

Răspunsul comparativ al fagului și stejarului la secetă în Rezervația Naturală Codrii (R. Moldova)

I. Popa, V. Caisin

Popa I., Caisin V., 2015. Comparative response of beech and oak to drought in Codrii Natural Reserve (R. Moldova). Bucov. For. 15(1): 45-53.

Abstract. Drought is main climatic risk factor in Republic of Moldova with major effects on economic and ecologic level. Regional climatic models indicate for Moldova an increase of temperature and decrease of precipitation during the summer in the future decades. We evaluated the response of beech and oak to cumulative water deficit using SPEI index at different time scales. Results of climate-growth correlations indicate a higher sensitivity of beech to drought comparing with oak. Maximum correlation for beech is observed at 18-20 month SPEI scale (0.60) and for oak at time scale of 12-18 month, but lower (0.45). Earlywood growth index of oak are low correlated with SPEI. Oak, a more tolerant drought species, is more adapted compared with beech under the forecasted climatic changes in this region. **Keywords** standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI), beech, oak, tree ring

Autori. Ionel Popa (popaicas@gmail.com) - Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea", Stațiunea de Cercetare-Dezvoltare și Experimentare-Producție Câmpulung Moldovenesc, Calea Bucovinei 73 bis, 725100 - Câmpulung Moldovenesc; Valeriu Caisin - Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice Chișinău, Calea Ieșilor 69, Chișinău, Republica Moldova
Manuscris primit 27 ianuarie 2015, revizuit 15 iulie 2014, acceptat 22 iulie 2015, publicat online 16 august 2015.

Introducere

Seceta reprezintă unul dintre principalele riscuri climatice din Republica Moldova cu efecte majore pe plan economic și ecologic (Nedealcov 2012). Manifestarea din ce în ce mai frecventă, cu intensități și durate ridicate, a fenomenelor de secetă la nivelul Europei sud-estice și de est a evidențiat o vulnerabilitate ridicată la acest hazard climatic (Alexan-

drov et al. 2010). Prognozele privind reducerea cantității anuale de precipitații coroborată cu creșterea temperaturii, mai ales în timpul sezonului de vegetație, va induce deficite hidrice semnificative în zona de studiu (Popov 2011). Se impune, astfel, adoptarea de măsuri de adaptare și atenuare a efectelor induse în sistemele ecologice și socio-economice. Conform diferitelor scenariilor privind schimbările climatice, această regiune se va confrunta cu

o creștere semnificativă a verilor și toamnelor uscate și foarte calde (Boroneanț et al. 2013). Deficitul hidric din timpul sezonului de vegetație conduce la o diminuare a proceselor fotosintetice, o reducere a acumulării de biomasă lemnoasă și o pierdere a vitalității arborilor în ecosistemele forestiere (Dobbertin 2005). Înțelegerea mecanismului de răspuns al arborilor la factori climatici limitativi reprezintă un factor cheie în asigurarea unui management sustenabil al ecosistemelor forestiere din zonele de ecoton climatic (e.g. silvostepă, limită areal).

Fagul (*Fagus sylvatica* L.), specie specifică condițiilor climatice temperate și umede, este sensibilă la secetă, având un grad de vulnerabilitate ridicat în condițiile schimbărilor climatice viitoare, mai ales la limitele sudice și estice ale arealului (Breda et al. 2006, Nahm et al. 2006, Kramer et al. 2010). Existența ultimelor insule estice cu fag din Europa în Republica Moldova reprezintă o oportunitate de analiză a modului de răspuns al fagului la climat în condițiile specifice limitei estice extreme a arealului. Pentru comparație s-a inclus în analiză stejarul, specie aflată în zona de studiu în arealul optim de vegetație.

Cercetările dendrocronologice la fag și stejar din zone cu deficit hidric din Europa centrală și sudică au evidențiat o corelație pozitivă dintre lățimea inelului anual și precipitațiile din sezonul de vegetație (Dittmar et al. 2003, Fotelli et al. 2009, Scharnweber et al. 2011). Împreună cu corelația negativă cu regimul termic din timpul verii se evidențiază faptul potrivit căruia aceste specii sunt sensibile la secetele din sezonul de vegetație.

