

CZU: 582.632.2:581.4:581.1.036(478)

DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4980271>

EVALUAREA TERMOTOLERANȚEI FRUNZELOR SPECIILOR DE STEJAR RĂSPÂNDITE ÎN REPUBLICA MOLDOVA CU AJUTORUL METODEI DE SCURGERE A ELECTROLIȚILOR

Petru CUZA

Universitatea de Stat din Moldova

Schimbările climatice afectează starea de sănătate și productivitatea pădurilor, ceea ce justifică rolul cercetărilor privind evaluarea acțiunii factorilor de stres termic asupra posibilelor modificări în răspândirea speciilor de stejar. Printre factorii care provoacă stresurile de mediu, temperaturile excesive și arșița exercită o influență negativă asupra compoziției comunităților vegetale, urmare a modificărilor în distribuția speciilor. Răspunsul plantelor la acțiunea stresului termic include evitarea factorilor de stres și mecanismele fiziologice și biochimice de recuperare a leziunilor provocate țesuturilor frunzelor. Rezistența speciilor de stejar față de acțiunea șocului termic se schimbă în funcție de condițiile de mediu în care vegetează arboretele. Dintre speciile de stejar răspândite în Republica Moldova stejarul pufos se caracterizează prin termotoleranță avansată. După excluderea influenței mecanismelor care determină evitarea / diminuarea acțiunii temperaturilor ridicate, frunzele stejarului pufos, în comparație cu cele ale stejarului pedunculat și ale gorunului, au manifestat în condițiile de mediu din centrul și sudul RM o rezistență sporită la șocul termic. În condițiile de mediu din nordul RM stejarul pedunculat, în comparație cu stejarul pufos și cu gorunul, a demonstrat o rezistență ridicată la acțiunea temperaturilor înalte.

Cuvinte-cheie: *Quercus robur, Q. petraea, Q. pubescens, frunze, scurgerea electrolitilor, rezistență, doză letală (LD50).*

EVALUATION OF THE THERMOTOLERANCE OF THE LEAVES OF OAK SPECIES SPREAD IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA USING THE ELECTROLYTE LEAKAGE METHOD

Climate change affects the health and productivity of forests, which justifies the role of research on assessing the action of heat stress factors on possible changes in the spread of oak species. Among the factors that cause environmental stress, excessive temperatures and heat have a negative influence on the composition of plant communities due to changes in the distribution of species. The response of plants to the action of thermal includes avoiding stressors and the physiological and biochemical mechanisms of recovery of lesions caused to leaf tissues. Resistance of oak species to the thermal shock action changes depending on the environmental conditions in which the trees grow. Among the oak species spread in the Republic of Moldova, downy oak is characterized by advanced thermotolerance. After excluding the influence of mechanisms that determine the avoidance/diminution the action of high temperatures, the leaves of downy oak compared to those of pedunculate oak and sessile oak have shown an increased resistance to thermal shock in the environmental conditions of central and southern RM. In the environmental conditions in the north of the RM, the pedunculate oak compared to the downy oak and the sessile oak showed a high resistance to the action of high temperatures.

Keywords: *Quercus robur, Q. petraea, Q. pubescens, leaves, electrolyte leakage, resistance, lethal dose (LD50).*

Introducere

Plantele sunt expuse în permanență influenței unui complex de factori de mediu. În anumiți ani influența factorilor de mediu poate depăși limita toleranței plantelor. Temperatura este un factor important care influențează majoritatea proceselor plantelor, inclusiv fotosinteza, transpirația, respirația, germinarea, înflorirea și creșterea. Rata de creștere și dezvoltare a plantelor depinde de temperatura ambientală care favorizează răspândirea lor, astfel încât fiecare specie are un interval specific de temperatură reprezentată de un minim, maxim și optim [1]. Se estimează că valorile de căldură sau evenimentele de temperatură extremă vor deveni mai intense, mai frecvente și vor dura mai mult decât se observă în ultimii ani [2]. Temperaturile extreme, care depășesc anumite praguri specifice în momente critice din timpul dezvoltării, vor afecta negativ creșterea, productivitatea și reproducerea plantelor [3-5]. Efectele observate depind de specie și genotip, cu variații semnificative inter- și intraspecifică [4].

Impactul schimbărilor climatice poate afecta răspândirea și productivitatea speciilor forestiere, ceea ce înseamnă că problema privind rezistența plantelor la acțiunea factorului temperatură este, la ora actuală, de importanță majoră și trebuie să fie o preocupare pentru oamenii de știință și practicienii din domeniul silvic.

