مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

مروری بر برخی اثرات آنتی‌بیوتیک‌ها بر گیاهان

نوع مقاله: مروری

جواد کریمی[1*]، زینب جیحونی‌نژاد[2]

۱-استادیار، بخش زیست شناسی دانشگاه شیراز، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش زیست شناسی دانشگاه شیراز، ایران

javadkarimi@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳

صفحه ۱۴-۱

چکیده

استفاده روزافزون از آنتی‌بیوتیک‌ها در درمان بیماری‌های عفونی انسان، دام، ماهی و طیور نگرانی‌های زیست محیطی جدی ایجاد کرده است. استفاده مداوم و در حال افزایش، ماندگاری طولانی‌مدت و حذف ناکافی آنتی‌بیوتیک‌ها، تأثیراتی بر اکوسیستم‌های خاکی و آبی ایجاد کرده است. تقریباً ۵۰ تا ۹۰ درصد آنتی‌بیوتیک‌ها به‌صورت اولیه و متابولیت‌هایشان دفع و به‌طور طبیعی از طریق آب و خاک به ریشه‌های گیاهان رسیده و توسط آن‌ها جذب می‌شوند و یا عملکرد گیاه و تولید محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهند. آنتی‌بیوتیک‌ها تأثیرات خود را بر روی فرآیندهای گیاهی از قبیل فتوسنتز، تنفس، متابولیسم اکسیداتیو، متابولیسم نیتروژن، جوانه‌زنی و استقرار گیاه اعمال می‌کنند. یکی از نتایج و آثار آنتی‌بیوتیک‌ها بر گیاهان تولید ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) است که می‌تواند سمی باشد و اگر سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه نتوانند با آن مقابله کنند، منجر به بروز علایم سمیت در گیاه و آسیب به آن می‌شود. اکسید شدن لیپیدهای غشایی و آسیب به ماکرومولکول‌ها و ساختار سلولی گیاه از جمله این آسیب‌ها است.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌بیوتیک، آنتی‌اکسیدان، سمیت، گونه‌های فعال اکسیژن، گیاه.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

مقدمه

آنتی‌بیوتیک‌های دامپزشکی به‌طور گسترده برای جلوگیری از عفونت در حیوانات مزرعه و ترویج رشدشان استفاده می‌شود. استفاده بیش از حد و مداوم از آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط زیست، باعث نگرانی‌هایی درباره تأثیرات زیست‌محیطی آن‌ها شده است (Gangar and Patra 2023). آنتی‌بیوتیک‌ها که به صورت اولیه از طریق کود و ادرار در محیط دفع می‌شوند، به‌طور معمول به‌عنوان کود استفاده می‌شوند. همچنین، آب آلوده به آنتی‌بیوتیک‌ها برای آبیاری محصولات استفاده می‌شود. در نتیجه، گیاهان به‌طور مداوم در معرض غلظت‌های آنتی‌بیوتیک قرار می‌گیرند و این آنتی‌بیوتیک‌ها را جذب خواهند کرد (Mohan et al. 2023). غلظت‌های نسبتاً بالا از آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک، آب سطحی و آب زیرزمینی شناسایی شده‌اند. افزایش و رهاسازی رو به رشد آنتی‌بیوتیک‌ها و متابولیت‌هایشان منجر به اثرات نامطلوب بر موجودات زمینی و آبزی می‌شود (Bilal et al. 2020). آنتی‌بیوتیک‌ها علاوه‌بر کاربردشان در درمان عفونت‌های انسانی، به‌طور گسترده برای اهداف درمانی، پیشگیری و ارتقاء رشد در صنایع دام، ماهی و طیور توزیع می‌شوند و ممکن است تا ۹۰ درصد بدون متابولیسم دفع می‌شود (Robles-Jimenez et al. 2021).

مصرف جهانی آنتی‌بیوتیک‌ها و حضور آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط زیست، نگرانی‌های فزآینده‌ای را به وجود آورده است. در مورد میزان اثر آنتی‌بیوتیک‌ها بر موجودات، بستگی به غلظت و نوع آنتی‌بیوتیک دارد. تأثیر آنتی‌بیوتیک‌ها بر گیاهان و استفاده بی‌رویه از آن‌ها در غذاهای دامی در بسیاری از مناطق گزارش شده است (Ghimpeţeanu et al. 2022). علاوه‌بر استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان روش‌های درمانی برای پیشگیری و کنترل بیماری، متأسفانه از آن‌ها به‌عنوان خوراک دام برای ارتقاء رشد هم استفاده می‌شود. این عمل در حال حاضر یک روند جهانی است و کل استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها به بیش از صدها هزار تن در سال در سراسر جهان رسیده است (Van et al. 2020).

اگرچه اثرات اقتصادی مفید آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان افزودنی‌های خوراکی غیرقابل تردید است، استفاده از آن‌ها اغلب بی‌رویه و تا حد زیادی غیرقانونی است و هیچ استانداردی برای غلظت آنتی‌بیوتیک‌های موجود در محیط وجود ندارد (Dutta et al. 2019). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که قرار گرفتن مداوم در معرض غلظت‌های کشنده آنتی‌بیوتیک‌ها در محصولات غذایی می‌تواند منجر به ایجاد باکتری‌های مقاوم در حیوانات و انسان شود و مشکلات متعددی ایجاد کنند (Kyuchukova 2020). همچنین، آب سطحی که برای آبیاری محصولات استفاده می‌شود، می‌تواند به آلودگی خاک و تجمع آنتی‌بیوتیک‌ها در گیاهان کمک کند. در حالتی که آنتی‌بیوتیک‌ها به آب وارد می‌شوند، می‌توانند توسط جانداران آبزی، فیتوپلانکتون‌ها، حشرات و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