Majoritatea studiilor privind efectul deficitului hidric asupra creșterii radiale utilizează drept predictor cantitatea lunară sau sezonieră de precipitații (Michelot et al. 2012, Legourgeois et al. 2005, Scharnweber et al. 2011). Datorită variabilității anuale relativ ridicate, mai ales în zonele aride, este dificil a evidenția răspunsul în timp al arborilor la acest factor climatic. Seceta este un proces cumulativ neces-

itând utilizarea de indici sintetici la diferite scări temporale (Vicente-Serrano et al. 2012). Cuantificarea secetelor la diferite scări temporale este esențială pentru evaluarea efectelor asupra proceselor fiziologice ale arborilor. Pentru caracterizarea secetelor sunt utilizați frecvent indici capabili de a surprinde caracterul cumulativ al fenomenului. McKee et al. (1993) propune indicele standardizat al precipitațiilor (SPI) capabil a evidenția durata și intensitatea secetelor la diferite scări temporale. Coroborarea deficitului de precipitații cu temperaturi ridicate accentuează impactul negativ asupra proceselor fiziologice ale arborilor, și implicit asupra acumulării de biomasă lemnoasă. Indicele standardizat precipitații - evapotranspirație (SPEI) integrează evapotranspirația potențială cu deficitul de precipitații, fiind un indicator multiscalar mai sensibil (Vicente-Serrano et al. 2010).

Obiectivul prezentului studiu este de a determina răspunsul fagului și stejarului la deficitul de precipitații, la diferite scări temporale, cuantificat prin indicele SPEI, în condițiile specifice limitei estice de distribuție a fagului în Europa.

Material și metodă

Zona de studiu

Cercetările s-au derulat în Rezervația Codrii (R. Moldova) (47°06'N, 28°21'E, altitudine medie - 250 m), rezervație științifică, localizată în partea nord-vestică a Podișului Central Moldovenesc (suprafață totală - 5177 ha). Vegetația specifică regiunii este reprezentată de amestecuri mezofile de carpen cu stejar, gorun, tei și frasin. Fagul apare rar, sub formă de arbori izolați sau grupuri de arbori, preponderent pe văi unde beneficiază de un plus de umiditate.

Climatul este temperat continental cu un nivel mediu anual al precipitațiilor de 520 mm și o temperatură medie anuală de 9,6°C. Maximul

de precipitații se înregistrează în luna iunie (74 mm), iar minimul la începutul primăverii – martie (28 mm). Tipul de sol dominant în zona de studiu este pruluvosol tipic.

Setul de date

În toamna anului 2006 s-a prelevat câte o singură carotă de creștere per arbore de la un număr de 19 exemplare de fag și 16 arbori de stejar, de la o înălțime de 1,30 m, cu ajutorul burghiului Pressler. Au fost aleși arbori dominanți, fără vătămări vizibile cu o stare de sănătate bună. Carotele au fost montate pe suporturi speciali din lemn și șlefuite, în vederea evidențierii inelelor anuale, cu benzi abrazive cu granulație cuprinsă între 80 și 400. Măsurarea lățimii totale a inelului anual (RW – ring width), iar la stejar diferențiat pe lemn timpuriu (EW – early wood) și lemn târziu (LW – late wood), s-a realizat cu precizie de 0,001 mm cu digital poziționmetru Lintab (Rinntech 2010). Toate seriile individuale de creștere radială au fost verificate din punct de vedere al greșelilor de măsurare și poziționării în timp prin comparație grafică cu seria medie cu programul TSAP (Rinntech 2010). Verificarea interdatării s-a realizat cu programul COFECHA prin intermediul corelației pe perioade intercalate de 50 de ani (Grissino-Mayer 2001).

Setul de date privind SPEI pentru perioada 1901-2006, cu rezoluții temporale cuprinse între 1 lună și 24 de luni au fost extrase, pentru coordonatele zonei de studiu, din baza de date SPEI cu rezoluție de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (50×50 km) (Begueria et al. 2014).

