Archive of SID

3rd International Conference On Modern Research in AGRICULTURAL SCIENCE AND ENVIRONMENT
سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در علوم کشاورزی و محیط زیست
15 December 2016 Singapore
۲۵ آذر ۱۳۹۵ سنگاپور

مروری بر کاربرد محرک‌های زیستی با منشا هیومیکی در کشاورزی مدرن و پایدار

احسان سرلکی*
دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه فن‌آوری کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
(e.sarlaki685@ut.ac.ir)

علی شریف پاقلعه
عضو هیئت علمی گروه فن‌آوری صنایع غذایی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران
(alisharif@ut.ac.ir)

امید نیکوصفت
انیستیتو آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
(nikousefat.omid@gmail.com)

سعید نوروزی
دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
(Saeed.Norouzi@ut.ac.ir)

چکیده

امروزه، استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی مدرن خیلی کارآمد نیستند و مصرف بیش‌از حد کودهای شیمیایی، در محیط‌زیست رها شده که باعث آلودگی می‌شوند. یک راه برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی بدون تغییر در نیاز عناصر غذایی گیاهان، افزایش بهره‌وری عناصر غذایی گیاهان از طریق استفاده از محرک‌های زیستی است. محرک‌های زیستی که گاهی در قالب کودهای زیستی یا پستیسایدهای زیستی قرار می‌گیرند، موادی به‌غیر از عناصر غذایی و پستیسایدها هستند که وقتی به گیاهان، دانه‌ها و یا در مراحل رشد گیاه در فرمولاسیون‌های مشخص اعمال می‌شوند، توانایی بالقوه‌ای برای اصلاح فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان در یک روشی که فواید بالقوه‌ای برای توسعه و رشد گیاهان و یا در پاسخ به تنش‌های آبی و یا غیرآبی دارند، فراهم می‌کنند. این تعریف شامل انواع مختلفی از محرک‌های زیستی ازجمله: مواد هیومیکی، استخراج‌های دریایی (جلبک و خزه‌های دریایی)، آمینو اسیدها و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPB) می‌شوند. در این تحقیق، ما بروی کاربرد و اثرات مثبت محرک‌های زیستی با منشا هیومیکی، بروی بهره‌وری عناصر غذایی گیاه متمرکز می‌شویم و مکانیسم‌های اساسی که شامل تغییرات مثبت در ساختار خاک یا در حلالیت عناصر غذایی، مورفولوژی ریشه و فیزیولوژی گیاه هستند، مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

واژگان کلیدی: محرک‌های زیستی، مواد هیومیکی، بهره‌وری عناصر غذایی، کشاورزی پایدار.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

استفاده از کودهای شیمیایی یک روش ساده، موثر و ارزان برای تامین گیاه به عناصر غذایی معدنی‌شان است (Chen, 2006). بهرحال، کودهای شیمیایی اغلب در خاک‌ها در شرایط runoff، شستشو شده (Daverede et al., 2004; Moe et al., 1967) و یا برای گیاهان از طریق تجزیه‌های شیمیایی، فیزیکی و یا بیولوژیکی غیرقابل دسترس می‌شوند (Sanchez et al., 2001; Schachtman et al., 1998). برای جبران چنین فرآیندهایی، کشاورزان نیاز به مصرف کودهای شیمیایی، بیش‌تر از آنچه گیاهان نیاز دارند هستند و اضافه‌های آن‌ها اغلب به محیط‌زیست رهاشده که باعث آلودگی هوا و آب می‌شوند (Vance, 2001). از این گذشته، تولیدات صنعتی کودهای شیمیایی یک فرآیند هزینه‌بر مصرف انرژی هستند که به‌طور معنی‌داری انتشار کربن دی‌اکسید جهانی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Vance, 2001). کودهای ارگانیک، مانند کمپوست، لجن و یا کود حیوانی، فوایدی را در بهره‌وری عناصر غذایی دارند که در اکثر اکوسیستم‌های کشاورزی موجود هستند و ورودی خیلی کمی از انرژی را برای تولید نیاز دارند. به‌علاوه، عناصر غذایی معدنی وقتی‌که به مواد ارگانیک متصل می‌شوند، ممکن است پایدارتر گردند و بنابراین ممکن است که خیلی دیرتر در اتمسفر شسته و یا رها شوند (Estavillo et al., 1994; King and Torbert, 2007). یک روش برای غلبه بر این مشکلات، کشت گیاهان با سیستم ریشه قوی و راندمان بالا بهره‌وری عناصر غذایی است که مطمئن می‌سازد که آن‌ها عناصر غذایی را دریافت می‌کنند. روش دوم اینکه عناصر غذایی می‌توانند بیش‌تر در دسترس انواع محرک‌ها از ارگانیسم‌های موجود در جمعیت میکروبی خاک باشند (Vessey, 2003). هردوی این روش‌ها، می‌توانند با بکارگیری محرک-های زیستی[1]برای برگ‌های گیاه، دانه‌ها و یا خاک به‌عنوان یک محرک رشد ریشه (Canellas et al., 2002; Khan et al., 2009; Zandonadi et al., 2007)، بهبود بهره‌وری ریشه (Pinton et al., 1999a) و بهبود جمعیت میکروبی (Chen, 2006; Vessey, 2003) محقق شوند.

