نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی/ جلد ٦ / شماره ۲ / ۱۳۹۷

DOI:http://dx.doi.org/10.22092/lmj.2018.116111.105

برخی اثرهای مصرف زیاد نانو مواد در تغذیه گیاهان

محمدرضا مقصودی [۱] و نصرت‌اله نجفی

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.**mr.maqsoodi@tabrizu.ac.ir**

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.**n-najafi@tabrizu.ac.ir**

دریافت: آذر ۱۳۹٦ و پذیرش: تیر ۱۳۹۷

چکیده

ورود نانوفناوری به عرصه‌های مختلف علمی و صنعتی، دستاوردهای نوینی را ایجاد کرده است. این فناوری با کوچک کردن اندازه مواد موجب بروز ویژگی‌هایی از آنها می‌شود که قبلاً وجود نداشت یا محسوس نبود. هرچند نانوفناوری موجب بهبود برخی ویژگی‌های کودها شده است و بررسی‌های متعددی اثرهای مثبت آنها را در گیاهان مختلف گزارش کرده‌اند اما باید متذکر شد که اکثر این بررسی‌ها آزمایشگاهی بوده و مدت رشد گیاهان بسیار کوتاه در نظر گرفته شده و در بسیاری از موارد نیز تنها به جوانه‌زنی بذرها اکتفا شده است. به‌علاوه، گزارش‌های زیادی نیز وجود دارند که پی‌آمدهای مصرف نانومواد را در گیاهان نشان می‌دهند. برای مثال، نانوذرات عناصری همچون آلومینیم، آهن، روی، تیتانیم، نیکل و نقره، نانوذرات هیدورکسی آپاتیت و نانو لوله‌های کربنی در گیاهان پیاز، ماش، چچم، برنج، لوبیا، ذرت، خیار، سورگوم و گوجه-فرنگی موجب کاهش رشد شده است. بنابراین، لازم است قبل از استفاده از نانومواد به‌عنوان کود، پژوهش‌های کاملی از تعامل آنها با گیاهان و سرنوشت نهایی این مواد در گیاه و زنجیره غذایی انجام شود. از طرف دیگر، چون گیاهان در ابتدای زنجیره غذایی قرار دارند ورود و تجمع نانومواد به داخل آنها، می‌تواند موجب ورود نانومواد به زنجیره غذایی شده و نانومواد را به سطوح بالاتر این زنجیره و به‌ویژه انسان‌ها انتقال دهد. این مقاله به بررسی اثر غلظت‌های زیاد نانومواد بر رشد برخی گیاهان، آسیب‌های ناشی از آنها و نیز توان جذب و انباشتگی نانوذرات توسط گیاهان می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، زنجیره غذایی، نانوفناوری، نانوکود

Archive of SID

۱ – آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

www.SID.ir

مقدمه

نانوفناوری شامل طیف وسیعی از فناوری‌های مربوط به ساخت مواد در مقیاس طولی یک تا ۱۰۰ نانومتر است که می‌تواند به تغییرات چشمگیر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد منجر شود. نانوفناوری در کشاورزی به‌عنوان یکی از روش‌های نویدبخش برای افزایش قابل‌توجه تولید محصول و تغذیه جمعیت به‌سرعت در حال رشد جهان در نظر گرفته شده است. با توجه به زمین‌های قابل‌کشت محدود و کمبود منابع آب در جهان، افزایش قابل‌توجه مصرف کودهای کشاورزی یکی از روش‌های تأمین غذای مورد نیاز مردم جهان می‌باشد. کارایی کم عناصر غذایی، کوددهی نامتعادل و پاسخ کم به کود، نهایتاً منجر به رکود در تولید محصولات کشاورزی در کشورهایی شده است که با کمبود مواد آلی روبه‌رو هستند. برای حفظ سطح فعلی تولید محصولات کشاورزی، کاربرد کودهای متنوع مرسوم به مقدار زیاد و برای مدت طولانی در بخش کشاورزی باعث ایجاد مسائل جدی زیست محیطی در سطح جهانی شده است. نانوکودها می‌توانند یک نوآوری بزرگ برای کشاورزی باشند. اثرهای مثبت این نانوکودها در بررسی‌های زیادی گزارش شده است. برای مثال نانولوله‌های کربنی و نانوذرات اکسید روی، اکسید تیتانیم، مگنتیت و نانوذرات فلزی منگنز موجب بهبود رشد گیاهانی همچون گوجه-فرنگی، تنباکو، ارزن، لوبیا، نخود، سورگوم، اسفناج و گندم شده است (سروین و همکاران، ۲۰۱۵). این تحقیقات در مراحل ابتدایی بوده و هنوز پیشنهادی برای مصرف کلان از طرف نویسندگان نشده است. همچنین اقتصادی بودن این نانوکودها و برتری آنها نسبت به کودهای مرسوم مورد سؤال است. آمتا و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند در رابطه با مصرف نانومواد در محیط زیست و از جمله خاک قانون مشخصی تدوین نشده است و هنوز در رابطه با مقدار و نحوه مصرف آنها برای تغذیه گیاهان اظهار نظر قطعی وجود ندارد و تمام مطالعات در مرحله بررسی‌های اولیه هستند زیرا تغذیه گیاهان با نانومواد نه تنها بر محیط زیست و جاندارن مرتبط با آن اثر خواهد داشت بلکه خطرات احتمالی ناشی از ورود آنها به چرخه غذایی نیز یکی از نگرانی‌های اصلی مصرف اینگونه مواد در بخش کشاورزی است.

علل نگرانی در رابطه با ورود نانوفناوری به بخش کودها

درحالی‌که نانوفناوری ممکن است به عنوان یک فرصت برای بهبود کودها باشد، همچنین ممکن است به یک منبع نگرانی نیز تبدیل شود. افزایش سطح در نانومواد می‌تواند به افزایش واکنش‌پذیری و سریع‌تر شدن سینتیک انحلال منجر شود (چاهال و همکاران، ۲۰۱۲). اگر نانوکودها به‌راحتی حل شده و آبشویی یافته و به محیط زیست وارد شوند، ممکن است مشکلاتی ایجادنمایند. استفاده از نانومواد در کودها منجر به ورود عمده این مواد به محیط زیست شده و می‌تواند به‌طور چشمگیری انسان و محیط زیست را تحت تأثیر قرار دهد. گیاهان، به‌ویژه محصولات کشاورزی، می‌توانند به عنوان یک مسیر بالقوه تجمع نانوذرات در زنجیره غذایی باشند؛ بنابراین، ضروری است که خطرها و فایده‌های نانوفناوری در کودها ارزیابی شده و نقد شود (ماستروناردی و همکاران، ۲۰۱۵). نانوفناوری یکی از تکنولوژی‌هایی است که در دنیای امروزی به‌سرعت در حال پیشرفت بوده و انتظار می‌رود در آینده نزدیک به یک صنعت بزرگ تبدیل شود (گائو و همکاران، ۲۰۱۳؛ گاردیا-تورسدی و همکاران، ۲۰۱٤). همزمان با این رشد، نگرانی‌ها در مورد سرنوشت و رفتار نانوذرات در محیط زیست نیز افزایش یافته است (باکشی و همکاران، ۲۰۱٤). به‌علت ادامه تولید نانوذرات طی دهه اخیر، نانوذرات به‌طور اجتناب‌ناپذیری در محیط زیست رها شده‌اند (گاردیا-تورسدی و همکاران، ۲۰۱٤).

لزوم بررسی همه‌جانبه نانومواد و نانوکودها قبل از مصرف

اگر چه نانوفناوری برای ایجاد تغییرات اساسی در بسیاری از جنبه‌های زندگی انسان توان زیادی دارد، اما

