CZU: 582.632.2:551.583 **https://doi.org/10.59295/sum1(191)2026_18**

RĂSPUNSUL CREȘTERII RADIALE A STEJARULUI PUFOS (QUERCUS PUBESCENS WILLD.) LA VARIABILITATEA CLIMATICĂ LA LIMITA EXTRAZONALĂ A AREALULUI

Gheorghe FLORENȚĂ,
Veronica FLORENȚĂ,
Universitatea de Stat din Moldova

Andrei POPA,
Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură Marin Drăcea, România

Ionel POPA,
Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură Marin Drăcea, România,
Centrul de Economie Montană Vatra Dornei, România

Studiul analizează răspunsul stejarului pufos (Quercus pubescens Willd.) la variabilitatea climatică într-un arboret azonal. Au fost analizate 24 de serii dendrocronologice obținute din carote prelevate de la arbori maturi, cu o lungime medie de 89 ± 13 ani, acoperind perioada 1923-2024. Cronologia standardizată prezintă o sensibilitate relativ ridicată (MS = 0,363) și un semnal populațional exprimat foarte bun (EPS = 0,964), indicând un răspuns pronunțat al creșterii radiale la variațiile climatice. Analiza relațiilor climă-creștere evidențiază o influență pozitivă a precipitațiilor din sezonul rece și începutul primăverii (noiembrie-aprilie) și un efect negativ al temperaturilor ridicate din septembrie. Anii 1942, 1946 și 2020 corespund unor minime de creștere asociate episoadelor de secetă severă. Rezultatele indică faptul că disponibilitatea apei în sol reprezintă principalul factor limitativ al creșterii radiale, confirmând potențialul speciei Quercus pubescens ca indicator dendroclimatic al variabilității climatice regionale.

Cuvinte-cheie: *dendrocronologie, variabilitate climatică, creștere radială, păduri extrazonale, stejar pufos, stres hidric.*

RESPONSE OF RADIAL GROWTH OF DOWNY OAK (QUERCUS PUBESCENS WILLD.) TO CLIMATE VARIABILITY AT THE EXTRAZONAL LIMIT OF THE AREA

The study analyzes the response of downy oak (Quercus pubescens Willd.) to climate variability in an azonal stand. Twenty-four tree-ring series obtained from increment cores of mature trees were analyzed. The average series length was 89 ± 13 years, covering the period 1923–2024. The standardized chronology shows a relatively high sensitivity (MS = 0,363) and a very good expressed population signal (EPS = 0,964), indicating a pronounced response of radial growth to climatic variations. The analysis of climate-growth relationships highlights a positive influence of precipitation in the cold season and early spring (November-April) and a negative effect of high temperatures in September. The years 1942, 1946 and 2020 correspond to growth minima associated with severe drought episodes. The results indicate that soil water availability is the main limiting factor for radial growth, confirming the potential of the Quercus pubescens species as a dendroclimatic indicator of regional climate variability.

Keywords: *dendrochronology, climate variability, radial growth, extrazonal forests, downy oak, hydric stress.*

Introducere

Schimbările climatice reprezintă unul dintre principalii factori de risc cu impact asupra dinamicii ecosistemelor forestiere în Europa Centrală și de Est, prin modificarea regimului termic și pluviometric, intensificarea frecvenței și severității secetelor și creșterea variabilității interanuale a condițiilor climatice [1; 29; 31 31; 35, 37; 41]. În Republica Moldova, tendințele recente indică o creștere a temperaturii medii

anuale cu 2°C până în anul 2040 și o accentuare a stresului hidric estival (o scădere cu 13% a cantității anuale de precipitații) cu implicații directe asupra productivității și stabilității arboretelor forestiere [13]. În acest context, Programul Național de Extindere și Reabilitare a Pădurilor din Republica Moldova [25; 53] acordă o importanță sporită selecției speciilor forestiere adaptate la condiții de ariditate și la variabilitatea climatică ridicată, în vederea creșterii rezilienței ecosistemelor forestiere și a reușitei lucrărilor de împădurire și reîmpădurire. Speciile termofile și xerofile devin astfel de interes strategic, fiind considerate soluții potențiale pentru adaptarea fondului forestier la scenariile climatice viitoare [7; 33].

Stejarul pufos (*Quercus pubescens* Willd.) este o specie caracteristică zonelor cu climat cald și relativ arid, având o toleranță ridicată la secetă și la solurile sărace, ceea ce îi conferă un potențial adaptativ deosebit în condițiile intensificării stresului hidric [3; 36; 46; 56]. În Europa Centrală și de Est, numeroase studii au evidențiat capacitatea acestei specii de a menține creșterea radială în condiții de deficit pluviometric și temperaturi ridicate, ceea ce o recomandă ca specie de interes pentru strategiile de adaptare la schimbările climatice [51; 55]. În același timp, există și studii care raportează rezultate contrastante, demonstrând că stejarul pufos din zona deluroasă (regiunea Basilicata, sudul Italiei, caracterizată printr-o proporție ridicată a pădurilor de stejar pufos) reprezintă tipul de pădure cel mai afectat de fenomenul de declin al stejarului în contextul condițiilor climatice locale [14].

În Republica Moldova, arealul stejarului pufos este situat în principal în regiunile sudice și centrale ale țării [8; 23; 58; 43], iar apariția arboretelor de stejar pufos în partea de nord a acestui areal reprezintă o situație extrazonală, cu importanță ecologică și biogeografică deosebită [43]. Având în vedere importanța ecologică a acestor populații [22], arboretele de stejar pufos au fost cercetate sub aspectul răspunsului la stresul termic, evidențiind modul în care specia se poate adapta la temperaturi ridicate în comparație cu alte specii de stejar [19, 20, 21]. De asemenea, aceste arborete de la limita arealului pot constitui zone de monitorizare pentru evaluarea răspunsului speciei la condiții climatice mai reci și mai umede comparativ cu arealul optim, oferind informații esențiale privind potențialul de extindere naturală sau asistată a speciei către nord [27; 30].

