

Vasarinio miežio (*Hordeum vulgare* L.) ir sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) atsparumas ozono poveikiui

Giedrė Kacienė, Elena Mažonaitė

Vytauto Didžiojo universitetas

Šio tyrimo tikslas – ištirti skirtingų ozono koncentracijų poveikį vasarinių miežių (*Hordeum vulgare* L.) ir sėjamųjų žirnių (*Pisum sativum* L.) augimui ir oksidacinio streso stiprumui bei įvertinti augalų atsistatymo galimybes po poveikio. Augalai auginti fitokameroje su automatiškai kontroliuojama aplinka, 7 paras buvo veikiami skirtingomis suminėmis ozono koncentracijomis: nuo 2500 $\mu\text{g m}^{-3}$ h iki 30000 $\mu\text{g m}^{-3}$ h. Pasibaigus poveikiui ir atsistatymo laikui buvo matuojama antžeminės dalies aukštis, sausoji masė bei oksidacinio streso stiprumą parodantis lipidų peroksidacijos intensyvumas. Skirtingos ozono dozės miežių ir žirnių augimą veikė skirtingai. Veikiant didžiausiomis O_3 dozėmis miežių aukštis sumažėjo ~10 %, žirnių – 15–20 % ($p < 0,05$); miežių sausoji masė sumažėjo iki 22 % ($p < 0,05$), tačiau žirnių sausai masei ozonas reikšmingo poveikio neturėjo. Jau mažiausia O_3 dozė sustiprino vasarinių miežių lapų lipidų peroksidaciją. Poveikiui stiprėjant, oksidaciniai pažeidimai tolygiai intensyvėjo ir tik veikiant didžiausiomis dozėmis lipidų peroksidacija toliau nebedidėjo ir buvo ~60 % didesnė nei kontrolė. Tuo tarpu ozono poveikis žirnių lipidų peroksidacijos nesustiprino. Miežių augimo atsistatymo galimybės buvo ženkliai geresnės nei žirnių. Didžiausia ozono dozė veiktų miežių aukščio prieaugis, per atsistatymo laikotarpį, nežymiai skyrėsi nuo kontrolės, o sausos masės prieaugis mažėjo proporcingai gautai ozono dozei. Tuo tarpu žirnių tįstamas augimas ženkliai susilpnėjo, o ozonu veiktų augalų sausoji masė per atsistatymo laikotarpį nepadidėjo. Apibendrinant tyrimo rezultatus galima teigti, kad vasariniai miežiai yra jautresni ozono poveikiui, bet jų atsistatymo galimybės geresnės. Sėjamieji žirniai mažiau jautrūs ozono poveikiui, bet jų atsistatymas žymiai silpnesnis.

Ozonas, oksidacinis stresas, lipidų peroksidacija, vasarinis miežis, sėjamasis žirnis.

Įvadas

Troposferos ozonas – antrinis teršalas, kuris tiesiogiai nepatenka iš jokių emisijos šaltinių, o susidaro fotocheminėse reakcijose, kuriose dalyvauja pirmtakai tokie kaip azoto oksidai (NO_x) ir lakieji organiniai junginiai (LOJ) (Kulkarni et al., 2011). O_3 laikomas fitotoksiškiausiu iš visų oro teršalų (Girgždienė ir kt., 2009; Williamson et al., 2010). O_3 susidarymas ypač palankus vasaros metu veikiant intensyviai Saulės spinduliuotei, aukštai temperatūrai ir aukštam slėgiui, todėl O_3 koncentracija yra aukščiausia per daugumos augalų vegetacijos laikotarpį (Jasinevičienė ir kt., 2013).

