



Universitatea "Ștefan cel Mare" din Suceava
FACULTATEA DE SILVICULTURĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

DOMENIUL: SILVICULTURĂ

FENOLOGIA ȘI DINAMICA CREȘTERII LA SPECII DE ARBUȘTI
DIN ZONA SUBALPINĂ A MUNȚILOR CĂLIMANI

REZUMAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

C.Ș. I dr. ing. Ionel POPA

DOCTORAND:

Claudiu-Cosmin ROGOJAN

Suceava, 2022

Cuvânt înainte

“Cea mai bună metodă de a analiza impactul diversilor factori asupra plantelor ar fi să întrebăm înseși plantele.”

Fritz Schnelle

Ecossistemele montane fac parte din categoria celor mai amenințate ecosisteme din lume. În general, deși zonele subalpine oferă o multitudine de servicii ecosistemice de valoare socio-economică de neînlocuit, acestea pot fi foarte sensibile la condițiile locale de mediu. Datorită schimbărilor rapide de mediu, această regiune muntoasă suferă modificări marcante ale fenologiei, creșterii și distribuției speciilor de plante, iar înțelegerea acestor procese ecologice este deosebit de importantă pentru protecția și conservarea biodiversității din aceste zone.

Prezenta lucrare se dorește a fi un studiu ecologic detaliat, realizat într-o zonă supusă unui regim de protecție strict, dintr-o arie naturală protejată reprezentativă pentru patrimoniul natural național și comunitar. Aceasta a pornit de la ipoteza conform căreia speciile de arbuști din zona de ecoton a etajului subalpin al munților Călimani reprezintă surse locale viabile de informații în contextul actual al modificărilor climatice ce au loc la nivel global și vizează determinarea și evidențierea modului în care principalii factori de mediu din această zonă influențează dinamica fenologiei și a proceselor de creștere a speciilor de arbuști.

Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat mi-au acordat ocazia de a-mi aprofunda cunoștințele asupra modului în care plantele pot fi folosite ca instrument eficient al observării schimbărilor ce se produc în mediu, chiar sub ochii noștri.

Doresc să îmi exprim sincera recunoștință și să prezint mulțumiri coordonatorului științific al prezentei lucrări, domnul Cercetător științific I Dr. Ing. Ionel POPA, pentru amabilitatea avută, experiența împărtășită, susținerea și sprijinul necondiționat acordat în procesul de elaborare a tezei de doctorat. Discuțiile din cadrul întâlnirilor avute pe parcursul cercetărilor m-au ajutat să găsesc cele mai optime soluții pentru rezolvarea problemelor apărute.

Mulțumiri sincere adresez președintelui comisiei de evaluare și susținere publică a tezei de doctorat, domnului profesor univ. habil. dr. ing. Marian DRĂGOI, precum și domnilor conf. univ. dr. ing. Cătălin ROIBU, c.ș. I dr. ing. Cristian SIDOR și c.ș. II dr. ing. Ștefan LECA, pentru amabilitatea de a accepta să analizeze această teză în calitate de referenți oficiali.

Doamnei dr. ing. Anca-Ionela SEMENIUC FECIORU și domnului ing. Mihai BALABAȘCIUC din cadrul Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea” Stațiunea Câmpulung Moldovenesc, doresc să le mulțumesc în mod special pentru ajutorul oferit, efortul și munca depusă în realizarea cercetărilor din teren.

De asemenea mulțumirile mele se îndreaptă către domnii profesori, șef lucrări dr. ing. Cezar TOMESCU, conf. univ. dr. ing. Cătălin ROIBU și conf. univ. dr. ing. Florin CLINOVSCHI, membri în comisia de îndrumare, care pe parcursul anilor de studiu, m-au sprijinit și mi-au oferit recomandări ce au dus la îmbunătățirea tezei de doctorat. De asemenea îi sunt recunoscător domnului prof. univ. dr. ing. Radu Leontie CENUȘĂ pentru recomandările și sugestiile oferite în cadrul etapei de cercetare fenologică.

Am o deosebită recunoștință și adresez mulțumiri colegilor din cadrul administrației Parcului Național Călimani R.A. pentru înțelegere și încurajările acordate. Mulțumesc de asemenea membrilor Consiliului științific al Parcului Național Călimani pentru permisiunea desfășurării cercetărilor în această arie naturală protejată.

Nu în ultimul rând țin să le mulțumesc părinților Vasile și Silvia și fratelui meu Silviu pentru înțelegerea acordată și susținerea morală.

Această lucrare este dedicată bunului meu prieten dr. Ștefan-Adrian STRUNGARU, care ne-a părăsit mult prea devreme și care ne veghează din ceruri.

Cuprins

1. Introducere	1	1
2. Scop și obiective.....	2	3
3. Stadiul cunoștințelor.....	3	4
4. Metodologia de cercetare	5	16
4.1. Caracterizarea generală a zonei subalpine a Parcului Național Călimani	5	16
4.2. Zona de studiu	5	22
4.3. Metodologia de culegere a datelor de teren	6	23
4.3.1. Măsurarea parametrilor climatici.....	6	24
4.3.2. Metodologia de monitorizare fenologică.....	7	24
4.3.3. Măsurători privind creșterea în lungime și radială	7	36
4.3.4. Analiza statistică a datelor privind creșterea radială și în lungime.....	8	41
5. Rezultate obținute și discuții	8	44
5.1. Variația parametrilor climatici monitorizați în zona subalpină a Munților Călimani	8	44
5.2. Dinamica fazelor fenologice la specii de arbuști din Munții Călimani.....	14	55
5.3. Dinamica creșterii în lungime la nivel intra-anual	22	73
5.4. Dinamica creșterii în lungime la nivel inter-anual	30	87
5.5. Dinamica creșterii radiale la nivel inter-anual	33	92
6. Concluzii și contribuții personale.....	38	103
6.1. Concluzii	38	103
Concluzii cu privire la variația parametrilor climatici monitorizați în zona subalpină a Munților Călimani.....	38	103
Concluzii cu privire la fenologia speciilor de arbuști.....	39	104
Concluzii cu privire la dinamica creșterii în lungime la nivel intra-anual a speciilor de arbuști.....	40	105
Concluzii cu privire la dinamica creșterii în lungime la nivel inter-anual a speciilor de arbuști.....	41	106
Concluzii cu privire la dinamica creșterii radiale la nivel inter-anual a speciilor de arbuști	41	107
6.2. Contribuții personale	43	109
Bibliografie.....	44	110

Cuvinte cheie: fenologie, fenofază, dinamica creșterii, creștere în lungime, creștere radială, proces de creștere, microclimat, expoziție, temperatură, umiditate, dendrocronologie, model dendroclimatic, arbuști, zonă subalpină, ecoton, Călimani, parc național.

1. Introducere

Cunoașterea compoziției vegetale, a structurii și dinamicii ecosistemelor alpine, în contextul actual al schimbărilor de mediu, reprezintă o condiție esențială pentru înțelegerea proceselor de dinamică și adaptabilitate, precum și pentru asigurarea unui management sustenabil al acestora.

La nivelul ecosistemelor montane se poate detecta, aprecia și evidenția efectul sinergic al schimbărilor climatice, cu precădere în zonele de ecoton ale pădurii de limită din zona subalpină. Aici dinamica proceselor funcționale specifice ecosistemelor naturale este deosebit de complexă și are un efect major asupra biodiversității, prin modul în care organismele reacționează și interacționează cu diverșii factori în ciclul lor de viață, în raport cu etajele altitudinale.

Arborii și arbuștii furnizează date esențiale privind schimbările de mediu care au loc în ecosistemele zonelor subalpine. Speciile de arbori au făcut obiectul a numeroase investigații și studii de-a lungul timpului prin metode dendrocronologice și dendroecologice pentru a cuantifica răspunsul lor la variația factorilor de mediu, analizând morfologia și ecologia acestora și corelând-o cu variația temperaturii, umidității, altitudinii, activitățile antropice etc., în perioada de vegetație relativ scurtă a lor din aceste zone de ecoton, extrem de sensibile.

Cercetările fenologice se bucură de o atenție sporită în ultima vreme, datorită răspunsului sensibil al acestora la schimbările climatice și la influențele asupra funcțiilor ecosistemice. Variațiile în fenologia plantelor au consecințe directe asupra productivității ecosistemelor, circuitului carbonului în natură, lanțului trofic și al altor funcții și servicii ecosistemice.

Evoluția speciei umane este intrinsec legată de relațiile dintre factorii de mediu și fenologia speciilor de floră și de faună. Observațiile fenologice au reprezentat încă din cele mai vechi timpuri un instrument eficient de monitorizare a impactului și evoluției schimbărilor de mediu asupra speciilor de plante. Înțelegerea fenologiei și a proceselor de creștere a speciilor de arbuști este importantă pentru prognoza dinamicii temporale și a distribuției spațiale a asociațiilor vegetale din cadrul habitatelor naturale periclitate la nivel european.

Este necesară obținerea de noi informații și cunoștințe referitoare la fenologia și dinamica proceselor de creștere la nivel intra-anual a principalelor specii de arbuști edificatoare ale comunităților subalpine și alpine de plante, mai ales în contextul lipsei cvasitotale ale unor astfel de date importante. Mai mult decât atât, pentru spațiul alpin și subalpin din România, astfel de informații nu sunt disponibile, fiind esențiale și necesare pentru asigurarea managementului și conservării sustenabile a acestor ecosisteme. De asemenea, datele și informațiile referitoare la creșterea radială și în lungime a speciilor de arbuști sunt extrem de limitate, chiar la nivel european sau mondial.

Cercetările s-au desfășurat în cadrul proiectului de cercetare – Fenologia creșterii și răspunsul la schimbările climatice la arbori și arbuști în ecotonul de limită din Carpați. O abordare multispecifică și multiproxy – GROPEONOClim - *PN-III-P4-ID-PCE-2016-0253* finanțat de Ministerul Cercetării și Inovării, CNCS – UEFISCDI în cadrul PNCDI III și derulat la Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură Marin Drăcea, SCDEP Câmpulung Moldovenesc, în perioada 2017-2019.

2. Scop și obiective

Cercetările realizate în cadrul prezentei teze de doctorat au **scopul** de a obține informații actuale și de a acumula noi cunoștințe privind modul de răspuns al speciilor de arbuști din habitatele naturale ale zonei de ecoton sub-alpin, la variațiile factorilor climatici și adaptarea acestora la schimbările de mediu, în contextul conservării biodiversității și a gestionării durabile a ecosistemelor montane.

Obiectivul principal al cercetărilor constă în analiza fenologiei și a dinamicii creșterii la nivel intra-anual și inter-anual a unor specii de arbuști din zona subalpină a Munților Călimani, suport pentru asigurarea unui management sustenabil al acestor ecosisteme sensibile și adoptarea unor soluții de conservare optime.

În raport cu scopul cercetărilor s-au stabilit următoarele **obiective de cercetare specifice**:

- Evidențierea particularităților parametrilor climatici la nivel intra-anual în zona subalpină din Munții Călimani;
- Monitorizarea la nivel intra-anual a fazelor fenologice la specii de arbuști din zona de ecoton subalpin;
- Analiza dinamicii intra-aniuale a creșterii în lungime la speciile de arbuști din Munții Călimani;
- Analiza variației creșterii radiale și în lungime a unor specii de arbuști în raport principalii parametri climatici;

3. Stadiul cunoștințelor

Ecosistemele situate în zona montană superioară sunt excelente laboratoare naturale pentru a studia răspunsul vegetației la variabilitatea climatului, din moment ce plantele din regiunea alpină sau subalpină răspund mult mai rapid la schimbările temperaturii aerului prin modificările aferente în procesele ecologice. Creșterea plantelor depinde de temperatură, iar schimbările climatice rapide actuale au reinițiat interesul pentru înțelegerea și modelarea răspunsurilor fenologiei și creșterii plantelor la tendința de încălzire și consecințele acesteia pentru ecosistemele de la altitudini înalte.

Fenologia este știința care studiază evenimentele biologice din ciclul de viață al plantelor în relația acestora cu factorii biotici și abiotici (Lieth, 1974, Schwartz, 2003), cauzele apariției lor și interrelația dintre fazele aceleiași specii sau ale diferitelor specii.

Observarea momentului în care apar și înfloresc plantele reprezintă o îndeletnicire de multe secole a societăților umane. Atât comunitățile de vânători sau culegători, cât și cele agricole premoderne au folosit, probabil, plantele drept indicatori sezonieri, unii întocmind "calendare ale naturii". Există astfel consemnări ale fenologiei plantelor datând din secolul al VIII-lea în Japonia, care marchează debutul înfloririi cireșului prin celebrarea acestuia în cadrul unui eveniment cultural (Schaber, 2002).

Prima rețea fenologică internațională care cuprindea doar câteva state din Europa a fost înființată în anul 1780 în Germania, și împreună cu stațiunile fenologice includea și o rețea de stații meteorologice (Hopp, 1974). Datele provenite din aceste rețele au în general un standard de calitate înalt (plante identice din punct de vedere genetic, linii directoare standardizate de observare) și acoperă diferite regiuni climatice.

Schnelle (1955) realizează cea mai cuprinzătoare prezentare a istoriei cercetării și dezvoltării rețelelor fenologice, fiind urmat de o primă sinteză modernă realizată de Lieth (1974) continuată mai apoi de Schwartz (2003, 2013) în care se evidențiază amploarea multidisciplinară a domeniului fenologiei și demonstrează potențialul său de a aborda o varietate de probleme de management și sisteme ecologice. În nici una dintre aceste sinteze a cercetărilor fenologice nu se face referire la cercetările similare realizate în România.

Teodosiu și Mateescu (2004) realizează o sinteză a cercetărilor fenologice efectuate de-a lungul timpului în străinătate și în țară, analizându-le din perspectiva rezultatelor corelate cu schimbările climatice, rețele fenologice, colectarea și prelucrarea datelor, dezvoltarea fenologiei la nivel național și internațional.

Teledetecția reprezintă o tehnică modernă, accesibilă de a examina dinamica fazelor fenologice la scară mare, dar este în mod inerent limitată de perioade scurte de timp sau de timpi de recuperare ocazionali, respectiv trebuie validată folosind măsurători la sol.

O altă metodă a studierii fenologiei speciilor de plante care abordează cu cel mai mare succes deficiențele observațiilor de la sol, cât și cele ale datelor obținute prin tehnici de teledetecție, este reprezentată de folosirea de fotografii digitale în mod repetat (digital repeated photography).

Zonele subalpine și alpine sunt caracterizate de o mare diversitate de plante și animale care trăiesc datorită adaptărilor specifice acestor ecosisteme, deasupra zonei de limită a arborilor (Nagy și Grabherr, 2009; Winkler et al., 2019). Plantele există în locațiile lor actuale ca o consecință a selecției habitatului și a adaptării progresive la condițiile de mediu cele mai potrivite cerințelor lor de supraviețuire (Walther et al., 2002, Hegland et al., 2009).

Deși cercetările în domeniul fenologiei forestiere din țara noastră au cunoscut un reviriment în cadrul programului coordonat de Aurora Tomescu, cercetările privind dinamica fenologiei speciilor de arbori, implicit de arbuști din zona montană a Carpaților românești au fost limitate, literatura de specialitate prezentând puține lucrări. Cenușă (1996, 2003) desfășoară

cercetări fenologice în munții Călimani, unde introduce în observații pe lângă trei specii de arbori și o specie de arbust (afin).

Arborii și arbuștii furnizează date și informații esențiale privind schimbările care au loc în ecosistemele zonelor subalpine. Răspunsul lor este mai evident la condițiile climatice extreme comparativ cu variațiile climatice normale (Mäkinen et al., 2003).

În mod general, în zonele montane înalte ale continentului european se găsesc speciile de *Picea abies* L., *Larix decidua* Mill. și *Pinus cembra* L., primele două specii enumerate fiind cele mai răspândite și au fost studiate cu precădere în lucrările de dendroecologie.

În ceea ce privește studiile asupra speciilor de arbuști, acestea au un caracter restrâns, serii dendrocronologice pe termen lung nefiind disponibile ca și în cazul arborilor. Comunitățile de arbuști din zonele arctice și alpine se extind ca răspuns la modificările climatului, fiind deosebit de importantă explicarea și înțelegerea modului în care aceste specii răspund la modificările survenite în diferitele ecosisteme altitudinale.

În ceea ce privește Carpații Românești cu referire și la Munții Călimani, prin serii de date dendroecologice, obținute de la arbori la nivel local sau din rețele naționale, s-au putut demonstra și evidenția tendințele pe termen lung în relația dintre creștere și temperatură pentru speciile de arbori.

Analizând inelele anuale ale speciilor *Picea abies* L. și/sau *Pinus cembra* L., provenite din serii de date dendrocronologice, Popa et al. (2003), Popa et al. (2006), Popa și Kern (2007), Popa și Kern (2009), Nechita et al. (2013), Rodrigo et al. (2022) au evidențiat răspunsul arborilor la acțiunea factorilor perturbatori pe lungi perioade de timp, prin reconstituirea dinamicii istorice a perturbărilor produse în ecosistemele forestiere montane ale masivului Călimani.

Unele studii dendrocronologice asupra inelelor de creștere ale speciilor *Pinus cembra* L. (Popa și Bouriaud, 2007) și *Picea abies* L. (Popa și Bouriaud, 2014), au permis reconstituirea temperaturilor de vară din trecut, pe o perioadă de peste 500 de ani, atingând chiar la 1 mileniu în cazul speciei *Pinus cembra* L. în Călimani (Popa și Kern, 2009).

O serie de lucrări dendrocronologice efectuate asupra speciilor *Pinus cembra* L. (Kern et al., 2009), respectiv *Picea abies* L. (Surdeanu et al., 2011, Pop et al., 2014), axate pe probleme ecologice și geomorfologice au demonstrat prin analiza inelelor de creștere, reacția anatomică a acestora cu o suprimare a creșterii la sedimentarea resturilor toxice provenite din zona fostei exploatare miniere de sulf din Călimani.

Un studiu recent (Pop et al., 2019) realizat prin analiza inelelor de creștere ale speciilor *Picea abies* L. și *Pinus mugo* Turra, a permis reconstituirea a zece evenimente de flux de reziduuri (sedimente) în mediul natural, precum și în mediul perturbat de activitatea minieră din Călimani pentru perioada anilor 1931–2017 și respectiv 1970–2017.

Cu toate acestea, se observă un interes recent al studiilor asupra speciilor de arbuști din Carpații Orientali. Fecioru et al. (2018) evidențiază în cazul speciei *Vaccinium myrtillus* L. o corelație negativă a creșterii în lungime cu precipitațiile din lunile iunie – iulie ale sezonului curent de vegetație, diferențe în relația dintre creșterea radială, factori climatici și expoziție în cazul speciei *Rhododendron myrtifolium* Schott & Kotschy (Fecioru et al., 2019), iar Rogojan și Balabașciuc (2020) subliniază impactul factorilor climatici asupra creșterii radiale a speciei *Pinus mugo* Turra.

Analiza detaliată a studiilor și cercetărilor desfășurate în zonele montane superioare și alpine la nivel național și internațional relevă un gol de cunoaștere privind dinamica fenologică și a proceselor de creștere radială și în lungime la speciile de arbuști, care sunt reprezentative pentru aceste zone amenințate de schimbările climatice.

În mod special, pentru spațiul Carpatic aceste informații și cunoștințe lipsesc, fiind impetuos necesară inițierea de cercetări pentru obținerea de noi informații, la nivel anual și multianual privind dinamica fenologică și a creșterii speciilor de arbuști.

4. Metodologia de cercetare

4.1. Caracterizarea generală a zonei subalpine a Parcului Național Călimani

Cercetările s-au desfășurat în Parcul Național Călimani, într-o arie naturală protejată de interes național, desemnată și administrată pentru protecția și conservarea biodiversității, menținerea habitatelor și ecosistemelor naturale, dar și pentru activități de recreere în scop ecoturistic. Parcul național este localizat în centrul Munților Călimani, limitele acestuia ocupând doar partea superioară a acestor munți (Figura 4.1).

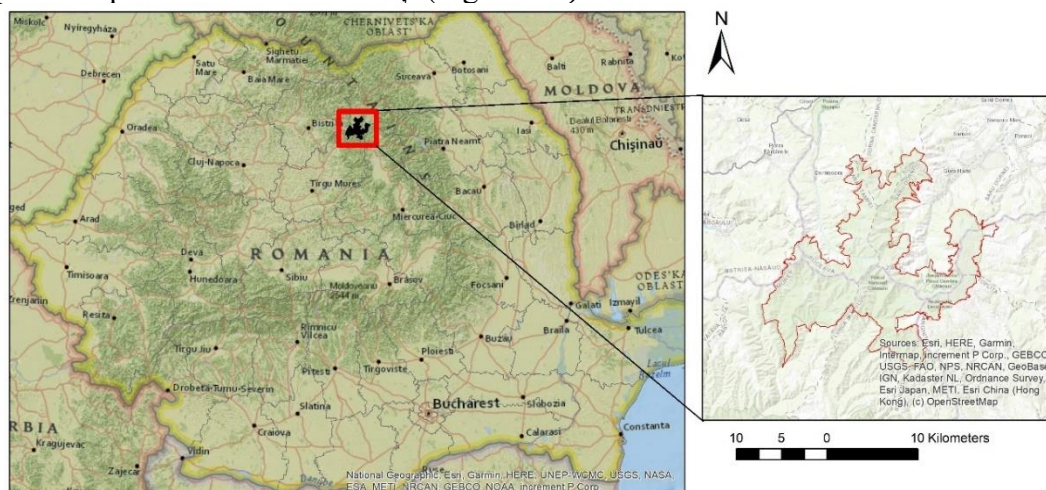


Figura 4.1. Localizarea Parcului Național Călimani. Sursa datelor: <http://geo-spatial.org/> și Administrația Parcului Național Călimani RA.

Zonele care fac obiectul cercetărilor din prezenta teză de doctorat fac parte din regiunea nordică a Parcului Național Călimani și sunt situate din punct de vedere administrativ pe partea județului Suceava, în etajul subalpin al Munților Călimani.

Etajul subalpin, bine reprezentat în Parcul Național Călimani, este situat pe soluri semi scheletice de tip podzolic răspândite pe substraturi formate din roci vulcanice, în special andezite, cu o troficitate relativ scăzută, determinată de un volum edafic mic datorat temperaturilor scăzute și a ponderii relativ ridicate a scheletului. Condițiile climatice specifice etajului subalpin al Munților Călimani sunt foarte aspre, caracterizate de precipitații abundente, temperaturi scăzute și vânturi foarte puternice.

4.2. Zona de studiu

Pentru realizarea cercetărilor privind dinamica fenologică și a proceselor de creștere în diametru și lungime/înălțime la specii de arbuști, au fost amplasate două suprafețe experimentale în Munții Călimani (Parcul Național Călimani) în zona subalpină, de tranziție de la pădurea compactă la răriște de molid, zâmbbru și jneapăn (Figura 4.2).

Zona de studiu - **CALN** - este situată la o altitudine cuprinsă între 1700-1750 m, pe un versant umbrat din zona vârfurilor Negoiu Românesc – Pietricelu, în imediata vecinătate a cuvei carierei de sulf, având coordonatele geografice 47°6'33.44"N, 25°13'55.48"E și o pantă de 20-25°. Această zonă este caracterizată de prezența asociațiilor vegetale *Rhododendro myrtifolii* – *Pinetum mugii* Borza 1959 em Coldea 1985 și *Rhododendro myrtifolii* – *Vaccinietum* (Borza 1959) Boșcaiu 1971, edificate la limita superioară a asociației *Pino cembrae* – *Piceetum* Chifu et al. 1984.

Zona de studiu - **CALS** - este situată pe un versant însorit din zona vârfului Pietricelu, având coordonatele geografice 47°6'27.28"N, 25°13'28.58"E, la o altitudine cuprinsă între 1700-1750 m și este edificată în principal de asociația vegetală *Rhododendro myrtifolii* – *Vaccinietum* (Borza 1959) Boșcaiu 1971, dar și de asociația *Rhododendro myrtifolii* – *Pinetum mugii* Borza 1959 em Coldea 1985.

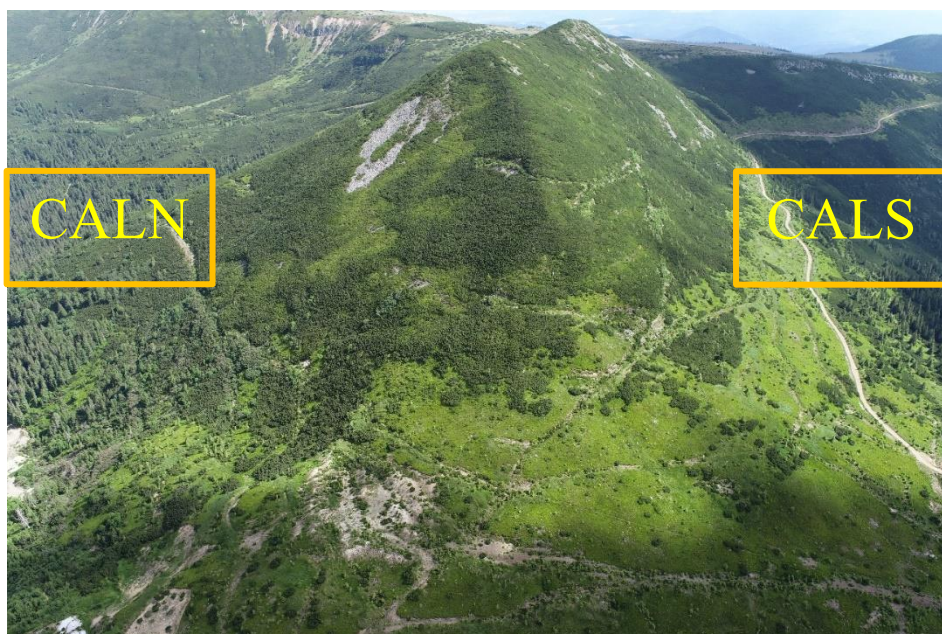


Figura 4.2. Localizarea suprafețelor de cercetare în Parcul Național Călimani - expoziție umbrită (CALN) și expoziție însorită (CALS)

În suprafețele de cercetare s-a identificat și ales pentru monitorizare un număr de 6 specii de arbuști pentru fiecare expoziție (versant). Exemplarele monitorizate aparțin speciilor: afin *Vaccinium myrtillus* L., merișor *Vaccinium vitis-idaea* L., rododendron *Rhododendron myrtifolium* Schott & Kotschy, anin verde *Alnus alnobetula* (Ehrh.) K.Koch, jneapăn *Pinus mugo* Turra și ienupăr *Juniperus communis* L..

