

Supraviețuire în condiții extreme: cât de rezistentă este sâmbovina americană (*Celtis occidentalis* L.) la secetă în condițiile specifice sud-estului României?

I. Popa, A. Popa, M. Balabașciuc

Popa I., Popa A., Balabașciuc M., 2026. Survival in extreme conditions: how resilient is the common hackberry (*Celtis occidentalis* L.) to drought in the specific conditions of south-eastern Romania? Bucov. For. 26(1): _-_.

Abstract. The study analyzes the dendroclimatic response and drought resilience of hackberry (*Celtis occidentalis* L.) under the specific climatic conditions of the forest-steppe zone in southeastern Romania. The tree-ring chronology spans 65 years (with a sample depth higher than 10 series for the period 1962-2023) and shows high interannual variability, indicating a high sensitivity to the climatic conditions characteristic of the forest-steppe (0.601). The radial growth index series was correlated with climatic parameters (temperature, precipitation, and climatic water balance) at both monthly and cumulative scales over periods of 2–12 months, while drought resilience was assessed using resistance, recovery, and resilience indices calculated for years with extreme water deficit. The results highlight a significant negative influence of temperature during the growing season and a strong positive correlation with water availability, particularly during March–June and the previous autumn. The analysis of resilience indices indicates increased vulnerability to spring droughts, which cause the largest reductions in growth, and a limited recovery capacity following summer droughts, associated with low resilience. Overall, hackberry shows good adaptation to moderate water deficit conditions but shows limitations under extreme drought events, especially during the summer season. Our results contribute to assessing the potential of this non-native species in the context of climate change and provide relevant information for the adaptive management of forest ecosystems in the region.

Keywords: exotic species, resilience indices, dendroclimatic response, tree ring, dendroclimatology.

Authors. Popa Ionel (popaicas@gmail.com), Popa Andrei, Balabașciuc Mihai - “Marin Drăcea” National Research-Development Institute in Forestry, Station Câmpulung Moldovenesc, 73bis, Calea Bucovinei, 725100 Câmpulung Moldovenesc, Romania; Popa Ionel - Center of Mountain Economy-INCE-CE-MONT Vatra Dornei, 49 Petreni Street, 725700 Vatra Dornei, Romania.

Manuscript received 28 April, 2026; revised 15 June, 2026; accepted 19 June, 2026; online first 30 June, 2026.

Introducere

Arborii vegetează în condiții climatice dinamice și adeseori imprevizibile, ceea ce influențează atât procesele de creștere în ansamblu, cât și strategiile de supraviețuire și adaptare. Factorii climatici, și în special regimul termic și hidric, reprezintă principalul modulator al

ențeză atât procesele de creștere în ansamblu, cât și strategiile de supraviețuire și adaptare. Factorii climatici, și în special regimul termic și hidric, reprezintă principalul modulator al

proceselor de fotosinteză și asimilație ale arborilor, și implicit al acumulării de biomasă (Fritts, 1976; Kozłowski și Pallardy, 1996).

Stabilirea de soluții tehnice pentru asigurarea stabilității și rezilienței ecosistemelor forestiere la modificările de mediu reprezintă o preocupare permanentă a sectorului forestier. Una dintre direcțiile de cercetare în acest sens este reprezentată de testarea, în vederea introducerii în practica silvică, a diferitelor specii exotice sau proveniențe de specii native.

Introducerea speciilor exotice în spațiile verzi din zonele urbane sau în culturile forestiere a generat permanent dezbatere contradictorii atât la nivelul societății, cât și în mediul academic. Acțiunile de introducere și aclimatizare a speciilor lemnoase au originea în antichitate, cunoscând o dinamică variată, fiind mai întâi introduse în parcuri și începând cu secolul al XIX-lea în plantații forestiere (Pötzlberger et al., 2020; Vítková et al., 2016).

În România, cercetări ample privind aclimatizarea speciilor forestiere exotice s-au derulat mai ales în primele decenii după Al Doilea Război Mondial, și au vizat instalarea de culturi experimentale atât în colecții dendrologice și arboretumuri, cât și prin teste de cultură în condiții de arboret. Chiar dacă în prezent opinia generală este contrară extinderii în cultura silvică a speciilor exotice, valorificarea informațiilor privind adaptabilitatea speciilor exotice testate în colecții dendrologice sau culturi forestiere trebuie să rămână o preocupare a cercetării silvice (Dimitrova et al., 2022).