Ozono poveikis augalų derliui ir jo kokybei priklauso nuo pirmtakų emisijos, lapų įsisavinimo gebos ir augalo biocheminių gynybos pajėgumų. Jau senai žinoma, kad didelė ozono koncentracija paveikia fiziologines, biochemines augalo savybes ir lemia žemės ūkio augalų derliaus sumažėjimą (Feng, Kobayashi, 2009; Williamson et al., 2010). Manoma, kad vienas iš pagrindinių ozono poveikių yra aktyvių deguonies junginių (ADJ) susidarymas, skatinantis deguonies toksiškumą augalo ląstelėje (Puckette, 2007; Iriti, Faoro, 2008).

Ozonas nepriskiriamas aktyvių deguonies junginių grupei, tačiau vos per žioteles patekęs į apoplastą, reaguoja su vandeniu ir sudaro įvairius ADJ: superoksidą, vandenilio peroksidą, hidroksilo radikalą. Po tiesiogiai ozono sukeltos intensyvios ADJ sintezės, seka antra – lėtesnė, ilgesnė ir sunkiau nuslopinama, ADJ koncentracijos kilimo banga, kylanti dėl fiziologinių procesų, vykstančių mezofilio ląstelėse (fotosintezės bei kvėpavimo, antioksidacinės sistemos ir kt.) sutrikimų (Wohlgemuth et al., 2002; Fiscus et al., 2005; Iriti, Faoro, 2008).

Be oksidacinio streso, ozono sukelti fotosintezės ir angliavandenių pernašos pokyčiai taip pat dažnai lemia žemės ūkio augalų augimo ir derliaus nuostolius. Ozonas slopina fotosintezę mažindamas Rubisco aktyvumą ir koncentraciją, slopindamas Kalvino ciklo reakcijas (dėl

užsivėrusių žiotelių ir sumažėjusios CO_2 koncentracijos) (Krupa et al., 2001; Andersen, 2003; Fiscus et al., 2005; Iriti, Faoro, 2008). Pastebėta, kad ozonas skatina fotosintezės produktų kaupimąsi antžeminėje dalyje, dėl to gali ženkliai nukentėti šaknų bei šakniagumbių augimas (Andersen, 2003; Fiscus et al., 2005; Booker, 2009).

Pažemio ozono poveikis žemės ūkio augalams yra intensyviai tyrinėjamas. Tačiau vis dar mažai yra žinoma apie suminių ozono koncentracijų (AOT 80) – valandinių koncentracijų, viršijančių slenkstinę ribą ($80 \mu\text{g m}^{-3}$) sumos, įtaką žemės ūkio augalams ir ypač jų gebėjimui atsistatyti po ozono poveikio. Taigi šis tyrimas yra skirtas nustatyti skirtingų AOT 80 poveikį vasarinio miežio (*Hordeum vulgare* L.) ir sėjamojo žirnio (*Pisum sativum* L.) augimui bei plazminių membranų lipidų peroksidacijai, o taip pat ištirti ir palyginti augalų atsistatymo po poveikio galimybes.

Tyrimų metodika

Augalai buvo auginami VDU aplinkotyros katedros fitokameroje su automatiškai kontroliuojama aplinka: 14 val. fotoperiodu, 21,5 °C/16 °C dienos/nakties temperatūra, 15000 Lx apšvietimo intensyvumu.

Tiriamieji augalai („Aura DS“ veislės vasariniai miežiai ir „Pinokiai“ veislės sėjamieji žirniai) auginti durpių substrato ir smėlio mišinyje (santykis 2:1), daiginti 4 paras. Sėkloms sudygus buvo pradėtas taikyti ozono poveikis, kuris truko 7 paras. Pasibaigus poveikiui, augalai toliau auginti kontrolės sąlygomis, po 7 parų vertintas jų atsistatymas.

