افروز بوکان؛ دانشجوی مقطع دکتری حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی،
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
afrooz.boukan@ut.ac.ir

دریافت: ۱۰ تیرماه ۱۴۰۵ بازنگری: ۲۰ تیرماه ۱۴۰۵ پذیرش: ۰۵ مردادماه ۱۴۰۵ انتشار آنلاین: ۲۰ مردادماه ۱۴۰۵
doi.org/10.22059/giahpzshsj.2026.408849.1040

آلودگی هوا؛

تهدیدی پنهان برای امنیت غذایی

چکیده

آلودگـــی هوا یکی از تنش‌های محیطی مهم عصر حاضر اســـت که پیامدهـــای آن فراتر از سلامت انســـان بـــوده و پایداری تولیـــدات کشـــاورزی و امنیت غذایی را نیـــز تحت تأثیر قـــرار می‌دهد. آلاینده‌هایی مانند اوزون (O_3)، دی‌اکســـید گوگرد (SO_2)، اکســـیدهای نیتروژن (NO_x) و ذرات معلـــق ($PM_{2/5}$) و (PM_{10}) می‌تواننـــد از طریق ایجاد تنش اکســـیداتیو، اختلال در فتوســـنتز، کاهش جذب عناصر غذایی و تضعیف ســـازوکارهای دفاعی گیاه، حساســـیت گیاهان را نســـبت به آفات و بیمارگرها افزایش دهنـــد. افزون بر ایـــن، آلودگی هوا با تخریـــب یا تغییر ترکیبـــات آلی فرّار گیاهـــی، موجب اختلال در عملکرد گرده‌افشـــان‌ها و دشـــمنان طبیعی آفات شـــده و تعادل اکولوژیک ســـامانه‌های زراعی را بر هم می‌زند. شـــواهد حاصل از مطالعات میدانی در کشـــورهای مختلف نشـــان می‌دهد که آلودگی شـــدید هوا با کاهش عملکرد محصولات، افزایش فشـــار آفات و تشـــدید برخی بیماری‌های گیاهی همراه اســـت. برای نمونه، در یک مطالعه میدانی گزارش شـــد کـــه قرار گرفتن گیاهـــان در معرض آلاینده‌های ناشـــی از اگزوز دیـــزل و اوزون می‌تواند فراوانی گرده‌افشـــان‌ها را حـــدود ۶۲ تا ۷۰ درصـــد و بازدید آن‌هـــا از گل‌ها را حدود ۸۳ تا ۹۰ درصد کاهش دهـــد و درنتیجه موفقیـــت تولیدمثلی گیاهـــان کاهش یابد. همچنیـــن آلاینده‌ها می‌توانند از طریـــق کاهش فعالیت زیســـتی خاک و اخـــتلال در چرخه عناصـــر غذایی، تـــوان گیاه برای مقابلـــه با تنش‌های زیســـتی (آفات و بیماری‌هـــا) را کاهش دهند. ایـــن مقاله با رویکـــردی علمی ترویجی، مســـیرهای مســـتقیم و غیرمســـتقیم اثر آلودگی هوا بر گیاهان، آفات، بیماری‌های گیاهی، گرده‌افشان‌ها، دشـــمنان طبیعی و سلامت خاک را بررســـی کرده و نشـــان می‌دهد که کیفیت هوا یکـــی از مؤلفه‌های مهم اما کمتـــر موردتوجه در امنیت غذایی اســـت. در پایان نیز برخـــی راهبردهای مدیریتی بـــرای کاهش اثرات آلودگی هوا بر ســـامانه‌های کشـــاورزی ارائه می‌شـــود.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، آفات گیاهی، بیماری‌های گیاهی، امنیت غذایی، اثر آلاینده‌ها

