اثر آلودگی نفتی خاک و نانولوله‌های کربنی بر ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت

علی فیوجی شهرضایی* و محمدعلی حاج‌عباسی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۷)

چکیده

محیط زیست سالم بر بهبود کیفیت زندگی و رفاه جامعه بشری تأثیر بسزایی دارد. در دهه‌های اخیر استفاده از سوخت‌های فسیلی به قدری افزایش یافته که آلودگی‌های زیست‌محیطی و خاک را باعث شده است. خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی، برای کاربردهای کشاورزی، مسکونی و تفریحی مناسب نبوده و باعث خسارت‌های اقتصادی، اکولوژیکی و کشاورزی می‌شود. برای مقابله با این چالش، استفاده از افزودنی‌هایی مانند نانولوله‌های کربنی به خاک گسترش یافته ولی کاربرد این عناصر نگرانی‌هایی را درباره خطرشان بر فرایندها و سیستم‌های زیستی مانند اثرگذاری بر فیزیولوژی و رشدونمو گیاهان به همراه دارد که مطالعات چندانی روی این موضوع نشده است. به‌منظور بررسی اثر متقابل آلودگی نفتی خاک و نانولوله‌های کربنی بر برخی ویژگی‌های گیاه نظیر جرم مرطوب، جرم خشک و طول گیاه، در ابتدا بذر و نشا ذرت به‌طور جداگانه با سطوح ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله‌های کربنی تیمار و درون گلدان‌های حاوی خاک با سه سطح آلودگی نفتی ۲/۴۳، ۲/۷۶ و ۴/۱۶ درصد با سه تکرار کشت شدند و از طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب آزمایش‌های فاکتوریل استفاده شد. جرم مرطوب، جرم خشک و طول اندام هوایی و ریشه گیاهان مشخص شد. نتایج نشان داد که آلودگی نفتی بر ویژگی‌های رشدی مذکور تأثیر منفی گذاشته است، همچنین مشاهده شد که اعمال تیمار نانولوله‌های کربنی به گیاه ذرت (چه به بذر و چه به نشا) بسته به غلظت این مواد، می‌تواند بر پارامترهای رشد گیاه اثرات متفاوتی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، نانولوله کربنی، هیدروکربن نفتی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: alifoyouji@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

محیط زیست سالم بر بهبود کیفیت زندگی و رفاه جامعه بشری تأثیر بسزایی دارد (۳۹). به دنبال صنعتی شدن جوامع و بروز آلودگی‌های گوناگون مرتبط با محیط زیست، از نیمه دوم قرن بیستم توجه جدی به این موضوع و اثرات زیانباری که از آلوده کردن آن منتج می‌شود، شده است. امروزه نحوه برخورد با آلودگی محیط زیست که بر سلامت کل جمعیت انسان‌ها اثر دارد، از مسائل مهم جهان است (۱۱). در اثر فعالیت‌های انسان، روزانه مقادیر زیادی از آلاینده‌های مختلف، به منابع حیاتی یعنی آب، خاک و هوا وارد می‌شود. از جمله این آلاینده‌ها می‌توان به ترکیبات نفتی اشاره کرد که مقدار زیادی از آنها به‌خاطر گسترش صنایع پالایش نفت، تولید و وارد خاک می‌شود. خاک به‌عنوان جزئی از طبیعت، زیستگاه منحصر به فردی برای موجودات خشکی‌زی ازجمله گیاهان، حیوانات و همچنین انسان‌هاست. خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی برای کاربری‌های کشاورزی، مسکونی و تفریحی مناسب نیستند و باعث خسارت‌های اقتصادی، اکولوژیکی و کشاورزی می‌شوند (۶). از زمان کشف نانولوله‌های کربنی تاکنون مطالعات نظری و آزمایشگاهی فراوانی برای بررسی خواص و کاربردهای این نانوساختار صورت گرفته است. درصورتی که تولید نانولوله‌های کربنی به‌صورت انبوه و اقتصادی صورت گیرد، مواد اصلی و اساسی مهندسی قرن ۲۱ خواهند بود. از این نانوساختار می‌توان به‌عنوان پرکننده در کامپوزیت‌ها (۳)، نانوسیال (۷) و حسگر (۳۵) بهره گرفت. استفاده از آن در وسایل الکتریکی (۳۱)، ذخیره انرژی (۹ و ۴۰) و حذف آلودگی‌ها (۱۶) از موارد دیگر کاربردهای این ذرات است. از این مواد همچنین می‌توان به‌عنوان جاذب آلودگی‌ها استفاده کرد. تاکنون کاربرد نانولوله‌ها برای حذف هیدروژن، آمونیاک، اوزن، نیتروژن و متان از هوا و یون‌های کادمیوم، سرب، روی، فلوراید و تری‌هالومتان از آب گزارش شده است (۱۶). سطح ویژه بزرگ نانولوله‌ها، ویژگی مهم آنها برای جذب مواد است. از نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده به‌وسیله اسید برای جذب مولکول‌های قطبی و سبک وزن استفاده شده و ساخت فیلترهایی از نانولوله‌ها برای حذف هیدروکربن‌های سنگین و روغنی نیز گزارش شده است (۱۶). نانولوله‌های کربنی نسبت به مولکول‌های آلی دارای انعطاف‌پذیری هستند ودر مقایسه با دیگر جاذب‌های کربنی مثل سیلیس پیوند یافته (C18) (۲۳)، کربن فعال (۱۸) و الک‌های مولکولی کربن (۳۷) نشان می‌دهد که برای کاربردهای حفاظت محیط زیست، امیدبخش‌تر است. نانولوله‌های کربنی ظرفیت و بازدهی جذب فوق‌العاده زیادی برای آلاینده‌های آلی مثل دیوکسین (۲۵)، بنزن (۱۳)، ۱و۲- دی‌کلروبنزن (۱۰)، تری‌هالومتان (۲۶) و ترکیبات حلقوی آروماتیک (۱۲) از خود نشان داده‌اند. اما از طرفی در اثر گسترش کاربرد نانولوله‌های کربنی، نگرانی در مورد خطرشان برای فرایندهای زیستی نیز در حال افزایش است. پژوهش‌های معدودی در ارتباط با تأثیرات نانوذرات روی سلامت موجودات زنده به‌ویژه انسان صورت گرفته است (۱۹). در گزارش‌هایی اثر سمیت نانومواد روی رشد تعدادی از گیاهان اثبات شده است (۴ و ۲۱). در پژوهشی نانولوله‌های کربنی باعث کاهش جرم مرطوب ریشه جوانه‌های برنج و خیار شد، درحالی که طول ریشه برنج نسبت به غلظت‌های گوناگون این ماده پاسخ نامنظمی نشان داد ولی در خیار طول ریشه کاهش می‌یابد (۴). لین و زینگ کاهش سرعت جوانه زدن ذرت و چاودار و افزایش طول ریشه در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله‌های کربنی را گزارش دادند (۲۱). در مطالعه وانگ و همکاران این مواد باعث افزایش جرم مرطوب و طول ریشه در جوانه‌های گندم شد اما تأثیری بر جوانه‌زنی بذر و طول اندام هوایی آن نداشته است (۳۸). نانولوله‌های کربنی احتمالاً به دیواره سلولی گیاه نفوذ کرده و می‌توانند به‌عنوان یک سامانه هوشمند، مواد شیمیایی را به سلول تحویل دهند. توانایی نانولوله‌های کربنی چند جداره در نفوذ به دیواره سلولی و غشای سلول‌های تنباکو اثبات شده است (۲۴). در کل مراحل زندگی گیاه، تعدادی از پژوهشگران، تأثیر چشمگیر نانولوله‌های کربنی چندجداره را روی جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه گزارش داده‌اند. این نانومواد به پوسته بذر گوجه‌فرنگی (۱۷) و خردل (۳۲) نفوذ کرده و رشد گیاه را تحریک می‌کنند. تأثیر مثبت این مواد روی بهبود رشد گیاهان گرامینه نیز مشاهده شده است. بنکس و همکاران نشان دادند که زیست‌توده و طول اندام هوایی