Culturile experimentale instalate începând cu a doua jumătate a secolului trecut în vederea testării capacității de aclimatizare a diferitelor specii exotice reprezintă o bază de date informațională extrem de valoroasă. Majoritatea informațiilor privind capacitatea de adaptare la condițiile climatice din România a speciilor exotice se referă la supraviețuirea în primii ani de la instalarea sau la date dendrometrice aferente primelor stagii de dezvoltare. Lipsesc cu precădere informații privind răspunsul la variația factorilor climatici și mai ales capacitatea de adaptare și reziliența la

evenimente climatice extreme, elemente esențiale în evaluarea potențialului de aclimatizare a acestor specii.

Inelul anual reprezintă un indicator sintetic care înregistrează în mod obiectiv modificările survenite în mediul de creștere al arborilor, reflectând în același timp capacitatea acestora de a se adapta la schimbările climatice (Cook și Kairiukstis, 1990). Analiza dendroclimatologică poate oferi date și informații relevante privind comportamentul acestor specii exotice testate în condițiile climatice specifice României.

Sâmbovina americană (*Celtis occidentalis* L.) este un arbore de talie medie, originar din zona central-estică a Americii de Nord. Datorită toleranței ridicate la condițiile de sol și hidrice, respectiv la poluarea aerului, este utilizat frecvent în aliniamente și parcuri urbane, prezența ei în culturile forestiere fiind rară (Rissanen et al., 2025). În Europa a fost introdusă prima dată în Anglia în 1636 (Bartha și Csiszar, 2008), iar în România începând cu secolul XIX.

Studiile dendrocronologice pentru această specie sunt limitate la analiza comportamentului auxologic în condiții specifice mediului urban (Iakovoglou et al., 2001; Rissanen et al., 2025; Vitali et al., 2019). Din cunoștințele noastre, nu sunt disponibile informații privind modul în care factorii climatici influențează creșterea radială la sâmbovina americană în condițiile forestiere specifice climatului din Europa.

Obiectivul general al acestui studiu este analiza răspunsului dendroclimatologic și evaluarea rezilienței la secetă a sâmbovinei americane din zona de sud-est a României. În vederea atingerii acestui scop, au fost formulate următoarele obiective specifice: (i) evaluarea relațiilor dintre variabilitatea climatică (temperatură, precipitații și bilanț hidric) și creșterea radială; (ii) identificarea perioadelor de sensibilitate climatică maximă în dinamica creșterii; (iii) cuantificarea rezilienței la episoadele de secetă prin indicatori dendroecologici specifici.

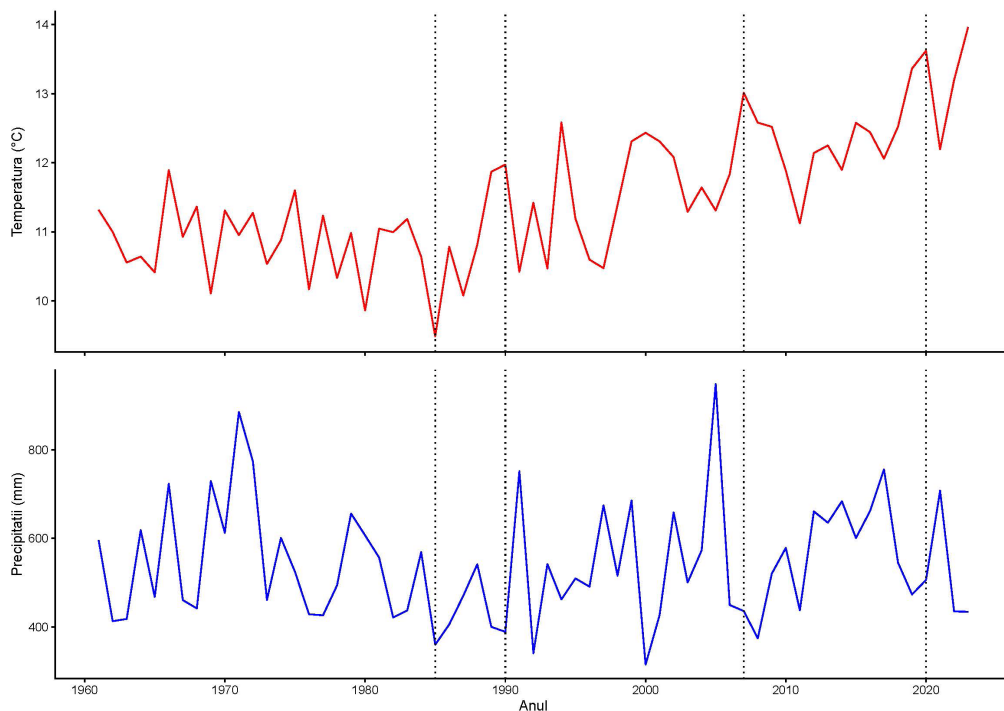


Figura 1 Dinamica temperaturii medii anuale și a precipitațiilor pentru zona de studiu (cu linie punctată anii secetoși selectați)