Archive of SID

www.SID.ir

مزایای آن ممکن است هزینه‌هایی تحمیل کند. یکی از سؤالات مهم قبل از پذیرش نانوفناوری که جهان با آن روبه‌رو شده این است که آیا خطرهای ناشناخته نانوذرات شامل اثر بر محیط زیست و سلامتی بشر بر فایده‌های بالقوه آنها غلبه دارد. خطرهای مرتبط با استفاده از نانوذرات هنوز به‌طور کامل قبل از کاربرد این تکنولوژی مورد ارزیابی قرار نگرفته است (سولانکی و همکاران، ٢٠١٥). بررسی کامل در مورد اثرهای بالقوه بر سلامت، محیط زیست و دفع ایمن نانوذرات می‌تواند به بهبود طراحی و برنامه‌های کاربردی نانوفناوری منجر شود (منگ و همکاران، ٢٠٠٩). اگر چه تا کنون هیچ بیماری انسانی مستقیماً به نانوذرات مرتبط نشده است اما بررسی‌های آزمایشگاهی اولیه نشان می‌دهد که نانوذرات می‌توانند موجب پاسخ‌های بیولوژیکی مضر شوند که می‌تواند پیامد سمیت آنها باشد (آندر نل و همکاران، ٢٠٠٦). نانوذرات که قسمت بسیار ریز ذرات هستند، می‌توانند از طریق دهان، تنفس و یا پوست وارد بدن انسان یا حیوانات شوند. اندازه کوچک نانوذرات اجازه می‌دهد تا آنها به‌راحتی وارد بافت‌ها، سلول‌ها و اندامک‌ها شود و با ساختارهای بیومولکولی کاربردی (به‌عنوان مثال، DNA، ریبوزوم) تعامل دارند، زیرا اندازه فیزیکی واقعی یک نانوساختار تولید شده شبیه به بسیاری از مولکول‌ها (به عنوان مثال، آنتی‌بادی‌ها، پروتئین‌ها) و ساختارهای زیستی (مثل ویروس‌ها) است. یکی از نتایج این است که نانوذرات به سیستم‌های بیولوژیکی حیاتی وارد شده و می‌توانند موجب آسیب دیدن آنها شوند و سپس به سلامتی انسان نیز آسیب رسانند (ایکسا و همکاران، ٢٠٠٩)؛ هرچند سازوکارهای تعامل بین نانوذرات و سیستم‌های زیستی روشن نیست (بارینا و همکارن، ٢٠٠٩؛ خوت و همکاران، ٢٠١٢). ویژگی‌های مهم نانوذرات از جمله سطح ویژه بالا و فعالیت بسیار زیاد آن سؤالات نگران کننده زیادی در مورد تأثیر مضر آن بر سلامتی محیط زیست و انسان ایجاد کرده است (آندر نل و همکاران، ٢٠٠٦؛ ماینارد و همکاران، ٢٠٠٦). استفاده از نانوفناوری در کشاورزی بسیار مهم است زیرا به‌طور مستقیم انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (بوومیستر و همکاران، ٢٠٠٩). نانوکودها، نانوذرات را قادر به ورود در زنجیره مواد غذایی کرده‌اند که به آنها اجازه می‌دهد خود را در هر جانداری که با زنجیره غذایی در رابطه است، توزیع کنند. به‌دلیل گسترش بیش از پیش نانوفناوری، سمیت و اثرهای محیطی این مواد جدید باید مشخص شود. در مکان‌هایی که نانومواد مانند نانوکودها عمداً مورد استفاده قرار می‌گیرند، درک سرنوشت و تأثیر آنها بیش‌تر اهمیت می‌یابد. چون محصولات کشاورزی به‌عنوان یک مسیر بالقوه برای انتقال نانوذرات و یک مسیر برای تجمع زیستی در زنجیره غذایی عمل می‌کنند، انجام بررسی‌ها در مورد اثر نانوذرات بر گیاهان ضروری است. اطلاعات در مورد اینکه آیا نانوذرات در گیاهان و در نهایت در جانداران سطح بالاتر از طریق زنجیره غذایی تجمع خواهند کرد یا نه محدود است (ژو و همکاران، ٢٠٠٨؛ ماسترونادی و همکاران، ٢٠١٥). بازرگان و همکاران (١٣٩١) بیان داشتند که قانون جامع کود، ساختار تشکیلاتی متولی و پاسخگو در رابطه با کود و استانداردهای ملی کیفیت انواع کودها حلقه‌های گم شده مدیریت امور کود در ایران هستند.

گزارش تأثیر مثبت و منفی نانوذرات بر گیاهان متداول است و پژوهشگران بررسی‌هایی در مورد تأثیر نانوذرات بر جوانه‌زنی گیاه و رشد آن با هدف ترویج نانوذرات برای استفاده در کاربردهای کشاورزی انجام داده‌اند (خوت و همکاران، ٢٠١٢). با این حال، بررسی‌ها تأیید کرده‌اند که نانوذرات می‌توانند در گیاهان سمیت ایجاد کنند و تأثیر منفی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه داشته باشند اما در عین حال ویژگی‌های انحصاری نانوذرات می‌توانند موجب بهبود جوانه‌زنی بذر و عملکرد محصول شوند (خوت و همکاران، ٢٠١٢).

مسمومیت گیاهان با جذب نانومواد

بررسی‌های بسیار زیادی در مورد نانوذرات و

Archive of SID

www.SID.ir

گیاهان وجود دارد که هشداری از تأثیرات مضر فعالیت این مواد را هنگامی که به اندامی خاص در یک جاندار (آکرمن و همکاران، ۲۰۰۲) یا به اندامک‌های خاصی در داخل یک سلول (هاشینو و همکاران، ۲۰۰٤) می‌رسند و یا به پروتئین‌ها یا مولکول‌های RNA در سلول متصل می‌شوند (سوزوکی و همکاران، ۲۰۰۷)، ارائه می‌دهند. تأثیر منفی برخی نانومواد در جدول ۱ آمده است. به‌علت نسبت سطح به حجم بالا، نانوذرات به شدت فعال و کاتالیزی بوده و ممکن است از غشای سلولی عبور کنند (اینگ، ۲۰۰۱). با این حال اثر متقابل نانوذرات با این سیستم‌ها به‌خوبی مشخص نیست. اولین گزارش اثرهای منفی نانوذرات فلزی آلومینیم بر چندین گیاه (ذرت، خیار، سورگوم، کلم و هویج) با غلظت نسبتاً کم (۲۰۰۰ میلی-گرم در لیتر) توسط یانگ و واتس (۲۰۰۵) ارائه شده است. با این حال Al^{3+} محلول نیز می‌تواند به‌عنوان عنصر سمی برای ریشه عمل کند و می‌تواند جلوی رشد ریشه را بگیرد (ژوو و همکاران، ۲۰۱٤). در آزمایش‌های سمیت نانوذرات باید دقت کرد که تأثیر ممکن است در رابطه با قابلیت انحلال آسان بوده و سمیت ناشی از افزایش یون-های حاصل از انحلال نانوذرات باشد. میرزاجانی و همکاران (۲۰۱۳) تأثیرات نانوذرات فلزی نقره در برنج را ارزیابی کردند. گیاهان در معرض غلظت‌های پایین نانوذرات فلزی نقره رشد بیش‌تری از گیاهان شاهد داشتند ولی در غلظت‌های بالای نانوذرات فلزی نقره، رشد کمی به‌علت تغییر در ریخت‌شناسی سلول و ویژگی‌های ساختاری آن مشاهده شد. لی و همکاران (۲۰۱۲) مسمومیت گیاه را بر اثر نانوذرات فلزی نقره در بستر رشد آگار یا در خاک مصنوعی مطالعه کردند. در کشت خاکی گیاه لوبیا تحت تأثیر غلظت‌های مورد آزمایش قرار نگرفت و سورگوم دو رنگ کاهش رشد کمی نشان داد که می‌توان آن را با سه دلیل اولیه زیر که توسط نویسندگان ارائه شده است، توضیح داد: ۱- سمیت مشاهده شده در کشت خاکی می‌تواند مربوط به سمیت نانوذرات باشد، ۲- انحلال کم‌تر نانوذرات می‌تواند به کاهش سطح و توده‌ای شدن بیش‌تر در خاک نسبت داده شود و ۳- آگار و خاک سازوکارهای متفاوتی برای جذب یون نقره محلول و نانوذرات فلزی نقره دارند. نتایج این مطالعه اهمیت تأثیر بستر کشت در سمیت نانوذرات بر گیاهان را نشان داد، بنابراین، استفاده از نانوذرات در خاک واقعی باید مورد مطالعه قرار گیرد که می‌تواند برای درک سمیت نانوذرات در خاک مهم باشد (لی و همکاران، ۲۰۱۲). در یک مطالعه هیدروپنیک تأثیر نانوذرات TiO_2 و فلزی نقره بر گوجه‌فرنگی توسط سانگ و همکاران (۲۰۱۳) مقایسه شد. گیاهان تیمار شده با نانوذرات فلزی نقره کاهش قابل‌توجهی در رشد ریشه حتی در کم‌ترین غلظت (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) نشان دادند.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار با هر دو نانوذره تغییر کرد که نشان می‌دهد نانوذرات تنش فیزیولوژیکی ایجاد می‌کنند. تعیین مسمومیت گیاه با نانوذرات فلزی و اکسید آنها اولاً به‌علت پتانسیل انحلال یون‌های فلزی آزاد شده از نانوذرات و ثانیاً پتانسیل سمیت و جذب یون‌های فلزی پیچیده است (ما و همکاران، ۲۰۱۰). این پیچیدگی هنگام مطالعه بر روی مسمومیت گیاه چمن یارندی[۱] با نانوذرات ZnO توسط لین و ایکسینگ (۲۰۰۸)، روشن شد؛ آنان نشان دادند که مسمومیت گیاه نمی‌تواند به تنهایی و با انحلال نانوذرات ZnO توضیح داده شود. لین و ایکسنگ (۲۰۰۷) پژوهشی در مورد مسمومیت گیاه[۲] با پنج نوع نانوذره (نانولوله‌های کربنی چند جداره، آلومینیم فلزی، آلومینا (اکسید آلومینیم)، روی فلزی و اکسید روی) از نظر جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه چچم و ذرت انجام دادند. رشد طولی ریشه تمام گیاهان هنگامی که غلظت نانوذرات فلزی روی و نانوذرات اکسید روی در سوسپانسیون ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود، تحت تأثیر قرار گرفت. کوماری و همکاران (۲۰۱۱) مسمومیت گیاه با نانوذرات ZnO را در سطح تشکیل و رشد سلول و با تجزیه و تحلیل اثرهای ژنتیکی