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه، مشخصه‌های خوبی برای سلامتی گیاه هستند (۲). از آنجایی که اثرات آلودگی نفتی خاک و نانولوله‌های کربنی بر رشدونمو گیاهان به‌طور جداگانه بررسی شده است ولی تاکنون اثر توأمان و متقابل این دو فاکتور بررسی نشده، از این رو هدف این مطالعه بررسی اثر متقابل آلودگی نفتی خاک و نانولوله‌های کربنی بر برخی پارامترهای رویشی گیاه ذرت بوده است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی خاک

خاک این پژوهش از منطقه بختیاردشت نزدیک پالایشگاه نفت اصفهان، از نقطه آلوده و نقطه‌ای با آلودگی کمتر و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر جمع‌آوری شد. خاک‌ها پس از هوا خشک شدن و عبور از الک چهار میلی‌متری با نسبت‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ (خاک با آلودگی کمتر:خاک آلوده‌تر) با هم مخلوط گشته و درون گلدان‌های هشت کیلوگرمی ریخته شد. به‌منظور ایجاد همگنی و یکنواخت شدن خاک هر گلدان به مدت سه الی چهار هفته در شرایط گلخانه تا رطوبت ظرفیت زراعی آبیاری شده و زیر و رو شد. پس از آن به‌منظور تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از گلدان‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. ویژگی‌هایی نظیر هدایت‌الکتریکی ویژه در عصاره ۱:۲/۵ (آب:خاک) با دستگاه هدایت‌سنج (۳۶)، pH در عصاره ۱:۲/۵ (آب:خاک) با دستگاه pH متر (۲۹)، نیتروژن کل به روش کلدال (۳۴)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (۳۳)، پتاسیم قابل جذب خاک با استات‌آمونیوم عصاره‌گیری و توسط دستگاه فلیم‌فوتومتر (۳۶) اندازه‌گیری شد. مقدار کل هیدروکربن نفتی (TPH) به روش تکان دادن (شیکینگ) (۱۴) اندازه‌گیری شد.

آماده‌سازی محلول مادر نانولوله‌های کربنی

به‌منظور تهیه محلول مادر، نانولوله‌های کربنی با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۰/۵ گرم از این ماده به‌همراه ۰/۱۲۵ گرم صمغ عربی (به‌منظور جلوگیری از ته‌نشین شدن نانولوله‌های کربنی) داخل ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونایز شده، ریخته شد. مخلوط حاصله به‌مدت پنج دقیقه با همزن مغناطیسی به‌هم خورده و سپس پنج دقیقه با دستگاه التراسونیک مدل UP200H سونیکیت شد. این عمل چهار مرتبه تکرار شد تا محلولی یکنواخت به‌دست آمد. درنهایت، محلول به‌دست آمده تا حجم ۲۵۰ میلی‌متر با آب دیونایز شده، رقیق شد.