مقدمه

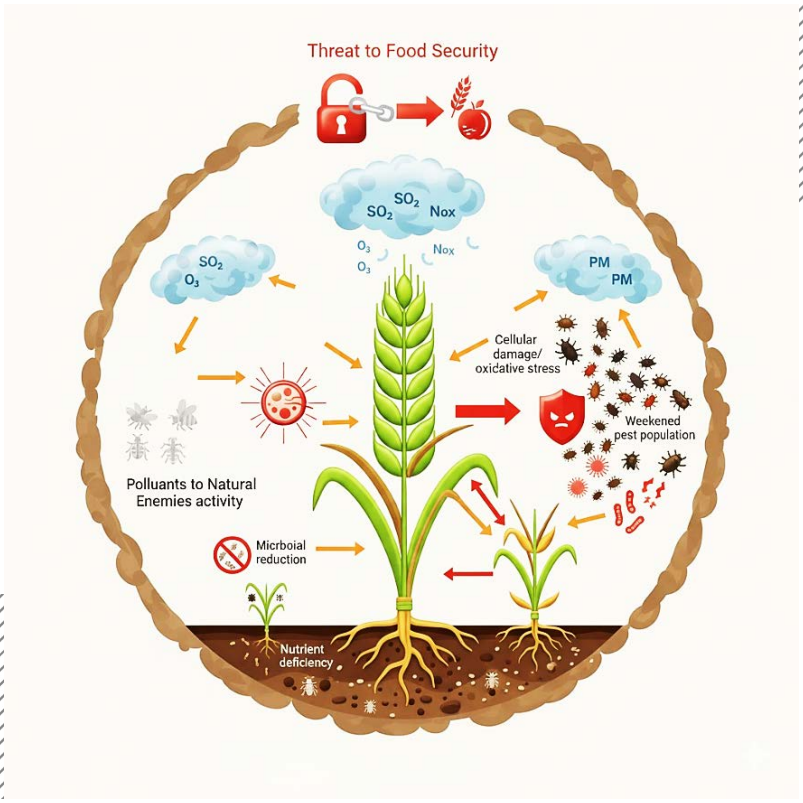
امنیت غذایی به توانایی دسترسی پایدار همه افراد به غذای کافی، سالم و مغذی وابسته است و پایداری آن تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل زیستی، اقلیمی و محیطی قرار دارد. در میان این عوامل، آلودگی هوا معمولاً بیشتر از منظر سلامت انسان و پیامدهای شهری آن بررسی می‌شود، درحالی‌که اثر آن بر سامانه‌های تولید غذا کمتر موردتوجه قرارگرفته است. آلاینده‌هایی مانند اوزون، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ذرات معلق می‌توانند به‌طور مستقیم فرایندهای فیزیولوژیک گیاه را مختل کنند و به‌طور غیرمستقیم نیز روابط اکولوژیک مؤثر بر تولید، ازجمله گرده‌افشانی، کنترل زیستی، سلامت خاک و پویایی بیماری‌های گیاهی را تغییر دهند (Devrajani et al., ۲۰۲۰; Castell et al., ۲۰۲۱; Agathokleous et al., ۲۰۲۰).

برخلاف تصور رایج که آلودگی هوا را صرفاً یک مسئله زیست‌محیطی یا شهری می‌داند، شواهد علمی نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر عملکرد محصولات، جمعیت آفات، فعالیت دشمنان طبیعی و حتی شدت بیماری‌های گیاهی اثرگذار باشد (Anand et al., ۱۹۹۳; Bell et al., ۲۰۲۲; Jonathan & Mahendranathan, ۲۰۲۴). به همین دلیل، آلودگی هوا باید به‌عنوان یک تنش چندوجهی در اکوسیستم‌های کشاورزی در نظر گرفته شود؛ تنشی که نه‌تنها رشد و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد، بلکه با برهم زدن تعادل‌های اکولوژیک، زمینه را برای افزایش خسارت آفات و بیماری‌ها نیز فراهم می‌سازد.