Fiecare exemplar ales a fost etichetat corespunzător cu o plăcuță de identificare, acesta conținând denumirea speciei (ex. JN – jneapăn, RD - rododendron) și numărul curent (1-10), eticheta fiind poziționată în locuri mai puțin vizibile de pe acesta, pentru a se evita dispariția plăcuței de pe individ.

4.3. Metodologia de culegere a datelor de teren

Cercetările derulate se bazează pe observații fenologice directe în care s-a studiat comportamentul fenologic al indivizilor, completate cu măsurători specifice privind creșterea intra-anuală a lujerilor. Al doilea set de date primare privind dinamica creșterii la nivel inter-anual este reprezentat de măsurători privind variația creșterii radiale, respectiv a creșterii în lungime, pentru specii de arbuști reprezentativi din zona de studiu. În paralel s-au efectuat măsurători, cu ajutorul senzorilor meteorologici, a variației regimului temperaturilor aerului și a solului.

4.3.1. Măsurarea parametrilor climatici

Pentru înregistrarea temperaturii și umidității relative a aerului, respectiv a temperaturii și umidității relative a solului din fiecare zonă de studiu, s-au amplasat senzori de măsurare automată la intervale de 1 oră. Senzorii de măsurare a temperaturii și umidității aerului au fost instalați la o înălțime de 2 m, iar senzorii de măsurare a temperaturii și umidității solului au fost amplasați la adâncimi de 10 cm și 30 cm, în două puncte diferite.

Setul de date climatice utilizat în modelarea dendroclimatică este reprezentat de datele lunare extrase din baza de date de tip grid cu rezoluție spațială de 0,25° x 0,25° - 1950-2018: E-OBS v20.0e Tg (Europe), din aplicația web KNMI Climate Explorer (Trouet și Van Oldenborgh, 2013), pentru coordonate specifice suprafețelor de cercetare. În analiză s-a utilizat temperatura medie a aerului și nivelul lunar al precipitațiilor.

4.3.2. Metodologia de monitorizare fenologică

Observațiile fenologice s-au realizat pe parcursul a două sezoane de vegetație, respectiv în anii 2018 și 2019, la un număr de 6 specii de arbuști (afin, jneapăn, ienupăr, merișor, anin verde și rododendron) din ambele suprafețe de cercetare. Pentru fiecare specie și suprafață de cercetare s-au ales în vederea monitorizării câte 10 exemplare.

Observațiile desfășurate au avut o frecvență săptămânală, începând cu luna aprilie și terminând cu luna septembrie, cu diferențe de 5 până la 10 zile între suprafețele experimentale în perioada de primăvară, determinate de accesibilitatea suprafețelor și condiționate de topirea stratului de zăpadă.

În funcție de specie, în cadrul acestor observații fenologice indivizii monitorizați au fost încadrați în următoarele faze: fază latentă (dormanță), fază de înmugurire divizată în trei subfaze, fază de înfrunzire divizată în trei subfaze, fază de înflorire divizată în trei sau patru subfaze și fază de formare a fructului cu trei subfaze. Pentru speciile de arbuști cu frunze căzătoare s-au monitorizat și faza de colorare a frunzelor și momentul căderii frunzelor.

Metoda de înregistrare și evaluare cantitativă a fenofazelor a fost adaptată pornind de la modelul (codul) BBCH (Bleholder et al., 2001), coroborată cu procedura dedicată observațiilor fenologice din cadrul manualului ICP Forests (Beuker et al., 2016).

Înregistrarea informațiilor privind dinamica fenologică s-a realizat pe fișe standardizate, fiind ulterior digitalizate într-o bază de date specifică gestionată în Microsoft Excel.

4.3.3. Măsurători privind creșterea în lungime și radială

Măsurători inter- și intra-anuale în lungime/înălțime.

În vederea monitorizării și analizei dinamicii creșterii în lungime/înălțime s-au realizat două tipuri de măsurători: la nivel intra-anual privind modificări săptămânale ale lungimii lujerului terminal la toate cele 6 specii monitorizate, respectiv la nivel inter-anual privind creșterea tijeii principale la jneapăn și afin.

În cazul jneapănului pentru determinarea dinamicii creșterii în lungime a tijeii principale s-a măsurat distanța dintre două verticile succesive, pornind de la creșterea apicală spre baza arbustului, în valori cumulate, cu precizie de 1 mm cu ajutorul unei rulete de precizie.

La specia afin pentru stabilirea dinamicii inter-anuale a creșterii în lungime s-au recoltat 20 de exemplare din zona suprafeței de cercetare CALN, probele fiind prelucrate în laboratorul SCDEP Câmpulung Moldovenesc.

Al doilea set de măsurători s-a realizat săptămânal, în teren, și a vizat creșterea curentă în lungime a lujerului principal. Măsurătorile s-au efectuat cu ajutorul șublerului electronic cu precizie de 0,1 mm, la același lujer la un număr de 10 exemplare din fiecare specie analizată. Exemplarele la care s-au efectuat măsurători privind dinamica creșterii în lungime sunt aceleași cu cele la care s-au efectuat observații fenologice.

Măsurători privind creșterea radială.

Pentru stabilirea și evaluarea creșterii radiale la nivel multianual pentru speciile de arbuști din zona subalpină din Munții Călimani, ținând cont de dificultatea și constrângerile tehnice determinate de creșterile extrem de reduse au fost selectate în prezenta teză de doctorat două specii: jneapăn și rododendron. Cercetările privind dinamica creșterii radiale și corelația acestora cu factorii climatici s-a realizat diferențiat pe ambele expoziții studiate (CALN și CALS).

Astfel, în cazul jneapănului, s-au recoltat, cu ajutorul unui fierăstrău manual, rondele de la un număr de 40 de exemplare, câte 20 de probe din fiecare suprafață de cercetare. Pentru evidențierea inelelor anuale și efectuarea măsurătorilor s-a aplicat metodologia consacrată specifică cercetărilor dendrocronologice (Popa, 2004).

Pentru măsurarea creșterii radiale la specia rododendron, au fost recoltate din tufe diferite câte 20 de eșantioane pentru fiecare suprafață de cercetare. Deoarece creșterile radiale la acest arbust sunt foarte reduse, aplicarea metodelor clasice de măsurare nu este posibilă. În acest scop a fost necesară realizarea unor preparate microscopice, prin aplicarea unor proceduri de laborator specifice anatomiei lemnului (Gärtner și Schweingruber 2013, Fecioru et al., 2019).

Măsurătorile pe fotografiile obținute pentru două direcții perpendiculare, calibrate funcție de mărimea obiectivului utilizat, s-au realizat cu programul informatic CooRecorder.

Seriile individuale de creșteri multianuale (radiale sau în lungime) au fost verificate și interdate cu programul informatic COFECHA (Holmes 1983; Grissino-Mayer, 2001) pe baza corelației cu seria medie pe perioade de 50 de ani, intercalate pe jumătate din lungimea perioadei.

4.3.4. Analiza statistică a datelor privind creșterea radială și în lungime

Metodele de analiză statistică a datelor primare privind dinamica fenologică și a proceselor de creștere, respectiv variația parametrilor climatici sunt metode statistice consacrate. Pentru fiecare set de date s-au calculat parametrii statistici de bază: media, abaterea standard, coeficientul de variație, valori minime și maxime pentru fiecare variabilă măsurată.

Datele climatice cu frecvență orară au fost transformate în valori zilnice și lunare prin medie aritmetică. De asemenea în cazul temperaturilor s-au calculat valorile extreme (minime și maxime) zilnice și lunare, precum și amplitudinea de variație zilnică.

În cazul seriilor de creștere radială inter-aniuale, în vederea eliminării influenței vârstei s-au aplicat metode de analiză statistică specifice dendrocronologiei (Popa, 2004). Același tip de analiză statistică a datelor primare s-a aplicat și în cazul seriilor de creștere în lungime de la jneapăn și afin. Analiza statistică privind cuantificarea modelelor dendroclimatice s-a realizat folosind programul informatic DendroClim (Biondi și Waikul, 2004).

Referitor la analiza statistică a datelor fenologice pentru fiecare fază și subfază s-a calculat durata în zile pentru fiecare exemplar, obținându-se ulterior valori medii la nivel de specie și an.

Datele primare privind dinamica creșterii cumulate în lungime la nivel intra-aniual au fost modelate cu o funcție logistică, aplicând o rutină informatică programată în R disponibilă în cadrul SCDEP Câmpulung Moldovenesc.

5. Rezultate obținute și discuții

5.1. Variația parametrilor climatici monitorizați în zona subalpină a Munților Călimani

Pentru a evidenția diferențele dintre cele două zone de studiu monitorizate în ceea ce privește parametrii climatici determinanți ai proceselor de creștere din zona subalpină a Munților Călimani în perioada de referință a anilor 2018 și 2019, au fost instalați senzori de măsurare a temperaturii și umidității relative a aerului, respectiv a temperaturii și umidității relative a solului la două intervale de adâncime de 10 cm și 30 cm. Informațiile privind microclimatul specific zonei subalpine sunt deosebit de importante pentru a înțelege dinamica fenologică și a proceselor de creștere, îndeosebi în condițiile unui deficit de astfel de date meteorologice detaliate. Pentru expoziția înșorită, din cauza funcționării defectuoase a senzorului (traductorului) de temperatură/umiditate relativă a aerului, nu au fost înregistrate valori decât pentru sezonul de vegetație 2018, perioada de referință a lunilor mai-octombrie.

Referitor la dinamica temperaturii medii lunare a aerului, se observă că aceasta a fost negativă în lunile ianuarie, martie și decembrie ale anului 2018, iar cea mai mică valoare medie lunară a fost înregistrată în luna februarie $-8,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 5.1). În anul 2019, valorile medii ale temperaturii aerului din aceste luni în care s-au înregistrat temperaturi negative, au fost cu $2-4^{\circ}\text{C}$ mai crescute în cursul lunilor februarie și martie, cea mai mică valoare medie lunară fiind

înregistrată în luna ianuarie, $-7,8^{\circ}\text{C}$. Luna aprilie a anului 2018 a înregistrat valori medii ale aerului mai crescute cu 4°C față de aceeași perioadă din anul 2019. În anul 2019 valorile negative scăzute ale temperaturii s-au menținut pe o perioadă mai îndelungată, fapt care a determinat și o menținere prelungită a stratului de zăpadă.

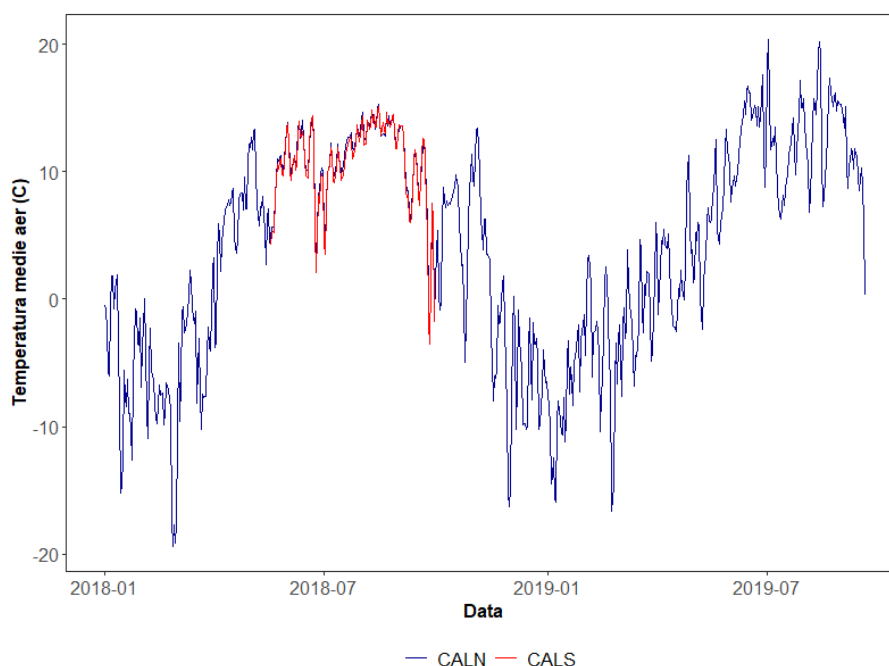


Figura 5.1. Variația zilnică a temperaturii medii a aerului

Cea mai mică temperatură medie zilnică s-a înregistrat în data de 26 februarie 2018, cu o valoare de $-19,4^{\circ}\text{C}$, respectiv în data de 23 februarie 2019, cu o valoare de $-16,6^{\circ}\text{C}$. Cea mai mare temperatură medie zilnică a fost observată în data de 15 august 2018 ($15,3^{\circ}\text{C}$), iar în anul 2019 în data de 02 iulie când au fost înregistrate $20,4^{\circ}\text{C}$.

La începutul sezonului de vegetație 2018, cea mai mică temperatură medie zilnică a fost înregistrată în data de 14 mai cu o valoare de $2,7^{\circ}\text{C}$. În sezonul de vegetație 2019, cea mai mică valoare a temperaturii medii zilnice a fost de $-2,4^{\circ}\text{C}$ și a fost înregistrată în data de 8 mai.

Trendul temperaturii medii lunare a fost de creștere, atât pe expoziția sudică CALS, cât și pe expoziția umbră CALN, cu un maxim în luna august, apoi cu o scădere bruscă în luna septembrie, în ambii ani monitorizați. Luna mai din ambii ani de referință a înregistrat valori maxime ale temperaturii apropiate de 18°C , însă în anul 2019 valorile minime au fost cu 4°C mai scăzute față de anul 2018.

Tot din această analiză se constată că cea mai caldă lună din anul 2018 este luna august cu o temperatură medie lunară de $13,7^{\circ}\text{C}$. Din punct de vedere al temperaturii maxime observate, valoarea maximă în anul 2018 s-a înregistrat în luna august ($20,5^{\circ}\text{C}$) în suprafața cu expoziție însorită, respectiv $19,5^{\circ}\text{C}$ în suprafața cu expoziție umbră. În anul 2019, temperaturile maxime zilnice ale aerului au avut valori mai mari decât în anul 2018, cu un maxim în luna august de $28,3^{\circ}\text{C}$. În general, în zona înaltă a Carpaților, luna august este cea mai călduroasă lună a anului.

În urma analizei temperaturilor minime s-a constatat că în anul 2018 doar în perioada iunie-august temperatura minimă a acestor luni a fost pozitivă. Cu toate acestea s-a observat o scădere bruscă a temperaturii în perioada 23-26 iunie, când devine apropiată de 0°C , chiar ușor sub pragul de îngheț în suprafața de cercetare cu expoziție însorită (CALS) în data de 24 iunie.

În anul 2019 cele mai scăzute valori ale temperaturii minime a aerului din timpul sezonului de vegetație au fost înregistrate în luna iulie (3°C), însă fără a fi observat efecte

vizibile asupra speciilor de plante din zonele de studiu. Temperatura minimă din perioada de referință s-a înregistrat în luna februarie a anului 2018 și a fost de - 22,9 °C.

Scăderile bruște de temperatură în timpul sezonului de vegetație, adesea însoțite de îngheț, pot scurta durata sezonului de creștere, și în aceeași măsură pot determina stoparea dezvoltării complete a țesutului vegetal nou format. De asemenea aceste țesuturi în formare sunt foarte vulnerabile la îngheț (Taschler și Neuner, 2004; Taschler et al., 2004; Holtmeier, 2009).

Valorile maxime ale amplitudinii temperaturii zilnice a aerului au fost înregistrate mai ales în sezonul de primăvară, în timpul lunilor martie-aprilie, o dată cu apariția primelor valori maxime care depășesc pragul de 0°C, dar și în sezonul de toamnă, în perioada lunilor septembrie – noiembrie, atunci când valorile minime ale temperaturii aerului scad sub pragul de îngheț.

Analiza variației temperaturilor minime, maxime și a amplitudinii zilnice a evidențiat particularități microclimatice specifice fiecărei suprafețe de cercetare monitorizate, fiind constatate diferențe mari de temperatură mai ales în timpul anotimpului de primăvară pe expoziția sudică, care explică topirea timpurie a zăpezii de pe acest versant al munților Călimani. În același timp pe fondul acestor diferențe termice și începerea perioadei de vegetație este mai devreme comparativ cu expoziția umbră.

Cantitatea lunară de precipitații în perioada 2018-2019 înregistrată în masivul Călimani a fost preponderent mai mare în anul 2018, cu un maxim observat în luna iunie de 286 mm, ceea ce a determinat ca și umiditatea relativă medie a aerului în această lună să aibă valori în general mai mari de 90%, atât în zona de studiu cu expoziție umbră, cât și în zona cu expoziție însorită. În perioada lunilor martie - aprilie și octombrie - decembrie, cantitățile lunare de precipitații au fost în general sub 50 mm, ceea ce a determinat ca umiditatea medie relativă zilnică a aerului să aibă valori ce au variat în jur de 60-70%, uneori chiar și sub 40%, dar pentru perioade foarte scurte de timp (Figura 5.2).

În munții Călimani, în timpul zilelor cu ceață și a zilelor ploioase, se înregistrează valori maxime ale umidității relative a aerului, care se produc aproximativ la fel de frecvent la toate nivelurile altitudinale și pe oricare versant (Iancu, 1976; Cenușă, 2010). Chiar dacă luna august a înregistrat valorile maxime ale temperaturii aerului, acestea nu au determinat scăderea valorii umidității relative a aerului sub procentul de 75%.

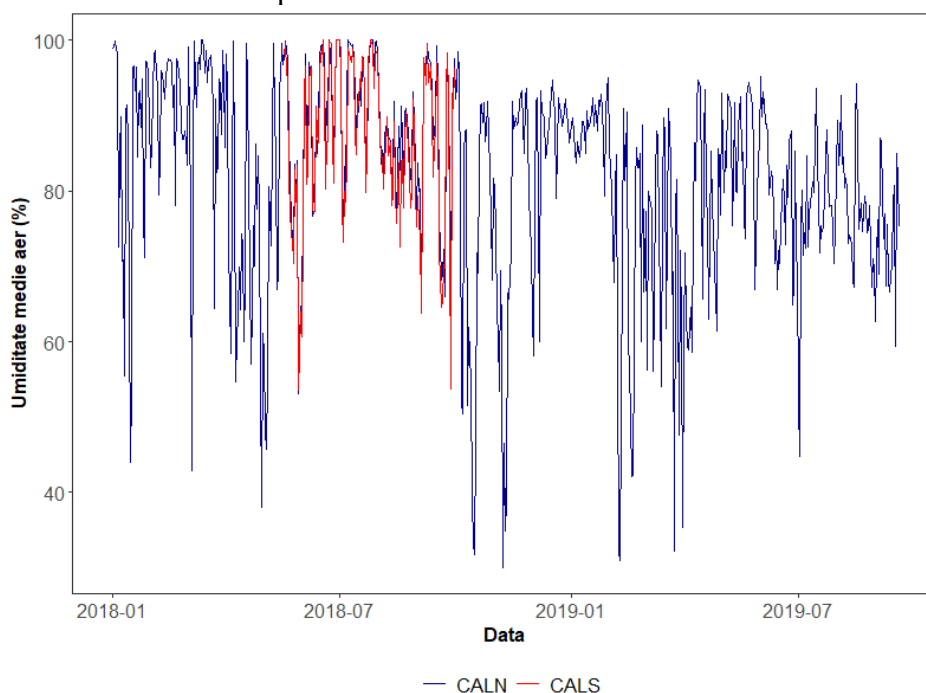


Figura 5.2. Variația zilnică a umidității medii a aerului

Diferențele dintre zonele de studiu sunt mai bine evidențiate în variația temperaturii solului de la cele două nivele de adâncime monitorizate. În timpul sezonului de vegetație din anul 2018, respectiv în lunile mai-august, valorile temperaturii medii de la nivelul de 10 cm adâncime a solului au fost în medie mai mari cu 1,5°C în zona cu expoziție umbrită, comparativ cu zona cu expoziție însorită și cu 0,5°C mai mari la adâncimea de 30 de cm.

Începând cu debutul toamnei din anul 2018, temperatura solului din zona cu expoziție însorită înregistrează valori medii cu 2°C mai crescute, comparativ cu expoziția umbrită, la ambele nivele de adâncime, care se mențin până în luna decembrie, când valorile temperaturii sunt relativ similare (Figura 5.3). Scăderea valorilor temperaturii solului de la adâncimea de 30 de cm se produce într-un ritm mai lent față de adâncimea de 10 cm, fiind condiționată de stratul arbustiv, tipul de humus și de grosimea stratului de sol, fiind întârziată cu aproximativ 1,5-2,5 ore față de temperatura aerului, fiind mai accentuată la altitudini mari și pe versantul nordic (Iancu, 1976; Cenușă, 2010). De asemenea se remarcă faptul că valorile temperaturii medii a solului de la adâncimea de 30 cm sunt mai mari ca valorile înregistrate la adâncimea de 10 cm, în perioadele autumnală și hibernală. Procese de îngheț a solului, respectiv de scădere a temperaturii solului sub limita de 0°C s-au observat în cursul lunilor ianuarie-martie ale anului 2019, doar în zona cu expoziție însorită, unde mai ales în primele luni de iarnă zăpada este viscolită, iar solul rămâne expus.

Stratul de zăpadă are un puternic rol izolator, datorită faptului că nu conduce căldura, menținând constantă temperatura solului aproape de pragul de îngheț, chiar în condițiile valorilor minime foarte scăzute ale temperaturii aerului de la suprafața zăpezii. O perioadă mai lungă în care se mențin valori scăzute ale temperaturii solului s-a remarcat în zona cu expoziție umbrită.

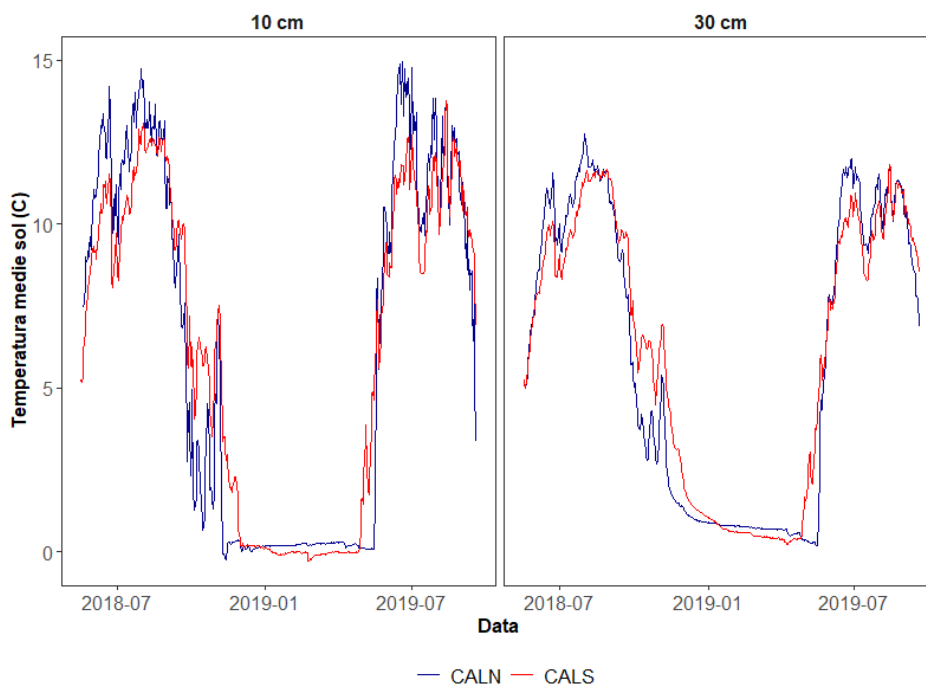


Figura 5.3. Variația zilnică a temperaturii medii a solului

Comparativ cu anul 2018, în anul 2019 valorile medii ale temperaturii solului de la începutul sezonului de vegetație, au fost mai scăzute cu 5°C pe expoziția umbrită și cu 2°C în zona cu expoziție însorită, la nivelul de 10 cm al adâncimii solului, iar la adâncimea de 30 cm mai scăzute cu 4°C în zona cu expoziție umbrită și cu 2°C pe expoziția însorită. Un studiu efectuat la limita superioară a arborilor din Alpii Elvețieni asupra unor specii de conifere printre care și specia *Pinus mugo* Turra, a demonstrat că la scurt timp după topirea zăpezii, la

temperaturi ale solului între 2°C și 3°C, încep procesele de creștere a rădăcinilor și încetează la aceleași temperaturi la mijlocul lunii octombrie. La un anumit prag al temperaturii a solului, dezvoltarea rădăcinilor din expoziția umbrită se produce mult mai intens în timpul sezonului de vegetație, comparativ cu expoziția însorită (Holtmeier, 2009).

În timpul sezonului de vegetație din anul 2019 s-au remarcat valori mai crescute ale temperaturii solului din zona cu expoziție umbrită doar pe parcursul lunilor iunie-iulie, care au fost în general mai mari cu 1°C la adâncimea de 10 cm și cu 0,5°C la adâncimea de 30 de cm, față de zona cu expoziție însorită. Cu toate acestea, temperatura medie a solului din sezonul activ de vegetație din anul 2019 a fost mai scăzută cu 0,5-1,5°C față de anul 2018, fapt datorat în mare parte de durata crescută a persistenței stratului de zăpadă și de temperaturile scăzute ale aerului de la începutul primăverii.

În ceea ce privește temperatura minimă înregistrată, cea mai scăzută valoare se constată în zona cu expoziție umbrită, -0,5°C la adâncimea de 10 cm a solului, în luna noiembrie a anului 2018, fiind datorată cantității mari de precipitații sub formă de zăpadă și a nebulozității crescute, respectiv 0,1°C în luna mai a anului 2019 la adâncimea de 30 cm. În zona cu expoziție însorită, valoarea minimă de -0,4°C a temperaturii solului s-a înregistrat în luna februarie 2019 la adâncimea de 10 cm, iar la adâncimea de 30 de cm s-a constatat o valoare minimă de 0,2°C în luna aprilie 2019.