Dynamics of mean annual temperature and precipitation in the study area (with dotted line selected drought years)

Material și metodă

Zona de studiu și setul de date

Cultura experimentală de sămbovină americană este localizată în Pădurea Groasa din Câmpia Bărgănelului (44° 35' 25" N, 26° 35' 25" E) la o altitudine de 80 m. Solul este cernoziom tipic format pe loess de bonitate mijlocie spre superioară. Arborețul este format majoritar din sămbovină americană (80%) cu elemente de stejar brumăriu (*Quercus pedunculiflora* K. Koch - 10%) și frasin (*Fraxinus excelsior* L. - 10%).

Climatul este specific zonei de silvostepă cu temperaturi medii anuale de 11,5°C și un nivel al precipitațiilor de 542 mm. Temperatura medie lunară atinge valori maxime în luna iulie (22,9 °C) și un nivel maxim al precipitațiilor în luna iunie (75 mm). Datele climatice pentru perioada 1961-2023 au fost extrase din baza de

date ROCADA actualizată pentru celula grid cea mai apropiată zonei de studiu (Dumitrescu și Birsan, 2015, ANM, 2025) (Fig. 1). Bilanțul hidric s-a stabilit ca diferență dintre nivelul lunar al precipitațiilor și evapotranspirația potențială calculată după ecuația Hargreaves modificată bazată pe amplitudinea termică și radiația solară (Droogers și Allen, 2002).

În primăvara anului 2024 s-au prelevat probe de creștere radială de la 21 de arbori dominanți, cu stare de vegetație bună și fără vătămări, în vederea minimizării efectelor asociate proceselor competiționale. Prelevarea carotelor de creștere s-a realizat cu burghiul Pressler de la înălțimea de 1,30 m. Probele de creștere s-au păstrat și uscat în suporturi de policarbonat, fiind ulterior montate pe suporturi de lemn speciali. Pentru evidențierea limitei dintre inelele anuale, carotele de creștere au fost șlefuite cu benzi abrazive cu granulație progresivă (între

P60 și P400). Măsurarea lățimii inelelor anuale s-a realizat cu programul CooRecorder (Maxwell și Larsson, 2021) cu o precizie de 0,01 mm, pe imagini digitale obținute prin scanearea, la rezoluție optică de 2400 dpi, a carotelor de creștere prelucrate. Măsurătorile efectuate au fost verificate prin comparare grafică cu seria medie și validate statistic prin analiza corelației cu ajutorul programului COFECHA (Grissino-Mayer, 2001).

Analiza statistică a datelor

Pentru minimizarea efectului indus de geometria trunchiului și de vârstă, seriile de creștere radială brute au fost standardizate prin aplicarea unei funcții spline cu o lungime de 20 de ani. Indicii de creștere radială s-au calculat prin raportarea lățimii măsurate a inelului anual la valoarea teoretică a modelului statistic ales pentru standardizare. Seria dendrocronologică și seria de creștere radială medie s-au obținut prin intermediul mediei aritmetice biponderate pentru limitarea efectului valorilor extreme (Cook și Kairiukstis, 1990). Autocorelația remanentă din seria dendrocronologică medie a fost eliminată prin aplicarea unui model autoregresiv, obținându-se seria dendrocronologică reziduală. În vederea caracterizării seriei dendrocronologice s-au calculat parametrii statistici specifici (Speer, 2010).

Cuantificarea răspunsului proceselor de creștere radială la variația principalilor parametri climatici (temperatură medie, precipitații și bilanț hidric) s-a realizat prin analiza corelației neparametrice Spearman la nivel lunar și cumulativ pentru perioade cuprinse între 2 și 12 luni. Analiza corelației s-a realizat pentru un interval cuprins între luna mai din sezonul de vegetație anterior formării inelului anual și luna septembrie a anului curent. Stabilirea nivelului de semnificație statistică a coeficienților de corelație s-a realizat prin metoda bootstrap cu 1000 de repetiții (Efron și Tibshirani, 1986).

Evaluarea rezilienței sâmbovinei americane la secetă s-a realizat pe baza analizei in-

dicilor de reziliență (rezistență, recuperare și reziliență) calculați conform (Lloret et al., 2011) pentru seriile de creștere radială brute individuale. Calculul indicilor de reziliență s-a realizat pentru patru ani secetoși selectați ca având valorile bilanțului hidric anual (octombrie anul precedent – septembrie anul curent) sau sezonier (iarnă, primăvară, vară) cele mai reduse. Calculul indicilor de reziliență a avut în vedere o perioadă de 2 ani înainte și după anul cu secetă. Pentru testarea semnificației diferenței dintre indicii de reziliență la nivel sezonier s-a aplicat testul statistic neparametric Kruskal-Wallis și testul post-hoc Wilcoxon cu corecția Bonferroni (McKight și Najab, 2010).