Analiza statistică

Dinamica în timp a lățimii inelului anual poate fi asimilată drept o combinație liniară din mai multe semnale induse de vârstă, geometria trunchiului, procesele competiționale, perturbanțele interne sau externe ecosistemului și în primul rând factorii climatici (Cook și Kairiukstis 1990). În vederea separării sem-

nalului climatic și eliminarea trendului indus de geometria trunchiului (vârstă), seriile individuale de creștere radială au fost transformate prin standardizare în indici de creștere cu medie unitară (1,0) și varianță constantă (Speer 2010). Procesul de standardizare constă în ajustarea dinamicii lățimii inelului anual cu una sau mai multe funcții matematice deterministe (ex. funcție exponențială sau liniară) sau stohastice (ex. filtru Kalman, filtre digitale) (Popa 2004). Alegerea modelului matematic de ajustare a serilor individuale depinde de domeniile de frecvență urmărite în analiză și trendul general de variație al curbelor de creștere radială. Una dintre metodele cele mai flexibile aplicată frecvent în standardizarea seriilor de creștere radială este funcția spline cubică cu diferite lungimi, recomandată mai ales în cazul seriilor care nu prezintă un trend temporal monotonic (Cook și Peters 1981). Cercetările privind alegerea lungimii optime a funcției spline au evidențiat că pentru menținerea semnalului de medie și înaltă frecvență se recomandă o perioadă egală cu 67% din lungimea seriei individuale (Cook 1985, Cook și Kairiukstis 1990). Aplicarea unei funcții spline cu flexibilitate ridicată sau a mai multor funcții de standardizare conduce la eliminarea variabilității decadale și menținerea numai a variației interanuale (semnalul de înaltă frecvență). Deoarece datele climatice înglobează atât semnalul anual cât și cel decadal s-a convenit, în prezentul studiu, alegerea metodei de standardizare prin modelul exprimat de o funcție spline cubică cu o lungime de undă egală cu $2/3$ din lungimea serilor individuale (67%).

Indicii de creștere individuali s-au obținut prin raportarea valorilor măsurate la valorile modelate prin funcția de standardizare. Calculul cronologiei medie s-a realizat prin intermediul mediei bponderate care permite limitarea influenței valorilor extreme (Cook și Kairiukstis 1990). Calculele au fost realizate cu programul ARSTAN (Cook și Krusic 2006). Pentru fiecare serie dendrocronologică s-au calculat indicatori statistici specifici: sensibilitatea medie, autocorelația de ordinul I, corelația

interserială (r_{bar}) și semnalul populațional comun (EPS) (Cook și Kairiukstis 1990).

Cuantificarea relației dintre indicii de creștere și diferite scări temporale ale SPEI s-a realizat prin intermediul coeficientului de corelație Pearson, semnificația statistică fiind stabilită cu testul t.

Rezultate

Seriile dendrocronologice

Lungimea maximă a seriei de indici de creștere la fag este de 144 de ani, cu o replicăție mai mare de 10 arbori după anul 1862. Creșterea radială medie este de $2,47 \pm 1,13$ mm cu o valoare a autocorelației de ordinul I de 0,58. Sensibilitatea medie, măsură a reacției arborilor la variația condițiilor de mediu, are valori relativ ridicate pentru această specie (0,35). Omogenitatea semnalului comun al arborilor din eșantion este ridicată ($r_{\text{bar}}=0,40$, $\text{EPS}=0,94$). Seria dendrocronologică pentru stejar este mai

scurtă (119 ani) cu un număr mai mare de 10 arbori după anul 1896. Creșterea radială la stejar este mai mare comparativ cu fagul fiind de $2,95 \pm 1,23$ mm (RW), respectiv $0,82 \pm 0,17$ mm în cazul lemnului timpuriu și $1,82 \pm 0,83$ mm la lemnul târziu. Sensibilitatea medie a stejarului variază între 0,26 (RW) și 0,40 (LW), fiind de numai 0,19 la EW. Coeficientul de corelație r_{bar} este de 0,51 în cazul RW, 0,54 la LW scăzând la 0,20 pentru EW.

Dinamica indicilor de creștere pentru perioada 1900-2006 relevă o variație sincronă la fag și stejar. În cazul EW de la stejar amplitudinea de variație este mai redusă (Fig. 1).