کشت گیاه

بذر ذرت ابتدا در آب مقطر و یا در محلول‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله‌های کربنی پیش‌تیمار شد. به این صورت که توده‌ای بذر ذرت به‌مدت چهار ساعت درون ظرفی حاوی حدود ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر یا محلول‌های مذکور غوطه‌ور و طی این مدت به‌منظور تماس بیشتر بذر با ذرات نانولوله، مکرراً به‌هم زده شد. پس از این مدت بذرها خارج و توسط دستمال به‌آرامی خشک شدند. از این پس این تیمارها، تیمار بذر نامیده می‌شوند.

بذرهای تیمار شده و شاهد (بدون تیمار) استریل شده، درون محیطی استریل قرار گرفتند تا جوانه بزنند. سپس جوانه‌های حاصل از بذرهای تیمار شده و تعدادی از جوانه‌های بدون تیمار (به‌عنوان شاهد) در محیط کشت ۱:۸ هوگلند قرار گرفتند. جوانه‌های شاهد باقی‌مانده به سه دسته تقسیم شده و در محلول ۱:۸ هوگلند که حاوی نانولوله‌های کربنی بود، کشت شدند. غلظت نانولوله‌ها در محلول غذایی مذکور ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر بود به‌طوری که ریشه گیاهچه مستقیماً با این ذرات در ارتباط باشد که از این پس به این تیمارها، تیمارهای نشا گفته می‌شود. بعد از گذشت ۱۰ روز با توجه به تیمار نانولوله کربنی و آلودگی خاک، به هر گلدان سه عدد گیاهچه منتقل شد. پس از گذشت ۱۲ هفته، مرحله برداشت گیاهان صورت گرفت. بلافاصله پس از برداشت و اندازه‌گیری طول اندام هوایی و ریشه گیاه، جرم تر آنها تعیین شد و نمونه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری جرم خشک به‌مدت ۴۸ الی ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار

www.SID.ir

Archive of SID

گرفتند و تا به این ترتیب جرم آنها مشخص شود.

در این پژوهش از طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب آزمایش‌های فاکتوریل با دو فاکتور آلودگی خاک (با سه سطح آلودگی ۲/۴۳، ۲/۷۶ و ۴/۱۶ درصد) و نانولوله‌های کربنی (با هشت سطح- تیمار بذر ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و تیمار نشای ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها نیز به‌ترتیب با نرم‌افزار SAS ۹/۰ و Excel ۲۰۱۳ انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه قبل از اعمال تیمارها و انجام آزمایش‌ها، در جدول ۱ آورده شده است. بافت هر سه خاک لومی‌شنی است با افزایش آلودگی، ظرفیت زراعی خاک، شوری، غلظت‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم و سدیم کاهش یافته است. در مورد نیتروژن و ماده آلی این موضوع متفاوت است و این به‌دلیل ماهیت ترکیبات آلاینده است که به‌نوعی منبع کربن و نیتروژن بود و باعث افزایش این عناصر در خاک خواهند شد. خاک با سطح آلودگی ۱:۱ حاوی ۴/۱۶ درصد آلودگی نفتی، خاک با سطح آلودگی ۱:۲ حاوی ۲/۷۶ درصد آلودگی نفتی و خاک با سطح آلودگی ۱:۳ حاوی ۲/۴۳ درصد آلودگی نفتی بود.

اثرات اصلی بر ویژگی‌های رشدی گیاه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای آلودگی خاک و تیمارهای نانولوله‌های کربنی و همچنین اثر متقابل‌شان بر پارامترهای اندازه‌گیری شده اندام هوایی و ریشه گیاه اثر معنی‌داری داشته است. افزایش آلودگی خاک سبب کاهش چشم‌گیری در عملکرد اندام هوایی گیاه شده و جرم مرطوب، جرم خشک و همچنین طول اندام هوایی را به‌ترتیب از ۹/۴۶ گرم به ۲/۸۴ گرم، ۱/۴۲ گرم به ۰/۴۷ گرم و ۶۷/۸ سانتی‌متر به ۳۶/۳ سانتی‌متر کاهش داده است که احتمالاً ناشی از سمیت ترکیبات هیدروکربن نفتی است (جدول ۲). از اولین علائم مسمومیت گیاهان در خاک‌های آلوده به نفت، بازدارندگی رشد و بعد کاهش رشد است. خاصیت آب‌گریزی ترکیبات نفتی موجب تغییر رفتار خاک و ناهمگن شدن انتشار آب در خاک می‌شود. این مسئله موجب کمبود آب در خاک و ایجاد شرایط خشکی در آن می‌شود و قابلیت دسترسی گیاهان به آب و مواد غذایی کاهش می‌یابد (۵). در نتیجه رشد و تولیدات گیاهی کاهش می‌یابد. کاهش رشد گیاهان به‌ویژه ریشه در مطالعات بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (۳۰).