Analizele statistice și reprezentările grafice s-au realizat în programul R (R Core Team, 2023) folosind pachetele dplR (Bunn, 2008), dendroTools (Jevšenak și Levanič, 2018) și pointRes (van der Maaten-Theunissen et al., 2015).

Rezultate

Seria dendrocronologică pentru sâmbovina americană are o lungime de 65 ani, cu o replicare mai mare de 10 serii individuale pentru perioada 1962-2023. Creșterea radială medie este de $1,73 \pm 0,26 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ cu o autocorelație de ordinul I de 0,308. Creșterea radială medie urmează o tendință relativ constantă cu o variabilitate interanuală ridicată, reflectată de valori mari ale sensibilității medii (0,601) și abaterii standard medii a indicilor de creștere radială (0,566) (Fig. 2). Valori minime ale lățimii inelului anual se observă în anii 1976, 1983, 2002 și 2020. Calitatea seriei dendrocronologie este foarte bună, evidențiind un semnal comun puternic susținut de o valoare a semnalului populațional comun (EPS) de 0,96 și o corelație medie între toate seriile individuale de creștere (r_{bar}) de 0,544.

Analiza corelației dintre indicii de creștere radială și temperatura medie relevă o influență negativă și semnificativă statistic în timpul sezonului de vegetație curent și în toam-

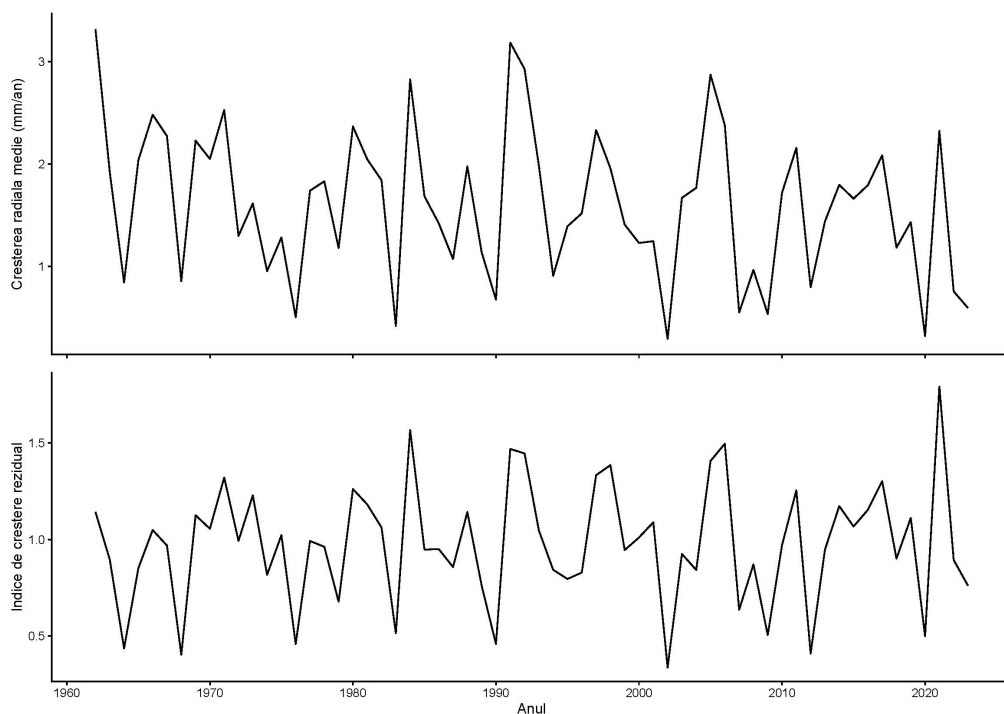


Figura 2 Seria de creștere radială medie și seria dendrocronologică pentru sâmbovina americană
Mean growth chronology and dendrochronological series for hackberry

na precedentă (Fig. 3). Intensitatea corelației este maximă pentru perioade cumulate de 3-5 luni. Valorile maxime ale corelației cu temperatura sunt înregistrate în perioada cumulată aprilie-iulie (-0,41). La nivel lunar, corelații negative și semnificative statistic se constată în luna august a anului precedent formării inelului anual și în lunile iunie și iulie din anul curent. Temperaturile din timpul iernii și primăverii nu condiționează procesele de creștere radială la sâmbovina americană din sud-estul României.