În acest context de evaluare a rezilienței speciilor forestiere la secetă, dendrocronologia reprezintă un instrument important pentru evaluarea relațiilor dintre creșterea radială a arborilor și variabilitatea climatică, permițând identificarea factorilor limitativi ai creșterii și cuantificarea sensibilității speciilor forestiere la stresul climatic [15; 24; 47]. Inelele de creștere radială, prin parametrii acestora, constituie o arhivă naturală de înaltă rezoluție temporală, capabilă să reflecte răspunsurile anuale și decadale ale arborilor la variațiile de temperatură și precipitații [40; 49]. Prin măsurarea și analiza lățimii inelelor de creștere, se pot identifica perioadele favorabile sau restrictive din punct de vedere climatic și se pot construi modele de sensibilitate climatică [40].

Studii dendrocronologice și dendroclimatologice privind pădurile de stejar pufos din Europa sunt relativ puține, comparativ cu cele dedicate altor specii de stejar sau speciilor forestiere dominante din zonele temperate. În literatura de specialitate din Republica Moldova, studiile dendrocronologice au vizat în principal stejarul, fagul și mai puțin stejarul pufos [10; 11; 12; 26; 34; 38; 41; 45]. Aceste cercetări, deși relativ recente, dar limitate ca număr, oferă informații valoroase privind dinamica creșterii arborilor, variabilitatea climatică și impactul factorilor antropici asupra ecosistemelor forestiere, contribuind la consolidarea bazei științifice pentru analiza răspunsului pădurilor la schimbările climatice.

Studiul de față își propune să analizeze răspunsul stejarului pufos la variabilitatea climatică prin intermediul creșterilor radiale în condiții climatice și de vegetație specifice Podișului Codrilor de Vest [6]. Obiectivul studiului este reprezentat de cuantificarea relației dintre factorii climatici și procesele de creștere radială pentru evaluarea gradului de sensibilitate climatică a speciei la limita nordică a arealului său regional, în concordanță cu abordările utilizate în studiile recente de ecologie forestieră și dendroclimatologie.

Cunoașterea răspunsului stejarului pufos la variabilitatea factorilor climatici în condiții de limită a arealului poate constitui un punct de plecare pentru cercetări suplimentare dedicate evaluării potențialului său de adaptare în regiunea de centru și nord a Republicii Moldova.

Metode şi materiale aplicate

Zona de studiu

Pentru cuantificarea relației dintre principalii factori climatici și procesele de creștere radială la stejarul pufos de la limita nordică a arealului său regional a fost selectat un arboret de stejar pufos (47°11′14″ N și 28°18′55″ E) situat pe Podișul Bîcului de Vest [6]. Arboretul face parte din pădurile gestionate de Ocolul silvic Călărași din cadrul Întreprinderii pentru Silvicultură Călărași (Fig. 1).

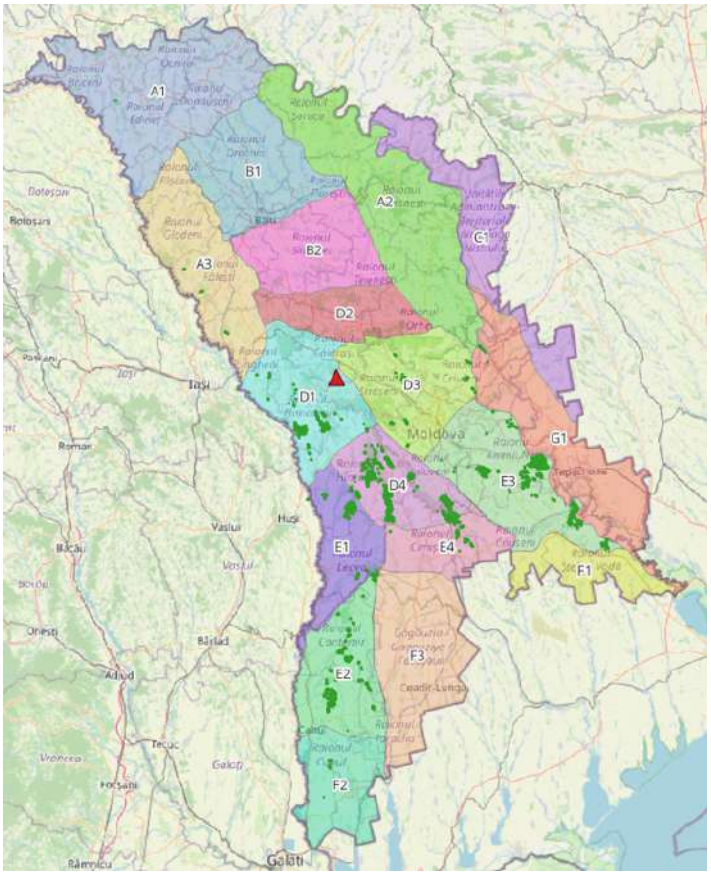


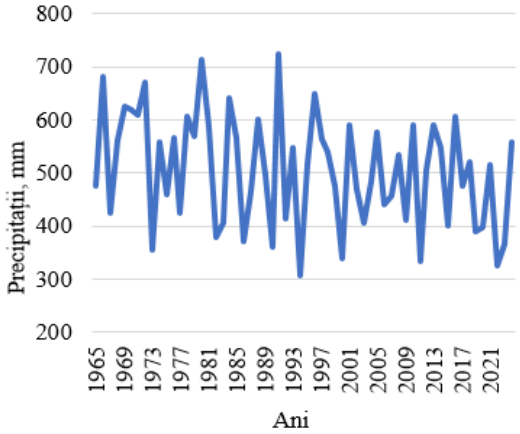
Figura 1. Poziția geografică a zonei de studiu

Conform proiectului de amenajare al Ocolului Silvic Călărași [2], arboretul investigat este localizat în subparcela 42E, la o altitudine cuprinsă între 230 și 300 m, pe un versant cu expoziție sudică și o pantă medie de aproximativ 25°. Tipul de sol este reprezentat de cernoziom argiloiluvial tipic. Din punct de vedere staţional, suprafața se încadrează într-o stațiune de silvostepă deluroasă, caracterizată prin cvercete de stejar pufos de tip extrazonal, încadrate în zona deluroasă a cvercetelor (cu gorun), dezvoltate pe versanți însoriți, cu cernoziomuri.