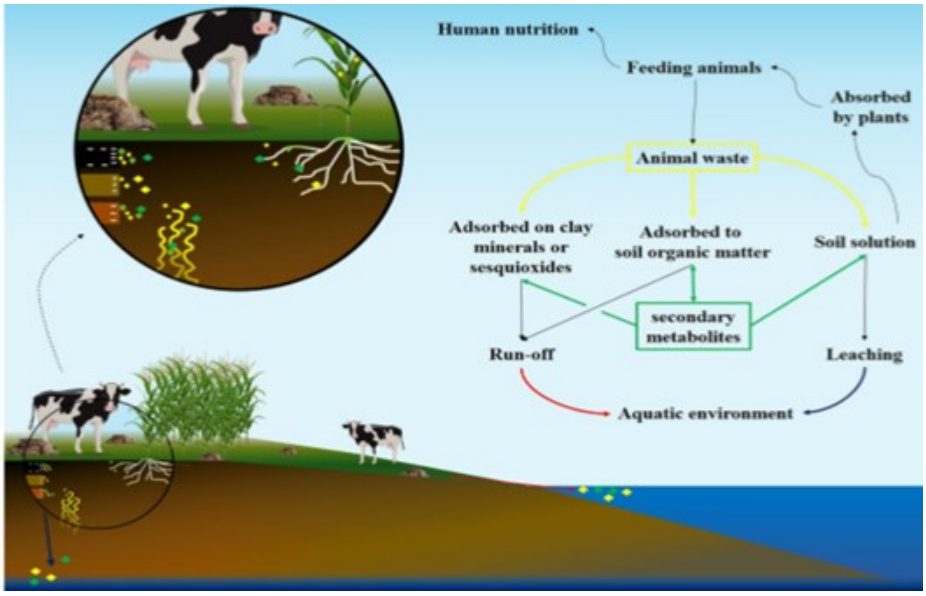
گیاهان آبزی جذب شوند. این آنتی‌بیوتیک‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط ماهی‌ها و سایر حیوانات مصرف شده و وارد زنجیره غذایی می‌شوند (Chen et al. 2020; Gunathilaka et al. 2023).

در مورد گیاهان، اثرات و تغییرات فیزیولوژی گیاهی ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها (یا محصولات حاصل از تجزیه متابولیک‌شان) ذاتاً با ظرفیت برخی از گونه‌ها برای حذف آلاینده‌ها از محیط (گیاه‌پالایی) مرتبط است. اثرات منفی بر روی فتوسنتز و همچنین اختلال در متابولیسم آنتی‌اکسیدانی، توانایی گیاه‌پالایی را محدود می‌کند. جذب توسط ریشه، یکی از راه‌های اصلی ورود آنتی‌بیوتیک‌ها به گیاهان است که در شکل ۱ مشخص است. آنتی‌بیوتیک‌ها به‌طور معمول تمایل دارند در مقادیر بیشتری در ریشه‌ها انباشته شوند، زیرا ریشه‌ها اندام‌های اولیه برای به‌دست آوردن مواد از خاک هستند (Rocha et al. 2021). با این حال، عامل اصلی که به نظر می‌رسد ظرفیت جذب و همچنین تخصیص آنتی‌بیوتیک‌های مختلف را در اندام‌های مختلف گیاه تعیین می‌کند، ویژگی‌های شیمیایی هر ترکیب است. به‌عنوان مثال گیاه هویج، آموکسی‌سیلین بیشتری نسبت به تتراسایکلین زمانی که در غلظت مساوی از هر دو باشد ذخیره می‌کند (Azanu et al. 2016). از طرف دیگر، تجمع آنتی‌بیوتیک‌ها در گیاهان به‌طور مشخص به ویژگی‌های خود گیاه هم بستگی دارد. برای مثال، برخی گیاهان میزان بیشتری از یک آنتی‌بیوتیک را نسبت به گیاه دیگری ذخیره می‌کنند. پس از جذب توسط ریشه، آنتی‌بیوتیک‌ها از طریق بافت‌های گیاهی به‌طور عمده در امتداد مسیرهای تعرق توزیع می‌شوند. به این ترتیب، شرایط محیطی که بر تعرق تأثیر می‌گذارند، علاوه‌بر تعرق، شکل اولیه ترکیب شیمیایی بر تجمع آن تأثیر می‌گذارد، به‌طوری که مولکول‌های کاتیونی و خنثی به روش‌های معادل هم در ریشه و هم در برگ توزیع می‌شوند، در حالی‌که مولکول‌های آنیونی تمایل دارند غلظت بیشتری را در ریشه‌های گیاه نشان دهند (Dodgen et al. 2015).

توزیع و فراوانی بافت‌های مختلف گیاهی با ویژگی‌های شیمیایی خاص بر توزیع آنتی‌ببوتیک‌ها در سرتاسر گیاه تأثیر می‌گذارد، برای مثال، وجود موانع آپوپلاستیک و لیگنینی‌شدن می‌تواند آنتی‌بیوتیک‌های دارای بار مثبت را که از ریشه به قسمت هوایی منتقل می‌شوند، محدود کند، زیرا آن‌ها تمایل دارند توسط بارهای منفی روی دیواره‌های سلولی محدود شوند. توزیع آنتی‌بیوتیک‌ها در بین اندام‌های مختلف گیاه و بخش‌های درون‌سلولی با تأثیراتشان بر فیزیولوژی گیاه مرتبط است. به عنوان مثال، تجمع زیاد آنتی‌بیوتیک در ریشه می‌تواند اثرات منفی‌شان را بر فتوسنتز مهار کند. با این حال، در این مورد، آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند با رشد ریشه تداخل داشته باشند و در نتیجه اثرات مضری بر تغذیه مواد معدنی و جذب آب داشته

