

Analiza comparativă a răspunsului dendroclimatic al molidului (*Picea abies* (L.) Karst.) și bradului (*Abies alba* Mill.) din nordul Carpaților Orientali

Ionel Popa

1. Introducere

Inelul anual oferă informații importante pentru înțelegerea variabilității climatice și a dinamicii istorice a modificărilor climei la nivel mezozonal și general. Climatul influențează creșterea arborilor! această axiomă general acceptată reprezintă fundamentul cercetărilor de dendroclimatologie (Schweingruber, 1996). Variația creșterii radiale a arborilor poate fi corelată cu variația unuia sau a mai multor parametri climatici, cunoscuți ca fiind determinanți ai proceselor de creștere. Astfel, este posibilă găsirea unei relații statistice între creștere și factorii de mediu, care poate fi utilizată la deducerea sau reconstituirea variațiilor trecute ale parametrilor climatici în baza variației parametrilor inelului anual. Lățimea inelului anual al arborelui variază de la an la an într-o manieră mai mult sau mai puțin regulată, o mare parte din această variabilitate fiind datorată condițiilor climatice particulare anterioare și actuale ale perioadei de creștere activă. Gradul de corelație dintre inelul anual și parametrii climatici depinde de amplitudinea ecologică a speciei, de existența unor evenimente climatice extreme, de amplitudinea de variabilitate a factorilor ca-

re influențează creșterea etc. Variația caracteristicilor inelului anual poate fi corelată cu variația unuia sau mai multor factori de mediu cu influență asupra proceselor biologice care conduc la formarea inelului anual.

Din punct de vedere al dendroclimatologiei, variația lățimii inelului anual sau a unui alt parametru al acestuia, indusă de factorii climatici, este similară cu semnalul dintr-un sistem de comunicație, variațiile datorate factorilor non-climatici fiind asimilate cu zgomotul asociat semnalului. Conform acestei similitudini, seriile de indici de creștere din zonele cu optim climatic, pentru o anumită specie, au un raport semnal - zgomot redus, în comparație cu seriile dendrocronologice pentru arborii de la limita arealului, care prezintă un raport semnal - zgomot ridicat. Astfel, arborele reprezintă un adevărat fitoclimatograf de mare sensibilitate cu durată de funcționare de ordinul a sute de ani, capabil să înregistreze și să depoziteze informații privind acțiunea factorilor de mediu (Giurgiu, 1977). Analizele de dendroclimatologie au pus în evidență unor gradienti în raport cu altitudinea (Lingg, 1986; Fritts, 1965; Lara et al., 2001) și latitudinea (Hofgaard, Tardif, Bergeron, 1999). Utilizarea seriilor dendro-

cronologice a permis reconstituirea variației istorice a climatului în ultimul mileniu pentru diferite regiuni (Till și Guiot, 1990; Hughes et al., 1994; Serre-Bachet et al., 1992; LaMarche, 1974; Briffa et al., 1991; Schweingruber, Briffa, Jones, 1991). Rețelele de dendroclimatologie reprezintă suportul analizei variabilității spațio-temporale a climatului oferind informații esențiale privind modificările climatice (Fritts, 1976, 1991; Schweingruber, 1985, 1988).

Prezentul material își propune o cuantificare și analiză comparativă a relației climat - arbore, pentru molid și brad, în condițiile de vegetație din nordul Carpaților Orientali. Se urmărește o identificare și cuantificare a influenței regimului termic și pluviometric lunar, din sezonul de vegetație actual

și precedent formării inelului anual, prin elaborarea unor modele de dinamică a creșterii radiale cu suport climatic.

2. Material și metodă

2.1. Zona de studiu și elaborarea seriilor dendrocronologice

Zona studiată se află situată în nordul Carpaților Orientali, în bazinul superior al râului Moldova. Analiza relației climat arbore s-a realizat în baza a patru serii dendrocronologice, câte două pentru fiecare specie (fig. 1, tabel 1). Trei dintre seriile dendrocronologice (SLAA, SLAB și GIUA) provin din păduri naturale neafectate de