اهمیت این موضوع زمانی آشکارتر می‌شود که بدانیم بخش مهمی از تولید غذا به خدمات اکوسیستمی وابسته است. گرده‌افشانی حشرات سهم مهمی در تولید بسیاری از محصولات زراعی و باغی دارد و هر عاملی که این خدمات را تضعیف کند، می‌تواند مستقیماً امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. در همین راستا، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که آلاینده‌های هوا با تغییر سیگنال‌های شیمیایی گل‌ها و گیاهان، موجب کاهش حضور گرده‌افشان‌ها و افت موفقیت تولیدمثلی گیاهان می‌شوند (Ryalls et al., ۲۰۲۲; Duque & Steffan-Dewenter, ۲۰۲۴).

علاوه بر این، آلودگی هوا می‌تواند از طریق کاهش فعالیت زیستی خاک، اختلال در چرخه عناصر غذایی و تضعیف مقاومت طبیعی گیاه، حساسیت محصولات را نسبت به آفات و بیماری‌ها افزایش دهد (Gospodarek et al., ۲۰۲۱; Manono et al., ۲۰۲۵). درنتیجه، پیامدهای آلودگی هوا تنها به کاهش مستقیم رشد گیاه محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از فرآیندهای زیستی و اکولوژیک مؤثر بر پایداری تولید غذا را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۱).

هدف این مقاله، تبیین مسیرهای اصلی اثر آلودگی هوا بر امنیت غذایی و ارائه شواهدی از پیامدهای آن در سامانه‌های کشاورزی است. همچنین تلاش شده است با رویکردی علمی ترویجی، ارتباط میان آلودگی هوا، آفات، بیماری‌های گیاهی و خدمات اکوسیستمی به‌صورت یکپارچه بررسی شود.



شکل ۱. شماتیک اثرات مستقیم و غیرمستقیم آلودگی هوا بر گیاهان، آفات، دشمنان طبیعی و بیماری‌های گیاهی. (ایجاد شده بر اساس مرور منابع علمی (Agathokleous et al., ۲۰۲۰; Castell et al., ۲۰۲۱; Devrajani et al., ۲۰۲۰; Manono et al., ۲۰۲۵)

۱. مسیرهای اصلی اثر آلودگی هوا بر امنیت غذایی

۱/۱. تضعیف فیزیولوژی گیاه و کاهش ظرفیت تولید

یکی از نخستین سطوح اثر آلودگی هوا بر کشاورزی، اختلال مستقیم در فرایندهای فیزیولوژیک گیاه است. آلاینده‌هایی مانند اوزون (O_3) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) از طریق القای گونه‌های فعال اکسیژن Reactive Oxygen Species (ROS) موجب تنش اکسیداتیو، آسیب به غشاهای سلولی، اختلال در عملکرد کلروپلاست‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز می‌شوند (Agathokleous et al., ۲۰۲۰; Devrajani et al., ۲۰۲۰; Anand et al., ۲۰۲۲). کاهش فتوسنتز به معنای افت تولید ماده خشک، کندی رشد و کاهش توان گیاه برای اختصاص منابع به اندام‌های زایشی و دفاعی است.

آلودگی هوا همچنین می‌تواند جذب و جابه‌جایی عناصر غذایی را مختل کند. در چنین شرایطی، تولید ترکیبات دفاعی مانند فنول‌ها، آلکالوئیدها و سایر متابولیت‌های ثانویه کاهش می‌یابد و حساسیت گیاه نسبت به تغذیه آفات و استقرار بیمارگرها افزایش پیدا می‌کند (Manono et al., ۲۰۲۵; Anand et al., ۲۰۲۲)؛ بنابراین، آلودگی هوا از سطح فیزیولوژی گیاه می‌تواند پایه‌های کمی و کیفی تولید غذا را تضعیف کند.

