه نه تنها منجر به کاهش نرخ تغییر هزینه تولید و افزایش سود ناخالص هر هکتار گندم و ذرت می‌شود، بلکه منجر به بهبود شاخص‌های مزیت نسبی نیز می‌شود.

در پژوهش دیگری، در شرایط تنش شوری (شوری‌های ۶ تا ۱۳ دسی‌زیمنس‌برمتر) در کلزا، گندم، انار و پسته، کاربرد خاکی اسید هیومیک (به‌میزان ۵ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین نسبت سود به هزینه را داشت (۵ و ۶).

در تحقیقی دیگر، مصرف عصاره جلبک در تنش شوری خاک و آب (۷ دسی‌زیمنس بر متر) در آفتابگردان، بالاترین ارزش بازده خالص (۲۲۸ دلار در هکتار) و همچنین بالاترین کارایی اقتصادی (نسبت بازده خالص به هزینه کل برابر ۱/۷) را به همراه داشت. افزایش

---

1 - Domestic Resource Cost
2 - Net Social Profit
3 - Social Cost Benefit

عملکرد دانه در تیمار عصاره جلبک (۳۸۴۰ کیلوگرم دانه در هکتار) نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار بود (۳۹).

توصیهٔ مقدار و زمان مصرف محرک‌های رشد در محصولات زراعی و باغی

برآوردن نیازهای خود بدون آسیب رساندن به منابع برطرف کننده نیازهای نسل‌های آینده یک اصل اساسی در پایداری است. حفظ زیست‌بوم کشاورزی، حفظ منابع آبی، حفظ و تقویت عناصر خاک، کمک به گیاهان در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده و جلوگیری از فرسایش و آلودگی محیط زیست، مفاهیم و شیوه‌های اساسی برای تضمین سلامت محصولات و جلوگیری از آسیب‌های جبران‌ناپذیر است. در این راستا، با مصرف محرک‌های رشد نوین، علاوه بر سلامت محیط زیست و انسان، هزینه نهاده‌های کشاورزی به‌حداقل خواهد رسید. استفاده از عصاره جلبک دریایی، مواد هیومیک، کیتوزان، اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات، رویکردی برای پایداری تولید در بخش کشاورزی قلمداد می‌شود.

آزمایش‌های مزرعه‌ای اندکی روی مصرف محرک‌های رشد در شرایط تنش شوری انجام شده است ولیکن، با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای بر روی برخی محصولات زراعی و باغی در استان‌های مختلف کشور، بیشترین تاثیر محرک‌های رشد در بخش زراعت در شرایط شوری منابع آب و خاک مربوط به مصرف ترکیبی این مواد رشدی بوده که البته در مقایسه با مصرف تنهای اسید هیومیک، قابل مقایسه می‌باشد (۵). اگرچه، از لحاظ اقتصادی، مصرف اسید هیومیک به تنهایی، از لحاظ نسبت سود به هزینه قابل توصیه‌تر است. در خصوص محصولات باغی در شرایط شور، مصرف اسید هیومیک در پسته و مصرف قارچ هم‌زیست مایکوریزا در انار، بالاترین عملکرد را تولید کردند، اما در مورد انار، مصرف اسید هیومیک توانست پس از تیمار مایکوریزا، بالاترین عملکرد میوه را تولید نماید و با توجه به هزینه مصرف، می‌تواند جایگزین مناسبی برای این قارچ باشد (۶). براین اساس، مصرف مواد محرک زیستی، طبق جدول‌های ۶ ، ۷ و ۸ با توجه نتایج موجود قابل توصیه می‌باشد.