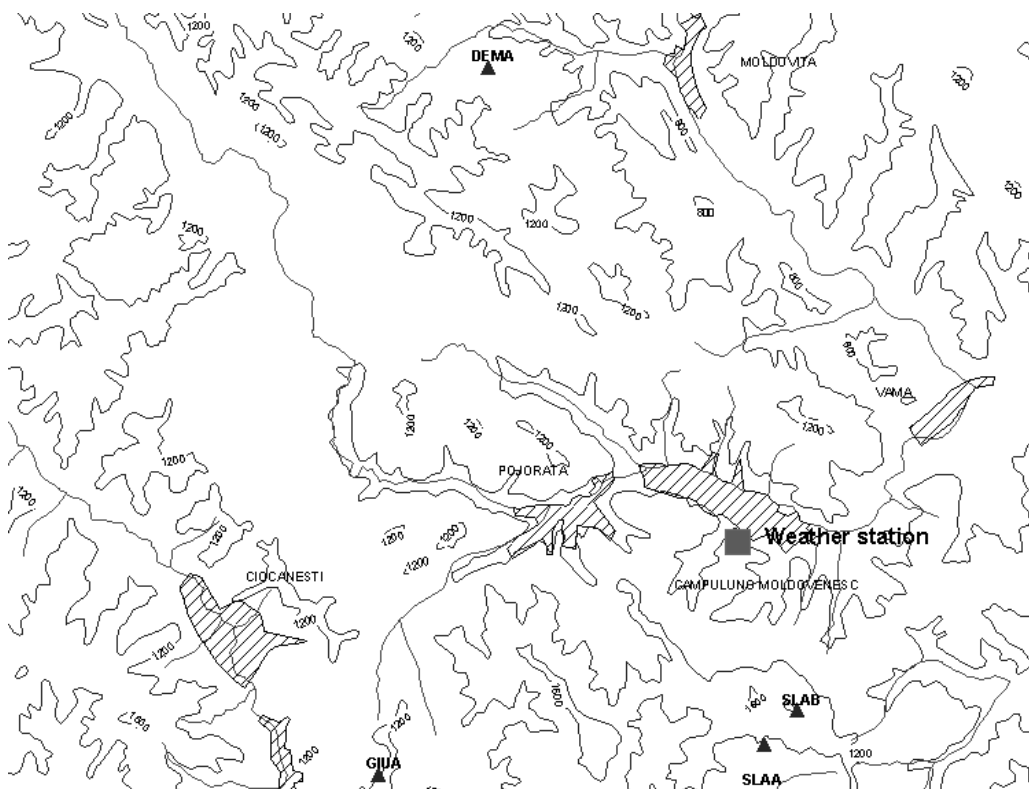


Fig. 1. Localizarea seriilor dendrocronologice în cuprinsul zonei studiate
(Location of dendrochronological series in the studied area)

Tabel 1. Localizarea geografică a seriilor dendrocronologice
Geographic location of dendrochronological series

Parametru	Molid		Brad	
	GIUA	SLAA	SLAB	DEMA
Cod serie dendrocronologică				
Denumire sondaj	Giupalău	Slătioara	Slătioara	Demacușa
Latitudine	46°26'	47°27'	47°27'	47°39'
Longitudine	25°26'	25°38'	25°38'	25°30'
Altitudine (m)	1300	1300	1300	1100
Lungime serie (ani)	1738-2000 (263)	1753-2000 (248)	1670-2000 (331)	1670-2001 (332)
Număr arbori (carote) analizate	16 (31)	18 (35)	15 (28)	16 (30)

intervenția antropică directă, localizate în masivul Rarău-Giupalău (Codrul Secular Slătioara și Codrul Secular Giupalău), iar una din Obcina Ferdeului dintr-un arboret parcurs cu lucrări silvotehnice.

În fiecare suprafață experimentală au fost aleși, conform principiilor dendrocronologice (Fritts, 1976; Cook și Kairiukstis, 1990; Popa, 2002; Grissino-Mayer, 2003), 18-25 de arbori, de la care s-au extras câte două probe de creștere, de la înălțimea de 1.30 m de la sol, pe direcții perpendiculare pe linia de cea mai mare pantă, în vederea reducerii efectelor negative ale lemnului de compresiune. Alegerea stațiunilor și a arborilor a avut în vedere minimizarea efectelor perturbațiilor din interiorul și exteriorul ecosistemului (proces concurențiale, doborâturi produse de vânt, atacuri de insecte etc.) și maximizarea semnalului macroclimatic. După uscare, probele de creștere au fost montate pe suporturi speciali, fiind șlefuite cu bandă abrazivă cu granulație de 200-400 în vederea evidențierii inelelor anuale. În cazul în care acestea s-au distins cu dificultate s-a aplicat un strat subțire de ulei de in, îmbunătățind contrastul dintre lemnul timpuriu și cel târziu.

Măsurarea lățimii inelelor anuale s-a realizat cu programul CAROTA v.2.1 (Popa, 1999), cu o precizie de 0,01 mm. Seriile de creștere au fost interdate prin metoda comparației grafice în scară logaritmică, cu

ajutorul programului CAROTA v.2.1 și au fost verificate cu COFECHA (Holmes, 1983, Cook et al., 1997), prin analiza corelației pe subperioade intercalate (Holmes, 1983).

Pentru fiecare serie dendrocronologică s-au calculat parametrii statistici specifici (Douglass, 1941; Fritts, 1976; Cook și Kairiukstis, 1990; Popa, 2002).

Toate seriile de creștere individuale au fost standardizate în vederea eliminării semnalelor non-climatice și maximizarea informației climatice din seria dendrocronologică. S-a aplicat metoda dublei standardizări prin intermediul unei funcții exponențiale negative sau liniare (eliminarea influenței vârstei), urmată de o funcție spline cubică, cu perioadă de 30 de ani (eliminarea influenței factorilor perturbatori). Seria medie de indici standardizați de creștere s-a obținut prin intermediul mediei bponderate (Cook și Kairiukstis, 1990). Pentru acest scop a fost utilizat programul ASTRAN (Holmes et al., 1986; Grissino-Mayer et al., 1996), folosindu-se în analiza dendroclimatologică seria dendrocronologică de tip RES, obținută prin eliminarea corelației autoregresive persistente în urma standardizării.

2.2 Analiza relației climat-arbore

În cercetările de paleoclimatologie calibrarea implică găsirea și cuantificarea unui

model statistic care să poată fi aplicat la unul sau mai mulți predictorii - variabile dependente - pentru estimarea sau reconstituirea unui predictant - variabila independentă. În cazul seriilor dendrocronologice, variabile implicate în procesul de calibrare sunt indici de creștere și parametrii climatici, în special temperaturile și precipitațiile medii lunare. Un set de date (variabile independente și dependente), denumit set de calibrare, este utilizat pentru estimarea coeficienților modelului statistic, restul datelor, denumit set de verificare, fiind utilizat pentru estimarea gradului de fiabilitate a modelului.