۲/۱. تغییر کیفیت گیاه میزبان و تسهیل طغیان آفات

تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ناشی از آلودگی هوا، کیفیت گیاه را به‌عنوان میزبان آفات نیز دگرگون می‌کند. تغییر در ترکیب شیره گیاهی، کاهش دفاع شیمیایی و اختلال در تعادل عناصر غذایی می‌تواند شرایط مساعدتری برای برخی آفات فراهم سازد. در مورد آفات مکنده مانند شته‌ها و سفید بالک‌ها، گزارش‌شده است که تنش ناشی

از آلودگی هوا در برخی شرایط با افزایش زادآوری و رشد جمعیت همراه بوده است (Dohmen et al., ۱۹۸۴; Devrajani et al., ۲۰۲۰).

برخی مطالعات همچنین نشان داده‌اند که آلودگی هوا می‌تواند چرخه زندگی بعضی آفات را کوتاه‌تر و تعداد نسل‌ها را در طول فصل زراعی افزایش دهد (Manono et al., ۲۰۲۵). از دیدگاه بوم‌شناسی کشاورزی، این مسئله اهمیت زیادی دارد؛ زیرا حتی افزایش محدود در نرخ رشد جمعیت آفات می‌تواند در مدت کوتاهی به طغیان منجر شود، به‌ویژه زمانی که گیاه ضعیف شده و دشمنان طبیعی نیز تحت تأثیر آلودگی قرارگرفته باشند.

۳/۱. اختلال در کنترل زیستی و خدمات گرده‌افشانی

آلودگی هوا فقط از مسیر آسیب مستقیم به گیاه عمل نمی‌کند، بلکه می‌تواند روابط اکولوژیک پشتیبان تولید را نیز مختل سازد. بسیاری از گرده‌افشان‌ها، شکارگرها و پارازیتوئیدها برای یافتن گل، میزبان یا طعمه به ترکیبات آلی فرّار گیاهی (VOCs) وابسته‌اند. آلاینده‌هایی مانند اوزون و اکسیدهای نیتروژن می‌توانند این ترکیبات را تخریب یا الگوی انتشار آن‌ها را تغییر دهند (Forrest et al., ۲۰۲۴; Duque & Steffan-Dewenter, ۲۰۲۴).

درنتیجه، توانایی گرده‌افشان‌ها در شناسایی گل‌ها و کارایی دشمنان طبیعی در ردیابی آفات کاهش می‌یابد. برخی مطالعات میدانی و فرا تحلیل‌ها نشان داده‌اند که آلودگی هوا می‌تواند اثر منفی قابل‌توجهی بر حشرات مفید داشته باشد و درنتیجه تعادل اکولوژیک سامانه‌های زراعی را بر

هم بزنـــد (Ryalls et al, ۲۰۲۴; Ryalls et al, ۲۰۲۵; Forrest et al, ۲۰۲۴; Hill et al, ۲۰۲۵)

۱/۴. اثـــر آلودگـــی هوا بـــر خـــاک و فرایندهای زیســـتی پشـــتیبان تولید

سلامت خـــاک یکـــی از پایه‌هـــای اصلـــی امنیت غذایی اســـت و آلودگی هـــوا می‌تواند ایـــن بخش را نیز تحت تأثیـــر قرار دهـــد. ترکیبات نفتـــی، فلزات ســـنگین و آلاینده‌هـــای ناشـــی از ســـوخت‌های ســـنگین مانند مـــازوت، فعالیت آنزیم‌هـــای خاک و جمعیـــت موجودات خـــاک‌زی را کاهـــش می‌دهند (Gospodarek et al, ۲۰۲۱).

کاهـــش فعالیت زیســـتی خاک موجب اخـــتلال در چرخه عناصـــر غذایی، کاهـــش تجزیه مـــواد آلی و افت توان گیـــاه در جذب عناصر ضروری می‌شـــود. در چنین شـــرایطی، گیاه ضعیف‌تر شده و حساسیت آن نســـبت به آفات و بیماری‌ها افزایـــش پیدا می‌کند (Manono et al., ۲۰۲۵)؛ بنابراین، آلودگی هوا حتی اگر منشأ آن خارج از مزرعه باشـــد، می‌تواند از طریق رســـوب آلاینده‌ها بر خاک، پایداری تولید کشاورزی را تضعیف کند.