جدول ۶ – نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشدی در برخی محصولات زراعی در تنش شوری (۵ و ۶)

نوع محصول	نوع کود		نحوه مصرف	زمان مصرف
گندم و جو	اسید هیومیک		مصرف خاکی ۲۰ لیتر در هکتار	۱- آبیاری سوم ۲- اواسط ساقه‌دهی
کلزا	تا شوری ۶ $dS.m^{-1}$	عصاره جلبک دریایی	محلول‌پاشی با غلظت ۵ در هزار	خروج از روزت ۲- انتهای ساقه‌دهی
	از شوری $dS.m^{-1}$ ۶ به بالا	اسید هیومیک	مصرف خاکی ۲۰ لیتر در هکتار	۱- آبیاری سوم ۲- خروج از رُزت

جدول ۷– نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشدی در برخی محصولات باغی زیر تنش شوری (۶)

نوع محصول	نوع کود	نحوه مصرف	زمان مصرف
پسته (شوری $dS.m^{-1}$ ۱۳-۱۰)	اسید هیومیک	مصرف خاکی ۲۰ گرم به ازای هر درخت	۱- قبل از بیدار شدن درخت در اسفند و ۲- در مرحله پُر شدن میوه
انار (شوری $dS.m^{-1}$ ۷-۶)	اسید هیومیک	مصرف خاکی ۲۰ گرم به ازای هر درخت	۱- قبل از بیدار شدن درخت در اسفند و ۲- در مرحله پُر شدن میوه
	مصرف قارچ مایکوریزا	به‌صورت چالکود به میزان یک کیلوگرم برای هر درخت	قبل از بیدار شدن درخت در اسفند

جدول ۸ – نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشدی در برخی محصولات زراعی در تنش شوری بر اساس نتایج پژوهش‌های جهانی (۳۹ و ۴۱)

نوع محصول	نوع کود	نحوه مصرف	زمان مصرف
آفتابگردان (شوری $dS.m^{-1}$ ۷)	عصاره جلبک دریایی	محلول‌پاشی با غلظت ۵ در هزار	۱- در مرحله ۸-۷ برگی ۲- غنچه‌دهی
ذرت (شوری $dS.m^{-1}$ ۲/۵)	اسید هیومیک	مصرف خاکی ۲۰ لیتر در هکتار	۱- در مرحله ۸-۷ برگی ۲- قبل از ظهور خوشه
	اسیدآمینه	محلول‌پاشی با غلظت ۵ در هزار	در مرحله ۸-۷ برگی ۲- قبل از ظهور خوشه

منابع

۱- الجازع، ح. م.، عابدی، ب. و مقدم، م. ۱۳۹۶. بررسی اثر محلول پاشی پلی‌آمین (پوترسین) و عصاره مخمر بر روی رشد و عملکرد و در صد اسانس گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، تحت شرایط تنش شوری. پایان‌نامه دانشجویی. وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری. دانشگاه فردوسی مشهد. دانشکده کشاورزی.

۲- پوریوسف میاندوآب، م. و شاهی، م. ۱۳۹۵. اثر محلول‌پاشی محرک‌های رشد و زمان کاربرد آنها بر عملکرد و برخی ویژگیهای زراعی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، سال هشتم، ۳۲: ۴۳-۲۵.

۳- دانایی، الف. و عبدوسی، و. ۱۴۰۰. اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۷ (۱): ۱۱۲-۹۸.

۴- عابدی، س. ۱۳۹۵. بررسی مزیت نسبی تولید محصولات کشاورزی مبتنی بر زیست فناوری (مطالعه موردی: گندم و ذرت در استان فارس). مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۲-۴۷ (۳): ۵۷۹-۵۶۹.

۵- میرزاپور، م.ه. و نورقلی‌پور، ف. ۱۴۰۰. اثر برخی مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در خاک آهکی شور. نشریه علمی پژوهش‌های خاک. الف. ۳۶ (۲): ۱۷۶-۱۶۳.

۶- نورقلی پور، ف.، میرزاپور، م.ه.، منتجبی، ن. و محمدنژاد، ی. ۱۴۰۰. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان گندم، کلزا، انار و پسته در شرایط شور. گزارش نهایی پروژه. شماره فروست ۶۰۷۸۵. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. تهران. ایران.

7- Abdel-Latef, A.A.H., Srivastava, A.K., Saber, H., Alwaleed, E.A. and Tran, L.S.P. 2017. Sargassum muticum and Jania rubens regulate amino acid metabolism to improve growth and alleviate salinity in chickpea. Sci. Rep. 7: 1–12.