با بررسی پارامتر طول ریشه، دیده شد که افزایش آلودگی خاک باعث افزایش طول ریشه (از ۳۲/۵ سانتی‌متر به ۴۵/۴ سانتی‌متر) می‌شود اما در ارتباط با جرم مرطوب و جرم خشک، همانند اندام هوایی افزایش آلودگی نفتی خاک، کاهش دو پارامتر مذکور (به‌ترتیب از ۷/۳۴ گرم به ۲/۹۸ گرم و ۰/۸۱ گرم به ۰/۳۲ گرم) را باعث شده است. این‌گونه به‌نظر می‌رسد که ریشه با افزایش طول خود از محیط آلوده خارج می‌شود. در این ارتباط مطالعات مرکل و همکاران روی گیاهان گرمسیری در خاک‌های آلوده به نفت خام نشان داد که ریشه‌های Calopogoniummucunoides و Centrosemabrasilianum در مقایسه با ساقه در خاک‌های آلوده افزایش رشد دارند (۳۰). آنان دریافتند که این مسئله نوعی پاسخ دفاعی و یا استراتژی گیاه در مواجه با کمبود دسترسی به مواد مغذی در خاک آلوده است، زیرا افزایش رشد ریشه موجب افزایش جذب نیتروژن خاک می‌شود (۲۸). بنابراین افزایش طول ریشه گیاه به‌منظور تأمین آب و مواد غذایی مورد نیاز خود، یکی از سازوکارهای گیاهان در برابر برخی تنش‌ها از جمله آلودگی نفتی است (۱۵).

نتایج نشان داد که گیاه در تیمار بذر با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی، جرم مرطوب و خشکی برابر ۹/۰۴ گرم و ۱/۴۹ گرم دارد درحالی که در تیمار شاهد، جرم مرطوب و خشک گیاه معادل ۷/۹۱ گرم و ۱/۳ گرم است و به این ترتیب افزایش جرم داشته است. در این خصوص وانگ و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه قبل از اعمال تیمارها

پارامتر اندازه‌گیری شده	خاک ۱:۱	خاک ۱:۲	خاک ۱:۳
شن (٪)	۶۱/۶	۵۸/۳	۶۰/۷
سیلت (٪)	۲۸	۲۵/۴	۳۲/۱
رس (٪)	۱۰/۴	۸/۵	۱۳/۱
بافت خاک	لومی‌شنی	لومی‌شنی	لومی‌شنی
ظرفیت زراعی (٪)	۶/۵	۷/۸	۸/۵
$pH_{(1:2.5)}$	۷/۶	۷/۷	۷/۶
$EC_{(1:2.5)}$ (dS/m)	۰/۸۶	۱/۰۲	۱/۱۱
نیتروژن کل (٪)	۰/۰۵۸	۰/۰۵۵	۰/۰۵۴
فسفر (mg/kg)	۱۲/۱	۱۴/۶	۱۲/۹
پتاسیم (mg/kg)	۲۲۲	۲۵۵	۲۷۳
سدیم (mg/kg)	۱۵۷	۱۹۶	۱۸۸
کلسیم (meq/kg)	۱۴/۲	۱۵/۸	۱۵/۹
منیزیم (meq/kg)	۳/۸	۴/۳	۵/۴
آهک (٪)	۵۴/۳	۵۰/۵	۵۳/۲
ماده آلی (٪)	۳/۵	۲/۲	۱/۹
TPH (%)	۴/۱۶	۲/۷۶	۲/۴۳

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		جرم مرطوب	جرم خشک	طول
		اندام هوایی		
آلودگی خاک	۲	۲۹۵/۱۵***	۶/۱۹***	۶۸۴۱/۸۴***
نانوله‌های کربنی	۷	۲۲/۱۲***	۰/۵۵۳***	۳۳۰/۸۲***
اثر متقابل	۱۴	۱۴/۲۵***	۰/۴۱***	۲۲۶/۷۳***
خطا	۴۸	۰/۶۷۸	۰/۰۱۶۸	۸/۴۲
		ریشه		
آلودگی خاک	۲	۱۳۳/۹۹۷***	۱/۷۲۶***	۱۰۹۱/۶۹***
نانوله‌های کربنی	۷	۱۴/۴۵***	۰/۲۲۶***	۲۳۶/۸۱***
اثر متقابل	۱۴	۱۲/۶۶***	۰/۱۶۲***	۱۹۶/۸۷***
خطا	۴۸	۰/۸۷۳	۰/۰۱۱	۱۱/۰۸

: در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار و *: در سطح ۰/۱ درصد آماری معنی‌دار است.

اعلام کردند که نانولوله‌های کربنی می‌توانند باعث افزایش زیست‌توده گیاهی شوند (۳۸). همچنین موندال و همکاران بیان کردند که برای تولید زیست‌توده بیشتر، می‌توان از غلظت‌های کم نانولوله‌های کربنی استفاده کرد (۳۲). از طرفی مشاهده می‌شود که بین تیمارهای نانولوله‌های کربنی تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد که به گفته موندال و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران، پاسخ‌های گیاه وابسته به غلظت این مواد است و در غلظت‌های مختلف این مواد، گیاه پاسخ‌های متفاوتی را می‌دهد (۳۲). تیمار نشای ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی که تقریباً کمترین مقادیر جرم مرطوب، جرم خشک و طول اندام هوایی (به‌ترتیب ۳/۹۹ گرم، ۰/۸ گرم و ۴۸/۷ سانتی‌متر) را دارد، مؤید این مطلب است. امیرخسروی و همکاران نیز در بررسی تأثیر نانولوله‌های کربنی بر شاخص‌های ریزازدیادی و زیست‌توده گیاه استویا به این نتیجه رسیدند که این مواد تأثیر قابل توجهی بر زیست‌توده گیاه داشته است (۱). پارامترهای جرم مرطوب، جرم خشک و همچنین طول ریشه، بیشترین مقدار را در تیمار بذر با آب مقطر (به‌ترتیب ۷/۵۳ گرم، ۰/۸۸ گرم و ۴۹/۷ سانتی‌متر) داشته است درحالی که کمترین مقدار جرم مرطوب و خشک ریشه گیاه (به‌ترتیب ۴/۲۶ گرم و ۰/۴۲ گرم) در تیمار نشای ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی و کوتاه‌ترین طول ریشه (۳۳ سانتی‌متر) در تیمار نشای ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی مشاهده شد.

