

UNIVERSITATEA „ȘTEFAN CEL MARE” SUCEAVA
FACULTATEA DE SILVICULTURĂ

Ing. Anca Ionela SEMENIUC

**Dinamica intra-anuală a proceselor de creștere
radială la rășinoase în Nordul
Carpaților Orientali**

Rezumat

**Conducătorul științific:
Dr. ing CS.I. Ionel POPA**

FINANȚATORII: Ministerului Educației, Cercetării, Tineretului și Sportului.

“SOCERT. Societatea cunoașterii, dinamism prin cercetare”, număr de identificare contract POSDRU/159/1.5/S/132406. Proiectul este cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013. **Investește în Oameni!**

-Suceava, 2015-

Cuvânt înainte

Obținerea de informații privind dinamica formării inelului anual sub influența factorilor climatici reprezintă o necesitate în cunoașterea răspunsului și adaptării ecosistemelor forestiere la schimbările actuale de mediu.

Domnului C.S. I Dr.ing. Ionel Popa, doresc să-i mulțumesc cu deosebită recunoștință pentru că m-a acceptat și mi-a îndrumat primii pași în domeniul xilologiei, în cadrul Stațiunii de Cercetare - Dezvoltate, Experimentare - Producție Câmpulung Moldovenesc. Cu mult respect doresc să-i mulțumesc pentru sprijinul și înțelegerea acordată în timpul realizării studiilor mele în domeniul de specialitate și nu în ultimul rând doresc să-i mulțumesc cu multă grațitudine pentru îndrumarea minuțioasă în elaborarea tezei de doctorat.

Respect îi datorez domnului cerc. princ. I Dr.ing. Ovidiu Badea, director științific al Institutului Național de Cercetare –Dezvoltare în Silvicultură Marin Drăcea, pentru faptul că m-a acceptat în colectivul de cercetare condus de domnia sa și a analizat teza de doctorat.

Domnului Prof.univ.dr.ing. Radu Leontie Cenușă, țin să-i mulțumesc cu respect pentru observațiile și sfaturile utile recomandate în cercetările desfășurate în cadrul tezei de doctorat.

Domnilor Șef lucrări Dr.ing Cătălin Roibu și Șef lucrări Dr.ing. Daniel Avăcăriței, doresc să le mulțumesc pentru sprijinul și sfaturile acordate pe tot parcursul activității mele didactice desfășurate în cadrul Facultății de Silvicultură Suceava, și nu în ultimul rând pentru atenția cu care au examinat referatele științifice în cadrul programului de pregătire doctorală.

Mulțumiri deosebite le adresez domnilor Conf. Dr.ing Florin Clinovschi și Conf. Dr.ing Dan Marian Gurean pentru acceptarea de a fi referent oficial și de a analiza teza de doctorat. De asemenea mulțumesc doamnei Director C.S.U.D. Prof. univ. Dr. Elena-Brândușa Steiciuc pentru amabilitatea de a prezida comisia de susținere publică a tezei de doctorat.

Mulțumesc de asemenea cadrelor din conducerea Facultății de Silvicultură Suceava, pentru înțelegerea și încrederea manifestată în activitățile desfășurate.

Cu deosebită recunoștință și mulțumiri acord domnului Cerc. princ. I dr.ing Nicolai Olenici, pentru sfaturile și sprijinul oferit în realizarea și analiza statistică a datelor.

Sincere mulțumiri adresez colegilor de la Stațiunea de Cercetare – Dezvoltare și Experimentare - Producție Câmpulung Moldovenesc pentru încurajările permanente și sprijinul acordat în lucrările de teren.

Mulțumiri sunt adresate administrației Parcului Național Călimani pentru permisiunea în derularea cercetărilor în această arie protejată.

Nu în ultimul rând țin să le mulțumesc părinților mei (Gheorghe și Gena) și fratelui meu Minodor pentru înțelegerea acordată și susținerea morală.

Anca Ionela Semeniuc

Cuprins

1. Introducere.....	3
2. Scopul și obiectivele cercetării.....	4
3. Stadiul cunoștințelor în domeniul xilologiei.....	5
4. Locul, materialul și metodologia de cercetare.....	7
4.1. Zona de studiu.....	7
4.2 Metodologia de cercetare.....	8
4.2.1 Materialul de cercetare.....	8
4.2.2 Analiza xilologică a probelor de creștere.....	9
4.2.3 Monitorizarea proceselor de creștere cu dendroauxografe automate.....	10
4.2.4 Setul de date climatice.....	10
4.2.5 Prelucrarea și analiza datelor experimentale.....	11
5. Rezultate obținute.....	12
5.1 Particularități privind structura anatomică și fazele de formare a inelului anual.....	12
5.2.1 Particularități ale structurii lemnului la speciile studiate.....	12
5.2.2 Fazele de formare a inelului anual.....	12
5.2 Influența altitudinii asupra dinamicii formării inelului anual la molid și zâmbru din Parcul Național Călimani.....	14
5.3 Dinamica proceselor de creștere radială la rășinoase în Parcul Național Călimani.....	26
5.4 Dinamica fazelor de formare a inelului anual într-un arboret de amestec din Masivul Rarău.....	36
5.4.1 Dinamica fazelor de formare a inelului anual la fag.....	36
5.4.2 Dinamica fazelor de formare a inelului anual la molid și brad.....	39
5.5 Dinamica numărului de celule în arborete artificiale de rășinoase din Obcina Feredeului.....	45
5.6 Analiza comparativă a creșterii radiale evaluată prin metode xilologice și dendroauxografe.....	49
5.7 Variația parametrilor inelului anual la rășinoase din Obcina Feredeului.....	52
6. Concluzii și contribuții personale.....	55
Bibliografie.....	59

1. Introducere

Acumularea de biomasă lemnoasă (creștere radială, în înălțime, etc.) reprezintă o rezultată sintetizatoare a proceselor fiziologice și a interacțiunii arborilor cu factorii de mediu. Cel mai adesea studiile privind procesele de creștere fac referire la acumularea de lemn în secțiune transversală (creștere în diametru) și mai puțin la dinamica creșterii în înălțime, argumentul principal fiind posibilitățile de măsurare și monitorizare.

Variația condițiilor de mediu, în special cele climatice (temperatura, precipitații, etc.), joacă un rol determinant în formarea inelului anual. Inelul anual prin parametrii săi reprezintă un indicator sintetic al condițiilor de mediu din perioada în care s-a format. Lățimea inelului anual este cel mai utilizat indicator sintetic atât în studiile privind producția și productivitatea arborilor și arboretelor cât și în cercetări de dendrocronologie și dendroclimatologie.

Cunoașterea modului de variație temporală a creșterii radiale la diferite specii constituie un domeniu de actualitate al cercetării silvice. În studiul inelului anual predomină cercetările bazate pe date cu rezoluție anuală care integrează într-un singur parametru (lățime inel anual, compoziție izotopică sau chimică etc.) toată informația de mediu din perioada de formare a acestui. Xilologia, prin rezoluția temporală mai mică (intra-anuală) a stârnit un deosebit interes pentru cercetători în vederea cunoașterii proceselor și dinamicii formării inelului anual în legătură directă cu factorii de mediu.

O înțelegere mai bună a proceselor de creștere a inelului anual impune utilizarea unor metode de analize xilologice la nivel celular cu rezoluție intra-anuală. Dinamica procesului de formare a inelului anual permite obținerea de informații și cunoștințe esențiale în evaluarea proceselor de creștere.

Teza de doctorat se înscrie pe linia unor cercetări de actualitate în ceea ce privește procesele de creștere radială la arborii din zona montană în care se prezintă posibilitățile de utilizare a analizei xilologice, pe microcarote de creștere, în diferențierea și evaluarea dinamicii în timp (sub raportul numărului de celule) a fazelor de formare a inelului anual.

Argumentele prezentate scot în evidență necesitatea efectuării unui studiu xilologic complex, prin evaluarea etapelor de formare a inelului anual, în suprafețe experimentale reprezentative pentru ecosistemele forestiere din zona montană.

Ecosistemele forestiere situate la limita altitudinală superioară a pădurii din Parcul Național Călimani prezintă o importanță deosebită atât din punct de vedere științific cât și din punct de vedere al conservării biodiversității. Dinamica proceselor de creștere radială în zona montană superioară sunt restricționate în special de regimul termic, având un ritm temporal și intensitate specifică.

Mediul forestier reprezentat de amestecurile de rășinoase (molid, brad) cu fag constituie o unitate forestieră distinctă din zona montană cu importanță ecologică și economică deosebită. Disponibilitatea de informații privind dinamica creșterii radiale, la nivel intra-anual, în aceste amestecuri este redusă necesitând noi cercetări. Spre deosebire de arboretele naturale cele cu proveniență artificială, formate în special din diferite specii de rășinoase (molid, brad, pin silvestru și larice), prezintă dinamici ale proceselor de bioacumulare diferită.

Pornind de la aceste aspecte s-a considerat necesară realizarea acestor cercetări xilologice, implicând evaluări calitative și cantitative detaliate ale proceselor de formare a inelului anual. Aceste analize presupun observații detaliate de microscopia lemnului privind dinamica numărului de celule formate sau aflate în diverse faze de dezvoltare. Datele obținute pot constitui un prim pas în procesul de cunoaștere care să ducă la dezvoltarea în perspectivă a studiilor de dinamică intra-anuală a proceselor de creștere a lemnului la nivelul ecosistemelor forestiere.

2. Scopul și obiectivele cercetării

Lucrarea se înscrie pe linia unor cercetări de actualitate în ceea ce privește procesele de creștere radială în care se prezintă posibilitățile de utilizare a analizei xilologice pe microcarote de creștere în diferențierea și evaluarea dinamicii în timp (sub raportul numărului de celule) a fazelor de formare a inelului anual. Teza de doctorat are drept scop cunoașterea și evaluarea dinamicii intra-anuale a proceselor de creștere radială în relație cu factorii de mediu. Pentru atingerea acestui scop s-au stabilit următoarele obiective principale:

- Implementarea tehnicilor de analiză xilologică în cercetarea auxologică din România:
 - o prelevarea, prelucrarea și măsurarea probelor de creștere la speciile studiate;
 - o analiza structurii microscopice a lemnului în diverse secțiuni și prezentarea elementelor anatomice specifice;
 - o analize microscopice asupra xilemului cu caracter descriptiv privind etapele de formare a inelului anual (celulelor cambiale, celule în curs de diferențiere, celule în curs de lignificare, celule mature);
- Evaluarea dinamicii proceselor de creștere radială în zona montană superioară:
 - o analiza comparativă a dinamicii creșterii radiale la molid și zâmbbru la două nivele altitudinale din Parcul Național Călimani;
 - o analiza comparativă a dinamicii creșterii radiale la molid, zâmbbru, larice și pin silvestru din zona montană superioară din Parcul Național Călimani;
 - o analiza statistică a influenței regimului termic asupra dinamicii proceselor de formare a inelului anual în Parcul Național Călimani;
- Evaluarea dinamicii proceselor de creștere radială în amestecuri de rășinoase și de fag cu rășinoase:
 - o evaluarea calitativă a dinamicii intra-anuală a creșterii radiale la fag în Masivul Rarău;
 - o evaluarea cantitativă a proceselor de creștere la molid și brad în masivul Rarău;
 - o analiza comparativă a fazelor de formare a inelului anual la molid, brad, larice și pin silvestru din Obcina Feredeului;
 - o analiza statistică a influenței regimului termic asupra dinamicii intra-anuale a proceselor de creștere radială în Masivul Rarău;

3. Stadiul cunoștințelor în domeniul xilologiei

În contextul actual al schimbărilor de mediu, în special în urma proceselor de încălzire globală, cunoașterea modului de variație a creșterii radiale la diferite specii prezintă un deosebit interes din punct de vedere științific. Din cercetările efectuate până în prezent, s-a evidențiat posibilul impact a schimbărilor climatice asupra creșterii arborilor. În acest context, cercetările actuale s-au focalizat pe analiza influenței schimbărilor climatice asupra creșterii arborilor evidențiindu-se factorii și perioadele din an cu influență semnificativă asupra proceselor de bioacumulare. Frecvența anilor cu climă extremă poate influența dinamica creșterii radiale la speciile sensibile fiind dificil de prevăzut în viitor care va fi dinamica formării inelelor anuale în contextul repetării perioadelor de secetă în sezonul estival (Planton et al. 2008, Lebourgeois 2010).

Cele mai recente studii dendrocronologice analizează vulnerabilitatea speciilor la factorii climatici prin intermediul inelelor de creștere. Cercetările din domeniul dendrocronologiei atât la nivel național cât și internațional au analizat pe termen lung relațiile dintre climă și creștere, utilizând drept informații cu precădere lățimea inelului anual (Fritts 1976, Briffa et al. 1994, Popa 2004, Sidor 2009). Cu toate acestea în ultimii ani, o mare atenție s-a acordat cercetărilor în domeniul de xilologiei care permit integrarea informațiilor de creștere la nivel intra-anual.

În monitorizarea creșterii radiale, se poate apela la două metode distincte: măsurarea variației intra-aniuale a dimensiunilor trunchiului și studii complexe de xilologie. În măsurarea circumferinței arborelui (Popescu-Zeletin 1964, Deslauriers 2003) se utilizează dendroauxograme cu citire manuală sau automate, permițând obținerea de informații referitoare doar la creșterea în diametru. O metodă mult mai complexă în evaluarea creșterii radială este cea prin utilizarea probelor de creștere (microcarote). Aplicarea metodei xilologice este esențială pentru a determina cu exactitate începutul și sfârșitul proceselor de creștere la fiecare arbore, în timp ce măsurătorile dendroauxografice sunt mai rapide, dar permit numai măsurarea dinamicii creșterilor în circumferință. În cazul măsurătorilor cu ajutorul dendroauxografelor pot exista erori datorită condițiilor de hidratare și deshidratare a cojii (Makinen et al. 2008). Aceste măsurători nu pot fi precise în privința creșterilor la nivel celular, mascând creșteri diurne. Analiza prin intermediul microcarotelor oferă o perspectivă mult mai largă în evaluarea intra-aniuală a proceselor de formare a inelului anual. Metoda xilologică permite urmărirea cu precizie a dezvoltării xilemului cât și a scoarței, analizând mult mai bine influența climatului asupra arborelui. Antonova et al. (1981), Rossi et al. (2003a, 2006b), Gärtner et al. (2015) au descris procedura necesară pentru prepararea eșantioanelor și aplicații posibile pentru o analiză mai detaliată a structurii traheidelor la conifere.

În plan negativ încălzirea climatului, influențează creșterea arborilor având două efecte distincte: un prim efect ar fi perturbările proceselor fiziologice-stresul termic (Wilmking et al., 2004), cererea crescută a arborilor pentru apa-stres hidric (Barber et al., 2000). Pe lângă cele două analize divergente, un alt factor important îl constituie factorii locali: solul, topografia. În acest context, arborii au început să se adapteze la noile condiții de creștere, însă nu pot fi cunoscute efectele pe termen lung. Stresul termic și hidric precum și stimularea creșterilor poate să ducă la noi limitări cu privire la factori locali de sol și topografici (Lebourgeois et al., 2012).

Un studiu realizat pe brad, molid și pin silvestru într-o regiune cu climă temperată, a arătat diferențe de creștere radială la cele trei specii în condițiile modificărilor climatice. Pentru formarea inelului anual, decisive sunt lunile iunie și iulie în contextul unui bilanț hidric propice. La molid formarea lățimea inelului inițial depinde de temperatura lunii septembrie a

anului anterior și de bilanțul hidric din primăvară și vară. La pinul silvestru creșterile anuale depind exclusiv de bilanțul hidric din vară (Lebourgeois et al., 2010).

Startul și durata dezvoltării celulelor aflate în diferite faze de dezvoltare au fost analizate la brad (*Abies balsamea*, în pădurea boreală Quebec-Canada (Deslauriers et al., 2003a). Creșteri radiale mari rezultate în urma temperaturii ridicate din sezonul de vară au fost confirmate în Alpi (Körner și Paulsen 2004). O ipoteză privind perioada scurtă în care s-a format inelul anual poate fi confirmată de o adaptabilitatea la condițiile climatice reci, în care celulele se dezvoltă radial într-un scurt timp urmat de un start rapid în ceea ce privește îngroșarea peretelui celular (Vaganov 2006, Deslauriers et al., 2003a).

Studii anatomice a xilemului au evidențiat variații în creșterea radială între arbori și specii atât la densitatea cât și la dimensiunea celulelor în xilemul secundar (Deslauriers et al., 2003a, Rossi et al., 2006b Cufar et al., 2008b).

Numeroase cercetări (Vaganov 1990, 1996, Vysotskaya 1985, Deslauriers 2003) au analizat parametri celulari pentru a evidenția dimensiunea totală a traheidelor din inelul anual. Vaganov et al. (1990) prezintă unele serii dendrocronologice prin intermediul unor traheidiograme, reprezentând traheidele inelelor anuale și diametrul acestora. Rata de producere a traheidelor la zâmbru, este argumentată de diferențele altitudinale și de o primăvară extrem de călduroasă (Rossi et al., 2008). Studiile xilologice au demonstrat o variație importantă în creșterea xilemului între arbori și diferite specii raportat la densitatea și dimensiunea celulelor în xilemul secundar. Ca rezultat, celulele plantelor sunt bine adaptate la schimbări. Structura internă a arborilor ale aceleiași specii poate fi ușor diferită când cresc în medii diferite, lucru ce se reflectă și în anatomia lor (Yeung, 1998). În regiunile temperate, cu perioada de vegetație distinctă, inelele anuale la mai multe specii sunt diferite. Arborii diferă în răspunsul lor la condițiile climatice. Diferențele creșterii radiale dintre specii sunt găsite nu numai în sincronizarea de inițiere și încheiere a diviziunii celulare, dar și în dinamica de creștere sezonieră (Ladefoged 1952).

Datorită capacității de a crește în diferite condiții de mediu, fagul a reprezentat o sursă relevantă pentru studiile dendrocronologice la nivel European (Dittmar et al., 2003, Piovesan et al., 2005 Di Filippo et al., 2007) cât și la nivel național (Roibu și Popa, 2006, Roibu, 2010).

Monitorizarea și evaluarea detaliată a aspectelor anatomice în creștere radială la fag, sunt prezentate în studiile xilologice (Cufar et al. 2008 a,b, Vavřík et al., 2013; Prislan et al., 2013). Variația intra-anuală a parametrilor anatomici, respectiv startul și durata fazelor de formare a inelului anual s-a studiat la fag în diferite zone (Schmitt et al., 2000, Oladi et al., 2011, Prislan et al., 2013, Vavrcik et al., 2013). Cochard et al., (2001) a prezentat distribuția, densitatea și lignificarea vaselor la fag, în urma evaluării vulnerabilității a xilemului la embolism. În SE Europei Centrale (Cufar et al., 2008b) a analizat dinamica fazelor de formare a inelului anual în raport cu aspectele fenologice și factorii climatici. Variația fazelor (active și inactive) din zona cambială a fost analizată pentru a determina fenologia cambiului cu regim climatic diferit în două situri altitudinale (Prislan et al., 2011,2013). Michelot et al. (2012) a monitorizat fenologia cambială și durata de dezvoltare a xilemului, comparativ la trei specii Europene (fag, stejar și pin). Densitatea și diametrul vaselor la fag au fost măsurate și analizate pentru a determina vulnerabilitatea xilemului la embolism, prin măsurarea conductivității hidraulice (Hacke et al., 1995).

În Europa și Nordul Americii sau realizat mai multe studii în care s-a analizat producerea de traheide la conifere începând din luna mai până în luna august (Deslauriers et al. 2003, Rossi 2003, Schmitt et al. 2004, Makinen et al, 2003).

În România, în domeniul xilologic s-au realizat puține cercetări cu privire la creșterea radială. În principal s-au realizat măsurători asupra dimensiunii trunchiului arborelui la diferite specii folosindu-se auxometre și dendroauxograme (Popescu- Zelentin et al 1960;

Popescu –Zelentin și Mocanu (1961). Cercetări cu referire la creșterea radială la molid și zâmbru s-au realizat punctual, cu caracter explorator în Carpații Orientali (Sidor 2009).

4. Locul, materialul și metodologia de cercetare

4.1. Zona de studiu

Având în vedere scopul și obiectivele tezei de doctorat s-au amplasat două suprafețe experimentale în Parcul Național Călimani și două suprafețe experimentale în Masivul Rarău, respectiv Obcina Feredeului (Deia-Câmpulung Moldovenesc).

Suprafața de cercetare situată la limita altitudinală superioară a pădurii din Parcul Național Călimani este localizată într-un arboret natural de zâmbru (*Pinus cembra*) în amestec cu molid (*Picea abies*) și jneapăn (*Pinus mugo*), asociație forestieră importantă din punct de vedere științific. În vederea surprinderii influenței altitudinii asupra proceselor de formare a inelului anual s-au amplasat două suprafețe experimentale la nivele altitudinale diferite: 1700 m și 1500 m. În cazul nivelului altitudinal de 1700 m structura arboretului este tipică pentru pădurea de limită, cea de la nivelul de 1500 m este un arboret de amestec de molid cu zâmbru, cu elemente de scoruș, cu structură relativ echienă. Suprafețele experimentale prezintă un substrat litologic de tip vulcanic cu soluri de tip andosol tipic. De asemenea pentru a surprinde comportamentul altor specii de rășinoase introduse artificial (pin silvestru și larice) în zona montană superioară, la nivelul altitudinal de 1500 m s-au ales și prelevat probe de creștere dintr-un arboret artificial cu larice și pin silvestru.

Suprafața experimentală din Masivul Rarău este localizată într-un arboret de amestec de rășinoase (molid, brad) cu fag la o altitudine medie de 850 m. Tipul de sol este brun - eumezobasic format pe un substrat calcaros.

Cea de-a treia suprafață experimentală este situată pe versantul sud-est (47°32'12"N, 25°33'40"E) al Obcinei Feredeului, din apropierea orașului Câmpulung Moldovenesc. Arboretul este artificial format din diferite specii de rășinoase: molid, brad, pin silvestru și larice.

Tabelul 4.1 Repartizarea suprafețelor experimentale și a speciilor studiate.

Localizare	Specia	Cod	Altitudine	Latitudine	Longitudine	Nr.	D (cm)	H (m)	Anul
Călimani	<i>Picea abies</i>	CALS	1700	47° 06' N	25°14' E	5	34	15	2007-2009
	<i>Pinus cembra</i>	CALS	1700	47° 06' N	25°14' E	5	39	16	2007-2009
	<i>Picea abies</i>	CALI	1500	47° 06' N	25°15' E	5	41	23	2007-2009
	<i>Pinus cembra</i>	CALI	1500	47° 06' N	25°15' E	5	43	19	2007-2009
	<i>Picea abies</i>	CALI	1500	47° 06' N	25°15' E	5	39	22	2010- 2011/ 2013
	<i>Pinus cembra</i>	CALI	1500	47° 06' N	25°15' E	5	31	20	2010-2011/ 2013
	<i>Pinus sylvestris</i>	CALI	1400	47° 06' N	25°15' E	5	26	14	2011/ 2013
	<i>Larix decidua</i>	CALI	1400	47° 06' N	25°15' E	5	28	17	2011/ 2013
	<i>Fagus sylvatica</i>	RAR	850	47°28' N	25°33' E	5	35	24	2009-2011
	<i>Abies alba</i>	RAR	850	47°28' N	25°33' E	5	52	31	2009-2011
Deia	<i>Picea abies</i>	RAR	850	47°28' N	25°33' E	5	47	33	2009-2011
	<i>Abies alba</i>	DEIA	730	47°32' N	25°33' E	5	42	24	2013
	<i>Pinus sylvestris</i>	DEIA	730	47°32' N	25°33' E	5	32	26	2013
	<i>Picea abies</i>	DEIA	730	47°32' N	25°33' E	5	34	28	2013
	<i>Larix decidua</i>	DEIA	730	47°32' N	25°33' E	5	32	27	2013

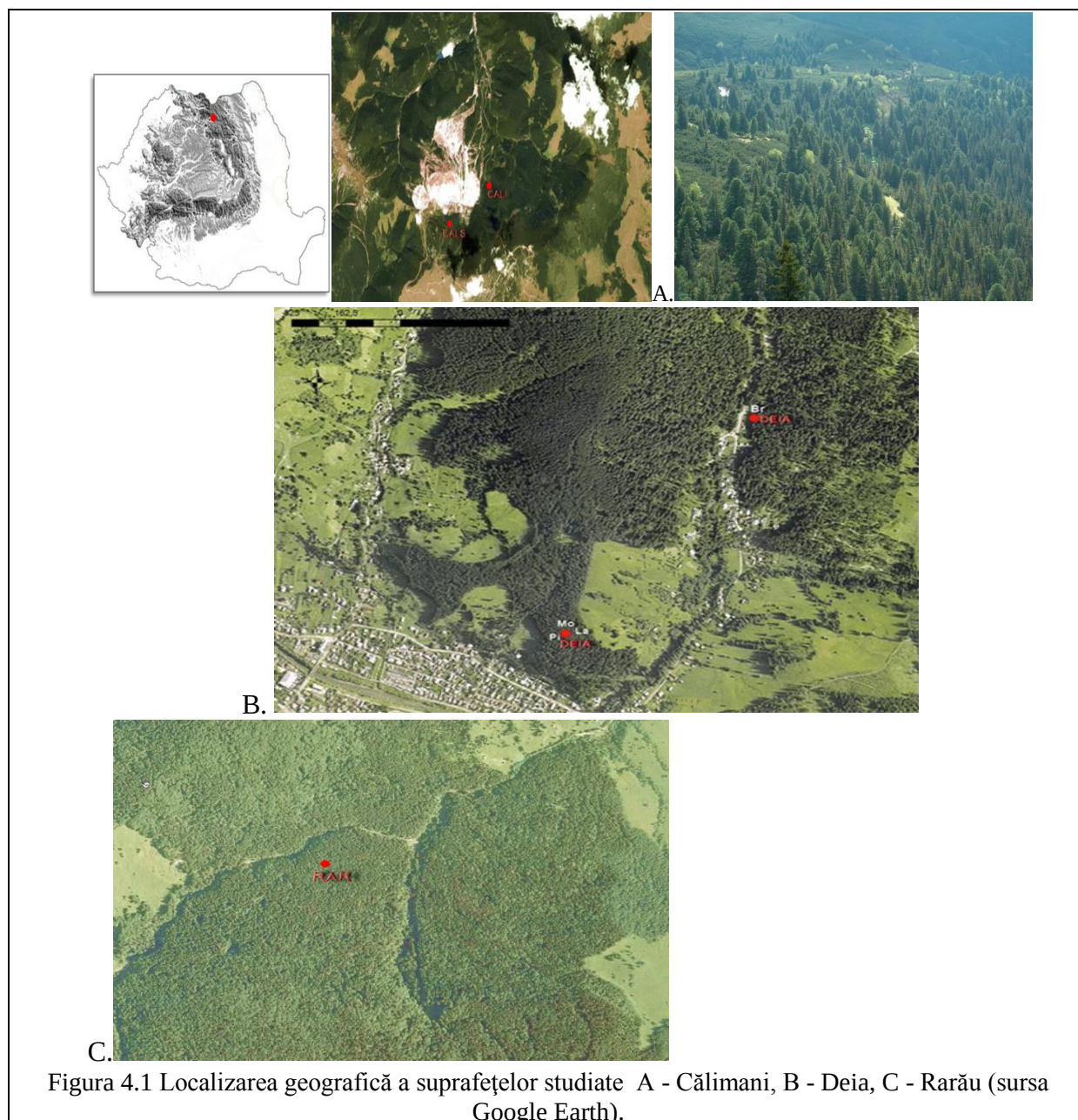


Figura 4.1 Localizarea geografică a suprafețelor studiate A - Călimani, B - Deia, C - Rarău (sursa Google Earth).

4.2 Metodologia de cercetare

4.2.1 Materialul de cercetare

Pentru a înțelege mecanismul de formare a inelului anual sunt necesare analize xilologice cu aplicare a metodologiei complexe de laborator. Pentru realizarea măsurătorilor de creștere s-au prelevat microcarote cu grosimi de 1-2 mm și lungimi de 1-2 cm. Această microcarotă cuprinde atât zona de inel aflat în curs de formare cât și 3-5 inele anuale formate anterior.

Având în vedere volumul lucrărilor de laborator și necesitatea asigurării unei acoperiri statistice minime, conform recomandărilor din literatura de specialitate (Rossi et al. 2006b) s-au ales un număr de 5 arbori pentru fiecare specie și suprafață experimentală. În suprafața experimentală din Călimani de la nivelul altitudinal de 1700 m (CALS) s-a prelevat probele de creștere de la un număr de 10 arbori (5 de molid și 5 de zâmbru) în perioada 2007-2009. La

nivelul altitudinal de 1500 m (CALI) au fost aleși câte 5 arbori din speciile de molid, zâmbbru, larice și pin silvestru. La molid și zâmbbru perioada de prelevare a microcarotelor de creștere acoperă anii 2007-2011 și 2013, iar la larice și pin silvestru numai anii 2011 și 2013.

Din suprafața experimentală Rarău (RAR) s-au prelevat microcarote din 5 arbori de molid, 5 arbori de brad și 5 de fag pe perioada a trei sezoane de vegetație 2009-2011. Pentru a obține informații asupra creșterii radiale din timpul sezonul de vegetație 2013 la arborete artificiale de rășinoase s-au prelevat microcarote din arborii de molid, brad, larice și pin silvestru din suprafața experimentală Deia (DEIA), fiind eșantionați câte cinci arbori per specie.

Pentru analiza variației parametrilor inelului anual la rășinoase din suprafața (DEIA), s-au prelevat microcarote din arborii de molid, brad, larice și pin silvestru, câte 10 pentru fiecare specie. Prelevarea s-a efectuat la sfârșitul sezonului vegetativ cu scopul de a cuprinde în studiu și creșterea intra-anuală a inelului recent format (2012).

Microcarotele s-au prelevat cu ajutorul burghiului Trephor de la o înălțime de aproximativ 1,30 m. Între punctele de prelevare s-a păstrat o distanță de circa 5 cm pentru a evita includerea țesuturilor traumatiche. S-au recoltat peste 3030 de microcarote de creștere din suprafețele experimentale pe parcursul cercetărilor.

După prelevare microcarotele recent extrase s-au păstrat în tuburi Eppendorf într-o soluție de alcool etilic și apă în proporție de 1:1 (50% apă și 50% alcool) evitând deshidratarea și deteriorarea xilemului. Până la prelucrarea acestora în laborator, eșantioanele s-au păstrat la frigider la o temperatură de 5°C. Pentru identificarea probei s-a înscris pe tuburi un cod format astfel: număr arbore; data prelevării – anul și număr zi în calendarul Julian (numărul zilei de la începutul anului). Acest cod s-a rescris pe biocasete păstrându-se pe toată durata analizei.

4.2.2. Analiza xilologică a probelor de creștere

Metodologia de prelucrare și analiza microcarotelor de creștere s-a adaptat după procedurile propuse de Rossi (2006 a,b).

În vederea obținerii preparatelor microscopice pentru analiză, a fost necesară parcurgerea mai multor etape de laborator. O primă etapă în prelucrarea probelor în laborator a constat în identificarea și marcarea direcției fibrelor, etapă importantă pentru a obține secțiuni transversale ale structurii xilemului. În analiză s-a păstrat creșterea curentă și 2-3 inele din anii precedenți.

După marcarea direcției fibrelor microcarotele au fost puse în biocasete speciale. Pentru a evita uscarea și deteriorarea celulelor probele au fost puse în apă la temperatura camerei până la introducerea acestora în sistemul de impregnare cu parafină. Principiul de lucru al acestui sistem constă în eliminarea apei din celule și de fixare a parafinei în celulele lemnoase, prin intermediul etanolului. Microcarotele au fost deshidratate în etanol cu diferite concentrații, imersate în RotiClear și parafină (Rossi *et al.* 2006 b) cu ajutorul procesatorului de țesuturi Microm STP 120. Această procedură de fixare în parafină a țesuturilor lemnoase este necesară datorită fragilității inelului anual în curs de formare.

După această etapă s-au realizat blocuri de parafină în care s-au fixat probele de creștere, operațiune necesară asigurării susținerii microcarotelor în timpul secționării. Pentru această procedură s-a folosit un aparat de încălzire a parafinei, o plită electrică, un răcitor și casete de inox. Probele au fost puse pe plita electrică încălzită la circa 40-50 °C pentru a evita ruperea xilemului în timpul extracției din biocasetele de plastic. Ulterior probele au fost așezate în casete de inox umplute cu parafină topită, după care s-au pus pe răcitor. Blocurile de parafină au fost prelucrate prin curățare și eliminare a stratului superior de parafină până la microcarotă. Microsecțiunile fine cu o grosime de 7-10 μm s-au realizat cu ajutorul

microtomului rotativ semiautomat (Microm HM335) după care s-au pus într-o baie de apă cu o temperatură de 40-45°C pentru a întinde microsecțiunile. În vederea evidențierii țesuturilor și a diferitelor faze de formare a inelului anual microsecțiunile au fost inserate în ROTICLEAR (eliminarea parafinei), deshidratate cu etanol și colorare cu soluție 0,16% de cresyl violet acetate.

Probele bine întinse au fost puse pe lame microscopice peste un strat de albumină pentru a rămâne fixate în timpul procesului de colorare. Lamele cu preparatele microscopice fixate s-au montat pe suporturi de sticlă în vederea colorării.

În prima metodă de colorare se utilizează o soluție de cresyl fast violet cu concentrație de 0,16% dizolvat în apă distilată. Durata de colorare este de 5-10 minute timp în care secțiunile devin de culoare albastră, iar pereții celulari lignificați de culoare roșu-violet. În cazul preparatelor permanente se recomandă utilizarea colorării cu astra blue și safranină (1g în 100 ml apă distilată). În acest caz celulele nelignificate apar în culoare albastră, iar cele lignificate în culoare roșie. Unele probele s-au fixat cu balsam de Canada în vederea permanentizării acestora.

Analizele și măsurătorile xilologice s-au efectuat la microscop (Zeiss AxioImager A1m) în lumină vizibilă și polarizată cu mărire de la 50x până la 400x, identificându-se celulele aflate în diferite faze de dezvoltare.

Observații microscopice calitative efectuate au vizat diferențierea următoarelor faze de formare a inelului anual: zona cambială (CC), celule în curs de dezvoltare (CD), celule aflate în curs de lignificare (CL) și celule mature (CM) (Rossi et al. 2006 b, Popa și Semeniuc 2009). Determinările cantitative privind numărul de celule s-au realizat pe câte trei rânduri radiale de celule, utilizându-se în calcul valoarea medie a acestora. Data calendaristică s-a notat cu DOY (day of the year) privind startul și terminarea fazelor de creștere radială, iar gradele zilnice s-au notat dd (degree days).