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

باشند. به‌طور مشابه، در اندام‌های هوایی، توزیع آنتی‌بیوتیک‌ها باید بر اثرات‌شان در اندام‌های رویشی و تولید مثلی منعکس شود (Pan and Chu 2017; Rocha et al. 2021). در نهایت، توزیع درون‌سلولی آنتی‌بیوتیک‌ها در سلول‌های گیاهی نیز اثرات شیمیایی را بر فیزیولوژی گیاه ایجاد می‌کند. به نظر می‌رسد ژن ناقل MAR1 ورود آنتی‌بیوتیک به کلروپلاست سلول‌های گیاهی *Arabidopsis thaliana* را کنترل می‌کند (Conte and Lloyd 2011).



شکل ۱- نمایی از اثرات آنتی‌بیوتیک‌ها بر اکوسیستم‌های آبی و خاکی (Rocha et al. 2021)

فتوسنتز

تأثیر آنتی‌بیوتیک‌ها بر گیاهان به صورت مثبت و منفی است. در غلظت‌های بسیار کم، آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند اثر مثبتی داشته باشند، اما در غلظت‌های بالا ممکن است منجر به اثرات سمی شوند. می‌تواند بر دستگاه فتوسنتزی اثر گذاشته، فتوسنتز را کاهش دهد (Tomar et al. 2019). محتوای کلروفیل نیز یک پارامتر مهم در ارزیابی اثرات آنتی‌بیوتیک‌ها بر فرآیند فتوسنتز است. در یک آزمایش، مهار سنتز کلروفیل تحت‌تأثیر تتراسایکلین پس از ۱۰ روز رشد با افزودن تتراسایکلین در نهال‌های گیاه مشاهده شد (Rydzynski et al. 2019).

غلظت‌های پایین آنتی‌بیوتیک‌ها ممکن است از فرآیند بیوسنتز کلروفیل حمایت کرده و فعالیت کلروفیلاز را کاهش داده و از تخریب کلروفیل جلوگیری کند. اما در غلظت‌های بالا، آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند به کاهش قابل توجهی در غلظت کلروفیل و کاهش بازده فتوسنتز منجر شوند (Krupka et al. 2022).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

همچنین آنتی‌بیوتیک می‌تواند منجر به تجمع H_2O_2 در کلروپلاست‌ها شود و به پروتئین D1 در PSII که برای هماهنگی جریان الکترون بین حامل‌های الکترون بعدی ضروری است، آسیب بزند. پراکسید هیدروژن در سلول‌های گیاهی ممکن است منجر به مهار فرآیندهای ترمیم پروتئین D1 شود، بنابراین منجر به آسیب غیرقابل برگشت به PS II و مهار واکنش Hill به میزان بالایی بسته به غلظت آنتی‌بیوتیک شود (Kaciene et al. 2024; Krupka et al. 2022).

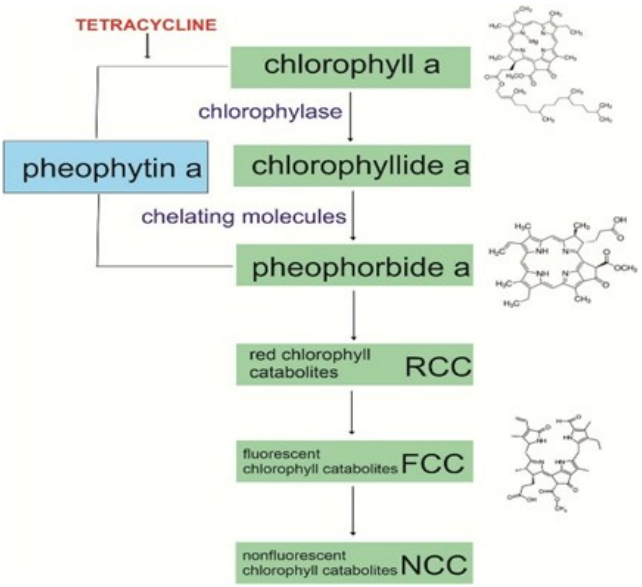
در *Arabidopsis. thaliana* وجود دی.ان.اِ ژیراز (DNA gyraze) را نشان داد، آنزیمی که چرخش مارپیچ دی.ان.اِ را کاتالیز می‌کند، آنتی‌بیوتیک‌ها با تأثیر بر فعالیت ژیراز ممکن است باعث آسیب در کلروپلاست‌ها شوند که فرآیند تکثیر دی.ان.اِ (همانندسازی ویا ترمیم دی.ان.آ) را مهار می‌کنند (Krupka et al. 2022). تیمار تنباکو *Nicotana tabacum* با آنتی‌بیوتیک‌هایی که دی.ان.اِ ژیراز را هدف قرار می‌دهند (کینولون نالیدیکسیک اسید)، منجر به مهار فوری رشد گیاه شد (Heinhorst et al. 1985).