اثرات متقابل بر ویژگی‌های رشدی گیاه

با توجه به شکل ۱، بیشترین مقدار جرم مرطوب اندام هوایی (۱۳/۰۸ گرم) را تیمار بذر ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله‌های کربنی در خاک حاوی ۲/۷۶ درصد آلودگی، به خود اختصاص داده است. در خاک حاوی ۲/۴۳ درصد آلودگی نیز مشاهده می‌شود که تیمار بذر ۱۰ و ۴۰ و همچنین تیمار نشای ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی، تأثیر خوبی بر تولید زیست‌توده هوایی گیاه (به‌ترتیب ۱۲/۰۵گرم، ۱۱/۸۱ گرم و ۱۲/۲ گرم) نسبت به تیمار شاهد (۹/۵۶ گرم) داشته است. در مقابل، در خاک حاوی ۴/۱۶ درصد آلودگی دیده می‌شود که تیمارهای بذر و تیمارهای نشا حاوی نانولوله‌های کربنی، باعث شده‌اند که اثر سمیت خاک بیشتر شود، به‌طوری که نسبت به تیمار شاهد و تیمار بذر با آب مقطر، زیست‌توده کمتری تولید شده است. به‌عنوان مثال تیمار نشای ۱۰میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی کمترین عملکرد (۱/۲۷گرم) را داشته و این نشان می‌دهد که این مواد در غلظت‌های زیاد آلودگی هیدروکربن‌های نفتی، اثر سوء داشته و دلیل آن را می‌توان این‌گونه توصیف کرد که احتمالاً به‌خاطر شکل لوله‌ای‌شان باعث ورود بیشتر ترکیبات سمی به گیاه می‌شوند. پس سطح آلودگی ممکن است تأثیر زیادی بر نوع کارایی نانولوله‌های کربنی بگذارد.

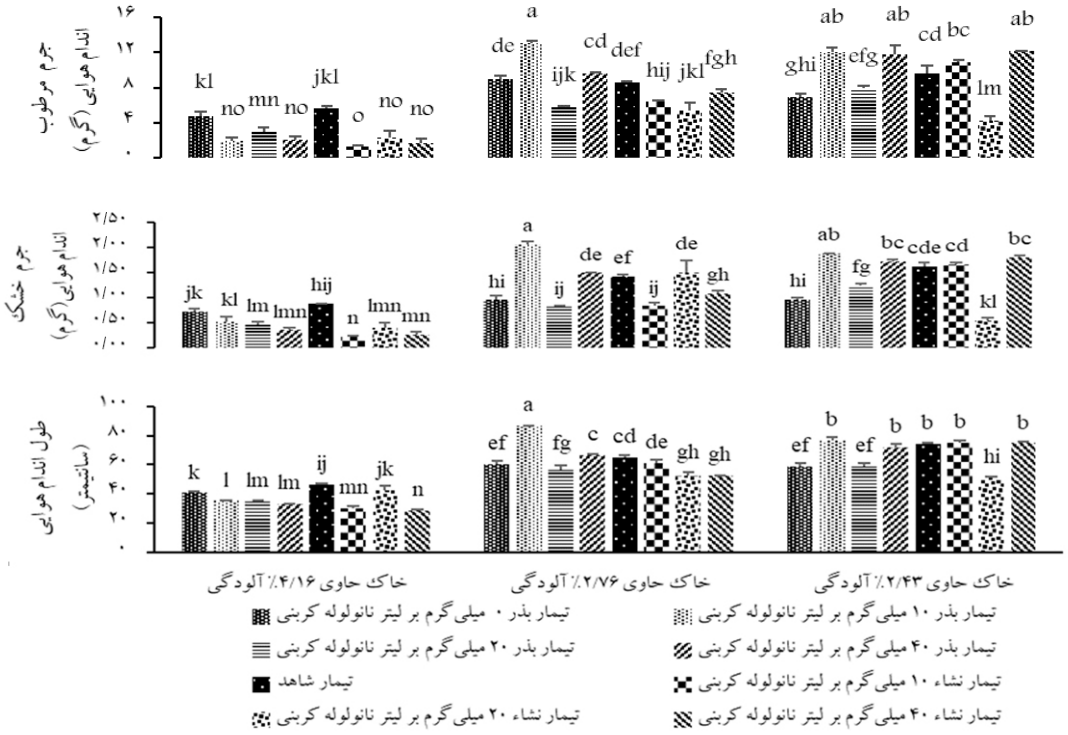
با توجه به شکل ۱ کمترین و بیشترین مقدار جرم خشک اندام هوایی به‌ترتیب در خاک حاوی ۴/۱۶ درصد آلودگی با تیمار نشای ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی (۰/۲۳ گرم) و در خاک حاوی ۲/۷۶ درصد آلودگی با تیمار بذر ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی (۲/۰۶ گرم) دیده شد. در خاک حاوی ۲/۷۶ درصد آلودگی، مشاهده شد که گیاه در تیمار بذر ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی، بیشترین طول اندام هوایی (۸۶/۸ سانتی‌متر) و در خاک حاوی ۴/۱۶ درصد آلودگی نفتی در تیمار نشای ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله های کربنی و کمترین طول اندام هوایی (۲۸/۲ سانتی‌متر) را داشته است.