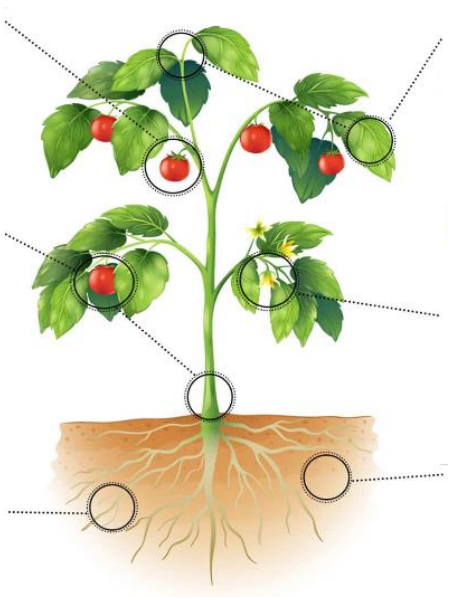
عنوان محرک‌های زیستی نسبتا جدید است و در جامعه علمی هنوز بخوبی روشن و مشخص نشده‌اند (du Jardin, 2012). یک تعریف استاندارد کلی توسط du Jardin برای محرک‌های زیستی وجود دارد که بیان می‌کند: محرک‌های زیستی گیاهی، موادی به‌غیر از عناصر غذایی یا پستیسایدها[2]هستند که وقتی به گیاهان، دانه‌ها و یا در مراحل رشد گیاه در فرمولاسیون‌های مشخص اعمال می‌شوند، توانایی بالقوه‌ای برای اصلاح فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان به‌طوریکه که فواید بالقوه‌ای برای توسعه و رشد گیاهان و یا در پاسخ به تنش‌های آبی و یا غیرآبی دارند، فراهم می‌کنند (du Jardin, 2012). دیگر محققان تفاوتی بین محرک‌های زیستی، کودهای زیستی و پستیسایدهای زیستی[3]را توسط اثرات مستقیم هورمونی‌شان (محرک‌های زیستی) (Subler et al., 1998)، اثرات غیرمستقیم بروی دسترسی عناصر غذایی (کودهای زیستی) (Orhan et al., 2006) و افزایش کنترل پاتوژن‌ها و یا آفت‌ها[4](پستیسایدهای زیستی) (Copping and Menn, 2000) تمایز ایجاد می‌کنند. چهار گروه مهم از محرک‌های زیستی موثر بر رشد ریشه و بهره‌وری عناصر غذایی عبارتنداز: (۱) مواد هیومیکی[5](HS)، (۲) آب‌کافت‌های پروتئینی و فرمولاسیون‌های آمینو اسید[6](AA)، (۳) استخراج‌های دریایی[7](SE) و باکتری‌های محرک رشد گیاه[8](PGPB). محرک‌های زیستی گیاهی اثرات سودمندی بروی رشد گیاهان، کمیت و کیفیت محصولات گیاهان و درختان مختلف (Paradikovic et al., 2011, 2013; Bulgari et al, 2015; Sea et al, 2015) دارند. فعالیت‌ها و اثرات ویژه محرک‌های زیستی گیاهی شامل افزایش رشد ریشه و ساقه، تلرانس و مقاومت گیاهان به تنش‌های آبیوتیک، بهره‌وری و دسترسی بیش‌تر آب و کاهش شوک انتقال گیاهی هستند (Povero et al, 2016).

[1] biostimulants
[2] pesticides
[3] biostimulants, biofertilizers, and biopesticides
[4] pathogens or pests
[5] Humic Substances
[6] Protein Hydrolysate and Amino Acid Formulations
[7] Seaweed Extract
[8] Plant- Growth-Promoting Bacteria

www.SID.ir

Archive of SID

محرک‌های زیستی همچنین می‌توانند استفاده از کودها و محلول‌های غذایی گیاهان را در سامانه‌های هیدروپونیک کاهش دهند (Varnieri et al, 2006). خلاصه‌ای از اثرات سودمند محرک‌های زیستی گیاهی در شکل۱ گزارش شده است (Povero et al, 2016).



شکل۱- مهم‌ترین اثرات و عمل‌های فیزیولوژیکی در گیاه تحت تاثیر محرک‌های زیستی گیاهی (Povero et al, 2016)

از آنجایی‌که مکانیسم‌های مختلف زیادی برای واکنش‌های مثبت گیاهان به مواد مختلف پیشنهاد شده است، بنابراین ما تعاریف گسترده‌تری را برای محرک‌های زیستی برمی‌گزینیم که توسط du Jardin (2012) ارائه شده‌اند. اگرچه این تعاریف موادی را که در غلبه گیاه به تنش‌های آبی و غیرآبی[1] کمک می‌کند را شامل می‌شوند، در این تحقیق، ما فقط محرک‌های زیستی را درنظر می‌گیریم که اثرات مثبتی بروی رشد ریشه، عملکرد ریشه یا بهره‌وری عناصر غذایی دارند. در این تحقیق، ما بروی کاربرد و اثرات مثبت محرک‌های زیستی با منشا هیومیکی بروی بهره‌وری عناصر غذایی گیاه متمرکز می‌شویم و مکانیسم‌های اساسی که شامل تغییرات مثبت در ساختار خاک یا در حلالیت عناصر غذایی، مورفولوژی ریشه و فیزیولوژی گیاه هستند و در اثر تحریک مواد هیومیکی پاسخ داده می‌شوند، مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