În cazul în care indicele de creștere este variabila independentă, iar parametrii climatici reprezintă variabilele dependente, modelul statistic este cunoscut ca funcție de răspuns (coeficienții modelului descriu cum arborele răspunde la factorii climatici). Amplitudinea și semnul coeficienților modelului statistic exprimă gradul de importanță și direcția de reacție (răspuns) a arborilor la variația parametrilor climatici utilizați pentru calibrare. Reacția arborilor la variația climatului a fost analizată prin intermediul coeficienților de corelație de tip Pearson și a funcțiilor de răspuns (Fritts, 1976; Cook și Kairiukstis, 1990; Guiot, 1991).

Identificarea parametrilor climatici determinanți ai procesului de creștere radicală presupune cunoașterea proceselor fiziologice de creștere, verificarea acestor ipoteze putându-se realiza fie prin metode de analiză grafică comparativă, fie prin metode statistice de analiză a corelației. Analiza statistică a gradului de asociere a indicilor de creștere și parametrii climatici oferă o cuantificare și fundamentare matematică a corelației. Coeficientul de corelație măsoară varianța relativă (covarianța), care este comună în cele două seturi de date. Aceasta reflectă întreg spectrul de variație a seriilor de

indici, incluzând atât semnalul de joasă frecvență, cât și cel de înaltă frecvență.

Metoda funcțiilor de răspuns este, în esență, o analiză a regresiei multiple în trepte, având parametrii meteorologici drept predictorii, iar indicii de creștere fiind predictanți, rezultând o ecuație de regresie care cuantifică răspunsul arborelui la variația parametrilor climatici, semnificativi din punct de vedere statistic. Această formă a funcțiilor de răspuns oferă o măsură limitată a efectului climatului asupra creșterii arborilor. A considera că numai parametrii climatici testați drept semnificativi în cadrul modelului regresiv multiplu sunt determinanți ai indicelui de creștere, iar restul nu au o influență semnificativă, reprezintă o abordare simplistă, deoarece mulți mai mulți factori climatici concurează la determinarea inelului anual: lungimea perioadei analizate, numărul de variabile incluse în model, coliniaritatea dintre variabilele independente, distanța față de stația meteorologică, variabilitatea răspunsului de la un arbore la altul, erorile de măsurare etc. În cazul în care variabilele explicative, respectiv parametrii climatici, sunt corelați între ei, apar probleme de ordin procedural în cuantificarea coeficienților modelului statistic regresiv. Aceste neajunsuri metodologice pot fi eliminate prin transformarea variabilelor independente într-un set de variabile ortogonale, necorelate, numite componente principale. Modelul regresiv multiplu în trepte clasic de estimare a funcțiilor de răspuns (Fritts, 1976) a fost modificat aplicând analiza regresiei multiple după extragerea componentelor principale din matricea de corelații a variabilelor climatice și a indicilor de creștere din perioadele precedente. Variabilele normalizate sunt multiplicare cu ponderea componentelor principale, obținându-se factorii principali care constituie un model ortogonal, cu autocorelații

minime, ale factorilor climatici și creșterilor anterioare inițiale. Coeficienții regresiei obținute pentru setul de componente principale selectate în procesul regresiei multiple în trepte sunt transformați matematic într-un set nou de coeficienți corespunzători variabilelor explicative inițiale.

O parte dintre componentele principale explică foarte puțin din varianță, aceste fiind excluse din analiză utilizând criteriul PVP (Guiot 1985, 1991). Coeficientul de determinare multiplu indică gradul în care variabilitatea cronologiei actuale este explicată prin parametrii climatici din model. Semnificația coeficienților funcțiilor de transfer este adeseori supraestimată, datorită corelației din factorii climatici și creșterile anterioare. S-a utilizat metoda bootstrap, o tehnică recentă de estimare a erorii standard a estimatorilor statistici bazată pe repetiția calculelor de k ori pe seturi de n date extrase randomizat din setul complet de date, care permite estimarea erorii standard pentru fiecare coeficient de regresie prin repetiția cuantificării modelului de un număr suficient de mare de ori, luând în cal-

cul, în mod randomizat, un număr k de ani dintr-un total de $k+j$ ani, j reprezentând anii de verificare a modelului. Astfel, se obțin k coeficienți de regresie pentru fiecare variabilă, media lor reprezentând valorile finale. Această tehnică de estimare a erorii standard a funcțiilor de răspuns a fost aplicată cu programul PRECON v.5.1 (Fritts, 2003).

Datele climatice provin de la stația meteorologică Câmpulung Moldovenesc situată în centrul zonei de studiu, din perioada 1961-2000, caracterizată de o temperatură medie multianuală de $6,6^{\circ}\text{C}$ și un nivel anual al precipitațiilor de 711 mm (fig. 1).

3. Rezultate

Analiza indicatorilor statistici clasici și specifici seriilor dendrocronologice permite obținerea unor informații privind gradul de omogenitate a reacției arborilor din cadrul seriilor dendrocronologice la variația climatului general și local (tabel 2).