Spre sfârșitul toamnei, pe perioada lunilor de iarnă și la începutul primăverii s-au remarcat în general valori minime ale temperaturii solului care au variat aproape de pragul de 0°C în ambele zone de studiu, variația bruscă a acestora din toamnă fiind observată mai ales în cadrul expoziției umbrite. Acest aspect constatat în prezenta cercetare, referitor la variația temperaturii solului în jurul punctului de îngheț a fost remarcat și în Alpii Elvețieni de unii cercetători (Turner et al., 1975; Blaser, 1980; Schönenberger și Frey, 1988; Holtmeier, 2009) și a fost pus pe seama stratului gros de zăpadă care izolează eficient solul, ajută la conservarea căldurii solului și minimizează pătrunderea înghețului în sol, spre deosebire de locurile acoperite cu zăpadă slabă sau chiar fără zăpadă.

Un aspect interesant care s-a remarcat în cadrul analizei valorilor temperaturii minime a solului a fost acela că deși valorile minime din timpul sezonului rece au fost în general mai mari în zona cu expoziție umbrită, pe expoziția însorită au început să crească treptat începând cu ultima săptămână din luna aprilie, cu aproximativ 3 săptămâni înainte de zona cu expoziție umbrită. În această zonă temperatura solului începe să crească brusc până în ultima săptămână din luna mai, când temperaturile minime ating aceleași valori cu cele de pe expoziția însorită. Acest lucru a fost evidențiat la ambele intervale de adâncimi monitorizate și susțin ipoteza că topirea zăpezii are loc mai devreme în zona cu expoziție însorită, în condițiile unei suprafețe întinse cu înclinare mică a pantei, care asigură în același timp un sezon de vegetație mai lung (Săvulescu, 2014). Zăpada târzie și umiditatea ridicată a solului care rezultă mențin temperatura solului scăzută până la începutul verii, iar după ce solul s-a uscat temperatura crește rapid (Holtmeier, 2009).

În urma analizei valorilor maxime înregistrate ale temperaturii solului de la adâncimea de 10 cm, se constată diferențe de aproximativ 4°C în lunile iulie-august 2018 și de până la 5°C în aceleași luni din anul 2019, între cele două zone de studiu monitorizate. La adâncimea de 30 cm diferențele sunt de până la 2°C între expoziții, valori mai crescute fiind înregistrate pe expoziția umbrită doar în timpul perioadei de vară. Valorile maxime ale temperaturii solului se înregistrează pe expoziția umbrită, 19°C în luna iulie din anul 2019 și 18°C tot în aceeași lună din anul 2018, la adâncimea de 10 cm și 13,3°C în luna iulie 2018 și 12,5°C în luna iunie din anul 2019 la 30 de cm. Pe expoziția însorită, valori maxime ale temperaturii solului s-au observat în cursul lunii august, 15,3°C în 2019 și 14,2°C în 2018, la adâncimea de 10 cm, respectiv 12°C la adâncimea de 30 cm, în ambii ani monitorizați.

Analizând umiditatea solului din perspectiva conținutului de apă din sol, am observat că în zona cu expoziție însorită CALS au fost înregistrate valori maxime la ambele nivele de adâncime (Figura 5.4). Datorită faptului că ambele zone de studiu nu au o înclinare mare a versantului, conținutul de apă din sol nu a înregistrat mari modificări, fiind suficient pentru desfășurarea activității biologice. Avantajată în acest sens este zona cu expoziție însorită care are o înclinație mai redusă comparativ cu cealaltă zonă monitorizată. Umiditatea relativă a solului are un procent mai scăzut în zona umbrită, mai ales la adâncimea de 30 de cm, datorită scurgerilor de suprafață induse de pantă și de grosimea morfologică a solului. Diferențele dintre expoziții au fost de aproximativ 20% la adâncimea de 30 cm, indusă de grosimea diferită a stratului de humus brut, diferențele fiind mai reduse pentru adâncimea de 10 cm.

S-au observat în general valori ridicate ale conținutului de apă din sol, evidențiind o rezervă de apă utilă suficientă pentru sistemul radicular al plantelor. S-a remarcat de asemenea o ușoară scădere a conținutului de apă din sol, atunci când se înregistrează valori maxime ale temperaturii aerului în luna august, spre sfârșitul sezonului de vegetație al anului 2018. Rezerva de apă din sol se reface și chiar crește în primăvara anului 2019 pe fondul unui strat de zăpadă consistent, înregistrat în iarna din anii 2018 spre 2019. Din punct de vedere al dinamicii sezoniere se observă un trend descrescător al umidității solului, din primăvară până în toamnă, având valori minime la începutul iernii.

Principala sursă a apei din sol este reprezentată de precipitații, procentul de acoperire al speciilor arbustive din zonele de studiu contribuind de asemenea la menținerea unei rezerve de apă stabile în sol.

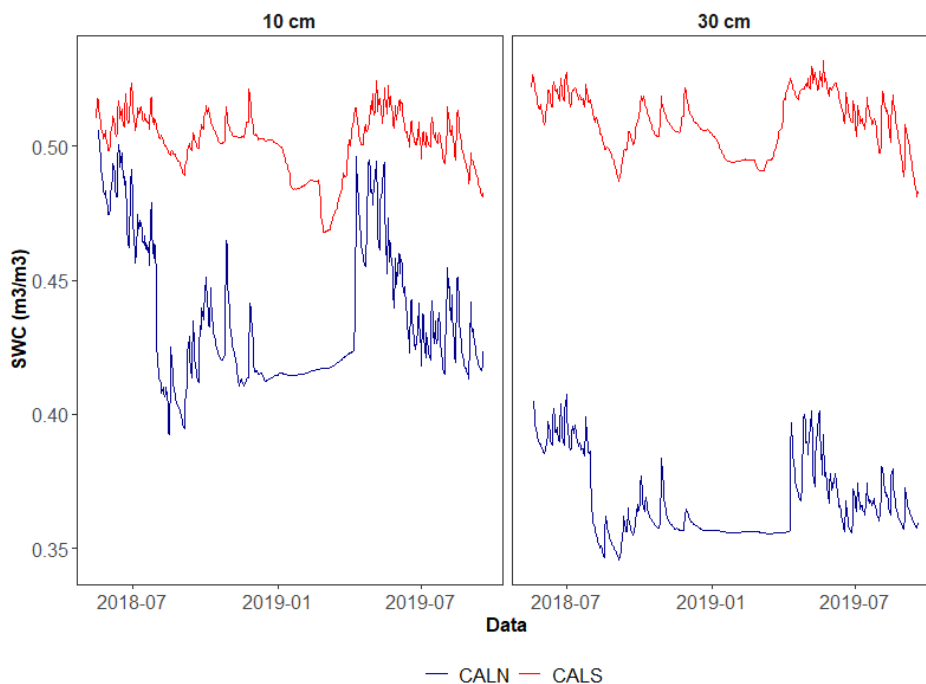


Figura 5.4. Variația zilnică a umidității solului la diferite adâncimi (– 10cm, – 30 cm)

Condițiile climatice diferite din zonele de studiu pot fi explicate și prin natura factorului geomorfologic generat de expoziția versanților. În zona cu expoziție însorită se observă în general un climat local mai cald, primind o cantitate de căldură generată de razele solare care cad pe suprafața acesteia, cu 1,6 până la 2,3 ori mai mare comparativ cu zona cu expoziție umbrită (Constantinescu, 1973), a cărei influență a fost observată în studiul nostru și asupra temperaturii și umidității relative a aerului și solului.

Zona cu expoziție umbrită este caracterizată de un climat local mai rece, dar cu un plus de umiditate și de adăpost la vânturi și uscăciune ce permite păstrarea unui strat de zăpadă pe o perioadă mai îndelungată în timpul primăverii.

În zona cu expoziție însorită, în anotimpul de primăvară, energia calorică recepționată de la soare este mai mare și zăpada se topește într-un ritm accentuat și mai devreme comparativ cu zona cu expoziție umbrită. Totodată, pe fondul acestor diferențe climatice debutul sezonului de vegetație se produce mai devreme pe expoziția însorită. Cu toate acestea, nu trebuie de uitat a se menționa că în pofida producerii efectelor termice mai rapide, speciile de plante din zona cu expoziție însorită sunt mai expuse riscului producerii de vătămări cauzate de înghețuri târzii.

Influența stratului de zăpadă asupra vegetației din zonele montane înalte a fost descrisă de numeroase studii (Frey, 1977; Körner 1999; Holtmeier, 2009) și poate avea efecte pozitive precum protecția împotriva înghețului, secetei de iarnă, asigură umiditatea solului, dar și negative precum scurtarea sezonului de vegetație, întârzierea creșterii temperaturii solului și a proceselor plantelor, creșterea riscului de infectare cu ciuperci.

Temperaturile scăzute din primăvară ale solului din zona subalpină întârzie reactivarea potențialului fotosintetic complet al plantelor mai ales în condițiile unei temperaturi apropiate de 0°C, limitând creșterea și durata sezonului de vegetație (Holtmeier, 2009). După ce temperaturile zilnice cresc proporțional până la valoarea de 7°C, temperatura solului nu mai are nici un efect limitativ asupra fotosintezei, iar conform datelor climatice și ecologice din studiile efectuate în zona subalpină a Alpilor europeni, temperaturile solului sunt suficient de ridicate, cel puțin din lunile iunie până în septembrie, pentru a nu limita în mod critic creșterea și producția de biomasă (Tranquillini, 1979).

5.2. Dinamica fazelor fenologice la specii de arbuști din Munții Călimani

Ecosistemele situate la altitudini înalte sunt deosebit de sensibile la variațiile climatice, schimbările tot mai pronunțate cauzate de încălzirea climatului influențează în mod direct creșterea și distribuția plantelor din această zonă. Observațiile fenologice reprezintă un instrument important în evaluarea și determinarea relațiilor dintre factorii climatici și vegetație. Analiza fenologică vegetală și reproductivă permite formularea unor concluzii integratoare privind dinamica proceselor de creștere în ecosistemele de limită altitudinală superioară.

La specia **jneapăn**, mugurele terminal se afla în stadiu de repaus vegetativ, fiind complet închis pe expoziția însorită în prima decadă din luna mai, respectiv în data de 8 mai (DOY 128), iar pe expoziția umbrită în data de 13 mai (DOY 133).

Startul procesului de înmugurire, respectiv trecerea din stadiu latent în stadiu de înmugurire, a avut loc în anul 2018, pe expoziția însorită în a doua săptămână din luna mai, în intervalul 09–15 mai. Cu ocazia observațiilor din data de 16 mai 2018 (DOY 136) majoritatea exemplarelor monitorizate se aflau în subfaza I de înmugurire. Pe expoziția umbrită, startul procesului de înmugurire a avut loc în a treia săptămână din luna mai, subfaza II desfășurându-se în perioada 16 – 23 mai, cu 8 zile mai târziu față de expoziția însorită.

Comparativ cu anul 2018, startul procesului de înmugurire pe expoziția însorită are loc cu 12 zile mai târziu (DOY 140) în anul 2019, prelungindu-se și durata subfazei I, respectiv perioada 20 mai – 06 iunie. Similar s-a remarcat o întârziere în startul subfazei I de înmugurire și pe expoziția umbrită (DOY 148), acesta desfășurându-se în perioada 28 mai – 06 iunie. Subfaza III de înmugurire a avut loc pe ambele expoziții în intervalul 31 mai – 13 iunie 2018, iar în anul 2019 în intervalul 12 – 19 iunie.

Startul procesului de înfrunzire debutează cu apariția primelor ace pentru expoziția însorită în anul 2018 - DOY 151 și DOY 163 în anul 2019, similarități înregistrându-se și în cazul expoziției umbrite. Același decalaj al numărului de zile, comparativ între ani, se remarcă și în startul și durata subfazelor acestui proces. Frunzele (acele) sunt complet formate în data de 30 iulie (DOY 211) a ambilor ani luați în studiu (Figura 5.5).

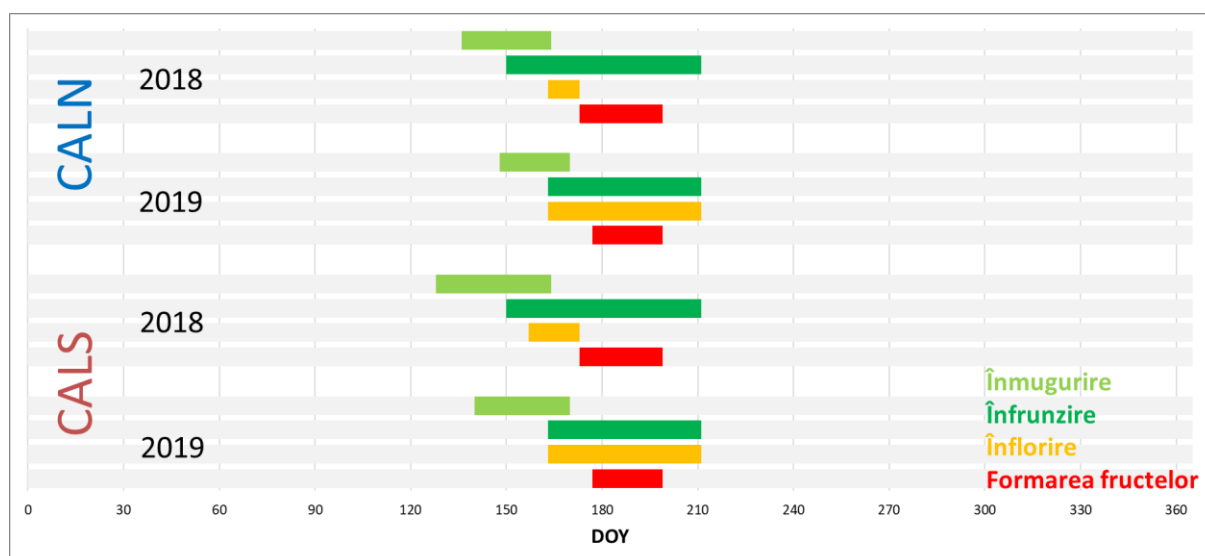


Figura 5.5. Durata fenofazelor la jneapăn

Fenofaza de înflorire începe cu apariția primelor conuri masculine și femele în prima decadă a lunii iunie pentru expoziția însorită (DOY 156) și în a doua decadă a lunii (DOY 163) pentru expoziția umbră, cu o diferență de 8 zile în cazul anului 2018. În anul 2019 în startul subfazei I de înflorire se observă aceeași întârziere, 8 zile față de anul anterior, atât pe expoziția însorită (DOY 163) cât și pe expoziția umbră (DOY 170). Cu toate că au existat diferențe între expoziții în ceea ce privește startul acestei fenofaze, procesul de înflorire se finalizează în aceeași perioadă pentru anul 2018 (DOY 173) și DOY 177 în anul 2019, în ambele zone de studiu. Sfârșitul subfazei III de înflorire coincide cu începutul formării fructului și are loc în aceeași perioadă pentru ambele expoziții, în perioada 22 iunie – 18 iulie în anul 2018 și în perioada 26 iunie – 18 iulie, în anul 2019.

În cadrul speciei **ienupăr** se remarcă mugurele terminal în stadiu de repaus vegetativ în ultima decadă din luna aprilie (DOY 117) pe expoziția însorită și în prima decadă din luna mai a anului 2018 pe expoziția umbră (DOY 128). Mugurele este complet închis și este de dimensiuni mici în a doua decadă a lunii mai din anul 2019 (DOY 136) pe expoziția însorită și în a treia decadă din luna mai 2019 (DOY 143) pe cea umbră.

Startul procesului de înmugurire în anul 2018 are loc pe expoziția însorită în jurul datei de 4 mai (DOY 124), iar pe expoziția umbră înmugurirea începe abia din a treia săptămână din luna mai, respectiv în data de 16 mai (DOY 136), cu o întârziere de 12 zile între expoziții. Între anii 2018 și 2019 se constată o întârziere a startului fenofazei de înmugurire cu 16 zile pentru expoziția însorită și 12 zile pentru expoziția umbră. Subfaza I de înmugurire începe în anul 2019 în jurul datei de 20 mai (DOY 140) în zona de studiu CALS și 28 mai (DOY 148) în zona de studiu CALN, diferența între expoziții fiind de 8 zile.

Subfaza III de înmugurire se finalizează în jurul datei de 23 mai (DOY 143) pe expoziția însorită și în jurul datei de 6 iunie pe expoziția umbră în anul 2018, iar în anul 2019 se finalizează în zona de studiu CALS în data de 12 iunie (DOY 163) și în data de 19 iunie (DOY 170) în zona de studiu CALN. Cu toate acestea, durata fenofazei de înmugurire se desfășoară pe o perioadă de 20 ± 3 de zile, cu 2 zile în plus pe expoziția umbră (Figura 5.6).

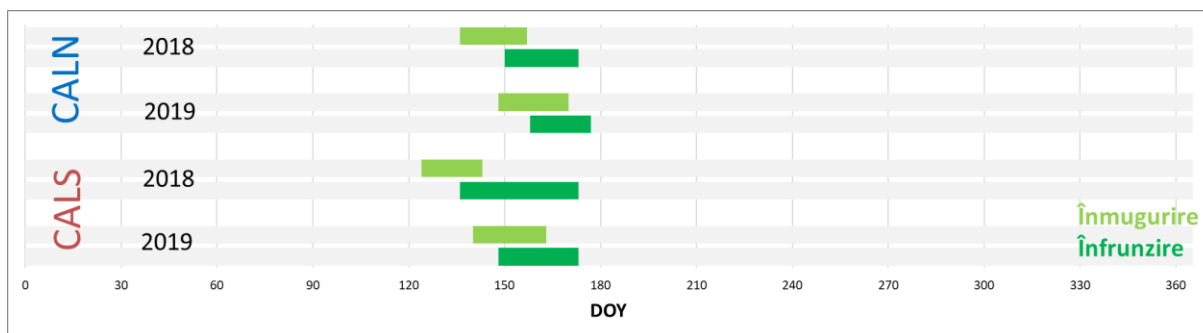


Figura 5.6. Durata fenofazelor la ienupăr

Fenofaza de înfrunzire este marcată de apariția acelor primordiale de culoare roz-verzui și debutează în anul 2018 în jurul datei de 16 mai (DOY 136) în zona de studiu CALS și în data de 28 mai (DOY 148) în anul 2019. În zona de studiu CALN primele frunze din anul 2018 se observă în data de 30 mai (DOY 150) și 7 iunie (DOY 158) în anul 2019. Deși se constată diferențe de 8-14 zile atât între expoziții cât și între ani în ceea ce privește startul fenofazei de înfrunzire, se observă că subfaza III se finalizează în jurul aceleiași date (DOY 173) din anul 2018 și DOY 177 din anul 2019, diferențele fiind tot mai reduse spre sfârșitul fenofazei, atunci când apar acele de culoare verde crud, bine alungite de-a lungul lujerului.

Datorită biologiei speciei, în acest caz nu s-au monitorizat fenofazele de înflorire, respectiv de formare a fructului.

Specia **rododendron** se afla în stadiu de repaus vegetativ în ultima decadă din luna aprilie (DOY 117) pe expoziția însorită și în a doua săptămână din luna mai a anului 2018 pe expoziția umbrită (DOY 131), mugurele fiind închis și având culoare maro-roșiatică. În anul 2019, mugurele se afla în stadiu latent în jurul datei de 16 mai (DOY 136) în ambele zone de studiu.

Începutul fenofazei de înmugurire în anul 2018 are loc în jurul datei de 4 mai (DOY 124) pe expoziția însorită, iar pe expoziția umbrită în jurul datei de 16 mai (DOY 136). În anul 2019, subfaza I debutează în jurul datei de 20 mai (DOY 140), pe ambele expoziții, cu un decalaj de circa 16 zile pentru expoziția însorită și 4 zile pentru expoziția umbrită, comparativ cu anul 2018.

Startul subfazei III de înmugurire are loc pe expoziția însorită în anul 2018 în jurul datei de 23 mai (DOY 143) și se finalizează în momentul startului subfazei III de pe expoziția umbrită, respectiv în data de 30 mai (DOY 150), care durează în această zonă de studiu până în data de 6 iunie (DOY 157). Subfaza III de înmugurire în anul 2019 se desfășoară în perioada 7 – 12 iunie (DOY 163) în cazul ambelor zone de studiu.

Fenofaza de înfrunzire debutează în anul 2018 în zona de studiu CALS în jurul datei de 4 mai (DOY 124) și durează până în data de 13 iunie (DOY 164). În suprafața de cercetare CALN primele frunze în curs de formare apar în jurul datei de 16 mai 2018 (DOY 136) și se formează complet în data de 22 iunie (DOY 173). În ceea ce privește anul 2019, subfaza I de înfrunzire începe în data de 20 mai (DOY 140), subfaza II în data de 28 mai (DOY 148) iar subfaza III începe în data de 7 iunie (DOY 158) și se finalizează în data de 22 iunie (DOY 173), în ambele zone de studiu (Figura 5.7).

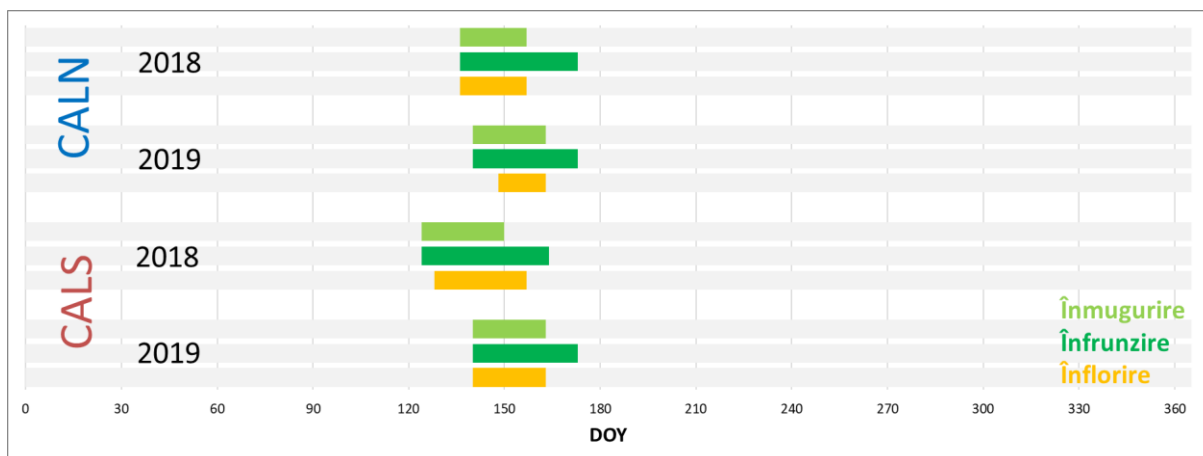


Figura 5.7. Durata fenofazelor la rododendron

Mugurii floriferi încep să se dezvolte în cadrul fenofazei de înflorire începând cu prima decadă din luna mai (DOY 128) a anului 2018 pe expoziția însorită și în a doua decadă a lunii mai (DOY 136) pe expoziția umbrită. În anul 2019, subfaza I de înflorire debutează la începutul decadei a treia a lunii mai (DOY 140) pe expoziția însorită și aproape de sfârșitul acestei luni (DOY 148) pe expoziția umbrită, fiind înregistrate diferențe de 8 zile între versanți și de 12 zile între ani. Subfaza III marchează sfârșitul fenofazei de înflorire, florile fiind complet dezvoltate (unele chiar în curs de ofilire) în anul 2018 în jurul datei de 6 iunie (DOY 157) și în anul 2019 în data de 12 iunie (DOY 163), în mod similar pe ambele expoziții din zonele de studiu.

Din observațiile efectuate s-a constatat faptul potrivit căruia la majoritatea exemplarelor monitorizate de rododendron nu au fost fructe. Din aceste motive această fenofază de formare a fructelor nu a fost analizată la această specie.

Pentru specia **afin**, se observă mugurele terminal în stadiu de repaus vegetativ, fiind complet închis pe expoziția însorită în prima săptămână din luna aprilie 2018 (DOY 97) și pe expoziția umbrită în a treia săptămână a aceleiași luni (DOY 105).

Primii muguri umflați care aveau solzii deschiși în vârful mugurilor și care marchează startul fenofazei de înmugurire, se observă în cadrul zonei de studiu cu expoziție însorită în data de 10 aprilie 2018 (DOY 100) și în data de 19 aprilie (DOY 109) în zona cu expoziție umbrită, date ce corespund cu topirea zăpezii din ambele zone. În anul 2019, startul procesului de înmugurire are loc mult mai târziu, acesta începând în a doua decadă din luna mai (DOY 131), în ambele zone de studiu, cu o diferență și de 30 de zile între ani, cum a fost în cazul expoziției însorite. Persistența zăpezii din acest an s-a observat până în data de 15 mai pe expoziția însorită și 21 mai pe cea umbrită.

Procesul de înmugurire se finalizează în anul 2018 în jurul datei de 01 mai (DOY 121) pe expoziția însorită și în data de 11 mai (DOY 131) pe expoziția umbrită. În anul 2019 această fenofază se finalizează cu 30 de zile mai târziu, în jurul datei de 30 mai (DOY 150) în ambele zone de studiu.

Debutul fenofazei de înfrunzire din anul 2018 are loc în perioada subfazei III a procesului de înmugurire, respectiv în data de 27 aprilie (DOY 117) în zona cu expoziție însorită și în data de 04 mai (DOY 124) pe expoziția umbrită, durata acesteia fiind de circa 4 zile în ambele zone monitorizate. În anul 2019 fenofaza de înfrunzire începe la aceeași dată (DOY 140) pe ambele expoziții, decalajul dintre ani fiind de 16 – 23 zile între expoziții. Subfaza III de înfrunzire se finalizează pe expoziția însorită cu 6 zile mai devreme (DOY 143) față de expoziția umbrită (DOY 157) în anul 2018 și comparativ cu anul 2019, cu 20 de zile mai târziu pe expoziția însorită și 6 zile pe expoziția umbrită (DOY 163).

Fenofaza de înflorire a fost încadrată în patru subfaze și demarează cu apariția primelor flori, care în anul 2018 se observă în prima săptămână din luna mai (DOY 121) în zona cu

expoziție însorită și în a doua săptămână a acestei luni (DOY 128) pe expoziția umbrită. În anul 2019, pe expoziția însorită această fenofază debutează mai devreme, comparativ cu expoziția umbrită. Sfârșitul fenofazei de înflorire, subfaza IV, se încheie pe expoziția însorită în jurul datei de 30 mai (DOY 150) și în jurul datei de 6 iunie (DOY 157) pe expoziția umbrită în cazul sezonului de vegetație 2018. În anul 2019 această ultimă subfază de înflorire se termină la aceeași dată (DOY 170) pe ambele expoziții studiate.

