نشریه مدیریت اراضی/ جلد ۸ / شماره ۱ / ۱۳۹۹

10.22092/LMJ.2020.122310

محرک های رشد گیاهی، نقش آنها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی

سید علی غفاری‌نژاد [۱] ، فریدون نورقلی‌پور و محمدنبی غیبی

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Ma_ghaffari51@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Nourfg@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

mngheibi@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۳۹۷ و پذیرش: تیر ۱۳۹۸

چکیده

بهبود کیفیت، پایداری سیستم کشت و کاهش هزینه‌های تولید از اهداف کشاورزی نوین است. از طرف دیگر تغییرات اقلیمی در جهان و ایران سبب شده گیاهان زراعی با تنش‌های مختلفی مواجه گردند. به‌نظر می‌رسد مواد محرک رشد گیاهی بتوانند گیاهان را در مواجه با این تنش‌ها یاری نمایند. این ترکیبات شامل مواد هیومیکی، عصاره جلبک‌های دریایی، اسیدهای آمینه، مایه تلقیح میکروبی، مواد معدنی مانند عناصر مفید، نمک‌های غیر آلی مانند فسفیت، مواد ضد تعرق، و غیره هستند. تأثیر این مواد در گونه‌های مختلف و حتی ارقام یک گونه گیاهی ممکن است متفاوت باشد. لذا نحوه کاربرد مواد محرک رشد در کشاورزی و باغبانی باید با توجه به نتایج بررسی‌های محلی و منطقه‌ای اصلاح گردد. استفاده از مواد محرک رشد گیاهی در چند سال اخیر در جهان و ایران، افزایش چشمگیری داشته است. هدف این مقاله، فراهم کردن درک بهتر از این مواد بر اساس یافته‌های علمی و عملی در کشاورزی و باغبانی است. موارد بیان شده در این مقاله نشان می‌دهد که مواد محرک رشد گیاهی باعث بهبود و افزایش پایداری تولید محصول شده و همزمان باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیرزنده و افزایش کیفیت محصول شده‌اند. تحقیقات در زمینه این مواد در آینده باید با تاکید بر تعیین مکانیسم عمل باشد. درک بهتر مکانیسم تأثیر این مواد در بهینه کردن استفاده از این ترکیبات در مدیریت پایدار کشاورزی مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تنش، جذب عناصر، فیزیولوژی گیاه، کارایی، محرک رشد

---

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه متخصصین کشاورزی به بهبود کیفیت، پایداری سیستم کشت و کاهش هزینه‌های تولید با کاهش نهاده‌های مصرفی، معطوف گردیده است. در این راستا توجه زیادی به مواد محرک رشد در کشاورزی پایدار شده است. کلمه محرک رشد گیاه برای اولین بار توسط متخصصان باغبانی، برای توصیف موادی که رشد گیاه را تحریک می‌کنند اما جزء مواد مغذی، بهبود دهنده‌های خاک یا آفت کش‌ها نیستند، استفاده شده است. محرک رشد گیاه، هر ماده یا ریزجانداری است که به منظور افزایش راندمان تغذیه، تحمل به تنش غیرزیستی و یا کیفیت محصول، صرف نظر از محتوای عناصر غذایی آن، به گیاهان داده می‌شود (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس توافق‌های انجام شده، مواد محرک رشد را از مواد کنترل کننده زیستی جدا می‌نمایند؛ بنابراین تنش زیستی در تعریف محرک‌های رشد در نظر گرفته نشده است (کالوو و همکارن، ۲۰۱٤، براون و سا، ۲۰۱۵ و دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵).

طبیعت مواد محرک رشد تنوع زیادی دارد و هم مواد و هم موجودات زنده را شامل می‌شود. این مواد می‌توانند یک ترکیب خاص یا مخلوطی از چند ترکیب با منشاء بیولوژیک یکسان مانند عصاره جلبک دریایی باشند که ترکیب و ماده بیولوژیک فعال آن نامشخص است. مایه تلقیح‌های میکروبی ممکن است از یک نژاد باکتری یا مخلوطی از میکروارگانیسم‌هایی باشند که بر روی یکدیگر اثر افزایشی دارند (بولغاری و همکاران، ۲۰۱٤).

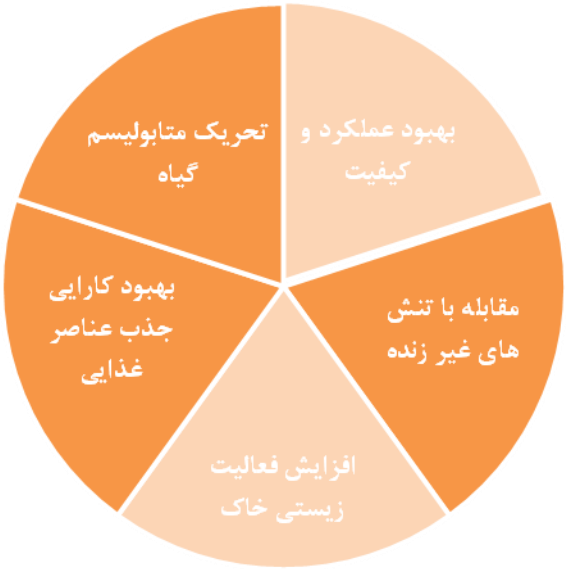
اثرات فیزیولوژیکی مواد محرک رشد، متنوع است. این مواد می‌توانند به طور مستقیم بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاه اثر بگذارند (شکل ۱) (ناردی و همکاران، ۲۰۰۹). مواد محرک رشد به روش‌های مختلفی سبب افزایش رشد و توسعه گیاه طی چرخه رشد از جوانه زنی بذر تا بلوغ، می‌شوند. این روش‌ها شامل افزایش کارایی متابولیسم گیاه در راستای بهبود عملکرد و کیفیت محصول، افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیر زنده، تسهیل جذب، انتقال و استفاده از عناصر غذایی، افزایش کارایی مصرف آب، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد ریزجانداران خاک هستند. آنها معمولاً همراه با کودهای رایج به گیاه داده می‌شوند تا کارایی مصرف کود را افزایش دهند (هکمن، ۱۹۹٤)، ولی با کودها تفاوت دارند زیرا بر متابولیسم گیاه اثر گذاشته و میزان عناصر غذایی در آنها ناچیز است.

بسیاری از ترکیبات فعال موجود در مواد محرک رشد در غلظت‌های بسیار کم وجود دارند و گاهی مقدار آنها کم تر از حد تشخیص روش‌های اندازه‌گیری می‌باشد. با این وجود اثرات بیولوژیک بسیار زیادی دارند. پیچیدگی عصاره‌ها و دامنه وسیع ملکول‌های موجود در این مواد، تشخیص ترکیبات فعال در آنها را مشکل می‌کند. علاوه بر این جداسازی و مطالعه یک ترکیب خاص موجود در ماده محرک رشد، سبب رسیدن به جواب‌های نامطمئن می‌شود؛ زیرا تأثیر بر روی گیاه ممکن است به دلیل وجود ترکیبات مختلف و اثرات هم افزایی آنها با هم باشد. مطالعه بر روی مکانیسم‌هایی که توسط مواد محرک رشد فعال می‌شوند ادامه دارد (گوینان و همکاران، ۲۰۱۳).

در سال‌های اخیر، استفاده از مواد محرک رشد در دنیا رو به افزایش بوده است. انجمن صنایع محرک رشد در اروپا[2] اعلام کرد که در سال ۲۰۱۲ در بیش از ٦/۲ میلیون هکتار از اراضی این قاره از مواد محرک رشد، استفاده شده است. یکی از دلایل افزایش مصرف این مواد، سیاست‌های کشاورزی و محیط زیستی است. دلیل دیگر، آگاهی عمومی مبتنی بر کشاورزی پایدار در سراسر جهان است که به دنبال افزایش عملکرد و افزایش کارایی منابع به طور هم زمان است. دلیل دیگر سرمایه‌گذاری زیاد شرکت‌های تجاری اروپایی (بین ۳ تا ۱۰ درصد گردش مالی سالانه) در تحقیق و توسعه این مواد می‌باشد (گرانت و همکاران، ۲۰۱۳).

2- European biostimulants industry council (EBIC)

استفاده از مواد محرک رشد در چند سال اخیر در ایران، افزایش چشمگیری داشته است، اما اطلاعات مدونی در مورد این ترکیبات وجود ندارد. هدف این مقاله فراهم کردن درک بهتر از محرک‌های رشد گیاهی بر اساس یافته‌های علمی و عملی در کشاورزی و باغبانی است. به این منظور ابتدا اشاره کوتاهی به انواع مواد محرک رشد شده و هر گروه از این مواد به طور خلاصه توصیف می‌شود و در هر مورد به کاربرد آن نیز اشاره می-گردد.



شکل ۱- تأثیرات فیزیولوژیک مواد محرک رشد

انواع مواد محرک رشد

علیرغم تلاش‌های اخیر، هیچ تعریف منظمی از دسته‌بندی محرک‌های رشد گیاهی درجهان، وجود ندارد. با این وجود، برخی از دسته بندی‌های اصلی، بطور گسترده توسط دانشمندان، تولیدکنندگان و استفاده‌کنندگان به رسمیت شناخته شده‌اند. (دوجاردین، ۲۰۱۵ و کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). این ترکیبات شامل مواد هیومیکی، عصاره جلبک‌های دریایی، اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات حاوی نیتروژن، مایه تلقیح میکروبی، مواد معدنی از جمله عناصر مفید، نمک‌های غیر آلی از جمله فسفیت، مواد ضد تعرق، ویتامین‌ها، کیتین، کیتوزان و پلی یا الیگوساکاریدهاست (دو جاردین،۲۰۱۲: بولغاری و همکاران، ۲۰۱٤).

مواد هیومیکی (هیومیک و فولویک اسید)

مواد هیومیکی اجزای طبیعی مواد آلی خاک هستند. ترکیبات آنها در نتیجه تعامل بین مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها و ریشه‌های گیاهان ایجاد می‌گردند (دوجاردین،۲۰۱۵). مواد هیومیکی محلول، در خاک، نقش‌های کلیدی در روابط خاک مانند قابلیت دسترسی عناصر غذایی، تبادل اکسیژن و کربن بین خاک و اتمسفر و تغییر و تبادلات مواد شیمیایی سمی ایفا می‌کنند. بعلاوه مواد هیومیکی در خاک، فیزیولوژی گیاهی، ترکیب و روابط میکروارگانیسم‌های ریزوسفر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (پیکولو و اسپیتللر، ۲۰۰۳). تفاوت در اثرات مواد هیومیکی ناشی از منبع تشکیل مواد هیومیکی، شرایط محیطی، نوع محصول گیاهی، مقدار و روش کاربرد مواد هیومیکی است (رز و همکاران، ۲۰۱٤). بر اساس جمع-بندی نتایج حاصل از کاربرد مواد هیومیکی در گیاهان از

طریق روش آماری متا آنالیسیس تصادفی، افزایش ۲۲±٤٪ در رشد اندام هوایی و افزایش ۲۱±٦٪ در رشد ریشه گیاهان، مشاهده گردید (رز و همکاران، ۲۰۱٤).