Statisticile descriptive indică o variabili-

Tabel 2. Parametrii statistici ai seriilor dendrocronologice
Statistical parameters of dendrochronological series

Parametru	Molid		Brad	
Cod serie dendrocronologică	GIUA	SLAA	SLAB	DEMA
Sensibilitate medie	0.15	0.14	0.16	0.11
Abaterea standard	0.14	0.12	0.15	0.10
Autocorelația de ordinul I	0.06	0.01	-0.01	0.01
Intervalul comun analizat	1824-2000	1847-2000	1848-2000	1850-2001
Corelația medie între toate carotele	0.415	0.298	0.351	0.252
Corelația medie între arbori	0.410	0.292	0.344	0.243
Corelația medie între carotele din același arbore	0.561	0.508	0.561	0.508
Corelația medie carote vs. serie	0.657	0.561	0.602	0.511
Raportul semnal/zgomot	11.13	7.41	7.86	5.14
Varianța în prima componentă principală	43.68	32.78	38.61	30.65
Procentul semnalul comun	0.92	0.88	0.89	0.83

tate comună, expresie a semnalului climatic, cuprinsă în prima componentă principală, similară pentru toate seriile dendrocronologice variind între 30 și 43 %. Toate seriile dendrocronologice prezintă o sensibilitate medie și abatere standard relativ redusă, cuprinsă între 0.11 (DEMA) și 0.16 (SLAB), neobservându-se o diferențiere între specii din acest punct de vedere. Ambele specii prezintă seturi similare de coeficienți de corelație, legătura corelativă dintre carote și seria dendrocronologică medie având valori între 0.511 (DEMA) și 0.657 (GIUA).

Stabilirea unor modele statistice fiabile pune probleme deosebite, fiind necesară cuantificarea matematică a relațiilor sistem biologic-factori de mediu. Alegerea „a priori” a perioadei de timp din an, precum și a factorilor de mediu cu influență asupra proceselor de creștere radială, prezintă variații în raport cu particularitățile regiunii ecologice, ale speciilor analizate, ale datelor disponibile etc. În ceea ce privește perioada de analiză, majoritatea cercetătorilor au ajuns la concluzia că sezonul de vegetație actual și cel precedent oferă suficiente informații privind influența factorilor climatici asupra creșterii. Incluziunea în analiză a două sau mai multe sezoane de vegetație anterioară nu are, în general, o explicație biologică destul de concludentă. Din punctul de vedere al factorilor de mediu, pe lângă parametrii meteorologici clasici - temperaturi și precipitații lunare sau combinații ale acestora - pot fi utilizate și date privind disponibilitatea resurselor de apă din sol, gradul de insolație, temperaturi minime, maxime, suma zilelor cu anumite temperaturi etc. Analiza corelației simple permite identificarea parametrilor meteorologici și a perioadelor din an determinanți ai creșterii radiale (fig. 2).

În cazul molidului, respectiv pentru seriile dendrocronologice GIUA și SLAA, se

remarcă o corelație negativă, semnificativă, cu temperaturile de la sfârșitul sezonului de vegetație anterior (iulie, august, septembrie) și pozitivă cu precipitațiile din această perioadă. Același tip de reacție privind sezonul de vegetație anterior este prezent și în cazul bradului, dar de intensitate mai mică. Regimul termic din repaosul vegetativ induce o reacție auxologică pozitivă, evidentă și semnificativă în cazul bradului.

Metoda regresiei multiple, combinată cu extragerea componentelor principale, a permis estimarea coeficienților modelului statistic al funcțiilor de răspuns precum și eroarea standard a acestora (fig. 3). Se consideră semnificativi din punct de vedere statistic coeficienții a căror limite de încredere nu includ valoarea nulă. Structura generală a modelului statistic obținut prin analiza corelației este confirmată de funcțiile de răspuns. Reacția molidului și a bradului la regimul termic este în ansamblu similară, variind nivelul de semnificație.

Utilizând modelul statistic reprezentat de funcțiile de răspuns s-a procedat la estimarea indicilor de creștere, pentru perioada 1961-1999, pentru fiecare dintre seriile dendrocronologice. Repartiția erorilor este aleatoare fiind ne semnificative statistic, excepție făcând perioada 1983-1990 în cazul seriei de molid, respectiv brad din Slătioara, pentru care scăderea ritmului de creștere nu poate fi explicat integral de către climat.

4. Discuții și concluzii

Comportamentul auxologic al arborilor este în mare măsură determinat climatic, mai ales sub raportul debutului și sfârșitului perioadei de acumulare de biomasă lemnoasă, variația factorilor de mediu inducând un ritm diurn și unul sezonier (Parascan și Danciu, 2001). Analizele statistice efectuate