4.2.3 Monitorizarea proceselor de creștere cu dendroauxographe automate

Prin intermediul dendroauxografelor se pot obține informații cantitative privind dinamica proceselor de creștere în diametru și reacția arborilor la variația factorilor climatici pe termen scurt (rezoluție zilnică sau sub-zilnică) (Drew și Downes 2009). Pentru compararea informațiilor derivate din utilizarea dendroauxografelor automate cu cele obținute prin metode xilologice s-au analizat în anul 2011 datele înregistrare în suprafața experimentală din Călimani de la altitudinea de 1500 m.

Măsurarea variației dimensiunilor trunchiului s-a realizat la un număr de 4 arbori pentru fiecare specie (molid și zâmbru) cu ajutorul dendroauxografelor de tip punct model Ecomatik DR amplasate la înălțimea de 1,30 m. Datele au fost stocate cu frecvență orară, într-un data-logger HOBO U12-008.

4.2.4 Setul de date climatice

Pentru monitorizarea variațiilor microclimatice din suprafețele experimentale s-au instalat senzorii pentru înregistrarea temperaturii și umidității aerului. Senzorii au fost programați la intervale de 30 de minute pentru măsurare temperaturii, datele fiind descărcate periodic. Pe baza datelor orare ale regimului termic s-au calculat valorile gradelor zilnice cumulate adoptând o valoare prag de 5°C (Vaganov et al. 1999). Valorile indicatorilor climatici (temperatură medie, maximă, minimă și grade zilnice cumulate) s-au calculat atât la intervale de 10 zile cât și lunar.

4.2.5 Prelucrarea și analiza datelor experimentale

Măsurarea și numărarea celulelor. Analiza și numărarea celulelor s-a realizat la microscop cu obiective cu putere de mărire diferită (5x, 10x, 20x, 40x) prevăzut cu aparat foto. Precizez faptul că toate imaginile (originale) cu privire la structura și dinamica formării inelului anual sunt realizări personale de pe parcursul tezei de doctorat. Pentru fiecare microcarotă s-au numărat celulele inelului anual în curs de formare diferențiat pentru fiecare fază. Numărarea celulelor s-a făcut pe trei rânduri radiale începând din zona cambială până la limita inelului anual anterior format. Numărul total de celule a fiecărui șir radial este rezultat prin numărarea cumulată a celulelor în curs de lărgire, în curs de lignificare, respectiv celule mature (Deslauriers et al. 2008).

Standardizarea. Deoarece numărul de celule variază în circumferința arborelui și între probe diferite este necesară standardizarea acestora (Rossi et al. 2003a, Deslauriers et al. 2008). Modul de calcul aplicat în standardizare este:

$$nc_{ij} = n_{ij} \times n_m / n_s$$

în care nc_{ij} reprezintă numărul de celule corectate, n_{ij} numărul de celule (i-etapa procesului de creștere, j-proba), n_m - media numărul de celule al inelului anual anterior format la toate probele, n_s - numărul de celule al inelului anterior format pentru fiecare probă.

Analiza statistică a datelor. Analiza statistică a fazelor de formare a inelului anual s-a determinat prin intermediul indicilor statistici: media aritmetică, abaterea standard și eroarea standard. Dinamica numărului de celule din diferite faze de dezvoltare s-au reprezentat grafic sub formă de valori medii normalizate cu o bandă reprezentând eroarea standard.

Dinamica dimensiunilor trunchiului a fost analizată pentru sezonul de vegetație 2011, între 1 aprilie și 30 septembrie. Pentru separarea efectelor induse de variația zilnică a nivelului de hidratare a țesuturilor externe ale trunchiului, respectiv procesele de hidratare și deshidratare, precum și evidențierea creșterii efective s-a aplicat metoda diferențelor zilnice succesive dintre valorile maxime (Bouriaud et al. 2005).

Modelarea dinamici creșterii radiale, atât pentru datele provenite din analize xilologice cât și dendroauxografe automate, s-a realizat prin estimarea parametrilor modelului logistic. Estimarea parametrilor modelului s-au realizat cu program R (R Development Core Team, 2013).

În cazul analizei diferențelor între specii și ani privind parametrii inelului anual din suprafața experimentală Deia s-a verificat normalitatea a distribuției datelor cu Shapiro-Wilk's test, iar pentru omogenitate s-a aplicat Levene's test. Pentru valorile lățimii inelului anual și dimensiunea celulelor s-a aplicat testul Kruskal-Wallis. Creșterea radială sub raportul numărului de celule și a lățimii inelului anual s-a analizat prin compararea mediilor între specii în cadrul aceleiași an notată pe grafic (A, B, AB), cât și compararea mediei aceleiași specii între ani (a,b, ab). Numărarea celulelor s-a făcut pe pe trei șiruri radiale la fiecare inel, luate în calculul statistic ca repetiții. Pentru prelucrarea datelor privind numărul de celule, lățimea inelului anual și variația dimensiunii medii a celulei s-a utilizat programul XLSTAT (Addinsoft).

Analiza influenței temperaturii asupra creșterii radiale s-a realizat prin metoda analizei corelației. Calculul coeficienților de corelație s-a realizat între indicatorii climatici (temperaturi medii, maxime, minime și grade zilnice cumulate) și rata de creștere periodică derivată din modelul logistic, pe perioade de 10 zile.

5. Rezultate obținute

5.1 Particularități privind structura anatomică și fazele de formare a inelului anual

Lemnul reprezintă ansamblul țesuturilor secundare având pereții celulari lignificați, situat între scoarță și măduvă, alcătuind parte principală a trunchiului, ramurilor și rădăcinii plantelor lemnoase. Lemnul primar se formează din procambiu, iar lemnul secundar este generat de cambiu, determinând creșterea în grosime a arborilor. Xilemul deține un rol important în îndeplinirea funcțiilor de rezistență, conducere și depozitare a substanțelor. În cunoașterea dimensiunilor și a elementelor anatomice ale lemnului este necesară examinarea structurii microscopice a lemnului.

Analize histologice succesive au permis descrierea mecanismului de producere și de maturizare a celulelor în formarea xilemului. Cunoașterea și evaluarea procesului de creștere a inelului anual, implică examinări repetate pe parcursul întregului sezon de vegetație. Analize detaliate au evidențiat patru faze de dezvoltare în formarea inelului anual: activitatea cambială, lărgirea celulelor, lignificarea și îngroșarea pereților celulari și în final celule complet lignificate cu peretele celular secundar format.

Faza celulelor cambiale. Prin activitate cambială se înțelege producerea de celule de către cambiu vascular, care se diferențiază spre interior constituind xilemul secundar și spre exterior floemul. În perioada de repaus vegetativ zona celulelor cambiale este formată din 4-6 rânduri de celule, variind de la specie la specie.

Datorită climei, activitatea cambială și creșterea radială în regiunea temperată prezintă periodicitate, toamna și iarna acesta este inactiv. Zona cambială reprezintă un strat de celule cambiale având un număr de 4-6 celule produse la sfârșitul sezonului de vegetație din anul anterior. Ulterior activitate cambială urmează procesul de diferențiere celulară în xilemul secundar cât și în elemente de floem. În mod obișnuit startul producerii celulelor are loc primăvara, în care rata maximă de celule ajunge destul de devreme (mai –iunie) iar spre sfârșitul sezonului de vegetație rata de producere cambială descrește succesiv (Vaganov *et al.* 2006). În momentul în care celulele încep să se extindă radial, producerea de celule cambiale se reduce treptat. Celulele cambiale aflate la finalul sezonului de vegetație depinde în mod evident de condițiile climatice din septembrie-octombrie din anul anterior. Astfel la începutul unui nou sezon de vegetație, numărul de celule cambiale aflate în stadiu de repaus vegetativ, variază de la o specie la alta dar și de la un an la altul. Vătămările provocate de factorii abiotici și biotici, schimbări bruște de temperatură pot totodată și ele conduce la perturbări în activitatea cambială. Formarea inelelor anuale la conifere implică producția de traheide de către cambiu care diferențiază în fazele de extindere radială urmată de îngroșarea peretelui celular (Rossi 2007, Deslauriers 2003, Marion *et al.* 2007).

Primăvara, când procesul de creștere radială începe, celulele cambiale încep să se dividă ajungând la 10-15 rânduri de celule în perioada maximă de diviziune, apoi descreșcând treptat până la sfârșitul sezonului de vegetație (fig. 5.1.1).

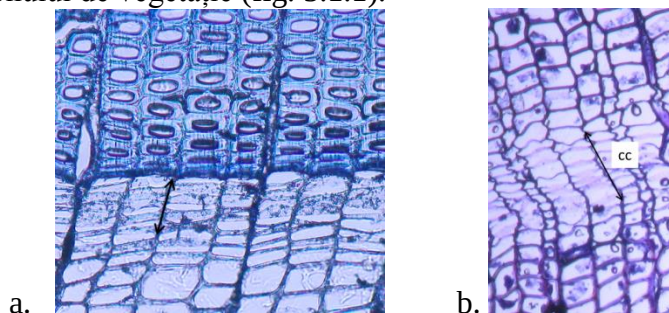


Figura 5.1.1 Zona cambială la începutul sezonului vegetativ (a – luna aprilie, molid) și în sezon de vegetație (b - luna mai, molid) în suprafața experimentală Călimani.

Faza celulelor în curs de diferențiere. Celulele noi derivate din cambiu suferă un proces de diferențiere și lărgire, marcând începutul procesului de formare a inelului anual (fig. 5.1.2).

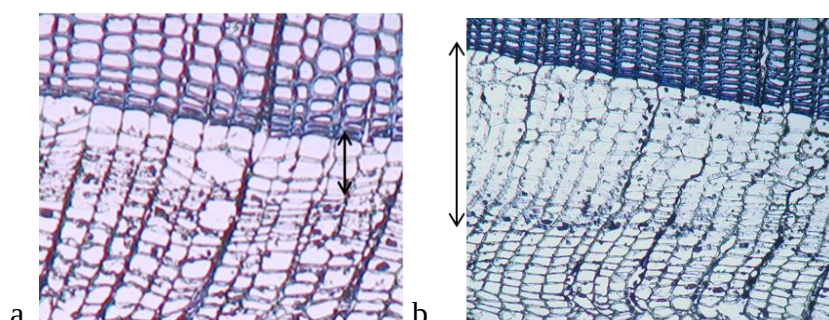


Figura 5.1.2. Celule aflate în faza de lărgire la zâmbbru (a.15.05.2009) (b.14.05.2013).

Celulele în curs de diferențiere formează în prima parte a sezonului de vegetație lemnul timpuriu (lemn de primăvară). Celulele noi derivate sunt celule alungite, cu pereții subțiri numite și traheide longitudinale timpurii (fig. 5.1.3). În cuprinsul inelului anual, traheidele longitudinale se formează ordonat în șiruri radiale. Acestea urmează un proces de îngroșare a pereților celulari prin formarea peretelui secundar.

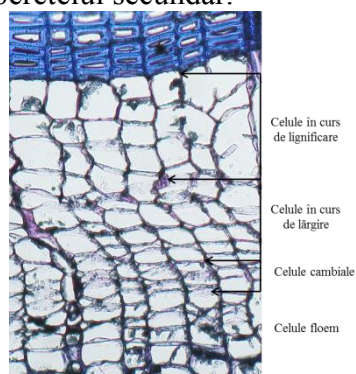


Figura 5.1.3 Celule aflate în diferite faze de formare (05.06.2007) la zâmbbru.

Faza celulelor în curs de lignificare. Traheidele longitudinale suferă un proces care constă în lignificarea pereților celulari prin impregnare cu lignină. La început, depunerea de lignină se observă la colțurile celulelor, mai apoi extinzându-se pe straturile intercelulare și în final pe peretele secundar. Celulele cu pereții celulari complet lignificați se disting prin culoarea albastru pur, iar cele cu peretele incomplet prin cu culoare violet-roșu (fig. 5.1.4).

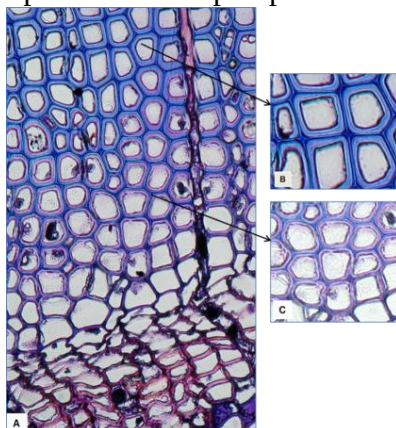


Figura 5.1.4 Separarea fazei de îngroșare a pereților celulari față de faza celulelor mature la zâmbbru (14.08.2009) (A – vedere ansamblu; B – detaliu celule mature; C – detaliu celule în fază de îngroșare a pereților celulari).

Procesul de îngroșarea a pereților celulari este considerat terminat în momentul în care se încheie toate etapele de diferențiere. Diferențierea între faza de lărgire și cea de îngroșare a pereților celulari se realizează cu ajutorul coloranților și a luminii microscopice polarizate. Celulele la care depunerea de lignină a început, apar strălucitoare în lumină polarizată, restul celulelor rămânând în câmp închis la culoarea inițială (fig. 5.1.5).

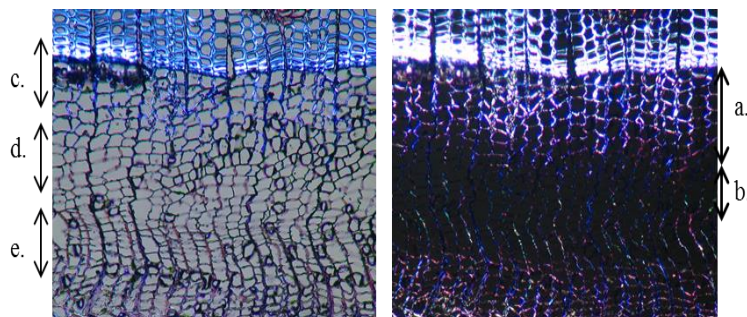


Fig. 5.1.5 Diferențierea între faza celulelor în curs de lignificare (a, c) și cea de diferențiere (b,d) zona celulelor cambiale (e) la zâmbru– (3.06.2013) în lumină polarizată.

Faza celulelor mature. În urma procesului de lignificare, celulele devin mature prin peretele secundar format, etapă ce încheie procesul de formare a inelului anual. Astfel, în cuprinsul inelului anual nou format se disting două zone: zona de lemn timpuriu și zona de lemn târziu (fig. 5.1.6).

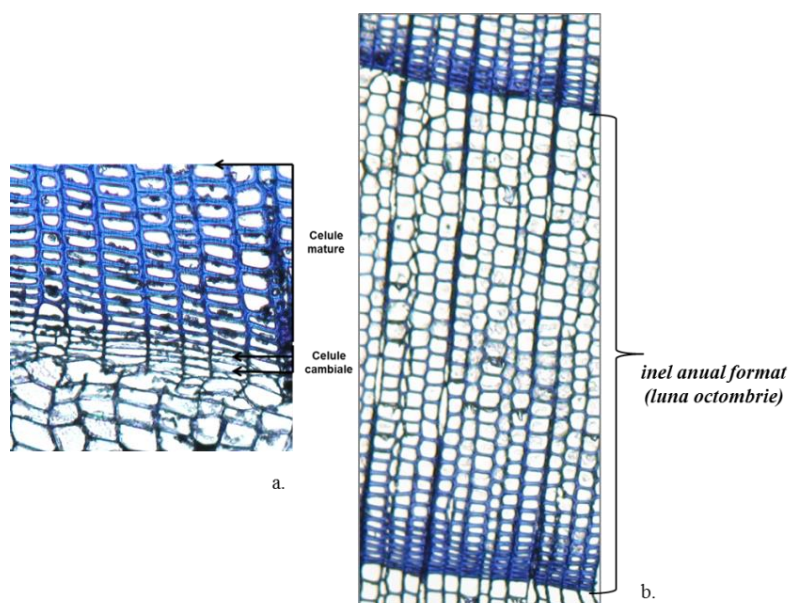


Figura 5.1.6 Celule mature la molid cu pereții secundari formați spre sfârșitul sezonului de vegetație (a) (28.08.2011) și (b) inel anual format.

5.2 Influența altitudinii asupra dinamicii formării inelului anual la molid și zâmbru din Parcul Național Călimani

Rășinoasele sunt cele mai bine adaptate în regiuni cu climă rece, datorită structurii xerofitice a acelor care diminuează considerabil pierderea apei prin transpirație. Pentru a evidenția influența altitudinii asupra dinamicii formării inelului anual s-au amplasat două suprafețe experimentale în Parcul Național Călimani: una la altitudinea de 1700 m și cea de-a doua la altitudinea de 1500 m.

Microclimatul. În perioada cercetărilor (2007-2009) s-a înregistrat temperatura aerului la cele două nivele altitudinale din suprafețele experimentale Călimani, pentru a analiza temperaturile medii lunare din timpul sezonului vegetativ în relație cu dinamica intra-anuală a xilemului. Dinamica regimului termic climatic (fig.5.2.1) ne indică variațiile de temperatură înregistrate începând din luna martie până la sfârșitul sezonului de vegetație, inclusiv luna octombrie. Temperatura medie a aerului înregistrată în timpul primăverii (martie-mai) în anul 2007 la altitudinea de 1500 m a fost de 4,6°C, iar în perioada de vară (iunie-august) temperatura medie înregistre de 13,8°C. La altitudinea de 1700 m temperatura medie a aerului înregistrată în lunile de primăvară a ajuns la 3,8°C, cu o temperatură medie de 12,6°C înregistrată în lunile de vară.

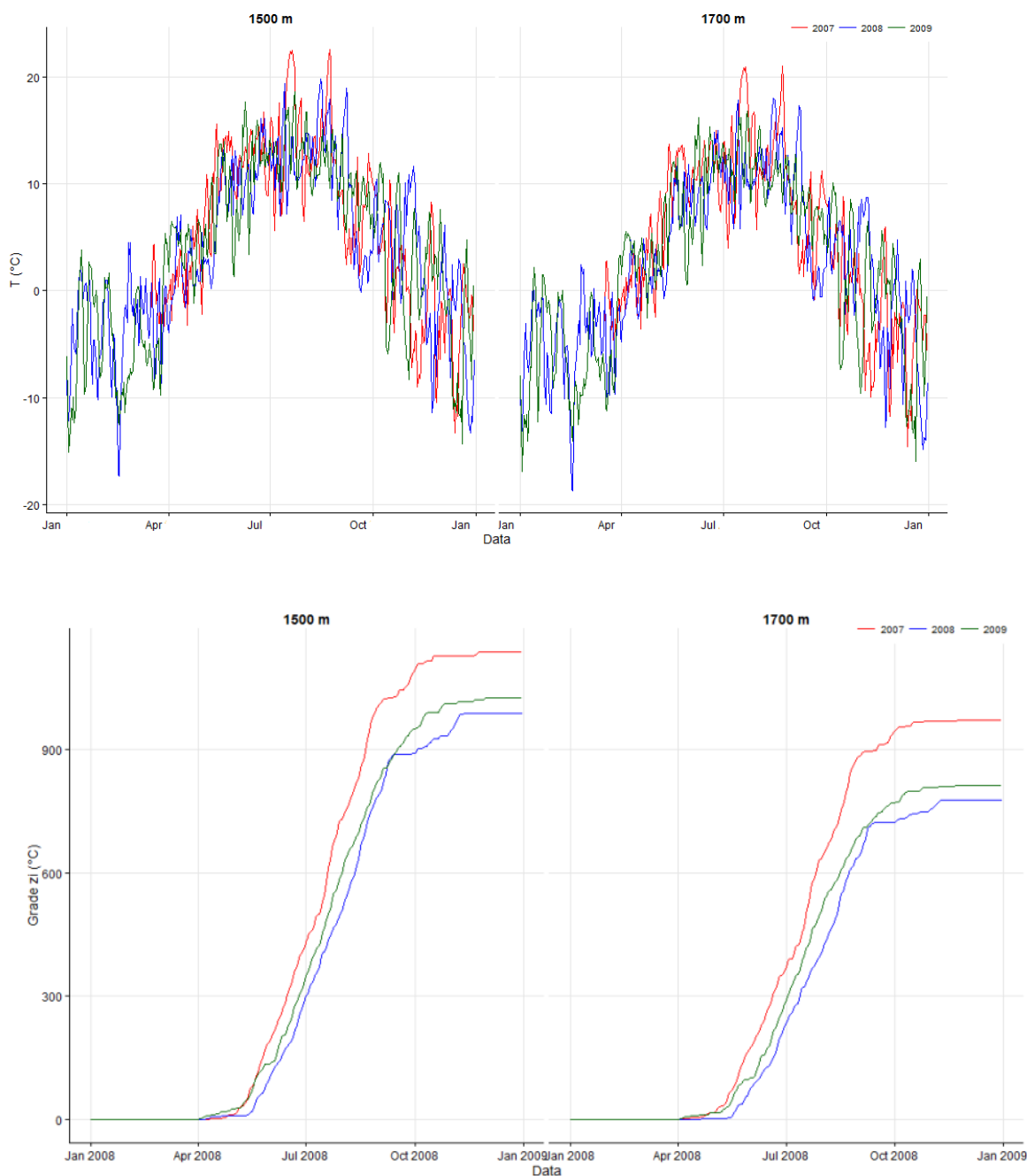


Figura 5.2.1 Variația temperaturii în raport cu altitudinea în Călimani.

În primăvara sezonului de vegetație 2008 la altitudinea de 1500 m s-a înregistrat o temperatură medie de 2°C, iar regimul termic din perioada de vară a ajuns la 12,4°C. Temperatura medie înregistrată la altitudinea 1700 m în sezonul de vară a fost de 11°C în anul 2008, cu o temperatură de 0,7°C înregistrată în lunile de primăvară.

În sezonul de vegetație 2009 temperaturile medii înregistrate în lunile martie-mai la altitudinea de 1500 m au ajuns la 2,6°C și cu o valoare de 12,3°C înregistrată în perioada de vară. În lunii de vară s-a înregistrat temperatura medie de 11,2°C la altitudinea de 1700 m. Media temperaturii aerului din lunile de primăvară a anului 2009 au ajuns la 1,2°C la altitudinea de 1700 m. În anul 2007 s-au înregistrat cele mai ridicate temperaturi în luna iulie 13,8°C la altitudinea de 1500 m, iar la altitudinea de 1700 temperatura cea mai ridicată este de 15,1 °C.

Faza celulelor cambiale. În suprafața experimentală Călimani la altitudinea de 1500 m, la începutul sezonului de vegetație 2007, în zona cambială la molid se observă 6-7 celule cambiale în data de 30 aprilie în (DOY 120). La un interval de 4 zile (4 mai DOY 124) se remarcă un număr de 8 celule cambiale, fapt ce denotă că activitatea cambială a început. La altitudinea de 1700 m numărul de celule cambiale (6-7 celule) sunt mai puține comparativ cu altitudinea de 1500 m, observându-se în data de 18 mai (DOY 138).

În data de 25 mai (DOY 145) la altitudinea de 1700 m numărul de celule cambiale a crescut până la 12 celule. Se remarcă un ritm mai rapid a diviziunii cambiale cu un decalaj doar de 7 zile față de data anterioară. Numărul maxim de celule cambiale (14 celule) la molid la altitudinea de 1500 m a fost atins în jurul datei de 23 iulie (DOY 204), mai târziu cu aproximativ 10 zile comparativ cu altitudinea de 1700 m în care numărul maxim de celule de (16-17 celule) a ajuns în data de 13 iulie (DOY 194).

La zâmbru, în anul 2007, se observă o inițiere a activității cambiale cu un număr de 8 celule în jurul datei de 4 mai (DOY 124) la altitudinea de 1500 m. Referitor la altitudinea de 1700 m la zâmbru, cambiul a diferențiat 8-9 celule cambiale în data de 18 mai (DOY 138), perioadă similară molidului de la altitudinea de 1700 m, diferență regăsindu-se în numărul de celule dintre cele două specii (fig.5.2.4). În cazul zâmbrului numărul maxim de celule cambiale în anul 2007 pentru altitudinea de 1500 m se observă în data de 8 iunie (DOY 159) cu o valoare medie de 12,19 celule, mult mai devreme comparativ cu molidul de la aceeași altitudine. Numărul maxim de celule cambiale (15-16 celule) se constată în data de 2 iunie (DOY 153) pentru altitudinea de 1700 m la zâmbru. Activitatea cambială a început când temperatura medie a aerului a ajuns la 9,9°C în luna mai la altitudinea de 1500 m și 8,9°C la altitudinea de 1700 m în anul 2007.

În sezonul de vegetație 2008, inițierea diviziunii cambiale s-a observat la molid în data de 30 mai (DOY 151), la altitudinea de 1500 m, remarcându-se un număr de 8 celule, caz similar molidului de la altitudinea de 1700 m. La molid la altitudinea de 1700 m s-au remarcat 8-9 celule cambiale în data de (DOY 151). Numărul maxim de celule (13,64 celule cambiale) la molid a avut loc în data de 19 iunie (DOY 171) la altitudinea de 1500 m, iar la altitudinea de 1700 m maximul de 12-13 celule se observă în jurul datei de 3 iulie (DOY 185).

În cazul zâmbrului la altitudinea de 1500 m în data de 17 mai (DOY 138), s-au observat un număr de 7-8 celule cambiale, iar la altitudinea de 1700 m în data de 24 mai (DOY 145) un număr de 10-11 celule, astfel s-a remarcat o activitatea cambială începută.

Maximul de celule cambiale este atins în data 19 iunie (DOY 171) la ambele nivele altitudinale cu valoare maximă de 12,69 celule pentru nivelul altitudinal de 1500 m și 12,37 celule pentru altitudinea de 1700 m (fig.5.2.2).

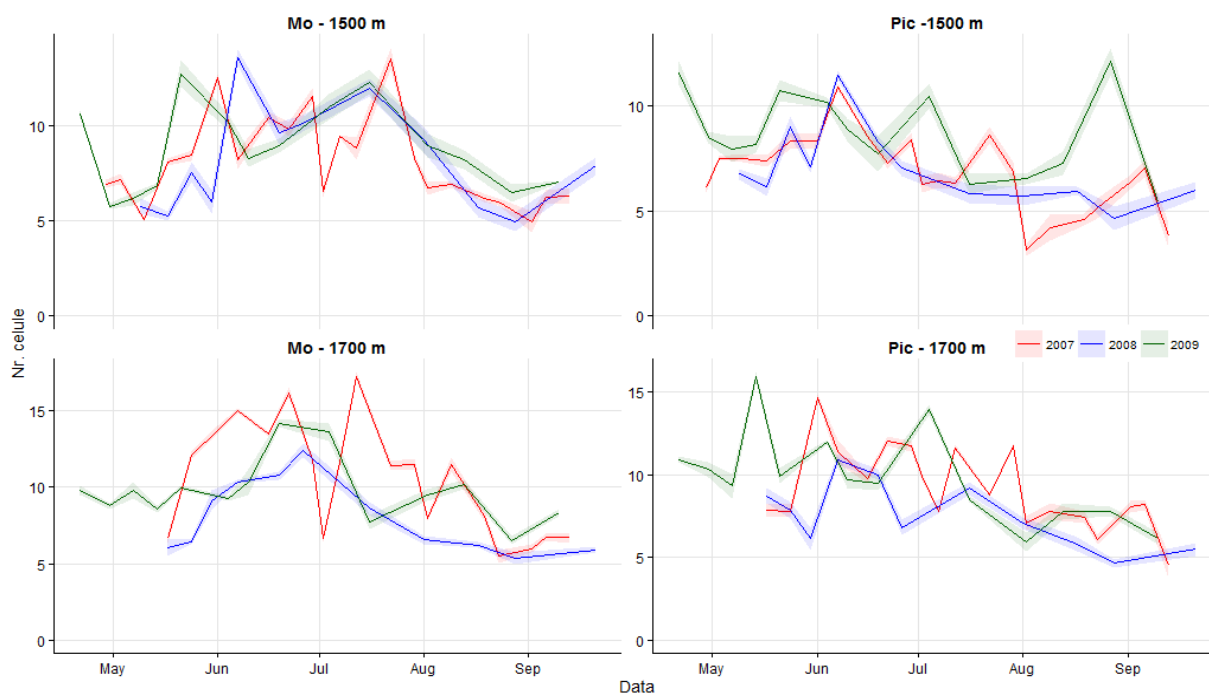


Figura 5.2.2 Dinamica numărului de celule cambiale la molid și zâmbru.

În anul 2009, la molid la altitudinea de 1500 m s-au observat 14 celule cambiale în jurul datei de 22 aprilie (DOY 112), iar la altitudinea de 1700 m s-a remarcat un număr de 9-10 celule cambiale la aceiași dată, fapt ce confirmă o activitate cambială începută la ambele nivele altitudinale. Cea mai mare creștere prin număr de celule cambiale la molid a fost observată în suprafața altitudinală de 1500 m, când celulele cambiale au atins maximum lor (14 celule) în jurul datei de 22 mai (DOY 142), spre deosebire de limita superioară, când celulele cambiale au atins maximum lor (15-16 celule) în jurul datei de 20 iunie (DOY 171).

În data de 22 aprilie (DOY 112) cu un număr de 11-12 celule se poate confirma o activitate cambială începută la zâmbru la altitudinea de 1500 m, caz similar și pentru altitudinea de 1700 m. Numărul maxim de celule cambiale (12,60 celule) la zâmbru se observă în jurul datei de 15 mai (DOY 135) la altitudinea de 1700 m, mult mai devreme comparativ cu altitudinea de 1500 m în care maximum numărului de celule cambiale (12,70 celule) a avut loc la data de 28 august (DOY 240).

Faza celulelor în curs de diferențiere. Startul celulelor în curs de diferențiere la molid în anul 2007 a avut loc în jurul datei de 2 iunie (DOY 153) la altitudinea de 1500 m, cu un număr maxim de 5-6 celule în data de 17 iunie (DOY 168) (fig. 5.2.3). Ultimele celule în curs de diferențiere la molid s-au remarcat în data de 29 iunie DOY (180) la altitudinea de 1500 m. În cazul altitudinii de 1700 m primele celule în curs de lărgire la molid se observă în jurul datei de 21 mai (DOY 141), mai devreme comparativ cu diferențierea celulelor de la altitudinea de 1500 (fig.5.2.3). Numărul de celule în curs de diferențiere a crescut până la 11-12 celule în data de 23 iunie (DOY 174). Procesul de diferențiere a celulelor la molid s-a încheiat în jurul datei de 8 iulie (DOY 189) la altitudinea de 1700 m. Procesului de diferențiere la molid a durat 27 de zile la altitudinea de 1500 m și de 48 de zile la altitudinea de 1700 m. Startul celulelor în curs de diferențiere la molid a avut loc în anul 2007 când suma temperaturii a ajuns la 93 dd la altitudinea de 1700 m și 194 dd la altitudinea de 1500 m.



Figura 5.2.3 Dinamica numărului de celule în curs de diferențiere la molid și zâmbru.

La zâmbru la altitudinea de 1500 m în anul 2007 începutul procesul de diferențiere a celulelor a avut loc la sfârșitul luni mai (DOY 151). Numărul maxim de celule (5,07 celule) se observă în data de 8 iunie (DOY 159). Sfârșitul procesului de diferențiere la zâmbru la altitudinea de 1500 m a avut loc în data de 23 iunie (DOY 174). La altitudinea de 1700 m startul celulelor în curs de lărgire la zâmbru a avut loc în jurul datei de 22 mai (DOY 142), iar numărul maxim de celule (10-11 celule) a avut loc în data de 2 iunie (DOY 153). Diferențierea celulelor la zâmbru a durat 23 de zile la altitudinea de 1500 m și 39 de zile la altitudinea de 1700 m.

Diferențierea celulară la zâmbru a avut loc în anul 2007 când suma temperaturii a ajuns la 101 dd la altitudinea de 1700 m și 186 dd la altitudinea de 1500 m.

În anul 2008 startul celulelor în curs de lărgire la molid a avut loc în data de 29 mai (DOY 150) la ambele nivele altitudinale. Numărul de celule în curs de diferențiere a crescut până la 6-7 celule în data de 26 iunie (DOY 178) la altitudinea de 1500 m. Durata de diferențiere celulară la molid în anul 2008 a fost de 22 zile la altitudinea de 1500 m și de 28 zile la altitudinea de 1700 m. Diferențierea celulelor la molid a început când suma temperaturii a ajuns la 83 dd la altitudinea de 1500 m și 54 dd la altitudinea de 1700 m.

În cazul zâmbrului în anul 2008 celulele cambiale au început să se diferențieze în data de 22 mai (DOY 143) la 1500 m. La altitudinea de 1700 m startul diferențierii celulelor a avut loc mai devreme cu aproximativ 5 zile (DOY 138) comparativ cu altitudinea de 1500 m. Numărul de celule lărgite a crescut până la 4-5 celule în data de 7 iunie (DOY 159) la altitudinea de 1500 m, iar în cazul altitudinii de 1700 m numărul de celule a crescut până la 5-6 celule în data de 20 iunie (DOY 171). Sfârșitul procesului de diferențiere a celulelor în curs de lărgire a avut loc mai devreme la altitudinea de 1500 m (DOY 163), comparativ cu nivelul altitudinal de 1700 m în care ultimele celule în curs de diferențiere se observă în data de 22 iunie (DOY 174). Diferențierea celulelor la zâmbru a durat 19 zile la altitudinea de 1500 m și

de 36 zile la altitudinea de 1700 m. Celulele la zâmbu au început să se diferențieze când suma temperaturilor a ajuns la 58 dd la altitudinea de 1500 m.

Primele celule în curs de lărgire la molid în anul 2009 s-au observat în jurul datei de 23 mai (DOY 143) la ambele suprafețe altitudinale. Numărul maxim de celule în curs de lărgire se constată în data 12 iunie (DOY 163) în cazul ambelor nivele altitudinale. Temperatura necesară startului diviziunii celulare s-a situat la 113 dd la altitudinea de 1500 m și de 82 dd la altitudinea de 1700 m.

