



**ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ**

**Facultatea de Silvicultură și exploatare forestiere**

**Alin Mădălin ALEXANDRU**

**Variabilitatea genetică a molidului [*Picea abies* (L.)  
Karst.] în culturi comparative de proveniențe din  
România**

**Genetic variability of Norway spruce [*Picea abies*  
(L.) Karst.] in provenance trials in Romania**

**REZUMAT**

**Conducător științific**

**Prof. dr. ing. Alexandru Lucian CURTU**

**BRAȘOV, 2024**

D-lui (D-nei) .....

## COMPONENŢA

### Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universităţii Transilvania din Braşov

Nr. .... din .....

**PREŞEDINTE:** Conf. dr. ing. Aureliu Florin HĂLĂLIŞAN  
Prodecan  
Universitatea Transilvania din Braşov

**CONDUCĂTOR ŞTIINŢIFIC:** Prof. dr. ing. Alexandru Lucian CURTU  
Universitatea Transilvania din Braşov

**REFERENŢI:** CS I dr. ing. Georgeta MIHAI  
Institutul Naţional de Cercetare Dezvoltare în  
Silvicultură "Marin Drăcea"  
Conf. dr. ing. Ciprian PALAGHIANU  
Universitatea "Ştefan cel Mare" din Suceava  
Conf. dr. ing. Victor Dan PĂCURAR  
Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora şi locul susţinerii publice a tezei de doctorat:

Data 23.09.2024, ora 09:00, sala SP1.

Eventualele aprecieri sau observaţii asupra conţinutului lucrării vă rugăm să le transmiteţi în timp util, pe adresa [alin.alexandru@unitbv.ro](mailto:alin.alexandru@unitbv.ro).

Totodată vă invităm să luaţi parte la şedinţa publică de susţinere a tezei de doctorat.

Vă mulţumim!



Universitatea  
Transilvania  
din Braşov

## Mulțumiri

În elaborarea acestei lucrări m-am bucurat de colaborarea unor persoane deosebite, cu calități profesionale și umane de excepție, cărora doresc să le mulțumesc.

Doresc să îmi exprim profunda recunoștință și sincere mulțumiri conducătorului meu de doctorat, prof. dr. ing. Alexandru Lucian CURTU, decanul Facultății de Silvicultură și exploatare forestiere, pentru acceptul de a-mi fi îndrumător de doctorat. Apreciez enorm răbdarea, susținerea și sprijinul necondiționat pe care mi le-a oferit pe parcursul anilor de studii doctorale. Competența sa profesională deosebită și îndrumarea sa riguroasă au fost esențiale pentru realizarea acestei teze de doctorat.

În același timp, doresc să adresez întreaga mea recunoștință, profund respect și prețioase mulțumiri doamnei CS I dr. ing. Georgeta MIHALI, pentru încrederea și dăruința de a-mi deschide acest drum al cercetării și de a contribui la formarea mea profesională. Îi mulțumesc, în mod deosebit, pentru suportul permanent, răbdarea, profesionalismul și înțelegerea deplină de care a dat dovadă pe parcursul întregului stagiul doctoral și nu numai, fără de care aceste cercetări nu ar fi fost posibile, precum și pentru sugestiile valoroase asupra lucrării.

De asemenea, doresc să îmi exprim gratitudinea față de membrii comisiei de îndrumare: prof. dr. ing. Neculae ȘOFLETEA, conf. dr. ing. Victor Adrian INDREICA, conf. dr. ing. Elena CIOCÎRLAN și CS I dr. ing. Dănuț CHIRA, precum și întregului colectiv al Universității Transilvania din Braşov, pentru sfaturile, observațiile și sugestiile științifice valoroase făcute pe perioada studiilor doctorale, precum și pe parcursul elaborării tezei de doctorat, crescând astfel valoarea științifică a acestei teze.

Adresez mulțumiri domnului conf. dr. ing. Aureliu Florin HĂLĂLIȘAN pentru amabilitatea de a fi președintele comisiei de evaluare și susținere publică a tezei de doctorat, precum și domnilor conf. dr. ing. Ciprian PALAGHIANU și conf. dr. ing. Victor Dan PĂCURAR pentru bunăvoința de a accepta invitația de a face parte această comisie.

Doresc să mulțumesc conducerii Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea", doamnei CS I dr. ing. Nicoleta Ecaterina APOSTOL și domnilor CS I dr. ing. Nicolae Ovidiu BADEA și CS II dr. ing. Șerban Octavian DAVIDESCU, pentru sprijinul acordat și punerea la dispoziție a bazei materiale pentru a duce la bun sfârșit această cercetare.

Sincere mulțumiri adresez colegilor mei din colectivul de Genetică și ameliorarea arborilor, din cadrul INCDS "Marin Drăcea", doamnele ACS Paula GÂRBACEA, tehn. Roxana PĂTRUȚĂ, tehn. Jeni BADEA, CS III Ioana PLEȘCA, CS Cristiana CIUVĂȚ, și domnii CS III Ionel MIRANCEA, CS Emanuel STOICA, CS Robert IVAN, CS Bogdan PLEȘCA, Alexe DUMITRESCU, pentru sprijinul necondiționat acordat pe perioada de culegere a datelor.

Doresc să adresez mulțumiri familiei, prietenilor și tuturor celor care nu sunt menționați, dar care m-au susținut sau ajutat într-un fel sau altul.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc în mod special soției mele, Maria, pentru toată dragostea, răbdarea, înțelegerea și susținerea morală și emoțională din această perioadă.

Autorul

## Cuprins

	Pg. rezumat	Pg. teză
LISTA DE FIGURI	3	4
LISTA DE TABELE	5	8
LISTA DE ABREVIERI	5	9
Introducere	8	11
1. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTINȚELOR PRIVIND VARIABILITATEA MOLIDULUI ÎN CULTURI DE PROVENIENȚE	10	13
1.1. Arealul, particularitățile ecologice și importanța molidului	10	13
1.1.1. Arealul natural și de cultură	10	13
1.1.2. Cerințe ecologice	10	13
1.1.3. Importanța	11	15
1.2. Variabilitatea molidului în culturi de proveniențe	11	15
1.2.1. Culturile comparative	11	15
1.2.2. Interacțiunea genotip x mediu	12	18
1.2.3. Culturi de proveniențe de molid instalate la nivel mondial	13	19
1.2.4. Culturi de proveniențe de molid instalate la nivel național	15	20
2. SCOP ȘI OBIECTIVE	16	22
3. MATERIAL ȘI METODĂ DE CERCETARE	16	22
3.1. Descrierea culturilor de proveniențe studiate	16	22
3.2. Măsurători și observații	23	29
3.3. Analizele statistice	25	32
4. REZULTATE ȘI DISCUȚII	29	36
4.1. Variabilitatea genetică a principalelor caracteristici de interes economic și adaptativ	29	36
4.1.1. Diametrul la 1,30 m	30	37
4.1.2. Înălțimea totală	31	39
4.1.3. Înălțimea elagată	32	42
4.1.4. Procentul de supraviețuire	33	44
4.1.5. Forma trunchiului	-	47
4.1.6. Indicele de înfurcire	-	48
4.1.7. Creșterea anuală în diametru	34	49
4.1.7.1. Creșterea anuală	36	51
4.1.7.2. Lemnul timpuriu	36	52
4.1.7.3. Lemnul târziu	37	53
4.1.7.4. Procentul de lemn târziu	39	54
4.1.8. Densitatea convențională a lemnului	40	56
4.1.9. Parametrii de reziliență	41	58
4.1.9.1. Determinarea anilor cu secetă extremă	41	58

4.1.9.2.Parametrii de reziliență ai proveniențelor pentru secetele extreme din anii 2000 și 2003	46	64
4.1.10.Discuții	51	74
4.2.Corelațiile dintre caracteristicile analizate și dintre acestea și locul de origine al proveniențelor	53	77
4.2.1.Corelațiile dintre caracteristicile de creștere, procentul de supraviețuire și densitatea convențională a lemnului și gradientii geografici de origine ai proveniențelor	53	77
4.2.2.Corelațiile dintre parametrii de reziliență și gradientii geografici de origine ai proveniențelor	53	78
4.2.3.Corelațiile dintre parametrii de reziliență și caracteristicile de creștere și adaptare analizate	-	80
4.2.4.Corelațiile dintre caracteristicile biometrice analizate	-	82
4.2.5.Discuții	54	85
4.3.Analiza influențelor condițiilor climatice asupra caracteristicilor biometrice ale proveniențelor de molid	56	87
4.3.1.Interacțiunea genotip x mediu și stabilitatea performanțelor	56	87
4.3.2.Evoluția în timp a corelațiilor dintre variabile climatice și creșterile anuale în diametru standardizate	59	96
4.3.3.Funcțiile de răspuns la condițiile climatice ale locului de testare	61	98
4.3.3.1.Funcțiile de răspuns pentru procentul de lemn târziu	61	98
4.3.3.2.Funcțiile de răspuns pentru înălțimea totală și diametrul la 1,30 m	61	99
4.3.4.Funcțiile de transfer ale proveniențelor de molid testate	63	101
4.3.4.1.Funcțiile de transfer pentru înălțimea totală	63	101
4.3.4.2.Funcțiile de transfer pentru procentul de supraviețuire	65	103
4.3.5.Discuții	66	105
4.4.Selecția celor mai bune proveniențe cu ajutorul indicilor de selecție	69	107
4.4.1.Selecția proveniențelor în fiecare cultură, cu ajutorul indicelui MGIDI	69	108
4.4.2.Selecția proveniențelor pe baza indicelui MTSI	70	112
4.4.3.Discuții	77	119
5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	78	121
5.3.Concluzii	78	121
5.4.Contribuții personale	80	123
5.5.Diseminarea rezultatelor	81	124
5.6.Direcții viitoare de cercetare	82	125
Bibliografie	83	126
REZUMAT	101	150
ABSTRACT	102	151

## LISTA DE FIGURI

Fig. 1. Localizarea provenienţelor și a culturilor de molid.....	18
Fig. 2. Temperatura medie anuală (TMA) și suma precipitațiilor anuale (SPA) din locurile de origine ale provenienţelor pentru perioada 1901-1970 (punctele albastre) și din locurile de testare, pentru perioada 1972-2020 (punctele roșii) .....	18
Fig. 3. Diagramele climatice pentru cele trei culturi comparative, pentru intervalul 1972-2020.....	23
Fig. 4. Variația diametrului la 1,30 m al provenienţelor de molid în fiecare cultură comparativă la vârsta de 49 de ani .....	30
Fig. 5. Variația înălțimii totale a provenienţelor de molid în fiecare cultură comparativă la vârsta de 49 de ani .....	31
Fig. 6. Variația înălțimii elagate a provenienţelor de molid în culturile comparative la vârsta de 49 de ani .....	32
Fig. 7. Variația procentului de supraviețuire al provenienţelor de molid în fiecare cultură comparativă la vârsta de 49 de ani .....	33
Fig. 8. Variațiile creșterilor anuale în diametru standardizate și ale LTP medii pe ani în culturile comparative de proveniențe de molid pentru perioada 1981-2020; A - Dorna Candrenilor, B - Turda, C – Zărnești.....	34
Fig. 9. Variația creșterilor anuale medii ale provenienţelor de molid pentru perioada 1981-2020.....	36
Fig. 10. Variația creșterilor lemnului timpuriu ale provenienţelor de molid pentru perioada 1981-2020..	37
Fig. 11. Variația creșterilor lemnului târziu ale provenienţelor de molid pentru perioada 1981-2020 .....	38
Fig. 12. Variația procentului de lemn târziu al provenienţelor de molid pentru perioada 1981-2020 .....	39
Fig. 13. Variația densității convenționale a lemnului provenienţelor de molid în culturile comparative la vârsta de 49 de ani .....	40
Fig. 14. Variația temperaturii medii anuale (TMA) și a sumei precipitațiilor anuale (SPA) pentru perioada 1972-2020; A – Dorna Candrenilor, B – Turda, C – Zărnești.....	41
Fig. 15. Variația indicelui standardizat de precipitații și evapotranspirație, calculat pentru 3 luni (SPEI-3) pentru culturile comparative de proveniențe de molid, pentru perioada 1972-2020; A - Dorna Candrenilor, B - Turda, C - Zărnești.....	44
Fig. 16. Variația anilor caracteristici pentru perioada 1981-2020 în culturile comparative de proveniențe de molid; A - Dorna Candrenilor, B - Turda, C - Zărnești .....	45
Fig. 17. Variația rezistenței la seceta extremă din anul 2000 a provenienţelor de molid .....	46
Fig. 18. Variația recuperării provenienţelor de molid, după seceta extremă din anul 2000 .....	47
Fig. 19. Variația rezilienței la seceta extremă din anul 2000 a provenienţelor de molid .....	48
Fig. 20. Variația rezilienței relative a provenienţelor de molid la seceta extremă din anul 2000.....	49

Fig. 21. Variația rezistenței, a recuperării și a rezilienței proveniențelor de molid la seceta extremă din anul 2003 în cultura Zărnești.....	50
Fig. 22. Variația diametrului la 1,30 m în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani.....	56
Fig. 23. Variația înălțimii totale în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani.....	56
Fig. 24. Variația înălțimii elagate în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani.....	57
Fig. 25. Variația procentului de supraviețuire în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani.....	57
Fig. 26. Variația densității convenționale a lemnului în cele trei culturi comparative de molid, la vârsta de 49 de ani.....	58
Fig. 27. Variația procentului de lemn târziu în cele trei culturi comparative de molid, la vârsta de 49 de ani.....	58
Fig. 28. Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru cultura comparativă de proveniențe de molid Dorna Candrenilor.....	60
Fig. 29. Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru cultura comparativă de proveniențe de molid Zărnești.....	60
Fig. 30. Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru cultura comparativă de proveniențe de molid Turda.....	61
Fig. 31. Funcția de răspuns pentru diametrul la 1,30 m al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani.....	62
Fig. 32. Funcția de răspuns pentru înălțimea totală a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani.....	62
Fig. 33. Funcția de transfer pentru înălțimea totală (HT) a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Zărnești.....	63
Fig. 34. Funcția de transfer pentru înălțimea totală (HT) a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Dorna Candrenilor.....	64
Fig. 35. Funcția de transfer pentru înălțimea totală (HT) a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Turda.....	64
Fig. 36. Funcția de transfer pentru procentul de supraviețuire (Suprav) al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Zărnești.....	65
Fig. 37. Funcția de transfer pentru procentul de supraviețuire (Suprav) al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Dorna Candrenilor.....	65
Fig. 38. Funcția de transfer pentru procentul de supraviețuire (Suprav) al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Turda.....	66
Fig. 39. Clasamentul proveniențelor de molid utilizând indicele MTSI.....	71



Fig. 40. Clasificarea provenienţelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilităţii şi performanţei medii în ceea ce priveşte diametrul la 1,30 m.....	72
Fig. 41. Clasificarea provenienţelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilităţii şi performanţei medii în ceea ce priveşte înălţimea totală.....	73
Fig. 42. Clasificarea provenienţelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilităţii şi performanţei medii în ceea ce priveşte înălţimea elagată.....	74
Fig. 43. Clasificarea provenienţelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilităţii şi performanţei medii în ceea ce priveşte procentul de supravieţuire.....	75
Fig. 44. Gruparea provenienţelor selecţionate utilizând indicele MTSI.....	76

## LISTA DE TABELE

Tabel 1. Culturile comparative cu provenienţe de molid instalate în 1972.....	17
Tabel 2. Provenienţele de molid testate în cele trei culturi.....	19
Tabel 3. Rezultatele modelului linear pentru caracteristicile analizate în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani .....	29
Tabel 4. Rezultatele modelului linear pentru creşterile anuale în diametru şi procentul de lemn târziu în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani.....	35
Tabel 5. Analiza variabilităţii densităţii convenţionale a lemnului în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani .....	40
Tabel 6. Anii şi lunile în care au fost identificate secete severe şi extreme (bold) pe baza SPEI-3 în fiecare cultură comparativă de provenienţe de molid .....	42
Tabel 7. Analiza variabilităţii caracteristicilor analizate pentru calculul MGIDI în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani .....	69
Tabel 8. Diferenţele obţinute prin selecţia cu ajutorul indicelui MGIDI a provenienţelor de molid la vârsta de 49 de ani.....	70
Tabel 9. Diferenţele obţinute prin selecţia cu ajutorul indicelui MTSI a provenienţelor de molid la vârsta de 49 de ani .....	70

## LISTA DE ABREVIERI

- CA – Creşterea anuală în diametru (mm)
- D1,30m – diametrul la 1,30 m (cm)
- DCL – densitatea convenţională a lemnului ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- GxE – interacţiunea genotip x mediu
- HE – înălţimea până la prima ramură verde (înălţimea elagată) (m)
- HT – înălţimea totală (m)

LRT – likelihood ratio test (testul raportului de probabilitate)

LTA – lemnul târziu

LTI – lemnul timpuriu

LTP – procentul de lemn târziu

MGIDI – multi–trait genotype–ideotype distance index

MS – media pătratelor sumelor

MTSI – multi–trait stability index

ns – ne semnificativ,  $p > 0.05$

NZFI – numărul de zile fără îngheț

NZG0 – numărul de zile–grad peste 0 °C

NZG5 – numărul de zile–grad peste 5 °C

PCP3 – suma precipitațiilor din cea mai caldă perioadă de 3 luni (iunie, iulie, august) (mm)

PPL – precipitațiile din cea ploioasă lună (mm)

PPP3 – cantitatea de precipitații din perioada de trei luni cea mai abundentă în precipitații (mm)

prc01-12 – cantitatea de precipitații din luna respectivă (mm)

PRP3 – precipitațiile din cea mai rece perioadă de 3 luni (mm)

$R^2$  adj. – coeficientul de determinare ajustat

$R^2$  parțial – coeficientul de determinare parțială

RCP 4.5 – traiectoria concentrației reprezentative (Representative Concentration Pathway)

RCP 8.5 – traiectoria concentrației reprezentative (Representative Concentration Pathway); scenariul privind emisiile gazelor cu efect de seră, în care nu s–ar lua nicio măsură pentru atenuarea schimbărilor climatice, ar continua creșterea emisiilor tot secolul XXI

Recup – recuperarea

Rel. rezil – reziliența relativă

Rezil – reziliența

Rezist – rezistența

RT:UV – raportul temperatură:umiditate, calculat drept raportul dintre temperatura medie a celei mai calde luni și media precipitațiilor din mai până în septembrie

SNP – polimorfism unic de nucleotide (single nucleotide polymorphism)

SPA – suma precipitațiilor anuale (mm)

SPEI – Indicele Standardizat de Precipitații și Evapotranspirație (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)

SPEI-3 – Indicele Standardizat de Precipitații și Evapotranspirație calculat pentru 3 luni

Suprav – procentul de supraviețuire (%)

TMA – temperatura medie anuală (°C)

TMaxCL – temperatura maximă a celei mai calde luni (°C)

TMedCP3 – temperatura medie a celei mai călduroase perioade de trei luni (lunile iunie, iulie și august) (°C)

TMedPP3 – temperatura medie din cea mai ploioasă perioadă de 3 luni (°C)

Ttoamna – temperatura medie din timpul toamnei (°C)

ZG0 – zile-grad peste 0°C

ZG5 – zile-grad peste 5°C;

## Introducere

Molidul (*Picea abies*) este cea mai importantă specie de conifere din Europa. Ocupă o suprafață de aproximativ 30 mil. ha în Europa, ceea ce reprezintă 38% din suprafața ocupată de conifere. Din această suprafață, mai mult de 20% reprezintă extinderea sa în afara arealului natural [1].

În Europa, conform proiecțiilor RCP 8.5, este posibil ca molidul să se retragă în Alpi, Carpați și în Scandinavia, la peste 60° latitudine, dispărând complet din zonele joase din Europa Centrală [2]. În România, conform proiecției RCP 4.5, se estimează că suprafața pierdută până în 2100 va fi de 8%, în timp ce suprafața câștigată va fi de doar 2% [3]. Schimbări deja au avut loc în România, zonele cu condiții climatice propice principalelor specii forestiere au devenit favorabile pentru alte specii. Molidul se va extinde către altitudini mai mari, dar va fi mai puțin frecvent și își va pierde din areal, în special în Carpații Orientali [4].

Limita încălzirii globale de 1,5 °C ar putea fi atinsă în prima jumătate a deceniului viitor [5]. Drept urmare, evenimentele climatice severe și extreme vor avea loc cu o frecvență mai ridicată [6], [7], [8], [9], [10] și vor avea o severitate mai mare și durate mai lungi [11], [12].

Pădurile au un mare potențial pentru atenuarea schimbărilor climatice, dar seceta și alte evenimente climatice extreme le pot afecta creșterea, productivitatea, diversitatea genetică, arealul, precum și diversele servicii oferite de acestea [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]. Între 1987 și 2016, seceta a cauzat fenomene extinse de uscare a pădurilor pentru aproximativ jumătate de milion de hectare în Europa [21].

Speciile de arbori au diferite capacități adaptative pentru a atenua impactul schimbărilor climatice: adaptarea prin selecție naturală, migrarea către habitate noi sau plasticitatea fenotipică [22]. Având în vedere că migrarea naturală a speciilor de arbori este mult mai lentă decât schimbările climatice, migrarea asistată reprezintă o măsură de a facilita adaptarea speciilor de arbori [23], [24], [25]. Prin acest transfer productivitatea și starea de sănătate a pădurilor poate fi menținută, dacă nu chiar îmbunătățită în viitor [26], [27], [28].

Reziliența la secetă prezintă componente genetice și de mediu și diferite populații ale aceleiași specii pot răspunde în mod diferit la aceleași condiții climatice [29]. Numeroase studii au demonstrat că există o variație genetică în ceea ce privește sensibilitatea/toleranța speciilor forestiere la secete, atât la nivel interpopulațional, cât și intrapopulațional [30], [31], [32], [33]. Utilizând analize genomice, s-au descoperit asocieri semnificative între polimorfismul la nivelul unei singure nucleotide (SNP) și caracteristici legate de adaptarea la secetă a molidului [34], [35].

Dincolo de potențialele efecte negative ale schimbărilor climatice, există și un potențial de a spori productivitatea, datorită sezonelor de vegetație mai lungi și a intensificării activității fotosintetice. Variabilitatea genetică cantitativă este esențială pentru adaptabilitatea speciilor la schimbările climatice. Utilizarea materialului de reproducere adecvat în lucrările de împădurire reprezintă un factor important pentru a atenua efectele negative, dar și pentru a profita de cele pozitive [36], [37], [38].

Prin urmare, o modalitate de a asigura adaptarea genetică a speciilor forestiere de arbori la secetă este aceea de a selecționa cele mai reziliente proveniențe [39], [30], [40], [41], [42], [43] și a le utiliza în

lucrările de regenerare artificială. Menținerea și creșterea rezilienței ecosistemelor forestiere este cel mai eficient management forestier în fața schimbărilor climatice.

Selecția pentru creșteri mai mari, cantitatea și calitatea lemnului, precum și adaptabilitatea sunt printre principalele obiective ale programelor de ameliorare a arborilor, iar culturile comparative oferă informații esențiale pentru îndeplinirea acestor obiective. Cu toate acestea, analiza stabilității este adesea realizată pentru o singură caracteristică, în special în cazul speciilor de arbori.

În cadrul acestei teze de doctorat au fost analizate variabilitatea genetică a principalelor caracteristici de interes economic și adaptativ (Subcapitolul 4.1), corelațiile între unele caracteristici analizate și între acestea și locul de origine al proveniențelor (Subcapitolul 4.2), precum și influențele condițiilor climatice asupra caracteristicilor biometrice ale proveniențelor de molid (Subcapitolul 4.3).

În Subcapitolul 4.4 sunt prezentate rezultatele obținute în urma utilizării a doi indici de selecție, neutilizați până acum pentru speciile forestiere de arbori, luând în considerare caracteristici de creștere, calitative și procentul de supraviețuire, pentru a identifica și selecționa cele mai performante și stabile proveniențe de molid.

Având în vedere numărul mare de proveniențe testate, care acoperă aproape întregul areal al speciei în Europa, precum și vârsta culturilor comparative, jumătate din vârsta exploatabilității molidului în România, se poate afirma faptul că populațiile testate au "experimentat" schimbările climatice. Astfel, rezultatele obținute în cadrul acestei teze de doctorat sunt importante și pot fi utilizate la selecția surselor de semințe valoroase și conservarea resurselor genetice de molid atât în România, cât și în alte țări.

# 1. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTIINȚELOR PRIVIND VARIABILITATEA MOLIDULUI ÎN CULTURI DE PROVENIENȚE

## 1.1. Arealul, particularitățile ecologice și importanța molidului

### 1.1.1. Arealul natural și de cultură

Molidul este cea mai importantă specie de conifere din Europa. Ocupă o suprafață de aproximativ 30 mil. ha în Europa, ceea ce reprezintă 38% din suprafața ocupată de conifere. Din această suprafață, mai mult de 20% reprezintă extinderea sa în afara arealului natural [1]. Răspândirea actuală a molidului este caracterizată de trei zone principale: cea nordică, Alpină și Carpatică [44].

Molidul are un areal natural vast, întinzându-se de la 41° 27' până la 72° 15' latitudine nordică și de la 5° 27' până la 154° longitudine estică. Din punct de vedere altitudinal, este întâlnit de la nivelul mării în Europa de Nord și urcă până la peste 2300 m în Alpii Italiani [45].

În România, ocupă o suprafață totală de 1,37 milioane hectare (21% din suprafața totală a pădurii) [46], dintre care, la nivelul anului 2007, aproximativ 360 mii hectare (peste 25%) reprezentau plantațiile create în afara arealului, în stațiuni premontane și de dealuri, coborâte chiar până în subzona stejarului [47].

### 1.1.2. Cerințe ecologice

Molidul este o specie de ținuturi umede, reci, cu nebulozitate accentuată [47]. Este sensibil la secetă, mai ales în primii 2-3 ani. Preferă soluri nisipo-lutoase, slab scheletice, afânate, reavene, moderat acide; se dezvoltă și pe podzoluri foarte acide, dacă acestea sunt afânate și au umiditate suficientă; cât despre solurile uscate, dezvoltarea molidului este slabă pe acestea [48]. Datorită temperamentului de semiumbră, poate rezista sub masiv până la 20-30 de ani. Fitoclimatul intern caracteristic acestei specii este determinat de descompunerea lentă și parțială a litierii sale [48].

Principalii factori destabilizatori pentru arboretele de molid sunt: vânturile puternice și furtunile (care cauzează rupturile și doborâturile de vânt și de zăpadă), perioadele de secetă excesivă/prelungită, atacurile de insecte de scoarță și infecțiile cu agenți criptogamici de rădăcină și tulpină [49].

Arboretele de molid din pădurile de stat au cunoscut infestări cu gândaci de scoarță, pe aproape 100.000 ha/an în perioada 1965-1985, respectiv de 220.000 ha/an, în perioada 1991-2022. Uscările au fost cauzate atât de furtuni cât și de seceta excesivă [50], [51]. Uscarea molidului din afara arealului natural a fost preponderent cauzată de secetă și specia invazivă *Ips duplicatus* [52].

Vulnerabilitatea molidului la secetă a fost prezentată în multe studii [53], [54], [55]. Este o specie foarte sensibilă la creșterea temperaturilor și la deficitul de apă [45], la scăderea disponibilității apei și are o capacitate adaptativă redusă în zonele central- și sud-europeană [56], [57].

La molid s-a observat că până și o secetă moderată modifică biomasa totală și distribuția rădăcinilor fine în adâncimea solului [58]. O secetă prelungită provoacă o creștere mai în adâncime a rădăcinilor fine ale molidului și ale hifelor ciupercilor [59]. Stresul provocat de secetă afectează și morfologia acelor, dar doar în porțiunile coronamentului expus razelor solare [60]. În plus, s-a descoperit faptul că în urma stresului hidric apar crăpături la nivelul tulpinii arborelui [61].

Seceta cauzează o scădere a vitalității sale [62], ceea ce duce la o rezistență mai redusă la atacul gândacilor de scoarță, în special *Ips typographus* [63], [64]. Este considerat cel mai important dăunător al arboretelor de molid în Eurasia. În Europa, pentru perioada 1950-2000, degradarea produsă de gândacii de scoarță, cu precădere *Ips typographus*, a fost cuprinsă între 2 și 9 milioane m<sup>3</sup>/an de lemn [65]. În ultimul deceniu, atacul acestui dăunător a devenit mult mai puternic - volumul recoltat ca urmare a atacului produs de acest gândac de scoarță al molidului în Republica Cehă a fost de 13 milioane m<sup>3</sup> în 2018 și de aproximativ 23 milioane m<sup>3</sup> în 2019, față de 1,5 milioane m<sup>3</sup> pentru perioada 2003-2015 [66].

Așadar, riscul de mortalitate al molidului și al altor specii de conifere ar putea fi mai mare odată cu creșterea temperaturilor și scăderea cantităților de precipitații, în special pentru populațiile din afara arealului natural [67].

### 1.1.3. Importanța

Lemnul este utilizat pentru o gamă largă de produse, cum ar fi cherestea, mobilier, instrumente muzicale, compozite și furnir, cele din lemn masiv și cele din hârtie având cea mai mare valoare economică [68].

Molidul are un rol important în privința schimbărilor climatice și din punct de vedere al stocării carbonului [69], [70].

În ceea ce privește conținutul de carbon organic din sol, s-a concluzionat că, în general, coniferele (*Pinus*, *Tsuga*, *Larix*, *Picea*), și în special molidul, conțin stocuri de carbon organic din sol mai mari față de alte specii [69]. În Germania s-au raportat valori de 3,3 t/ha/an pentru făgete, și de 3,2 t/ha/an pentru molidișuri, în ceea ce privește carbonul stocat de biomasă; schimbul net a fost de 0,98 t/ha/an pentru făgete și de - 0,39 t/ha/an pentru molidișuri. Valoarea negativă a molidișurilor poate fi explicată prin activitățile de exploatare. Carbonul stocat în biomasa de deasupra solului avea valori cuprinse între 101 t/ha – molidișuri, și 127 t/ha – făgete [71].

Din punct de vedere estetic și recreațional, arboretele de molid au obținut în general punctaje mai mici comparativ cu cele de pin, în ceea ce privește preferința și frumusețea peisajului [[72], [73], citați de [74]].

## 1.2. Variabilitatea molidului în culturi de proveniențe

### 1.2.1. Culturile comparative

Culturile comparative reprezintă experimente prin care se evaluează diferențele genetice la nivelul speciilor forestiere, prin testarea diferitelor proveniențe, descendente sexuate, clone, în aceleași condiții de mediu.

Prin culturile comparative se pot obține informații despre:

- Variabilitatea genetică și eritabilitatea caracterelor de creștere, calitative ale lemnului, rezistenței sau toleranței la boli și dăunători sau unor factori abiotici (de ex. secetă);
- Corelații fenotipice și genetice între caractere;
- Corelații juvenil-adult;
- Efecte epigenetice;
- Interacțiunea genotip x mediu (GxE) [75].

Denumirea provenienţei este dată de locul în care se găseşte un arboret, care poate fi de origine cunoscută sau necunoscută, constituit cu material local sau introdus în cultură din alte zone geografice [76].

Culturile comparative de provenienţe se înfiinţează cu scopul de a separa componentele genetice de cele staţionale ale variabilităţii fenotipice dintre surse geografice diferite. Se urmăreşte aflarea modului în care vor reacţiona populaţiile respective la transferul în diferite condiţii de mediu precum şi selecţia celor mai valoroase şi adaptate provenienţe prin testarea lor în condiţii omogene de mediu [77].

Sunt importante pentru specii cu valoare economică sau ecologică mare, deoarece oferă informaţii despre plasticitate, potenţialul adaptativ sau de creştere, precum şi rezistenţa la boli, la atacul insectelor şi la stresul factorilor climatici [[78], citată de [79]].

