

Siekiant suvaldyti klimato

Nacionalinės mokslo programos „Agro-, miško ir vandens ekosistemų tvarumas“ projekto „MIŠKOEKOKAITA – skirtingų medžių rūšių ir besiformuojančių miško bendrijų atsakas ir plastiškumas klimato kaitos ir kitų streso veiksnių poveikyje“ tyrimai

Akad. dr. habil. proc. ALFAS PLIŪRA, prof. dr. VYTAUTAS SUCHOCKAS, dr. RITA VERBYLAITĖ

2017 m. spalio 22–26 d. Nacionalinės mokslo programos „Agro-, miško ir vandens ekosistemų tvarumas“ projektą vykdytojai dalyvavome tarptautinėje IUFRO konferencijoje Tokijuje, kur skaitėme pranešimus ir pristatėme tyrimų Fitotrone ir miškuose rezultatus, susipažinome su kitose Azijos ir Europos šalyse atliekamų klimato kaitos ir susijusių veiksnių poveikio atskiroms miško medžių rūšims ir miško ekosistemoms tyrimų rezultatais, aplankėme laboratorijas ir tyrimų objektus miškuose.

Išsibėgėjanti klimato kaita kelia didelius iššūkius miškų ūkiui ir miškotyros mokslui. Klimato kaitos modeliai rodo, kad nors vidutinė oro temperatūra Žemėje padidės gana nedaug, tai sukels temperatūrinius ir kritulių ekstremumus, kurie gali turėti didžiulį poveikį augalijai ir gyvūnijai. Dėl klimato kaitos miško augalijos zonų ekoklimatinės sąlygos turėtų sparčiai kelių šimtų kilometrų per šimtmetį greičiu slinkti į šiaurę, o medžių gamtinės migracijos greitis bus ženkliai mažesnis. Taigi, esamos miško ekosistemos atsidurs skirtingose ekologinėse sąlygose, nei tose, kuriomis jos formavosi. Vykstantys globalūs klimato pokyčiai bei žmogaus ūkinės veiklos sukelti vietiniai aplinkos pokyčiai yra žymiai spartesni nei tie, kurie vyko stipriai keičiantis klimatui poledynmečio laikotarpiu.

Lietuvoje dėl didėjančios temperatūros, CO₂ koncentracijos ir gausėjančių kritulių daugeliui lapuočių medžių rūšių augimo sąlygos turėtų gerėti. Tačiau dėl klimato kaitos susidarantys nepalankūs miško ekosistemoms veiksniai – dažnėjančios šalnos, kaitros ir šalčio bangos, sausros, šiltos žiemos, mažėjanti sniego danga ir įšalo gylis bei dėl oro taršos didėjanti pažemio ozono koncentracija ir ultravioletinis spinduliavimas sukelia medžiams stresą, sutrikdo jų augimo ritmą, vystymąsi, augimą ar net juos pažeidžia. Daugelio medžių sėjinukai yra jautrūs pavasarinėms ir rudens šalnoms, kurios tampa vis dažnesnės ir stipresnės, ypač didelėse kirnavietėse. Be to, žiemos su dažnėjančiais



Tarptautinės IUFRO konferencijos Tokijuje dalyviai

šiltais periodais suardo augalų žiemos ramybės ciklą ir, augalams pradėjus anksčiau sprogti, šalnų pakenkimų pavojus dar padidėja. Dėl to medynų atsikūrimo stadijoje suaktyvėja selekciniai procesai. Palikuonių genotipinė struktūra atsikuriančiuose miškuose taip pat gali stipriai pakisti nušalus vienos ar kitos fenologijos medžių žiedams. Lapuočių medžių rūšys gana jautrios gruntinio vandens lygio svyravimams, o dėl klimato ekstremumų šis svyravimas didėja ir neigiamai įtakoja tiek

jaunus, tiek ir brandžius medžius. Pakilusi temperatūra, šiltos žiemos ir pakitęs drėgnumas sudaro palankias sąlygas epideminiams vietinių ir net invazinių ligų, parazitų išplitimui.