مواد هیومیکی

معرفی مواد هیومیکی

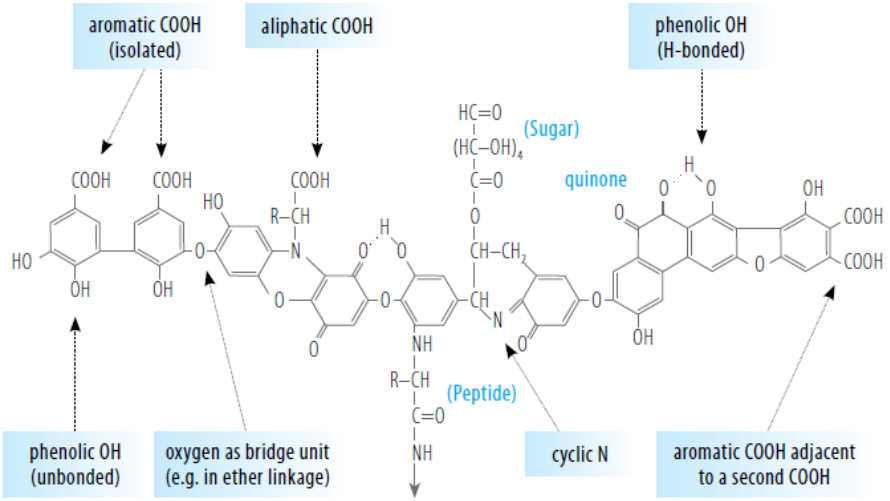
مواد هیومیکی مولکول‌های ارگانیک ناهمگنی هستند که در خاک به‌عنوان محصول فرعی متابولیسم میکروبی مواد ارگانیک مرده تشکیل و سنتز می‌شوند (Nardi et al.,2007). مواد هیومیکی یکی از بیش‌ترین مواد ارگانیک رایج بروی کره زمین (Sutton and Sposito, 2005) هستند که ۶۰ درصد مواد ارگانیک از خاک‌های جهان را تشکیل داده‌اند (Muscolo et al., 2007). در گذشته، گمان می‌شد که مواد هیومیکی پلیمرهای اتصال‌یافته بزرگ از مولکول‌های ارگانیک بودند. بهرحال، این نکته پذیرفته شده است که مواد هیومیکی از تعداد بیشماری از مولکول‌های ارگانیک کوچکتر تشکیل شده‌اند که در کنار یکدیگر توسط واکنش‌های آبگریز و پیوندهای هیدروژنی نگه‌داشته شده‌اند (شکل۲) (Piccolo, 2002; Simpson et al., 2002; Nardi et al., 2000; Varanini et al., 200 Sutton and Sposito). مواد هیومیکی می‌توانند از منابع مختلف زیادی شامل خاک‌ها

[1] biotic or abiotic stresses

www.SID.ir

Archive of SID

al., 1993; Zandonadi et al., 2007)، پسماندهای شهری (Ayuso et al., 1996)، کمپوست و ورمی‌کمپوست‌ها (Canellas et al., 2002; Russell et al., 2006)، انواع ذخایر معدنی و زغال‌سنگ‌ها (Kulikova and Perminova, 2002)، پیت (Ayuso et al., 1996; Schmidt et al., 2007) و لئوناردیت (Nikbakht et al., 2008) استخراج شوند. مواد هیومیکی به روش‌های زیادی از جمله: روش اسپری برگ‌پاشی (Katkat et al., 2009; Yildirim, 2007)، همراه با آب آبیاری (Salman et al., 2005) و روش مستقیم افزودن به خاک (Katkat et al., 2009) می‌توانند به گیاهان اعمال شوند.



شکل۲-ساختار بیوپلیمری مواد هیومیکی (Muscolo et al, 2007)

خصوصیات مواد هیومیکی

مواد هیومیکی اغلب به اجزای مختلفی براساس وزن مولکولی‌شان تقسیم‌بندی می‌شوند (Nardi et al., 2007; Quaggiotti et al., 2004; Russell et al., 2006; Varanini et al., 1993). اجزای با وزن مولکولی پایین‌تر تمایل دارند که اثرات بیولوژیکی موثرتری بروی گیاهان بگذارند (Piccolo et al., 1992; Varanini et al., 1993) درحالیکه فقط این مورد نبوده است (Muscolo et al., 2007; Nardi et al., 2007). بنابراین، وزن مولکولی حقیقی آن‌ها به‌آسانی قابل مشخص‌شدن نیست زیرا مواد هیومیکی مشخص شده است که از تعدادی مولکول‌های با اندازه‌های مختلف تشکیل شده‌اند که با یکدیگر در یک مقیاس ابرمولکولی نگه‌داشته شده‌اند (Piccolo, 2002; Simpson et al., 2002; Sutton and Sposito, 2005). روش‌های مختلفی برای بررسی خصوصیت‌سنجی مواد هیومیکی بکارگرفته شده‌اند ازجمله: سه نوع طیف‌سنجی DRIFT[1]، ^{1}H-NMR[2] (Muscolo et al, 2007) و ^{13}C-NMR (Canellas et al., 2010). در مطالعات اخیر، ساختار شیمیایی مواد هیومیکی نسبت به اندازه‌های مولکولی‌شان برای اثرات فعالیت بیولوژیکی مواد هیومیکی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند (Canellas et al., 2010; Muscolo et al., 2007).

اثرات مواد هیومیکی بروی رشد گیاه

مواد هیومیکی اثرات مثبت زیادی بروی رشد گیاه دارند از جمله: افزایش بیوماس (Ayuso et al., 1996; Lee and Bartlett, 1976)، افزایش کمی میوه و گل (Arancon et al., 2006) و بهبود کیفیت میوه (Yildirim, 2007). در ادامه در مورد این اثرات بحث خواهیم نمود.