Startul diferențierii celulelor la zâmbu în anul 2009 a avut loc în data de 16 mai (DOY 136) pentru altitudinea 1500 m și 15 mai (DOY 135) pentru altitudinea de 1700 m. Celulele în curs de lărgire au atins maximul lor în jurul datei de 5 iunie (DOY 156), în cazul ambelor nivele altitudinale. Ultimele celule în curs de lărgire s-au observat în data de 24 iunie (DOY 175) perioadă corespunzătoare ambelor nivele altitudinale. Încheierea procesului de lărgirea a celulelor la molid a avut loc mai târziu comparativ cu zâmbu. Lărgirea celulelor la zâmbu a durat 39 de zile la altitudinea de 1500 m și 40 de zile la altitudinea de 1700 m. Startul diviziunii celulare la zâmbu a avut loc când suma temperaturii a ajuns la 61 dd la altitudinea de 1500 m și de 34 dd la altitudinea de 1700 m.

Procesul de lignificare a pereților celulari. Începutul procesului de lignificare la molid în anul 2007 s-a observat în jurul datei de 17 iunie (DOY 168) la ambele nivele altitudinale. Numărul maxim de celule în curs de lignificare s-au observat în data de 3 august (DOY 215) în ambele suprafețe experimentale.

În cazul zâmbului în anul 2007 se observă diferențe în ceea ce privește startul procesului de lignificare la cele două nivele altitudinale: în jurul datei de 4 iunie (DOY 155) la (1500 m), iar la altitudinea de 1700 m lignificarea celulelor a început în data de 13 iunie (DOY 164) (fig.5.2.4). Sfârșitul procesului de lignificare la zâmbu a avut loc în data de 29 august la altitudinea de 1500 m și în 3 septembrie (DOY 246) la nivelul altitudinal 1700 m. Procesul de lignificare la zâmbu a durat 85 de zile la altitudinea de 1500 m, iar la altitudinea de 1700 m celulele s-au lignificat în 82 zile.

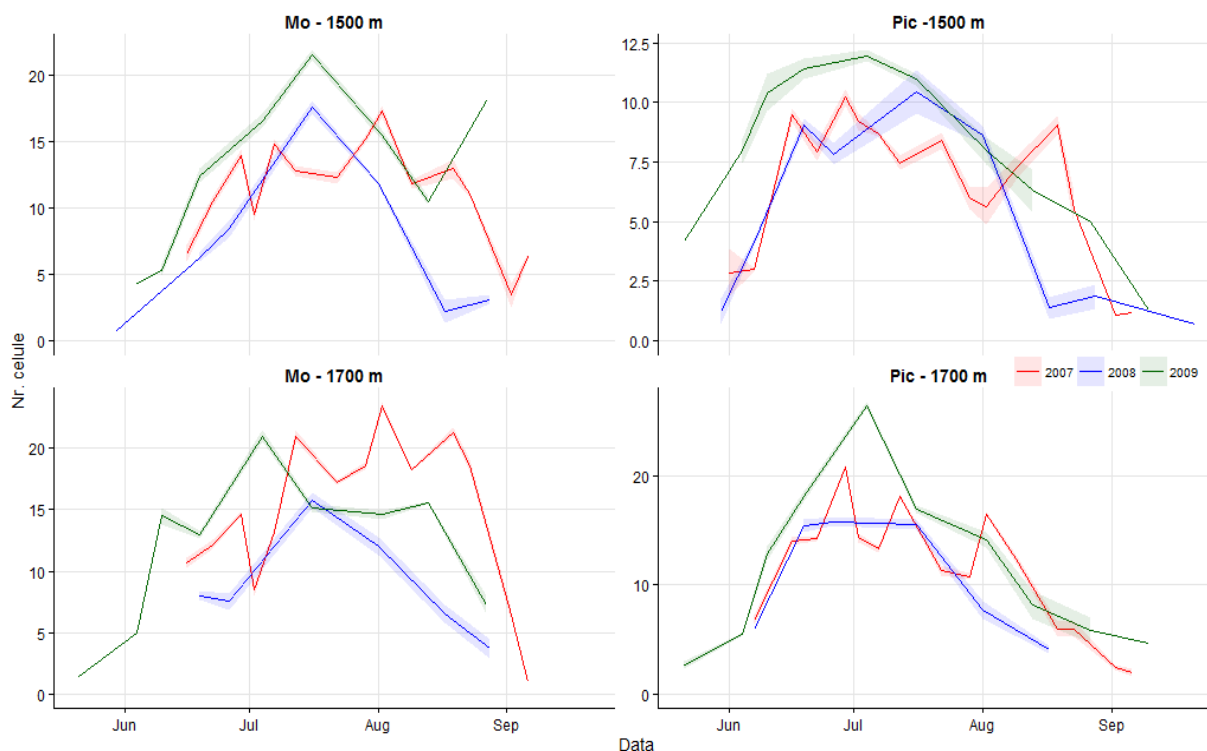


Figura 5.2.4 Dinamica numărului de celule în curs de lignificare la molid și zâmbu.

În anul 2008, începutul procesului de lignificare la molid s-a observat în jurul datei de 16 iunie (DOY 168) la altitudinea de 1500 m. Primele celule în curs de lignificare la altitudinea de 1700 m a avut loc în data de 20 iunie (DOY 172). Numărul maxim de celule în curs de lărgire s-a înregistrat în data de 16 iulie (DOY 198) în cazul ambelor nivele altitudinale.

Încheierea procesului de lignificare la altitudinea de 1500 m a avut loc în data de 24 august (DOY 237), iar la altitudinea de 1700 m ultimele celule în curs de lignificare s-au remarcat în data de 28 august (DOY 241). Procesul de lignificare la molid a durat 68 zile la altitudinea de 1500 m și de 69 zile la altitudinea de 1700 m.

Primele celule în curs de lignificare la altitudinea de 1500 m la zâmbu s-au înregistrat în data de 10 iunie (DOY 162), cu un număr maxim de celule atins la data de 16 iulie (DOY 198). La altitudinea de 1700 m pereții celulelor au început să se lignifice în data de 18 iunie (DOY 170), atingând numărul maxim de celule în data de 16 iulie, caz similar altitudinii de 1500 m. Sfârșitul fazei de lignificare a avut loc în data de 2 septembrie (DOY 246) la altitudinea de 1500 m, iar în cazul altitudinii de 1700 m în data de 17 august (DOY 230). Lignificarea celulelor în anul 2008 la zâmbu a durat 84 de zile la altitudinea de 1500 m și 60 de zile la altitudinea de 1700 m.

Procesului de lignificare a celulelor la molid în anul 2009 a început în data de 10 iunie (DOY 161) la altitudinea de 1500 m, respectiv în 9 iunie (DOY 160) la (1700 m). Celulele în curs de lignificare la molid au atins maximum lor (25-26 celule) în jurul datei de 17 iulie (DOY 198) la altitudinea 1500 m, comparativ cu altitudinea de 1700 m când are loc în jurul datei de 5 iulie (DOY 186). Apariția ultimelor celule în curs de lignificare se constată în jurul datei de 28 august (DOY 240) pentru altitudinea de 1700 m și mai devreme în cazul altitudinii de 1500 m 17 august (DOY 229). Procesul de lignificare la molid în anul 2009 a durat 68 de zile la altitudinea de 1500 m și 80 de zile la altitudinea de 1700 m.

Referitor la zâmbu, primele celule în curs de lignificare se observă în data de 5 iunie (DOY 156) la 1500 m cu 5 zile mai târziu comparativ cu altitudinea de 1700 m (DOY 150). Numărul maxim de celule în curs de lignificare (12,31 celule) se observă în jurul datei 5 iulie (DOY 186) în ambele suprafețe experimentale. Sfârșitul procesului de lignificare a celulelor s-a observat în jurul datei de 17 august (DOY 229) pentru altitudinea de 1500 m, iar pentru suprafața experimentală de la 1700 m a avut loc în jurul datei de 22 august (DOY 234). Procesul de lignificare la zâmbu durează între 74 zile (1500 m) și 84 zile (1700 m).

Faza celulelor mature. Apariția primelor celule complet lignificate corespunde cu încheierea procesului de formare a peretelui celular rezultând celulele mature. Primele celule mature la molid în anul 2007 s-au observat în jurul datei 29 iunie (DOY 180) la altitudinea de 1500 m, similar cu altitudinea de 1700 m. La zâmbu primele celule complet lignificate s-au observat în data de 24 iunie (DOY 175) la altitudinea de 1500 m mai târziu cu 4 zile față de altitudinea de 1700 m - 20 iunie (DOY 171).

Referitor la anul 2008 primele celule complet lignificate la molid la altitudinea de 1500 m s-au observat în dată 30 iunie (DOY 182), iar în cazul altitudinii de 1700 m în data de 12 iulie (DOY 194). La zâmbu primele celule mature s-au constatat în data de 26 iunie (DOY 178) (1500 m), respectiv în data de 25 iunie (DOY 177) (1700 m). Maximum procesului de lignificare a celulelor s-a remarcat în luna august, ultimele celule rămase și-au continuat procesul de lignificarea până în luna septembrie (fig. 5.2.5).

În anul 2009 apariția primelor celule complet lignificate la molid a avut loc în data de 20 iunie (DOY 171) la altitudinea de 1700 m, cu 5 zile diferență față de altitudinea de 1500 m, în care primele celule mature s-au observat în data de 25 iunie (DOY 176). Primele celule complet lignificate la zâmbu s-au remarcat în data de 16 iunie (DOY 167) la altitudinea de 1500 m și în data de 11 iunie (DOY 162) la altitudinea de 1700 m (fig. 5.2.5).

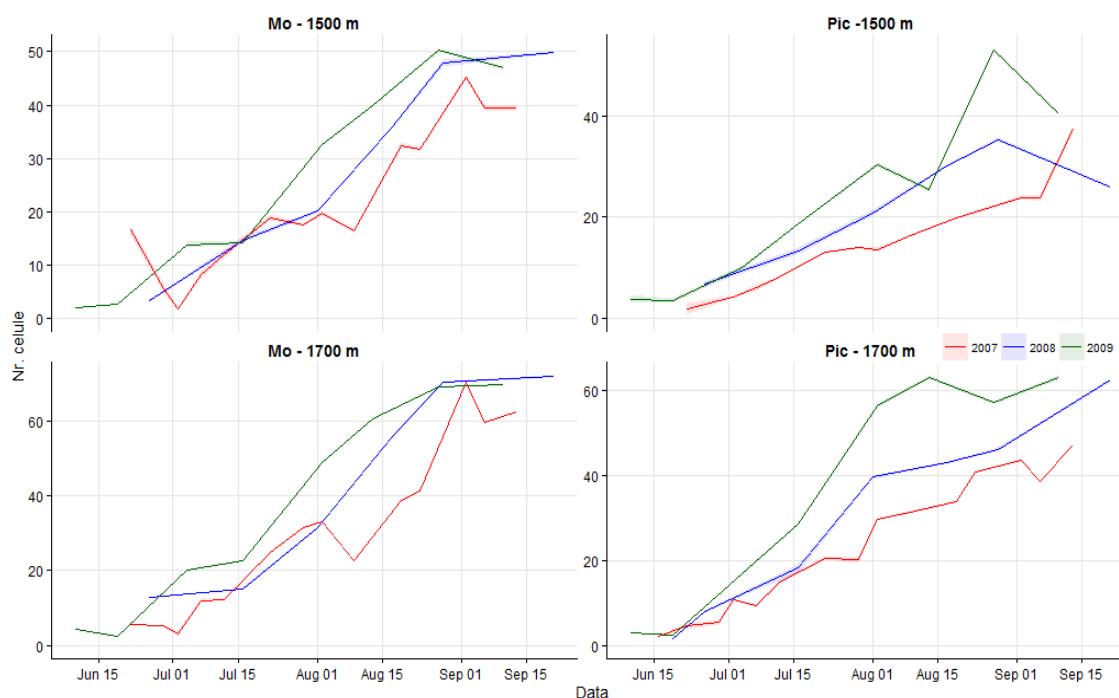


Figura 5.2.5 Dinamica numărului de celule mature la molid și zâmbru.

Rezultatele obținute arată că variabilitatea spațială și temporală a dinamicii formării inelului anual la molid și zâmbru este influențat de factorii de mediu (temperatura, altitudine, etc.). Gruber (2009) a determinat perioada formării lemnului la zâmbru începând din data de 27 aprilie când au apărut primele celule în curs de lărgire până în data de 28 octombrie când celulele erau complet mature.

Durata fazelor de formare a inelului anual. Dinamica numărului total de celule, cuprinzând cele 3 etape de dezvoltare (celule aflate în faza de diferențiere, celule aflate în curs de lignificare, respectiv celule mature) se observă în (fig. 5.2.6).

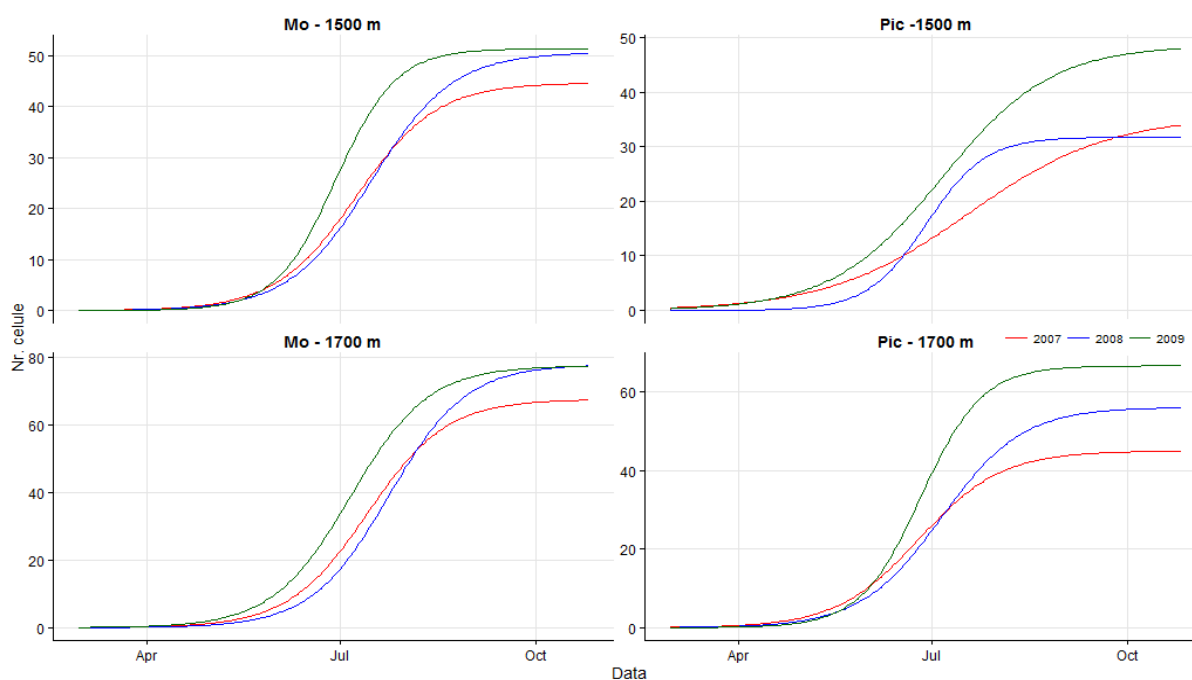


Figura 5.2.6 Dinamica numărului total de celule la molid și zâmbru.

Modelarea dinamicii numărului total de celule relevă valori maxime în anul 2009 și minime în anul 2007. Creșterea radială, exprimată prin numărul total de celule, este mai mare la altitudinea de 1700 m comparativ cu (1500 m) pentru toată perioada analizată. Această diferențiere altitudinală își găsește explicația în diferența de vârstă existentă între cele două suprafețe experimentale și nu datorită altitudinii.

Startul creșterii radiale la molid în anul 2007 la altitudinea de 1500 m este similar cu anul 2008 (DOY $153 \pm 150 \pm 2,68$) și are loc mai repede în anul 2009 (DOY $143 \pm 7,66$). Referitor la altitudinea de 1700 m valorii apropiate se regăsesc la molid (DOY $141 \pm 6,70$) și zâmbu (DOY $142 \pm 6,65$) în anul 2007. Diferențe apar în anul 2008 când începutul procesului de creștere radială la molid are loc în DOY $150 \pm 2,68$ iar la zâmbului în (DOY 130 ± 0) (fig.5.2.7).

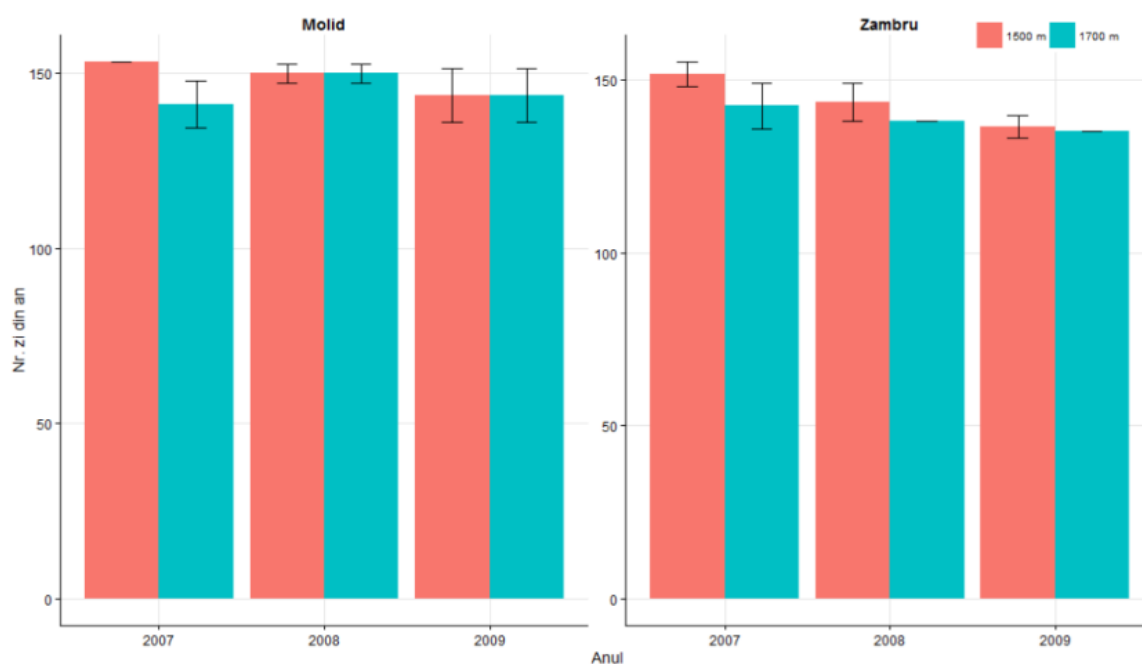


Figura 5.2.7 Startul procesului de creștere radială la molid și zâmbu.

Sfârșitul fazei de lignificare echivalent cu finalizarea formării inelului anual la molid, are loc la altitudinea de 1500 m în data de DOY $248 \pm 2,19$, mai târziu cu o săptămână față de zâmbu (DOY $241 \pm 6,72$) (fig. 5.2.13). În anul 2008 sfârșitul fazei de lignificare a avut loc mai devreme la molid (DOY $237 \pm 6,02$) decât în cazul zâmbului (DOY $246 \pm 10,73$).

În urma comparării valorilor la altitudinea de 1700 m s-au observat diferențe între anii 2007 (DOY $246 \pm 6,06$) și 2009 (DOY $234 \pm 12,51$) la zâmbu. În cazul molidului se observă diferențe între sfârșitul creșterii radiale din anii 2007 (DOY $245 \pm 5,21$) și 2009 (DOY 240 ± 0) (figura 5.2.8).

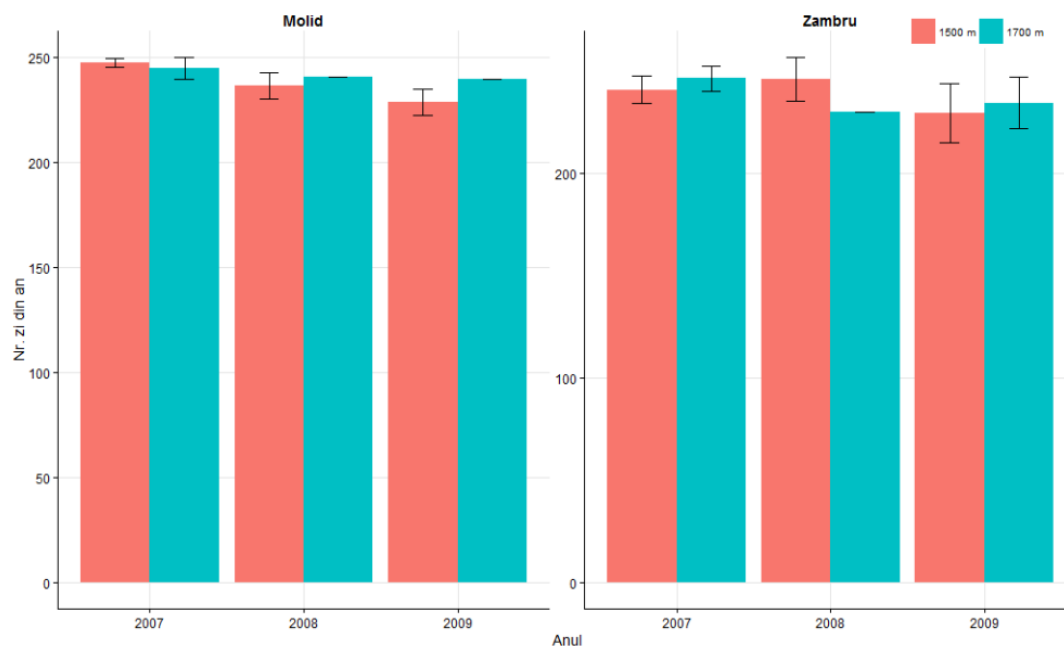


Figura 5.2.8 Sfârșitul procesului de creștere radială la molid și zâmbru.

Durata totală de formare a inelului anual la speciile analizate nu diferă între specii și ani, diferențe observându-se între nivelele altitudinale. În suprafața experimentală Călimani de la altitudinea de 1700 m inelul anual în anul 2007 s-a format pe durata a 104 zile în cazul ambelor specii. Diferențe în durata formării inelului anual sunt evidențiate la altitudinea de 1500 m între cele două specii. În cazul molidului în anul 2007 durata de formare a xilemului a fost de 95 zile, iar la zâmbru 89 zile. O durată de 102 zile în formarea inelului anual s-a remarcat la zâmbru în anul 2008 și de 93 zile în anul 2009 (fig. 5.2.9).

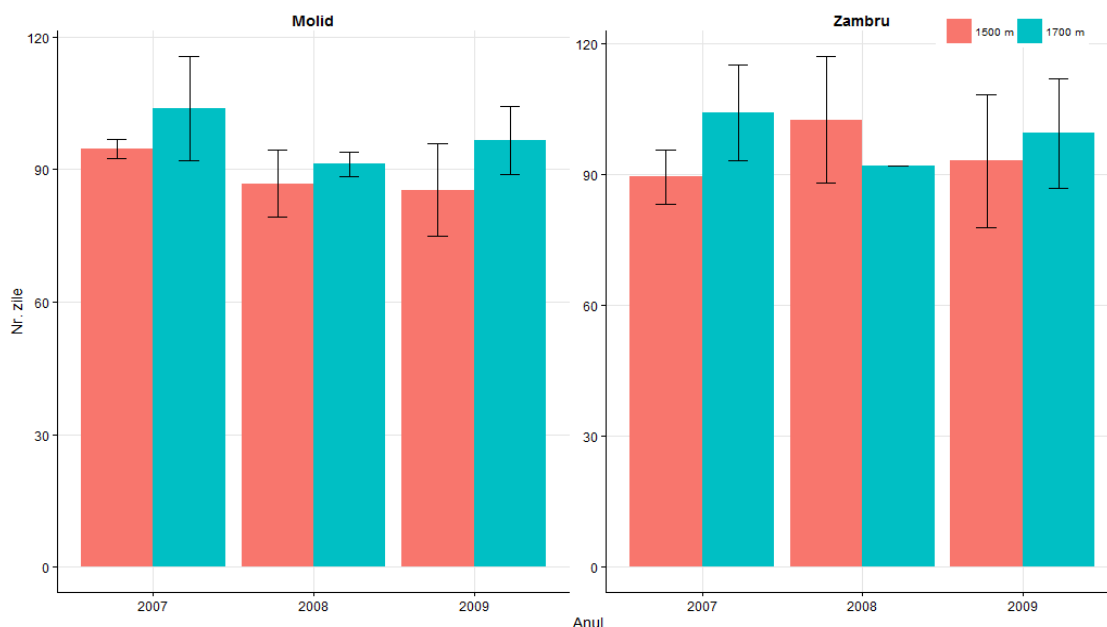


Figura 5.2.9 Durata de formare a inelului anual la molid și zâmbru.

Analiza curbelor de variație zilnică a numărului total de celule prezintă un ritm diferit între specii și nivele altitudinale. Variația ritmului de creștere radială pe nivele altitudinale reflectă o rată maximă de creștere la molid (0,58 celule/zi) în anul 2007 la altitudinea de 1500 m în data de 10 iulie (DOY 191), comparativ cu altitudinea de 1700 m în care rata maximă de creștere de 0,90 celule/zi este atinsă în data de 15 iulie (DOY 196). Rată maximă de creștere (1,07 celule/zi) se observă la molid în anul 2008 la altitudinea de 1700 m în data de 24 iulie (DOY 206) (fig. 5.2.10).

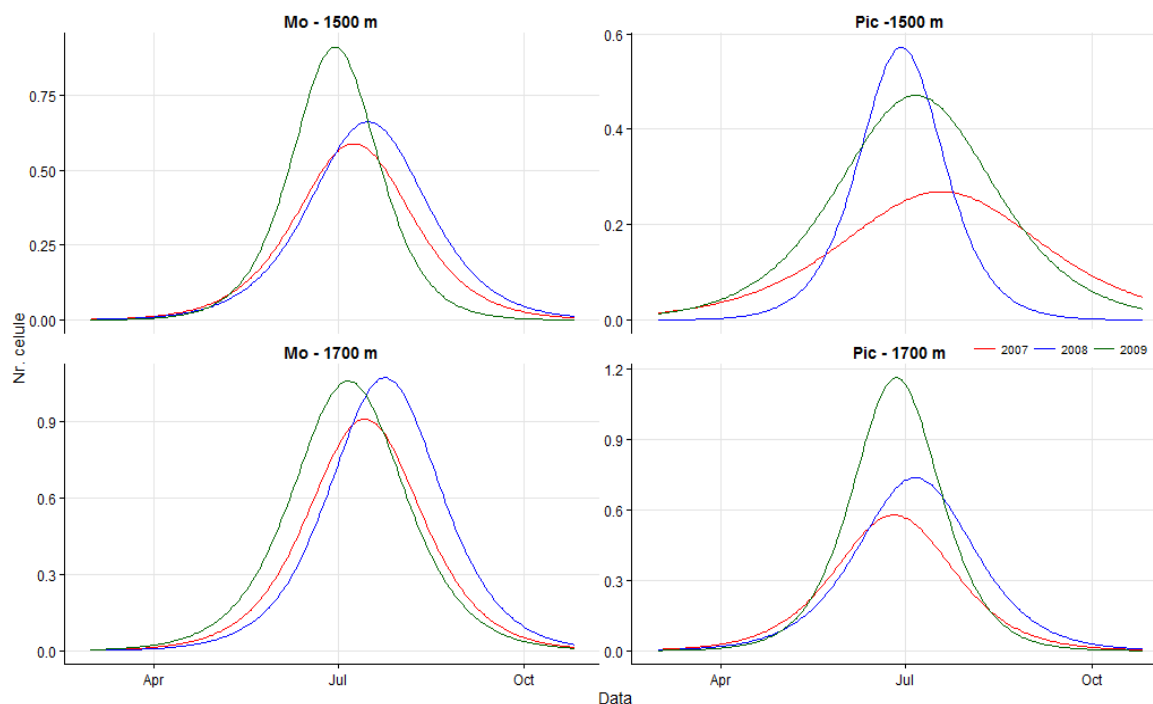


Figura 5.2.10 Rata creșterii zilnice a inelului anual la molid și zâmbru.

Analizând ritmul de creștere comparativ între ani (2007-2008) la molid se remarcă un trend asemănător de creștere între nivele altitudinale, dar cu diferențe în ceea ce privește rata maximă de creștere. La zâmbru în anul 2007 se poate remarca o rată maximă de producere a traheidelor (0,26 celule/zi) în data de 20 iulie (DOY 201) la altitudinea de 1500 m, fiind dublă la altitudinea de 1700 m (0,57 celule/zi) în data de 26 iunie (DOY 177). În anul 2008 la zâmbru rata maximă de creștere este de 0,73 celule/zi observată în data de 6 iulie (DOY 188) la altitudinea de 1700 m, iar la 1500 m rata maximă de creștere este 0,57 celule/zi în data de 29 iunie (DOY 181). Gruber et al. (2009) au prezentat o rată maximă de producere de traheide de 1,2 - 1,4 celule/zi la zâmbru în Alpi.

Analiza corelației la molid și zâmbru. Analizând corelația între numărul de celule și temperatură se remarcă o corelație pozitivă la molid la altitudinea de 1700 m și o corelație nesemnificativă statistic la (1500 m) în anul 2007. La zâmbru în anul 2007 se remarcă o corelație pozitivă și semnificativă la altitudinea de 1500 m și nesemnificativă la altitudinea de 1700 m. În anul 2008 la molid la altitudinea de 1500 m se observă o corelație pozitivă și semnificativă statistic ($r=0,70^*$) între numărul de celule și temperatură, precum și la 1700 m ($r=0,75^{**}$). La zâmbru în anul 2009 corelația este pozitivă și foarte semnificativă statistic ($r=0,74^{**}$) la (1500 m) iar la molid se constată o corelație pozitivă și semnificativă la $p<0,1$ ($r=0,78^{**}$) la altitudinea de 1700 m (fig. 5.2.11).

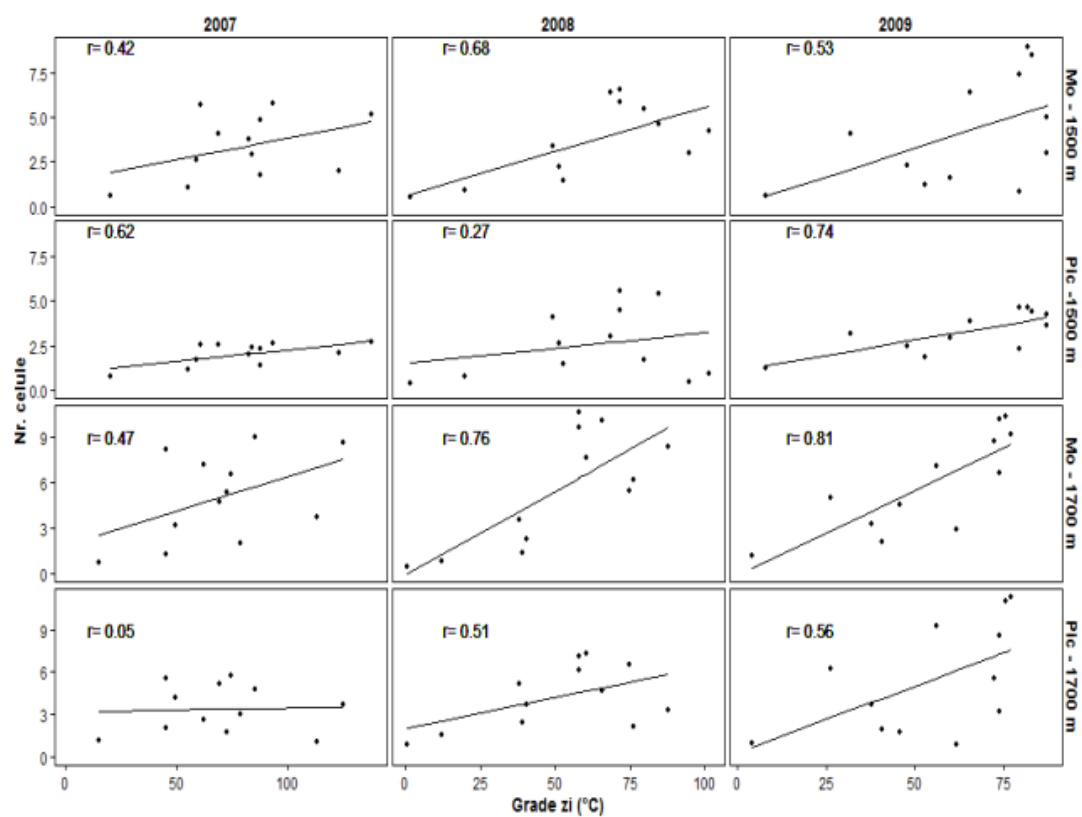
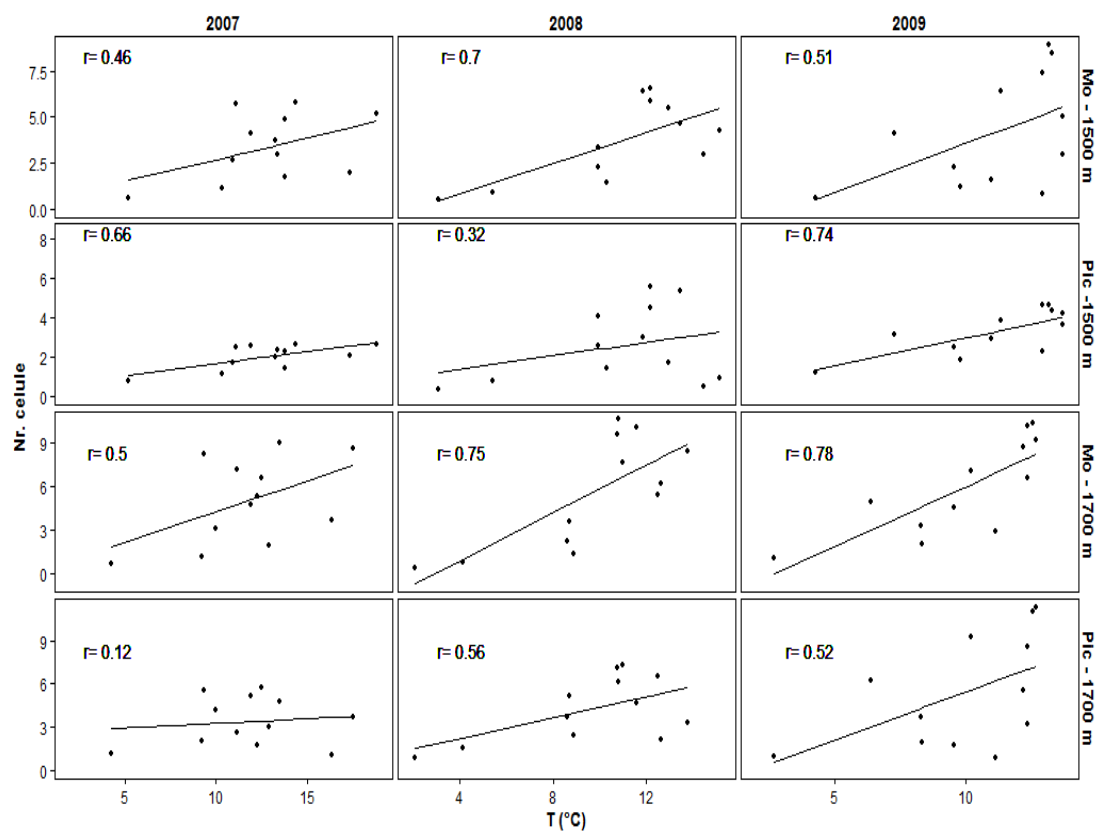


Figura 5.2.11 Analiza corelației dintre numărul de celule, temperatura medie și numărul de grade zilnice cumulate.

