

# Skirtingų vasarinių miežių veislių jautrumas ozonui

Kristina Dėdelienė,

Romualdas Juknys

Vytauto Didžiojo universitetas,

Gamtos mokslų fakultetas,

Aplinkotyros katedra,

Vileikos g. 8, LT-44404 Kaunas

El. paštas: k.dedeliene@gmf.vdu.lt

Tyrimai vykdyti Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto fitokamerų komplekse. Kontroliuojamomis aplinkos sąlygomis tirta septynių vasarinių miežių (*Hordeum vulgare* L.) veislių ('Annabell', 'Henni', 'Scarlet', 'Barkė', 'Jersey', 'Tolar' ir 'Aura') reakcija į priežemio ozono poveikį. Viena dalis tirtų veislių miežių augo kontrolinėje kameroje, kur ozono koncentracija ore sąlygiškai buvo  $0 \mu\text{g m}^{-3}$ , kita dalis tų pačių veislių augalų 9 dienas buvo veikta  $240 \mu\text{g m}^{-3}$  ozono koncentracija. Bandymo pabaigoje nustatytas augalų aukštis, antžeminė biomasė, fotosintezės pigmentų (a, b chlorofilų ir karotinoidų) koncentracija. Gauta, kad  $240 \mu\text{g m}^{-3}$  ozono koncentracija slopino augalų biomasės akumuliaciją ir sutrikdė fotosintezės pigmentų sistemos pusiausvyrą, tačiau skirtingų miežių veislių jautrumas ozono poveikiui buvo skirtingas. Mažiausiu poveikiu pasižymėjo lietuviška miežių veislė 'Aura', o didžiausiu – 'Annabell' veislės miežiai. Tyrimų rezultatai parodė, kad 'Aura', 'Jersey' ir 'Tolar' veislių miežius galima priskirti prie sąlygiškai tolerantiškų, o 'Henni', 'Scarlet' ir 'Annabell' – prie jautrių ozonui.

**Raktažodžiai:** ozonas, vasariniai miežiai, jautrumas, sausoji biomasė, fotosintezės pigmentai

## ĮVADAS

Ozonas yra antrinis teršalas, kuris tiesiogiai į aplinką nepatenka iš jokių emisijos šaltinių, o susidaro fotocheminių reakcijų metu iš savo pirmtakų – daugiausia iš azoto dioksido ir gamtinės bei antropogeninės kilmės angliavandenilių.

Pasauliniu mastu stebima, kad priežemio ozono koncentracija kasmet didėja (Huttunen et al., 2002). Matavimų rezultatai rodo, kad Lietuvoje per pastaruosius 20 metų priežemio ozono koncentracija kasmet padidėjo po  $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$  (Girgždienė, Girgždys, 2003). Ozono koncentracija didžiausia būna pavasarį–vasarą ir vidutinė mėnesio koncentracija gali siekti  $70\text{--}80 \mu\text{g m}^{-3}$ . Vidutinė vienos valandos ozono koncentracija saulėtomis dienomis gali būti  $140\text{--}160 \mu\text{g m}^{-3}$  (Chadyšienė ir kt., 2005).

Tyrimai rodo, kad augalai yra jautrūs ozonui, tačiau augalų reakcija gali būti gana skirtinga ir priklauso nuo augalo rūšies ir aplinkos veiksnių. Priežemio ozono poveikio miško ir lauko augalams tyrimai rodo, kad didesnės koncentracijos ozonas sukelia įvairius išorinius augalų pažeidimus, sulėtina jų augimą bei padidina jautrumą kitiems natūraliems ir antropogeniniams stresoriams (Küppers et al., 1994; Miller et al., 1994; Skärby, 1994).

Ozonas, kaip labai stiprus oksidatorius, sukelia tiesioginius augalų lapų pažeidimus, slopina fotosintezę, pažeidžia ląstelių membranas ir plazmą, sutrikdo medžiagų apykaitos ir informacijos srautus, mažina augalų produktyvumą, skatina senėjimo procesus (Baier et al., 2005; Gielen et al., 2007; Ludwikow et al., 2004; Rao et al., 2000; Wu, von Tiedemann, 2004). Nustatyta, kad jau ir nedidelė ozono koncentracija mažina jautrių augalų augimą, sausąją masę (Krupa, Kirckert, 1989). Tačiau yra ir duomenų, kurie rodo, kad nedidelės ozono koncentracijos poveikis

stimuliuoja augimą ir nesukelia jokių matomų lapų pažeidimų (Pääkkönen et al., 1995).