8- Abdel- Latef, A.A. H., Mostofa, M.G., Rahman, M.M. Abdel-Farid, I.B. and Phan Tran, L.S.P. 2019. Extracts from Yeast and Carrot Roots Enhance Maize Performance under Seawater-Induced Salt Stress by Altering Physio-

Biochemica Characteristics of Stressed Plants. Journal of Plant Growth Regulation. 38: 966–979.
9- Abdul-Qados, A.M.S. 2009. Effect of arginine on growth, yield and chemical constituents of wheat grown under salinity condition. Journal of Plant Science. 2: 267-278.
10- Aremu, A., Stirk, A., Kulkarni, M., Tarkowská, D., Tureĉková, V. and Gruz, J. 2015. Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. Plant Growth Regul. 75, 483–492.
11- Arioli, T., Mattner, S.W. and Winberg, P.C. 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. J. Appl. Phycol. 27: 2007–2015.
12- Aroca, R., Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M. 2007. How does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in Phaseolus vulgaris under drought, cold or salinity stresses? New Phytologist. 173:808–816.
13- Arshad, M. and Frankenberger, W.T.J. 1990. Response of Zea mays and Lycopersicon esculentum to the ethylene precursors, L-methionine and applied to soil. Plant and Soil. 122: 219-227.
14- Avis, T.J., Gravel, V., Antoun, H. and Tweddell, R.J. 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. Soil Biol. Biochem. 40 (7), 1733-1740.
15- Aydin, A. 2012. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. Afr. J. Agric. Res. 7: 1073–1086.
16- Azizoglu, U. 2019. Bacillus thuringiensis as a biofertilizer and biostimulator: A mini-review of the little-known plant growth-promoting properties of Bt. Curr. Microbiol. 76: 1379–1385.
17- Azizoglu, U., Yilmaz, N., Simsek, O. and Ibal, J.C. 2021. Tagele, S.B.; Shin, J.H. The fate of plant growth-promoting rhizobacteria in soilless agriculture: Future perspectives. Biotech. 11: 1–13.
18- Bakhat, H.F., Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, H.M., Fahad, S., Ashraf, M.R., Shah, G.M., Rabbani, F. and Saeed, S. 2018. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. Crop Prot. 104: 21–34.
19- Barassi, C.A., Ayrault, G., Creus, C.M., Sueldo, R.J. and Sobrero, M.T. 2016. Seed inoculation with Azospirillum mitigates NaCl effects on lettuce. Sci Hortic. 109(1):8–14.
20- Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P. and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. Sci. Hortic. 30 (196), 39–48.