[۱] *Lolium perenne*

[۲] Phytotoxicity

Archive of SID

www.SID.ir

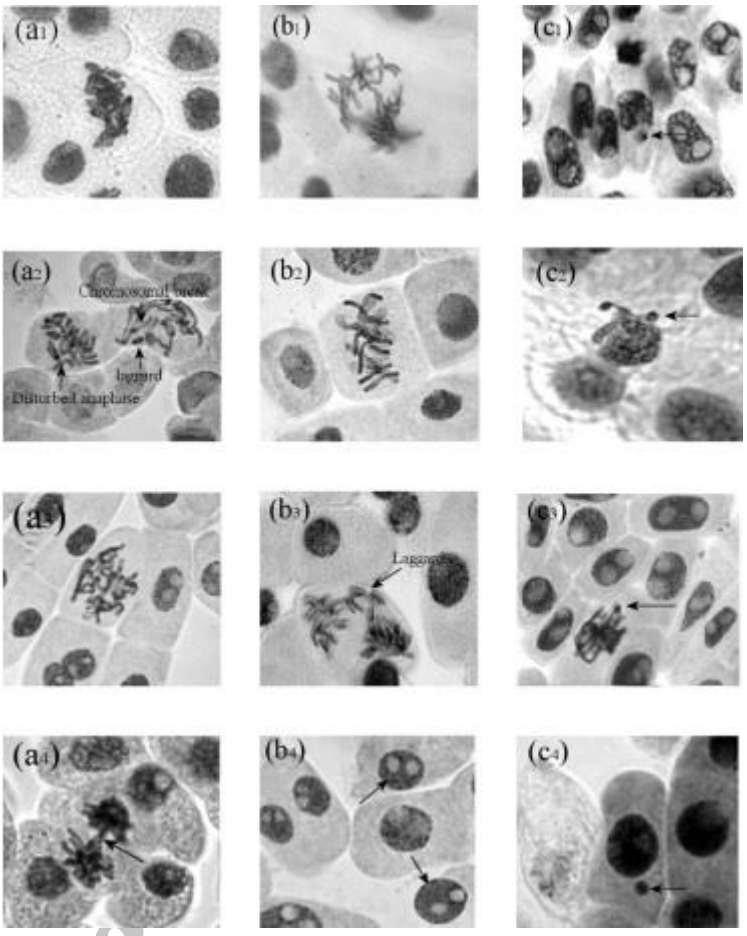
نانوذرات ZnO با استفاده از سلول‌های ریشه پیاز[۱] بررسی کردند. نتایج نشان داد که قرار گرفتن ریشه در معرض نانوذرات ZnO باعث سلول‌سم[۲] و ژن‌سم[۳] شد (شکل ۱). بررسی ریخت‌شناسی کروموزم نشان داد بین افزایش شمار کروموزم‌های معیوب و افزایش غلظت نانوذرات رابطه‌ای مستقیم وجود داشت. رایج‌ترین نوع اختلال، کروموزوم-های چسبیده بود (یی و منگ ۲۰۰۳) که اغلب در مرحله آنافاز-تلوفاز مشاهده شد. یک نتیجه مهم این بود که مسمومیت گیاه در سطح مولکولی و هسته سلول مشاهده شد، دلیل وقوع چسبندگی کروموزوم‌ها ممکن است به‌علت تخریب و یا پلی‌مرزدایی[٤] کروموزومی DNAباشد. با مقایسه سمیت نانوذرات ZnO و ZnO معمولی، آنان نتیجه گرفتند که سمیت نانوذرات ZnO بیش‌تر از ZnO معمولی بود. آنان نشان دادند که سمیت نانوذرات ZnO تنها به‌دلیل انحلال یون‌های روی نبود.

نویسندگان همچنین این موضوع را بر اساس فعال شدن گونه‌های فعال اکسیژن توضیح دادند. با تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن و رهاسازی آنها، اسیدهای چرب به پراکسید لیپید سمی تبدیل می‌شوند که موجب پارگی غشای بیولوژیکی می‌شود (گراتائو و همکاران، ۲۰۰۵). لین و ایکسینگ (۲۰۰۸) کاهش قابل‌توجهی در زیست-توده، کوچک شدن نوک ریشه، ریزش اپیدرم ریشه و سلول‌های پوستی گیاه چچم را در حضور نانوذرات اکسید روی نشان داد (شکل ۲). کلیمنت و همکاران (۲۰۱۳) نیز مسمومیت گیاه با نانوذرات اکسید تیتانیم را در دافنیا[٥]، جلبک، روتیفرها[٦] و گیاه بذرک ارزیابی و مشاهده کردند که چون تیتانیم در ساختارهای متفاوت شیمیایی کریستال آناتاز یا روتیل وجود دارد، پاسخ‌های مربوط به سمیت آن نیز بستگی به نوع ساختار تیتانیم دارد. نتایج نشان داد که نانوذرات TiO_2 در کریستال آناتاز در تمام آزمون‌ها و در غلظت‌های بالا سمیت داشت و به‌علت خاصیت ضدمیکروبی آنها رشد قابل‌توجه ریشه‌ها در غلظت‌های کم‌تر مشاهده شد. پیشنهاد شد که چون روتیل خاصیت چربی‌دوستی[۷] دارد، نانوذرات TiO_2 می‌توانند توده‌های بزرگی در محیط آبی ایجاد کند که موجب کاهش تأثیر بر جانداران و کاهش سمیت در مقایسه با آناتاز می‌شود. اخیراً تأثیرات نانوذرات اکسید تیتانیم بر جوانه‌های ذرت در شرایط هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد تجمع نانوذرات در سطح ریشه موجب انسداد آرام منافذ دیواره سلولی و کاهش رشد برگ‌ها، انتقال آب و تعرق شد (آسلی و نئومان ۲۰۰۹). هو و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر نانوذرات اکسید آهن (γ-Fe_2O_3) و یون‌های آهن (Fe^{3+}) را بر رشد گیاهان پومیلو یا دارابی[۸] بررسی و نشان دادند که غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید آهن سبب افزایش قابل‌توجه غلظت کلروفیل (۲۳/۸ درصد) و فعالیت آنزیم دهیدروژناز (۲۳/۲ درصد) نسبت به تیمار شاهد داشت اما در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تولید مالون‌دی‌آلدهید[۹] را افزایش داد که موجب کاهش غلظت کلروفیل و فعالیت آنزیم دهیدروژناز شد. آنان دلیل این اثرهای منفی نانوذرات اکسید آهن را انبوهه شده و تجمع آنها در سطح ریشه اعلام و بیان کردند که تجمع نانوذرات در سطح ریشه از انتقال آب به برگ‌ها جلوگیری می‌کند. همچنین آسیب-های اکسایشی که بر اثر حضور نانوذرات در سلول ایجاد می‌شود (شکل ۳)، می‌تواند موجب تخریب کلروپلاست و کاهش غلظت کلروفیل در برگ‌ها شود.

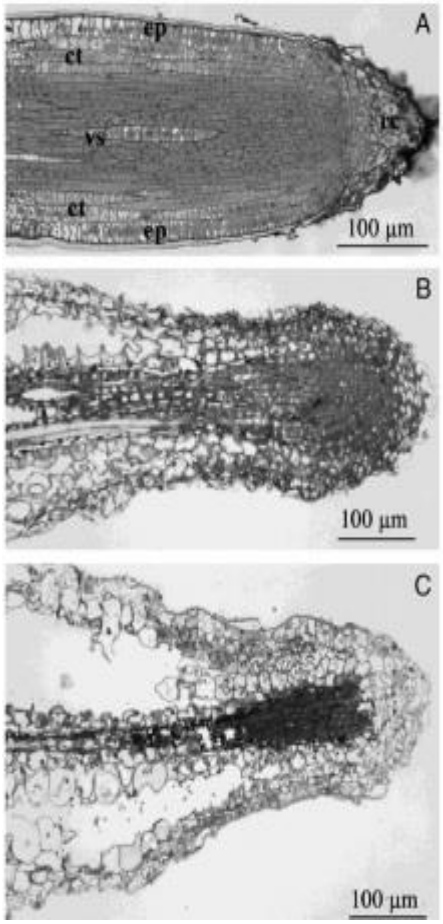
[۱] *Allium cepa*
[۲] Cytotoxicity
[۳] Genotoxicity
[٤] Depolymerization
[٥] *Daphnia*
[٦] *Rotifers*
[۷] Lipophilicity
[۸] *Citrus maxima*
[۹] Malondialdehyde (MDA)

Archive of SID

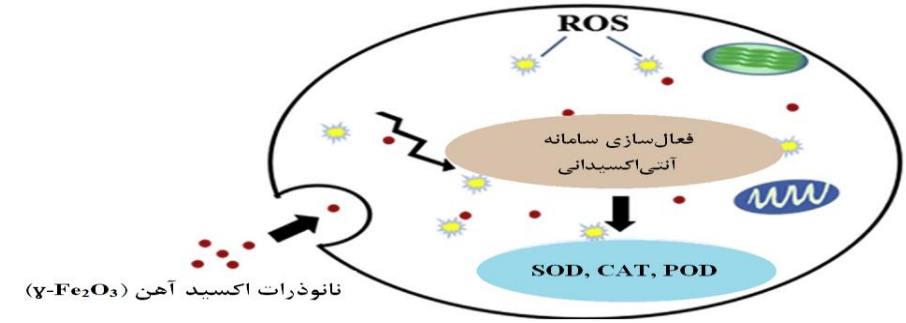
www.SID.ir



شکل ۱- ناهنجاری‌های کروموزومی مشاهده شده در سلول های مریستمی پیاز در معرض نانوذرات اکسید روی (A_1) کروموزوم چسبده در مرحله متافاز (A_2) مرحله آنافاز آشفته با کروموزوم‌های شکسته و معیوب (A_3) متافاز آشفته (A_4)کروموزوم های چسبنده در مرحله آنافاز (B_1) آنافاز چند قطبی (B_2) C-میتوزی سلول (B_3) کروموزوم‌های رها شده و معیوب در آنافاز (B_4) سلول دو هسته‌ای در مرحله اولیه تقسیم سلولی (C_1 و C_4) هسته مرحله اولیه تقسیم سلولی با خرد هسته (میکرونوکلئوس) در اینترفاز (C_2) سلول در اوایل مرحله آنافاز با کروموزوم‌های چسبنده و جوانه‌زدن خرد هسته (C_3) سلول دو هسته‌ای در تلوفاز اولیه با خرد هسته در متافاز. بزرگ‌نمایی برای همه تصاویر ۱۰۰۰ برابر است (کوماری و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۲- تصویر نوک ریشه چچم در زیر میکروسکوپ نوری تغییر شکل مورفولوژی ریشه را توسط نانوذرات ZnO یا یون روی نشان داد. A: شاهد، B: تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات ZnO و C: تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر یون روی. RC: کلاهک ریشه، EP: اپیدرم، CT: پوست و VS: آوندها (لین و ایکسینگ، ۲۰۰۸).