Dauguma autorių nurodo, kad ozonas mažina chlorofilų ir karotinoidų koncentraciją augalų lapuose (Chen, Gallie, 2005; Morgan et al., 2003; Saitanis et al., 2001). Tyrimais, atliktais su obelimis, nustatyta, kad ozonas turėjo neigiamos įtakos chlorofilų sintezei obelių lapuose ir net naujai besiformuojančiuose lapuose buvo nustatytas reikšmingas fotosintetinių pigmentų koncentracijos sumažėjimas, kai aplinkoje buvo  $160$  ir  $240 \mu\text{g m}^{-3}$  ozono (Sakalauskaitė ir kt., 2006).

Priežemio ozonas neigiamą įtaką turi ne tik augalų augimui, jų fiziologiniams procesams, bet ir derliaus formavimuisi. Daugelio tyrimų, atliktų su ozonu, rezultatai rodo, kad ozonas mažina daugelio ekonomiškai svarbių žemės ūkio augalų derlių (Fangmeier et al., 1994; Kobayashi et al., 1995; Pleijel et al., 1991). Vykdytų tyrimų su liucerna rezultatai parodė, kad augalus paveikus nuo  $40$  iki  $80 \mu\text{g m}^{-3}$  ozono koncentracija, vienos iš tirtų veislių derlius sumažėjo  $14\text{--}26\%$ , o kitos –  $0\text{--}20\%$  (Renaud et al., 1997).

Įvairių autorių duomenys rodo, kad skirtingu jautrumu ozono poveikiui pasižymi ne tik skirtingos augalų rūšys, bet ir jų veislės (Calatayud, Barreno, 2004; Timonen et al., 2004). Todėl mums buvo svarbu patyrinėti, kaip reaguoja į ozono poveikį skirtingos vasarinių miežių veislės. Kadangi dėl ozono kiekio padidėjimo Europoje kasmet prarandama dalis žemės ūkio augalų grūdų derliaus (Семенов и др., 1999), todėl, atlikus vasarinių miežių jautrumo ozonui tyrimus, galima atrinkti veisles, kurios būtų mažiau jautrios ozono poveikiui.

Tyrimų objektu buvo pasirinkti vasariniai miežiai (*Hordeum vulgare* L.) kaip vieni plačiausiai Lietuvoje auginamų miglinių augalų. Šių tyrimų tikslas – nustatyti įvairių šalių selekcijos septynių vasarinių miežių veislių jautrumą priežemio ozono poveikiui.

## TYRIMŲ SĄLYGOS IR METODAI

Ozono poveikis tirtas septynioms vasarinių miežių (*Hordeum vulgare* L.) veislėms: 'Annabell', 'Henni', 'Scarlet', 'Barke' – sukurtos Vokietijos selekcijos ir sėklininkystės firmoje, 'Jersey', 'Tolar' – sukurtos Olandijoje ir 'Aura' – išvesta Lietuvoje. Tyrimai vykdyti Lietuvos sodininkystės ir daržininkystės instituto (LSDI) kontroliuojamos aplinkos kameroje (fitokameroje) 2005 m. Tyrimų metu kameroje buvo palaikomas 16 val. fotoperiodas, 21/17°C dienos / nakties temperatūra. Ozono koncentracija buvo generuojama, naudojant ozono generatorių OSR-8 (Ozone Solutions, Inc.), o koncentracija matuojama ir palaikoma, naudojant ozono monitorių OMC-1108 (Ozone Solutions, Inc.).

Miežiai auginti neutralios reakcijos durpių substrate (pH 6,0–6,5) po 25 vnt. 5 litrų vegetaciniuose induose trimis pakartojimais. Po sėjos augalai vieną savaitę buvo auginami šiltnamyje, paskui perkelti į fitokameras. Kiekvienos veislės augalai buvo padalyti į dvi dalis. Viena tirtų veislių augalų dalis 9 dienas buvo veikta 240  $\mu\text{g m}^{-3}$  ozono koncentracija ir ši koncentracija kameroje buvo palaikoma 7 valandas per dieną, 5 dienas per savaitę. Kita tų pačių veislių miežių dalis augo kontrolinėje kameroje, kurioje ozono koncentracija ore sąlygiškai buvo 0  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Kadangi naudoto ozono monitoriaus matuojama minimali koncentracija buvo 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ , o tyrimų laikotarpiu tokia ozono koncentracija nebuvo pasiekta, todėl kontrolinėje kameroje ozono koncentraciją sąlygiškai laikome 0  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Tą pačią dieną, kai buvo nutrauktas poveikis, išmatuotas augalų aukštis, nustatyta fotosintezės pigmentų koncentraci-