Prima subfază a procesului de formare a fructului din sezonul de vegetație 2018 are loc în prima săptămână din luna iunie (DOY 157) în zona de studiu CALS, respectiv în a doua săptămână (DOY 164) în zona de studiu CALN. În anul 2019 startul procesului de formare a fructului are loc în a treia săptămână din luna iunie (DOY 170). Momentul în care fructele sunt aproape complet dezvoltate reprezintă subfaza III de formare a fructului, care se finalizează pe ambele expoziții la aceeași dată în anul 2019 (DOY 205) și cu două zile mai târziu în anul 2018 (DOY 207).

Fenofaza de colorare a frunzelor începe relativ timpuriu la unii indivizi în anul 2018, respectiv în a doua decadă a lunii iulie pe expoziția însorită (DOY 192) și în decada a treia (DOY 204) pe expoziția umbrită. În ambele zone de studiu în sezonul de vegetație 2019, această fenofază se termină în mod similar pe ambele expoziții în jurul datei de 23 august (DOY 236) (Figura 5.8).

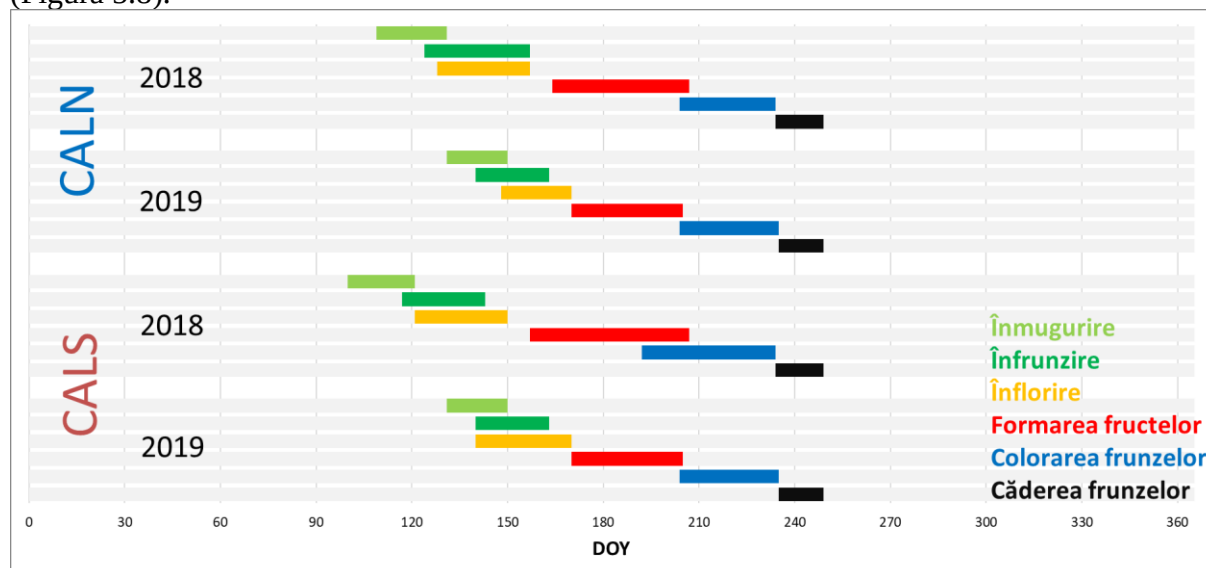


Figura 5.8. Durata fenofazelor la specia afin

Debutul fenofazei de cădere a frunzelor se observă o dată cu finalizarea fenofazei de colorare a frunzelor (DOY 236), în anii 2018 și 2019 și în ambele zone de studiu, fiind monitorizată până în prima decadă a lunii septembrie (DOY 249), când unii arbuști mai prezentau frunze colorate, mai ales în cazul expoziției însorite.

Comparând rezultatele noastre cu un studiu fenologic (Cenușă, 1996) efectuat asupra speciei afin pe un versant nordic din masivul Călimani în anul 1981, la același nivel altitudinal cu al suprafețelor noastre de cercetare, putem concluziona că există un avans determinat de încălzirea climatului în debutul și durata fenofazelor analizate. Astfel, față de datele de declanșare a fenofazelor din sezonul de vegetație anterior menționat, în cercetarea noastră afinul a început procesul de înmugurire pe expoziția umbrită cu 32 de zile mai devreme în anul 2018 și cu 10 zile în anul 2019. Procesul de înfrunzire are un avans de 20 de zile în anul 2018 și de 4 zile în anul 2019. Fenofaza de înflorire debutează cu 30 de zile mai devreme în anul 2018 și cu 10 zile mai devreme în anul 2019, durata acesteia fiind și mai scurtă cu 3 zile față de anul 1981. Cel mai mare avans a fost observat începând cu fenofaza de fructificare, afinul începe

coacerea fructelor cu 45 de zile mai devreme, colorarea frunzelor cu 77 de zile iar frunzele încep să cadă cu 50 de zile mai devreme.

În cazul speciei de **merișor**, mugurele terminal se afla în stadiu de repaus vegetativ în ultima decadă din luna aprilie (DOY 117) pe expoziția însorită și în prima decadă din luna mai a anului 2018 pe expoziția umbrită (DOY 124), respectiv în anul 2019 în a doua decadă a lunii mai (DOY 136), pe ambele zone de studiu.

Fenofaza de înmugurire începe în prima zi din luna mai (DOY 121) pe expoziția însorită, respectiv pe expoziția umbrită în a doua săptămână din luna mai (DOY 128) a anului 2018. Startul acestei fenofaze are loc în a doua decadă a lunii mai (DOY 140) în anul 2019. Procesul de înmugurire se încheie în anul 2018 la jumătatea lunii mai (DOY 136) pe expoziția însorită și la finele lunii mai (DOY 150) pe expoziția umbrită, respectiv în anul 2019 finalizându-se în ambele zone de studiu la aceeași dată (DOY 163).

Primele frunzulițe care apar și se disting, inițiază fenofaza de înfrunzire, stadiul I fiind observat începând cu a doua săptămână din luna mai 2018, pe expoziția însorită mai devreme cu 3 zile față de expoziția umbrită (DOY 131). În anul 2019 înfrunzirea începe mai devreme pe expoziția umbrită (DOY 148) comparativ cu expoziția însorită (DOY 158), fiind singurul caz înregistrat între zonele de studiu și între ani. Fenofaza de înfrunzire se finalizează la aceeași dată în anul 2018 în ambele zone monitorizate (DOY 164), iar în anul 2019 se încheie pe expoziție umbrită în data de 26 iunie (DOY 177), respectiv pe expoziție însorită în data de 04 iulie (DOY 185) (Figura 5.9).

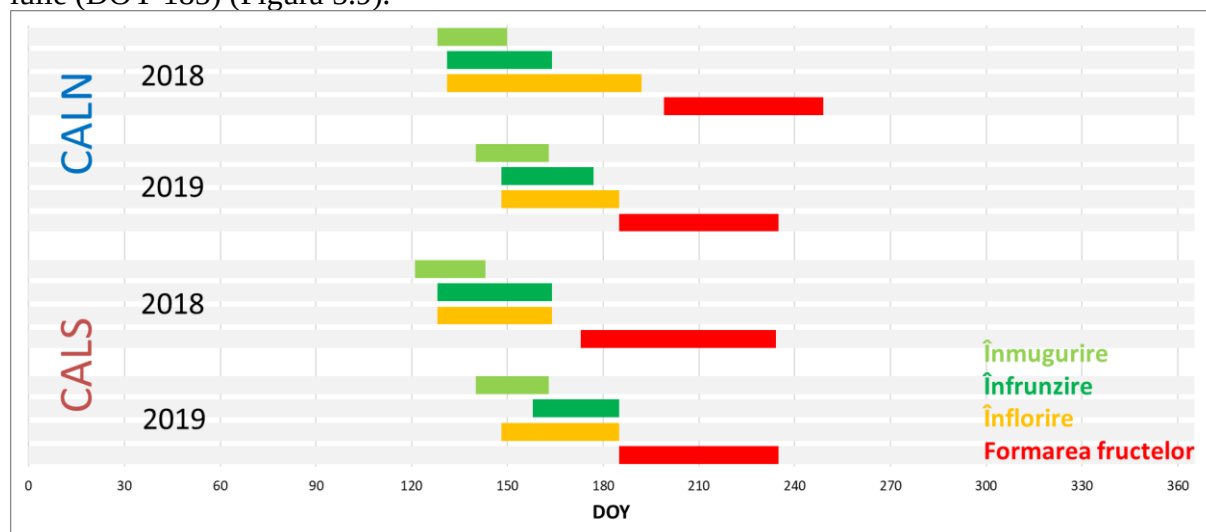


Figura 5.9. Durata fenofazelor la merișor.

Fenofaza de înflorire a fost monitorizată în patru subfaze, apariția primelor flori marchează debutul subfazei I și se observă în anul 2018 în prima decadă a lunii mai (DOY 128) pe expoziția însorită și începând cu a doua decadă (DOY 131) pe expoziția umbrită. În anul 2019 subfaza I se remarcă în ultima săptămână din luna mai (DOY 148) în ambele zone de studiu. Fenofaza de înflorire se încheie în a doua decadă a lunii iunie (DOY 164) din anul 2018 pe expoziția însorită, la începutul decadei a doua a lunii iulie pe expoziția umbrită (DOY 192) și în prima decadă a lunii iulie (DOY 185) din anul 2019, pe ambele expoziții, atunci când se florile se deschid complet și se observă staminele.

Fenofaza de formare a fructelor debutează în a treia decadă din luna iunie (DOY 173) pe expoziția însorită și la sfârșitul decadei a doua din luna iulie (DOY 199) pe expoziția umbrită, din sezonul de vegetație 2018. Debutul acestei fenofaze în sezonul de vegetație 2019 are loc în prima decadă a lunii iulie (DOY 185), în ambele zone monitorizate. Cu toate acestea, fructele sunt dezvoltate și au o culoare roșie deschis la începutul ultimei decade din luna august (DOY 235) a anului 2018, pe expoziția însorită, aspect similar constatat la aceeași dată în ambele zone

de studiu în anul 2019. Doar în zona de studiu cu expoziție umbrită se observă în anul 2018 că fenofaza se finalizează mai târziu, respectiv la jumătatea primei decade a lunii septembrie (DOY 249).

La specia **anin verde**, startul fenofazei de înmugurire în sezonul de vegetație 2018 are loc pe expoziția însorită în ultima săptămână din luna aprilie, respectiv în data de 27 aprilie (DOY 117), dată la care mugurele terminal al exemplarelor de pe versantul cu expoziție umbrită se afla în stadiu de repaus vegetativ.

Subfaza I a procesului de înmugurire debutează în anul 2018, pe expoziția umbrită, în jurul datei de 4 mai (DOY 124), iar în anul 2019 în ambele zone de studiu mugurele vegetativ începe să se dezvolte în jurul datei de 20 mai (DOY 140). Fenofaza de înmugurire se finalizează în anul 2018 în data de 20 mai (DOY 140) pe expoziția însorită, cu 3 zile mai devreme decât pe expoziția umbrită (DOY 143). În anul 2019, procesul de înmugurire se încheie pe ambele expoziții, cu 15 zile mai târziu decât în anul precedent (DOY 158) (Figura 5.10).

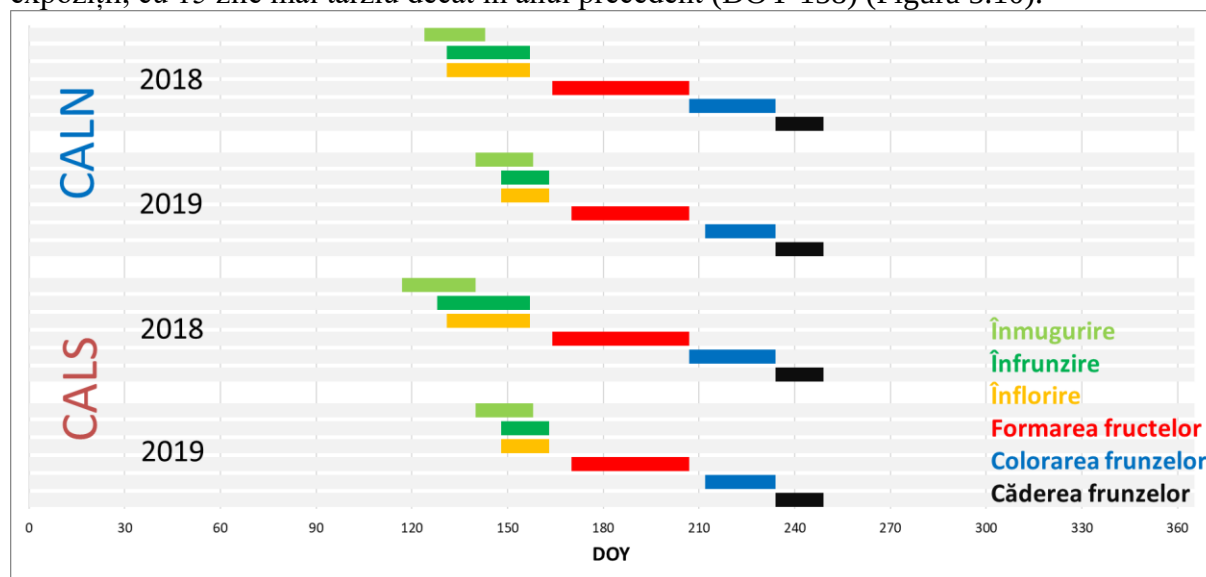


Figura 5.10. Durata fenofazelor la anin verde

Primele frunze care se deschid indică startul fenofazei de înfrunzire și se observă din prima decadă a lunii mai a anului 2018 pe versantul însorit (DOY 128) și cu 3 zile mai târziu (DOY 131) pe cel umbrat. În anul 2019 startul procesului de înfrunzire are loc la sfârșitul lunii mai (DOY 148), pe ambele expoziții. În jurul datei de 06 iunie (DOY 157), în anul 2018 se încheie fenofaza de înfrunzire în ambele zone monitorizate, cu 6 zile mai devreme, comparativ cu anul 2019 (DOY 163).

Fenofaza de înflorire debutează în ambele zone de studiu la aceeași dată (DOY 131) în anul 2018, acest aspect fiind remarcat și în anul 2019 (DOY 148). În cadrul acestui proces nu s-au înregistrat diferențe privind startul subfazelor între expoziții, finalizându-se în anul 2018 în jurul datei de 06 iunie (DOY 157) și în anul 2019 în jurul datei de 12 iunie (DOY 163), pe ambele expoziții.

Fenofaza de formare a fructelor se desfășoară în sezonul de vegetație 2018 în perioada 13 iunie (DOY 164) – 26 iulie (DOY 207) în ambele zone monitorizate, fără diferențe între subfaze. În sezonul de vegetație 2019, fenofaza începe cu 6 zile mai târziu (DOY 170) comparativ cu sezonul precedent și se finalizează la aceeași dată (DOY 207), pe ambele expoziții. Începând cu această dată, se observă și primele frunze în curs de uscăre, căderea acestora începând cu ultima decadă din luna august (DOY 235).

Având în vedere dinamica fenologică monitorizată pentru fiecare specie, pe două expoziții contrastante, se desprind o serie de particularități specifice pentru fiecare specie.

În cazul speciilor de *Ericaceae*, durata fenofazei de înmugurire este relativ similară, având în medie 22 de zile, însă ceea ce diferă între specii este startul acesteia, cel mai devreme pornind în vegetație afinul, favorizat în mare parte de procesele metabolice intense specifice lipsei frunzelor plurianuale, mai ales pe versantul cu expoziție însorită. Deși în anul 2019, procesul de înmugurire începe mai târziu, durata fenofazei de înmugurire este egală cu cea înregistrată în anul 2018, pentru ambele zone de studiu, afinul având un avans de doar 9 zile față de merișor sau rododendron. O durată a fenofazei de înmugurire apropiată cu speciile de *Ericaceae* au și speciile anin verde (21 de zile) și ienupăr (20 de zile).

Fenofaza de înfrunzire cu cea mai lungă durată se remarcă în cazul jneapănului, în timpul sezonului de vegetație din anul 2018, când se desfășoară pe o perioadă de 61 de zile. În anul 2019 aceasta are loc pe o durată mai scurtă, de 48 de zile, în cadrul ambelor zone de studiu, acest fapt datorându-se în principal conținutului mediu relativ ridicat de apă din aparatul foliar, a cantității de glucide totale acumulate scăzute, dar și a respirației crescute (Murariu et al., 2008). Comparativ cu această specie de conifere, procesul de înfrunzire la ienupăr are o durată mult mai scurtă, respectiv de 30 de zile în anul 2018 și 22 de zile în anul 2019. Dintre speciile de *Ericaceae*, rododendronul are cea mai lungă perioadă de formare a frunzelor, respectiv o durată medie de 39 de zile, în timpul sezonului de vegetație 2018, fiind urmat de merișor (35 de zile) și de afin (30 de zile). În sezonul de vegetație 2019 tot rododendronul înregistrează cea mai lungă perioadă a fenofazei de înfrunzire, respectiv de 33 de zile, merișorul 28 de zile iar afinul își formează aparatul foliar în 23 de zile. Pentru anin verde, procesul de înfrunzire durează cel mai puțin, comparativ cu restul speciilor monitorizate, respectiv 28 de zile în anul 2018 și 15 zile în anul 2019.

În mod paradoxal, fenofaza de înflorire în anul 2018 la jneapăn a avut cea mai scurtă durată dintre speciile analizate, în medie de 13 zile pentru ambele zone de studiu, fiind urmată de rododendron, a cărei durată nu depășește în medie 25 de zile, 26 de zile la aninul verde și 29 de zile la afin. Cea mai lungă durată a procesului de înflorire este înregistrată la merișor, care are loc pe o perioadă medie de 49 de zile. În anul 2019, cea mai lungă durată a fenofazei de înflorire a avut-o jneapănul (48 de zile), fiind urmată de merișor cu o durată medie de 37 de zile, afin (26 de zile), rododendron (19 zile) și anin verde (15 zile).

Fenofaza de formare a fructelor pentru speciile analizate, cu excepția speciilor ienupăr și rododendron, a avut o durată medie de 43 de zile în sezonul de vegetație 2018 și de 36 de zile în anul 2019. Cea mai scurtă perioadă de fructificație s-a constatat la jneapăn în anul 2019 (22 de zile) fiind de 26 de zile în anul 2018. În cadrul speciilor de *Ericaceae*, afinul comparativ cu merișorul, a avut o durată a fenofazei de formare a fructelor în medie cu 9 zile mai scurtă în anul 2018 și cu 15 zile mai scurtă în anul 2019. Primele fructe complet formate la afin se observă după 35 de zile de la debutul fenofazei în anul 2019, respectiv 47 de zile în anul 2018. Ca durată a fenofazei, aninul verde are valori similare cu afinul, finalizându-se aproximativ la aceeași dată în ambii ani monitorizați și în ambele zone de studiu. Primele fructe bine definite la aninul verde sunt remarcate după 37 de zile (2018), respectiv 43 de zile (2019) de la debutul procesului de fructificație.

Fenofaza de colorare a frunzelor la afin are o durată medie de 30 de zile, aceasta fiind mai scurtă cu circa 5 zile la aninul verde. Procesul de colorare a frunzelor este influențat de valorile minime ale temperaturii aerului care se apropie de pragul de îngheț în prima parte a lunii iulie în anul 2018 și din a doua jumătate a aceleiași luni din anul 2019, în ambele zone de studiu. De asemenea un posibil factor al colorării frunzelor din perioada lunii iulie poate fi generat de apariția unui dezechilibru între absorbție și transpirație, cauzat de vânturi puternice, calde și uscate (Săvulescu, 2014) în special în zona cu expoziție însorită.

Fenofaza de cădere a frunzelor la speciile afin și anin verde se are loc în același timp și începe o dată cu finalizarea fenofazei de colorare a frunzelor, atunci când se înregistrează diferențe de peste 25°C între valorile minime și maxime ale temperaturii aerului, cu valori

minime ale umidității relative ale aerului cuprinse între 20 și 50 de procente, respectiv valori ale temperaturii solului care scad sub pragul de 10°C.

Într-un studiu fenologic efectuat pe un versant nordic din munții Călimani, la diferite nivele altitudinale, asupra unor specii de arbori dar și asupra afinului, Cenușă (1996) a evidențiat faptul că în raport cu altitudinea, fenofazele de primăvară, respectiv de vară a speciilor lemnoase sunt întârziate, un avans având cele din sezonul de toamnă. De asemenea a remarcat o omogenitate climatică a etajului altitudinal de la 1450-1750m prin faptul că unele fenofaze s-au produs simultan la speciile analizate și a subliniat influența climatului din această zonă și a stratului de zăpadă asupra vegetației forestiere. Prin stabilirea legăturii dintre regimul termic și startul unor fenofaze și ținând cont de amplitudinea ecologică a speciilor monitorizate, acesta a demonstrat că la afin fenofazele se declanșează mult mai devreme ca la scoruș sau molid. Zâmbrul a necesitat cele mai ridicate temperaturi pentru declanșarea fenofazelor, fiind cea mai tardivă specie dintre cele analizate.

5.3. Dinamica creșterii în lungime la nivel intra-anual

Monitorizarea dinamicii intra-aniuale a proceselor de creștere în înălțime/lungime a speciilor de arbuști a evidențiat diferențe atât în raport cu specia cât și cu expoziția versantului. Măsurarea creșterii plantelor, respectiv a procesului de extindere liniară a lujerilor terminali, poate fi realizată direct și nedistructiv pe plante individuale și reprezintă o expresie relevantă din punct de vedere ecologic a cursei competitive pentru înălțime (Gleason et al., 2018).

În cazul **jneapănului**, debutul creșterii în lungime în anul 2018 a avut loc în prima decadă din luna mai în ambele zone de studiu. În suprafața de cercetare de pe expoziție umbrită (CALN) procesul de creștere începând cu aproximativ 4 zile mai devreme (DOY 124±8) comparativ cu versantul cu expoziție însorită (CALS) (DOY 128±4). În anul 2019 se remarcă o întârziere de circa două săptămâni în startul proceselor de creștere în lungime comparativ cu anul precedent, în raport cu expoziția versanților. Astfel, startul creșterii în lungime a avut loc prima dată pe expoziția însorită CALS în ultima decadă din luna mai (DOY 140±4), respectiv începutul lunii iunie pe expoziția umbrită CALN (DOY 148±2). Deși procesul de creștere în lungime a avut un start întârziat, au fost înregistrate creșteri în lungime mai mari comparativ cu anul precedent.

Analiza dinamicii individuale a creșterii cumulate în lungime din cele două suprafețe de cercetare, respectiv cei doi ani de referință analizați, reflectă o variabilitate relativ ridicată a exemplarelor de pe expoziția umbrită în anul 2019, comparativ cu anul 2018. În suprafața experimentală de pe expoziție însorită nu sunt înregistrate diferențe între gradul de variabilitate dintre exemplarele monitorizate.

Creșterea zilnică în lungime în anul 2018 înregistrează un maxim în ultima săptămână a lunii mai pe expoziție însorită CALS (DOY 150) și mai târziu pe cea umbrită CALN (DOY 155) (Figura 5.11). Comparativ, în anul 2019 valorile maxime ale creșterii zilnice s-au observat cu 10 zile mai târziu, respectiv DOY 160 pentru versantul cu expoziție însorită și DOY 165 pentru cel cu expoziție umbrită, aceasta având și valori medii mai mari.

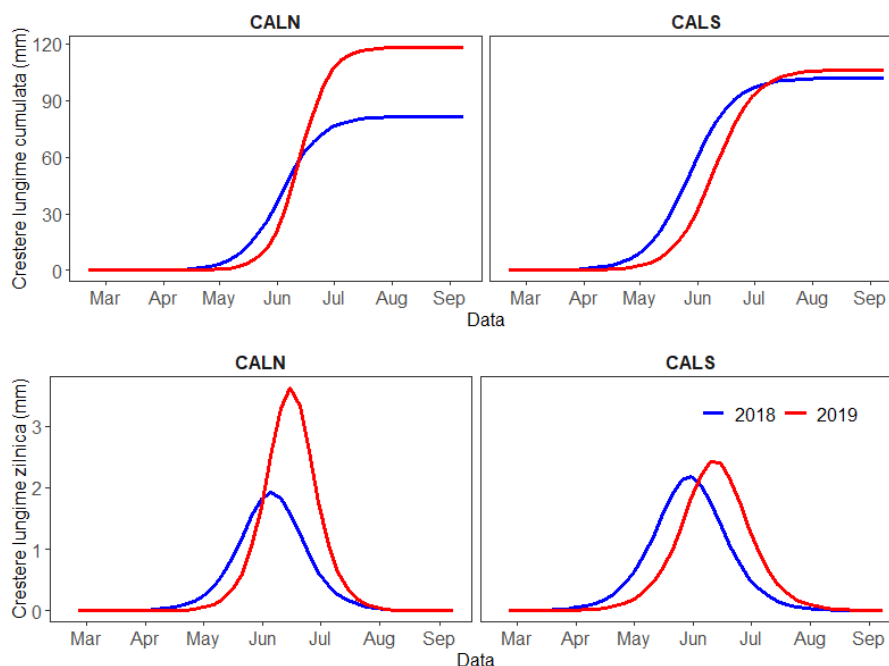


Figura 5.11. Dinamica creșterii în lungime la jneapăn în anii 2018-2019 în cele două zone de studiu - expoziție însorită CALS, - expoziție umbrită CALN

Procesele de creștere în lungime la jneapăn în anul 2018 s-au finalizat în prima jumătate a lunii iunie în zona cu expoziție umbrită ($DOY 185 \pm 10$), respectiv în a doua jumătate a lunii iunie ($DOY 197 \pm 13$) în zona cu expoziție însorită. În anul 2019, creșterea în lungime a lujerului s-a definitivat pe versantul cu expoziție însorită mai devreme ($DOY 214,5 \pm 13,05$) comparativ cu cel umbră ($DOY 218,2 \pm 11,03$).

Durata sezonului de creștere în lungime pentru jneapăn a fost mai scurtă în suprafața de cercetare cu expoziție umbră, respectiv 53 ± 3 zile în anul 2018 și 70 ± 11 în anul 2019 comparativ cu expoziția însorită, la care sezonul de creștere în lungime din anul 2018 a durat 58 ± 8 zile, respectiv 75 ± 9 zile în anul 2019.