تأثیر مواد هیومیکی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه

بر اساس بررسی‌های انجام شده، مواد هیومیکی می‌توانند در تمامی گونه‌های گیاهی از جمله در محصولات مهم زراعی مثل سویا، گندم، برنج، ذرت و در صیفی‌جات مثل گوجه فرنگی، خیار، سیب زمینی، فلفل و سبزی شاهی و در درختان میوه مثل مرکبات و انگور، باعث بهبود خصوصیات رشدی گردند. بیشتر این مطالعات انجام شده در شرایط گلخانه و هیدروپونیک بوده است (کالوو و همکاران،۲۰۱٤؛آرانکون و همکاران، ۲۰۰۳).

یکی از اثرات مواد هیومیکی به صورت بهبود توسعه سیستم ریشه گیاه است که از طریق این مکانیسم، باعث افزایش جذب عناصر غذایی کم و پرمصرف، می-گردند. از طرفی افزایش جذب، ناشی از افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک حاوی پلی‌آنیون‌های مواد هیومیکی است. این مواد می‌توانند باعث تغییر در شکل معماری ریشه نیز گردند. به عنوان مثال توسعه ریشه جانبی یا افزایش ریشه‌دهی در گوجه فرنگی، شاهی، گندم، ذرت و فلفل گزارش شده است (هالپرن و همکاران،۲۰۱۵؛ آرانکون و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش رشد اندام هوایی نیز در خیار، گوجه، گندم و ذرت گزارش گردید (آصلی و نئومان، ۲۰۱۰). افزایش توسعه ریشه‌ها موجب تسریع در رشد گیاه می‌گردد که این مطلب به کوتاه شدن دوره رشد و افزایش کارایی آب منجر می‌گردد. تاثیر مواد هیومیکی در افزایش و تسریع رشد ریشه‌ها و در پی آن رشد اندام هوایی گندم و گلزا در مناطق مختلف کشور به اثبات رسیده است (غیبی، ۱۳۹۷)

خصوصیات ساختمانی ویژه مواد هیومیکی از جمله تعداد زیاد گروه های فعال اکسیژنی (CO_2H_2, OH، فنلی و C=O) به آنها این اجازه را می‌دهد که بتوانند یون‌های فلزی را کلات کنند و در تغذیه گیاه موثر باشند (بربارا و گارسیا، ۲۰۱٤). چگونگی تأثیر مواد هیومیکی بر جذب یون‌ها بستگی به نوع و غلظت مواد هیومیکی،pH محیط کشت و نوع گونه گیاهی دارد (ناردی و همکاران، ۲۰۰۹).

افزایش جذب عناصر غذایی در اثر استفاده از مواد هیومیکی در گیاهان مختلف گزارش شده است (موریللو و همکاران، ۲۰۰۵ و کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). در گیاه زینتی ژربرا جذب بهتر کلسیم با استفاده از هیومیک اسید، سبب افزایش خصوصیات پس از برداشت گل شد. در تولید گل‌های زینتی درکشت‌های هیدروپونیک، هیومیک اسید می‌تواند به عنوان ترکیب کمکی برای جذب بهتر عناصر غذایی استفاده شود (نیکبخت و همکاران، ۲۰۰۸).

کاربرد هیومیک اسید در خاک‌های با مواد آلی مختلف واکنش متفاوتی به همراه داشت و جذب عناصر در خاکی که ماده آلی کمتری داشت، به میزان بیشتری افزایش نشان داد (فاگبنرو و آگبولا، ۱۹۹۳).

مطالعات مختلفی در خصوص اثرمتقابل اسید فولویک با آهن، گزارش شده است. اسید فولویک می-تواند باعث کمپلکس شدن Fe^{3+} در خاک به شکل محلول گردد تا بتواند به وسیله گیاه جذب گردد (استوس داسیلوا و همکاران، ۱۹۹۸). این اثرات در گیاه آفتابگردان و برنج باعث افزایش قابلیت جذب آهن شد (پاندیا و همکاران، ۱۹۹۸ و بوکانگرا و همکاران، ۲۰۰٦).

نقش مواد هیومیکی در مقابله با تنش‌های غیر زنده

برخی از نتایج تحقیقات نشان داده که کاربرد اسیدهای هیومیک می تواند باعث بهبود مواجهه با تنش شوری گردد (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). کاهش هدایت الکتریکی خاک، کاهش تجمع سدیم، افزایش پرولین و اسید آبسزیک در گیاه از جمله مکانیسم‌هایی است که سبب مقاومت به شوری گیاه در اثر کاربرد اسید هیومیک می‌شود (محمد، ۲۰۱۲).

تحقیق در خصوص اثرات اسید هیومیک در کمک به گیاه برای مقاومت در برابر تنش خشکی، در سالیان اخیر شروع شده است. کاربرد اسید هیومیک در جوانه‌های برنج، باعث کاهش علائم ظاهری خشکی گردید و در این گیاهان سطوح کلروفیل، کاروتینوئیدها، پروتئین و کربوهیدرات‌ها بیشتر از گیاهان شاهد بود و این نشان می-دهد که ظرفیت فتوسنتزی این گیاهان افزایش یافته است (گارسیا و همکاران، ۲۰۱۲).

اسیدهای فولویک به دو طریق گیاه را در برابر تنش‌های غیر زنده و به خصوص تنش‌های اسمزی مقاوم می‌سازند. اسیدهای فولویک با بیان ژن‌های انتقال دهنده مواد، موجب تسریع جذب مواد غذایی و افزایش غلظت شیره سلولی می‌گردد و از طرفی جذب مواد فولویکی در سیتوپلاسم موجب ایجاد فشار اسمزی لازم جهت مقابله با تنش‌های اسمزی از جمله شوری، خشکی و یخبندان می‌گردد (غیبی، ۱۳۹۷) تاثیر مصرف مواد فولویکی بر کاهش اثرات مضر عناصری مثل مقدار زیاد سلنیوم، سرب و آلومینیوم و تنش خشکی از جمله در گندم و ذرت، گزارش شده است. کمپلکس ایجاد شده از طریق فولویک اسید با آلومینیوم، قابل جذب به وسیله ریشه گیاه نبوده و یا در مورد عناصر دیگر، قابلیت جذب کاسته شد که البته غلظت اسید فولویک استفاده شده نیز موثر بود (پنگ و همکاران، ۲۰۰۱; آسپ و برگگرن، ۱۹۹۰).

تأثیر مواد هیومیکی بر متابولسیم و فیزیولوژی گیاه

اسید هیومیک اثر شبه هورمونی، مثل اکسین و ایندول استیک اسید بر گیاهان دارد و این اثر اولیه به عنوان مهمترین فاکتور بیولوژیکی موثر در گیاهان می‌باشد (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۳; ناردی و همکاران، ۲۰۱۶). به عنوان مثال افزایش رشد ریشه‌های جانبی به وسیله مواد هیومیکی (اسید هیومیک و فولویک) در ارتباط با تقسیمات سلولی بوده که در کنترل هورمون اکسین است (ترویسان و همکاران، ۲۰۱۰). اسیدهای هیومیک در سلول‌های ریشه، باعث افزایش فعالیت آنزیم H^+-ATP_{ase} می‌گردند؛ این امر می‌تواند در ارتباط با افزایش سطح ریشه و در بعضی موارد افزایش تراکم ریشه باشد (کانللاس و همکاران، ۲۰۰۹; جیندو و همکاران، ۲۰۱۲).

روش دیگر تأثیر مواد هیومیکی بر رشد گیاه از طریق تاثیر آن بر گروه‌های فعال اکسیژن (O_2, O_2^-, OH, H_2O_2) می‌باشد (سوزوکی و همکاران، ۲۰۱۲). در گیاه برنج در زمان کاربرد اسید هیومیک، گروه‌های فعال اکسیژن تولید شده در گیاه، باعث پراکسیداسیون لیپید نشدند و رشد ریشه جانبی افزایش یافت (بربارا و گارسیا،۲۰۱٤). تجزیه به روش بررسی عملکرد و ساختار پروتئین‌ها[3] در گیاهان ذرت و کلزا، نشان داد که تولید ٤۲ پروتئین مختلف به وسیله اسید هیومیک بیان شده و شامل پروتئین‌های مرتبط با انرژی، متابولیسم و نقل و انتقال سلولی می‌باشد. از جمله می‌توان به متابولیسم ساکروز، مالات دهیدروژناز، ATP_{ase} و پروتئین‌های اسکلت سلولی[4] اشاره نمود (کارلتی و همکاران، ۲۰۰۸). در گیاه برنج مواجه با تنش خشکی، اسید هیومیک باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ‌ها و ریشه‌ها گردید که باعث کاهش مقدار پراکسید هیدروژن، نگهداری قابلیت نفوذ غشاء و افزایش مقدار پرولین گردید (گارسیا و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش مقدار کلروفیل متعاقب کاربرد اسید فولویک در گیاهان سویا و چاودار، مشاهده شد (چن و همکاران، ۲۰۰٤).

محلول‌پاشی گیاه گندم با اسید فولویک، قبل از مواجهه با تنش خشکی، عملکرد را به ۹۷ درصد میزان گیاه بدون تنش رساند (خودان، ۱۹۸٦). در سه مزرعه گندم در استرالیا، محلول‌پاشی اسید فولویک، افزایش معنی‌داری در عملکرد ایجاد نکرد. این امر نشان می‌دهد که تأثیر این مواد در مناطق مختلف، متفاوت است (دانستن و همکاران، ۱۹۸۸). در بررسی انجام گرفته در شرایط مزرعه بر روی گیاه فلفل در ایران، کاربرد فولویک اسید به صورت کود آبیاری، تأثیری بر عملکرد نداشت ولی بر کیفیت میوه از جمله فعالیت آنتی اکسیدانت، کل

3 -proteomic
4 - cytoskeleton

مواد جامد قابل حل، مقدار کل فنولیک‌ها، کربوهیدرات‌ها، کاپسایسین[5] و کاروتینوئیدها موثر بود (امینی فرد و همکاران، ۲۰۱۲).

عصاره جلبک دریایی

استفاده از جلبک دریایی تازه به عنوان منبع ماده آلی و کود در کشاورزی از زمان‌های قدیم شناخته شده است، اما اخیراً محرک رشد بودن آن ثابت شده است. طبق گزارش فائو (۲۰۰۶) مقدار قابل توجهی از عصاره جلبک‌های دریایی (۱۵ میلیون تن در سال) به عنوان محرک رشد، اصلاح کننده خاک و مکمل تغذیه‌ای در کشاورزی استفاده می‌شود. عصاره جلبک‌های دریایی ترکیب پیچیده‌ای از موادی است که ترکیب آن بسته به منبع جلبک، فصل جمع‌آوری و روش عصاره‌گیری متفاوت است (شارما و همکاران، ۲۰۱۲).