Valorile minime ale indicilor de creștere din perioada analizată se înregistrează la fag în anii: 1925, 1947, 1946, 1918, 1995, iar la stejar în 1968, 1904, 1925, 1947, 1952. Valori maxime ale indicilor de creștere pentru fag sunt în anii: 1911, 1970, 1933, 1977 și 1982, respectiv la stejar: 1948, 1907, 1920, 1906, 1971.

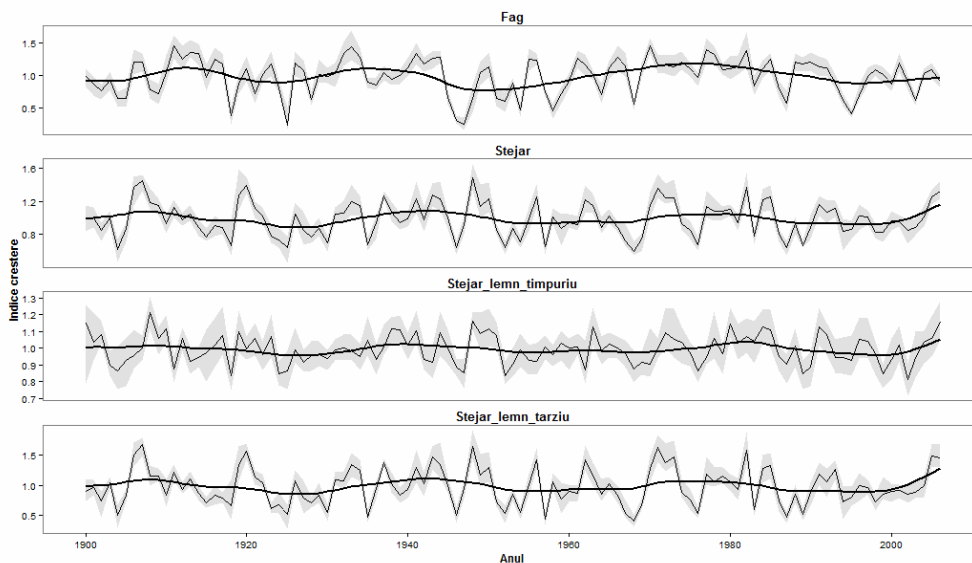


Figura 1 Seriile dendrocronologice pentru fag și stejar din Rezervația Codrii

Dinamica SPEI

Variația SPEI pentru zona de studiu relevă o alternanță a perioadelor cu regim normal al precipitațiilor cu perioade caracterizate de secete. Omogenizarea trendului prin intermediul SPEI multitemporal evidențiază deceniile 1970-1980 cu bilanț hidric pozitiv, respectiv perioada 1930-1950 cu perioade lungi de secetă (fig. 2). Sub raportul intensității, deficiturile hidrice calculate pentru scări temporale mai mari de 6 luni, sunt mai accentuate anterior anului 1960.

Cele mai secetoase luni, în raport cu valorile lunare ale SPEI au fost: 09.1903, 06.1945, 05.1986, 04.1948 și 11.1926, iar cele cu exces hidric semnificativ: 01.1966, 05.1991, 06.1985, 02.1954, 09.1996. La nivel sezonier (SPEI12) maximumul de deficit hidric cumulat s-a înregistrat în lunile: 06.1918, 05.1946, 07.1904, 05.1954 și 11.1990, iar exces hidric cumulat în lunile: 05.1915, 02.1981, 10.1912, 01.1981 și 03.1941.

Corelația dintre indicii de creștere și SPEI

Corelația dintre indicii de creștere radială și valorilor temporale ale SPEI relevă două modele de răspuns dendroclimatic diferite pentru fag și stejar. Creșterea radială la fag se corelează pozitiv cu valorile SPEI din sezonul de vegetație. Nivelul corelației se dublează de la scări temporale de 1-4 luni la valorile ale SPEI cumulate mai mult de 12 luni. Valori maxime ale corelației (peste 0,6) se înregistrează pentru SPEI din luna iunie cumulat la rezoluții de 18-20 de luni (fig. 3).