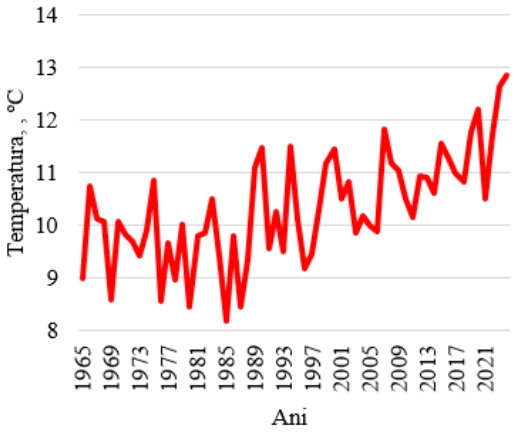
Compoziția arboretului este de 5 STP (stejar pufos), 1 GO (gorun), 1 ST (stejar pedunculat), 1 SC (salcâm), 1 ULC (ulm de câmp) și 1 DT (specii diverse tari), cu o consistență medie de 0,8. Arboretul are o vârstă medie de 75 de ani și o structură relativ plurienă. Stejarul pufos, gorunul și stejarul pedunculat au o vârstă medie de 100 de ani. Dimensional stejarul pufos are un diametru mediu de 18 cm și o înălțime medie de 11 m, fiind încadrat în clasa a 3-a de producție.

Date climatice

Datele climatice utilizate în acest studiu provin din baza de date E-OBS, cu o rezoluție spațială de 0,1° × 0,1°, și au fost descărcate prin intermediul platformei KNMI Climate Explorer [50]. Setul de date E-OBS furnizează date climatice observaționale interpolate și omogenizate pentru Europa, fiind larg utilizat în studiile climatologice și dendroclimatologice [18; 50]. Au fost utilizate seriile de temperatură medie lunară și cantități lunare de precipitații pentru perioada 1965 - 2024, corespunzătoare celulei grid care acoperă zona de studiu (Fig. 2).



Precipitații anuale, mm



Temperatura medie anuală, ºC

Figura 2. Temperaturile şi precipitaţiile medii anuale pentru perioada 1965 – 2024

Conform datelor descărcate de pe platforma KNMI Climate Explorer, regimul climatic local este caracterizat de o temperatură medie multianuală de 10,3 ºC şi de o cantitate medie anuală a precipitaţiilor de 506 mm. Valorile medii ale temperaturilor în sezonul de vegetaţie sunt de 17,9ºC, respectiv în perioada de repaus vegetativ de 4,7 ºC. Distribuţia sezonieră a precipitaţiilor evidenţiază o medie în sezonul cald, de 188 mm vara şi 125 mm primăvara, şi valori mai reduse în toamnă (112 mm) şi iarnă (84 mm). Analiza lunară indică un maxim pluviometric în intervalul mai - iulie (193 mm) şi un minim pronunţat în sezonul rece.

Analiza seriilor temporale evidenţiază, pentru perioada recentă, o tendinţă semnificativă de creştere a temperaturii medii începând cu anul 1990, indicând un proces de încălzire regională. În contrast, cantităţile de precipitaţii înregistrează, pentru aceeaşi perioadă, o tendinţă uşoară de scădere, sugerând o intensificare a condiţiilor de ariditate şi un potenţial accentuat al stresului hidric asupra ecosistemelor forestiere din zona de studiu.

Prelevarea probelor şi măsurarea inelelor anuale

În conformitate cu principiile standard ale dendrocronologiei [15; 24; 40], în toamna anului 2024, au fost selectaţi 24 de arbori dominanţi şi codominanţi de stejar pufos fără vătămări vizibile cu o stare de sănătate bună. Din fiecare arbore a fost extrasă câte o carotă de creştere la înălţimea de 1,30 m de la sol, utilizând burghiul Pressler.

Carotele au fost introduse în tuburi de plastic, etichetate şi uscate în aer liber. Ulterior, acestea au fost fixate pe suporţi de lemn şi şlefuite cu hârtie abrazivă cu granulaţie progresivă (80 - 400), pentru evidenţierea limitelor inelelor anuale. Carotele de creştere au fost scanate la o rezoluţie optică de 2400 dpi, iar lăţimea inelelor anuale a fost măsurată cu ajutorul programului CooRecorder/CDendro [32], cu o precizie de 0,01 mm.

Interdatarea vizuală şi verificarea statistică a seriilor individuale a fost realizată cu programul COFECHA [28], utilizând analiza corelaţiei pe subperioade intercalate, pentru verificarea corectitudinii măsurătorilor şi identificarea eventualelor erori.

Analiza statistică a datelor dendrocronologice

Pentru reducerea influenţei tendinţelor de creştere asociate vârstei arborilor, geometriei trunchiului şi altor factori non-climatici, seriile individuale ale lăţimii inelului anual au fost supuse unui proces de standardizare. În acest scop, s-a aplicat o funcţie spline cubică, cu o lungime fixă de 30 de ani. Această abordare permite eliminarea eficientă a variaţiilor de joasă frecvenţă şi accentuarea semnalului interanual, considerat a fi predominant controlat de variabilitatea climatică [15]. Standardizarea a fost realizată utilizând programul ARSTAN [17], iar indicii de creştere au fost calculaţi prin raportarea valorilor observate ale lăţimii inelului anual la valorile estimate de modelul statistic. Prin această procedură s-au obţinut serii de indici cu medie apropiată de unitate şi cu o variabilitate stabilizată, adecvate pentru analize statistice şi dendroclimatologice ulterioare. Pe baza seriilor standardizate a fost obţinută cronologia medie standard (STD), prin agregarea seriilor individuale utilizând o medie biponderată, metodă care reduce influenţa valorilor extreme şi creşte robusteţea estimării semnalului comun de creştere la nivel de arboret [15].