Toks kompleksinis stresinis poveikis gali sukelti ne tik rūšių fiziologinius, sezoninio vystymosi ir augimo pokyčius, bet per intensyvejančią natūraliąją atranką ir populiacijų genetinės struktūros pokyčius, sumažinti genetinę įvairovę ir kartu populiacijų tolesnės genetinės adaptacijos ir

kaitos poveikį miškams

evoliucijos galimybes. Kadangi skirtingos medžių rūšys nevienodai jautrios įvairių aplinkos veiksnių poveikiui, atskiros rūšys turėtų nevienodai nukentėti dėl klimato kaitos. Prognozuojama, kad labiausiai neigiamą poveikį turėtų pajusti spygliuočių medžių rūšys ir jų išplitimo arealo pietinė riba neišvengiamai trauksis į šiaurės regionus. Silpstant vienoms medžių rūšims, vyks rūšių konkurencijos pokyčiai ir keisis esamų miško ekosistemų sudėtis, struktūra bei funkcionavimas. Vis dažnėjant su klimato kaita susijusių abiotinių (audros, gaisrai) ir biotinių (kenkėjų ir ligų epidemijos) trikdžių mastams ir dažniui, iškilis realus pavojus esamų miško ekosistemų tvarumui, mūsų hemiborealiniams miškams būdingoms sėkmesijoms (rūšių kaitai), pilnaverčiam miškų atsikūrimui ir jų genetinei įvairovei. Vėjo, gaisrų ir ligų pažeistose ekosistemose gali sumažėti karkasinių ir susijusių augalų rūšių efektyvusis populiacijų dydis (derančių individų skaičius) ir kartu genetinė įvairovė, kurios gali nebepakakti rūšių fiziologinei ir genetinei adaptacijai, populiacijų tvarumui išlaikyti ir genetiškai pilnaverčiam atsikūrimui užtikrinti.

Kokios yra miško medžių rūšių adaptacijos naujoms sąlygoms galimybės?

Įvairiose šalyse atliekama nemažai miško ekosistemų dinamikos tyrimų, kuriuose analizuojamas įvairių gamtinių ir antropogeninių trikdžių poveikis miško ekosistemų tvarumui ir vystymuisi, genetinei ir visai biologinei įvairovei, pabrėžiant, kad vidutinio stiprumo trikdžiai yra būtini ekosistemų vystymuisi ir atsikūrimui, tačiau stiprūs trikdžiai jas suardo (Attvil 1994, Bengtsoon et al 2000, Schulze et al 2007, Linder et al 2010, Bollmann and Braunisch 2013 ir kt.). Bet dar nedaug žinoma, kaip atskiros medžių rūšys ir jų bendrijos sugeba adaptuotis prie besikeičiančių ar stresinių aplinkos sąlygų, kurios jų yra geriausiai išvysčiusios streso indukuojamų pažeidimų eliminavimo mechanizmus. Taip pat nėra atskleistas medžių fiziologinės apsaugos strategijos mechanizmas reaguojant į pavienius ir

kartu veikiančius adityviškai arba net sinergiškai – vienas kito nepalankų poveikį stiprinančius aplinkos veiksnus. Trūksta žinių ir apie tai, kaip ir kiek fenotipinis plastiškumas, ekologinis atsakas, genetinė įvairovė ir evoliucinė adaptacija leis rūšims prisitaikyti prie naujų aplinkos sąlygų.

