

Evaluarea toleranței la șocul termic a frunzelor speciilor spontane de stejar din diferite zone ale Republicii Moldova cu ajutorul metodei de fluorescență a clorofilei

P. Cuza, Gh. Florență, Al. Dascaluic

Cuza P., Florență Gh., Dascaluic Al. 2021. Assessment of the heat shock tolerance of spontaneous oak species leaves from different areas of the Republic of Moldova using the chlorophyll fluorescence method. Bucov. For. 21(1): 9-17.

Abstract. In the current climate warming conditions, the role of researches that refers to the appreciation of thermal stress factors' action on the possible changes in the spread of oak species in the future increases. The response of plants to the heat shock includes avoiding stress factors and the physiological and biochemical mechanisms of recovering the injuries caused to the leaf tissues. The recovery of the functional state of photosystem II of the oak leaves exposed to heat shock manifested itself at a maximum level during their subsequent incubation in optimal conditions. Oak species have developed specific strategies to adapt to the action of high temperatures. The downy oak is the most thermotolerant spontaneous oak species spread in the Republic of Moldova. After excluding the influence of the mechanisms that determine the avoidance/diminution of the high temperatures absorption, the leaves of downy oak have shown higher sensitivity to heat-shock than those of pedunculate and sessile oak. Depending on the acclimation of leaves to high temperatures, the species of pedunculate oak showed increased adaptation to northern, sessile oak – to the central, and downy oak – to the southern region conditions of the Republic of Moldova, respectively.

Keywords: heat shock, leaves, photosystem II, recovery, acclimation, *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*.

Authors. Petru Cuza (petrucuza@mail.ru), Gheorghe Florență - Moldova State University, str. Alexei Mateevici, 60 Chișinău, Moldova; Alexandru Dascaluic - The Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plant, Strada Pădurii 20, Chișinău 2002, Moldova.

Manuscript received February 17, 2021; revised March 25, 2021; accepted April 15, 2021; online first May 17, 2021.

Introducere

Clima Republicii Moldova se caracterizează prin ierni blânde și scurte, veri calde de lungă durată, cu o cantitate scăzută de precipitații. În ultimele decenii, în timpul verii, a crescut

frecvența perioadelor cu secete de lungă durată, cu intensități mari ale radiației solare și temperaturi care pot atinge 40-45°C. Aceste condiții climatice specifice determină stresuri puternice speciilor de arbori, precum și celor de stejar (Rennenberg et al. 2006). Tem-

peraturile peste 40°C pot determina necroze ale frunzelor și îngălbenirea lor prematură (Schreiber & Berry 1977). Dintre funcțiile celulare, procesul de fotosinteză este apreciat ca unul de sensibilitate sporită față de acțiunea temperaturilor ridicate (Berry & Björkman 1980). Acestea pot provoca daune directe proceselor fotochimice ale fotosistemului II, ceea ce poate condiționa denaturarea proteinelor cloroplastelor. De asemenea, fluiditatea membranelor tilacoidelor poate spori până la niveluri foarte ridicate (Yordanov 1992, Ducruet et al. 2007), în cazuri critice determinând moartea celulelor și a plantei în întregime.

Iată de ce evaluarea corectă a rezistenței termice a speciilor forestiere este o problemă deosebit de importantă pentru domeniul silvic, mai ales în contextul tendinței actuale de încălzire climatică. Cunoașterea nivelului de termotoleranță permite selectarea și folosirea adecvată a speciilor și genotipurilor destinate împăduririi.

Există mai multe metode de evaluare accelerată a rezistenței plantelor la acțiunea temperaturilor ridicate. În prezent, se aplică pe larg diverse metode biofizice (Dascaluic et al. 2007, Bi et al. 2016), fiziologice (Alexandrov & Kisliuk 1994, Dascaluic ș.a. 2007, Cuza, 2010) și biochimice (Ramagopal 1987, Sgobba et al. 2015) care permit aprecierea stării plantelor după expunerea lor la doze variate ale șocului termic. Urmare a complexității proceselor implicate în aprecierea răspunsului plantelor la factorii de stres termic, mai multe probleme practice rămân încă nesoluționate. Rezistența plantelor față de stresul termic depinde de procese care se desfășoară la diferite nivele de organizare (Alexandrov & Kisliuk 1994, Beck et al. 2007), etape ale ontogenezei plantelor (Alexandrov & Kisliuk 1994, Cuza 2009), precum și de parametrii fizici ai factorului de stres (Levitt 1980, Bohnert et al. 1995, Dascaluic et al. 2007, Li et al. 2009).