La stejar modelul de variație a corelației este similar pentru RW și LW, diferențe observându-se în cazul EW. Intensitatea corelației este mai redusă comparativ cu cea de la fag. La scări temporale mai mici de 4 luni corelația dintre indicii de creștere (RW și LW) și SPEI este nesemnificativă statistic. Valori ridicate ale corelației se constată în timpul sezonului de vegetație (mai-iulie) cu maxim la nivel temporal de 12-18 luni. În cazul EW intensitatea

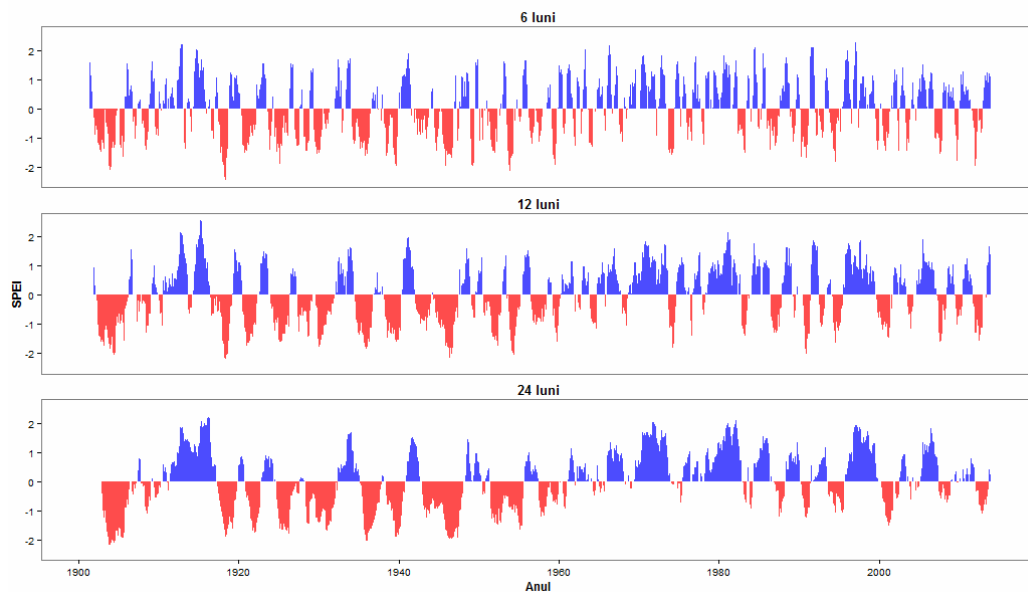


Figura 2 Variația SPEI calculată la diferite scări temporale în zona Rezervației Codrii (albastru - valori pozitive ale SPEI, roșu – valori negative ale SPEI)

corelației este redusă, majoritar nesemnificativă statistic. Nivelul de semnificație statistică ($p=0.001$) este depășit în perioada iunie-iulie pentru o scară temporală cuprinsă între 7-10 luni și 12-15 luni.

Corelația maximă, în toate cazurile, se observă în timpul sezonului de vegetație (aprilie-iulie) fiind minimă pentru sezonul rece.

Discuții

Fenomenul secetei a fost studiat la nivelul Republicii Moldova la diferite scări spațiale și temporale utilizând indicatori simpli (precipitații lunare sau anuale) (Puțuncă și Sofroni 2011) sau complecși (SPI) (Potop și Soukup 2009, Potop et al. 2013). Analizele evidențiază o creștere a frecvenței și intensității secetelor în ultimele decenii. La nivel regional centrul și sudul Moldovei este mai puternic afectat de secete moderate și extreme comparativ cu nordul regiunii (Potop et al. 2012). Conform acestor cercetări în ultimele trei decenii se constată

o creștere a temperaturilor medii extreme cu $0,5^{\circ}\text{C}$ deceniu⁻¹ (temperatura minimă) până la $0,7^{\circ}\text{C}$ deceniu⁻¹ (temperatura maximă) pe fondul unei reduceri a precipitațiilor cu 20 mm deceniu⁻¹ (Potop et al. 2012).