Referitor la influența regimului precipitațiilor și a bilanțului hidric, se observă o corelație pozitivă, preponderent semnificativă statistic, a cărei intensitate crește odată cu lungimea perioadei cumulate. Valorile maxime ale corelației sunt înregistrate pentru perioada august anul precedent – iunie anul curent, fiind în cazul precipitațiilor cumulate de +0,67, respectiv +0,72 în cazul bilanțului hidric. La nivel lunar, corelații semnificative se constată în perioada

martie – mai din anul curent, respectiv august din sezonul de vegetație anterior. În cazul bilanțului hidric se remarcă, de asemenea, corelații semnificative statistic și în cazul lunii iunie, explicabile prin efectul negativ al evaportranspirației pe fondul temperaturii ridicate. De remarcat corelațiile foarte scăzute și ușor negative cu nivelul precipitațiilor și bilanțul hidric din perioada iulie-septembrie a anului curent.

Utilizând bilanțul hidric minim sezonier drept criteriu pentru selecția anilor secetoși în analiza rezilienței la deficitul hidric al sâmbovinei americane s-au inclus următorii ani, în raport cu sezonul analizat: iarnă (1989, 1994, 2002, 2020), primăvară (1968, 1983, 1994, 2007), vară (2000, 2007, 2008, 2012) și anual (1985, 1990, 2007, 2020).

Reducerea medie a creșterii radiale (cuantificată prin indicele de rezistență) în anii cu deficit hidric este maximă în cazul secetei de primăvară (65%) și minimă pentru sezonul de

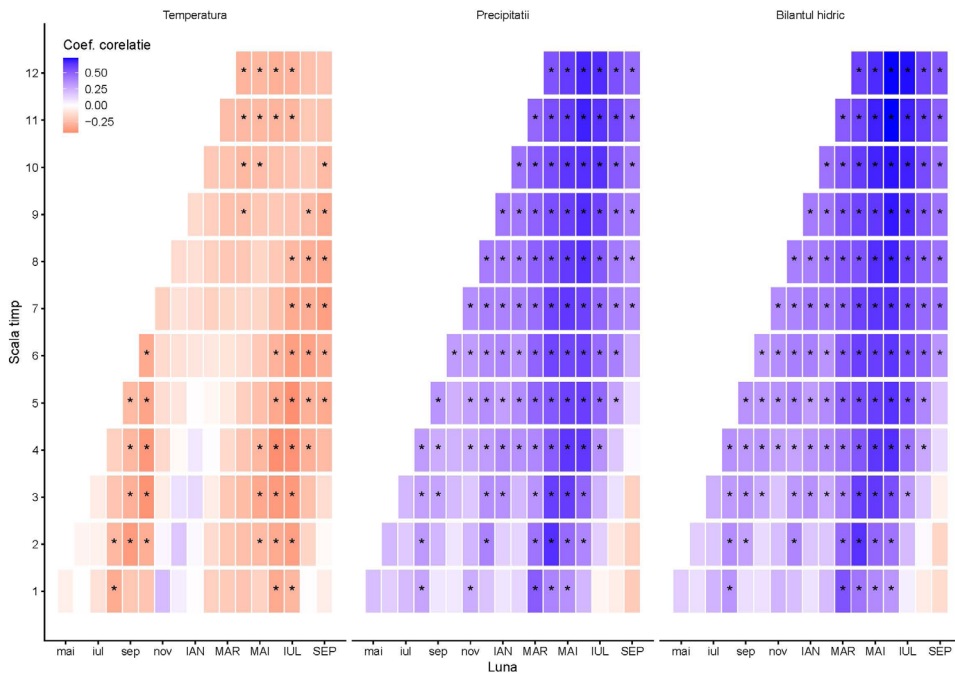


Figura 3 Corelația dintre indicii de creștere radială și parametrii climatici (temperatură medie, precipitații și bilanț hidric); simbolurile indică o corelație semnificativă, $p < 0,05$
Correlation between growth indices and climatic parameters (mean temperature, precipitation, and climatic water balance); symbols indicate a significant correlation, $p < 0.05$