Plantele au dezvoltat răspunsuri dinamice pentru a diminua influența stresurilor abiotice, care se desfășoară la nivel morfologic, fiziologic și biochimic, permițându-le să supraviețuiască în condiții de mediu variabile [6]. Rezistența plantelor față de acțiunea factorului temperatură include mecanismele care asigură reducerea tensiunii prin fenomene de **evitare** și **toleranță**, menținută prin procese funcționale [7,8]. Mecanismele de evitare sunt, în principal, adaptări morfologice și fiziologice care asigură diminuarea expunerii la acțiunea factorilor de stres prin: sistem radicular pivotant, pilozitate, pubescență, gradul de incizie sporit sau răsucirea frunzelor pentru a reduce evapotranspirația, numărul și conductanța stomatală redusă a frunzelor etc. [9,10]. Un efect specific al temperaturilor ridicate asupra membranelor poate determina modificări structurale însoțite de scurgeri de ioni din celulele frunzelor expuse la temperaturi ridicate și modificări în transferul de energie către fotosisteme [11,12]. Menținerea funcției membranei celulare supuse stresului de temperatură ridicată este esențială pentru o performanță susținută fotosintetică și respiratorie [13].

Membranele celulare sunt structuri care suportă, în primul rând, efectele acțiunii stresului temperaturilor ridicate. În principiu, se acceptă că arhitectura membranei celulare constituie un factor major în rezistența plantelor la acțiunea stresului termic [14]. Rata leziunilor membranelor celulare induse de stresul temperaturilor ridicate poate fi ușor estimată prin măsurători ale scurgerii electroliților din celule. Tehnica scurgerii electroliților a fost cu succes aplicată pentru cuantificarea deteriorărilor membranelor celulare în diferite condiții ale stresului termic [15-18].

Potrivit unor studii, scurgerea electroliților se găsește în legătură directă cu mai mulți parametri fiziologici și biochimici care condiționează răspunsul plantei la condițiile de mediu [19,20]. Prin urmare, nu este surprinzător faptul că metoda scurgerii electroliților a fost recomandată în calitate de criteriu valoros pentru evaluarea rezistenței la stres termic a mai multor specii forestiere [21-23]. În timp, cercetările privind scurgerea electroliților au fost aplicate în silvicultură, metoda fiind utilizată la evaluarea vitalității puietilor speciilor forestiere în urma depozitării acestora la cald și la frig [24,25], la aprecierea calității semințelor în perioada păstrării și a capacității lor de germinație [26,27], la evidențierea influenței condițiilor de mediu asupra termotoleranței frunzelor plantelor [22].

În lucrarea de față sunt prezentate rezultatele privind aprecierea termotoleranței țesuturilor frunzelor speciilor spontane de stejar răspândite în Republica Moldova cu ajutorul metodei de scurgere a electroliților și stabilirea pe această cale a diferențelor dintre termotoleranța speciilor care vegetează în diferite condiții de mediu din anumite poziții geografice.

Material și metodă

Investigațiile pe teren au avut în vedere selectarea arboretelor din speciile: stejar pedunculat (*Quercus robur* L.), gorun (*Q. petraea* Liebl.) și stejar pufos (*Q. pubescens* Willd.), care vegetează în Nordul (Ocolul silvic Edineț), Centrul (Ocolul silvic Călărași) și Sudul (Ocolul silvic Cociulia) Republicii Moldova în vederea estimării diferențelor dintre termotoleranța speciilor în baza valorilor indicelui de scurgere relativă a electroliților din probele frunzelor. Ramurile cu frunze au fost recoltate la mijlocul lunii iulie din partea de sud a etajului inferior al coroanei arborelui. De la 6 arbori ale fiecărei specii din anumite poziții geografice au fost tăiate ramuri cu frunze (a câte două de la fiecare arbore). După recoltare și până la efectuarea experimentelor în laborator ramurile au fost puse în pungi nontransparente și trecute la rece.

Tehnica de scurgere a electroliților a fost efectuată pentru a evalua rezistența la temperaturi înalte a frunzelor speciilor de stejar studiate prin expunerea lor la șocul termic. În laborator frunzele speciilor de stejar testate au fost expuse la șocul termic cu 13 gradații de temperatură, aflate în intervalul cuprins între 25 și 100°C. Pentru fiecare gradație de temperatură, au fost luate 3 eprubete cu 3 ml de apă deionizată și plasate într-un ultratermostat de apă (*Universal ultrathermostat „UTU-4”*, Ungaria) și încălzite la temperatura unei gradații date. În continuare, câte 6 segmente circulare de limb foliat au fost introduse în fiecare eprubetă și supuse încălzirii la temperatura indicată a șocului termic în decurs de 5 minute. După expunerea probelor la șocul termic, eprubetele au fost incubate în apă, la temperatura camerei (25°C).

După răcire, eprubetele au fost amplasate în amestecător (*Wstrzasarka uniwersalna typ WU-4*, Polonia), unde conținutul lor a fost agitat în decurs de 2 ore pentru a asigura contactul uniform al segmentelor circulare foliate cu mediul apos. În experiment au fost utilizate două variante martor. În primul, 3 eprubete cu segmente circulare foliate nu au fost supuse la șocul termic și au fost agitate în permanență în decurs de 2 ore la temperatura de 25°C. Un alt martor cu probe de frunze a fost incubat la temperatura de 100°C în decurs de 10 minute pentru a asigura deteriorarea țesuturilor și scurgerea totală a electroliților din frunze.