Trumpalaikis prisitaikymas gali būti pasiekiamas per fiziologinį, fenotipinį ir morfologinį plastiškumą. Pavyzdžiui, kai medžiai nepalankiomis sąlygomis sumažina dujų apykaitą ar išgarinimą, užverdami žiotelės lapuose ar net numesdami lapus, sulėtindami augimą ar keisdami morfologiją. Čia dažnai pasireiškia epigenetiniai reiškiniai – adaptaciniai pokyčiai pasikeitusios aplinkos sąlygoms ar dėl stresorių poveikio vyksta dėl genų raiškos pokyčių. Populiacinės adaptacijos atveju dėl nepalankių sąlygų iškristų dalis mažiau atsparių genotipų ir populiacija jau toje pačioje generacijoje taptų kiek labiau prisitaikiusi. Biocenotinės adaptacijos atveju iš miško ekosistemose jau kitoje kartoje gali nelikti dalies medžių rūšių – vyks sėkmesijos. Tačiau ilgalaikę genetinę adaptaciją dideliems aplinkos pokyčiams ir net rūšies evoliuciją gali užtikrinti tik genetinė variacija ir natūrali atranka. Genetinės adaptacijos procesai lėtesni – reikia vienos ir daugiau generacijos pasikeitimo, kad dėl gamtinės atrankos iškristų menkai prisitaikę genotipai, o geriau prisitaikę išplistų. Epigenetiškai reguliuojamas fenogenetinis plastiškumas (genetinė variacija pagal ekologinį atsaką) yra taip pat adaptacijai labai svarbi genetinės variacijos dalis. Genetinės variacijos pokyčiai klimato kaitos sąlygomis sunkiai prognozuojami. Dalis genetinės variacijos gali būti prarasta dėl žūvančių genotipų, dalis – dėl požymių raiškos sumažėjimo nepalankiomis aplinkos sąlygomis. Tačiau genetinė variacija gali ir padidėti. Pavyzdžiui, dėl retų mutacijų išplitimo, atskirų požymių raiškos padidėjimo bei dėl epigenetinių reiškinų – požymių pokyčio dėl genų įjungimo ar išjungimo bei jų aktyvumo pokyčių ir sudaryti geresnes galimybes atrankai ir adaptacijai.

Lietuvoje vykdomi klimato kaitos poveikio miškams tyrimai

Įvairiapusiai klimato kaitos poveikio miško ekosistemoms tyrimai šiuo metu yra vykdomi trijuose Nacionalinės mokslo programos „Agro-, miško ir vandens ekosistemų tvarumas“ projektuose LAMMC Miškų institute, Aleksandro Stulginskio ir Vytauto Didžiojo universitetuose. LAMMC Miškų institute vykdomas šios Nacionalinės mokslo programos projektas „MIŠKOEKOKAITA: skirtingų medžių rūšių ir besiformuojančių miško bendrijų atsakas ir plastiškumas klimato kaitos ir kitų streso veiksnių poveikyje“ (Nr. SIT-4/2015, 2015-2018 m.).

Projekto MIŠKOEKOKAITA tikslas – ištirti septynių ūkiniu požiūriu svarbiausių miško medžių rūšių ir jų populiacijų atsaką, plastiškumą ir konkurencijos pokyčius padidintos temperatūros, drėgmės ir CO₂ koncentracijos sąlygomis ir stresinių veiksnių – šalnų, karščio bangų, sausrų, padidinto UV intensyvumo ir ozono koncentracijos kompleksiniame poveikyje miško bendrijų atsikūrimo ir formavimosi stadijoje juveniliniame amžiuje ir tuo pagrindu parengti rekomendacijas miško ekosistemų tvarumui užtikrinti.

Ekologiniu požiūriu rizikingiausių gamtinių ar antropogeninių trikdžių suardytų miško ekosistemų (vėjovartų, gaisraviečių, plynų kirtaviečių bei apleistų žemės ūkio plotų) atsikūrimas vyksta dideliuose atviruose plotuose, kurie veikiami kontrastingų temperatūrų dienomis ir naktimis, drėgmės režimo sutrikdymo, intensyvesnės UV spinduliuotės ir padidėjusios pažemio ozono koncentracijos ir kt., kurių intensyvumas klimato kaitos sąlygomis dar padidėja. Atsikūrimo stadijoje miško ekosistemos yra jautriausios ir lengviausiai pažeidžiamos. Jų atsikūrimo eiga iš esmės apsprendžia naujai besiformuojančios miško bendrijos tipą, struktūrą ir būsimą tvarumą. Todėl tyrimai šioje ekosistemų degradacijos ir atsikūrimo stadijoje yra ypač aktualūs ir svarbūs. Ekosistemų persitvarkymas yra daugiaplanis procesas, kur streso veiksniai veikia integruotai. Tačiau iki šiol dauguma medžių