ja. Sausajai biomasei nustatyti augalai 24 val. buvo džiovinami 100°C temperatūroje, pasverti. Chlorofilų ir karotinoidų kiekis nustatytas iš antro miežių lapelio paruošto mėginio spektrofotometriniu būdu 100% acetono ištraukoje pagal Vetšteiną (Wettstein, 1957).

Duomenys statistiškai apdoroti dispersinės ir regresinės analizės metodais. Vidurkiai lyginti pasitelkus t (t-test) ir U (Mann-Whitney U test) kriterijus. Skaičiavimai atlikti StatSoft kompanijos duomenų analizės ir valdymo integruota sistema STATISTICA.

## REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

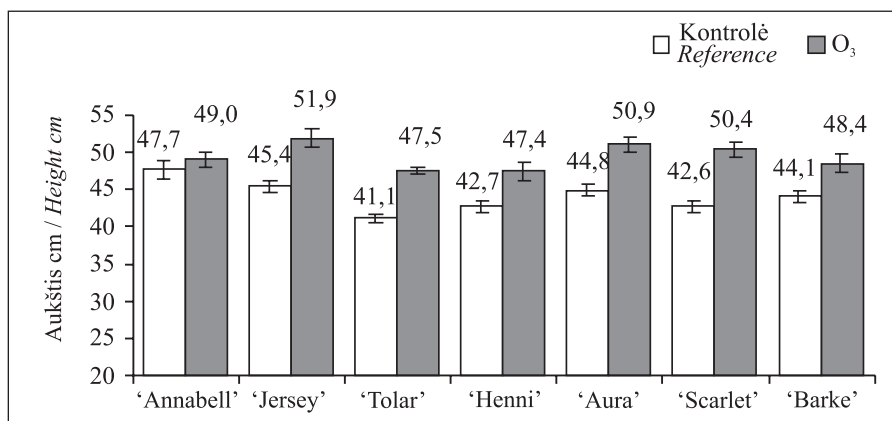
Tirta 240  $\mu\text{g m}^{-3}$  ozono koncentracija padidino visų veislių augalų ūšimą į aukštį (1 pav.). Labiausiai, net apie 20%, ištiso 'Scarlet' veislės augalai, apie 15% už kontrolinėje kameroje augusius augalus buvo aukštesni ir 'Tolar' miežiai. Mažiausias aukščio skirtumas kontrolinėje kameroje augusių ir ozonu paveiktų augalų buvo 'Annabell' veislės (apie 3%).

Visų tirtų miežių veislių sausoji biomasa dėl ozono poveikio ženkliai sumažėjo (2 pav.). Mažiausiai biomasa pakito 'Aura' (19%) ir 'Scarlet' (23%) miežių. Didžiausias sausosios biomasės sumažėjimas dėl ozono poveikio nustatytas 'Barke' (36%) ir 'Annabell' (39%) veislių vasariniams miežiams.

Biomosės sumažėjimas dėl ozono poveikio nustatytas ir kitų rūšių augalams: baltajai balandai (*Chenopodium album* L.) (Pilipavičius ir kt., 2006), tikrajam nosiliui (*Rhinacanthus nasutus* (L.) Kurz) (Sudhakar et al., 2007), daržinei pupelei (*Phaseolus vulgaris* L.) (Burkey et al., 2005).