Conductivitatea soluției apoase a fost periodic determinată după 2 ore de incubare, ceea ce a oferit posibilitatea de a aprecia dinamica de scurgere a electroliților în toate variantele (martor și experimentale), folosind conductometrul *N 5721* (Polonia). Influența șocului termic a fost apreciată în baza creșterii conductivității mediului apos din variantele experimentale (incubate la temperaturile menționate). A fost calculată scurgerea relativă (**Sc. rel.**) a electroliților din ecuația:

$$\text{Sc. rel.} = (\mu_t - \mu_{25}) / (\mu_{100} - \mu_{25}),$$

în care:

μ_t – conductibilitatea variantei experimentale (expusă șocului termic la temperatura t), în mS m^{-1} ;

μ_{25} – conductibilitatea variantei martor (eprubete cu segmentele frunzelor incubate la temperatura camerei), în mS m^{-1} ;

μ_{100} – conductibilitatea totală (măsurată după incubarea finală la 100°C), în mS m^{-1} .

Rezultate și discuții

Analizând datele ilustrate în Figura 1, menționăm că sub influența șocului termic cu diferite temperaturi capacitatea de menținere a electroliților în frunzele speciilor de stejar se schimbă specific. Capacitatea țesuturilor frunzelor de a menține electroliții diminuează pe măsura sporirii temperaturilor șocului termic, în prezentare grafică fiind descrisă prin curbe sigmoide. Mărirea temperaturii șocului termic până la 58°C a determinat o creștere nesemnificativă a ratei de scurgere a electroliților din frunzele celor trei specii de stejar. Dozele șocului termic în interiorul acestei zone constituie doza de stabilitate (reținere, denumită și *lag-faza*). Expunerea probelor de frunze la temperaturi mai înalte ale șocului termic a provocat o sporire accelerată a ratei de scurgere a electroliților în mediul apos, ceea ce semnifică că dozele respective ale șocului termic se află în zona *fazei logaritmice* de influență a factorului de stres. Intervalul de temperaturi al acestei zone este specific pentru fiecare specie de stejar. De exemplu, la stejarul pedunculat faza logaritmă se găsește în intervalul de temperaturi care se situează între 58 și 80°C , pe când la stejarul pufos aceasta este cuprinsă în intervalul de la 58 până la 70°C . În zona logaritmă poziția curbilor sigmoide de răspuns la leziunile provocate membranelor celulare ale frunzelor de acțiunea stresului termic la speciile studiate diferă semnificativ. Temperaturile mai înalte, care depășesc această zonă, marchează trecerea în *faza staționară*, în interiorul căreia se manifestă sporirea lentă a ratei de scurgere a electroliților.

Schimbarea funcțională a capacității celulelor de a menține electroliții se realizează în interiorul fazei logaritmice, nivelul dozelor care determină sporirea ratei de scurgere a electroliților cu 50% față de cea specifică pentru segmentele circulare din frunzele variantei martor caracterizează rezistența frunzelor față de factorul de stres. Această doză este denumită și doza care diminuează starea funcțională, sau viabilitatea, cu 50%, în literatură fiind descrisă ca doză ce provoacă 50% de letalitate (LD50) [28]. Cu cât valoarea acestei doze este mai înaltă, cu atât rezistența sistemului biologic față de acțiunea factorului de stres este mai ridicată. Rezultatele prezentate în Figura 1 demonstrează că doza LD50 pentru frunzele stejarului pufos a fost provocată de temperatura de $63,5^\circ\text{C}$, atunci când pentru frunzele stejarului pedunculat – de $67,4^\circ\text{C}$. Doza LD50 a frunzelor de gorun a fost cauzată de temperatura de $65,0^\circ\text{C}$. În concordanță cu temperaturile șocului termic care au provocat LD50 în frunze, speciile de stejar pot fi repartizate după rezistența lor la acțiunea șocului termic. Astfel, datele privind dinamica scurgerii electroliților din frunze denotă că speciile de stejar care vegetează în nordul Republicii Moldova după rezistența la acțiunea stresului termic se prezintă în ordinea: stejar pedunculat > gorun > stejar pufos.