Cronologia medie obținută reflectă componenta comună a variabilității creșterii radiale a stejarului pufos la nivel de arboret și este utilizată ca proxy pentru cuantificarea modului de răspuns a arborilor la variabilitatea climatică regională.

Pentru evaluarea calității și robusteții cronologiilor au fost calculați indicatori statistici dendrocronologici standard, respectiv: sensibilitatea medie (MS), autocorelația de ordinul I (AC1), corelația interserială (rbar) și semnalul populațional comun (EPS). Reprezentativitatea cronologiei a fost considerată satisfăcătoare atunci când valorile EPS au depășit pragul de 0,85, prag recunoscut ca indicator al unei cronologii suficient de robuste pentru analize dendroclimatologice [15; 57].

Pentru cuantificarea relațiilor dintre variabilitatea climatică și creșterea radială a stejarului pufos au fost calculați coeficienți de corelație de tip Pearson între cronologia standard (STD) și variabilele climatice, respectiv temperaturile medii lunare și cantitățile lunare de precipitații, pentru perioada 1965 - 2024. Analiza a inclus atât lunile din anul anterior formării inelului, cât și lunile din anul curent de creștere, pentru a identifica posibile efecte întârziate ale condițiilor climatice din anul precedent asupra creșterii radiale.

Pentru prezentarea evoluției creșterii radiale au fost utilizate atât seria de creștere medie, exprimată în mm, cât și seria dendrocronologică standardizată, exprimată ca indice de creștere.

Semnificația statistică a relațiilor de corelație a fost evaluată prin metoda bootstrap, metodă robustă utilizată frecvent în analizele dendroclimatologice pentru a reduce influența autocorelației și a distribuțiilor non-normale. Analiza corelațiilor climat-creștere a fost realizată cu programul DendroClim2002 [5].

Rezultate și discuții

Au fost analizate 24 de serii individuale de lățime a inelelor de creștere, care acoperă perioada 1923–2024. Lungimea maximă a seriei de indici de creștere este de 102 ani, cu o replicație mai mare de 20 de arbori după anul 1965, indicând o bună stabilitate temporală a eșantionării și o robustețe crescută a cronologiei în perioada recentă.

Sensibilitatea medie a seriilor individuale este relativ ridicată (MS = 0,397 ± 0,047), ceea ce indică un răspuns pronunțat al creșterii radiale la variațiile interanuale ale condițiilor de mediu. Autocorelația de ordinul I prezintă valori medii (AC1 = 0,576 ± 0,174), sugerând o influență moderată a proceselor de creștere din anul precedent asupra creșterii din anul curent (Tabelul 1).

Tabelul 1. Indicatori statistici ai seriilor individuale de creștere și ai cronologiei standardizate

Indicator	Serii de creștere (medie ± SD)	Cronologie STD
Număr serii (N)	24	24
Lungime serie (ani)	89 ± 13	89 ± 13
Lungime maximă serie (ani)	102	102
Lățime medie inel (mm)	1,255 ± 0,614	-
Abatere standard (mm)	1,489 ± 3,365	-
Sensibilitate medie (MS)	0,397 ± 0,047	0,363
Autocorelație ordin 1 (AC1)	0,576 ± 0,174	0,042
Corelație inter-serie (rbar)	0,546	0,530
Expressed Population Signal (EPS)	-	0,964
Signal-to-Noise Ratio (SNR)	-	26,78

Seria de creștere radială medie evidențiază o tendință descrescătoare a lățimii inelelor de creștere odată cu înaintarea în vârstă, reflectând efectele biologice legate de vârsta cambială și de creșterea diametrului trunchiului (Fig. 3). Variabilitatea interanuală este suprapusă peste această tendință pe termen lung, însă amplitudinea variațiilor este mai redusă comparativ cu cronologia standardizată, datorită prezenței semnalului biologic non-climatic.

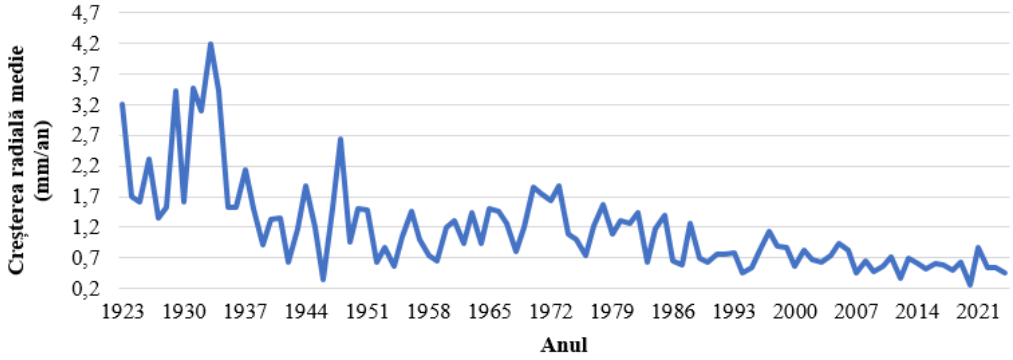


Figura 3. Seria de creștere radială medie pentru perioada 1923–2024

Cronologia standard acoperă intervalul 1923 - 2024 (102 ani) și prezintă o sensibilitate medie de 0,363, o deviație standard de 0,304 și o autocorelație scăzută (0,042), indicând o variabilitate interanuală pronunțată și o influență redusă a dependenței temporale asupra indicilor de creștere.

