

تأثیرات تنش ازون بر گیاهان

Effects of ozone stress on plants

مقدمه

اگرچه صنعتی شدن زندگی بشر، دستاوردهای زیادی برای او داشته اما به موازات این پیشرفت‌ها، اثرات ناخواسته‌ای هم بر زندگی انسان داشته است، از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آلودگی محیط زیست و هوا اشاره کرد. برای آلودگی هوا تعاریف زیاد و متفاوتی ارائه شده است.

ترشا^۱ (۱۹۸۴) عقیده داشت که آلوده کننده‌های هوا ترکیباتی از هوا هستند که به گیاهان، جانوران از جمله انسان‌ها و موادی مانند آثار تاریخی که در معرض هوا قرار دارند صدمه می‌زنند. در تعریف دیگری ترشا و اندرسون^۲ (۱۹۸۹) بیان داشتند: هوا هنگامی آلوده محسوب می‌شود که کاربردهای طبیعی آن دچار اختلال شود. اما گروهی از محققین هم آلودگی هوا را یک بیماری اجتماعی می‌دانند که از فعالیت‌های انسان ناشی می‌شود و اثرات زیان‌آوری روی سلامتی و رفاه خود او دارد.

موادی که وارد اتمسفر می‌شوند، شامل مواد طبیعی و مواد مصنوعی ساخته شده به دست انسان می‌باشد. مواد طبیعی که هوا را آلوده می‌کنند عبارتند از: مواد حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی، سوزاندن بقایای گیاهی، فرآیندهای متابولیکی و تجزیه‌ای که به وسیله میکرو ارگانیسم‌ها در خاک صورت می‌گیرد و ذرات معلق گرد و غبار در هوا مانند دانه گرده گیاهان.

آلاینده‌های مصنوعی خود به دو دسته تقسیم می‌شوند: آلاینده‌های آلی اولیه (هیدروکربن‌ها، هیدروکربن-های اکسیژن‌دار شده، مرکاپتان‌ها و سولفیدها) و آلاینده‌های معدنی اولیه (منواکسید نیتروژن، منواکسید کربن، دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد). آلاینده‌های معدنی اولیه خود منشأ تولید یک سری آلاینده‌ها مانند: ازون، پراکسید هیدروژن، اسید نیتریک و اسید نیتریک هستند که به نام آلاینده‌های ثانویه معدنی شناخته می‌شوند. غلظت ازون در هوای پاکیزه بین ۲۰ تا ۵۰ ppb است اما اگر این غلظت در منطقه‌ای به حدود ۱۰۰ ppb برسد ازون به عنوان یک عامل تنش روی گیاهان محسوب می‌شود.

اساس تشکیل ازون

دو نوع ازون وجود دارد: نوع اول که به ازون خوب معروف است به لایه استراتوسفر^۳ مربوط می‌شود و از ورود اشعه مضر ماوراء بنفش خورشید به جو زمین جلوگیری می‌کند. در این لایه فتون‌های پر انرژی نور

1. Treshow

2. Treshow & Anderson

3. Stratosphere

خورشید با تجزیه مولکول‌های اکسیژن به اتم‌های اکسیژن و ترکیب مجدد آن‌ها سبب تولید اوزون می‌شوند. بیشترین مقدار این اوزون در همین لایه باقی می‌ماند اما مقدار کمی از آن هم در اثر تغییرات اتمسفریه لایه تروپوسفر وارد می‌شود اما اوزون بد در لایه تروپوسفر¹ جو قرار دارد و حاصل واکنش‌های فتوشیمیایی روی دی‌اکسیدنیترژن (NO_2) است، به این ترتیب که دی‌اکسید نیترژن در اثر نور خورشید به مولکول‌های منواکسید نیترژن و اتم‌های اکسیژن تجزیه می‌شود. اتم‌های اکسیژن تولید شده با مولکول‌های اکسیژن موجود در جو ترکیب شده و تولید اوزون (O_3) می‌کنند. از طرف دیگر مقداری از اوزون تولید شده دوباره با منواکسید نیترژن ترکیب شده و تولید دی‌اکسیدنیترژن و مولکول‌های اکسیژن می‌کند و این سبب ادامه چرخه تولید اوزون می‌شود.

از سوی دیگر رادیکال‌های آزاد پراکسی مانند RO_2 نیز می‌توانند با منواکسیدنیترژن موجود در جو واکنش انجام داده و تولید دی‌اکسیدنیترژن و رادیکال آزاد الکوکسی (RO) کنند که دی‌اکسیدنیترژن تولیدی می‌تواند به عنوان ماده اولیه تولید اوزون در چرخه بالا به کار رود. علاوه بر این رادیکال‌های آزاد پراکسی مانند هم می‌توانند با مولکول‌های اکسیژن ترکیب شده و در اثر انرژی نورانی خورشید تولید اوزون نمایند.