Cantitatea de căldură se corelează pozitiv cu numărul periodic de celule produse pentru ambele specii, diferențe existând în ceea ce privește intensitatea legăturii corelative în anul 2007 la altitudinea de 1500 m se observă o corelație pozitivă și distinct semnificativă ($r=0,62^{**}$) la zâmbru. La molid corelația este pozitivă și ne semnificativă statistic. În anul 2008, corelații pozitive și semnificative ($r=0,68^*$) se remarcă la molid la altitudinea de 1500 m precum și altitudinea de 1700 ($r=0,76^{**}$). O corelație pozitivă și semnificativă ($r=0,74^{**}$), se constată la zâmbru în anul 2009 la altitudinea de 1500 m, comparativ cu molidul de la altitudinea de 1700 m în care se remarcă de asemenea o corelație pozitivă foarte semnificativă ($r=0,81^{***}$).

5.3 Dinamica proceselor de creștere radială la rășinoase în Parcul Național Călimani

În zona montană superioară din masivul Călimani, pe lângă ecosistemele naturale de molid cu zâmbru, sunt introduse artificial și alte specii de rășinoase precum laricele (*Larix decidua*) și pinul silvestru (*Pinus sylvestris*). Regimul termic se caracterizează cu primăveri mai reci datorită topirii zăpezilor și cu fenomene de inversiune termică. În condițiile de presiune atmosferică ridicată cu cer senin și lipsă totală a precipitațiilor apar inversiunile termice în principal iarna și toamna (Cenușă 2001).

Microclimatul. Referitor la condițiile climatice din sezonul de vegetație 2010, temperaturile cele mai scăzute de 2,0°C s-au înregistrat în lunile martie-mai. Temperaturi ridicate de 12,9°C s-au înregistrat în lunile de vară (iunie-august) în anul 2010. Perioada cea mai caldă în anul 2010 s-a înregistrat în luna august cu o temperatură de 14,6°C. S-au înregistrat temperaturi pozitive în anul 2011, în care temperaturile lunare din primăvară sunt de 2,1°C. În lunile de vară din anul 2011 s-au înregistrat temperaturii de 12,2°C cu diferențe ne semnificative între temperaturile înregistrate în anul anterior. Temperatura medie a aerului din lunile estivale a anului 2013 au fost de 12,2°C, iar în perioada de primăvară s-au înregistrat temperaturii de 2,7°C. Temperatura cea mai ridicată de 13,17°C s-a înregistrat în luna august în anul 2013 (figura 5.3.2). Cantitatea de căldură cea mai scăzută (5,7 dd) s-a înregistrat în luna martie, iar cantitatea de căldură cumulată (301 dd) s-a înregistrat în luna august în anul 2010.

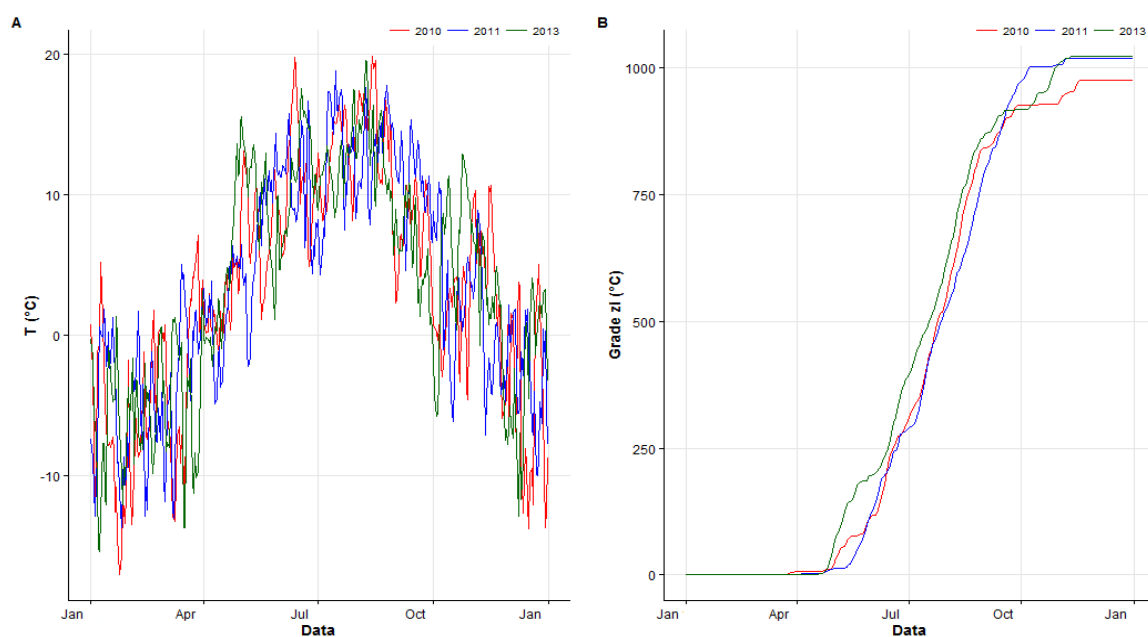


Figura 5.3.1 Variația temperaturii la nivelul altitudinal 1500 m din suprafața experimentală Călimani.

Faza celulelor cambiale. La începutul sezonului de vegetație 2010, în zona cambială la molid s-au observat celule cambiale aflate în repaus vegetativ (4-5 celule) în data 31 martie (DOY 90). Cambiul a început să se dividă producând noi celule cambiale (6-7 celule) în data de 23 mai (DOY 143). Numărul maxim de celule cambiale în anul 2010 a ajuns la 7-8 celule în data de 20 iunie (DOY 171).

În anul 2011, în zona cambială la molid s-au remarcat 4 -5 celule cambiale inactive în data de 12 aprilie (DOY 102). Cambiul a început să genereze noi celule în număr de 5-6 celule în data de 21 mai (DOY 141), urmată de o diviziune celulară mai intensă în data de 12 iunie. În data de 26 iunie (DOY 177) numărul maxim de celule cambiale a ajuns la 7-8 celule (fig.5.3.2).

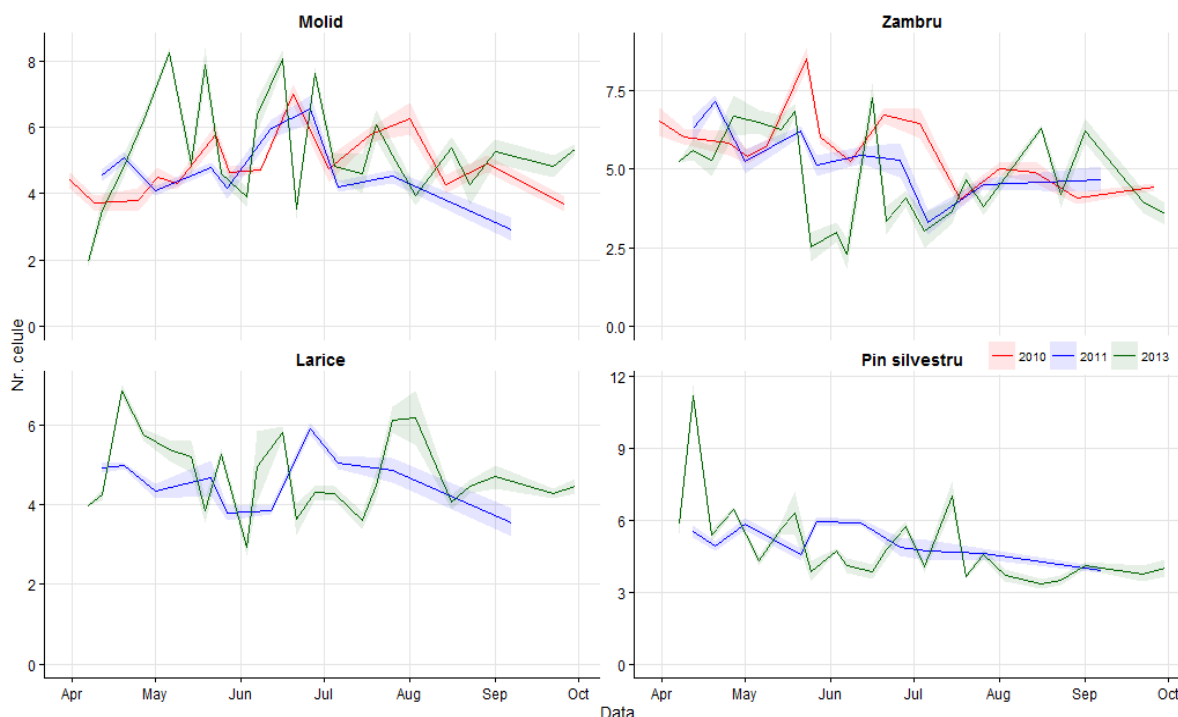


Figura 5.3.2 Dinamica numărului de celule cambiale.

În sezonul de vegetație 2013, la molid s-au observat 2-4 celule aflate în repaus vegetativ în data de 7 aprilie (DOY 97). O creștere a numărului de celule (5 celule) a avut loc în data de 19 aprilie (DOY 109). În data de 27 aprilie (DOY 117) numărul de celule cambiale a crescut până la (6-7 celule cambiale). Numărul maxim (8 celule cambiale) a ajuns în data de 6 mai (DOY 126). În cazul zâmbrului în data de 31 martie (DOY 90) zona cambială a conținut deja 6-7 celule. Pentru anul 2011 activitatea cambială la zâmburu a început în data de 12 aprilie (DOY 102) iar în (DOY 110) numărul maxim de celule a crescut până la 8 celule.

În anul 2013 la zâmburu, în zona cambială se observă 4-5 celule cambiale, astfel cambiul este inactiv în data de 7 aprilie (DOY 97). Numărul maxim de celule cambiale (9 celule) se observă în data de 27 aprilie (DOY 117). În anul 2013, la zâmburu se poate remarca un ritm mai rapid în producerea celulelor cambiale. În anul 2011, la pin silvestru în zona cambială se observă 5 celule în data de 12 aprilie (DOY 102). În data de 27 mai (DOY 147) numărul de celule cambiale crește până la 6 celule. Numărul maxim de celule cambiale se observă în data de 12 iunie (DOY 163).

La începutul sezonul de vegetație 2013, la pin silvestru se observă 6 celule cambiale în data de 7 aprilie (DOY 97). Numărul maxim de celule cambiale (13 celule) a avut loc în data de 12 aprilie (DOY 102), în care s-a remarcat o diviziune cambiale mai intensă.

În anul 2011, în zona cambială la larice se observă 5-6 celule cambiale în data de 12 aprilie (DOY 102). Numărul maxim de celule cambiale la larice a ajuns la 6-7 celule în data de 26 iunie. În cazul anului 2013, s-a observat zona cambială inactivă în data de 7 aprilie (DOY 97). În data de 19 aprilie (DOY 109) diviziunea cambială a început, ajungând la un număr maxim de celule (6-7 celule).

În evaluarea dinamicii formării inelului anual la zâmbbru (Gruber et al. 2009) confirmă startul activității cambiale în data de 7 iunie 2006 și un start mai devreme în data de 23 aprilie în anul 2007, în care s-au observat un număr de 13 celule în zona cambială. Activitatea cambială a început când suma gradelor zilnice a ajuns la 95 dd.

Rata de producere a numărului de celule cambiale este de cele mai multe ori mai mare înainte de începerea fazei de diferențiere (Vaganov et al. 2006). Această situație se confirmă și în studiul nostru cu referire la activitatea cambială din anul 2013.

Faza celulelor în curs de diferențiere. Cea mai mare creștere prin număr de celule în curs de lărgire la molid a fost observată în data de 20 iunie (DOY 171). Procesul de lărgire a celulelor la molid s-a încheiat în data de 3 iulie (DOY 184) în anul 2010.

În anul 2011, începutul procesului de diferențiere la molid s-a remarcat în data 29 aprilie (DOY 119) mai devreme comparativ cu anul 2010. Startul celule în curs de diferențiere la molid în anul 2013 s-a constatat în data de 12 mai (DOY 132) iar numărul maxim de celule în curs de lărgire (6,78 celule) s-a înregistrat în data de 28 iunie (DOY 179). Faza de lărgire a celulelor la molid a durat 61 zile în anul 2010, 49 zile în anul 2011 și 72 zile în anul 2013 (fig.5.3.3).

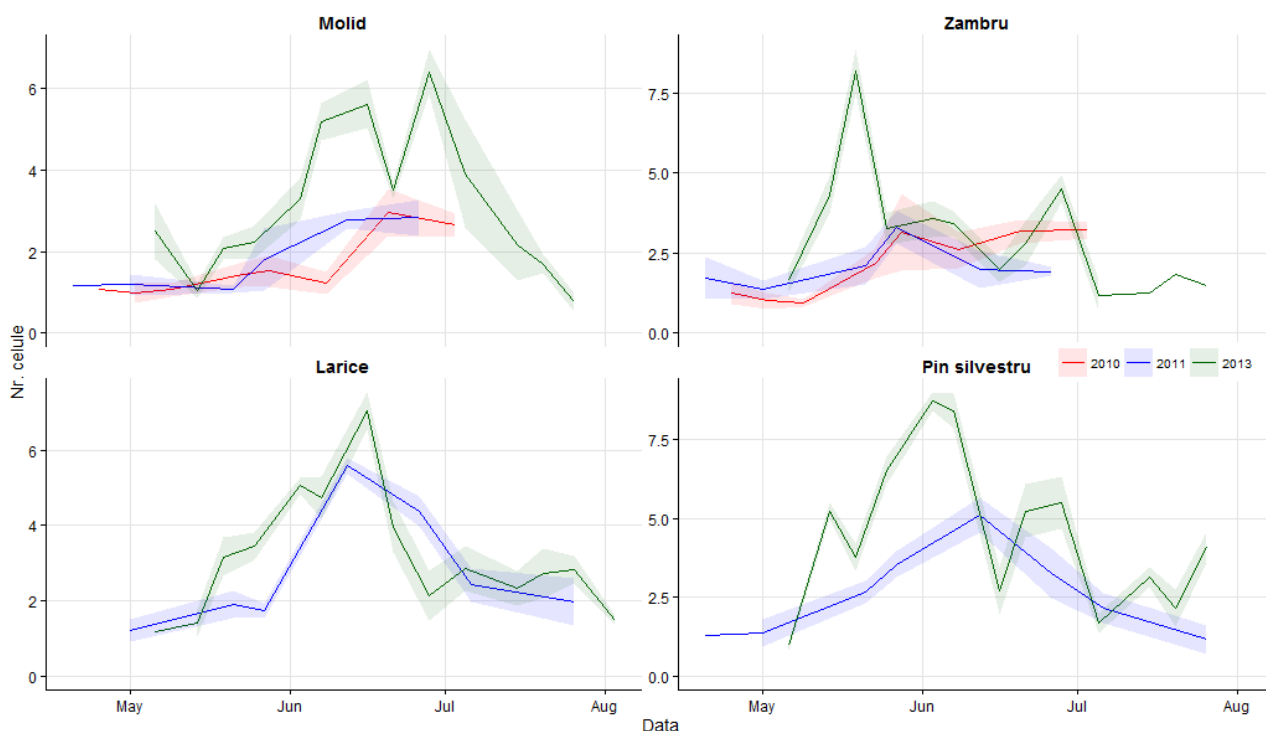


Figura 5.3.3 Dinamica numărului de celule în curs de diferențiere la rășinoase.

Începutul procesului de creștere radială la zâmbbru s-a observat în data de 1 mai (DOY 121) în anul 2010, caz similar și în anul 2011. Numărul maxim de celule în curs de lărgire s-a înregistrat în data de 23 mai (DOY 143) iar sfârșitul procesului de diferențiere s-a încheiat în data de 25 iunie (DOY 176), mai devreme comparativ cu molidul din anul 2010. Numărul maxim de celule în curs de lărgire (3-4 celule) s-a remarcat în data de 27 mai (DOY 147) în anul 2011, iar sfârșitul procesului de lărgire a celulelor s-a observat în data de 14 iunie (DOY 165). Referitor la zâmbbru în anul 2013 s-a remarcat începutul lărgirii celulelor mai târziu cu 8

zile comparativ cu anul 2010 și 2011, astfel primele celule s-au înregistrat în data de 9 mai (DOY 129). Numărul maxim de celule a avut loc în data de 19 mai (DOY 139), mai devreme comparativ cu anul 2011. Ultimele celule în curs de lignificare s-au remarcat în data de 9 iulie (DOY 190), mult mai târziu comparativ cu anul 2010 și 2011. Diferențierea celulelor la zâmbru a durat 56 zile în anul 2010, 45 zile în anul 2011 și 61 zile în anul 2013.

Referitor la faza de diferențiere a celulelor se remarcă diferențe cu privire la startul, durata și sfârșitul fazei de lărgire a celulelor la molid comparativ cu zâmbru. În cazul molidului startul și încheierea procesului de diferențiere au avut loc mai târziu comparativ cu zâmbru pentru anul 2013.

Începutul fazei de diferențiere la pin silvestru în anul 2011, s-a observat în data de 3 mai (DOY 123), caz similar molidului din anul 2010. Numărul maxim de celule a ajuns la 5-6 celule în data de 12 iunie (DOY 163), cu o continuare a procesului de diferențiere până în data de 14 iulie DOY (195) când s-au remarcat ultimele celule în curs de lărgire. În anul 2013, startul celulelor în curs de diferențiere s-a remarcat în data de 6 mai (DOY 126), ajungând la un număr maxim de (9-10 celule) în data de 7 iunie (DOY 158). Ultimele celule în curs de diferențiere la pin silvestru, s-au înregistrat în data de 26 iulie (DOY 207), mai târziu cu 12 zile comparativ cu anul 2011. Celulele la pin silvestru s-au diferențiat în 72 zile în anul 2011 și 81 zile în anul 2013.

La larice, startul celulelor în curs de lărgire în anul 2011 s-a înregistrat în data de 9 mai (DOY 129), situație similară zâmbrului din anul 2013. Numărul maxim de celule (10-11 celule) s-a constatat în data de 26 iunie (DOY 177), cu o reducere a numărului de celule în data de 10 iulie (DOY 191) în care s-au observat ultimele celule în curs de diferențiere. În anul 2013, primele celule în curs de lărgire au avut loc în data de 14 mai (DOY 134), mai târziu comparativ cu laricele din anul anterior. Numărul maxim a numărului de celule este de 6-7 celule, observate în data de 16 iunie (DOY 167). Sfârșitul procesului de diferențiere la larice în anul 2013, s-a încheiat în data de 29 iulie (DOY 210). Procesul de creștere radială a durat la larice 62 zile în anul 2011 și 76 zile în anul 2013.

Procesul de lignificare a pereților celulari. Startul procesului de lignificare a celulelor la molid în anul 2010 s-a constatat în data de 30 iunie (DOY 181), cu 17 zile mai târziu față de zâmbru care a avut loc în data de 13 iunie (DOY 164).

Celulele în curs de lignificare la molid au atins maximum lor în data 18 iulie (DOY 199), cu un număr redus de celule (5-6 celule) în anul 2010. În cazul zâmbrului în jurul datei de 20 iunie (DOY 171) numărul de celule a crescut la 5-6 celule. Apariția ultimelor celule în curs de lignificare corespunde cu terminarea creșterii în îngrosime a peretelui celular la molid care s-a remarcat în jurul datei de 1 septembrie (DOY 244). La zâmbru sfârșitul procesului de lignificare în anul 2010 s-a înregistrat în data de 9 septembrie (DOY 252), mai târziu comparativ cu molidul. Procesul de diferențiere a durat la molid 62 zile în anul 2010, 42 zile în anul 2011 și 91 zile în anul 2013.

La zâmbru, primele celule în curs de lignificare în anul 2011 s-au observat în data de 12 iunie (DOY 163), atingând numărul maxim de celule în data de 26 iunie (DOY 177). Se observă sfârșitul procesului de lignificare a celulelor la zâmbru în data de 26 iulie (DOY 207). În cazul molidului în anul 2011, procesul de lignificare a început în data de 22 iunie (DOY 173), mai târziu cu 14 zile comparativ cu zâmbru. Numărul maxim de celule în curs de lignificare la molid s-a observat în data de 6 iulie (DOY 187), descrescând până în data de 4 august (DOY 216) marcând sfârșitul procesului de lignificare.

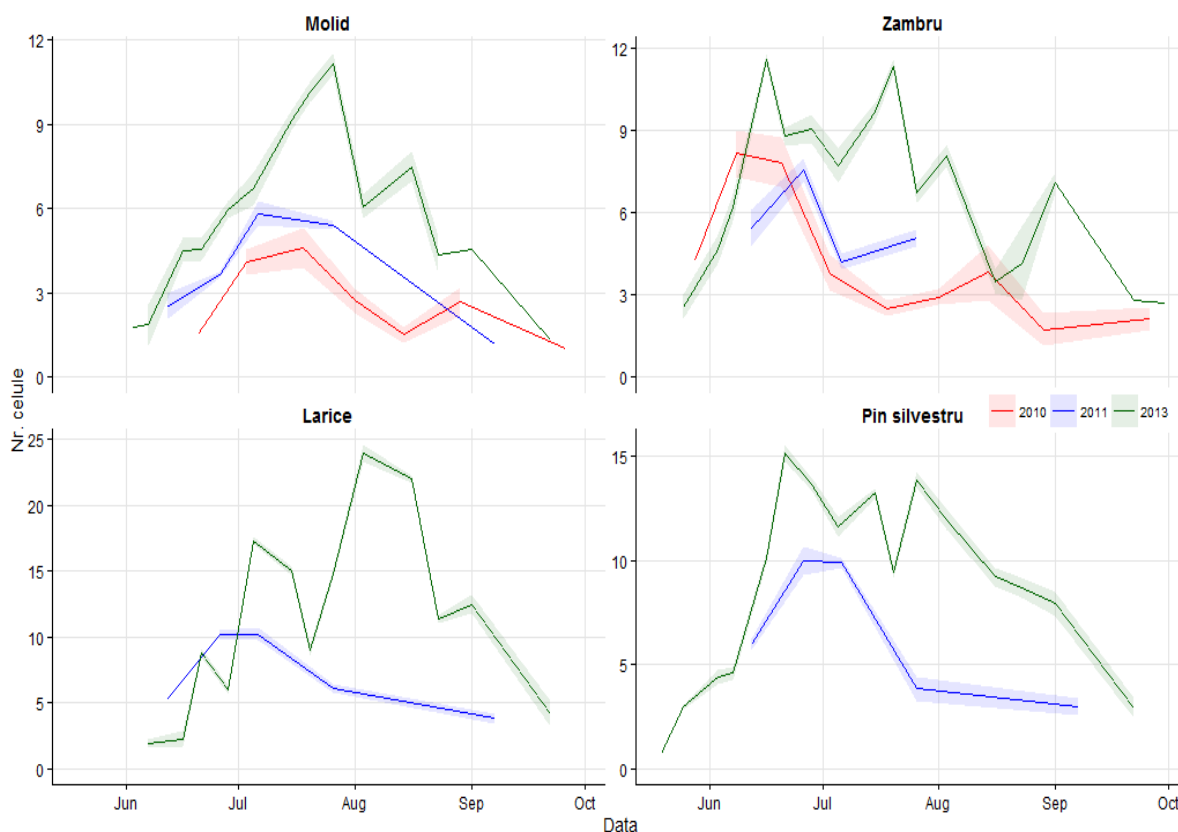


Figura 5.3.4 Dinamica numărului de celule în curs de lignificare la rășinoase.

Începutul procesului de lignificare la molid în anul 2013 s-a remarcat în data de 10 iunie (DOY 161) mai târziu cu 9 zile comparativ cu zâmbru în care procesul de lignificare a avut loc în data de 1 iunie (DOY 152). Numărul maxim de celule în curs de lignificare s-a înregistrat la molid în datei de 26 iulie (DOY 207), iar în cazul zâmbrului numărul maxim de celule a fost atins în data de 20 iulie (DOY 201).

Procesul de lignificare la molid s-a încheiat în data de 9 septembrie (DOY 252), iar în cazul zâmbrului procesul de lignificare a continuat până în data de 15 septembrie (DOY 258). Lignificarea celulelor la zâmbru a durat 88 zile în anul 2010, 44 zile în anul 2011 și 106 zile în anul 2013.

Startul procesului de lignificare la pin silvestru a avut loc în data de 12 iunie (DOY 163) în anul 2011, comparativ cu anul 2013 în care lignificarea celulelor a început mai devreme în data de 28 mai (DOY 148). Numărul maxim de celule (9-10 celule) s-au observat în data de 6 iulie (DOY 187) în anul 2011. Numărul maxim de celule pentru anul 2013 s-au observat în data de 21 iunie (DOY 172), mai devreme decât numărul maxim atins în anul 2011. Sfârșitul procesului de lignificare la pin silvestru s-a înregistrat în data de 21 august (DOY 233) în anul 2011, mult mai devreme comparativ cu anul 2013 în care ultimele celule în curs de lignificare au avut loc în data de 22 septembrie (DOY 265). Procesul de lignificare la pin silvestru a durat 70 zile în anul 2011 și 117 în anul 2013.

La larice, primele celule în curs de lignificare s-au observat în data de 23 iunie (DOY 174), în anul 2011. O creștere a numărului de celule lignificate (10 -11 celule) s-a observat în data de 26 iunie (DOY 177). Startul procesului de lignificare pentru anul 2013, a avut loc în data de 12 iunie (DOY 163) iar numărul maxim de celule lignificate s-a remarcat în data de 18 august (DOY 228), mult mai târziu comparativ cu anul 2011. Sfârșitul procesului de lignificare s-a înregistrat în data de 23 august (DOY 235) în anul 2011, cu o diferență de 30 zile față de anul 2013 în care ultimele celule s-au lignificat până în data de 22 septembrie

(DOY 265). Lignificarea celulelor la larice a durat 61 zile în anul 2011 și 102 zile în anul 2013.

Faza celule mature. Primele celule complet lignificate la molid în anul 2010, s-au observat în data de 3 iulie (DOY 184), iar în anul 2011 primele celule mature s-au constatat în data de 10 iulie (DOY 191). În anul 2013, celulele complet formate s-au remarcat în data de 30 iunie (DOY 181), mai devreme comparativ cu ceilalți ani. În cazul zâmbrului, primele celule complet lignificate în anul 2010 s-au înregistrat în data de 28 iunie (DOY 179), cu 5 zilele mai târziu comparativ cu anul 2011 în care primele celule lignificate s-au observat în data de 23 iunie (DOY 174). În anul 2013 la zâmbu, primele celule formate s-au remarcat în data de 14 iunie (DOY 165).

În cazul pinului silvestru, primele celule mature s-au înregistrat în data de 30 iunie (DOY 181) în anul 2011, cu 14 zile mai târziu față de anul 2013 în care celulele complet mature s-au observat în data de 16 iunie (DOY 167). La larice, primele celule mature s-au observat în data de 26 iunie (DOY 177) în anul 2011 și 2013 (fig. 5.3.5).

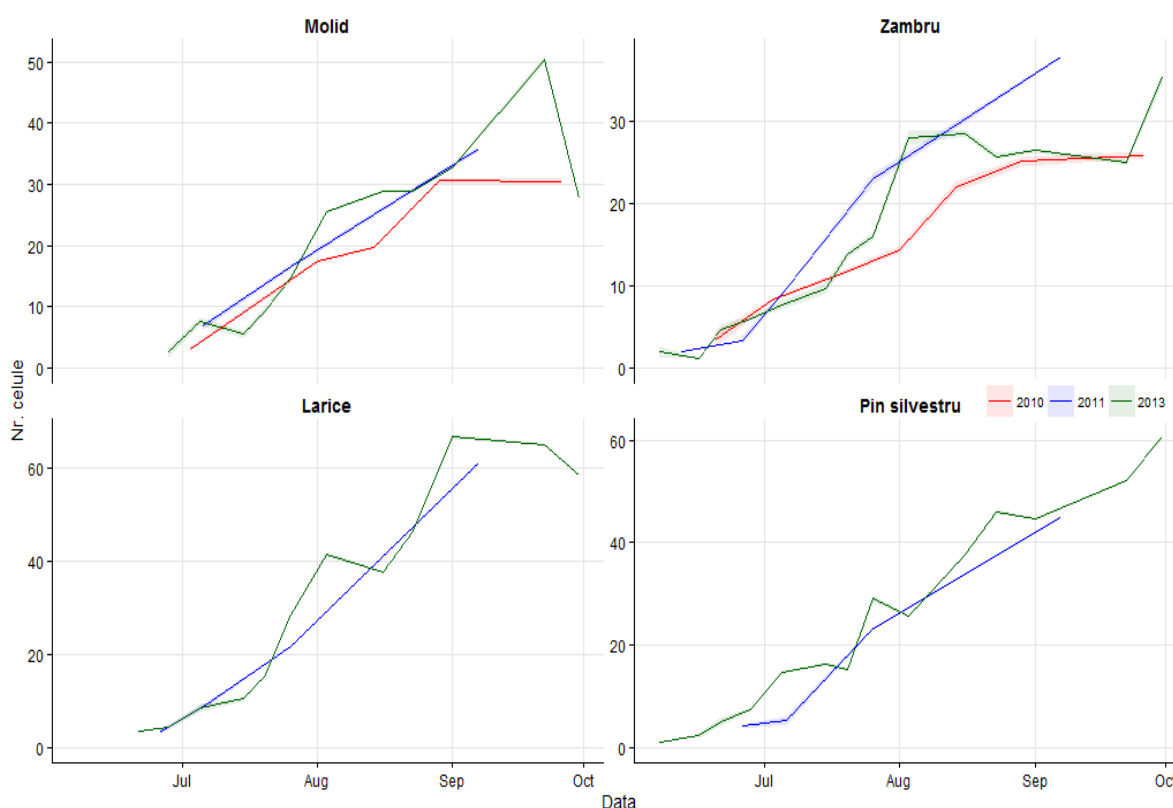


Figura 5.3.5 Dinamica intra-anuală a celulelor mature la rășinoase.

Durata fazelor de formare a inelului anual. În procesul de formare a xilemului se deosebesc 3 etape de dezvoltare radială, astfel celule aflate în faza de diferențiere, lignificare, respectiv celule lignificate (mature) reprezintă numărului de celule cumulate din cuprinsul inelului anual (fig. 5.3.6).

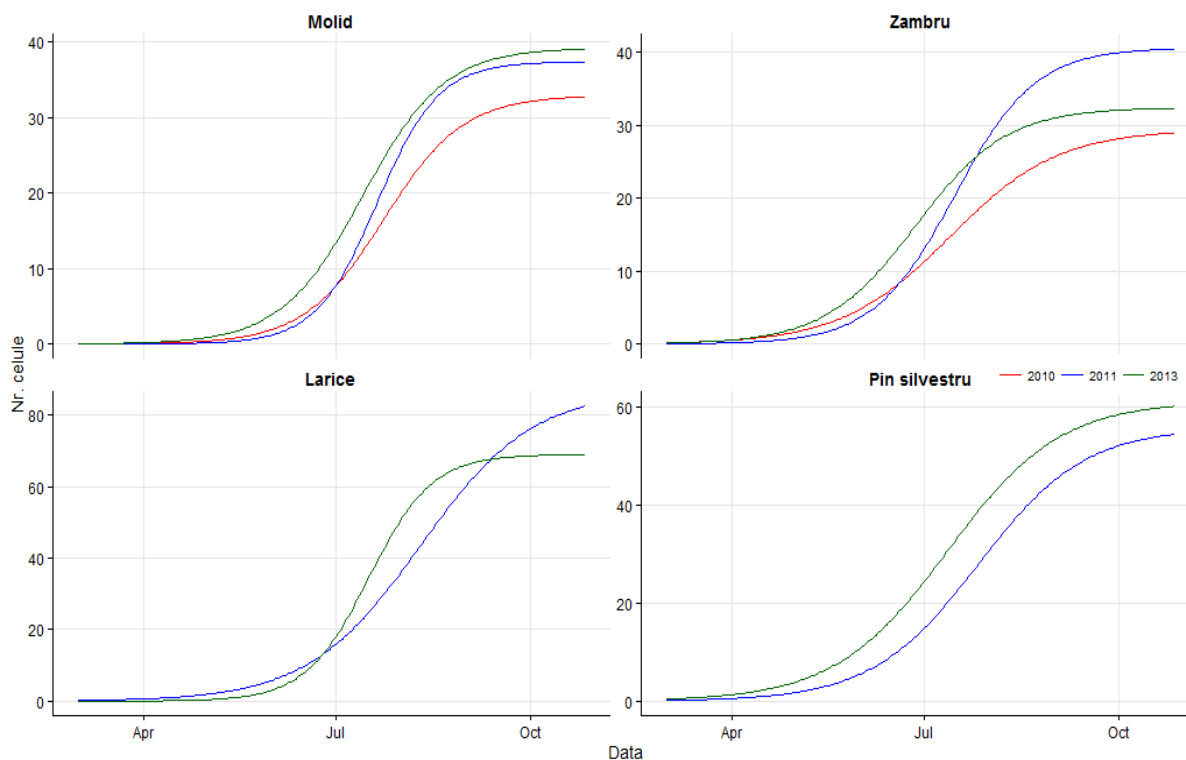


Figura 5.3.6 Dinamica numărului total de celule la rășinoase.