Influența temperaturilor ridicate asupra stării plantelor este determinată specific de valoarea temperaturii (factorul intensiv) și

durata de expoziție (factorul extensiv) (Levitt 1980, Dascaluic & Cuza 2008). Supraviețuirea plantelor în condiții de arșiță depinde de rezistența inițială (rezistența intrinsecă), reparația deteriorărilor (Dascaluic ș.a. 2007, Dascaluic & Cuza 2008, Li et al., 2009), de creșterea temporară a rezistenței (aclimare) (Levitt, 1980, Alexandrov & Kisliuk 1994), precum și de existența mai multor mecanisme de evitare/diminuare a dozei de expunere la temperaturi ridicate (Bohnert 1995, Dascaluic & Cuza 2011). Mecanismele de evitare includ adaptări anatomice și morfologice ale organelor, care asigură diminuarea dozei de expunere a organelor plantelor la arșiță. Complexitatea mecanismelor care determină rezistența plantelor la acțiunea temperaturilor înalte explică neconcordanța dintre rezultatele aprecierii termotoleranței plantelor, estimate cu metode diferite (Berry & Björkman 2003, Dascaluic & Cuza 2007, Sgobba et al. 2015).

Având în vedere influența mai multor factori asupra răspunsului plantelor la acțiunea temperaturilor ridicate (Levitt 1980), în cercetările realizate pentru aprecierea rezistenței speciilor de stejar a fost folosită metoda de determinare a dinamicii fluorescenței clorofilei în perioada după expunerea frunzelor la șocul termic cu temperatură constantă, dar pe parcursul unor durate diferite de expunere. Rezistența intrinsecă, plus cea de adaptare funcțională și capacitatea de recuperare a stării funcționale a țesuturilor frunzelor speciilor spontane de stejar, prelevate din diferite zone ecologice din Republica Moldova, au fost determinate în baza dinamicii activității fotosistemului II după expunerea frunzelor la șocul termic. Excluzând aportul factorilor care influențează toleranța plantelor la acțiunea temperaturilor înalte prin fenomene de evitare, a fost comparată rezistența funcțională a frunzelor celor trei specii de stejar răspândite în Republica Moldova, cercetări care pot contribui la optimizarea lucrărilor de împădurire în condițiile pericolului de încălzire globală a climei.

Material și metodă de lucru

În vederea realizării experimentelor de laborator, au fost colectate frunze de la arborii din speciile: stejar pedunculat (*Quercus robur* L.), stejar pufos (*Q. pubescens* Willd.) și gorun (*Q. petraea* Liebl.), care vegetează în partea de Nord (Ocolul silvic Edineț), Centru (Ocolul silvic Călărași) și Sud (Ocolul silvic Cociulia) a Republicii Moldova (RM). Frunzele neumbrite au fost recoltate din partea inferioară și de sud a coroanei arborilor prin tăierea a mai multor ramuri. Au fost tăiate câte două ramuri cu frunze de la 6 arbori ale fiecărei specii din anumite poziții geografice (Tabel 1). Recoltarea ramurilor s-a efectuat în data de 15 iulie. Înainte de efectuarea analizelor de laborator ramurile au fost puse în pungi non transparente și trecute la rece.

În laborator frunzele sănătoase (frunze întregi fără porțiuni defoliate de insecte și ne atacate de făinare) ale fiecărei specii în parte au fost desprinse de pe lujeri și grupate în trei seturi cu câte 6 frunze fiecare. Frunzele unui set au fost folosite în calitate de probă martor (nu au fost expuse șocului termic). Frunzele celorlalte 2 seturi ale fiecărei specii au fost scufundate în termostatul cu apă, de tip Universal ultrathermostat „UTU-4” (Ungaria) și expuse șocului termic la temperatura de 50°C pe parcursul a 20 și 40 de minute. După întreruperea șocului termic frunzele au fost amplasate în exicatorare (temperatura de 25°C, umiditatea relativă de 85%, iluminarea – 20 lucși, fotoperioada – 16 ore lumină și 8 ore întuneric). În aceste condiții, frunzele speciilor de stejar au fost expuse pe parcursul a șase

zile, periodic determinându-se activitatea fotosistemului II cu ajutorul metodei de fluorescență a clorofilei.

Evoluția randamentului cuantic ($Y - yield$) a fotosistemului II [$Y = (F_m' - F_t) / F_m'$] la frunzele din varianta martor și la cele din variantele experimentale (tratate cu diferite doze ale șocului termic) a fost măsurată cu un fluorimetru modulat a clorofilei PAM-2100 (H. Walz, Germania). Înainte de efectuarea măsurărilor, frunzele au fost expuse radiației fotosintetice active (PAR) cu intensitatea de $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pe parcursul a 15 minute, la temperatura 26°C. F_m' reprezintă randamentul maxim de fluorescență atins cu un impuls de saturație atunci când frunza este pre-iradiată, iar F_t reprezintă randamentul de fluorescență măsurat la un moment dat în stare de echilibru. Fluorescența minimă (F_0) a fost excitată la 655 nm cu frecvența de modulație de 600 Hz, iar fluorescența maximă (F_m') a fost măsurată cu frecvența de modulație de 20 kHz. F_m' a fost provocată de blițuri saturate de 0,8 s de la o lampă cu halogen încorporată.