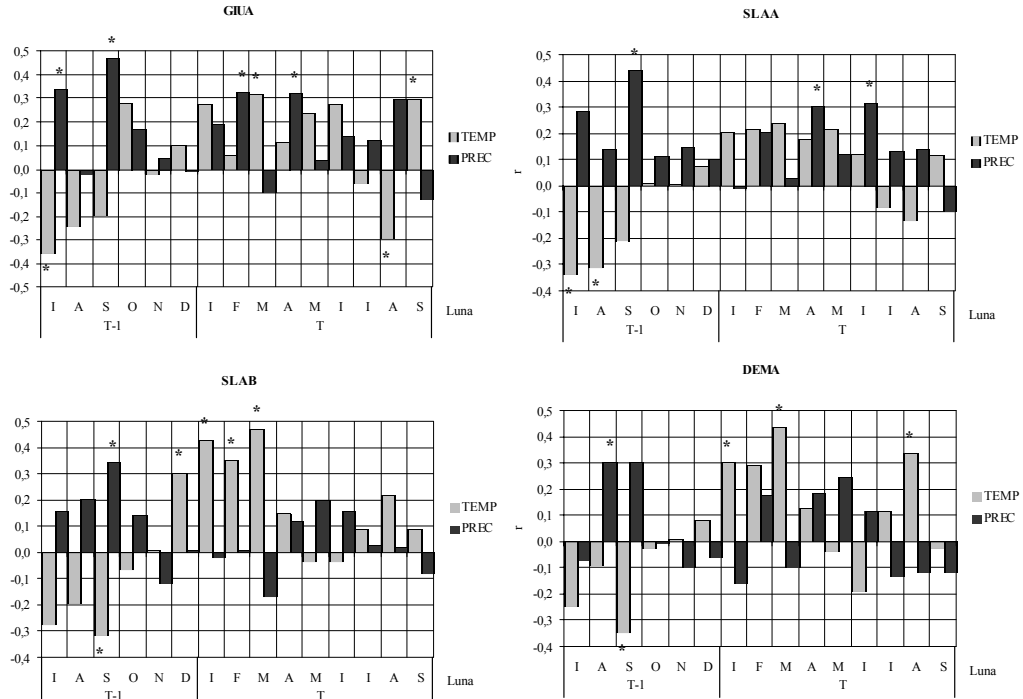


Fig. 2. Corelațiile dintre seriile dendrocronologice și parametrii meteorologici
Correlations between dendrochronological series and meteorological parameters

pe seriile dendrocronologice de molid (GIUA, SLAA) și brad (SLAB, DEMA) din nordul Carpaților Orientali, atât prin intermediul indicatorilor statistici descriptivi, cât și prin analiza coeficientului de corelație simplă sau a funcțiilor de răspuns au permis decelarea acelor componente ale climatului general, sub raportul perioadei cât și al tipului de parametru meteorologic, care pot fi considerați determinanți ai creșterii radiale. Regimul termic de la sfârșitul sezonului de vegetație anterior are o influență negativă sub raport auxologic, semnificativă statistic în cazul bradului (SLAB, DEMA) fiind temperatura din luna septembrie anul precedent. Fiziologic explicația poate fi dată de procesele de formare a mugurilor și a acumulărilor de substanțe nutritive necesare declanșării proceselor fiziologice din sezonul următor și o eventuală prelungire a peri-

oadei de acumulare de biomasă în cazul unui regim termic favorabil. Regimul termic de la sfârșitul sezonului de repaus vegetativ și de la începutul sezonului de vegetație, lunile ianuarie-iunie, induce un răspuns pozitiv din partea molidului (GIUA, SLAA). Temperaturile medii lunare ridicate din sezonul rece determină o reacție pozitivă din partea arborilor, lucru evident mai ales la brad.

Creșterea radială sezonieră prezintă variații de ritm determinate de oscilațiile termice (în prima etapă a formării inelului anual), respectiv de variații ale regimului pluviometric care modifică rezerva de apă din sol (în a doua etapă a reactivării creșterii) (Popescu-Zeletin et al., 1962 citat de Parascan și Danciu, 2001). La începerea sezonului de vegetație (lunile martie-mai), molidul reacționează favorabil la creșterea

temperaturii, bradul având o reacție negativă sau indiferentă, ne semnificativă din punct de vedere statistic. Reacții similare, la regimul termic din primăvară, se înregist-

trează și în Alpi la brad și molid (Lingg, 1986). Studiile dendroclimatologice la molidul din Lituania indică o reacție pozitivă la temperatura din aprilie și negativă la regi-