Începutul fazei de dezvoltare a celulelor la molid ($\text{DOY } 123 \pm 15,61$) în anul 2010, a avut loc mult mai târziu comparativ cu anul 2011 ($\text{DOY } 119 \pm 4,91$). În anul 2013, atât la molid ($\text{DOY } 132 \pm 5,67$) cât și la zâmburu ($\text{DOY } 129 \pm 4,38$) s-a observat un start mai lent al dezvoltării celulelor față de ceilalți ani. La zâmburu în anul 2010, startul lărgirii celulelor a avut loc în data de ($\text{DOY } 121 \pm 12,52$), situație similară startului din anului 2011 ($\text{DOY } 121 \pm 12,66$). Referitor la începutul dezvoltării celulelor la pin silvestru și larice, se remarcă diferențe între ani. În cazul pinului silvestru în anul 2011, faza de lărgire a celulelor a început în data de ($\text{DOY } 123 \pm 11,23$), comparativ cu startul celulelor la laricele ($\text{DOY } 129 \pm 10,95$). În anul 2013, la larice activitatea fazei de început a diferențierii celulare s-a observat în ($\text{DOY } 134 \pm 5,31$), mai târziu comparativ cu pinul silvestru ($\text{DOY } 126 \pm 0$) (fig. 5.3.7).

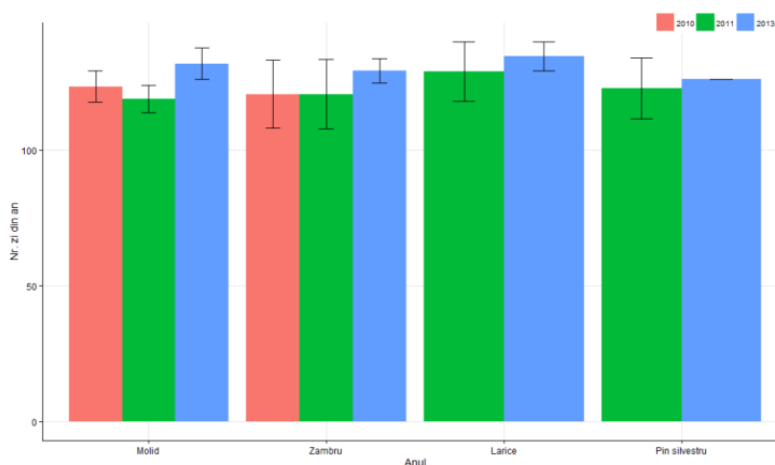


Figura 5.3.7 Startul procesului de creștere radială la molid, zâmburu, pin silvestru și larice.

La molid în anul 2010, se observă sfârșitul lignificării celulelor în data de DOY $244 \pm 15,61$ mai târziu comparativ cu anul 2011 (DOY $216 \pm 19,23$) dar mai devreme comparativ cu anul 2013 (DOY $252 \pm 18,51$). În cazul zâmbrului, încheierea procesului de formare a pereților celulari a avut loc mai devreme în anul 2011 (DOY 207 ± 0) comparativ cu anul 2010 și 2011. La pin silvestru în anul 2013 se remarcă un sfârșit mai târziu al fazei de lignificare (DOY 265 ± 0) față de molid și zâmbru, dar similar cu laricele (DOY 265 ± 0). În anul 2011, referitor la pin silvestru (DOY $235 \pm 32,64$) și larice (DOY $233 \pm 23,55$) nu se observă diferențe în sfârșitul fazei de lignificare (fig. 5.3.8).

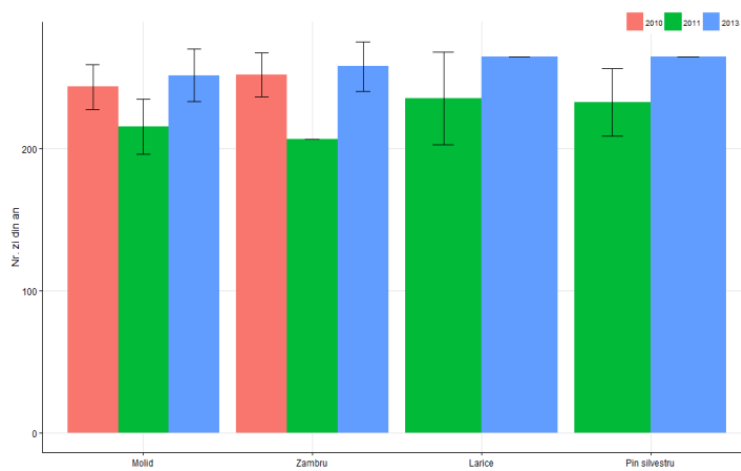


Figura 5.3.8 Sfârșitul procesului de creștere radială la la molid, zâmbru, pin silvestru și larice.

Din evaluarea duratei formării inelului anual se remarcă diferențe între speciile analizate cât și între ani. Durata cea mai redusă a formării inelului anual s-a remarcat în anul 2011 la toate speciile analizate. La molid, inelul anual s-a format în timp de 120 zile în anul 2010 și 2013, respectiv 97 zile în anul 2011. Inelul anual s-a format la zâmbru în anul 2010 pe parcursul a 132 zile, comparativ cu anul 2011 în care au fost necesare 86 zile. În anul 2013 durata necesară a fost de 129 zile, comparativ cu molidul în care inelul anual s-a format în 120 zile. În cazul pinului silvestru inelul anual s-a format în 110 zile în anul 2011 și 139 de zile în anul 2013. Durata necesară formării inelului anual la larice a fost de 106 zile în anul 2011 și de 131 zile în anul 2013 (fig. 5.3.9)

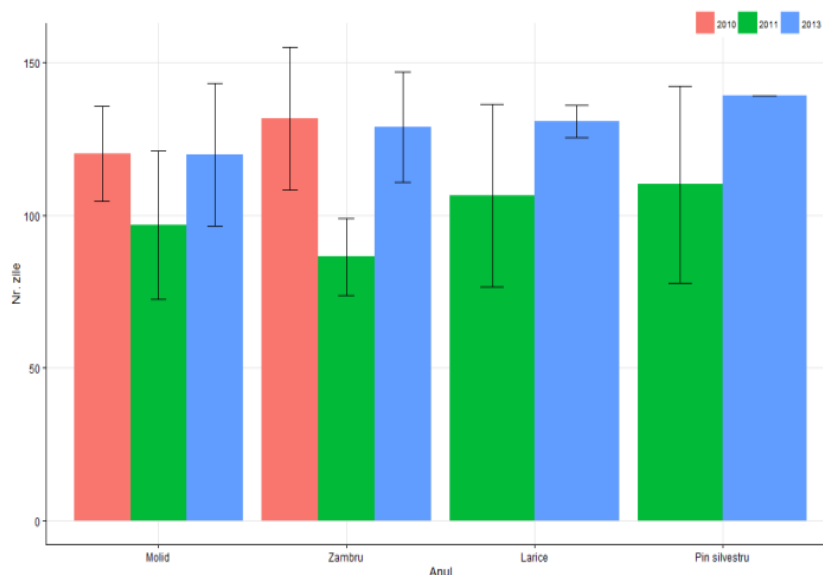


Figura 5.3.9 Durata de formare a inelului anual la molid, zâmbru, pin silvestru și larice.

În rata maximă de creștere radială la conifere, se constată diferențe între specii. Rata maximă de creștere a numărului de celule la molid în anul 2010 este de (0,43 celule/zi) produsă în data de 24 iulie (DOY 205) comparativ cu zâmbru în care rata maximă de creștere a numărului de celule este (0,28 celule/zi) produsă în data de 14 iulie (DOY 195) (fig. 5.3.10).

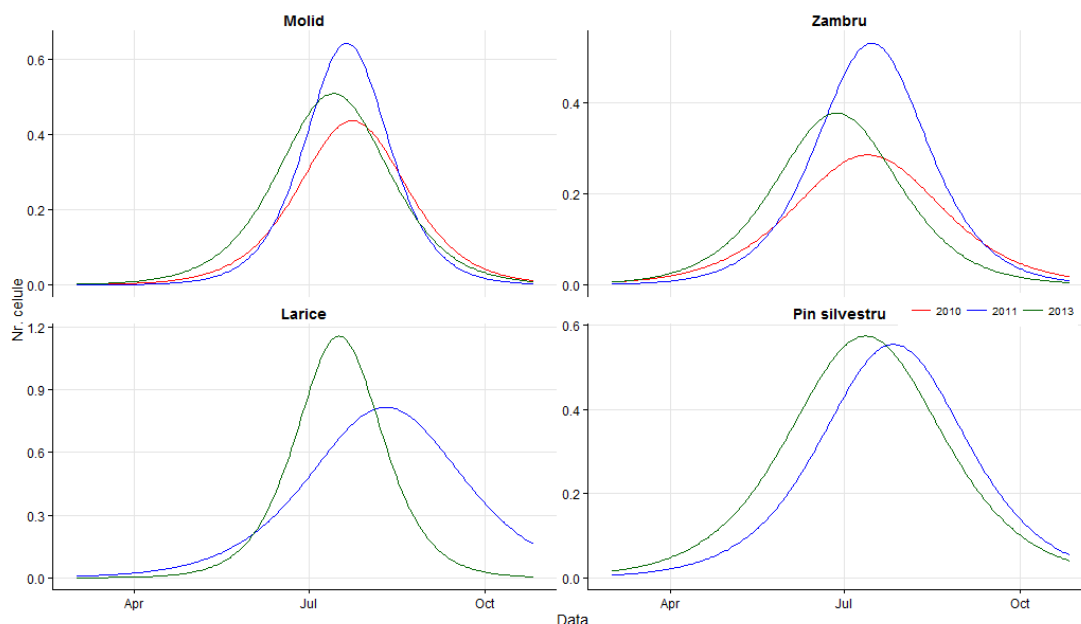


Figura 5.3.10 Rata creșterii zilnice a inelului anual la rășinoase.

În anul 2011, se observă o rata mai mare de creștere radială la molid și zâmbru, comparative cu anul 2010. Rata maximă de creștere radială la larice este de (0,81 celule/zi) înregistrată în data de 10 august (DOY 222) mult mai târziu față de ceilalți ani. În cazul molidului, se observă o rată maximă de creștere radială (0,64 celule/zi) în data de 21 iulie (DOY 202) iar la zâmbru (0,53 celule/zi) în data de 16 iulie (DOY 197). La pin silvestru, rata maximă de creștere a numărului de celule este de (0,55 celule/zi) remarcată în data de 27 iulie (DOY 208), observându-se un ritm mai lent de creștere, în comparație cu anul 2013.

O creștere radială mare s-a remarcat în anul 2013 la larice, în care rata maximă de creșterea ajuns la (1,15 celule/zi) în data de 17 iulie (DOY 198). La pin silvestru și larice ritmul de creștere a numărului de celule prezintă un trend asemănător de creștere comparativ între anii.

Analiza corelației la conifere. Analizând corelația dintre temperatură și numărul de celule la molid în anul 2010, se remarcă o corelație pozitivă distinct semnificativă ($r=0,71^{**}$) comparativ cu zâmbrului în care se observă o corelație pozitivă nesemnificativă.

În anul 2011, molidul și zâmbru prezintă legături nesemnificative între temperatură și numărul de celule, comparativ cu pinul silvestru ($r=0,64^*$) și larice ($r=0,65^*$) care indică ocorelații pozitive asigurate statistic. În anul 2013, toate speciile prezintă corelații pozitive nesemnificative cu valori sub ($p>5\%$) (fig. 5.2.11).

Referitor la corelația dintre cantitatea de căldură și numărul de celule, la molid se observă o corelație pozitiv distinct semnificativă ($r=0,71^{**}$) în anul 2010. La zâmbru se remarcă o corelație pozitivă nesemnificativă în toții anii analizați. Corelații pozitive și semnificative se observă la larice ($r=0,65^*$) și pin silvestru ($r=0,61^*$) în anul 2011, comparativ cu anul 2013 în care se remarcă legături nesemnificative (fig. 5.2.11).

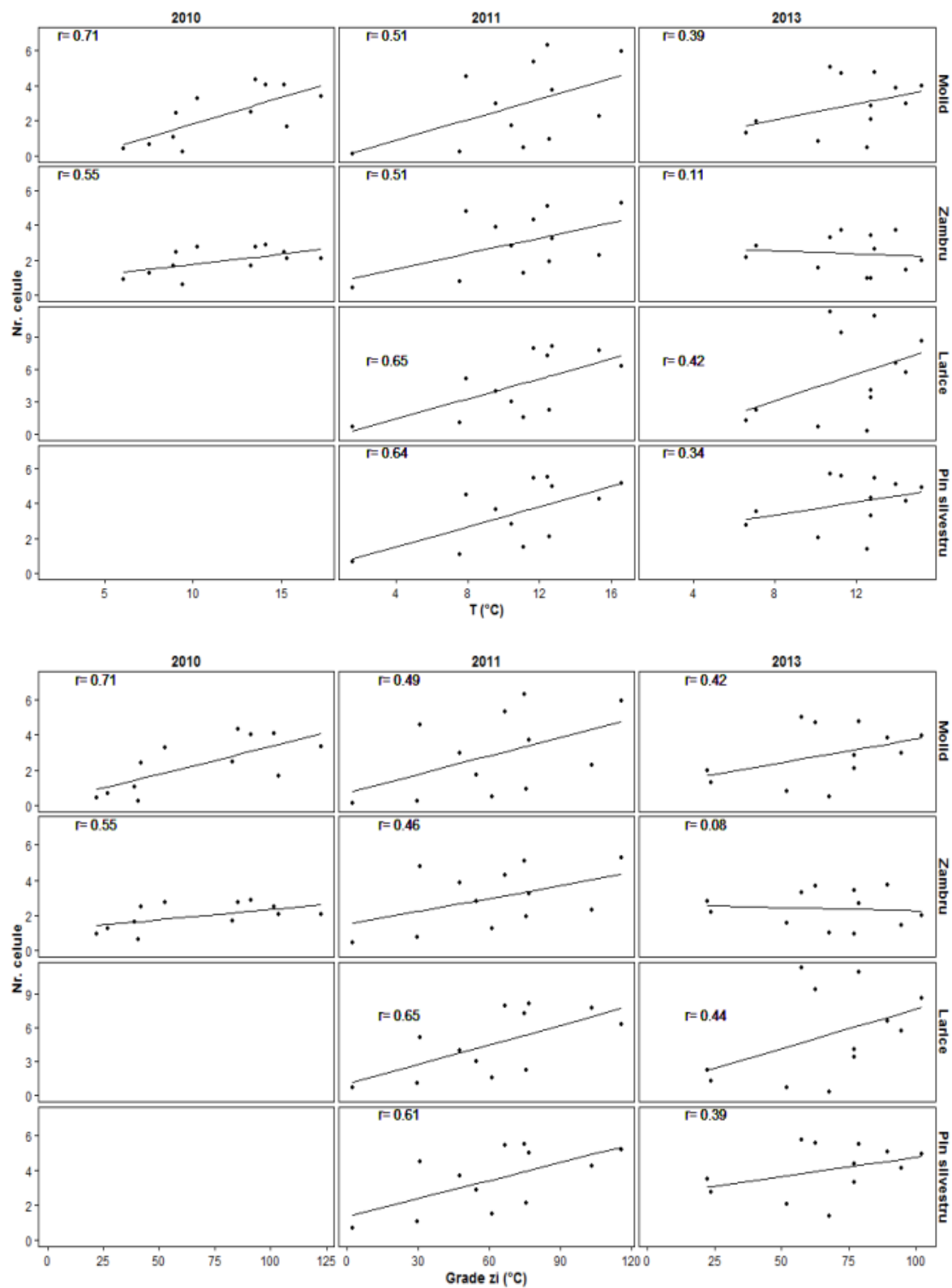


Figura 5.2.11 Analiza corelației dintre numărul de celule, temperatura medie și numărul de grade zilnice cumulate.

5.4 Dinamica fazelor de formare a inelului anual într-un arboret de amestec din Masivul Rarău

Monitorizarea proceselor de creștere radială sub aspect anatomic într-un arboret de amestec (molid și brad) cu fag reprezintă un proces complex prin care este posibilă determinarea fazelor de formare a inelului anual cât și durata de formare a acestuia. Arboretul de amestec din Masivul Rarău a stârnit un deosebit interes în evaluarea fazelor de formare a inelului anual, atât calitativ la fag cât și cantitativ sub raportul numărului de celule la molid și brad.

Microclimatul. În primăvara sezonului de vegetație 2009 s-a înregistrat o temperatură medie de 10,6°C, iar temperatura medie înregistrată în lunile iunie-august a fost de 15,3 °C. Temperatura medie a aerului înregistrată în lunile de vară în anul 2010 a fost de 16°C, cu temperaturi medii înregistrate în lunile de primăvară (6,1 °C), iar în anul 2011 temperatura medie înregistrată în lunile iunie-august (15,6°C).

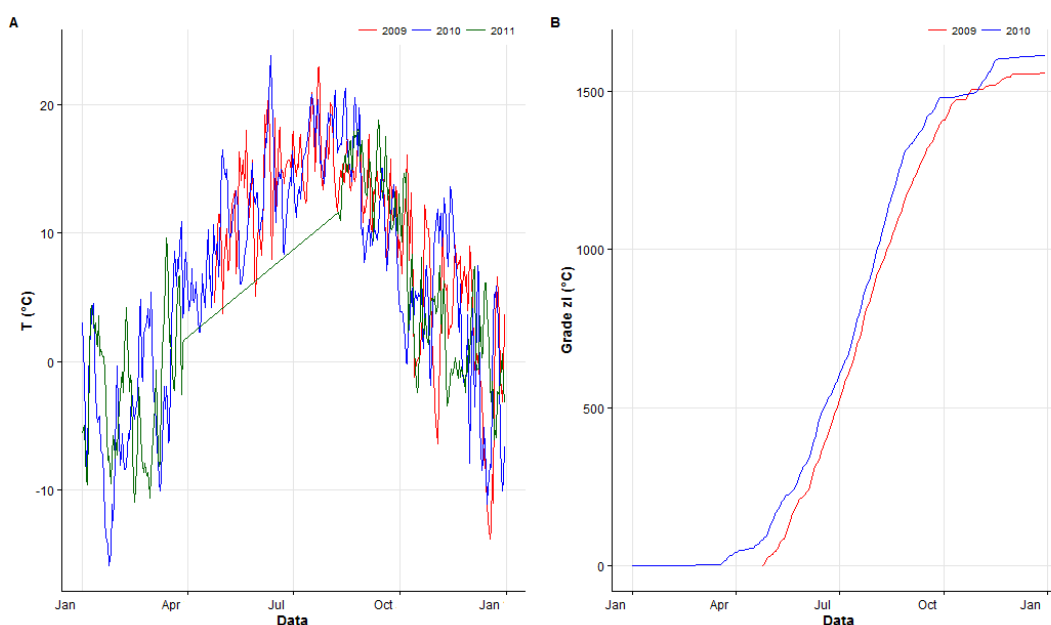


Figura 5.4.1 Variația temperaturii și a gradelor zilnice cumulate.

5.4.1 Dinamica fazelor de formare a inelului anual la fag.

Evaluarea creșterii radială la fag sub aspect anatomic reprezintă un proces complex în determinarea etapelor de formare a xilemului. Obiectivul studiului a avut în vedere analiza dinamicii activității cambiale și a diferitelor faze de formare a inelului anual la fag în perioada 2009-2011 în Masivul Rarău, completând astfel lipsa de informații privind fenologia creșterii la fag pentru zona carpatică. Monitorizarea fazelor de formare a inelului anual s-a realizat la intervale săptămânale de la mijlocul lunii aprilie până la sfârșitul lunii septembrie, în perioada 2009-2011.

Procesul de diferențiere a vaselor, a elementelor anatomice principale ale inelelor anuale la foioase, poate fi separat în trei faze succesive: diferențierea și lărgirea procambială care determină dimensiunile și forma celulei, formarea peretelui secundar prin depunerea de lignină pe o matrice de polizaharide, respectiv moartea celulei și autoliza protoplasmei (Rossi et al., 2008; Gricar et al., 2005).

În secțiune transversală au fost efectuate observații cantitative (număr de celule cambiale) și calitative (day of the year – DOY) privind startul și terminarea fazelor de creștere

a celulelor cambiale, diferențiere celulară, lignificare și celule mature. Celulele din zona cambială (CC) au fost identificate prin forma aplatizată cu pereți celulari subțiri. Elementele de xilem (vase, fibre, parenchim radial și axial) aflate în faza de diferențiere sau faza procambială (PC) prezintă dimensiuni duble față de (CC) și pereți celulari subțiri (Cufar et al., 2008a,b). Observarea în lumină polarizată permite diferențierea celulelor aflate în faza de lignificare a celulei (LC) caracterizate prin îngroșarea și strălucirea pereților celulari. Procesul de lignificare este complet în momentul în care peretele celulelor mature (MT) este complet colorat în albastru, spre deosebire de CC, PC și LC colorat în violet.

Faza celulelor cambiale. În perioada de repaus vegetativ zona celulelor cambiale este alcătuită 3-5 rânduri de celule. În perioada de creștere radială, când activitatea de diviziune celulară este intensă, celulele cambiale ajung la aproximativ 7-8 rânduri de celule cu pereții celulari mai subțiri.

În anul 2009 la începutul lunii mai (DOY – 126) celule inițiale fuziforme au început să se dividă, generând noi celule, ajungând până la 6-7 celule cambiale înregistrându-se începutul activității cambiale. În anul 2010 celulele cambiale au început să crească în lungime și diametru cu aproximativ o săptămână mai târziu (DOY - 131). Comparativ cu anii precedenți s-a remarcat în anul 2011 o diviziune cambială timpurie care a avut loc în ultima săptămână din luna aprilie (DOY - 101).

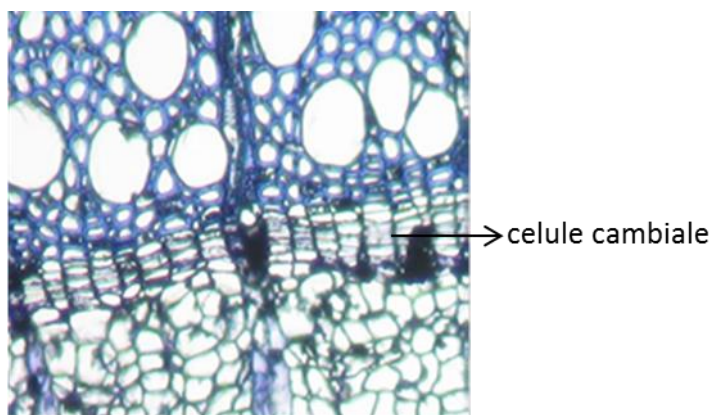


Figura 5.4.2 Zona cambială în repaus vegetativ (a–luna aprilie).

Faza celulelor în curs de diferențiere. Celule recent diferențiate de formă și mărime diferită, constituie zona procambial. În apropierea acestora se dezvoltă celulele parenchimatice, reprezentând aglomerări de celule de parenchim lemnos, alcătuind o mare parte a xilemului. Din celulele parenchimatice derivă razele medulare, formate din mai multe rânduri de celule prezentând dimensiuni și forme diferite.

În data de 15 mai 2009 (DOY-135) se disting primele vase lemnoase în curs de formare de dimensiuni mai mari cu pereții celulari subțiri aflate în zona procambială fiind inițială faza de diferențiere celulară. În cazul anului 2010 inițierea activității postcambiale are loc în aceeași perioadă (DOY -137), iar în 2011 la începutul lunii mai (DOY – 122). În general primele elemente de xilem apar după 1-2 săptămâni de la inițierea activității cambiale. Durata procesului de diferențiere celulară variază între 40 și 80 de zile.

Procesul de lignificare a pereților celulari. Începutul procesului de lignificare are loc la sfârșitul luni mai–începutul lunii iunie. Diferențele între ani fiind de 7-14 zile (DOY – 143 în 2011 și 158 în 2010) când în lumina polarizată se observă primele vase aflate în curs de lignificare. În urma depunerii ligninei în pereții vaselor, se formează peretele secundar colorat în albastru (fig. 5.4.6). Se observă în apropierea vaselor și a fibrelor lemnoase, o dispunere aglomerată a celulelor parenchimatice aflate în faza de depozitare a ligninei în peretele celular secundar. Procesul de lignificarea continuă și după încetarea activității cambiale până la

mijlocul lunii septembrie (DOY – 232-242). Durata procesului de lignificare variază între 82-90 zile.

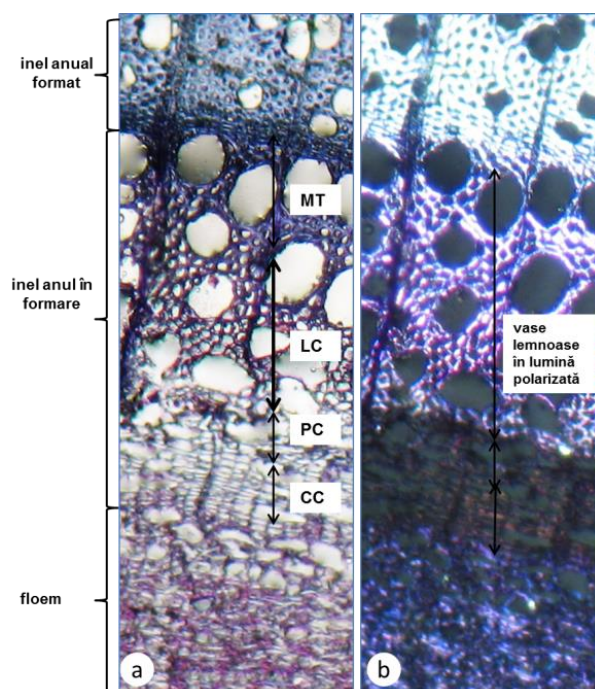


Figura 5.4.3 Inel anual în curs de formare (a- diferite faze de formare) (b- diferențierea între faza de lărgire a celulelor și cea de îngroșare a pereților celulari (12.06.2011).

Faza celulelor mature. Apariția primelor celule mature, complet lignificate se observă în jurul datei de 12 iunie 2009 (DOY – 163) cu un maxim la sfârșitul lunii iunie și prima săptămână din luna iulie, când numărul de celule cu pereții celulari complet formați (lignificați) ajunge la aproximativ 25 celule (vase lemnoase). Primele vase mature în anul 2010, respectiv celulele parenchimatice complet lignificate au fost observate la mijlocul lunii iunie (DOY – 176) cu 9 zile mai târziu față de anul 2011 (DOY – 165). Timpul mediu necesar unui element de vase pentru a fi complet format (între începutul procesul de diferențiere celulară și formarea completă) este de 30-40 zile.

Formarea completă a inelului anual s-a constatat în data de 11.09.2009 (DOY – 254) când numărul de celule cambiale s-a redus la 3-4 celule și toate elementele anatomice sunt mature. Procesul de formare a inelului anual este considerat încheiat în luna septembrie (DOY – 270 în 2010 și 268 în 2011). Cu toate acestea în anul 2010 analizele microscopice relevă prezența la sfârșitul lunii septembrie a unui număr redus de celule parenchimatice axiale încă în proces de lignificare, caz similar remarcat și anul 2011. Durata fazei de apariție a xilemului matur variază între 93 și 103 zile. Durata medie a procesului de formare a inelului anual considerată între începutul diviziunii cambiale și finalizarea procesului de lignificare este cuprinsă între 127 (2009) și 137 (2011) zile.

Startul diviziunii cambiale, în zona de studiu, are loc între ultima săptămână din aprilie și debutul lunii mai. Comparativ cu alte studii se constată o întârziere de circa 1-2 săptămâni (Cufar et al., 2008a, Vavrcik et al., 2013, Prislan et al., 2013). Maximul ratei de producere a celulelor de xilem (maximul numărului de celule cambiale) are loc între 31 mai și 21 iunie fiind similar cu rezultatele obținute la fagul din Slovenia (Prislan et al., 2011) și Cehia (Vavrcik et al., 2013). Solstițiul de vară (21 iunie) reprezintă ziua cu fotoperioadă maximă și coincide cu maximul producție de celule la rășinoase (Rossi et al., 2006b). La paltin și la fag cercetările actuale indică un decalaj de circa 1-2 săptămâni al producției maxime de celule și solstițiului de vară (Marion et al., 2007). Cufar et al. (2008b) constată că

circa 76% din inelul anual este format până la sfârșitul lunii iunie, respectiv 65% în Cehia (Vavrcik *et al.*, 2013). Rezultatele obținute relevă faptul că luna iunie are importanța cea mai mare în procesul de creștere radială, observații confirmate și prin alte studii (Bouriaud *et al.*, 2004, Michelot *et al.*, 2012, Oladi *et al.*, 2011).

5.4.2 Dinamica fazelor de formare a inelului anual la molid și brad.

Activitatea cambială. La începutul sezonului de vegetație în anul 2009, în zona celulelor cambiale la molid s-au observat 5 celule aflate în repaus vegetativ în data de 25 aprilie (DOY 115), iar în jurul datei de 1 mai (DOY 121) cambiu a generat 2-3 celule. Numărul maxim de celule cambiale la molid este de 9-10 celule în data de 5 iunie (DOY 156). În cazul bradului în data de 25 aprilie (DOY 115), s-au observat un număr de 7-8 celule cambiale, reprezentând activitate cambială începută. Numărul maxim de celule cambiale la brad au ajuns în data de 15 mai (DOY 134), cu aproximativ 21 de zile mai devreme comparativ cu molidul.

În anul 2010 la molid, activitatea cambială a început în jurul datei de 12 aprilie (DOY 102), observându-se 6-7 celule, situație similară și în cazul bradului în care la această dată s-au observat 7 celule cambiale. Numărul maxim de celule cambiale se observă în data de 31 mai (DOY 151) la ambele specii, cu un număr de 9-10 celule remarcate la molid și 12 celule la brad (fig. 5.4.4).

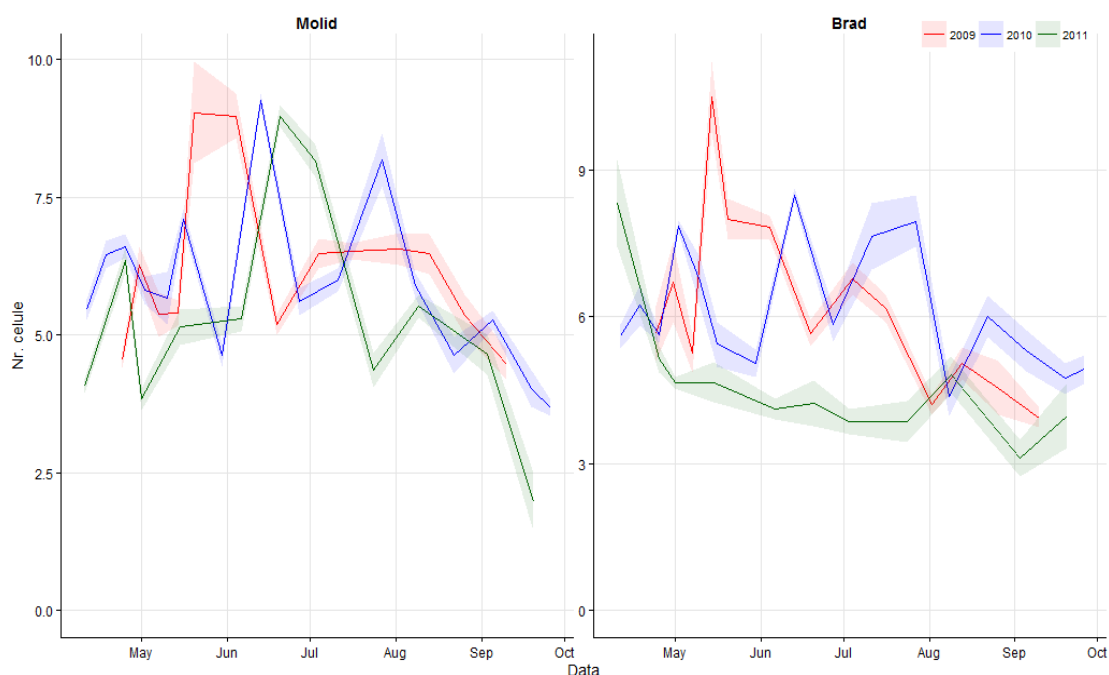


Figura 5.4.4 Dinamica numărului de celule cambiale la molid și brad.

În zona cambială la brad, în anul 2011 s-au observat (5-6 celule) în data de 26 aprilie (DOY 116), comparativ cu molidul în care s-au remarcat 4 celule cambiale aflate în repaus vegetativ în data de 11 aprilie (DOY 101). Numărul maxim de celule cambiale (9-10 celule) este atins în data de 16 mai (DOY 136) mult mai devreme la brad comparativ cu molidul în care numărul maxim de (8 celule cambiale) la molid au ajuns în data de 21 iunie (DOY 172). Un număr redus de celule cambiale (4-5 celule) au fost remarcate în jurul datei de 4 septembrie în cazul ambelor specii în care cambiu și-a încetat activitatea cambială. Se poate remarca o activitate cambială cu un ritm mult mai intens în cazul bradului comparativ cu molidul remarcat în cele trei sezoane de vegetație.

Celule în curs de lărgire. Primele celule în curs de lărgire la molid în anul 2009, s-au observat în data de 23 mai (DOY 143), atingând numărul maxim de celule în data de 5 iunie (DOY 156). Se observă sfârșitul procesului a celulelor în curs de lărgire în data de 2 iulie (DOY 183), mai târziu decât în cazul bradului. Începutul procesului a celulelor în curs de lărgire la brad în anul 2009 s-a constatat în data de 13 mai (DOY 133). Procesul de diferențiere a durat 40 zile la molid și 41 zile la brad.

În anul 2010 primele celule în curs de lărgire la molid au apărut în data de 8 mai (DOY 128), iar în cazul bradului primele celule lărgite s-au remarcat în data de 2 mai (DOY 122) (figura 5.4.9). Numărul maxim de celule în curs de lărgire (3-4 celule) s-a remarcat mai devreme la brad 11 mai (DOY 131), comparativ cu molidul în care numărul maxim (2-3 celule) s-a constatat în data de 17 mai (DOY 137). Sfârșitul procesului de lărgire a celulelor s-a observat în data de 28 iunie (DOY 179) la molid, iar în cazul bradului ultimele celule în curs de lărgire a avut loc în data de 28 mai (DOY 148), cu diferență de o lună între cele două specii. Diferențierea celulară a durat la molid 51 de zile, iar la brad 26 de zile (fig. 5.4.5).