Dinamica indicilor de creștere evidențiază o variabilitate interanuală accentuată, cu perioade distincte de creștere redusă și creștere favorabilă (Fig. 4). Valorile minime ale indicilor de creștere se înregistrează în anii 1946, 1942 și 2020, reflectând episoade de stres climatic sever. Valorile maxime sunt observate în anii 1948, 1933 și 2021, corespunzând unor condiții climatice deosebit de favorabile pentru creșterea arborilor.

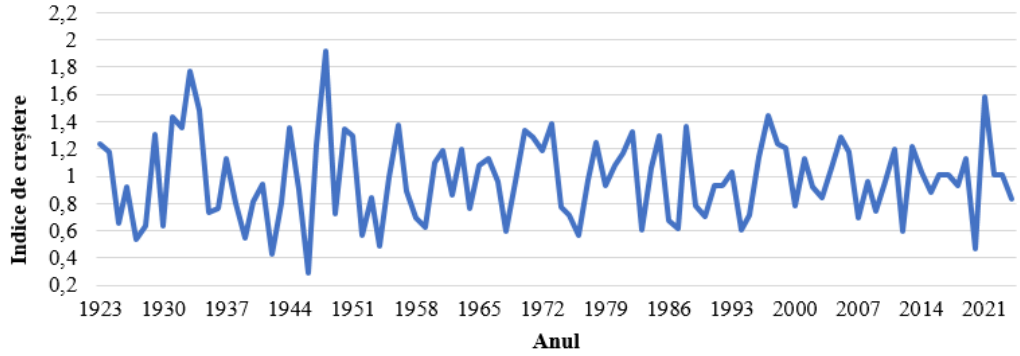


Figura 4. Dinamica indicilor de creștere standardizați (STD) pentru perioada 1923–2024

Omogenitatea semnalului comun între arbori este ridicată, coeficientul mediu de corelație inter-serie având valoarea rbar = 0,546, ceea ce confirmă o reprezentativitate foarte bună a cronologiei pentru analizele climă - creștere.

Analiza relațiilor climă - creștere evidențiază o sensibilitate pronunțată a creșterii radiale la condițiile hidrotermice din sezonul rece și începutul sezonului de vegetație (Tabelul 2, Fig. 5). Analizele de corelație bootstrap indică un control climatic dominant exercitat de disponibilitatea apei din sol asupra creșterii radiale.

Tabelul 2. Corelații de corelație semnificativi între indicii de creștere (STD) și variabilele climatice lunare (1965-2024)

Lună	Variabilă	Correlation (r)
Septembrie (an precedent)	Temperatură	-0,316
Aprilie (an curent)	Temperatură	-0,278
Septembrie (an curent)	Temperatură	-0,317
Noiembrie (an precedent)	Precipitații	0,391
Decembrie (an precedent)	Precipitații	0,265
Ianuarie (an curent)	Precipitații	0,273
Martie (an curent)	Precipitații	0,254
Aprilie (an curent)	Precipitații	0,299

Precipitațiile din noiembrie-decembrie din anul precedent și din martie-aprilie din anul curent prezintă efecte pozitive și semnificative statistic asupra indicilor de creștere (Fig. 5), confirmând importanța reîncărcării rezervelor de apă din sol pentru reluarea activității cambiale și pentru susținerea creșterii timpurii. Aceste rezultate sugerează că umiditatea acumulată în sezonul rece joacă un rol esențial în controlul creșterii radiale în anul următor.

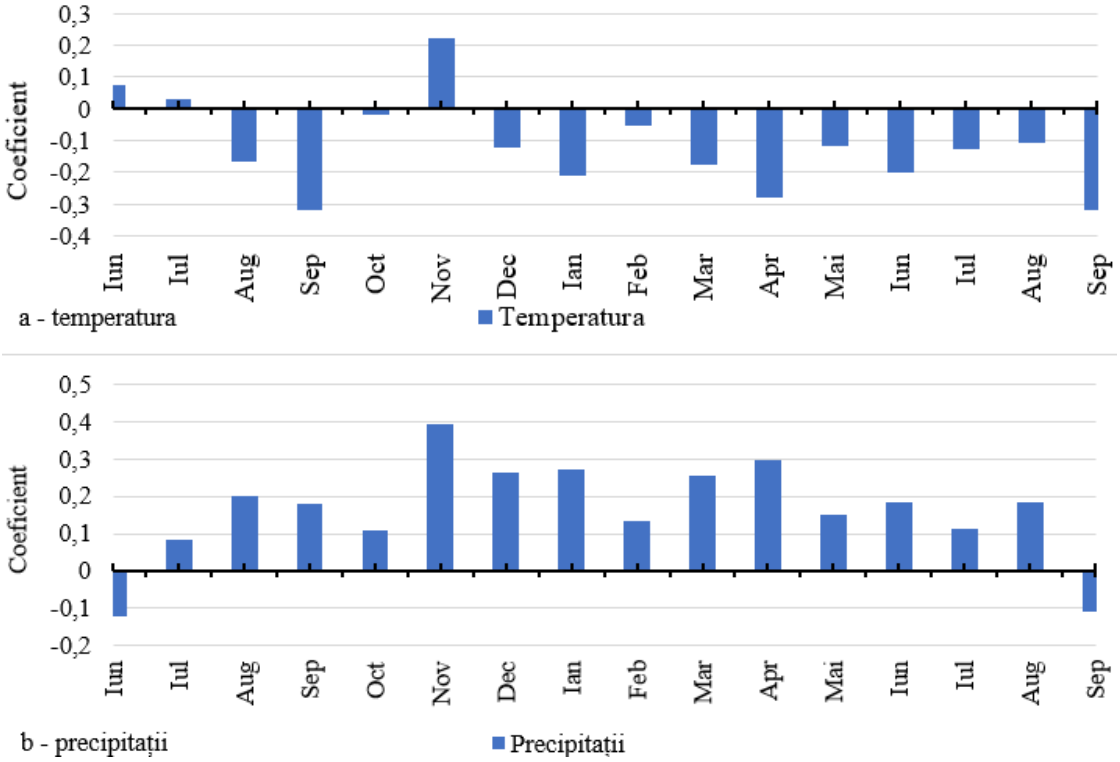


Figura 5. Coeficienții de corelație dintre indicii de creștere standardizați (STD) și variabilele climatice lunare pentru perioada iunie (an precedent) – septembrie (an curent) (1965–2024), a – temperatura; b – preciăitații.