شکل ۳- شمایی از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) در گیاهان برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید شده توسط نانوذرات اکسید آهن (γ-Fe_2O_3) (هو و همکاران، ۲۰۱۷).

Archive

www.SID.ir

جدول ۱- تأثیر منفی برخی نانومواد بر گیاهان

نوع ترکیب نانومواد	اندازه نانوذرات (نانومتر)	غلظت	نوع گیاه	اثرات مشاهده شده	منبع
نانوذرات فلزی آلومینیوم	۱۳	۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	ذرت، خیار، سورگم، کلم و هویج	جلوگیری از رشد ریشه	یانگ و واتس (۲۰۰۵)
نانوذرات فلزی روی و اکسید روی	۲۰	۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	چچم ذرت	مانع جوانه‌زنی بذر	لین و ایکسینگ (۲۰۰۷)
نانوذرات اکسید روی	۲۰	۱۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	چچم	کاهش زیست‌توده و کوچک شدن ریشه	لین و ایکسینگ (۲۰۰۸)
نانوذرات اکسید روی	۱۰۰>	۲ تا ۸ میلی‌گرم در لیتر	پیاز	سلول‌سم و ژن‌سم کروموزوم‌های چسبیده	کوماری و همکاران (۲۰۱۱)
نانوذرات اکسید روی	کوچک‌تر از ۱۰۰	۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	تربچه	کاهش جوانه‌زنی	گارسیا-گومز و همکاران (۲۰۱۵)
نانوذرات اکسید روی	۱۰۰	۱۲۵ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر	گندم	کاهش طول ریشه	واتسون و همکاران (۲۰۱۵)
نانوذرات اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم	۲۵	۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	گوجه‌فرنگی	کاهش جوانه‌زنی	رالیا و همکاران (۲۰۱۵)
نانوذرات اکسید روی	کوچک‌تر از ۵۰	۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	ذرت و برنج	کاهش طول ریشه	یانگ و همکاران (۲۰۱۵)
نانوذرات اکسید روی	۹۰	۳۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم	ذرت	کاهش کلروفیل a و b	ونگ و همکاران (۲۰۱۶)
نانوذرات اکسید روی و اکسید مس	۲۵ تا ۵۵	۱ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	هویج	کاهش زیست‌توده	ابس و همکاران (۲۰۱۶)
نانوذرات اکسید روی و اکسید مس		۳۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم	گندم	کاهش رشد	اندرسون و همکاران (۲۰۱۷)
نانوذرات اکسید روی	کوچک‌تر از ۵۰	۲۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	گندم	جلوگیری از جوانه‌زنی	جاین و همکاران (۲۰۱۷)
نانولوله‌های تک جداره کربنی عاملدار و غیرعاملدار	۸	۵۶ تا ۱۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر	کاهو و گوجه-فرنگی	جلوگیری از رشد ریشه	کاناس و همکاران (۲۰۰۸)
نانوذرات فلزی نقره	۲ تا ۲۵	۱۳ و ۲۶ میلی‌گرم در لیتر	لوبیا و سورگوم	کاهش ۵۰ درصدی رشد	لی و همکاران (۲۰۱۲)
نانوذرات فلزی نقره	۲۰ تا ۱۰۰	۵ میلی‌گرم در لیتر	گیاه عدسک آبی	جلوگیری از رشد	گوبینس و همکاران (۲۰۱۱)

Archive of SID

www.SID.ir

نانوذرات فلزی نقره	۲۰ تا ۸۰	یک میلی‌گرم در لیتر	ارابیدوپسیس تالیانا[1]	جلوگیری از رشد ریشه	ما و همکاران (۲۰۱۰)

ادامه جدول ۱

نانوذرات فلزی نقره (پوشانده شده با سیترات)	۱۱	۷۳/۴ میلی‌گرم در لیتر	ذرت	تأخیر در جوانه‌زنی	پوخرل و دوبی (۲۰۱۳)
نانوذرات فلزی نقره (پوشانده شده با سیترات)	۲۰، ۴۰ و ۸۰	۶۶/۸۴ تا ۵۳۴/۷۲ میلی‌گرم در لیتر	آرابیدوپسیس	ایجاد سمیت در ریشه‌ها	جیسلر–لی و همکاران (۲۰۱۳)
نانوکریستال‌های هیدروکسی آپاتیت	۱۸/۹تا ۳۲/۶	۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	ماش	جلوگیری از جوانه‌زنی	جیانگ و همکاران (۲۰۱۴)
نانوذرات اکسید نیکل	۵۰>	۲۵ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	گوجه‌فرنگی	کاهش رشد ریشه	فایسال و همکاران (۲۰۱۳)
نانوذرات اکسید نیکل	۱۰۰	۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم	جو	تنش اکسایشی و کاهش رشد	سوارز و همکاران (۲۰۱۸)
نانوذرات اکسید تیتانیوم	۳	۳۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	ذرت	کاهش رشد برگ‌ها، انقال آب و تعرق	آسلی و نئومان (۲۰۰۹)
نانوذرات اکسید سریوم	۲۳	۲۵ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	گوجه‌فرنگی	تنش اکسایشی و بافت مردگی	ژانگ و همکاران (۲۰۱۷)
نانوذرات اکسید سریوم	۸	۶۲/۵ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر	برنج	تنش اکسایشی و آسیب به بافت و پراکسیدی شدن چربی	ریکو و همکاران (۲۰۱۳)
نانوذرات اکسید نودیمیوم	۳۰ تا ۴۵	۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	کدو	تنش اکسایشی و جلوگیری از رشد و جذب عناصر غذایی ضروری	چن و همکاران (۲۰۱۶)
نانوذرات اکسید آهن	۱۰/۲	۰/۰۳۲، ۰/۳۲/ و ۳/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم	شبدر	کاهش زیست‌توده	فنگ و همکاران (۲۰۱۳)
نانوذرات اکسید آهن	–	۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر	اسفناج	کاهش وزن تر و خشک	جیاسوبرامانیان و همکاران (۲۰۱۶)
نانوذرات اکسید مس	کوچکتر از ۱۰۰	۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	ترب ژاپنی و چچم	کاهش و جلوگیری از رشد ریشه	آثا و همکاران (۲۰۱۲)
نانوذرات اکسید مس	کوچک‌تر از ۵۰	۵ میلی‌گرم در لیتر	برنج	کاهش طول و زیست‌توده ریشه	ونگ و همکاران (۲۰۱۵)
نانوذرات اکسید مس	کوچک‌تر از ۵۰	۲۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر	خردل هندی	کاهش رشد بخش هوایی و ریشه	نایر و چونگ (۲۰۱۵)
نانوذرات اکسید مس	کوچک‌تر از ۵۰	۲/۵ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	برنج	کاهش جوانه‌زنی، کاهش فتوسنتز	دا کاستا و شارما (۲۰۱۶)

[1] *Arabidopsis thaliana*

Archive of SID

www.SID.ir

نانوذرات اکسید مس	۳۰	۱۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	پنبه	کاهش جذب عناصر بر، مولیبدم، منگنز، منیزیم، روی و آهن	لی ون و همکاران (۲۰۱۶)

ادامه جدول ۱

نانوذرات سیلیسیم	۵۰	۲۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	آرابیدوپسیس	کاهش طول ساقه و زیست‌توده	سلومبرگ و سچونفیسچ (۲۰۱۲)
نانوذرات سیلیسیم	۱۰	۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر	کدو	جلوگیری از جوانه‌زنی	ستامپولیس و همکاران (۲۰۰۹)