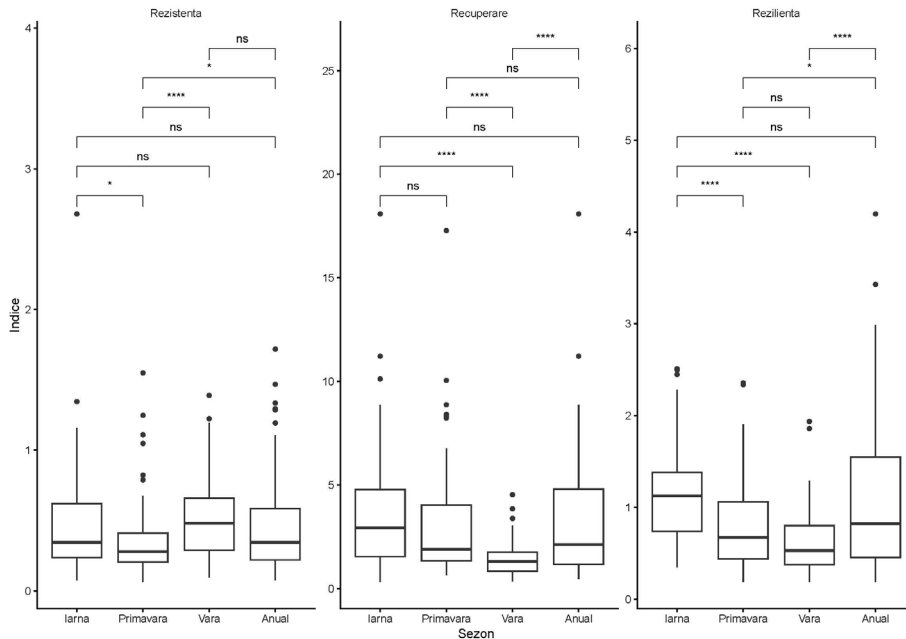


Figura 4 Indicii de reziliență în cazul anilor cu deficit hidric accentuat la nivel sezonier
Resilience indices for years with extreme seasonal water deficit

vară (49%) cu valori de 53% în cazul secetelor la nivel anual (Fig. 4). Rezistența la secetă din primăvară diferă semnificativ statistic de valorile înregistrate în cazul celorlalte sezoane considerate. Considerând secetele extreme la nivel anual, se observă că numai în 10% din cazuri (cupluri arbore – an secetos) nu se înregistrează pierderi de creștere (valori supraunitare ale rezistenței).

Recuperarea creșterii radiale după anii cu secetă în timpul verii diferă semnificativ de celelalte sezoane analizate. Indicele de recuperare medie este de 1,42 pentru seceta de vară, comparativ cu 3,0 (primăvara) și 3,6 (iarna). În același timp, se constată un răspuns mult mai omogen la seceta de vară, fiind observată o variabilitate între arbori semnificativ mai redusă. Totuși, în 20% din cazuri, pentru anii cu deficit hidric accentuat la nivel anual, valorile indicelui de recuperare sunt subunitare.

Referitor la reziliența în ansamblu, respectiv capacitatea arborilor de a atinge un nivel al creșterii radiale cel puțin egal cu cel înregistrat anterior anului cu secetă, se remarcă o scădere în raport cu sezonul analizat, cu valori maxime în cazul iernii și cu reziliență minimă pentru secetele de vară. Valorile medii ale rezilienței sunt sub supraunitare numai în cazul anilor cu secetă în timpul iernii sau la nivel anual. De exemplu, în cazul anului cu deficit hidric semnificativ în timpul verii, atingerea nivelului de reziliență unitară se realizează numai în 13% dintre cazuri, procentul fiind de 43% în cazul secetelor la nivel anual.

Discuții

Analiza dendrocronologică a arboretului de sâmbovina americană din Câmpia Bărăganului relevă un model de răspuns dendroclimatic specific condițiilor climatice ale silvostepii, caracterizat de o corelație negativă cu temperatura și pozitivă cu regimul hidric. Totuși, influența semnificativă statistic a condițiilor climatice la nivel lunar se limitează la perioada iunie-iulie în cazul temperaturilor și martie-iu-

nie în cazul bilanțului hidric. De asemenea, indicii de reziliență variază în raport cu perioada din an cu deficite hidrice extreme. Rezistența cea mai redusă se constată la seceta din timpul primăverii, în timp ce recuperarea și reziliența sunt cele mai reduse în cazul secetelor din timpul verii.

Sâmbovina americană este o specie lemnoasă cu distribuția porilor inelară cu 2-4 rânduri de vase mari în structura lemnului timpuriu (Wheeler et al., 1989). Dinamica auxologică este specifică speciilor cu distribuția porilor inelară (ex. *Quercus* spp., *Fraxinus* spp.) procesele de formare a inelului anual debutând primăvara devreme, înainte de apariția frunzelor, bazându-se pe resursele stocate din anul precedent (Rissanen et al., 2025). Această dinamică se corelează cu rezultatele obținute care indică o sensibilitate ridicată la condiții hidrice din prima parte a sezonului de vegetație (martie-iunie), respectiv din luna august anul precedent.