tyrimų stresorių ar patogenų poveikyje klimatinėse kamerose Lietuvoje ir užsienyje vykdomi paprastai tik veikiant kuriuo nors vienu stresiniu veiksniu ir tik atskiroms rūšims. Projekte „MIŠKOEKOKAITA“ tiriamas įvairių stresorių komplekso poveikis ir tyrimai apima net septynias pagrindines Lietuvos medžių rūšis. Tyrimai atliekami skirtingų mokslo šakų sandūroje: genetikos, miškotyros, augalų ekologijos, fiziologijos ir fitopatologijos. Jie teikia naujų žinių apie skirtingų bioekologinių savybių medžių rūšių ir jų besiformuojančių bendrijų bei populiacijų ekotaksą ir plastiškumą sąryšyje su aplinkos sąlygų stresiškumu, augimo ritmu skirtingomis gamtinėmis ir fitotrone sukuriamaomis kompleksinėmis stresinėmis aplinkos sąlygomis, miško bendrijų atsikūrimo ir genetinės įvairovės dinamiką klimato kaitos ir kitų stresorių poveikyje ekologiškai rizikingiausiose trikdžių paveiktose atsikuriančiose miško ekosistemose.

Projekto „MIŠKOEKOKAITA“ tyrimų uždaviniai:

1. Nustatyti skirtingų medžių rūšių – paprastojo ąžuolo, paprastojo uosio, paprastosios pušies, paprastosios eglės, karpotojo beržo, juodalksnio ir drebulės ir jų populiacijų atsaką ir plastiškumą pagal kompleksą rodiklių: augimo spartą, sezoninio vystymosi ritmą (fenologiją), fiziologinius parametrus, sanitarinę būklę (ligų pažeidimus) ir kt. su klimato kaita susijusių abiotinių veiksnių kompleksiniame poveikyje klimatinėse kamerose;

2. Ištirti atskirų medžių rūšių vidurūšinės ir tarprūšinės konkurencijos pokyčius ir pasekmes individualiam ir bendrijų vystymuisi, augimui ir rūšinei įvairovei su klimato kaita susijusių abiotinių veiksnių kompleksiniame poveikyje, imituojant sudėtinį miško bendrijų kūrimąsi klimatinėse kamerose;

3. Ištirti ir palyginti skirtingų medžių rūšių natūraliai besiformuojančių miško bendrijų augimo, konkurencijos ir biologinės įvairovės specifiką gamtinių stresorių poveikyje ekologiškai rizikingiausiose skirtingų trikdžių paveiktose gamtinėse buveinėse: vėjovartų, kirtaviečių ir ligų suardytose miško bendrijose bei apleistuose žemės ūkių plotuose,

gautus duomenis palyginant su klimatinėse kamerose gautais rezultatais;

4. DNR mikrosatelitinių žymenų metodu ištirti atsikuriančių ir besiformuojančių miško bendrijų karkasinių medžių rūšių genetinę įvairovę ekologiniu požiūriu rizikingiausiose trikdžių paveiktose kartinėse gamtinėse buveinėse įvertinant jos pakankamumą tvarioms populiacijoms suformuoti;

5. Nustatyti skirtingų dirbtinių ir gamtinių adaptacinių aplinkų selektyvumą, atskleidžiantį rūšių, jų formuojamų bendrijų bei populiacijų skirtumus pagal atsaką, plastiškumą, konkurencingumą ir genetinę įvairovę;

