

برهم کنش های خاک-گیاه

حبیب خداوردیلو^{۱*}، محمد رضا مصدقی^۲ و رقیه حمزه نژاد تقلیدآباد^۱

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

مقدمه

توپوگرافی، مواد مادری و زمان سبب کم رنگ شدن آثار گونه های گیاهی شود و ماهیت برهم کنش های خاک-گیاه را محدود کند. با این حال، در این مقیاس ها نیز جوامع گیاهی تجمع درازمدت مواد آلی را کنترل می کنند. ترشحات ریزجانداران و پاسخ به رشد میکروبی و فعالیت متابولیکی، در بازه های زمانی چند دقیقه تا چند ساعت رخ می دهند و مجموع این فرآیندها بر ویژگی های خاک و تنوع گونه های گیاهی طی فصل ها و سال های مختلف تأثیر می گذارد (۳).

برهم کنش های خاک-گیاه: ریزوسفر (Rhizosphere)

گیاهان از طریق سطوح ریشه های خود در تماس نزدیک با خاک هستند. خاکی که در تماس مستقیم با سطح ریشه های غیرچوبی است، «ریزوپلان، Rhizoplane» نام دارد و ویژگی های بیولوژیک، شیمیایی و فیزیکی متفاوتی با «توده خاک، Bulk soil» دارد. آثار شیمیایی و فیزیکی ریشه بر خاک با فاصله گرفتن از ریشه به سرعت کاهش می یابد. بنابراین، محدوده ای از خاک به نام «ریزوسفر» تشکیل می شود که تحت تأثیر ریشه است. ریزوسفر با فاصله از نوک ریشه، سن ریشه، تنش فیزیولوژیک گیاه و درجه و نوع مایکوریزی از لحاظ طولی در امتداد ریشه تغییر می کند. ترکیب و اندازه جمعیت میکروبها در ریزوسفر با توده خاک متفاوت است. چندین

فرآیندهای گیاه و خاک و برهم کنش بین آنها، بخش مهمی از پیوستار خاک-گیاه-اتمسفر است که این فرآیندها و برهم کنش ها بر تغییر اقلیم و چرخه کربن و فناوری های ریشه-خاک^۱، کشاورزی و پالایش زیستی^۲ تأثیر می گذارند (۳). برهم کنش های خاک-گیاه در طیف وسیعی از مقیاس های مکانی و زمانی رخ می دهند. در مقیاس ریز، ریشه ها شکاف های هوازدگی را در ذرات معدنی ایجاد می کنند و زیستگاه های مختلفی را برای رشد میکروبی فراهم می سازند. این پدیده های ریز-مقیاس سبب تفاوت در فراوانی و تنوع میکروبها و میکروفون^۳ و مزوفون^۴ خاک در مقیاس میلی متری می شوند. هیف های میکوریزا در فواصل چند سانتی متری تا چند متری از سطح ریشه به درون خاک گسترش می یابند. این هیفها سبب نزدیک شدن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه ها شده و به انباشت درازمدت مواد آلی در خاک کمک می کنند. در مقیاس های مکانی کلان، ممکن است تفاوت خاکها در اثر تفاوت در

1. Rhizotechnologies
2. Bioremediation
3. Microfauna
4. Mesofauna

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

تغییر می‌کند (۲). افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه و رشد ریشه‌های ریز در نواحی مرطوب، روش مهمی برای سازگار شدن گیاهان با ناهمگنی توزیع رطوبت در خاک است تا بتوانند خشک شدن بخشی از ناحیه ریشه را جبران کنند (۱) و (۲). بنابراین در بررسی روابط آب-گیاه، باید به نقش ریزوسفر در جذب آب توجه شود. بدون در نظر گرفتن نقش ریشه‌ها و ریزوسفر، امکان بررسی دقیق رشد و نمو گیاه و بررسی آثار روش‌های مدیریت آبیاری (مانند کم‌آبیاری) و تنش‌های خشکی و شوری وجود ندارد.