مسیر تخریب کلروفیل به نام PAO از چهار مرحله اصلی تشکیل شده است. اولین مرحله در تخریب کلروفیل، جدا شدن فیتول از مولکول کلروفیل توسط کلروفیلاز است. محصول واکنش، کلروفیلید است. مرحله بعدی حذف یون منیزیم است که منجر به تشکیل فئوفوربید می‌شود. مرحله سوم تجزیه کلروفیل باز شدن حلقه پورفیرین فئوفوربید است. این واکنش منجر به تشکیل کاتابولیت‌های کلروفیل فلورسنت می‌شود. آنزیم درگیر در مرحله سوم فئوفورباید اکسیژناز است. مرحله نهایی این مسیر، تبدیل محصولات فلورسنت به کاتابولیت‌های کلروفیل غیرفلورسنت است (Hortensteiner and Kräutler 2011). محصول تخریب کلروفیل توسط تتراسایکلین، فئوفیتین است (شکل ۲). به این‌ترتیب، هر تنش زیستی یا غیرزیستی که با هر یک از مراحل این فرآیندها تداخل داشته باشد، میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد و در نتیجه بر رشد طبیعی گیاه تأثیر می‌گذارد. برای مثال، ناتوانی در انتقال صحیح الکترون‌ها، منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن ROS و آسیب اکسیداتیو می‌شود (Sharma et al. 2012).

در مورد اسید نالیدیکسیک (Naldx یک کینولون غیر فلورایده) آزمایش‌های *in vitro* و *in vivo* نشان داده‌اند که قرارگرفتن در معرض غشای تیلاکوئید اسفناج با آن، منجر به محدودیت‌های قابل‌توجهی در تولید اکسیژن می‌شود، انتقال الکترون در غشاهای تیلاکوئید به نظر می‌رسد تحت‌تأثیر قرار گرفته است، زیرا Naldx می‌تواند به محل اتصال ثانویه کینون در مرکز واکنش II متصل شود (Tomar et al. 2019).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

کاهش کارایی کربوکسیلی‌شدن روبیسکو نیز در گیاهان ذرت در معرض ۱/۴ و ۲/۰ میکروگرم سیپروفلوکساسین مشاهده شد، علاوه‌بر اثرات مضر سیپروفلوکساسین بر فاز فتوشیمیایی، کاهش فعالیت روبیسکو ممکن است به تغییرات مورفوآناتومیک مربوط باشد. برای مثال، تیمار گیاهان ذرت با سیپروفلوکساسین، منجر به دستجات آوندی کوچک‌تر شد که انتقال محصولات فتوسنتزی را به خطر انداخت. علاوه‌بر فلوروکینولون‌ها، سایر انواع آنتی‌بیوتیک‌ها ظاهراً می‌توانند بر فتوسنتز تأثیر بگذارند. نشان داده شده است که با القای تیمارهای تتراسایکلین (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و اکسی تتراسایکلین (۱ میکروگرم در لیتر)، هر دو نوع تتراسایکلین، فتوسنتز را در گیاهان ذرت کاهش می‌دهند، مشابه عملکرد مشاهده شده سیپروفلوکساسین، به نظر می‌رسد اکسی‌تتراساکلین با سنتز پروتئین میتوکندری و کلروپلاست تداخل داشته باشد، اما ظاهراً ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را نیز کاهش داده و منجر به تجمع ROS و آسیب اکسیداتیو می‌شود که توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد (Gomes et al. 2020).



شکل ۲- مسیر تخریب کلروفیل و محل اثر احتمالی تتراسایکلین (Krupka et al. 2022)

تنفس

برخی آنتی‌بیوتیک‌ها، مانند آنتی‌مایسین، سیپروفلوکساسین و اکسی‌تتراساکلین، میتوکندری‌ها را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند. آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند به آسیب دیدن دی.ان.اِ، لیپیدها، پروتئین‌ها و ساختارهای دیگر میتوکندریایی منجر شوند و عملکرد زنجیره انتقال الکترون میتوکندری را تحت تأثیر قرار دهند (Suarez-Rivero et al. 2023). در آزمایشی، اکسی‌تتراساکلین کمپلکس II، III، و فعالیت IV را

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

تحت‌تأثیر قرار داد، با این حال، مشاهده شد که کمپلکس I تحت‌تأثیر آن آنتی‌بیوتیک‌ها قرار نگرفت (Guerra et al. 2016).

به‌طور مشابه، داکسی‌سایکلین (۵ تا ۲۵ میکروگرم در میلی‌لیتر) به‌طور قابل‌توجهی مصرف اکسیژن توسط *A. thaliana* را کاهش داد و عملکرد میتوکندری و رشد گیاه را کاهش داد. تداخلات با عملکردهای میتوکندری عواقب جدی برای گیاهان ایجاد می‌کند، زیرا آن اندامک‌ها ارتباط نزدیکی با تولید ATP برای فعالیت‌های سلولی دارند (Moullan et al. 2015). کاهش تجمع ROS نیز در گیاهان تحت تیمار با آنتی‌بیوتیک مشاهده شده است، که باعث ایجاد اختلال در ETC میتوکندری می‌شود. زمانی‌که سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در کنترل سطوح ROS ناکام می‌مانند، آن مولکول‌ها می‌توانند تجمع کرده و آسیب اکسیداتیو به سیستم‌های غشایی میتوکندری و دیگر ساختارهای سلولی مانند تیلاکوئیدها و غشای سلولی و همچنین پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک ایجاد کنند (Rocha et al. 2021).