پس از تشکیل اوزون در هوا این ترکیب به عنوان یک رادیکال آزاد آغازگر عمل می‌کند و با ترکیبات آلی فرار² (VOC) ترکیب شده و تولید رادیکال‌های پراکسی (HO_2 و RO_2) و آلکوکسی (HO و RO) می‌کند. رادیکال‌های پراکسی می‌توانند در برابر نور خورشید با NO_2 ترکیب شده و تولید پراکسی استیل نترات³ (PAN)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، آلدئید و اسید کنند. این مواد شیمیایی دارای میل ترکیبی بالایی با سیستم‌های بیولوژیک هستند و به همین دلیل اساس بسیاری از اثرات زیان آور آلاینده‌های هوا روی انسان و گیاهان می‌باشند.

علائم ظاهری تنش اوزون

علائم آسیب اوزون در نهاندانگان به صورت لکه‌های نکروتیک نقطه‌چین ماندروی سطح برگ هستند که در حالت پیشرفته تمام سطح برگ سفید می‌شود همچنین غلظت‌های پایین اوزون می‌تواند سبب کلروز⁴ (زرردی برگ‌ها) در این گیاهان شود. در بازدانگان در مجاورت اوزون برگ‌های سوزنی از نوک شروع به نکروزه شدن کرده، سپس به طور کامل خشک شده و ریزش می‌کنند. دیگر علائم تنش اوزون روی گیاهان عبارتند از: توقف رشد، پاکوتاه شدن گیاه، پژمردگی برگ، کاهش گلدهی و کاهش تشکیل جوانه گل. اوزون به طور معمول ابتدا به برگ‌های بالغ جوان و سپس به برگ‌های بالغ پیر آسیب می‌زند و گیاهان جوان نسبت به گیاهان پیر در برابر

1. Troposphere

2. Volatile Organic Compounds

3. Peroxyacetyl Nitrate

4. Chlorosis

ازون حساس تر هستند. علاوه بر این بافت‌هایی که به وسیله ازون آسیب می‌بینند بسیار مناسب برای حمله پاتوژن‌ها و از جمله قارچ‌ها می‌شوند.

مکانیسم ورود ازون به گیاه

ازون هم مانند سایر آلاینده‌های گازی هوا در ابتدا از راه روزنه‌ها وارد برگ می‌شود. کوتیکول برگ ولایه کیتینی موجود در آن به عنوان لایه محافظ در برابر نفوذ آلوده‌گرهای گازی هوا عمل می‌کند. ازون بعد از عبور از روزنه و اتافک زیر روزنه‌ای وارد آپوپلاست سلول‌های برگ شده و به دلیل میل ترکیبی زیاد و در مجاورت محیط مایع اطراف سلول‌ها به ترکیبات دیگر تبدیل می‌شود.

واکنش‌های شیمیایی ازون با اجزای سلول

در فاز مایع اطراف سلول‌ها، اسیدهای چرب اشباع نشده و اسیدهای آمینه به ازون حساس هستند. واکنش ازون با باندهای دوگانه اسیدهای چرب اشباع نشده سبب تشکیل آلدئیدها، کتون‌ها و پراکسیدهایروژن می‌شود. از میان این ترکیبات پراکسیدهایروژن به طور مستقیم برای بافت گیاه سمی است و آلدئیدها هم می‌توانند به وسیله ازون اکسید شده و به اسیدها تبدیل شوند. اسیدهای آمینه‌ای که ساختمان حلقوی دارند و همچنین آن‌هایی که دارای اتم‌های فعال گوگرد می‌باشند به ازون حساس هستند و آن‌جا که اسیدهای آمینه در ساختمان پروتئین‌ها (آنزیم‌ها) دخالت دارند، این حساسیت سبب تأثیر ازون بر برخی پروتئین‌ها و آنزیم‌های مهم از جمله اوره از پراکسیداز، کاتالاز، لیزوزایم و روبیسکو^۱ می‌شود. اسید آمینه تریپتوفان پیش‌ساز IAA (اکسین) است و ازون با اکسید کردن این اسید آمینه و چند ترکیب دیگر از گروه ایندول‌ها سبب برهم خوردن تعادل هورمونی داخل گیاه می‌شود.