پلی ساکاریدها و اولیگوساکاریدها، لامینارین، آلژینات‌ها و کاراژینازها و محصولات تجزیه آنها از اجزاء مهم این مواد هستند که بر فیزیولوژی گیاه تأثیر دارند. تعدادی از این ترکیبات در واقع منحصراً از منبع جلبک استخراج می‌شوند که این امر دلیل افزایش علاقه به این گروه از موجودات در ساخت مواد محرک رشد است. اغلب گونه‌های جلبک که از آنها این عصاره‌ها تهیه می‌شود، به شاخه جلبک‌های قهوه‌ای تعلق دارند که دومین گروه فراوان جلبک‌ها با حدود ۲۰۰۰ گونه است که آسکوفیلوم[6]، فوکوس[7] و لامیناریا[8] گونه‌های اصلی آن می‌باشند؛ اما کاراژیناز از جلبک‌های قرمز استخراج می‌شود که از یک شاخه فیلوژنی مجزا منشاء گرفته است (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵).

عصاره جلبک‌های دریایی بر خاک و گیاه تأثیر می‌گذارند (کرایجی و همکاران، ۲۰۰۸، کرایجی، ۲۰۱۱ و خان و همکاران، ۲۰۰۹). این عصاره‌ها به عنوان کلات کننده، بهبود دهنده جذب عناصر غذایی توسط گیاه، بهبود دهنده ساختمان و تهویه خاک عمل می‌کنند (گونزالس و همکاران، ۲۰۱۳). این مواد را می‌توان به خاک داد، به صورت محلول در کشت هیدروپونیک به کار برد و یا برگ‌پاشی نمود. پلی‌ساکاریدهای آنها در خاک سبب تشکیل ژل، نگهداری آب و بهبود تهویه می‌شود. ترکیبات پلی‌آنیونی موجود در جلبک‌ها سبب تثبیت و تبادل کاتیونی می‌شوند. از این خاصیت در تثبیت فلزات سنگین و اصلاح خاک استفاده می‌شود.

تأثیر عصاره جلبک دریایی برجذب عناصر غذایی و رشد گیاه

تحقیقات نشان داده که برگ‌پاشی عصاره جلبک دریایی منجر به بهبود توسعه ریشه در گونه‌های مختلفی مانند ذرت، گوجه‌فرنگی، انگور، توت فرنگی شده است (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). افزایش تشکیل ریشه‌های جانبی، حجم کل ریشه و طول ریشه به وجود هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین در عصاره جلبک دریایی نسبت داده شده است (خان و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده از عصاره جلبک دریایی، سبب بهبود جذب عناصر غذایی در گیاهانی مانند کاهو، انگور، سویا و گوجه‌فرنگی نیز شده است. افزایش جذب هم در مورد عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد) و هم در مورد عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز و روی) دیده شده است (زوداپ و همکاران، ۲۰۱۱). تحریک غیر مستقیم رشد ریشه به دلیل افزایش جمعیت ریزجانداران خاک نیز ممکن است به وقوع بپیوندد (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). افزایش رشد ریشه و بهبود کارایی جذب عناصر غذایی و آب می‌تواند سبب افزایش رشد و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده شود. گزارش‌های زیادی در زمینه افزایش رشد و عملکرد با استفاده از عصاره جلبک دریایی وجود دارد (کرایجی، ۲۰۱۱، الم و همکاران، ۲۰۱۳، خان و همکاران، ۲۰۱۳ و جانین و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش غلظت کلروفیل در اثر استفاده

5 - Capsaicin
6 - Ascophyllum
7 - Fucus
8 - Laminaria

از عصاره جلبک دریایی در گیاهان مختلف گزارش شده است. این افزایش به دلیل کاهش تخریب کلروفیل و تأخیر در پیری آن بوده و مربوط به افزایش تولید کلروفیل نمی‌باشد (جانین و همکاران، ۲۰۱۳).

عصاره جلبک دریایی سبب گلدهی و تشکیل میوه زود هنگام در برخی گیاهان می‌شود. افزایش عملکرد در اثر استفاده از عصاره جلبک دریایی احتمالاً به دلیل حضور هورمون‌های رشد نظیر سیتوکینین در آنها است (خان و همکاران، ۲۰۰۹). سیتوکینین در مرحله رشد رویشی سبب توزیع بهتر عناصر غذایی و در مرحله رشد زایشی سبب تحرک عناصر غذایی می‌شود. استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب تسهیل تکثیر غیر جنسی در برخی گیاهان می‌شود. استفاده از جلبک‌های دریایی چه به صورت خاکی و چه به صورت محلول‌پاشی، سبب افزایش رشد ریشه و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌شود (خان و همکاران، ۲۰۰۹).

نقش عصاره جلبک دریایی در مقاومت به تنش‌های غیر زنده

استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب افزایش تحمل به تنش‌های خشکی، شوری و دمایی می‌شود (کرایجی، ۲۰۱۱). جلبک‌های دریایی مخلوطی از مواد آلی و معدنی هستند مواد معدنی آنها در درجه اول پتاسیم و و مواد آلی شامل اسیدهای آمینه و آلژنیک اسید می‌باشد. در عصاره جلبک دریایی ۱۶ تا ۱۷ نوع اسید آمینه وجود دارد که مهمترین آنها بتایین یا گلایسین بتایین است. این اسید آمینه دارای خواص اسمولیتی است که باعث تنظیم فشار اسمزی داخل سلول می‌شود. گلایسین بتایین باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش سرما و خشکی می‌گردد (الکساندر، ۱۹۸۵). با توجه به نقش اسیدهای آمینه در تولید آنزیم‌های مورد نیاز گیاه به هنگام تنش و نقش کو فاکتوری پتاسیم برای فعال سازی غالب آنزیم‌ها می‌توان نقش جلبک‌های دریایی را در کنترل تنش‌ها مشخص کرد. هر دو مکانیسم وجود ترکیبات محافظ مانند آنتی اکسیدانت‌ها و وجود تنظیم کننده‌های ژن‌های داخلی که به تنش پاسخ می‌دهند، در عصاره جلبک می‌تواند موثر باشد (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). حضور ملکول‌های فعال زیستی مانند بتایین و سیتوکینین در این عصاره‌ها ممکن است در این زمینه، نقش داشته باشد. این عصاره‌ها غلظت مولکول‌های مرتبط با تنش مانند سیتوکینین، پرولین، آنتی اکسیدانتها و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی را در گیاه افزایش می‌دهند. سیتوکینین اثر منفی رادیکال‌های آزاد را به دو روش از بین بردن مستقیم و یا جلوگیری از تشکیل با ممانعت از اکسید شدن زانتین[9] خنثی می‌کند (فان و همکاران، ۲۰۱۳). پلی‌ساکاریدهای موجود در عصاره جلبک‌های دریایی می‌توانند مقاومت در برابر بیماری‌های قارچی را افزایش دهند. این ترکیبات در شبکه اعلام ضد تنش، بویژه تنش زیستی وارد می‌شوند (بولغاری، ۲۰۱٤).

تأثیر عصاره جلبک دریایی بر متابولیسم و فیزیولوژی گیاهی

عصاره جلبک دریایی تأثیرات زیادی بر فیزیولوژی گیاه دارد. بررسی بیان ژن‌ها برخی از مکانیسم-های آن را مشخص کرده است (فان و همکاران، ۲۰۱۳). فان و همکاران (۲۰۱۳)، افزایش میزان پروتئین محلول، ظرفیت آنتی اکسیدانی و میزان فنل‌ها و فلاوونوییدها را در اثر کاربرد عصاره جلبک قهوه‌ای مشاهده کردند. این تأثیرات با افزایش بیان آنزیم‌های کلیدی موثر در افزایش متابولیسم نیتروژن، ظرفیت آنتی اکسیدانی و ساخت گلیسین بتایین، همراه بود. یکی از ترکیبات آلی موجود در جلبک دریایی آلژنیک اسیدها است. آلژینات‌ها از نظر شیمیایی جزِ خانواده کربوکسی سلولوزها هستند. آلژنیک اسید نقش کمپلکس کنندگی دارد و قابلیت اتصال به کاتیون‌های فلزی را دارند. این مطلب باعث می‌شود علاوه بر جذب کاتیون‌ها از مسیر قطبی از مسیر غیرقطبی نیز جذب شود و جذب کل افزایش پیدا می‌کند (الکساندر، ۱۹۸۵).

[9] - Xanthine

عصاره جلبک دریایی حاوی دامنه وسیعی از هورمون‌های گیاهی شامل سیتوکینین، اکسین، آبسیزیک اسید، جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید است. در بین این ترکیبات سیتوکینین، اکسین و ترکیبات شبیه به آنها بیشتر گزارش شده‌اند (خان و همکاران، ۲۰۰۹). والی و همکاران (۲۰۱۳) غلظت هورمون‌های گیاهی را در ۱۲ عصاره مختلف جلبک دریایی از منابع مختلف اندازه‌گیری کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که غلظت هورمون‌های گیاهی در این عصاره‌ها برای تأثیر بر گیاه کافی نیست. آنها نشان دادند که تغییر در شکل ظاهری گیاه در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی به دلیل تغییر در ساخت، مقدار و نسبت داخلی هورمون‌های گیاه است و ربطی به میزان آنها در عصاره جلبک دریایی ندارد. آنها افزایش غلظت سیتوکینین و آبسیزیک اسید و ترکیبات مرتبط با آنها و کاهش غلظت اکسین در برگ‌های تیمار شده با عصاره جلبک را مشاهده کردند. بنابه نظر آنها افزایش غلظت سیتوکینین و آبسیزیک اسید و کاهش غلظت اکسین در گیاه ممکن است، افزایش رشد رویشی و مقاومت به تنش‌های غیر زنده را به همراه داشته باشد.

اسیدهای آمینه و ترکیبات پپتیدی

اسیدهای آمینه و ترکیبات پپتیدی از هیدرولیز آنزیمی و شیمیایی مواد پروتئینی، پسماندهای مواد کشاورزی-صنعتی از منابع گیاهی (بقایای محصولات) و بقایای حیوانی، تولید می‌گردند (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤، هالپرن و همکاران، ۲۰۱۵; دو جاردین، ۲۰۱۵). بر اساس مطالعات انجام شده از طریق نشان‌دار کردن اسیدهای آمینه، مشخص شده که ریشه گیاهان قادر به جذب اسیدهای آمینه و پپتیدها هستند. جذب برگی اسیدهای آمینه نیز گزارش شده است (ناردی و همکاران، ۲۰۱٦). ترکیبات پروتئینی، می‌توانند در دو گروه اصلی قرار گیرند. هیدرولیزهای پروتئینی که ترکیبی از پپتیدها و آمینو اسیدهای با منشاء حیوانی یا گیاهی و اسیدهای آمینه منحصر بفرد مثل گلوتامات، گلوتامین، پرولین و گلیسین بتایین هستند (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤; ناردی و همکاران، ۲۰۱٦). نسبت پپتید به پروتئین و مقدار اسید آمینه آزاد ترکیبات هیدرولیزی، متفاوت بوده و در محدوده به ترتیب ۱ تا ۸۵ و ۲ تا ۱۸ درصد (وزنی به وزنی) قرار دارد. اسیدهای آمینه اصلی شامل آلانین، آرژینین، گلیسین، پرولین، گلوتامات، گلوتامین، والین و لوسین است (ارتانی و همکاران، ۲۰۰۹). ترکیبات غیر پروتئینی موجود در این مواد هیدرولیزی نیز دارای اثرات تحریک کنندگی در رشد گیاهان است.