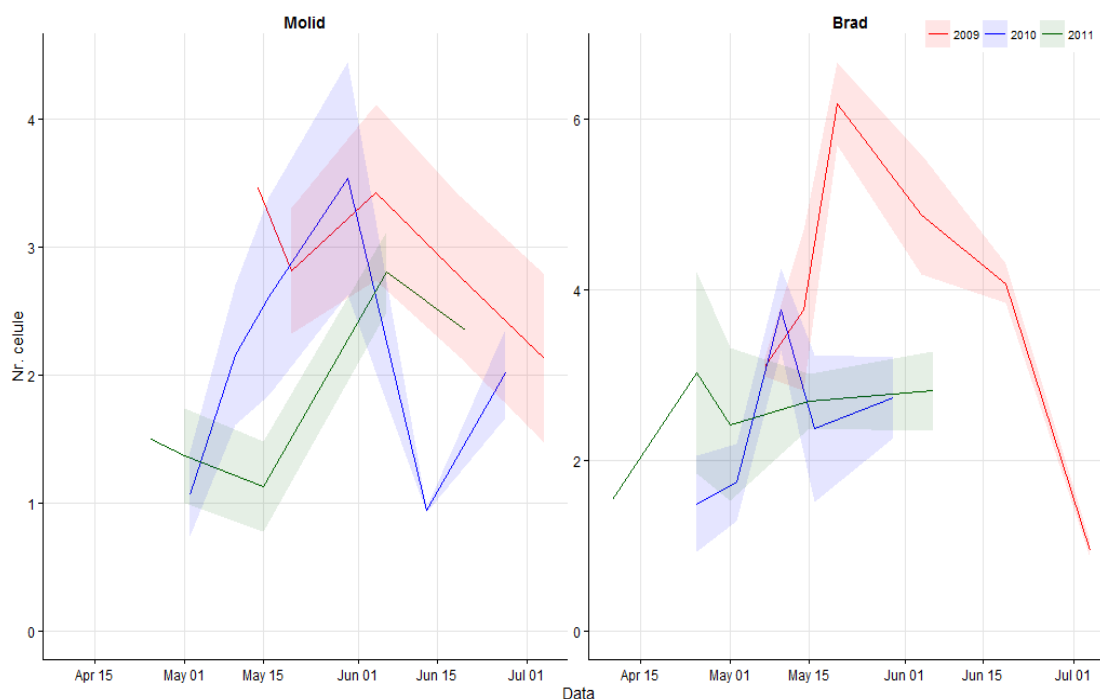


Figura 5.4.5 Dinamica celulelor în curs de lărgire.

Procesul de lignificare a pereților celulari. Începutul procesului de lignificare a celulelor la molid în anul 2009 a avut loc în data de 14 iunie (DOY 165) cu 12 zile mai târziu față de brad în care lignificarea celulelor a început în data de 2 iunie (DOY 153). Celulele în curs de lignificare la molid au atins maximul lor în jurul datei de 5 iulie (DOY 186) în care numărul de celule lignificate a crescut până la 10 celule. În cazul bradului numărul maxim de (15 celule) a fost atins în jurul datei de 20 iunie (DOY 171). Procesul de lignificare a celulelor s-a încheiat în jurul datei de 2 septembrie (DOY 245) la molid, iar la brad în jurul datei de 24 august (DOY 236). Lignificarea celulelor a durat 80 zile la molid și 83 zile la brad.

Primele celule în curs de lignificare au apărut la molid în anul 2010, în jurul datei de 6 iunie (DOY 157), ajungând la un număr maxim de celule în data de 14 iunie (DOY 165). Procesul de lignificare a continuat până în date de 18 septembrie (DOY 261), o durată mai lungă față de anul anterior. În cazul bradului, procesul de lignificare a început în jurul datei de 17 mai (DOY 137), atingând numărul maxim de celule în data de 31 mai (DOY 151), cu o

continuare a procesului de lignificare până în data de 6 septembrie (DOY 249). Procesul de lignificare a celulelor a durat 105 zile la molid și 112 la brad.

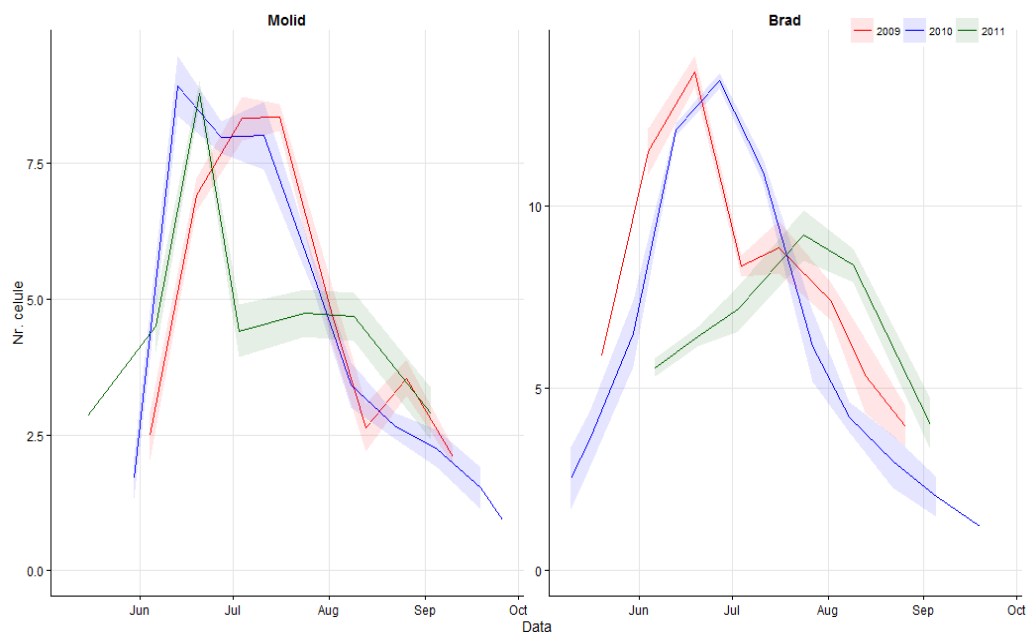


Figura 5.4.6 Dinamica celulelor în curs de lignificare la molid și brad.

Celule mature. Primele celule complet lignificate în anul 2009, corespunde cu încheierea procesului de formare a peretelui celular, rezultând celulele mature. Primele celulelor mature la molid, s-au remarcat în data de 26 iunie (DOY 177) în anul 2009, mai târziu comparativ cu anul 2010 în care maturarea celulelor a avut loc în data de 25 iunie (DOY 176). În anul 2011, primele celule mature s-au remarcat în data de 21 iunie (DOY 172) mai devreme comparativ cu ceilalți ani (fig. 5.4.7). La brad, primele celule mature s-au observat în data de 17 iunie (DOY 168) în anul 2009.

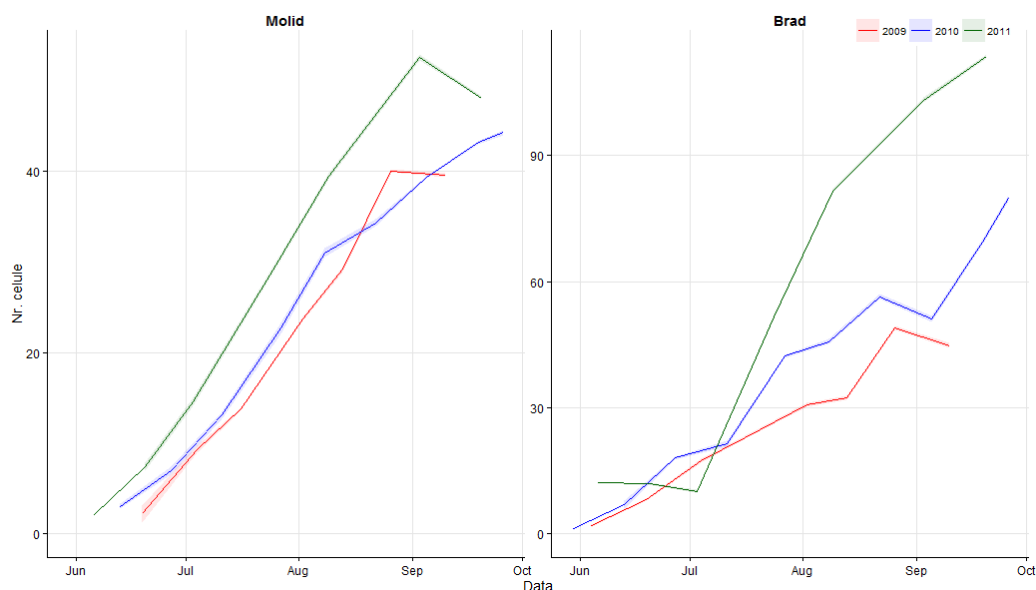


Figura 5.4.7 Dinamica celulelor mature la molid și brad.

Durata fazelor de formare a inelului anual. Prin analize xilologie s-au obținut informații relevante privind începerea, durata și terminarea proceselor de formare a inelului

anual, precum și viteza de creștere (Gruber et al., 2009). Numărul cumulat al celulelor, cuprinzând cele 3 etape de creștere radială se poate analiza în (fig. 5.4.8).

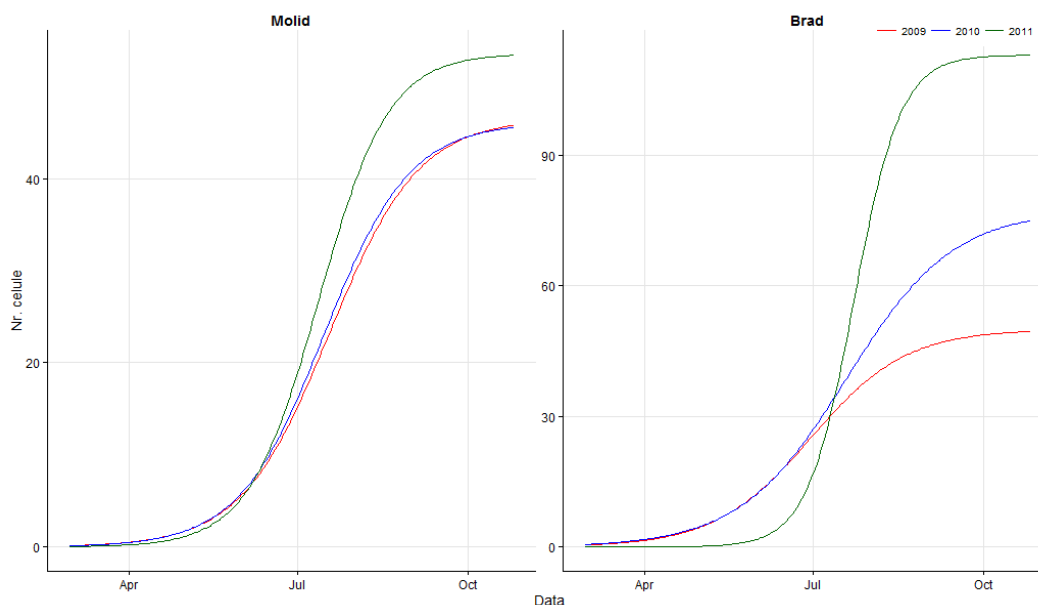


Figura 5.4.8 Dinamica numărului total de celule la molid și brad.

Modelarea dinamicii numărului total de celule reprezintă valori maxime în anul 2011 și minime în anul 2009. Analizând creșterea radială prin numărul total de celule, se remarcă o creștere mai mare la brad comparativ cu molidul pentru toată perioada analizată.

Începutul diviziunii celulare la molid comparativ cu bradul prin compararea mediei s-au găsit diferențe între ani dar și între specii. Startul diviziunii radiale la molid a avut loc în DOY ($143 \pm 7,82$) în anul 2009, comparativ cu anul 2010 ($128 \pm 4,38$), respectiv anul 2011 în care creșterea radială a avut loc în DOY ($128 \pm 16,9$). Analizând începutul diviziunii celulare la brad se remarcă un start mai târziu (DOY $133 \pm 5,50$) în anul 2009, comparativ cu anul 2010 (DOY $122 \pm 6,22$). În anul 2011 startul lărgirii celulelor a avut loc mai devreme (DOY $114 \pm 7,82$) față de anii 2010 și 2009 (fig. 5.4.9).

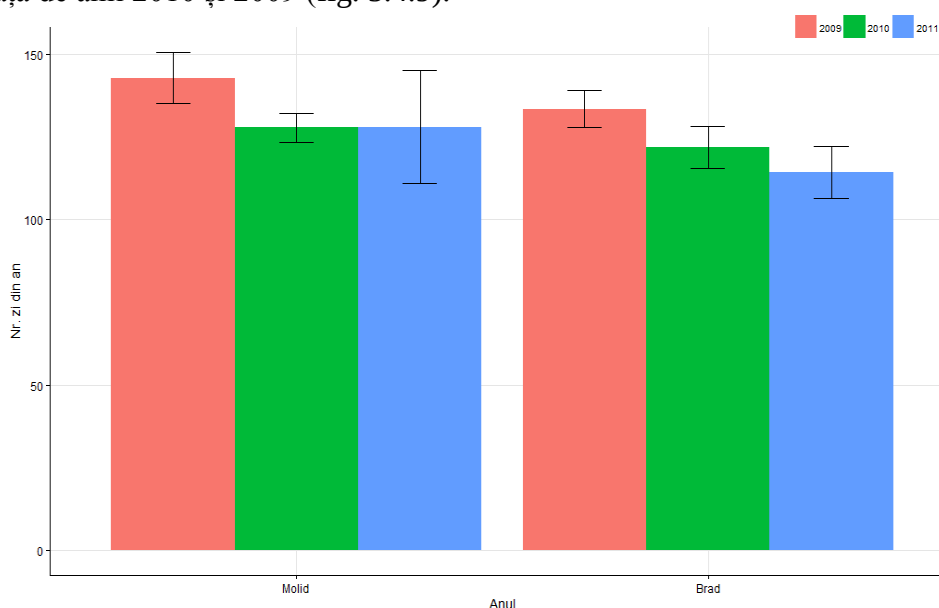


Figura 5.4.9 Startul procesului de creștere radială la molid și brad.

Diferențe ne semnificative se remarcă în sfârșitul formării inelului anual atât la brad cât și la molid. La molid, formarea inelului anual se încheie mai târziu ($\text{DOY } 262 \pm 7,6$) în anul 2010 comparativ 2009 și 2011. În urma comparării creșterii radiale la brad s-au observat diferențe semnificative între anii 2010 ($\text{DOY } 249 \pm 9,8$) și 2011 ($\text{DOY } 233 \pm 18,9$). În cazul molidului, se observă diferențe între creșterea radială dintre anii 2009 ($\text{DOY } 245 \pm 8,2$) și 2010 ($\text{DOY } 262 \pm 7,6$) (fig. 5.4.10).

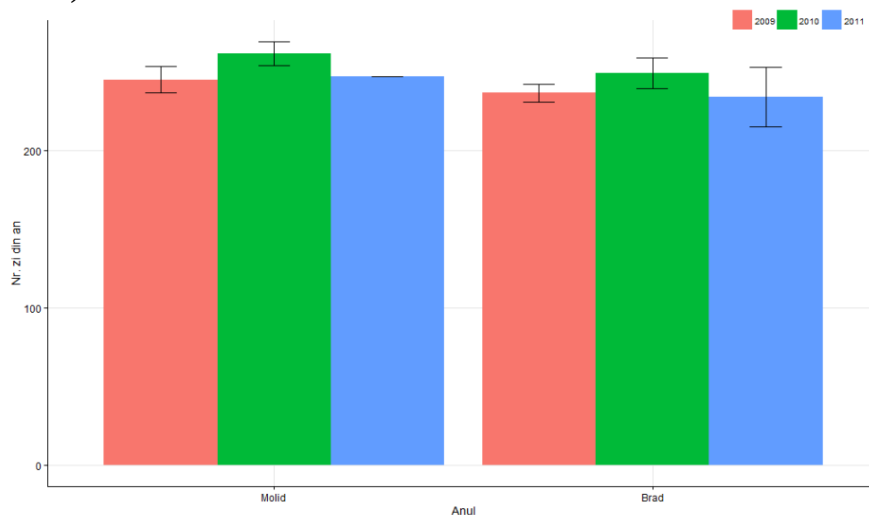


Figura 5.4.10 Sfârșitul procesului de creștere radială la molid și brad.

Durata de formare a inelului anual la molid în anul 2009, a fost de 102 zile cu o diferență de 32 zile față de anul 2010. În anul 2011, inelul anual s-a format în 119 zile cu diferență semnificativă față de anul 2009. Formarea inelului anual la brad a durat 103 zile în anul 2009 cu un decalaj de 24 zile față de anul 2010 și 17 zile de anul 2011 (fig. 5.4.11).

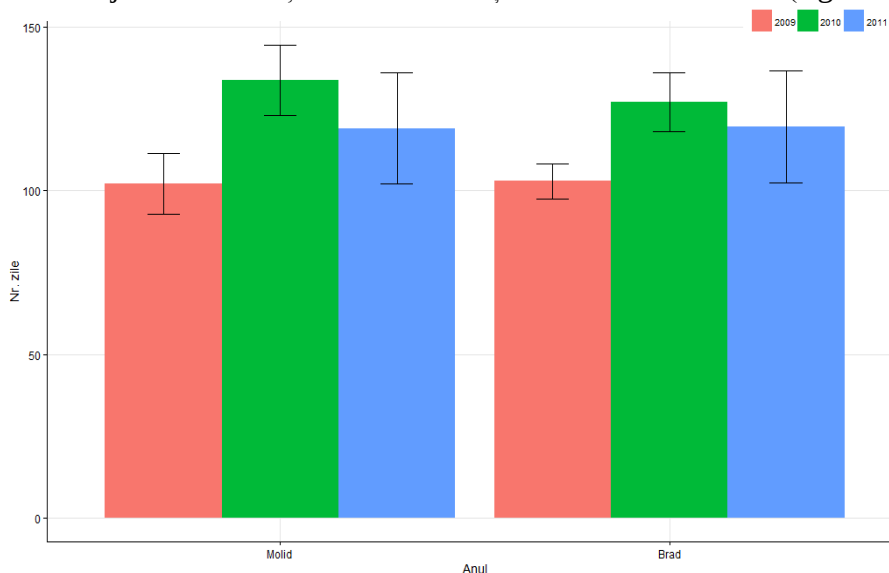


Figura 5.4.11 Durata de formare a inelului anual la molid și brad.

Rata maximă de creștere radială (0,48 celule/zi) la brad în anul 2009 s-a remarcat în data de 1 iulie (DOY 182). La molid se observă aceeași rată de creștere a numărului de celule (0,48 celule/zi) care s-a constatat în data de 20 iulie (DOY 201), cu o diferență remarcată la data producerii.

În anul 2010 la molid, rata maximă a numărului de celule (0,49 celule/zi) se observă în data de 17 iulie (DOY 198), iar în cazul bradului rata maximă de creștere radială este de (0,67 celule/zi) remarcată în data de 20 iulie (DOY 201) (fig. 5.4.12).

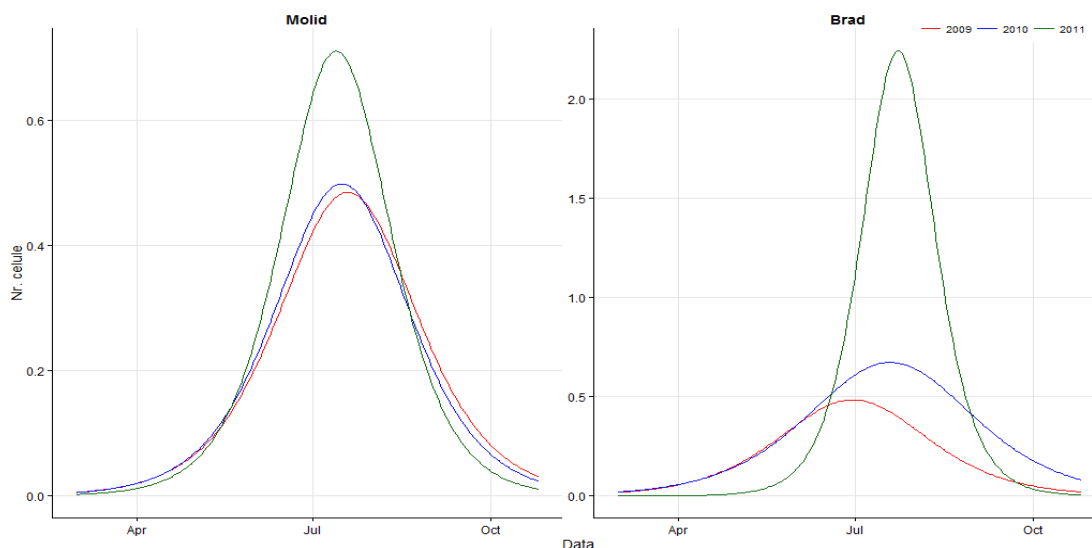


Figura 5.4.12 Rata creșterii zilnice a xilemului la molid și brad.

În anul 2011 la brad, rata maximă de creștere radială este de 2,24 celule/zi care a avut loc în data de 24 iulie (DOY 205), o rată mare de creștere comparativ cu toți anii. La brad la începutul sezonului de vegetație se remarcă un ritm mai lent de producere celulară dar mult mai activ pe parcursul perioadei de creștere. În cazul molidului, în anul 2011, rata maximă de creștere radială este de 0,71 celule/zi în data de 14 iulie (DOY 195).

Analiza comparativă a corelației. Fenologia formării inelului anual este variabilă de la an la an în directă corelație cu variația factorilor de mediu. Analiza corelației la molid și brad evidențiază o corelație pozitivă și semnificativă între creșterile radiale și temperatura medie în anul 2009, cât și în anul 2010. O legătură corelativă pozitivă foarte semnificativă ($r=0,89^{***}$) se remarcă la molid în anul 2009 cât și la brad o corelație distinct semnificativă ($0,70^{**}$) în anul 2010. Din analiza datelor, la brad în anul 2009 se observă o corelație pozitivă și semnificativă ($r=0,62^*$) caz similar și la molid ($r=0,64^*$) în anul 2010 (fig. 5.4.13).

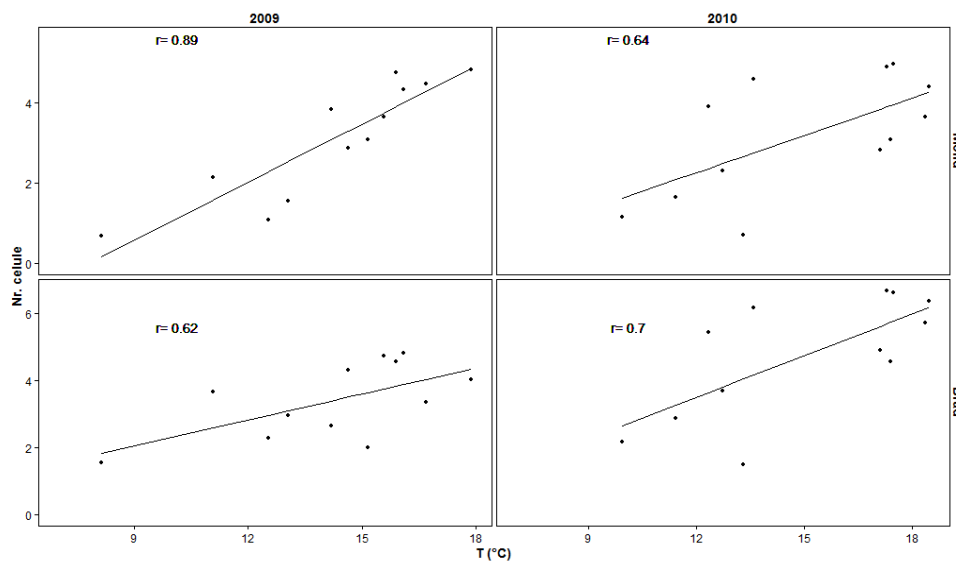


Figura 5.4.13 Analiza corelației dintre numărul de celule și temperatura medie.

În ceea ce privește cantitatea de căldură corelată cu producerea numărului de celule se prezintă o corelație pozitivă foarte semnificativă ($0,88^{***}$) la molid în anul 2009, de asemenea și în cazul bradului o corelație distinct semnificativă ($r=0,73^{**}$) în anul 2010. În anul 2009, se observă o corelație pozitivă și semnificativă la brad ($r=0,62^*$) în anul 2009, cât și la molid ($r=0,67^*$) în anul 2010 (fig. 5.4.14).

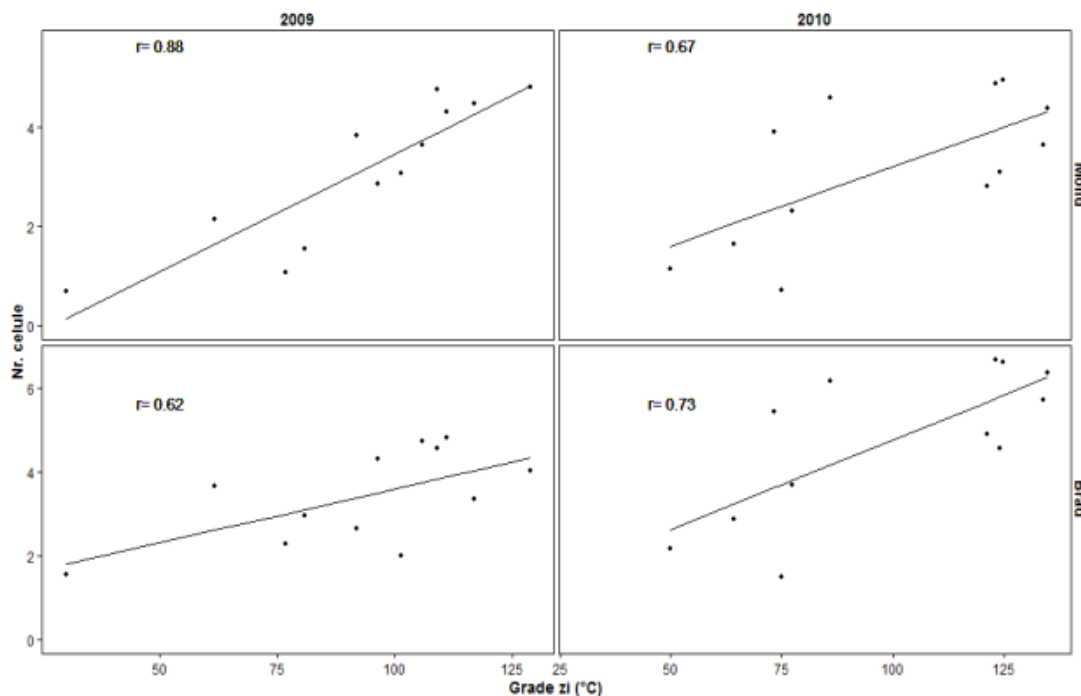


Figura 5.4.14 Analiza corelației dintre numărul de celule și numărul de grade zilnice cumulate.

5.5 Dinamica numărului de celule în arborete artificiale de rășinoase din Obcina Feredeului

Suprafața experimentală (DEIA) este alcătuită în principal dintr-un arboret de amestec de rășinoase situat pe versantul sud-est din apropierea orașului Câmpulung Moldovenesc. Pornind de la necesitate de informații privind evoluția creșterii radiale la specii de rășinoase aflate în aceleași condiții de mediu, arboretul de amestec de rășinoase constituie un indicator important în evaluarea formării inelului anual la mai multe specii.

Temperatura medie este de $6,80^{\circ}\text{C}$, (senzori HOBO de tip U23-001). Mediile lunare cele mai coborâte, înregistrate în ianuarie (minus $3,50^{\circ}\text{C}$), iar cele mai ridicate în iulie ($16,4^{\circ}\text{C}$).

Activitatea cambială. La speciile analizate, cambiu a arătat o dinamică diferită atât prin numărul de celule cât și prin intensitatea diviziunii cambiale. La molid, în data de 1 martie (DOY 60) se observă 3-4 celule cambiale în repaus vegetativ, mai târziu în data de 5 aprilie (DOY 95) celulele cambiale au crescut până la 6-7 celule. Rata maximă de producere a celulelor cambiale (7-8 celule) a ajuns în data de 28 iunie (DOY 179).

În cazul bradului, în data de 1 martie (DOY 60) s-au observat (5-6 celule) aflate în repaus vegetativ, iar data de 26 aprilie (DOY 116) cambiu a început să se diferențieze ajungând la (6-7 celule cambiale). Numărul maxim de celule cambiale (8-9 celule) a fost atins în data de 14 iunie DOY (165) cu 14 zile mai devreme comparativ cu molidul. În data de 1 martie (DOY 60) la pin silvestru s-au observat 4 celule aflate în repaus vegetativ. Celulele cambiale au început să se diferențieze ajungând la 5-6 celule cambiale în data de 5 aprilie (DOY 95), caz similar molidului. Numărul maxim de celule cambiale la pin silvestru (10-11

celule) a ajuns în data de 26 aprilie (DOY 116), mult mai devreme comparativ cu celelalte specii în care rata maximă de producere a celulelor cambiale a avut loc în luna iunie.

La larice, primele celule în număr de 5-6 celule cambiale au fost observate în data de 1 martie (DOY 60), ajungând la un număr de 6-7 celule în data de 19 aprilie (DOY 109). Numărul maxim de celule cambiale produse la larice (9-10 celule) a avut loc în data de 21 iunie (DOY 172) cu o diferență de 7 zile față de molid și brad (fig. 5.5.1).

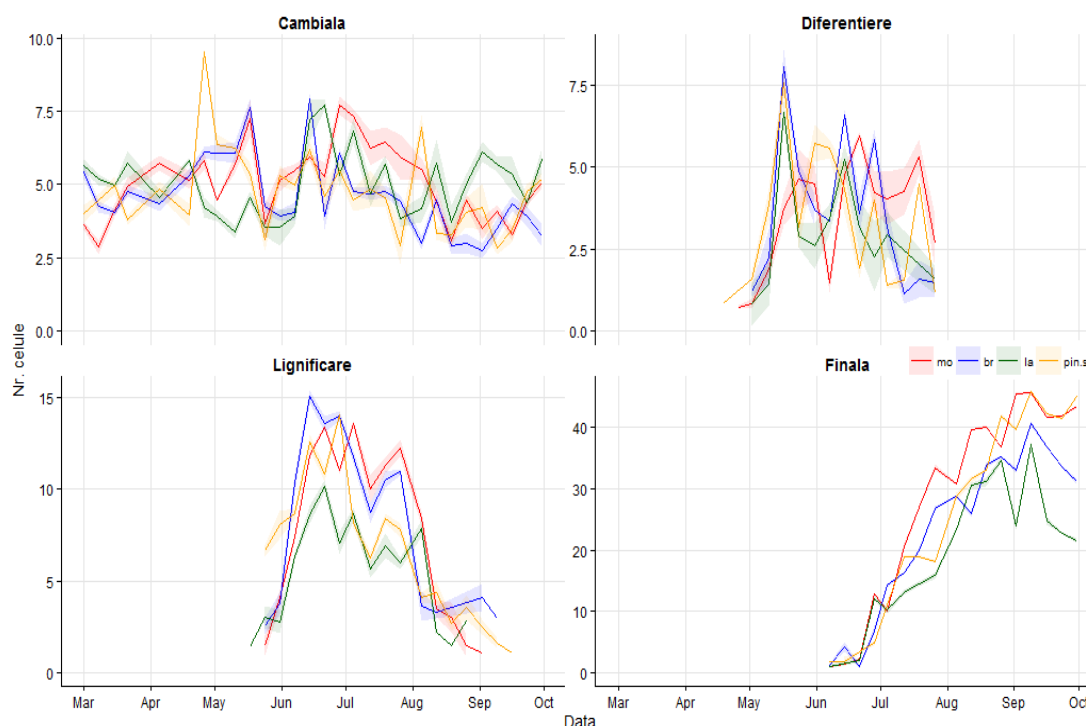


Figura 5.5.1 Dinamica fazelor de formare a inelului anual la molid, brad, pin silvestru și larice.

Faza celulelor în curs de lărgire. Startul diviziunii celulare la molid a avut loc în data de 4 mai (DOY 124), perioada primelor celule observate în faza de lărgire. Celulele în curs de lărgire la molid au atins maximum lor în 21 iunie (DOY 172), când numărul de celule lărgite a crescut la 6-7 celule. Apariția ultimilor celule în curs de lărgire a avut loc în 26 iulie (DOY 207). Durata totală a celulelor în curs de lărgire la molid a fost 83 zile.

Startul celulelor în curs de lărgire la brad a avut loc în data de 5 mai (DOY 125). Numărul maxim de celule în curs de lărgire la brad, pin silvestru și la larice a avut loc în data de 10 mai de (DOY 137). Ultimele celule în curs de lărgire la brad s-au observat în data de 23 iulie (DOY 204) mai devreme comparativ cu molidul. Celulele în curs de lărgire la brad s-au format pe parcursul a 79 zile.

În cazul pinului silvestru, startul celulelor în curs de diferențiere a avut loc în data de 4 mai (DOY 124), caz asemănător molidului. Procesul de lărgire a celulelor s-a încheiat în data de 13 iulie (DOY 194). Procesul de diferențiere la pin silvestru a durat 70 de zile. Starul diviziunii celulare la larice a început în data de 8 mai (DOY 128), mai devreme cu 4 zile comparativ cu pinul silvestru. În data de 13 august (DOY 225) s-au remarcat ultimele celule în curs de diferențiere, iar durata procesului a celulelor în curs de diferențiere la larice a fost de 71 zile.

Faza celulelor în curs de lignificare. Primele celule în curs de lignificare la molid s-au observat în data de 28 mai (DOY 148), iar numărul maxim atins de celule a avut loc în data 4 iulie (DOY 185). Ultimele celule în curs de lignificare la molid s-au observat în data de 22

august (DOY 234). Durata procesului de lignificare la molid a fost de 86 de zile. La brad, startul lignificării celulelor a avut loc în data 24 mai (DOY 144), atingând numărul maxim de celule în a doua săptămână din luna iunie (DOY 165). Sfârșitul procesului de lignificare a avut loc în data de 19 august (DOY 231), mai târziu cu 6 zile comparativ cu laricele. Celulele la brad s-au lignificat în 87 zile.

Startul procesului de lignificare a celulelor la pin silvestru și larice a avut loc în data de 24 mai (DOY 144), dar cu diferențe în ceea ce privește sfârșitul fazei de lignificare. În cazul pinului silvestru, ultimele celule s-au lignificat în data de 9 septembrie (DOY 252), mult mai târziu comparativ cu laricele la care procesul de lignificare s-a încheiat în 13 august (DOY 225). Procesului de lignificare a celulelor a durat 108 zile la pin silvestru și 81 zile la larice.

