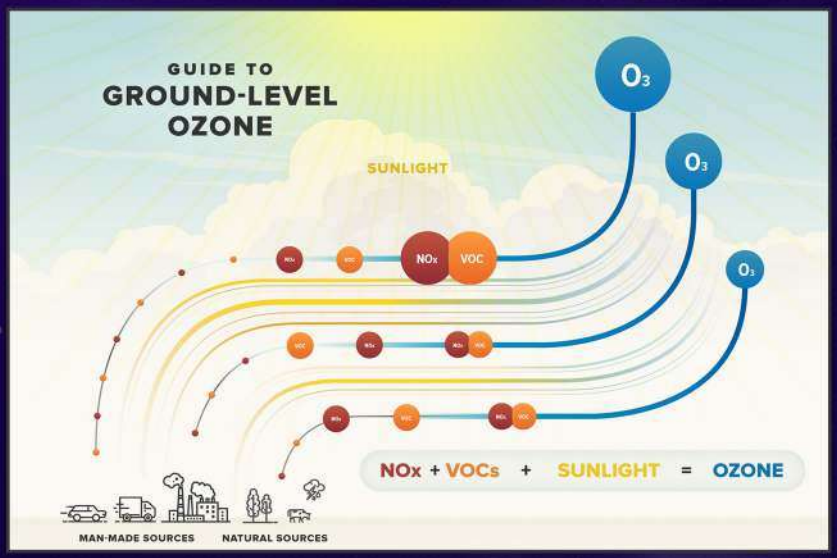
تاثیر گاز ازن بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و عملکرد گیاهان

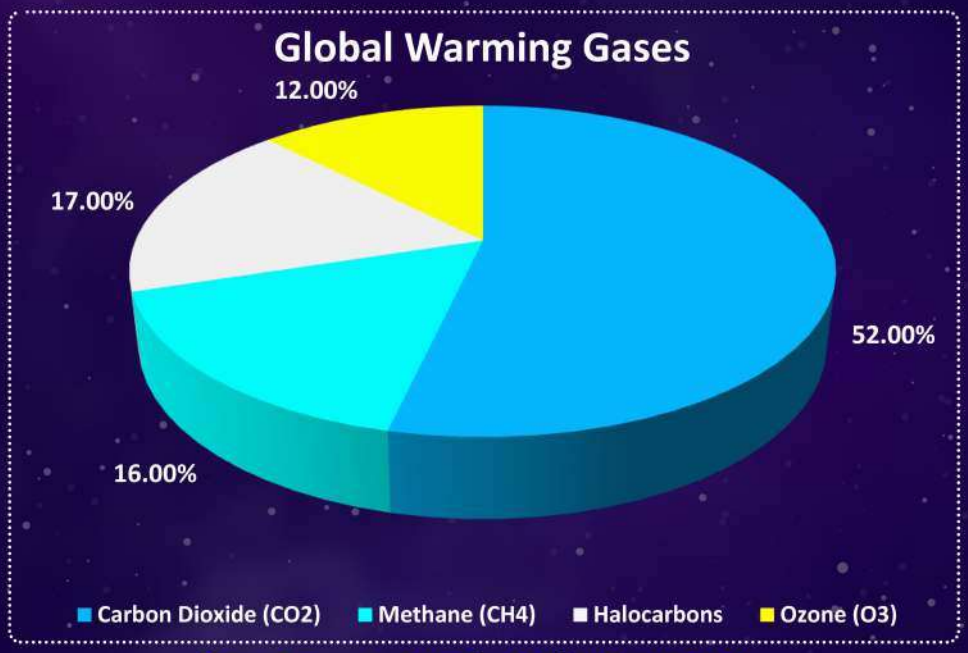
رباب محمودی | دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

به‌طور کلی دو نوع ازن وجود دارد، ازن خوب و ازن بد. ازن خوب که در لایه استراتوسفر جو در ۱۵ تا ۳۰ کیلومتری جو وجود دارد و برای حفاظت کره زمین از آسیب اشعه ماورا بنفش ضروری است و ازن بد که در تروپوسفر قرار دارد و اولین جزء تشکیل شده از آلاینده های صنعتی است که برای سلامت انسان و گیاهان مضر است. فعالیت‌های بشر، صنعتی شدن، الکتریسیته، سوخت‌های فسیلی و به‌طور کلی NOx منشأ تشکیل ازن است و این گاز به‌طور طبیعی در تروپوسفر وجود ندارد (شکل ۱).



شکل ۱- نحوه تشکیل ازن بد یا Ground-level

این گاز نه‌تنها روی گونه‌های گیاهی خسارت وارد می‌کند، بلکه موجب تأثیرات زیان‌باری روی سیستم تنفسی انسان و حیوان می‌شود و همچنین به مواد مصنوعی و شیمیایی هم آسیب می‌رساند، از آنجا که ازن دارای طیف جذبی نور در محدوده ۶/۹ میکرومتر است، بنابراین مانع خروج اشعه‌ای با طول موج بلند از سطح زمین شده و مثل گاز دی اکسید کربن به ایجاد پدیده اثر گلخانه‌ای منجر می‌شود که باعث گرمایش جهانی و تأثیر بر زندگی انسان و گیاه می‌شود. از طرفی تولید ازن در دمای بالا و تشعشع بالا اتفاق می‌افتد. بنابراین با گرم شدن جهانی مقدار تولید این گاز هم افزایش خواهد یافت. غلظت کنونی ازن حدود ۴۰-۶۰ppm می‌باشد ولی احتمالاً تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۱۰۰ ppmخواهد رسید. ازن ۱۲ درصد گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد (شکل ۲).

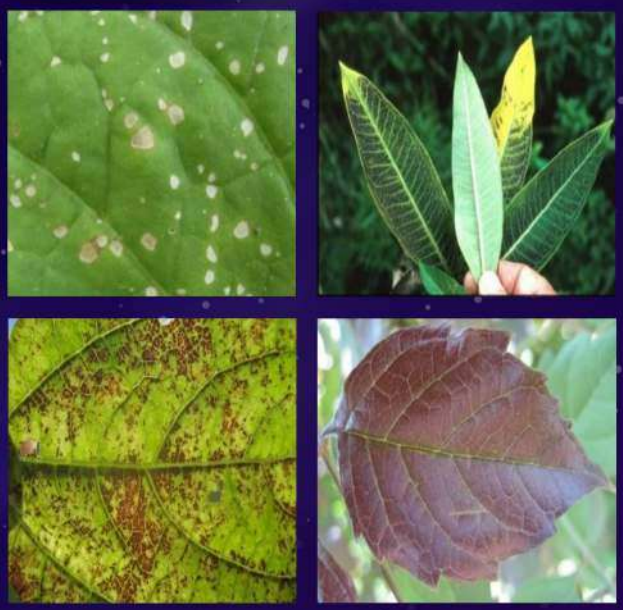


شکل ۲- میزان گازهای گلخانه‌ای و سهم ازن در آن

تأثیر ازن بر گیاهان

با توجه به مطالعات گسترده انجام شده به‌طور کلی ازن باعث آسیب‌های ظاهری شامل نقطه نقطه شدن و نکروزه شدن سطح برگ و رنگ پریدگی بین رگبرگ‌ها می‌شود (شکل ۳). همچنین سبب کاهش فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش تنفس تاریکی، کاهش بیوماس در درختان و عملکرد، کاهش رشد ریشه و تجزیه و جذب نیتروژن می‌شود.

اثرات ازن در سطح بافت بسته به علائم مشاهده شده یا غلظت ازن در آزمایش انجام شده به غلظت ازن معمولی ممکن است حاد یا مزمن باشد. مثلاً مرگ برنامه‌ریزی شده یا مرگ برنامه ریزی نشده پاسخ حاد هستند که چند ساعت بعد از قرار گرفتن در معرض ازن مشاهده می‌شوند. در مقابل پاسخ‌های مزمن شامل آسیب‌های ظاهری، پیری زودرس، کاهش طول دوره رشد و کاهش عملکرد است که در صورت چند روز قرار گرفتن در غلظت کم ازن اتفاق می‌افتد. البته زمان وقوع تنش ازن هم تأثیرات متفاوتی دارد، مثلا در سویا این تنش در مرحله رشد زایشی تأثیر بیشتری بر عملکرد نسبت به دوره رشد رویشی دارد. تفاوت‌های بین پاسخ‌های حاد و مزمن بیشتر ناشی از تفاوت گونه و ژنوتیپ و دامنه‌ای از تغییرات غلظت ازن و عوامل محیطی است.



شکل ۳- برخی اثرات قابل مشاهده گاز ازن بر گیاهان

نحوه عمل ازن پس از ورود به گیاه

ازن مانند سایر آلاینده‌ها از طریق روزنه ها وارد گیاه می‌شود. وقتی ازن وارد فضای زیر روزنه‌ای شد، فضای هوای داخلی برگ محل اصلی برای واکنش ازن با اجزای بخار تولید شده توسط گیاه است. یک نمونه از اجزای خارج شده از نهاندانگان و مخروطیان برای واکنش با ازن ایزوپرن‌ها هستند. در اغلب گونه های زراعی اجزای بخارهای آزاد شده مونوترپن‌ها هستند که کمتر مورد مطالعه قرارگرفته‌اند ولی واکنش ازن با مونوترپن‌ها با ایزوپرن‌ها مشابه است. تصور می‌شود ایزوپرن به‌عنوان یک جاذب رادیکال یا تثبیت‌کنندهٔ غشایی نقش محافظتی ایفا می کند. به گزارش محققان ایزوپرن به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان با مهار فعالیت ازن خارج از برگ می‌تواند مقاومت لایه مرزی را افزایش و به‌طور مؤثری باعث کاهش دُز ازن شود. ازن که از فاز گازی برگ عبور کرد، سپس در فاز مایع اطراف سلول‌های برگ حل می‌شود. شکستن ازن در آب خالص تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و پروکسیل و سوپراکسید می‌کند. بر اساس مطالعات in vitro ازن با مجموعه متنوع از مولکول‌ها که با دیواره سلولی مواجه می‌شوند و روی غشای پلاسمایی هستند، واکنش نشان می‌دهد. اولین مولکول‌های هدف برای ازن، لیپیدهای غشای پلاسمایی، اسیدهای‌آمینهٔ حساس در غشای پلاسمایی، پروتئین‌ها یا آنزیم‌های آپوپلاستی، و انواع متابولیت‌های آلی واقع شده در دیواره سلولی هستند. بعد از واکنش با ازن متابولیت‌های حاوی بند دوگانهٔ کربن-کربن و پروتئین‌های تغییر یافته غشای پلاسمایی تولید می‌شوند که می‌تواند به عنوان سیگنال اولیه در پاسخ به ازن باشد. با این حال نخستین محصول واکنش ازن در گیاهان شناسایی نشده و دنبال کردن واکنش‌های ازن را در شبکه بیوشیمیایی پیچیده آپوپلاست برگ مشکل می‌سازد. ولی شناسایی سیگنال متابولیکی به شناخت مکانیسم تحمل ازن در گیاهان کمک می‌کند. تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) با قرار گرفتن در معرض ازن ثابت شده است، روند تشکیل ROS با قرار گرفتن به دو صورت است : ۱- با تأثیر مستقیم ازن در ارتباط است. ۲- یک واکنش اکسیداتیو ثانویهٔ گیاه به‌صورت انفجاری ایجاد می‌کند. این واکنش اکسیداتیو ثانویه در آپوپلاست برگ و دیواره سلولی اتفاق افتاده ولی بعد به سیتوپلاسم و قسمت‌های درون سلولی گسترش می‌یابد و منجر به تشکیل ضایعات قابل مشاهده می‌شود.

تفاوت‌های ژنتیکی در پاسخ به ازن و مکانسیم‌های تحمل ازن

کولتیوارهای حساس و متحمل ازن برای بسیاری از گیاهان کلون شده‌اند، مانند سویا، گوجه، شبدر، گندم و سیب زمینی. مطالعات نشان می‌دهند صفت تحمل به ازن قابل توارث است. تاکنون تلاش‌های زیادی برای شناسایی عناصر فیزیولوژیکی یا بیوشیمیایی متحمل ازن شده‌است ولی نتیجه‌ی مشخصی حاصل نشده است. اما گیاهان برای مبارزه عمومی با تنش اکسیداتیو توسط آنتی اکسیدان‌ها (اسید آسکوربیک و گلوتاتیون) استادانه تکامل یافته‌اند. نقش مهم آسکوربیک اسید در مبارزه با تنش اکسیداتیو با مطالعه موتانت‌ها ثابت شده‌است. آسکوربیک اسید علاوه بر نقش آنتی‌اکسیدانی یک نقش تنظیم کنندگی سیگنالی در کنترل دفاع گیاه و پیری برگ دارد. در مطالعه انجام شده روی لوبیا، سطوح بالای آسکوربیک اسید را در آپوپلاست برگ ژنوتیپ متحمل ازن در مقایسه با ژنوتیپ های حساس نشان داده شد. آسکوربیک اسید ابتدا در دیواره سلولی سنتز می‌شود سپس بین سیتوپلاسم و فضای خارج سلول توسط ناقلین مخصوص قرار گرفته در غشای پلاسمایی منتشر می‌شود. این آنتی‌اکسیدان یک جزء مهم در غیرسمی کردن ROS است که غشای پلاسمایی را از آسیب اکسیداتیو محافظت کرده و از آسیب ازن جلوگیری می‌کند. گلوتاتیون نیز یک آنتی‌اکسیدان دیگر است که در برخی گیاهان (به‌عنوان مثال صنوبر) برای مهارROS نقش ایفا می‌کنند. گروهی از پروتئین‌ها، به نام Gپروتئین‌ها نیز ممکن است در سیگنال ازن نقش داشته باشد و شروع فرآیندهای سیگنالی را القا کنند.

پاسخ گیاهان به دز و غلظت ازن

اثر ازن بر فتوسنتز به دُز بستگی دارد. دُز عبارت است از حاصل ضرب غلظت ازن اتمسفری با مدت زمان قرار گرفتن در معرض ازن، که در بیشتر تحقیقات این پارامتر به کار می‌رود. در برخی مطالعات نیز از میزان ازن جذب شده توسط گیاه به‌عنوان معیار اندازه‌گیری استفاده می‌شود. با توجه به‌اینکه گیاهان در شرایط طبیعی بسته به ساعات روز، فصل، آب و هوا و ساختمان گیاه در معرض مقادیر مختلف ازن هستند، پارامتر نرخ ازن نیز تعریف شده‌است که میزان ازن در هر ساعت روز، دُز در روز و جذب در هر روز را اندازه گیری می‌کند.

گیاهان به دُزهای مختلف ازن پاسخ‌های متفاوتی نشان می دهند. قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض غلظت بالای ازن کاهش سریع و شدید در فتوسنتز داشته در مقابل اگرچه قرار گرفتن در برابر دُزهای پایین به مدت چند هفته باعث کاهش فتوسنتز می‌شود ولی این کاهش کمتر از میزان کاهش در دُز بالا به مدت چند ساعت است. به طورکلی حساسیت گیاهان زراعی به ازن بیشتر از درختان چوبی و حساسیت درختان چوبی نیز بیشتر از مخروطیان است که این تفاوت به علت اختلافات ژنتیکی در خصوص هدایت روزنه‌ای برگ است.

روش‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری غلظت ازن	
Using bioindicator	Bioindicator گروهی از گونه‌های گیاهی هستند که برای سنجش و ارزیابی سلامت اکوسیستم‌ها و محیط بکار می‌روند. گونه‌هایی که برای پایش ازن بکار می‌روند عبارتند از: Black Cherry - Wild Grape - Common Milkweed - Yellow-Poplar - Flowering Dogwood - Sassafras
Free-Air CO_2 Enrichment Experiments (FACE):	در این آزمایشات غلظت ازن در هوای باز کنترل می‌شود. اجرای این آزمایش‌ها اغلب در سطح وسیع و با همکاری تیم‌های تحقیقاتی زیاد در یک منطقه انجام می‌شوند و مستلزم صرف هزینه بالایی است.
Open Top Chambers	از اتاقک‌های رشد استفاده می‌شود که در قسمت بالای اتاقک‌ها فیلتر قرار گرفته است. این روش برای تعیین اثرات آلاینده‌ها روی رشد گیاهان بسیار کارآمد بود و به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS):	این دستگاه نوعی ماهواره است که توسط NASA برای اندازه‌گیری غلظت ازن بکار می‌رود که قادر است هر ۸ ثانیه، ۳۵ اندازه‌گیری انجام دهد.

علاوه بر روش‌های فوق مراکزی در دنیا وجود دارند که غلظت گازهای آلاینده از جمله ازن را مورد پایش و ارزیابی قرار می‌دهند. به‌عنوان مثال : PA Department of Environmental Protection (DEP) .

اثر ازن بر فتوسنتز

در حضور ازن فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد. در بسیاری موارد کاهش کربوکسیلاسیون به کاهش فعالیت رابیسکو در اثر کاهش بیان زیرواحد کوچک آن نسبت داده‌شده‌است. همچنین در برخی مطالعات علت کاهش فتوسنتز را به تجزیه بیشتر رابیسکو نسبت به سنتز آن نسبت داده‌اند. اثر ازن بر کاهش فتوسنتز در گیاه سویا در مرحله زایشی مشهودتر است. به‌طوری که با شروع گل‌دهی مقدار کلروفیل، مقدار و فعالیت رابیسکو و میزان فتوسنتز روبه کاهش می‌گذارد. علت آن می‌تواند پیری زودرس برگ‌ها در اثر ازن باشد، یا ممکن است علت این باشد که برگ‌های مسن‌تر مدت زمان بیشتری در معرض ازن قرار گرفته‌اند. کاهش فتوسنتز خالص و کاهش هدایت روزنه‌ای روی برگ‌های صنوبر نیز گزارش شده‌است. همچنین اثرات بیشتر ازن روی کاهش فتوسنتز و کاهش هدایت روزنه‌ای روی برگ های مسن‌تر گیاه cutleaf coneflower نسبت به برگ‌های جوان گزارش شده‌است. در آزمایشی روی گیاه سویا در سال ۲۰۰۸ محققان با بررسی دو پارامتر Ec : کارآیی تبدیل نور به بیوماس و Ei : کارآیی جذب نور، به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت ازن بیشتر از اینکه Ei را تحت تأثیر قرار دهد، مقدار Ec را متأثر می‌کند و به این معنی است که ازن بیشتر از ساختار کانوپی فرایند فتوسنتز را تحت تأثیر قرار داده و کاهش می‌دهد.

اثر ازن بر انتقال الکترون فتوسنتزی

ازن بر روی انتقال الکترون اثرات منفی دارد و کارکرد فتوسیستم II و اجزای چرخه زانتوفیل را تحت تأثیر قرار می دهد. مثلاً نسبت Fv/Fm که نشان دهنده اختلال در کارکرد فتوسیستم II است در کدو، گندم، لوبیا، گوجه فرنگی و شلغم کاهش قابل توجه داشت. در بعضی مطالعات این اثر مخرب در شب به علت اپوکسیداسیون چرخه زانتوفیل که باعث کاهش بار حرارتی می‌شود، قابل برگشت است. نور بالا فاکتور دیگری است که با ازن در مسیر افزایش یا تشدید اثر ازن بر بازدارندگی نوری (در اثر افزایش رادیکالهای آزاد در کلروپلاست) اثر متقابل دارد و نور اثر ازن را تشدید می‌کند. در مطالعه انجام شده روی گیاه Aspen تیمار با ازن باعث کاهش فتوسنتز از طریق کاهش سرعت انتقال الکترون فتوسنتزی گردید.

ازن و دیگر عوامل محیطی

غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری هم به موازات ازن در حال افزایش است. مطالعات زیادی نشان می‌دهد که Co۲ افزایش یافته می‌تواند بهره‌وری سیستم‌های کشت فعلی را افزایش دهد. پاسخ به افزایش Co۲ نه‌تنها بین گونه‌ها بلکه بین ارقام مختلف هم بسیار متغیر است. بین این دو گاز اثر متقابل فیزیولوژیکی وجود دارد. در غلظت‌های بالای CO۲، کاهش هدایت روزنه‌ای باعث جلوگیری از کاهش فتوسنتز، رشد و عملکرد در بسیاری گیاهان در حضور سطوح سمی O۳ است.

یکی از عوامل محیطی مؤثر روی میزان آسیب ازن درصد رطوبت نسبی هواست. با توجه به‌اینکه تغییر RH روی میزان باز بودن روزنه‌ها تأثیر دارد، انتظار می‌رود بالا بودن رطوبت نسبی تنش ازن را تشدید و پایین بودن آن (تنش خشکی) به‌خاطر بسته بودن روزنه‌ها و ورود کمتر ازن آسیب ازن را کاهش می دهد. در مطالعه روی گیاه گوجه‌فرنگی مشاهده شده که در رطوبت نسبی، رشد رویشی گیاه در حضور ازن بیشتر کاهش می‌یابد.

اثر ازن بر صفات کیفی

افزایش غلظت ازن با توجه به کوتاه نمودن دوره رشد گیاه (تسریع پیری)، روی صفات کیفی از جمله غلظت پروتئین و عناصر معدنی تاثیر دارد. در مطالعه روی گیاه برنج، تیمار با ازن غلظت پروتئین در واحد سطح و غلظت برخی عناصر معدنی را افزایش داد.

جمع‌بندی

- اثرات ازن روی تولید و کیفیت محصولات زراعی به غلظت آن، ژنوتیپ و عوامل محیطی (نور و رطوبت) بستگی دارد.
- ازن علاوه بر گیاهان روی خصوصیات خاک، بروز بیماری‌ها و آفات و نسبت کربن/نیتروژن اکوسیستم زراعی و طبیعی تأثیر دارد.
- با توجه به روند رو به رشد غلظت ازن در اثر فعالیت‌های انسان لازم است برای غلبه بر آسیب این گاز راهکارهای مناسب مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

Dermody. O.,.Long. S. p., Mcconnaughay. K., and Elucia. E. D.2008. How do elevated CO2 and O3 affect the interception and utilization of radiation by a soybean canopy? Global Change Biology :14 564–556.

Edwin. L., Fitzgerald. F., Boooker. L., and Butkey. K. 2005. Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. Plant, Cell an Environment 1011–997 :28.

Felzer. B. S., Cronin. T., Reilly. J. M., Melillo. J. M., and Wang. X. 2007. External Geophysics, Climate and Environment (Climate) Impacts of ozone on trees and crops. C. R. Geoscience 798–784 :339.

Fiscus. E.L., Miller. J.E., Booker. F.L. and Heagle. A. S. 2002. The impact of ozone and other limitation on crop on the crop productivity response to CO2. technology, 192-181 :8.

Lenka.S.A., and Lenka N.K. 2012. Impact of Tropospheric Ozone on Agroecosystem: An Assessment. Journal of Agricultural Physics. Vol. 12, No. 11-1 :1.

Neufelda,.H. S., Peoplesa. S. J., Davisonb. A. D., Chappelkac. A. H., Somersc G. L., Thomleyd. J. H., Bookere. F. L.2012. Ambient ozone effects on gas exchange and total non-structural carbohydrate levels in cutleaf coneflower (Rudbeckia laciniata L.) growing in Great Smoky Mountains National Park. Environmental Pollution 81-74 :160.

Noormets. A., Kull. O., So^ber. A., Kubiske. M. E., and Karnosky. D. F. 2010. Elevated CO2 response of photosynthesis depends on ozone concentration in aspen. Environmental Pollution 999–992 :158.

Wanga. Y., Yanga. L., Hana. Y., Zhub. J., Kobayashic. K., Tangb, H., Wanga. Y. 2012. The impact of elevated tropospheric ozone on grain quality of hybrid rice: A free-air gas concentration enrichment (FACE) experiment. Field Crops Research 89–81 :129.