دسته دوم مواد با بنیان پروتئینی، اسیدهای آمینه خاص می‌باشند. این مواد شامل ۱۲ اسید آمینه ساختمانی است که در سنتز پروتئین نقش دارند و نیز اسیدهای آمینه غیر پروتئینی که به مقدار فراوان در برخی از گونه‌های گیاهی، یافت می‌شوند. گزارش‌هایی نیز وجود دارد که کاربرد اسیدهای آمینه ساختمانی و غیر پروتئینی از جمله گلوتامین، هیستیدین، پرولین و گلیسین بتایین، باعث محافظت در برابر تنش‌های زیست محیطی شده یا در ارسال سیگنال‌های سوخت و ساز فعالند (ناردی و همکاران، ۲۰۱٦; ورانووا و همکاران، ۲۰۱۱; لیانگ و همکاران، ۲۰۱۳). گیاهان پس از جذب اشکال مختلف نیتروژن در مسیرهای مختلف آلی‌سازی این اشکال که همگی انرژی بر هستند در نهایت ۸۵٪ نیتروژن را به اسید آمینه تبدیل می‌کنند (مارشنر ۲۰۱۱) این مطلب از آنجا اهمیت دارد که در زمانهای که گیاه در رشد سریع رویشی قرار دارد مصرف مستقیم اسیدهای آمینه منجر به ذخیره انرژی و رشد مناسب و به هنگام گیاه می‌گردد.

تأثیر اسیدهای آمینه و ترکیبات پپتیدی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه

نتایج تحقیقات ارائه شده در منابع علمی نشان دهنده اثرات ترکیبی کاربرد این مواد بوده و در آنها به بهبود عملکرد و جذب عناصر غذایی اشاره شده است. این اثرات در گیاه گوجه‌فرنگی به صورت افزایش ارتفاع، تعداد گل‌ها، تعداد میوه‌ها در هر گیاه، افزایش عملکرد

میوه (تعداد یا وزن میوه) مشاهده شد (پاررادو و همکاران، ۲۰۰۸). در گیاه پاپایا (خربزه درختی)، با محلول‌پاشی ماهیانه این ترکیبات، عملکرد ۲۲ درصد افزایش یافت (مورالس-پایان و استال، ۲۰۰۳). ترکیب آمینی حاصل از هیدرولیز یونجه، باعث رشد بهتر برگ ذرت، مقدار قند آن و کاهش نیترات در شرایط شور و غیر شور شد. (ارتانی و همکاران، ۲۰۱۳ a و b). هیدرولیز گوشت حاصل ازضایعات دباغی پوست، باعث افزایش رشد، مقدار عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و کاهش مقدار نیترات، سولفات و فسفات جوانه‌های ذرت، شد (ارتانی و همکاران، ۲۰۱۳ a و b). مطالعه بر روی اسیدهای آمینه خاص نشان داده که این ترکیبات ممکن است دارای نقش اعلام در تنظیم جذب نیتروژن (کاهش نیترات، جریان ورودی آمونیوم و رونویسی ناقلین) به وسیله ریشه باشند که این امر در گیاه جو مشاهده شد (میلر و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر اثرات مثبت محرک‌های رشد گیاهی، مطالعات متعددی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد محلول-پاشی هیدرولیزهای پروتئینی تجاری از منبع حیوانی، باعث مسمومیت گیاهی و توقف رشد شده‌اند.

در برخی از موارد ممکن است غلظت اشتباه ماده استفاده شده و یا شرایط زیست محیطی مثل موقعیت خاص مزرعه، باعث عدم واکنش به این مواد باشد (ناردی و همکاران، ۲۰۱۶). نتایجی نیز نشان می‌دهد که این ترکیبات بر اسفناج و کاسنی تأثیری نداشتند (گاجک – وولسکا و همکاران، ۲۰۱۲; کونیچکی و همکاران، ۲۰۱۰). در برخی از گیاهان مثل هویج، در یک سال از سه سال آزمایش، مقدار قندهای محلول و کاروتینوئیدها افزایش و نیترات، کاهش یافت (گرابوسکا و همکاران، ۲۰۱۲). در توضیح این نتایج می‌توان گفت که هیدرولیز پروتینی ترکیبات گیاهی یا حیوانی منجر به تولید اسیدهای آمینه، پپتید ها، پلی‌پپتیدها و پلی‌آمین-ها می‌گردد. گیاهان با استفاده از اسیدهای آمینه آزاد می‌توانند با توجه به شرایط رشدی گیاه، ایجاد تنش‌های محیطی و نوع ژن بیان شده برای تولید پروتئین یا آنزیم توسط ریبوزوم ها آنها را مصرف کنند ولی ترکیبات پپتیدها، پلی پپتیدها و پلی آمین‌ها در اکثر موارد موجب افت فشار اسمزی سیتوپلاسم در گیاه می‌شوند و این مطلب می‌تواند در صورت زیاد بودن مقدار این ترکیبات در موارد محلول پاشی شده نتیجه معکوس به همراه داشته باشد؛ بنابراین در زمان استفاده از اینگونه ترکیبات باید تلاش شود بیشتر از اسیدهای آمینه آزاد استفاده شود (غیبی ۱۳۹۷).

نقش اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات حاوی نیتروژن در مقابله با تنش‌های غیر زنده

منابع قابل توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد، هیدرولیزهای پروتئینی و اسیدهای آمینه خاص از جمله پرولین، بتایین، مشتقات آنها و مواد اولیه حاصل از آنها، می‌توانند سیستم دفاعی گیاه را تحریک کنند و باعث افزایش تحمل گیاه به انواع مختلف تنش‌های غیر زنده از جمله شوری، خشکی، دما و شرایط اکسیدکننده گردند (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤; دو جار کاربرد دین، ۲۰۱۵; ارتانی و همکاران، b۲۰۱۳). مکانیزیم گیاهان در برابر تنش‌های محیطی، سازگاری و ایجاد ساز و کار فیزیولوژیکی برای رفع تنش است. گیاهان با تولید آنزیم-های مختلف علاوه بر انجام فرایندهای بیوشیمیایی با تنش‌های محیطی هم مقابله می‌کنند. با ایجاد تنش، ژن بیان کننده تولید آنزیم در گیاه تعریف می‌شود و با تولید آنزیم توسط ریبوزوم و استفاده از اسیدهای آمینه آزاد شرایط برای گذر از تنش‌های محیطی فراهم می‌شود. واحد های mRNA با انتخاب اسیدهای آمینه تعریف شده برای تولید آنزیم مورد نیاز، این کار را بر روی ریبوزوم انجام می‌دهند. کاتیون‌های فلزی می‌تواند به عنوان کو فاکتور برای فعال‌سازی آنزیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنزیم‌های تولید شده با تغییر رفتار فیزیولوژیکی سلول موجبات گذر از تنش را فراهم می‌کنند؛ بنابراین تنش‌های دمایی، نور، رادیکال‌های آزاد ... می‌تواند با این فرایند کنترل کرد؛ بنابراین وجود اسیدهای آمینه آزاد برای رفع تنش در گیاه ضروری است (غیبی، ۱۳۹۷).

اسیدهای آمینه گلایسین بتایین (ترکیباتی که ان –متیل در گلایسن جایگزین شده) و پرولین، به عنوان محافظ اسمزی، عمل می‌نمایند و باعث تثبیت پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و غشاها در برابر اثرات غیرطبیعی غلظت زیاد نمک و دماهای زیاد غیر فیزیولوژیکی می‌گردند. کاربرد و تجمع اسیدهای‌آمینه گلایسین، بتایین و پرولین، باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی در گیاهان ذرت، جو، سویا، یونجه و برنج شد (کالوو و همکاران، ٢٠١٤). این دو اسید آمینه، باعث کاهش اثرات منفی گروه‌های فعال اکسیژن می‌گردند. اسیدهای آمینه دیگر نیز در مقاومت به تنش‌های غیر زیستی موثرند. از جمله کاربرد گلوتامات و یا اورنیتین (پیش ماده پرولین) نیز می-توانند در افزایش مقاومت به تنش شوری، موثر باشند (لیانگ و همکاران، ٢٠١٣). آرژینین که در ذخیره نیتروژن و انتقال آن در گیاه نقش مهمی دارد در شرایط تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاه تجمع می‌یابد (لی و همکاران، ٢٠٠٦). اسیدهای آمینه غیر پروتئینی بتا و نیز گاما آمینو-بوتیریک اسید، باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش-های زنده و غیرزنده می‌گردند و به صورت مولکول‌های علامت دهنده خارجی، عمل می‌نمایند (وو و همکاران، ٢٠١٠).

آمینواسیدها و پپتیدها در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های ناشی از مسمومیت انواعی از فلزات سنگین، نقش دارند که این کار را از طریق خنثی نمودن رادیکال-های آزاد به وسیله ترکیبات نیتروژنی، انجام می‌دهند (کولا و همکاران، ٢٠١٤). مقدار زیادی از پرولین در زمان مواجه شدن با تنش عناصر سنگین در بسیاری از گیاهان، تجمع می‌یابد و در گیاهان مقاوم به این نوع تنش، در زمانی که مقدار زیاد فلز سنگین تجمع نیافته نیز وجود دارد. پرولین باعث کلات شدن یون فلز در بین سلول‌های گیاهی و در شیره آوند چوبی، می‌گردد و ممکن است به عنوان آنتی اکسیدانت عمل نماید و با جذب فلز سنگین از اثرات رادیکال‌های آزاد، بکاهد (شارما و دیتز، ٢٠٠٦). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که اسیدهای آمینه آسپاراجین، گلوتامین، سیستئین و پپتیدهایی مثل گلوتاتیون و کلات‌های گیاهی در کلات کردن عناصر روی، نیکل، مس، کادمیوم و آرسنیک موثرند (سیتار و همکاران، ٢٠١٣).