21- Berlyn, G.P. and Russo, R.O. 1990. The use of organic biostimulants to promote root growth. Belowground Ecol. 2: 12–13.
22- Blagoveshchensky, A.V. 1956. Biogenic stimulants and biochemical nature of their action. Bull. Main Bot. Gard. 25: 79–86.
23- Bompadre, M. J., Pergola, M., Bidond, L.F., Colombo, R.P., Silvani, V., Pardo, A.G., Ocampo, J.A. and Godeas, A. M. 2014. Evaluation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Capacity to Alleviate Abiotic Stress of Olive (*Olea europaea* L.) Plants at Different Transplant Conditions. The Scientific World Journal. 6 :378950.
24- Bradáčová, K., Weber, N.F., Morad-Talab, N., Asim, M., Imran, M. and Weinmann, M. 2016. Micronutrients (Zn/Mn), seaweed extracts, and plant growth-promoting bacteria as cold-stress protectants in maize. Chem. Biol. Technol. Agric. 3 (1) 19.
25- Bulgari, R., Trivellini, A. and Ferrante, A. 2019. Effects of two doses of organic extract-based biostimulant on greenhouse lettuce grown under increasing NaCl concentrations. Front. Plant Sci. 9: 9.
26- Chiaiese, P., Corrado, G., Colla, G., Kyriacou, M.C. and Rouphael, Y. 2018. Renewable Sources of Plant Biostimulation: Microalgae as a Sustainable Means to Improve Crop Performance. Front. Plant Sci. 9: 1782.
27- Çimrin, K.M.Ö., Turan, T.M. and Tuncer, B. 2015. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. Afr. J. Biotechnol. 9: 36.
28- Colla, G., Svecova, E., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Reynaud, H., Canaguier, R. and Planques, B. 2013. Effectiveness of a plant-derived protein Hydrolysate to improve crop performances under different growing conditions. Acta Hortic. 1009: 175–180.
29- Cuin, T.A. and Shabala, S. 2015. Exogenously supplied compatible solutes rapidly ameliorate NaClinduced potassium efflux from barley roots. Plant Cell Physiology. 46 (12):1924–33.
30- Darwesh Rasmia, S.S. 2013. Improving growth of date palm plantlets grown undersalt stress with yeast and amino acids application. Ann. Agric. Sci. Agric. AinShams Univ. 58 (2): 247–256.
31- Dastogeer, K.M.G., Zahan, M.I., Tahjib-Ul-Arif, M., Akter, M.A. and Okazaki, S. 2020. Plant Salinity Tolerance Conferred by Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Associated Mechanisms: A Meta-Analysis. Front. Plant Sci. 11:588550.
32- Del Pilar Cordovilla, M., Berrido, S.I., Ligero, F. and Lluch, C. 2016. Rhizobium strain effects on the growth and nitrogen assimilation in Pisum sativum and Vicia faba plant growth under salt stress. J Plant Physiol. 154(1):127–31.

33- Drobek, M., Frac, M. and Cybulska, J. 2019. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—A review. Agronomy. 9: 335.
34- Du Jardin, P. 2012. The Science of Plant Biostimulants- A Bibliographic Analysis; Ad hoc Study Report, European Commission: Brussels, Belgium.
35- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Sci. Hortic. 30 (196): 3–14.
35- EL- Arroussi, H., Benhima, R., Elbaouchi, A., Sijilmassi, B., EL- Mernissi, N., Aafsar, A., Meftah- Kadmiri, I., Bendaou, N. and Smouni, A. 2018. Dunaliella salina exopolysaccharides: A promising biostimulant for salt stress tolerance in tomato (Solanum lycopersicum). J. Appl. Phycol. 30: 2929-2941.
36- El-Baky, H.H.A., Hussein, M.M. and El-Baroty, G.S. 2008. Algal extracts improve antioxidant defense abilities and salt tolerance of wheat plant irrigated with sea water. Afr. J. Biochem. Res. 2: 151–164.
37- EL- Boukhari, M.E., Barakate, M., Bouhia, Y. and Lyamlouli, K. 2020. Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant System. Plants. 9: 359-382.
38- El-Desouky, S.A., Wanas, A.L. and Khedr, Z.M. 1998. Utilization of some natural plant extracts (of garlic and yeast) as seed soaked materials to squash (*Cucurbita pepol* L.). I-Effect on growth, sex expression and fruit yield and quality. Ann. Agric. Sci. Moshthor. 36 (2): 839-854.
39- El-Nwehy, S.S., El-Nasharty, A.B. and Rezk, A.E.H.I. 2018. Enhance sunflower productivity by foliar applications of some plant growth Bio-satinity conditions. Biosci. Resi. 15: 1763-1768.
40- El-Nwehy, S.S., Rezk, A.I., El-Nasharty, A.B., Nofal, O.A. and Abdel-Kader, H.H. 2020. Influences of Irrigation with Diluted Seawater and Fertilization on Growth, Seed Yield and Nutrients Status of Salicornia Plants. Pak. J. Biol. Sci. 23 (10): 1267-1275.
41- Ertani, A., Schiavon, M., Muscolo, A. and Nardi, S. 2015. Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed Zea mays L. plants. Plant oil. 364(1–2):145–58.
42- Etesami, H. 2018. Can interaction between silicon and plant growth promoting rhizobacteria benefit in alleviating abiotic and biotic stresses in crop plants? Agric. Ecosyst. Environ. 253: 98-112.
43- Fahramand, M., Mahmoody, M., Keykha, A., Noori, M. and Rigi, K. 2014. Influence of abiotic stress on proline, photosynthetic enzymes and growth. International Research J. of Applied and Basic Sci.8 (3): 257-265.
44- F.A.O. 2018. Plant growth regulators (item). FAO statistics.