[1] Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform
[2] H[1] Nuclear Magnetic Resonance

www.SID.ir

Archive of SID

اثرات مواد هیومیکی بر بهره‌وری عناصر غذایی

مواد هیومیکی اثرات مثبتی بر بهره‌وری عناصر غذایی[1] دارند (جدول۱). مطالعات بسیار بیشماری اثرات مواد هیومیکی بروی افزایش بهره‌وری نیترات (NO_3) (Albuzio et al., 1986; Nardi et al., 2000; Piccolo et al., 1992; Quaggiotti et al., 2004) را نشان داده‌اند. این مطالعات نسبتا کوتاه مدت، با آزمون‌های بهره‌وری نیترات، رونویسی ژن[2] و فعالیت پروتئین‌های درگیر در بهره‌وری نیترات و جذب آن در مدت ۱۶ تا ۴۸ ساعت در گیاهان خیلی جوان بوده است.

جدول۱- اثرات مثبت مواد هیومیکی با منشاهای گوناگون بروی بهره‌وری عناصر غذایی گیاهان

گیاه	عناصر غذایی تحت تاثیر مواد هیومیکی	منبع اولیه مواد هیومیکی	مرجع
جو	NO_3	خاک	Albuzio et al. (1986)
جو	NO_3	زغال‌سنگ	Piccolo et al. (1992)
جو	NO_3	خاک	Nardi et al. (2000)
ذرت	NO_3	پسماند ورمی‌کمپوست	Quaggiotti et al. (2004)
جو	N, P, Mn, Cu, Zn, Fe	لجن فعال، کمپوست، لئوناردیت و پیت	Ayuso et al. (1996)
ذرت	P, Fe	کود گاوی، کمپوست، پیت و خاک	Lee and Bartlett (1976)
ذرت	N, Zn	خاک	Tan and Nopamornbodi (1979)
خربزه، سویا و چاودار	Zn, Fe	پیت و لئوناردیت	Chen et al. (2004)
ذرت	Cu, Zn, Mn	لئوناردیت	Celik et al. (2011)
گوجه	Fe	لیگنایت (زغال‌سنگ قهوه‌ای)	Sanchez-Sanchez et al. (2005)
انگور	Fe	مشخص نشده	Sanchez-Sanchez et al. (2006)

تان و نوپامورنبادی در سال ۱۹۷۹ اثرات مواد هیومیکی استخراج‌شده از خاک را بروی بهره‌وری عناصر غذایی گیاهان ذرت در طول فصل رشد را ارزیابی کردند (Tan and Nopamornbodi, 1979). درحالیکه بهره‌وری نیتروژن و روی در مقادیر مطمئن بهبود یافته بودند، بهره‌وری فسفر معکوسا تحت تاثیر مواد هیومیکی قرار گرفتند و دیگر عناصر معدنی اثر معنی‌داری را از خود نشان ندادند. آیوسو در سال ۱۹۹۶ نشان دادند که مواد هیومیکی استخراج‌شده از منابع مختلف، می‌توانند بهره‌وری نیتروژن کل و همچنین دیگر عناصر مانند فسفر، منگنز، مس، روی و آهن را در گیاه جو درطول فصل رشد را بهبود ببخشند (Ayuso et al. 1996) و نشان دادند که جذب گیاه از هر یک از این عناصر غذایی تحت تاثیر دوزهای مختلف از مواد هیومیکی متفاوت بودند. لی و بارتلت در سال ۱۹۷۶ یافتند که مواد هیومیکی به‌طور معنی‌داری بهره‌وری فسفر و آهن را در گیاه ذرت وقتی‌که در غلظت‌های پایین به خاک اعمال می‌شوند را بهبود می‌دهند درحالیکه وقتی به خاک در غلظت‌های بالای از مواد ارگانیک اعمال شدند، اثرات مثبت ناچیز و کم بودند که شاید احتمالا دلیل آن عدم کمبود مواد هیومیکی در خاک مورد بررسی بود (Lee and Bartlett, 1976). بعضی مطالعات نیز یافته‌اند که اثرات مثبت مواد هیومیکی بروی بهره‌وری میکروعناصر غذایی مخصوصا در خاک‌های قلیایی که کمبود عناصر غذایی در آن‌ها به‌چشم می‌خورد، کارآمدتر و موثرتر است (Calvo et al, 2014; Celik et al., 2011; Chen et al., 2004; Sanchez Sanchez et al., 2005, 2006).

مکانیسم اثرات مواد هیومیکی بروی بهره‌وری عناصر غذایی

مواد هیومیکی عناصر غذایی گیاهان را با اثر بر فرآیندهای خاک و با اثرات مستقیم بر فیزیولوژی گیاهان بهبود می‌بخشند. مکانیسم‌هایی که شامل اثرات بر فرآیندهای خاک می‌شوند: (۱) بهبود ساختار خاک، (۲) و بهبود حلالیت و دسترسی

[1] nutrient uptake
[2] gene transcription

www.SID.ir

Archive of SID

میکروعناصر غذایی در خاک هستند و اثرات مستقیم بروی فیزیولوژی گیاهان شامل: (۳) تغییرات مورفولوژی ریشه، (۴) افزایش فعالیت آنزیم‌های H^+ATPase، و (۵) افزایش فعالیت آنزیم‌های جذب-نیترات[1]هستند.