متابولیسم نیتروژن

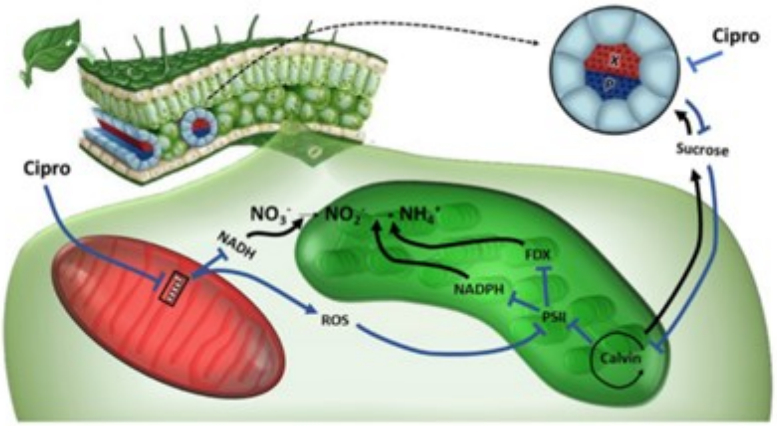
کمبود نیتروژن می‌تواند رشد و توسعه گیاهان را محدود کند. گیاهان نیتروژن را از منابع مختلفی مانند نیترات و آمونیوم جذب می‌کنند. آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند متابولیسم نیتروژن را تحت تأثیر قرار داده و فعالیت‌هایی مانند فتوسنتز و جذب نیتروژن را کاهش دهند. این تأثیر ممکن است از طریق کاهش تولید ATP و NADPH یا تخریب آنزیم‌ها و تغییرات در غلظت گلوتامات و گلوتامین ایجاد شود (Lea and Ireland, 1999).

جذب N به شکل نیترات از طریق فرآیندهای فعال از نوع سیمپورت اتفاق می‌افتد و نیاز به هزینه‌های انرژی دارد. برای این‌که نیترات به ترکیبات آلی گیاهان جذب شود، ابتدا باید از طریق اعمال آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و نیتریت ردوکتاز به نیتریت و سپس به آمونیوم کاهش یابد، احیاء نیترات به نیتریت در سیتوزول با هزینه NADH حاصل از تنفس یا گلیکولیز رخ می‌دهد. احیاء نیتریت به آمونیوم در کلروپلاست‌ها (بافت‌های سبز) یا در پلاستیدها (در بافت ریشه) با هزینه NADPH و FDX به ترتیب رخ می‌دهد. پس از تشکیل، آمونیوم به اسیدهای آمینه، به‌طور عمده از طریق گلوتامین سنتتاز و گلوتامات سنتتاز وارد می‌شود و گلوتامین و گلوتامات را تشکیل می‌دهد (Rocha et al. 2021).

در پژوهشی، ارزیابی اثرات سیپروفلوکساسین (۰/۷۵ تا ۳/۰۵ میلی‌گرم در لیتر) بر روی پتریدوفیت آبزی آزولا (که یک رابطه همزیستی با سیانوباکتری *Anabaena azollae* ایجاد می‌کند) تغییراتی را در متابولیسم کربن و نیتروژن با کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی و نیتروژناز آشکار کرد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

کاهش فعالیت نیتروژناز منجر به کاهش غلظت کل آمونیوم و ازت گیاه شد. همچنین کاهش غلظت گلوتامات و گلوتامین در گیاهان تیمار شده با سیپروفلوکساسین مشاهده شد، که ظاهراً با دسترسی کم‌تر ATP و NADPH همراه بود. به این ترتیب، تداخل آنتی‌بیوتیک‌ها بر متابولیسم نیتروژن در گیاهان تأثیر می‌گذارد که در شکل ۳ قابل مشاهده است (Rocha et al. 2021).



شکل ۳- اثر سیپروفلوکساسین بر فتوسنتز- تنفس و متابولیسم نیتروژن در گیاهان (Rocha et al. 2021)

متابولیسم اکسیداتیو

تنفس و فتوسنتز برای همه گیاهان ضروری است، اگرچه این مکانیسم‌های تولید انرژی نیز ROS سمی تولید می‌کنند (Saed-Moucheshi et al. 2014). با توجه به تولید ROS، ارگانیسم‌ها سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی را برای تخریب این مولکول‌ها و حفظ هموستازی سلولی توسعه داده‌اند. سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان از دفاع آنزیمی مانند SOD، CAT، APX، GPX و همچنین دفاع غیر آنزیمی مانند آسکوربات و گلوتاتیون تشکیل شده است. علاوه‌بر تولید ROS در شرایط رشد طبیعی، تولید ROS می‌تواند در شرایط تنش افزایش یابد که منجر به تغییرات (تنظیم بالا یا تنظیم پایین) مولکول‌ها و آنزیم‌های سازنده سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی شود (Teotia and Singh, 2014). هنگامی‌که سیستم‌های سلولی نتوانند تعادل بین تولید و تخریب ROS را حفظ کنند، تنش اکسیداتیو منجر به آسیب پروتئین، لیپید و دی.ان.اِ می‌شود (Barzilai and Yamamoto, 2004).

در مطالعه‌ای مشاهده شد گیاهان زنجبیل که به مدت ۲۰ روز در معرض تتراسایکلین (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفتند، افزایش تولید آنیون سوپراکسید و پراکسید هیدروژن را نشان دادند، اگرچه در آن‌ها فعالیت آنزیم‌هایی مثل SOD، CAT و پراکسیداز نیز افزایش یافته بود، افزایش غلظت مالون دی آلدئید مشاهده شد که نشان‌دهنده پراکسیداسیون لیپیدی است. بنابراین،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

علی‌رغم افزایش فعالیت‌های آنزیمی این گیاهان، برای جلوگیری از آسیب اکسیداتیو ناشی از افزایش غلظت ROS این تیمار منجر به مهار رشد شد (Rocha et al. 2021).

در آزمایش دیگری نشان داده شد هنگامی‌که گیاه آبزی *Spirodela polirhiza* با آموکسی‌سیلین به مدت ۷ روز تحت تیمار قرار گرفت، فعالیت‌های آنزیمی SOD، CAT و APX و همچنین علائم سمیت گیاهی افزایش یافتند (Wei et al. 2023).