Faza celulelor mature. Primele celule complet lignificate la molid se observă în data de 20 iunie (DOY 171). La brad, începutul procesului de formare a celulelor mature s-a observat în jurul datei de 15 iunie (DOY 166) iar în cazul pinului silvestru, primele celule complet lignificate s-au observat în data 19 iunie (DOY 170). Celule mature la larice s-au remarcat în data de 16 iunie (DOY 167).

Durata fazelor de formare a inelului anual. Dinamica numărului total de celule la molid, pin silvestru, larice și brad cuprinzând celulele aflate în faza de diferențiere, în faza de lignificare, respectiv celule mature, se poate analiza în (fig. 5.5.2).

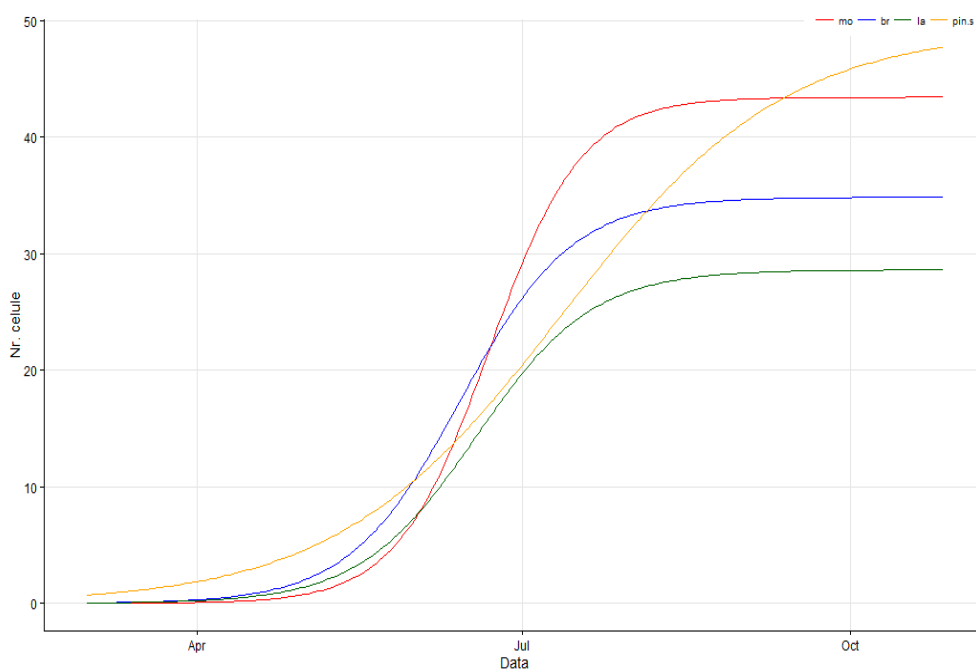


Figura 5.5.2 Dinamica numărului total de celule la molid, brad, pin silvestru și larice.

Prin modelarea dinamicii numărului total de celule se observă diferențe între specii, cu valori minime remarcate la larice și valori maxime la pin silvestru. Se observă un trend asemănător de creștere radială la molid, brad și larice iar în cazul pinului silvestru o creștere mai lentă la începutul sezonului de vegetație și o creștere radială mai rapidă spre sfârșitul perioadei de creștere. Aceste diferențe cu privire la numărul total de celule reflectă adaptabilitate fiecărei specii într-un arboret de amestec referitoare la competitivitate în același mediu de viață și la variațiile climatice.

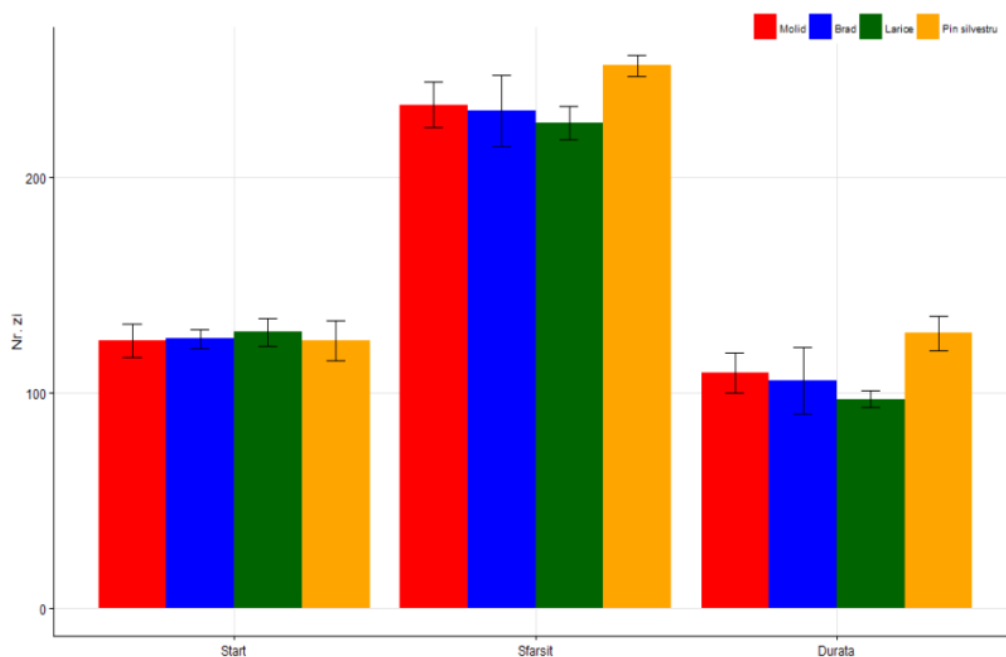


Figura 5.5.3 Startul, sfârșitul și durata de formare a inelului anual la molid, brad, larice și pin silvestru.

S-a analizat numărul maxim de producere de traheide la cele patru specii analizate în suprafața experimentală (DEIA). Astfel, la brad media maximă (0,55 de celule/zi) s-a înregistrat în data de 14 iunie (DOY 165) iar în cazul laricelui rata maximă a numărului de celule (0,44 celule/zi) a ajuns în data 19 iunie (DOY 170). La molid rata maximă de creștere radială a fost de 0,84 celule/zi în data de 22 iunie (DOY 173) iar la pin silvestru rata maximă de producere a traheidei este de 0,39 celule/zi în data de 12 iulie (DOY 193) (fig. 5.5.4).

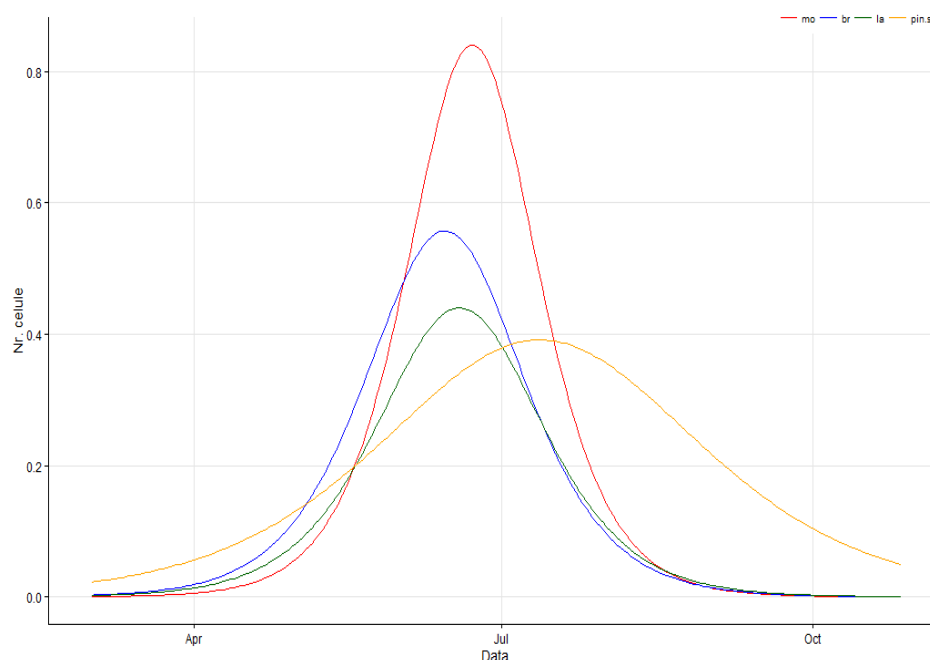


Figura 5.5.4 Rata maximă de creștere radiale la molid, brad, larice și pin silvestru.

Gruber et al. (2009) au prezentat o rată maximă de producere de traheide de 1,2 și 1,4 celule/zi. În diferențierea traheidelor și lignificării peretelui secundar, se observă o

adaptabilitate la variațiile climatice până la sfârșitul sezonului de vegetație (Rossi et al. 2006b).

Referitor la faze de dezvoltare a inelului anual se observă diferențe între specii. Durata minimă a faze de diferențiere celulară se observă la pin silvestru ($70 \pm 15,08$ zile) iar durata maximă la molid ($82 \pm 7,66$). În cazul faze de lignificare durata maximă se observă la pin silvestru ($108 \pm 4,94$ zile), iar minimul la larice ($81 \pm 10,38$ zile).

5.6 Analiza comparativă a creșterii radiale evaluată prin metode xilologice și dendroauxografe

Analiza dinamicii intra-anuale a proceselor de creștere radială la molid și zâmbru, derivate din analize xilologice și măsurători continue cu dendroauxografe automate, au reprezentat un interes în condițiile specifice pădurii de limită altitudinală superioară din Parcul Național Călimani. Dinamica proceselor auxologice este analizată preponderent, la nivel inter-anual, pe baza lățimii inelului anual (Speer 2010).

Obiectivul prezentului studiu are în vedere analiza dinamicii intra-anuale a proceselor de creștere radială la molid și zâmbru, derivate din analize xilologice și măsurători continue cu dendroauxografe automate, în condiții specifice pădurii de limită altitudinală superioară din Parcul Național Călimani.

Microclimatul. Regimul termic din perioada analizată se caracterizează de temperaturi medii zilnice scăzute, chiar negative până în ultima decadă a lunii aprilie. După data de 20.04.2011 temperaturile medii zilnice devin pozitive, cu maxime zilnice chiar de 10°C (fig. 5.6.1). Acest trend crescător al temperaturii aerului este întrerupt de un episod de îngheț târziu între 3 și 10 mai, când temperatura medie scade sub nivelul de îngheț. O altă răcire semnificativă se remarcă între 20.06.2011 și 10.07.2011, scăderea temperaturii medii zilnice fiind de circa 10°C . Maximul termic se înregistrează la mijlocul lunii iulie, temperaturile rămânând relativ ridicate până la sfârșitul lunii septembrie. În ceea ce privește regimul umidității relative a aerului se remarcă perioada 20.04.2011 și 01.05.2011, caracterizată de o scădere semnificativă a umidității aerului (valori medii zilnice 50-60%), urmată de o creștere bruscă la nivele de 90-95% (figura 5.6.1).

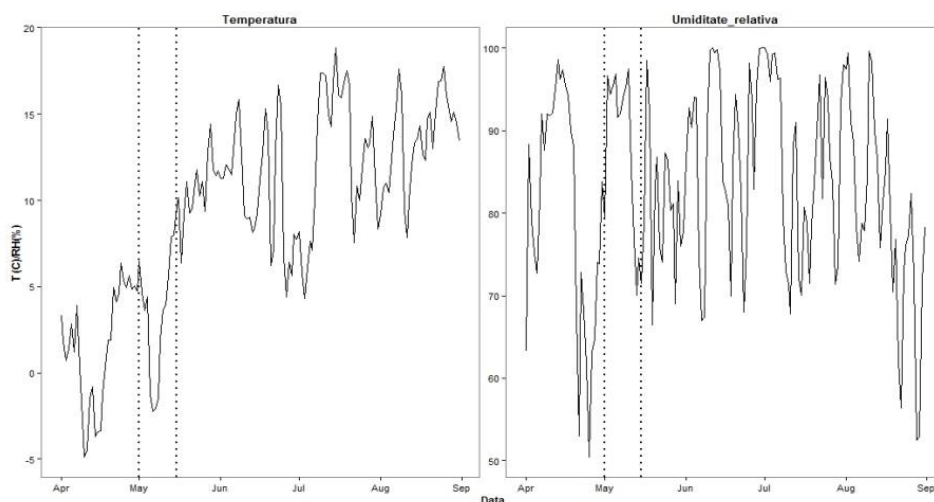


Figura 5.6.1 Variația temperaturii și a umidității relative a aerului.

Dinamica proceselor de creștere radială. Procesul de diferențiere celulară are loc după diviziunea celulelor din zona cambială, fiind urmat de procesul de îngroșare a peretelui celular (lignificare). Analiza curbelor de variație zilnică a numărului de celule cumulate (celule în curs de diferențiere, celule în curs de lignificare, respectiv celule mature) prezintă

un ritm diferit de creștere între cele două specii. La molid se observă un start mai lentă la începutul lunii aprilie, comparativ cu zâmbu. La mijlocul lunii iulie, ritmurile se egalează la cele două specii cu o finalizare mai lentă în cazul zâmbului. Potrivit modelului logistic ritmul de creștere a celulelor a început din luna aprilie, atingând maximum la începutul lunii iulie la zâmbu și mai târziu 8-9 zile la molid. În cazul zâmbului creșterea maximă modelată este de 0,5 mm în prima decadă a lunii iulie iar la molid procesul de creștere continuă până la sfârșitul lunii iulie, atingând un maxim de 0,65 mm. (fig. 5.6.2.)

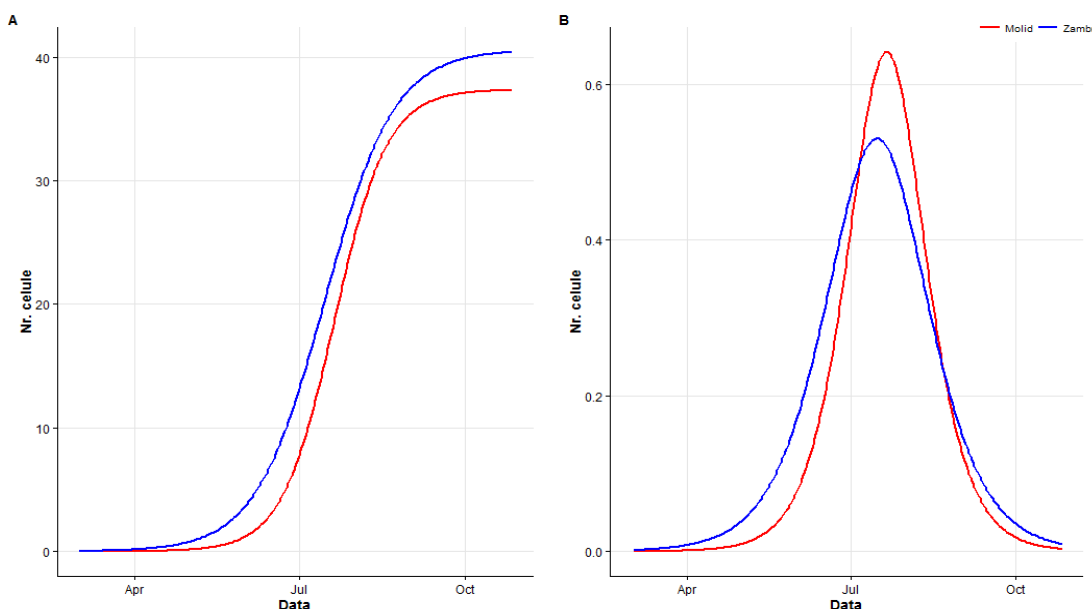


Figura 5.6.2. Numărul de celule cumulate la molid și zâmbu.

Durata procesului de diferențiere este de 49 zile la molid și de 45 zile zâmbu. Inițierea procesului de creștere radială, evidențiat de apariția primelor celule în curs de diferențiere (CD), se constată în jurul datei de 29.04.2011 la molid.

Primele celule în faza de lignificare se observă la molid în data de 22 iunie, mai târziu cu 10 zile comparativ cu zâmbu.

Decalajul dintre molid și zâmbu referitor la maximum fazei de lignificare este de 10 zile. Durata fazei de îngroșare a pereților celulari este de 44 zile la zâmbu, respectiv de 42 zile în cazul molidului. Primele celule mature se observă în data de 10 iulie (DOY 191) la molid. Durata totală a procesului de formare a inelului anual este de 86 zile la zâmbu și de 97 zile în cazul molidului.

Dinamica dimensiunii trunchiului. Dinamica dimensiunilor trunchiului este controlată de procesele de acumulare de biomasă lemnoasă în inelul anual și variația stării de hidratare a arborelui. Analiza curbelor de variație zilnică a dimensiunilor fusului relevă un ritm similar la cele două specii analizate, diferențe observându-se la durata de creștere efectivă (fig. 5.6.3). Ca urmare a creșterii temperaturii medii zilnice, în perioada martie-aprilie trunchiul revine la dimensiunile normale (din toamna precedentă), după procesele de îngheț-dezgheț din timpul ierni, când a suferit variații de 1-2 mm (Popa, 2009).

Datorită scăderii semnificative a umidității medii relative a aerului coroborată cu creșterea temperaturii se constată o scădere a diametrului cu 0,1-0,2 mm în ultima decadă a lunii aprilie. Explicația se regăsește în deshidratarea ridicată a țesuturilor externe ale trunchiului. Ulterior, în prima săptămână a lunii mai, nivelul de umiditate relativă a aerului crește la valori de 90-95%, inducând o hidratare semnificativă a trunchiului, reliefată în creșterea bruscă a diametrului. Acest fenomen are loc pe fondul unei scăderi a temperaturii la valori

medii de 3°C sau chiar sub limita de îngheț. Astfel, are loc o reducere semnificativă a proceselor de evapotranspirație și de pierdere a apei prin evaporare din țesuturile externe ale trunchiului.

Conform modelului logistic procesele de creștere radială încep în ultima săptămână din luna aprilie, atingând maximum la începutul lunii iunie la zâmbu și mai târziu cu 10 zile la molid, similar cu rezultatele din analizele xilologice (faza de diferențiere celulară) (fig.5.6.3).

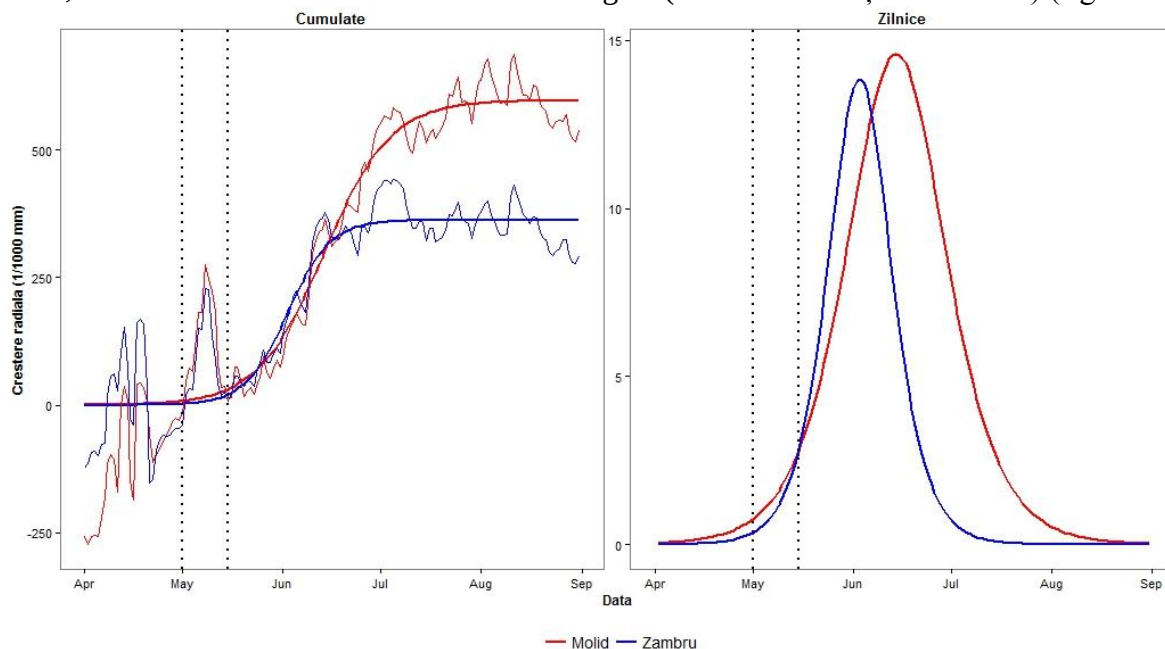


Figura 5.6.3 Variația dimensiunilor trunchiului la molid și zâmbu în anul 2011.

În cazul zâmburului creșterea maximă modelată este de 0,36 mm, curba teoretică devenind asimptotică în ultima decadă a lunii iunie. La molid procesul de creștere continuă până la mijlocul lunii iulie, atingând un maxim de 0,60 mm. Conform datelor xilologice numărul total de celule mature este mai mare la zâmbu comparativ cu molidul, fapt care nu se reflectă în creșterea în diametru.

Măsurătorile efectuate cu ajutorul dendroauxografelor relevă un plus de creștere radială în cazul molidului. Chiar dacă prin cele două metode de analiză a creșterii radiale nu au fost monitorizați aceiași arbori, explicația diferențelor se regăsește în dimensiunea medie a traheidelor nou formate, care este mai mică la zâmbu față de molid (fig. 5.6.4).

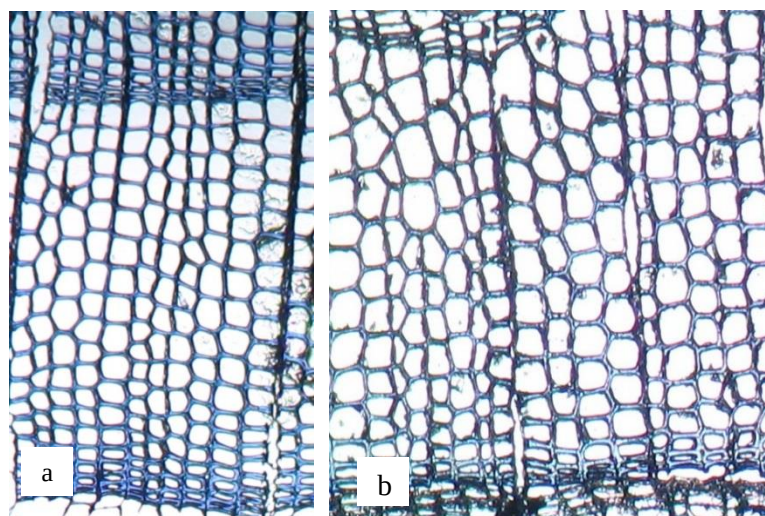


Figura 5.6.4 Dimensiunea celulelor la (a. zâmbu) și (b. molid).

Pe baza rezultatelor prezentate se poate concluziona existența unei corelații foarte bune între dinamica intra-anuală a creșterii radială evidențiată prin metode xilologice și cea înregistrată prin măsurători continue cu ajutorul dendroauxografelor. Procesele de formare a inelului anual, respectiv de creștere în dimensiuni a trunchiului, începe în anul 2011, în ultima săptămână din luna aprilie și atinge maximul la începutul lunii iunie. Între molid și zâmbru s-a constatat un decalaj privind maximul creșterii radiale de 10 zile. Conform monitorizării continue a proceselor de acumulare în inelul anual se termină în cazul zâmbrului la jumătatea lunii iunie, iar la molid mai târziu (începutul lunii iulie), inducând în cazul molidului un plus de creștere de circa 40%. Valorile periodice extreme ale temperaturii sau umidității relative a aerului se reflectă în modificări semnificative ale dimensiunilor trunchiului atât la molid cât și la zâmbru.

5.7 Variația parametrilor inelului anual la rășinoase din Obcina Feredeului

Arboretul de amestec de rășinoase din suprafața experimentală (DEIA) a relevat particularități specifice de creștere pentru fiecare specie de rășinoase. Având în vedere aceste informații ne-am pus întrebarea cum variază lățimea inelului anual: în funcție de numărului de celule sau de dimensiunile acestora?

Acest studiu de caz a avut drept obiectiv evaluarea variației parametrilor inelului anual analizată sub raportul numărului de celule, a lățimii inelului anual și a variația dimensiunii celulare la molid, brad, pin silvestru și larice.

În viitor prin extinderea cercetărilor și în alte arborete de amestec de rășinoase se poate analiza mai bine competiția dintre specii, evaluată prin lățimea inelului anual și numărul de celule. Este interesant de analizat creșterea radială la aceste specii care au cerințe ecologice diferite și au fost introduse într-un singur areal. Care dintre specii reacționează la secetă, temperatură și în ce mod, reducându-se numărul sau dimensiunea celulelor?

Analiza lățimii inelului anual. Lățimea medie a inelului anual a variat între 2,31 la molid pentru 2011 și 1.22 mm la pin în anul 2010.

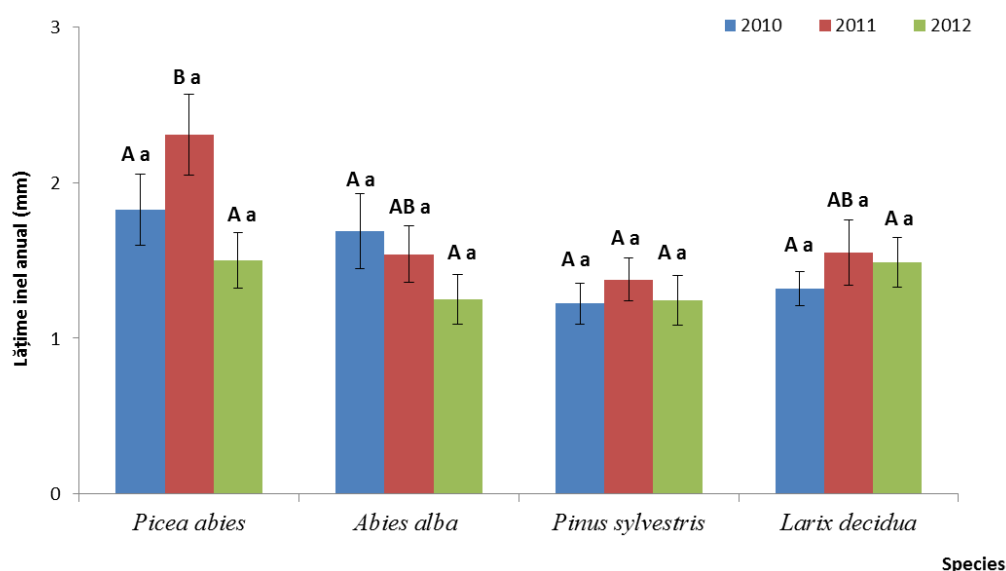


Fig. 5.7.1 Variația lățimii inelului anual la molid, brad, pin silvestru și larice prin compararea mediilor între specii în cadrul aceluiași an (A, B, AB) și compararea mediei aceleiași specii între ani (a, b, ab).

Lățimea inelului format în anul 2010 nu diferă semnificativ la $\alpha = 0,05$ comparativ între specii, caz similar analizat și în anul 2012 (fig.5.7.1). O situație specială este observată în cazul anului 2011, în care media lățimii inelului anual la molid diferă semnificativ de pin ($p = 0.008$). Referitor la compararea mediei aceleiași specii între ani, datele arată că diferențele nu sunt semnificative.

Variația numărului de celule. Datele rezultate din calcul evidențiază o variație semnificativă privind creșterea radială dintre specii raportat la numărului de celule. Prin compararea mediei între toate specii analizate în cadrul anului 2010, s-au găsit diferențe în ceea ce privește numărul de celule cum se observă în (figura 5.7.2). Analizând creșterea radială pentru anul 2010 comparativ între specii s-a remarcat că molidul diferă de pin (ANOVA $F=5.27$, $P=0.014$) dar și de larice (ANOVA $F=5.27$, $P=0.003$). În cadrul aceluiași an (2010) bradul, laricele și pinul nu diferă semnificativ prin număr de celule. Variația comparativă a mediilor între specii în cadrul anului 2011 arată că molidul diferă semnificativ față de toate speciile (ANOVA $F=12.10$, $P<0.0001$). Pentru anul 2012, mediile arată că molidul nu diferă semnificativ de pin, dar diferă semnificativ de brad (ANOVA $F=4,44$ $P=0.007$) și larice (ANOVA $F=4,44$ $P=0.02$). Din rezultatele obținute, în cazul pinului, laricelui și bradului se observă că mediile nu diferă semnificativ pentru cele trei sezoane de vegetație. Analizând situația fiecărei specii în parte, se poate observa la molid o creștere radială semnificativă prin număr de celule în toate cele trei sezoane de vegetație. Rata maximă de creștere fost atinsă la un număr de aproximativ 65.22 de celule pentru anul 2011, în timp ce pentru anul 2012 creșterea s-a redus până la 40.60 de celule. Numărul cel mai redus de celule s-a remarcat la larice cu o medie de 30.40 de celule comparativ cu celelalte specii. Se poate observa o creștere pozitiv semnificativă pentru toate speciile pentru anul 2011 raportat la numărul de celule.

În urma comparării mediilor între ani în cadrul aceleiași specii, s-a observat diferențe semnificative în ceea ce privește numărul de celule la molid între anii 2012 și 2011 (ANOVA $F=7,8$ $P=0,001$). În cazul bradului, media numărul de celule la molid între anii 2012 și 2011 arată diferențe semnificative (ANOVA $F=4,9$ $P=0,016$) de asemenea și între anii 2010 și 2012 (ANOVA $F=4,9$ $P=0,029$). Din figura 5.7.2 se observă că mediile numărului de celule la pin și larice nu diferă semnificativ comparativ între ani.

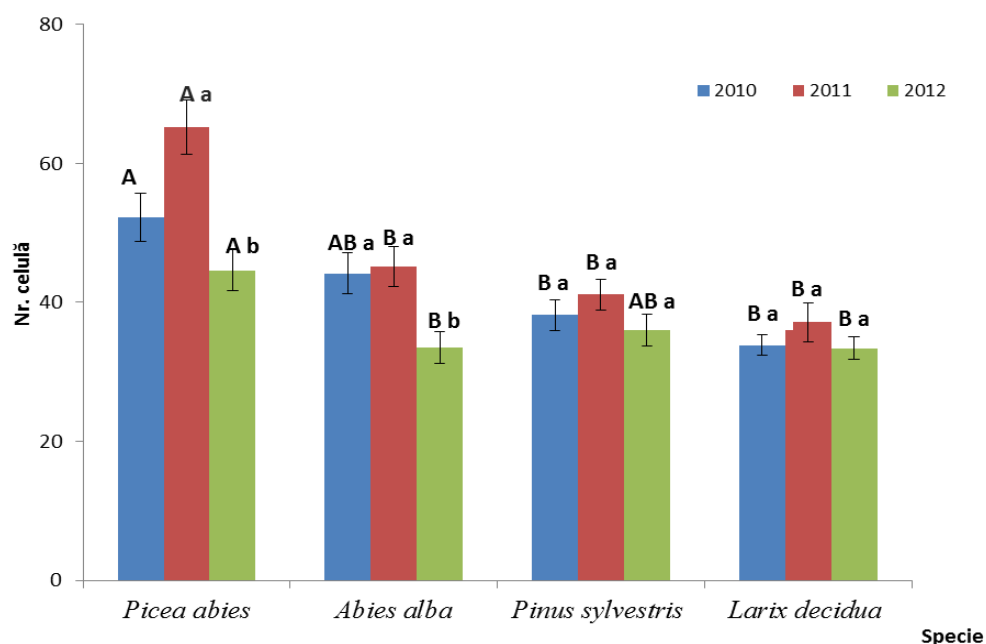


Figura 5.7.2 Variația numărului de celule prin compararea mediilor între specii în cadrul aceluiași an (A, B, AB) și compararea mediei aceleiași specii între ani (a, b, ab) la molid, brad, pin silvestru și larice. Bara verticală indică eroarea standard a mediei.

Variația mediei dimensiunii celulei. Analiza comparativă a mediei dimensiunii celulelor între specii pentru anul 2012 arată diferențe semnificative între larice și molid, respective pin ($p=0.001$) (fig. 5.7.3). Aceleași diferențe se observă în 2011 între molid și larice ($p = 0,004$), și între larice și pin ($p = 0,006$). În cadrul fiecărei specii s-au observat diferențe semnificative între ani în ceea ce privește dimensiunea celulei.

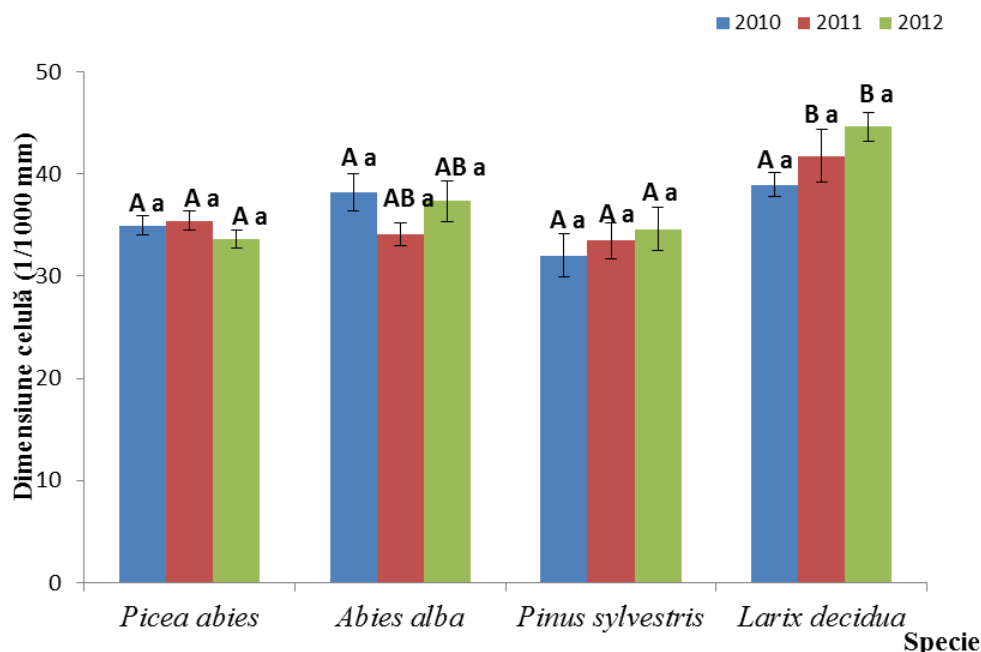


Figura 5.7.3 Variația dimensiunii celulelor prin compararea mediilor între specii în cadrul aceluiași an (A, B, AB) și compararea mediei aceleiași specii între ani (a, b, ab) la molid, brad, pin silvestru și larice. Bara verticală indică eroarea standard a mediei.