De asemenea, culturile comparative de provenienţe furnizează date necesare pentru modelarea impactului schimbărilor climatice asupra speciilor de arbori forestieri, identificarea speciilor şi a provenienţelor care vor fi cel mai bine adaptate la noile condiţii climatice [80], [81], [82], [83]. Mai mult decât atât, pot fi utile în refacerea zonelor degradate, unde condiţiile sunt defavorabile (terenuri predispuse la secetă, sol neproductiv sau puţin fertil ş.a.m.d) [75].

În unele culturi comparative de provenienţe, *provenienţa locală* a avut performanţe mai bune decât celelalte. Însă sunt foarte multe exemple în care provenienţa locală este depăşită de provenienţe din condiţii de mediu mai blânde (de la latitudini mai sudice, de la altitudini mai joase). Există argumente că provenienţa locală nu este întotdeauna cea mai potrivită pentru programe de împăduriri [84], citat de [77]. În primul rând, selecţia naturală a dus la o adaptare care să permită îndeplinirea cerinţelor unui întreg ciclu de viaţă: atât aptitudini vegetative (abilitatea de a supravieţui pentru a ajunge la vârsta reproducerii), cât şi aptitudini de reproducere (abilitatea de a produce seminţe şi de a lăsa descendenţi viabili) [77]. Într-un program de împăduriri, unele elemente ale aptitudinii de reproducere nu sunt importante în împăduriri: pentru că seminţele pot fi produse sau colectate din altă parte, abilitatea arborilor de a înflori şi de a se reproduce nu este esenţială; fazele critice de germinare şi de instalare a puietilor în condiţii naturale sunt sărite, întrucât puietii sunt crescuţi în pepiniere; condiţiile de mediu şi de competitivitate pot fi diferite în plantaţii datorită lucrărilor silviculturale, a aplicării de îngrăşăminte, etc. Provenienţele nelocale nu sunt întotdeauna cele mai bune, dar provenienţa locală este cea mai sigură variantă când alte date nu sunt disponibile. Totuşi, dacă selecţia unei provenienţe se face după caracteristici precum creşterea şi productivitatea, utilizarea unei provenienţe nelocale poate duce la câştiguri genetice rapide şi nu foarte costisitoare [77].

### 1.2.2. Interacţiunea genotip x mediu

Principalele obiective ale programelor de ameliorare a molidului, indiferent de ţară, au fost mărirea producţiei de lemn, scurtarea ciclului de producţie şi îmbunătăţirea adaptabilităţii şi a valorii economice a lemnului [85].

Totuşi, majoritatea caracteristicilor cu valoare economică ridicată şi importante în programele de ameliorare prezintă variaţie poligenică, fiind influenţate atât de genotip, cât şi de factorii mediului înconjurător. Condiţiile climatice, cele ale solului şi reliefului sunt responsabile adesea de răspunsul diferit al populaţiilor de origini variate. Campbell şi Jones [86] definesc interacţiunea GxE drept răspunsurile



diferite ale unui grup de genotipuri, pentru o anumită caracteristică, în medii diferite. În ultimii ani, interacţiunea GxE a căpătat o importanţă pentru arborii forestieri pentru că migrarea naturală nu poate ţine pasul cu modificările staţionale, când condiţiile mediului înconjurător se schimbă rapid, așa cum se preconizează a se întâmpla datorită schimbărilor climatice [87], [88]. Din acest motiv, studiile interacţiunii GxE și ale plasticității fenotipice, pentru a selecționa populații stabile și cu performanțe ridicate în o multitudine de condiții staționale au devenit de o importanță semnificativă în programele de ameliorare. De asemenea, studiul acestei interacțiuni permite identificarea genotipurilor instabile; eliminarea lor din populațiile de ameliorare reprezintă o strategie de a reduce interacțiunea GxE [89]. Sunt numeroase studii, pentru aproape toate speciile forestiere importante din punct de vedere comercial, care au raportat o interacțiune GxE semnificativă, precum: pin silvestru [90], eucalipt [91], duglas [92], molid [93], [94], [95], [96], [97], plop [98].

Heinrich et al. [99] au definit stabilitatea unui caracter drept abilitatea unui genotip de a nu prezenta fluctuații de-a lungul a numeroase condiții de mediu. Laing [100] a făcut deosebirea dintre stabilitatea spațială, definită drept răspunsul relativ al unui genotip la schimbări de mediu într-un loc specific, și stabilitate temporală, ce variază de la an la an. Conform lui Becker și Leon [101], stabilitatea are două concepte contrastante: "static" și "dinamic". Conceptul de *static* înseamnă că proveniența este stabilă când își menține performanța de-a lungul diferitelor medii înconjurătoare. Stabilitatea *dinamică* este atunci când nu există interacțiune GxE, performanța provenienței de-a lungul mai multor culturi este paralelă cu media proveniențelor testate.

Prin urmare, culturile comparative de proveniențe oferă informații esențiale pentru selecția celor mai adaptate și valoroase proveniențe [77]. Totuși, un genotip superior într-o cultură poate fi inferior în altă cultură [102]. Pentru ameliorarea arborilor, interacțiunea GxE poate fi adresată în două moduri: selecția genotipurilor stabile, care nu sunt sensibile la schimbările mediului înconjurător; sau selecția genotipurilor potrivite pentru medii specifice [103]. Totodată, evaluarea interacțiunii GxE la stadiul de adult, aproape sau peste jumătate din ciclul de rotație, este mai relevantă din perspectiva silviculturii comerciale [104], [105].

### **1.2.3. Culturi de proveniențe de molid instalate la nivel mondial**

La nivel internațional, majoritatea culturilor de proveniențe de molid au fost înființate sub coordonarea I.U.F.R.O. (International Union of Forest Research Organizations) în anii 1940 [106] și au contribuit în principal la identificarea la nivel mondial a tendințelor de variație pentru caracteristici importante din punct de vedere economic și adaptativ [45].

Prima serie internațională în care a fost studiată variabilitatea genetică la nivelul proveniențelor de molid a fost inițiată în cadrul IUFRO în 1938 și 1939. Aceasta conținea 36 de surse de semințe care au fost plantate în 26 de teste în Europa și SUA [106]. O cultură a fost instalată și în România, pe Valea Râșnoavei [107].

A doua serie, IUFRO 1964/1968, inspirată de rezultatele primei, a inclus 1100 surse de semințe. În acest experiment au fost instalate 20 de suprafețe în 13 țări, inclusiv în estul Canadei [106]. În România nu a fost instalată nicio cultură comparativă, dar țara noastră a participat cu 36 de proveniențe [107].

A treia serie a început în 1972, având 43 de locuri de testare în 10 țări. Nici de această dată nu s-a instalat în România o cultură comparativă. În această serie au fost comparate 20 de proveniențe poloneze cu surse de semințe locale [45].

Proveniențele din Carpații Orientali (Dorna Candrenilor, Jasina) și din Munții Bihorului (Turda și Câmpeni), testate în **Ungaria**, au fost printre cele care și-au menținut productivitatea ridicată la vârsta de 44 de ani [108].

În **Letonia**, în singura cultură comparativă de proveniențe, din seria 1972-1974, analizată la vârsta de 32 de ani, în care s-au mai putut face măsurători și observații înainte de a fi distrusă de o furtună, câteva proveniențe locale (Remte) și carpatice (Dorna Candrenilor, Hripelev, Lazehchyna) și-au menținut superioritatea din punct de vedere al creșterii pentru mai bine de o treime din ciclul de producție [109].

În **Polonia**, Chmura et al. [104] arată faptul că ierarhizarea proveniențelor suferă modificări în timp, unele proveniențe putând urca în clasament cu până la 15 poziții, iar altele pierd până la 16, între analiza precedentă și cea actuală. Așadar, comparația cu rezultatele obținute anterior pentru aceleași teste arată faptul că identificarea proveniențelor bune ar trebui să fie amânată pentru vârste mai înaintate.

În **Austria** au fost analizate funcțiile de răspuns climatic pentru înălțimea la 15 ani a 379 de populații în 29 de culturi de proveniențe [36]. O creștere a înălțimii la 15 ani cu până la 45% a fost prognozată până în 2080. Autorii evidențiază faptul că alegerea potrivită a surselor de semințe poate aduce un spor productivității de până la 11%.

În **Canada**, pe baza studiilor efectuate în patru culturi de proveniențe de molid, s-a concluzionat că o creștere viguroasă a arborilor nu are ca efect o epuizare a cationilor de bază din sol, fiind corelată cu mecanisme biologice ce returnează mai mulți nutrienți ecosistemului [110].

Diferențe semnificative între proveniențe în ceea ce privește precocitatea înfloririi și numărul de conuri au fost evidențiate într-o cultură comparativă din **Lituania**. Au fost testate 120 de proveniențe din Țările Baltice, Rusia, Polonia, Finlanda și Suedia. Astfel, proveniențele sudice au prezentat un număr mai mare de arbori înfloriți și un număr mai mare de conuri per arbore [111].

În **Marea Britanie** a fost instalată în 2021 o serie de 5 culturi comparative cu 16 proveniențe, din Suedia, Republica Cehă, Danemarca, Germania, Franța, precum și o proveniență locală, pentru a identifica proveniențe potrivite condițiilor climatice de peste 50 de ani [112].

La altitudini joase din estul **Norvegiei**, proveniențele românești de molid au realizat creșteri superioare proveniențelor locale [113].

În **Suedia** au fost selectate și multiplicare vegetativ (altoite) proveniențe de molid din Estul Europei dintr-o cultură comparativă și plantate într-un plantaj alături de proveniențe locale. Descendențele proveniențelor est-europene au pornit mai târziu în vegetație și au fost mai puțin afectate de înghețurile timpurii [114].

#### **1.2.4. Culturi de proveniențe de molid instalate la nivel național**

Prima cultură comparativă cu proveniențe românești de molid a fost instalată de către Iuliu Moldovan pe Valea Asăului, în 1935. S-au constatat diferențe evidente între proveniențe și faptul că molidul din nordul țării este superior celui din Carpații Meridionali [115].

Programe de ameliorare a molidului au fost inițiate în multe țări europene, dar obiectivele de ameliorare au fost diverse, depinzând de modul de folosire al materialului genetic. Astfel, în România, programul de ameliorare a început în anii 1960, prin selecția arboretelor surse de semințe și a arborilor plus, instalându-se 78 ha de plantaje și 15 culturi comparative de proveniențe în care au fost testate 50 de proveniențe autohtone și 71 de proveniențe alohtone [116], [95].

Prima serie de culturi comparative cu proveniențe de molid a fost instalată în anul 1968 de către Cornelia Nițu. Rezultatele obținute după primul an au arătat că înălțimea plantulelor descrește cu latitudinea [117]. Conform rezultatelor obținute la vârsta de 40 de ani pentru două culturi din această serie, în ceea ce privește volumul mediu/arbore, proveniențele Wessterhoff și Dorna Candrenilor sunt situate pe primul loc în cultura comparativă Sinaia, iar pentru Toplița, proveniențele cele mai productive sunt: Toplița și Dorna Candrenilor [95].

Pentru culturile comparative instalate în 1972, ce reprezintă obiectul de studiu al prezentei lucrări, superioritatea molidului românesc este demonstrată de rezultatele obținute la 20 de ani [118], la 25 de ani [119] și la 35 de ani [95].

Între anii 1977-1983, s-au înființat, sub coordonarea lui Valeriu Enescu, 20 de culturi comparative de molid, pentru testarea descendențelor și a surselor de semințe. Un număr de șase culturi comparative pentru a testa 33 de proveniențe din întregul areal natural al molidului din România au fost instalate în primăvara anului 1980. Astfel, trei dintre aceste experimente (Avrig, Târgu Lăpuș și Câmpina) au fost instalate în afara arealului natural, iar celelalte trei (Brețcu, Nehoiu și Gurghiu), în optimul ecologic al speciei [120].

Două serii de culturi comparative, în care s-au testat 24 de proveniențe românești și una germană (folosită drept standard) în prima serie, iar în a doua 9 proveniențe românești, au fost instalate în 1984. Proveniențele din nordul Carpaților Orientali au realizat performanțe superioare mediei, la 20 de ani de la plantare [95].

## 2. SCOP ŞI OBIECTIVE

Scopul cercetărilor este evaluarea variabilităţii genetice a molidului (*Picea abies*) - cea mai importantă specie de răşinoase din România din punct de vedere ecologic şi economic - în vederea îmbunătăţirii strategiei naţionale de ameliorare şi măsurilor de conservare a resurselor genetice de molid din România în contextul schimbărilor climatice.

Obiective specifice:

- Evaluarea variabilităţii genetice a principalelor caracteristici de interes economic şi adaptativ în culturi de provenienţe instalate în România;
- Evaluarea interacţiunii genotip x mediu în culturi de provenienţe de molid;
- Analiza corelaţiilor fenotipice între caracteristicile de interes economic şi adaptativ şi între acestea şi gradientii geografici de origine ai provenienţelor testate;
- Analiza influenţei condiţiilor climatice asupra caracteristicilor biometrice ale provenienţelor de molid;
- Selecţia celor mai bune provenienţe de molid cu ajutorul indicilor de selecţie.

## 3. MATERIAL ŞI METODĂ DE CERCETARE

### 3.1. Descrierea culturilor de provenienţe studiate

Materialul de studiu este constituit din 81 de provenienţe de molid, dintre care 10 româneşti şi 71 din 12 ţări din Europa: Austria (11), Finlanda (13), Franţa (10), Elveţia (8), Germania (4), Suedia (6), Norvegia (5), Bulgaria (2), Italia (3), Polonia (3), Ungaria (3) şi Cehia (3). Datele au fost obţinute din trei suprafeţe comparative: Dorna Candrenilor, Zărneşti şi Turda, instalate în 1972 de către Niţu şi Gruescu [121]. Iniţial au fost patru astfel de culturi, dar în 1998, din cauza doborâturilor de vânt, suprafaţa comparativă Novaci a fost dezafectată. Date despre aceste suprafeţe sunt redată în tabelul 1, iar localizarea lor este redată în Fig. 1.

Provenienţele acoperă arealul natural şi de cultură al speciei din Europa, de la 41,6° până la 63,28° latitudine Nordică şi de la 6,03° până la 34,62° longitudine Estică. De asemenea, din punct de vedere altitudinal, provenienţele testate sunt de la 20 m (unele provenienţe din Germania, Suedia şi Finlanda) până la 2000 m (provenienţa 98-Rodopi Smolian, din Bulgaria). Din punct de vedere al condiţiilor climatice pentru perioada 1901-1970, provenienţele sunt din locuri unde temperatura medie anuală este între 1,7 şi 10 °C, iar suma precipitaţiilor anuale este între 450 şi 2400 mm (Fig. 2).

În funcţie de regiunile geografice ale provenienţelor, au fost împărţite în 11 grupuri: 1. Europa de Nord, 2. Nord-Estul Germaniei, 3. Nord-Estul Poloniei, 4. Podişul Boemiei, 5. Franceze (Munţii Jura şi Vosgi), 6. Alpii Vestici, 7. Alpii Centrali, 8. Alpii Estici, 9. Carpaţii Vestici, 10. Carpaţii Orientali şi 11. Bulgare (Munţii Rila şi Rodopi). Gruparea provenienţelor este reprezentată în Fig. 1, iar detalii despre provenienţe sunt redată în tabelul 2.

Tabel 1. Culturile comparative cu proveniențe de molid instalate în 1972

Cultura	Dorna Candrenilor	Zărnești	Turda
Regiunea de proveniență	A210 - Carpații Orientali Estici, Molidișuri	C120 - Carpații Meridionali Nordici, Păduri de amestec de fag cu rășinoase	E310 - Munții Apuseni Estici, Molidișuri
Etajul de vegetație	FM2 - Etajul montan de amestecuri de rășinoase și fag	FM2 - Etajul montan de amestecuri de rășinoase și fag	FM3 - Etajul montan de molidișuri
Tipul de stațiune	3333 – Montan de amestecuri Bs, brun edafic mare cu <i>Asperula - Dentaria</i>	3322 – Montan de amestecuri Bm(i), brun podzolic sau criptopodzolic, edafic mijlociu cu <i>Festuca + Calamagrostis</i>	2332 – Montan de molidișuri Bm, brun acid edafic submijlociu cu <i>Oxalis-Dentaria</i> + acidofile
Tipul de sol	3301 – Districambosol (Brun acid tipic)	4101 – Prepodzol (Brun feriiluvial tipic)	3201 – Districambosol (Brun acid tipic)
Panta	20° - 30°	25° - 30°	20° - 30°
Expoziția	V	SV	NV
Suprafața (ha)	3,40	2,67	3,43
Lat. N	47,20	45,50	46,50
Long. E	25,33	25,33	23,75
Altitudine (m)	940-1040	1050-1250	1230-1340
Temperatura medie anuală (°C) 1972-2020	5,4	5,4	4,6
Precipitațiile medii anuale (mm) 1972-2020	749	927	757

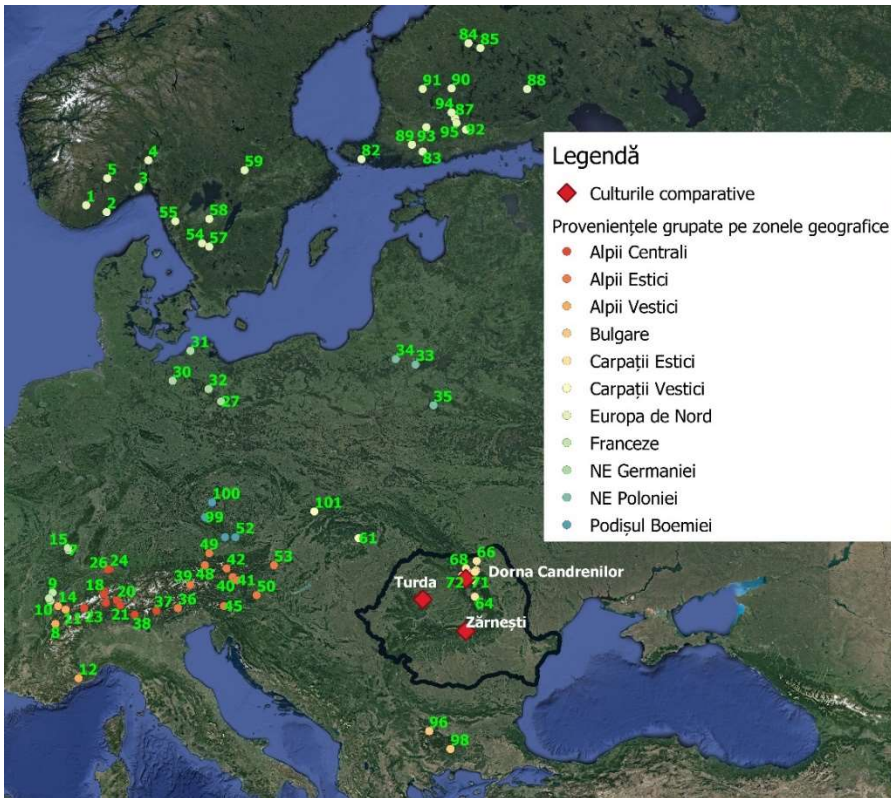


Fig. 1. Localizarea proveniențelor și a culturilor de molid

Proveniențele sunt reprezentate prin puncte și numere, iar culturile prin triunghiuri.

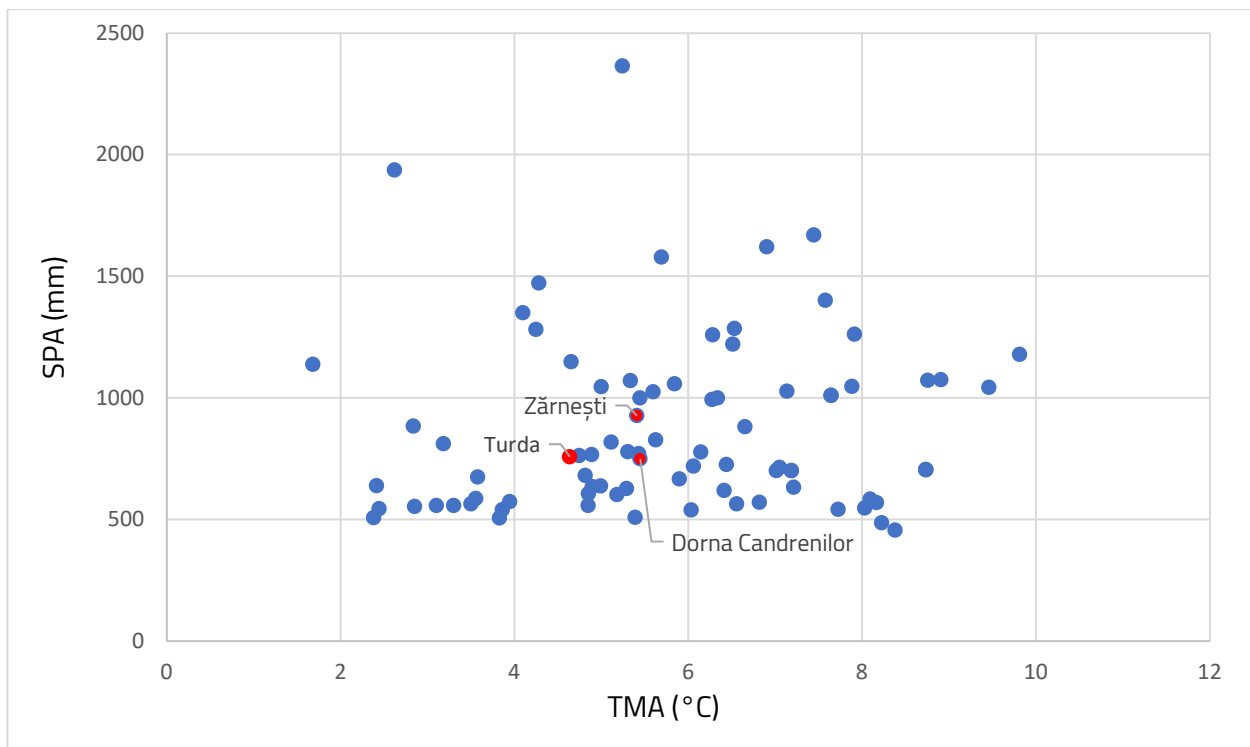


Fig. 2. Temperatura medie anuală (TMA) și suma precipitațiilor anuale (SPA) din locurile de origine ale proveniențelor pentru perioada 1901-1970 (punctele albastre) și din locurile de testare, pentru perioada 1972-2020 (punctele roșii)

Tabel 2. Provenienţele de molid testate în cele trei culturi

Nr. provenienţă	Numele provenienţei	Ţara	Grup	Lat. N	Long. E	Altit.
1	Senum	Norvegia	Europa de Nord	58,67	7,75	390
2	Branstad	Norvegia	Europa de Nord	58,47	8,7	45
3	Sandar	Norvegia	Europa de Nord	59,2	10,18	50
4	Bagstad	Norvegia	Europa de Nord	59,97	10,63	160
5	Seljord	Norvegia	Europa de Nord	59,45	8,73	120
6	Straiture I	Franţa	Franceze	48,12	6,93	650
7	Straiture II	Franţa	Franceze	48,12	6,93	650
8	La Ganne	Franţa	Alpii Vestici	45,73	6,33	900
9	Mignovillard III	Franţa	Franceze	46,75	6,2	1000
10	Plan de Cosaques	Franţa	Franceze	46,48	6,1	1170
11	Morzine	Franţa	Alpii Vestici	46,2	6,8	1750
12	Lantosque	Franţa	Alpii Vestici	43,95	7,4	1500
13	Saint Laurent II	Franţa	Franceze	46,57	6,03	960
14	Plan Bois	Franţa	Alpii Vestici	46,32	6,45	500
15	Gerardmer I	Franţa	Franceze	48,18	6,9	650
18	Eptingen	Elveţia	Alpii Centrali	46,78	8,58	1040
19	Kerns	Elveţia	Alpii Centrali	46,42	8,67	1460
20	Le Brassus	Elveţia	Alpii Centrali	46,5	9,17	1310
21	Lukmenier	Elveţia	Alpii Centrali	46,33	9,33	1500
23	Stampa	Elveţia	Alpii Centrali	46,25	7,67	1600
24	Tagevillen	Elveţia	Alpii Centrali	47,5	8,83	520
25	Wassen	Elveţia	Alpii Centrali	46,7	8,58	1160
26	Winterthur	Elveţia	Alpii Centrali	47,5	8,75	545
27	Bodenseichen	Germania	NE Germaniei	52,78	14	80
30	Kiekindermarx	Germania	NE Germaniei	53,42	11,75	86
31	Brmenhagen	Germania	NE Germaniei	54,33	12,58	20
32	Gandenitz	Germania	NE Germaniei	53,17	13,42	25
33	Wigry	Polonia	NE Poloniei	53,92	23	130
34	Borki	Polonia	NE Poloniei	54,08	22,08	160

Nr. proveniență	Numele provenienței	Țara	Grup	Lat. N	Long. E	Altit.
35	Bialowieza	Polonia	NE Poloniei	52,67	23,83	150
36	Brajes	Italia	Alpii Estici	46,25	12	1425
37	Latemar	Italia	Alpii Centrali	46,17	11	1700
38	Val Di Fiemme	Italia	Alpii Centrali	46,03	10	1350
39	Klaunz Bannwald	Austria	Alpii Estici	47	12,57	1750
40	Wietersdf	Austria	Alpii Estici	47,25	14,53	800
41	Eppenstein	Austria	Alpii Estici	47,15	14,73	965
42	Rotlgut Liezen	Austria	Alpii Estici	47,53	14,25	800
45	Hollenburg	Austria	Alpii Estici	46,32	14,13	1125
48	Strabwalchen	Austria	Alpii Estici	47,63	13,25	650
49	Redl-Zipf-Fuchsberg	Austria	Alpii Estici	48,02	13,45	550
50	Hoyos-Ernest-reith	Austria	Alpii Estici	46,67	15,65	530
51	Herfenberg	Austria	Podișul Boemiei	48,53	14,18	750
52	Sandl-bei-Freistadt	Austria	Podișul Boemiei	48,53	14,67	975
53	Neustift	Austria	Alpii Estici	47,63	16,45	620
54	Kolarp	Suedia	Europa de Nord	57,55	13,12	160
55	Munkahus	Suedia	Europa de Nord	58,2	11,88	20
56	Anfasterod	Suedia	Europa de Nord	58,2	11,88	50
57	Mossebo	Suedia	Europa de Nord	57,45	13,45	260
58	Aspas	Suedia	Europa de Nord	58,27	13,45	170
59	Nytthan	Suedia	Europa de Nord	59,68	15,08	115
60	Keletbukki Allami	Ungaria	Carpații Vestici	48,5	20,37	300
61	Nyugatbukki Allami	Ungaria	Carpații Vestici	48,5	20,37	300
63	Nyugatbukki Allami	Ungaria	Carpații Vestici	48,5	20,37	300
64	Gheorghieni	România	Carpații Orientali	46,62	25,75	1000
66	Marginea	România	Carpații Orientali	47,77	25,83	670
67	Frasin	România	Carpații Orientali	47,47	25,8	760

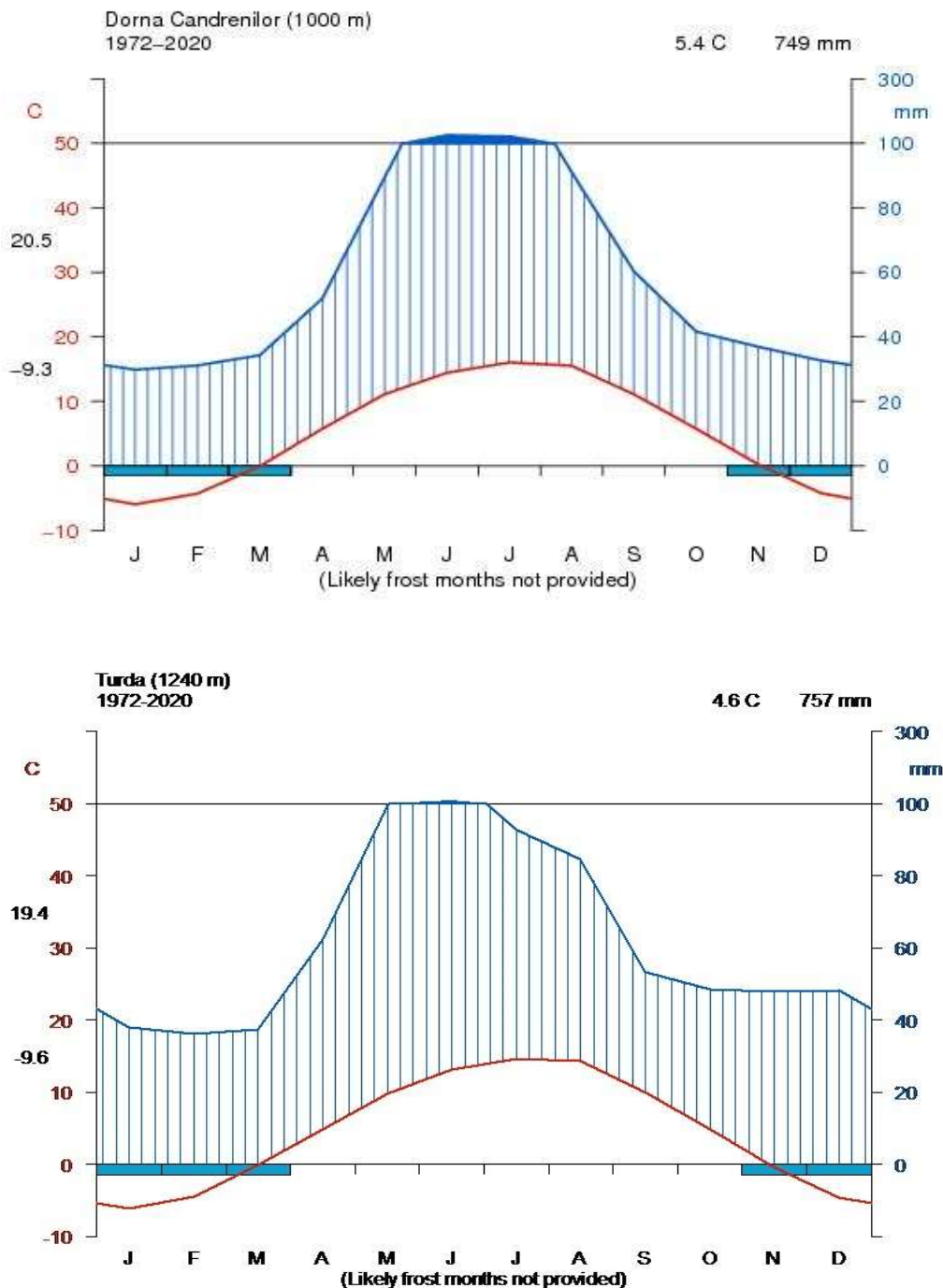


Nr. proveniență	Numele provenienței	Țara	Grup	Lat. N	Long. E	Altit.
68	Breaza	România	Carpații Orientali	47,53	25,33	1250
70	Coșna	România	Carpații Orientali	47,3	25,17	1025
71	Moldovița	România	Carpații Orientali	47,37	25,57	980
72	Dorna Candrenilor	România	Carpații Orientali	47,28	25,25	1000
73	Stulpicani	România	Carpații Orientali	47,42	25,75	980
74	Galu	România	Carpații Orientali	47,25	25,42	650
75	Broșteni	România	Carpații Orientali	47,15	25,72	940
82	Sund	Finlanda	Europa de Nord	60	20,5	20
83	Bramarv	Finlanda	Europa de Nord	60,22	23,33	20
84	Pihtipudas	Finlanda	Europa de Nord	63,28	25,45	165
85	Heinola	Finlanda	Europa de Nord	63,15	26	275
87	Kourevesi	Finlanda	Europa de Nord	61,17	24,83	100
88	Pualanka	Finlanda	Europa de Nord	62	28,17	140
89	Pielisjarvi	Finlanda	Europa de Nord	60,42	22,83	50
90	Mantta	Finlanda	Europa de Nord	62,02	24,67	120
91	Jokioinen	Finlanda	Europa de Nord	62	23,33	190
92	Padasjoki	Finlanda	Europa de Nord	60,85	25,33	85
93	Ujala	Finlanda	Europa de Nord	60,92	23,5	130
94	Janakkala	Finlanda	Europa de Nord	61,33	24,67	100
95	Tuusula	Finlanda	Europa de Nord	61,03	24,9	120
96	Rila	Bulgaria	Bulgare	42,2	23,63	1300
98	Rodopi Smolian	Bulgaria	Bulgare	41,6	24,62	2000
99	Zelesna Ruda	Republica Cehă	Podișul Boemiei	49,17	13,25	850
100	Kasperske Hory	Republica Cehă	Podișul Boemiei	49,63	13,58	650
101	Valke Karlovice	Republica Cehă	Carpații Vestici	49,35	18,32	780

Culturile comparative analizate au fost înființate pe raza a trei Inspectorate (Direcții) Silvice, localizate în Carpații Vestici, Sudici și de Nord-Est ai României, în etajul montan de amestecuri de fag și rășinoase (Dorna Candrenilor și Zărnești), și etajul montan de molidișuri (Turda).