Măsurarea fluorescenței a fost efectuată la scurt timp (30 minute) după expunerea frunzelor șocului termic, apoi în ziua a 2-a, a 3-a și a 6-a după aplicarea șocului termic. La fiecare perioadă menționată a fost determinat randamentul cuantic ($Y - yield$) și calculat randamentul relativ, cu ecuația:

$$Fr = F_{m'_{et}} / F_{m'_{mt}}$$

în care: Fr – randamentul relativ; $F_{m'_{et}}$ – randamentul cuantic apreciat în prima, a 2-a, a 3-a și a 6-a zi după expunerea frunzelor la șo-

Tabel 1 Poziția geografică a arboretelor din care au fost recoltate probele de frunze
Geographic location of forest stands from where were harvested leaf samples

Poziția geografică	Ocol silvic	Coordonate geografice		Altitudinea, m	Temperatura medie anuală, °C	Temperatura medie în luna cea mai caldă (iulie), °C
		latitudine	longitudine			
Nord	Edineț	48°11'11.37	27°6'41.76	190	+ 9,7	+ 20,9
Centru	Călărași	47°11'52.62	28°23'48.63	250	+ 11,1	+ 22,4
Sud	Cociulia	46°18'20.14	28°23'20.19	205	+ 11,2	+ 22,8

cul termic; Fm_{mt}^I – randamentul cuantic apreciat în prima, a 2-a, a 3-a și a 6-a zi în frunze din varianta martor.

Pentru fiecare variantă randamentul cuantic a fost determinat la 6 frunze. La fiecare perioadă de timp după aplicarea șocului termic, în baza datelor fluorescenței clorofilei, au fost calculate media aritmetică și abaterea standard (Clewer & Scarisbrick 2001). Datele obținute au servit pentru elaborarea graficelor.

Rezultate

În figura 1 sunt reflectate datele privind influența expunerii frunzelor de stejar pedunculat, gorun și stejar pufos la acțiunea șocului termic cu temperatura de 50°C, pe parcursul a 40 de minute. Din datele prezentate reiese că în scurt timp (30 de minute) după expunerea frunzelor la șocul termic randamentul cuantic relativ a fotosistemului II a scăzut brusc, dar în mod diferit în funcție de specie și condițiile de mediu în care vegetează arborii. De exemplu, randamentul cuantic relativ a fotosistemului II în frunzele stejarului pedunculat colectate în zona de nord a fost semnificativ mai înalt în comparație cu acela ale celorlalte două specii de stejar luate în studiu; totodată mai scăzut decât cel evidențiat în frunzele gorunului și stejarului pufos colectate de la arborii care vegetează în zona de centru și sud a RM. Legitatea evidențiată s-a menținut pe întreaga perioadă după aplicarea șocului termic. De menționat că doar la frunzele stejarului pedunculat, colectate în zona de nord, s-a manifestat recuperarea randamentului cuantic relativ a fotosistemului II în ziua a 6-a după expunerea acestora la șocul termic, figura 1a.

În ziua a 2-a după aplicarea șocului termic, la toate speciile de stejar, randamentul cuantic relativ a fotosistemului II s-a diminuat până la valoarea minimă, ceea ce sugerează despre dominarea proceselor de amplificare a deteriorărilor inițiale provocate țesuturilor frunzelor de șocul termic. În următoarele zile s-au