Augalai buvo veikiami suminėmis ozono koncentracijomis (AOT80). Suminė ozono koncentracija yra valandinių koncentracijų, viršijančių tam tikrą slenkstinę ribą, suma. Šiuo metu slenkstinė ozono koncentracijos riba, iki kurios augalai nepatiria neigiamo poveikio, yra $80 \mu\text{g m}^{-3}$ h. Augalai veikti $350 \mu\text{g m}^{-3}$ O_3 koncentracija tokį laikotarpį (dienos metu), kad būtų gautos šios AOT80: 2500 $\mu\text{g m}^{-3}$ h, 5000 $\mu\text{g m}^{-3}$ h, 10000

$\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$, $20000 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$. Poveikio trukmė apskaičiuojama pagal formulę:

$$C_{AOT\ 80} = t * T * (C - 80), \quad (1)$$

čia $C_{AOT\ 80}$ – suminė ozono koncentracija; C – O_3 koncentracija kameroje; t – poveikio laikas, val. per parą; T – poveikio dienų skaičius.

Pasibaigus poveikio ir atsistatymo laikotarpiams, buvo vertinamas antžeminės dalies aukštis, sausoji masė bei oksidacinio streso stiprumą parodantis lipidų peroksidacijos intensyvumas. Sausai masei nustatyti, miežių antžeminė dalis buvo džiovinama termostate $60\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje 5 dienas.

Plazminių membranų oksidacinio streso sukelti pažeidimai buvo nustatomi spektrofotometriškai, pagal lipidų peroksidacijos galutinio produkto – malondialdehido (MDA), koncentraciją, naudojant tiobarbiturinės rūgšties metodą (Blokhina et al., 2003).

Visi tyrimai atlikti trimis pakartojimais, matematinei duomenų analizei bei grafiniam gautų rezultatų pateikimui buvo naudojami programiniai paketai STATISTICA 8 ir MS Excel. Rezultatų vidurkių palyginimui skaičiuota Student'o t-kriterijaus p reikšmė (kai $\alpha = 0.05$).

Rezultatai ir jų aptarimas

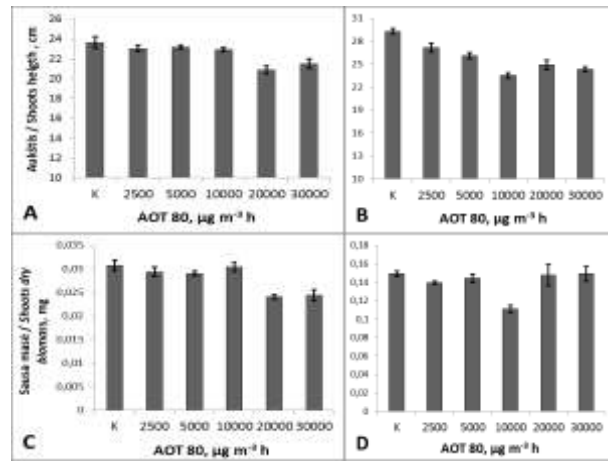
Ozono poveikis augalams

Paveikus miežius ir žirnius skirtinga ozono doze, nustatytas neigiamas poveikis antžeminės augalų dalies augimui. Jau mažiausia ozono dozė slopino augalų tįstamąjį augimą. Tačiau miežiams mažos ir vidutinės O_3 koncentracijos poveikis buvo nežymus ir statistiškai nepatikimas ir tik veikiant didžiausiomis dozėmis ūglių aukštis sumažėjo $\sim 10\%$, lyginant su kontrole ($p < 0.05$) (1 pav. A). Priešingai, žirniams stiprėjantį neigiamą poveikį turėjo mažesnės, $2500\text{--}10000 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$ suminės koncentracijos, tįstamąjį augimą slopinusio iki $\sim 20\%$ ($p < 0.05$), o tolesnis poveikio stiprėjimas silpnesnį atsaką – žirnių aukštis sumažėjo $15\text{--}17\%$ ($p < 0.05$) (1 pav. B).