Există diferențe în ceea ce privește condițiile climatice ale culturilor comparative: climat continental cu influențe Scandiano-Baltice în Nord (Dorna Candrenilor) și temperat continental cu influențe oceanice în Vest (Turda) și partea centrală a țării (Zărnești) [122], [123].

Diagramele climatice ale culturilor comparative, pentru perioada 1972–2020 au fost realizate cu ajutorul pachetului *climato* în R [124], după modelul propus de Walter și Lieth [125] (Fig. 3).



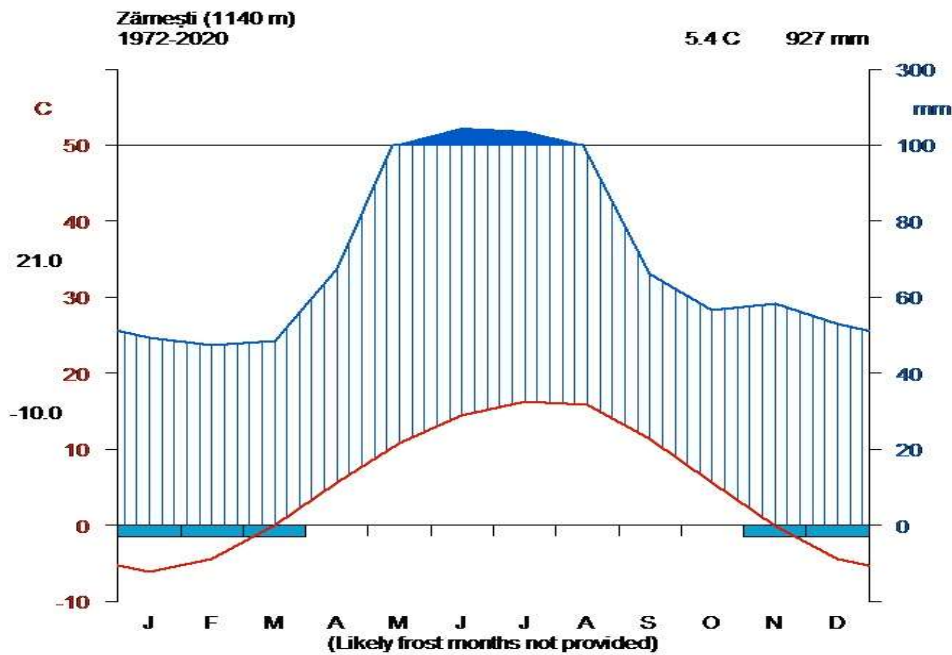


Fig. 3. Diagramele climatice pentru cele trei culturi comparative, pentru intervalul 1972-2020

*J-D – lunile calendaristice*

Proveniențele au fost plantate în dispozitiv statistic de tip grilaj pătrat balansat cu 9 x 9 proveniențe și trei repetiții. Grilajul este o așezare obținută prin gruparea variantelor în blocuri incomplete (linii scurte) suprapuse. Balansarea presupune ca fiecare variantă/proveniență să se întâlnească cu fiecare din celelalte în aceeași repetiție, necesitând astfel un anumit număr de repetări [126]. Mărirea parcelelor unitare este de 16 indivizi (4 x 4), la o schemă de plantare de 2 x 2 m.

Modul de distribuție a proveniențelor în interiorul repetițiilor permite eliminarea diferențelor de sol dintre repetiții, iar prin dubla aranjare a variantelor în blocuri și coloane se elimină diferențele de stațiune din cadrul repetițiilor.

### 3.2. Măsurători și observații

Măsurătorile și observațiile s-au efectuat în toamna anului 2020, la 49 de ani după plantare, ceea ce reprezintă aproximativ jumătate din vârsta exploatabilității molidului în România. Caracteristicile analizate pentru a evalua variația adaptativă au fost: înălțimea totală (HT), înălțimea până la prima ramură verde (elagată) (HE), diametrul la 1,30 m (D1,30), procentul de supraviețuire (Suprav), forma trunchiului, înfucirea, creșterile anuale în diametru – creșterea anuală (CA), lemnul târziu (LTA) și timpuriu (LTI); procentul de lemn târziu (LTP) și densitatea convențională a lemnului (DCL).

HT și HE au fost măsurate cu Vertex IV, cu o precizie de 0,1 m, iar D1,30m cu o clupă Haglöf, cu o precizie de 0,1 cm. Procentul de supraviețuire a fost calculat prin raportarea numărului de arbori rămași la vârsta de 49 de ani la numărul de arbori plantați în fiecare parcelă unitară.

Numărul de arbori rămași, ce au fost măsurați, a variat între 4 și 13 pe parcelă (în repetiție), numărul de arbori ai proveniențelor variind între 12 și 31 pe cultură, fapt ce a asigurat o bună precizie a rezultatelor.

Forma trunchiului a fost evaluată cu ajutorul a trei indici: 1 – rectilinie, fără curburi; 2 – cu defecte ușoare (curburi în același plan, lăbărțări la bază); 3 – sinuoasă.

Înfurcirea trunchiului a fost apreciată prin folosirea unui indice de înfurcire stabilit cu ajutorul a doi parametri. Primul se referă la localizarea înfurcii pe trunchiul arborelui: 4 – neînfurcit, 3 – înfurcit în treimea superioară, 2 – ~ jumătatea trunchiului și 1 – în treimea inferioară. Acest parametru a fost multiplicat cu 10, iar valoarea obținută a fost împărțită la numărul de tulpini [127].

Densitatea convențională a lemnului, exprimată în  $\text{g/cm}^3$  a fost calculată pentru fiecare carotă utilizând formula propusă de Dumitriu-Tătăranu et al [128]:

$$\rho_c = 1 / [(M_{\max} / M_o) - 1 + 1 / \rho_{ml}],$$

unde:  $\rho_c$  = densitatea convențională ( $\text{g/cm}^3$ ),

$M_{\max}$  = masa probei saturate (g),

$M_o$  = masa probei uscate (g),

$\rho_{ml}$  = densitatea lemnului ( $1.53 \text{ g/cm}^3$ ).

Pentru a extrage carotele, au fost selectați patru arbori pe baza diametrului mediu din fiecare proveniență, în fiecare repetiție. Cu ajutorul burghiului de creștere Haglöf, s-a extras câte o carotă la 1,30 m din fiecare arbore, pe curba de nivel, pentru a evita lemnul de compresiune și de tensiune.

Carotele au fost apoi lăsate la uscat și șlefuite progresiv. Pentru a obține imagini de înaltă rezoluție ale carotelor (1200 dpi), a fost utilizat scannerul Epson Expression 12000XL. Creșterile anuale în diametru au fost măsurate cu programul CooRecorder [129].

Pentru fiecare cultură comparativă, seriile de creșteri anuale au fost verificate și interdate cu ajutorul pachetului *dplR* [130] în mediul software gratuit R [131]. Seriile de creșteri anuale cu valori ale intercorelației (coeficientul de corelație mediu dintre diferite carote) sub 0,328 ( $p > 0,05$ ) au fost excluse din analiză. Numărul final de serii de creșteri anuale a fost de 2709: 947 pentru Dorna Candrenilor, 906 pentru Zărnești și 856 pentru cultura comparativă Turda.

Standardizarea s-a realizat cu ajutorul pachetului *detrendeR* [132]. Prin standardizare, se estimează și se elimină influența creșterii biologice naturale a arborilor, influența vârstei, pentru a se obține serii de indici staționare cu medie 1 și varianță relativ constantă [133].

A fost utilizată funcția *spline*, cu o lungime a perioadei de oscilație egală cu două treimi din lungimea seriei (numărul de ani ai seriei). Creșterile standardizate au fost prescurtate astfel: creșterea anuală (iCA), lemnul târziu (iLTA) și timpuriu (iLTI).

Datele climatice pentru perioada 1972-2020 au fost obținute folosind Climate Downscaling Tool (ClimateDT) [134]. Cu excepția temperaturilor lunare minime și maxime, toate celelalte variabile climatice au fost utilizate pentru a evalua legătura dintre climat și creșterile anuale în diametru.

Latitudinea corectată cu altitudinea (Lat\_c) a fost calculată cu ajutorul formulei [135]:

$$\text{Lat}_c = \text{latitudinea} + \text{altitudinea} / 100,$$

unde: *latitudinea* este exprimată în grade centezimale, iar *altitudinea* în metri.

Pentru a determina anii în care au avut loc secete meteorologice, a fost calculat Indicele Standardizat de Precipitații și Evapotranspirație (Standardised Precipitation Evaporation Index) (SPEI) [136], pe baza precipitațiilor și a evapotranspirației potențiale (PET) din perioada 1972-2020, utilizând pachetul *SPEI* [137]. Ecuația propusă de Thornthwaite [138] a fost folosită pentru a calcula PET, utilizând datele pentru temperatură.

S-a evaluat SPEI la 3 luni, SPEI-3, iar anii în care s-au obținut valori mai mici de -1 pentru acest indice au fost clasificați astfel: între -1,00 și -1,49 – secetă moderată; între -1,50 și -1,99 – secetă severă; iar pentru valori sub -2,00 – secetă extremă.

Pentru a verifica faptul că anii extremi identificați pe baza SPEI-3, au fost într-adevăr ani în care arborii au fost afectați, a fost utilizată analiza anilor caracteristici în pachetul de lucru *dp/R*, bazată pe algoritmul lui Becker et al. [139]. Termenul de "an caracteristic" definește anii în care o bună parte a arborilor prezintă creșteri anuale foarte mici (an caracteristic negativ) sau foarte mari (an caracteristic pozitiv) [133], [140]. Pentru a determina dacă un an este caracteristic sau nu, s-a stabilit drept limită ca un procent de minim 60 % dintre arbori să fie afectați.

### 3.3. Analizele statistice

Analiza variabilității genetice pentru fiecare caracteristică a fost realizată pentru fiecare cultură de proveniență, dar și la nivelul tuturor culturilor.

Pentru analiza variabilității genetice în fiecare cultură, a fost utilizat un model liniar mixt, adaptat după modelul propus de Nanson [141] unde proveniența a fost considerată factor întâmplător, iar grupul și repetiția drept factori ficși:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + P_j + R_k + P_j \times R_k + e_{jkl} \quad (1)$$

unde:  $\mu$  este media generală,  $G_i$  este efectul grupului  $i$ ,

$P_j$  este efectul provenienței  $j$ ,

$R_k$  este efectul repetiției  $k$ ,

$P_j \times R_k$  este interacțiunea proveniență x repetiție,

iar  $e_{jkl}$  este termenul erorii asociate cu arborele  $jkl$ .

Un factor este considerat fix dacă interesul este centrat pe niveluri concrete/specifice ale factorului inclus în experiment, repetiția, grupul și localitatea în cazul nostru. Se consideră că un factor este întâmplător dacă nivelurile incluse în experiment reprezintă un eșantion dintr-o populație mai mare, iar implicațiile studiului urmăresc întreaga populație sau performanța viitoare a nivelurilor [77].

Interacțiunea proveniență x repetiție nu a fost semnificativă din punct de vedere statistic, așa că a fost eliminată din model. Calculul modelelor lineare mixte, precum și testarea lor a fost realizată cu ajutorul pachetului *lmerTest* [142].

Analiza variabilității genetice la nivelul tuturor culturilor a fost bazată pe următorul model liniar mixt, unde proveniența și interacțiunea proveniență x cultură au fost considerate factori întâmplători, iar cultura drept factor fix [141]:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + P_j + R_k + C_i \times P_j + e_{ijkl} \quad (2)$$

unde:  $\mu$  este media generală,

$C_i$  este efectul culturii  $i$ ,

$P_j$  este efectul provenienţei  $j$ ,

$R_k$  este efectul repetiţiei  $k$ ,

$C_i \times P_j$  este interacţiunea provenienţă  $\times$  cultură,

iar  $e_{ijkl}$  este termenul erorii asociate cu arborele  $ijkl$ .

Analiza variabilităţii genetice a parametrilor de rezilienţă ai arborilor a fost realizată doar la nivelul fiecărei culturi comparative, nu şi la nivelul tuturor, considerându-se că efectele secetelor şi cele de după secetă variază între regiuni [143].

Analiza stabilităţii performanţelor, prin calculul coeficienţilor de corelaţie între valorile aceleiaşi caracteristici obţinute în culturile comparative studiate, reprezintă o altă posibilitate de a determina influenţa interacţiunii provenienţă  $\times$  cultură. Valori ale coeficienţilor de corelaţie apropiate de 1 indică o interacţiune redusă şi o stabilitate a caracteristicii mai ridicată.

Răspunsul la secetă al provenienţelor a fost evaluat prin parametrii de rezilienţă ai arborilor: rezistenţa (Resist), recuperarea (Recup), rezilienţa (Rezil) şi rezilienţa relativă (Rel. rezil) [144].

*Rezistenţa* reprezintă raportul dintre creşterea din anul secetos şi creşterea din perioada anterioară (*CA an extrem / CA de dinainte*). Valorile de peste 1 indică toleranţă ridicată, iar cele sub 1, toleranţă redusă.

*Recuperarea* reflectă capacitatea de revitalizare după un episod de secetă. Este raportul dintre CA din perioada de după secetă şi CA din timpul secetei (*CA de după anul extrem / CA an extrem*).

*Rezilienţa* exprimă capacitatea de a reveni la valori ale CA de dinainte de secetă. Este raportul dintre CA din perioada de după secetă şi CA din perioada de dinainte de secetă (*CA de după anul extrem / CA de dinainte*). Valori subunitare indică reduceri ale creşterii cu efect pe termen lung.

*Rezilienţa relativă* este rezilienţa luând în considerare şi impactul produs de anul de secetă ( $((CA \text{ de după anul extrem} - CA \text{ an extrem}) / CA \text{ de dinainte})$ ).

Creşterile de dinainte şi de după secetă au fost calculate drept medii ale creşterilor pe trei ani înainte şi după anul în care seceta extremă a avut loc.

Pentru a analiza corelaţiile dintre gradientii geografici ai provenienţelor testate, caracteristicile lemnului şi parametrii de rezilienţă ai arborilor, pentru a examina măsura în care variaţia caracteristicilor este influenţată de adaptarea locală la condiţiile climatice ale locului de origine, au fost utilizaţi coeficienţii de corelaţie Pearson.

Pentru analiza corelaţiilor pe perioade mobile în fiecare cultură comparativă, a fost folosit pachetul *treeclim* [145]. Mobilitatea a fost definită drept o modificare a magnitudinii sau a direcţiei legăturii dintre variabile în timp [146]. Variabilele climatice utilizate pentru această analiză au fost valorile lunare ale precipitaţiilor din fiecare an, din martie până în septembrie (sezonul de vegetaţie), pentru intervalul 1981-2020. S-au analizat subperioade de 25 de ani, fiecare începând cu un an mai târziu, rezultând un număr de 16 subperioade.

Funcţiile de răspuns climatic descriu corelaţia dintre o caracteristică cantitativă a unei populaţii de arbori şi condiţiile climatice diferite ale locurilor de plantare. Obiectivul specific al utilizării funcţiilor de răspuns

este acela de a determina condițiile climatice în care se poate obține valoarea maximă pentru caracteristica de care suntem interesați (sau minimă, depinde de caracteristică) [147]. Funcția a fost de tipul quadratic:

$$z = a + b \cdot x^2 + c \cdot y,$$

unde:  $z$  este caracteristica urmărită,  
 $a$ ,  $b$  și  $c$  sunt coeficienții de regresie,  
 $x$  și  $y$  sunt variabilele de temperatură/precipitații.

Funcțiile de răspuns au fost realizate pentru procentul de lemn târziu, utilizând datele climatice anuale pentru fiecare cultură comparativă, pentru a analiza impactul avut de climatul din fiecare cultură comparativă asupra performanțelor proveniențelor. Funcțiile de răspuns pentru înălțimea totală și diametrul la 1,30 m au fost realizate la nivelul celor trei culturi și s-au utilizat valorile medii ale variabilelor climatice din culturile comparative pentru perioada 1972-2020.

Data fiind ipoteza că populațiile de arbori sunt adaptate condițiilor climatice locale, funcțiile de transfer analizează corelațiile dintre caracteristicile cantitative și diferențele climatice dintre locul de plantare și locul de origine [147].

Funcțiile de transfer au fost realizate pentru înălțimea totală și procentul de supraviețuire, în fiecare cultură comparativă, utilizând diferențele dintre variabilele climatice ale locului de plantare și cele ale locului de origine.

Cu ajutorul pachetului *caret* [148], atât pentru funcțiile de răspuns, cât și pentru funcțiile de transfer, a fost definit mai întâi un model cu un singur termen constant. Apoi s-a realizat metoda regresiiilor pas cu pas. După identificarea celor mai semnificative variabile, au fost realizate mai multe modele quadratice, pentru că sunt considerate mai potrivite [149], [150], [151]. Selecția modelelor finale s-a realizat în funcție de coeficientul  $R^2$  ajustat.

Graficele 3D ale funcțiilor de răspuns și de transfer au fost realizate cu ajutorul programului SigmaPlot 12.5 [152]

Selecția proveniențelor de molid, a fost realizată cu ajutorul indicilor:

- MGIDI (Multitrait Genotype-Ideotype Distance Index) [153] în fiecare cultură comparativă; și
- MTSI (Multi-Trait Stability Index) [154], la nivelul tuturor culturilor, în pachetul *metan* [155].

Analiza unui model mixt linear a fost necesară pentru estimarea parametrilor varianței bazată pe metoda probabilității maxime restrânse - Restricted maximum likelihood (REML) și pentru a obține valorile indexului BLUP (best linear unbiased prediction) ale fiecărei proveniențe, care este apoi utilizat pentru a calcula indicii MGIDI și MTSI.

În calculul indicelui MGIDI, s-a renunțat la efectul grupului din modelul (1). Ideotipul a fost propus ca valorile sale pentru D1,30m, HE, HT și Suprav să fie cât mai mari [156]. Intensitatea de selecție a fost de 15%, adică au fost selectate 12 din cele 81 de proveniențe.

Indicele MGIDI este calculat pe baza următoarei ecuații [153]:

$$MGIDI_i = \left[ \sum_{j=1}^f (y_{ij} - y_j)^2 \right]^{0.5},$$

Unde  $MGID_i$  este indicele distanţei dintre genotip și fenotip bazat pe mai multe caracteristici pentru provenienţa  $i$ ,  $y_{ij}$  este scorul provenienţei  $i$  în factorul  $j$ , și  $y_j$  este scorul ideotipului.

Cu cât valoarea  $MGID_i$  a unei provenienţe este mai mică, cu atât este mai apropiată de ideotipul propus și are valori ale caracteristicilor apropiate de țelul urmărit.

Estimarea  $MTSI$  a fost realizată cu ajutorul ecuaţiei [154]:

$$MTSI_i = \left[ \sum_{j=1}^f (F_{ij} - F_j)^2 \right]^{0.5}$$

unde  $MTSI_i$  = the multi-trait stability index pentru provenienţa  $i$ ;  $F_{ij}$  = scorul provenienţei  $i$ ;  $F_j$ =scorul ideotipului.

Cu cât valoarea indicelui  $MTSI$  pentru o provenienţă este mai mică, cu atât este mai aproape de ideotip și are stabilitate și performanțe ridicate pentru caracteristicile analizate. Calculul indicilor bazați pe selecția mai multor caractere simultan s-a realizat cu ajutorul pachetului *metan* [155], în mediul software gratuit R.

După ce modelul pentru a  $MTSI$  a fost stabilit, diferite scenarii pentru ponderile stabilității și ale performanței (de la 100/0 la 0/100) au fost rulate și reprezentate grafic. Proveniențele au fost grupate în patru categorii:

1. Performante și stabile
2. Performante, dar instabile
3. Neperformante, dar stabile
4. Neperformante și instabile.



## 4. REZULTATE ŞI DISCUŢII

### 4.1. Variabilitatea genetică a principalelor caracteristici de interes economic şi adaptativ

Rezultatele modelului linear mixt pentru caracteristicile analizate în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani de la plantare sunt prezentate în Tabel 3.

Tabel 3. Rezultatele modelului linear pentru caracteristicile analizate în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani

	Caracteristica	LRTp	Vp	Vr	MS g	MS rep	Media ± SD
Dorna Candrenilor	D1,30m	5,07 *	0,56	28,87	264,06 ***	15,19 ns	23,75 ± 5,58 cm
	HT	55,39 ***	0,70	8,14	108,68 ***	62,44 ***	25,90 ± 3,24 m
	HE	152,53 ***	0,62	3,44	33,74 ***	104,27 ***	16,74 ± 2,21 m
	Suprav	12,31 ***	34,31	104,5	680,76 ***	533,53 **	49,97 ± 13,73 %
Zărneşti	D1,30m	0,44 ns	0,14	22,24	49,73 *	82,91 *	21,14 ± 4,76 cm
	HT	21,55 ***	0,60	11,12	50,90 ***	206,67 ***	21,43 ± 3,53 m
	HE	98,84 ***	1,16	6,31	44,59 ***	322,91 ***	10,96 ± 2,95 m
	Suprav	0,00 ns	0,00	178,2	365,38 *	504,92 ns	40,66 ± 13,71 %
Turda	D1,30m	0,00 ns	0,00	30,12	151,61 ***	25,25 ns	21,57 ± 5,57 cm
	HT	14,35 ***	0,49	9,45	64,60 ***	58,99 **	21,48 ± 3,28 m
	HE	55,53 ***	0,94	7,04	18,22 *	24,78 *	11,21 ± 2,86 m
	Suprav	0,16 ns	4,50	160,27	880,02 ***	888,61 **	36,78 ± 14,22 %

\*, \*\*, \*\*\*: Semnificativ pentru probabilitatea de transgresiune de 5%, 1% şi 0,1%; ns: nesemnificativ,  $p > 0,05$ ; LRTp—testul raportului de probabilitate pentru efectul provenienţelor; Vp—varianţa efectului aleator al provenienţelor; Vr—varianţa reziduală; MS—media pătratelor sumelor pentru grup (g) şi repetiţie (rep); D1,30m – diametrul la 1,30 m; HT—înălţimea totală; HE – înălţimea elagată; Suprav – procentul de supravieţuire.

Diferenţele dintre grupuri au fost semnificative pentru toate caracteristicile, în toate cele trei culturi comparative. Diferenţele dintre provenienţe au fost semnificative pentru toate caracteristicile în cultura Dorna Candrenilor. În celelalte două culturi, diferenţele dintre provenienţe nu au fost semnificative pentru diametrul la 1,30 m şi procentul de supravieţuire.

Având în vedere suprafeţele extinse ocupate de culturile comparative, a existat eterogenitate în fiecare cultură. Efectul repetiţiei a fost semnificativ pentru aproape toate caracterele, în toate culturile comparative. Excepţiile au fost: procentul de supravieţuire în cultura Zărneşti şi diametrul la 1,30 m în

culturile Dorna Candrenilor și Turda. Un efect substanțial al repetiției a fost de asemenea obținut în studiul a două culturi comparative românești de molid [157].

#### 4.1.1. Diametrul la 1,30 m

Cea mai mare valoare a D1,30m mediu, în cultura comparativă Dorna Candrenilor, a fost obținută de proveniența 51-Herfenberg, din Podișul Boemiei ( $28,24 \pm 1,12$  cm), urmată de proveniențe din Carpații Orientali (ai României): 74-Galu, 66-Marginea și 72-Dorna Candrenilor; și proveniența 49-Redl-Zipf-Fuchsberg, din Alpii Vestici. Proveniențele din Europa de Nord – 83-Bramarv, 84-Pihtipudas, 2-Branstad și 87-Kourevesi și din Alpii Vestici – 11-Morzine, au fost cele cu performanțele cele mai reduse, în ceea ce privește D1,30 m, cu valori cuprinse între  $18,16 \pm 0,88$  și  $20,09 \pm 1,33$  cm (Fig 4).

În cultura comparativă Zărnești, proveniența Nordică 83-Bramarv a avut cel mai mare D1,30m mediu, urmată de proveniențele 50-Hoyos-Ernest-reith și 53- Neustift, din Alpii Estici, 60- Keletbukki Allami, din Carpații Vestici, și 25-Wassen, din Alpii Centrali. Cele mai mici valori ale D1,30 m au fost obținute de proveniențele 11-Morzine, din Alpii Estici, 33-Wigry, din NE Poloniei, 4-Bagstad, 94- Janakkala și 90-Mantta, din Europa de Nord, valorile fiind cuprinse între  $17,32 \pm 0,92$  și  $19,03 \pm 1,24$  cm.

Proveniențele 70-Coșna și 67-Frasin, din Carpații Orientali, au avut cel mai mare D1,30m mediu în cultura comparativă Turda. Au fost urmate de proveniențele 60-Keletbukki Allami, din Carpații Vestici, 25-Wassen și 19-Kerns, din Alpii Centrali. Cele mai mici valori au fost obținute de proveniențele din Europa de Nord - 93-Urjala, 94-Janakkala, 83-Bramarv, 58-Aspas și 95-Tuusula, fiind cuprinse între  $15,84 \pm 1,13$  și  $18,80 \pm 1,09$  cm.

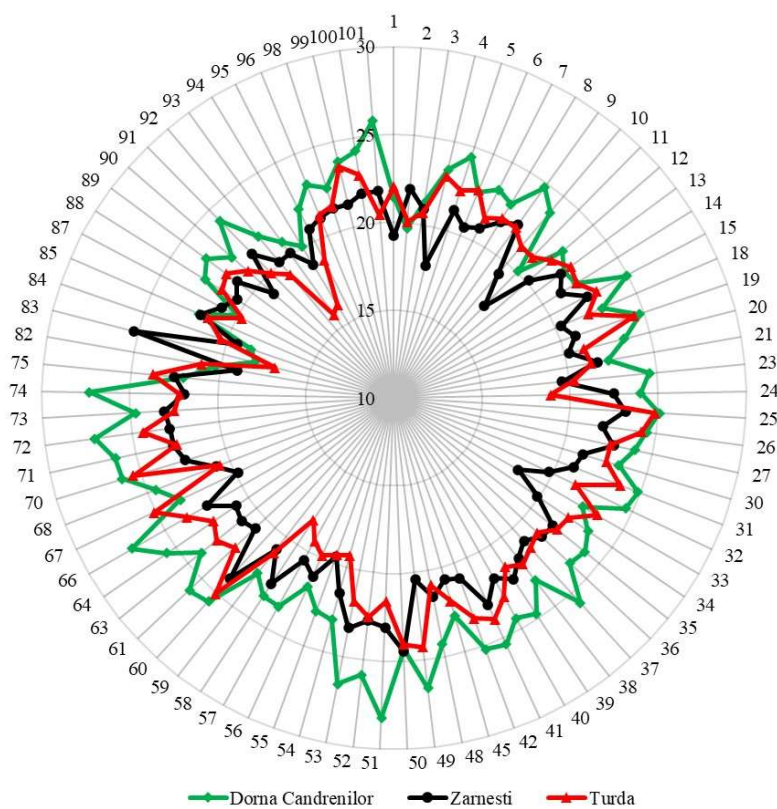


Fig. 4. Variația diametrului la 1,30 m al proveniențelor de molid în fiecare cultură comparativă la vârsta de 49 de ani

#### 4.1.2. Înălțimea totală

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, proveniențele românești, din Carpații Orientali, 72-Dorna Candrenilor, 66-Marginea, 64-Gheorghieni, 74-Galu, 70-Coșna și 71-Moldovița, au obținut cele mai mari valori ale înălțimii totale, cuprinse între  $29,48 \pm 0,36$  și  $28,31 \pm 0,47$  m. Proveniențele din Europa de Nord, 84-Pihtipudas, 83-Bramarv, 93-Urjala și 94-Janakkala, precum și 14-Plan Bois, din Alpii Vestici, au avut cele mai mici înălțimi totale (Fig. 5).

Proveniența 75-Broșteni, din Carpații Orientali, a avut cea mai mare valoare a înălțimii totale, în cultura comparativă Zărnești. Următoarele proveniențe cu performanțe bune au fost: 60-Keletbukki Allami din Carpații Vestici, 51-Herfenberg din Podișul Boemiei, 39-Klaunz Bannwald din Alpii Estici și 26-Winterthur din Alpii Centrali, cu valori cuprinse între  $23,72 \pm 0,62$  și  $23,46 \pm 0,51$  m. Cele mai mici valori au fost obținute de proveniențele 33-Wigrų din NE Poloniei, 11-Morzine din Alpii Vestici, proveniențele 82-Sund și 4-Bagstad din Europa de Nord, și 18-Eptingen, din Alpii Centrali, înălțimile totale fiind cuprinse între  $18,16 \pm 0,89$  și  $18,93 \text{ m} \pm 0,66$  m.

Cu o înălțime totală de  $24,46 \pm 0,51$  m, proveniența 25-Wassen din Alpii Centrali, a fost cea mai bună în cultura comparativă Turda. A fost urmată de 66-Marginea și 70-Coșna din Carpații Orientali, 60-Keletbukki Allami din Carpații Vestici, și 99-Zelesna Ruda din Podișul Boemiei. Proveniențele din Europa de Nord 83-Bramarv, 94-Janakkala și 93-Urjala au avut cele mai mici valori ale înălțimii totale.

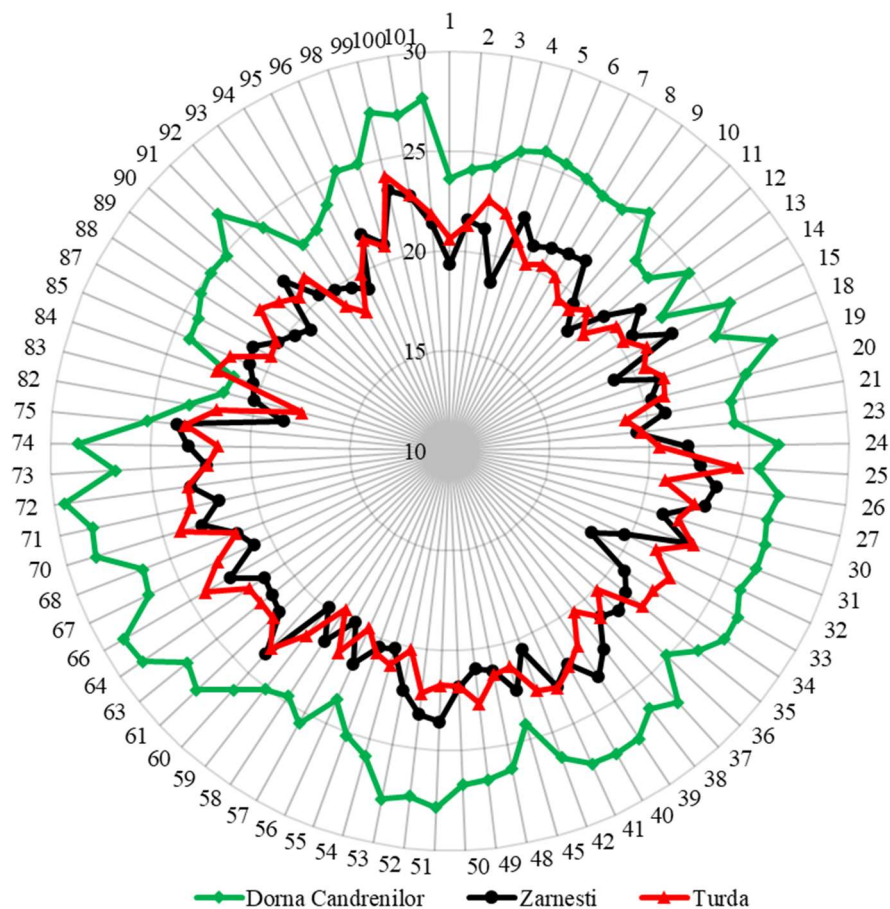


Fig. 5. Variația înălțimii totale a proveniențelor de molid în fiecare cultură comparativă la vârsta de 49 de ani

### 4.1.3. Înălţimea elagată

Cea mai mare valoare medie a înălţimii elagate, în cultura comparativă Dorna Candrenilor, a fost de  $18,74 \pm 0,30$  m, obţinută de provenienţa 39-Klaunz Bannwald, din Alpii Estici. Provenienţa 40- Wietersdf, din acelaşi grup şi alte trei provenienţe din Carpaţii Orientali au fost următoarele, cu valori cuprinse între  $18,59 \pm 0,46$  şi  $18,34 \pm 0,41$  m. Provenienţele din Europa de Nord, 88-Pualanka, 93-Urjala, 95- Tuusula, 83-Bramarv şi 82-Sund au avut cele mai mici valori, cuprinse între  $13,33 \pm 0,58$  şi  $14,17 \pm 0,65$  m (Fig. 6).