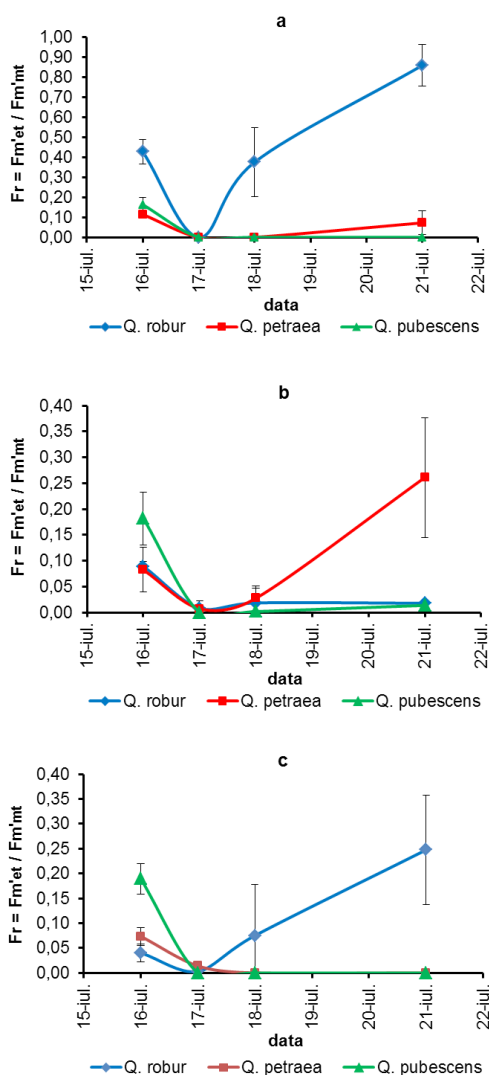


Figura 1 Valorile relative ale randamentului cuantic a fotosistemului II în frunzele diferitelor specii de stejar, prelevate pentru analiză în Ocolul silvic Edinets (a), Călărăși (b) și Cociulia (c), supuse șocului termic cu 50°C pe parcursul 40 minute

Relative values of the quantum yield of photosystem II in the leaves of different oak species, taken for analysis in the Edinets (a), Călărăși (b) and Cociulia (c) Forest Districts, subjected to thermal shock at 50°C during, or 40 minutes

declanșat procesele de recuperare aproape în întregime a randamentului cuantic relativ a fotosistemului II în frunzele stejarului pedunculat colectate din nordul RM (figura 1 a) și de recuperare parțială în frunzele gorunului, colectate din centrul (figura 1b) și, respectiv, a stejarului pedunculat din sudul RM (figura 1c). Cele mai afectate de acțiunea șocului termic au fost frunzele stejarului pufos, randamentul cuantic relativ a cărora nu a marcat procese de recuperare, indiferent de condițiile ecologice din care au fost recoltate frunzele. Pe marginea celor discutate putem formula o legătură: cu cât a scăzut mai pronunțat valoarea randamentului cuantic relativ a fotosistemului II la scurt timp după aplicarea șocului termic, cu atât mai joasă a fost valoarea minimă a acestuia (de regulă valoarea minimă a fost atinsă în ziua a 2-a după aplicarea șocului termic) și mai puțin pronunțat a fost procesul de recuperare, evidențiat în ziua a 6-a după aplicarea șocului termic.

Luând în considerație stoparea ireversibilă a activității fotosistemului II în frunzele stejarului pufos expuse acțiunii șocului termic de 50°C pe parcursul a 40 de minute, în experimentele ulterioare doza șocului termic a fost micșorată, diminuând durata de expunere de la 40 până la 20 de minute. Datele obținute sunt prezentate în figura 2. Urmare a expunerii frunzelor la o doză mai mică a șocului termic, s-a mărit atât valoarea randamentului cuantic relativ a fotosistemului II estimat în prima zi, cât și nivelul de restabilire a acestuia în ziua a 6-a după aplicarea șocului termic.

Doza șocului termic micșorată de două ori a determinat, de asemenea, un nivel sporit de recuperare a activității randamentului cuantic relativ a fotosistemului II în frunzele stejarului pufos colectate în centrul și sudul RM (figura 2 b și c). Au rămas, însă, sensibile la acțiunea șocului termic frunzele stejarului pufos, colectate din arboretele care cresc în nordul RM, figura 2a. La fel ca în cazul aplicării unei doze ridicate (50°C în decurs de 40 min), la scurt timp după aplicarea unei doze scăzute (50°C în decurs de 20 min), a fost identificat fenome-