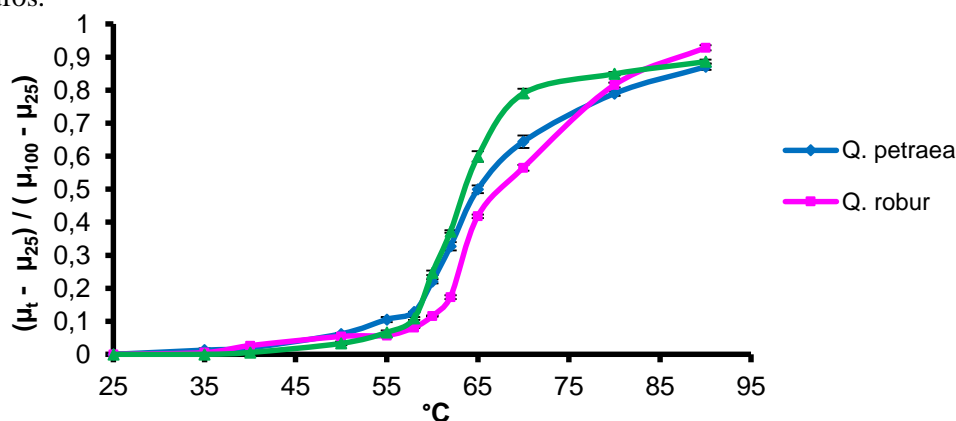


Fig.1. Dinamica scurgerii relative a electroliților din frunzele speciilor de stejar care vegetează în nordul RM expuse șocului termic cu temperaturi diferite în decurs de 5 minute.

În Figura 2 sunt incluse valorile scurgerii relative a electroliților din frunzele speciilor de stejar care vegetează în centrul Republicii Moldova expuse la diferite temperaturi ale șocului termic. Din figură se observă că frunzele celor trei specii de stejar au suportat ușor temperaturile șocului termic de până la 58°C (*lag-faza*), ceea ce denotă că în intervalul de temperaturi de 25-58°C procesele de reparație a leziunilor membranelor celulare au concurat eficient cu cele de deteriorare. Sporirea în continuare a temperaturilor șocului termic a provocat o rată rapidă de scurgere a electroliților din țesuturile frunzelor (*faza logaritmică*). În acest interval de temperaturi, diferit pentru frunzele celor trei specii de stejar (de exemplu, cuprins între 58 și 70°C la stejarul pufos), procesele de deteriorare a membranelor au depășit semnificativ pe cele de reparare și recuperare a integrității celulare. Temperaturile mai înalte sunt supercritice și au cauzat deteriorarea aproape în întregime a țesuturilor frunzelor speciilor de stejar (*faza staționară*).

Potrivit datelor din Figura 2, valorile dozei letale (LD50) pentru frunzele stejarului pedunculat sunt induse de temperatura de 59,9°C, iar pentru frunzele de stejar pufos sunt provocate de temperatura de 64,3°C. Remarcăm că pentru frunzele de gorun valorile LD50 sunt cauzate de temperatura de 63,6°C. Dacă apreciem rezistența celor trei specii de stejar care cresc în nordul și centrul Republicii Moldova în baza valorilor LD50 provocate de doze specifice ale șocului termic, putem constata că toleranța cvercineelor se schimbă în funcție de condițiile de mediu în care vegetează arboretele (*a se vedea* Fig.1 și 2). Astfel, în raport cu valoarea temperaturilor șocului termic care au provocat LD50 în frunzele speciilor de stejar din centrul RM, acestea se pot aranja în următoarea ordine: stejar pufos > gorun > stejar pedunculat.

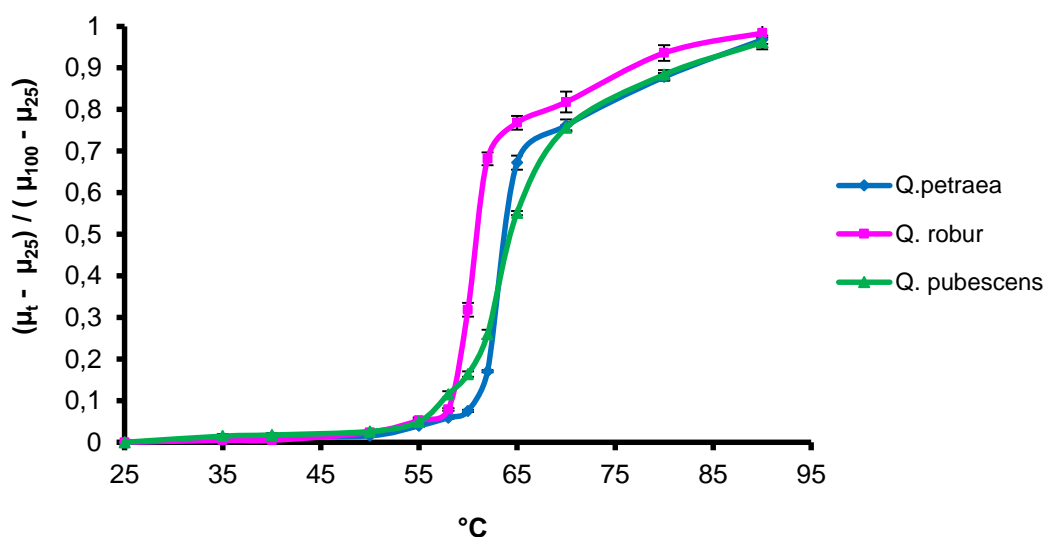


Fig.2. Dinamica scurgerii relative a electroliților din frunzele speciilor de stejar care vegetează în centrul RM expuse șocului termic cu temperaturi diferite în decurs de 5 minute.