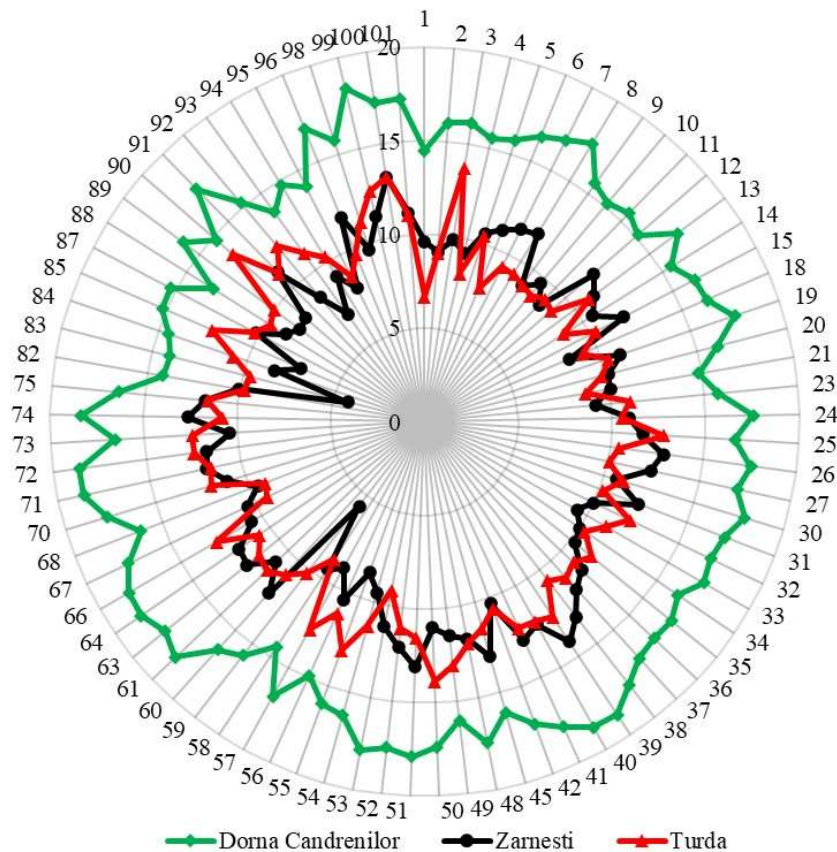


Fig. 6. Variația înălțimii elagate a proveniențelor de molid în culturile comparative la vârsta de 49 de ani

În cultura comparativă Zărnești doar cinci proveniențe au avut valori de peste 13 m: 39- Klaunz Bannwald și 45- Hollenburg, din Alpii Estici, 100-Kasperske Hory și 51-Herfenberg, din Podișul Boemiei, și 38-Val Di Fiemme, din Alpii Centrali, cu valori cuprinse între  $14,06 \pm 0,35$  și  $13,03 \pm 0,36$  m. Proveniențele din Europa de Nord au avut cele mai mici valori, sub 8 m: 59-Nytthan, 93-Urjala, 85-Heinola, 95-Tuusula, iar proveniența 83-Bramarv a avut cea mai mica valoare,  $4,22 \pm 1,33$  m.

În cultura comparativă Turda, proveniențele 50- Hoyos-Ernest-reith și 49- Redl-Zipf-Fuchsberg, din Alpii Estici, 3- Sandar și 90- Mantta, din Europa de Nord, precum și 100-Kasperske Hory, din Podișul Boemiei, au avut înălțimi elagate de peste 13 m, cuprinse între  $13,87 \pm 0,36$  și  $13,08 \pm 0,65$  m. Proveniențe care au avut înălțimi elagate mici au fost: 1- Senum, 4- Bagstad, și 95- Tuusula, din Europa de Nord, 6- Straiture I, Franceză și 21- Lukmenier, din Alpii Centrali, cu valori cuprinse între  $6,66 \pm 0,92$  și  $8,73 \pm 0,70$  m.

#### 4.1.4. Procentul de supravieţuire

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, provenienţele 64-Gheorghieni și 70-Coşna, din grupul Carpaţilor Orientali, au avut un procent de supravieţuire de 62,5%. Alte 15 provenienţe au avut un procent de 60,42%. Cele mai mici valori au fost înregistrate de provenienţe din grupul Nordic: 88- Pualanka – 14,58%, 1-Senum - 20.83%, 5-Seljord - 25% și 90-Mantta - 27.08% (Fig. 7).

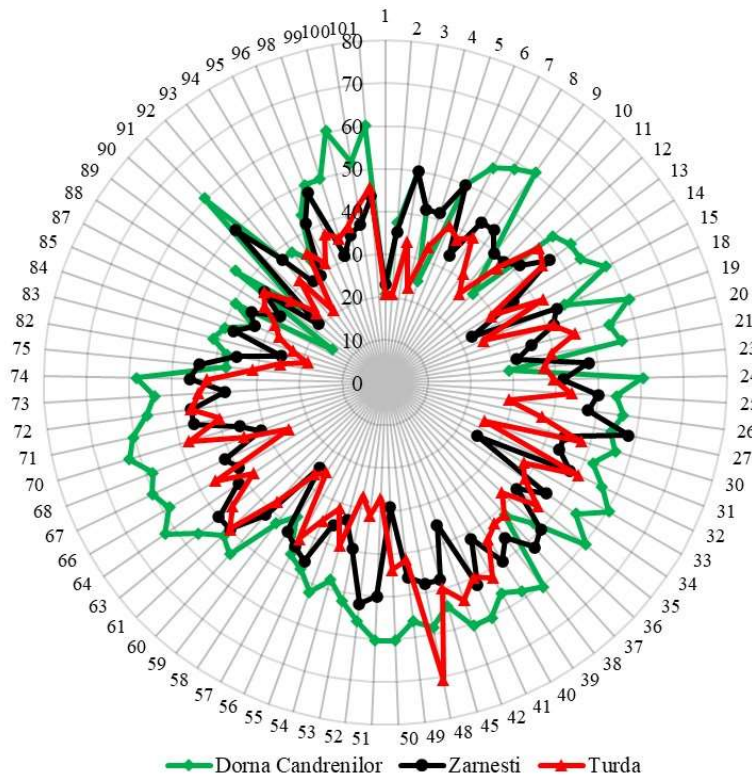


Fig. 7. Variația procentului de supraviețuire al proveniențelor de molid în fiecare cultură comparativă la vârsta de 49 de ani

Proveniența 27-Bodenseichen, din grupul Germaniei de NE, a avut un procent de supraviețuire de 58,33% în cultura comparativă Zărnești. Proveniențele 52-Sandl-bei-Freistadt, din Podișul Boemiei, 41-Eppenstein și 37-Latemar, din grupul Alpilor Estici, au avut un procent de supraviețuire de 52,08%. Alte nouă proveniențe au avut un procent de supraviețuire de 50%. Proveniențele 90-Mantta și 1-Senum, din grupul Nordic, precum și proveniența 15-Gerardmer I, din grupul celor Franceze, au avut cele mai mici procente de supraviețuire, de 20,83% (proveniența 90) și 22,92% (proveniențele 1 și 15). Un procent de doar 25% a fost obținut de proveniența 33-Wigry, din NE Poloniei, 59-Nytthan și 83-Bramarv, din grupul Nordic.

Cel mai bun procent de supraviețuire din cultura comparativă Turda, 70,83%, a fost obținut de către proveniența 48- Strabwalchen, din Alpii Estici. Alte două proveniențe din același grup, 42-Rotlgut Liezen și 40-Wietersdf, au avut procente de supraviețuire de 54,17% și 52,08%. Patru proveniențe au avut un procent de supraviețuire de 50%. Proveniențe din grupul Nordic au avut cele mai mici procente de supraviețuire în această cultură: 83-Bramarv - 18.75%, 1-Senum, 2-Branstad și 93-Urjala - 20.83%, iar 84-Pihtipudas, 4-Bagstad și 91-Jokioinen - 22.92%.

#### 4.1.7. Creşterea anuală în diametru

În fiecare cultură, au fost diferenţe semnificative între provenienţe şi între ani în ceea ce priveşte creşterile anuale în diametru şi procentul de lemn târziu (Tabel 4). Efectul repetiţiilor a fost semnificativ pentru toate caracteristicile, mai puţin CA în cultura comparativă Turda.

În ceea ce priveşte interacţiunea an x provenienţă, a fost semnificativă pentru CA şi LTI în cultura comparativă Zărneşti, şi pentru CA, LTI şi LTP în cultura comparativă Dorna Candrenilor.

Variaţiile creşterilor anuale în diametru standardizate şi ale procentului de lemn târziu se pot observa în Fig. 8.

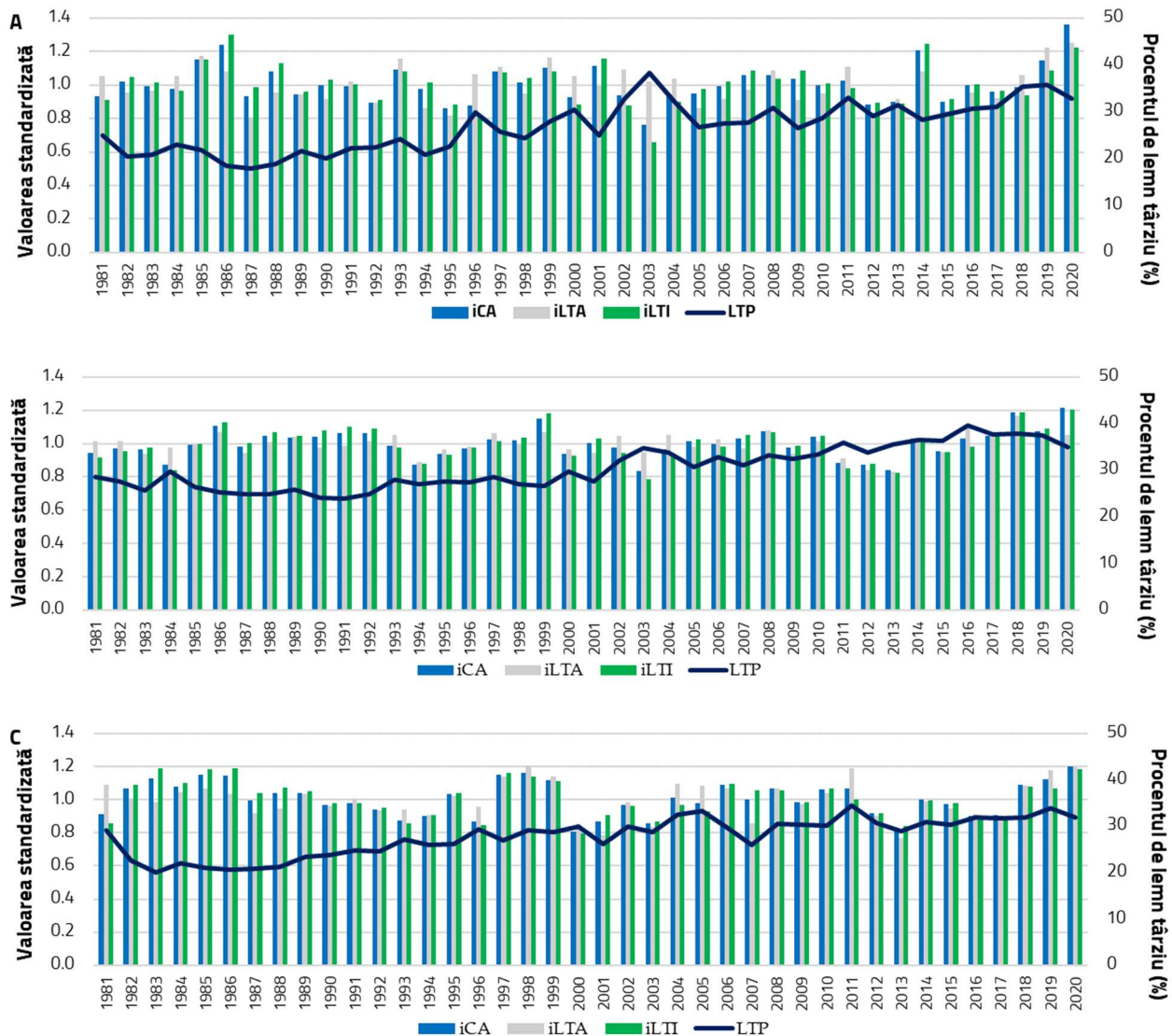


Fig. 8. Variaţiile creşterilor anuale în diametru standardizate şi ale LTP medii pe ani în culturile comparative de provenienţe de molid pentru perioada 1981-2020; A - Dorna Candrenilor, B - Turda, C – Zărneşti

Pentru perioada analizată, media CA pe cultură a fost cuprinsă între  $2,55 \pm 0,19$  mm, în cultura Zărneşti şi  $2,81 \pm 0,29$  mm, în cultura Turda.

Tabel 4. Rezultatele modelului linear pentru creşterile anuale în diametru şi procentul de lemn târziu în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani

		LRTp	LRT an x prov	Vp	V an x prov	Vr	MS rep	MS an	Media ± SD
Zărneşti	CA	711,55***	66,98***	0,027	0,016	0,689	91,56***	1116,66***	2,55 ± 0,19 mm
	LTI	677,85***	84,63***	0,021	0,014	0,542	38,94***	739,12***	1,90 ± 0,17 mm
	LTA	376,41***	0,00 ns	0,002	0,000	0,115	11,12***	46,88***	0,65 ± 0,05 mm
	LTP	510,66***	0,00 ns	2,462	0,000	110,742	4583,10***	13944,90***	27,78 ± 1,65 %
Dorna Candrenilor	CA	712,85***	12,42***	0,027	0,007	0,798	47,88***	1996,86***	2,73 ± 0,18 mm
	LTI	579,62***	30,60***	0,018	0,009	0,624	12,07***	1310,91***	2,08 ± 0,14 mm
	LTA	639,68***	1,29 ns	0,003	0,000	0,093	16,98***	65,86***	0,66 ± 0,07 mm
	LTP	491,92***	26,37***	1,696	0,900	69,428	3207,50***	20586,80***	27,06 ± 1,54 %
Turda	CA	1259,9***	0,00 ns	0,064	0,000	1,074	2,09 ns	1315,16***	2,81 ± 0,29 mm
	LTI	1003,0***	0,00 ns	0,038	0,000	0,755	2,28*	835,49***	2,03 ± 0,22 mm
	LTA	996,03***	0,00 ns	0,005	0,000	0,120	0,66**	56,16***	0,78 ± 0,08 mm
	LTP	326,70***	0,00 ns	1,766	0,000	99,852	1389,3***	15916,00***	30,76 ± 1,62 %

*\*, \*\*, \*\*\* – Semnificativ pentru probabilitatea de transgresiune de 5%, 1% și 0,1%; ns – nesemnificativ,  $p > 0,05$ ; LRTp, an x prov – testul raportului de probabilitate pentru efectul proveniențelor și a interacțiunii an x proveniență; LTI – lemnul timpuriu; LTA – lemnul târziu; LTP – procentul de lemn târziu; CA – creșterea anuală; Vp, an x prov – varianța efectului aleator al proveniențelor și a interacțiunii an x proveniență; Vr – varianța reziduală; MS rep – media pătratelor sumelor pentru repetiție; MS an – media pătratelor sumelor pentru an; SD – abaterea standard.*

#### 4.1.7.1. Creşterea anuală

Valoarea medie a CA în cultura Dorna Candrenilor a fost de 2,73 mm, fiind cuprinsă între 2,15 mm, provenienţa 83- Bramarv, şi 3,11 mm, provenienţa 25- Wassen (Fig. 9).

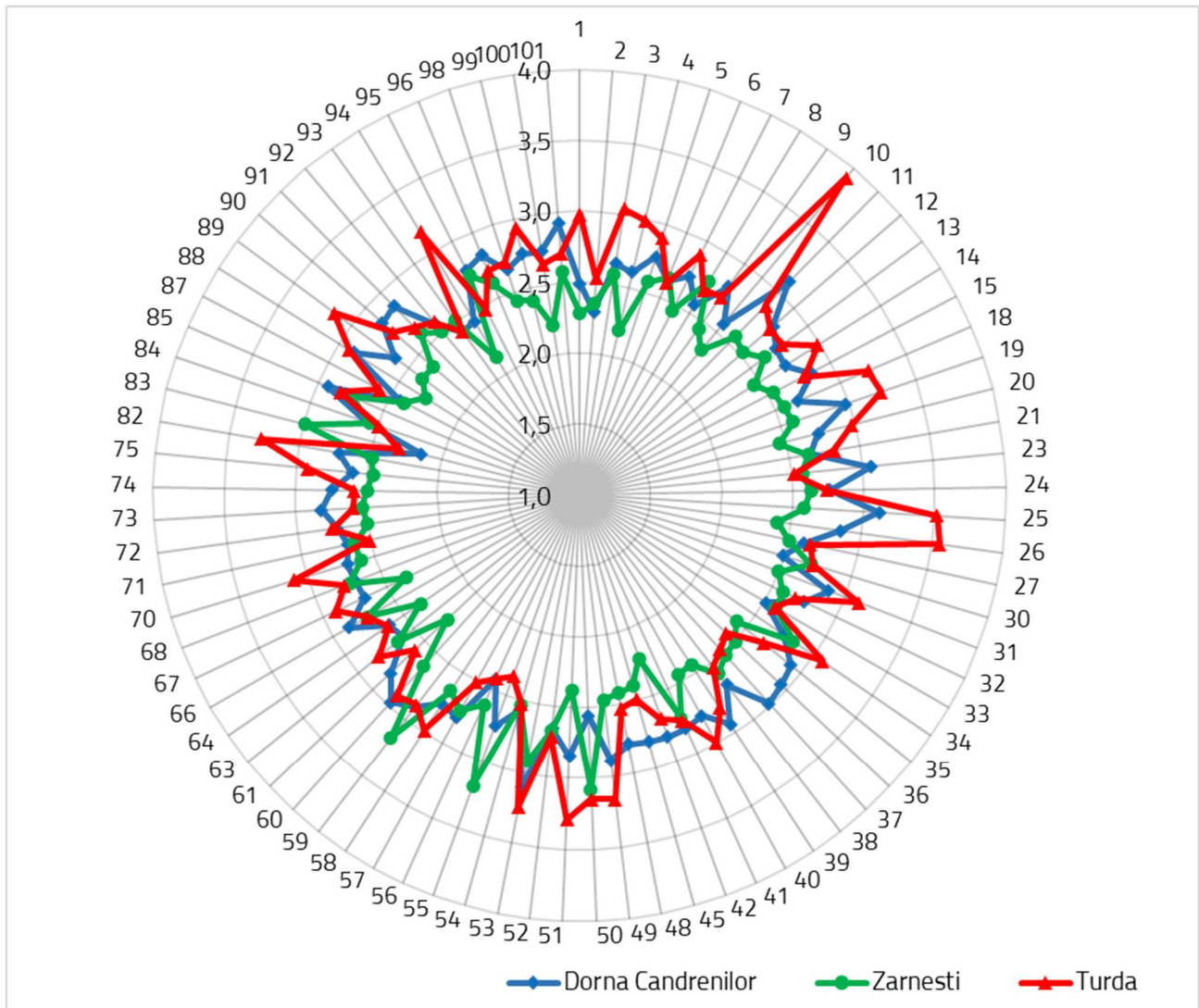


Fig. 9. Variația creșterilor anuale medii ale proveniențelor de molid pentru perioada 1981-2020

Cultura Zărnești a înregistrat cea mai redusă valoare medie a CA dintre cele trei culturi. Aceasta a fost de 2,55 mm, fiind cuprinsă între 2,13 mm, proveniența 94-Janakkala, și 3,18 mm, proveniența 55-Munkahus.

În cultura comparativă Turda, proveniențele de molid au avut creșteri anuale medii cuprinse între 2,31 mm, proveniența 83-Bramarv, și 3,92 mm, proveniența 10-Plan de Cosaques.

#### 4.1.7.2. Lemnul timpuriu

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, proveniențele ce au avut creșteri mari ale lemnului timpuriu pentru perioada 1981-2020 au fost: 25-Wassen, 53-Neustift și 60-Keletbukki Allami, iar la polul opus au fost proveniențele 83-Bramarv, 2-Branstad și 1-Senum (Fig. 10).



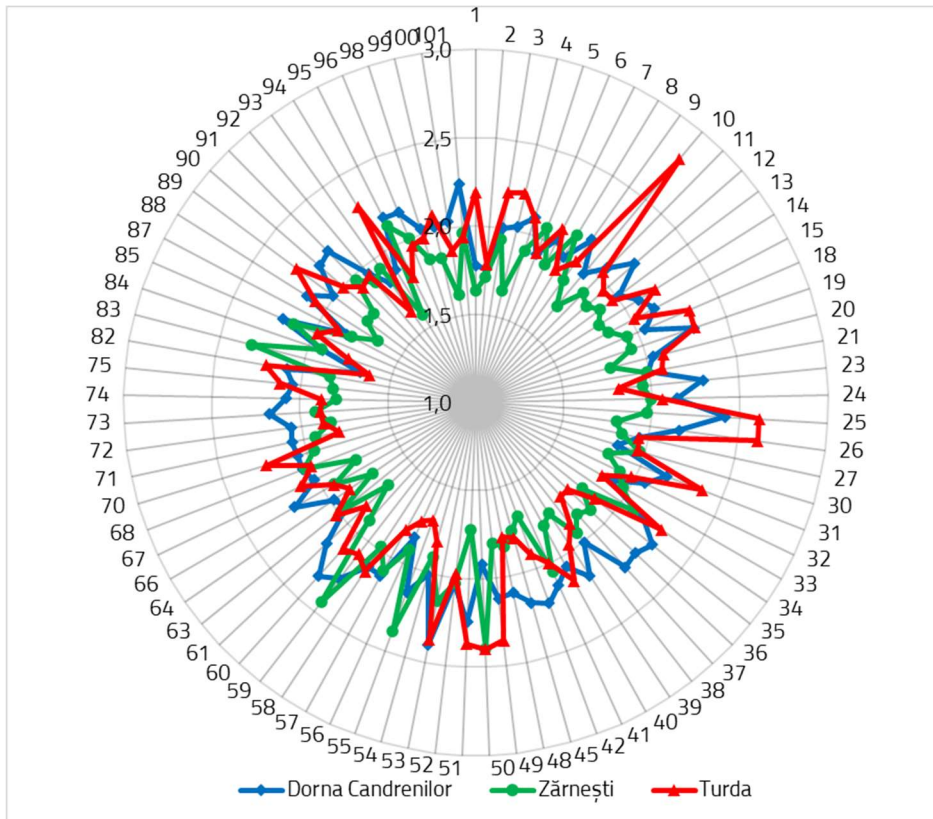


Fig. 10. Variația creșterilor lemnului timpuriu ale proveniențelor de molid pentru perioada 1981-2020

Media LTI a proveniențelor de molid în cultura Zărnești a fost cuprinsă între 1,58 mm, proveniența 94-Janakkala, și 2,43 mm, proveniența 59-Nyttthan.

Iar în cultura comparativă Turda, proveniențele au obținut valori medii ale LTI cuprinse între 1,62 mm, proveniența 83-Bramarv, și 2,80 mm, proveniența 10-Plan de Cosaques.

#### 4.1.7.3. Lemnul târziu

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, valoarea medie a LTA pentru perioada 1981-2020 a fost de  $0,66 \pm 0,07$  mm. Valorile medii ale proveniențelor au fost cuprinse între 0,47 mm, proveniența 83-Bramarv, din Nordul Europei, și 1,04 mm, proveniența 11- Morzine, din Alpii Vestici. Alte proveniențe ce au avut o valoare medie mică (sub 0,57 mm) a LTA au fost: 54- Kolarp, 75-Broșteni, 94-Janakkala și 2-Branstad (Fig. 11).

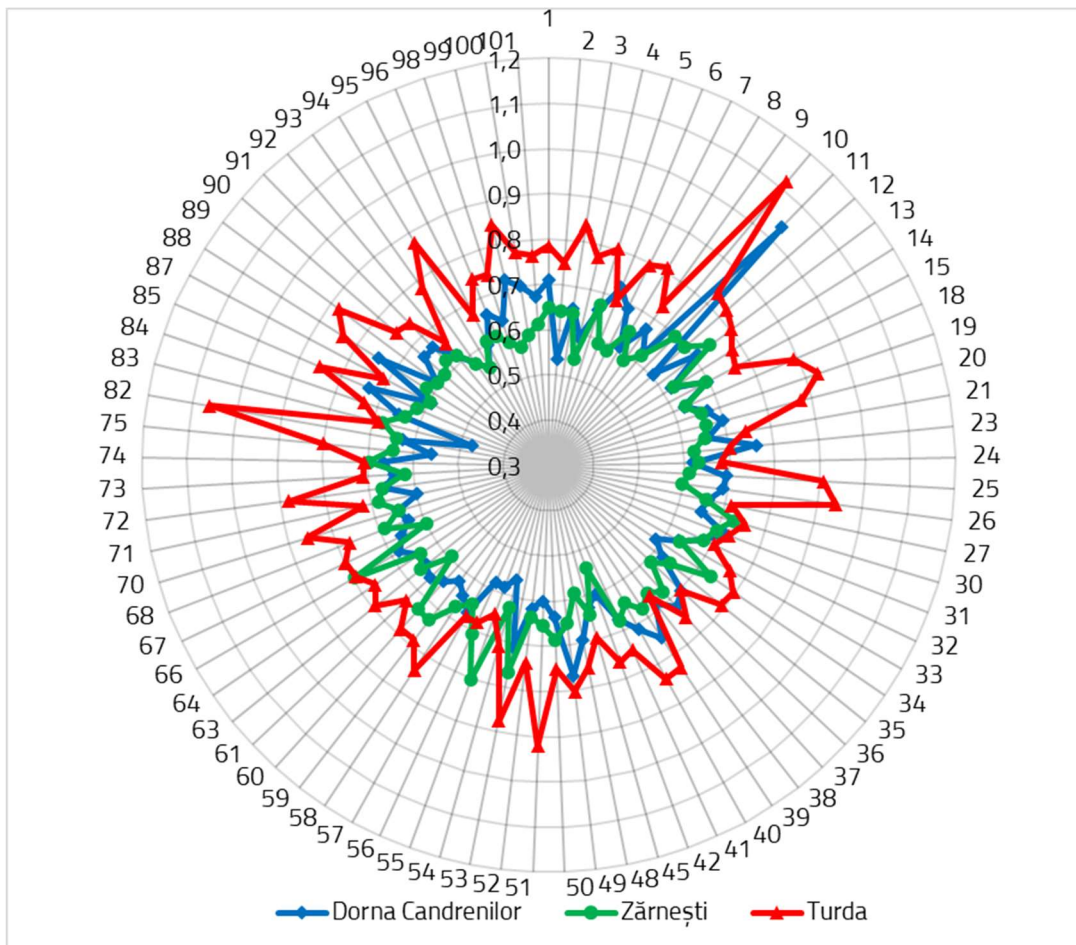


Fig. 11. Variația creșterilor lemnului târziu ale proveniențelor de molid pentru perioada 1981-2020

Valoarea medie a LTA în cultura comparativă Zărnești a fost apropiată de cea din cultura comparativă Dorna Candrenilor,  $0,65 \pm 0,05$  mm. Valorile medii ale proveniențelor au fost cuprinse între 0,54 mm, proveniențele 4-Bagstad, din Europa de Nord, și 42-Rotlgut Liezen, din Alpii Estici, și 0,81 mm, proveniența 55-Munkahus, din Europa de Nord. Alte proveniențele cu valori medii ridicate ale LTA, de peste 0,74 mm au fost: 66- Marginea, 53-Neustift, 13-Saint Laurent II, 34-Borki, Proveniența 94-Janakkala, din Europa de Nord, a avut și în această cultură comparativă o valoare redusă a mediei LTA, de 0,55 mm.

În cultura comparativă Turda a fost obținută cea mai mare valoare a LTA mediu pe cultură, de  $0,78 \pm 0,008$  mm. Alături de proveniența 92-Padasjoki, 55-Munkahus, din Europa de Nord, care a fost cea mai bună în cultura comparativă Zărnești, au avut cele mai mici valori medii ale LTA în această cultură comparativă, de 0,65 mm. Valoarea maximă a LTA mediu a fost obținută de proveniența 10-Plan de Cosaques, din Franța, 1,12 mm, urmată de 82-Sund, 26- Winterthur, 19-Kerns, 51-Herfenberg și 25- Wassen, toate cu valori de peste 0,90 mm.

#### 4.1.7.4. Procentul de lemn târziu

Valoarea medie a LTP în cultura comparativă Dorna Candrenilor a fost de  $27,06 \pm 1,54\%$ , valorile medii ale proveniențelor fiind cuprinse între 23,98%, proveniența 95-Tuusula, din Europa de Nord, și 32,72%, proveniența 11- Morzine, din Alpii Vestici (Fig. 12).

LTP mediu în cultura comparativă Zărnești a fost de  $27,78 \pm 1,65\%$ . Valorile medii ale proveniențelor au fost cuprinse între 24,09%, proveniența 50- Hoyos-Ernest-reith, și 32,06%, proveniența 66- Marginea. Proveniențele 83- Bramarv, 93- Urjala, 6- Straiture I, 85- Heinola și 95- Tuusula au avut LTP mediu de sub 25 %.

În cultura comparativă Turda a fost obținută cea mai mare valoare medie a LTP, de  $30,76 \pm 1,62\%$ . Proveniențele au obținut valori medii cuprinse între 26,89%, proveniența 92- Padasjoki, și 35,57%, proveniența 93-Urjala, ambele din Europa de Nord.