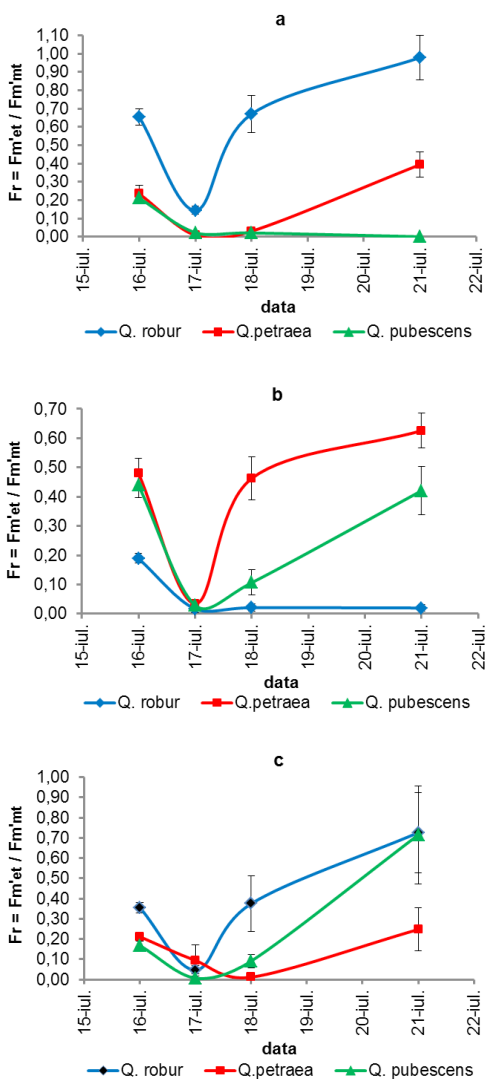


Figura 2 Valorile relative ale randamentului cuantic a fotosistemului II în frunzele diferitelor specii de stejar, prelevate pentru analiză în Ocolul silvic Edineț (a), Călărăși (b) și Cociulia (c), supuse șocului termic cu 50°C pe parcursul 20 minute

Relative values of the quantum yield of photosystem II in the leaves of different oak species, taken for analysis in the Edineț (a), Călărăși (b) and Cociulia (c) Forest Districts, subjected to thermal shock at 50°C during, or 20 minutes

nul care denotă că la scurt timp după aplicarea șocului termic valoarea randamentului cuantic relativ a fotosistemului II a fost cu atât mai înaltă, cu cât mai sporită a fost valoarea minimă în ziua a 2-a și valoarea maximă de recuperare în ziua a 6-a după aplicarea șocului termic. Doar la frunzele de gorun, prelevate de la arborii din centrul RM, recuperarea randamentului cuantic relativ a fotosistemului II în ziua a 6-a a fost suficient de înaltă în comparație cu valoarea minimă evidențiată în ziua a 2-a, figura 2b. La fel ca și în cazul expunerii frunzelor stejarului pedunculat la șocul termic în decurs de 40 de minute, colectate de la arborii din Ocolul silvic Călărași (centrul RM), diminuarea până la valoarea zero a randamentului cuantic relativ a fotosistemului II a fost ireversibilă după aplicarea șocului termic pe parcursul a 20 de minute.

Discuții

În acest studiu, în baza activității fotosistemului II în frunze, după ce acestea au fost supuse șocului termic cu temperatura constantă și durată diferită, au fost determinate diferențele răspunsului la șocul termic a speciilor spontane de stejar din RM. În principiu, a fost apreciată rezistența funcțională (fără aprecierea fenomenelor de evitare, Levitt 1980) și particularitățile de adaptare a frunzelor speciilor de stejar (prelevate din diferite zone ecologice ale RM), prin aplicarea șocului termic. În cercetările anterioare a fost demonstrat faptul că în calitate de caracteristică importantă a stării de stres la plante poate servi activitatea fotosistemului II în frunze, determinată imediat după aplicarea șocului termic, precum și cinetica de recuperare în timp a activității acestui sistem (Dascaluic et al. 2007, Li et al. 2009).

Rezultatele obținute de noi indică faptul că termotoleranța frunzelor este influențată atât de particularitățile biologice ale speciei de stejar, cât și de condițiile de mediu în care vegetează arboretul. Investigațiile noastre susțin ipoteza potrivit căreia activitatea fotosiste-

mului II în frunzele plantelor este în legătură directă cu acțiunea factorilor de stres abiotic (Berry & Björkman, 2003, Beck et al. 2007). În general, acești factori induc tensiune, a cărei valoare depinde de doza factorului de stres și de rezistența specifică a plantei. Rezistența plantelor față de factorii de stres depinde de mecanismele care asigură reducerea tensiunii ca urmare a aportului a două grupe de particularități specifice genotipului:

(i) diminuarea ratei de expunere/penetrare a factorului de stres în țesuturi (doza de acțiune este mai mică decât doza de expunere), denumită rezistență determinată de mecanismele de evitare, (Levitt 1980);

(ii) rezistența funcțională la acțiunea factorului de stres și eficacitatea reparării/recuperării leziunilor (repararea leziunilor, regenerarea celulelor și țesuturilor, reparația ADN-ului, detoxifierea speciilor reactive ale oxigenului), fenomene denumite toleranța față de stres, (Levitt 1980, Dascaluic et al. 2013).