Pentru **ienupăr**, startul procesului de creștere în lungime în anul 2018 s-a observat la sfârșitul decadei a doua din luna mai ($DOY 138 \pm 7$) pe expoziție însorită și în ultima decadă a lunii mai ($DOY 149 \pm 5$), pe versantul cu expoziție umbră. Procesul de creștere în lungime din acest an încetează în prima decadă a lunii august ($DOY 217 \pm 4$) în ambele zone monitorizate.

În anul 2019, în zona cu expoziție însorită creșterea în lungime a lujerului terminal începe în ultima decadă din luna mai ($DOY 145 \pm 6$). Creșterea în lungime din sezonul de vegetație 2019 se finalizează în prima decadă din luna august ($DOY 215 \pm 5$), fără a fi fost remarcate diferențe semnificative între zonele de studiu monitorizate.

Ienupărul prezintă un trend crescător al ritmului de creștere în lungime, valorile medii ale creșterii cumulate fiind mai mari pe versantul cu expoziție umbră în ambele sezoane de vegetație. Pe versantul cu expoziție însorită se evidențiază un plus de creștere în lungime în anul 2019 comparativ cu anul 2018 (Figura 5.12).

Valorile maxime ale creșterii zilnice în lungime din anul 2018 au fost observate în a doua decadă a lunii iunie ($DOY 170$) în zona de studiu cu expoziție însorită și la o diferență de o lună de zile, în a doua decadă a lunii iulie ($DOY 200$) în suprafața de cercetare cu expoziție umbră. În anul 2019, creșterea zilnică în lungime a înregistrat valori maxime la date calendaristice apropiate, la sfârșitul primei decade din luna iulie ($DOY 190$) în CALS și la 5 zile mai târziu, respectiv în a doua decadă a lunii iulie ($DOY 195$) în CALN. Cu toate acestea, dinamica creșterii zilnice în lungime a evidențiat valori maxime mult mai mari în suprafața de cercetare

cu expoziție umbrită comparativ cu versantul însorit, pe durata ambelor sezoane de vegetație monitorizate.

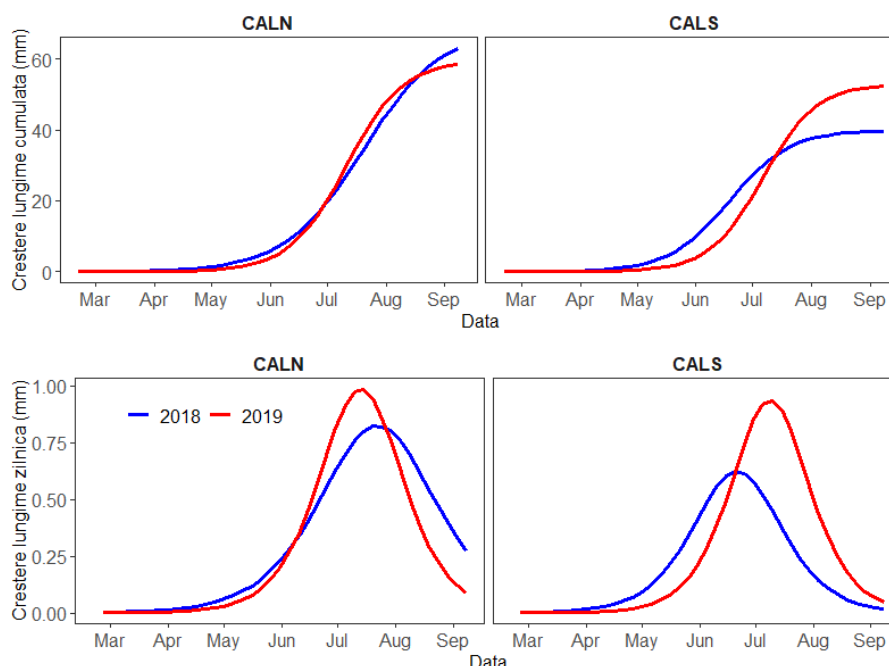


Figura 5.12. Dinamica creșterii în lungime la ienupăr în anii 2018-2019 în cele două zone de studiu - expoziție însorită CALS, - expoziție umbrită CALN

Finalizarea proceselor de creștere în lungime în cazul acestei specii a necesitat mai puțin timp în zona cu expoziție umbrită, în ambii ani de studiu. În anul 2018 procesul de creștere în lungime la ienupăr a avut o durată de 68 ± 1 zile, iar în anul 2019 69 ± 2 zile. Între expoziții sunt diferențe mai mari în anul 2018, fiind de 79 ± 2 zile în cadrul zonei cu expoziție însorită, datorate în principal avansului declanșării creșterii cu 10 zile mai devreme comparativ cu versantul umbrît.

Începutul procesului de creștere în lungime la **aninul verde** a avut loc în anul 2018 în prima decadă din luna mai (DOY 130 ± 2) pe versantul umbrît și la sfârșitul ultimei decade din aceeași lună (DOY 148 ± 3) în zona cu expoziție însorită. În anul 2019, creșterea în lungime debutează mai devreme în cazul expoziției însorite, respectiv în a doua decadă din luna mai (DOY 137 ± 3), pe expoziția umbrită startul creșterii în lungime are loc la sfârșitul lunii mai (DOY 148). De asemenea, rezultatele noastre sunt susținute și de alte studii care au identificat că în cele mai multe cazuri, creșterea în lungime a lujerilor este influențată de condițiile climatice din sezonul de vegetație anterior și mai puțin de condițiile din anul curent (Kozłowski, 1964; Larsson, 1979; Wijk, 1986). Această specie are o toleranță mult mai mică, comparativ cu speciile de conifere, la valorile scăzute ale temperaturii aerului și solului (Taschler și Neuner, 2004) înregistrate la începutul sezonului de creștere din anul 2019.

Procesul de creștere în lungime s-a încheiat în anul 2018 mai devreme pe expoziția umbrită, în jurul ultimei decade din luna iulie (DOY 206 ± 12) și la începutul lunii august, în prima decadă (DOY 212 ± 8), pe expoziția însorită. În anul 2019 nu s-au remarcat diferențe mari între zonele de studiu în ceea ce privește finalizarea creșterii în lungime, aceasta încheindu-se în aceeași perioadă ca în anul 2018, respectiv în prima decadă din luna august, mai devreme pe expoziția însorită (DOY 216 ± 5) față de versantul umbrît (DOY 219 ± 10).

Creșterea zilnică în lungime a acestei specii s-a remarcat cu un maxim înregistrat în a treia decadă a lunii iunie (DOY 170) în zona cu expoziție umbrită și cu o întârziere de 5 zile (DOY 175) pe expoziția însorită. La aceeași dată (DOY 175) din anul 2019 s-a înregistrat

maximul creșterii zilnice în lungime pe expoziția umbrită. Maximul creșterii zilnice în lungime pe expoziția însorită se observă cu două săptămâni mai târziu față de expoziția umbrită, la sfârșitul primei decade din luna iulie (DOY 190), creșterea zilnică înregistrând valori aproape duble comparativ cu versantul umbrat (Figura 5.13).

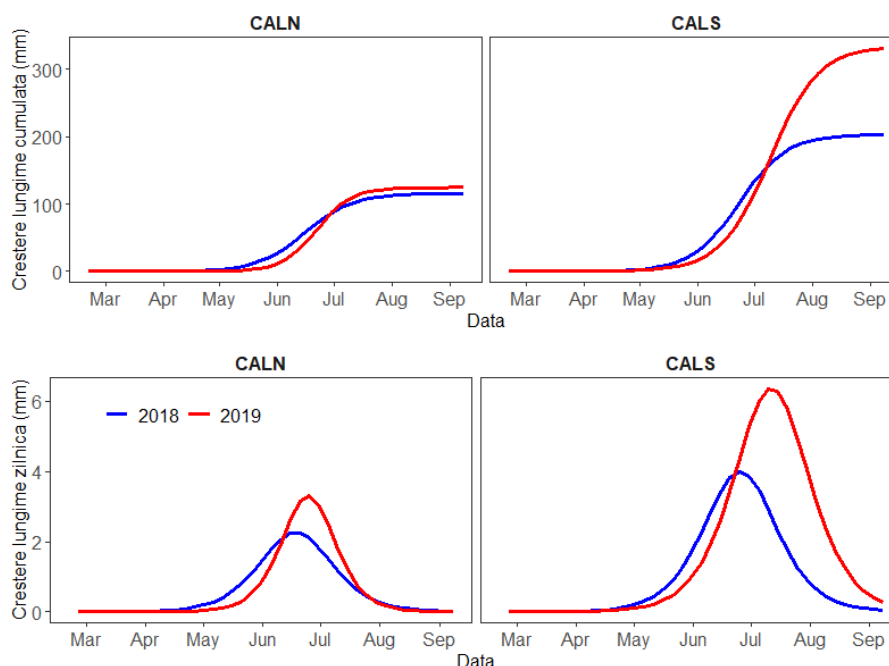


Figura 5.13. Dinamica creșterii în lungime la aninul verde în anii 2018-2019 în cele două zone de studiu - expoziție însorită CALS, - expoziție umbrită CALN

Cu toate că procesul de creștere în lungime al speciei de anin verde a început mult mai devreme pe expoziția umbrită, acesta a avut o durată mai scurtă în anul 2018 pe expoziția însorită (65 ± 4 zile) comparativ cu cea umbrită (76 ± 10 zile). În sezonul de vegetație 2019, creșterea în lungime a început mai devreme pe versantul cu expoziție însorită, dar s-a finalizat mai târziu (79 ± 2 zile) față de suprafața de cercetare cu expoziție umbrită (71 ± 10 zile).

Creșterea temperaturii din timpul verii, poate transforma aninul verde într-una din cele mai productive plante de la altitudini mari, care, împreună cu strategia de reproducere clonală sporită duc la răspândirea speciei și în alte habitate din zona subalpină, cum ar fi cele de pajiști (Wiedmer și Senn-Irlet, 2006; Oberhuber et al., 2022). Astfel, habitatul arinului verde are un spectru mult mai larg decât se presupunea, iar invadarea acestei specii are consecințe potențial mai mari pentru ecologia peisajului decât era de așteptat și va ridica probleme serioase de conservare (Caviezel et al., 2017).

Cu privire la **afin**, startul creșterii în lungime a lujerului în anul 2018 a avut loc începând cu a doua decadă a lunii mai (DOY 131) în zona cu expoziție umbrită, respectiv la sfârșitul lunii mai (DOY 147 ± 24) în zona cu expoziție însorită. Creșterea în lungime în anul 2019 începe mai devreme pe expoziția însorită, la începutul ultimei decade a lunii mai (DOY 140 ± 3) și mult mai târziu pe expoziția umbrită, debutul creșterii fiind observat începând cu prima decadă din luna iunie (DOY 153 ± 10).

Creșterea în lungime se finalizează în sezonul de vegetație 2018, variind considerabil la nivel individual și zonal, în jurul decadei a doua din luna iulie (DOY 198 ± 26) în zona de studiu cu expoziție umbrită și în a treia decadă din aceeași lună (DOY 205 ± 28) pe versantul cu expoziție însorită. În sezonul de vegetație 2019, procesul de creștere în lungime se termină la sfârșitul lunii iulie (DOY 209 ± 14) în ambele zone de studiu.

Din punct de vedere al perioadei în care se înregistrează maximul creșterii zilnice, acesta, în anul 2018, se atinge mai devreme în zona de studiu cu expoziție însorită, respectiv în a doua decadă din luna mai (DOY 135), cu un avans de 10 zile față de zona de studiu cu expoziție umbră (DOY 145). Valori semnificativ mai mari ale creșterii zilnice în lungime se înregistrează pe expoziția umbră comparativ cu expoziția însorită (Figura 5.14). În sezonul de vegetație 2019, rata maximă de creștere în lungime a fost observată pe ambele expoziții în prima decadă a lunii iunie (DOY 160), cu valori maxime zilnice înregistrate în suprafața de cercetare cu expoziție umbră.

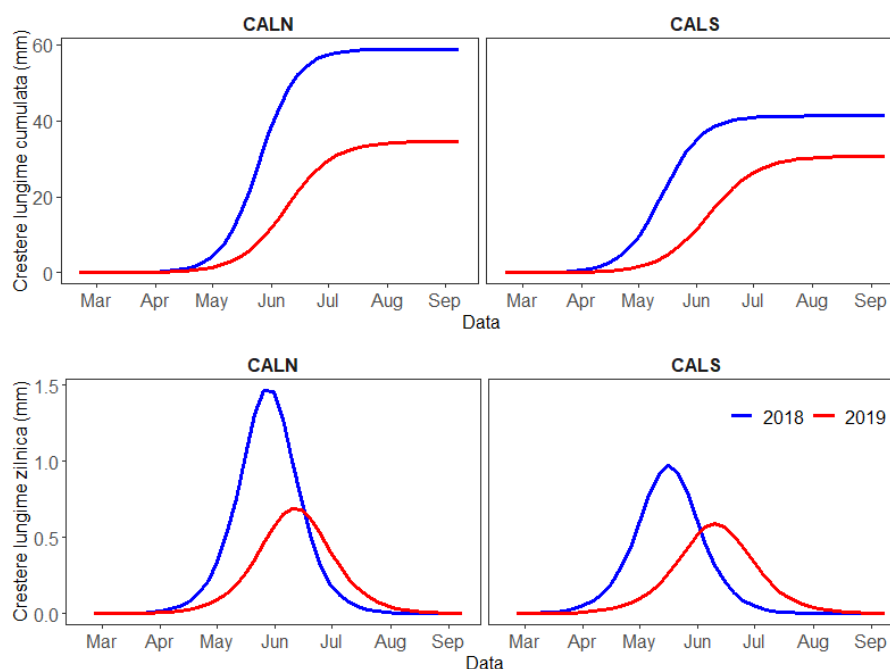


Figura 5.14. Dinamica creșterii în lungime la afin în anii 2018-2019 în cele două zone de studiu - expoziție însorită CALS, - expoziție umbră CALN

Perioada de creștere în lungime a durat mai puțin în zona de studiu cu expoziție însorită (58 ± 4 zile) față de expoziția umbră (67 ± 26 zile) în sezonul de vegetație 2018. În anul 2019 ierarhizarea duratelor de creștere în lungime este inversă, sezonul de creștere în lungime durând mai puțin pe expoziția umbră (56 ± 5 zile) comparativ cu cea însorită (69 ± 9 zile).

Startul creșterii în lungime în cadrul speciei **merisor**, în anul 2018 s-a observat în prima decadă a lunii mai (DOY 128 ± 4) în suprafața de cercetare cu expoziție umbră, cu un avans de aproximativ 10 zile față de zona de studiu cu expoziție însorită, unde procesul de creștere se declanșează în a doua decadă a lunii mai (DOY 139 ± 5). În sezonul de vegetație 2019, diferențe mari în inițierea creșterii în lungime se observă pe versantul umbră, unde procesul de creștere începe cu 10-15 zile mai târziu comparativ cu anul precedent, la sfârșitul lunii mai (DOY 149 ± 3). În zona cu expoziție însorită creșterea debutează cu o săptămână mai devreme, respectiv la începutul ultimei decade din luna mai (DOY 142 ± 8).

În sezonul de vegetație din anul 2018, finalul procesului de creștere în lungime s-a observat începând cu a treia decadă din luna iulie (DOY 203 ± 18) în zona de studiu cu expoziție umbră, și la sfârșitul lunii (DOY 211 ± 23) pe expoziția însorită. În anul 2019, creșterea în lungime s-a finalizat la sfârșitul lunii iulie, mai devreme cu 2-4 zile pe expoziția umbră (DOY 207 ± 13) față de expoziția însorită (DOY 212 ± 13).

Variabilitatea individuală a creșterii cumulate în lungime se prezintă ridicată și în cazul acestei specii de *Ericaceae*, mai ales în cadrul zonei de studiu cu expoziție umbră, în cei doi ani monitorizați. Valorile medii ale creșterii cumulate în lungime au evidențiat rate de creștere

mai mari în anul 2019 față de anul 2018, în ambele suprafețe de cercetare, cu maxime pe expoziția însorită (Figura 5.15).

Creșterea zilnică în lungime s-a remarcat cu un maxim înregistrat în sezonul de vegetație 2018 la sfârșitul lunii mai/începutul lunii iunie (DOY 150) în zona de studiu cu expoziție însorită și cu 10 zile mai târziu, în prima decadă a lunii iunie (DOY 160), pe expoziția umbră. În anul 2019, maximul creșterii zilnice s-a observat în ambele zone de studiu, în a doua jumătate a lunii iunie (DOY 170), valori semnificative mai mari înregistrându-se pe expoziția însorită comparativ cu expoziția umbră și comparativ cu anul precedent.

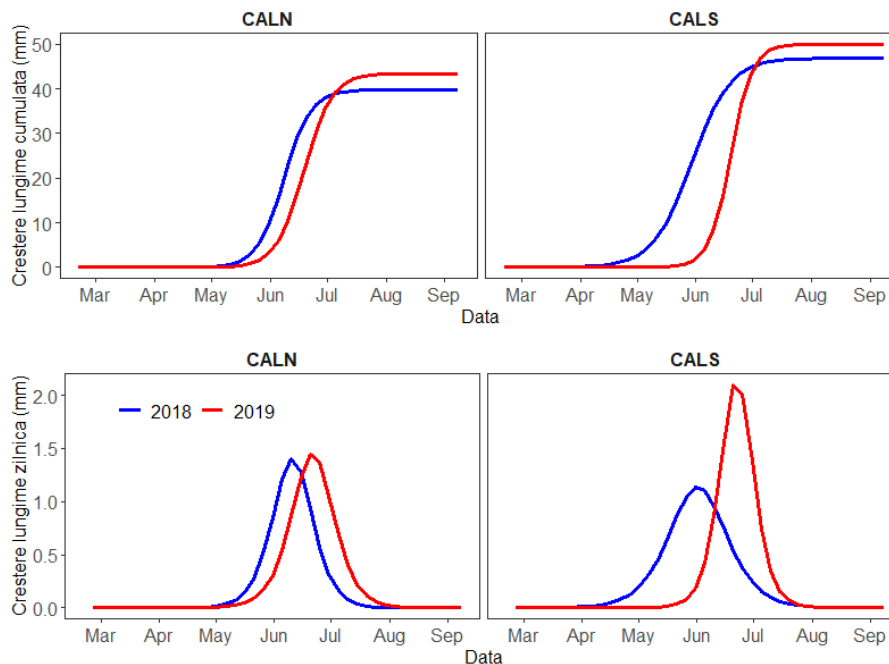


Figura 5.15. Dinamica creșterii în lungime la merișor în anii 2018-2019 în cele două zone de studiu - expoziție însorită CALS, - expoziție umbră CALN

Această specie arbustivă a avut o perioadă activă de creștere în lungime care a durat 73 ± 17 zile în zona de studiu cu expoziție însorită, față de 75 ± 14 zile în zona cu expoziție umbră, în timpul sezonului de vegetație din anul 2018. Durata sezonului de creștere în lungime în anul 2019 a fost mai scurtă în zona de studiu cu expoziție umbră (58 ± 10 zile) comparativ cu versantul însorit (69 ± 6 zile).

Temperaturile mai mari din timpul sezonului de vegetație 2019 au scurtat durata sezonului de creștere, comparativ cu anul precedent. Valorile mai crescute ale temperaturii din timpul verii au un efect pozitiv asupra creșterii merișorului, fiind dovedit și prin studii experimentale (Parsons et al., 1994; Shevtsova et al., 1997).

Referitor la **rododendron**, s-a observat în sezonul de vegetație 2018 un debut al proceselor de creștere în lungime la sfârșitul lunii mai, puțin mai devreme pe expoziția însorită ($DOY 147 \pm 6$) comparativ cu zona de studiu cu expoziție umbră ($DOY 151 \pm 2$). Nu se remarcă o variabilitate individuală ridicată în ceea ce privește startul creșterii în lungime din sezoanele de vegetație monitorizate. În anul 2019, rododendronul începe să crească în lungime mai devreme comparativ cu anul precedent, la începutul ultimei decade din luna mai ($DOY 141 \pm 6$) în suprafața de cercetare cu expoziție însorită și aproximativ la sfârșitul lunii mai ($DOY 148 \pm 3$) pe expoziția umbră.

Creșterea în lungime se definitivează cu o variabilitate individuală ridicată a datei de sfârșit a sezonului de creștere. Aceasta are loc mai întâi în zona de studiu cu expoziție însorită, în anul 2018 începând cu ultima decadă a lunii iulie ($DOY 201 \pm 19$) și apoi pe versantul cu

expoziție umbrită, la începutul lunii august (DOY 212 ± 17). În sezonul de vegetație din anul 2019 finalul creșterii în lungime se observă în ultima decadă din luna iulie, cu mici diferențe între expoziții, respectiv DOY 202 ± 13 pe expoziția însorită și DOY 203 ± 10 , pe expoziția umbrită.

Creșterea în lungime cumulată analizată din perspectiva valorilor medii a reliefat diferențe sistematice între exemplarele din zonele de studiu. Astfel, în suprafața de cercetare cu expoziție umbrită, un trend crescător cu pantă mai mare a ritmului de creștere în lungime a fost observat în timpul sezonului de vegetație 2019. În acest an se remarcă valori mai mari față de sezonul de vegetație precedent, respectiv comparativ cu expoziția însorită. Pe versantul însorit în anul 2018 sunt înregistrate valori mai mari ale creșterii cumulate față de anul 2019.

Creșterea în lungime zilnică înregistrează valori maxime în prima decadă a lunii iunie a anului 2018 (DOY 160), semnificativ mai mari pe versantul cu expoziție umbrită. În anul 2019, maximul creșterii zilnice a lujerului terminal se remarcă la sfârșitul decadei a doua din luna iulie (DOY 170) cu 5 zile mai devreme pe expoziția însorită, însă cu valori maxime aproape duble, înregistrate în suprafața experimentală cu expoziție umbrită (Figura 5.16).

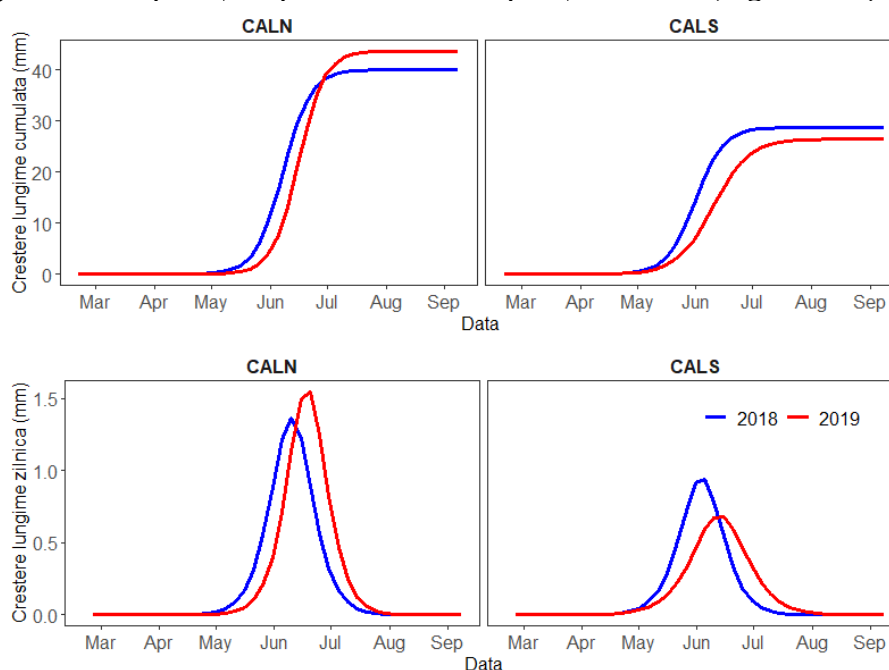


Figura 5.16. Dinamica creșterii în lungime la rododendron în anii 2018-2019 în cele două zone de studiu - expoziție însorită CALS, - expoziție umbrită CALN

Deși valori mai ridicate ale temperaturii se remarcă la începutul sezonului de vegetație pe versantul însorit, topirea timpurie a zăpezii de pe această expoziție este cunoscută a avea un efect negativ asupra creșterii rododendronului din această zonă, comparativ cu versantul umbrat (Pellizzari et al., 2014; Francon et al., 2017). Temperatura crescută din timpul verii nu a avut o influență pozitivă asupra rododendronului din suprafața de cercetare cu expoziție însorită, în nici unul din cele două sezoane de vegetație, în schimb pe expoziția umbrată valorile mari ale temperaturii din sezoanele de creștere au produs creșteri în lungime mai mari față de versantul contrastant (Myers-Smith et al., 2015).

Cercetările efectuate asupra creșterii în lungime a speciilor de arbuști conturează o diferențiere atât la nivel intraspecific cât și la nivel interspecific, între expoziții cât și între sezoanele de vegetație din anii monitorizați (Figura 5.17).

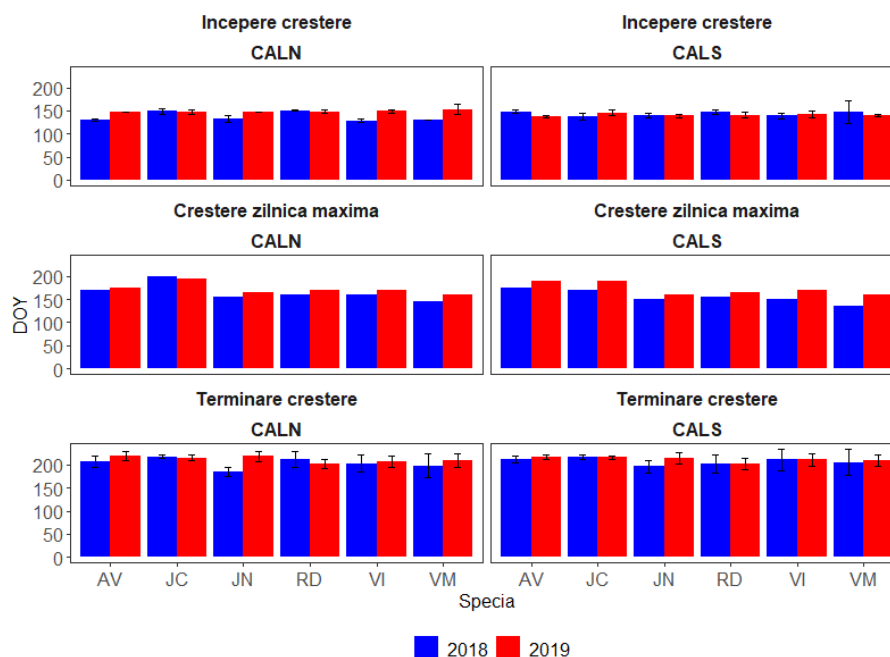


Figura 5.17. Variabilitatea indicatorilor procesului de creștere în lungime în anii 2018-2019 în cele două zone de studiu

La nivelul celor două expoziții contrastante monitorizate s-a observat un decalaj de 5-10 zile la începutul perioadei de creștere, diferențele între cele două suprafețe de cercetare nefiind sistematice în raport cu specia. Astfel, în anul 2018 procesul de creștere în lungime începe mai devreme pe expoziția umbrită la merișor, anin verde, afin și jneapăn ($DOY 130 \pm 3$) și mai târziu la ienupăr și rododendron ($DOY 150 \pm 4$). Începutul creșterii în lungime în anul 2019 are loc mai devreme în zona de studiu cu expoziție însorită ($DOY 141 \pm 5$) și mai târziu pe versantul cu expoziție umbrită ($DOY 149 \pm 4$), în cazul tuturor speciilor analizate.