۱/۵. آلودگی هوا و بیماری‌های گیاهی

اثـــر آلودگی هوا بـــر بیماری‌های گیاهـــی چندلایه و پیچیده اســـت. برخی آلاینده‌ها بـــا کاهش ضخامت کوتیکول، آســـیب به روزنه‌ها و اخـــتلال در وضعیت تغذیه‌ای گیـــاه، شـــرایط را بـــرای نفـــوذ بیمارگرها فراهم‌تر می‌کننـــد (Weinstein & McCune, ۱۹۷۰; Zayan, ۲۰۱۹). همچنین تضعیف سیســـتم دفاعی گیاه می‌تواند حساســـیت آن را نســـبت بـــه قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها افزایش دهـــد (Lang, ۱۹۷۷; Anand et al, ۲۰۲۲).

علاوه بـــر این، تغییـــر شـــرایط محیطی ناشـــی از آلودگی هـــوا می‌توانـــد الگوهای شـــیوع بیماری را تغییـــر دهد و حتـــی ظهـــور بیماری‌هـــای جدید را تسهیل کند (Madden, ۱۹۸۷; Hamada & Ghini, ۲۰۱۱; Hunjan & Lore, ۲۰۲۰; Secretariat et al, ۲۰۲۱). بااین‌حال، شـــدت و نوع این اثـــرات به نوع آلاینده، گونه گیاهی و شـــرایط محیطی وابسته است (Jonathan & Mahendranathan, ۲۰۲۴).

۲. شواهد موردی از تأثیر آلودگی هوا بر امنیت غذایی

۲/۱. اختلال در گرده‌افشانی:

نمونه Brassica nigra

مطالعـــه Ryalls و همکاران نشـــان داد که قرار گرفتن گیاهـــان در معرض آلاینده‌های ناشـــی از اگزوز دیزل و اوزون، باعث کاهش شـــدید حضور گرده‌افشـــان‌ها و افت موفقیت تولیدمثلی گیاه می‌شـــود (Ryalls et al., ۲۰۲۲). در ایـــن پژوهش فراوانی گرده‌افشـــان‌ها حدود ۶۲ تا ۷۰ درصد و تعـــداد بازدید از گل‌ها حدود ۸۳ تا ۹۰ درصـــد کاهش یافت و ایـــن تغییرات با افت ۱۴ تا ۳۱ درصدی در برخی شـــاخص‌های تولیدمثلی گیاه همراه بود. ایـــن مطالعه نمونه‌ای روشـــن از اثر غیرمســـتقیم آلودگـــی هوا بـــر تولید غـــذا از طریق اختلال در خدمات اکوسیســـتمی است.

۲/۲. کاهش عملکرد غلات در مناطق آلوده

مطالعات انجام‌شده در چین نشان داده اند که آلودگی شدید هوا با کاهش معنی‌دار عملکرد گندم و ذرت همراه است (Chen et al., ۲۰۲۲; Lu et al., ۲۰۲۴)؛ و احتمالاً بخشی دیگر به تغییرات در برهم‌کنش‌های زیستی نسبت داده شده است.

۲/۳. افزایش خسارت در سامانه‌های کشاورزی تحت فشار آلودگی

گزارش‌های حاصل از هند و نیجریه نیز نشان می‌دهد که در مناطق دارای غلظت بالای ذرات معلق و آلاینده‌های گازی، کاهش عملکرد محصولات همراه با افزایش خسارت آفات و بیماری‌ها مشاهده شده است (Ekiyor et al., ۲۰۱۹; Pandya et al., ۲۰۲۲). این یافته‌ها نشان می‌دهد که آلودگی هوا می‌تواند به‌عنوان یک «تقویت‌کننده خطر» در سامانه‌های تولید غذا عمل کند.