جوانه‌زنی و استقرار گیاه

آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند بر رشد و جوانه‌زنی گیاهان تأثیر بگذارند. برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها مانع رشد ریشه و تقسیم سلولی در نوک ریشه می‌شوند و می‌توانند آسیب‌هایی به میکروتوبول‌ها و غشاهای سلولی ایجاد کنند. در برخی از گیاهان، پوشش بذر می‌تواند نفوذ آنتی‌بیوتیک‌ها را مشکل کند و اجازه نمی‌دهد تا آنتی‌بیوتیک‌ها به ریشه جوانه دسترسی پیدا کنند. با این حال، طول ریشه با غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها همبستگی خطی دارد. کاهش نفوذ آنتی‌بیوتیک‌ها از طریق پوشش بذر، از دانه‌ها در برابر اثرات سمی اعمال شده توسط این مولکول‌ها محافظت می‌کند، با این حال، با توجه به تفاوت در نفوذپذیری پوشش دانه در بین گونه‌ها و در رابطه با مولکول‌های مختلف، مکانیسم‌های مقاومت نیز احتمالاً دخیل هستند (Pan and Chu 2016).

هنگامی‌که آنتی‌بیوتیک‌ها از طریق آبیاری یا کوددهی آلی وارد خاک شوند، گیاهان از مرحله بذر در معرض آنتی‌بیوتیک‌ها قرار می‌گیرند. آزمایش‌های انجام شده با محصولات دارویی تا حد زیادی میزان جوانه‌زنی را به‌عنوان پارامتری برای ارزیابی اثرات سمی این مواد بر فرآیندهای جوانه‌زنی در نظر گرفته‌اند (Hillis et al. 2011). در مورد برنج، استفاده از پنج آنتی‌بیوتیک Levo، Ofloxacin، Ciprofloxacin، Ampicilin و Amoxicilin با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، منجر به کاهش قابل توجهی در درصد جوانه‌زنی‌شان شد. از بین آن‌ها، سیپروفلوکساسین بیشترین کاهش را نشان داد (Mukhtar et al. 2020). اثرات آنتی‌بیوتیک‌ها بر جوانه‌زنی بذر باید به‌طور مستقیم با متابولیسم تنفسی، منبع اصلی انرژی برای فرآیندهای جوانه‌زنی مرتبط باشد. علاوه‌بر این، فعالیت میتوکندریایی منبع اصلی ROS است که به‌ویژه در طول فرآیند جوانه‌زنی مهم هستند، زیرا به‌عنوان مولکول‌های سیگنالی برای برهم‌کنش بین هورمون‌های گیاهی مانند اسید آبسیزیک و جیبرلین عمل می‌کنند که در کنترل خواب بذر و جوانه‌زنی نقش دارند. افزایش غلظت ROS بذر به‌طور معمول در مراحل اولیه جوانه‌زنی مشاهده می‌شود، زیرا به‌ویژه شکستن خواب و کاهش

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

انرژی مورد نیاز برای رشد جنین را تسهیل می‌کند (Bailly 2019).

تداخل غلظت سیپروفلوکساسین در فعالیت میتوکندری منجر به افزایش H_2O_2 در جنین بذر شده و در نتیجه جوانه‌زنی را تسریع می‌کند. بنابراین، اثرات محرک سیپروفلوکساسین در جوانه‌زنی بذر ذرت می‌تواند به دلیل افزایش غلظت H_2O_2 باشد (Rocha et al. 2021). در گیاه Ricciocarpus natans پیشنهاد شد که سیپروفلوکساسین به‌عنوان یک بازدارنده میتوکندری عمل می‌کند و باعث القاء H_2O_2 می‌شود (Gomes et al. 2018). در آزمایش دیگر، آنتی‌بیوتیک کلرتتراسایکلین باعث مهار جوانه‌زنی دانه‌های کلم شد. این آنتی‌بیوتیک باعث ایجاد دگرگونی در بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و در نهایت منجر به تجمع ROS فراتر از غلظت‌های سیگنال‌دهی شد که با آسیب سلولی شدید بر جوانه‌زنی تأثیر منفی داشت (Cheong et al. 2020).

یکی دیگر از عوامل مهم برای رشد ریشه در طول استقرار گیاهچه، محتوای فولات دانه است که برای تقسیم سلولی ضروری است (Rebeille et al. 2006). به نظر می‌رسد تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) عنصر اساسی این مسیر باشد. مقادیر کمی از ROS انباشته شده تحت تنش، مسیرهای سیگنال‌دهی سلولی را فعال می‌کند که منجر به پاسخ‌های انطباقی مفید می‌شود. محتوای اولیه فولات دانه برای پشتیبانی از تقسیم سلولی در طول جوانه‌زنی کافی است، اگرچه اگر تجدید نشود، محدود می‌شود (Rajjou et al. 2012). برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها مانند سولفونامید می‌تواند سنتز فولات را مهار کند که بر افزایش طول ریشه و استقرار گیاهچه تأثیر می‌گذارد (Narciso et al. 2023).

تتراهیدروفولات برای سنتز پورین، تیمیدین و دی.ان.اِ ضروری است. محتوای فولات در دانه‌ها عامل مهمی است که از افزایش طول ریشه در طول دوره رشد اولیه حمایت می‌کند (Tjong et al. 2022). در آزمایشی نشان داده شد که قرار گرفتن دانه‌های ذرت در معرض آنتی‌بیوتیک سیپروفلوکساسین منجر به کاهش قابل‌توجهی در فعالیت میتوکندریایی می‌شود و بنابراین زنجیره انتقال الکترون میتوکندری، هدف سیپروفلوکساسین در دانه‌های ذرت است که منجر به افزایش تشکیل ROS می‌شود (Gomes et al. 2020).