Influența climatului cât și a factorilor genetici în creșterea radială diferă de la o specie la alta. În unele cazuri, condițiile extreme ale vremii, fluctuațiile periodice climatice modifică rata celulelor a inelului anual. Rezultatul creșterii radiale poate fi dedus din variațiile climatice din trecut (Fritts 1976).

În multe studii s-a observat cazuri diferite ale creșterii radiale, în care lățimea inelului anual a fost mai mare în raport cu un număr redus de celule și situație inversă în care s-a observat un număr mai mare de celule cu o lățime redusă a inelului anual. Numărul de celule, dimensiunea celulei și grosimea peretelui celular, reprezintă parametri cantitativi importanți în lățimea inelului anual. Dacă relația dintre numărul de celule și lățimea inelului anual este evidentă, relația dintre dimensiunea celulei radiale comparativ cu grosimea peretelui celular, sau dimensiunea celulei comparativ cu lățimea inelului s-a dovedit a fi mai complicată (Savidge 1996; Vaganov 1996).

Pentru fiecare inel anual, rata și dimensiunea celulelor au arătat rezultate diferite care au dus implicit la o variație a lățimii inelului anual. Dimensiunea celulei a depins de evoluției fiecărei etape de dezvoltare a xilemului diferit de la o specie la alta. De asemenea, distribuția ratei de creștere din fiecare sezon vegetativ a rezultat din răspunsul fiecărei specii la variația factorilor de mediu. După unele studii, densitatea maximă a celulei ajunge în mijlocul zonei a lemnului târziu, nu în ultimele celule ale inelului anual. Celule cu dimensiuni situate între 0,02 mm și 0,025 mm au arătat cea mai mare densitate (Vaganov et al. 1985). Importante diferențe dintre doi ani de studiu s-a remarcat la lățimea inelului anual, în timp ce numărului total de celule formate nu a prezentat diferențe semnificative (Deslauriers et al. 2008).

6 Concluzii și contribuții originale

Cercetările xilologice au demonstrat o variație importantă în procesele de creștere radială a xilemului la diferite specii, aflate în diferite condiții de mediu. În urma cercetărilor, s-au concluzionat o serie de aspecte importante asupra dinamicii activității cambiale și a proceselor de diferențiere a inelului anual.

Concluzii cu privire la influența altitudinii asupra dinamicii formării inelului anual la molid și zâmbru din Parcul Național Călimani

Includerea în teza de doctorat a informațiilor noi cu privire la influența climatului și altitudinii în dinamica formării inelului anual, cu rezoluție intra-anuală, puțin documentate și accesibile la noi, a permis o caracterizare și o evaluare mai completă a proceselor de creștere radială.

În suprafața experimentală Călimani startul activității cambiale la molid la altitudinea de 1500 m a avut loc mai devreme cu aproximativ 14 zile față de altitudinea de 1700 m în anul 2007.

Startul activității cambiale la zâmbru a avut loc în perioadă similară molidului, diferență regăsindu-se în numărul maxim de celule cambiale constatate mult mai devreme la zâmbru față de molid la ambele nivele altitudinale (22 zile - 1500 m; 60 zile – 1700 m).

La molid la altitudinea de 1500 m s-a remarcat un start mai târziu al activității cambiale în anul 2008 comparativ cu anul 2007. Un start timpuriu comparativ cu anii anteriori s-a observat la molid la altitudinea de 1500 m în anul 2009, fapt explicat prin numărul mare de celule (14 celule cambiale) existent în jurul datei de 22 aprilie. De asemenea s-a remarcat o activitate cambială începută și în cazul zâmburului la ambele nivele altitudinale. Explicația se regăsește în temperaturile pozitive din lunile martie-aprilie care au favorizat un start timpuriu al activității cambiale la ambele specii și nivele altitudinale.

În startul celulelor în curs de diferențiere la molid se remarcă un decalaj de 12 zile, în care celulele au început să se diferențieze mai devreme la altitudinea de 1700 m. Procesul de diferențiere la molid a durat 27 zile la altitudinea de 1500 m și de 48 zile la altitudinea de 1700 m. Spre deosebire de molid, la zâmbru, procesul de lărgire a celulelor în anul 2007 a durat 23 zile la altitudinea de 1500 m și 39 zile la altitudinea de 1700 m, în anul 2008 durata de diferențiere celulară a variat între 19 zile la altitudinea de 1500 m și 36 zile la altitudinea de 1700 m.

Durată mare a fazei de lărgire a celulelor s-a remarcat în anul 2009 la ambele specii și nivele altitudinale, astfel în cazul molidului au fost necesare 39 zile pentru diferențierea celulară la altitudinea de 1500 m și 47 zile la altitudinea de 1700 m. La zâmbru, diferențierea celulară a durat 39 zile, similar molidului de la altitudinea de 1500 m, respectiv 40 zile la altitudinea de 1700 m.

O diferență semnificativă s-a remarcat în numărul maxim de celule lignificate la molid la altitudinea de 1500 m în anul 2007, comparativ cu zâmbru în care numărul de celule lignificate au atins maximum lor cu 42 zile mai târziu. Situație diferită se remarcă în anul 2008, în care rata maximă de lignificare a celulelor avut loc în data de 16 iulie la ambele specii. S-a remarcat un sfârșit timpuriu a procesului de lignificare la zâmbru (29 august) comparativ cu molidul (14 septembrie) la altitudinea de 1500 m în anul 2007.

Primele celule mature s-au format la zâmbru mai repede la altitudinea de 1500 m în anii 2007-2009 cu o diferență de 5-10 zile față molid.

S-au remarcat diferențe în numărul total de celule care este mai mare la altitudinea de 1700 m comparativ cu 1500 m.

Sfârșitul fazei de lignificare, echivalent cu finalizarea formării inelului anual la molid, are loc la altitudinea de 1500 m, mai târziu cu o săptămână față de zâmbru.

Corelația dintre numărul de celule și media temperaturii înregistrate la molid este pozitivă și semnificativă la ambele nivele altitudinale. În anul 2009 la zâmbu cât și la molid se regăsesc corelații pozitive și foarte semnificativă statistic.

Cantitatea de căldură se corelează pozitiv cu numărul periodic de celule produse pentru ambele specii. O corelație pozitivă și semnificativă în anul 2009 la altitudinea de 1500 m este observată la zâmbu, similar cu molidul de la altitudinea de 1700 m.

Concluzii cu privire la dinamica proceselor de creștere radială la rășinoase în Parcul Național Călimani

La speciile de rășinoase situate la altitudinea de 1500 m din Parcul Național Călimani s-au evidențiat variații în etapele de formare a inelului anual. Un start timpuriu al activității cambiale s-a remarcat la molid în anul 2013 comparativ cu anii anteriori. La zâmbu startul activității cambiale a avut loc mai devreme comparativ cu molidul în care s-a remarcat un ritm mai rapid în producerea celulelor în toți anii analizați.

Startul activității cambiale la pin silvestru s-a constatat mult mai devreme comparativ cu celelalte specii, iar numărul maxim de celule s-a observat la mijlocul lunii aprilie. La larice, primele celule cambiale nou formate se observă mai târziu față de pin silvestru, atingând numărul maxim de celule în a treia săptămână din luna aprilie (2013).

În ceea ce privește fazele celulelor în curs de lărgire și lignificare în anul 2011, se remarcă o dinamică diferită la molid comparativ cu zâmbu, exemplificate și în durata totală a fazelor de formare a inelului anual.

De asemenea, s-au observat diferențe, în ceea ce privește startul diferitelor faze, (celulelor în curs de lărgire, a celulelor în curs de lignificare, respective celule mature) între speciile analizate în anul 2013. Pentru larice și pin silvestru temperaturile ridicate din lunile aprilie-mai (2013) nu a avut influență asupra startului celulelor în curs de lărgire, comparativ cu anul 2011 în care temperaturile mai scăzute au influențat negativ începutul procesului de diferențiere.

Durata maximă a fazei de diferențiere celulară se observă la larice în anul 2013, iar durata minimă este la zâmbu. Referitor la faza de lignificare, durata maximă se constată de asemeni la larice în anul 2013, iar valoarea minimă la zâmbu în anul 2011.

Privitor la rata maximă de creștere radială la conifere s-au constatat diferențe între specii. La molid rata maximă de creștere variază între 0,43 și 0,65 celule/zi. O rată mare de creștere radială se remarcă la larice în anul 2011 (0,81 celule/zi) și 2013 (1,15 celule/zi).

Prin numărul total de celule se observă valori maxime în anul 2013 la molid, zâmbu și larice, iar valori minime se remarcă la larice și pin silvestru în anul 2011. Creșterea radială reliefată prin numărul total de celule este mai mare la larice și pin silvestru pentru anii 2011 și 2013.

Molidul și zâmbu prezintă legături statistice nesemnificative între temperatură și numărul de celule în anul 2011, comparativ cu pinul silvestru și larice care indică corelații pozitive asigurate statistic. Referitor la corelația dintre cantitatea de căldură și numărul de celule se observă la molid o corelație pozitivă distinct semnificativă în anul 2010. La zâmbu se remarcă corelații pozitive nesemnificative în toți anii analizați.

Concluzii privind dinamica fazelor de formare a inelului anual într-un arboret de amestec din Masivul Rarău

Maximul activității cambiale la fag se înregistrează în a doua jumătate a lunii iunie diferențele între ani fiind de maxim 1 săptămână. Ulterior activitatea cambială scade și procesul de diviziune celulară se termină în ultima jumătate a lunii iulie în 2010. Comparativ

cu anii precedenții, s-a remarcat un start timpuriu al cambiului care a avut loc în ultima săptămână din luna aprilie (2011). Durata procesului de diferențiere celulară variază între 40 și 80 de zile.

Începutul procesului de lignificare are loc la sfârșitul luni mai-începutul lunii iunie diferențele între ani fiind de 7-14 zile. Durata procesului de lignificare este 82-90 de zile.

S-a constatat că timpul mediu necesar unui element de vase pentru a fi complet format între începutul procesului de diferențiere celulară și formarea completă este de 30-40 de zile.

Formarea completă a inelului anual la fag s-a remarcat în a doua săptămână din luna septembrie când numărul de celule cambiale s-au redus la 3-4 celule și toate elementele anatomice sunt mature. Durata medie de procesului de formare a inelului anual considerată între începutul diviziunii cambiale și finalizarea procesului de lignificare este cuprinsă între 127 și 137 zile.

În ceea ce privește startul activității cambiale la rășinoase s-a constatat un start timpuriu al activității cambiale în sezonul de vegetație 2010 pentru molid cât și pentru brad, comparativ cu anii 2009 și 2011. Apariția primelor celulelor în curs de diferențiere la brad și molid a variat între data de 26 aprilie - 15 mai în cele trei sezoane de vegetație (2009-2011). De asemenea, debutul celulelor în curs de lignificare respectiv apariția primelor celule complet lignificate au avut loc mai devreme în anul 2010 comparativ cu anul anterior.

Rata maximă de creștere radială s-a observat la brad (2,24 celulă/zi) înregistrată în anul 2011. S-a constatat la brad un ritm mai lent în producerea celulelor la începutul sezonului de vegetație, dar mult mai activ pe parcursul perioadei de creștere.

Numărului total de celule prezintă valori maxime în anul 2011 și minime în anul 2009. Analizând creșterea radială prin numărul total de celule s-a remarcat o creștere mai mare la brad comparativ cu molidul pentru toată perioada analizată. La brad s-au observat diferențe semnificative între anii 2010 și 2011. În cazul molidului se observă diferențe între creșterea radială dintre anii 2009 și 2010.

Durata minimă a fazei de diferențiere celulară se observă la brad, iar durata maximă se constată atât la molid cât și la brad în anul 2009. Referitor la faza de lignificare durata maximă este constatată la brad în anul 2010, iar durata minimă la bradul din anul 2011.

S-au evidențiat corelații pozitive și semnificative între creșterile radiale și temperatura medie la molid cât la și brad. O legătură corelativă pozitivă foarte semnificativă se remarcă la molid în anul 2009, iar la brad o corelație distinct semnificativă în anul 2010.

Cantitatea de căldură corelată cu numărul periorid de celule produse a indicat o corelație pozitivă foarte semnificativă la molid în anul 2009. Analiza corelației între temperatura maximă și numărul de celule indică o corelație pozitivă și semnificativă în anul 2009 la ambele specii.

Concluzii cu referire la dinamica numărului de celule în arborete artificiale de rășinoase din Obcina Feredeului

În urma analizei creșterii radiale la coniferele din suprafața experimentală Deia s-au remarcat variații privind debutul și sfârșitul etapelor de formare a inelului anual la nivel de specie. La molid dinamica activității cambiale a confirmat un debut mai târziu comparativ cu celelalte specii.

Din analiza creșterii radiale s-a observat un start timpuriu al producerii celulelor la pin silvestru, dar cu un ritm mai lent pe toată durata sezonului de vegetație comparativ cu celelalte specii.

Startul fazei de diferențiere celulară la molid și pin silvestru a avut loc la aceeași dată. O diferență doar de 3 zile s-a remarcat în starul celulelor în curs de diferențiere la brad și larice și de 5 zile în ceea ce privește sfârșitul fazei de diferențiere. Diferențe semnificative se

observă la sfârșitul procesului de diferențiere la larice și pin silvestru. Durata fazei de lărgire a celulelor a fost de 79 zile la brad și 71 zile la larice. Durata cea mai mare a procesului de diferențiere se remarcă la molid (83 zile), iar cea mai scurtă la pin silvestru (70 zile).

În ceea ce privește durata procesului de lignificare, analiza comparativă între specii evidențiază la brad o durată de 87 zile, la larice 81 zile, în cazul molidului de 86 zile, iar la pin silvestru procesul de lignificare a celulelor a durat 108 zile. La brad inelul anual s-a format pe durata a 106 zile, cu o diferență doar de 3 zile față de molid. Formarea inelului anual la pin silvestru a durat 128 zile cu o diferență de o lună comparativ cu laricele (97 zile).

Concluzii cu privire la analiza comparativă a creșterii radiale evaluată prin metode xilologice și dendroauxografe

Variația zilnică a numărului de celule cumulate prezintă un ritm diferit de creștere între zâmbru și molid. La zâmbru s-a constatat o creștere maximă modelată a numărului de celule de 0,5 celule/zi în prima decadă a lunii iulie, iar la molid o creștere cu un maxim de 0,65 celule/zi remarcat la sfârșitul lunii iulie. Durata totală a procesului de formare a inelului anual este de 86 zile la zâmbru și de 97 zile în cazul molidului.

În analiza creșterii dimensiunii trunchiului, s-au constatat diferențe privind maximul creșterii radiale, similar cu rezultatele din analizele xilologice.

Conform evaluării continue procesele de acumulare în inelul anual se termină în cazul zâmbrului la jumătatea lunii iunie, iar la molid mai târziu. Valorile periodice extreme ale temperaturii sau umidității relative a aerului se reflectă în modificări semnificative ale dimensiunilor trunchiului atât la molid cât și la zâmbru. În cazul zâmbrului creșterea maximă modelată este de 0,36 mm, curba teoretică devenind asimptotică în ultima decadă a lunii iunie. La molid procesul de creștere continuă până la mijlocul lunii iulie, atingând un maxim de 0,60 mm. Conform datelor xilologice numărul total de celule mature este mai mare la zâmbru comparativ cu molidul, fapt care nu se reflectă în creșterea în diametru.

Măsurătorile efectuate cu ajutorul dendroauxografelor relevă un plus de creștere radială în cazul molidului.

Potrivit rezultatelor prezentate se poate concluziona existența unei corelații foarte bune între dinamica intra-anuală a creșterii radiale evidențiată prin metode xilologice și cea înregistrată prin măsurători continue cu ajutorul dendroauxografelor.

Concluzii privind variația parametrilor inelului anual la rășinoase din Obcina Feredeului

În ceea ce privește lățimea medie a inelului anual la molid a variat între 1,22 mm și 2,31 mm. O situație specială este observată în cazul anului 2011 în care media lățimii inelului anual la molid diferă semnificativ de pin. Referitor la compararea mediei aceleiași specii între ani, datele arată că diferențele nu sunt semnificative.

Prin compararea mediei între toate specii analizate în cadrul anului 2010, s-au găsit diferențe în ceea ce privește numărul de celule.

În cadrul aceluiași an (2010) bradul, laricele și pinul nu diferă semnificativ prin număr de celule. Variația comparativă a mediilor între specii în cadrul anului 2011 arată că molidul diferă semnificativ față de toate speciile. Pentru anul 2012, molidul nu diferă semnificativ de pin, dar diferă semnificativ de brad și larice.

În cazul pinului, laricelui și bradului mediile nu diferă semnificativ pentru cele trei sezoane de vegetație. Analizând situația fiecărei specii în parte, molidul se remarcă printr-o creștere radială semnificativă prin număr mare de celule în toate cele trei sezoane de vegetație.

Referitor la variația mediei dimensiunii celulei, prin analiza comparativă a mediei dimensiunii celulelor între specii pentru anul 2012 arată diferențe semnificative între larice și molid, respective pin. În cadrul fiecărei specii s-au remarcat diferențe semnificative între ani în ceea ce privește dimensiunea celulei.

Influența pozitivă a precipitațiilor din luna iunie este evidentă în creșterea radială din anul 2011 pentru toate speciile analizate. Media temperaturilor ridicate din lunile iunie-iulie cât și a precipitațiilor mai scăzute din anul 2012 poate fi răspunsul creșterii nesemnificative a inelului anual pentru același an.

Contribuții originale

Datele din această teză aduc informații valoroase pentru îmbunătățirea cunoștințelor despre dinamica dezvoltării intra-anuale a inelului la rășinoase și foioase. Teza de doctorat și-a propus o explorare amănunțită a formării inelului în directă corelație cu factorii climatici. Dintre contribuțiile originale aduse prin prezenta teză se remarcă:

- s-au adus noi informații asupra etapelor de formare a inelului anual și a structurii lemnului, documentate cu secvențe microscopice sugestive;
- s-a analizat pentru prima dată în spațiul carpatin creșterea radială sub aspect xilologic comparativ între nivele altitudinale, specii și ani;
- s-au realizat analize detaliate asupra etapelor de formare a inelului anual în ecosistem natural cât și într-un arboret artificial din Parcul Național Călimani;
- s-au realizat cercetări pentru prima dată asupra etapelor de formare a inelului anual la fag din Masivul Rarău;
- pentru prima dată, cu caracter de noutate pentru România s-a evaluat startul, sfârșitul și durata formării inelului anual la speciile de rășinoase studiate;
- s-a cuantificat influența temperaturii asupra dinamicii formării inelului anual la molid și zâmbru raportat la nivelul altitudinal din Parcul Național Călimani;
- s-au realizat cercetări comparative asupra creșterii radiale sub raportul numărului de celule și a variației dimensiunilor trunchiului;
- în premieră s-a analizat variația parametrilor inelului anual (lățimea inelului anual, numărul de celule și dimensiunea celulelor) la rășinoase din Obcina Feredeului;
- s-au obținut în premieră rezultate asupra fazelor de formare a inelului anual analizate comparativ la mai multe specii;

Teza de doctorat prin evidențierea unor aspecte cum ar fi: metodologia de cercetare, prezentarea metodei de lucru; realizarea imaginilor microscopice; evaluarea calitativă și calitativă a etapelor de formare a inelului anual, determinarea dinamicii activității cambiale și creșterea xilemului la diferite specii și nivele altitudinale, observații comparative asupra creșterii radiale la diferite specii; influența temperaturii asupra creșterii, aduce informații și cunoștințe relevante privind dinamica proceselor de creștere în ecosistemele forestiere din zona montană.

Bibliografie selectivă

- Antonova, G.F. Shebeko, V.V. 1981. *Applying cresyl violet in studying wood formation*. Khim. Drev., 4. 102-105.
- Barber, V.A, Juday, G.P, Finney, B.P. 2000. *Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress*. Nature 405: 668–673.
- Bouriaud, O., Leban, J. M., Bert D., Deleuse C., 2005. *Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce*. Tree Physiology pp.25, 651–660.
- Bouriaud, O, Breda N, Le Moguedec G, Nepveu G 2004. *Modelling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate*. Trees – Structure and Function 18: 264–276.

- Briffa, K.R. Jones, P.D., Schweingruber, F. H., Briffa, K. R 1994. *Summer temperatures across northern North America: Regional reconstructions from 1760 using tree-ring densities*. Journal of Geophysical Research 99(D12), 25,835-25,844.
- Cenușă, R., 2001. *Cercetări privind relația structură-funcție și evoluția ecosistemelor forestiere naturale din nordul țării*. Proiect științific.
- Cochard H, Lemoine D, Améglio T, Granier A., 2001. *Mechanisms of xylem recovery from winter embolism in Fagus sylvatica*. Tree Physiology, 21(1), 27-33
- Cufar, K., Prislan, P, Gricar, J 2008a. *Cambial activity and wood formation in beech (Fagus sylvatica) during the 2006 growth season*. Wood Research 53: 1–12.
- Cufar, K., Prislan, P, Luis M, Gricar J., 2008b. *Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (Fagus sylvatica) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe*. Trees 22:749-758.
- Deslauriers, A., Rossi, S., Anfodillo, T., Saracino, A., 2008. *Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrasting years at high altitude in southern Italy*. Tree Physiology 28:863-871.
- Deslauriers, A., Morin, H., and Begin, Y., 2003a. *Cellular phenology of annual ring formation of Abies balsamea (L.) Mill, in the Québec boreal forest (Canada)*. Can. J. For. Res. 33:190-200.
- Deslauriers, A., Morin, H., Urbinati, C., and Carrer, M., 2003b. *Daily weather response of balsam fir (Abies balsamea (L.) Mill.) stem radius change from dendrometer analysis in Québec boreal forest (Canada)*. Trees. In Press.
- Deslauriers, A., 2003. *Dynamique de la croissance radiale et influence meteorologique quotidienne chez le sapin baumie ABIES BALSAMEA (L.) MILL.en foret boreale*. These L'universite du Quebec.
- Drew, D., Downes, G., 2009. *The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variaion: A review*. Dendrochronologia 27:159-172.
- Di Filippo, A., Biondi F., Maugeri, M., Schirone, B., Piovesan, G., 2012. *Bioclimate and growth history affect beech lifespan in the Italian Alps and Apennines*. Global Change Biology, 18, 960-972.
- Dittmar, C., Zech, W., Elling, W., 2003. *Growth variations of Common beech (Fagus sylvatica L.) under different climatic and environmental conditions in Europe-a dendroecological study*. Forest Ecology and Management, 173, 63-78.
- Fritts, HC., 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press London. New York. 567 p.
- Gärtner H., Banzer, L., Schneider L., Schweingruber F.H, Bast, A., 2015. *Preparing micro sections of entire (dry) conifer increment cores for wood anatomical time-series analyses*. Dendrochronologia 34: 19-23.
- Gricar, J., Cufar K., Oven P., Schmitt U., 2005. *Differentiation of terminal latewood tracheids in silver fir trees during autumn*. Annals of Botany 95:959-965.
- Gruber, A., Zimmermann, J., Wieser, G., Oberhuber, W., 2009. *Effects of climate variables on intrannual stem radial increment in Pinus cembra (L.) along the alpine treeline ecotone*. Ann. For. Sci. 66:503p1-503p11.
- Hacke, U., Sauter, JJ., 1995. *Drought-induced xylem dysfunction in petioles, branches, and roots of Populus balsamifera L. and Alnus glutinosa (L.) Gaertn*. Plant Physiol 111:413–417.
- Körner Ch., Paulsen J., 2004: *A world-wide study of high altitude treeline temperatures*. J. Biogeogr. 31:713-732.
- Ladefoget, K., 1952. *The periodicity of wood formation*. Biol Skrifter Kgl Dansk Videnskaebernes Selskab 7.
- Lebourgeois., F., Pierre, M., 2012. *La taille d'un arbre influence-t-elle sa réponse au climat? Étude dendroécologique sur le Sapin, l'Epicéa, le Pin sylvestre, le Hêtre et le Chêne sessile*. - Revue Forestière Française.
- Lebourgeois, F., Rathgeber, B.K., Ulrich, E., 2010. *Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (Abies alba, Picea abies and Pinus sylvestris)*. Journal of Vegetation Science Vol 21, pp 364-376.
- Makinen, H., Seo, J.W., Nojd, P., Schmitt, U., Jalkanen, R., 2008. *Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, microcoring and dendrometer measurements*. Eur. J. For. Res. 127:235-245.

- Makinen, H., Nojd, P., Kahle HP., Neumann, U., Tveite B., Mielikainen, K., Rohle, H., Spiecker H., 2003. *Large-scale climatic variation and radial increment variation of Picea abies (L.) Karst. in central and northern Europe*. Trees 17:173–184.
- Marion L, Gricar J, Oven P 2007. *Wood formation in urban Norway maple trees studied by the micro-coring method*. Dendrochronologia 25(2):97-102.
- Michelot, A., Simard S., Rathgeber C., Dufrêne E., Damesin, C., 2012. *Comparing the intra-annual wood formation of three European species (Fagus sylvatica, Quercus petraea and Pinus sylvestris) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics*. Tree physiology, 32(8), 1033-1045.
- Oladi R., Pourtahmasi R., Eckstein D., Brauning A., 2011. *Seasonal dynamics of wood formation on Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) along an altitudinal gradient in the Hyrcanian forest, Iran*. Trees – Structure and Function 25: 425–433.
- Piovesan, G, Biondi, F., Bernabei M., Di Filippo A., Schirone B., 2005. *Spatial and altitudinal bioclimatic zone of the Italian peninsula identified from a beech (Fagus Sylvatica) tree network*. Acta Oecologica, 27, 197-210.
- Planton S., M. Deque, F., Chauvin, L., Terray 2008. *Expected impacts of climate change on extreme climate events*. External Geophys. Clim. Environ., 340, 564–574.
- Popa, I., 2004. *Fundamente metodologice și aplicații de dendrocronologie*. Editura Tehnică Silvică, Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului, Câmpulung Moldovenesc, 200p.
- Popa, I., Semeniuc, A., 2009. *Posibilități de evaluare a fazelor de formare a inelului anual prin tehnici de xilologie*. Revista Pădurilor, 4:13-15.
- Popa, I., 2009. *Variația zilnică a dimensiunilor trunchiului la molid și zâmbru în Munții Călimani*. Revista pădurilor, 3:17-22.
- Popescu-Zeletin, I., 1964. *Dendroauxograf – aparat pentru înregistrarea variației și creșterii diurne la arbori*. Revista pădurilor 9:499-501.
- Popescu-Zeletin I., Mocanu, V., 1961. *L'accroissement radial des peuplements pendant la periode de vegetation*. In IUFRO, 13, Kongress, Wien, Rapports, 13 p.
- Popescu-Zeletin I., Puiu, S., Mocanu, V., Enescu, V., 1960. *Contribuții la stabilirea unei metode pentru determinarea creșterii în grosime la arbori în perioada de vegetație*. Comunicările Academiei R.P. Române, An X, nr.12, pp 1135-1142.
- Prislan P., Gričar J., de Luis M., Smith KT., Čufar K., 2013. *Phenological variation in xylem and phloem formation in Fagus sylvatica from two contrasting sites*. Agricultural and Forest Meteorology, 180, 142-151.
- Prislan, P., Schmitt, U., Koch, G., Gricar, J., Cufar, K., 2011. *Seasonal ultrastructural changes in the cambial zone of beech (Fagus sylvatica) grown at two different altitudes*. Iawa Journal 32(4):443-459.
- Rossi, S., Deslauriers, A., Gričar, J., Seo, J.W., Rathgeber, C.W.G., Anfodillo, T., Morin, H., Levanič, T., Oven, P., Jalkanen, R., 2008. *Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates*. Global Ecol. Biogeogr. 17 (6), 696–707.
- Rossi S, Deslauriers A., 2007. *Intra-annual time scales in tree ring*. (Editorial) Dendrochronologia 25:75-77.
- Rossi, S., Anfodillo, T., Menardi, R., 2006a. *Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems*. IAWA Journal 27:89-97.
- Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T., 2006b. *Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: and example at the alpine timberline*. IAWA Journal 27:383-394.
- Rossi, S., Deslauriers, A., Morin, H., 2003a. *Application of the Gompertz equation for the study of xylem cell development*. Dendrochronologia 21:33-39.
- Rossi, S., 2003b. *Intra-annual dynamics of tree-ring formation and effects of the environmental factors at the timberline in the Eastern Alps*. PhD thesis, University of Padova, Padova, Italy.
- Roibu, C. C., Popa, I., 2006. *Dendrochronological series for beech (Fagus sylvatica) in Tatarusi (Iasi) area*. Revista Padurilor, 121, 18-20.
- Savidge R.A., 1996. *Xylogenesis, genetic and environmental regulation, a review*. IAWA Journal 17: 269–310.
- Schmitt, U., Jalkanen, R., and Eckstein, D., 2004. *Cambium Dynamics of Pinus sylvestris and Betula spp. in the Northern Boreal Forest in Finland*. Silva Fenn., vol. 38, pp. 167–178.

- Schmitt, U., Moller R, Eckstein D., 2000. Seasonal wood formation dynamics of beech (*Fagus sylvatica* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as determined by the pinning technique. J Appl Bot 74:10–16.
- Sidor, C., 2009, Relația climat-arbore în ecosistemele de la limita superioară a pădurii, evaluată prin tehnici de dendroclimatologie și xilologie. Teză de doctorat. Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava.183p.
- Speer, J. H., 2010. *Fundamentals of Tree-ring Research*. The University of Arizona Press.
- Vaganov, E.A., 1999. "European tree rings and climate in the 16th century." Climatic Change 43, 151-168.
- Vaganov, E.A., Hughes, MK., Shashkin, AV., 2006. *Growth Dynamics of Conifer Tree Rings. Images of Past and Future Environments*. Springer, Berlin (Ecol. Studies 183).
- Vaganov, E.A., 1996. *Analysis of seasonal tree-ring formation and modeling in dendrochronology*. In Dean JS, Meko DM and Swetnam TW (eds), *Tree-Rings Environment and Humanity*. Proc. of the International Conference, Tucson, Arizona, 17-21.
- Vaganov, E.A., 1990. The tracheidogram method in tree-ring analysis and its application. In: Methods of dendrochronology, edited by R. Cook and L. Kairiukstis. Dordrecht: Kluwer Academy, p. 63-76.
- Vaganov, E. A., Shashkin, A. V., Sviderskaya I. V., 1985. *Histometric Analysis of Woody Plant Growth (in Russian)*. Nauka, Novosibirsk, Russia. 102 pp.
- Vavrčík H., Gryc V., Menšík L., Baar J., 2013. *Xylem formation in Fagus sylvatica during one growing season*. Dendrobiology, pp 69.
- Vysotskaya L.G., Vaganov, E.A., 1985. *Analysis of the size distribution of tracheids in the annual rings of pines growing under various moisture conditions*. Sov. J. Ecology 15:29-34.
- Wilmking, M., Juday, G. P., Barber, V. A., Zald, H. S., 2004. *Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds*. Global Change Biol., 10, 1724–1736, 2004.
- Yeung E. C. 1998 *A beginner's guide to the study of plant structure*, in Tested Studies for Laboratory Teaching, Volume 19.

CURRICULUM VITAE

1. DATE PERSONALE:

Nume: **Semeniuc**

Prenume: **Anca Ionela**

Data nașterii și locul nașterii: 23.12.1984, Câmpulung Moldovenesc, jud. Suceava

Stare civilă: necăsătorită

Locul de muncă: Institutului Național de Cercetare –Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”

Telefon: 0743756718

E-mail: semeniuc.anca@yahoo.ro

2. STUDII

2000-2004 - Colegiul Național „Dragoș Vodă” Câmpulung Moldovenesc;

2004-2008 - Universitatea „Babeș Bolyai” Facultatea de Știința și Ingineria Mediului ,Cluj-Napoca;

2008-2010 - Master la Universitatea Ștefan cel Mare, Facultatea de Silvicultură, Suceava
Specializare: Conservarea biodiversității și certificarea pădurilor;

2010-2012 - Master la Universitatea „Babeș Bolyai” Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, Specializare: Gestiunea și protecția mediului. Cluj- Napoca;

24.05- 01.06. 2014 Școala de vară „Wood Anatomy & Tree-Ring Ecology”

University of South Bohemia și Institute of Botany ASCR –Republica Cehă.

06.12.- 16.12.2014-Stagiu de pregătire, University of Padova Italia- Departament of Land, Environment Agriculture and Forestry,

3. ACTIVITATE PROFESIONALĂ:

2008-2012- Asistent în cercetare, Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice,
Stațiunea Câmpulung Moldovenesc;

2012-prezent, cercetător științific, Institutului Național de Cercetare –Dezvoltare în Silvicultură Marin Drăcea

4. ACTIVITATE ȘTIINȚIFICĂ

Articole publicate: 6

Comunicări științifice: 4

Colaborări la contracte de cercetare:4

5. LIMBI STRĂINE CUNOSCUTE: *engleza, franceză, italiană.*

CURRICULUM VITAE

1. PERSONAL DATA:

Name: **Semeniuc**

First name: **Anca Ionela**

Date and birth place: 23.12.1984, Câmpulung Moldovenesc, jud. Suceava,

Marital status: unmarried

Work place: National Research and Development Institute for Silviculture „Marin Drăcea”

Phone: 0743756718

Email: semeniuc.anca@yahoo.ro

1. STUDIES AND SPECIALIZATION:

2000-2004 - National College „Dragoș Vodă” Câmpulung Moldovenesc;

2004-2008 - University of Babeș Bolyai Cluj-Napoca, Faculty of Environmental Sciences and Engineering,

2008-2010 –Master at „Ștefan cel Mare” University of Suceava, Faculty of Silviculture, Suceava, Specialization: Biodiversity conservation and forest certification;

2010-2012 –Master at „Babeș Bolyai” University of Cluj-Napoca, Faculty of Environmental Sciences and Engineering, Specialization: Management and Environmental Protection. Cluj- Napoca;

24.05- 01.06. 2014 Summer school, „Wood Anatomy & Tree-Ring Ecology”

University of South Bohemia și Institute of Botany ASCR –Republica Cehă.

06.12.- 16.12.2014-Training school, University of Padova Italia- Departament of Land, Environment Agriculture and Forestry,

2. PROFESSIONAL EXPERIENCE:

2008-2012- Research assistant, Forest Research and Management Institut, Câmpulung Moldovenesc, Suceava

2012-present, Researcher, National Research and Development Institute for Silviculture „Marin Drăcea”

3. RESEARCH ACTIVITY:

Published articles: 6

Conferences: 4

Collaboration in research projects: 4

4. FOREIGN LANGUAGES: *english, french, italian.*