۳. پیچیدگی‌ها و تعاملات چندعاملی

اثر آلودگی هوا بر سامانه‌های کشاورزی همواره خطی و یکسان نیست. پاسخ گیاه، آفت، دشمن طبیعی و بیمارگر به نوع آلاینده، غلظت، مدت مواجهه، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های گونه‌ای وابسته است (Priyanka et al., ۲۰۲۰; Jonathan & Mahendranathan, ۲۰۲۴). برای مثال، ممکن است یک آلاینده در غلظت پایین اثر محدودی داشته باشد، اما در حضور تنش‌هایی مانند خشکی یا گرما، پیامدهای آن تشدید شود.

به همین دلیل، تحلیل رابطه آلودگی هوا و امنیت غذایی نیازمند رویکردی اکولوژیک و چندعاملی است و نمی‌توان آن را صرفاً به کاهش عملکرد یا افزایش جمعیت آفات محدود کرد.

۴. راهبردهای مدیریتی برای کاهش اثر آلودگی هوا

ازآنجاکه اثر آلودگی هوا بر کشاورزی چندمسیره و تجمعی است، مقابله با آن نیز نیازمند راهبردهایی در چند سطح است. در سطح مزرعه، افزایش ماده آلی خاک، تقویت تنوع زیستی مفید، استفاده از ارقام متحمل و بهبود مدیریت خاک می‌تواند تاب‌آوری گیاه را افزایش دهد (Gospodarek et al., ۲۰۲۱; Lahlali et al., ۲۰۲۴).

همچنین برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (Integrated Pest Management (IPM باید اثر آلاینده‌ها را در پیش‌بینی جمعیت آفات، کارایی دشمنان طبیعی و زمان‌بندی کنترل در نظر بگیرند (Reddy, ۲۰۱۴; Kaur et al., ۲۰۲۳). در سطح منطقه‌ای نیز کاهش منابع آلاینده، توسعه کمربندهای سبز و پایش کیفیت هوا در نواحی کشاورزی اهمیت زیادی دارد (Arya, ۲۰۲۲; Duque & Steffan-Dewenter, ۲۰۲۴; Secretariat et al., ۲۰۲۱).

نتیجه‌گیری

آلودگی هوا یکی از تهدیدهای کمتر دیده‌شده اما مؤثر بر امنیت غذایی است که دامنه اثر آن از سطح سلول و بافت گیاهی تا سطح برهم‌کنش‌های اکولوژیک و پایداری سامانه‌های تولید گسترش می‌یابد. این عامل نه‌تنها با کاهش ظرفیت فیزیولوژیک گیاهان، بلکه از طریق اختلال در گرده‌افشانی، کنترل زیستی، فرایندهای خاک و تعادل بیماری‌ها، بازده و تاب‌آوری کشاورزی را تضعیف می‌کند.

اهمیت این مسئله در آن است که بخشی از پیامدهای آلودگی هوا به‌صورت غیرمستقیم و پنهان بروز می‌یابد و ممکن است بدون نشانه‌های فوری، به افت عملکرد و کاهش کیفیت محصول منجر شود؛ بنابراین، مواجهه با این چالش نیازمند رویکردی فرابخشی است که در آن مدیریت کیفیت هوا، برنامه‌ریزی کشاورزی، حفاظت از خدمات اکوسیستمی و پایش سلامت سامانه‌های تولید به‌صورت یکپارچه دیده شوند. درمجموع، تضمین امنیت غذایی در جهان امروز بدون توجه به کیفیت هوا، هدفی ناقص و ناپایدار خواهد بود.