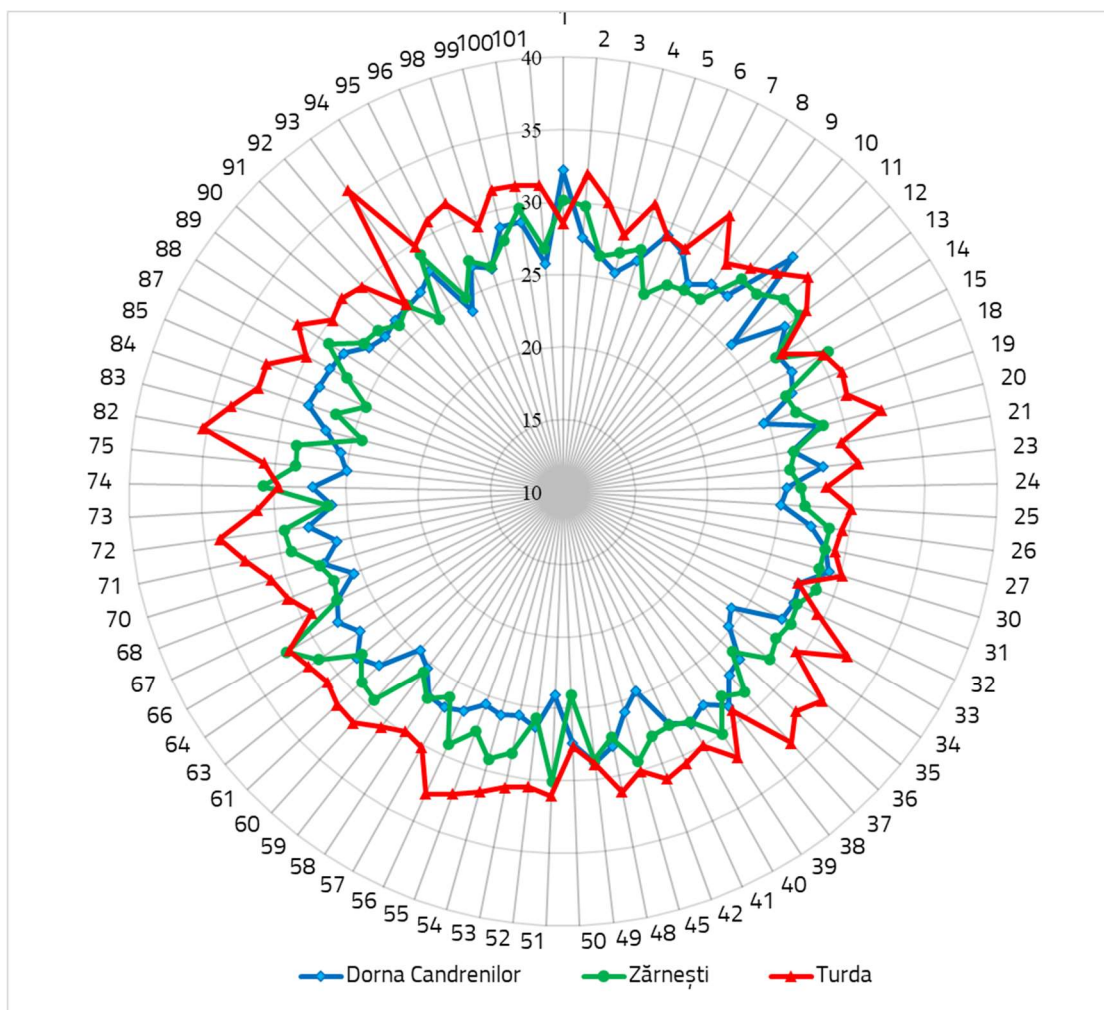


Fig. 12. Variația procentului de lemn târziu al proveniențelor de molid pentru perioada 1981-2020

#### 4.1.8. Densitatea convenţională a lemnului

Diferenţe semnificative între provenienţele de molid în ceea ce priveşte densitatea lemnului au fost observate doar în cultura comparativă Dorna Candrenilor (Tabel 5). În această cultură comparativă, valorile medii ale DCL ale provenienţelor au fost între 0,311 g/cm<sup>3</sup>, provenienţa 89-Pielisjarvi, şi 0,356 g/cm<sup>3</sup>, provenienţa 56-Anfasterod, ambele din Europa de Nord (Fig. 13).

Tabel 5. Analiza variabilităţii densităţii convenţionale a lemnului în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani

	Dorna Candrenilor	Zărneşti	Turda
LRTp	7,821 **	0,065 ns	1,577 ns
Vp	0,000	0,000	0,000
Vr	0,006	0,001	0,001
MS r	0,001 ns	0,003*	0,000 ns
Media ± SD g/cm <sup>3</sup>	0,331 ± 0,026	0,341 ± 0,027	0,337 ± 0,031

\*, \*\*, \*\*\* – Semnificativ pentru probabilitatea de transgresiune de 5%, 1% şi 0,1%; ns – nesemnificativ,  $p > 0,05$ ; LRTp – testul raportului de probabilitate pentru efectul provenienţelor; Vp – varianţa efectului aleator al provenienţelor; Vr – varianţa reziduală; MS r – media pătratelor sumelor pentru repetiţie; SD – abaterea standard.

În cultura comparativă Turda, densitatea lemnului medie pe provenienţe a fost cuprinsă între 0,309 ± 0,044 g/cm<sup>3</sup>, provenienţa 93-Urjala, din Nordul Europei, şi 0,360 ± 0,051 g/cm<sup>3</sup>, provenienţa 26-Winterthur, din Alpii Centrali.

Densitatea medie a provenienţelor în cultura comparativă Zărneşti a fost cuprinsă între 0,320 ± 0,018 g/cm<sup>3</sup>, provenienţa 58-Aspas, din Nordul Europei, şi 0,365 ± 0,026 g/cm<sup>3</sup>, provenienţa 68-Breaza, din Carpaţii Orientali.

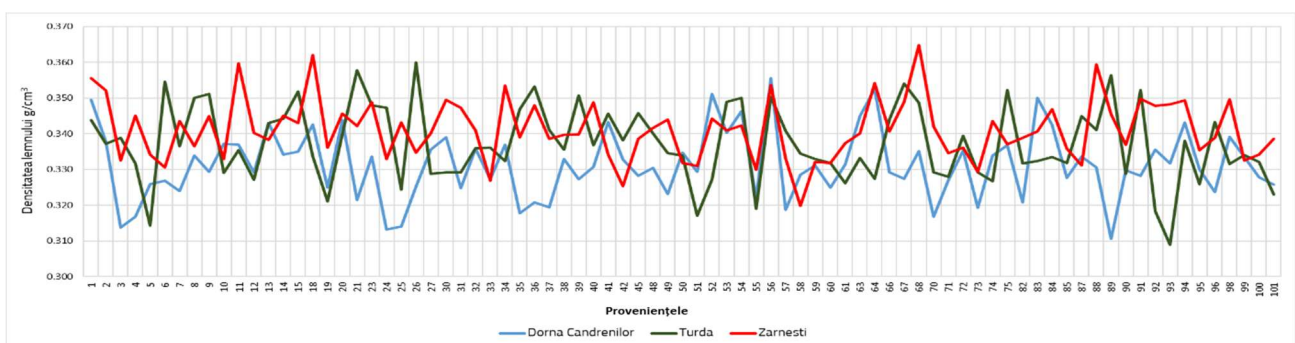


Fig. 13. Variaţia densităţii convenţionale a lemnului provenienţelor de molid în culturile comparative la vârsta de 49 de ani

## 4.1.9. Parametrii de reziliență

### 4.1.9.1. Determinarea anilor cu secetă extremă

În fiecare cultură comparativă au fost observate variații mari ale temperaturii medii anuale și ale precipitațiilor anuale (Fig. 14). Anul 2000 a înregistrat cea mai mică valoare a cantității de precipitații anuale pentru perioada analizată, în toate cele trei culturi comparative, cu valori cuprinse între 511 mm în cultura comparativă Turda, și 646 mm în cultura comparativă Zărnești. Cea mai mare valoare a temperaturii medii anuale a fost înregistrată pentru anul 2019, în toate culturile, cu valori cuprinse între 6,6 ° C, în cultura comparativă Turda, și 7,3° C în celelalte două culturi comparative.

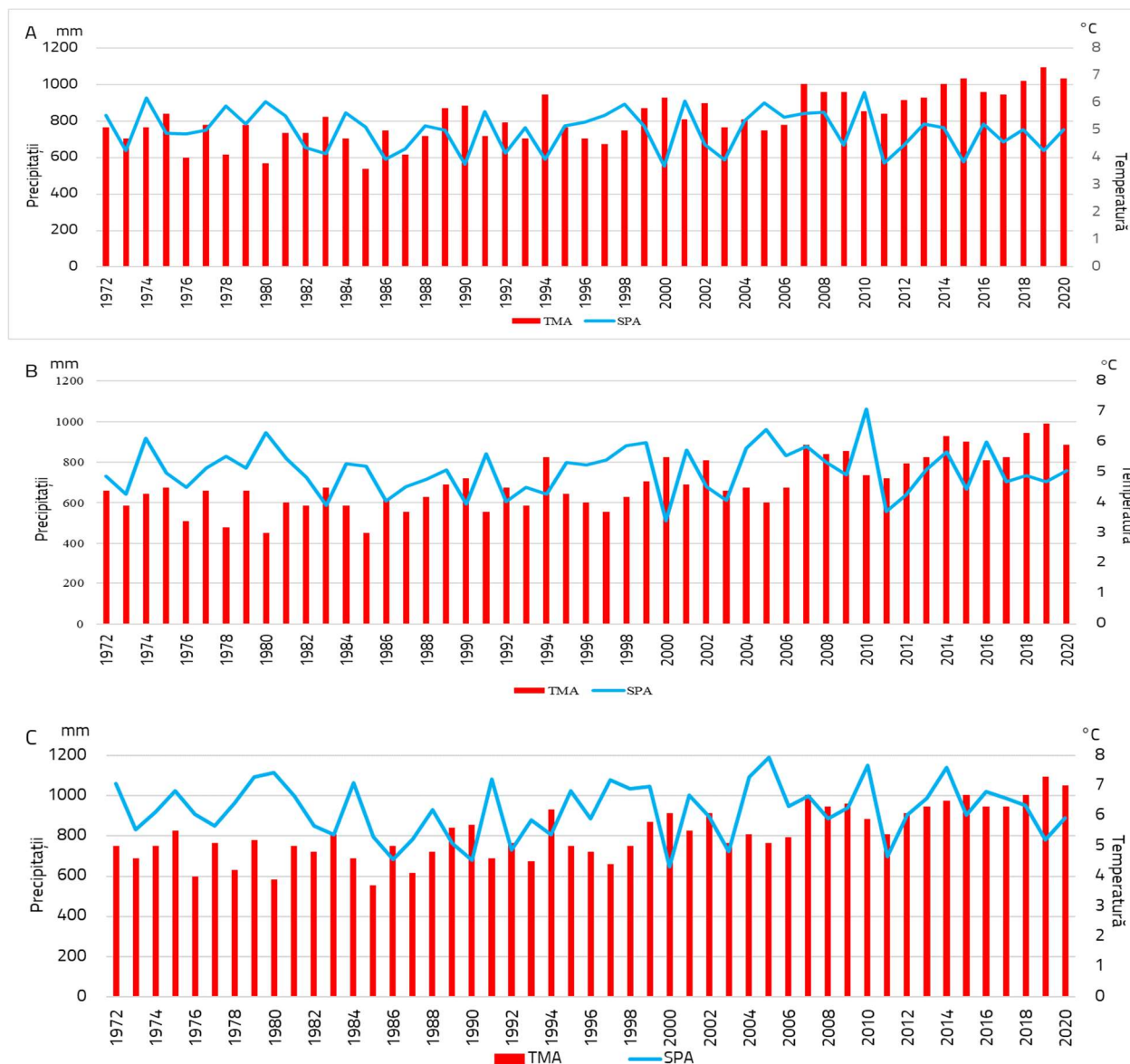


Fig. 14. Variația temperaturii medii anuale (TMA) și a sumei precipitațiilor anuale (SPA) pentru perioada 1972-2020; A – Dorna Candrenilor, B – Turda, C – Zărnești

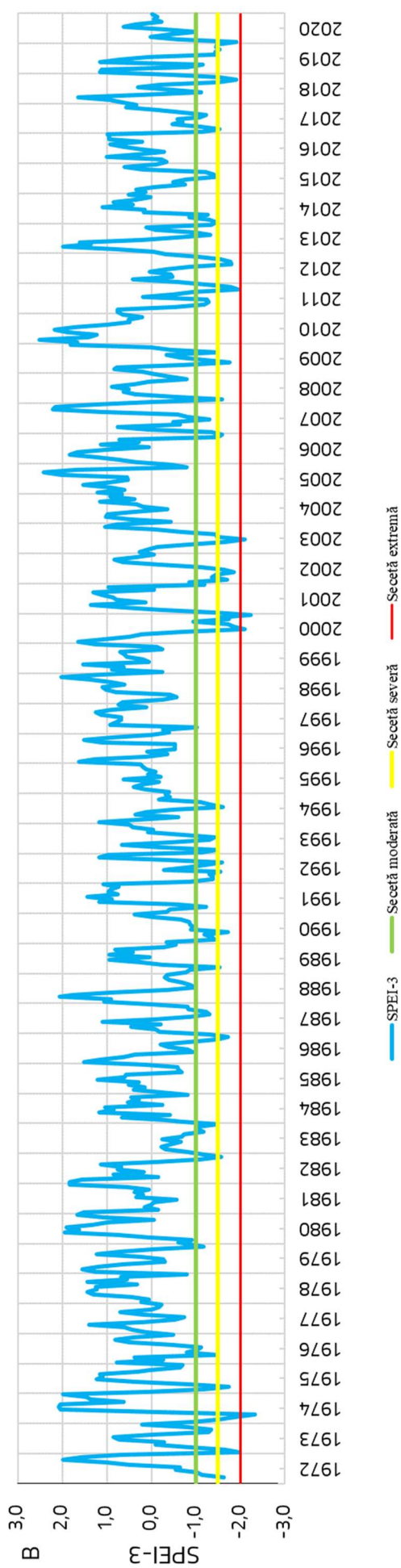
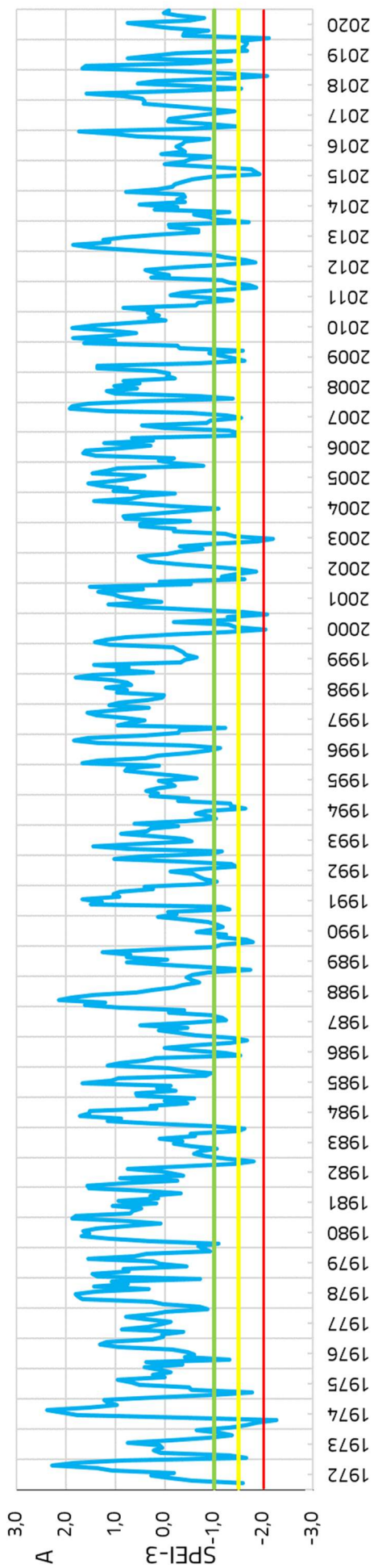
Pentru perioada 1972-2020, s-au identificat anii cu secete moderate, severe și extreme pe baza SPEI-3 (Fig. 15). Un număr de douăzeci și trei de ani cu secete severe și extreme au fost identificați pentru culturile

Dorna Candrenilor și Turda, iar pentru cultura comparativă Zărnești, numărul a fost de douăzeci și patru (Tabel 6).

Tabel 6. Anii și lunile în care au fost identificate secete severe și extreme (bold) pe baza SPEI-3 în fiecare cultură comparativă de proveniențe de molid

Anul	Lunile cu secete severe și extreme		
	Dorna Candrenilor	Turda	Zărnești
1972	Martie	Martie	Martie, Aprilie
1973	Ianuarie	Ianuarie, Februarie	-
1974	Febr., Martie, <b>Aprilie</b>	Febr., Martie, <b>Aprilie</b>	Febr., Martie, Aprilie
1975	Martie	Martie	Martie
1977	-	-	Decembrie
1978	-	-	Ianuarie
1982	Noiembrie	Noiembrie	Noiembrie
1983	Decembrie	Decembrie	Aprilie
1986	Mai, Noiembrie	Noiembrie	Mai, Octombrie
1989	Martie	Martie	Martie
1990	Febr., Martie	Mai	Martie
1992	-	Mai, Septembrie	Septembrie
1994	Iulie	Iulie	-
1996	-	-	Iulie
2000	<b>Iunie, Decembrie</b>	<b>Iunie, Iulie, August, Octombrie, Noiembrie, Decembrie</b>	Iunie, Iulie, August, <b>Decembrie</b>
2001	Ianuarie	-	Ianuarie
2002	Febr., Mai, Iunie	Febr., Mai, Iunie	Febr., Mai, Iunie
2003	Mai, <b>Iunie</b>	Mai, <b>Iunie</b>	Mai, <b>Iunie, Iulie</b> , August
2006	-	Decembrie	Decembrie
2007	Iunie	-	Iunie, <b>Iulie</b>
2008	-	Februarie	-
2009	Mai, Septembrie	Mai	-
2011	Oct., Noiembrie	Octombrie, Noiembrie	Octombrie, Noiembrie
2012	Aug, Septembrie	August-Octombrie	August, Septembrie
2013	Decembrie	-	-
2015	Iulie, August, Septembrie	-	Iulie
2017	-	Februarie	-
2018	Mai, <b>Octombrie</b>	Septembrie, Octombrie, Noiembrie	Mai, <b>Octombrie</b>
2019	August-Decembrie	Octombrie	August, Septembrie, Noiembrie, Decembrie
2020	<b>Ianuarie</b>	Ianuarie	Ianuarie

Numărul de ani cu secete extreme a variat între culturi, fiind cuprins între trei în cultura comparativă Turda, și cinci în cultura Dorna Candrenilor. Anii cu secetă extremă, comuni celor trei culturi comparative, au fost 2000 și 2003. În anul 2000 s-au înregistrat cele mai mici valori ale sumei precipitațiilor anuale, în toate cele trei culturi: 511 mm la Turda, 553 mm la Dorna Candrenilor și 646 mm la Zărnești.



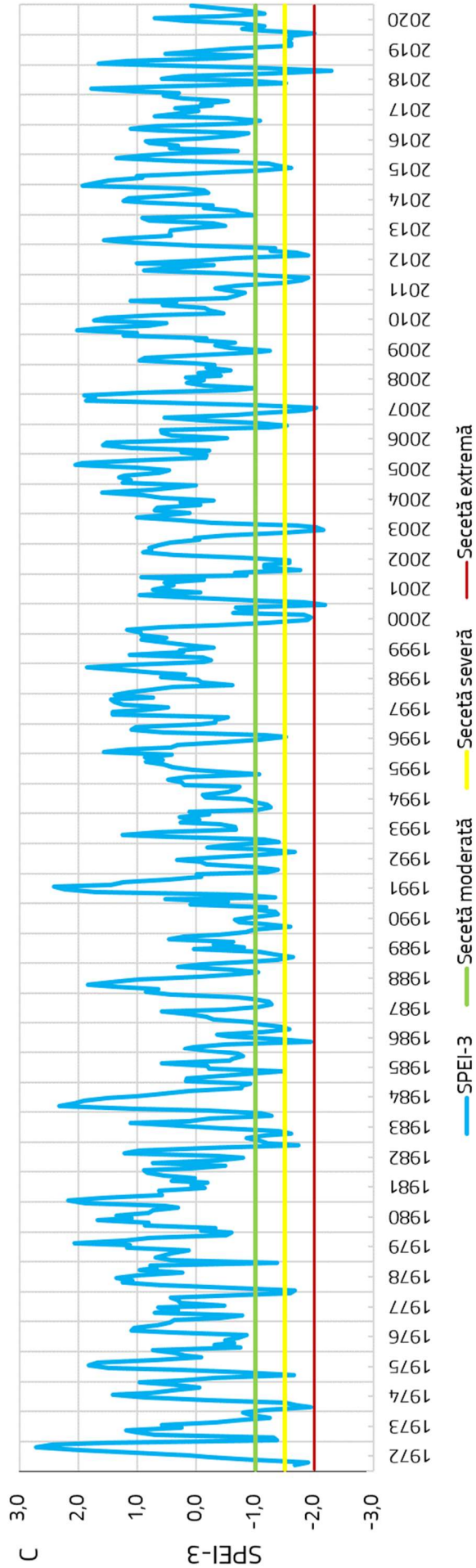


Fig. 15. Variația indicelui standardizat de precipitații și evapotranspirație, calculat pentru 3 luni (SPEI-3) pentru culturile comparative de proveniențe de molid, pentru perioada 1972-2020; A - Dorna Candrenilor, B - Turda, C - Zărnești



Variația anilor caracteristici este redată în Fig. 16.

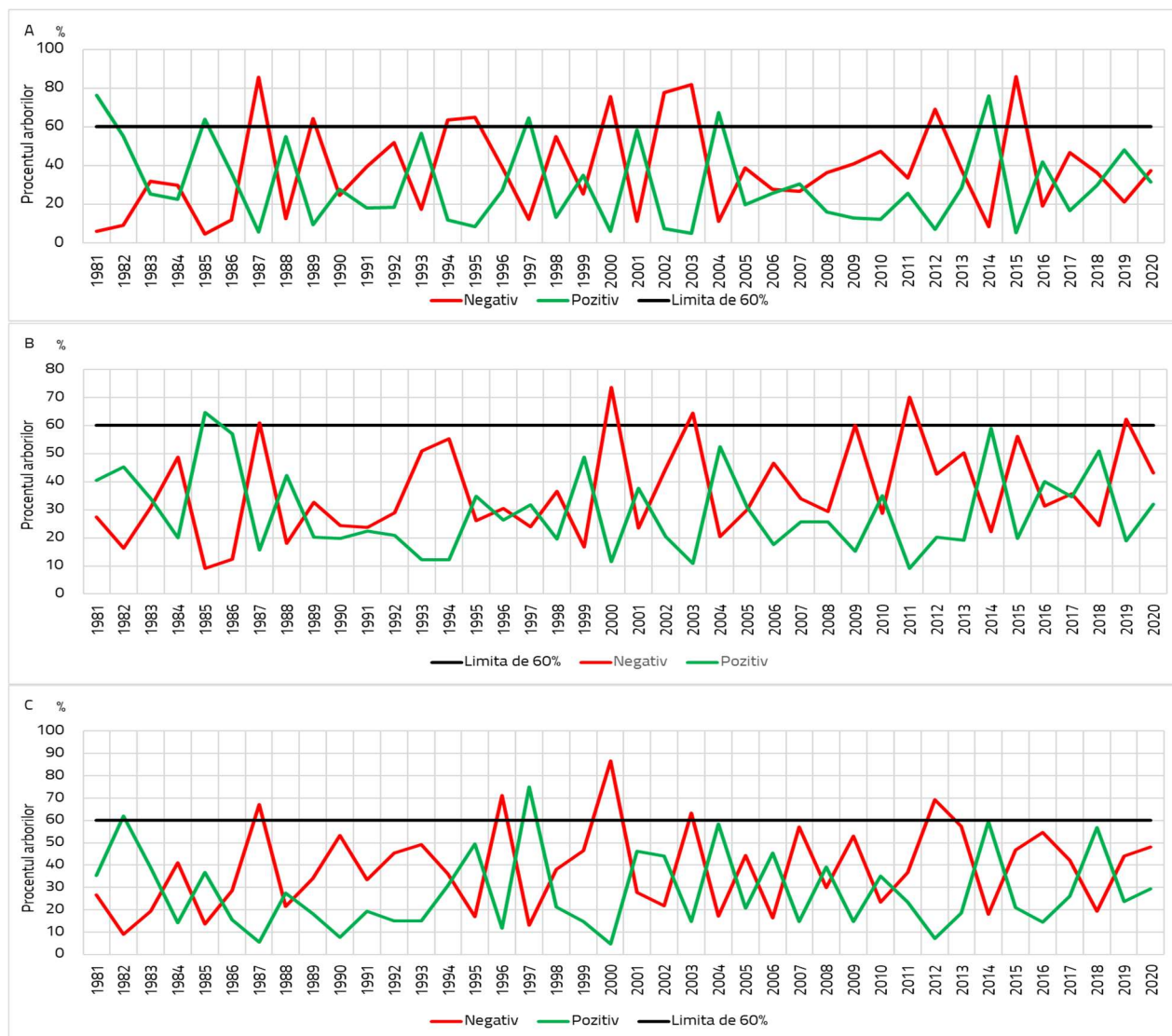


Fig. 16. Variația anilor caracteristici pentru perioada 1981-2020 în culturile comparative de proveniențe de molid; A - Dorna Candrenilor, B - Turda, C - Zărnești

Numărul anilor caracteristici negativi, în care mai mult de 60% dintre arbori au fost afectați, a variat între cinci, în culturile comparative Zărnești și Turda, și nouă, în cultura comparativă Dorna Candrenilor. Prin această analiză, au fost confirmate evenimentele extreme de secetă din 2000 și 2003, rezultate pe baza SPEI-3, comune celor trei culturi comparative.

Anul 2000 a fost cel în care s-a înregistrat cel mai mare procent de arbori afectați de secetă în culturile comparative Turda și Zărnești. În cultura Dorna Candrenilor au fost patru ani în care procentul de arbori afectați a fost mai mare decât cel din 2000: 1987, 2002, 2003 și 2015.

#### 4.1.9.2. Parametrii de reziliență ai proveniențelor pentru secetele extreme din anii 2000 și 2003

Analizând răspunsul diferit al proveniențelor la seceta din 2000, diferențe semnificative au fost observate între proveniențe pentru toți parametrii de reziliență ai arborilor în cultura comparativă Zărnești. În cultura comparativă Turda, diferențele între proveniențe au fost semnificative pentru toți indicii, cu excepția rezilienței. În schimb, în cultura Dorna Candrenilor, reziliența a fost singurul parametru pentru care diferențele dintre proveniențe au fost semnificative.

Episodul de secetă din anul 2000 a avut un impact diferit în cele trei culturi comparative de proveniențe de molid. Cel mai puternic impact a avut loc în cultura comparativă Zărnești, unde nici măcar o proveniență nu a avut o Rezist medie mai mare de 1; cu alte cuvinte, toate proveniențele au fost afectate. Cele mai bune valori ale rezistenței (Fig. 17) au fost obținute în culturile Turda și Dorna Candrenilor, media pe cultură fiind de 0,89 și 0,88, mai mari cu 21,92% și 20,55% decât valoarea medie din cultura Zărnești.

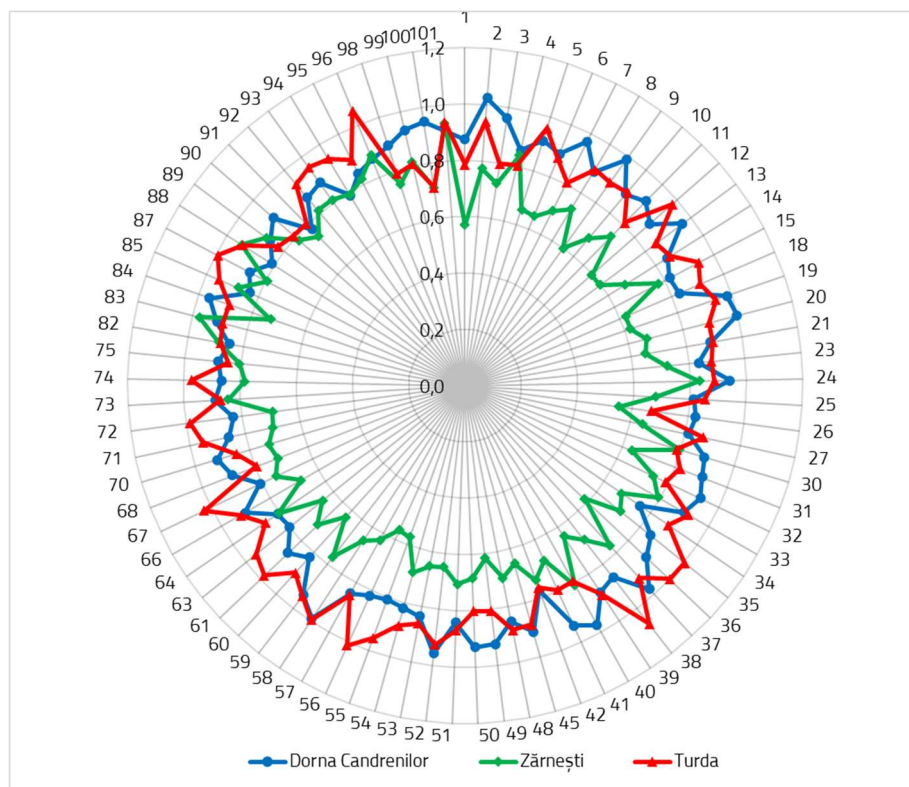


Fig. 17. Variația rezistenței la seceta extremă din anul 2000 a proveniențelor de molid

Cea mai mare amplitudine a rezistenței medii a proveniențelor a fost în cultura comparativă Zărnești, valorile fiind cuprinse între 0,55, proveniența 26-Winterthur, și 0,97, proveniența 83-Bramarv. Media rezistenței acestei culturi a fost de 0,72, cea mai mică dintre cele trei.

În cultura comparativă Turda, proveniențele au obținut o rezistență medie cuprinsă între 0,67, tot proveniența 26-Winterthur, și 1,07, realizată de proveniența 38-Val Di Fiemme.

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, valorile medii ale rezistenței proveniențelor au fost cuprinse între 0,75, proveniența 34- Borki, și 1,02, proveniența 2- Branstad.

Valorile medii ale recuperării corespunzătoare secetei extreme din anul 2000 sunt redată în Fig. 18.

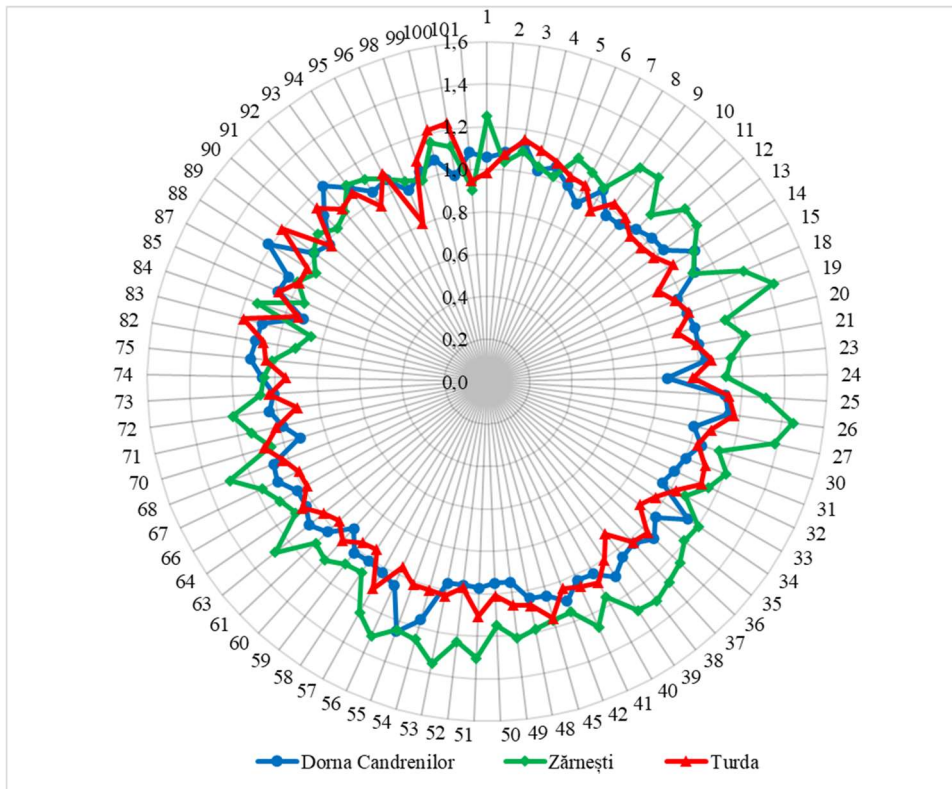


Fig. 18. Variația recuperării proveniențelor de molid, după seceta extremă din anul 2000

În ceea ce privește valoarea medie a recuperării proveniențelor de molid din anul 2000 din cultura comparativă Zărnești, doar cinci proveniențe au obținut valori mai mici de unu: 88-Pualanka, 85-Heinola, 82-Sund, 101-Valke Karlovice și 83-Bramarv. Maximul a fost obținut de proveniența 26-Winterthur, 1,45.