Datele consemnate în Figura 3 arată că dozele șocului termic care au determinat scurgerea neînsemnată a electroliților din țesuturile frunzelor la speciile de stejar (*lag-faza*) cuprind un interval de temperaturi puțin mai larg (care se situează între 25 și 60°C) decât acela care a fost prezentat în experimentele de mai sus. În intervalul de temperaturi în creștere de la 60 până la 80°C pe curbele sigmoide a fost evidențiat un nivel accelerat al ratei de scurgere a electroliților din țesuturile frunzelor la speciile de stejar analizate (*faza logaritmică*). Temperaturile mai înalte au determinat o concentrație mai scăzută a electroliților scurși din țesuturile frunzelor (*faza staționară*).

Curbele sigmoide reprezentate grafic demonstrează că valorile LD50 pentru frunzele stejarului pedunculat sunt provocate de temperatura șocului termic de 64,1°C, iar pentru frunzele stejarului pufos de temperatura de 68,1°C (Fig.3). Este de observat că valorile LD50 pentru frunzele stejarului pedunculat și ale gorunului au fost cauzate de temperaturi simțitor de apropiate, pentru gorun acesta având valoarea de 64,7°C. Din cele expuse urmează că în conformitate cu rezistența frunzelor la acțiunea stresului termic speciile de stejar din sudul RM se repartizează în ordinea: stejar pufos > gorun > stejar pedunculat.

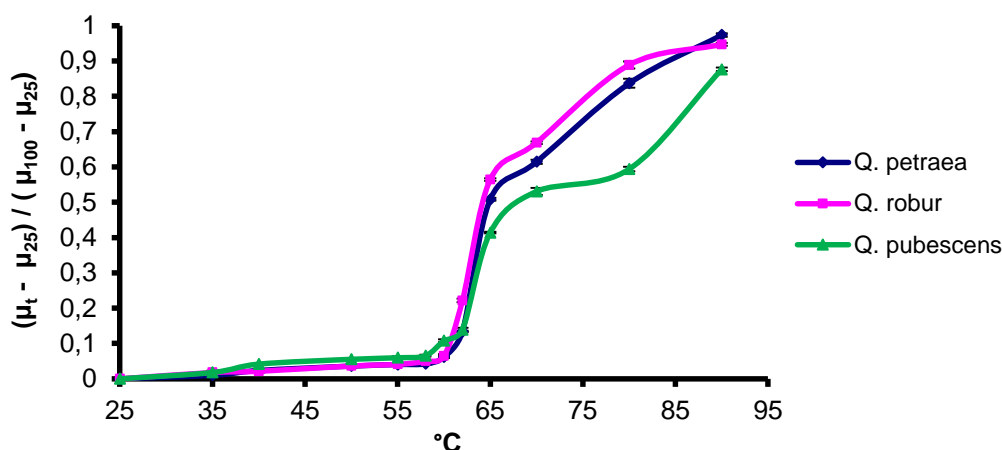


Fig.3. Dinamica scurgerii relative a electroliților din frunzele speciilor de stejar care vegetează în sudul RM expuse șocului termic cu temperaturi diferite în decurs de 5 minute.

În studiul de față, în baza dinamicii scurgerii electroliților după expunerea probelor de frunze la diferite temperaturi ridicate, au fost estimate diferențele în termotoleranța speciilor spontane de stejar răspândite în RM față de acțiunea șocului termic. Termotoleranța speciilor de stejar a fost apreciată în baza aprecierii sumare a proceselor care determină rezistența intrinsecă, cea dobândită și capacitatea de reparație a structurilor celulare ale frunzelor. În principiu, a fost comparată rezistența funcțională a frunzelor la trei specii de stejar, în experimente fiind exclusă influența factorilor care determină toleranța plantelor la acțiunea temperaturilor înalte prin fenomene de evitare [7]. În experimentele noastre, factorii de evitare au fost excluși, eprubetele cu segmentele circulare imersate în apă deionizată au fost introduse în termostatul cu apă cu temperaturi prestabilite pe o durată constantă, ceea ce a permis determinarea stării funcționale a structurilor celulare ale frunzelor. De fapt, a fost măsurată conductivitatea electrică a soluției apoase după întreruperea șocului termic și estimată valoarea indicelui scurgerii relative a ionilor în mediul apos, ceea ce reprezintă o metodă de determinare a termostabilității membranelor celulare, reprezentând toleranța plantelor la căldură [22,29]. De menționat este faptul că experimentele au fost efectuate în aceleași condiții controlate pentru probele de frunze expuse șocului termic și doza de acțiune a temperaturii înalte a fost echivalentă pentru frunzele celor trei specii de stejar analizate.