6. Parengti miškininkystės praktikos adaptavimo rekomendacijas miško ekosistemų tvarumui užtikrinti.

1. Skirtingų medžių rūšių ir populiacijų ekotaksas ir plastiškumas su klimato kaita susijusių abiotinių veiksnių kompleksiniame poveikyje tiriami, imituojant miško medžių bendrijų formavimąsi dirbtinėmis aplinkos sąlygomis LAMMC Miškų instituto Fitotrone klimatinėse kamerose (1 pav.), taikant 4 kompleksinio poveikio variantus:

- a) kontrolinis lauko sąlygomis;
- b) padidintos temperatūros (T), drėgmės (Dr) ir anglies dvideginio (CO₂) koncentracijos sąlygomis;
- c) padidintos T, Dr ir CO₂ sąlygomis ir stresinių veiksnių – šalnų, karščio bangų ir sausrų poveikyje;

d) padidintos T, Dr ir CO₂ sąlygomis ir stresinių veiksnių – padidintų UV spinduliuotės intensyvumo ir ozono koncentracijos poveikyje;

e) padidintos T, Dr ir CO₂ sąlygomis ir stresinių veiksnių šalnų, karščio bangų, sausrų, padidintų UV ir ozono poveikyje.

Šiose klimatinėse kamerose konteinieriuose auginami ir testuojami 2–4 metų paprastojo ąžuolo, paprastojo uosio, paprastosios pušies, paprastosios eglės, karpotojo beržo, juodalksnio ir drebulės sodinukai, atstovaujantys po tris populiacijas iš skirtingų Lietuvos miško gamtinių regionų. Sudarytos 7 vienarūšės ir 3 mišrios dirbtinės juvenalinės medžių bendrijos (po 500 vnt., iš viso 5000 medelių). Atsakas ir plastiškumas tiriamas pagal kompleksą rodiklių: augimo spartą, sezoninio vystymosi ritmą (fenologiją), įvairius fiziologinius ir biocheminius parametrus, ligų pažeidimus ir kt.

2016 m. tyrimais nustatyta patikima poveikių karščiu-drėgme ir karščiu-sausra įtaka medžių augimui, fiziologiniams ir biocheminiams rodikliams: aukščio ir skersmens priaugui, aukščio ir skersmens santykiui, defoliacijai, išlikimui, žiotelių pralaidumui, vidiniam vandens naudojimo efektyvumui (WUE), chlorofilo a ir b kiekiui bei chlorofilo a/b santykiui, karotenoidų, malonildialdehido (MDA) ir vandenilio peroksido (H₂O₂) kiekiui lapuose ir spygliuose. Tiek karštis-drėgmė, tiek karštis-sausra labiau neigiamai atsiliepė medžių skersmens nei aukščio priaugui,

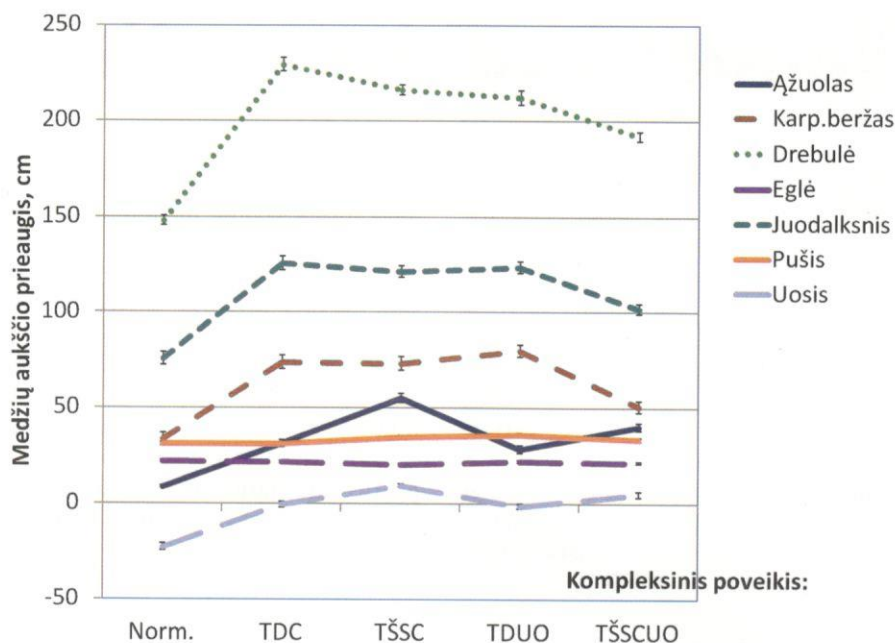
1 pav. Pagrindinių medžių rūšių ir jų populiacijų palikuonių bandymai LAMMC Miškų instituto Fitotrone