REFERENCES

- Agathokleous, E., Carrari, E., & Sicard, P. (2020). SI: Air pollution and plant ecosystems. Climate, 91,(8)8.
- Anand, P., Mina, U., Khare, M., Kumar, P., & Kota, S. H. (2022). Air pollution and plant health response-current status and future directions. Atmospheric pollution research, .101508 ,(8)13
- Arya, A. (2022). Problems of increasing air pollution and certain management strategies. In Innovations in environmental biotechnology (pp. 486-457). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Bell, J. N. B., McNeill, S., Houlden, G., Brown, V. C., & Mansfield, P. J. (1993). Atmospheric change: effect on plant pests and diseases. Parasitology, 106(S1), S11-S24
- Castell, J. F., Faburé, J., Pernelet-Joly, V., Huber, L., & Lathière, J. (2021). The main pollutants and their impacts on agriculture, ecosystems and health. In Agriculture and Air Quality: Investigating, Assessing and Managing (pp. 60-31). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Chen, H., Zeng, W., Li, J., Ma, T., Liu, S., Lei, G., ... & Srivastava, A. K. (2022). Impact of air pollution on maize and wheat production. Ecological Chemistry and Engineering, .256-237 ,(2)29
- Devrajani, S. K., Qureshi, M., Imran, U., & Nisa, T. U. (2020). Impact of gaseous air pollutants on agricultural crops in developing countries: a review. Journal of Environmental Science and Public Health, 82-71,(2)4
- Dohmen, G. P., McNeill, S., & Bell, J. N. B. (1984). Air pollution increases Aphis fabae pest potential. Nature, .53-52 ,(5946)307
- Duque, L., & Steffan-Dewenter, I. (2024). Air pollution: a threat to insect pollination. Frontiers in Ecology and the Environment.
- Ekiyor, T. H., Horsfall, I. T., Kalagbor, A. I., & Egbara-Dedua, B. A. (2019). Evaluating the effects of air pollution on the agricultural yield of selected crops in Eleme, Nigeria. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 1778-1771,(10)23.
- Forrest, J., Bishop, C., & Realton, M. (2024). Air pollution harms pollinators more than pests: A global meta-analysis. Ecological Applications, (2)34: e2893.
- Gospodarek, J., Rusin, M., Barczyk, G. and Nadgórska-Socha, A. (2021) 'The effect of petroleum-derived substances and their bioremediation on soil enzymatic activity and soil invertebrates', Agronomy, (1)11, p. 80
- Hamada, E., & Ghini, R. (2011). Impactos del cambio climático en plagas y enfermedades de las plantas en Brasil. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 2(SPE2), 205-195.
- Hill, D., Martin, C., & Longhurst, J. (2025). Diesel exhaust and ozone adversely affect parasitoids and pollinators in flying insect communities. Science of the Total Environment, 168292 :912.
- Hunjan, M. S., & Lore, J. S. (2020). Climate change: Impact on plant pathogens, diseases, and their management. In Crop protection under changing climate (pp. 100-85). Cham: Springer International Publishing.
- Jonathan, F. T., & Mahendranathan, C. (2024). Impact of climate change on plant diseases. AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences, .(2)18
- Kaur, G., Singh, H., Maurya, S., Kumar, C., & Kumar, A. (2023). Current scenario of climate change and its impact on plant diseases.
- Lahlali, R., Taoussi, M., Laasli, S. E., Gachara, G., Ezzouggari, R., Belabess, Z., ... & Ait Barka, E. (2024). Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions. Crop and Environment, .170-159 ,(3)3
- Lang, K. J. (1977). Immissionsbelastung und Anfälligkeit gegenüber Schadpilzen und Insekten. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 75-72,(1)96.
- Lu, C., Leng, G., & Yu, L. (2024). Quantifying the indirect effects of different air pollutants on crop yields in North China Plain. Environmental Research Letters, .024002 ,(2)19
- Madden, L. V. (1987). Potential effects of air pollutants on epidemics of plant diseases. Agriculture, ecosystems & environment, 262-251,(3)18.
- Manono, B. O., Sadiq, F. K., Sadiq, A. A., Matsika, T. A., & Tanko, F. (2025). Impacts of Air Quality on Global Crop Yields and Food Security: An Integrative Review and Future Outlook. Air, .24 ,(3)3
- Pandya, S., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., & Sharma, R. (2022). A study of the impacts of air pollution on the agricultural community and yield crops (Indian context). Sustainability, .13098 ,(20)14
- Priyanka, M. A. K., Varma, S., Kumar, V., & Sharma, R. S. (2020). Impact of climate change on plant diseases and management strategies: A review. Int. J. Chem. Stud, 2973-2968 ,8
- Reddy, P. P. (2014). Impacts on crop protection. In Climate Resilient Agriculture for Ensuring Food Security (pp. 113-107).