Perioada de creștere activă în lungime a variat la nivel interspecific cât și la nivel de zonă de studiu, durata acesteia având valori cuprinse între 60 și 90 de zile. În anul 2018, sezonul de creștere în lungime avut o durată mai scurtă pe expoziția însorită, de 64 ± 8 zile, comparativ cu versantul umbrat, unde creșterea în lungime a durat 67 ± 11 zile. Lujerul terminal în anul 2019 s-a format complet din perspectiva lungimii mai devreme pe expoziția umbrată (63 ± 7 zile) decât pe expoziția însorită (71 ± 5 zile).

Creșterea zilnică maximă în lungime în sezonul de vegetație 2018 a fost observată mai devreme în zona de studiu cu expoziție însorită ($DOY 156$) comparativ cu zona de studiu cu expoziție umbrată ($DOY 165$). Cu toate acestea, valori maxime ale creșterii au fost atinse pe expoziția umbrată la majoritatea speciilor monitorizate, cu excepția speciilor de jneapăn și anin verde. În sezonul de vegetație 2019, lungimea maximă zilnică a creșterii a fost remarcată mai devreme pe expoziția umbrată la jneapăn, ienupăr și afin, iar pe expoziția însorită la anin verde, merișor și rododendron.

Terminarea creșterii în lungime a speciilor de arbuști se produce mai devreme în zona de studiu cu expoziție umbrată ($DOY 204 \pm 14$) comparativ cu suprafața de cercetare cu expoziție însorită ($DOY 207 \pm 16$) în timpul anului 2018, în anul 2019 procesul de creștere în lungime încheindu-se aproximativ în aceeași perioadă ($DOY 212 \pm 10$).

5.4. Dinamica creșterii în lungime la nivel inter-anual

Dinamica creșterii în lungime la nivel inter-anual a speciilor de arbuști din zona subalpină este variată la nivel interspecific. Determinarea variației creșterii în lungime prin analize dendrocronologice și cuantificarea modelelor dendroclimatice specifice poate oferi informații relevante privind influența factorilor de mediu asupra proceselor de creștere a lujerului la unele specii de arbuști.

În prezenta teză de doctorat s-au calibrat modele dendroclimatice privind dinamica creșterii în lungime la două specii relevante pentru zona de ecoton subalpin din Munții Călimani, de pe versantul umbrat: jneapăn și afin.

La **jneapăn**, seria de creștere în lungime s-a desfășurat pe perioada 1975-2018. Lungimea maximă a seriei de creștere în lungime a fost de 43 de ani cu o valoare medie a seriilor individuale de 24 de ani (Figura 5.18). Creșterea medie în lungime a lujerului terminal a fost de $95,46 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$, variind la nivel individual între $48 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ și $143 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$, cu o sensibilitate medie de 0,27.

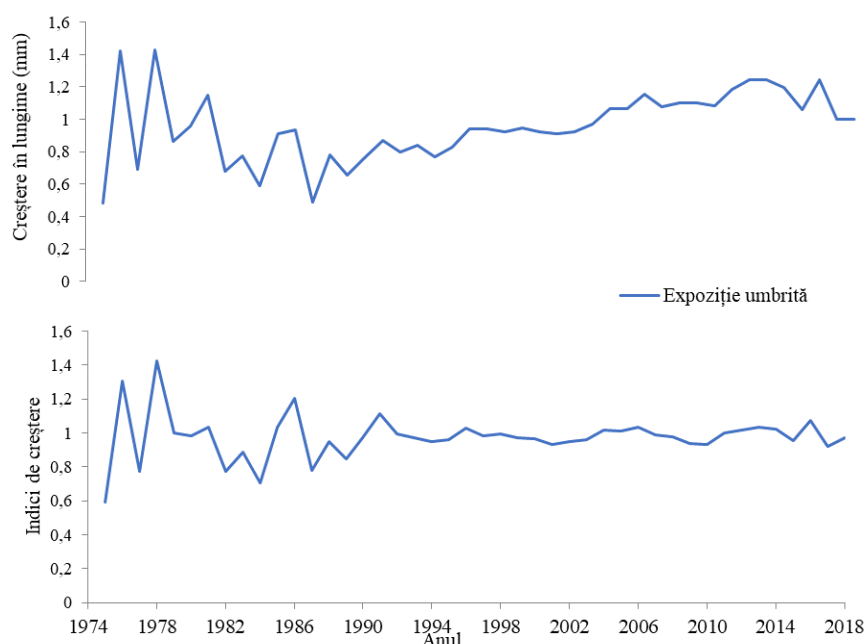


Figura 5.18. Seria de creștere în lungime medie și seria de indici de creștere pentru specia jneapăn

Analiza corelației indicilor de creștere în lungime cu valorile lunare ale parametrilor climatici nu a evidențiat o influență semnificativă din punct de vedere statistic cu regimul temperaturilor din această zonă (Figura 5.19). Cu toate acestea, unele studii efectuate asupra unor specii arbustive de pin din regiuni subalpine (Sturm et al., 2001; Dullinger et al., 2004; Nogués-Bravo et al., 2007) demonstrează exact contrariul, valorile temperaturii fiind cele care controlează de cele mai multe ori creșterea și mai ales extinderea acestei specii, dar poate influența în egală măsură și apariția și dezvoltarea agenților patogeni și a bolilor (Adamson, 2017). Se observă că temperaturile din timpul verii se corelează negativ cu indicii de creștere în lungime. Temperaturile din luna iunie sunt deosebit de importante în condițiile unei perioade de vegetație scurtă, fiind benefice pentru creșterea și producția de biomasă prin prelungirea duratei sezonului de vegetație (Menzel și Fabian, 1999; Grace et al., 2002, Amagai et al., 2015).

Având în vedere lungimea relativ scurtă a seriei de creștere în lungime, dar și variabilitatea ridicată la nivel individual, aceste rezultate preliminare trebuie completate cu studii suplimentare pentru formularea unei concluzii relevante.

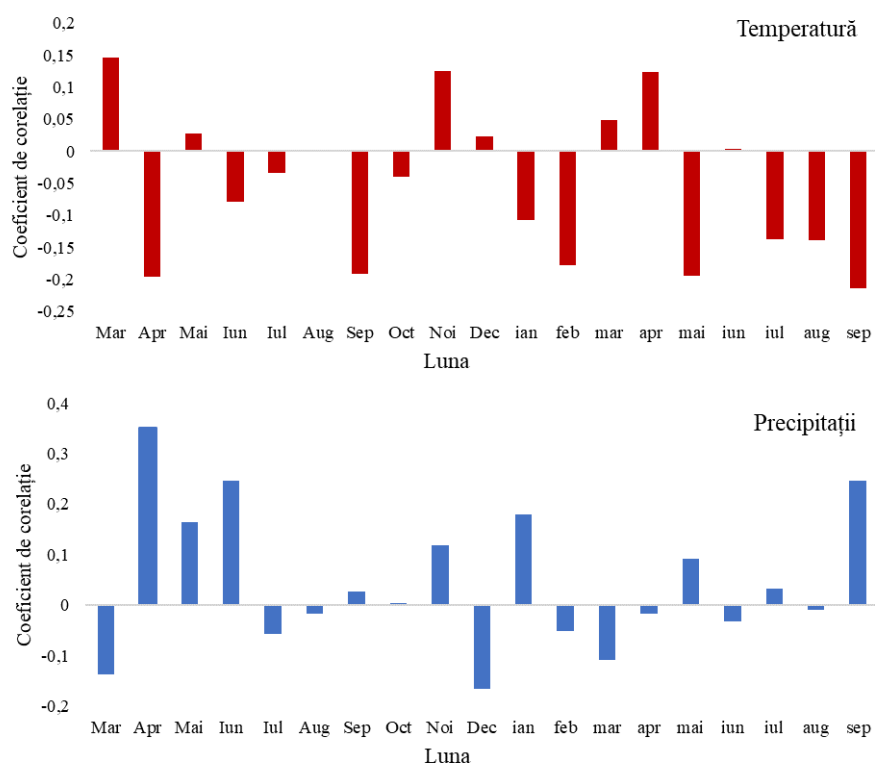


Figura 5.19. Corelația dintre indicii de creștere în lungime și factorii climatici pentru jneapăn

Deși modelul dendroclimatic relevă corelații pozitive cu precipitațiile din sezonul de primăvară al anului precedent, acestea nu sunt semnificative din punct de vedere statistic. Unii autori (Rubio-Cuadrado et al., 2018) demonstrează totuși că precipitațiile de la începutul sezonului de creștere, atât din anul curent, cât și din anul precedent, au un efect pozitiv asupra creșterii în lungime. Mai mult decât atât, precipitațiile din timpul verii precum și precipitațiile din timpul iernii îndeplinesc un rol deosebit de important în creșterea arbuștilor din zonele subalpine (Pellizzari et al., 2014; Carrer et al., 2019), influențând dinamica acestora.

Analiza corelațiilor pe perioade mobile relevă faptul că temperatura din luna septembrie anul precedent este corelată negativ și semnificativ statistic cu creșterea în lungime în primele decenii ale perioadei analizate, ulterior devenind nesemnificativă statistic. Se constată de asemenea o creștere a coeficientului de corelație cu temperatura din luna februarie pentru mijlocul perioadei analizate, cu valori negative ale corelației. În ceea ce privește precipitațiile, analiza pe perioade mobile nu a evidențiat corelații semnificative.

Dinamica ratei de creștere în lungime la **afin** a prezentat un maxim de creștere de $77,48 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ în anul 2014, respectiv un minim de $39,44 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ în anul 2011. Lungimea maximă a seriei de creștere în lungime a fost de 26 de ani și cu o valoare medie a seriilor individuale de 17 ani. Creșterea medie în lungime a fost de $59 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ și a variat la nivel individual între $43 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ și $94 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$. Sensibilitatea medie este relativ ridicată (0,37), însă trebuie luat în considerare faptul că lungimea seriei este relativ scurtă (Figura 5.20).

S-a remarcat din punct de vedere al corelației indicilor de creștere în lungime cu valorile parametrilor climatici, o influență pozitivă și semnificativă statistic a temperaturilor din toamna anului precedent, respectiv din luna octombrie. De asemenea se constată o corelație pozitivă cu regimul termic din iarna anului curent, respectiv din lunile ianuarie-martie, dar nesemnificativă din punct de vedere statistic (Figura 5.21). Temperaturile ridicate din timpul formării mugurilor vegetativi din toamnă și temperaturile ridicate din iarnă care limitează grosimea stratului de zăpadă au o influență pozitivă asupra procesului de creștere a afinului (Selås, 2000).

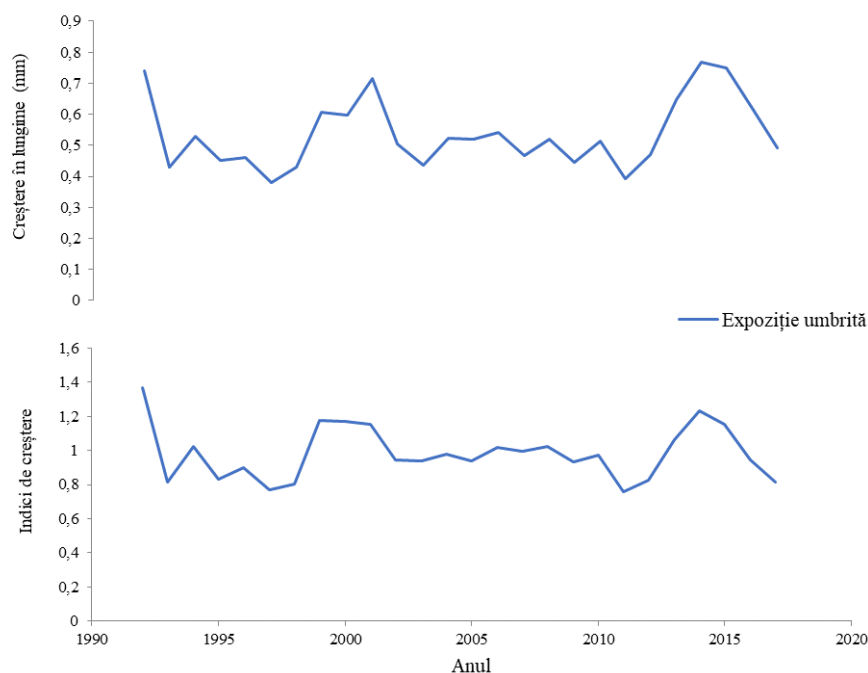


Figura 5.20. Seria de creștere în lungime medie și seria de indici de creștere pentru specia afin

Temperaturile scăzute din timpul procesului de înfrunzire din primăvară conduc la o încetinire a proceselor fiziologice cu efecte directe asupra creșterii în lungime. În condițiile unei corelații puternice cu temperaturile de la începutul sezonului de creștere, respectiv valori pozitive ale temperaturii solului, ar fi fost posibilă o creștere în lungime și radială mult mai pronunțată (Anadon-Rosell et al., 2014, 2018), evidențiind capacitatea afinului de a se adapta la încălzirea climatului. În ceea ce privește regimul precipitațiilor, nu au fost înregistrate corelații semnificative cu indicii de creștere în lungime.

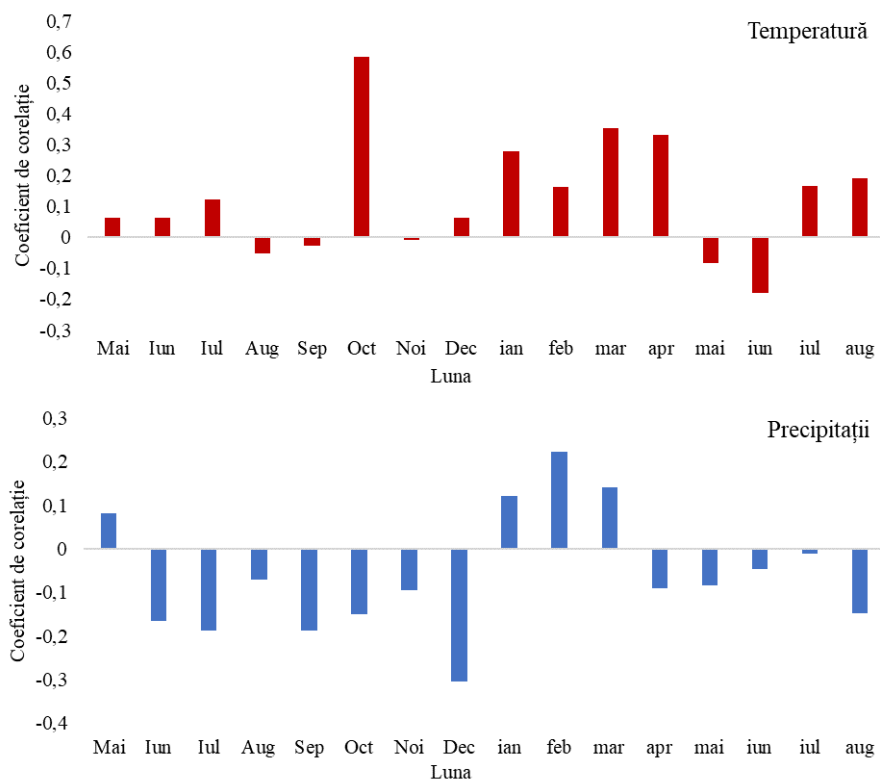


Figura 5.21. Corelația dintre indicii de creștere în lungime și factorii climatici pentru afin

În cazul acestei specii, datorită lungimii foarte scurte a seriei de creștere, nu a fost posibilă analiza corelației cu regimul climatic pe perioade mobile.

Analiza corelației indicilor de creștere în lungime a speciilor investigate, cu valorile lunare ale parametrilor climatici nu a evidențiat o influență semnificativă din punct de vedere statistic cu regimul temperaturilor și precipitațiilor din această zonă. Aceste rezultate preliminare demonstrează că în timpul sezonului de creștere nu sunt prezente limitări termice sau de ordin hidric care să influențeze dinamica rezervelor de carbohidrați disponibile pentru creșterea lujerilor (Wijk, 1986).

5.5. Dinamica creșterii radiale la nivel inter-anual

Zonele montane și arctice se confruntă din ce în ce mai intens cu o creștere a temperaturii de aproximativ două ori mai mare decât media globală, totodată înregistrându-se și o scădere generală a duratei și grosimii stratului de zăpadă (Pörtner et al., 2019). În aceste zone, studiile dendroecologice au evidențiat faptul că procesul de creștere radială al speciilor de arbuști este foarte sensibil la temperaturi și precipitații și sugerează potențialul unor schimbări la scară mare a ecosistemelor alpine, dacă schimbările climatice continuă așa cum se estimează (Hallinger et al., 2010; Liang et al., 2012; Pepin et al., 2015; Weijers et al., 2018; Berner et al., 2020).

În ceea ce privește specia **jneapăn**, seria de creștere radială pentru expoziția însorită acoperă perioada anilor 1886-2018, cu o lungime maximă de 133 de ani, respectiv cu o medie de 67 de ani. Lățimea medie a inelului anual variază la nivel individual între $0,24 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ și $1,1 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ cu o medie de $0,60 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ (Figura 5.22).

Seria de creștere radială pentru expoziția umbrită acoperă perioada anilor 1894-2018, cu o lungime maximă de 125 de ani, respectiv o lungime medie de 63 de ani. Lățimea medie a inelului anual variază la nivel individual între $0,20 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ și $1,06 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$, cu o medie de $0,62 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$. Sensibilitatea medie este mai mare comparativ cu expoziția însorită fiind de 0,19, iar autocorelația de ordinul I mai mică (0,743).

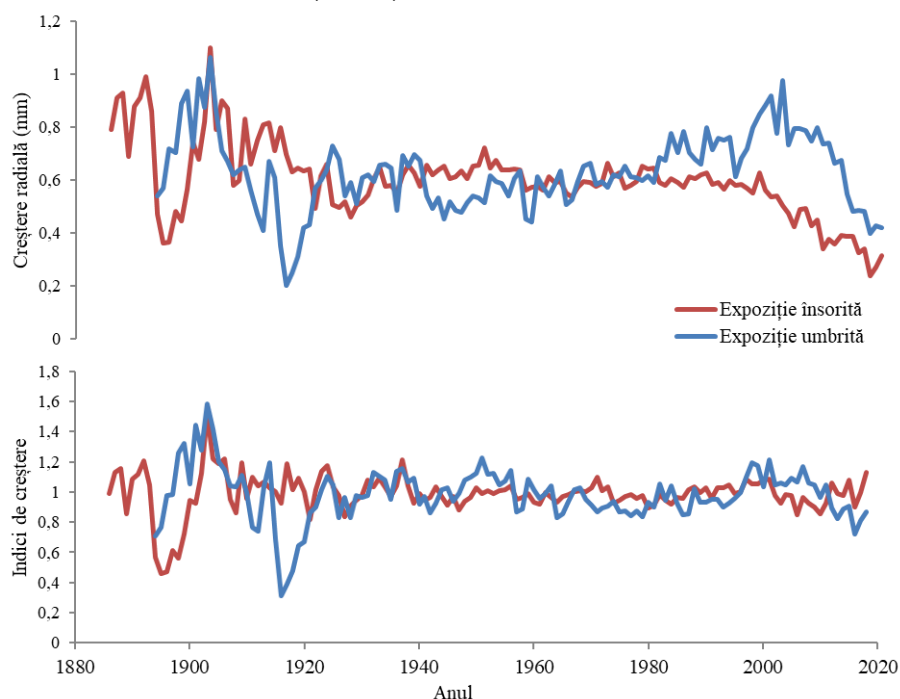


Figura 5.22. Seria de creștere radială medie și seria de indici de creștere pentru jneapăn

Modelul dendroclimatic pentru expoziția însorită relevă o influență pozitivă a temperaturii din sezonul de vegetație curent cu valori maxime ale corelației în luna ianuarie, semnificativă din punct de vedere statistic. Se remarcă de asemenea influența pozitivă a

temperaturilor din timpul sezonului de vegetație (mai, iulie și august), dar fără a atinge pragul de semnificație statistică (Figura 5.23).

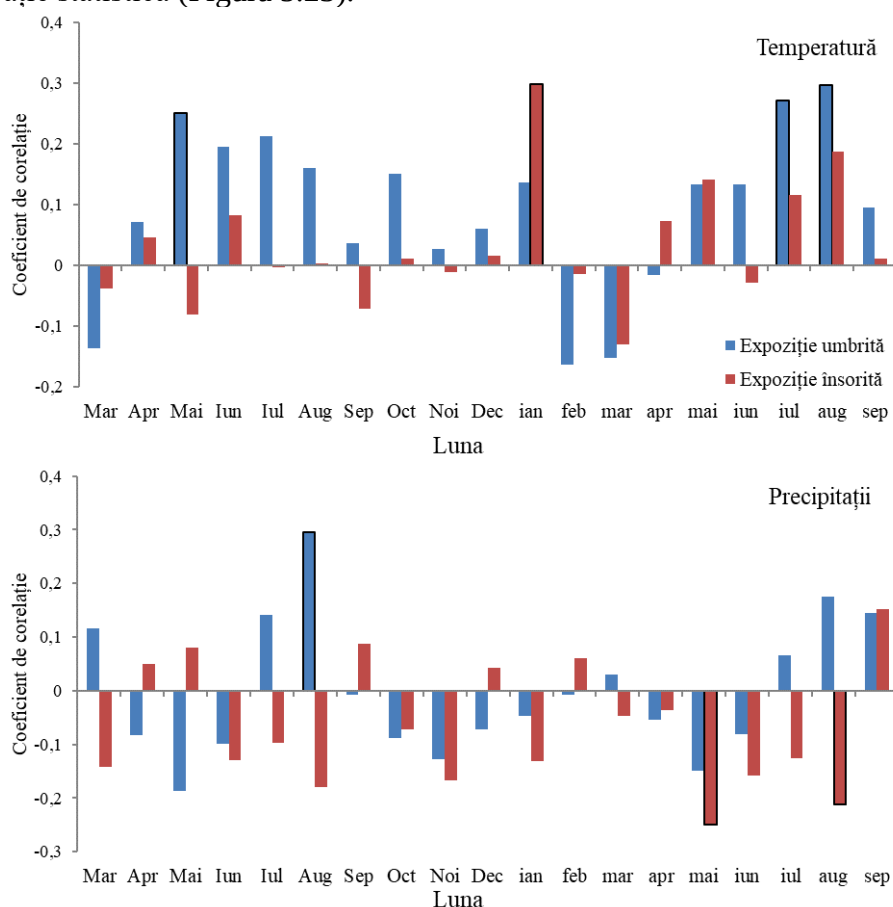


Figura 5.23. Corelația dintre indicii de creștere radială și factorii climatici pentru jneapăn

În ceea ce privește regimul precipitațiilor, se observă că acestea se corelează negativ și semnificativ statistic cu indicii de creștere, în special în lunile mai și august ale anului curent formării inelului anual. Creșterea temperaturilor și creșterea ratelor de evapotranspirație din timpul sezonului de vegetație pot duce la un deficit de apă și pot reduce creșterea radială a speciei prin scăderea asimilării carbonului și a formării xilemului (Ren et al., 2018).

Pentru expoziția umbră, modelul dendroclimatic evidențiază un răspuns pozitiv la temperaturile din luna mai a anului precedent, respectiv iulie și august din anul curent formării inelului anual. Influență pozitivă și semnificativă din punct de vedere statistic au și precipitațiile din luna august din sezonul de vegetație precedent. Corelații pozitive cu temperaturile din luna mai a anului precedent, respectiv cu temperaturile din lunile de vară ale anului curent, s-au constatat că există și în cazul jneapănului din zona de limită superioară a pădurii din Alpii Elvețieni (Heikkinen, 1980) și zona centrală a Alpilor Italiani (Pelfini et al., 2006), totodată regimul pluviometric din luna august influențând pozitiv creșterea arbuștilor.

Analiza corelațiilor pe perioade mobile, pentru jneapănul de pe expoziția umbră, relevă faptul că temperatura din luna septembrie și octombrie anul precedent este corelată pozitiv și semnificativ statistic cu creșterea radială în primele decenii ale perioadei analizate, ulterior corelația fiind redusă și nesemnificativă statistic. Influența pozitivă și semnificativă statistic a temperaturilor din timpul verii (iulie și august) se menține constantă indiferent de perioadă. Există o corelație slabă, negativă cu precipitațiile din luna mai, la mijlocul și spre sfârșitul perioadei analizate, dar nesemnificativă din punct de vedere statistic. Se constată totuși o creștere a coeficientului de corelație cu precipitațiile din luna iulie anul curent pentru sfârșitul perioadei analizate, cu valori pozitive ale corelației, dar nesemnificative statistic.

Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru jneapănul de pe expoziția însorită evidențiază faptul că temperatura din luna ianuarie anul curent este corelată pozitiv și semnificativ statistic cu creșterea radială la mijlocul perioadei analizate, ulterior devenind nesemnificativă statistic. Se observă de asemenea o creștere a coeficientului de corelație cu temperatura din luna august anul curent pentru începutul perioadei analizate, nesemnificativă statistic. Aceasta devine semnificativă statistic la mijlocul perioadei analizate, cu valori pozitive ale corelației. Referitor la regimul precipitațiilor, analiza pe perioade mobile a evidențiat corelații semnificative statistic, cu valori negative ale corelației în lunile mai și iunie, pentru sfârșitul perioadei analizate.