Sausoji miežių ūglių masė mažėjo proporcingai ozono dozei (išskyrus $10000 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$ atvejį). Stipriausias O_3 poveikis slopino masės augimą $\sim 22\%$ ($p < 0.05$) (1 pav. C). Tuo tarpu žirnių masės augimui ozonas reikšmingos įtakos neturėjo. Tik paveikus $10000 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$ sumine ozono koncentracija pastebėtas žymus (25%) sausos masės sumažėjimas. Tačiau veikiant kitomis O_3 dozėmis sausa žirnių masė iš esmės nesiskyrė nuo kontrolės (1 pav. D). Remiantis sausos masės, pagrindinio augalų augimo rodiklio, pokyčiais galima daryti prielaidą, kad ozonas toksiškiau veikia miežius nei žirnius, kurių masės augimui net ir didžiausios stresoriaus dozės reikšmingos įtakos neturėjo.

Neigiamas ozono poveikis augalų augimui pastebėtas ir kitų autorių tyrimuose. J. Sakaluskaitės su bendraautorais (2010) atlikti ridikėlių tyrimai parodė, kad slenkstinę O_3 koncentraciją viršijančios ozono dozės ($80\text{--}240 \mu\text{g m}^{-3}$) neigiamai veikia augalus. Kaip parodė ir šis tyrimas, augalo atsakas į ozono poveikį priklauso nuo augalo rūšies: genetinių savybių, žiotelių laidumo ir dujų apykaitos ypatumų, biocheminių gynybos pajėgumų

(Fuhrer, 2009). Ozono poveikio augalų rūšims skirtumus gali lemti ir angliavandenių pernašos ypatumai. Dėl smarkiai sustiprėjusio kvėpavimo, pasipriešinimo bei tolerancijos O_3 poveikiui reakcijų, aktyvuojančių Rubisco bei įvairių antioksidantų sintezę, ozonas blokuoja fotosintezės produktų pernašą į šaknis ir skatina jų kaupimąsi antžeminėje dalyje. Dėl to sumažėja šaknų/ūglių masės santykis ir neigiamas poveikis ūgliams pasireiškia silpniau (Andersen, 2003; Fiscus et al., 2005; Booker, 2009).



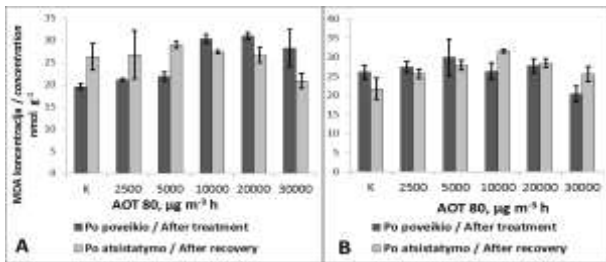
1 pav. Miežių (A, C) ir žirnių (B, D) ūglių aukštis ir sausa masė po O_3 poveikio

Fig. 1. Shoots length and dry biomass of barley (A, C) and pea (B, D) after O_3 treatment

Skirtingos O_3 dozės miežių lapuose sukėlė stipresnę lipidų peroksidaciją palyginti su žirniais. Stiprėjant ozono poveikiui MDA koncentracija miežiuose smarkiai išaugo. Jau veikiant mažiausiai ozono dozei ($2500 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$) MDA koncentracija padidėjo 8% ($p < 0.05$). Didėjant ozono dozei lipidų peroksidacija proporcingai stiprėjo. Tačiau nuo $10000 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$ suminės O_3 koncentracijos, kuriai veikiant MDA kiekis padidėjo $\sim 60\%$ ($p < 0.05$), tolesnis ozono dozės augimas nebesukėlė dar stipresnio atsako (2 pav. A). Žirnių lapų lipidų peroksidacijai esminės įtakos turėjo tik didžiausia O_3 dozė ($30000 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$), tačiau ji MDA koncentraciją sumažino $\sim 22\%$ ($p < 0.05$) (2 pav. B).