În cultura comparativă Dorna Candrenilor numărul de proveniențe cu valori ale recuperării medii sub unu a fost de 20, valorile fiind cuprinse între 0,85, proveniența 24-Tagevillen și 1,25, proveniența 55-Munkahus.

În cultura comparativă Turda a fost înregistrat cel mai mare număr de proveniențe ce nu au reușit o recuperare medie de peste unu, mai exact 28. Valorile medii ale recuperării în această cultură comparativă au fost cuprinse între 0,81, proveniența 96-Rila, și 1,23, proveniența 100-Kasperske Hory.

În ceea ce privește recuperarea medie pe culturi, cea mai mare valoare a fost obținută în cultura comparativă Zărnești (1,15). În culturile Dorna Candrenilor și Turda, aceasta a fost de 1,04, respectiv 1,03.

Nicio proveniență nu a obținut o valoare medie a rezilienței din anul 2000 mai mare de unu în cultura comparativă Zărnești, valorile fiind cuprinse între 0,65, proveniența 5- Seljord, și 0,95, proveniența 37-Latemar (Fig. 19).

Proveniențele din Europa de Nord: 2-Branstad, 3-Sandar, 92-Padasjoki, și 55-Munkahus, au fost cele care au avut o reziliență mai mare de unu în cultura comparativă Dorna Candrenilor, pentru seceta extremă din anul 2000. Restul proveniențelor au avut valori cuprinse între 0,76, proveniența 60-Keletbukki Allami, și 0,99, proveniența 20-Le Brassus.

În cultura comparativă Turda, valori medii ale rezilienței mai mari de unu au fost obținute de proveniențele 83-Bramarv (1,06) și 5-Seljord (1,05). Proveniențele 93-Urjala și 85-Heinola au avut o reziliență medie egală cu unu, iar cea mai mică valoare a fost de 0,75, obținută de proveniența 1-Senum. Proveniența românească 67-Frasin și proveniența 45-Hollenburg au avut o reziliență medie de 0,99.

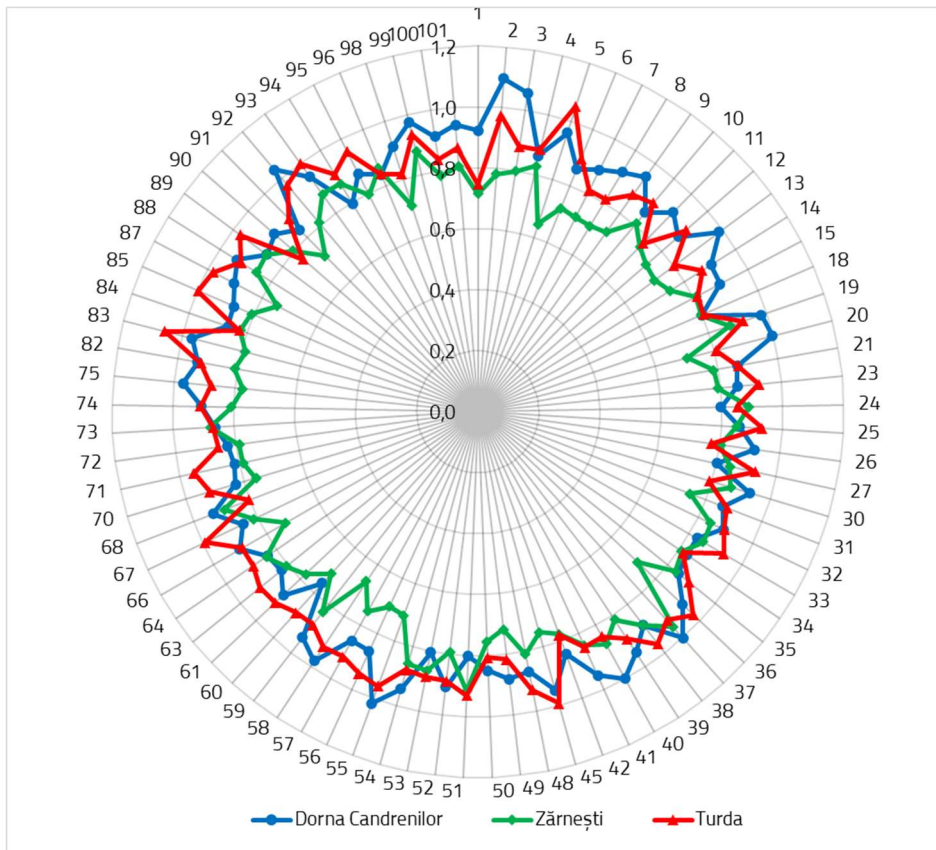


Fig. 19. Variația rezilienței la seceta extremă din anul 2000 a proveniențelor de molid

Cea mai mare valoare medie a rezilienței din anul 2000 a fost obținută în cultura Dorna Candrenilor (0,90), urmată de Turda (0,89) și Zărnești (0,80).

Variația rezilienței relative a proveniențelor de molid la seceta extremă din anul 2000 este reprezentată în Fig. 20.

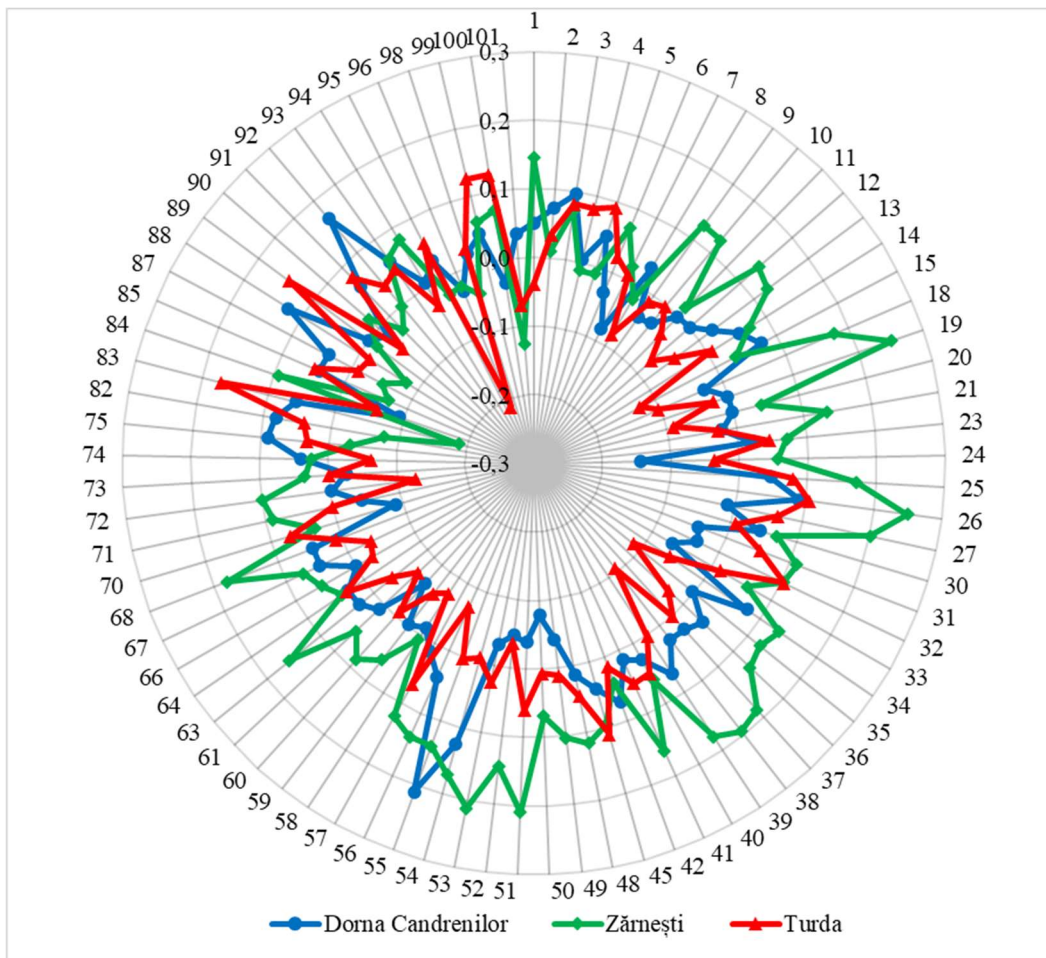


Fig. 20. Variația rezilienței relative a proveniențelor de molid la seceta extremă din anul 2000

În cultura comparativă Zărnești a fost obținută cea mai mare valoare a rezilienței relative medii, iar cea mai mică a fost obținută în cultura Turda.

Pentru seceta extremă din 2003, s-au observat diferențe semnificative între proveniențe în cultura comparativă Zărnești, pentru toți parametrii de reziliență (Fig. 21). În celelalte două culturi, diferențele dintre proveniențe nu au fost semnificative din punct de vedere statistic.

Proveniențele de molid au avut o capacitatea de revitalizare bună după episodul de secetă din 2003, în cultura Zărnești. Cu excepția proveniențelor 93-Urjala și 83-Bramarv, care au obținut o recuperare de 0,99, toate celelalte proveniențe au avut valori de peste 1, maximul fiind obținut de proveniența 8-La Ganne.

În ceea ce privește reziliența proveniențelor la episodul de secetă din 2003, proveniențele de molid au obținut valori cuprinse între 1, proveniența 15- Gerardmer I, și 1,43, proveniența 39- Klaunz Bannwald.

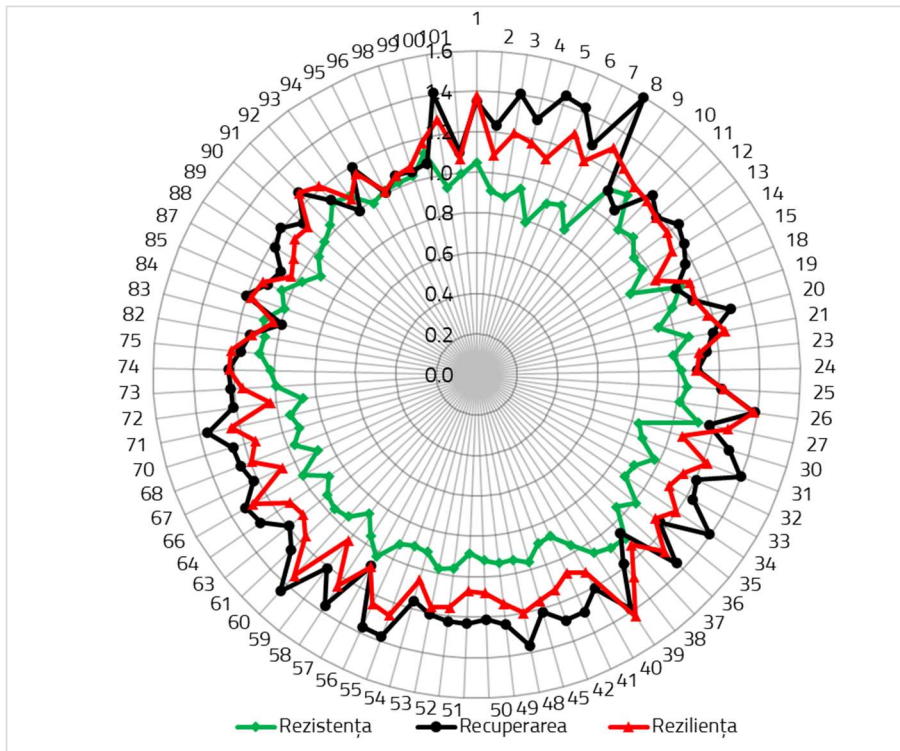


Fig. 21. Variația rezistenței, a recuperării și a rezilienței proveniențelor de molid la seceta extremă din anul 2003 în cultura Zărnești

O proveniență valoroasă este 25-Wassen, din Alpii Centrali; cu o medie a CA cuprinsă între 3,11 și 3,52 mm, realizate în culturile comparative Dorna Candrenilor, respectiv Turda, clasându-se pe primul, respectiv al treilea loc. În cultura comparativă Zărnești, a avut o CA de 2,58 mm, fiind clasată deasupra mediei, pe locul 32. Seceta din anul 2000 a dus la reduceri ale creșterii anuale a sa de 15% în Cultura Turda și de 34%, în cultura Zărnești, valorile Rezist fiind de 0,85, respectiv 0,66 în cele două culturi. Valorile medii ale Recup din cele trei culturi comparative au fost bune, mai mari de 1, fiind cuprinse între 1,12, în Dorna Candrenilor, și 1,38 în Zărnești. Rezil medie a acestei proveniențe a fost ceva mai bună decât cea a provenienței 53, valorile fiind cuprinse între 0,86 și 0,93.

Proveniența 19-Kerns, tot din Alpii Centrali, a avut creșteri bune în toate cele trei culturi comparative și o recuperare medie bună – valori cuprinse între 0,99 în Dorna Candrenilor și 1,42 în Zărnești. Rezistența medie din Dorna Candrenilor a fost de 0,98, și de 0,86 în Turda. În cultura comparativă Zărnești, a fost mai puternic afectată de seceta din 2000 decât în celelalte culturi comparative, CA fiind redusă cu 38% față de cei trei ani de dinainte, valoarea rezistenței fiind de doar 0,62.

Dintre proveniențele românești, 75-Broșteni a avut creștere anuală în diametru peste medie în culturile comparative Dorna Candrenilor și Turda (2,92 mm), și sub medie în Zărnești (2,42 mm). A fost mai puțin afectată de seceta din 2000, creșterea medie anuală fiind mai redusă cu 12% în Dorna Candrenilor și cu 19% în Zărnești, rezistența medie fiind de 0,88, respectiv 0,81. Valorile medii ale recuperării au fost de peste 1 în toate cele trei culturi comparative, iar reziliența medie a fost de 0,97 în Dorna Candrenilor, 0,88 în Turda și 0,77 în Zărnești.

Şi provenienţa 70-Coşna, tot românească, a avut performanţe bune în ceea ce priveşte CA în cele trei culturi comparative. În cultura comparativă Dorna Candrenilor a fost afectată doar 8% de seceta din 2000, având o rezistenţă de 0,92. A fost mai puternic afectată în Zărneşti decât provenienţa 75, cu un procent de 27%, rezistenţa acesteia pentru anul 2000 fiind de 0,73, dar a avut o recuperare mare în această cultură. Rezilienţa a fost apropiată de medie în toate cele trei culturi comparative.

#### 4.1.10. Discuţii

Variabilitatea genetică ridicată dintre populaţii este datorată arealului vast al provenienţelor testate, ce cuprinde cele trei regiuni de recolonizare post-glaciară din Europa: Scandinavă, Hercino-Carpatică şi cea Alpină. Condiţiile staţionale cu climate diferite (continental în Nord, temperat-continental în Sud şi continental cu influenţe oceanice în Vest) au avut de asemenea un rol important în nivelul ridicat de variaţie obţinut.

În cultura comparativă Dorna Candrenilor au fost obţinute cele mai bune performanţe. Între culturile comparative Zărneşti şi Turda nu au fost diferenţe din punct de vedere statistic, în ceea ce priveşte diametrul la 1,30 m şi înălţimea totală.

Performanţele ridicate obţinute în cultura Dorna Candrenilor se datorează şi tipului de staţiune al acesteia, de bonitate superioară (Tabel 1). Bonitatea staţiunii din cultura Turda este medie, iar cea din cultura Zărneşti este medie-inferioară.

Valorile medii pe cultură ale diametrului la 1,30 m au fost cuprinse între  $21,14 \pm 4,76$  şi  $23,75 \pm 5,58$  cm, în culturile Zărneşti, respectiv Dorna Candrenilor. În ceea ce priveşte înălţimea totală, aceasta a avut valori medii pe cultură cuprinse între  $21,43 \pm 3,53$  şi  $25,90 \pm 3,24$  m, în culturile Zărneşti, respectiv Dorna Candrenilor.

Într-o cultură comparativă din Estul Letoniei, în care au fost testate 20 de clone de molid şi două scheme de plantare, procentul de supravieţuire la 50 de ani a fost de 30,3%, pentru schema de plantare de 1 x 3 m, respectiv de 69,5%, pentru schema de plantare de 5 x 5 m [158]. Pentru schema de plantare de 1 x 3 m, valorile medii ale diametrului şi ale înălţimii totale la 50 de ani au fost de  $24,3 \pm 0,6$  cm, respectiv  $21,5 \pm 0,3$  m. Pentru schema de plantare 5 x 5 m, valorile medii au fost de  $36,5 \pm 0,7$  cm şi de  $25,1 \pm 0,3$  m, pentru diametrul la 1,30 m, respectiv înălţimea totală [158]. Valorile medii ale clonelor din schema de plantare de 5 x 5 m au fost cuprinse între  $31,9 \pm 5,6 - 43,9 \pm 5,4$  cm, pentru diametrul la 1,30 m, respectiv  $20,9 \pm 6,6 - 28,1 \pm 1,1$  m pentru înălţimea totală [159].

O densitate a lemnului redusă se regăseşte la specii precum bradul şi molidul, cu valori de 0,358-0,378 g/cm<sup>3</sup> [160], [161]. În culturile studiate în această lucrare, valorile medii ale culturilor comparative pentru densitatea lemnului au fost ceva mai mici, cea mai mare valoare fiind înregistrată în cultura comparativă Zărneşti,  $0,341 \pm 0,027$  g/cm<sup>3</sup>. Iar cea mai mică valoare a fost obţinută în cultura comparativă Dorna Candrenilor,  $0,331 \pm 0,026$  g/cm<sup>3</sup>, cu 2,85% mai mică faţă de cea obţinută în cultura comparativă Zărneşti. Valori apropiate au fost obţinute şi pentru alte două culturi comparative de molid în România, 0,348 şi 0,329 g/cm<sup>3</sup> [162].

Densitatea convenţională a lemnului are un rol important în stabilitatea mecanică a arborilor, rezistenţa lemnului, conţinutul energetic, precum şi în stocarea carbonului [163], [164], [165]. Selecţionarea

provenienţelor cu cea mai mare densitate convenţională a lemnului poate duce la îmbunătăţirea acestor proprietăţi.

Episodul de secetă extremă din anul 2000 a avut impact diferit în cele trei culturi comparative. Cel mai mare a fost în cultura comparativă Zărneşti, unde toate provenienţele au fost afectate, au avut valori medii ale rezistenţei subunitare. Doar în această cultură au fost observate diferenţe semnificative între provenienţe în ceea ce priveşte parametrii de rezilienţă pentru episodul de secetă din 2003. O diminuare cu 10-35% a creşterii anuale în diametru a molidului, determinată de secetele din anii 2000 şi 2003 a fost observată şi în studiul lui Bosela et al. [166].

Trebuie notat faptul că recuperarea, rezilienţa şi rezilienţa relativă calculate pentru anul 2000 au fost influenţate de seceta severă din 2002, precum şi de seceta severă din 2003, ce au avut loc în toate cele trei culturi comparative. În plus, o secetă severă a fost şi în ianuarie 2001, în culturile comparative Dorna Candrenilor şi Zărneşti. Evident, rezistenţa calculată pentru anul 2003 a fost afectată de aceste evenimente. Studiile viitoare ar trebui să urmărească evenimente extreme ce sunt mai distanţate temporal, un lucru ce devine din ce în ce mai dificil, luând în considerare evenimentele recente din Europa, din perioada 2018-2022 [167], sau proiecţiile climatice pentru România [168].

În România, începând cu anul 1901, fiecare deceniu a avut între 1 şi 4 ani cu evenimente extreme de secetă sau precipitaţii extreme. Numărul de secete identificate a crescut începând cu 1981 [169]. Se preconizează o reducere a precipitaţiilor anuale, în special în partea de sud-est a ţării [170].

O pondere mare de arbori afectaţi în ceea ce priveşte creşterea anuală în diametru a fost înregistrată în 1987, în toate cele trei culturi comparative. Conform Meteo România, în acest an s-a înregistrat cea mai mică valoare medie a temperaturii lunii martie din perioada 1961-2022, de -2 °C. Cultura comparativă Dorna Candrenilor, unde procentul de arbori afectaţi a depăşit 80% în anul 1987, se află la aproximativ 10 km de localitatea Poiana Stampei, unde o staţie meteorologică a înregistrat o temperatură minimă absolută de -30,0 °C pentru perioada de 3-5 martie 1987 [171]. Astfel, este posibil ca arborii să fi fost afectaţi de ger în acel an.

Diferenţe semnificative doar între rezistenţa şi rezilienţa provenienţelor de larice au fost evidenţiate şi într-o cultură comparativă din nord-estul Austriei, la vârsta de 50 de ani [172].



## **4.2. Corelațiile dintre caracteristicile analizate și dintre acestea și locul de origine al proveniențelor**

### **4.2.1. Corelațiile dintre caracteristicile de creștere, procentul de supraviețuire și densitatea convențională a lemnului și gradientii geografici de origine ai proveniențelor**

Diametrul la 1,30 m a fost corelat semnificativ și pozitiv cu altitudinea de origine a proveniențelor în culturile Dorna Candrenilor și Turda. Corelația dintre diametru și latitudine, fie că este vorba de cea reală sau cea corectată, au fost negative, în toate cele trei culturi.

Înălțimea totală a fost corelată negativ cu latitudinea corectată a proveniențelor în toate cele trei culturi și cu latitudinea de origine a proveniențelor în culturile Dorna Candrenilor și Zărnești. În cultura Turda, înălțimea totală a fost corelată pozitiv cu longitudinea proveniențelor.

Înălțimea elagată a fost corelată semnificativ și pozitiv cu altitudinea de origine a proveniențelor și negativ cu latitudinea de origine a proveniențelor în culturile Dorna Candrenilor și Zărnești. În cultura Turda, înălțimea elagată a fost corelată pozitiv cu longitudinea proveniențelor.

Procentul de supraviețuire a fost corelat semnificativ și negativ cu latitudinea corectată și latitudinea de origine a proveniențelor și pozitiv cu altitudinea de origine a acestora, în toate cele trei culturi comparative.

Lemnul târziu a fost corelat semnificativ și pozitiv cu altitudinea de origine a proveniențelor și negativ cu latitudinea și longitudinea proveniențelor, în cultura Dorna Candrenilor. În celelalte două culturi nu au existat corelații semnificative din punct de vedere statistic.

Lemnul timpuriu a fost corelat semnificativ cu altitudinea și negativ cu latitudinea de origine a proveniențelor, în cultura comparativă Dorna Candrenilor. În cultura Turda, lemnul timpuriu a fost corelat negativ cu longitudinea proveniențelor.

Procentul de lemn târziu a fost corelat semnificativ și negativ cu longitudinea de origine a proveniențelor în cultura Dorna Candrenilor; și la fel cu latitudinea corectată a proveniențelor în cultura Zărnești. În cultura Turda, procentul de lemn târziu a fost corelat semnificativ cu latitudinea corectată și cu longitudinea proveniențelor.

### **4.2.2. Corelațiile dintre parametrii de reziliență și gradientii geografici de origine ai proveniențelor**

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, altitudinea de origine a proveniențelor nu a fost corelată semnificativ cu niciun parametru de reziliență din anul 2000. Aceasta a fost corelată negativ cu reziliența și reziliența relativă în cultura Turda și pozitiv cu recuperarea și reziliența relativă în cultura Zărnești.

Latitudinea corectată a proveniențelor a fost corelată semnificativ și pozitiv cu recuperarea, reziliența și reziliența relativă în cultura Dorna Candrenilor, cu reziliența în cultura Turda și cu rezistența în cultura Zărnești. Aceasta a fost corelată negativ cu recuperarea și reziliența relativă a proveniențelor din cultura Zărnești.

Latitudinea de origine a provenienţelor a fost corelată semnificativ și pozitiv cu recuperarea și reziliența relativă a provenienţelor în cultura Dorna Candrenilor. În cultura Turda, corelațiile dintre latitudine și recuperarea, reziliența și reziliența relativă a provenienţelor au fost tot pozitive. În cultura Zărnești, latitudinea provenienţelor a fost corelată negativ cu recuperarea și reziliența relativă a provenienţelor și pozitiv cu rezistența lor.

Longitudinea de origine a provenienţelor a fost corelată negativ cu rezistența provenienţelor în cultura Dorna Candrenilor și pozitiv cu reziliența acestora în cultura Turda. În cultura Zărnești, longitudinea provenienţelor a fost corelată negativ cu recuperarea și reziliența relativă a provenienţelor și pozitiv cu reziliența și rezistența acestora.

#### 4.2.5. Discuții

În ceea ce privește corelațiile dintre lemnul târziu și timpuriu, și altitudinea de origine a provenienţelor, acestea au fost semnificative doar în cultura comparativă Dorna Candrenilor, proveniențele de la altitudini mai mari obținând creșteri mai mari decât cele de la altitudini mai joase.

Proveniențele de la altitudini ridicate au prezentat un procent de supraviețuire mai ridicat, coeficienții de corelație având valori cuprinse între 0,234, în cultura Zărnești, și 0,332, în cultura Turda.

Proveniențele originare din latitudini mari au prezentat în cele trei culturi valori reduse ale diametrului la 1,30 m, ale înălțimii totale și ale procentului de supraviețuire. Înălțimea totală nu a fost corelată semnificativ cu latitudinea în cultura Turda, dar cu latitudinea corectată corelația a fost pozitivă.

Nu s-au obținut corelații semnificative între densitatea convențională a lemnului și gradientii geografici ai provenienţelor. Între densitatea convențională a lemnului și celelalte caracteristici analizate, corelațiile au fost negative, slabe sau foarte slabe (Tabelele 12-14). Rezultate asemănătoare au fost publicate [173], [174], [175], [176], [177], [178], [179], [180]. În studiul lui Skråppa et al. [181] în Norvegia, în stadiul juvenil, corelația dintre densitatea lemnului și creșterea în înălțime a fost moderat spre puternic negativă. În două culturi comparative *half-sib* de molid din România, la vârsta de 25 de ani, corelațiile dintre densitatea convențională a lemnului și înălțime și diametrul la 1,30 m au fost de asemenea negative [182]. Într-un studiu în care s-au analizat 250 de arbori din 25 de plantații din Carpații României, cu vârste cuprinse între 1 și 12 ani, s-a remarcat o scădere rapidă a densității lemnului, o dată cu creșterea valorilor înălțimii și a diametrului la colet [70].

Comparând arborii rămași în picioare cu cei ce au murit, DeSoto et al. au observat că arborii uscați au fost mai puțin rezilienți la secetele anterioare și deci există o legătură între reziliența redusă la secetă și riscul de mortalitate [183]. În cultura Dorna Candrenilor, proveniențele cu un procent de supraviețuire ridicat au avut recuperare, reziliență și reziliență relativă reduse, în timp ce în cultura Zărnești, proveniențele cu un procent de supraviețuire ridicat au avut recuperare și reziliență relativă ridicate și rezistență redusă. O corelație negativă între procentul de supraviețuire și rezistența, precum și recuperarea au fost obținute și în cazul a 10 populații de pin maritim, *Pinus pinaster*, testate în două culturi comparative din Spania [184].

În ceea ce privește longitudinea, proveniențele estice au avut lemn târziu și un procent de lemn târziu mai mici decât cele vestice în cultura comparativă Dorna Candrenilor, iar în cultura comparativă Turda au realizat o creștere a lemnului timpuriu mai mică și un procent de lemn târziu mai mare. În cultura

comparativă Zărneşti nu au fost semnificative corelațiile dintre creșterile în diametru și lungitudinea proveniențelor.

Proveniențele ce au avut creșteri anuale mari, rezistență și/sau recuperare bună în toate cele trei culturi comparative sunt: 67-Frasin, 70-Coșna, 71-Moldovița, și 75-Broșteni, românești, din Carpații Orientali; 53-Neustift, 49-Redl-Zipf-Fuchsberg, 40-Wietersdf, din Alpii Estici; 19-Kerns și 25-Wassen, din Alpii Centrali; 31-Bremenhagen, din NE Germaniei; și 99-Zelesna Ruda, din Podișul Boemiei.

Diferențele dintre condițiile staționale ale culturilor sunt reflectate și în corelațiile dintre procentul de supraviețuire și recuperarea, reziliența și reziliența relativă a arborilor. Acestea au fost negative în cultura comparativa Dorna Candrenilor, care este situată în stațiune de productivitate superioară, și pozitive în cultura comparativă Zărnești.

## 4.3. Analiza influenţelor condiţiilor climatice asupra caracteristicilor biometrice ale provenienţelor de molid

### 4.3.1. Interacţiunea genotip x mediu şi stabilitatea performanţelor

Au fost evidenţiate diferenţe semnificative între provenienţe, pentru mai multe caracteristici. Efectul locului de testare a fost semnificativ pentru toate caracteristicile analizate, iar efectul interacţiunii provenienţă x cultură nu a fost semnificativ pentru D1,30m, Suprav şi DCL. Efectul repetiţiei în fiecare cultură comparativă a fost semnificativ pentru toate caracteristicile, cu excepţia D1,30m şi DCL.

Cele mai bune rezultate pentru HT, HE, D1,30m şi Duprav au fost obţinute în cultura Dorna Candrenilor (Fig. 22, 23, 24 şi 25). Media pe culturi a HT în cultura Dorna Candrenilor a fost cu 20,6% mai mare faţă de media culturii comparative Turda şi cu 20,9% mai mare faţă de media obţinută în cultura comparativă Zărneşti.

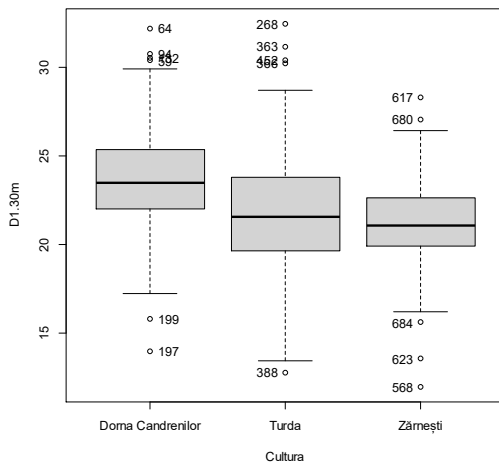


Fig. 22. Variaţia diametrului la 1,30 m în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani

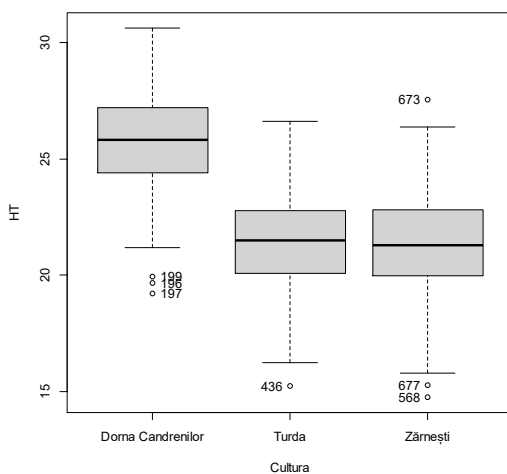


Fig. 23. Variaţia înălţimii totale în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani

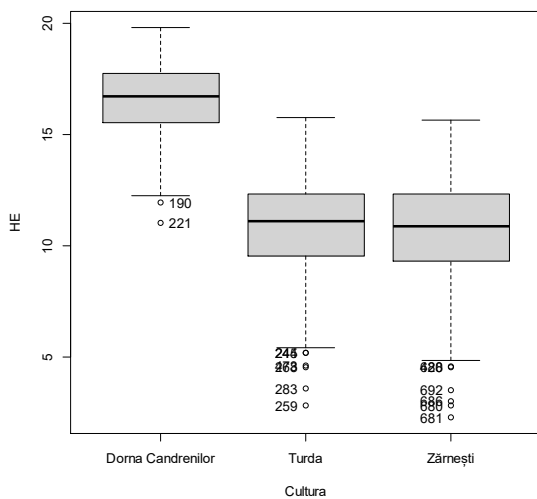


Fig. 24. Variația înălțimii elagate în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani

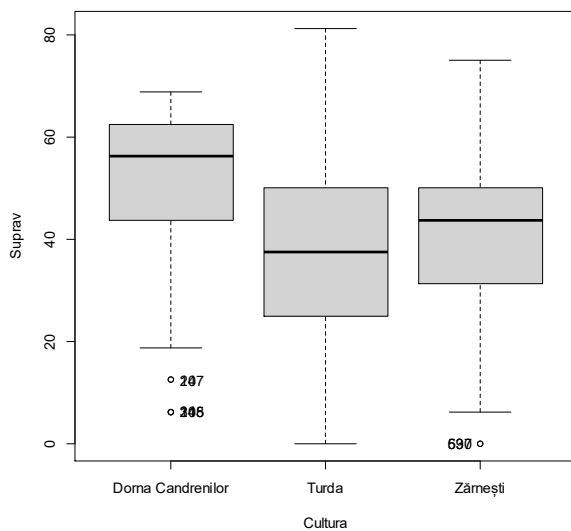


Fig. 25. Variația procentului de supraviețuire în fiecare cultură comparativă de molid, la vârsta de 49 de ani

Analizând varia genetică între culturi pentru DCL, proveniența și interacțiunea proveniență x cultură nu au fost semnificative. Între culturi au existat diferențe semnificative, deși nu impresionante: cea mai mare valoare a fost obținută în cultura comparativă Zărnești,  $0,341 \pm 0,032 \text{ g/cm}^3$ , iar în cultura Dorna Candrenilor a fost obținută o valoare cu 2,85% mai mică, de  $0,331 \pm 0,027 \text{ g/cm}^3$  (Fig. 26).