بهبود ساختار خاک توسط مواد هیومیکی

مواد هیومیکی عناصر غذایی گیاه را با اصلاح ساختار خاک بهبود می‌بخشند. پیکولو و همکاران در سال ۱۹۹۷ یافتند که اصلاح و بهبود خاک با مواد هیومیکی، پایداری توده‌ای[2]خاک را افزایش می‌دهند. آن‌ها این پدیده را به توانایی مواد هیومیکی به تشکیل کمپلکس‌های رس-هیومیک با اجزای آبدوست متمایل‌شده به مرکز توده و اجزای آبگریزی که به‌سمت خارج سو گرفته‌اند نسبت دادند. این عمل نفوذ آب به توده را کاهش می‌دهد که باعث می‌شود که آن‌ها بیش‌تر در شرایط رطوبت و خشکی پایدارتر باشند. بهبود پایداری توده منجر به بهبود هوادهی[3]خاک، تسهیل کردن نفوذ ریشه در خاک، دسترسی آب بیش‌تر برای گیاهان و فرسایش کمتر خاک می‌شود که به‌طور غیرمستقیم در افزایش بهره‌وری عناصر غذایی خاک تاثیر می-گذارند (Amezketa, 1999; Bronick and Lal, 2005). بهرحال، بهبودی پایداری توده‌ای ساختار خاک به‌طور مشخص بهبود دسترسی عناصر غذایی را در سیستم‌های هیدروپونیک (Chen et al., 2004) یا وقتی‌که به برگ گیاهان نسبت به خاک اعمال می‌شوند (Katkat et al., 2009) هنوز معلوم نشده است.

بهبود حلالیت و دسترسی میکروعناصر غذایی و فسفر توسط مواد هیومیکی

تحت بعضی شرایط محیطی، میکروعناصر و فسفر خیلی نامحلول هستند. مواد هیومیکی اضافه‌شده به محلول عناصر غذایی، حلالیت عناصر آهن و روی را با تشکیل کمپلکس‌های فلز-هیومیک[4]افزایش می‌دهند. کمپلکس‌های هیومیکی آهن[5]در دسترس گیاه هستند، صرف‌نظر اینکه آن‌ها از استراتژی اولیه (گیاهان دولپه و گیاهان غیرغلات تک لپه) و یا استراتژی ثانویه (گیاهان تک لپه‌ای غلات) برای تحریک و دسترسی آهن استفاده می‌کنند (Cesco et al., 2000; Chen et al., 2004; Pinton et al., 1999b). در حقیقت، رشد افزایش‌یافته‌ی مشاهده‌شده در گیاهان تیمارشده با مواد هیومیکی، ممکن است ناشی از افزایش دسترسی آهن باشد (Chen et al., 2004; Pinton et al., 1999b). کاربرد جز محلول در آب[6]از مواد هیومیکی، حلالیت هیدروکسیدهای آهن و همچنین حرکت و پویایی‌شان در خاک را افزایش می‌دهند (Cesco et al., 2000). مواد هیومیکی نشان داده‌اند که می‌تواند جایگزین مناسبی برای کی‌لیت‌کننده‌های مصنوعی آهن مانند EDDHA[7] در گیاهانی مانند گوجه، درختان لیمو و درختان انگور در خاک‌های کلسیمی[8]باشند (Sanchez-Sanchez et al., 2002, 2005, 2006). مواد هیومیکی همچنین فعالیت غشای پلاسمای[9](PM) آنزیم H^+ATPase را افزایش می‌دهند (Pinton et al., 1999a) که می‌تواند منجر به اسیدی-شدن ناحیه ریزوسفر ریشه شود که به‌همین دلیل حلالیت میکروعناصر غذایی افزایش می‌یابد. مواد هیومیکی دسترسی فسفر را توسط مداخله در تشکیل فسفات‌های-کلسیم نامحلول[10]افزایش می‌دهند (Delgado et al., 2002).

تغییرات مورفولوژی ریشه توسط مواد هیومیکی

مالیک و اعظم در سال ۱۹۸۵ توسعه رشد ریشه‌های گیاه گندم را با آب مقطر مکمل‌شده با مواد هیومیکی و آب مقطر به-تنهایی را بررسی کردند (Malik and Azam, 1985). کانلاس و همکاران در سال ۲۰۰۲ (Canellas et al. 2002) و زاندونادی و

[1] NO_3-Assimilation Enzymes
[2] Aggregate Stability
[3] Aeration
[4] Metal–Humic Complexes
[5] Fe–Humic Complexes
[6] water-soluble fraction
[7] Ethylenediamine-*N*, *N*-bis (2-hydroxyphenylacetic acid)
[8] calcareous
[9] Plasma Membrane
[1] nonsoluble Ca-phosphates 0

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران در سال ۲۰۰۷ (Zandonadi et al. 2007) نشان دادند که مواد هیومیکی استخراج‌شده از کمپوست کرم‌خاکی، تکثیر و پخش‌شدگی ریشه‌های جانبی[1]را در ذرت افزایش می‌دهند. آن‌ها این پدیده را به اثر فعالیت‌های شبه‌اکسینی مواد هیومیکی نسبت دادند که فعالیت آنزیم H^+ATPase را تحریک می‌بخشند که نهایتا باعث افزایش رشد سلولی می‌شوند. اشمیت و همکاران در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که جز محلول در آب از مواد هیومیکی استخراج‌شده از زغال‌سنگ پیت، باعث افزایش دانیسته ریشه در گیاهان Arabidopsis می‌شوند اما آن‌ها نشان دادند که فعالیت شبه‌اکسینی را که در موتانت کمبود اکسین در ریشه است را ذخیره نمی‌کنند (Schmidt et al. 2007). افزایش توسعه ریشه‌های جانبی و مویچه‌های ریشه، مساحت سطح ریشه را افزایش می‌دهد که می‌تواند بهره‌وری میکروعناصر غذایی تحت تاثیر مواد هیومیکی را نشان دهند.