Având în vedere faptul că la plante există mai multe mecanisme de evitare a expunerii la acțiunea factorului de stres (structura morfologică: gradul de incizie, pubescența frunzelor, structura lor anatomică: felul și repartitia stomatelor, etc.), în cercetările noastre acești factori au fost excluși urmare a aplicării șocului termic prin metoda de imersare a frunzelor în apă la temperatura specificată. În experimentele întreprinse expunerea frunzelor la șocul termic a fost realizată prin imersarea lor în apă la temperatura 50°C pe parcursul a 20 și 40 minute, astfel încât metoda utilizată a asigurat excluderea influenței factorilor care determină evitarea / diminuarea dozei de expunere. În principiu, doza de acțiune a temperaturii înalte a fost echivalentă pentru frunzele celor trei specii de stejar investigate. Răspunsul frunzelor a depins de nivelul deteriorărilor provocate țesuturilor în decursul expunerii probelor la șocul termic, precum și de raportul dintre procesele de amplificare și cele de recuperare a deteriorărilor (Dascaluic & Cuza 2008, Dascaluic et al., 2013). Luând în considerație specificul morfologic și anatomic a frunzelor

fiecărei specii de stejar, fenomenele de evitare la acțiunea temperaturii și radiației solare excesive, sunt mai bine evidențiate la frunzele stejarului pufos. Frunzele stejarului pufos sunt mai bine protejate de influența căldurii și expunerea excesivă la soare în comparație cu cele ale gorunului și stejarului pedunculat. Studiile au fost realizate în luna iulie, perioadă în care temperaturile mediului ambiant au fost caniculare, ceea ce înseamnă că în această perioadă în frunze deja au fost inițiate procesele de adaptare specifice pentru frunzele fiecărei specii, fapt care determină sporirea termotoleranței frunzelor (Lin et al. 1984, Hallberg et al. 1985, Dascaluic & Cuza, 2008).

Termotoleranța frunzelor estimată în investigațiile noastre a inclus termotoleranța inițială (intrinsecă, caracteristică speciei), componenta de adaptare (aclimare), realizată în ontogeneză și capacitatea de recuperare a deteriorărilor (Levitt 1980, Alexandrov & Kisliuk 1994; Dascaluic et al., 2013). Acești factori au influențat răspunsul frunzelor la acțiunea șocului termic urmare a derulării proceselor biochimice și fiziologice în perioada expunerii frunzelor la factorul de stres, nivelului specific a leziunilor, reacțiilor de amplificare sau de recuperare a deteriorărilor provocate țesuturilor de către șocul termic. În aceste condiții, reacția frunzelor speciilor de stejar la acțiunea șocului termic a fost determinată în exclusivitate de rezistența intrinsecă și de procesele de aclimare. Procesele de aclimare au fost influențate de condițiile climaterice specifice pentru zona ecologică în care vegetează arborii.

Stejarul pufos, fiind o specie de origine Mediteraneană, răspândită preponderent în zona de sud, se consideră a fi cea mai termotolerantă dintre cele trei specii spontane de stejar care cresc în RM. Gorunul, spre deosebire de stejarul pedunculat, este întâlnit pe povârnișurile dealurilor, unde temperatura aerului în perioada de vară este puțin mai joasă, iar umiditatea puțin mai ridicată în comparație cu cea caracteristică pentru zona de câmpie, de aceea se presupune că este mai puțin tolerant la acțiunea temperaturilor ridicate. Datele prezenta-

te în figura 1 și 2 demonstrează că rezistența frunzelor stejarului pufos la acțiunea șocului termic, a fost, de regulă, mai joasă în comparație cu cea a gorunului și stejarului pedunculat. De aici rezultă că în condiții naturale termotoleranța înaltă a stejarului pufos se datorează în principal influenței fenomenelor de evitare / diminuare a acțiunii stresului termic. În plus, frunzele acestei specii au demonstrat un nivel de aclimare care este influențat de condițiile specifice ale mediului în care crește arboretul. Prin acest fenomen se explică capacitatea de recuperare a deteriorărilor provocate de șocul termic a fost exprimată mai intens în țesuturile frunzelor arborilor care cresc în zona de sud și centru, în comparație cu cele din nordul RM. Recuperarea leziunilor provocate de șocul termic țesuturilor frunzelor stejarului pufos a fost eficientă doar în varianta în care acestea au fost expuse la o durată scurtă a șocului termic (20 min). Procesele respective au fost mai pronunțate în frunzele prelevate de la arborii stejarului pufos care cresc în partea de sud și centru a RM (figura 2). Acest fapt demonstrează că frunzele stejarului pufos, în cazul în care excludem influența evitării factorului de stres, sunt mai sensibile la șocul termic, în comparație cu cele ale gorunului și stejarului pedunculat. Totodată, la stejarul pufos, sporirea rezistenței și a proceselor de recuperare a deteriorărilor provocate de stresul termic, urmare a proceselor de evitare, s-au manifestat cu atât mai pronunțat cu cât condițiile climatice erau mai aride. De aici reiese că urmare a influenței substanțiale a fenomenelor de evitare / diminuare specifice pentru frunzele acestei specii, inducerea adaptărilor funcționale se manifestă mai pronunțat doar sub influența temperaturilor ridicate, caracteristice pentru sudul și centrul RM. Nu excludem faptul că rezistența înaltă la acțiunea șocului termic a frunzelor stejarului pufos, prelevate de la arborii ce cresc în partea de sud a țării, în comparație cu cele care cresc la nordul RM, poate fi parțial influențată de procesele de moștenire epigenetică (Mirouze, Paszkowskn, 2011), a unor adaptări la temperaturi extreme induse la arborii în anii precedenți.