Fenomenele de evitare a acțiunii factorului de stres termic se manifestă prin diferite procese, remarcându-se prin adaptări morfogenetice ale organelor plantei [30], cum sunt: gradul de pubescență, pilozitate, de inci-zie la frunze, sistem radicular pivotant etc., care se referă la particularitățile biologice ale speciilor. Având în vedere particularitățile morfologice și anatomice ale speciilor de stejar investigate [31-35], reiese că fiecare dintre acestea în decursul evoluției s-a adaptat la anumite condiții de mediu. De fapt, nivelul de rezistență al unei plante la acțiunea stresului termic depinde de capacitatea sa de a activa mecanisme de toleranță și, de asemenea, de prezența adaptărilor pentru evitare, care sunt legate direct de habitatul său [36]. În cazul nostru, adaptările pentru evitare n-au fost studiate, răspunsul frunzelor la acțiunea șocului termic a depins de rezistența intrinsecă, după expunerea probelor de frunze la anumite temperaturi ridicate, și de cea dobândită. Prin urmare, corespondența între procesele fiziologice de amplificare și cele de reparare a leziunilor structurilor celulare ale frunzelor speciilor de stejar provocate de stres poate servi drept măsură de apreciere a toleranței speciei la acțiunea temperaturilor înalte [22,37]. Cu alte cuvinte, prin reacția de răspuns a frunzelor la speciile de stejar s-a avut în vedere determinarea rezistenței intrinseci caracteristice pentru fiecare specie de stejar și a rezistenței dobândite (condiționată de procesele de aclimare). Cercetările noastre au demonstrat că procesele care determină rezistența intrinsecă și cea dobândită sunt influențate de particularitățile biologice ale speciilor de stejar și de condițiile de mediu în care acestea vegetează.

Stejarul pedunculat este o specie din zona temperată, răspândită pe întreg teritoriul RM și se caracterizează prin termotoleranță sporită în partea de nord, în comparație cu gorunul și stejarul pufos (Fig.1). Termotoleranța sporită a frunzelor stejarului pedunculat în raport cu alte două specii de stejar, evidențiată în partea de nord a RM, este condiționată, în mare parte, de procesele biochimice și fiziologice, care au derulat în perioada expunerii frunzelor la factorul de stres termic. Dacă urmărim datele prezentate în figurile 1, 2 și 3, observăm că de la

nord spre sud termotoleranța frunzelor stejarului pedunculat scade în arborete în raport cu cea a frunzelor stejarului pufos. Termotoleranța frunzelor stejarului pufos, dimpotrivă, sporește de-a lungul gradientului fizico-geografic, astfel încât în arborete din centrul RM (Ocolul silvic Călărași) termotoleranța frunzelor stejarului pufos și ale gorunului este asemănătoare. În arboretele din sudul RM, termotoleranța frunzelor stejarului pufos depășește semnificativ pe cea a frunzelor gorunului și ale stejarului pedunculat. Astfel, la frunzele stejarului pedunculat procesele de reparație a deteriorărilor membranelor celulare se derulează mai intens în arboretele care cresc în nordul RM.

Stejarul pufos, fiind o specie de origine mediteraneană, are o răspândire restrânsă pe teritoriul RM, este întâlnită preponderent în zona de sud a Codrilor și în partea de sud-est a țării [38]. În raport cu stejarul pedunculat și cu gorunul, la stejarul pufos particularitățile morfoanatomice xerice ale frunzelor sunt vădit mai pronunțate [35,39], ceea ce înseamnă că la specia respectivă procesele de evitare față de acțiunea temperaturilor excesive și a arșiței se manifestă prin caracteristici adaptive în climate aride. Sporirea termotoleranței frunzelor stejarului pufos de la nordul spre sudul RM (figurile 1, 2, 3) denotă că răspândirea în condiții naturale a stejarului pufos este determinată de procesele de evitare / diminuate a acțiunii temperaturilor excesive. În plus, datele ilustrate în figurile 1, 2 și 3 demonstrează că procesele de reparație a leziunilor structurilor celulare provocate de acțiunea șocului termic se desfășoară mai intens în frunzele stejarului pufos care vegetează în sudul RM, adică în condiții climatice mai aride. Pe marginea celor discutate rezumăm că, urmare a influenței semnificative a fenomenelor de evitare / diminuare caracteristice frunzelor stejarului pufos, inițierea la acestea a adaptărilor funcționale se manifestă mai evident doar sub influența temperaturilor ridicate, specifice pentru centrul și sudul RM.

Gorunul este o specie central-europeană, se întâlnește pe întreg teritoriul RM, însă cele mai întinse păduri cu participarea gorunului se găsesc în Codrii Moldovei. În comparație cu stejarul pedunculat, gorunul este mai puțin pretențios la fertilitatea și umiditatea solului. Frunzele gorunului se caracterizează prin termotoleranță intermediară în comparație cu cele ale stejarului pedunculat și ale stejarului pufos (figurile 1, 2, 3). Este de observat că arboretele de gorun care vegetează în partea de nord și de sud a țării se caracterizează prin termotoleranță asemănătoare a frunzelor la acțiunea șocului termic, pe când în arboretele de gorun care cresc în centrul RM termotoleranța frunzelor este întrucâtva mai scăzută.