Neigiamas ozono poveikis augalams dažniausiai siejamas su lapuose sukeliama oksidaciniu stresu (Wohlgeuth et al., 2002; Fiscus et al., 2005; Iriti, Faoro, 2008). Kadangi O_3 , patekęs į apoplastą sudaro įvairius aktyvius deguonies junginius (ADJ), jautresniuose augaluose šios dujos dažniausiai sukelia stiprų oksidacinį stresą (Kacienė et al., 2015). Augalų toleranciją O_3 poveikiui padidina rūšies ir augimo sąlygų nulemtos savybės, ypač antioksidacinės sistemos pajėgumas nukenksminti ADJ (Timonen et al., 2004; Iriti, Faoro, 2008 ir kt.). Vienas iš pagrindinių antioksidantų, malšinančių O_3 sukeltą oksidacinį stresą yra askorbo rūgštis (vitaminas C). Jo reikšmę lemia tai, kad būtent šis nefermentinis antioksidantas vyrauja apoplaste, kur pirmiausiai yra inicijuojama ADJ sintezė, o kitų antioksidantų beveik neaptinkama. Šiame tyrime nustatytą didesnę miežių jautrumą ozono poveikiui iš dalies gali paaiškinti faktas, kad miežių (taip pat ir kviečių), mezofilio ląstelių sienelės, lyginant su kitais augalais, yra plonos ir apoplaste

askorbatas spėja neutralizuoti tik dalį ADJ, nes jie labai greitai patenka į ląsteles (Kangasjarvi et al., 2005).

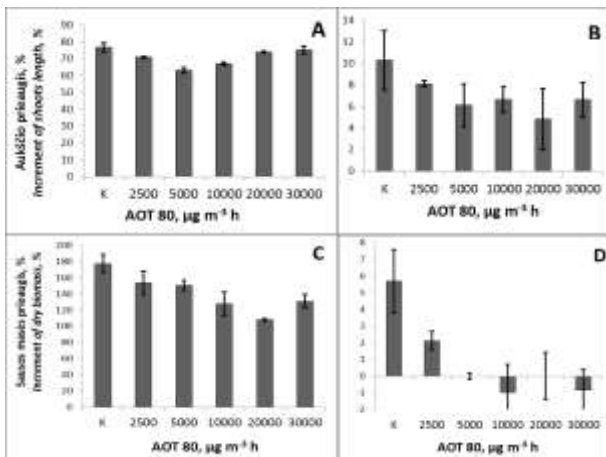


2 pav. MDA koncentracija miežių (A) ir žirnių (B) lapuose po O₃ poveikio ir atsistatymo laikotarpio

Fig. 2. MDA concentration in barley (A) and pea (B) leaves after O₃ treatment and the period of recovery

Augalų atsistatymas po ozono poveikio

Pasibaigus O₃ poveikio laikotarpiui buvo tiriamas augalų gebėjimas atsistatyti po patirto poveikio. Iš 3 pav. pateiktų duomenų matyti, kad ozonu veikti vasariniai miežiai per atsistatymo laikotarpį augo prasčiau nei kontroliniai, tačiau augalų aukščio prieaugis kito neproporcingai ozono dozei. Mažiausias prieaugis buvo būdingas vidutine ozono koncentracija (5000 μg m⁻³ h) veiktiems augalams – 63 %, t.y. 13% mažesnis nei kontrolės (p<0,05). Tuo tarpu didžiausia O₃ doze veiktu miežių aukščio prieaugis nesiskyrė nuo kontrolės (3 pav. A). Priešingai, žirnių aukščio prieaugis mažėjo beveik proporcingai gautai ozono dozei ir 20000 μg m⁻³ h poveikį patyrusių augalų aukščio prieaugis buvo ~5 %, t.y. daugiau nei du kartus mažesnis nei kontrolės (3 pav. B).



3 pav. Miežių (A, C) ir žirnių (B, D) ūglių aukščio ir sausos masės prieaugis per atsistatymo po O₃ poveikio laikotarpį

Fig. 3. Increment of barley (A, C) and pea (B, D) shoots length and dry biomass during the period of recovery after O₃ treatment

Žymiai geresnė miežių atsistatymo tendencija matyti ir iš sausos masės prieaugio: miežių sausos masės prieaugis mažėjo proporcingai ozono dozei (išskyrus didžiausią O₃ koncentraciją), tuo tarpu vidutinėmis ir didelėmis ozono koncentracijomis veikti žirniai sausos masės per atsistatymo laikotarpį iš esmės nepriaugo (3 pav. C ir D).