Deficitul de precipitații reprezintă un factor limitativ important al proceselor de bioacumulare în ecosistemele forestiere din Podișul Moldovenesc (Roibu 2010). Dinamica similară a indicilor de creștere la fag și stejar din Rezervația Codrii indică faptul că procesele de creștere radială sunt influențate de același complex de factori climatici, ceea ce diferă fiind intensitatea răspunsului dendroclimatic. Diferențe între cele două specii se observă în ceea ce privește intensitatea corelației și scara temporală a SPEI. Caracterul extrem al condițiilor de mediu din zona de studiu este evidențiat de sensibilitatea ridicată a cronologiilor (Schweingruber 1996).

Relația dintre factorii climatici și procesele de creștere este complexă și dificilă a fi surprinsă numai prin intermediul lățimii inelului anual. Informații noi se pot obține prin integrarea în analiza dendroclimatică a unor vari-

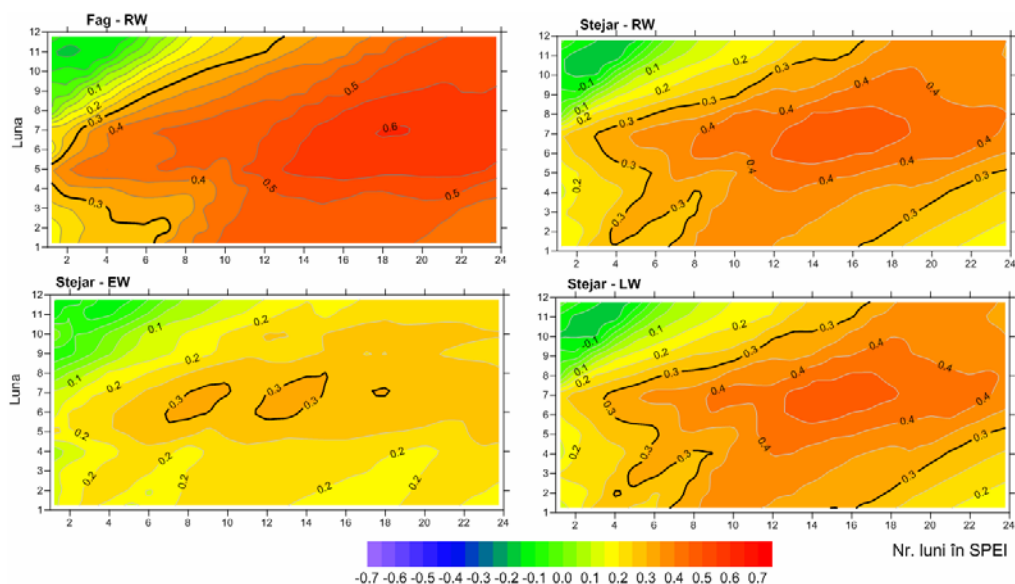


Figura 3 Corelația dintre indicii de creștere și SPEI cumulat la diferite scări temporale (cu linie neagră - nivelul de semnificație statistică a corelației)

abile intra-anuale: LW, EW sau caracteristici ale vaselor (Fonti și Garcia-Gonzalez 2008, Kern et al. 2013). Formarea lemnului timpuriu la stejar, specie cu distribuție a porilor inelară, are loc înainte de apariția și dezvoltarea sistemului foliar (Gricar 2010). Pe baza rezervelor de carbohidrați stocate la nivelul diferitelor țesuturi, stejarul își realizează sistemul hidraulic de conducere a sevei brute în perioada martie – aprilie. Existența unui deficit de precipitații în sezonul de vegetație precedent și toamna anterioară (SPEI8-SPEI12) determină o scădere a lățimii EW. Necesitatea arborelui de a realiza un sistem hidraulic minim se reflectă în variația mult mai redusă a seriei de indici de creștere EW comparativ cu LW sau RW. Dependența mai mare a stejarului comparativ cu fagul de resursele din anul anterior este reflectată de nivelul autocorelației de ordinul I (RW) mai mare (stejar - 0,79, fag - 0,58).

Utilizarea în analiza dendroclimatică a valorilor lunare ale temperaturilor și precipitațiilor, în zone cu manifestări frecvente ale secetelor, nu permite surprinderea caracterului cumulativ al acestui proces. Nechita (2013), utilizând date climatice lunare, evidențiază pentru stejarul din Rezervația Codrii o corelație pozitivă cu precipitațiile din sezonul de vegetație, dar valoarea coeficientului de corelație este relativ scăzută (0,2-0,3).