Creșterea radială medie este similară cu valorile observate pentru sâmbovina americană din regiunea Quebec (Canada), prezentând aceeași variabilitate redusă la nivel interanual (Houle and Bouchard, 1990). Sensibilitatea medie (0,601) este dublă față de cea observată în regiunea Quebec (0,318), explicabil prin condițiile climatice specifice silvostepii în cazul nostru.

Sâmbovina americană este o specie cu o viteză de creștere radială redusă, adoptând o strategie de adaptare la condițiile climatice bazată pe conservarea utilizării resurselor derivate din procesul de fotosinteză (Ramirez, 2017; Vitali et al., 2019). Experimente privind impactul defolierii și vătămărilor mecanice asupra creșterii radiale și a dinamicii sistemului radicular la sâmbovina americană în condiții de climat urban din Montreal (Quebec, Canada) au relevat o strategie orientată spre supraviețuirea individuală probabil prin mecanisme specifice de compartimentare și reparație, consumatoare de resurse, cuplate cu reducerea creșterii pe termen lung (Vitali et al., 2019).

Versatilitatea speciei de a vegeta în condiții

de sol și regim hidric deficitare a permis utilizarea frecventă în zone urbane sau pe terenuri degradate, putând avea adeseori caracter invaziv (de ex., Pădurea Peszer, Ungaria centrală; Erdélyi et al., 2023). Plasticitatea speciei este reflectată de diferențele semnificative observate privind relația dintre parametrii vaselor din inelele anuale și factorii climatici în raport cu localizarea în zonele urbane (parcuri, aliniamente stradale; Rissanen et al., 2025).

Sâmbovina americană se dovedește a fi o specie adaptată condițiilor climatice caracterizate de un deficit de precipitații important, specific zonei de silvostepă, ocupând suprafețe importante în culturile forestiere din Republica Moldova (Novac, 2024). Totuși, rezultatele obținute evidențiază o reziliență scăzută la secetele extreme din timpul verii.

Concluzii

Rezultatele obținute evidențiază faptul că sâmbovina americană (*Celtis occidentalis* L.) manifestă un răspuns dendroclimatic tipic condițiilor de silvostepă din sud-estul României, caracterizat printr-o corelație negativă cu regimul termic și pozitivă cu disponibilitatea resurselor hidrice. Creșterea radială este controlată preponderent de condițiile hidrice din prima parte a sezonului de vegetație (martie–iunie), precum și de rezervele de apă din toamna precedentă, ceea ce reflectă o strategie adaptativă bazată pe utilizarea eficientă a resurselor limitate.

Analiza indicilor de reziliență arată că sensibilitatea la secetă variază semnificativ în funcție de sezonul în care aceasta se manifestă. Astfel, secetele de primăvară determină cele mai mari reduceri ale creșterii radiale, indicând o vulnerabilitate ridicată în fazele incipiente ale formării inelului anual. În schimb, secetele estivale sunt asociate cu o capacitate redusă de recuperare și cu niveluri scăzute ale rezilienței, sugerând efecte persistente asupra funcționării fiziologice a arborilor.

Deși specia prezintă o bună capacitate de

toleranță la condiții de deficit hidric, confirmată de corelațiile pozitive cu bilanțul hidric și de supraviețuirea în condiții de silvostepă, rezultatele indică limitări importante în ceea ce privește reziliența la evenimente climatice extreme, în special la secetele severe din timpul verii.

În ansamblu, sâmbovina americană poate fi considerată o specie relativ bine adaptată condițiilor climatice din sud-estul României, însă cu o vulnerabilitate crescută la intensificarea frecvenței și severității secetelor estivale, prognozate în contextul schimbărilor climatice. Aceste aspecte trebuie avute în vedere în evaluarea potențialului de utilizare a speciei în culturile forestiere și în strategiile de management adaptativ al ecosistemelor forestiere.

Mulțumiri

Cercetările s-au derulat în cadrul proiectului PN23090201 - „Fundamente științifice noi pentru dezvoltarea soluțiilor, modelelor și metodelor integrate specifice unui management forestier inteligent climatic, sustenabil și adaptat sistemului socio-economic“ finanțat de Ministerul Educației și Cercetării, prin programul nucleu FORLCLIMSOC.