Vasarinių miežių ir sėjamųjų žirnių lipidų peroksidacijai atsistatymo laikotarpis taip pat turėjo skirtingos įtakos. Miežių kontrolės ir mažesnėmis ozono dozėmis veiktu augalų lipidų peroksidacija per atsistatymo laikotarpį sustiprėjo apie 30 %. Taigi, ozono poveikį patyrę

augalai savo tolesniu oksidacinės būklės vystymusi nesiskyrė nuo kontrolės, o jų lapų lipidų peroksidacijos stiprėjimas greičiausiai buvo sukeltas ne O₃ poveikio, o lapų senėjimo procesų. Tuo tarpu stiprų poveikį patyrę miežiai atsistatė žymiai geriau – jų lapuose oksidacinis stresas netgi susilpnėjo. Didžiausia ozono doze veiktu miežių lipidų peroksidacija susilpnėjo 26 % (2 pav. A). Tai rodo efektyvų atsistatymą po stipraus ozono poveikio: sustiprėjusį gynybinį, antioksidacinį atsaką, nepaisant akivaizdžių oksidacinių pažeidimų, pasireiškusių ekspozicijos metu ir iš karto po poveikio.

Priešingai nei miežių, žirnių kontrolės ir mažesnėmis O₃ koncentracijomis veiktu oksidacinis stresas per atsistatymo laikotarpį susilpnėjo. Kaip ir miežių atveju, tai reiškia ne ozono poveikio padarinius, tačiau normalaus vystymosi eigoje vykstančius pokyčius. Kita vertus, stiprėjant ozono poveikiui, žirniai per atsistatymo laikotarpį patyrė intensyvesnį oksidacinį stresą. Atsistatant po stipriausio O₃ poveikio MDA koncentracija padidėjo ~25 % lyginant su iš karto po poveikio buvusiu verte (p<0,05) (2 pav.). Taigi, žirniai per atsistatymo po stipraus ozono poveikio laikotarpį patyrė stipresnius pažeidimus nei per patį poveikį. Kitų tyrėjų duomenimis, ozono sukeltas oksidacinis stresas gali išlikti net ir poveikiui pasibaigus. Tokiu atveju ADJ sintezę sukelia ne tiesioginės O₃ reakcijos apoplaste, tačiau fiziologinių procesų (fotosintezės, kvėpavimo) sutrikimai ir antioksidacinės sistemos pajėgumo sumažėjimas (Wohlgemuth et al., 2002; Fiscus et al., 2005; Kangasjarvi et al., 2005). Taigi sėjamieji žirniai, nors ir patyrė nereikšmingus oksidacinius pažeidimus stipraus O₃ poveikio metu, pasibaigus poveikiui nesugebėjo išlaikyti pirminio atsparumo ir grįžti iki normalios fiziologinės būklės.

Išvados

1. Didėjanti suminė O₃ koncentracija neigiamai veikė vasarinių miežių ir sėjamųjų žirnių augimą. Miežiai buvo žymiai jautresni ozono poveikiui nei žirniai, kurių ūglių sausoji biomasa iš esmės nepasikeitė net ir veikiant didžiausiomis O₃ dozėmis.

2. Miežių lapuose didėjanti O₃ dozė sukėlė stiprėjančią lipidų peroksidaciją, kurios lygmuo nusistovėjo tik suminei ozono koncentracijai pasiekus 10000 μg m⁻³ h. Tuo tarpu žirnių lapuose net ir didžiausios O₃ dozės oksidacinio streso reikšmingai nesustiprino.