Creșterea frecvenței și severității secetelor are efecte semnificative asupra fagului din climatul temperat continental (Ciais et al. 2005). Pentru fag cantitatea de precipitații reprezintă un factor limitativ major în zonele situate la limita altitudinală inferioară sau sudică și estică a arealului de răspândire (Dittmar et al. 2003, Fotelli et al. 2009, Weber et al. 2013). Combinarea deficitelor hidrice cu prezența temperaturilor ridicate determină o scădere semnificativă a proceselor fotosintetice pe fondul unei intensificări a evapotranspirației care nu mai poate fi compensată.

O corelație mai ridicată a indicilor de creștere (RW) cu cantitatea de precipitații, în cazul fagului comparativ cu stejarul, a fost observată

și pe solurile nisipoase din centrul Olandei, evidențiind rezistența mai mare a stejarului în aceleași condiții de deficit hidric (Van der Werf et al. 2007). Arhitectura hidraulică diferită și un sistem de înrădăcinare mai adânc permite stejarului să fie mai rezistent la deficiturile hidrice comparativ cu fagul (Hacke și Sauter 1995, Breda et al. 2006).

În urma acestui studiu s-a demonstrat faptul potrivit căruia abordarea la nivel cumulativ a dinamicii deficitului hidric permite o evidențiere mai bună a reacției auxologice a fagului și stejarului la secetă. Fagul s-a dovedit mult mai sensibil la variația regimului hidric comparativ cu stejarul. Creșterea frecvenței și intensității secetelor în zona Rezervației Codrii va pune probleme deosebite menținerii fagului în acest tip de habitat.

Mulțumiri

Parte dintre cercetările care au condus la aceste rezultate au primit finanțare din partea Mecanismului Financiar al Spațiului Economic European 2009-2014 prin contractul nr. 18SEE.

Bibliografie

- Alexandrov V., Gajdusek M.F., Knight C.G., Yotova A. (eds.), 2010. Global environment change: challenges to science and society in Southeastern Europe. Springer, 278 p.
- Beguieria S., Vicente-Serrano S.M., Reig F., Latorre B., 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology* 34: 3001-3023.
- Boroneanț C., Potop V., Caian M., Soukup J., 2013. Using various visualization techniques to outline vulnerability to drought in the Republic of Moldova. *Geographia Napocensis* 2:97-108.
- Breda N., Huc R., Granier A., Dreyer E., 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. Sci. Forest.* 63: 625–644.
- Ciais P., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogle J., Allard V., Aubignat M., Buchmann N., Bernhofer C., Carrara A., Chevallier F., De Noblet N., Friend A.D.,