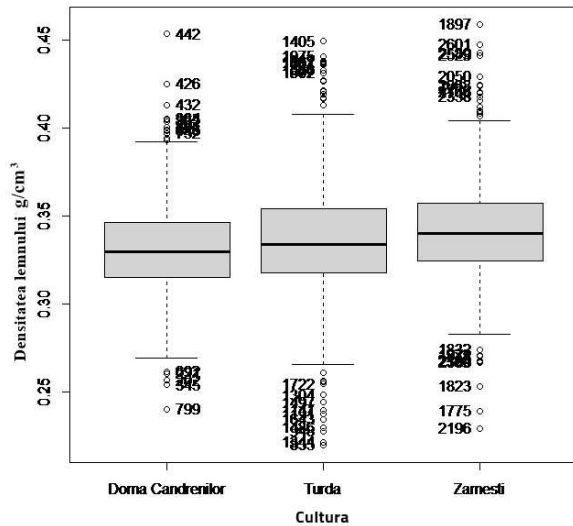


Fig. 26. Variația densității convenționale a lemnului în cele trei culturi comparative de molid, la vârsta de 49 de ani

Media creșterii anuale în diametru pe cultură a fost cuprinsă între 2,55 mm, în cultura Zărnești, și 2,81 mm, în cultura Turda.

În ceea ce privește creșterea în diametru a lemnului târziu, media acesteia pe cultură a fost cuprinsă între 0,65 mm, în cultura Zărnești, și 0,78 mm, în cultura Turda.

Cea mai mică valoare a creșterii medii în diametru a lemnului timpuriu a fost realizată tot în cultura Zărnești – 1,90 mm, iar cea mai mare valoare, în cultura Dorna Candrenilor – 2,08 mm.

Cea mai mare valoare medie a procentului de lemn târziu a fost obținută în cultura Turda – 30,76%, iar cea mai mică valoare, în cultura Dorna Candrenilor – 27,06% (Fig. 27).

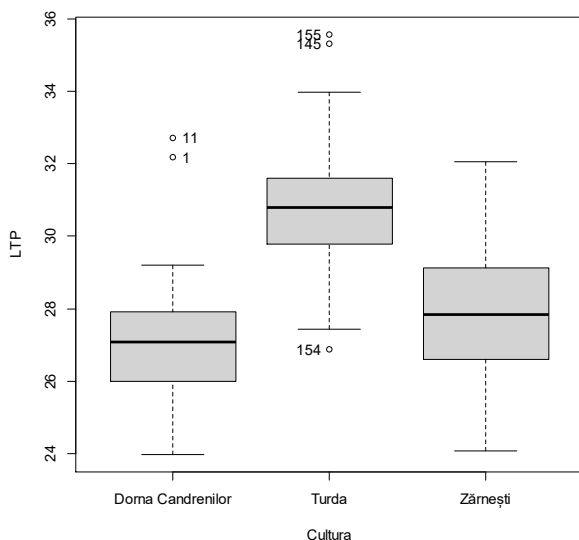


Fig. 27. Variația procentului de lemn târziu în cele trei culturi comparative de molid, la vârsta de 49 de ani

Proveniența 56-Anfasterod, din Nordul Europei, a avut DCL mare în toate cele trei culturi comparative, valorile fiind cuprinse între 0,350 și 0,356 g/cm<sup>3</sup> în culturile comparative Turda, respectiv Dorna Candrenilor.

Proveniența 55-Munkahus, tot din Nordul Europei, a avut valori mici ale densității convenționale a lemnului în toate cele trei culturi comparative, cuprinse între 0,319 și 0,330 g/cm<sup>3</sup> în culturile comparative Turda, respectiv Zărnești.

Dintre proveniențele românești, 64-Gheorghieni și 67-Frasin au avut performanțe bune în două din cele trei culturi comparative; Dorna Candrenilor și Zărnești, respectiv Turda și Zărnești. Proveniența 68-Breaza a avut performanțe peste medie în cele trei culturi comparative, chiar bune în cultura comparativă Zărnești.

Analizând interacțiunea proveniență x cultură pentru creșterile anuale în diametru, aceasta a fost foarte semnificativă pentru toate caracteristicile (Tabel 16). Interacțiunea an x proveniență a fost semnificativă doar pentru creșterea anuală medie și lemnul timpuriu mediu.

Diferențele dintre culturi, dintre ani, dintre repetiții, precum și interacțiunea localitate x ani au fost foarte semnificative pentru toate creșterile anuale în diametru, precum și pentru procentul de lemn târziu.

Din punct de vedere al stabilității performanțelor, cel mai mare coeficient de corelație a fost obținut pentru înălțimea elagată dintre cultura Dorna Candrenilor și cultura Zărnești. Acest lucru denotă o instabilitate a performanțelor și o interacțiune proveniență x cultură accentuată.

Înălțimea totală și procentul de supraviețuire au fost singurele caracteristici pentru care au existat corelații semnificative între toate cele trei culturi comparative. Valorile coeficienților de corelație au fost cuprinși între 0,4387 și 0,581, pentru înălțimea totală, respectiv 0,327 și 0,505, pentru procentul de supraviețuire.

#### **4.3.2. Evoluția în timp a corelațiilor dintre variabile climatice și creșterile anuale în diametru standardizate**

Analizând corelațiile pe perioade mobile, precipitațiile din luna iulie au fost mereu corelate pozitiv cu creșterile anuale în diametru standardizate în cultura comparativă Dorna Candrenilor (Fig. 28), dar au devenit semnificative abia după anul 1991.

În mod contrar, coeficienții de corelație cu precipitațiile din luna aprilie au scăzut treptat, ajungând la valori negative pentru ultima subperioadă, 1996-2020. Coeficienții de corelație cu temperatura lunii martie au fost de asemenea pozitivi, mai accentuat după 1990. Coeficienții de corelație cu temperatura din luna mai, deși pozitivi în primele subperioade, începând cu 1987-2011 au fost negativi.

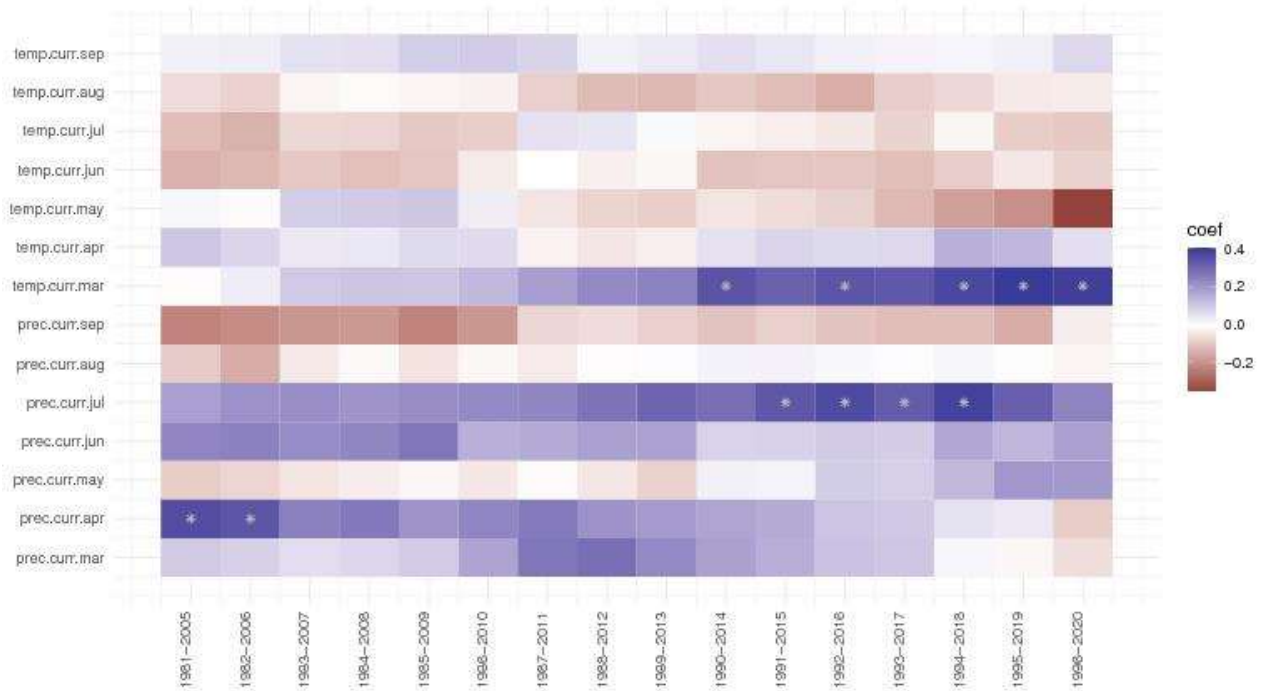


Fig. 28. Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru cultura comparativă de proveniențe de molid Dorna Candrenilor

În cultura Zărnești, precipitațiile din luna iunie au fost semnificative pentru subperioadele din 1981 până în 2007, iar mai apoi, deși valorile coeficientului de corelație au rămas pozitive, au început să scadă (Fig. 29). Deși ne semnificative, corelațiile cu precipitațiile din septembrie și cu temperatura lunii mai au fost mereu negative, dar mai accentuate în ultimele subperioade.

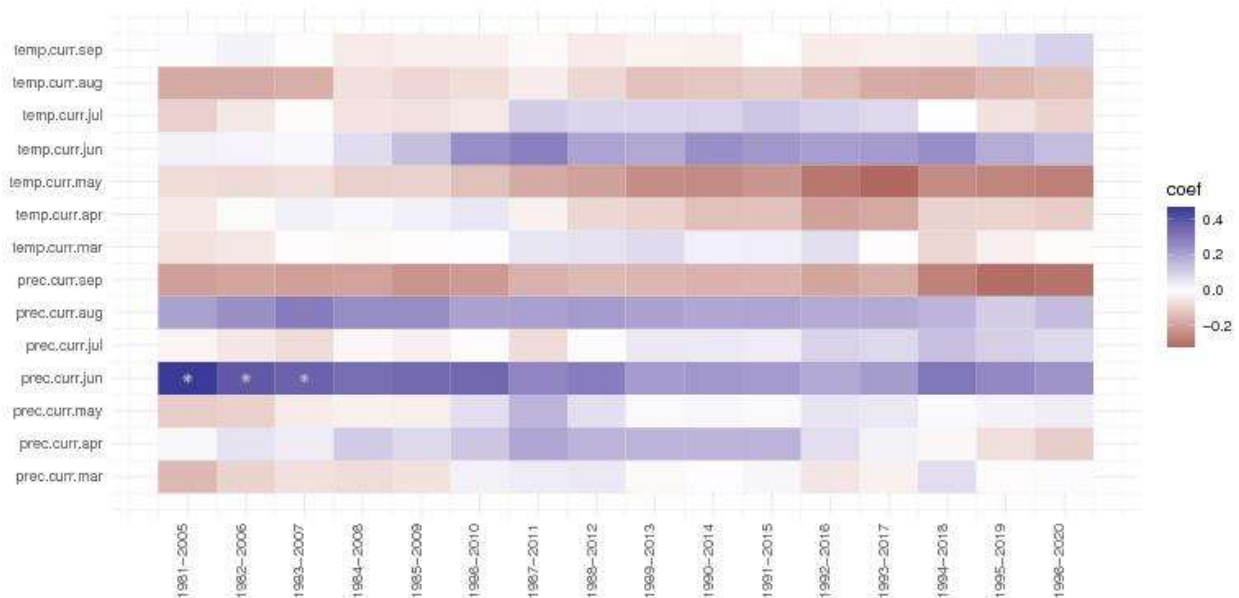


Fig. 29. Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru cultura comparativă de proveniențe de molid Zărnești

În cultura comparativă Turda, corelațiile cu precipitațiile din lunile iunie și iulie au fost mereu pozitive, dar mai accentuat în ultimele trei-patru subperioade (Fig. 30). Corelația negativă a temperaturii din luna martie



din prima subperioadă analizată, 1981-2005, a devenit pozitivă începând cu subperioada 1983-2007, și chiar semnificativă în subperioada 1993-2017. Corelația cu temperatura din luna mai, ce a fost semnificativă pentru subperioadele 1987-2011 și 1988-2012, a fost negativă pentru toate subperioadele analizate, cu excepția ultimelor trei, când valorile coeficientului de corelație au fost apropiate de zero.

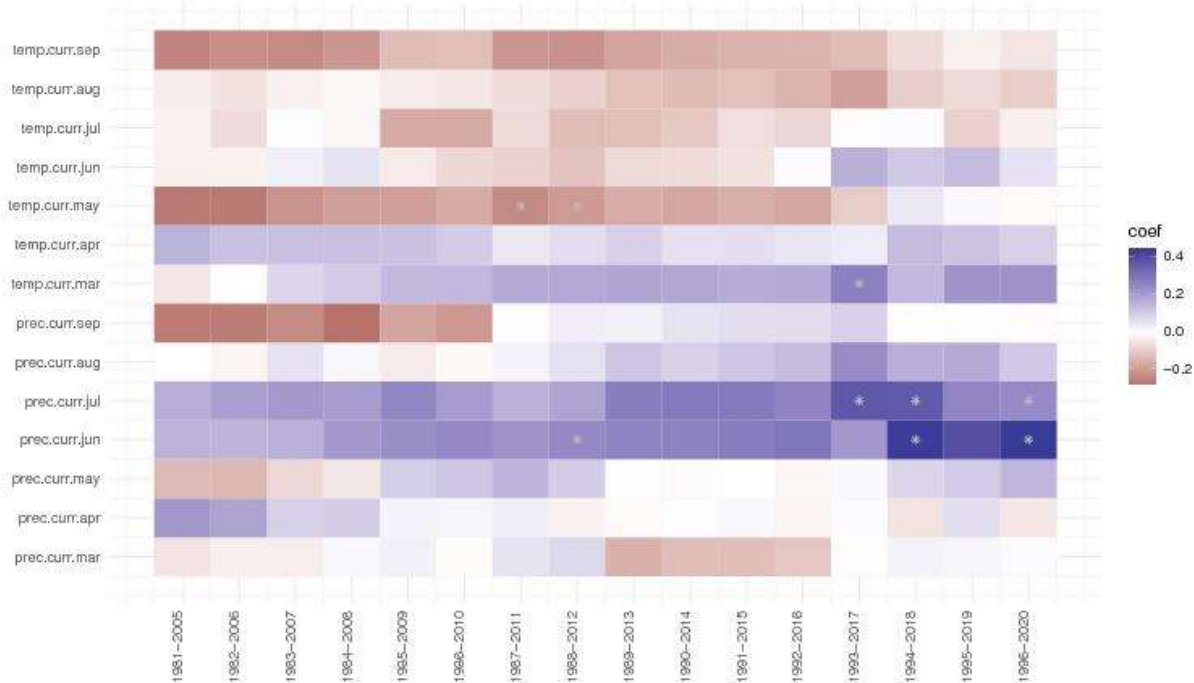


Fig. 30. Analiza corelațiilor pe perioade mobile pentru cultura comparativă de proveniență de molid Turda

### 4.3.3. Funcțiile de răspuns la condițiile climatice ale locului de testare

#### 4.3.3.1. Funcțiile de răspuns pentru procentul de lemn târziu

Modelele de răspuns pentru LTP au fost semnificative,  $R^2$  ajustat fiind cuprins între 0,143 și 0,247. Temperatura medie a celei mai calde perioade de trei luni a avut o influență pozitivă asupra LTP în cultura comparativă de proveniență Zărnești. Pentru această cultură, modelul quadratic ce a luat în considerare și numărul de zile fără îngheț a obținut un  $R^2$  ajustat mai mare, de 0,163.

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, modelul quadratic cu cel mai mare  $r^2$  ajustat a fost cel cu zile-grad peste  $0^\circ\text{C}$  și precipitațiile din cea mai ploioasă lună, iar influența acestor termeni a fost de 22,2%, respectiv 8,6%.

În cultura comparativă Turda, cel mai bun model quadratic a fost cel care a avut drept termeni zilele-grad peste  $5^\circ\text{C}$  și raportul temperatură:umiditate din timpul verii, (indicele SHM), ce au avut o influență de 22,2%, respectiv 6,4% asupra procentului de lemn târziu, LTP.

#### 4.3.3.2. Funcțiile de răspuns pentru înălțimea totală și diametrul la 1,30 m

Modelele funcțiilor de răspuns pentru diametrul la 1,30 m și înălțimea totală au fost semnificative,  $R^2$  ajustat fiind cuprins între 0,289, respectiv 0,665.

Temperatura medie ridicată din timpul toamnei a avut o influență negativă atât asupra diametrului la 1,30 m, cât și asupra înălțimii totale.  $R^2$  parțial pentru acest factor a avut valori cuprinse între 29,4% și 66,4%, pentru diametrul la 1,30 m, respectiv înălțimea totală.

În schimb, precipitații abundente din cea mai caldă perioadă de trei luni au avut o influență pozitivă asupra celor două caracteristici (Fig. 31 și 32). Influența acestui factor a fost ceva mai mică față de cea a temperaturii medii din timpul toamnei,  $R^2$  parțial fiind cuprins între 19,9 % și 58,8%, pentru diametrul la 1,30 m, respectiv înălțimea totală.

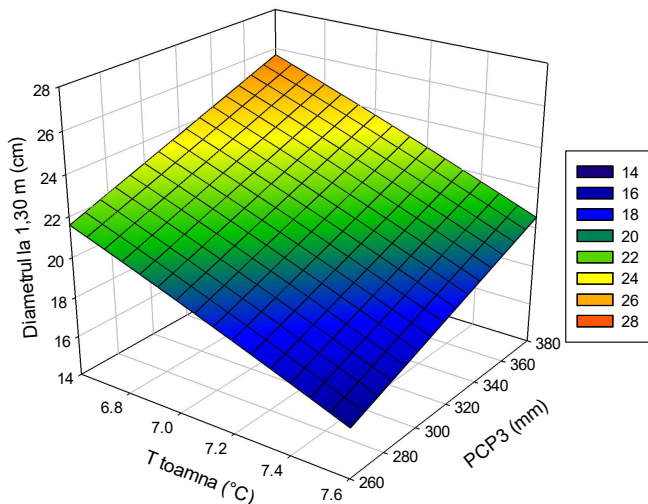


Fig. 31. Funcția de răspuns pentru diametrul la 1,30 m al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani  
*Ttoamna* – temperatura medie a temperaturii din timpul toamnei; *PCP3* – suma precipitațiilor din cea mai caldă perioadă de 3 luni (iunie, iulie, august).

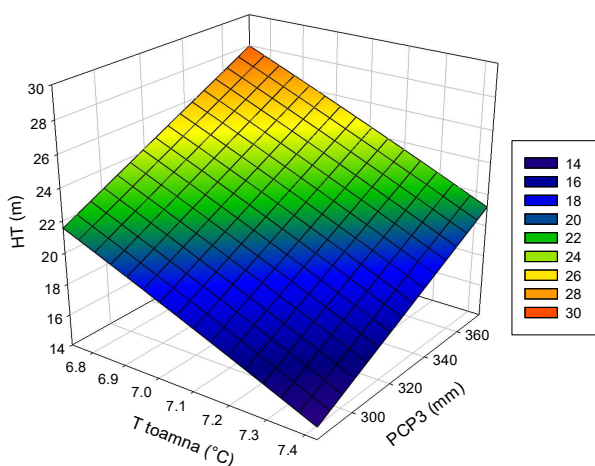


Fig. 32. Funcția de răspuns pentru înălțimea totală a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani

### 4.3.4. Funcțiile de transfer ale proveniențelor de molid testate

#### 4.3.4.1. Funcțiile de transfer pentru înălțimea totală

Diferența precipitațiilor din cea mai caldă perioadă de 3 luni și diferența temperaturii medii a celei mai ploioase perioade de 3 luni dintre locul de plantare și locul de origine al proveniențelor au fost variabilele cu influență asupra înălțimii totale în cultura comparativă Zărnești (Fig. 33).

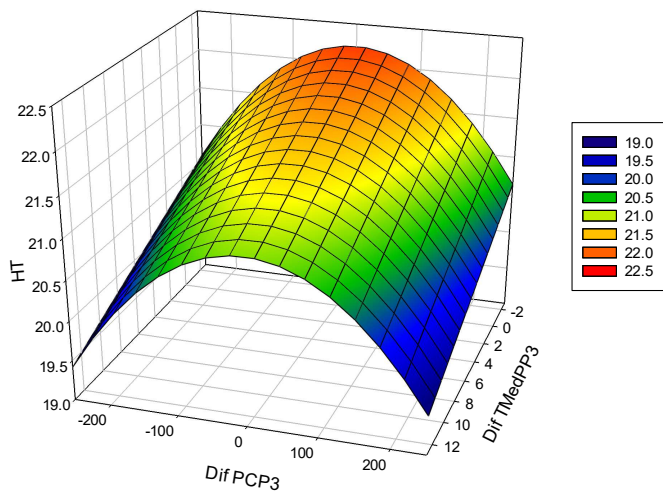


Fig. 33. Funcția de transfer pentru înălțimea totală (HT) a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Zărnești

*Dif PCP3 – diferența precipitațiilor din cea mai caldă perioadă de 3 luni dintre locul de plantare și locul de origine; Dif TMedPP3 – diferența temperaturii medii a celei mai ploioase perioade de 3 luni dintre locul de plantare și locul de origine al proveniențelor.*

După rularea modelului liniar cu toate variabilele climatice, diferențele dintre temperatura maximă a celei mai calde luni și cele dintre precipitațiile din cea mai caldă perioadă au fost cele cu influență asupra înălțimii totale în cultura comparativă Dorna Candrenilor (Fig. 34)

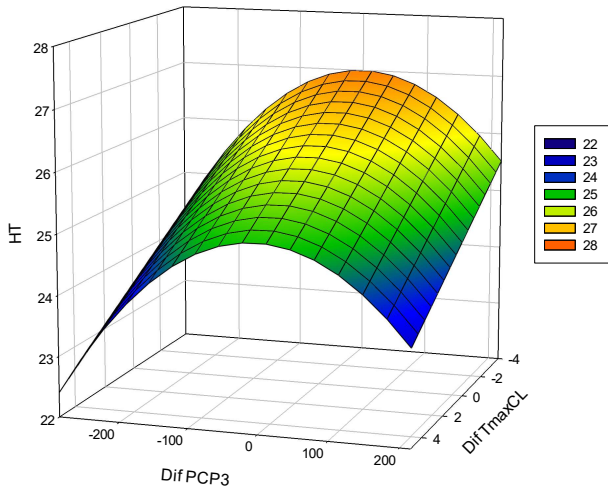


Fig. 34. Funcția de transfer pentru înălțimea totală (HT) a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Dorna Candrenilor

*Dif PCP3 – diferența precipitațiilor din cea mai caldă perioadă de 3 luni dintre locul de plantare și locul de origine; Dif TMaxCL – diferența temperaturii maxime a celei mai calde luni dintre locul de plantare și locul de origine al proveniențelor.*

În cultura comparativă Turda, variabilele cu influență asupra înălțimii totale a proveniențelor au fost diferența precipitațiilor din cea mai rece perioadă de 3 luni și diferența temperaturii medie a celei mai ploioase perioade de 3 luni dintre locul de plantare și locul de origine al proveniențelor (Fig. 35).

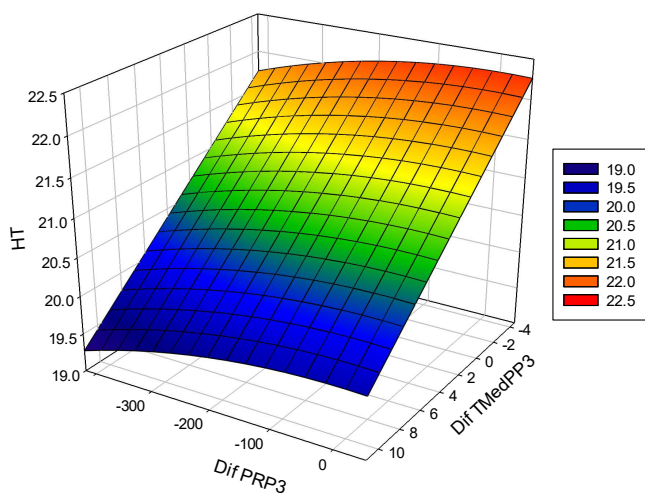


Fig. 35. Funcția de transfer pentru înălțimea totală (HT) a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Turda

*Dif PRP3 – diferența precipitațiilor din cea mai rece perioadă de 3 luni dintre locul de plantare și locul de origine; Dif TMedPP3 – diferența temperaturii medie a celei mai ploioase perioade de 3 luni dintre locul de plantare și locul de origine al proveniențelor.*

#### 4.3.4.2. Funcțiile de transfer pentru procentul de supraviețuire

Diferențele dintre media amplitudinii diurne (MAD) și dintre sezonabilitatea precipitațiilor (SP) au fost cele care au avut influență negativă, respectiv pozitivă, asupra procentului de supraviețuire al proveniențelor de molid în cultura comparativă Zărnești.  $R^2$  parțial pentru acești factori a fost de 0,095, respectiv 0,042 (Fig. 36).

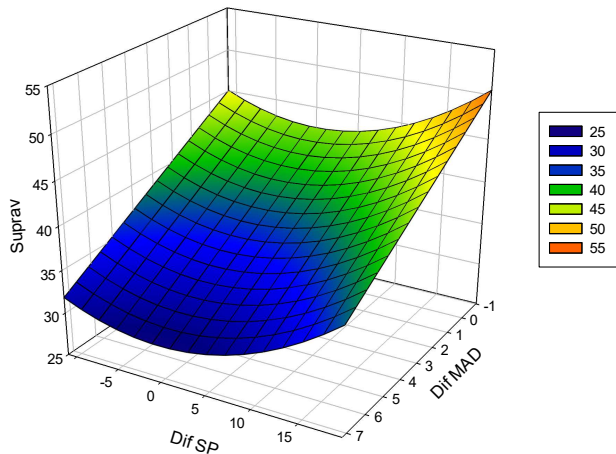


Fig. 36. Funcția de transfer pentru procentul de supraviețuire (Suprav) al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Zărnești

În cultura comparativă Dorna Candrenilor, diferențele dintre temperatura media anuală a locului de plantare și cea a locului de origine al proveniențelor, precum și cele ale precipitațiilor din cea mai caldă perioadă, au avut influență negativă asupra procentului de supraviețuire (Fig. 37).

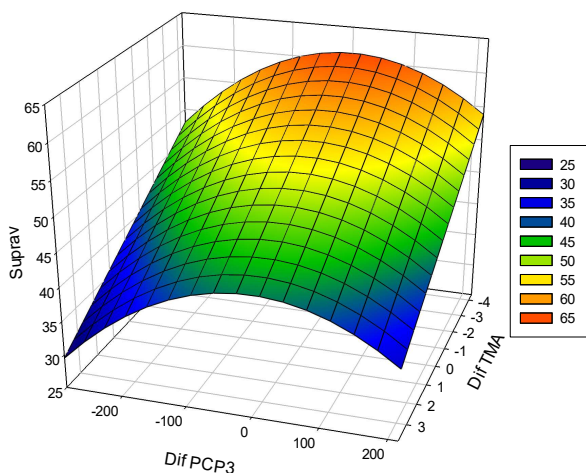


Fig. 37. Funcția de transfer pentru procentul de supraviețuire (Suprav) al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Dorna Candrenilor

Diferențele dintre temperatura medie a celei mai calde perioade de 3 luni au avut influență pozitivă asupra procentului de supraviețuire în cultura comparativă Turda. Și aici, ca și în cultura comparativă Dorna Candrenilor, diferențele dintre precipitațiile din cea mai caldă perioadă, au avut influență negativă (fig. 38).

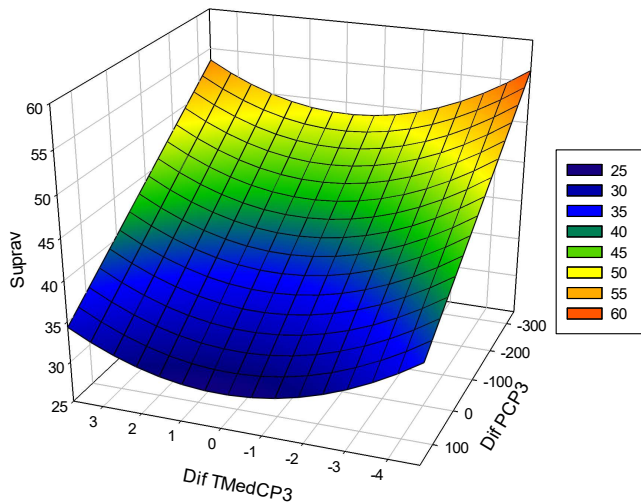


Fig. 38. Funcția de transfer pentru procentul de supraviețuire (Suprav) al proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani în cultura comparativă Turda

#### 4.3.5. Discuții

Interacțiunea genotip x mediu (GxE) a fost foarte semnificativă pentru HT și HE, dar nesemnificativă pentru D1,30m, Suprav și DCL. Rezultatele sunt în concordanță cu cele ale lui Chen et al. [185], care au observat o interacțiune GxE foarte semnificativă pentru înălțimea totală a descendențelor *half-sib* de molid în Suedia.

Prin acest studiu se constată importanța interacțiunii GxE în programele de ameliorare și de reîmpăduriri ale molidului, cu precădere în zonele expuse la secetă sau alți factori de risc. Identificarea unor proveniențe stabile reduce riscurile pe termen lung, dar selecția unor proveniențe adaptate la medii specifice maximizează câștigurile genetice pentru toate mediile [186]. Rezultate similare pentru molid au fost obținute pentru înălțime [187], și înălțime și diametru într-un studiu cu 20 de proveniențe românești, la vârsta de 34 de ani [3]. De asemenea, și în altă serie de culturi comparative de molid instalate în România interacțiunea GxE nu a fost semnificativă pentru D1,30m [157].