تأمین عناصر غذایی برای گیاهان در سطح ریشه و خاک پیرامونی، شیمی پیچیده‌ای دارد. فراهمی عناصر غذایی در نهایت توسط شیمی کانی‌های موجود در خاک تعیین می‌شود، که به نوبه خود نشان‌دهنده زمین‌شناسی مواد مادری است. هوازگی شیمیایی سبب رهاسازی این عناصر غذایی از شبکه بلوری کانی‌ها به محلول خاک و فراهمی این عناصر برای گیاهان می‌شود. فراهمی عناصر غذایی برای جذب گیاه به مجموعه متفاوتی از فرآیندهای گیاه-خاک بستگی دارد. این فرآیندها شامل سرعت انتشار، تبادل، جذب و شیمی رسوب هر عنصر، الگوی حرکت آب درون خاک، مورفولوژی سیستم ریشه، میزان و تنوع قارچ‌های میکوریزا و فیزیولوژی جذب توسط ریشه‌ها است. فراهمی عناصر کم‌محلول، مانند آهن و منگنز، ممکن است توسط سیدروفورهای^۵ موجود در ترشحات گیاهی افزایش یابد. سیدروفورها، اسیدهای آمینه غیرپروتئینی هستند که با عناصر غذایی تشکیل کمپلکس داده و تحرک و جذب آن‌ها را تسهیل می‌کنند. برای عناصر غذایی کم‌تحرک مانند فسفر، مناطق تخلیه در ریزوسفر ایجاد می‌شود. اندازه منطقه تخلیه نشان‌دهنده تعادل فراهمی عناصر غذایی (انتشار و جریان توده‌ای) و تقاضا (میزان جذب) است (۵). بیش‌بود و کم‌بود عناصر غذایی نیز می‌تواند سبب ایجاد برهم‌کنش‌هایی بین خاک و گیاه شود که باید در مدیریت عناصر غذایی در نظر گرفته شود.

جنس باکتری از جمله *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum* و *Clostridium* توانایی تثبیت N_2 اتمسفر رو دارند، تنها در ریزوسفر یافت می‌شوند. این باکتری‌های غیرهمزیست^۱ ممکن است (اما نه همیشه) به رشد بیش‌تر گیاه کمک کنند (۳).

ریزوسفر به شدت تحت تأثیر ته‌نشست‌های ریزوسفری^۲ یعنی انتقال مواد آلی از ریشه به درون ریزوسفر قرار می‌گیرد. این مواد شامل سلول‌های از بین رفته در کلاهک ریشه و اپیدرم، ترشحات موسیلاژ^۳ از این سلول‌ها و نشست مواد محلول از سلول‌های سالم و ترک‌های ناشی از ظهور ریشه‌های جانبی جدید (ترشحات) است. ایموسیلاژ، یا «موسیژل»^۴ سطح ریشه را چرب می‌کند و به حفظ تداوم فیزیکی بین ریشه و توده خاک کمک می‌کند. افزون بر این، موسیژل ممکن است یون‌های عناصر غذایی، به‌ویژه کاتیون‌ها، را جذب کند و از آبشویی آن‌ها از سطح ریشه جلوگیری کند (۳).

برهم‌کنش‌های خاک-گیاه: جذب آب و عناصر غذایی

جذب آب توسط گیاه به عوامل متعددی همچون پتانسیل آب و هدایت هیدرولیکی خاک، و هندسه، عمق و هدایت هیدرولیکی ریشه بستگی دارد (۱ و ۲). یکی از ویژگی‌های ریشه گیاه که توانایی جذب آب به‌ویژه در شرایط کم‌آبی را افزایش می‌دهد، ترشح موسیلاژها است. کارکردهای مختلفی به موسیلاژها نسبت داده می‌شود: بهبود تماس ریشه-خاک، کاهش اصطکاک ریشه در حال رشد با خاک، تسهیل جذب آب با افزایش ذخیره آبی ریزوسفر و جلوگیری از دی‌هیدراته شدن بافت ریشه. هدایت هیدرولیکی ریشه در اثر توسعه سیستم ریشه‌ای و عوامل بیرونی (مانند تنش خشکی و شوری) و درونی (مانند وضعیت رطوبتی و تغذیه‌ای گیاه، تقاضای تعرقی شاخساره)