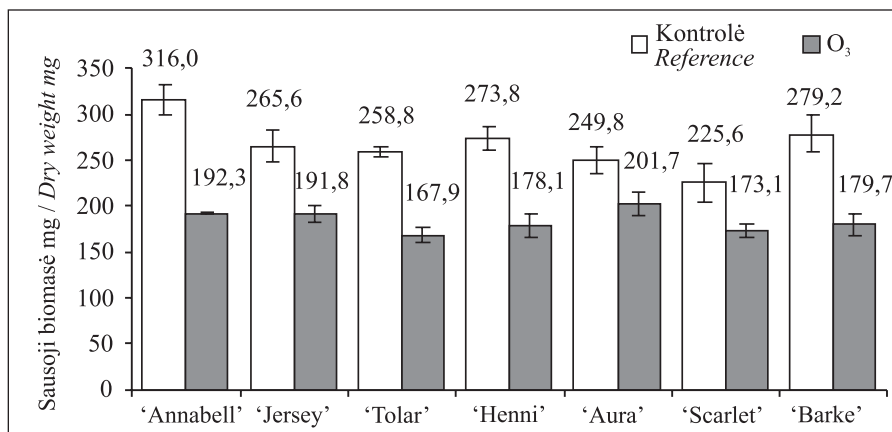
1 pav. Ozonu paveiktų ir kontrolinėje kameroje augusių skirtingų vasarinių miežių veislių vidutinis aukštis cm

Fig. 1. Impact of ozone on the height of different spring barley cultivars cm



2 pav. Ozonu paveiktų ir kontrolinėje kameroje augusių skirtingų vasarinių miežių veislių vidutinė vieno augalo sausoji biomasa mg

Fig. 2. Impact of ozone on dry weight of different spring barley cultivars mg



*Daugiafaktorinės analizės rezultatai.* Pirmiausia buvo tikrinta nulinė hipotezė apie kintamųjų dispersijų lygybę. 1 lentelėje pateikti skaičiavimų rezultatai rodo, kad pirmos rūšies klaidos padarymo tikimybė  $p$  yra didesnė už pasirinktąją praktikoje priimtina reikšmingumo lygmenį  $\alpha = 0,05$ , todėl iškeltos nulinės hipotezės  $H_0$  apie kintamųjų dispersijų lygybę atmesti nėra pagrindo.

1 lentelė. Hipotezės apie dispersijų lygybę tikrinimo rezultatai

Table 1. Box M for homogeneity of variances

Rodikliai Index	Box M	$\chi^2$ Chi-square	Laisvės laipsnių skaičius df	p reikšmė p value
Sausoji biomasė Dry weight	15,167	12,458	13	0,490
Aukštis Height	14,625	12,014	13	0,527

Patikrinus kintamųjų dispersijų lygybę galima atlikti daugiafaktorinę dispersinę analizę, kurios rezultatai leis mums su tikimybe  $P = 0,95$  priimti ar atmesti iškeltas tris nulines hipotezes apie miežių aukščio ir sausosios biomasės priklausomybės nuo veislės ir poveikio bei šių abiejų veiksnių sąveikos nebuvimą. ANOVA / MANOVA moduliui gauti skaičiavimų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

Iš gautų rezultatų su tikimybe  $P = 0,95$  galima teigti, kad iškeltoji nulines hipotezes apie veislės ir ozono poveikio įtakos miežių aukščio ir sausajai biomasei nebuvimą reikia atmesti, nes pirmos rūšies klaidos padarymo tikimybė  $p < \alpha$  rodo, kad apskaičiuotosios F santykio reikšmės (biomasės –  $F = 135,264$ ;  $F = 3,098$ , aukščio –  $F = 53,953$ ;  $F = 3,092$ ;  $p < 0,05$ ) yra didesnės už F skirstinio su atitinkamai 1 ir 28, 6 ir 28 laisvės laipsniais  $\alpha = 0,05$  lygmens kritinę reikšmę. Tai leidžia daryti išvadą, kad abu veiksniai, tiek veislė, tiek ozono poveikis, turėjo statistiškai reikšmingos įtakos vasarinių miežių aukščio ir biomasei. Tačiau nėra pagrindo daryti išvados, kad abiejų šių veiksnių (veislės ir poveikio) tarpusavio sąveika yra statistiškai reikšminga.

Atlikus regresinę analizę nustatyta, kad tarp kontrolinėje kameroje (be poveikio ozonu) augintų vasarinių miežių aukščio ir biomasės yra vidutiniškai stiprūs, teigiami ryšiai. Fišerio kriterijaus (F) faktiška reikšmė yra 23,774, tikimybė  $p = 0,0001$ , todėl minėtą priklausomybę statistiškai patikimai galima aprašyti regresijos lygtimi:

$$\bar{y}_x = -100,453 + 8,327x.$$

Iš šios lygties su tikimybe  $P = 0,95$  galima teigti, kad augalų aukščio padidėjus 1 cm, jų biomasė padidėja 8,327 mg.