جیانگ و همکاران (۲۰۱٤) سمیت هیدروکسی آپاتیت در گیاه ماش را در رابطه با غلظت نانوذرات هیدروکسی آپاتیت، ساختار نانو و غلظت زیاد Ca^{2+} درون سلولی باشد. فایسال و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند سمیت نانوذرات NiO در ریشه گوجه‌فرنگی به علت اکسایش نامتعادل بود که با افزایش در سطوح آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مشاهده شد. غلظت بیش از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید آهن با اندازه هشت نانومتر که به‌صورت سوسپانسیون برای آبیاری جوانه‌های ذرت که در میان کاغذهای صافی رشد یافته بودند، مورد استفاده قرار گرفته بود، مانع رشد ذرت شد (راکوکیو و کریانگا، ۲۰۰۷). رابطه آشکاری بین ترکیب‌های شیمیایی، ساختار شیمیایی، اندازه ذرات و سطح ویژه نانوذرات با سمیت ناشی از آنها وجود دارد. سمیت نانوذرات ممکن است به‌علت دو موضوع متفاوت باشد: ۱- سمیت شیمیایی به‌علت ترکیب‌های شیمیایی سمی و رهاسازی یون‌های سمی و ۲- ایجاد تنش یا تحریک به‌علت سطح، اندازه و یا شکل نانوذرات (کاپالیدی آرودا و همکاران، ۲۰۱۵). این موضوع تأیید شده است که قابلیت انحلال نانوذرات اکسیدی به‌طور قابل‌توجهی بر سلول کشت شده در آزمایشگاه اثر داشته است و مدارک جدید دیگر نشان داده است که علت سمیت نانوذرات نمی‌تواند تنها با رهاسازی ترکیب‌های محلول از نانوذره توضیح داده شود (برونر و همکاران، ۲۰۰٦ و گاگنی و همکاران، ۲۰۱۲). کاپالدی آرودا و همکاران (۲۰۱۵) اذعان داشتند تحلیل نوشته‌ها نشان داد که هیچ یک از بررسی‌های انجام شده تأثیرات یون‌های آزاد شده از نانوذرات و تأثیرات نانوذرات را بر گیاهان ارزیابی نکرده‌اند که موجب ایجاد شبهه در مورد اطلاعات توضیح داده شده می‌شود. برای مثال در گیاهان کشت شده در معرض نانوذرات افزایش یا کاهش مشاهده شده در رشد، توسعه یا کارایی، انحصاراً به‌علت تأثیرات نانوذرات نبوده و ممکن است یون مربوطه نیز دخالت داشته باشد. اساساً نانوذرات، یون یا هر دوی آنها در نتایج آزمایش مؤثر هستند. همچنین آنان گزارش کردند یک فرضیه می‌تواند این باشد که نانوذرات با گیاهان دارای برهمکنش بوده و این برهمکنش‌ها (مانند جذب و تجمع در زیست‌توده گیاه) بر سرنوشت و انتقال آنها در محیط اثر خواهد داشت. نانوذرات همچنین می‌توانند به ریشه‌های گیاه چسبیده و باعث سمیت فیزیکی یا شیمیایی در گیاه شوند (کاپالدی آرودا و همکاران، ۲۰۱۵). اثر متقابل با ریزجانداران در خاک را نیز نمی‌توان نادیده گرفت زیرا آنها اثر متقابل مثبتی با گیاهان دارند (آندراد و همکاران، ۲۰۱۰). در این مورد می‌توان به قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار[1] که می‌تواند یک رابطه همزیستی با ریشه‌های اکثر گونه‌های گیاهی تشکیل دهد، اشاره کرد (آندراد و همکاران، ۲۰۰۹). جنبه دیگری که باید به آن توجه کرد خاک است، زیرا زیست‌فراهمی عناصر به خاک بستگی داشته و می‌تواند تغییر کند (ملو و همکاران، ۲۰۱۱). دو نکته مهم در مورد پژوهش‌های نانوسم[2] عبارت است از: ۱) انواع مختلفی از نانوذرات در اکوسیستم‌ها به‌طور طبیعی وجود دارد؛ گیاهان باید سازوکارهای خاصی در تعدیل این ذرات کوچک داشته باشند؛ ۲) گیاهان به مقدار ناچیزی از عناصر غذایی کم مصرف برای فعالیت‌های فیزیولوژی معمول خود نیاز دارند در حالی‌که غلظت‌های

[1] Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)

[2] Nanotoxicity

Archive of SID

www.SID.ir

بسیار زیاد هر عنصر غذایی کم مصرف موجب مسمومیت گیاه می‌شود؛ به عبارت دیگر، مشاهده نانوسم در غلظت‌های بسیار بالای نانوذرات قابل استناد نبوده و در غلظت کم‌تر نانوسم انتظار مسمومیت گیاه نمی‌رود اما در غلظت‌های بیش از حد معقول احتمال مسمومیت گیاه وجود دارد (لیو و لال، ۲۰۱٤). چون گیاهان اولین تولید کنندگان هستند، سمیت یک آلاینده در گیاه می‌تواند به‌عنوان یک معرف برای پیش‌بینی تأثیرات مضر آلاینده نگران کننده بر تمام اکوسیستم، مورد توجه واقع شود (سیدیکویی و همکاران، ۲۰۱۵).

گیاه‌پالایی نانوذرات

به‌علت توسعه زیاد نانوفناوری در سال‌های اخیر و کاربرد وسیع نانوذرات در بخش‌های مختلف، خطر آلوده کردن محیط در آینده نزدیک بسیار زیاد خواهد بود. در این میان آب و خاک از جمله محیط‌های آلوده شده خواهند بود. محیط آلوده شده با عناصر سمی (شامل فلزات) یا ترکیب‌های (مانند آفت‌کش‌ها)، واقعیتی است که در حال حاضر و متأسفانه وجود دارد و فعالیت‌های انسانی وضعیت را وخیم‌تر کرده است (گراتائو و همکاران، ۲۰۱۲). اگرچه فایده‌های استفاده نانوذرات از بسیار زیاد است اما استفاده از آنها موجب بدتر شدن مشکل می‌شود که بیانگر این واقعیت است که هر فرآیندی باید به‌دقت مورد نظارت واقع شود تا از آلودگی محیط در آینده جلوگیری شود. رفع آلودگی از خاک‌ها و محیط‌های آبی آلوده شده به فلزات با استفاده از گیاهان به‌طور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است که به این فرآیند گیاه‌پالایی گفته می‌شود (علی و همکاران، ۲۰۱۳، سوزا و همکاران، ۲۰۱۳). برخی بررسی‌ها امکان گیاه‌پالایی محیط‌های آلوده به نانوذرات را ارزیابی کرده‌اند. این موضوع تأیید شده که نانوذرات Au، Ag، CuO، ZnO و C_{60} هم به شکل نانوذره و هم به شکل یون توسط گیاهان به‌سرعت جذب و به بخش‌های هوایی گیاهان انتقال می‌یابند (گاردیا-تورسدی و همکاران، ۲۰۱٤).

بیسترزجوسکا-پیوتروسکا و همکاران (۲۰۱۲) ظرفیت تجمع نانوذرات اکسید آهن (Fe_3O_4) با میانگین اندازه ۵۰ نانومتر را در گیاهان شاهی[۱] و نخود فرنگی[۲] مورد ارزیابی قرار دادند. این دو گونه گیاهی ظرفیت تجمع نانوذرات اکسید آهن (Fe_3O_4) را با بیش از ۹۰ درصد در ریشه‌ها به‌علت جذب قوی در سطح ریشه نشان دادند (تقریباً ۳۹/۵ گرم بر کیلوگرم در نخود فرنگی و ۷/۸ گرم بر کیلوگرم در شاهی). ژائو و همکاران (۲۰۱۳) که مطالعه‌ای در کشت خیار[۳] داشتند، مشاهده کردند که گیاهان هنگام رشد در سطوح ٤۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات CeO_2 یا اکسید روی زنده ماندند. مطالعه در رابطه با گیاه‌پالایی نبود ولی نشان داده شد که این گونه‌های گیاهی ظرفیت تجمع روی و سریوم را دارند و روی حتی در میوه هم شناسایی شد. با این حال درصد تجمع کم بود و در هیچ موردی بیش از پنج درصد نبود. با استفاده از رشد ذرت در خاک‌هایی با گستره غلظت صفر تا ۸۰۰ میلی‌گرم نانوذرات اکسید روی در کیلوگرم خاک در حضور و عدم حضور سدیم آلجینات[٤]، تغییری در زیست‌توده گیاه در حضور سدیم آلجینات حتی در مقادیر بالای نانوذرات اکسید روی در خاک ایجاد نشد (ژائو و همکاران، ۲۰۱۳). حضور آلجینات موجب افزایش قابلیت دسترسی روی در خاک شد. رشد گیاهان ذرت در بالاترین مقدار روی در ریشه‌ها و بخش‌هوایی بعد از ۳۰ روز تجمع روی در بالاترین سطح اعمال شده (۸۰۰ میلی‌گرم نانوذرات اکسید روی در کیلوگرم خاک در حضور سدیم آلجینات) متوقف شد که ۷٦۹ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در ریشه‌ها و ٤۹۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم در بخش‌هوایی تجمع یافت (ژائو و همکاران، ۲۰۱۳). این نتایج قبلاً توسط لین و ایکسینگ (۲۰۰۸) گزارش شده بود. این مطالعه همچنین نشان داد که مقدار روی جذب شده توسط گیاه ممکن است همبستگی مستقیمی با مقدار

---

[۱] *Lepidium sativum*
[۲] *Pisum sativum L.*
[۳] *Cucumis sativus*
[٤] Sodium alginate

Archive of SID

www.SID.ir

ماده آلی در خاک داشته باشد.