- Friedlingstein P., Grunwald T., Heinesch B., Keronen P., Knohl A., Krinner G., Loustau D., Manca G., Matteucci G., Miglietta F., Ourcival J.M., Papale D., Pilegaard K., Rambal S., Seufert G., Soussana J.F., Sanz M.J., Schulze E.D., Vesala T., Valentini R., 2005. European-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529–533.
- Cook E.R., 1985. A time series approach to tree-ring standardization, Ph. D. Diss., Tucson, University of Arizona.
- Cook E.R., Krusic P.J., 2006. ARSTAN4.1b_XP. Web: <http://www.ldeo.columbia.edu>.
- Cook E.R., Peters K., 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41:45–53.
- Cook E. R., Kairiukstis L. A.(Eds.). 1990. *Methods of Dendrochronology – application in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 394 p.
- Dittmar C., Zech W., Elling W., 2003. Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendroecological study. *For. Ecol. Management*. 173:63–78.
- Dobbertin M. 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research* 124:319–333.
- Fonti P., García-González I., 2008. Earlywood vessel size of oak as a potential proxy for spring precipitation in mesic sites. *Journal of Biogeography* 35: 2249–2257.
- Fotelli M.N., Nahm M., Radoglou K., Rennenberg H., Halyvopoulos G., Matzarakis A., 2009. Seasonal and interannual ecophysiological responses of beech (*Fagus sylvatica*) at its south-eastern distribution limit in Europe. *Forest ecology and management*. 257:1157–1164.
- Gricar J., 2010. Xylem and phloem formation in Sessile oak from Slovenia in 2007. *Wood Research*. 55:15–22.
- Grissino-Mayer H.D., 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree Ring Research*. 57:205–221.
- Hacke U., Sauter J.J., 1995. Vulnerability of xylem to embolism in relation to leaf water potential and stomatal conductance in *Fagus sylvatica* f. *Purpurea* and *Populus balsamifera*. *J. Exp. Bot.* 46:1177–1183.
- Kern Z., Patkó M., Kázmér M., Fekete J., Kele S., Pályi Z., 2013. Multiple tree-ring proxies (earlywood width, latewood width and $\delta^{13}C$) from pedunculate oak (*Quercus robur* L.), Hungary. *Quaternary International*. 293: 257–267.
- Kramer K., Degen B., Buschbom J., Hickler T., Thuiller W., Sykes M. T., de Winter W., 2010. Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change. Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management* 259: 2213–2222.
- Lebourgeois F., Bréda N., Ulrich E., Granier A., 2005. Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees* 19:385–401.
- Michelot A., Bréda N., Damesin C., Dufrêne E., 2012. Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management* 265:161–171.
- Nahm M., Radoglou K., Rennenberg H., Chalyvopoulos G., Fotelli M.N., 2006. Physiological performance of beech (*Fagus sylvatica* L.) at its south-eastern distribution limit in Europe: seasonal changes in nitrogen, carbon and water balance. *Plant Biology* 8:52–63.
- Nechita C., 2013. Rețeaua națională de serii dendrocronologice pentru stejar și gorun. Editura Silvică, 279 p.
- Nedealcov M., 2012. Methodological aspects on complex indexes usage in identification and estimation of climatic risks on the Republic of Moldova's territory. *Present Environment and Sustainable Development* 6(2):69–80.
- Popa I., 2004. Fundamente metodologice și aplicații de dendrocronologie. Editura Silvică, 200 p.
- Potop V., Soukup J., 2009. Spatiotemporal characteristics of dryness and drought in the Republic of Moldova. *Theoretical and Applied Climatology* 96:305–318
- Potop V., 2011. Evolution of drought severity and its impact on corn in the Republic of Moldova. *Theoretical and Applied Climatology* 105(3–4):469–483.
- Potop V., Boroneant, C., Caian, M., 2012. Model validation and drought assessment with a regional climate model over Moldova. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 43(4): 134–144.
- Potop V., Boroneanț C., Caian M., 2013. Assessing the changes in drought condition during summer in the Republic of Moldova based on RegCM simulations. *Journal of Economic Development, Environment and People* 2(3): 63–76.
- Puțuntică A., Sofroni V., 2011. Non-periodical variations of precipitation quantities and their negative deviation on the territory of Moldavia. *Present Environment and Sustainable Development* 5(1): 23–32.
- Rinntech, 2010. TSAP User reference, 110 p.
- Roibu C., 2010. Cercetări dendrometrice, auxologice și dendrocronologice în fâgete din Podișul Sucevei aflate la limita estică a arealului. Teză de doctorat. Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, 274 p.
- Scharnweber T., Manthey M., Criegee C., Bauwe A., Schröder C., Wilmking M., 2011. Drought matters—Declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management* 262: 947–961.
- Schweingruber F., 1996. *Tree rings and environment. Dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Paul Haupt, Berne, Stuttgart, Vienna, 609 p.
- Speer J. H., 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press, 368 p.
- Van der Werf G.W., Sass-Klaassen U.G., Mohren G.M.J.,

2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia* 25(2): 103-112.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23(7): 1696-1718.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., Lorenzo-Lacruz J., Camarero J.J., López-Moreno J.I., Azorin-Molina C., Revuelto J., Moran-Tejeda E., Sanchez-Lorenzo A., 2012. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions* 16(10): 1-27.
- Weber P., Bugmann H., Pluess A.R., Walthert L., Rigling A., 2013. Drought response and changing mean sensitivity of European beech close to the dry distribution limit. *Trees* 27: 171-181.