Termotoleranța frunzelor de gorun (fără includerea efectelor de evitare) s-a dovedit a fi intermediară. Spre deosebire de frunzele stejarului pufos, cele ale gorunului colectate din arboretul din Ocolul silvic Călărași, și-au recuperat activitatea fotosistemului II după aplicarea șocului termic cu 50°C, pe parcursul a 40 de minute. Astfel, condițiile de mediu cele mai favorabile pentru aclimarea frunzelor de gorun au fost evidențiate în arboretul din Ocolul silvic Călărași. În mare măsură, nivelul de rezistență depinde de capacitatea adaptivă a speciilor, care la rândul ei este determinată de nivelul de instalare a homeostazei sub influența condițiilor de mediu (Dascalu et al., 2013). Este posibil că influența comună a nivelului de rezistență intrinsecă, precum și cea determinată de capacitatea de adaptare și nivelul de instalare a homeostazei a fost sumar cea mai favorabilă pentru arborii de gorun care cresc în Ocolul silvic Călărași (zona de centru a RM).

Frunzele stejarului pedunculat au demonstrat o capacitate recuperativă a leziunilor provocate de șocul termic mai înaltă în comparație cu cele ale gorunului și a stejarului pufos, indiferent de zona din care au fost colectate. Totodată, cel mai bine au tolerat șocul termic frunzele colectate în arboretul din Ocolul silvic Edineț, urmate de cele prelevate pentru analiză în Ocolul silvic Cociulia. Ieșit din comun a fost faptul, că la frunzele acestei specii, prelevate de la arborii din centrul RM, leziunile provocate de șocul termic au fost atât de grave, încât nu s-au recuperat după ambele doze ale șocului termic.

Concluzii

Determinarea separată a influenței mecanismelor de rezistență intrinsecă și de adaptare la acțiunea factorilor de stres termic, excluzând expunerea mecanismelor de evitare / diminuare, este imperios necesară pentru introducerea rațională a speciilor forestiere în regiunile geografice cu condiții climatice diferite.

Cu toate că rezistența sumară la arșiță a

stejarului pufos este mai înaltă în comparație cu cea a gorunului și stejarului pedunculat, în cazul eliminării influenței fenomenelor de evitare a acțiunii factorului de stres, rezistența funcțională a frunzelor stejarului pufos la șocul termic s-a dovedit a fi mai joasă decât la celelalte specii studiate.

Condițiile de mediu influențează semnificativ rezistența frunzelor speciilor de stejar față de acțiunea temperaturilor înalte, însă determinarea influenței factorilor de stres poate fi apreciată veridic doar urmare a determinării separate a rezistenței intrinsece și a celei adaptive a frunzelor în condiții de mediu naturale. În cazul în care procesele de adaptare se declanșează la nivel maxim, iar starea de homeostazie se instalează la un nivel coborât al eficienței productive (biologice), capacitatea de recuperare a deteriorărilor provocate de șocul termic scade brusc.

Bibliografie

- Alexandrov V. Ia., Kisliuk I. M., 1994. Reacția cletoc na teplovoi șoc. Fiziologiceschii aspect. Țitologia, 3(1): 5-59. [in Russian].
- Beck E. H., Fettig S., Knake C., Hartig K., Bhattarai T., 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. J. Biosci., 32(3): 501-510. <https://doi.org/10.1007/s12038-007-0049-5>
- Berry J., Björkman O., 2003. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol., 31(1): 491-543. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.002423>
- Bi A, Fan J, Hu Z, Wang G, Amombo E, Fu J, Hu T., 2016. Differential acclimation of enzymatic antioxidant metabolism and Photosystem II photochemistry in tall fescue under drought and heat and the combined stresses. Frontiers in Plant Science, 14(7): 453. doi: 10.3389/fpls.2016.00453.
- Bohnert H. J., Nelson D. E., Jensen R. G., 1995. Adaptation to environmental stresses. Plant Cell., 7: 1099-1111. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1099>
- Clewer A. G., Scarisbrick D. H., 2001. Practical Statistics and Experimental Design for Plant and Crop Science. Kindle Edition, 346 p.
- Cuza P., 2009. Schimbarea termotoleranței genotipurilor stejarului pufos (*Quercus pubescens* Willd.) în funcție de perioada prelevării frunzelor și termenele de înfrunzire. Studia Universitatis. Științe ale naturii, 6 (26): 68-72.
- Cuza P., 2010. Determinarea termotoleranței frunzelor la