3. Vasarinių miežių atsistatymo po ozono poveikio galimybės, vertintos pagal ūglių antžeminės dalies augimą ir oksidacinių pažeidimų intensyvumą, buvo žymiai geresnės nei sėjamųjų žirnių, kurie po didesnių ozono dozių nesugebėjo atstatyti normalaus augimo ir patyrė stiprėjančius oksidacinius pažeidimus.

Literatūra

- ANDERSEN, OP. Source-sink balance and carbon allocation below ground in plants exposed to ozone. *New Phytologist*, 2003, Vol. 157, p. 213–228.
- BLOKHINA, O., VIROLAINEN, E., FAGERSTEDT, V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 2003, Vol. 91, p. 179–194.
- BOOKER, F., MUNTIFERING, R., MCGRATH, M., BURKEY, K., DECOTEAU, D., FISCUS, E., MANNING, W., KRUPA, S., CHAPPELKA, A., GRANTZ, D. 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*, 2009, Vol. 51, Iss. 4, p. 337–351.
4. CASTAGNA, A., RANIERI, A. Detoxification and repair process of ozone injury: From O₃ uptake to gene expression adjustment. *Environmental Pollution*, 2009, Vol. 157, p. 1461–1469.
 5. FENG, Z., KOBAYASHI, K. Assessing the impacts of current and future concentrations of surface ozone on crop yield with meta-analysis. *Atmospheric Environment*, 2009, Vol. 43, p. 1510–1519.
 6. FISCUS, E., BOOKER, F., BURKEY, K.O. Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. *Plant, Cell and Environment*, 2005, Vol. 28, p. 997–1011.
 7. FUHRER, J. Ozone risk for crops and pastures in present and future climates. *Naturwissenschaften*, 2009, Vol. 96, p. 173–194.
 8. GIRGŽDIENĖ, R., ANDRIEJAUSKIENĖ, J., BYČENKIENĖ, S. Pažemio ozono tyrimai pagal EMEP programą. – Vilnius: Fizikos institutas, 2009, 26 p.
 9. IRITI, M., FAORO, F. Oxidative stress, the paradigm of ozone toxicity in plants and animals. *Water, Air and Soil Pollution*, 2008, Vol. 187, p. 285–301.
 10. JASINEVIČIENĖ, D., GIRGŽDIENĖ, R., KVIETKUS, K., ŠAKALYS, J., VALIULIS, D., ANDRIEJAUSKIENĖ, J., ŽUKIENĖ, J., BURNEIKAITĖ, L. Tolimųjų oro teršalų pernašų iš kitų valstybių poveikio bendram Lietuvos oro baseino užterštumo lygiui ir radiologinės aplinkos bei atmosferos užterštumo radionuklidais Lietuvoje vertinimas. Ataskaita (I dalis). – Vilnius: Fizikos institutas, 2013, 74 p.
 11. KACIENĖ, G., ŽALTAUSKAITĖ, J., MILČĖ, E., JUKNYS, R. Role of oxidative stress on growth responses of spring barley exposed to different environmental stressors. *Journal of Plant Ecology*, 2015, Vol. 8, Iss. 6, p. 605–616.
 12. KANGASJÄRVI, J., JASPERS, P., KOLLIST, H. Signalling and cell death in ozone-exposed plants. *Plant, Cell And Environment*, 2005, Vol. 28, p. 1021–1036
 13. KRUPA, S., MCGRATH, MT., ANDERSEN, CP., BOOKER, FL., BURKEY, KO., CHAPPELKA, A., CHEVONE, BI., PELL, EJ., ZILINSKAS, BA. Ambient ozone and plant health. *Plant Disease*, 2001, Vol. 85 Iss. 1, p. 4–12.
 14. KULKARNI, P.S., BORTOLI, D., SALGADO, R., ANTON, M., COSTA, M.J., SILVA, A.M. Tropospheric ozone variability over the Iberian Peninsula. *Atmospheric Environment*, 2011, Vol. 45, p. 174–182
 15. PUCKETTE, 2007 PUCKETTE M. C., WENG H., MAHALINGAM R. Physiological and biochemical responses to acute ozone-induced oxidative stress in *Medicago truncatula*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2007, Vol. 45, p. 70–79.
 16. SAKALAUŠKAITĖ, J., BRAZAITYTĖ, A., URBONAVIČIŪTĖ, A., SAMUOLIENĖ, G., ŠABAJEVIENĖ, G., SAKALAUŠKIENĖ, S., DUCHOVSKIS, P. Radish plant behaviour under short-term elevated ozone fumigation. *Central European Journal of Biology*, 2010, Vol. 5, Iss. 5, p. 674–681.
 17. TIMONEN, U., HUTTUNEN, S., MANNINEN, S. Ozone sensitivity of wild field layer plant species of Northern Europe. *Plant Ecology*, 2004, Vol. 172, p. 27–39.
 18. WILLIAMSON, J., MILLS, G., FREEMAN, C. Species – Specific effects of elevated ozone on wetland plants and decomposition processes. *Environmental Pollution*, 2010, Vol. 158, p. 1197–1206.
 19. WOHLGEMUTH, H., MITTELSTRASS, K., KSCHIESCHAN, S., BENDER, J., WEIGEL, H. J., OVERMYER, K., KANGASJÄRVI, J., SANDERMANN, H., LANGEBARTELS, C. Activation of an oxidative burst is a general feature of sensitive plants exposed to the air pollutant ozone. *Plant, Cell And Environment*, 2002, Vol. 25, p. 717–726.