todėl pakito ir aukščio, ir skersmens santykis. Karštis-sausra daugeliui rūšių sukėlė stiprią defoliaciją. Sausra neigiamai paveikė ir fotosintetinių pigmentų koncentracijas bei jų proporcijas. Tai kartu su padidėjusiomis medelių išskiriamų MDA ir H_2O_2 koncentracijomis rodo, jog medžiai dėl sausros patiria oksidacinį stresą. Nustatyti dendrometrinių, fiziologinių ir biocheminių rodiklių pokyčiai indikuoja nemažą medžių atsaką ir fenotipinį plastiškumą, tačiau išlieka neaišku, ar jis yra adaptacinio pobūdžio, ar tik atspindi medžių fiziologinės būklės pablogėjimą.

Tyrimai parodė, jog tirtos medžių rūšys pasižymi savito pobūdžio ir stiprumo specifiniu biocheminiu, fiziologiniu, morfologiniu ir prieaugio atsaku į kompleksinį stresorių poveikį. Po karščio-sausros poveikio daugelio medžių rūšių aukščio ir skersmens prieaugiai, lyginant su kontrole, sumažėjo, o paprastojo ąžuolo ir juodalksnio aukščio prieaugiai po karščio-drėgmės ir karščio-sausros net padidėjo. Tai gali padidinti šių rūšių konkurencingumą šiltėjant klimatui. Karščio-sausros sąlygomis didžiausia defoliacija pasižymėjo pionierinės lapuočių medžių rūšys – drebulė, juodalksnis ir karpotasis beržas. Normaliomis sąlygomis intensyviausia fotosinteze pasižymėjo drebulė, beržas ir juodalksnis, tačiau, lyginant su kitomis tirtomis medžių rūšimis, jų fotosintezės intensyvumas dėl karščio-sausros poveikio sumažėjo labiau, dėl to labiausiai sumažėjo ir jų aukščio prieaugis.

Kaip indikuoja karščio-sausros poveikyje padidėjęs H_2O_2 juodalksnio ir uosio lapuose ir pušies bei eglės spygliuose, šios rūšys yra jautriausios sausros stresui. Medžių rūšys, kurios pasižymėjo didžiausia transpiracija įprastomis sąlygomis – juodalksnis, beržas ir drebulė, taip pat pasižymėjo savita stipria reakcija į sausrą. Jos karščio-sausros sąlygomis ypač stipriai sumažino transpiraciją bei numetė daug lapų, kartu labai sumažėjo fotosintezės intensyvumas. Po karščio-sausros poveikio eglė, pušis ir beržų vandens naudojimo efektyvumas buvo mažesnis nei po karščio-drėgmės poveikio ir kontrolėje, o drebulių, juodalksnių ir ąžuolų – didesnis. Pagal daugiamatę faktorinę analizę labiausiai tarpusavyje ir nuo kitų rūšių išsiskyrė drebulės, juodalksnio ir beržo populiacijos, kas rodo jų ekologinės elgsenos išskirtinumus. Pušies ir eglės populiacijos susigrupavo arti vienos kitų pagal pirmąjį