Concluzii

1. Determinarea sumară a proceselor care elucidează rezistența intrinsecă și cea dobândită în frunze a demonstrat că toleranța speciilor de stejar se schimbă în funcție de condițiile de mediu ale poziției geografice în care vegetează arboretele.
2. Valoarea dozei letale (LD50) a șocului termic demonstrează că, înlăturând fenomenele de evitare, rezistența funcțională a frunzelor stejarului pufos sporește semnificativ în arboretele care vegetează în condiții de mediu aride. În aceste condiții frunzele stejarului pufos se caracterizează prin rezistență sporită față de acțiunea stresului termic, decât cele ale stejarului pedunculat și ale gorunului.
3. Dacă excludem fenomenele de evitare, atunci putem constata că în condițiile de mediu din nordul RM stejarul pedunculat este o specie mai rezistentă la acțiunea temperaturilor înalte în comparație cu stejarul pufos și cu gorunul.

Referințe:

1. HATFIELD, J.L., BOOTE, K.J., KIMBALL, B.A., ZISKA, L., HIZARRALDE, R.C., ORT, D., THOMSON, A.M., WOLFE, D.W. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. In: *Agron. J.*, 2011, vol.103, p.351-370.
2. MEEHL, G.A., STOCKER, T.F., COLLINS, W.D., GAYE, A.J., GREGORY, J.M., KITOH, A., KNUTTI, R., MURPHY, J.M., NODA, A., RAPER, S.C.B., WATTERSON, J.G., WEAVER, A.J., ZHAO, Z. *Global Climate Projections*. S.Solomon, D.Qin, M.Manning, Z.Chen, M.Marquis, K.B.Averyt, M.Tignor, H.L.Miller (Eds.). Cambridge, U.K. and New York, NY: Cambridge University Press, 2007. 845 p.
3. YORDANOV, I., VELIKOVA, V., TSONEV, T. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. In: *Photosynthetica*, 2000, vol.38, p.171-186.
4. BARNABAS, B., JÄGER, K., FEHÉR, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. In: *Plant. Cell. Environ.*, 2008, vol.31, p.11-38.
5. HATFIELD, J.L., PRUEGER, J.H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. In: *Weather and Climate Extremes*, 2015, vol.10, p.4-10.