تحریک آنزیم‌های H^+ATPase و جذب-نیترات توسط مواد هیومیکی

همان‌طور که قبلا اشاره شد، مواد هیومیکی به‌عنوان تحریک‌کننده‌های غشای پلاسمای آنزیم H^+ATPase شناخته می‌شوند (Canellas et al., 2008; Nardi et al., 2000; Pinton et al., 1999a; Quaggiotti et al., 2004). زاندونادی و همکاران در سال ۲۰۱۰ نشان دادند که این نوع تحریک‌بخشی شامل فعالیت شبه‌اکسینی مواد هیومیکی و سیگنالیگ (پیام‌رسانی) نیتریک اکسید[2](NO) توسط مهار بازدارنده‌های اکسین[3]و مولکول‌های مهارکننده‌ی[4]NO که تحریک‌بخشی فعالیت غشای پلاسمایی آنزیم H^+ATPase را افزایش می‌دهند، هستند (Zandonadi et al. 2010). با تحریک غشای پلاسمای آنزیم H^+ATPase، مواد هیومیکی ناحیه ریزوسفر ریشه را اسیدی می‌کنند که باعث می‌شود سیستم ساپورت NO_3H^+ برای فعالیت و عمل با راندمان بالاتری کار کند. نتیجه آن باعث جذب و دریافت بیش‌تری از NO_3 توسط گیاه می‌شود (Pinton et al., 1999a; Quaggiotti et al., 2004; Zandonadi et al., 2010). مواد هیومیکی همچنین نرخ جذب NO_3 را با سازگاری گیاه به آنزیم‌های درگیر در این فرآیند افزایش می‌دهد.

آلبوزیو و همکاران در سال ۱۹۸۶ یافتند که گیاهان جو تحت تاثیر مواد هیومیکی استخراج‌شده از خاک و تفکیک‌شده به روش‌های مختلف، فعالیت آنزیم‌های ریداکتاز نیترات[5](NR)، دی‌هیدروژناز گلوتامات[6](GDH) و سینتتاز گلوتامات[7](GS) را افزایش می‌دهند (Albuzio et al. 1986). درحالیکه بعضی از اجزا اثرات محرک بیش‌تری نسبت به دیگری دارند، اثرات نسبتا با اندازه اجزا همبستگی نداشتند. ماسکولو و همکاران در سال ۱۹۹۹ یافتند که افزایش در فعالیت GDH، GS و دی‌هیدروژناز مالیک[8](MDH) در سلول‌های هویج تیمارشده با مواد هیومیکی استخراج‌شده از ورمی‌کمپوست مشاهده شده است (Muscolo et al. 1999). آن‌ها این پدیده را ناشی از اثرات تحریک‌بخشی به مواد شبه‌اکسینی در ورمی‌کمپوست دانستند.

واکارو و همکاران در سال ۲۰۰۹ یافتند که کمپلکس‌های ساختاری آبدوست مواد هیومیکی استخراج‌شده از کمپوست، اثرات تحریک‌بخشی بروی تعدادی از آنزیم‌های جذب-نیترات مانند NR، ریداکتاز نیتریت (NiR)، GS، سینتاز گلوتامات (GOGAT) و آمینوترانسفراز آسپارتات (AspAT) دارند (Vaccaro et al. 2009). در جدول۲ مطالعاتی که مکانیسم‌های مختلفی را برای محرک‌های زیستی با منشا هیومیکی نشان داده‌اند، آورده شده است. این مکانیسم‌ها همان‌طور که اشاره شد، شامل بهبود ساختار یا فعالیت میکروبی خاک، کی‌لیت‌کردن یا محلول‌کردن عناصر غذایی، افزایش فعالیت آنزیم H^+ATPase، افزایش فعالیت آنزیم جذب نیترات و تغییرات در مورفولوژی ریشه هستند.

[1] lateral-root proliferation and elongation
[2] Nitric Oxide (NO) signaling
[3] Auxin inhibitors
[4] NO-Scavenging
[5] Nitrate Reductase
[6] Glutamate Dehydrogenase
[7] Glutamate Synthetase
[8] Malic Dehydrogenase

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲-مطالعات پیشنهاددهنده مکانیسم‌های مختلف برای محرک‌های زیستی با منشا هیومیکی

محرک زیستی	بهبود ساختار یا فعالیت میکروبی خاک	کی‌لیت‌کردن یا محلول‌کردن عناصر غذایی	افزایش فعالیت آنزیم H^+ATPase	افزایش فعالیت آنزیم جذب نیترات	تغییرات در مورفولوژی ریشه
مواد هیومیکی	Piccolo et al. (1997)	Chen et al. (2004); Cesco et al. (2000); Pinton et al. (1999b); Sanchez-Sanchez et al. (2006); Sanchez-Sanchez et al. (2005); Sanchez-Sanchez et al. (2002)	Pinton et al. (1999a); Canellas et al. (2008); Zandonadi et al. (2010); Quaggiotti et al. (2004)	Albuzio et al. (1986); Muscolo et al. (1999); Vaccaro et al. (2009)	Malik and Azam (1985)

نتیجه‌گیری

محرک‌های زیستی با منشا هیومیکی نشان داده‌اند که می‌توانند با افزایش بهره‌وری عناصر غذایی و با بهبود ساختار خاک و مورفولوژی ریشه در شرایط بالقوه برای گیاهان، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی بدون کاهش عملکرد در کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی باشند. لذا برای آگاهی و دانش از چگونگی اثرات و مکانیسم محرک‌های زیستی بروی بهره‌وری عناصر غذایی و یا بر فعالیت آنزیم‌های گیاهی لازم است که کاربرد انواع مختلف از محرک‌های زیستی از جمله مواد هیومیکی در آزمون‌های آزمایشگاهی با مقیاس کوچک، سپس در آزمایش‌های گلخانه‌ای و نهایتا در شرایط مزرعه مورد آزمون و بهره-برداری قرار بگیرند و بدین ترتیب گامی نو در نیل به کشاورزی‌های مدرن و پایدار با بهره‌برداری از انواع محرک‌های زیستی برداشته شود.