تأثیر اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات حاوی نیتروژن بر متابولیسم و فیزیولوژی گیاه

هیدرولیزهای پروتئینی بر متابولیسم نیتروژن و کربن اثر گذاشته و باعث بهبود آن شده و احیاء و جذب درونی نیتروژن را نیز افزایش دهند. تأثیر بر متابولیسم نیتروژن و کربن، به عنوان اثر مستقیم این مواد درنظر گرفته می‌شود (کولا و همکاران، ٢٠١٤). ممکن است افزایش پروتئین در زمان کاربرد این مواد به این دلیل باشد که اسیدهای آمینه استفاده شده، مستقیماً می‌توانند در ساخت پروتئین استفاده شده و همچنین در افزایش غلظت کربوهیدرات برگ، اثر نمایند (بلغاری و همکاران، ٢٠١٤). کربوهیدرات‌ها به عنوان اسکلت کربنی، برای اتصال نیترات احیاء شده (آمونیا) در اسیدهای آمینه بوده و باعث افزایش ساخت پروتئین، می‌گردند. در گیاه ذرت، با کاربرد اسیدهای آمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های، وابسته به نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید[10] شامل گلوتامات دهیدروژناز، نیترات ردوکتاز و مالات دهیدروژناز، مشاهده شد. فعالیت سه آنزیم موثر در چرخه تری-کربوکسیلیک اسید (مالات دهیدروژناز، ایزوسیترات دهیدروژناز، سیترات سینتاز) و پنج آنزیم موثر در احیاء و جذب درونی نیترات (نیترات ردوکتاز، نیتریت ردوکتاز، گلوتامین سینتتاز، گلوتامات سینتتاز و آسپارات آمینوترانسفراز) در گیاه ذرت، بر اثر کاربرد اسیدهای آمینه حاصل از ترکیبات یونجه، افزایش یافت (اسچیاون و همکاران، ٢٠٠٨). نتایج نشان داده که ترکیبات حاصل از هیدرولیز پروتئینی، می-توانند باعث بهبود احیاء و جذب درونی[11] نیتروژن شوند و این کار را از طریق تعامل با تنظیم متابولیسم کربن و نیتروژن انجام می‌دهند (فورده و لی، ٢٠٠٧). کاربرد

10 - Nicotinamide adenine dinucleotide
11- Assimilation

گلوتامات باعث کاهش رشد ریشه اولیه و افزایش رشد ریشه جانبی در قسمت انتهایی ریشه، در گیاه شاهی شد. این امر نشان می‌دهد که این ماده دارای نقش علامت دهنده بوده و باعث قرارگیری دقیق‌تر ریشه در نقاط دارای مواد غذایی در خاک می‌گردد (فورده و لی، ۲۰۰۷).

مایه تلقیح‌های میکروبی

استفاده از مایه تلقیح میکروبی طی دو دهه اخیر در راستای مقابله با مشکلات کشاورزی مدرن، افزایش چشمگیری داشته است (حیات و همکاران، ۲۰۱۰). مایه تلقیح میکروبی به دو گروه کلی عوامل کنترل بیولوژیک (آفت‌کش‌های زیستی) و کودهای زیستی تقسیم می‌شود. در این مقاله مایه تلقیح میکروبی که به عنوان کود زیستی عمل می‌کند به عنوان محرک رشد شناخته می‌شود. کود زیستی حاوی ریزجانداران بوده و زمانی که به بذر، سطح گیاه یا خاک داده می‌شود سبب تحریک رشد گیاه با مکانیسم‌های مختلفی مانند افزایش فراهمی عناصر غذایی، افزایش زیست توده یا سطح ریشه و افزایش ظرفیت جذب عناصر غذایی می‌شود (واسی، ۲۰۰۳). کودهای زیستی را می‌توان به عنوان مکمل کودهای شیمیایی به گیاه داد. مایه تلقیح میکروبی عمدتاً شامل باکتری‌های آزادزی، قارچ‌ها و قارچ‌های میکوریزی هستند که از محیط‌های متنوعی مانند خاک، گیاه، بقایای گیاهی، آب و کود دامی کمپوست شده استخراج می‌شوند. قارچ‌ها به روش‌های مختلف، از همزیستی تا انگلی، با ریشه گیاه در ارتباط هستند. قارچ‌های مایکوریزی گروه‌های متنوعی از قارچ‌ها هستند که با بیش از ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی ارتباط همزیستی دارند. با توجه به اثرات مفید قارچ‌های مایکوریزی در افزایش کارایی عناصر غذایی، تعادل آب در گیاه و محافظت از گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیر-زنده، علاقه روز افزون به استفاده از این قارچ‌ها در کشاورزی پایدار وجود دارد (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵). در بین کودهای زیستی باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR[12]) که باکتری‌های آزادزی هستند، به طور وسیعی مطالعه شده‌اند.

تأثیر مایه تلقیح میکروبی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه

افزایش رشد و عملکرد توسط مایه تلقیح میکروبی در برخی موارد به افزایش جذب و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه ارتباط دارد. مکانیسم‌های متعددی برای افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه توسط مایه تلقیح میکروبی عنوان شده است. از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به تثبیت غیر همزیستی نیتروژن، محلول کردن عناصر غذایی، کلات کردن آهن با تولید سیدروفور و تولید ترکیبات فرار آلی اشاره کرد. باکتری-های با توان تثبیت غیرزیستی نیتروژن به جنس‌های مختلف تعلق دارند. در بین این جنس‌ها بیشترین مطالعه بر روی آزوسپریلوم صورت گرفته است. آزوسپریلوم در ارتباط نزدیک با ریشه گیاه و حتی در داخل آن است. توانایی آزوسپریلوم در تثبیت نیتروژن در گیاهان مختلف گزارش شده است. افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن گیاه با تلقیح با آزوسپریلوم در گیاهان مختلف مانند پنبه، گندم، نیشکر و ذرت گزارش شده است (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). باید به این نکته توجه کرد که تنها اثر مثبت آزوسپریلوم بر رشد، تثبیت نیتروژن نیست. بعضی از ریزجانداران سبب افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی با افزایش حلالیت آنها و افزایش کارایی جذب می‌شوند. دسترسی کم شکل‌های فسفر در خاک، مشکل مهمی در سیستم‌های کشاورزی است. حتی وقتی کودهای حاوی فسفر به خاک اضافه می‌شوند، ممکن است توسط گیاه جذب نشوند؛ زیرا فسفر به آسانی به اجزا خاک پیوند شده و برای گیاه غیر قابل جذب می‌شود (گیناشوار و همکاران، ۲۰۰۲). جنس‌های متنوعی از باکتری‌های شامل سودوموناس، باسیلوس، برخولدریا، استرپتومایسیس،

12 - Plant growth promoting rhizobacter

اکرموباکتر[۱۳]، میکروکوکوس، فلاووباکتریوم[۱۴]، اروینیا و آزوسپریلوم حل کننده فسفر هستند. دو مکانیسم عمده‌ای که سبب حل شدن فسفر توسط این ریزجانداران می‌شود ترشح اسیدهای آلی و تولید آنزیم فسفاتاز به منظور آزاد سازی فسفر آلی است. اسیدهای آلی شکل غیر قابل حل فسفر را با استفاده از گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل محلول می‌کنند. این گروه‌ها، فلز پیوند شده با فسفر را کلات کرده و آن را محلول می‌کنند. اسیدهای آلی همچنین سبب کاهش pH ریزوسفر شده و سبب آزاد-سازی فسفر می‌شوند (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). اسیدهای آلی مختلفی در محلول کردن فسفر نقش دارند. نوع اسید آلی در جنس‌های مختلف باکتری متفاوت است. به عنوان مثال برخی گونه‌های جنس باسیلوس مخلوطی از لاکتیک، ایزووالریک، ایزوبوتیریک و استیک اسید تولید می‌کنند. گلوکونیک اسید، مهمترین اسید آلی است که توسط گونه‌های مختلف جنس‌های آزوسپیریلوم، سودوموناس، اروینیا و برخولدریا تولید می‌شود (رودریگوز و فاگا، ۱۹۹۹). فسفر آلی که ۳۰ تا ۸۰ درصد فسفر خاک را تشکیل می‌دهد نقش عمده‌ای در چرخه فسفر در خاک دارد. فیتات[۱۵] شکل غالب فسفر آلی در خاک است که تا ٦۰ درصد فسفر آلی خاک را تشکیل می‌دهد. فسفر موجود در این ماده قابل جذب توسط گیاه نیست و باید تحت تأثیر آنزیم فیتاز و فسفاتاز قرار گیرد. باکتری‌های گرم منفی مانند سودوموناس، برخولدریا، انتروباکتر، سیتروباکتر و سراتیا[۱٦] این آنزیم‌ها را تولید می-کنند (دوجاردین و همکاران، ۲۰۱۵). قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در سیستم‌های طبیعی نقش عمده-ای در تغذیه فسفر دارند.

علاوه بر فسفر، پتاسیم عنصر غذایی ضروری دیگری است که توسط ریزجانداران خاک و مایه تلقیح-های میکروبی محلول می‌شود. این ریزجانداران پتاسیم موجود در کانی‌های حاوی این عنصر مانند میکا، ایلیت و اورتوکلاز را با ترشح اسید آلی حل می‌کنند. مکانیسم عمل، شامل حل کردن کانی‌ها و کلات کردن سیلیکات-های پیوند یافته با پتاسیم است.

افزایش حلالیت سایر عناصر غذایی توسط مایه-های تلقیح میکروبی گزارش شده است که مکانسیم‌های مربوطه در دست بررسی است. افزایش زیست توده ریشه، سطح ریشه یا تارهای کشنده ریشه، مکانیسمی غیرمستقیم است که سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود. دامنه وسیعی از ریزجانداران خاک شامل سودوموناس، آسینتوباکتر[۱۷] آزوسپریلوم، باسیلوس و آربوسکول مایکوریزا سبب افزایش جذب روی، مس، منگنز، کلسیم، منیزیم و گوگرد می‌شوند (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤). باکتری‌ها سیستم انتقال آهن III را دارند که آنها را قادر می‌کند در محیط‌های با غلظت بسیار کم آهن رشد کنند. عوامل کلات کننده آهن که به عنوان سیدروفور شناخته می‌شوند، آهن III را کلات کرده و آن را به داخل سلول هدایت می‌کنند. انواع مختلفی از سیدروفورها در جنس-های مختلف باکتری مانند باسیلوس شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته است (ویلسون و همکاران، ۲۰۰٦). ارتباط بین تولید سیدروفور با تحریک رشد گیاه و جذب آهن در گونه‌های مختلف گیاه و ریزجانداران گزارش شده است (شارما و همکاران، ۲۰۱۳). مواد آلی فرار ترکیباتی با وزن ملکولی کم مانند الکل‌ها، آلدئیدها، کتون-ها و هیدروکربن‌ها هستند که در شرایط طبیعی فشار بخار زیادی دارند که بخار شده و وارد اتمسفر می‌شوند. ابتدا این مواد به عنوان کنترل کننده زیستی برخی ریزجانداران معرفی شدند. بعدها نقش آنها در تحریک رشد گیاه گزارش شد (ریو و همکاران، ۲۰۰۳).

نقش مایه تلقیح میکروبی درمقاومت به تنش‌های غیرزنده

اخیراً مشخص شده که برخی مایه تلقیح‌های میکروبی علاوه بر تحریک رشد، سبب مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شوند. برخی گونه‌های

13 -Achromobacter spp.
14 - Flavobacterium spp.
15 -phytates (inositol hexa- and penta-phosphates)
16 - Serratia
17 - Acinetobacter spp.