45- Filatov, V.P. 1951. Tissue treatment. (Doctrine on biogenic stimulators). II. Hypothesis of tissue therapy, or the doctrine on biogenic stimulators. Priroda. 12: 20–28.
46- Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J. and Godfray, H.C.J. 2013. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. Science. 341: 33–34.
47- Goatley, J.M. and Schmidt, R.E. 1991. Biostimulator enhancement of Kentucky bluegrass sod. HortScience. 26: 254–255.
48- Gopalakrishnan, S., Sathya, A., Vijayabharathi, R., Varshney, R.K., Gowda, C.L.L. and Krishnamurthy, L. 2015. Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities. Biotech. 5(4): 355–77.
49- Goswami, D., Thakker, J.N. and Dhandhukia, P.C. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. Cogent Food Agric. 2(1):112-135.
50- Guinan, K.J., Sujeeth, N., Copeland, R.B., Jones, P.W., O'Brien, N.M., Sharma, H.S.S., Prouteau, P.F.J. and O'Sullivan, J.T. 2018. Discrete Roles for Extracts of Ascophyllum nodosum in Enhancing Plant Growth and Tolerance to Abiotic and Biotic Stresses. Acta Hortic. 1009: 127-135.
51- Herve, J.J. 1994. Biostimulants, a new concept for the future; prospects offered by the chemistry of synthesis and biotechnology. C. R. Acad. Agric. Fr. 80: 91–102.
52- Hussein, M.M. and Abou-Baker, N.H. 2018. The contribution of nano-zinc to alleviate salinity stress on cotton plants. R. Soc. Open Sci. 5: 171809.
53- Jabborova, D.P., Narimanov, A.A., Enakiev, Y.I. and Kakhramon, D.D. 2020. Effect of Bacillus subtilis 1 strain on the growth and development of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline condition. Bulg. J. Agric. Sci. 26 (4): 744–747.
54- Jindo, K., Martim, S.A., Navarro, E.C., Aguiar, N.O. and Canellas, L.P. 2012. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. Plant and Soil. 353: 209–220.
55- Kamran, M., Aasma, Y., Parveen, Y.S., Ahmar, Z., Malik, S.D., Hussain, M.S., Chattha, M.H., Saleem, M., Adi, P. and Chen, J.T. 2019. An Overview of Hazardous Impacts of Soil Salinity in Crops, Tolerance Mechanisms, and Amelioration through Selenium Supplementation. Int. J. Mol. Sci. 21: 148.
56- Kauffman, G.L., Kneivel, D.P. and Watschke, T.L. 2007. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. Crop Sci. 47: 261–267.

57- Khalil, A.A., Osman, E.A.M. and Zahran, F.A.F. 2008. Effect of amino acids and micronutrients foliar application on growth, yield and its components and chemical characteristics. The Journal of Agricultural Science, Mansoura University. 33: 3143-3150.
58- Khan, M.N. 2016. Nano-titanium Dioxide (Nano-TiO2) Mitigates NaCl Stress by Enhancing Antioxidative Enzymes and Accumulation of Compatible Solutes in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Plant Sci. 11: 1–11.
59- Liang, Y.C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W.H. and Ding, R.X. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (Hordeum vulgare L.). J. Plant Physiol. 160: 1157-1164.
60- Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G. and Christie, P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution. 147: 422-428.
61- Liu, X.Q., Ko, K.Y., Kim, S.H. and Lee, K.S. 2008. Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 39: 269-281.
62- López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R. and Herrera-Estrella, A. 2015. Trichoderma as biostimulant: Exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. Sci. Hortic. 196: 109-123.
63- Ma, J.F. and Yamaji, N. 2008. Functions and transport of silicon in plants. Cellular and Molecular Life Sci. 65:3049-3057.
64- Machado, V.P.D.O., Pacheco, A.C. and Carvalho, M.E.A. 2014. Effect of biostimulant application on production and flavonoid content of marigold (Calendula officinalis L.). Rev. Ceres. 61: 983-988.
65- Mady, M.A. 2009. Effect of foliar application with yeast extract and zinc on fruit setting and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). J. Biol Chem. Environ. Sci. 4: 109-127.
66- Masciandaro, G., Ceccanti, B., Ronchi, V., Benedicto, S. and Howard, L. 2002. Humic substances to reduce salt effect on plant germination and growth. Commun. Soil. Sci. Plant. Anal., 33: 365–378.
67- Mokrani, S., Nabti, A. and Cruz, C. 2020. Advances in Plant Growth Promoting Bacteria Alleviating Salt Stress for Sustainable Agriculture. Appl. Sci. 10: 7025.
68- Moussa, H.R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). International J.of Agric. and Biology. 8: 293-297.