1. Nonsymbiotic
2. Rhizodeposition
3. Mucilage
4. Mucigel

5. Siderophores

برهم کنش های خاک- گیاه: ساختمان فیزیکی خاک

پژوهش های متعدد نشان می دهد ویژگی های فیزیکی خاک (مانند ساختمان و توزیع اندازه منافذ) در اطراف ریشه ها با خاک دور از ریشه متفاوت است. ویژگی های فیزیکی خاک اطراف ریشه به دلایل مختلفی مانند اعمال نیروهای محوری و شعاعی ناشی از رشد ریشه، انقباض ریشه و مواد ترشح یافته توسط ریشه تغییر می یابد. ریشه گیاهان به روش های مختلف آرایش فیزیکی ذرات خاک را تغییر می دهند. در بیش تر خاک ها، ذرات مواد معدنی و مواد آلی خاک با هم پیوند یافته و خاکدانه را تشکیل می دهند. در ریزوسفر، موسیژل که توسط گیاه و میکروب های موجود در خاک تولید می شود، سبب پیوند کانی های رسی و تشکیل ریزذراتی^۱ با قطر حدود ۵۰ میکرون می شود. هیف های قارچی می توانند این ذرات ریز را به هم پیوند داده و خاکدانه های بزرگ تر با قطر ۲-۱ میلی متر به وجود آورند. همچنین چرخه های مکرر تر-خشک شدن در ریزوسفر، خاکدانه سازی را تشدید می کند. توزیع اندازه منافذ نیز از طریق چندین مکانیسم دیگر تحت تأثیر ریشه ها قرار می گیرد. رشد ریشه ها خاک را فشرده کرده و تخلخل ریزوسفر را کاهش می دهد. تر-خشک شدن خاک ناشی از تعرق ممکن است الگوهای ترک خوردگی را به ویژه در خاک های غنی از رس تحت تأثیر قرار دهد. انقباض ریشه ها در طول خشک شدن سبب ایجاد شکاف بین ریشه ها و خاک می شود. از بین رفتن و پوسیدگی ریشه ها سبب ایجاد منافذ درشت^۲ یا کانال هایی از مواد آلی بسیار متخلخل می شود. ویژگی های فیزیکی خاک، از جمله بافت، چگالی ظاهری، دما و توانایی نگهداشت رطوبت بر تعداد، اندازه، قطر و الگوهای انشعاب های ریشه ها تأثیر می گذارند. دما، تهویه و میزان رطوبت نیز بر مورفولوژی سیستم ریشه (قطر ریشه، تراکم ریشه های موئین و تعداد انشعاب های ریشه) تأثیر می گذارند (۳).

برهم کنش های خاک- گیاه: جانداران خاک

برهم کنش های گیاهان با جانداران خاک یکی از اجزای مهم فرآیندهای چرخه عناصر غذایی و ترکیب جامعه گیاهان است. شبکه غذایی خاک شامل جانداران زیادی، از باکتری ها و قارچ ها تا مصرف کنندگان با اندازه های گوناگون (نماتدها در مقیاس میکرون تا لارو حشرات در مقیاس میلی متر تا سانتی متر) است. در این رابطه باکتری های همزیست و غیرهمزیست تثبیت کننده نیتروژن که با ریشه گیاهان ارتباط دارند، اهمیت دارند. همزیست های قارچ میکوریزا نیز برهم کنش های پیچیده ای با جوامع گیاهی دارند. بیش از ۸۰ درصد گونه های گیاهی با قارچ های میکوریزایی مرتبط هستند که ممکن است همزیست، همزیست غیراجباری یا حتی به عنوان انگل عمل کنند. برخی پژوهش ها نشان داده اند که نوع و تنوع میکوریزاهای آربوسکولار بر ترکیب و تنوع جامعه گیاهی تأثیر می گذارد، به طوری که افزایش تنوع گیاهان با حضور و تنوع قارچ های میکوریزا همراه است. با این حال، تأثیر قارچ های میکوریزا بر ساختار جامعه گیاهان ممکن است با شرایط حاصلخیزی خاک و نوع گونه های گیاهی و قارچی متفاوت باشد. گیاهان همچنین برهم کنش غیرمستقیمی با جانداران خاک (غیرانگل و غیرپاتوژن) دارند. این جانداران شامل گستره عظیمی از باکتری ها، قارچ ها، نماتدها^۳، تک یاخته ها^۴، کنه ها^۵، پادمان ها^۶، انشیترایدها^۷ و کرم های خاکی هستند که جانداران خاک را تشکیل می دهند (۳).