ازون همچنین با تجزیه محلول سلولی باعث تولید رادیکال‌های آزادی مانند هیدرواکسیل (OH) و سوپر اکسید (O_2^-) می‌شود که این‌ها سبب اختلال در فرایندهای حیاتی گیاه خواهند شد.

ازون وارد سیتوپلاسم سلول گیاهی نمی‌شود و در آپوپلاست و مجاور غشای پلاسمایی به دلیل میل ترکیبی زیاد تولید ترکیبانی می‌کند که به داخل غشای پلاسمایی نفوذ کرده و باعث اختلال در فعالیت‌های متابولیکی و سرانجام پیدایش علائم تنش می‌شوند. ازون به صورت مستقیم یا غیرمستقیم روی پلاسمالما اثر کرده و به این ترتیب با اختلال و کاهش انتقال یون پتاسیم (K^+) و یون کلسیم (Ca^{2+}) توسط آنزیم ATP-ase سبب کاهش قابلیت انتقال، سیالیت^۲ و تراوایی^۳ پلاسمالما می‌شود، یعنی ازون به داخل پلاسمالما نفوذ نمی‌کند بلکه

1. Apoplast
2. Rubisco
3. Fluidity
4. Permeability

محل عمل و فعالیت آن روی سطح غشای پلاسمایی است. البته تاثیر ازون روی چربی های غشایی بسیار کم است چرا که قسمت های آبگریز این چربی ها به سمت داخل غشای دولایه قرار دارند و بعید است که تحت تاثیر قرار گیرند.

ازون و اعمال فیزیولوژیک گیاه

۱- فتوستنز

مهمترین فعالیت فیزیولوژیک گیاه که در اثر تنش ازون تحت تاثیر قرار می گیرد فتوستنزا است. در حالت غیر مستقیم، ازون روی باز و بسته شدن روزنه ها تاثیر گذاشته و به این ترتیب باعث کاهش جذب و تثبیت دی اکسید کربن می شود. این تاثیر ممکن است به چند صورت باشد:

الف- ممکن است ازون با واکنش گره های تولید شده به وسیله آن به لیپیدها یا پروتئین های غشای سلول های محافظ روزنه آسیب زده و باعث تغییر حساسیت این سلول ها به مکانیسم های فعال کننده آن ها شوند. ب- تحت تاثیر ازون، مقدار اتیلن گیاه بالا می رود و این اتیلن میتواند روی تراوایی غشاء تاثیر گذاشته و حرکات روزنه ای را تحریک کند و موجب بسته شدن روزنه ها شود.

اما تاثیر مستقیم ازون بر فتوستنزا به واسطه اثر آن بر واکنش های روشنایی و تاریکی آن است و از طرق مختلفی صورت می گیرد در واکنش هر دو فتوسیستم I و II در اثر ازون آسیب می بیند و سبب کاهش پروتئین DI در فتوسیستم II و همچنین کاهش کلروفیل و به ویژه کلروفیل a در کلروپلاست ها می شود. در واکنش تاریکی و تثبیت کربن نیز، آنزیم روبیسکو که بسیار با اهمیت و زیاد است، آسیب دیده یا تجزیه شده یا از سنتز آن جلوگیری می شود. محل این آنزیم در استرومای کلروپلاست است و ازون از دوطریق ممکن است به آن آسیب برساند.

- احتمال دارد مقداری از آنزیم روبیسکو با تاثیر مستقیم ازون یا واکنش گره های تولید شده توسط آن تخریب شود.

- ازون با تاثیر بر هسته سلول باعث اختلال در امر نسخه برداری ژن های مسئول کد کردن این آنزیم می شود

۲- تنفس نوری

در مجاورت آلاینده ازون میزان تنفس نوری در گیاهان، به عنوان یک فرآیند مصرف کننده انرژی، افزایش می یابد و نشانه آن تجمع بعضی مواد حد واسطه آن مانند گلیسین و سرین می باشد.

۳- انتقال کربوهیدرات ها

ازون همچنین می‌تواند از انتقال کربوهیدرات ها از برگ ها جلوگیری کند و به این ترتیب مواد حاصل از فتوسنتز در برگ ها تجمع می‌یابند. احتمال دارد که علت اختلال در انتقال قندها تاثیر ازون یا ترکیبات تولید شده توسط آن روی غشای لوله های غربالی باشد. در اثر جلوگیری از انتقال قندها، ریشه ها ضعیف شده و ممکن است مستعد حمله بیماری ها و تنش های محیطی شوند.

مکانیسم های مقاومت گیاه به ازون

گیاهان از نظر مقاومت به ازون توانایی های متفاوتی دارند که در آن مکانیسم های مختلفی دخالت دارند. اما مهم ترین مکانیسم ، توانایی یک گیاه در سم زدایی از واکنش گرهایی است که در اثر ازون در گیاه تولید می‌شوند. گیاهان میتوانند با تولید آنتی اکسیدان هایی مانند: اسکوربیت^۱، گلوتاتیون^۲ و آلفاتوکوفرول^۳ و آنزیم هایی مانند: پراکسیدازها، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز و سوپراکسید دیسموتاز^۴ از واکنش گرهایی تولید شده سم زدایی کنند. به عنوان مثال اسکوربیت با ازون و سایر آلاینده های حاصل از ROS به آسانی واکنش داده و آن ها را خنثی می‌سازد یا سوپراکسید دیسموتاز (SOD) باعث تبدیل رادیکال های آزاد سوپراکسید به آب اکسیژنه و اکسیژن آزاد می‌شود یا اسکوربیت پراکسیداز باعث احیای آب اکسیژنه به آب شده و طی این واکنش از اسکوربیک اسید به عنوان ناقل یا دهنده الکترون استفاده می‌کند. اما آنزیم های آنتی اکسیدان به دو گروه تقسیم می‌شوند گروه اول کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز و گروه دوم اسکوربیت پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز که این آنزیم ها کمی قبل از این که آثار ظاهری تنش ازون شروع به توسعه کند وارد عمل می‌شوند.

از نظر خصوصیات تشریحی برگ هم بین ارقام مقاوم و حساس به ازون تفاوت های زیادی مشاهده شده است. به این ترتیب که در برگ ارقام حساس تراکم روزنه ای بیشتر، پارانشیم نردبانی نازکتر، پارانشیم اسفنجی ضخیم ترمی باشد ، همچنین نسبت پارانشیم نردبانی به اسفنجی پایین تر و وزن و سطح برگ بالاتری مشاهده می‌شود. از طرف دیگر برگ ارقام حساس ضخیم تر از انواع مقاوم بوده و سلول های محافظ روزنه آن ها نیز طویل تر است.

-
1. Ascorbate
 2. Glutathione
 3. Alfa-Tocofrol
 4. Superoxide dismutase

منابع

- ۱- گالستون، آ. دبلیو، پی. جی. دیویس و آر. ال. ساتر. ۱۳۷۴ زندگی گیاه سبز. ترجمه مسعود مجتهدی و حسین لسانی. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۸۷ صفحه
- ۲- نوگل، جی. ری. و ج. ژ. فریتز. ۱۳۷۴. اصول فیزیولوژی گیاهی. ترجمه مهرداد لاهوتی. انتشارات موسسه چاپ و انتشارات استاق قدس رضوی. ۴۵۰ صفحه.
3. Fowden, L., T Mansfield. And J. Stoddart. 1993. Planet adaptation to environmental stress. Chapman & Hall press. PP. 155-170
4. Guidi, L., R. D. Cagno., and G.F. Soldatini. 2000. Screening of bean cultivars for their response rophyll fluorescence. Environmental pollution. 107:349-355
5. Health, R.L and P.E. Frederick. 1979. Ozone alteration of membrance permeability in *Chorella*. Plant Physiol. 64:455-459
6. Inze, Dirk and M. V. Montagu. 2002. Oxidative stress in plants. Pub. Taylor & Francis. London. 321 p.
7. Kouterick, K.B., J.M. Skelly., T.S. Frederiksen, K.C Steiner, T.E. Kollb and J.A. Ferdinand. 2000. Foliar injury, leaf gas exchange and biomass responses of black cherry (*Prunus Serotina Ehrh.*) half-sibling families to ozone exposure. Environmental pollution. 107:117-126.
8. Loreto, F. and V. Velikova. 2001. Isoprene Protects ozone products and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Plant physiol. 127:1781-1787.
9. McCrady, J.K and C.P. Andersen. 2000. The effect of ozone on below-ground carbon allocation in wheat. Environmental pollution. 107:465-472.
10. Orcutt, D. M. and E. T. Nilson. 2000. Physiology of Plants under stress. Pub. John Wiley & sons. 683 p.
11. Pell, E.J. and N.S. Pearson. 1983. Ozone-induced reduction in quantity of ribulose-1,5- biphosphat carboxylase in alfalfa forliage. Plant physiol. 73:185-187.
12. Soursa, M., A. Jokela., T. Sarjala., S. Manninen. And S. Huttunen. 2002. Ozone-induced free polyamine response in scots pine in northern finland. Environmental pollution. 119:279-281.

نسرین صفیان

کارشناس زراعت مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان شهرضا

دانشجوی دکتری