69- Nabati, D.A., Schmidt, R.E. and Parrish, D.J. 1994. Alleviation of salinity stress in Kentucky bluegrass by plant growth regulators and iron. Crop. Sci. 34 (1): 198-202.
70- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M. and Ertani, A. 2016. Scientia Agricola Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based. Sci. Agric. 73:18-23.
71- Paschalidis, A.K. and Roubelakis-Angelakis, A.K. 2005. Sites and regulation of polyamine catabolism in the tobacco plant. Correlation with cell division/expansion, cell cycle progression and vascular development. Plant Physiology. 138: 2174-2184.
72- Paul, D. and Lade, H. 2014. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review. Agron Sustain Dev. 34(4):737-752.
73- Paul, K., Sorrentino, M., Lucini, L., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bonini, P., Moreno, M.B.M., Reynaud, H., Canaguier, R. and Trtílek, M. 2019. A combined phenotypic and metabolomic approach for elucidating the biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate on tomato grown under limited water availability. Front. Plant Sci. 10:493.
74- Pichyangkura, R. and Chadchawan, S. 2015. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. Sci. Hortic. 196: 49-65.
75-Pinali, N. and Kaplan, M. 2003. Investigation of effect on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. J. Plant Nutri. 26: 835-843.
76-Posmyk, M.M. and Szafrańska, K. 2016. Biostimulators: a new trend towards solving an old problem. Front. Plant Sci. 7: 48.
77- Rafiee, H., Naghdi Badi, H., Mehrafarin, A., Qaderi, A., Zarinpanjeh, N., Sekara, A. and Zand, E. 2016. Application of Plant Biostimulants as New Approach to Improve the Biological Responses of Medicinal Plants. Journal of Medicinal Plants. 15(59): 1-34.
78- Rai, V.K. 2002. Role of amino acids in plant responses to stresses. Bilo. Plantarum. 45: 481-487.
79- Rajput, V.D., Minkina, T., Feizi, M., Kumari, A., Khan, M., Mandzhieva, S., Sushkova, S., El-Ramady, H., Verma, K.K. and Singh, A. 2021. Effects of silicon and silicon-based nanoparticles on rhizosphere microbiome, plant stress and growth. Biology. 10: 791.
80- Rania, M., Nassara, A., Nermeen, T., Shananb, B. and Faten Reda, M. 2016. Active yeast extract counteracts the harmful effects of salinity stresson the growth of leucaena plant. Scientia Horticulturae. 201: 61–67.
81- Rani, K. and Wati, L. 2020. The Rhizosphere Actinobacteria and Biological Control: A Review. Environ. Ecol. 38: 765-770.