Temperaturile ridicate din septembrie anul precedent exercită un efect negativ semnificativ și independent asupra creșterii radiale din anul următor, indicând apariția unui stres hidro-termic de sfârșit de sezon de vegetație, asociat probabil cu creșterea evapotranspirației și cu reducerea disponibilității apei în sol.

Modelul dendroclimatic general pentru stejarul pufos din zona de studiu este dominat de o corelație pozitivă cu regimul precipitațiilor și negativă cu temperatura aerului.

Rezultatele obținute evidențiază o sensibilitate pronunțată a creșterii radiale a *Quercus pubescens* Willd. la variabilitatea condițiilor climatice, în special la disponibilitatea apei din sol. Valorile relativ ridicate ale sensibilității medii și corelația inter-serie indică prezența unui semnal climatic comun bine exprimat în seriile de creștere analizate, confirmând adecvarea cronologiei obținute pentru analize dendroclimatice.

În acest context, datele noastre sugerează că stejarul pufos, deși se află la limita nordică și altitudinală a arealului său regional în Podișul Codrilor de Vest, prezintă o stabilitate relativă a creșterii radiale. Valoarea ridicată a semnalului populațional exprimat (EPS = 0,964), care depășește pragul convențional de 0,85 utilizat în evaluarea robusteții cronologiilor dendrocronologice, împreună cu corelația medie inter-serie (rbar = 0,546), indică existența unui semnal comun coerent între arborii eșantionați. Astfel de valori ridicate ale EPS sugerează că cronologia reflectă în mod adecvat semnalul populațional al creșterii radiale și este reprezentativă pentru influența factorilor de mediu la scară regională, așa cum a fost demonstrat în studiile metodologice clasice din dendroclimatologie [15; 57].

În plus, sensibilitatea medie relativ ridicată a cronologiei (MS = 0,363) indică o variabilitate interanuală pronunțată a creșterii radiale și sugerează capacitatea acestei specii de a răspunde rapid la fluctuațiile climatice, caracteristică specifică seriilor dendroclimatice cu potențial ridicat pentru analiza relațiilor climă-creștere.

Astfel de răspunsuri au fost raportate și pentru alte specii de stejar din Europa, unde creșterea radială este adesea controlată de condițiile hidrotermice și în special de disponibilitatea apei în sol [4; 48].

Un aspect central al acestei cercetări îl constituie influența pozitivă a precipitațiilor din perioada toamnă-iarnă (noiembrie-martie) asupra creșterii radiale din anul curent. Corelațiile pozitive identificate sugerează că stocarea apei în sol în afara sezonului de vegetație reprezintă un determinant esențial al dezvoltării radiale în primăvara anului următor. Mecanismul fiziologic subiacent poate fi explicat prin faptul că apa acumulată în sol pe parcursul sezonului rece și la începutul primăverii susține reluarea rapidă a activității cambiale, furnizând resursele necesare pentru formarea lemnului timpuriu. Aceste rezultate se aliniază observațiilor raportate în alte studii dendrocronologice efectuate în proximitatea zonei de studiu, consolidând importanța precipitațiilor din sezonul rece ca factor climatic major care influențează creșterea radială a stejarului pufos [26; 41]. Acest rezultat indică faptul că stresul termic accelerează evapotranspirația. Valorile minime de creștere identificate în anii 1942, 1946 și 2020 coincid cu perioade de secetă severă recunoscute la nivel național, ceea ce validează capacitatea cronologiei noastre de a arhiva evenimentele climatice extreme.

În studiul realizat de V. Grati [26], desfășurat într-o stațiune forestieră situată la circa 30 km sud-vest față de arboretul nostru, stejarul pufos a înregistrat cea mai ridicată sensibilitate medie (MS = 0,35 pentru inelul total și 0,49 pentru lemnul târziu) comparativ cu stejarul pedunculat și gorunul, valori apropiate de cele obținute în studiul nostru (MS = 0,363). Aceste rezultate indică că, în zona respectivă, stejarul pufos rămâne specia cea mai sensibilă la variațiile de mediu, comparativ cu stejarul pedunculat (MS = 0,21) și gorunul (MS = 0,25). Sensibilitatea ridicată a creșterii radiale reflectă strategia ecologică a speciei la limitele arealului, unde fiecare eveniment climatic extrem este rapid înregistrat în structura inelului, evidențiind astfel potențialul acestei specii ca indicator dendroclimatic.

Conform studiului [26], se observă că stejarul pufos are o reacție puternică la secetele care depășesc 6 luni, centrate pe lunile mai-iulie. Rezultatul nostru privind impactul negativ al temperaturilor din septembrie anul precedent completează acest tablou: stejarul pufos nu suferă doar în vârful sezonului de vegetație, ci rămâne vulnerabil până la finalul acestuia cu influență asupra creșterii din anul următor.

Studiul comparativ realizat [41] în Rezervația Codrii (situată la cca. 10 km sud-vest de situl nostru) oferă repere fundamentale pentru înțelegerea locului ocupat de stejarul pufos în ierarhia rezilienței speciilor forestiere la secetă. În timp ce fagul este specia cea mai vulnerabilă, atingând corelații maxime cu indicele SPEI (peste 0,6), datele noastre plasează stejarul pufos pe o poziție intermediară, dar cu trăsături unice de adaptare.