La **rododendron** seria de creștere radială pentru expoziția umbră acoperă perioada anilor 1957-2018, iar lungimea seriilor de creștere individuale variază între 21 și 62 de ani cu o medie de 32 de ani. Creșterea radială medie este de $0,13 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$, cu valori medii individuale între $0,06 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ și $0,24 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$. Sensibilitatea medie este de 0,35, iar autocorelația de ordinul I este egală cu 0,41. Seria de creștere radială pentru expoziția însorită acoperă perioada anilor 1959-2018, cu o lungime a seriilor de creștere individuale ce variază între 19 și 60 de ani, respectiv cu o medie de 33 de ani. Creșterea radială medie este de $0,19 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ cu valori medii individuale între $0,09 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ și $0,31 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$. Sensibilitatea medie este de 0,31, iar autocorelația de ordinul I este egală cu 0,49 (Figura 5.24).

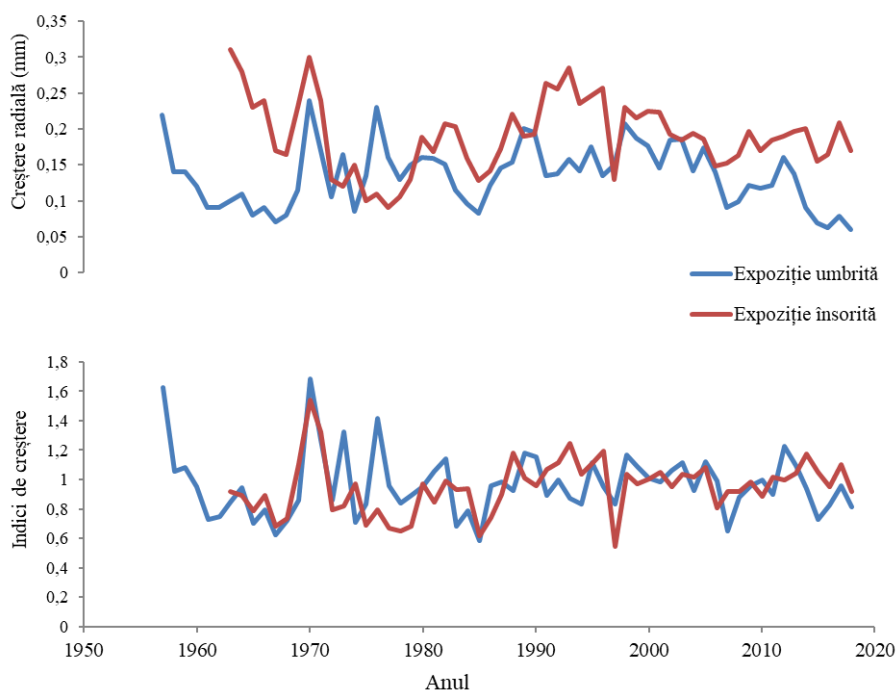


Figura 5.24. Seria de creștere radială medie și seria de indici de creștere pentru rododendron

Modelul dendroclimatic specific exemplarelor de rododendron situate în zona cu expoziție însorită este dominat de o corelație pozitivă și semnificativă din punct de vedere statistic cu temperaturile din lunile iulie și august din sezonul de vegetație precedent, respectiv cu temperaturile din timpul verii din anul curent al formării inelului anual, cu valori cuprinse între 0,26 și 0,33. Temperatura este principalul factor din această zonă care guvernează creșterea radială a acestei specii, temperaturile în creștere ale aerului din vară favorizând producerea de inele de creștere mai mari, un fenomen care este bine cunoscut și la speciile de arbuști pitici care cresc în aceste ecosisteme (Liang și Eckstein, 2009; Myers-Smith et al., 2015; Francon et al., 2017). Referitor la regimul precipitațiilor se remarcă corelații negative cu indicii

de creștere, dar semnificative statistic în lunile aprilie și septembrie din anul precedent formării inelului anual și luna aprilie din sezonul de vegetație curent (Figura 5.25).

Influența negativă a precipitațiilor de la începutul sezonului de vegetație se reflectă în startul târziu al producerii celulelor și al prelungirii stării de dormanță, va scurta durata sezonului de vegetație și, în cele din urmă, va limita creșterea arbuștilor (Pellizzari et al., 2014; Carrer et al., 2019), precipitațiile din toamnă stagnând producerea mugurilor vegetativi pentru sezonul de vegetație următor.

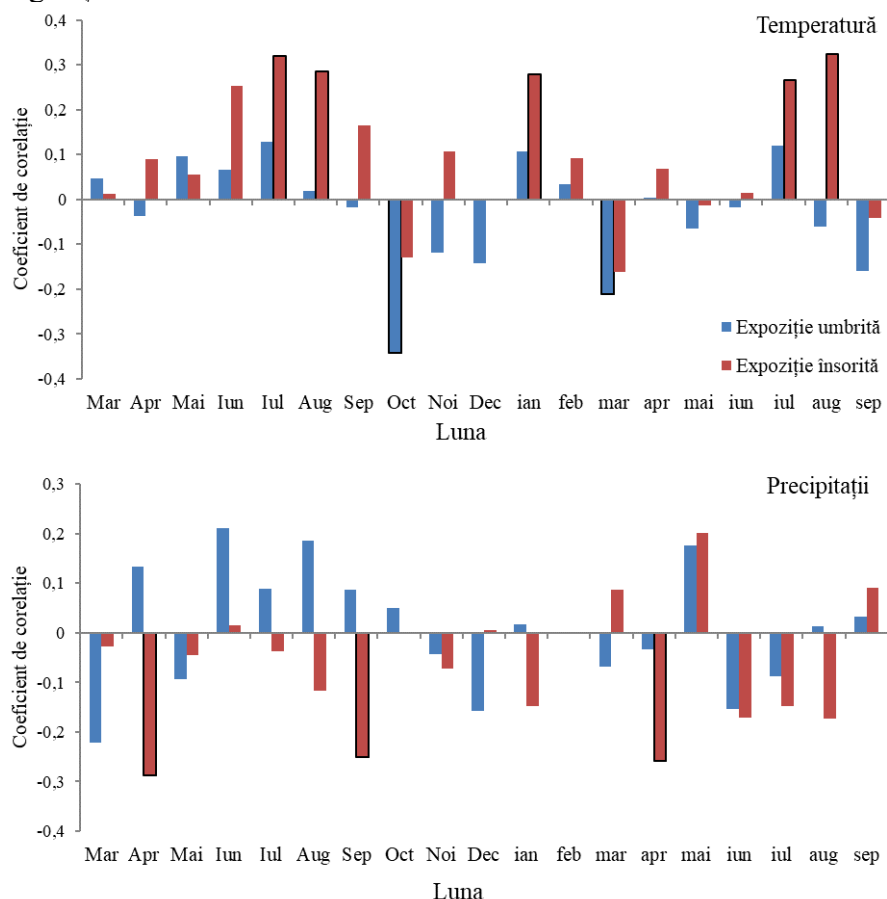


Figura 5.25. Corelația dintre indicii de creștere radială și factorii climatici pentru rododendron

În ceea ce privește expoziția umbrită, modelul dendroclimatic rezultat din analiza coeficienților de corelație evidențiază o corelație negativă cu temperaturile din luna octombrie a anului precedent formării inelului anual de creștere, respectiv cu temperaturile din luna martie din anul curent. Diferențele de temperatură între zi și noapte din luna octombrie a anului precedent formării inelului anual pot produce, prin îngheț, vătămări ale mugurilor vegetativi activi și frunzelor (Taschler și Neuner, 2004), și pot reduce activitatea rădăcinilor.

Influențe pozitive, pentru această zonă, au fost înregistrate și în cazul temperaturilor din lunile mai, iunie și iulie din sezonul de vegetație precedent, respectiv luna iulie din sezonul de vegetație curent, dar fără a fi semnificative din punct de vedere statistic. De asemenea nu au fost înregistrate corelații semnificative din punct de vedere statistic în ceea ce privește precipitațiile din această zonă. Precipitațiile nu sunt un factor critic pe expozițiile umbrite, deoarece în general se primește suficientă apă din precipitații, chiar și în lunile de vară.

Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru rododendronul de pe versantul umbrat relevă faptul că temperatura din luna octombrie anul precedent este corelată negativ și semnificativ statistic cu creșterea radială în primele decenii ale perioadei analizate. În ultimele decenii se constată o corelație negativă, semnificativă statistic, a indicilor de creștere radială cu

temperatura din luna decembrie a anului precedent. Analiza pe perioade mobile a precipitațiilor din această zonă nu a evidențiat corelații semnificative.

Pentru rododendronul de pe expoziția însorită, analiza corelațiilor pe perioade mobile relevă faptul că influență pozitivă și semnificativă statistic au temperaturile din timpul verii (iulie și august) a anului curent care se menține constantă indiferent de perioadă.

Analiza pe perioade mobile a precipitațiilor de pe această expoziție a evidențiat corelații negative și semnificative statistic pentru luna septembrie, toamna precedentă, la mijlocul perioadei analizate. Influența negativă și semnificativă statistic a precipitațiilor din timpul primăverii (aprilie) se menține relativ constantă pe toată perioada analizată, cu excepția ultimelor decenii. Precipitațiile de la începutul verii (iunie) influențează negativ creșterea radială a rododendronului cu precădere în a doua parte a perioadei analizate.

Analizele statistice realizate pe baza lățimii inelului anual pentru speciile jneapăn și rododendron au permis stabilirea de modele dendroclimatice specifice pentru fiecare specie, evidențiind în același timp și influența expoziției versantului asupra relației dintre creșterea radială și valorile medii lunare ale parametrilor climatici.

În cazul expoziției însorite modelul dendroclimatic este caracterizat de răspunsul pozitiv la temperaturile verii din sezonul de vegetație precedent și curent în cazul rododendronului și în cazul ambelor specii la temperaturile din iarna anului curent formării inelului anual. O influență negativă a regimului precipitațiilor se observă la ambele specii analizate, în primăvara sezonului de vegetație curent, în timpul verii fiind observată doar la jneapăn.

În cazul expoziției umbrite, modelul dendroclimatic este caracterizat de un răspuns slab la regimul termic înregistrat pe toată durata sezonului de vegetație precedent în cazul particular al rododendronului, înghețurile din toamnă provocate de temperaturi scăzute și cele din primăvara anului curent au evidențiat o influență negativă asupra creșterii radiale. Creșterea radială răspunde pozitiv și semnificativ statistic la temperaturile din sezonul de vegetație doar în cazul jneapănului. Regimul precipitațiilor de pe această expoziție nu reprezintă un factor limitativ al creșterii radiale, în condițiile în care se menține o umiditate ridicată a versantului (Panthi et al., 2021).

Astfel, temperatura din anul precedent formării inelului anual a influențat pozitiv creșterea în primăvara târzie (mai) în cazul jneapănului de pe versantul umbrit și în sezonul de vară (iulie-august) la rododendronul situat pe versantul însorit. Aceste rezultate sunt susținute și de alți cercetători, unde temperaturile din timpul sezonului de vegetație premurgător formării inelelor de creștere au influențat pozitiv activitatea microbiană din sol, în special a micorizelor (Oberhuber, 2004; Oberhuber et al., 2008), acumularea de carbohidrați (Hoch et al., 2003; Francon et al., 2017), dar și formarea zonei cambiale (Vaganov et al., 2006, Martin-Benito et al., 2013).

Pe versantul însorit la speciile jneapăn și rododendron temperatura de pe parcursul lunilor de iarnă din anul curent formării inelului anual, în mod special luna ianuarie, a influențat în mod pozitiv creșterea radială, având un impact puternic și asupra activității cambiale (Körner, 2012, 2015), dar și asupra evenimentelor fenologice din primăvară ale plantelor lemnoase din ecotonurile alpine (Bokhorst et al., 2008; Basnett et al., 2019). De asemenea o influență pozitivă asupra creșterii radiale au avut-o și temperaturile din perioada de vară (iulie-august) la jneapănul situat pe versantul umbrit și la rododendronul situat pe versantul însorit, rezultatele noastre fiind în concordanță cu studiile dendroecologice realizate în Alpi asupra creșterii radiale a speciilor de arbuști (Pellizzari et al., 2014; Francon et al., 2017, 2021; Carrer et al., 2019).

Nu au fost înregistrate corelații pozitive semnificative în ceea ce privește precipitațiile din anul curent, dar o influență negativă a avut-o corelația cu precipitațiile din primăvară la rododendronul de pe ambii versanți și cu cele din vară la jneapănul de pe versantul însorit, sugerând un stres fiziologic, fie din cauza disponibilității mai reduse a apei din sol, fie din cauza deficitului de umiditate din aer, indus de căldură (Pandey et al., 2020).

6. Concluzii și contribuții personale

6.1. Concluzii

Activitățile de cercetare efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat sunt cercetări fundamentale și au vizat analiza integrată și complexă a proceselor fenologice și de creștere a speciilor de arbuști în raport cu factorii climatici determinanți ai supraviețuirii acestora, din două zone contrastante ale unui etaj de vegetație montan din Carpații Orientali. În urma acestora, a rezultat o serie de informații cu caracter original, specifice zonei subalpine studiate, necesare pentru cunoașterea răspunsului și adaptării ecosistemelor montane înalte la schimbările actuale de mediu și pentru formularea unor măsuri de management adecvate pentru asigurarea stării de conservare favorabile a habitatelor din zona de studiu.

Concluzii cu privire la variația parametrilor climatici monitorizați în zona subalpină a Munților Călimani

Dintre numeroșii factori determinanți ai creșterii, dezvoltării și supraviețuirii speciilor de arbuști din zona subalpină, un rol deosebit de important îl are temperatura și umiditatea relativă a aerului și a solului. Ciclul biologic al plantelor, precum și distribuția vegetației pe nivele altitudinale sunt influențate în principal de temperatură, care setează un anumit prag de la care încep procesele fiziologice ale acestora.

Din analiza datelor obținute din teren a rezultat faptul că temperatura medie a aerului la care se desfășoară procesele fiziologice din sezoanele de vegetație 2018-2019 din ambele zone monitorizate se regăsește în jurul valorilor de 10°C.

Temperatura aerului de la debutul proceselor fenologice și de creștere în lungime din anul 2018 a fost în medie cu 4°C mai mare ca în anul 2019. Aceste diferențe dintre valorile temperaturii medii lunare nu s-au menținut pentru mult timp, deoarece în sezonul de vară din anul 2019, temperatura medie a aerului a fost cu 2°C mai mare ca în sezonul din anul 2018. Acest aspect a influențat în mod direct durata sezonului de vegetație, care a fost mai scurtă în anul 2019 comparativ cu anul 2018.

Amplitudinea crescută a variației temperaturii aerului de la debutul sezonului de vegetație din anul 2019 s-a menținut pe toată durata sezonului și a fost mai mare comparativ cu aceeași perioadă din anul 2018, mai ales în zona cu expoziție umbră.

Valorile umidității aerului din timpul iernii și primăverii sunt în general mai scăzute decât cele din timpul sezonului de vegetație, care se situează la un procent mediu de 85%, fără diferențe semnificative între zonele de studiu. În timpul anului 2019, valori medii mai scăzute cu 5% au fost observate pe parcursul sezonului de vegetație, comparativ cu anul precedent.

Temperatura solului de la începutul sezonului de vegetație a fost mai scăzută în anul 2019 față de anul 2018 cu 4°C. Pe versantul cu expoziție umbră temperatura solului în anul 2018 a fost mai ridicată la ambele nivele de adâncime a solului comparativ cu expoziția însorită. În schimb în anul 2019 pe expoziția însorită sunt înregistrate valori mai mari ale temperaturii solului comparativ cu versantul umbră. Valorile maxime ale amplitudinii zilnice a temperaturii solului s-au înregistrat în zona cu expoziție umbră. Temperatura solului din perioada de iarnă se menține în jurul valorii de 0°C.

Referitor la umiditatea solului, aceasta prezintă o dinamică sezonieră cu valori relativ scăzute la începutul sezonului de vegetație și care variază în funcție de precipitațiile atmosferice. Spre sfârșitul sezonului de vegetație se observă un trend descrescător al umidității solului, în special pe expoziția umbră, înregistrând valori minime la începutul anotimpului rece. Solul din ambele zone de studiu conține o cantitate suficientă de apă în sol pentru desfășurarea proceselor metabolice, valori mai mari ale umidității solului fiind observate pe expoziția însorită.

Concluzii cu privire la fenologia speciilor de arbuști

Răspunsurile speciilor de arbuști din zona subalpină la schimbările climatice sunt complexe. Speciile de arbuști cu cel mai rapid start al fazelor fenologice din primăvară sunt reprezentate de afin și anin verde. Debutul fenofazelor, în anul 2018, a avut loc mai devreme în zona cu expoziție însorită și mai târziu în zona cu expoziție umbrită. În anul 2019, începutul fazelor fenologice s-a produs aproximativ la aceeași dată, în ambele zone de studiu.

Durata fenofazelor nu a fost identică, ci a variat în funcție de specie, de expoziția versantului și de sezonul de vegetație. În general, durata medie a sezonului în care s-au produs fenofazele a fost mai scurtă pe versantul cu expoziție umbrită față de cel cu expoziție însorită. De asemenea sezonul de vegetație din anul 2019 a avut o durată medie mai scurtă comparativ cu anul precedent, fiind influențat în principal de prelungirea duratei de topire a stratului de zăpadă din primăvară. Decalajul de producere a fenofazelor datorat expoziției a fost în medie de 5-10 zile. Perioadele de frig, adesea însoțite de înghețuri târzii, pot întârzia considerabil dezvoltarea fenologică.

Fenofaza de înmugurire este dependentă în mod direct de temperatură. În general, startul fenofazei de înmugurire s-a produs în jurul valorii medii a temperaturii aerului de 5°C pentru specia afin, 6°C pentru anin verde și 7°C pentru celelalte specii monitorizate. Cea mai scurtă durată a fenofazei de înmugurire au avut-o speciile anin verde (20 de zile), afin (20 de zile) și ienupăr (21 de zile). La polul opus s-a aflat jneapănul (29 de zile), fiind cea mai dependentă, dintre speciile studiate, de valorile crescute ale temperaturii. Valori medii intermediare ale duratei fenofazei (23 de zile) au fost observate la merișor și rododendron.

Din punct de vedere al duratei fenofazei de înfrunzire, speciile de arbuști se ordonează astfel: aninul verde are cea mai scurtă durată de formare a frunzelor (21 de zile), fiind urmată de afin și ienupăr (26 de zile), apoi de celelalte specii de *Ericaceae*, respectiv rododendron și merișor (33 de zile). Fenofaza de înfrunzire cu cea mai lungă durată lungă de timp a fost constatată în cazul jneapănului (55 de zile).

În ceea ce privește fenofaza de înflorire, prima dată aceasta se observă la speciile de *Ericaceae*, respectiv afin, merișor și rododendron. Aninul verde înflorește în același timp cu rododendronul, iar la ambele specii florile se mențin pe o scurtă perioadă de timp (21 de zile). Deși s-a observat că este o specie tardivă, jneapănul are o durată de înflorire apropiată cu a afinului (29 de zile). Cea mai lungă durată a procesului de înflorire s-a remarcat la merișor, indiferent de expoziție, an și condiții climatice (43 de zile).

Fenofaza de formare a fructelor se desfășoară în mod similar la speciile cu frunze caduce monitorizate, afin și anin verde, fructele fiind complet formate după 40 de zile de la debutul fenofazei, în cazul ambelor specii. Jneapănul a înregistrat, în mod surprinzător, cea mai scurtă durată a procesului de formare a fructelor (24 de zile), comparativ cu celelalte specii analizate. Merișorul necesită cea mai lungă perioadă de formare a fructelor, respectiv de 53 de zile, care se desfășoară inclusiv în primele decade ale toamnei.

Deși începe mai devreme, fenofaza de colorare a frunzelor la afin durează mai mult cu 5 zile ca la aninul verde (25 de zile) și se finalizează la aceeași dată, la sfârșitul verii.

O dată cu finalizarea fenofazei de colorare a frunzelor, se declanșează fenofaza de cădere a frunzelor la afin și anin verde. Aceasta are loc în același timp la ambele specii și este influențată în mare parte de amplitudinea de variație a temperaturii de la începutul toamnei.

În mod particular la specia afin, comparativ cu anul 1981, există un avans considerabil al debutului tuturor fenofazelor monitorizate, de la 32 de zile la fenofaza de înmugurire până la 77 de zile la fenofaza de colorare a frunzelor.

Observațiile fenologice sunt extrem de avantajoase deoarece prin intermediul acestora se poate exemplifica și evidenția impactul schimbărilor climatice și se poate evalua distribuția speciilor din perspectiva schimbărilor viitoare de mediu.

Concluzii cu privire la dinamica creșterii în lungime la nivel intra-anual a speciilor de arbuști

Startul creșterii lujerilor variază de la specie la specie și este întârziat cu cât este mai scăzută temperatura de la începutul sezonului de vegetație. Creșterea se termină aproximativ în același timp în toate suprafețele de cercetare, dacă sunt înregistrate temperaturi ridicate în perioada anotimpului cald. Într-o anumită măsură, sporirea ratei de creștere poate compensa un sezon scurt de vegetație, în condiții meteorologice favorabile.

Stratul de zăpadă precum și rata de topire al acestuia din primăvară, influențează procesele de creștere în lungime a arbuștilor. Regimul temperaturilor din ambele zone de studiu a arătat că procesul de creștere în lungime a lujerilor a început când temperatura medie săptămânală a început să depășească 5 °C, dar creșterea rapidă a acestora nu a fost posibilă până când temperatura a crescut peste 10°C.

Procesul de creștere în lungime în anul 2018, începe mai devreme (DOY 130±3) pe versantul cu expoziție umbrită la speciile merișor, anin verde, afin și jneapăn și mai târziu (DOY 150±4) la ienupăr și rododendron. Pe expoziția însorită, creșterea în lungime debutează mai târziu comparativ cu expoziția umbrită, respectiv DOY 139±6 la ienupăr, merișor și jneapăn și DOY 148±11 la rododendron, afin și anin verde. Startul creșterii în lungime în anul 2019 se produce mai devreme în suprafața de cercetare cu expoziție însorită (DOY 139±4) la speciile anin verde, jneapăn, afin și rododendron și DOY 144±7 la merișor și ienupăr. Pe versantul cu expoziție umbrită, creșterea în lungime începe mai întâi (DOY 148±5) la speciile ienupăr, jneapăn și anin verde, fiind urmate de speciile de *Ericaceae*, respectiv de rododendron, merișor și afin în DOY 150±6.

Durata sezonului de creștere variază la nivel de zonă de studiu și la nivel intra și interspecific, având valori medii cuprinse între 60 și 90 de zile. Aceasta a avut un timp mai scurt pe versantul cu expoziție însorită (64±8 zile) comparativ cu expoziția umbrită (67±11 zile) în sezonul de vegetație 2018. În anul 2019, sezonul de creștere a avut o durată mai scurtă în suprafața de cercetare cu expoziție umbrită (63±7 zile) față de expoziția însorită (71±5 zile).

La nivel de specie, sezonul de creștere în lungime durează în medie: 58±10 zile în cazul rododendronului, 62±11 zile la merișor, 64±8 zile la jneapăn, 69±12 zile la afin, 72±2 zile la ienupăr și 73±7 zile la aninul verde.

Din punct de vedere al datei la care se produce, creșterea zilnică maximă în lungime în sezonul de vegetație 2018 a fost observată mai întâi la afin (DOY 140), fiind urmat de jneapăn (DOY 153), merișor (DOY 155), rododendron (DOY 158), anin verde (DOY 173) și ienupăr (DOY 185). În sezonul de vegetație 2019, se observă că maximum creșterii zilnice are loc mai repede tot la afin (DOY 160), apoi la jneapăn (DOY 163), rododendron (168), merișor (DOY 170), anin verde (DOY 183) și ienupăr (DOY 193).

Procesul de creștere în lungime a speciilor de arbuști monitorizate se încheie mai devreme (DOY 204±14) în zona cu expoziție umbrită, comparativ cu expoziția însorită (DOY 207±16) în anul 2018. În anul 2019 creșterea în lungime se finalizează în aceeași perioadă (DOY 212±10), în ambele suprafețe de cercetare monitorizate.

Data la care se finalizează procesele de creștere în lungime ale speciilor monitorizate se ierarhizează astfel: DOY 204±12 la jneapăn, DOY 205±14 la rododendron, DOY 205±21 la afin, DOY 209±17 la merișor, DOY 213±9 la anin verde și 217±5 la ienupăr.

Cele mai mari creșteri cumulate în lungime din suprafața de cercetare cu expoziție însorită au fost observate la speciile anin verde și merișor în ambele sezoane de vegetație monitorizate și la jneapăn în anul 2018. În suprafața de cercetare cu expoziție umbrită, valorile maxime ale creșterii cumulate în lungime au fost observate la speciile ienupăr, afin și rododendron în ambii ani de referință și la jneapăn în anul 2019.

O poziție dominantă par să aibă speciile arbustive de talie mare în detrimentul speciilor cu talie mică, jneapănul și aninul verde pot avea o rată de colonizare mult mai mare în ecosistemele din această zonă subalpină.

Concluzii cu privire la dinamica creșterii în lungime la nivel inter-anual a speciilor de arbuști

Corelația indicilor de creștere în lungime cu parametri climatici nu a fost semnificativă din punct de vedere statistic, însă s-au observat corelații pozitive cu temperatura din lunile de primăvară (martie și aprilie) în cazul ambelor specii analizate și temperatura din iulie-august doar pentru afin. Corelații pozitive au fost observate și în timpul toamnei, respectiv în luna octombrie pentru afin și noiembrie pentru jneapăn.

Temperaturile din timpul verii se corelează negativ cu indicii de creștere în lungime pentru specia jneapăn. La afin, corelații negative în sezonul de vară se înregistrează doar în luna iunie din anul curent și luna august din anul precedent.