نتیجه‌گیری

تولید ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) در اثر آنتی‌بیوتیک منجر به بروز علایم سمیت در گیاه و آسیب به آن می‌شود. در این مطالعه به صورت مختصر اثرات برخی آنتی‌بیوتیک‌ها بر فتوسنتز،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

تنفس، متابولیسم نیتروژن، متابولیسم اکسیداتیو و جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه مرور شد. استفاده نادرست و بی‌توجهی به دفع صحیح آنتی‌بیوتیک‌ها، می‌تواند منجر به کاهش کارآیی درمانی برای بیماری‌های عفونی در آینده شود. این امر می‌تواند باعث کاهش توانایی در مقابله با عفونت‌ها و بروز مشکلات جدید درمانی شود.

فهرست منابع

References

Azanu D, Mortey C, Darko G, Weisser JJ, Styrishave B, Abaidoo RC. **2016**. Uptake of antibiotics from irrigation water by plants. Chemosphere. 157: 107-114.

Bailly C. **2019**. The signalling role of ROS in the regulation of seed germination and dormancy. Biochemical Journal. 476 (20): 3019-3032.

Barzilai A and Yamamoto K-I. **2004**. DNA damage responses to oxidative stress. DNA repair. 3(8-9): 1109-1115.

Bilal M, Mehmood S, Rasheed T, Iqbal HM. **2020**. Antibiotics traces in the aquatic environment: persistence and adverse environmental impact. Current Opinion in Environmental Science & Health. 13: 68-74.

Chen J, Sun R, Pan C, Sun Y, Mai B, Li QX. **2020**. Antibiotics and food safety in aquaculture. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 68(43): 11908-11919.

Cheong MS, Yoon Y-E, Kim JW, Hong YK, Kim SC, Lee YB. **2020**. Chlortetracycline inhibits seed germination and seedling growth in Brassica campestris by disrupting H_2O_2 signaling. Applied Biological Chemistry. 63: 1-8.

Conte SS, Lloyd AM. **2011**. Exploring multiple drug and herbicide resistance in plants—Spotlight on transporter proteins. Plant science. 180(2): 196-203.

Dodgen LK, Ueda A, Wu X, Parker DR, Gan J. **2015**. Effect of transpiration on plant accumulation and translocation of PPCP/EDCs. Environmental Pollution. 198: 144-153.

Dutta T, Yadav S, Chatterjee A. **2019**. Antibiotics as feed additives for livestock: Human health concerns. Indian J. Anim. Health. 58(2): 121-136.

Gangar T and Patra S. **2023**. Antibiotic persistence and its impact on the environment. 3 Biotech. 13(12): 401.

Ghimpețeanu OM, Pogurschi, EN, Popa, DC, Dragomir, N, Drăgotoiu, T, Mihai, ODPetcu, CD. **2022**. Antibiotic use in livestock and residues in food—A public health threat: A review. Foods, 11(10), 1430.

Gomes MP, de Brito JCM, Bicalho EM, Silva JG, de Fátima Gomides M, Garcia QS, Figueredo CC. **2018**. Ciprofloxacin vs. temperature: Antibiotic toxicity in the free-floating liverwort Ricciocarpus natans from a climate change perspective. Chemosphere. 202: 410-419.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

Gomes MP, Rocha DC, de Brito JCM, Tavares DS, Marques RZ, Soffiatti P, Sant'Anna-Santos BF. **2020**. Emerging contaminants in water used for maize irrigation: Economic and food safety losses associated with ciprofloxacin and glyphosate. Ecotoxicology and Environmental Safety. 196: 110549.

Guerra W, Silva-Caldeira PP, Terenzi H, Pereira-Maia EC. **2016**. Impact of metal coordination on the antibiotic and non-antibiotic activities of tetracycline-based drugs. Coordination Chemistry Reviews. 327: 188-199.

Gunathilaka ML, Bao S, Liu X, Li Y, Pan Y. **2023**. Antibiotic pollution of planktonic ecosystems: a review focused on community analysis and the causal chain linking individual-and community-level responses. Environmental Science & Technology. 57(3): 1199-1213.

Heinhorst S, Cannon G, Weissbach A. **1985**. Chloroplast DNA synthesis during the cell cycle in cultured cells of *Nicotiana tabacum*: inhibition by nalidixic acid and hydroxyurea. Archives of Biochemistry and Biophysics. 239(2): 475-479.

Hillis DG, Fletcher J, Solomon KR, Sibley PK. **2011**. Effects of ten antibiotics on seed germination and root elongation in three plant species. Archives of environmental contamination and toxicology. 60: 220-232.

Hortensteiner S and Krautler B. **2011**. Chlorophyll breakdown in higher plants. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. 1807(8): 977-988.

Kaciene G, Diksaityte A, Januskaitiene I, Miskelyte D, Sujetovienė G, Dagiliūtė R, Žaltauskaitė J. **2024**. Veterinary antibiotics differ in phytotoxicity on oilseed rape grown over a wide range of concentrations. Chemosphere. 141977.

Krupka M, Piotrowicz-Cieślak AI, Michalczyk DJ. **2022**. Effects of antibiotics on the photosynthetic apparatus of plants. Journal of Plant Interactions. 17(1): 96-104.

Kyuchukova R. **2020**. Antibiotic residues and human health hazard-review. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 26(3).