Deși zona noastră de studiu este situată mai la nord, sensibilitatea medie identificată (0,363) rămâne ridicată, fiind comparabilă cu cea a fagului situat la limita inferioară a arealului din punct de vedere altitudinal din Rezervația Codrii (0,35). Aceasta sugerează că, deși condițiile climatice din nord ar putea fi teoretic mai puțin severe, poziția extrazonală a stejarului pufos pe versanți însoriți cu pantă mare (25°) egalează sau chiar depășește stresul hidric resimțit de speciile mezofite din sudul regiunii.

Concluzii

Studiul evidențiază că stejarul pufos *(Quercus pubescens* Willd.*)* manifestă o reacție dendroclonologică clară la condițiile climatice din stațiunea extrazonală studiată. Cronologia dendrocronologică obținută este robustă și consistentă între arbori. Analiza relațiilor dendroclimatice arată că creșterea radială este favorizată de precipitațiile din perioada toamnă-iarnă și influențată negativ de temperaturile ridicate. Aceste observații evidențiază rolul apei în sol pentru determinarea ritmului de formare a lemnului timpuriu. Aceste concluzii confirmă că stejarul pufos poate funcționa ca indicator biologic fiabil pentru monitorizarea stresului hidric în zona de studiu.

Bibliografie:

1. Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), Article 129. https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1

2. Amenajament silvic al Ocolului silvic Călărași. (2019). Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Chișinău.
3. Apostol, E. N., Dinu, C. G., Apostol, B., Ciuvăț, A. L., Lorenț, A., Pleșca, I., Postolache, D., & Enescu, C. M. (2016). Importance of pubescent oak (Quercus pubescens Willd.) for Romanian forests in the context of climate change. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, 39, 29–33.
4. Árvai, M., Morgós, A., & Kern, Z. (2018). Growth–climate relations and the enhancement of drought signals in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring chronology in Eastern Hungary. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 11(2), 267–274.
5. Biondi, F., & Waikul, K. (2004). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences*, 30(3), 303–311. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.11.004
6. Boboc, N. (2009). Probleme de regionare fizico-geografică a teritoriului Republicii Moldova. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele Vieții.* Disponibil la: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/123
7. Bolte, A., Ammer, C., Löf, M., Madsen, P., Nabuurs, G.-J., Schall, P., & Spathelf, P. (2009). Adaptive forest management in Central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(6), 473–482. https://doi.org/10.1080/02827580903418224
8. Botnarescu, V., & Florență, G. (2011). Răspândirea stejarului pufos (Quercus pubescens) în Moldova. În: Materialele Simpozionului științific internațional *„Rezervația Codrii – 40 ani”*. Chișinău: Știința, 56–59.
9. Büntgen, U., Myglan, V., Ljungqvist, F., et al. (2016). Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD. *Nature Geoscience,* 9, 231–236. https://doi.org/10.1038/ngeo2652
10. Caisîn, V. (2005). Creșterea arborilor în funcție de vegetație și climă. *Mediul Ambiant*, 3(21), 16–21.
11. Caisîn, V. (2005). Creșterea arborilor pentru 25 de ani și clima. *Mediul Ambiant*, 2(20), 15–21.
12. Caisîn, V. (2006). *Studiu dendrometric și auxologic în arborete de stejar din Rezervația Codrii.* Teză de doctorat, Chișinău.
13. Cojocari, R., Răileanu, V., & Mîndru, G. (2025). Impactul schimbărilor climatice asupra regimului precipitațiilor în Republica Moldova. *Studia Universitatis Moldaviae. Seria Științe reale și ale naturii,* (1/181). https://doi.org/10.59295/sum1(181)2025_16
14. Conte, A. L., Di Pietro, R., Di Marzio, P., Strumia, S., Cillis, G., Capuano, A., & Fortini, P. (2025). Oak decline in southern Italy: environmental and climate parameters for modelling purposes. *Vegetation Ecology and Diversity,* 62, e160170. https://doi.org/10.3897/ved.160170
15. Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences.* Springer.
16. Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (Eds.). (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Laxenburg / Dordrecht: International Institute for Applied Systems Analysis & Kluwer Academic Publishers.
17. Cook, E. R., & Krusic, P. J. (2005). ARSTAN v. 41d: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics. Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, New York, USA.
18. Cornes, R. C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J. M., & Jones, P. D. (2018). An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation datasets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 9391–9409. https://doi.org/10.1029/2017JD028200
19. Cuza P. Reacția la stresul termic natural a trei specii de stejar: analiza a cinci indicatori biologici într-un mediu forestier specific. *Bucovina forestieră.* 2024. Nr. 24(1). P. 7-21.
20. Cuza P., Florență Gh., Dascaliuc Al. Evaluarea toleranței la șocul termic a frunzelor speciilor spontane de stejar din diferite zone ale Republicii Moldova cu ajutorul metodei de fluorescență a clorofilei. *Bucovina forestieră.* 2021. Vol. 21, nr 1. P. 9-17.
21. Dascaliuc Al., Cuza P. Capacitatea de adaptare a aparatului fotosintetic al speciilor de stejar (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) la acțiunea temperaturilor înalte. // *Mediul ambiant.* 2011. Nr. 2(56). P. 33-36.
22. Dascaliuc Al., Cuza P., Gociu D. Starea şi perspectivele de ameliorare a pădurilor de stejar pufos (*Quercus pubescens* Willd.) din Republica Moldova. *Analele ştiinţifice ale Universităţii de Stat din Moldova. Seria ,,Ştiinţe chimico-biologice”.* Chişinău, 2005. P. 405-413.