در یک مطالعه دیگر که توسط دیمکپا و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد، عملکرد گندم در حضور نانوذرات CuO و نانوذرات اکسید روی با عملکرد آن در حضور CuO و اکسید روی با اندازه نانو-نانومتری[۱] در خاک شنی مقایسه شد. یون‌های مس و روی در قسمت-های بالایی گندم تجمع یافتند که نشان می‌دهد که جذب این فلزات در رابطه با حضور این عناصر در خاک است. اختلاف مشاهده شده بین انتقال شکل‌های مختلف CuO و اکسید روی نشان داد فرآیند جذب و انتقال به شکل فلز در خاک بستگی ندارد. جاکوب و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای در رابطه با نانوذرات TiO_2 و چهار گونه گیاهی انجام دادند که دو گونه از این گیاهان مربوط به خاک‌ها خشک (لوبیا[۲] و گندم[۳]) و دو گونه دیگر گیاهان اراضی مرطوب (ترشک[۴] و الودئا[۵]) بودند. کشت با نانوذرات TiO_2 (با میانگین اندازه کوچک‌تر از ۲۵ نانومتر) در غلظت‌های صفر تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به جز برای گیاه الودئا که بیش‌ترین غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود، انجام شد. در هیچ یک از تیمارهای مورد آزمایش تغییری در زیست‌توده گیاهان مشاهده نشد. ریشه‌های گیاهان مقدار بالایی (٤٠٧٠ میلی‌گرم در کیلوگرم) تیتانیم داشتند خصوصاً در گندم و تمام گیاهان مورد مطالعه انتقال تیتانیم را نشان دادند. دیگر عناصر غذایی مانند فسفر می‌تواند برای جذب با تیتانیم در محیط‌های آبی بر اساس اطاعات به‌دست آمده از گیاه الودئا رقابت کند؛ بنابراین، گیاهان مورد آزمایش توان خود را برای استخراج‌گیاهی[۶] تیتانیم از نانوذره TiO_2 را نشان دادند. در مطالعه‌ای دیگر که با نانوذرات TiO_2 و گیاه خیار انجام شد نانوذرات در میوه‌ها تشخیص داده شدند (سروین و همکاران، ۲۰۱۳). گیاهان در یک خاک شنی به مدت ۱۵۰ روز با غلظت‌هایی در گستره صفر تا ۷۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از نانوذرات TiO_2 (با اندازه ۲۷ نانومتر) کشت شدند. حضور نانوذرات در میوه نشان داد که نانوذرات ممکن است از خاک به میوه انتقال یابند بدون اینکه دستخوش تغییری به‌علت فرآیندهای زیست‌شیمیایی[۷] شوند. لارو و همکارن (۲۰۱۲) تجمع، جذب و تأثیر نانوذرات تیتانیم را در گندم بررسی کردند. بذرها برای ۱۵ روز در بستر شن با محلول هوگلند خیسانده و بعد از جوانه‌زنی هر گیاهچه به‌دقت به شیشه‌های انفرادی حاوی سوسپانسیون نانوذرات اکسید تیتانیم (TiO_2) (با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) انتقال داده شد. گیاهان به مدت هفت روز در معرض نانوذرات اکسید تیتانیم برای بررسی تجمع و انتقال و پژوهش درباره تأثیر نانوذرات اکسید تیتانیم بر گیاه قرارگرفت. تجمع نانوذرات تیتانیم در ریشه‌های گیاه مشاهده شد که نشان داد نانوذرات در ریشه‌ها گندم تجمع می‌یابند. در رابطه با جذب تنها کوچک‌ترین نانوذرات تیتانیم در برگ-های گندم تشخیص داده شدند.

نتیجه‌گیری کلی

افزایش استفاده از نانومواد در صنعت و کشاورزی به‌ویژه نانوکودها موجب ورود این مواد به محیط زیست شده است. از جمله نگرانی‌های ورود این مواد به محیط زیست عدم اطلاعات کافی از تأثیر این مواد در غلظت‌های مختلف بر گیاهان در دوره‌های مختلف رشد آنها است. همچنین، در مورد چگونگی تأثیر نانومواد بر ریزجانداران خاکزی اطلاعات کافی وجود ندارد. نانومواد به‌علت ابعاد بسیار کوچک ویژگی‌هایی دارند که می‌تواند موجب آسیب به گیاهان و ریزجاندارن شوند. از طرف دیگر، مدارکی وجود دارند که نشان می‌دهند برخی گیاهان می‌توانند نانوذرات را در خود تجمع دهند که می-توان از این توانایی برای گیاه‌پالایی استفاده کرد اما جنبه منفی آن ورود نانوذرات به زنجیره غذایی است که در رأس آن انسان‌ها قرار دارند؛ بنابراین، استفاده از نانومواد

[۱] Non-nanometric
[۲] *Phaseolus vulgaris*
[۳] *Triticum aestivum*
[۴] *Rumex crispus*
[۵] *Elodea canadian L*
[۶] Phytoextraction
[۷] Biochemical

Archive of SID

www.SID.ir

به‌عنوان کود و پاسخ گیاهان به این مواد جدید در مراحل مختلف رشد باید مورد بررسی دقیق قرار گیرد. پیشنهادهای زیر برای بهبود و تکمیل دانش جامعه علمی در مورد نانومواد و تغذیه گیاهان ارائه شده است.

پیشنهادات ترویجی

شاید اولویت اول برای پژوهش در مورد سمیت (نانوسم) و تنش حاصل از نانومواد باشد که به‌عنوان کود معرفی و یا مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. لازم است پژوهش‌های بیش‌تری در مورد بررسی تأثیر تجمع یا رسوب نانوذرات در اندامک‌های سلول‌های گیاهی مانند میتوکندری یا کلروپلاست انجام شود. به‌علاوه، از جنبه‌های دیگری که در پژوهش‌های آتی باید مورد توجه قرار گیرد تأثیر نانوذرات بر اثر متقابل گیاه–خاک–ریزجانداران است، شاید بررسی‌ها در شرایط واقعی خاک که در آن گیاهان کشت شده و ریزجانداران حضور دارند به آنهایی که مخصوص بررسی اثرهای سودمند هستند، اولویت داشته باشد، زیرا ممکن است خطرهای دیگری توسعه و عملکرد نهایی گیاه را تهدید کند. پیشنهاد می‌شود پتانسیل‌های تأثیر نانوکودها و نانومواد افزوده شده به گیاهان بر سلامت محیط‌های میکروبی خاک، بررسی گردد تا خطرها و فایده‌های نانوفناوری در کشاورزی ارزیابی شود. جنبه‌ای که به نظر می‌رسد نادیده گرفته شده است، گیاهان تراریخت و جهش‌یافته است؛ به‌عبارت دیگر، لازم است جنبه‌های ایجاد تغییرپذیری ژنتیکی در گیاهان و حتی ریزجانداران خاک بررسی شود. ژنوتیپ‌های مختلف گونه‌های گیاهی (مانند لاین‌ها، ارقام، دورگه‌ها و غیره) ممکن است پاسخ‌های کاملاً متفاوتی به یک نوع نانوذره نشان دهند. پژوهش‌ها باید به سمت بررسی‌های پروتئومی، ژنتیکی و متابولیسمی برای درک بهتر سازوکارهای درگیر در اثرهای متقابل نانوذرات و گیاهان سوق داده شوند. یکی از جنبه‌هایی که نمی‌توان آن را نادیده گرفت جذب فلزات و تجمع آنها در گیاهانی است که مورد استفاده حیوانات و انسان هستند. در این موارد نگرانی‌ها به‌علت احتمال ورود این فلزات و نانوذرات به چرخه غذایی انسان و تهدید سلامتی بشر، افزایش یافته است. این نوع مطالعه مفید و ضروری خواهد بود، به‌طوری‌که بررسی‌های دقیق‌تری در مورد سینتیک جذب، تجمع و انتقال نانوذرات در گیاهان انجام شود و آگاهی‌های جدیدی در مورد استفاده از نانوذرات و اثرها و سمیت آنها در گیاهان ارائه شود.

فهرست منابع

۱. بازرگان، ک؛ م، متین‌فر؛ ح ع، حسین‌زاده؛ م ح، داودی. ۱۳۹۱. ضرورت تدوین «قانون کود» و «استانداردهای ملی» در راستای ساماندهی مدیریت امرو کود در ایران. مجله پژوهش‌های خاک، شماره ۲۶: ۲۲۵–۲۱۹.

2. Akerman, M.E., W.C. Chan, P. Laakkonen, S.N. Bhatia, E. Ruoslahti. 2002. Nanocrystal targeting in vivo. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 20:12617–12621.
3. Ali, H., E. Khan, M.A. Sajad. 2013. Phytoremediation of heavy metals--concepts and applications. Chemosphere. 7: 869–881.
4. Amenta, V., K. Aschberger , M. Arena, H. Bouwmeester, F. B. Moniz, P. Brandhoff, S. Gottardo, H. J. P. Marvin, A. Mech, L. Q. Pesudo, H. Rauscher, R. Schoonjans, M. V. Vettori, S. Weigel, and R. J. Peters. 2015. Regulatory aspects of nanotechnology in the agri/feed/food sector in EU and non-EU countries. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 73:463-476.
5. Anderson, A., J. McLean, P. McManus, and D. Britt. 2017. Soil chemistry influences the phytotoxicity of metal oxide nanoparticles. International Journal of Nanotechnology. 14:15-21.
6. Andrade, S.A.L., P.L. Gratao, M.A. Schiavinato, A.P.D. Silveira, R.A. Azevedo, P. Maz-