- diferite specii de stejar răspândite în Republica Moldova. Mediul ambient, 4 (52): 32-48.
- Dascaliuc A., Cuza P., 2007. Determinarea termotoleranței la gorun și stejarul pedunculat cu ajutorul metodei de scurgere a electroliților. Mediul ambient, 6 (36): 27-31.
- Dascaliuc Al., Cuza P., 2008. Specificul adaptării frunzelor stejarului pedunculat (*Quercus robur* L.) la șocul termic în funcție de valoarea temperaturii și durata de acțiune. Mediul ambient, 3 (39): 34-37.
- Dascaliuc Al., Cuza P., 2011. Capacitatea de adaptare a aparatului fotosintetic al speciilor de stejar (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) la acțiunea temperaturilor înalte. Mediul ambient, 2 (56): 33-36.
- Dascaliuc A., Cuza P., Țicu L., 2007. Determinarea termotoleranței la *Quercus robur* L. cu ajutorul metodei de scurgere a electroliților. Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții, 3 (303): 40-47.
- Dascaliuc A., Ralea T., Cuza P., 2007. Influence of heat shock on chlorophyll fluorescence of white oak (*Quercus pubescens* Willd.) leaves. Photosynthetica, 45 (3): 469-471. <https://doi.org/10.1007/s11099-007-0079-0>
- Dascaliuc A., Ivanova R., Arpentin Gh., 2013. Systemic approach in determining the role of bioactive compounds. In Pierce, G. N., Mizin, V. I., Omelchenko, A., eds. Advanced Bioactive Compounds Countering the Effects of Radiological, Chemical and Biological Agents, Strategies to counter biological damage. Series: NATO Science for Peace and Security. Series A: Chemistry and Biology. Springer, pp. 121-131. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6513-9_10
- Ducruet J. M., Peeva V., Havaux M., 2007. Chlorophyll thermofluorescence and thermoluminescence as complementary tools for the study of temperature stress in plants. Photosyn. Res., 93: 159-171. <https://doi.org/10.1007/s11120-007-9132-x>
- Hallberg R. L., Kraus K. W., Hallberg E. M., 1985. Induction of acquired thermotolerance in *Tetrahymena thermophila*. Effects of protein synthesis inhibitors. Mol Cell Biol., 5(8): 2061-2069. <https://doi.org/10.1128/ MCB.5.8.2061>.
- Levitt J., 1980. Responses of plant to environmental stresses. Acad. Press: New York, vol. I, 568 p.
- Li P., Cheng L., Gao H., Jiang C., Peng T., 2009. Heterogenous behavior of PS II in soybean (*Glycine max*) leaves with identical PSII photochemistry efficiency under different high temperature treatments. J. Plant Physiol., 166: 1607-1615. <https://doi.org/10.1016/j. jplph.2009.04.013>
- Lin C. Y., Roberts J. K., Key J. L., 1984. Acquisition of thermotolerance in soybean seedlings. Synthesis and accumulation of heat shock proteins and their cellular localization. Plant Physiol., 74 (1): 152-160. <https://doi.org/10.1104/pp.74.1.152>
- Mirouze M., Paszkowskn J., 2011 Epigenetic contribution to stress adaptation in plants. Current Opinion in Plant Biology, 14 (2): 267-274. <https://doi.org/10.1016/j. pbi.2011.03.004>
- Ramagopal S., 1987. Salinity stress induced tissuespecific proteins in barley seedlings. Plant Physiol., 84: 324-331. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.324>
- Rennenberg H., Loreto F., Polle A., Brill F., Fares S., Beniwal R.S., Gessler A., 2006. Physiological responses of forest trees to heat and drought. Plant Biol., 8: 556-571 <https://doi.org/10.1055/s-2006-924084>
- Schreiber U., Berry J.A., 1977. Heat-induced changes of chlorophyll fluorescence in intact leaves correlated with damage of the photosynthetic apparatus. Planta, 136: 223-238 <https://doi.org/10.1007/BF00385990>
- Sgobba A., Paradiso A., Dipierro S., De Gara L., de Pinto M. C., 2015. Changes in antioxidants are critical in determining cell responses to short- and long-term heat stress. Physiol Plant., 153(1): 68-78. <https://doi.org/10.1111/ppl.12220>
- Yordanov I., 1992. Response of photosynthetic apparatus to temperature stress and molecular mechanisms of its adaptation. Photosynthetica, 26: 517-531.