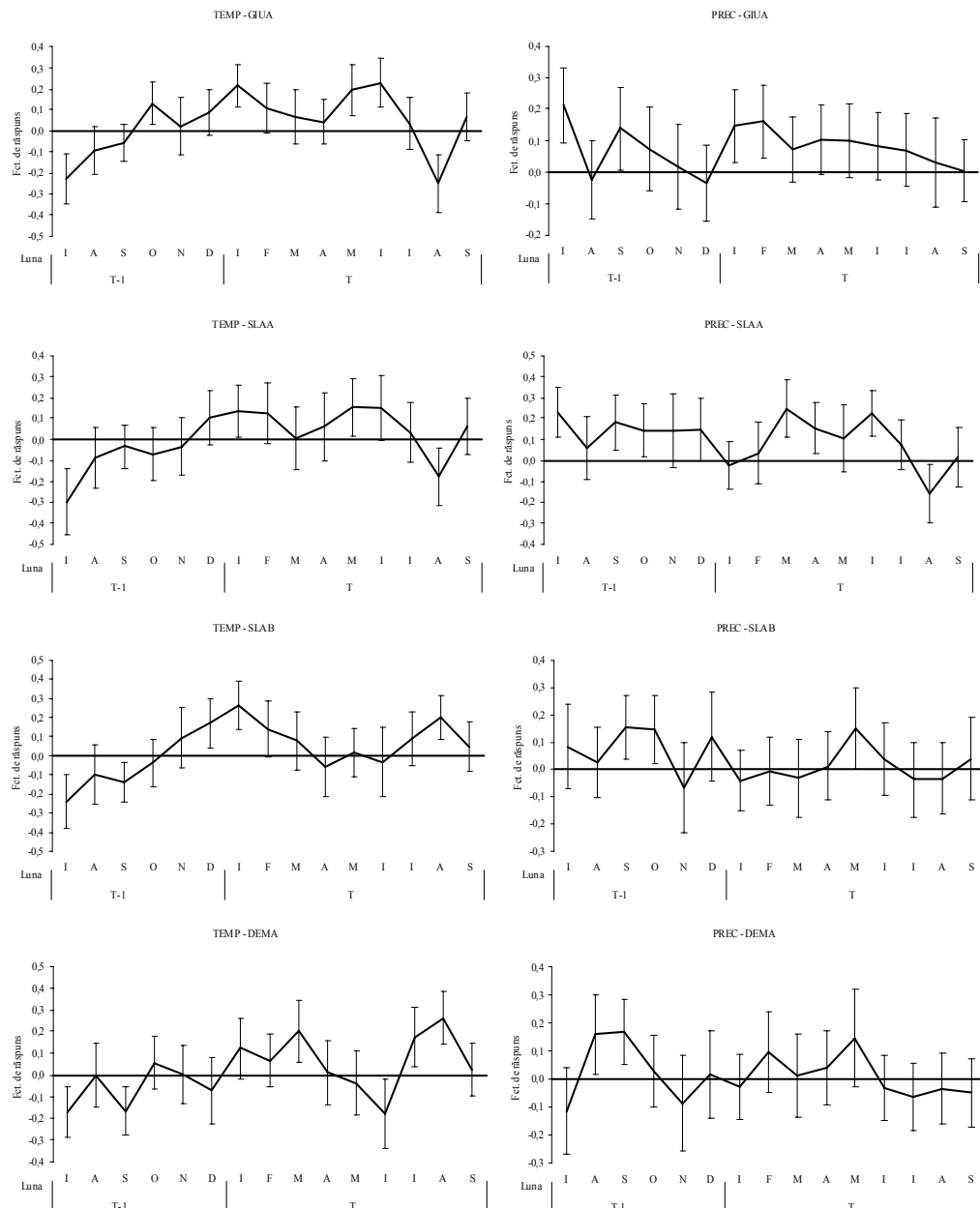


Fig. 3. Funcțiile de răspuns calibrate prin metoda regresiei multiple și extragerea componentelor principale
 Response function calibrated by multiple regression and principal component methods

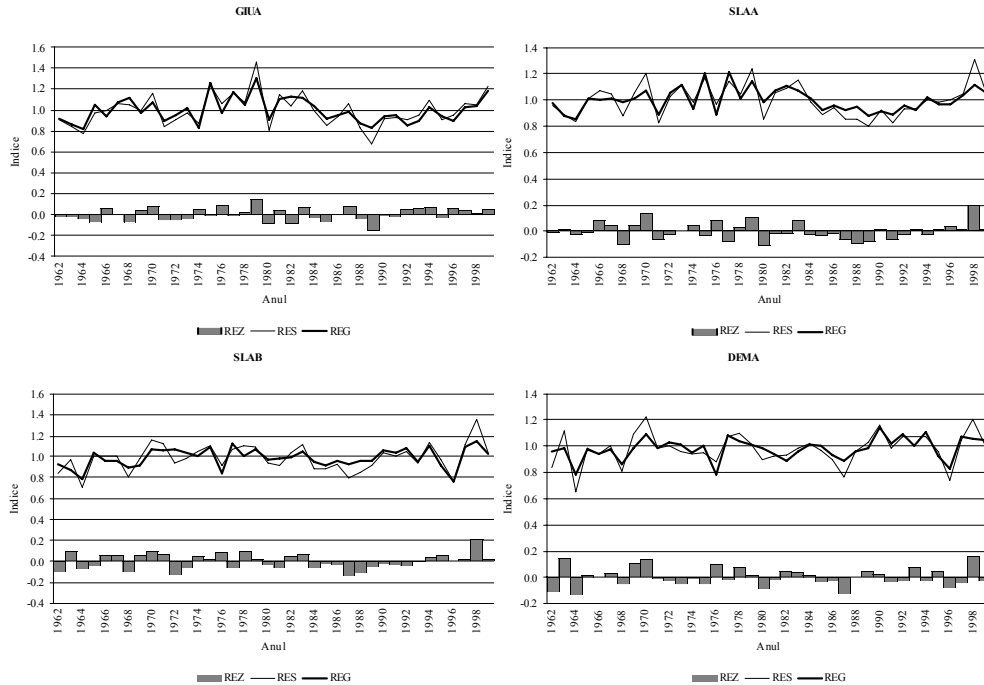


Fig. 4. Indici de creștere reali și estimați prin funcțiile de răspuns (REZ - erori reziduale, RES - indici reali, REG - indici estimați)
 Real growth index and estimated by response function (REZ -residual errors, RES - real index, REG - estimated index)

mul termic din iulie și august (Vitas, 1998). Regimul pluviometric din iunie are o influență pozitivă, semnificativă, spre deosebire de cel din ianuarie-martie, respectiv septembrie-decembrie, care determină o reacție auxologică negativă din partea molidului (Vitas, 1998). Temperaturile din sezonul de vegetație (iunie-august) determină o reacție negativă la molidul din zona Hamburg, influență pozitivă având precipitațiile din această perioadă (Eckstein și Krause, 1989). În zona de la limita altitudinală a vegetației, temperatura reprezintă factorul cu rol dominant în creșterea radială, influență semnificativă având regimul termic din toamna precedentă formării inelului anual și din perioada mai-august anul curent (Eckstein și Aniol, 1981). În cazul seriilor dendrocro-

nologice analizate răspunsul molidului (GIUA, SLAA) la modificarea regimului termic din sezonul de vegetație lunile iulie-august este negativ, temperaturile ridicate determinând o reducere a ritmului de creștere în diametru. În cazul seriei dendrocronologice din Codrul Secular Giumalău (GIUA), temperatura din luna august este negativ și semnificativ corelată cu indicele de creștere. Interesant este comportamentul antagonist al molidului și bradului în cazul regimului termic din lunile iulie-august: ambele specii prezintă o reacție semnificativă statistic la acest factor climatic, dar de sens invers. Molidului își reduce creșterea, exprimată prin indici de creștere, pe când bradul înregistrează o accelerare a proceselor biologice de acumulare de biomasă în