منابع

Albuzio, A., Ferrari, G., Nardi, S., 1986. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. Can. J. Soil Sci. 66, 731–736.

Amezketa, E., 1999. Soil aggregate stability: a review. J. Sustain. Agric. 14, 83–151.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Lee, S., Byrne, R., 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. Eur.J. Soil Biol. 42, S65–S69.

Ayuso, M., Hernandez, T., Garcia, C., Pascual, J.A., 1996. Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. Bioresour. Technol. 57, 251–257.

Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124, 3–22.

Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., and Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: a review. Biol. Agric. Hortic. 31, 1–17.

Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil. DOI 10.1007/s11104-014-2131-8

Canellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokova, F.A.L., Façanha, A.R., 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H-ATPase activity in maize roots. Plant Physiol. 130, 1951–1957.

Canellas, L.P., Piccolo, A., Dobbss, L.B., Spaccini, R., Olivares, F.L., Zandonadi, D.B., Façanha, A.R., 2010. Chemical composition and bioactivity properties of size fractions separated from a vermicompost humic acid. Chemosphere, 78, 457–466.

Canellas, L.P., Teixeira Junior, L.R.L., Dobbss, L.B., Silva, C.A., Medici, L.O., Zandonadi, D.B., Façanha, A.R., 2008. Humic acids cross interactions with root and organic acids. Ann. Appl. Biol. 153, 157–166.

Celik, H., Katkat, A.V., Asık, B.B., Turan, M.A., 2011. Effect of foliar-applied humic acid to dry weight and mineral nutrient uptake of maize under calcareous soil conditions. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 42, 29–38.

Cesco, S., Reomheld, V., Varanini, Z., Pinton, R., 2000. Solubilization of iron by water extractable humic substances. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163, 285–290.

Chen, J., 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility 20. In: International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, vol.16. Land Development Department, Bangkok, Thailand.

www.SID.ir

Archive of SID

Chen, Y., Clapp, C.E., Magen, H., 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role of organo-iron complexes. Soil Sci. Plant Nutr. 50, 1089–1095.

Copping, L.G., Menn, J.J., 2000. Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. Pest Manag. Sci. 56, 651–676.

Daverede, I.C., Kravchenko, A.N., Hoeft, R.G., Nafziger, E.D., Bullock, D.G., Warren, J.J., Gonzini, L.C., 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. J. Environ. Qual. 33, 1535–1544.

Delgado, A., Madrid, A., Kassem, S., Andreu, L., del Carmen del Campillo, M., 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. Plant Soil 245, 277–286.

Du Jardin, P., 2012. The Science of Biostimulants-A Bibliographic Analysis. (Final report for EU). Contract 30-CEO455515/00-96. p. 37.

Estavillo, J.M., Rodriguez, M., Domingo, M., Munoz-Rueda, A., Gonzalez-Murua, C., 1994. Denitrification losses from a natural grassland in the Basque country under organic and inorganic fertilization. Plant Soil 162, 19–29.

Katkat, A.V., Celik, H., Turan, M.A., Boulet, B., 2009. Effects of soil and foliar applications of humic substances on dry weight and mineral nutrients uptake of wheat under calcareous soil conditions. Aust. J. Basic Appl. Sci. 3, 1266–1273.

Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Plant Growth Regul. 28, 386–399.

King, K.W., Torbert, H.A., 2007. Nitrate and ammonium losses from surface-applied organic and inorganic fertilizers. J. Agric. Sci. 145, 385–393.

Kulikova, N.A., Perminova, I.V., 2002. Binding of atrazine to humic substances from soil, peat, and coal related to their structure. Environ. Sci. Technol. 36, 3720–3724.

Lee, Y.S., Bartlett, R.J., 1976. Stimulation of plant growth by humic substances. Soil Sci. Am. J. 40, 876–879.

Malik, K.A., Azam, F., 1985. Effect of humic acid on wheat (Triticum aestivum L.) seedling growth. Environ. Exp. Bot. 25, 245–252.

Moe, P.G., Mannering, J.V., Johnson, C.B., 1967. Loss of fertilizer nitrogen in surface runoff water. Soil Sci. 104, 389–394.

Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., Nardi, S., 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. Soil Biol. Biochem. 31, 1303–1311.

Muscolo, A., Sidari, M., Attin_a, E., Francioso, O., Tugnoli, V., Nardi, S., 2007. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. Soil Sci. Am. J. 71, 75–85.

Nardi, S., Muscolo, A., Vaccaro, S., Baiano, S., Spaccini, R., Piccolo, A., 2007. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in maize seedlings. Soil Biol. Biochem. 39, 3138–3146.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Gessa, C., Ferrarese, L., Trainotti, L., Casadoro, G., 2000. A low molecular weight humic fraction on nitrate uptake and protein synthesis in maize seedlings. Soil Biol. Biochem. 32, 415–419.

Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y.P., Luo, A., Etemadi, N.A., 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. J. Plant Nutr. 31, 2155–2167.

Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M., Sahin, F., 2006. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. Sci. Hortic. Amst. 111, 38–43.