23. Florență, G. (2015). *Particularitățile biologice ale stejarului pufos (Quercus pubescens* Willd.) din Republica Moldova. Teză de doctorat.
24. Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate.* Academic Press.
25. Galupa, D., Talmaci, I., Florență, G. (2023). Aspects regarding the contribution of the National Forest Extension and Rehabilitation Program to the sustainable development of the Republic of Moldova. În: *Integrated Management of Environmental Resources*, ed. 6, 23–24 noiembrie 2023, Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, pp. 15–16.
26. Grati, V. (2024). *Influența condițiilor naturale asupra dinamicii și productivității vegetației lemnoase din Întreprinderea Silvocinegetică Strășeni.* Teză de doctorat.
27. Hampe, A., & Petit, R. J. (2005). Conserving biodiversity under climate change: The rear edge matters. *Ecology Letters*, 8(5), 461–467. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00739.x
28. Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin,* 43, 69–78.
29. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: *The Physical Science Basis.* Cambridge University Press.
30. Jump, A. S., Mátyás, C., & Peñuelas, J. (2009). The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 694–701. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.007
31. Keenan, R. J. (2015). Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science,* 72, 145–167. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5
32. Larsson, L. A., & Larsson, P. O. (2018). CDendro and CooRecorder (v. 9.3.1). Cybis Elektronik & Data AB.
33. Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., et al. (2014). Climate change and European forests. *Journal of Environmental Management*, 146, 69–83. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.030
34. Mamai, I. (2019). *Retrospectiva și prognoza fluctuațiilor florei și vegetației Rezervației Pădurea Domnească.* Teză de doctorat.
35. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.* Island Press.
36. Niinemets, Ü., & Valladares, F. (2006). Tolerance to shade, drought, and waterlogging. *Ecological Monographs,* 76(4), 521–547.
37. Popa, A. (2024). *Adaptarea și reziliența ecosistemelor forestiere de molid.* Rezumat teză doctorat.
38. Popa, A., Jevšenak, J., Dyderski, M., et al. (2025). Spatiotemporal variability of dendroecological indicators. *Global Change Biology,* 31(11), e70567.
39. Popa, A., van der Maaten-Theunissen, M., Popa, I., Badea, O., & van der Maaten, E. (2024). Spruce suffers most from drought. *Forest Ecology and Management,* 571, 122201.
40. Popa, I. (2004). *Fundamente metodologice și aplicații de dendrocronologie*.
41. Popa, I., & Caisîn, V. (2015). *Răspunsul comparativ al fagului și stejarului la secetă în Rezervația Codrii.* Bucovina Forestieră, 15(1), 45–53.
42. Popa, I., & Popa, A. (2026). Finding the winner: Resilience to drought of six oak species. *Forest Ecology and Management,* 602, 123319.
43. Postolache, G. (1995). *Vegetația Republicii Moldova.* Editura Știința.
44. Potop, V., & Constantinov, T. (2010). Manifestarea fenomenelor de uscăciune și secetă în Republica Moldova.
45. Roibu, C.-C., Palaghianu, C., Nagavciuc, V., et al. (2022). The Response of Beech Populations to Climate. *Plants*, 11(23), 3310.
46. Roibu, C.-C., Sfeclă, V., Mursa, A., et al. (2020). Climatic response of tree ring width components. *Forests,* 11(5), 600.
47. San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., et al. (2016). *European Atlas of Forest Tree Species.*
48. Schweingruber, F. H. (1996). Tree Rings and Environment: *Dendroecology.*
49. Sochová, I., Kolář, T., Árvai, M., Bošeľa, M., Čufar, K., Kern, Z., Kyncl, J., Marčiš, P., Mészáros, I., Morgós, A., Mursa, A., Popa, A., Roibu, C. C., Sopushynskyy, I., & Rybníček, M. (2024). The palaeoclimatic potential of recent oak tree-ring width chronologies from Southwest Ukraine. *Dendrochronologia*, 84, Article 126168.
50. Speer, J. H. (2010). *Fundamentals of Tree-Ring Research.* University of Arizona Press.
51. Trouet, V., & Van Oldenborgh, G. J. (2013). KNMI Climate Explorer. *Tree-Ring Research,* 69(1), 3–13.

52. Tulik, M., & Bijak, S. (2016). Tree-ring responses of Quercus pubescens to climate. *Dendrochronologia*, 38, 82–91.
53. Tulik, M., & Bijak, S. (2016a). Are climatic factors responsible for oak decline? *Dendrobiology*, 75, 55–65.
54. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2023). *Forest landscape restoration in the Republic of Moldova: Feasibility study on the production of forest reproductive material*. Geneva: United Nations.
55. Vodnik, D., Gričar, J., Lavrič, M., et al. (2019). Anatomical and physiological adjustments of pubescent oak. *Environmental and Experimental Botany,* 165, 208–218.
56. Weber, P., Bugmann, H., & Rigling, A. (2007). *Radial growth responses to drought. Forest Ecology and Management,* 242, 106–117.
57. Wellstein, C., & Cianfaglione, K. (2014). Plant strategies along a productivity gradient. *Plant Ecology*, 215, 857–869.
58. Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time series. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(2), 201–213.
59. Николаева Л. П. (1963). *Дубравы из пушистого дуба Молдавской ССР.* Chișinău.

N. B.: *Cercetările s-au desfășurat în cadrul proiectului PNCDI IV (PN-IV-P8-8.3-ROMD-2023-0029) – „Specializare în monitoring forestier, diversitatea genetică și sistematica plantelor lemnoase și reziliența stejarilor xerofiți la schimbările climatice (MONFORGENDIV)” și a proiectului PN23090201 din cadrul programului nucleu FORCLIMSOC.*

Date despre autori:
Gheorghe FLORENȚĂ, doctor în științe biologice, Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0002-6741-932X
E-mail: gheorgheflorenta@gmail.com

Veronica FLORENȚĂ, doctorandă, Institutul de Ecologie și Geografie,Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0009-0004-9194-3350
E-mail: florenta_veronica@yahoo.com

Andrei POPA, doctor în silvicultură, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură Marin Drăcea, România.
ORCID: 0000-0003-3953-0060
E-mail: popa.andrei.dorna@gmail.com

Ionel POPA, doctor în silvicultură, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură Marin Drăcea, România, Centrul de Economie Montană Vatra Dornei, România.
ORCID: 0000-0003-0069-0905
E-mail: popaicas@gmail.com

Prezentat: 01.03.2026
Recenzat: 25.02.2026
Acceptat spre publicare: 20.05.2026