برهم کنش های خاک- گیاه: تنش های غیرزنده در خاک

تنش های غیرزنده از جمله شوری، خشکی، شرایط غرقابی و وجود آلاینده ها و سموم در خاک برهم کنش های گوناگونی با خاک، گیاه، جانداران و محیط پیرامون خود دارند (۳ و ۴).

3. Nematodes
4. Protozoa
5. Mites
6. Collembolan
7. Enchytraids

1. Microparticles
2. Macropores

آلوده، گیاهان با ترشحات کربنی و آنزیمی و گاهی اوقات بهبود تهویه سبب تحریک جمعیت میکرب‌های محیط ریشه و تجزیه آلاینده‌ها می‌شوند که به این فرایند تخریب ریزوسفری^۳ می‌گویند (۳). نوع ترشحات ریشه گیاهان می‌تواند بر نوع برهم‌کنش گیاهان (اختصاصی یا غیراختصاصی) و ریزجانداران خاک تأثیر بگذارد. برهم‌کنش‌های اختصاصی زمانی روی می‌دهد که ترشحات ریشه گیاهان یک ترکیب شیمیایی خاص را در پاسخ به حضور نوعی آلاینده ترشح کنند. در برهم‌کنش‌های غیر اختصاصی، مواد شیمیایی مشابهی از ریشه گیاهان در پاسخ به انواع آلاینده‌ها ترشح می‌شوند (۳ و ۴).

شوری و خشکی جزو مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند که اغلب با هم رخ داده و سبب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند. بررسی و مدل‌سازی اثر تنش‌های ترکیبی بر گیاهان از مباحث پژوهشی ارزشمند است. یکی از راه‌های مهم استفاده بهینه از منابع خاک و آب، افزایش تحمل گیاهان به خشکی و شوری و بهبود توانایی گیاهان جذب آب از خاک است. همچنین ریشه گیاهان به دلیل ارتباط مستقیم با خاک بیش‌ترین تأثیرپذیری را از آلاینده‌های خاک دارد (۴). گیاهان، آلاینده‌ها را از طریق ریشه خود جذب کرده و طی فرآیندهایی آنها را ذخیره^۱ یا تجزیه^۲ می‌کنند. در خاک‌های

منابع مورد استفاده

1. Carminati, A., Moradi, A.B., Vetterlein, D., Vontobel, P., Lehman, E., Weller, U., Vogel, H.J., Oswald, S.E., 2010. Dynamics of soil water content in the rhizosphere. *Plant and Soil* 332: 163–176.
2. Carminati, A., Schneider, C. L., Moradi, A.B., Zarebanadkouki, M., Vetterlein, D., Vogel, H.J., Hildebrandt, A., Weller, U., Schuler, L., Oswald, S.E., 2011. How the rhizosphere may favor water availability to roots. *Vadose Zone Journal* 10(3): 988–998.
3. Ehrenfeld, J.G., 2013. Plant–soil interactions. In: Levin, S.A. (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier Inc. pp. 109–128.
4. Krumins, J.A., Goodey, N.M., Gallagher, F., 2015. Plant–soil interactions in metal contaminated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 80: 224–231.
5. Roose, T., Schnepf, A., 2008. Mathematical models of plant–soil interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 366(1885): 4597–4611.