Tarp vasarinių miežių, paveiktų ozonu, aukščio ir biomasės nustatyta statistiškai patikima priklausomybė ( $p = 0,005$ ) ir šią priklausomybę galima aprašyti regresijos lygtimi:

$$\bar{y}_x = -66,515 + 5,063x.$$

Iš šios lygties su tikimybe  $P = 0,95$  galima teigti, kad vasarinių miežių aukščio padidėjus vienu vienetu, jų biomasė padidėja 5,063 mg. Tai rodo, kad dėl ozono poveikio pasikeitė augalų aukščio ir jų biomasės ryšys.

*Fotosintezės pigmentų analizės rezultatai.* Miežių lapų fotosintezės pigmentų kiekio tyrimai parodė, kad visos tirtos veislės skyrėsi pajėgumu toleruoti ozono poveikį ir sintetinti chlorofilą (3 lentelė). Visų augalų, augintų nepaveikus ozonu, lapuose chlorofilo a buvo  $1,07-1,44 \text{ mg g}^{-1}$ . Dėl ozono visų tirtų veislių miežių lapuose chlorofilo koncentracija sumažėjo. Daugiausia chlorofilo a, lyginant su kontrole, sumažėjo 'Scarlet', 'Annabell' ir 'Henni' miežių lapuose – atitinkamai 56, 49 ir 48%. Mažiausias neigiamas chlorofilo a pokytis – 32% buvo nustatytas 'Aura' miežių lapuose. Dėl ozono poveikio daugiausia chlorofilo b – 72% – sumažėjo 'Annabell' miežių lapuose. 'Jersey' ir 'Aura' miežių lapuose chlorofilo b sumažėjo mažiausiai ir šie skirtumai, lyginant su kontrole, nebuvo statistiškai patikimi ( $p > 0,05$ ). Bendra chlorofilo a ir b koncentracija dėl ozono poveikio visų tirtų miežių veislių lapuose sumažėjo. Didžiausi pokyčiai nuo kontrolės buvo 'Annabell' (58%), 'Scarlet' (52%) ir 'Henni' (44%) miežių lapuose. 'Aura' miežių lapuose bendra chlorofilo a ir b koncentracija sumažėjo mažiausiai – 31%, lyginant su kontrole. Karotinoidų koncentracija, kaip ir chlorofilų atveju, daugiausia sumažėjo (41%) 'Henni' miežių lapuose. 'Jersey', 'Annabell', 'Scarlet' miežių lapuose karotinoidų kiekis sumažėjo mažiausiai – 20–33%.

Mūsų tyrimai patvirtina kitų autorių duomenis apie toksišką ozono poveikį augalų biometriniais parametrais ir fotosintezės pigmentams. Tyrimų rezultatai parodė, kad skirtingų veislių miežiai į ozono poveikį reagavo skirtingai. Pagal pakitusių biometrinių ir fiziologinių rodiklių dydį, skirtingų miežių veislių jautrumą ozono poveikiui galima suskirstyti taip: 'Aura', 'Jersey' ir 'Tolar' – sąlygiškai tolerantiškos, 'Barke' – vidutiniškai jautri, 'Henni', 'Annabell' ir 'Scarlet' – jautrios. Siekiant minimalizuoti neigiamą ozono poveikį, rekomenduojama auginti vietinės selekcijos vasarinių miežių veislę 'Aura', kuri pasižymėjo gana dideliu atsparumu ozono poveikiui, bei Olandijos selekcijos miežius 'Jersey' ir 'Tolar'.

2 lentelė. Miežių aukščio ir sausosios biomasės priklausomybės nuo veislės ir poveikio dvifaktorinės dispersinės analizės statistinės charakteristikos

Table 2. Statistics of ANOVA: Two factors dependence on cultivar and impact of barley

Veiksniai / Factors	Laisvės laipsnių skaičius / df Effect	F kriterijus / F ratio	p reikšmė / p value
Sausoji biomasė / Dry weight (df Error 28)			
Veislė / Cultivar	1	135,264	0,000
Poveikis / Impact	6	3,098	0,019
Sąveika / Interaction	6	2,028	0,100
Aukštis / Height (df Error 28)			
Veislė / Cultivar	1	53,953	0,000
Poveikis / Impact	6	3,092	0,019
Sąveika / Interaction	6	1,223	0,324