82- Rao, N.K.S., Laxman, R.H. and Shivashankara, K.S. 2016. Physiological and Morphological Responses of Horticultural Crops to Abiotic Stresses., Eds.; Springer: New Delhi, India, 3-7, ISBN 978-81-322-2723-6.
83- Raven, J.A. 2003. Cycling silicon - the role of accumulation in plants - commentary. New Phytol. 153: 419-421.
84- Romero-Aranda, M.R., Jurado, O. and Cuartero, J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. J. Plant Physiol. 163: 847-855.
85- Rouphael, Y. and Colla, G. 2018. Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. Front. Plant Sci. 9: 1655.
86- Sarwar, M. and Frankenberger, W.J. 1994. Influence of L-tryptophan and auxins applied to the rhizosphere on the vegetative growth of (*Zea mays* L.). Plant and Soil. 160:97-104.
87-Sathya, A., Vijayabharathi, R. and Gopalakrishnan, S. 2017. Plant growth-promoting actinobacteria: A new strategy for enhancing sustainable production and protection of grain legumes. Biotech. 7: 1–10.
88-Schabl, P., Gabler, C., Kührer, E. and Wenzel, W. 2020. Effects of silicon amendments on grapevine, soil and wine. Plant Soil Environ. 66: 403–414.
89- Schmidt, R.E. 1992. Biostimulants. Grounds Maint. 27: 38–56.
90- Simon-Grao, S., Garcia-Sanchez, F., Alfosea-Simon, M., Simon, I., Lidon, V. and Ortega, W.M.R. 2016. Study on the foliar application of fitomare® on drought tolerance of tomato plants. International Journal of Plant Animal and Environmental Sciences. 6: 15-21.
91- Smith, S.E. and Read, D.J. 1997. Mycorrhiza Symbiosis 2nd Edition. San Diego: Academic Press.
92-Suarez, C., Cardinale, M., Ratering, S., Steffens, D. and Jung, S. 2015. Plant growth-promoting effects of Hartmannibacter diazotrophicus on summer barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. Appl Soil Ecol. 95:23-30.
93- Takahashi, M., Terada, Y., Nakai, I., Nakanishi, H., Yoshimura, E., Mori, S. and Nishizawa, N. K. 2003. Role of nicotianamine in the intracellular delivery of metals and plant reproductive development. The Plant Cell. 15: 1263-1280.
94-Thao, H.T.B. and Yamakawa, T. 2019. Phosphite (phosphorous acid): fungicide, fertilizer or biostimulator. Soil Sci. Plant Nutr. 55: 228-243.
95- Toscano, S., Romano, D., Massa, D., Bulgari, R., Franzoni, G. and Ferrante, A. 2018. Biostimulant applications in low input horticultural cultivation systems. Italus Hortus. 25: 27-36.
96- Trevisan, S., Manoli, A. and Quaggiotti, S. 2019. A Novel Biostimulant, Belonging to Protein Hydrolysates,Mitigates Abiotic Stress Effects on Maize Seedlings Grown in Hydroponics. Agronomy. 9: 28.

97-Tuna, A. L., Kaya, C., Higgs, C.D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S. and Girgin, A.R. 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental and Experimental Botany. 62:10-16.

98-Turan, M., Yildirim, E., Kitir, N., Unek, C., Nikerel, E., Ozdemir, B.S., Günes, A. and Mokhtari, N.E.P. 2017. Beneficial Role of Plant Growth-Promoting Bacteria in Vegetable Production Under Abiotic Stress. In Microbial Strategies for Vegetable Production; Zaidi, A., Khan, M.S., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland. 151–166.

99-Türkmen, Ö., Şensoy, S. and Erdal, İ. 2000. Effect of Potassium on Emergence and Seedling Growth of Cucumber Grown in Salty Conditions. Yuzuncu Yil University, J. Agric. Sci. 10: 113-117.

100-Van Oosten, M.J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S. and Maggio, A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chem. Biol. Technol. Agric. 4(5): 1-12.

101-Van Overbeek, J. 1966. Plant Hormones and Regulators: Gibberellins, cytokinins, and auxins may regulate plant growth via nucleic acid and enzyme synthesis. Science. 152: 721-731.

102-Xia, G. and Yang, J. 2005. Effect of different Ca and Mg levels on uptake of mineral elements by tomato plants and fruits. Northern Horticulture. 2: 44-45.

103-Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I.A. and Brown, P.H. 2017. Biostimulants in plant science: A global perspective. Frontiers in Plant Science. 7(20):1-32.

104- Zhu, Y. and Gong, H. 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agron. Sustain. Dev. 34: 455-472.