مطابق شکل ۲ بیشترین جرم مرطوب در تیمار شاهد در خاک حاوی ۲/۴۳ درصد آلودگی (۱۰/۰۹ گرم) و پس از آن در تیمارهای بذر با آب مقطر در خاک‌های دارای ۲/۷۶ و ۲/۴۳ درصد آلودگی (به‌ترتیب ۱۰/۰۶ گرم و ۹/۴۱ گرم) و کمترین مقدار در تیمار نشای با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی در خاک با ۴/۷۶ درصد آلودگی (۱/۶۱ گرم) مشاهده شد.

در مورد پارامتر جرم خشک ریشه نیز همانند جرم مرطوب، تیمارهای بذر با آب مقطر از تأثیرگذارترین تیمارها بودند و بیشترین مقدار در تیمار بذر با آب مقطر در خاک حاوی ۲/۴۳ درصد آلودگی (۱/۱۹ گرم) و کمترین مقدار آن متعلق به تیمار نشای ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی در خاک با ۴/۷۶ درصد آلودگی (۰/۱۶ گرم) است. شکل ۲ نشان می‌دهدکه گیاه در تیمار بذر با آب مقطر در خاک دارای ۲/۷۶ درصد آلودگی نفتی، بیشترین مقدار (۶۲/۷ سانتی‌متر) و تیمار نشای ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نانولوله کربنی در خاک با آلودگی ۲/۴۳ درصد، کمترین طول ریشه (۲۱/۳ سانتی‌متر) را داشته است.

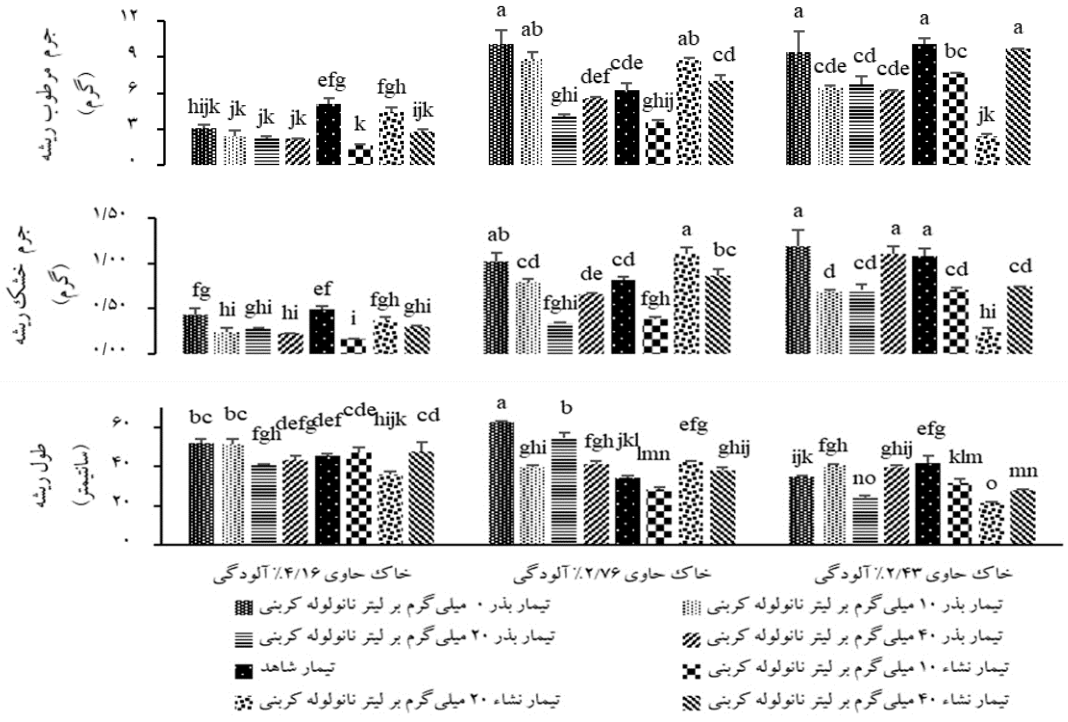
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. اثر متقابل آلودگی خاک و نانولوله‌های کربنی بر جرم مرطوب، جرم خشک و طول اندام هوایی ذرت.

در هر نمودار، ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵ و LSD).