Paradikovic, N., Vinkovic, T., Vinkovic Vrcek, I., Žuntar, I., Bojic, M., and MedicŠaric, M. (2011). Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (Capsicum annuum L.) plants. J. Sci. Food Agric. 91, 2146–2152.

Piccolo, A., 2002. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. Adv. Agron. 75, 57–134.

Piccolo, A., Nardi, S., Concheri, G., 1992. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. Soil Biol. Biochem. 24, 373–380.

Piccolo, A., Pietramellara, G., Mbagwu, J.S.C., 1997. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. Geoderma 75, 267–277.

Pinton, R., Cesco, S., Iacolettig, G., Astolfi, S., Varanini, Z., 1999a. Modulation of NO uptake by water-extractable humic substances: involvement of root plasma membrane H ATPase. Plant Soil 215, 155–161.

Pinton, R., Cesco, S., Santi, S., Agnolon, F., Varanini, Z., 1999b. Water-extractable humic substances enhance iron deficiency responses by Fe-deficient cucumber plants. Plant Soil 210, 145–157.

Povero G, Mejia JF, Di Tommaso D, Piaggesi A and Warrior P (2016) A Systematic Approach to Discover and Characterize Natural Plant Biostimulants. Front. Plant Sci. 7:435. doi: 10.3389/fpls.2016.00435.

www.SID.ir

Archive of SID

Quaggiotti, S., Ruperti, B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, V., Nardi, S., 2004. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (Zea mays L.). J. Exp. Bot. 55, 803–813.

Russell, L., Stokes, A.R., Macdonald, H., Muscolo, A., Nardi, S., 2006. Stomatal responses to humic substances and auxin are sensitive to inhibitors of phospholipase A2. Plant Soil 283, 175–185.

Saa, S., Olivos-Del Rio, A., Castro, S., and Brown, P. H. (2015). Foliar application of microbial and plant based biostimulants increases growth and potassium uptake in almond (Prunus dulcis [Mill.] D.A. Webb). Front. Plant Sci. 6:87.

Salman, S.R., Abou-Hussein, S.D., Abdel-Mawgoud, A.M.R., El-Nemr, M.A., 2005. Fruit yield and quality of watermelon as affected by hybrids and humic acid application. J. Appl. Sci. Res. 1, 51–58.

Sanchez, L., Dıez, J.A., Vallejo, A., Cartagena, M.C., 2001. Denitrification losses from irrigated crops in central Spain. Soil Biol. Biochem. 33, 1201–1209.

Sanchez-Sanchez, A., Juarez, M., Sanchez-Andreu, J., Jorda, J., Bermudez, D., 2005. Use of humic substances and amino acids to enhance iron availability for tomato plants from applications of the chelate Fe-EDDHA. J. Plant Nutr. 28, 1877–1886.

Sanchez-Sanchez, A., Sanchez-Andreu, J., Juarez, M., Jorda, J., Bermudez, D., 2002. Humic substances and amino acids improve effectiveness of chelate Fe-EDDHA in lemon trees. J. Plant Nutr. 25, 2433–2442.

Sanchez-Sanchez, A., Sanchez-Andreu, J., Juarez, M., Jorda, J., Bermudez, D., 2006. Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. J. Plant Nutr. 29, 259–272.

Schachtman, D.P., Reid, R.J., Ayling, S.M., 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiol. 116, 447–453.

Schmidt, W., Santi, S., Pinton, R., Varanini, Z., 2007. Water-extractable humic substances alter root development and epidermal cell pattern in Arabidopsis. Plant Soil 300, 259–267.

Simpson, A.J., Kingery, W.L., Hayes, M.H., Spraul, M., Humpfer, E., Dvortsak, P., Kerssebaum, R., Godejohann, M., Hofmann, M., 2002. Molecular structures and associations of humic substances in the terrestrial environment. Naturwissenschaften 89, 84–88.

Subler, S., Dominguez, J., Edwards, C.A., 1998. Assessing biological activity of agricultural biostimulants: bioassays for plant growth regulators in three soil additives. Commun. Soil Sci. Plant Anal 29, 859–866.

Sutton, R., Sposito, G., 2005. Molecular structure in soil humic substances: the new view. Environ. Sci. Technol. 39, 9009–9015.

Tan, K.H., Nopamornbodi, V., 1979. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (Zea mays L.). Plant Soil 51, 283–287.

Vaccaro, S., Muscolo, A., Pizzeghello, D., Spaccini, R., Piccolo, A., Nardi, S., 2009. Effect of a compost and its water-soluble fractions on key enzymes of nitrogen metabolism in maize seedlings. J. Agric. Food Chem. 57, 11267–11276.

Vance, C.P., 2001. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. Plant Physiol. 127, 390–397.

Varanini, Z., Pinton, R., De Biasi, M.G., Astolfi, S., Maggioni, A., 1993. Low molecular weight humic substances stimulate H-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (Avena sativa L.) roots. Plant Soil 153, 61–69.

Vernieri, P., Borghesi, E., Tognoni, F., Serra, G., Ferrante, A., and Piaggesi, A. (2006). Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. ISHS 718, 477–484.

Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil 255, 571–586.

Yildirim, E., 2007. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. Acta Agric. Scand. B. 57, 182–186.

Zandonadi, D.B., Canellas, L.P., Façanha, A.R., 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H pumps activation. Planta 225, 1583–1595.

Zandonadi, D.B., Santos, M.P., Dobbss, L.B., Olivares, F.L., Canellas, L.P., Binzel, M.L., Okorokova, F.A., Façanha, A.R., 2010. Nitric oxide mediates humic acids induced root development and plasma membrane H^+ATPase activation. Planta 231, 1025–1036.

www.SID.ir