2 pav. Skirtingų medžių rūšių aukščio prieaugis 2016–2017 m. Fitotrone priklausomai nuo kompleksinio poveikio skirtingų veiksnių kombinacijomis (T – padidinta temperatūra, D – padidinta drėgmė, Š – šalna, C – padidinta anglies dvideginio koncentracija, U – padidinta UV-B spinduliuotė, O – padidinta ozono koncentracija)

faktorių. ąžuolo ir uosio populiacijos susigrupavo pagal pirmąjį ir antrąjį faktorius, kas rodo jų panašią ekologinę elgseną.

Nustatytas reikšmingas populiacinis bei populiacijų ir bandymų sąveikos (GxE) efektai, rodantys, kad populiacijos, kaip ir medžių rūšys, pasižymi specifiniu, tačiau mažiau besiskiriančiu atsaku į tirtų stresinių sąlygų poveikį. Vertinant kiekvienos populiacijos plastiškumą ir ekvalentingumą pagal aukščio prieaugį, nustatyta, kad penktadalis populiacijų labiau keitė rangus po skirtingų bandymų ir esminiai prisidėjo prie GxE sąveikos su 11,1–21,4 proc. ekvalentingumu.

2017 m. tęsiamais tyrimais nustatyta patikima skirtingų teigiamai ir neigiamai veikiančių veiksnių komplekso poveikio įtaka augimui, fiziologiniams ir biocheminiams rodikliams. Lyginant su kontrole, lapuočių medžių rūšių aukščio prieaugis padidėjo padidintos temperatūros, drėgmės ir CO_2 koncentracijos sąlygomis (TDC poveikio variantas, 2 pav.). Paveikus dirbtine šalna ir vasaros sausra (TŠS poveikio variantas), visų medžių rūšių prieaugis buvo nežymiai mažesnis, nei padidintos drėgmės sąlygomis, o ąžuolo ir uosio – net padidėjo. Tai rodo, jog pastarųjų rūšių medeliai geriau toleruoja šalnas, o mažesnė drėgmė palanki augimui. Pagal pavasario šalnų pažeidimus medžių rūšys išsirikiavo tokia mažėjančia tvarka: uosis,

ąžuolas, eglė, pušis, drebulė, juodalksnis ir beržas. Padidinta UV-B spinduliuotė ir ozono koncentracija (TDUO poveikio variantas) stipriai pažeidė ąžuolo, uosio, drebulės ir juodalksnio lapus, dėl to jų prieaugis ženkliai sumažėjo. Paveikus pilnu stresorių kompleksu (TŠSCUO poveikio variantas), drebulės, juodalksnio ir beržo prieaugis dar ženkliau sumažėjo, bet ąžuolo ir uosio – padidėjo. Šiomis sąlygomis visų lapuočių prieaugis išliko didesnis, nei kontrolinėmis lauko sąlygomis. Pušies ir eglės medelių aukščio prieaugį mažai įtakojo poveikis skirtingais stresoriais.

Pagal medelių skersmens prieaugį nustatyti panašūs dėsniniai, tik minkštųjų lapuočių skersmens prieaugis mažai kito, lyginant su prieaugiu kontrolinėmis sąlygomis. Taigi, prognozuojamas klimato šiltėjimas (iki $6\text{ }^{\circ}\text{C}$) ir CO_2 koncentracijos didėjimas (dvigubas – iki 700 ppm), net ir veikiant papildomiems stresoriais – šalnomis, karščio bangoms, sausroms, dvigubai padidintoms UV-B spinduliuotei ir ozono koncentracijai, bus palankus lapuočių medžių augimui – didins jų prieaugį ir konkurencinį pajėgumą, lyginant su spygliuočiais. Nors medienos prieaugiui miškuose tai atsilieptų teigiamai, tačiau vyktų rūšių sukcesijos medynuose ir žėlinuose.

(tęsinys kitame numeryje)