باکتری مانند ریزوبیوم و آزوسپریلوم، سبب افزایش تحمل به شوری می‌شوند (باسیلیو و همکاران، ۲۰۰٤).

در تحمل به تنش خشکی، تولید ترکیبات شبه هورمونی توسط باکتری‌ها، نقش اساسی دارد. علاوه بر ایندول استیک اسید، آبسزیک اسید نیز هورمون گیاهی است که در تحمل به تنش خشکی نقش دارد. افزایش میزان این هورمون در گیاهان تلقیح شده با مایه تلقیح میکروبی دیده شده‌است. تخریب هورمون تنشی اتیلن با آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلات[18] دآمیناز سبب تحمل به تنش خشکی می‌شود (کالوو و همکاران، ۲۰۱٤).

قارچ‌های مایکوریزی آربوسکول‌دار نیز سبب تحمل به تنش خشکی می‌شوند. مکانیسم این کار شامل بهبود جذب آب، تغذیه بهتر گیاه، تغییر مورفولوژی ریشه، تغییر برخی فعالیت‌های فیزیولوژیک و آنزیمی گیاه بویژه آنهایی که در ارتباط با پاسخ به تنش‌های اکسیداتیو هستند و القا هورمون گیاهی آبسزیک اسید هستند. به علاوه، این قارچ ها سبب بهبود ساختمان خاک می‌شوند. تلقیح هم زمان قارچ‌های مایکوریزی آربوسکول‌دار و باکتری‌های محرک رشد گیاه، روشی امیدوار کننده در مقابله با تنش خشکی است که بیش از تلقیح جداگانه هر کدام از این دو ریزجاندار موثر است (ویواس و همکاران،۲۰۰۳).

گزارشاتی مبنی بر افزایش تحمل به تنش شوری در اثر استفاده از مایه تلقیح میکروبی و قارچ‌های میکوریزی وجود دارد (پورسل و همکاران، ۲۰۱۲ و کاردلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از مکانیسم‌های دخیل در این زمینه توانایی مایه تلقیح میکروبی در تولید هورمون‌های گیاهی است. تلقیح گیاهان با باکتری‌هایی که سبب افزایش تولید ACC دآمیناز می‌شوند با کاهش هورمون اتیلن، گیاه را در مقابله با تنش های گوناگون مانند غرقاب، ترکیبات سمی (معدنی و آلی)، غلظت زیاد نمک، خشکی و عوامل بیماری زا کمک می‌کنند (سلیم و همکاران، ۲۰۰۷).

سایر مواد محرک رشد

کیتوزان‌ها، فرم آستیل شده بیوپلیمرهای کیتین هستند که به صورت طبیعی و مصنوعی، تولید می‌گردند. پلی و الیگومرهای با اندازه‌های متنوع و کنترل‌شده آن در صنایع غذایی، آرایشی، دارویی و کشاورزی، استفاده می‌گردد. اثرات فیزیولوژیکی الیگومرهای کیتوزان در گیاهان، وابسته به ظرفیت پلی کاتیونی این ترکیب، برای اتصال با تعداد وسیعی از ترکیبات سلولی مثل DNA، غشای پلاسمایی و ترکیبات دیواره سلولی و دریافت کننده‌های ویژه‌ای می‌باشد که در فعال شدن ژن‌های دفاعی موثرند (کاتیار و همکاران، ۲۰۱۵). کیتین و کیتوزان از دریافت‌کننده‌های و مسیرهای علامت‌دهنده ویژه‌ای مثل تجمع پراکسید هیدروژن و تراوش Ca^{2+} به داخل سلول، استفاده می‌نمایند. چرا که این دو، بازیگران کلیدی در علامت‌دهی واکنش به تنش هستند (فرری و همکاران، ۲۰۱٤). در کشاورزی از کیتوزان‌ها، برای کنترل عوامل بیماری‌زای قارچی در گیاهان، استفاده شده است این مواد همچنین در افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی مثل خشکی، شوری و تنش سرما و نیز خصوصیات کیفی مرتبط با متابولیسم اولیه و ثانویه گیاه نیز موثرند.

شرایط موجود از لحاظ مواد محرک رشد در ایران

بر طبق آمار موجود در سازمان فائو، میزان مصرف جهانی تنظیم کننده‌های رشد در سال ۱۳۷۷، ۱٦٦۹۱ تن ماده فعال بوده که در سال ۱۳۹۲ به ٤۲۷۰۰ تن ماده فعال، یعنی بیش از ۲/۵ برابر افزایش یافته است. در سال ۱۳۹۲ در بین کشورهای آسیایی، تایلند، کره جنوبی، ژاپن و هند (از ۱۲۲۸۰ تن تا ۱۲۵۰ تن) به ترتیب بیشترین میزان مصرف این مواد را داشتند. با توجه به آمار ارائه شده از فائو (۲۰۱۸)، میزان مصرف مواد تنظیم کننده رشد در ایران نیز در چند سال اخیر، افزایش یافته است و مقدار مصرف تنظیم کننده های رشد از دو تن در سال ۱۳۷۲ به ۵۰/۵۳ تن ماده فعال در سال ۱۳۹۲، رسید (فائو، ۲۰۱۸). نتایج برخی از تحقیقات انجام

18 - 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)

گرفته در ایران طی سال‌های اخیر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه مواد محرک رشد در ایران

نوع ماده محرک رشد	محصول	نوع اثر	توضیحات	منبع
اسید آمینه و جلبک	گلرنگ	افزایش رشد رویشی و زایشی به ترتیب توسط اسید آمینه و جلبک		پوریوسف و شاهی (۱۳۹۵)
اسید هیومیک و جلبک	لوبیا	افزایش ۱۸ تا ۳۲ درصدی عملکرد	واکنش متفاوت دو رقم مورد آزمایش	حسینی (۱۳۹۵)
اسید هیومیک و کلات کلسیم	شب بو	افزایش وزن تر و خشک	افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی	هناو (۱۳۹۵)
جلبک	گوجه فرنگی	افزایش عملکرد و اجزا آن	واکنش متفاوت ارقام مورد آزمایش	شهریاری (۱۳۹۵)
اسید هیومیک، فولویک و اسید آمینه	خیار	افزایش میزان پرولین، آنتی اکسیدان، فنل و قند محلول		نجفی (۱۳۹۵)
اسید هیومیک و جلبک	ذرت	بهبود صفات مورفولوژیکی و عملکرد	تفاوت تأثیر مقدار مختلف مواد	محمدزاده و تاج بخش (۱۳۹۴)
جلبک	گندم	افزایش عملکرد و اجزا آن	افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی	غفاری زاده (۱۳۹۴)
اسید هیومیک	آفتابگردان	افزایش رشد و عملکرد بیولوژیک	موثرتر بودن محلول‌پاشی نسبت به مصرف خاکی	طالع فراهی (۱۳۹۳)
اسید هیومیک	سیب زمینی	افزایش قطر، وزن خشک و عملکرد غده	کاهش اثرات تنش خشکی	خواجه (۱۳۹۱)
اسید هیومیک، فولویک و اسید آمینه	گندم	افزایش شاخص‌های جوانه زنی و رشد گیاهچه		بهزاد (۱۳۹۰)
اسید آمینه	کلزا	افزایش چین خوردگی و ضخامت پهنای برگ	قطر بیشتر دسته جات آوندی ریشه	کشاورز (۱۳۸۹)

بررسی‌های انجام شده مربوط به چند سال اخیر در ایران نشان می‌دهد که تعداد تحقیقات در زمینه کاربرد این مواد، هم در مراکز تحقیقاتی و هم مراکز دانشگاهی، افزایش یافته است. با توجه به بررسی منابع انجام شده، خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه بیشتر مورد توجه بوده و در تعداد اندکی خصوصیات فیزیولوژیکی، اندازه-گیری شده است. به ندرت تحقیقی در ایران، مکانیسم عمل این مواد را بررسی نموده است. ولی تنوع زیادی در زمینه محصولات زراعی و باغی، گیاهان دارویی، همراه با کاربرد انواعی از اسیدهای هیومیک، فولویک، اسید آمینه و عصاره جلبک دریایی و نیز تیمار ترکیبی این مواد مشاهده می‌گردد. توجه به تنش‌های خشکی و شوری از مواردی است که مدنظر محققان بوده است. همانند تحقیقات انجام شده در سایر کشورها، در ایران نیز بررسی تأثیر مواد محرک رشد در شرایط گلخانه و کنترل شده، بیشتر می-باشد. تاکنون جمع‌بندی جامعی در خصوص اثربخشی این مواد در کشور انجام نشده است. رفیعی و همکاران (۲۰۱۶) اثر مواد محرک رشد را بر گیاهان دارویی جمع-بندی نمودند و نشان دادند که هر گیاه دارویی به روش مختلفی (بر اساس ترکیب شیمیایی و محتویات، زمان و مقدار کاربرد) به مواد محرک رشد، واکنش نشان می‌دهد. درجمع‌بندی مرادی (۱۳۹۵) بیشتر به جنبه‌های تجاری این مواد پرداخته شده است. خسروی (۱۳۹۲) تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از مایه تلقیح میکروبی و چالش‌ها و فرصت‌های موجود در این زمینه در ایران را مورد بررسی قرار داد.

ریسک استفاده از مواد محرک رشد

به نظر می‌آید با توجه به اینکه این مواد دارای منبع طبیعی بوده، فاقد ریسک برای محیط زیست و گیاه هستند (دروبک و همکاران، ۲۰۱۹)، اما ارزیابی آنها از نظر ایجاد آلودگی زیست محیطی و خطر آنها برای سلامت انسان و جانوران نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

پیشنهادات ترویجی

موارد بیان شده در این مقاله نشان می‌دهد که مواد محرک رشد گیاهی می‌توانند سبب بهبود تولید محصول و پایداری آن از طریق افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از آلودگی زیست محیطی شده و همزمان باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش-های غیر زنده و افزایش کیفیت درونی و بیرونی محصول تولیدی گردند. در بسیاری از تحقیقات انجام شده در گذشته به تأثیر این مواد بر رشد گیاهان اشاره شده است، اما در مقالات جدید مکانیسم تاثیر این مواد نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ریسک استفاده از این مواد در ایجاد آلودگی زیست محیطی و ایجاد خطر برای سلامت انسان و جانوران نیاز به بررسی بیشتر دارد.

اسیدهای هیومیک و فولویک می‌توانند با عناصر غذایی خاک تعامل نمایند و باعث ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیکی در گیاهان گردند که منجر به افزایش رشد گیاه و در مواردی باعث بهبود مواجهه با تنش محیطی، می‌گردند. با توجه به گزارش‌های ارائه شده، کاربرد مواد هیومیکی در حال افزایش است.