Lea PJ and Ireland RJ. **1999**. Nitrogen metabolism in higher plants. Plant amino acids: biochemistry and biotechnology. 1.

Mohan A, Bashir S, Mohan A, Kumar D, Kaur N. 2023. Occurrence and fate of antibiotics in manure. In Manure Technology and Sustainable Development (pp. 321-339). Springer.

Moullan N, Mouchiroud L, Wang X, Ryu D, Williams EG, Mottis A, Jovaisaite V, Frochaux MV, Quiros PM, Deplancke B. **2015**. Tetracyclines disturb mitochondrial function across eukaryotic models: a call for caution in biomedical research. Cell reports. 10(10): 1681-1691.

Mukhtar A, Manzoor M, Gul I, Zafar R, Jamil HI, Niazi AK, Ali MA, Park TJ, Arshad M. **2020**. Phytotoxicity of different antibiotics to rice and stress alleviation upon application of organic amendments. Chemosphere. 258: 127353.

Narciso A, Barra Caracciolo A, De Carolis C. **2023**. Overview of Direct and Indirect Effects of Antibiotics on Terrestrial Organisms. Antibiotics. 12(9): 1471.

Pan M and Chu L. **2016**. Phytotoxicity of veterinary antibiotics to seed germination and root elongation of crops. Ecotoxicology and Environmental Safety. 126: 228-237.

Pan M and Chu L. **2017**. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. Science of the Total Environment. 599: 500-512.

Rajjou L, Duval M, Gallardo K, Catusse J, Bally J, Job C, Job D. 2012. Seed germination and vigor. Annual Review of Plant Biology. 63: 507-533.

Rebeille F, Ravanel S, Jabrin S, Douce R, Storozhenko S, Van Der Straeten D. **2006**. Folates in plants: biosynthesis, distribution, and enhancement. Physiologia Plantarum. 126(3): 330-342.

Robles-Jimenez LE, Aranda-Aguirre E, Castelan-Ortega OA, Shettino-Bermudez BS, Ortiz-Salinas R, Miranda M, Li X, Angeles-Hernandez JC, Vargas-Bello-Pérez E, Gonzalez-Ronquillo M. **2021**.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

Worldwide traceability of antibiotic residues from livestock in wastewater and soil: A systematic review. Animals. 12(1): 60.

Rocha DC, da Silva Rocha C, Tavares DS, de Morais Calado SL, Gomes MP. **2021**. Veterinary antibiotics and plant physiology: An overview. Science of The Total Environment. 767: 144902.

Rydzynski D, Piotrowicz-Cieslak A, Grajek H, Michalczyk D. **2019**. Chlorophyll degradation by tetracycline and cadmium in spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. International Journal of Environmental Science and Technology. 16: 6301-6314.

Saed-Moucheshi A, Shekoofa A, Pessarakli M. 2014. Reactive oxygen species (ROS) generation and detoxifying in plants. Journal of Plant Nutrition. 37(10): 1573-1585.

Sharma P, Jha AB, Dubey RS, Pessarakli M. **2012**. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. Journal of Botany. 2012 (1).

Suarez-Rivero JM, López-Pérez J, Muela-Zarzuela I, Pastor-Maldonado C, Cilleros-Holgado P, Gomez-Fernández D, Álvarez-Córdoba M, Munuera-Cabeza M, Talaverón-Rey M, Povea-Cabello S. **2023**. Neurodegeneration, mitochondria, and antibiotics. Metabolites. 13(3): 416.

Teotia S and Singh D. **2014**. Oxidative stress in plants and its management. Approaches to plant stress and their management. 227-253.

Tjong E, Dimri M, Mohiuddin SS. 2022. Biochemistry, tetrahydrofolate. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing.

Tomar RS, Singh B, Jajoo A. **2019**. Effects of organic pollutants on photosynthesis. Photosynthesis, productivity and environmental stress. 1-26.

Van TTH, Yidana Z, Smooker PM, Coloe PJ. **2020**. Antibiotic use in food animals worldwide, with a focus on Africa: Pluses and minuses. Journal of Global Antimicrobial Resistance. 20: 170-177.

Wei H, Tang M, Xu X. **2023**. Mechanism and influence factors of plant uptake, accumulation, transport, metabolism pathways of pharmaceuticals and personal care products and their phytotoxicity: A review. Science of the Total Environment. 164413.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]

A Review of Some Effects of Antibiotics on Plants

Javad Karimi[1*] and Zeinab Jeihooni Nezhad[2]

1- Assistant Professor, Department of Biology, School of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2- MSc. Student, Department of Biology, School of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran.

javadkarimi@shirazu.ac.ir

Abstract

The increasing use of antibiotics in the treatment of infectious diseases in humans, animals, fish, and poultry has raised serious environmental concerns. The continuous and growing use, long-term persistence, and inadequate removal of antibiotics have had impacts on soil and water ecosystems. Approximately 50 to 90 percent of antibiotics and their metabolites are excreted initially, and these substances naturally reach the roots of plants through water and soil, where they are absorbed by plants and reduce their performance and agricultural productivity. Moreover, these substances may also have harmful effects on humans. Antibiotics exert their effects on plant processes such as photosynthesis, respiration, oxidative metabolism, nitrogen metabolism, germination, and plant establishment. One of the consequences and effects of antibiotics on plants is the production of reactive oxygen species (ROS), which can be toxic. If plant antioxidant systems fail to counteract them, it can lead to toxic symptoms and damage to the plant. Oxidation of membrane lipids and damage to macromolecules and plant cell structures are among these damages.

Keywords: Antibiotic, Antioxidant, Toxicity, Reactive Oxygen Species, Plant.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-07-11]