Archive of SID

www.SID.ir

zafera. 2009. Zn uptake, physiological response and stress attenuation in mycorrhizal jack bean growing in soil with increasing Zn concentrations. Chemosphere. 10:1363–1370.
7. Andrade, S.A.L., P.L. Gratao, R.A. Azevedo, A.P.D. Silveira, M.A. Schiavinato, P. Mazzafera. 2010. Biochemical and physiological changes in jack bean under mycorrhizal symbiosis growing in soil with increasing Cu concentrations. Environmental and Experimental Botany. 68:198–207.
8. Andre Nel, T., L. Madler, L. Ning. 2006. Toxic potential of materials at the nanolevel. Science. 5761:622–627.
9. Asli, S., P.M. Neumann. 2009. Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. Plant Cell Environment. 32:577–584
10. Atha, D.H., H. Wang, E.J. Petersen, D. Cleveland, R.D. Holbrook, P. Jaruga, M. Dizdaroglu, B. Xing, and B.C. Nelson. 2012. Copper oxide nanoparticle mediated DNA damage in terrestrial plant models. Environmental Science & Technology. 46:1819-1827.
11. Bakshi, M., H.B. Singh, P.C. Abhilash. 2014. Unseen impact of nanoparticles: more or less? Current Science. 106:350-352.
12. Barrena, R., E. Casals, J. Colon, X. Font, A. Sanchez, V. Puntes. 2009. Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles. Chemosphere.75:850–857.
13. Bouwmeester, H., S. Dekkers, M.Y. Noordam, W.I. Hagens, A.S. Bulder, C. de Heer, S.E. ten Voorde, S.W. Wijnhoven, H.J. Marvin, A.J. Sips. 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 53:52–62.
14. Brunner, T.J., P. Wick, P. Manser, P. Spohn, R.N. Grass, L.K. Limbach, A. Bruinink, W.J. Stark. 2006. In vitro cytotoxicity of oxide nanoparticles: comparison to asbestos, silica, and the effect of particle solubility. Environmental Science & Technology. 40: 4374–4381.
15. Bystrzejewska-Piotrowska, G., M. Asztemborska, R. Stęborowski, H. Polkowska-Motrenko, B. Danko, J. Ryniewicz. 2012. Application of neutron activaton for investigation of Fe3O4 nanoparticles accumulation by plants. Nukleonika 57:427–430.
16. Canas, J.E., M. Long, S. Nations, R. Vadan, L. Dai, M. Luo, R. Ambikapathi E.H. Lee, D. Olszyk. 2008. Effects of functionalized and nonfunctionalized single-walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. Environmental Toxicology and Chemistry. 27:1922–1931.
17. Capaldi Arruda, S. C., A. L. Diniz Silva, R. M. Galazzi, R. Antunes Azevedo, M. A. Zezzi Arruda. 2015. Nanoparticles applied to plant science: A review. Talanta. 131: 693–705.
18. Chahal, A.S., A.R. Madgulkar, S.J. Kshirsagar, M.R. Bhalekar, A. Dikpati, P. Gawli. 2012. Amorphous nanoparticles for solubility enhancement. Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research. 2:167–178.
19. Chen, G., C. Ma, A. Mukherjee, C. Musante, J. Zhang, J.C. White, D. O.P., and B. Xing. 2016. Tannic acid alleviates bulk and nanoparticle Nd2O3 toxicity in pumpkin: a physiological and molecular response. Nanotoxicology. 10:1243-1253.
20. Clement, L., C. Hure, N. Marmier. 2013. Toxicity of TiO_2 nanoparticles to cladocerans, algae, rotifers and plants - effects of size and crystalline structure. Chemosphere. 90:1083–1090.
21. Da Costa, M.V.J., and P.K. Sharma. 2016. Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in Oryza sativa. Photosynthetica. 54:110-119.
22. Dimkpa, C.O., J.E. McLean, D.E. Latta, E. Manangon, D.W. Britt, W.P. Johnson, M.I. Boyanov, A.J. Anderson. 2012. CuO and ZnO nanoparticles: Phytotoxicity, metalspeciation, and induction of oxidative stressin sand-grown wheat. Journal of Nanoparticle Research. 14:1125–1139.
23. Ebbs, S.D., S.J. Bradfield, P. Kumar, J.C. White, C. Musante, and X. Ma. 2016. Accumulation of zinc, copper, or cerium in carrot (Daucus carota) exposed to metal oxide nano-

Archive of SID

www.SID.ir

particles and metal ions. Environmental Science: Nano. 3:114-126.
24. Faisal, M., Q. Saquib, A.A. Alatar, A.A. Al-Khedhairy, A.K. Hegazy, J. Musarrat. 2013. Phytotoxic hazards of NiO-nanoparticles in tomato: a study on mechanism of cell death. Journal of Hazardous Materials. 250:318–332.
25. Feng, Y., X. Cui, S. He, G. Dong, M. Chen, J. Wang, and X. Lin. 2013. The role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth. Environmental Science & Technology. 47:9496-9504.
26. Gagne, F., C. Andre, R. Skirrow, M. Gelinas, J. Auclair, G. van Aggelen, P. Turcotte, C. Gagnon. 2012. Toxicity of silver nanoparticles to rainbow trout: a toxicogenomic approach. Chemosphere. 89:615–622.
27. Gao, J., G. Xu, H. Qian, P. Liu, P. Zhao, Y. Hu. 2013. Effects of nano-TiO_2 on photosynthetic characteristics of Ulmus elongata seedlings. Environmental Pollution. 176:63-70.
28. Garcia-Gomez, C., M. Babin, A. Obrador, J. Alvarez, and M. Fernandez. 2015. Integrating ecotoxicity and chemical approaches to compare the effects of ZnO nanoparticles, ZnO bulk, and ZnCl2 on plants and microorganisms in a natural soil. Environmental Science and Pollution Research. 22:16803-16813.
29. Gardea-Torresdey, J.L., C.M. Rico, J.C. White. 2014. Trophic transfer, transformation, and impact of engineered nanomaterials in terrestrial environments. Environmental Science & Technology. 48:2526–2540.
30. Geisler-Lee, J., Q. Wang, Y. Yao, W. Zhang, M. Geisler, K. Li, Y. Huang, Y. Chen, A. Kolmakov, and X. Ma. 2013. Phytotoxicity, accumulation and transport of silver nanoparticles by Arabidopsis thaliana. Nanotoxicology. 7:323-337.
31. Gratao, P.L., A. Polle, P.J. Lea, R.A. Azevedo. 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. Functional Plant Biology. 32:481–494.
32. Gratão, P.L., C.C. Monteiro, R.F. Carvalho, T. Tezotto, F.A. Piotto, L.E.P. Peres R.A. Azevedo. 2012. Biochemical dissection of diageotropica and Never ripe tomato mutants to Cd-stressful conditions. Plant Physiology and Biochemistry. 56:79–96.
33. Gubbins, E.J., L.C. Batty, J.R. Lead. 2011. Phytotoxicity of silver nanoparticles to Lemna minor L. Environmental Pollution. 159:1551–1559.
34. Hoshino, A., K. Fujioka, T. Oku, S. Nakamura, M. Suga, Y. Yamaguchi, K. Suzuki, M. Yasuhara. 2004. Quantum Dots Targeted to the Assigned Organelle in Living Cells. Microbiology and Immunology. 48:985–994.
35. Jacob, D.L., J.D. Borchardt, L. Navaratnam, M.L. Otte, A.N. Bezbaruah. 2013. Uptake and translocation of Ti from nanoparticles in crops and wetland plants. International Journal of Phytoremediation. 15:142–153.
36. Jain, N., A. Bhargava, V. Pareek, M.S. Akhtar, and J. Panwar. 2017. Does seed size and surface anatomy play role in combating phytotoxicity of nanoparticles? Ecotoxicology. 26:238–249.
37. Jeyasubramanian, K., U.U.G. Thoppey, G.S. Hikku, N. Selvakumar, A. Subramania, and K. Krishnamoorthy. 2016. Enhancement in growth rate and productivity of spinach grown in hydroponics with iron oxide nanoparticles. RSC Advances. 6:15451-15459.
38. Jiang, H., J.K. Liu, J.D. Wang, Y. Lu, M. Zhang, X.H. Yang, D.J. Hong. 2014. The biotoxicity of hydroxyapatite nanoparticles to the plant growth. Journal of Hazardous Materials. 270:71–81.
39. Khot, L.R., S. Sankaran, J.M. Maja, R. Ehsani, E.W. Schuster. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protection. 35:64–70.
40. Kumari, M., S.S. Khan, S. Pakrashi, A. Mukherjee, N. Chandrasekaran. 2011. Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of Allium cepa. Journal of Hazardous Materials. 190:613–621.
41. Larue, C., J. Laurette, N. Herlin-Boime, H. Khodja, B. Fayard, A.M. Flank, F. Brisset, M. Carriere. 2012. Accumulation, translocation and impact of TiO2 nanoparticles in wheat (Triticum aestivum spp.): influence of diameter and crystal phase. Science of the Total Environment. 431:197–208.
42. Le Van, N., C.X. Ma, J.Y. Shang, Y.K. Rui, S.T. Liu, and B.S. Xing. 2016. Effects of