3 lentelė. Ozono poveikis fotosintezės pigmentų koncentracijai skirtingų vasarinių miežių veislių lapuose  $\text{mg g}^{-1}$ Table 3. Impact of ozone on the content of photosynthetic pigments in the leaves of different spring barley cultivars  $\text{mg g}^{-1}$ 

Veislė Cultivar	Variantas Treatment	Chlorofilo koncentracija / Chlorophyll content				Karotinoidų koncentracija Carotenoids content
		a	b	a + b	a / b	
'Annabell'	Kontrolė / Reference	1,44 ± 0,311	0,86 ± 0,512	2,29 ± 0,823	2,54 ± 0,727	0,38 ± 0,008
	O <sub>3</sub>	0,73* ± 0,014	0,24* ± 0,014	0,97* ± 0,026	3,06 ± 0,147	0,27* ± 0,015
'Jersey'	Kontrolė / Reference	1,26 ± 0,078	0,37 ± 0,021	1,63 ± 0,099	3,36 ± 0,051	0,40 ± 0,020
	O <sub>3</sub>	0,72* ± 0,004	0,35 ± 0,008	1,08 ± 0,010	2,25* ± 0,087	0,32 ± 0,010
'Tolar'	Kontrolė / Reference	1,19 ± 0,026	0,36 ± 0,015	1,55 ± 0,039	3,35 ± 0,094	0,40 ± 0,006
	O <sub>3</sub>	0,70* ± 0,068	0,22* ± 0,015	0,92* ± 0,083	3,24 ± 0,105	0,27* ± 0,031
'Henni'	Kontrolė / Reference	1,15 ± 0,081	0,36 ± 0,037	1,51 ± 0,119	3,24 ± 0,099	0,37 ± 0,019
	O <sub>3</sub>	0,60* ± 0,037	0,24* ± 0,022	0,84* ± 0,057	2,54* ± 0,124	0,22* ± 0,006
'Aura'	Kontrolė / Reference	1,07 ± 0,052	0,34 ± 0,025	1,41 ± 0,075	3,18 ± 0,120	0,41 ± 0,012
	O <sub>3</sub>	0,73* ± 0,038	0,25 ± 0,024	0,98 ± 0,061	2,93 ± 0,141	0,27* ± 0,005
'Scarlet'	Kontrolė / Reference	1,17 ± 0,109	0,41 ± 0,028	1,58 ± 0,138	2,80 ± 0,074	0,39 ± 0,028
	O <sub>3</sub>	0,52* ± 0,121	0,23* ± 0,054	0,76* ± 0,161	2,33 ± 0,369	0,26 ± 0,052
'Barke'	Kontrolė / Reference	1,22 ± 0,039	0,37 ± 0,018	1,59 ± 0,056	3,27 ± 0,078	0,38 ± 0,008
	O <sub>3</sub>	0,66* ± 0,075	0,27* ± 0,033	0,92* ± 0,104	2,50* ± 0,185	0,24* ± 0,011

\* Statistiškai patikimi skirtumai nuo kontrolinio varianto ( $p < 0,05$ ).

\* Significant difference at  $p < 0.05$ .

## IŠVADOS

1.  $240 \mu\text{g m}^{-3}$  ozono koncentracija skirtingai padidino visų tirtų veislių augalų tįsimą į aukštį. Labiausiai, lyginant su kontrole, ištiso 'Scarlet' ir 'Tolar' augalai. Mažiausias aukščio skirtumas tarp kontrolinėje kameroje augusių ir ozonu paveiktų augalų buvo 'Annabell' miežių.

2. Tirtų miežių veislių sausoji biomasė dėl ozono poveikio sumažėjo statistiškai patikimai. Mažiausiai (19%) pakito 'Aura', o daugiausia (39%) 'Annabell' vasarinių miežių biomasė.

3. Dispersinė analizė parodė, kad miežių augimas į aukštį ir jų biomasė statistiškai patikimai priklausė nuo veislės ir ozono poveikio, bet šių veiksnių tarpusavio sąveika neturėjo statistiškai reikšmingos įtakos.

4. Chlorofilų a ir b koncentracija beveik visų tirtų veislių miežių lapuose dėl ozono poveikio sumažėjo statistiškai patikimai. Mažiausias pokytis nustatytas 'Aura' vasarinių miežių lapuose (31%), o didžiausias – 'Scarlet' (52%) ir 'Henni' (44%) miežių lapuose.