inelul anual. În Alpii francezi se constată o reacție pozitivă a molidului la precipitațiile din mai-iulie, respectiv luna mai la brad, iar regimul termic din sezonul de vegetație anterior induce o reacție negativă, semnificativă atât pentru brad cât și pentru molid (Desplanque, Rolland, Michalet, 1998). În cazul de față, la brad se menține reacția pozitivă, chiar foarte puternică și semnificativă în cazul seriei de indici de creștere din Slătioara (SLAB), la temperaturile din sezonul rece (lunile decembrie - martie). Același răspuns pozitiv este vizibil și în cazul temperaturilor din sezonul de vegetație (iulie - august), pentru seria de indici din bazinul Demacușa (DEMA) corelația fiind semnificativă în cazul temperaturii din luna august. Sfârșitul sezonului de vegetație, respectiv luna septembrie, are o influență pozitivă asupra creșterii determinând o prelungire a perioadei de acumulare de biomasă, sub aspectul regimului termic, reacția fiind negativă la regimul pluviometric.

De asemenea, sub raport pluviometric, sezonul de vegetație anterior are, în general, o influență pozitivă, semnificative statistic fiind precipitațiile din lunile iulie - septembrie anul precedent. În ceea ce privește sezonul de vegetație din anul formării inelului anual, molidul prezintă o reacție pozitivă, semnificativă (GIUA - februarie, aprilie, SLAA - aprilie, iulie) la regimul precipitațiilor. Precipitațiile de la începutul sezonului de vegetație (aprilie-iunie) determină o accelerare a ritmului de creștere radială, dar corelația este nesemnificativă din punct de vedere statistic. Se remarcă un comportament diferit la precipitațiile din luna august la molidul din Codrul Secular Giumalău (GIUA) față de cel din Slătioara (SLAA), bradul având o reacție auxologică la regimul pluviometric similară în cazul am-belor serii dendrocronologice (SLAB, DEMA). Corelații similare au fost identificate la ser-

ile dendrocronologice de brad din Bucegi (Iacob, 1998).

Reducerea indicilor de creștere reali față de cei estimați prin modelul climatic al funcțiilor de răspuns în cazul seriilor dendrocronologice din Codrul Secular Slătioara, atât pentru molid (SLAA) cât și pentru brad (SLAB) poate fi explicată de prezența unui semnal perturbator (de ex. poluare), cu manifestare similară celui climatic în perioada 1983-1990.

Aplicarea tehnicilor de dendroclimatologie la analiza reacției molidului și bradului la oscilațiile regimului termic și pluviometric a permis stabilirea unor modele auxologice cu suport climatic, semnificative din punct de vedere statistic. Este posibil ca utilizarea unor indicatori complecși (sume sau medii ale temperaturilor, respectiv precipitațiilor, pe perioade de vegetație-început de sezon vegetativ, sfârșit de sezon etc.) integrată cu analiza altor factori de creștere să ofere informații suplimentare privind dinamica creșterilor radiale.

Mulțumiri

Cercetările au fost finanțate de Ministerul Educației, Cercetării și Tineretului prin programul Orizont 2000. Prelucrarea și analiza datelor s-a realizat în cadrul Stațiunii Experimentale de Cultura Molidului Câmpulung Moldovenesc.

Bibliografie

- Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H., 1991. Tree-ring density reconstructions of summer temperature patterns across western North America since 1600. *J. Clim.* 5:735-754.
- Cook, E.R., Holmes, R.L., Bosch, O., Grissino, M.H.D., 1997. International tree-ring data bank program library. <http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/treering.html>. Accesat în 2003.

- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.), 1990. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Kluwer. 394 p.
- Desplanque, C., Rolland, C., Michalet, R., 1998. Dendroecologie comparee du sapin blanc (*Abies alba*) et de l'épicea commun (*Picea abies*) dans une vallee alpine de France. Can. J. For. Res. 28 :737-748.
- Douglass, A.E., 1941. Crossdating in dendrochronology. Journal of Forestry. 39: 825-831.
- Eckstein, D., Aniol, R.W., 1981. Dendroclimatic reconstruction of the summer temperature for an alpine region. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 142 391-398.
- Eckstein, D., Krause, C., 1989. Dendroecological studies on spruce trees to monitor environmental changes around Hamburg. IAWA Bulletin 10(2): 175-182.
- Fritts, H.C., 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. Tucson, University of Arizona Press. 286 p.
- Fritts, H.C., 2003. Precon v. 5.17, <http://www.ltr.arizona.edu/people/Hal/dlprecon.html>. Accesat în 2003.
- Fritts, H.C., 1965. Tree-ring evidence for climatic changes in western North America. Mon. Weather Rev. 93:421-443
- Giurgiu, V., 1977. Variația creșterilor la arbori, starea timpului și anii de secetă. Academia de Științe Agricole și Silvicult. Buletin informativ 5. 222-235.
- Grissino, M.H.D., 2003, Principles of dendrochronology. <http://web.utk.edu/~grissino/principles.htm>. Accesat în 2003.
- Grissino-Mayer, H.D., Holmes, R.L., Fritts, H.C., 1996. International Tree Ring Data Bank program library version 2.0 user's manual. Laboratory of Tree-ring Research, University of Arizona. Tucson. Arizona.
- Guiot, J., 1985. The extrapolation of recent climatological series with spectral canonical regression. Journal of Climatology 5: 325-335.
- Guiot, J., 1991. The bootstrapped response function. Tree Ring Bulletin 51: 39-41.
- Hofgaard, A., Tardif, J., Bergeron, Y., 1999. Dendroclimatic response of *Picea mariana* and *Pinus banksiana* along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest. Canadian Journal of Forestry Research 29: 1333-1346
- Holmes, R.L., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree Ring Bulletin 43:69-75.
- Hughes, M. K., Xiangding, W., Xuemei, S., Garfin, G.M., 1994. A preliminary reconstruction of rainfall in North-Central China since A.D. 1600 from tree-ring density and width. Quat. res. 42:88-99.
- Iacob, I. C., 1998. Cercetări auxologice în arborete naturale pluriene de fag cu rășinoase din Bucegi și Piatra Craiului. Rezumat teză de doctorat. Universitatea Ștefan cel Mare. Suceava. 60 p.
- LaMarche, V. C., 1974. Paleoclimatic inferences from long tree-ring record. Science 183:1043-1048.
- Lara, A. et al., 2001. Dendroclimatology of high-elevation *Nothofagus pumilo* forests at their northern distribution limit in the central Andes of Chile. Can. J. For. Res. 31: 925-936
- Lingg, W., 1986. Dendroökologische Studien an Nadelbaumen im alpinen Trockental Wallis (Schweiz). Ber. Eidgenöss. Forsch. anst. Wald Schnee Landsch. 287:1-81.
- Parascan, D., Danciu, M., 2001. Fiziologia plantelor lemnoase. Ed. Pentru Viață, Brașov, 301 p.
- Popa, I., 1999. Aplicații informatice utile în cercetarea silvică. Programul CAROTA și programul PROARB. Revista Pădurilor, 2:41-42.
- Popa, I., 2002. Elaborarea de serii dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroclimatologie și dendroecologie. Referat științific final. ICAS. Câmpulung Moldovenesc, 131 p.
- Schweingruber, F.H., 1985. Dendroecological zones in the coniferous forests of Europe. Dendrochronologia 3:67-75.
- Schweingruber, F. H., 1988. A new dendroclimatic network for western North America. Dendrochronologia 6: 171-178.
- Schweingruber, F.H., 1996. Tree rings and environment. Dendroecology. Birmensdorf. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. 609 p.
- Schweingruber, F. H., Briffa, K. R., Jones, P. D., 1991. Yearly maps of summer temperature in Western Europe from A. D. 1750 to 1975 and Western North America from 1600 to 1972. Vegetation 92:5-71.
- Serre-Bachet, F., Guiot, J., Tessier, L., 1992. Dendroclimatic evidence from southwestern Europe and northwestern Africa. În: Bradley, R.S., Jones, P.D. (eds.): Climate since A. D.

1500. London, Routledge. 349-365.
- Till, C., Guiot, J., 1990. Reconstruction of precipitation in Marocco since 1000 A. D. base don Cedrus atlantica tree-ring width. Quat. Res. 33:337-351.
- Vitas, A., 1998. Dendroclimatological research of spruce forests in the west and central Lithuania. Mater Thesis. Vytautas Magnus University. Kaunas. 60 p.

Summary

Comparative analysis of the dendrochronological response of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Silver fir (*Abies alba* Mill.), from the North of Eastern Carpathians

This paper present an exemple of the applicability of dendroclimatological research methods in the study of forest ecosystems, using the dendrochronological series from Giumalau Secular Forest (GIUA - Norway spruce), Slatioara Secular Forest (SLAA -Norway spruce, SLAB - Silver fir) and Demacusa Basin (DEMA - Silver fir). In the case of the Norway spruce, respectively the GIUA and SLAA dendrochronological series, one can notice a significant negative correlation with the temperatures from the end of the previous vegetation season (July, August, and September) and positive with the rainfalls from that period. The same type of reaction concerning the previous vegetation season is also present in the case of the Silver fir, but the intensity is lower. As far as the current vegetation season is concerned, the Norway spruce has a significant positive reaction (GIUA - February, March, SLAA - April, July) to the regime of rainfalls. The thermal regime at the end of the season of vegetative repose and at the beginning of the vegetation season, months January - June induces a positive response from the Norway spruce. The Norway spruce's response to modification of the thermal regime in the vegetation season, months July-August, is negative, the high temperatures directly and indirectly determining a decrease of the growth in diameter rhythm. In case of the dendrochronological series from Giumalau Secular Forest - GIUA - the temperature in August is negative and significantly correlated with the growth index. The end of the vegetation season, namely September, has a positive influence on growth, as

far as the thermal regime is concerned, the reaction being negative to pluviometric regime.

In the case of the Silver fir, there is a positive reaction, even very strong and significant in the case of Slatioara-s series of growth indexes - SLAB, to temperatures from the cold season (December-March). The same positive response can be noticed in the case of the temperatures from the vegetation season (July - August), for the series of indexes from Demacusa Basin, the correlation being significant in the case of the temperatures from August. The rainfalls at the beginning of vegetation season (April - June) determine an acceleration of radial growth rhythm, but the correlation is insignificant from the statistical point of view. The comparative analysis of the series of real and estimated by statistical models growth indexes indicates a very good reliability of the response functions. Distribution of residual errors is random, except for the period 1985-1992 in the case of dendrochronological series from Slatioara (Norway spruce and Silver fir) and Demacusa, when the statistic model systematically overestimates the growth indexes. The explanation can be found in the presence of a disturbance signal with intense manifestation in this period, the hypothesis issued being the presence of some phenomena of intense pollution. This manifestation is very obvious, especially in the case of the Norway spruce from Slatioara Secular Forest - SLAA.

Autorul. Dr. ing. Ionel Popa - cercetător principal III, activează în cadrul Stațiunii Experimentale de Cultura Molidului, Calea Bucovinei 73, 5950 Câmpulung Moldovenesc, jud. Suceava. E-mail: popa.ionel@icassv.ro.