Archive of SID

www.SID.ir

CuO nanoparticles on insecticidal activity and phytotoxicity in conventional and transgenic cotton. Chemosphere. 144:661-670.
43. Lee, W.M., J.I. Kwak, Y.J. An. 2012. Effect of silver nanoparticles in crop plants Phaseolus radiatus and Sorghum bicolor: Media effect on phytotoxicity. Chemosphere. 86:491–499.
44. Lin, D., B. Xing. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. Environmental Pollution. 150:243–250.
45. Lin, D., B. Xing. 2008. Root Uptake and Phytotoxicity of ZnO Nanoparticles. Environmental Science & Technology. 42:5580–5585.
46. Liu, R., R. Lal. 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (Glycine max). Scientific Reports. 4:5686–5691.
47. Ma, X., J.G. Lee, Y. Deng, A. Kolmakov. 2010. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: phytotoxicity, uptake and accumulation. Science of the Total Environment. 408:3053–3061.
48. Mastronardi, E., P. Tsae, X. Zhang, C. Monreal, M. C. DeRosa. 2015. Strategic Role of Nanotechnology in Fertilizers: Potential and Limitations. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Rai, M., N. Duran, C. Ribeiro, L. Mattoso. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland.
49. Maynard, A.D., R.J. Aitken, T. Butz, V. Colvin, K. Donaldson, G. Oberdorster M.A. Philbert, J. Ryan, A. Seaton, V. Stone, S.S. Tinkle, L. Tran, N.J. Walker D.B. Warheit. 2006. Safe handling of nanotechnology. Nature 444:267–269.
50. Melo, L.C.A., L.R.F. Alleoni, G. Carvalho, R.A. Azevedo. 2011. Cadmium- and barium-toxicity effects on growth and antioxidant capacity of soybean (*Glycine max* L.) plants, grown in two soil types with different physicochemical properties. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 174:847–859.
51. Meng, H., T. Xia, S. George, A.E. Nel. 2009. A predictive toxicological paradigm for the safety assessment of nanomaterials. ACS Nano. 3:1620–1627.
52. Mirzajani, F., H. Askari, S. Hamzelou, M. Farzaneh, A. Ghassempour. 2013. Effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa* L. and its rhizosphere bacteria. Ecotoxicology and Environmental Safety. 88: 48–54.
53. Nair, P.M.G., and I.M. Chung. 2015. Study on the correlation between copper oxide nanoparticles induced growth suppression and enhanced lignification in Indian mustard (Brassica juncea L.). Ecotoxicology and Environmental Safety. 113:302-313.
54. Pokhrel, L.R., and B. Dubey. 2013. Evaluation of developmental responses of two crop plants exposed to silver and zinc oxide nanoparticles. Science of the Total Environment. 452:321-332.
55. Racuciu, M., D.E. Creanga. 2007. TMA-OH coated magnetic nanoparticles internalized in vegetal tissue. Romanian Journal of Physics. 52:395–402.
56. Raliya, R., R. Nair, S. Chavalmane, W.N. Wang, and P. Biswas. 2015. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (Solanum lycopersicum L.) plant. Metallomics. 7:1584-1594.
57. Rico, C.M., J. Hong, M.I. Morales, L. Zhao, A.C. Barrios, J.Y. Zhang, J.R. Peralta-Videa, and J.L. Gardea-Torresdey. 2013. Effect of cerium oxide nanoparticles on rice: a study involving the antioxidant defense system and in vivo fluorescence imaging. Environmental Science & Technology. 47:5635-5642.
58. Servin, A., W. Elmer, A. Mukherjee, R. De la Torre-Roche, H, Hamdi, J. C. White, P. Bindraban, C. Dimkpa. 2015. A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. Journal of Nanoparticle Research. 17:1-21.
59. Servin, A.D., M.I. Morales, H. Castillo-Michel, J.A. Hernandez-Viezcas, B. Munoz, L. Zhao, J.E. Nunez, J.R. Peralta-Videa, J.L. Gardea-Torresdey. 2013. Synchrotron verification of TiO2 accumulation in cucumber fruit: a possible pathway of TiO2 nanoparticle transfer from soil into the food chain. Environmental Science & Technology. 47: 11592–11598.
60. Slomberg, D.L., and M.H. Schoenfisch. 2012. Silica nanoparticle phytotoxicity to Arabidopsisthaliana. Environmental Science & Technology. 46:10247-10254.

Archive of SID

www.SID.ir

61. Soares, C., S. Branco-Neves, A.d. Sousa, M. Azenha, A. Cunha, R. Pereira, and F. Fidalgo. 2018. SiO2 nanomaterial as a tool to improve Hordeum vulgare L. tolerance to nano-NiO stress. Science of the Total Environment. 622:517–525.
62. Solanki P., A. Bhargava, H. Chhipa, N. Jain, J. Panwar. 2015. Nano-fertilizers and Their Smart Delivery System. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Rai, M., N. Duran, C. Ribeiro, L. Mattoso. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland.
63. Song, U., H. Jun, B. Waldman, J. Roh, Y. Kim, J. Yi, E.J. Lee. 2013. Functional analyses of nanoparticle toxicity: A comparative study of the effects of TiO2 and Ag on tomatoes (Lycopersicon esculentum). Ecotoxicology and Environmental Safety. 93:60–67.
64. Souza, L.A., F.A. Piotto, R.C. Nogueirol, R.A. Azevedo. 2013. Use of non-hyperaccumulator plant species for the phytoextraction of heavy metals using chelating agents. Scientia Agricola. 70:290–295.
65. Stampoulis, D., S.K. Sinha, and J.C. White. 2009. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. Environmental Science & Technology. 43:9473-9479.
66. Suzuki, K.G.N., T.K. Fujiwara, M. Edidin, A. Kusumi. 2007. Dynamic recruitment of phospholipase Cγ at transiently immobilized GPI-anchored receptor clusters induces IP_3–Ca^{2+} signaling: single-molecule tracking study 2. Journal of Cell Biology. 177:731–742.
67. Wang, F.Y., X.Q. Liu, Z.Y. Shi, R.J. Tong, C.A. Adams, and X.J. Shi. 2016. Arbuscular mycorrhizae alleviate negative effects of zinc oxide nanoparticle and zinc accumulation in maize plants - a soil microcosm experiment. Chemosphere. 147:88-97.
68. Wang, S.L., H.Z. Liu, Y.X. Zhang, and H. Xin. 2015. The effect of CuO NPs on reactive oxygen species and cell cycle gene expression in roots of rice. Environmental Toxicology and Chemistry. 34:554-561.
69. Watson, J.L., T. Fang, C.O. Dimkpa, D.W. Britt, J.E. McLean, A. Jacobson, and A.J. Anderson. 2015. The phytotoxicity of ZnO nanoparticles on wheat varies with soil properties. Biometals. 28:101-112.
70. Xia, T., N. Li, A.E. Nel. 2009. Potential health impact of nanoparticles. Annual Review of Public Health. 30:137–150.
71. Yang, J., W. Caob, and Y. Rui. 2017. Interactions between nanoparticles and plants: phytotoxicity and defense mechanisms. Journal of Plant Interactions. 12:158–169.
72. Yang, L., D.J. Watts. 2005. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. Toxicology Letters. 158:122–132.
73. Yang, Z., J. Chen, R.Z. Dou, X. Gao, C.B. Mao, and L. Wang. 2015. Assessment of the phytotoxicity of metal oxide nanoparticles on two crop plants, maize (Zea mays L.) and rice (Oryza sativa L.). International Journal of Environmental Research and Public Health. 12:15100-15109.
74. Yi, H., Z. Meng. 2003. Genotoxicity of hydrated sulfur dioxide on root tips of Allium sativum and Vicia faba. Mutation Research. 537:109–114.
75. Ying, J. 2001. Nanostructured Materials, Elsevier, California.
76. Zhao, L., J.A. Hernandez-Viezcas, J.R. Peralta-Videa, S. Bandyopadhyay, B. Peng, B. Munoz, A.A. Kellerce, J.L. Gardea-Torresdey. 2013. ZnO nanoparticle fate in soil and zinc bioaccumulation in corn plants (Zea mays) influenced by alginate. Environmental Science. 15:260–266.
77. Zhou, G., J.F. Pereira, E. Delhaize, M. Zhou, J.V. Magalhaes, P.R. Ryan. 2014. Enhancing the aluminium tolerance of barley by expressing the citrate transporter genes SbMATE and FRD3. Journal of Experimental Botany. 65:2381-2390.
78. Zhu, H., J. Han, J.Q. Xiao, Y. Jin. 2008. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. Journal of Environmental Monitoring. 10:713–717.

Archive of SID

www.SID.ir

Effects of Nanomaterial Overdose in Plant Nutrition

M. R. Maghsoodi [1] and N. Najafi

PhD Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
mr.maqsoodi@tabrizu.ac.ir
Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
n-najafi@tabrizu.ac.ir

Received: November 2017, Accepted: July 2018

Abstract

The advent of nanotechnology has led to new achievements in the different fields of science and technology. The minified size of materials under this technology discloses certain novel or hitherto ignored features and properties of these materials. It is true that nanotechnology has helped enhance certain features of fertilizers as evidenced by a number of studies reporting their positive effects on different plants. However, it should be noted that most of these studies were performed under laboratory conditions and considered only short periods of plant life, in many cases only up to germination. This is while there are many reports showing the adverse consequences of using nano-materials. For example, nanoparticles of aluminum, iron, zinc, titanium, nickel, and silver or hydroxyapatite nanoparticles and carbon nanotubes have caused reduced growth in onions, vetch, rye, rice, beans, corn, cucumber, sorghum, and tomato plants. These inconsistent reports call for exhaustive investigations to determine the interactions between nano-materials and plants and their final fate in the plant and food chain before they can be used as fertilizers. Since plants stand at the beginning of the food chain, introduction and accumulation of nano-materials inside them might help transfer these materials to higher levels of the chain to end up in the human body. This paper studies the effects of high concentrations of nano-materials on plant growth in certain species, the associated damages, and the uptake and accumulation of nanoparticles in plant.

Keywords: Food chain, Nano-fertilizer, Nanotechnology, Plant nutrition

Archive of SID

۱- Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

www.SID.ir