شکل ۲. نمودار اثر متقابل آلودگی خاک و نانولوله‌های کربنی بر جرم مرطوب، جرم خشک و طول ریشه ذرت.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵ و LSD).

www.SID.ir

Archive of SID

در مطالعه یوان و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شد که نانولوله‌های کربنی تک‌جداره از رشد ریشه‌های موئینه جلوگیری کرد درحالی که رشد ریشه ذرت را افزایش می‌دهد (۳۹). در مطالعه‌ای دیگر آمده است که مقدار زیاد نانولوله‌ها روی سطح ریشه گیاه ممکن است جذب آب و املاح توسط ریشه را متوقف کند (۲۲). همچنین ممکن است نفوذ نانولوله‌ها به بافت گیاهی بر رشدونمو و فیزیولوژی گیاه اثر گذارد (۱۹ و ۲۰).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که آلودگی نفتی بر ویژگی‌های رشد گیاه تأثیر منفی گذاشته است و افزایش آلودگی نفتی خاک سبب کاهش زیست‌توده گیاهی شده است. همچنین مشاهده شد که اعمال تیمار نانولوله‌های کربنی به گیاه ذرت با افزایش غلظت این مواد، می‌تواند بر پارامترهای رشد گیاه اثرات گوناگونی داشته باشد. به عبارتی پاسخ گیاه در برابر افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی متفاوت بود و نمی‌توان رابطه معنی‌داری بین غلظت نانولوله‌های کربنی و پارامترهای اندازه‌گیری شده ایجاد کرد. با بررسی پاسخ اندام هوایی و ریشه گیاه در برابر غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی مشخص شد که اندام‌های مذکور رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند.

منابع مورد استفاده

1. Amirkhosravi, A., D. Davoodi, SH. Poorseyedi, L. SHafea, M. Enayati SHariat Panahi and A. Mojir Sheybani. 2012. Investigate the possibility of using carbon nanotube functionalized on a micro propagation index and biomass rate stevia and compare plant growth in liquid medium and solid medium. *In:* Proceeding of the 12rd Congress Genetics, Shahid Beheshti University.
2. Banks, M. K., P. Schwab, B. Liu, P. Kulakow, J. S. Smith and R. Kim. 2003. The effect of plants on the degradation and toxicity of petroleum contaminants in soil: A field assessment. *Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology* 78: 75-96.
3. Baugham, R., A. Zakhidov and W. Hear. 2002. Carbon nanotubes: the route toward applications. *Science* 297: 789-792.
4. Begum, P., R. Ikhtiari, B. Fugetsu, M. Matsuoka, T. Akasaka and F. Watari. 2012. Phytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes assessed by selected plant species in the seedling stage. *Applied Surface Science* 262: 120-124.
5. Bengough, A. G. 2003. Root growth and function in relation to soil structure, composition, and strength. *In*: H. Dekroon and E. J. W. Visser (Eds.). Root Ecology. Springer, Heidelberg.
6. Chien, Y. C. 2012. Field study of in situ remediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil on site using microwave energy. *Journal of Hazardous Materials* 457-461.
7. Choi, S. U. S. 1995. Enhancing thermal conductivity of fluid with nanoparticles, development and application of non-Newtonian flows. *The American Society of Mechanical Engineers* 66: 99-105.
8. Daryabeigi-Zand, A., G. Nabi-Bidhendi and N. Mehrdadi. 2010. Phytoremediation of total petroleum hydrocarbons (TPHs) using plant species in Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 34: 429-438.
9. Endo, M., Y. A. Kim, T. Hayashi, K. Nishimura and T. Matushita. 2001. Vapor-grown carbon fibers: basic properties and their battery applications. *Carbon* 39: 1287-1297.
10. Fagan, S. B., E. C. Girao, J. Mendes Filho and A. G. Souza Filho. 2006. First principles study of 1,2-dichlorobenzene adsorption on metallic carbon nanotubes. *International Journal of Quantum Chemistry* 106: 2558-2563.
11. Fereidoun, H., M. S. Nouroddin, N. A. Reza, A. Mohsen, R. Ahmad and H. Pouria. 2007. The effect of long-term exposure to particulate pollution on the lung function of Tehranian and Zanjanian students. *Pakistan Journal of Physiology* 3: 1-5.
12. Gotovac, S., H. Honda, Y. Hattori, K. Takahashi, H. Kanoh and K. Kaneko. 2007. Effect of nanoscale curvature of single-walled carbon nanotubes on adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Nano Letters* 7: 583-587.
13. Guaden, P. A., A. P. Terzyk, G. Rychlicki, P. Kowalczyk, K. Lota, E. Raymundo-Pinero, E. Frackowiak and F. Beguin. 2006. Thermodynamic properties of benzene adsorbed in activated carbons and multi-walled carbon nanotubes. *Chemical Physics Letters* 421: 409-414.
14. Henner, P., M. Schiavon, J. L. Morel and E. Lichtfouse. 1997. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) Occurrence and remediation methods. *Analusis Magazine* 25: 56-59.
15. Huang, X. D., Y. El-Alawi, D. R. Penrose, B. Glick and B. Greenberg. 2004. Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution - Journal* 130: 453-463.