Giedrė Kacienė, Elena Mažonaitė

Spring barley (*Hordeum vulgare* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) resistance to ozone impact

Summary

The aim of this study was to investigate the impact of different ozone concentrations for spring barley (*Hordeum vulgare* L.) and field pea's (*Pisum sativum* L.) growth and oxidative stress as well as to assess the recovery opportunities of plants after effects. Plants were grown in phytotron chambers and immediately after emergence were exposed to different sum concentrations of O₃ (varying in the range of 2500–30000 μg m⁻³ h). After the periods of O₃ exposure and recovery, shoots height and dry biomass, as well as intensity of lipid peroxidation (MDA concentration) were measured. Plants growth was affected differently by increasing ozone concentrations. The shoots length was decreased in both plants species. In contrast, dry biomass of barley decreased in line with increasing O₃ concentrations, whereas growth of pea plants was not altered even by the highest doses of the stressor. Similar effect was noticed in lipid peroxidation. Recovery of barley was remarkably better as compared to pea plants. The increment of shoots height was the same as in control plants and growth of dry biomass during the period of recovery decreased in line with increasing O₃ concentration. In contrast, height of pea shoots significantly decreased and accumulation of dry biomass did not occurred at all in plants, exposed to high doses of the stressor. Summarizing the results of this study it can be stated that spring barley is more sensitive to O₃ impact as compared to field pea; however, barley has much higher potential of recovery than pea plants.

Ozone, oxidative stress, lipid peroxidation, spring barley, field pea

Gauta 2016 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2016 m. balandžio mėn.

Giedrė KACIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto, Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros lektorė. Vileikos g. 8-212, LT-44404 Kaunas. Tel. (8 37) 327 904, el. paštas: g.kaciene@gmf.vdu.lt

Giedrė KACIENĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural sciences, Department of Environmental sciences, lecturer. Address: Vileikos str. 8-223, LT-44404 Kaunas. e-mail: g.kaciene@gmf.vdu.lt

Elena MAŽONAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto, Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros studentė. Adresas: Vileikos g. 8-223, LT-44404 Kaunas. el. paštas: elena.mazonaite@fc.vdu.lt

Elena MAŽONAITĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural sciences, Department of Environmental sciences, student. Address: Vileikos str. 8-223, LT-44404 Kaunas. e-mail: elena.mazonaite@fc.vdu.lt