Bibliografie

- Administrația Națională de Meteorologie (ANM), 2025, Date meteorologice zilnice gridate, <https://data.gov.ro/>.
- Bartha, D.; Csiszar, A., 2008, Common hackberry (*L.*). In: The most important invasive plants in Hungary. Institute of Ecology and Botany–Hungarian Academy of Sciences, p. 95-102.
- Bunn, A.G., 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A., 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Springer Science & Business Media.
- Dimitrova, A., Csilléry, K., Klisz, M., Lévesque, M., Heinrichs, S., Cailleret, M., Andivia, E., Madsen, P., Böhenius, H., Cvjetkovic, B., De Cuyper, B., De Dato, G., Ferus, P., Heinze, B., Ivetić, V., Köbölkuti, Z., Lazarević, J., Lazdina, D., Maaten, T., Makovskis, K., Milovanović, J., Monteiro, A.T., Nonić, M., Place, S., Puchalka, R., Mon-

- agnoli, A., 2022. Risks, benefits, and knowledge gaps of non-native tree species in Europe. *Front. Ecol. Evol.* 10, 908464. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.908464>
- Droogers, P., Allen, R.G., 2002. Estimating Reference Evapotranspiration Under Inaccurate Data Conditions. *Irrig. Drain. Syst.* 16, 33–45. <https://doi.org/10.1023/A:1015508322413>
- Dumitrescu, A., Birsan, M.-V., 2015. ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables. *Nat. Hazards* 78, 1045–1063. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1757-z>
- Efron, B., Tibshirani, R., 1986. Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy. *Stat. Sci.* 54–75.
- Erdélyi, A., Hartdégén, J., Malatinszky, Á., Vadász, C., 2023. Historical reconstruction of the invasions of four non-native tree species at local scale: a detective work on *Ailanthus altissima*, *Celtis occidentalis*, *Prunus serotina* and *Acer negundo*. *One Ecosyst.* 8, e108683. <https://doi.org/10.3897/oneeco.8.e108683>
- Fritts, H., 1976. *Tree rings and climate*. Elsevier.
- Grissino-Mayer, H.D., 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA.
- Houle, G., Bouchard, F., 1990. Hackberry (*Celtis occidentalis*) at the northeastern limit of its distribution in North America: population structure and radial growth patterns. *Can. J. Bot.* 68, 2685–2692. <https://doi.org/10.1139/b90-339>
- Iakovoglou, V., Thompson, J., Burras, L., Kipper, R., 2001. Factors related to tree growth across urban-rural gradients in the Midwest, USA. *Urban Ecosyst.* 71–85.
- Jevšenak, J., Levanič, T., 2018. dendroTools: R package for studying linear and nonlinear responses between tree-rings and daily environmental data. *Dendrochronologia* 48, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.01.005>
- Kozłowski, T.T., Pallardy, S.G., 1996. *Physiology of woody plants*. Elsevier.
- Lloret, F., Keeling, E.G., Sala, A., 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120, 1909–1920. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x>
- Maxwell, R.S., Larsson, L.-A., 2021. Measuring tree-ring widths using the CooRecorder software application. *Dendrochronologia* 67, 125841. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125841>
- McKight, P.E., Najab, J., 2010. Kruskal-wallis test. *Corsini Encycl. Psychol.* 1–1.
- Novac, G., 2024. Analiza ecologică a species *Celtis occidentalis* L. pe teritoriul Republicii Moldova. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*. 54, 23-31.
- Pötzelsberger, E., Spiecker, H., Neophytou, C., Mohren, F., Gazda, A., Hasenauer, H., 2020. Growing Non-native Trees in European Forests Brings Benefits and Opportunities but Also Has Its Risks and Limits. *Curr. For. Rep.* 6, 339–353. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00129-0>
- R Core Team, 2023. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*.
- Ramirez, J.A., 2017. The functional role of carbohydrate reserves in the growth and survival of trees. PhD Thesis.
- Rissanen, K., Vitali, V., Kneeshaw, D., Paquette, A., 2025. Vessel anatomy of urban *Celtis occidentalis* trees varies to favour safety or efficiency depending on site conditions. *Trees* 39, 29. <https://doi.org/10.1007/s00468-025-02603-3>
- Speer, J.H., 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press.
- van der Maaten-Theunissen, M., van der Maaten, E., Bouriaud, O., 2015. pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia* 35, 34–38. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.05.006>
- Vitali, V., Ramirez, J.A., Perrette, G., Delagrange, S., Paquette, A., Messier, C., 2019. Complex Above- and Below-Ground Growth Responses of Two Urban Tree Species Following Root, Stem, and Foliage Damage—An Experimental Approach. *Front. Plant Sci.* 10, 1100. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01100>
- Vítková, L., Krumm, F., European Forest Institute (Eds.), 2016. Introduced tree species in European forests: opportunities and challenges, In focus - managing forest in Europe. European Forest Institute, Joensuu.
- Wheeler, E.A., LaPasha, C.A., Miller, R.B., 1989. Wood Anatomy of Elm (*Ulmus*) and Hackberry (*Celtis*) Species Native to the United States. *IAWA J.* 10, 5–26. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001106>