www.SID.ir

Archive of SID

16. Kandah, M. I. and J. L. Meunier. 2007. Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials* 146: 283-288.
17. Khodakovskaya, M., E. Dervishi, M. Mahmood, Y. Xu, Z. Li, F. Watanabe and A. S. Biris. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano* 3(10): 3221-3227.
18. Koelmans, A. A., B. Meulman, I. Pikaar, M. T. O. Jonker, G. Cornelissen and P. C. M. Van Noort. 2005. Attenuation of sorption of organic compounds to activated and black carbon. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* 230: 1506-1507.
19. Lam, C. W., J. T. James, R. McCluskey, S. Hunter and R. L. Aprepalli. 2006. A review of carbon nanotube toxicity and assessment of potential occupational and environmental health risks. *Critical Reviews in Toxicology* 189-217.
20. Lin, C., B. Fugetsu, Y. Su and F. Watari. 2009. Studies on toxicity of multi-walled carbonnanotubes on Arabidopsis T87 suspension cells. *Journal of Hazardous Materials* 170: 578–58.
21. Lin, D. and B. Xing. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution* 150: 243-250.
22. Lin, S., J. Reppert, Q. Hu, J. S. Hudson, M. L. Reid, T. A. Ratnikova, A. M. Rao, H. Luo and P. C. Ke. 2009. Uptake, translocation, and transmission of carbon nanomaterials in rice plants. *Small* 5: 1128–1132.
23. Liu, G. H., L. Wang, Y. F. Zhu and X. R. Zhang. 2004. Application of multiwalled carbon nanotubes as a solid-phase extraction sorbent for chlorobenzenes. *Analytical Letters* 37: 3085-3104.
24. Liu, Q., B. Chen, Q. Wang, X. Shi, Z. Xiao, J. Lin and X. Fang. 2009. Carbon nanotubes as molecular transporters for walled plant cells. *Nano Letters* 9: 1007-1010.
25. Long, R. Q. and R. T. Yang. 2001. Carbon nanotubes as superior sorbent for dioxin removal. *Journal of the American Chemical Society* 123: 2058-2059.
26. Lu, C. S., Y. L. Chung and K. F. Chang. 2005. Adsorption of trihalomethanes from water with carbon nanotubes. *Water Research* 39: 1183-1189.
27. Lu, C. Y. and F. S. Su. 2007. Adsorption of natural organic matter by carbon nanotubes. *Separation and Purification Technology* 58: 113-121.
28. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
29. Martin, T. A. and M. V. Ruby. 2004. Review of in situ remediation technologies for lead, zinc and cadmium in soil. *Remediation Journal* 14: 35-53.
30. Merkl, N., R. Schultze-Kraft and C. Infante. 2004. Phytoremediation in thetropics-the effect of crude oil on the growth of tropical plants. *Bioremediation Journal* 8: 177-184.
31. Milne, W. I., B. K. Teo, M. Mann and I. U. Bu. 2006. Carbon nanotubes as electron sources. *Physica Status Solidi* 203: 1058-1063.
32. Mondal, A., R. Basu, S. Das and P. Nandy. 2011. Beneficial role of carbon nanotubes on mustard plant growth: an agricultural prospect. *Journal of Nanoparticle Research* 13: 4519-4528.
33. Mougin, C. 2002. Bioremediation and phytoremediation of industrial PAH-polluted soils. *Polycyclic Aromatic Compounds* 22: 1011-1043.
34. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. PP. 181-197. *In*: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
35. Tang, Z. K., Z. N. Lingyun, X. X. Wang, G. H. Zhang, G. D. Weng and C. T. Chang. 2001. Superconductivity in 4 angestrom single-walled-carbon nanotubes. *Science* 292: 2462-2465.
36. Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cations. PP. 159-165. *In*: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
37. Vinu, A., K. Z. Hossain, G. S. Kumar and K. Ariga. 2006. Adsorption of L-histidine over mesoporous carbon molecular sieves. *Carbon* 44: 530-536.
38. Wang, X., H. Han, X. Liu, X. Gu, K. Chen and D. Lu. 2012. Multi-walled carbon nanotubes can enhance root elongation of wheat (*Triticumaestivum*) plants. *Journal of Nanoparticle Research* 14: 841-851.
39. Yan, S., L. Zhao, H. Li, Q. Zhang, J. Tan, M. Huang, S. He and L. Li. 2013. Single-walled carbon nanotubes selectively influence maize root tissue development accompanied by the change in the related gene expression. *Journal of Hazardous Materials* 110-118.
40. Yoon, S. H. 2004. Carbon nanorodes as a structural unit of carbon fibers. *Carbon* 42: 3087-3095.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 3, Fall 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Soil's Petroleum Contamination and Carbon Nanotubes Effects on Maize Plant Growth Parameters

A. Foyouji* and M. A. Hajabbasi[1]

(Received: August 22-2016 ; Accepted: November 28-2018)

Abstract

A well healthy environment can quietly affect the life quality and human community. In recent decades the need for and utilizing fossil had increased and thus the environmental pollutions including for soil has also increased. Petroleum contaminated soils are not suitable for agricultural, residential and social usage and cause economical, ecological and agricultural damage. To cope with this challenge, the use of additives such as carbon nanotubes has expanded to soil, but the use of these elements has raised concerns about their risk to biological processes and systems, such as effects on physiology and plant growth, and there have not been much studies on this issue. In order to investigate the interaction of soil petroleum pollution and carbon nanotubes on some plant characteristics such as wet mass, dry matter and plant length, seed and maize seedling were separately treated with 0, 10, 20 and 40 mg/l carbon nanotubes at the beginning. In pots containing soil with three levels of petroleum pollution, 2.43, 2.76 and 4.16% were cultivated with 3 replications. A completely randomized design was used in the form of factorial experiments. Wet mass, dry matter and length of shoot and root of plants were determined. The results showed that petroleum pollution had a negative effect on the growth characteristics. It was also observed that application of carbon nanotubes to maize (whether seed or seedling) depending on the concentration of these materials, could have different effects on plant growth parameters.

Keywords: Carbon nanotube, Maize, Petroleum hydrocarbon

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: alifoyoji@yahoo.com

www.SID.ir