6. HUBER, A.E., BAUERLE, T. Long-distance plant signaling pathways in response to multiple stressors: The gap in knowledge. In: *Journal of Experimental Botany*, 2016, vol.67(7), p.2063-2079.
7. LEVITT, J. *Responses of plant to environmental stresses*. Acad. Press: New York, 1980, vol.I. 568 p.
8. DASCALIUC, A., IVANOVA, R., ARPENTIN, GH. 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, 2013, p.121-131.
9. SICHER, R.C., TIMLIN, D., BAILEY, B. Responses of growth and primary metabolism of water-stressed barley roots to rehydration. In: *J. Plant Physiol.*, 2012, vol.169, p.686-695.
10. GOUFO, P., MOUTINHO-PEREIRA, J.M., JORGE, T.F., CORREIA, C.M., OLIVEIRA, M.R., ROSA, E.A.S., ANTÓNIO, C., TRINDADE, H. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) metabolomics: osmoprotection as a physiological strategy for drought stress resistance and improved yield. In: *Front. Plant Sci.*, 2017, no.8, p.586.
11. WAHID, A., SHABBIR, A. Induction of heat stress tolerance in barley seedlings by pre-sowing seed treatment with glycinebetaine. In: *Plant Growth Regul.*, 2005, vol.46, p.133-141.
12. ALLAKHVERDIEV, S.I., KRESLAVSKI, V.D., KLIMOV, V.V., LOS, D.A., CARPENTIER, R., MOHANTY, P. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. In: *Photosynth. Res.*, 2008, vol.98, p.541-550.
13. CHEN, J., WANG, P., MI, H.L., CHEN, G.Y., XU, D.Q. Reversible association of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activase with the thylakoid membrane depends upon the ATP level and pH in rice without heat stress. In: *J. Exp. Bot.*, 2010, vol.61, p.2939-2950.
14. SEIFERT, G.J., BLAUKOPF, C. Irritable walls: The plant extracellular matrix and signaling. In: *Plant Physiol.*, 2010, vol.153, p.467-478.
15. ISMAIL, A.M., HALL, A.E. Reproductive-stage heat tolerance, leaf membrane thermostability and plant morphology in cow-pea. In: *Crop Sci.*, 1999, vol.39, p.1762-1768.
16. SAELIM, S., ZWIAZEK, J.J. Preservation of thermal stability of cell membranes and gas exchange in high temperature-acclimated *Xylia xylocarpa* seedlings. In: *J. Plant Physiol.*, 2000, vol.156, p.380-385.
17. CUZA, P. Capacitatea de adaptare a frunzelor stejarului pufos (*Quercus pubescens* Willd.) în funcție de doză și durata fracționării dozelor șocului termic. În: *Mediul ambient*, 2008, nr.6(42), p.23-26.
18. CUZA, P., TÎCU, L., DASCALIUC, Al. Evidențierea termotoleranței frunzelor genotipurilor de *Quercus robur* cu ajutorul metodei de scurgere a electroliților. În: *Mediul ambient*, 2008, nr. 4(40), p.38-42.
19. MAHESWARY, M., JOSHI, D.K., SAHA, R., NAGARAJAN, S., GAMBHIR, P.N. Transverse relaxation time of leaf water protons and membrane injury in wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to high temperature. In: *Ann. Bot.*, 1999, vol.84, p.741-745.
20. LIU, X.Z., HUANG, B.R. Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping bentgrass. In: *Crop Sci.*, 2000, vol.40, p.503-510.
21. SUTINEN, M.L., PALTA, J.P., REICH, P.B. Seasonal differences in freezing stress resistance of needles of *Pinus nigra* and *Pinus resinosa*. Evaluation of the electrolyte leakage method. In: *Tree Physiology*, 1992, vol.11(3), p.241-254.
22. DASCALIUC, A., CUZA, P. Determinarea termotoleranței la gorun și stejarul pedunculat cu ajutorul metodei de scurgere a electroliților. În: *Mediul ambient*, 2007, nr.6(36), p.27-31.
23. MARIAS, D.E., MEINZER, F.C., STILL, C. Leaf age and methodology impact assessments of thermotolerance of *Coffea arabica*. In: *Trees*, 2017, vol.31, p.1091-1099.
24. CABRAL, R., O'REILLY, C. Physiological and field growth responses of oak seedlings to warm storage. In: *New Forests*, 2008, vol.36, p.159-170.
25. WATSON, G.W. Desiccation Tolerance of Green Ash and Sugar Maple Fine Roots. In: *Arboriculture & Urban Forestry*, 2009, vol.27(4), p.229-233.
26. ALIVAND, R., AFSHARI, R.T., SHARIFZADEH, F. Storage effects on electrical conductivity and fatty acid composition of *Carthamus tinctorius* seed. In: *International Conference of Agriculture Engineering*, Valencia, Spain, 2012.
27. FOTOUO-M, H., TOIT, E.S., ROBBERTSE, P.J. Germination and ultrastructural studies of seeds produced by a fast-growing, drought-resistant tree: implications for its domestication and seed storage. In: *AoB Plants*, 2015, vol.7, p.1-12.
28. ROSLIM, I.D., FIATIN, H., FIATIN, I. Lethal dose 50 (LD50) of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) cultivar kampar. In: *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 2015, vol.47(4), p.510-516.
29. ILÍK, P., ŠPUNDOVÁ, M., ŠICNER, M., MELKOVIČOVÁ, H., KUČEROVÁ, Z., KRCHŇÁK, P., FÜRST, T., VEČEROVÁ, K., PANZAROVÁ, K., BENEDIKTYOVÁ, Z., TRTÍLEK, M. Estimating heat tolerance of plants by ion leakage: a new method based on gradual heating. In: *New Phytologist*, 2018, vol.218(3), p.1278-1287.
30. ШМАЛЬГАУЗЕН, И.И. *Факторы эволюции*. Москва: Наука, 1968. 409 с.
31. ДАНИЛОВ, М.Д. *Формовое разнообразие дуба черешчатого в условиях Северо-Восточной части его ареала и вопросы организации лесосеменного дела*. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1969. 119 с.

32. ЛУКЪЯНЕЦ, В.Б. *Внутривидовая изменчивость дуба черешчатого в центральной лесостепи*. Воронеж: Воронеж. ун-т, 1979. 216 с.
33. СЕМЕРИКОВ, Л.Ф. *Популяционная структура древесных растений (на примере видов дуба европейской части СССР и Кавказа)*. Москва: Наука, 1986. 144 с.
34. CUZA P. Variabilitatea frunzelor stejarului pufos (*Quercus pubescens* Willd.) în Republica Moldova. In: *Mediul ambiant*, 2010, nr.5 (53), p.7-14.
35. CUZA, P. *Instalarea și menținerea speciilor de stejar (aspecte teoretice și practice)*. Chișinău: Mediul ambiant, 2017. 246 p.
36. LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.
37. КУЗА, П. Сравнительная оценка воздействия теплового шока на листья дуба черешчатого и дуба красного. В: *Лесоведенье*, 2020, №3, с.231-238.
38. POSTOLACHE, Gh. *Vegetația Republicii Moldova*. Chișinău: Știința, 1995. 340 p.
39. CLINOVACHI, F. *Dendrologie*. Suceava: Editura Universității Suceava, 2005. 296 p.

Date despre autor:

Petru CUZA, doctor habilitat, profesor universitar, Facultatea de Biologie și Pedologie, Universitatea de Stat din Moldova.

E-mail: petrucuza@mail.ru

Prezentat la 29.04.2021