New Delhi: Springer India

- Ryalls, J. M., Bishop, J., Mofikoya, A. O., Bromfield, L. M., Nakagawa, S., & Girling, R. D. (2024). Air pollution disproportionately impairs beneficial invertebrates: a meta-analysis. Nature Communications, 5447,(1)15.
- Ryalls, J. M., Bromfield, L. M., Mullinger, N. J., Langford, B., Mofikoya, A. O., Pfrang, C., ... & Girling, R. D. (2025). Diesel exhaust and ozone adversely affect pollinators and parasitoids within flying insect communities. Science of the Total Environment, 177802,958.
- Ryalls, J. M., Langford, B., Mullinger, N. J., Bromfield, L. M., Nemitz, E., Pfrang, C., & Girling, R. D. (2022). Anthropogenic air pollutants reduce insect-mediated pollination services. Environmental Pollution, 118847,297.
- Secretariat, I. P. P. C., Gullino, M. L., Albajes, R., Al-Jboory, I., Angelotti, F., Chakraborty, S., ... & Stephenson, T. (2021). Scientific review of the impact of climate change on plant pests. FAO on behalf of the IPPC Secretariat.
- Weinstein, L. H., & McCune, D. C. (1970). Implications of air pollution for plant life. Proceedings of the American Philosophical Society,.21-18
- Zayan, S. A. (2019). Impact of climate change on plant diseases and IPM strategies. In Plant diseases-current threats and management trends. IntechOpen.

REFERENCES

Abstract

Air pollution is one of the most important environmental stresses of the present era, the consequences of which extend beyond human health and affect the sustainability of agricultural production and food security. Pollutants such as ozone (O_3), sulfur dioxide (SO_2), nitrogen oxides (NO_x), and particulate matter (PM2.5 and PM10) can increase plant susceptibility to pests and pathogens by inducing oxidative stress, disrupting photosynthesis, reducing nutrient uptake, and weakening plant defense mechanisms. Furthermore, air pollution, by degrading or altering plant volatile organic compounds (VOCs), disrupts the performance of pollinators and natural enemies of pests, thereby disturbing the ecological balance of agricultural systems. Evidence from field studies in various countries indicates that severe air pollution is associated with reduced crop yields, increased pest pressure, and exacerbation of certain plant diseases. For instance, a field study reported that exposure of plants to diesel exhaust and ozone pollutants could reduce pollinator abundance by approximately %70–62 and flower visitation rates by about %90–83, consequently decreasing plant reproductive success. Additionally, pollutants can reduce plants› ability to cope with biotic stresses (pests and diseases) by diminishing soil biological activity and disrupting nutrient cycling. This article, adopting a scientific-promotional approach, examines the direct and indirect pathways through which air pollution affects plants, pests, plant diseases, pollinators, natural enemies, and soil health, demonstrating that air quality is an important yet often overlooked component of food security. Finally, several management strategies for mitigating the effects of air pollution on agricultural systems are presented.

Keywords: Air Pollution, Plant Pests, Plant Diseases, Food Security, Pollutant Effects