5. Karotinoidų kiekis, paveikus ozonu, taip pat sumažėjo visų tirtų veislių miežių lapuose. 'Jersey', 'Annabell', 'Scarlet' miežių lapuose karotinoidų kiekis sumažėjo mažiausiai (20–33%), o 'Henni' miežių lapuose – daugiausiai (41%).

6. Tyrimų rezultatai parodė, kad 'Aura', 'Jersey' ir 'Tolar' miežius galima priskirti prie sąlygiškai tolerantiškų, 'Henni', 'Scarlet' ir 'Annabell' – prie jautrių ozonui veislių.

Gauta 2008 05 20

Priimta 2008 10 17

## Literatūra

- Baier M., Kaandlbinder A., Golldack D. et al. Oxidative stress and ozone: perception, signalling and response // Plant, Cell and Environment. 2005. Vol. 28. N 8. P. 1012–1020.
- Burkey K. O., Miller J. E., Fiscus E. L. Assessment of ambient ozone effects on vegetation using snap bean as a bioindicator species // Journal of Environmental Quality. 2005. Vol. 34. P. 1081–1086.
- Calatayud A., Barreno E. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation // Plant Physiology and Biochemistry. 2004. Vol. 42. Issue 6. P. 549–555.
- Chadyšienė R., Girgždienė R., Girgždys A. Ultraviolet radiation and ground-level Ozone Variation in Lithuania // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2005. Vol. XIII. N 1. P. 31–36.
- Chen Z., Gallie D. R. Increasing tolerance to ozone by elevating foliar ascorbic acid confers greater protection against ozone than increasing avoidance // Plant Physiology. 2005. Vol. 138. P. 1673–1689.
- Fangmeier A., Brockerhoff U., Gruters U. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Turbo) grown in open-top chambers to ozone and water stress // Environmental Pollution. 1994. Vol. 83. P. 317–325.
- Gielen B., Löw M., Deckmyn G. Chronic ozone exposure affects leaf senescence of adult beech trees: a chlorophyll fluorescence approach // Journal of Experimental Botany. 2007. Vol. 58. N 4. P. 785–795.
- Girgždienė R., Girgždys A. The Troposphere Ozone – an Indicator of the Environment Sustainability // Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. 2003. Nr. 4(26). P. 45–50.
- Huttunen S., Manninen S., Timonen U. Ozone effects on forest vegetation in Europe. In: Effects of Air Pollution on Forest Health and Biodiversity in Forests of the Carpathian Mountains. Amsterdam–Berlin–Oxford–Tokyo–Washington, 2002. P. 43–49.
- Kobayashi K., Okada M., Nouchi I. Effects of ozone on dry matter partitioning and yield of Japanese cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) // Agriculture, Ecosystems and Environment. 1995. Vol. 53. P. 109–122.