Deși nu au fost înregistrate corelații semnificative statistic ale regimului precipitațiilor cu indicii de creștere în lungime, totuși se remarcă corelații pozitive cu precipitațiile din timpul lunilor aprilie-iunie anul precedent și mai și septembrie din anul curent pentru jneapăn. Corelații negative cu precipitațiile din timpul sezoanelor de vegetație s-au evidențiat mai ales în cazul afinului, unde singurele corelații pozitive au fost observate în timpul lunilor de iarnă din anul curent.

Analiza corelației cu regimul climatic pe perioade mobile nu a fost posibilă în cazul afinului datorită lungimii scurte a seriei de creștere. În schimb, în cazul jneapănului, analiza a relevat faptul că temperatura din luna septembrie a anului precedent se corelează negativ și semnificativ statistic cu creșterea în lungime în primele decenii ale perioadei analizate, similar și pentru mijlocul perioadei analizate cu temperatura din luna februarie.

În analiza creșterii în lungime a speciilor de arbuști, s-au constatat diferențe între specii în ceea ce privește dinamica ratei de creștere între ani. Jneapănul a avut o rată medie de creștere în lungime de $95,46 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$, iar la afin creșterea medie în lungime a fost de $59 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$. De asemenea sensibilitatea medie a fost mai ridicată la afin (0,37) comparativ cu jneapănul (0,27).

Concluzii cu privire la dinamica creșterii radiale la nivel inter-anual a speciilor de arbuști

Modelele dendroclimatice specifice speciilor de arbuști din zona subalpină sunt dominate atât de corelații pozitive cât și negative cu regimul temperaturilor și precipitațiilor din această zonă, variind la nivel de specie și de expoziție.

În mod general, temperaturile de la începutul și din timpul sezonului de vegetație anterior sau curent formării inelului anual de creștere au o influență pozitivă și din punct de vedere statistic asupra creșterii radiale a speciilor de arbuști. Astfel, temperatura din timpul verii influențează creșterea radială la jneapănul situat pe versantul cu expoziție umbră și la rododendronul situat pe expoziția însorită. Tot la jneapănul de pe expoziția umbră au fost observate corelații pozitive semnificative statistic cu temperatura din luna mai a anului precedent formării inelului anual.

Corelația pozitivă și semnificativă din punct de vedere statistic cu temperaturile din luna ianuarie a anului curent formării inelului anual a fost evidentă la jneapănul și rododendronul din suprafața de cercetare cu expoziție însorită. Corelații pozitive cu temperaturile din luna iulie a anului curent au fost observate și la jneapănul din zona cu expoziție însorită dar și la rododendronul de pe expoziția umbră. Corelații negative au fost înregistrate doar la specia rododendron de pe versantul cu expoziție umbră, cu temperaturile din luna octombrie din anul precedent și martie din anul curent creșterii radiale.

Din punct de vedere al corelației indicilor de creștere radială cu regimul precipitațiilor, s-a constatat că precipitațiile din luna august a anului precedent influențează creșterea radială a

jneapănului și rododendronului de pe versantul cu expoziție umbrită. Corelații pozitive au fost observate și cu precipitațiile din luna mai a anului curent formării inelului de creștere la rododendron.

Precipitațiile din primăvara anului precedent au o influență negativă asupra creșterii radiale a rododendronului de pe expoziția însorită și a jneapănului de pe expoziția umbrită, iar precipitațiile din primăvara anului curent se corelează negativ și semnificativ cu indicii de creștere la rododendronul și jneapănul de pe versantul cu expoziție însorită. Se remarcă de asemenea pe expoziția însorită, corelații negative a precipitațiilor cu indicii de creștere, în luna septembrie a anului precedent la rododendron și în luna august a anului curent, la jneapăn.

Analiza corelațiilor pe perioade mobile relevă faptul că pe versantul cu expoziție umbrită temperatura din luna septembrie și octombrie din anul precedent este corelată pozitiv și semnificativ statistic cu creșterea radială în primele decenii ale perioadei analizate, la jneapăn. Similar cu aceeași perioadă, temperatura din luna octombrie din anul precedent este corelată negativ și semnificativ statistic cu creșterea radială a rododendronului, iar în ultimele decenii ale perioadei analizate, influență negativă are temperatura din luna septembrie la jneapăn și temperatura din luna decembrie la rododendron.

Se menține constantă, indiferent de perioada analizată, influența pozitivă și semnificativă statistic a temperaturilor din timpul verii (iulie și august) anului curent formării inelului de creștere a jneapănului din suprafața de cercetare cu expoziție umbrită și a rododendronului din suprafața de cercetare cu expoziție însorită. Valori pozitive ale coeficientului de corelație cu temperatura din luna ianuarie au fost remarcate la mijlocul perioadei analizate în cazul jneapănului de pe expoziția însorită și la sfârșitul perioadei, la jneapănul de pe expoziția umbrită.

Referitor la regimul precipitațiilor, analiza pe perioade mobile nu a evidențiat corelații semnificative în cazul jneapănului și rododendronului de pe versantul umbrat. Corelații semnificative statistic, cu valori negative ale corelației s-au remarcat în suprafața de cercetare cu expoziție însorită, începând cu luna septembrie, toamna precedentă, la mijlocul perioadei analizate, la rododendron. Tot la rododendron s-a menținut relativ constantă, influența negativă a precipitațiilor din timpul primăverii (aprilie) asupra creșterii radiale, pe toată perioada analizată, cu excepția ultimelor decenii. În ultimele decenii ale perioadei de referință au fost evidențiate valori negative semnificative statistic ale corelației indicilor de creștere cu precipitațiile din lunile mai și iunie pentru jneapăn și iunie pentru rododendronul de pe versantul cu expoziție însorită.

Și în analiza creșterii radiale a speciilor de arbuști s-au constatat diferențe între specii, în ceea ce privește dinamica ratei de creștere între ani. Seria de creștere radială a avut o lungime maximă de 133 de ani în cazul jneapănului și de 62 de ani în cazul rododendronului. Cele mai mari creșteri radiale au fost înregistrate pe versantul cu expoziție însorită, respectiv $1,1 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ la jneapăn și $0,31 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$ la rododendron. Sensibilitatea medie este mai mare la exemplarele din suprafața de cercetare cu expoziție umbrată, fiind de 0,19 la jneapăn și 0,35 la rododendron.

6.2. Contribuții personale

Cercetările efectuate în prezenta teză de doctorat au adus următoarele contribuții originale în ceea ce privește dinamica fenologică și a creșterii speciilor de arbuști din zona subalpină a Munților Călimani, dintre care menționăm:

- Am dezvoltat și aplicat o metodă îmbunătățită de evaluare a fenologiei și creșterii speciilor de arbuști, adaptată situației specifice din munții Călimani;
- Am efectuat pentru prima dată un studiu fenologic asupra speciilor de arbuști din zona subalpină a Carpaților Orientali, prin observații săptămânale și monitorizarea unui eșantion reprezentativ de indivizi, de pe două expoziții diferite;
- Pentru masivul Călimani, am determinat durata fenofazelor pentru specii de arbuști și perioadele la care se produc acestea;
- Am analizat dinamica principalilor parametri climatici determinanți ai proceselor de creștere și a fenologiei speciilor de arbuști din zonele de studiu;
- Am realizat în premieră analize corelative între parametri climatici și indicii de creștere în lungime la două specii reprezentative de arbuști (jneapăn și afin) din zona subalpină a munților Călimani;
- Am cuantificat influența temperaturii și precipitațiilor asupra dinamicii formării inelului anual la jneapăn și rododendron, pe două expoziții contrastante din Parcul Național Călimani;
- Am efectuat în premieră măsurători privind dinamica creșterii în lungime la nivel intra-anual a speciilor de arbuști;
- Metodologia utilizată în studiul fenologic asupra speciilor de arbuști poate fi folosită ca instrument de monitorizare la nivelul parcului național și la nivelul altor arii naturale protejate din țara noastră;
- Rezultatele cercetării pot fi folosite la formularea unor recomandări importante privind managementul ecosistemelor alpine și subalpine din spațiul carpatic.

Cunoașterea fenologiei și a dinamicii creșterii speciilor lemnoase situate la altitudini înalte poate contribui la conservarea și protecția habitatelor acestora, în contextul generat tot mai mult de schimbările climatice și de managementul defectuos al unor astfel de ecosisteme. De asemenea, prin aplicarea noilor metode de cuantificare a răspunsului plantelor la factorii de mediu determinanți din acest etaj de vegetație, precum și prin abordarea interspecifică și multiproxy, teza de doctorat constituie o mică etapă a cunoașterii specificității ecosistemelor montane carpatine.

Bibliografie

1. Amagai, Y., Kaneko, M., & Kudo, G. (2015). Habitat-specific responses of shoot growth and distribution of alpine dwarf-pine (*Pinus pumila*) to climate variation. *Ecological research*, 30(6), 969-977.
2. Anadon-Rosell, A., Rixen, C., Cherubini, P., Wipf, S., Hagedorn, F., & Dawes, M. A. (2014). Growth and phenology of three dwarf shrub species in a six-year soil warming experiment at the alpine treeline. *PLoS One*, 9(6), e100577.
3. Anadon-Rosell, A., Dawes, M. A., Fonti, P., Hagedorn, F., Rixen, C., & von Arx, G. (2018). Xylem anatomical and growth responses of the dwarf shrub *Vaccinium myrtillus* to experimental CO₂ enrichment and soil warming at treeline. *Science of the total environment*, 642, 1172-1183.
4. Basnett, S., Nagaraju, S. K., Ravikanth, G., & Devy, S. M. (2019). Influence of phylogeny and abiotic factors varies across early and late reproductive phenology of Himalayan *Rhododendrons*. *Ecosphere*, 10(1), e02581.
5. Berner, L. T., Massey, R., Jantz, P., Forbes, B. C., Macias-Fauria, M., Myers-Smith, I., ... & Goetz, S. J. (2020). Summer warming explains widespread but not uniform greening in the Arctic tundra biome. *Nature Communications*, 11(1), 1-12.
6. Beuker, E., Raspe, S., Bastrup-Birk, A., Preuhsler, T., & Fleck, S. (2016). Part VI: phenological observations. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Thünen Institute of Forest Ecosystems, 1-12.
7. 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.
8. Blaser, P. (1980). Der Boden als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe (Stillberg, Davos). Eidg. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen.
9. Bleiholder, H., Weber, E., Lancashire, P., Feller, C., Buhr, L., Hess, M., ... & Strauss, R. (2001). Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. *BBCH monograph*, 158.
10. Bokhorst, S., Bjerke, J. W., Bowles, F. W., Melillo, J., Callaghan, T. V., & Phoenix, G. K. (2008). Impacts of extreme winter warming in the sub-Arctic: growing season responses of dwarf shrub heathland. *Global Change Biology*, 14(11), 2603-2612.
11. Carrer, M., Pellizzari, E., Prendin, A. L., Pividori, M., & Brunetti, M. (2019). Winter precipitation-not summer temperature-is still the main driver for Alpine shrub growth. *Science of the total environment*, 682, 171-179.
12. Caviezel, C., Hunziker, M., & Kuhn, N. J. (2017). Green alder encroachment in the European Alps: The need for analyzing the spread of a native-invasive species across spatial data. *Catena*, 159, 149-158.
13. Cenușă, E. (2010). Cercetări privind instalarea vegetației naturale in zone afectate de activități miniere din Parcul National Călimani (Doctoral dissertation, Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere).
14. Cenușă, R. (1996). Probleme de ecologie forestieră-Aplicații la molidișuri naturale din Bucovina. Universitatea din Suceava. Facultatea de silvicultură.
15. Cenușă, R. (2003). Cercetări asupra dinamicii vegetatei forestiere (fenologie). Manuscris ICAS (INCDS).
16. Constantinescu, N. (1973). Regenerarea arboretelor. Ediția a II-a, Ed. Ceres, București, 668.
17. Dullinger, S., Dirnböck, T., & Grabherr, G. (2004). Modelling climate change-driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility. *Journal of ecology*, 92(2), 241-252.

18. Fecioru, A. I. S., Balabaşciuc, M., & Popa, I. (2018). Dynamic of length increment of *Vaccinium myrtillus* in the upper zone of eastern Carpathians. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, 23(42), 84-88.
19. Fecioru, A. I. S., Balabaşciuc, M., Rogojan, C., & Popa, I. (2019). Dendroclimatic models for rhododendron from treeline of Calimani Mountains. *Revista de Silvicultura și Cinegetica*, 24(45), 22-26.
20. Francon, L., Corona, C., Roussel, E., Saez, J. L., & Stoffel, M. (2017). Warm summers and moderate winter precipitation boost *Rhododendron ferrugineum* L. growth in the Taillefer massif (French Alps). *Science of the Total Environment*, 586, 1020-1031.
21. Francon, L., Corona, C., Till-Bottraud, I., Choler, P., Roussel, E., Carlson, B. Z., ... & Stoffel, M. (2021). Shrub growth in the Alps diverges from air temperature since the 1990s. *Environmental Research Letters*, 16(7), 074026.
22. Frey, W. (1977). Wechselseitige Beziehungen zwischen Schnee und Pflanze.
23. Gärtner, H., & Schweingruber, F. H. (2013). Microscopic preparation techniques for plant stem analysis. Verlag Dr. Kessel.
24. Gleason, S. M., Stephens, A. E., Tozer, W. C., Blackman, C. J., Butler, D. W., Chang, Y., ... & Westoby, M. (2018). Shoot growth of woody trees and shrubs is predicted by maximum plant height and associated traits. *Functional Ecology*, 32(2), 247-259.
25. Grace, J., Berninger, F., & Nagy, L. (2002). Impacts of climate change on the tree line. *Annals of botany*, 90(4), 537-544.
26. Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA.
27. Hallinger, M., Manthey, M., & Wilmking, M. (2010). Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist*, 186(4), 890-899.
28. Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L., & Totland, Ø. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecology letters*, 12(2), 184-195.
29. Heikkinen, O., Rastas, J., & Seppälä, M. (1980). Mountain pine radial growth and the forest limit zone in Gadmental, the Swiss Alps. *Geographical Society of Finland*.
30. Hoch, G., Richter, A., & Körner, C. (2003). Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. *Plant, Cell & Environment*, 26(7), 1067-1081.
31. Holmes, R. L. (1983). Program COFECHA user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona, Tucson.
32. Holtmeier, F. K. (Ed.). (2009). Mountain timberlines. Dordrecht: Springer Netherlands.
33. Hopp, R. J. (1974). Plant phenology observation networks. In *Phenology and seasonality modeling* (pp. 25-43). Springer, Berlin, Heidelberg.
34. Iancu, I. (1976). Contribuții la ecopedologia stațiunilor de molidișuri din munții vulcanici și la fundamentarea gospodăririi pădurilor de molid din aceste stațiuni (Cercetări în Munții Călimani). Teză de doctorat. Academia de Științe Agricole și Silvice, Secția de Pedologie, Îmbunătățiri Funciare și Mecanizare.
35. Kern, Z., Popa, I., Varga, Z., & Széles, É. (2009). Degraded temperature sensitivity of a stone pine chronology explained by dendrochemical evidences. *Dendrochronologia*, 27(2), 121-128.
36. Körner, C. (1999). Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems.
37. Körner, C. (2012). Alpine treelines: functional ecology of the global high elevation tree limits. Springer Science & Business Media.
38. Körner, C. (2015). Paradigm shift in plant growth control. *Current opinion in plant biology*, 25, 107-114.
39. Kozłowski, T. T. (1964). Shoot growth in woody plants. *The Botanical Review*, 30(3), 335-392.

40. Larsson, S. (1979). Climate as growth regulating factor in trees. I. A review of the literature. Swedish Coniferous Forest Project, Technical Report 22. Swedish University of Agricultural Science. Uppsala.
41. Liang, E., & Eckstein, D. (2009). Dendrochronological potential of the alpine shrub *Rhododendron nivale* on the south-eastern Tibetan Plateau. *Annals of Botany*, 104(4), 665-670.
42. Liang, E., Lu, X., Ren, P., Li, X., Zhu, L., & Eckstein, D. (2012). Annual increments of juniper dwarf shrubs above the tree line on the central Tibetan Plateau: a useful climatic proxy. *Annals of Botany*, 109(4), 721-728.
43. Lieth, H. (1974). Purposes of a phenology book. In *Phenology and seasonality modeling* (pp. 3-19). Springer, Berlin, Heidelberg.
44. Mäkinen, H., Nöjd, P., & Saranpää, P. (2003). Seasonal changes in stem radius and production of new tracheids in Norway spruce. *Tree Physiology*, 23(14), 959-968.
45. Martin-Benito, D., Beeckman, H., & Canellas, I. (2013). Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in a mesic Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research*, 132(1), 33-45.
46. Menzel, A., & Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397(6721), 659-659.
47. Myers-Smith, I. H., Elmendorf, S. C., Beck, P. S., Wilmking, M., Hallinger, M., Blok, D., ... & Speed, J. D. (2015). Climate sensitivity of shrub growth across the tundra biome. *Nature Climate Change*, 5(9), 887-891.
48. Nagy, L., & Grabherr, G. (2009). *The biology of alpine habitats*. Oxford University Press
49. Nechita, C., Popa, I., & Roibu, C. (2013). Disturbance history in a stone-pine (*Pinus cembra*) multicentury tree-ring chronology from Călimani Mountains (Eastern Carpathians). *Advances in Agriculture & Botany*, 5(2), 91-95.
50. Nogués-Bravo, D., Araújo, M. B., Errea, M. P., & Martinez-Rica, J. P. (2007). Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. *Global environmental change*, 17(3-4), 420-428.
51. Oberhuber, W. (2004). Influence of climate on radial growth of *Pinus cembra* within the alpine timberline ecotone. *Tree physiology*, 24(3), 291-301.
52. Oberhuber, W., Kofler, W., Pfeifer, K., Seeber, A., Gruber, A., & Wieser, G. (2008). Long-term changes in tree-ring-climate relationships at Mt. Patscherkofel (Tyrol, Austria) since the mid-1980s. *Trees*, 22(1), 31-40.
53. Oberhuber, W., Wieser, G., Bernich, F., & Gruber, A. (2022). Radial stem growth of the clonal shrub *Alnus alnobetula* at treeline is constrained by summer temperature and winter desiccation and differs in carbon allocation strategy compared to co-occurring *Pinus cembra*. *Forests*, 13(3), 440.
54. Pandey, J., Sigdel, S. R., Lu, X., Salerno, F., Dawadi, B., Liang, E., & Camarero, J. J. (2020). Early growing-season precipitation drives radial growth of alpine juniper shrubs in the central Himalayas. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 102(3), 317-330.
55. Panthi, S., Fan, Z. X., & Bräuning, A. (2021). Ring widths of *Rhododendron* shrubs reveal a persistent winter warming in the central Himalaya. *Dendrochronologia*, 65, 125799.
56. Parsons, A. N., Welker, J. M., Wookey, P. A., Press, M. C., Callaghan, T. V., & Lee, J. A. (1994). Growth responses of four sub-Arctic dwarf shrubs to simulated environmental change. *Journal of Ecology*, 307-318.
57. Pelfini, M., Leonelli, G., & Santilli, M. (2006). Climatic and environmental influences on mountain pine (*Pinus montana* Miller) growth in the Central Italian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 38(4), 614-623.

58. Pellizzari, E., Pividori, M., & Carrer, M. (2014). Winter precipitation effect in a mid-latitude temperature-limited environment: the case of common juniper at high elevation in the Alps. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104021.
59. Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Caceres, E. B., Forsythe, N., ... & Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nat Clim Change* 5: 424–430.
60. Pop, O., Buimagă-Iarinca, Ș., Anghel, T., & Stoffel, M. (2014). Effects of open-cast sulphur mining on sediment transfers and toxification of riparian forests. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 96(4), 485-496.
61. Pop, O. T., Germain, D., Meseșan, F., Gavrilă, I. G., Alexe, M., Buzilă, L., ... & Irimuș, I. A. (2019). Dendrogeomorphic assessment and sediment transfer of natural vs. mining-induced debris-flow activity in Călimani Mountains, Eastern Carpathians, Romania. *Geomorphology*, 327, 188-200.
62. Popa, I. (2003). Analiza dendroecologică a regimului perturbărilor în pădurile din nordul Carpaților Orientali. *Bucovina Forestieră*, XI, 1, 17-30.
63. Popa, I. (2004). Fundamente metodologice și aplicații de dendrocronologie. Editura Tehnică Silvică.
64. Popa, I. and Kern, Z., 2007. Efectul extremelor climatice asupra proceselor de creștere în pădurea de limită din Munții Călimani. *Revista Padurilor*, 122(2), pp.23-27.
65. Popa, I., & Bouriaud, O. (2007). 500 years summer temperature variability in Eastern Carpathians inferred from stone pine (*Pinus cembra*) tree-ring width. *TRACE 2007*, Abstracts 20.
66. Popa, I., & Bouriaud, O. (2014). Reconstruction of summer temperatures in Eastern Carpathian Mountains (Rodna Mts, Romania) back to AD 1460 from tree-rings. *International journal of climatology*, 34(3), 871-880.
67. Popa, I., & Kern, Z. (2009). Long-term summer temperature reconstruction inferred from tree-ring records from the Eastern Carpathians. *Climate dynamics*, 32(7), 1107-1117.
68. Popa, I., Kern, Z., & Nagy, B. (2006). Frost ring: a biological indicator of widespread freezing days, and 1876 AD as a case study from Calimani mts., Romania. *PROCEEDINGS-ROMANIAN ACADEMY SERIES B CHEMISTRY LIFE SCIENCES AND GEOSCIENCES*, 8(1), 55.
69. Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., ... & Weyer, N. (2019). IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland, 1(3).
70. Ren, P., Rossi, S., Camarero, J. J., Ellison, A. M., Liang, E., & Peñuelas, J. (2018). Critical temperature and precipitation thresholds for the onset of xylogenesis of *Juniperus przewalskii* in a semi-arid area of the north-eastern Tibetan Plateau. *Annals of Botany*, 121(4), 617-624.
71. Rodrigo, R., Pettit, J. L., Matula, R., Kozák, D., Bače, R., Pavlin, J., ... & Svoboda, M. (2022). Historical mixed-severity disturbances shape current diameter distributions of primary temperate Norway spruce mountain forests in Europe. *Forest Ecology and Management*, 503, 119772.
72. Rogojan, C. C., & Balabașciuc, M. (2020). Characteristics concerning the radial growth of mountain pine (*Pinus mugo*) from the subalpine ecotone area of Călimani National Park, Romania. *Advances in Agriculture & Botany*, 12(2), 52-57.
73. Rubio-Cuadrado, Á., Bravo-Oviedo, A., Mutke, S., & Del Río, M. (2018). Climate effects on growth differ according to height and diameter along the stem in *Pinus pinaster* Ait. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 11(2), 237.
74. Săvulescu, I. (2014). Vegetația forestieră a Munților Iezer. Editura Etnologică.

75. Schaber, J. (2002). Phenology in Germany in the 20th century: methods, analyses and models (Doctoral dissertation, PIK).
76. Schnelle, F. (1955). Pflanzen-Phänologie, Akademische Verlagsgesellschaft, Geest and Portig, Leipzig, 299 pp.
77. Schönenberger, W., & Frey, W. (1988). Die wichtigsten Schäden in der Versuchsaufforstung Stillberg. Schweiz. Z. Forstwes, 139(9), 805-811.
78. Schwartz, M. D. (Ed.). (2003). Phenology: an integrative environmental science (p. 564). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
79. Schwartz, M. D. (Ed.). (2013). Phenology: an integrative environmental science. Second edition. (p. 630). Springer.
80. Selås, V. (2000). Seed production of a masting dwarf shrub, *Vaccinium myrtillus*, in relation to previous reproduction and weather. Canadian Journal of Botany, 78(4), 423-429.
81. Shevtsova, A., Haukioja, E., & Ojala, A. (1997). Growth response of subarctic dwarf shrubs, *Empetrum nigrum* and *Vaccinium vitis-idaea*, to manipulated environmental conditions and species removal. Oikos, 440-458.
82. Sturm, M., Schimel, J., Michaelson, G., Welker, J. M., Oberbauer, S. F., Liston, G. E., ... & Romanovsky, V. E. (2005). Winter biological processes could help convert arctic tundra to shrubland. Bioscience, 55(1), 17-26.
83. Surdeanu, V., Pop, O., Dulgheru, M., Anghel, T., & Chiaburu, M. (2011). Relationship between trees colonization, landslide and debris-flow activity in the sulphur mining area of Calimani Mountains (Romania). Revista de Geomorfologie, 13.
84. Taschler, D., & Neuner, G. (2004). Summer frost resistance and freezing patterns measured in situ in leaves of major alpine plant growth forms in relation to their upper distribution boundary. Plant, Cell & Environment, 27(6), 737-746.
85. Taschler, D., Beikircher, B., & Neuner, G. (2004). Frost resistance and ice nucleation in leaves of five woody timberline species measured in situ during shoot expansion. Tree Physiology, 24(3), 331-337.
86. Teodosiu, M., & Mateescu, E. (2004). Fenologia-dezvoltare și perspective. O sinteză. Bucovina Forestieră, 12, 1-2.
87. Tranquillini, W. (1979). Physiological ecology of the Alpine timberline tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps. Ecol Studies 31.
88. Trouet, V., & Van Oldenborgh, G. J. (2013). KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. Tree-Ring Research, 69(1), 3-13.
89. TURNER, H., ROCHAT, P., & STREULE, A. (1975). Thermische charakteristik von hauptstandortstypen im bereich der oberen waldgrenze (Stillberg, dischmatal bei Davos).
90. Vaganov, E. A., Hughes, M. K., & Shashkin, A. V. (2006). Introduction and factors influencing the seasonal growth of trees. Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments, 1-20.
91. Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., ... & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. Nature, 416(6879), 389-395.
92. Weijers, S., Pape, R., Löffler, J., & Myers-Smith, I. H. (2018). Contrasting shrub species respond to early summer temperatures leading to correspondence of shrub growth patterns. Environmental Research Letters, 13(3), 034005.
93. Wiedmer, E., & Senn-Irlet, B. (2006). Biomass and primary productivity of an *Alnus viridis* stand—a case study from the Schächental valley, Switzerland. Botanica Helvetica.
94. Wijk, S. (1986). Influence of climate and age on annual shoot increment in *Salix herbacea*. The Journal of Ecology, 685-692.
95. Winkler, D. E., Lubetkin, K. C., Carrell, A. A., Jabis, M. D., Yang, Y., & Kueppers, L. M. (2019). Responses of alpine plant communities to climate warming. In Ecosystem consequences of soil warming (pp. 297-346). Academic Press.