عصاره جلبک دریایی که حاوی ترکیب پیچیده-ای از پلی‌ساکاریدها، عناصر غذایی کم‌مصرف، هورمون-های گیاهی است سبب تحریک رشد گیاه و مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود. روش‌های علمی جدید سر نخ‌هایی را در زمینه بیان ژن، روش‌های بیوشیمیایی و فرآیندهای فیزیولوژیکی ارائه می‌کند. درک بهتر مکانیسم تأثیر این عصاره‌ها در بهینه کردن استفاده از این ترکیبات در مدیریت پایدار کشاورزی مفید خواهد بود.

اگرچه برخی نگرانی‌ها در خصوص ایمنی کاربرد هیدرولیزهای ضایعات حیوانی وجود دارد ولی گزارش‌های جدید نشان می‌دهد که هیدرولیزهای آنزیمی و شیمیایی این مواد، دارای اثر سمی یا سمی ژنی بر میکروب‌های خاک و مخمرها نمی‌باشند و برای استفاده در سیستم‌های کشاورزی مرسوم و آلی ایمن هستند. در خصوص ایمنی استفاده از هیدرولیزهای پروتئینی بدست آمده از ضایعات حیوانی، در چرخه غذایی اطمینان وجود ندارد، به همین دلیل اتحادیه اروپا کاربرد این نوع هیدرولیزهای پروتئینی را در قسمت‌های خوراکی محصولات ارگانیک، ممنوع نموده است.

در مجموع مایه تلقیح میکروبی به دلیل توانایی آنها در کشاورزی و حل برخی مشکلات محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر تمرکز بر افزایش جذب عناصر غذایی با استفاده از مایه تلقیح میکروبی در مدیریت تلفیقی کشاورزی است. با توجه به تغییر اقلیم در سال‌های اخیر و وارد شدن انواع تنش‌ها به محصولات زراعی و باغی، مواد محرک رشد گیاهی می‌توانند گیاهان را در مواجه با این تنش‌ها یاری نمایند. باید درنظر داشت که اثر مواد محرک رشد از یک گونه به گونه دیگر گیاهی و حتی از یک رقم به رقم دیگر متفاوت خواهد بود، چرا که تأثیر این مواد منوط به ورود آنها به درون گیاه است. قسمت‌های سطحی برگ و اندام‌های گیاهی درگونه‌ها و ارقام گیاهی متفاوت بوده و به نحو متفاوتی از لحاظ اجازه ورود به مواد، عمل می‌نمایند. اثربخشی این مواد همچنین می‌تواند تحت تأثیر محیط رشد گیاه، قرار گیرد. لذا نحوه کاربرد کشاورزی و باغبانی مواد محرک رشد نیاز به تحقیق و تجربه کاربردی دارد.

فهرست منابع

١. بهزاد ،م.، م. پارسا ، ح. ر. احیایی و ر. ی. بیوکی. ١٣٩٠. بررسی شاخص‌های جوانه زنی و رشد گیاهچه‌های ارقام مختلف بذور گندم تیمار شده با هیومیک، فولویک و سالسیلیک اسید. دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر ، مشهد، ایران.

٢. پوریوسف میاندوآب، م. و م. شاهی. ١٣٩٥. 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، شماره سی و دوم، ٢٥-٤٣.

٣. حسینی، س.ع. ١٣٩٥. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و مصرف اسید هیومیک بر رشد و عملکرد دو رقم لوبیا (Phasaeolous vulgaris) . پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

٤. خسروی، ه. ١٣٩٢. کودهای زیستی محرک رشد گیاه در ایران: نقاط قوت و ضعف. مدیریت اراضی.٤٦-٣٣ : ١(١)

٥. خواجه، ع. ١٣٩١. اثر متقابل تنش خشکی و کاربرد اسید هیومیک بر رشد و عملکرد سیب زمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران.

٦. شهریاری فخرآباد، م .١٣٩٥. بررسی اثر محلول پاشی زیست محرک رشد عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) روی برخی خصوصیات کمی و کیفی سه رقم گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicon Mill*) . پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

٧. طالع فراهی، ف. ١٣٩٣. بررسی اسید هیومیک استخراج شده از لجن، بیوچار و کود حیوانی بر عملکرد گیاه آفتابگردان کشت شده در خاک آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

٨. غفاری زاده، آ. ١٣٩٤. تأثیر عصاره جلبک قهوه‌ای *Nizamuddinia zanardinii* بر شاخص‌های رشد، بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گندم رقم چمران ٢. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز ، دانشکده علوم پایه، اهواز، ایران.

٩. غیبی، م. ن. ١٣٩٧. اصول کاربردی تغذیه گیاه. نشر توانگران. تهران، ایران. ٦٢ ص.

١٠. کشاورز، ح. ١٣٨٩. پاسخ فیزیولوژیک و آناتومیک دو رقم کلزا (حساس و مقاوم به سرما) به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، فیزیولوژی گیاهی، تهران، ایران.

١١. محمدزاده، س. و م. تاج بخش. ١٣٩٤. اثر پرایمینگ و محلولپاشی بر خصوصیات رشد و عملکرد کمی و کیفی ذرت (*Zea mays* L.)، پژوهش در گیاهان زراعی، جلد ٣ شماره٢، ٨٧-٧٦.

١٢. مرادی، ف. ١٣٩٥. تنظیم کننده‌های گیاهی در گذشته، حال و آینده. نشریه علمی ترویجی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، جلد ٥، شماره ٢، صفحه ٩٥-٧١.

١٣. نجفی ، م. ١٣٩٥. بررسی اثر اسید هیومیک واسید فولویک و اسیدآمینه به صورت کودآبیاری برروی صفات کمی وکیفی خیار سوپر دامینوس تحت تنش خشکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مشهد، ایران.

١٤. هناو، ز. ١٣٩٥. تأثیر کلات کلسیم و اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی شب بو (*Matthiola incana*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، علوم باغبانی، ارومیه، ایران.

15. Alam, M. Z., G. Braun, J. Norrie, D. M. Hodges .2013. Effect of Ascophyllum extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. Canadian. Journal of Plant Science. 93:23–36
16. Aminifard, M. H., H. Aroiee, H. Nemati, M. Azizi, and H. Z. E . Jaafar. 2012. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. African Journal of Biotechnology. 68: 13179-13185.
17. Arancon, N.Q., S. Lee, C.A. Edwards, and R. Atiyeh. 2003. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermi-composts on growth of greenhouse plants: the 7th international symposium on earthworm ecology·. Pedobiologia 47: 741-744.
18. Asli, S., and P.M. Neumann. 2010. Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. Plant and Soil 336:313–322.
19. Bacilio, M., h. Rodriguez, M. Moreno, J. P. Hernandez, and Y. Bashan. 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp-tagged *Azospirillum lipoferum*. Biology and Fertility of Soils 40:188–193
20. Berbara, R.L.L., and A.C. García. 2014. Humic substances and plant defense metabolism. pp 297–319. In: P. Ahmad, and M.R. Wani (eds) Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: volume 1. Springer Science + Business Media, New York.
21. Bocanegra, M.P., J.C. Lobartini, and G.A. Orioli. 2006. Plant uptake of iron chelated by humic acids of different molecular weights. Communications in Soil Science and Plant Analysis 37: 239-248.
22. Brown, P. and S. Saa. 2015. Biostimulants in agriculture. Frontiers in plant science 6:1-3.
23. Bulgari, R., G. Cocetta, A. Trivellini, P. Vernieri, and A. Ferrante. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. Biological Agriculture & Horticulture, 31: 1-17.
24. Calvo, P., L. Nelson, and J. W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and soil, 383(1-2): 3-41.
25. Canellas, L.P., R. Spaccini, A. Piccolo, L.B. Dobbss, A.L. Okorokova-Façanha, G. Araújo Santos, F.L. Olivares, and A.R. Façanha. 2009. Relationships between chemical characteristics and root growth promotion of humic acids isolated from Brazilian oxisols. Soil Science, 174:611-620.
26. Carletti, P., A. Masi, B. Spolaore, P.P. De Laureto, M. De Zorzi, L. Turetta, M. Ferretti, and S. Nardi. 2008. Protein expression changes in maize roots in response to humic substances. Journal of chemical ecology 34:804–818.
27. Chen, Y., C.E. Clapp, and H. Magen. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role of organo-iron complexes. Soil Science and Plant Nutrition 50:1089–1095.
28. Colla, G., Y. Rouphael, R. Canaguier, E. Svecova, M. Cardarelli. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. Frontiers in Plant Science 5: 1–6.
29. Craigie, J.S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. Journal of Appllied Phycology. 23, 371–393.
30. Craigie, J.S., S. L. MacKinnon, J. A. Walter. 2008. Liquid seaweed extracts identified using 1H NMR profiles. Journal of Appllied Phycology. 20: 665–671.
31. Drobek, M., M. Frąc and J. Cybulska. 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(6): 335- 352.
32. Du Jardin, P., 2012. The Science of Plant Biostimulants—A bibliographic analysis. Ad hoc Study Report to the European Commission DG ENTR. 2012; http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final report bio 2012en.pdf.

33. Du Jardin, P., 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae 196:3-14.
34. Dunstone, R.L., R.A. Richards, H.M. Rawson. 1988. Variable responses of stomatal conductance, growth, and yield to fulvic acid applications to wheat. Australian Journal of Agricultural Research 39:547–553.
35. Ertani, A., L. Cavani, D. Pizzeghello, E. Brandellero, A. Altissimo, C. Ciavatta, and S. Nardi. 2009. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. Journal of plant nutrition and soil science 172:237-244.
36. Ertani, A., D. Pizzeghelio, A. Altissimo, and S. Nardi .2013a. Use of meathydrolyzate derived from tanning residues as plant biostimulant for hydroponically grown maize. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 176:287–296.
37. Ertani, A., M. Schiavon, A. Muscolo, and S. Nardi. 2013b. Alfalfa plant derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. Plant and Soil 364:145–158.
38. Esteves da Silva, J.C.G., A.A.S.C. Machado, and C.J.S. Oliveira. 1998. Effect of pH on complexation of Fe (III) with fulvic acids. Environmental Toxicology and Chemistry 17:1268–1273.
39. Fagbenro, J.A. and A.A. Agboola. 1993. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. Journal of Plant Nutrition 16:1465-1483.
40. Fan, D., D. M. Hodges, A. T. Critchley, B. Prithiviraj. 2013. A commercial extract of Brown Macroagla (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. Communication in Soil Science Plant Analaysis. 44:1873–1884
41. Ferri, M., M. Franceschetti, M.J. Naldrett, G. Saalbach, A. Tassoni. 2014. Effects of chitosan on the protein profile of grape cell culture sub cellular fractions. Electrophoresis 35:1685–1692.
42. Food and Agricultural Organization. 2006. Yearbook of fishery statistics. Rome: Food and Agricultural Organization of United Nations.
43. Food and Agricultural Organization. 2018. Plant growth regulators (item). FAO statistics. http://www.fao.org/faostat/en/?#search/Plant-Growth%20Regulator.
44. Forde, B.G., and P.J. Lea. 2007. Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signaling. Journal of Experimental Botany 58:2339–2358.
45. Gajc-Wolska, J., K. Kowalczyk, M. Nowecka, K. Mazur, A. Metera .2012. Effect of organic mineral fertilizers on the yield and quality of Endive (*Cichorium endivia* L.). Acta Scientiarum Polonorum 11:189–200.
46. García, A.C., R.L.L. Berbara, L.P. Farías, F.G. Izquierdo, O.L. Hernández, R.H. Campos, and R.N. Castro. 2012. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. African Journal of Biotechnology 11:3125-3134.
47. Garnett, T., M. C. Appleby, A. Balmford, I. J. Bateman, T. G. Benton, P. Bloomer, B. Burlingame, M. Dawkins, L. Dolan, D. Fraser, M. Herrero, I. Hoffmann, P. Smith, P. K. Thornton, C. Toulmin, S. J. Vermeulen, H. C. J. Godfray. 2013. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. Science. 341, 33–34.
48. González A., J. Castro, J. Vera, A. Moenne. 2013. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. Journal of Plant Growth Regulations. 32:443–448
49. Grabowska, A., E. Kunicki, A. Sekara, A. Kalisz, and R. Wojciechowska. 2012. The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. Vegetable Crops Research Bulletin 77:37–48.
50. Guinan, K.J., N. Sujeeth, R. B. Copeland, P.W. Jones, N.M. O'Brien, H.S. S. Sharma, P. F. G. Prouteau, and J. T. O'Sullivan. 2013. Discrete roles for extracts of Ascophyllum nodosum in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stresses. Acta Hortic. 1009:127–136.

51. Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L. J. Parekh, and P. S. Poole. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant and Soil 245:83–93.
52. Halpern, M., A. Bar-Tal, M. Ofek, D. Minz, T. Muller, U. Yermiyahu. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. pp. 141–174, Vol. 129. In: D.L. Sparks, (Ed.), Advances in Agronomy.
53. Heckman, J. R. 1994. Effect of an organic bio-stimulant on cabbage yield. J Home Consum Hortic.1:11–113.
54. Hayat, R., S. Ali, U. Amara, R Khalid, and I. Ahmed .2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. Annals of Microbiology. 60:579–598
55. Jannin, L., M. Arkoun, P. Etienne. 2013. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. Journal of Plant Growth Regulations. 32:31–52.
56. Jindo, K., S.A. Martim, E.C. Navarro, N.O. Aguiar, and L.P. Canellas. 2012. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. Plant and Soil 353:209–220.
57. Karlidag H, M. Turan, M. Pehluvan, and F. Donmez .2013. Plant growth-promoting rhizobacteria mitigate deleterious effects of salt stress on strawberry plants (Fragaria×ananassa). Horticultural Science 48:563–567
58. Katiyar, D., A. Hemantaranjan, and B. Singh. 2015. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. Indian Journal of Plant Physiology 20: 1–9.
59. Khan, W., U. P. Rayirath, S. Subramanian, M. N. Jithesh, P. Rayorath, D. M. Hodges, A. T. Critchley, J. S. Craigie, J. Norrie, B. Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts asbiostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulations. 28,386–399.
60. Khan W., D. Hiltz, A. T. Critchley, B. Prithiviraj. 2011. Bioassay to detect Ascophyllum nodosum extract-induced cytokinin-like activity in Arabidopsis thaliana. Journal of Appllied Phycology. 23:409–414
61. Kunicki, E., A. Grabowska, A. Sękara, and R. Wojciechowska .2010. The effect of cultivar type, time of cultivation, and bio stimulant treatment on the yield of spinach (*Spinacia oleracea* L). Folia Horticulturae 22:9–13.
62. Lea, P.J., L. Sodek, M.A.J. Parry, P.R. Shewry, and N.G. Halford .2006. Asparagine in plants. Annals of Applied Biology 150:1–26.
63. Liang, X.W., L. Zhang, S.K. Natarajan, D.F. Beckker .2013. Proline mechanisms of stress survival. Antioxid Redox Signaling 19:998–1011.
64. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.
65. Miller, A.J., X. Fan, Q. Shen, and S.J. Smith .2007. Amino acids and nitrate as signals for the regulation of nitrogen acquisition. Journal of Experimental Botany 59:11–119.
66. Mohamed, W.H. 2012. Effects of humic acid and calcium forms on dry weight and nutrient uptake of maize plant under saline condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 6:597–604.
67. Morales-Payan, J.P., and W.M. Stall .2003. Papaya (*Carica papaya*) response to foliar treatments with organic complexes of peptides and amino acids. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 116:30–32.
68. Nardi, S., p. Carletti, D. Pizzeghello, A. Muscolo. 2009. Biological activities of humic substances. In: Senesi N, Xing B, Huang PM, editors. Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems. Vol 2. Hoboken, NJ: Wiley; p. 305–340.
69. Nardi, S., D. Pizzeghello, M. Schiavon, and A. Ertani. 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. Scientia Agricola 73: 8-23.

70. Nikbakht, A., M. Kafi, M. Babalar, Y.P. Xia, A. Luo, and N.A. Etemadi. 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. Journal of Plant Nutrition 31:2155-2167.
71. Pandeya, S.B., A.K. Singh, and P. Dhar .1998. Influence of fulvic acid on transport of iron in soils and uptake by paddy seedlings. Plant and Soil 198:117–125.
72. Parrado, J., J. Bautista, E.F. Romero, A.M. García-Martínez, V. Friaza, and M. Tejada. 2008. Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. Bioresource Technology 99: 2312-2318.
73. Peng, A., Y. Xu, and Z.J. Wang .2001. The effect of fulvic acid on the dose effect of selenite on the growth of wheat. Biological Trace Element Research 83:275–279.
74. Piccolo, A., and M. Spiteller .2003. Electro spray ionization mass spectrometry of terrestrial humic substances and their size fractions. Analytical and Bioanalytical Chemistry 377:1047–1059.
75. Porcel, R., R. Aroca, and J. M. Ruiz-Lozano. 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. Agronomy for Sustainable Development. 32:181–200
76. Rafiee, H., H. Naghdi Badi, A. Mehrafarin, A. Qaderi, N. Zarinpanjeh, A. Sekara, and E. Zand. 2016. Application of plant biostimulants as new approach to improve the biological responses of medicinal plants-A critical review. Journal of Medicinal Plants. 59 (3): 6-39.
77. Rose, M.T., A.F. Patti, K.R. Little, A.L. Brown, W.R. Jackson, and T.R. Cavagnaro. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. Vol. 124, pp. 37–89. In: D.S. Sparks, (Ed.), Advances in Agronomy.
78. Rodriguez, H., and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances. 17:319–339.
79. Ryu, C. M, M. A. Farag, C. H. Hu et al .2003. Bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis. Proceedings of the National Academy of Sciences. 100:4927–4932.
80. Saleem, M., M. Arshad, S. Hussain, and A. Bhatti. 2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. Journal of industrial microbiology and biotechnology. 34:635–648.
81. Schiavon M, A. Ertani, S. Nardi. 2008. Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in *Zea mays* L. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56:11800–11808.
82. Sharma, S.S., K. J. Dietz .2006. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. Journal of Experimental Botany 57:711–726
83. Sharma, S. H. S., G. Lyons, C. Mc Roberts, D. Mc Call, E. Carmichael, F. Andrews, R. Swan, R. McCormack, and R. Mellon. 2012. Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigno mungo* L.) and pak choi (*Brassica Rapa* chinensis L.). Journal of Applied Phycology. 24:1081–1091.
84. Sharma, A., D. Shankhdar, S. C. Shankhdhar .2013. Enhancing grain iron content of rice by the application of plant growth promoting rhizobacteria. Plant and Soil Environment. 59:89–94
85. Suzuki, N., S. Koussevitzky, R. Mittler, and G. Miller .2012. ROS and redox signaling in the response of plants to abiotic stress. Plant, Cell & Environment 35:259–270.
86. Sytar, O., A. Kumar, D. Latowski, P. Kuczynska, K. Strzałka, and M.N.V. Prasad. 2013. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. Acta Physiologiae Plantarum 35:985-999.
87. Trevisan, S., O. Francioso, S. Quaggiotti, and S. Nardi. 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. Plant Signaling Behavior 5:635–643.

88. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255:571–586.
89. Vivas, A., A. Marulanda, J. Ruiz-Lozano, J. Barea, and R. Azcón. 2003. Influence of a Bacillus sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG induced drought stress. Mycorrhiza 13:249–256.
90. Vranova, V., K. Rejsek, K.R. Skene, and P. Formanck .2011. Non-protein amino acids: plant, soil and eco system interactions. Plant and Soil 342:31–48.
91. Wally, O. S. D., A. T. Critchley, D. Hiltz, J. S. Craigie, X. Han, L. I. Zaharia, S. R. Abrams, B. Prithiviraj. 2013. Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in Arabidopsis Following treatment with commercial extract from the marine macro alga ascophyllum nodosum. Journal of Plant Growth Regulation. 32,324–339.
92. Wu, C.C., P. Singh, M.C. Chen, L. Zimmerli .2010. L-Glutamine inhibits beta-amino butyric acid-induced stress resistance and priming in Arabidopsis. Journal of experimental botany 61:995–1002.
93. Xudan, X. 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and yield in wheat. Australian Journal of Agricultural Research 37:343–350.
94. Zodape, S.T., A. Gupta, S. C. Bhandari. 2011. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Sci. Ind. Res. 70:215–219.

Biostimulants and their Roles in Plant Physiology, Nutrient Absorption, and Tolerance to Abiotic Stresses

S. A. Ghaffari Nejad [1], F. Nourghooli Pour and M. N. Gheibi

Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, AREEO Tehran, Iran.
Ma_ghaffari51@yahoo.com
Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, AREEO Tehran, Iran.
Nourfg@yahoo.com
Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, AREEO Tehran, Iran.
mngheibi@yahoo.com

Received: September 2018, Accepted: July 2019

Abstract

Improved product quality, sustainable cultivation systems, and reduced production costs are among the objectives of modern agriculture despite the global and local climate changes that have faced crops with a variety of stresses. Biostimulants seem to be capable of helping plants in their struggle against these stresses toward the goals of modern agriculture. These compounds include humic substances, seaweed extracts, amino acids, microbial inoculants, and minerals such as useful elements and inorganic salts including phosphates and antiperspirants. While application of biostimulants has witnessed a dramatic increase in the world and in Iran over the past few years, it must be noticed that they might have different effects on different species and even on different varieties of a given plant species. Their application for agricultural and horticultural purposes must, therefore, be duly modified in accordance with local and regional research findings. It is the objective of this paper to provide a better understanding of plant biostimulants based on scientific findings and practical experience in agriculture and horticulture. It will be shown that plant biostimulants are capable of improving crop production, enhancing plant resistance to abiotic stresses, and elevating crop quality. Future research in this area should aim at the determination of the mechanism(s) underlying the activities of such materials since a better understanding of their activities and effects will be necessary for achieving sustainable agricultural production systems.

Keywords: Biostimulants, Efficiency, Nutrient absorption, Plant physiology, Stress

[1]- Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran