د کابل پوهنتون دطبیعي علومو علمي ــ څېړنیزه مجله
مجــله علــمی- تحقیقی علــوم طبیعی پوهنتون کابل
Journal of Natural Sciences – Kabul University
e-ISSN:3078-6665 P-ISSN:3078-5561

د کرنیزو بوټو پر ودې او حاصل باندې د ترپوسفیري اوزون اغېزې

شفیق الله رحماني[۱]، احسان الله اکرمزوی [۲]

[۱]چاپېریالي علوم څانگه، چاپېریال پوهنه پوهنځی، کابل پوهنتون، کابل، افغانستان
[۲] د بڼوالي څانگه، کرنې پوهنځی، غزني پوهنتون، غزني، افغانستان
برېښنالیک: rahmanishafiqullah@gmail.com

لنډیز

تروپوسفیري اوزون دویمي هوا ککړونکی دی، چې د فوتوکیمیاوي تعامل په پایله کې منځته راځي. د دې کتنیزې څېړنې موخه داده، چې په اساسي کرنیزو محصولاتو (غنم، وریجې، سویابین او جوارو) باندې د اوزون د فشار (تنش) فشار له امله منځته راتلونکې اغېزې او د مخنیوي او تطابق ستراتیژیانې وڅېړي. اوزون د کرنیزو بوټو حجروي جوړښتونه زیانمنوي، د ضیايي ترکیب او اوبو په تنظیم اغېز کوي. غنم د اوزون د ککړتیا پر وړاندې تر ټولو حساس او سویابین، وریجې او جوار تر ټولو مقاوم بوټي دي. د اوزون د اغېزو د راکمولو پایداره لاره د اوزون په وړاندې د مقاومو ورایټیو تولید دی. د اوزون ککړتیا په مخنیوي کې ایتلین ډای یوریا یو موثر ساتونکی ثابت شوی دی. پالیسي جوړونکي او څېړونکي باید په گډه د داسې ستراتیژیو په جوړولو کار وکړي چې علمي بنسټ ولري، د گازي انتشاراتو کچه راټیټه، د کرنیزو بوټو مقاومت لوړ او د نړیوالو غذايي سرچینو ساتنه وکړي.

بنسټیزې کلیمې: تروپوسفیري اوزون؛ فوتوکیمیاوي؛ بنسټیز کرنیز محصولات؛ د امریکا د پاکې هوا قانون؛ ایتلین ډای یوریا

Effect of Tropospheric Ozone on Growth and Productivity of Agricultural Crops

Shafiqullah Rahmani[1*], Ihsanullah Akramzoi[2]

[1] Department of Environmental Sciences, Environmental Sciences Faculty, Kabul University, Kabul, Afghanistan
[2] Horticulture Department, Ghazni University, Ghazni, Afghanistan
Email: rahmanishafiqullah@gmail.com

Abstract

Tropospheric ozone is the second most crucial air pollutant formed by photochemical reactions. This review aims to investigate the effects of ozone stress on major crops (wheat, rice, soybeans, and maize) and to identify mitigation and adaptation strategies. Ozone damages cellular structures, disrupts photosynthesis, and affects water regulation. Wheat is the most sensitive to ozone pollution, followed by soybeans, rice, and maize. One of the most sustainable ways to protect against ozone stress is to develop ozone-tolerant varieties. Chemical Protestants such as Ethylenediurea have been effective preservatives against ozone pollution. Policymakers and researchers must work together to develop science-based strategies that can reduce emissions, increase crop resilience, and protect global food supplies.

Keywords: Photochemical Reactions; Ethylenediurea; Tropospheric Ozone; US Clean Air Act

ارجاع: رحماني، ش. او اکرمزوی، ا. (۱۴۰۴). د کرنیزو بوټو پر ودې او حاصل باندې د ترپوسفیري اوزون اغېزې. *د کابل پوهنتون د طبیعي علومو علمي ــ څېړنیزه مجله*، ۸ (فوق‌العاده)، ۱۷۱-۱۸۹.
https://doi.org/10.62810/jns.v8i

سريزه

کرنيز بوټي د نورو ژونديو موجواتو په څېر د هوا ککړونکو د لوړ غلظت په شتون کې زيانمنيږي. اوس مهال د هوا د ککړتيا له امله د کرنيزو محصولاتو د توليد اړوند اندېښنې ورځ تر بلې زياتيږي. تروپوسفيري اوزون (O_3) د دويمي هوا ککړونکو له ډلې څخه شمېرل کيږي، چې د نايتروجن اکسايدونو (NO_x) او بې ثباته عضوي مرکباتو (VOCs) څخه د فوتوکيمياوي عمل په پايله کې منځته راځي. او دا په نړيواله کچه د کرنيزو محصولاتو لپاره يوه تر ټولو ستره ننګونه ګرځېدلې ده. تروپوسفيري اوزون د ستراتوسفېري اوزون برعکس، چې ځمکه د مضرو ماورای بنفش وړانګو د ضرر څخه ساتي، يو فوق العاده زهري ککړونکی ګڼل کيږي، چې د انسانانو او حيواناتو سربيره د کرنيزو بوټو فېزيولوژيکي فعاليتونه ګډوډوي. د صنعتي فعاليتونو د پراخېدلو سره هم مهاله د ځمکې سطحې ته نږدې د اوزون کچه په تېرو لسيزو کې په پرله‌پسې ډول لوړه شوې، چې له امله يې چاپېريالي او اقتصادي ننګونې را منځته شوي دي. د صنعتي انقلاب څخه را پدېخوا د ځمکې په اتموسفير کې د اوزون کچه دوه برابره لوړه شوې ده (Ainsworth, 2007). اوزون د کرنيزو بوټو نسجونو ته د پاڼو په سطحه شته سوريو يا ستوماتا او يا هم د ګازونو د تبادلې له لارو دننه کيږي او د نبات په دننه کې د تحمضي (اسيدي) تعاملاتو يوه اوږده سلسله پيلوي. دا تعاملات د فعالو اکسيجن لرونکو ډولونو (ROS) د توليد سبب کيږي، چې حجروي جوړښتونه زيانمنوي، ضيايي ترکيب کې اختلال رامنځته کوي، د اوبو تنظيم اغېزمنوي او بالاخره د نبات وده، د ژوند وړتيا، او حاصلات راټيټوي. د اوزون پر وړاندې د بوټو زغم له يوې نوعې څخه بلې نوعې ته، حتی له يوې مرحلې څخه بلې مرحلې ته توپير لري، په پايله کې دا ستونزې د بوټو مديريت او د خوړو امنيت لا پېچلي حالت ته وړي. د اوزون اغېزې يوازې فيزيولوژيکي بڼه نه لري، بلکې سوداګريز اړخ هم لري. د Ainsworth (۲۰۱۷)، د راپور له مخې، د اوزون ککړتيا د نړۍ په کچه هر کال د اړينو او اساسي فصلونو لکه غنمو، وريجو او جوارو په حاصلاتو کې له ۳ څخه تر ۱۶٪ پورې کموالی رامنځته کوي. د پراختيا په حال کې هېوادونه او سيمې چې د سرچينو کمښت او د اقليمي بدلونونو پر وړاندې د مقاومت محدوده وړتيا لري، د دغو زيانونو تر ټولو زياته سلنه تجربه کوي (Feng et al., 2015). سربېره پر دې د تروپوسفيري اوزون اړيکې له نورو کړکېچ زېږونکو (تنشزا) فکتورونو لکه وچکالي، د اړينو عناصرو کمښت، او د کاربن ډای اکسايډ د کچې له زياتوالي سره لا شديدې اغېزې ښکاره کوي، چې د اغېزو د مخنيوي هڅې لا نورې پېچلې کوي. سره له دې چې د دې موضوع په اړه څېړنې ډېرې شوې دي، خو لا هم د تروپوسفېريک اوزون د اوږدمهاله اغېزو په اړه ډېری ناپېژندل شوي اړخونه تر اوسه نه دي څېړل شوي. په دې کتنيز (مروري) تحليل کې هڅه

کېږي؛ څو د ترسره شوو څېړنو څخه د کرنیزو بوټو په وده او حاصل باندې د تروپوسفېریک اوزون د اغېزو ارزونه وکړي. په دې مقاله کې د اوزون د جوړښت، په کرنیزو بوټو کې د اوزون د فیزیولوژیکي زیانونو میکانیزمونه، او په کرنیزو محصلاتو کې د اوزون ځانګړو اغېزو تفصیل وړاندې کېږي. همدا ډول دا تحلیل هغه بدلون راوستونکي عوامل ارزوي، چې د کرنیزو بوټو غبرګونونه اغېزمنوي، د مخنیوي احتمالي لارې چارې بیانوي او د راتلونکو څېړنو لپاره مهمې لارښوونې وړاندې کوي.

د څېړنې مواد او کړنلاره

د اطلاعاتو د راټولولو لپاره له معتبرو ژورنالونو او مقالو څخه ګټه اخیستل شوې ده. ګڼ شمېر مقالې راښکته(ډانلوډ) شوي او د هغو له ډلې له اړوندو مقالو څخه معلومات تر لاسه شوي. یوازې له نوو (له ۲۰۰۰ زېږدیز کال وروسته خپرو شوو) او لوړ کیفیت لرونکو مقالو څخه مواد راټول شوي دي. معرض(خطر) کې راتلل، تروپوسفیریک اوزون، تولید او وده او کرنیز محصولات هغه اصطلاحات دي، چې پر بنسټ یې پلټنه شوې او معلومات راټول شوي دي.

د تروپوسفیري اوزون جوړښت او سرچینې

تروپوسفیري اوزون چې د سطحي اوزون په نامه هم یادیږي، په مستقیمه توګه اتموسفیر ته نه خوشې کېږي، بلکې د یوه پېچلي فوتوکیمیاوي تعامل په پایله کې منځته راځي، دغه پېچلی تعامل د تحریکوونکي نایتروجن اکسایدونو او بې ثباته عضوي مرکباتو ترمنځ د لمر د رڼا په شتون کې صورت نیسي. دغه تعاملات په ښاري او صنعتي سیمو کې شدت پیدا کوي، چېرته چې له ترانسپورټي او صنعتي وسایلو څخه د نوموړو ګازاتو خپرېدل صورت نیسي. له جوړېدو وروسته د باد په مرسته تر لرې سیمو انتقالیږي او له اصلي سرچینو څخه لرې کلیوالې او کرنیزې سیمې اغېزمنوي(Monks et al., 2015). د نایتروجن اکسایدونو او بې ثباته عضوي مرکباتو د تولید لومړنۍ سرچینې له فوسیلي سون توکو، صنعتي فعالیتونو او بایوماس سوځونکو څخه عبارت دي. په کلیوالي سیمو کې نباتي پوښښ او کرنیز فعالیتونه هم د بایوجینیک ګازونو په تولید کې د پام وړ برخه لري.

د تروپوسفیري اوزون د تشکیل کیمیاوي میکانیزم اساسي برخه د نایتروجن ډای اکسایډ (NO_2) فوتولیسیز دی، چې اټومي اکسیجن (O) تولید کړي، کوم چې بیا د مالیکولي اکسیجن (O_2) سره تعامل کوي؛ څو اوزون جوړ کړي:

$$NO_2 + \text{sunlight}\ (h\nu) \rightarrow NO + O$$

$$O + O_2 \rightarrow O_3$$

سربيره پردې، د بې ثباته عضوي مرکباتو شتون د پراوکسي راډيکالونو د توليد سبب کېږي، چې کولای شي NO بيرته په NO_2 واړوي، او د اوزون د جوړښت دوران د نايتروجن اکسايد NO_x د له منځه تلو څخه پرته برحاله کړي. دغه چاره د بې ثباته عضوي مرکباتو څخه غني چاپېريال رامنځته کوي، چې د اوزون پايداره جوړښت ته زمينه برابروي (Jacob, 1999). په پرمختللو هېوادونو لکه د امريکا متحده ايالاتو او د لوېديځې اروپا په ډېرى هېوادونو کې د هوا د کيفيت سختو قوانيونو عملي کېدو د اوزون جوړونکو ګازونو په تشکيل کې کمښت رامنځته کړى او په ټوليزه توګه ورسره د اوزون په غلظت کې کموالى راغلى دى .(Cooper et al., 2014). که څه هم په ګڼو د ودې په حال کې هېوادونو، جنوبي او ختيځه آسيا کې د اوزون کچه د صنعتي فعاليتونو د ډېرېدو، د نقليه وسايطو د ګڼې ګونې د ډېرېدو او چاپېريالي مقرراتو په پلي کېدو کې د بې پروايي له امله لوړه شوې ده .(Lu et al., 2018). نړيوالې موډل جوړونکې څېړنې اټکل کوي، چې صنعتي انقلاب څخه وروسته د ترپوسفيري اوزون کچه کې له ۳۰ تر ۵۰٪ سلنې ډېروالى راغلى دى (Young et al., 2013). په ګڼ مېشته کرنيزو ساحو کې په ځانګړې توګه د هند او چين په څېر هېوادونو کې د اوزون کچه ډېرى وختونه د محصولاتو د تخريب بحراني کچې څخه لوړېږي. د (Emberson او همکارانو، ۲۰۰۹)، د راپور پر بنسټ په کرنيزو محصولاتو کې د اوزون د مزمنې کچې په معرض کې واقع کيدل، چې د AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 ppb) په شکل تعريفيږي، په معمول ډول د پسرلي فصل په اوږدو کې په ځانګړې توګه اوړي موسم کې زياتيږي. د ترپوسفيري اوزون د ارزونې راپور په څېر پروګرامونه چې په نړيواله کچه د اوزون اړوند اطلاعات راټولوي د هغو سيمو په پېژندلو کې چې د اوزون د تخريب له ګواښ سره مخ دي مرستندويه ثابت شوي دي (Schultz et al., 2017).

د فهرير[1] (۲۰۰۹) پر بنسټ د مکاني تغيراتو سربيره د اوزون په غلظت کې زماني تغيرات هم د اوزون په وړاندې د محصولاتو د اغېزمنتيا په معلومولو کې مهم رول لوبوي. د اوزون کچه معمولاً د ماسپښين (غرمې) په مهال او د اوړي په موسم کې لوړې کچې ته رسيږي، چې د لوړ فوتوسنتيتيک فعاليت او په کرنيزو محصولاتو کې د ستوماتا خلاصېدو سره هم مهاله صورت نيسي. ياده زماني همغږي په نباتاتو کې د اوزون د تخريب کچه زياتوي؛ ځکه چې بوټي د ستوماتا د خلاصېدو او ګازاتو د تبادلې پر مهال خورا زيان منونکي دي.

اقليمي بدلون د ترپوسفيري اوزون د توليد پروسه لا پېچلې کوي. د تودوخې لوړوالى هغه فوتوکيمياوي تعاملات چټکوي، چې اوزون توليدوي او کولای شي له قدرتي او انساني سرچينو د اوزون توليد

[1] Fuhrer

تشویقوونکو ګازاتو خپرېدل زیات کړي. سربیره پردې، د اتموسفیري دوران په ځانګړتیاوو کې د اقلیم په سبب راټوکېدلي بدلونونه د اوزون لېږد او په سطحه کېناستلو ته تغیر ورکړی، ورسره به هغه سیمې هم اغیزمنې شي چې پخوا یې له ضرر څخه خوندي وې (Schnell et al., 2016).

په کرنیزو بوټو کې د اوزون د تخریب میکانیزم

د ترپوسفوریک اوزون زهریت څکه رامنځته کېږي چې اوزون د بوټو د انساجو دننه د اکسیجن فعال ډولونه ((ROS(reactive oxygen species) تولیدوي، چې عادي فزیولوژیکي پروسې اختلالوي او د لید وړ زیانونو په رامنځته کولو سره د حاصل د کموالي لامل ګرځي.

د اوزون جذب او نبات ته ننوتل

په معمول ډول اوزون د ستوماتا له لارې نبات ته ننوځي (د نبات د پاڼې په سطحه کوچني سوري دي چې د ګازاتو تبادله تنظیموي). د پاڼې میزوفایل برخې بین الحجروي فضا ته ننوتلو سره بې اغېزې نه پاتې کېږي، په اپوپلاستیک مایع کې حلیږي او د ریډوکس تعاملاتو لړۍ پیلوي. د تعامل په پایله کې د اکسیحن فعال ډولونه لکه سوپراوکساید انیونونه (O_2^-)، هایدروجن پراوکساید (H_2O_2)، او د هایدروکسیل راډیکالونه (OH^-) تولیدیږي (Fiscus et al., 2005). په بوټو کې د اوزون جذب کچه د ګڼو فکتورونو په واسطه اغېزمنیږي، د ستوماتا فعالیت، د پاڼې عمر، د رڼا شدت، لندبل او تودوخې څخه عبارت دي. د مثال په ډول، د رڼا شدت او متوسط لندبل د ستوماتا خلاصېدل زیاتوي، ورسره د اوزون جذب زیاتیږي، برعکس د وچکالۍ د فشار لاندې ستوماتا بندیږي، ورسره د اوزون جذب کمیږي، ممکن دغه کړنه له بدیلو لارو د اوزون دننه کېدلو یا د اوزون داخلي تجزیې له امله تل د اوزون د تخریب پر وړاندې ساتنه ونه کړي (Emberson et al., 2000).

د اکسیدیتیو فشار او حجروي تخریب

کله چې اوزون نبات ته جذب شي د اوزون له امله منځته راغلي اکسیجن فعال ډولونه ROS کولی شي د نبات د اکسیډنټ ضد دفاعي سیستم مغلوب کړي. نوموړې نااندولي د اکسیډیتیو د فشار لامل کېږي، چې د مختلفو حجروي جوړښتونو او بایو کیمیاوي مجراګانو د متاثره کېدو لامل کېږي. تر ټولو تخریبي زیان یې د لیپید پر اکسیډېشن څخه عبارت دی، چې د حجروي غشا بشپړتیا له منځه وړي، د ایون ضیاع او د حجروي اختلال لامل کېږي. د څېړنو د پایلو پر بنسټ په کلوروپلاستونو کې ROS د فوتو سیستم ۲ او د الکترون ترانسپورټ زنځیر په فعالیت کې مداخله کوي، په دې ډول د فوتوسنتیتیک

اغېزمنتيا کموي (Vainonen & Kangasjärvi, 2015) . په کلوروپلاست کې د اکسيجن فعال ډولونه په فوتوسيستم ۲ او الکترون انتقالي ځنځير کې مداخله کوي او د ضيايي ترکيب موثريت راټيټوي.

اوزون د حجرې په داخل کې نورې اجزاوې لکه: ډي ان اې، پروټين او انزايمونه خپل هدف ګرځوي. د پروټين اکسيډېشن انزايمي فعاليت ګډوډوي او د پروټينونو ترمنځ خپلمنځي تعاملاتو کې اختلالات رامنځته کوي. په شديدو مواردو کې د اکسيډيتيو زيان د حجرو د پروګرام شوي مرګ (PCD) باعث کېږي، په ځانګړي ډول هغه حجرې چې د اوزون په خطر کې قرار لري نيکروتيک زيان منځته راوړي چې د پاڼو په سطحه څرګنديږي (Overmyer et al., 2005).

ضيايي ترکيب او پر تبخير باندې يې اغېزې

ضيايي ترکيب د اوزون د فشار (تنش) پر وړاندې د ډېرو حساسو فزيالوژيکي پروسو له ډلې شمېرل کېږي. اوزون د ضيايي ترکيب مخنيوی د پاڼې د سطحې د سورويو او له سوريو پرته مېکانيزمونو په واسطه ترسره کوي. په لومړيو کې د ستوماتا فعاليت ممکن د لنډمهاله محافظتي غبرګون په توګه کم شي؛ خو بلاخره د ضيايي ترکيب اصلي کمښت هغه مهال رامنځته کېږي، چې کله د ضيايي ترکيب د مجرا په ځانګړې توګه د روبيسکو فعاليت او کلوروفيل تخريب شي (Ainsworth et al., 2012). په ځينو ډولونو کې ستوماتا له خپل نورمال فعاليت پاتې کېږي او د چاپېريالي شرايطو پر وړاندې په زړه پورې غبرګون نه څرګندوي، دغه کړنه د اوبو د استعمال موثريت ګډوډوي او د وچکالۍ پر وړاندې حساسيت لوړوي. د کاربن نصب او د اوبو تنظيم کې اختلالات په ګډه د کرنيزو بوټو بايو ماس او توليد د پام وړ ټيټوي (Wittig et al., 2009).

بابوکيمياوي او هارموني غبرګونونه

بوټو د اوزون په مرسته توليد شوو د اکسيجن د فعالو ډولونو پر وړاندې د اکسيډېنټ د دفاع ضد سيستمونو ته پراختيا ورکړې ده. په دې ډله کې انزايمي انتي اکسيډېنټونه لکه سوپر اوکسايډ ډېسميوټېز (SOD)، کټاليز (CAT) او اسکوربيک پراوکسيډېز (APX)، او غيرې انزايمي انتي اکسيډېنټونه لکه اسکوربيک اسيد، ګلوتاتيون، او کيروتينوييد شتون لري (Noctor and Foyer, 1998). نوموړي دفاعي سيستمونه د انواعو او حتی کليتيوارونو تر منځ توپير لري. اوزون همدارنګه د هارموني سيګنلينګ (پيغام رسونکي) مسيرونه فعالوي، د مثال په ډول سلسليک اسيد، جسمانيک اسيد او ايتلين د ترپوسفيري اوزون د فشار پر وړاندې زياتيږي، نوموړي هارمونونه د تنش (فشار) پر وړاندې غبرګونونه راټيټوي (Xu et al., 2015).

جین څرګندونه او اپیجینیک تنظیمات

په مالیکولي کچه اوزون د ګڼ شمېر فعالو جینونو څرګندونه کې بدلون راولي، په دې ډول کې زهریت له منځه وړونکي جینونه، ریډوکس تنظیمونکي، د سیګنالونو انتقالوونکي او د حجروي دېوال بیاجوړونکي جینونه شاملېږي(Iyer et al., 2013). نوي شواهد هم د اپیجینیګ بدلونونو رول د اوزون پر وړاندې د بوټو د غبرګونونو په تغیراتو لکه ډي ان اې میتایلیشن او هستون اسیتایلیشن کې وړاندیز کوي. دغه تغیرات ممکن په جین څرګندولو کې اوږدمهاله بدلونونه رامنځته کړي، ممکن د کرنیزو بوټو په راتلونکو نسلونو کې د اوزون پر وړاندې د هڅوی زغم اغېزمن کړي (Kovalchuk et al., 2001).

د نوعې او جینوټایپ ځانګړي غبرګونونه

د اوزون پر وړاندې د بوټو ترمنځ حساسیت او حتی د یوې نوعې د کلتیوارونو ترمنځ توپیر کوي. د مثال په توګه، وریجې او سویابین د اوزون پر وړاندې له متوسط څخه نیولې تر لوړې کچې حساسیت ښیي، د اوزون د لوړ غلظت حالاتو کې د دواړو بوټو د پاڼې ساحه او حاصل کې د پام وړ کمښت لیدل کېږي. برعکس د جوارو ځیني ورایټیګانې د ستوماتا د ټیټ فعالیت او اغېزمن انتي اکسیډانټ سیستم په لرلو سره په پرتلیزه توګه لوړ زغم څرګندوي (Mills et al., 2018). په غنمو او سویابینو کې ګڼ شمېر صفتونه چې د اوزون پر وړاندې د زغم سره تړلي دي پېژندل شوي دي، چې د محصولاتو د بالقوه جینیټیکي اصلاحاتو لپاره احتمالي موخې کېدی شي(Booker et al., 2009).

د څېړنې موندنې

پر کرنیزو محصولاتو د ټروپوسفیري اوزون ځانګړې اغېزې

پر کرنیزو محصولاتو د ټروپوسفیري اوزون اغېزې تر ډېرې کچې په ډول او کلتیوار پورې تړاو لري، دغه توپیرونه د محصولاتو په فزیالوژي، مورفولوژي او انتي اکسیډانټ ضد وړتیا پورې تړلې دي. ګڼ سوداګریز اړین محصولات، چې غنم، وریجې، جوار، سویابین او پنبه پکې شامل دي، د اوزون د لوړ غلظت شرایطو لاندې یې په ودې او حاصل کې د پام وړ کمښت څرګند کړی دی.

غنم

غنم د اوزون ککړتیا پر وړاندې یو تر ټولو حساس بوټی دی. د ګڼ شمېر څېړنو د راپورونو پر بنسټ د غنمو په حاصل کې کموالی د ضیایي ترکیب اختلال، مخکې له وخته زړېدنه، او د بایوماس د کمښت له امله رامنځته کېږي. ټروپوسفیري اوزون په غنمو کې د لید وړ زخمونو سبب کېږي؛ لکه کلوروسس او نیکروټیک داغونه، چې په ځانګړي ډول یې د دانې ډکېدنې مرحله یادولی شو (Feng et al., 2010).

د ازادې هوا غلظت غني کول (FACE-Free-Air Concentration Enrichment) تجاربو کې، په هوا کې د ۸۰-۶۰ ppb غلظت کې د غنمو حاصل له ۱۰-۲۵٪ کموالی مشاهده شوی (Pleijel et al., 2007). په غنمو باندې د اوزون ککړتیا اغېزې د لوړې تودوخې او ټيټ ورښت (وچکالي) شرايطو چې تنش (فشار) زياتوي، ډېريږي، سربېره پردې اوزون د کرنيزو بوټو د دانو د پروټين کچه راټيټوي او د کاربن-نايتروجن وېش کې تغيرات راولي، د حاصل کميت او کيفيت متاثره کوي (Mills et al., 2018). د غنمو کلټيوارونو ترمنځ د اوزون د زغم اړوند جينوټايپي اختلافات هم ثابت شوي دي. د مثال په توګه، هغه کلټيوارونه چې وختي رسيږي يا د انتي اکسيډانټ لوړه توانايي لري د اوزون د فشار لاندې ښه نتيجه ورکوي (Frei et al., 2008).

وريجې

وريجې د نړۍ د نيم نفوس اصلي غذا برابروي او د اوزون د ککړتيا سره په منځنۍ کچه حساسيت لري، په وريجو کې د اوزون ککړتيا د پاڼې ساحه، وړو شمېر او د کلوروفيل محتويات کموي، بلاخره د ضيايي ترکيب کچه او بايوماس راټيټوي (Shang et al., 2024). د اګروال او همکارانو (۲۰۰۶) د راپور په اساس په هغو سيمو کې چې د اوزون لوړ غلظت شتون لري د وريجو حاصلات له ۵ – ۱۵٪ کموالی ښيي. سربېره پردې د اوزون لوړه کچه له نورو فشار راوړونکو فکتورونو؛ لکه وچکالي او لوړه تودوخه د اوزون تخريبي توان ته شدت ورکوي. د وريجو هغه کلټيوارونه چې د ستوماتا د ګټور کنټرول سيستم او د اکسيجن د فعالو ډولونو د راټولونې قوي سيستم لري د لوړ اوزون شرايطو لاندې ښه نتيجه ورکوي (Yoshida et al., 2009).

جوار

جوار د غنمو او وريجو په پرتله د اوزون د ککړتيا پر وړاندې مقاوم بوټی دی. علت يې عمدتآ د ضيايي ترکيب C4 مسير درلودل دي، چې د ميتابوليک فعاليت او د ستوماتا اغېزمنتيا کچه کې زياتوالی راولي. له دې سربېره جوار د اوزون د فشار پر وړاندې محفوظ نه دی. د اوزون په ګواښ کې اوږمهاله واقع کېدل د جوارو دانو د وزن، لنډوالي او بايوماس کې د کمښت سبب کېږي (Leitao et al., 2007). د جوارو هايبريډ کلټيوارونو کې چې د لوړ حاصل په موخه نسلګيري شوې د اوزون ککړتيا اغېزې د نورو ډولونو په پرتله ډېرې د مشاهدې وړ دي (Mills et al., 2018). همدارنګه جوار د ودې د مراحلو په جريان کې مختلف غبرګونونه ښکاره کوي. د بدنې د ودې مرحله د توليدي مرحلې په پرتله محدوده اغېزه لري (Wang et al., 2012).

سویابین

سویابین د اوزون د ککړتیا پر وړاندې د لوړ حساسیت او اقتصادي اهمیت له امله یو له هغو محصولاتو څخه دی چې د اوزون د اغېزو په وجه پراخ څېړل شوي دي. سویابین په ځانګړي ډول د ګل کولو او پلي ډکېدو مراحلو کې ډېر زیان منونکي دي. په سویابینو کې د اوزون ککړتیا د پاڼو زېښت ګرندی کوي، د ضیایي ترکیب کچه ټیټوي او د نایتروجن نصب د ریښو د غوټو د تخریب په وسیله مختل کوي (Morgan et al., 2003). کله چې په آزاده هوا کې د اوزون کچه له ۶۰-۸۰ ppb شي په حاصلاتو کې له ۱۰-۲۰٪ کموالی منځته راځي، د اوزون زهریت د سویابین په دانو کې د پروتین او غوړو کچه راټیټوي (Betzelberger et al., 2010).

پنبه

پنبه د تروپوسفیري اوزون د ککړتیا پر وړاندې منځنی حساسیت لري، د حساسیت کچه یې له غنمو او سویابینو ټیټه ده، د اوزون لوړه کچه یي د فایبر کیفیت او د غوټو تولید ته زیان رسوي. په پنبه کې د اوزون د زیان ابتدایي نښې د پاڼو تخریب، مخکې له وخته د پاڼو توییدل او د ضیایي ترکیب په موثریت کې له کموالي څخه عبارت دي (Heagle et al., 1998). د اوږدمهال لپاره د اوزون د ککړتیا په خطر کې پاتې کېدل د تجمعي تنش (تراکم شوي فشار) د اغېزو لامل کېږي، چې د فایبر څواک ورسره کمېږي (Zhou et al., 2011).

لیګیومي نباتات

ګڼ شمېر لیګیومي نباتات لکه لوبیا او نخود د اوزون ککړتیا پر وړاندې لوړ حساسیت لري، ډېری وختونه د نسبتاً ټیټ غلظت پر وړاندې د پام وړ تخریب او د حاصل کموالي نښې ښکاره کوي. په لیګیومي نباتاتو کې اوزون د نایتروجن نصب (د لیګیوم او رایزوبیا ترمنځ سیمبیوسس) متاثره کوي، چې د خوړو وړ انساجو کې د پروتین د محتویاتو د کمېدو لامل ګرځي (Velissariou et al., 1992).

د کرنیزو محصولاتو د حاصل نړیواله ارزونه

د اوزون په خطر کې واقع کېدل او د کرنیزو محصولاتو د حاصلاتو کموالي تر منځ په اړیکو د پوهېدو لپاره د M7 (د ورځې ۷ ساعتونو په اوږدو کې د اوزون منځنی غلظت) او AOT40 (Accumulated ozone above threshold 0f 40 ppb) شاخصونه په پراخه کچه کارول کېږي. د Van Dingenen او همکارانو (۲۰۰۹)، د راپور پر بنسټ په نړیواله کچه د اوزون اړوند کرنیزو محصولاتو د حاصلاتو کموالی په لاندې ډول دی: په غنمو کې له ۷ تر ۱۲٪، په سویابینو کې له ٦ تر ١٦٪، له ۳ تر ۴٪ په

وریجو او په جوارو کې ۳ تر ۵٪. د دغې ارزونې له مخې تر ۲۰۳۰ کال پورې دغه حالت لا د خرابوالي خواته ځي، ممکن د غنمو په حاصلاتو کې له ۲ تر ٦٪، وریجو ۱تر۲٪، نور کموالی هم راتللی شي. د نوموړي په اند د ۲۰۰۰م میلادي کال د څلورو اساسي کرنیزو محصولاتو حاصلات د مارکیټ ارزښت په مالي ډول له ۱۴ تر ۲٦ میلیارده ډالرو پورې رسېږي، چې ۴۰٪ ضایعات یې په هند او چین کې پېښېږي. د حاصلاتو د کمښت چټکه وده کوونکو هېوادو لکه: هند، چین او نیمه صحرایي افریقایي هېوادونو کې ډېره تر سترګو کېږي (Avnery et al., 2011).

د اغېز کمولو او تطابق ستراتیژیانې

په کرنیزو محصولاتو د تروپوسفیري اوزون تخریبي اغېزو ته په پام، د تخریبي اغېزو د کمولو او تطابق ستراتیژیانو ته پراختیا ورکول اړین بریښي. په دغو ستراتیژیانو کې د مخنیوي پالیسي او تنظیمي طرزالعملونه، کرنیزې مدیریتي کړنې او علمي نوښتونه؛ لکه ارثي اصلاحات او د محصول ماډلینګ شاملېږي. نوموړې ستراتیژیانې د اوزون د تخریب د کچې د ټیټولو او د اوزون د ککړتیا پر وړاندې د کرنیزو محصولاتو د زغم یا مقاومت د لوړولو لپاره د اغېزمنو لارو لټون او ارزونه کوي.

ګازي انتشارات کمول او سیاسي مداخلې

د اوزون د تخریبي اغېزو د کمولو تر ټول اغېزمنه لاره د اوزون د منځته راتلو لپاره د اړینو ګازونو د خپرېدو (انتشار) کمول دي. په ځانګړي ډول د انساني سرچینو؛ لکه موټرونو، د برق تولید فابریکو او صنعتي فعالیتونو څخه د نایتروجن اکسایډونو (NOx) او بې ثباته عضوي مرکباتو (VOCs)د خپراوي کمول دي (Monks et al., 2015). هغه نظارتي سیاستونه چې د ګازي انتشارتو د کمښت سبب کېږي په ځینو سیمو کې، په ځانګړې توګه شمالي امریکا او اروپا کې د اوزون غلظت کمولو کې مهم رول لوبولی دی. د مثال په ډول د امریکا د پاکې هوا قانون، د انتشاراتو د سختو معیارونو د تطبیق له امله د سطحي اوزون غلظت پام وړ کنټرول کړی دی (EPA, 2020) . په اروپایي ټولنه کې ورته نوښتونو، لکه په ملي کچه د انتشاراتو سقف (نهایي حد) لاربښود، مثبتې پایلې ترلاسه کړې دي. که څه هم په چټکه توګه وده کوونکو سیمو لکه سویلي آسیا او د افریقا په ځینو برخو کې د ګازونو انتشارات د صنعتي ودې او د چاپېریال ساتنې قوانیو په پلي کولو کې د ناغېړۍ له امله دوام لري، چې نړیوالې همکارۍ ته اړتیا لري (Rao et al., 2013). د نړیوالو ماډلینګ مطالعاتو د وړاندیز پر بنسټ د انتروپجنیک (انساني منابعو څخه خپور شوی) اوزون مخکینیو کې ۵۰٪ کمښت کولی شي تر ۲۰۵۰ پورې د اوزون له امله د اټکل شوي فصلونو زیانونو ۷۰٪ مخه ونیسي (Avnery et al., 2011) . دا موندنې د کرنې د پایښت موخو سره د هوا د کیفیت پالیسیو د یوځای کولو پر اهمیت ټینګار کوي. د Avnery او همکارانو (۲۰۱۱)،

د موندنو په اساس د اوزون جوړونې لپاره د اړینو ګازونو په کچه کې ۵۰٪ کمښت کولای شي تر ۲۰۲۵۰ کال پورې د اوزون له امله په رامنځته کېدونکي تخریب کې ۷۰٪ سلنه کموالی راولي. پورته موندنې د هوا د کیفیت کنټرول پالیسیو او پایښت لرونکو کرنیزو موخو د ادغام اړتیا په ګوته کوي.

کیمیاوي ساتونکي توکي او کرنیز عملیات

کیمیاوي ساتونکي توکي لکه ایتلین دای یوریا د اوزون د تخریب د کمولو په پار ازمویل شوي دي، ایتلین دای یوریا د انتي اکسیډانټ په څېر عمل کوي، د اوزون فعال ډولونه پاکوي او د بوټو داخلي دفاعي سیستم تقویه کوي (Manning, 2005). همدارنګه، ګڼ شمېر څېړنو ښودلې چې ایتلین دای یوریا د اوزون فشار لاندې محصولاتو وده او حاصل کې ښه والی راولي. کرنیز عملیات کولای شي د اوزون د زیان کچه را ټیټه کړي. هغه عملیات چې د بوټو ټولیزه روغتیا ښه کوي لکه د کودونو (سرې) استعمال، د اوبخور مدیریت او کرنیز تناوب کولای شي د تنش په وړاندې د بوټو مقاومت لوړ کړي (Fiscus et al., 2005)، په کافي اندازه د نایتروجن استعمال د اکسیدانت ضد انزیمونو فعالیت پیاوړی کوي، سربیره پردې مناسب اوبخور د اوزون په سبب د ستوماتا د بندښت مخنیوی کوي. همدارنګه د کرلو د مهال وېش تنظیم چې د اوزون د لوړ غلظت دورې شاته غورځوي او د مخلوطي کرنې سیستم کولای شي د اوزون تخریب محدود او د حاصلاتو له ضایعاتو مخنیوی وکړي.

ارثي اصلاحات

د اوزون د ککړتیا پر وړاندې تر ټولو د اعتبار وړ ستراتیژي د اوزون د ککړتیا پر وړاندې د مقاومو ورایټیو له پراختیا څخه عبارت ده. د کرنیزو بوټو ځانګړتیاوې چې د اوزون د ککړتیا پر وړاندې د نباتاتو مقاومت پورې تړلې تر ډېره وخته شنه پاتې کېدونکو فینوټایپونو استفادې، د اوزون د فعالو ډولونو اغېزمن پاکول او د ستوماتا له تنظیم څخه عبارت دي. عصري مالیکولي وسایل لکه marker-assisted selection (MAS)، genome-wide association studies (GWAS) او CRISPR/Cas9 gene editing استعمال د اوزون ککړتیا پر وړاندې د زغم سره تړلو جینو د پېژندلو او لاسوهنې په موخه په تېزۍ سره زیاتوالی مومي. د مثال په ډول غنمو او سویابینو کې هغه جین هدف ګرځول شوی، چې د نبات د شنه پاتې کېدو مسولیت لري؛ څو د ضیايي ترکیب وړتیا لرونکو انساجو عمر ورسره لوړ کړي (Frei et al., 2008). له دې سربیره د اوزون د ککړتیا پر وړاندې د مقاومت په موخه نسلګیري د ارثي جوړښت، چاپیریالي تعاملاتو او ارثي صفاتو پولي جینیک طبیعت له امله خورا پېچلې ده.

جدول ۱: د کرنیزو بوټو ځانګړتیاوې چې د اوزون د ککړتیا پر وړاندې له مقاومت سره تړلې دي (Booker et al., 2009)

شمېره	ځانګړنه	ځرنګوالی
۱	تر ډېره شـــنه پـاتې کېـدونکي فينوټايپونه	د زړښـــت ځنډول د اوزون تنش لاندې د ضـــيايي ترکيب فعاليت اړودوي
۲	د ROS اغېزمن پاکوالی	انتي اکســـيدانـت انزايـمونو Superoxide Dismutase (SOD)، Catalase (CAT) او Ascorbate Peroxidase (APX) د فعاليت لوړوالی
۳	د ستوماتا تنظيم	د اوزون د جذب محدودول پرته له دې چې د کاربن دای اکســـايد فعاليت ورسره اغېزمن شي

د کرنيزو محصولاتو ماډل سازي او پربکړې نيونې مرستندوی وسايل

د کرنيزو محصولاتو د نمونه جوړونې (شبيه سازي) ماډلونه د اوزون د اغېزو د مخنيوي ستراتيژيانو د ارزولو لپاره ارزښتناک وسايل دي. له دې ډلې د کرنيز توليدي سيستم سموليټور او د کرنيزې تکنالوژۍ د انتقال لپاره د پرېکړې نيونې مرستندوی سيستم هغه ماډلونه دي، چې کولای شي د مختلفو شرايطو لاندې د اوزون د ککړتيا په سبب رامنځته کېدونکو زيانونو وړاندوينه وکړي (Tingem et al., 2009). پورته ماډلونه د دې وړتيا لري چې پاليسي جوړوونکو او بزګرانو سره د راتلونکې لپاره د اوزون تنش لاندې د حاصل کموالي وړاندوينه، د محصولاتو د حساسيت بحراني وختونو پېژندلو او مخنيوي ستراتيژيانو د موثريت په ارزونه کې مرسته وکړي. که چېرې نوموړي ماډلونه له ريموټ سينسينګ او جغرافيوي معلوماتي سيستم سره په يوه وخت وکارول شي کولای شي د سيمه ييزو خطرونو نقشې جوړونې او تطبيقي پلانونو په جوړولو کې مرستندوی واقع شي (Zhang et al., 2012).

د سازګارۍ ګډه يا تلفيقي کړنلاره

د اوزون د فشار پر وړاندې د سازګارۍ لپاره ډېرى وختونه تلفيقي يا ګډې کړنلارې ته اړتيا ليدل کيږي، چې دې کې ګڼې ستراتيژيانې سره يوځای کېږي. د مثال په ډول، يو بزګر ښايي د اوزون تنش په بحراني حالاتو کې د دې سربيره چې د کرلو وختونو کې تغيرات راولي او انتي اکسيدانت استفاده کړي د اوزون ککړتيا پر وړاندې مقاوم کلتيوارونه هم وکري. مختلطې ستراتيژياني بايد د حالاتو سره سمې وکارول شي او په سيمه کې د اوزون کچه، اقليمي شرايط، د محصول ډول او ټولنيز عوامل په پام کې ونيسي.

ګډې څېړنې او ترويجي چوپړتياوې کولای شي بزګرانو ته په ځانګړې توګه د ودې په حال هېوادونو کې د پوهې او ټکنالوژي په خپراوي کې حياتي رول ولوبوي. کلايميټ سمارټ کرنه چې په توليد، زغم يا مقاومت او مخنيوي تمرکز کوي، امکان لري د اوزون فشار پر وړاندې مقاومت او د کرنې د پايداره سيستمونو په ترويج سره د اجرا وړتيا پيدا کړي (FAO, 2017;Nowroz et al., 2023).

پايلې

ترووپوسفیري اوزون یو تولیز او قوي هوا ککړونکی دی، چې نړیوالې کرنیزې تولیدي وړتیا او غذایي مصونیت ته جدي گواښ گڼل کېږي. اوزون د یوه پیچلي فوتو کیمیاوي تعامل په پایله کې منځته راځي او د اتموسفیر په ښکتنۍ برخه کې یې دوامداره شتون د پراخو کرنیزو محصولاتو د تخریب او ضایع کېدو سبب کېږي. ترووپوسفیري اوزون د ستوماتا له لارې پاڼو ته ننوځي او تحمضي (اکسیدیتو) تنش منځته راوړي، کلیدي فزیولوژیکي پروسې لکه ضیایي ترکیب، د غذایي موادو لېږد او د تناسلي سیستم وده اغېزمنوي. د څېړنو پایلو وښودله، چې د اوزون لوړه کچه د گڼو کرنیزو بوټو وده او حاصلات کموي. د اوزون د تخریب میکانیزم پیچلی او څو مخیز دی، بوټي له ننوتو سره هم مهاله په تېزۍ سره د اکسیجن په فعالو ډولونو بدلېږي، چې د حجراتو غشا تخریبوي، د انزایمونو فعالیت مختل کوي او زړښت ته سرعت ورکوي. په داسې حال کې، چې کرنیز بوټي د تحمضي یا اکسیدیتیو تنش(فشار) پر وړاندې دفاعي سیستم لري، ډیری وختونه دغه دفاعي سیستمونه د اوږدمهال یا اوزون لوړ غلظت پر وړاندې مختل کېږي. سربیره پر دې اوزون د ستوماتا په فعالیت، د کاربن تخصیص او هارموني سیگنال ورکونه کې مداخله کوي او د حاصلاتو د لاکمښت باعث گرځي.

د مخنیوي او جوړجاړي (سازگاري) ستراتیژیانې پر کرنیزو محصولاتو باندې د اوزون د گواښ پر وړاندې گڼې حل لارې پیشنهادوي. د پالیسي په کچه د اوزون د جوړښت لپاره اړینو گازونو په ځانگړي ډول نایتروجن اکسایډونو او غیرې ثابتو عضوي مرکباتو د خپراوي کموالی تر ټولو مستقیمه او اغېزمنه حل لاره بلل کېږي. نظارتي کړنې، لکه د امریکا د پاکې هوا قانون او د اروپایي کمیسیون لارښوونو اجرا کول تر ډیرې کچې د اوزون د غلظت په کنټرول او د کرنیزو محصولاتو په ساتنه کې اغیزمن ثابت شوي دي. کرنیز فعالیتونه لکه مناسبه اوبه ورکونه (ابخور)، کود(سره) ورکونه او د محصولاتو د کرلو وختونو تنظیم د اوزون تنش (فشار) پر وړاندې مرستندوی واقع کېږي. د اوزون د تنش پر وړاندې یوه تر ټولو تلپاتې حللاره د اوزون د ککړتیا پر وړاندې مقاومت لرونکو ورایټیگانو تولید وړاندې کوي. پای کې ویلی شو، چې اوزون کرنیزو محصولاتو ته ښکاره او حاضر خطر شمېرل کېږي، چې د نړیوال همغږي عمل په پایله کې کولی شو نوموړې ننگونه مدیریت کړو.

مننه او قدرداني

لومړی د الله تعالی شکر اداء کوم چې د نوموړې څېړنې د ترسره کولو توفیق یې راکړ. د کابل پوهنتون له محترمې ادارې او چاپیریال پوهنې پوهنځي څخه د زړه له تله مننه کوم چې د څېړنې د بډاینې په موخه یې د چاپیریالي پایښت، پیښو او طبیعي زیرمو مدیریت کنفرانس تدویر کړلو، همدارنگه د کابل پوهنتون د طبیعي علومو د ژورنال له محترمې ادارې مننه کوم چې د مقالې د خپرولو فرصت یې راکړ.

د خپل همکار څخه نړۍ مننه کوم چې د معلوماتو په راټولولو او څېړنيزو موادو په تهيه کولو کې يې راسره هلې ځلې کړيدي.

اخلاقي بيان

نوموړې څېړنه په پوره شفافيت او صداقت ترسره شوې ده، ټول معلومات او نظرونه په معياري حوالو سره ذکر شوي دي او له ادبي غلا څخه مخنيوی شوی دی. د څېړنې معلومات او پايلې په بې طرفه توګه او ريښتينولۍ سره تحليل او ليکل شوي دي، مقاله د لومړي ځل لپاره د کابل طبيعي علومو ژورنال ته استول شوې ده او له تکراري ليږلو څخه ډډه شوې ده.

د ليکوالانو ونډه

اکرمزوی صاحب د څېړنې د طرحې او علمي کره کتنې ترڅنګ د مقالې د حوالو، معلوماتو ترتيب او مقالې سمون کې مرسته کړې ده. په څېړنه کې يې مهمه ونډه لرله وروستۍ نسخه يې لوستلې او تائيد کړې ده.

د ګټو ټکر

د څېړنې دواړه ليکوالان مني چې د نوموړې مقالې په خپريدو کې د هيڅ يو ليکوال د ګټو ترمنځ ټکر نشته.

اخځلیکونه

Avnery, S., Mauzerall, D. L., Liu, J., & Horowitz, L. W. (2011). Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment, 45*(13), 2284–2296. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.045

Ainsworth, E. A., & Rogers, A. (2007). The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO_2]: Mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell & Environment, 30*(3), 258–270. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x

Ainsworth, E. A., Yendrek, C. R., Sitch, S., Collins, W. J., & Emberson, L. D. (2012). The effects of tropospheric ozone on net primary productivity and implications for climate change. *Annual Review of Plant Biology, 63*, 637–661. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103829

Ainsworth, E. A. (2017). Understanding and improving global crop response to ozone pollution. *The Plant Journal, 90*(5), 886–897. https://doi.org/10.1111/tpj.13298

Betzelberger AM, Gillespie KM, McGrath JM, Koester RP, Nelson RL, Ainsworth EA. (2010). Effects of chronic elevated ozone concentration on antioxidant capacity, photosynthesis and seed yield of 10 soybean cultivars. *Plant Cell Environ*. 33:1569–81. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02165.x

Booker, F., Muntifering, R., McGrath, M., Burkey, K., Decoteau, D., Fiscus, E., Manning, W., Krupa, S., Chappelka, A., & Grantz, D. (2009). The ozone component of global change: Potential effects on agricultural and horticultural plant yield, product quality and interactions with invasive species. *Journal of Integrative Plant Biology, 51*(4), 337–351. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00805.x

Cooper OR, Parrish DD, Ziemke J, Balashov NV, Cupeiro M, Galbally IE, Gilge S, Horowitz L, Jensen NR, Lamarque JF, Naik V . (2014). Global distribution and trends of tropospheric ozone: an observation–based review. *Elementa: Science of the Anthropocene,* 2:000029. https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000029

Emberson, L.D., Büker, P., Ashmore, M.R., Mills, G., Jackson, L.S., M. Agrawal, M., M.D. Atikuzzaman, M.D., Cinderby, S., Engardt, M., Jamir, C., Kobayashi, K., N.T.K. Oanh, N.T.K., Q.F. Quadir, Q.F., and A. Wahid. (2009). A comparison of North American and Asian exposure-response data for ozone effects on crop yields. *Atmos. Environ.* 43, 1945–1953. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.01.005

Emberson, L. D., Ashmore, M. R., Cambridge, H. M., Simpson, D., & Tuovinen, J. P. (2000). Modelling stomatal ozone flux across Europe. *Environmental Pollution, 109*(3), 403-413. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00043

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. Link

Feng, Z., Kobayashi, K., & Ainsworth, E. A. (2010). Impact of elevated ozone concentration on growth, physiology, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.): A meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(1), 269-280. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02001.x

Fiscus, E.L., Booker, F.L., and Burkey, K.O. (2005). Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. *Plant Cell Environ*. 28: 997-101. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01349.x

Feng, Z., Wang, S., Szantoi, Z., Chen, S., & Wang, X. (2015). Evidence of widespread ozone-induced visible injury on plants in Beijing, China. *Environmental Pollution, 193*, 296-301. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.005

Frei, M., Tanaka, J.P. and Wissuwa, M. (2008). Genotypic variation in tolerance to elevated ozone in rice: dissection of distinct genetic factors linked to tolerance mechanisms. *J. Exp. Bot.* 59, 3741–3752. DOI: 10.1093/jxb/ern218

Fuhrer, J. (2009). Ozone risk for crops and pastures in present and future climates. *Naturwissenschaften*, 96, 173–194. https://doi.org/10.1007/s00114-008-0468-9

Heagle, A. S., Miller, J. E., & Pursley, W. A. (1998). Growth and yield responses of winter wheat to mixtures of ozone and carbon dioxide. *Crop Science, 38*(6), 1388-1394. https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800010021x

Iyer, G., Horowitz, L. W., Trainer, M., Naresh, K., & David, L. M. (2013). Modeling the regional impacts of the Clean Air Act Amendments on ozone and particulate matter over the United States. *Journal of the Air & Waste Management Association, 63*(2), 179–194. https://doi.org/10.1080/10962247.2012.738633

Jacob, D. J. (1999). Introduction to atmospheric chemistry. *Princeton University Press*.

Kovalchuk, I., Kovalchuk, O., & Hohn, B. (2001). Biomonitoring the genotoxicity of environmental factors with transgenic plants. *Trends in Plant Science, 6*(7), 306–310. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)01993-0[9]

Lu, X., Zhang, L., Wang, X., Gao, M., Li, K., Zhang, Y., Yue, X., & Zhang, Y. (2018). Rapid increases in warm-season surface ozone and resulting health impacts in China since 2013. *Environmental Science & Technology Letters*, 5(8), 487-494. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00327

Overmyer, K., Brosché, M., & Kangasjärvi, J. (2005). Reactive oxygen species and hormonal control of cell death. *Trends in Plant Science*, 8(7), 335-342. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(03)00135-3[7]

Mills, G., Sharps, K., Simpson, D., Pleijel, H., Frei, M., Burkey, K., Emberson, L., Uddling, J., Broberg, M., Feng, Z., Kobayashi, K., & Agrawal, M. (2018).

Closing the global ozone yield gap: Quantification and cobenefits for multistress tolerance. *Global Change Biology*, 24(10), 4869–4893. https://doi.org/10.1111/gcb.14381

Manning, W. J. (2005). Establishing a cause and effect relationship for ambient ozone exposure and tree growth in the forest: Progress and an experimental approach. *Environmental Pollution*, 137(3): 443-454. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.034

Monks, P. S., Archibald, A. T., Colette, A., Cooper, O., Coyle, M., Derwent, R., Fowler, D., Granier, C., Law, K. S., Mills, G. E., Stevenson, D. S., Tarasova, O., Thouret, V., von Schneidemesser, E., Sommariva, R., Wild, O., and Williams, M. L.(2015). Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer, *Atmos. Chem. Phys*., 15, 8889–8973, https://doi.org/10.5194/acp-15-8889-2015.

Morgan, P.B., Ainsworth, E.A. and Long, S.P. (2003). How does elevated ozone impact soybean? A meta-analysis of photosynthesis, growth and yield. *Plant Cell Environ.* 26, 1317–1328. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2003.01056.x

Noctor, G., & Foyer, C. H. (1998). Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1): 249-279. DOI: 10.1146/annurev.arplant.49.1.249. DOI: 10.1146/annurev.arplant.49.1.249

Nowroz, F., Hasanuzzaman, M., Siddika, A., Parvin, K., Caparros, P.G., Nahar, K., Prasad, P.V.V., 2023. Elevated tropospheric ozone and crop production: potential negative effects and plant defense mechanisms. *Front. Plant Sci. 14:124-4515*. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1244515

Pleijel, H., Danielsson, H., Emberson, L., Ashmore, M.R., and Mills. G.)2007). Ozone risk assessment for agricultural crops in Europe: further development of stomatal flux and flux–response relationships for European wheat and potato. *Atmos. Environ*., 41: 3022-3040. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.002

Rao, M. V., Hale, B. A., & Ormrod, D. P. (2013). Amelioration of ozone-induced oxidative damage in wheat plants grown under high carbon dioxide (role of antioxidant enzymes). *Plant Physiology, 161*(1), 384–393. https://doi.org/10.1104/pp.113.227546

Shang, B., Deng, T., Chen, H., Xu, Y., & Feng, Z. (2024). Effects of elevated ozone on physiology, growth, yield and grain quality of rice (*Oryza sativa* L.): An ozone gradient experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 363,* 108858. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108858

Schnell, J. L. (2016). The influence of mid-latitude ozone extremes on crop productivity. *Atmospheric Environment, 146,* 126–135. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.052

Schultz, M. G., Schröder, S., Lyapina, O., Cooper, O. R., Galbally, I., Petropavlovskikh, I., Tarasick, D. (2017). Tropospheric ozone assessment report: Database and metrics data of global surface ozone observations. *Elementa: Science of the Anthropocene, 5,* 58. https://doi.org/10.1525/elementa.244

Tingem, M., Rivington, M., Bellocchi, G., Azam-Ali, S., & Colls, J. J. (2009). Effects of climate change on crop production in Cameroon. *Climate Research, 39*(1), 65–77. https://doi.org/10.3354/cr00784

Van Dingenen, R., Raes, F., Krol, M.C., Emberson, L. and Cofala, J. (2009) The global impact of O_3 on agricultural crop yields under current and future air quality legislation. *Atmos. Environ.* 43, 604–618. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.10.033

Vainonen, J.P. and Kangasjärvi, J. (2015). Plant signaling in acute ozone exposure. *Plant Cell Environ.* 38, 240–252. DOI: 10.1111/pce.12273

Velissariou, D., Barnes, J., Davison, A., & Pfirrmann, T. (1992). Effects of air pollution on *Pinus halepensis* (Mill.): Pollution levels in Attica, Greece. *Atmospheric Environment*, 26(3), 373-380. https://doi.org/10.1016/0960-1686(92)90072-7

U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA). (2020). Integrated science assessment (ISA) for ozone and related photochemical oxidants (EPA/600/R20/012). Link.

Wang, X., Zhang, Y., Hu, Y., Zhou, W., Lu, G., & Liu, X. (2012). Process-based modeling of the impacts of ozone pollution on the photosynthesis and yield of winter wheat in China. *Environmental Pollution*, 162, 223-233. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.11.012

Wittig, V. E., Ainsworth, E. A., Naidu, S. L., Karnosky, D. F., & Long, S. P. (2009). Quantifying the impact of current and future tropospheric ozone on tree biomass, growth, physiology and biochemistry: A quantitative meta-analysis. *Global Change Biology*, 15(2), 396-424. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01774.x

Young, P. J., Archibald, A. T., Bowman, K. W., Lamarque, J.-F., Naik, V., Stevenson, D. S., Tilmes, S., Voulgarakis, A., Wild, O., Bergmann, D., Cameron-Smith, P., Cionni, I., Collins, W. J., Dalsøren, S. B., Doherty, R. M., Eyring, V., Faluvegi, G., Horowitz, L. W., Josse, B., ... Zeng, G. (2013). Pre-industrial to end 21st century projections of tropospheric ozone from the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP). *Atmospheric Chemistry and Physics, 13*(4), 2063–2090. https://doi.org/10.5194/acp-13-2063-2013

Zhu, J., & Liang, X.-Z. (2013). Impacts of the Bermuda high on regional climate and ozone over the United States. *Journal of Climate, 26*(3), 1018–1032. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00170.1

Yoshida, K., Irie, H., Kato, S., Chatani, S., & Morino, Y. (2009). Effects of ozone on the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different nitrogen fertilization regimes. *Environmental Pollution*, *157*(1), 206–212. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.08.018

Zhang, Y., Sun, J., & Feng, Z. (2012). Effects of ozone pollution on yield and quality of winter wheat under flixible sowing dates. Atmospheric Environment, 55: 339-345. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.12.062
Link: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.12.062

Zhou, X., Fu, Y., & Wang, Q. (2011). Effects of elevated ozone concentration on yield of four Chinese cultivars of winter wheat under fully open-air field conditions. *Global Change Biology, 17*(8), 2697–2706. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02415.x