11. Krupa S. V., Kirckert R. N. The greenhouse effect: impacts of ultraviolet-B (UV-B) radiation, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and ozone (O<sub>3</sub>) on vegetation // *Environment Pollution*. 1989. N 61. P. 263–384.
12. Küppers K., Boomers J., Hestermann C. et al. Reaction of forest trees to different exposure profiles of ozone dominated air pollution mixtures // Fuhrer J., Achermann B. (eds.). *Critical Levels for Ozone: A UNECE Workshop Report*. Schriftenreihe der Les Cahiers de la FAC Liebefeld 16. Switzerland, 1994. P. 98–110.
13. Ludwikow A., Gallois P., Sadowski J. Ozone-induced oxidative stress response in *Arabidopsis*: transcription profiling by microarray approach // *Cellular and Molecular Biology Letters*. 2004. Vol. 9. P. 829–842.
14. Miller J. E., Booker F. L., Fiscus E. L. et al. Ultraviolet-B radiation and ozone effects on growth, yield and photosynthesis of soybean // *Journal of Environmental Quality*. 1994. Vol. 23. N 1. P. 83–91.
15. Morgan P. B., Ainsworth P. B., Long S. P. How does elevated ozone impact soybean? A meta-analysis of photosynthesis, growth and yield // *Plant, Cell and Environment*. 2003. Vol. 26. P. 1317–1328.
16. Pääkkönen E., Metsärinne S., Holopainen T. et al. The ozone sensitivity of birch (*Betula pendula*) in relation to the development stage of leaves // *New Phytologist*. 1995. Vol. 132. P. 145–154.
17. Pilipavičius V., Romaneckienė R., Ramaškevičienė A. et al. Effect of UV-B radiation, ozone concentration and their combinations on *Chenopodium album* L. early growth adaptivity // *Žemdirbystė. Mokslo darbai*. 2006. T. 93. Nr. 3. P. 99–107.
18. Pleijel H., Skärby L., Wallin G. et al. Yield and grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L., cv. Drabant) exposed to different concentrations of ozone in open-top chambers // *Environmental Pollution*. 1991. Vol. 69. P. 151–168.
19. Rao M. V., Koch J. R., Davis K. R. Ozone: a tool for probing programmed cell death in plants // *Plant Molecular Biology*. 2000. Vol. 44. P. 345–358.
20. Renaud J. P., Allard G., Mauffette Y. Effects of ozone on yield, growth, and root starch concentrations of two alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars // *Environmental Pollution*. 1997. Vol. 95. N 3. P. 273–281.
21. Saitanis C. J., Riga-Karandinos A. N., Karandinos M. G. Effect of ozone on chlorophyll and quantum yield of tobacco (*Nicotiana Tabacum* L.). // *Chemosphere*. 2001. Vol. 42. N 8. P. 945–953.
22. Sakalauskaitė J., Brazaitytė A., Samuolienė G. ir kt. Obelių fotosintezės sistemos reakcija į ozono sukeltą stresą // *Sodininkystė ir daržininkystė*. 2006. T. 25(2). P. 99–106.
23. Skärby L. Critical levels for ozone to protect forest trees // Fuhrer J., Achermann B. (eds.). *Critical Levels for Ozone: A UNECE Workshop Report*. Schriftenreihe der Les Cahiers de la FAC Liebefeld 16. Switzerland, 1994. P. 74–88.
24. Sudhakar N., Nagendra Prasad D., Mohan N. et al. Effect of ozone on induction of resistance in *Rhinacanthus nasutus* (L.) Kurz. against acute ozone exposure // *Turkish Journal of Botany*. 2007. Vol. 31. P. 135–141.
25. Timonen U., Huttunen S., Manninen S. Ozone sensitivity of wild field layer plant species of northern Europe. A review // *Plant Ecology*. 2004. Vol. 172. P. 27–39.
26. Wettstein D. Chlorophyll latale und der Submikroskopische Formwechsel der Plastiden // *Experimental Cell Research*. 1957. Vol. 12. P. 427–506.
27. Wu Y.-X., von Tiedemann A. Light-dependent oxidative stress determines physiological leaf spot formation in barley // *Phytopathology*. 2004. Vol. 94. P. 584–592.
28. Семенов С. М., Кунина И. М., Кухта Б. А. Тропосферный озон и рост растений в Европе. 1999. 208 с.

Kristina Dėdelienė, Romualdas Juknys

#### OZONE SENSITIVITY OF DIFFERENT SPRING BARLEY CULTIVARS

##### Summary

The experiments were carried out at the phytotron complex of the Lithuanian Institute of Horticulture. Seven spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars ('Annabell', 'Henni', 'Scarlet', 'Bärke', 'Jersey', 'Tolar' and 'Aura') were grown under controlled conditions. Plants were sown and grown in 5 L pots of neutral (pH 6.0–6.5) peat substrate, 25 plants per pot. A photoperiod of 16 h was used, and air temperature of 21 / 17 °C (day / night) was maintained in the phytotron chamber throughout the experiment. One part of seedlings of each cultivar was grown in the reference chamber without ozone treatment, and the other part of barley seedlings was exposed to 240 µg m<sup>-3</sup> ozone concentration. All treatments were run in three replicates. Ozone concentration was generated by an OSR-8 ozone generator (Ozone Solution, Inc.). The height of seedlings was measured, dry over-ground biomass and the concentration of photosynthetic pigments (a, b chlorophylls and carotenoids) were determined at the end of experiment. It was established that exposure to ozone caused a reduction in plant dry biomass and in the concentration of photosynthetic pigments. The least difference from the reference treatment in dry biomass was found for the local 'Aura' cultivar (19%), and the highest reduction in biomass (39%) was characteristic of the 'Annabell' cultivar. According to the study indices, the 'Aura', 'Jersey' and 'Tolar' cultivars were evaluated as most tolerant, while 'Henni', 'Scarlet' and 'Annabell' as most sensitive to ozone impact.

**Key words:** ozone, spring barley, sensitivity, dry biomass, photosynthetic pigments