De asemenea, faptul că interacțiunea GxE pentru D1,30m, Suprav și DCL a fost mică, dar mare pentru alte caracteristici, indică o plasticitate ridicată a molidului. Deși nu toată plasticitatea fenotipică este adaptativă, aceasta poate facilita manifestarea unor fenotipuri bine adaptate în condiții de mediu noi, permițând astfel perpetuarea unei populații [188].

Diferențele dintre proveniențe în ceea ce privește densitatea convențională a lemnului, nu au fost semnificative, dar foarte aproape de a îndeplini acest criteriu,  $p = 0,0503$ . Interacțiunea GxE nu a fost semnificativă, indicând o stabilitate ridicată a proveniențelor referitor la densitatea convențională a lemnului. Locurile de testare au influențat densitatea convențională a lemnului, diferențele dintre culturi

fiind semnificative. Într-un alt studiu, referitor la culturi comparative cu proveniențe de molid din România, diferențele dintre proveniențe au fost semnificative, iar interacțiunea GxE a fost de asemenea nesemnificativă, proveniențele având performanțe stabile în ceea ce privește DCL [162].

Din analiza corelațiilor pe perioade mobile se poate observa creșterea influenței pozitive pe care temperatura din luna martie o are asupra creșterilor anuale ale molidului, în culturile comparative Dorna Candrenilor și Turda. Acest lucru se poate explica prin un sezon de vegetație mai lung.

Modificări ale stratului de zăpadă și ale topirii sale, precum și ale dinamicii solului înghețat au un impact negativ asupra creșterii arborilor [189], [190]. Un strat redus de zăpadă și dezghețarea sa timpurie afectează rezerva de apă obținută prin topirea zăpezii, ce susține creșterea arborilor în zone afectate de stres hidric [189]. În plus, topirea timpurie a zăpezii poate promova fenologia de primăvară (intrarea în vegetație a arborilor), crescând astfel lungimea sezonului de vegetație [143], dar expune arborii la înghețurile târzii [191], [192]. Weigel et al. [193], [194] au arătat importanța schimbărilor climatice din timpul iernii, din moment ce populațiile marginale din zone reci devin mai sensibile la temperaturile joase din timpul iernii, mai exact din luna februarie, în cazul său, și mai puțin sensibile la precipitațiile din luna iunie.

Un efect negativ al creșterii temperaturii asupra caracterelor de creștere la conifere a fost observat și în studiul lui Gómez-Aparicio et al. [195], ce poate fi asociat cu o mai mare cerință pentru apa atmosferică, lucru ce intensifică stresul provocat de secetă. Chiar dacă precipitațiile sunt abundente, temperaturile ridicate pot accentua pierderea apei de la nivelul solului prin evaporare și reduc umiditatea din sol [196], [197], [198].

Cantitățile de precipitații din lunile iunie și iulie au devenit de asemenea importante pentru creșterile la pin [199], o noutate față de studiile anterioare [200]. Roibu et al. [201], analizând de asemenea subperioade 25 de ani, au observat mobilitatea corelațiilor cu temperatura și precipitațiile pentru frasin și stejar în Republica Moldova. Cantitatea de precipitații din timpul verii a fost un factor cu o influență stabilă asupra creșterii radiale a patru specii analizate în Nordul Germaniei, fag, stejar, pin și duglas [202].

Variabilele climatice cu influență asupra procentului de lemn târziu au fost: temperatura medie a celei mai calde perioade de trei luni (vara), numărul de zile-grad peste 0 și 5 °C, numărul de zile fără îngheț, cantitatea de precipitații din cea mai ploioasă lună și raportul temperatură:umiditate. În afară de raportul temperatură:umiditate în cultura comparativă Turda, toate celelalte variabile climatice au avut un impact pozitiv asupra procentului de lemn târziu.

Molidul este o specie foarte sensibilă la secetă, densitatea coronamentului său fiind afectată, în special în cazul secetelor ce au loc la începutul verii [203]. Solberg a raportat că secetele ce au loc în timpul verii afectează coroana și supraviețuirea molidului [204]. Molidul, duglasul, bradul și cedrul au fost clasificate drept specii sensibile la căldură [205].

Suma precipitațiilor din lunile iunie, iulie și august, cea mai caldă perioadă de 3 luni, a avut o influență pozitivă asupra înălțimii totale și a diametrului la 1,30 m ale proveniențelor de molid. Temperaturile medii ridicate din timpul toamnei au avut o influență negativă asupra acestor două caracteristici analizate. Temperaturile ridicate de la finalul sezonului de vegetație reduc umiditatea solului prin creșterea

evapotranspiraţiei [206], iar cantităţile ridicate de precipitaţii din timpul toamnei măresc cantitatea de apă din sol, precum şi cantitatea de apă disponibilă la începutul primăverii [207]. De asemenea, este posibil ca temperaturile ridicate de la sfârşitul verii şi începutul toamnei să reducă rezervele de carbohidraţi, ce reprezintă un element important în dezvoltarea acelor şi a creşterii cambiului, din primele etape ale sezonului următor de vegetaţie [56].

Pentru funcţiile de transfer pentru înălţimea totală, în ceea ce priveşte influenţa temperaturii, variabilele au fost diferite pentru fiecare cultură comparativă: diferenţa din cea mai caldă perioadă de 3 luni pentru Zărneşti, diferenţa temperaturii maxime a celei mai calde luni, pentru Dorna Candrenilor, şi diferenţa temperaturii medie a celei mai ploioase perioade de 3 luni, pentru Turda. Pentru toate se remarcă totuşi acelaşi trend: provenienţele din locuri în care temperaturile amintite anterior au fost mai mari decât cele ale locului de plantare (provenienţe din locuri mai calde), au avut înălţimi totale mai mari.

Cu cât cantităţile de precipitaţii din cea mai caldă perioadă de 3 luni ale locului de plantare au fost mai apropiate de cele ale locul de origine al provenienţelor, cu atât procentul de supravieţuire şi înălţimea totală au fost mai mari în cultura comparativă Dorna Candrenilor. Acelaşi lucru este valabil şi pentru înălţimea totală în cultura comparativă Zărneşti. În cultura comparativă Turda însă, provenienţele din locurile în care precipitaţiile din cea mai caldă perioadă de 3 luni le depăşesc pe cele ale locului de plantare, au avut un procent de supravieţuire mai mare.

Diferenţele de precipitaţii dintre locul de plantare şi cel de origine al provenienţelor au avut o influenţă mai mare faţă de diferenţele de temperatură asupra înălţimii totale în culturile Zărneşti şi Dorna Candrenilor. Rezultate asemănătoare au fost obţinute şi pentru alte 2 din 5 culturi comparative din România, în care au fost testate doar provenienţe româneşti, la vârsta de 34 de ani [3].



## 4.4. Selecția celor mai bune proveniențe cu ajutorul indicilor de selecție

### 4.4.1. Selecția proveniențelor în fiecare cultură, cu ajutorul indicelui MGIDI

În fiecare cultură comparativă, analiza factorială a grupat caracteristicile într-un singur factor. S-a renunțat la efectul grupului, pentru a putea realiza selecția proveniențelor din întregul areal. Neluându-se în calcul influența acestui efect, diferențele dintre proveniențele de molid din cultura comparativă Turda sunt semnificative și în ceea ce privește D1,30m și Suprav (Tabel 7).

Tabel 7. Analiza variabilității caracteristicilor analizate pentru calculul MGIDI în fiecare cultură comparativă de molid la 49 de ani

Cultura comparativă	Caracteristica	LRTp	Vp	Vr	MS rep
Dorna Candrenilor	D1,30m	61,11***	2,42	28,87	16,95 ns
	HT	304,50***	2,34	8,14	62,90***
	HE	430,20***	1,48	3,44	104,90***
	Suprav	42,19***	81,97	104,50	533,50**
Zărnești	D1,30m	2,44 ns	0,33	22,25	90,94*
	HT	57,88***	1,11	11,13	208,30***
	HE	258,50***	2,35	6,31	319,70***
	Suprav	0,00 ns	0,60	185,4	504,90 ns
Turda	D1,30m	4,66*	0,73	30,31	36,27 ns
	HT	75,78***	1,29	9,44	53,89**
	HE	98,14***	1,24	7,03	21,17*
	Suprav	7,76**	37,02	160,30	906,80**

Proveniențele selectate în cultura comparativă Dorna Candrenilor sunt: 72-Dorna Candrenilor, 74-Galu, 66-Marginea, 71-Moldovița, 64-Gheorghieni și 70-Coșna, toate din Carpații României; 51-Herfenberg, din Podișul Boemiei; 39-Klaunz Bannwald, 53-Neustift și 41-Eppenstein din Alpii Estici; 101-Valke Karlovice și 61-Nyugatbukki Allami din Carpații Vestici.

Proveniențele selectate în cultura comparativă Zărnești sunt: 72-Dorna Candrenilor și 74-Galu din Carpații României, 27- Bodenseichen din Germania; 60-Keletbukki Allami din Carpații Vestici; 51-Herfenberg, 52-Sandl-bei-Freistadt și 100-Kasperske Hory din Podișul Boemiei; 26-Winterthur, 25-Wassen și 38-Val Di Fiemme, din Alpii Centrali; 39-Klaunz Bannwald și 41-Eppenstein din Alpii Estici.

Proveniențele selectate în cultura comparativă Turda sunt: 70-Coșna, 66-Marginea și 72-Dorna Candrenilor din Carpații României; 60-Keletbukki Allami din Carpații Vestici; 40-Wietersdf, 42-Rotlgut Liezen, 50-Hoyos-Ernest-reith, 49-Redl-Zipf-Fuchsberg și 41-Eppenstein din Alpii Estici; 25-Wassen din Alpii Centrali; 100-Kasperske Hory și 99-Zelesna Ruda din Podișul Boemiei.

Proveniențele selectate au avut performanțe mai bune față de mediile pe cultură pentru toate caracteristicile. Diferențele au fost mai mari, cu valori cuprinse între 0,18 și 16,5% (Tabel 8).

Tabel 8. Diferențele obținute prin selecția cu ajutorul indicelui MGIDI a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani

Caracteristici	Media culturii comparative			Media proveniențelor selectate			Diferența %		
	Dorna Candrenilor	Zărnești	Turda	Dorna Candrenilor	Zărnești	Turda	Dorna Candrenilor	Zărnești	Turda
D1,30 m (cm)	23,8	21,1	21,6	25,7	21,5	22,2	8,1	1,6	2,9
HT (m)	25,9	21,4	21,5	28,1	22,7	22,8	8,4	5,9	6,1
HE (m)	16,7	11,0	11,2	18,2	12,8	12,4	9,0	16,5	10,3
Suprav (%)	50,0	40,7	36,8	56,0	40,7	40,2	12,0	0,2	9,3

#### 4.4.2. Selecția proveniențelor pe baza indicelui MTSI

Dacă luăm în considerare superioritatea (cu o pondere de 75%) și stabilitatea (cu o pondere de 25%) caracteristicilor analizate, proveniențele selectate cu ajutorul indicelui MTSI sunt următoarele: 72-Dorna Candrenilor, 41-Eppenstein, 60-Keletbukki Allami, 70-Coșna, 100-Kasperske Hory, 66-Marginea, 40-Wietersdorf, 39-Klaunz Bannwald, 99-Zelesna Ruda, 71-Moldovița, 52-Sandl-bei-Freistadt și 63-Nyugatbukki Allami (Fig. 39). Se evidențiază totuși și proveniențele 25-Wassen, 61-Nyugatbukki Allami, 73-Stulpicani, 51-Herfenberg și 74-Galu.

Proveniențele selecționate au avut performanțe mai bune comparativ cu media pe culturi, pentru toate caracteristicile analizate. Diferențele au fost mai mari cu valori cuprinse între 6,4 și 17,8% (Tabel 9).

Tabel 9. Diferențele obținute prin selecția cu ajutorul indicelui MTSI a proveniențelor de molid la vârsta de 49 de ani

Caracteristici	Media culturii comparative			Media proveniențelor selectate			Diferența %		
	Dorna Candrenilor	Zărnești	Turda	Dorna Candrenilor	Zărnești	Turda	Dorna Candrenilor	Zărnești	Turda
D1,30 m (cm)	23,8	21,1	21,6	25,5	22,5	23,2	7,0	6,4	7,3
HT (m)	25,9	21,4	21,5	27,7	23,2	23,0	6,9	8,6	6,9
HE (m)	16,7	11,0	11,2	18,0	12,7	12,3	7,7	15,8	9,6
Suprav (%)	50,0	40,7	36,8	57,2	44,8	43,4	14,4	10,0	17,8

*D1,30m – diametrul la 1,30 m; HT-înălțimea totală; HE – înălțimea elagată; Suprav – procentul de supraviețuire.*

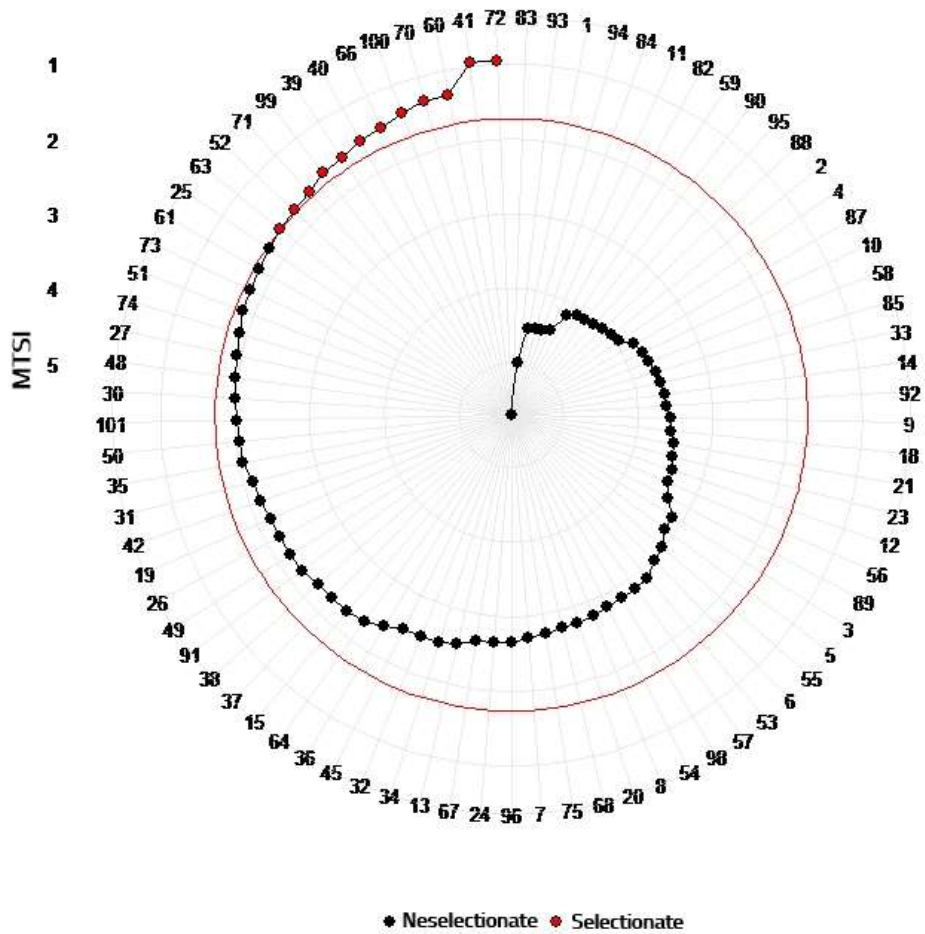


Fig. 39. Clasamentul provenienţelor de molid utilizând indicele MTSI  
*Linia roşie reprezintă intensitatea de selecţie (15%). Punctele reprezintă valorile indicelui MTSI. Punctele roşii corespund provenienţelor selecţionate.*

Clasificarea provenienţelor pentru fiecare caracteristică utilizată în calculul MTSI este redată în Fig. 40-43.

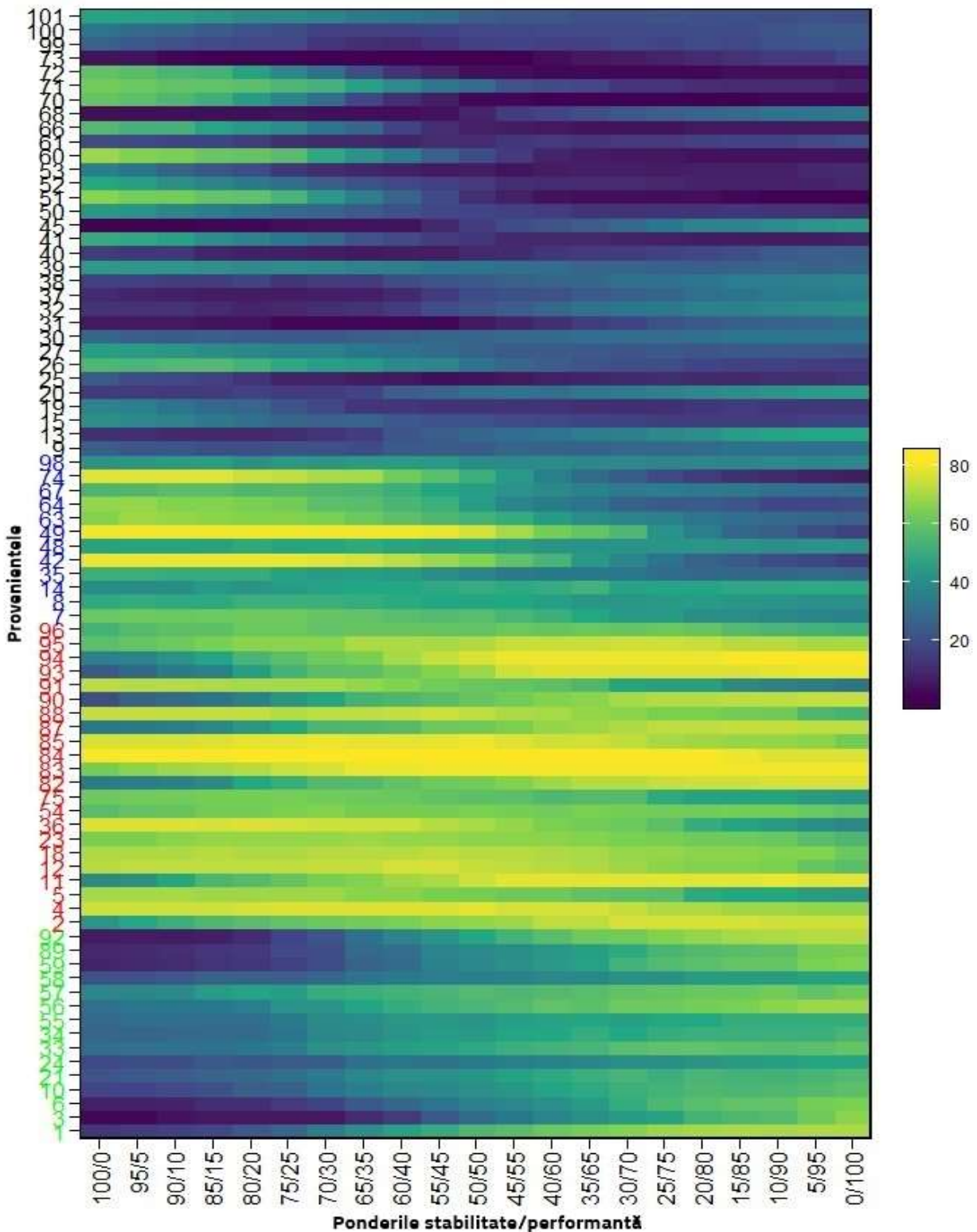


Fig. 40. Clasificarea proveniențelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilității și performanței medii în ceea ce privește diametrul la 1,30 m

Codificarea de pe axa OY: **Negru-performante și stabile**; **Albastru** - performante, dar instabile; **Roșu** - neperformante și instabile; **Verde** - neperformante, dar stabile. Culorile din grafic reprezintă clasamentul provenienței respective, în funcție de scenariu: **albastru închis** – cât mai bine clasată; **galben** – ultimul loc în clasament.

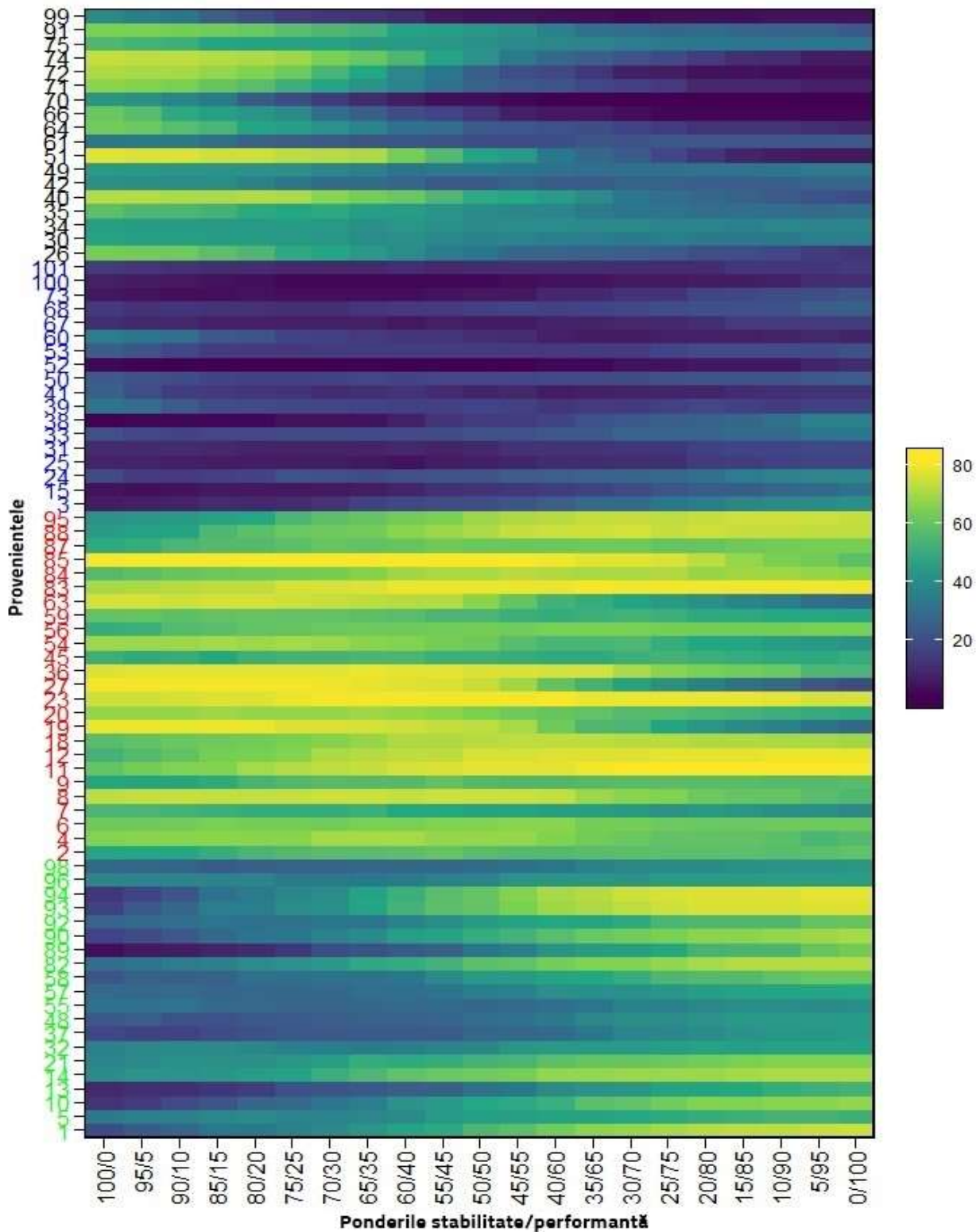


Fig. 41. Clasificarea proveniențelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilității și performanței medii în ceea ce privește înălțimea totală

Codificarea de pe axa OY: **Negru**-performante, dar instabile; **Albastru** – performante și stabile; **Roșu** – neperformante și instabile; **Verde** – neperformante, dar stabile.

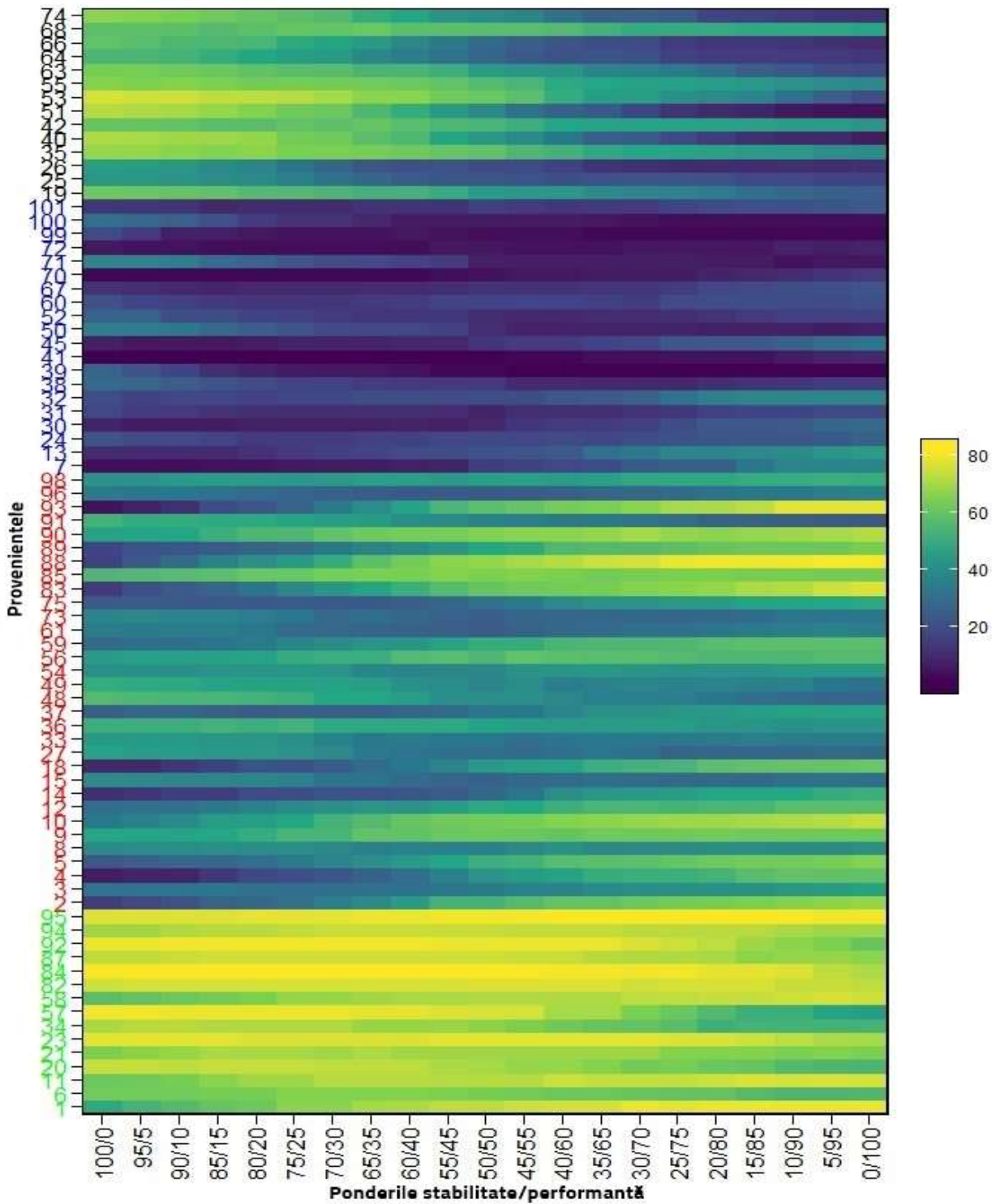


Fig. 42. Clasificarea proveniențelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilității și performanței medii în ceea ce privește înălțimea elagată

*Codificarea de pe axa OY: Negru - performante, dar instabile; **Albastru** – performante și stabile; Roșu - neperformante, dar stabile; Verde - neperformante și instabile.*

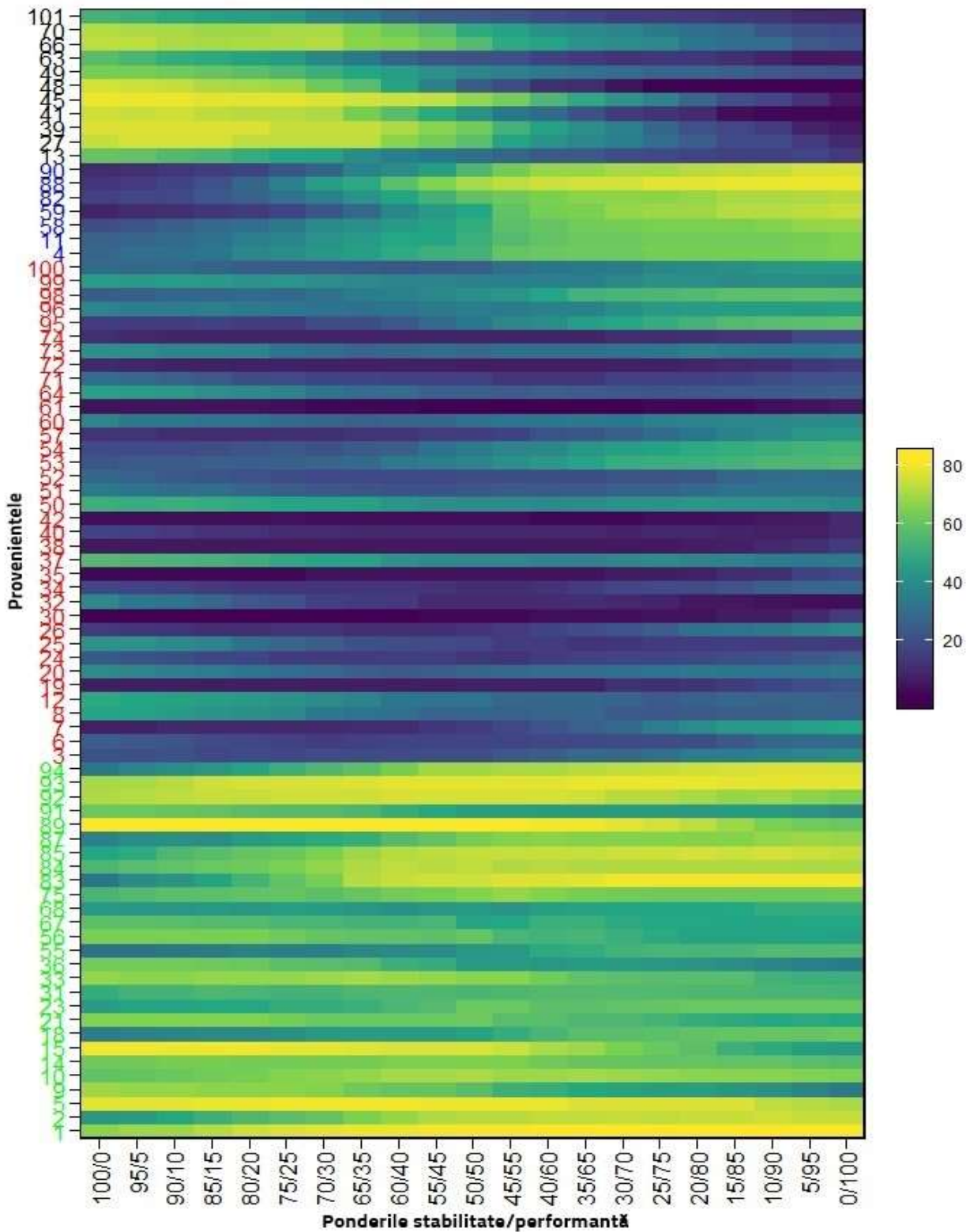


Fig. 43. Clasificarea proveniențelor prin atribuirea unor ponderi diferite stabilității și performanței medii în ceea ce privește procentul de supraviețuire

*Codificarea de pe axa OY: Negru - performante, dar instabile; Albastru - neperformante, dar stabile; **Roșu** - performante și stabile; Verde- neperformante și instabile.*

Dintre cele selecționate, proveniențele 60- Keletbukki Allami, din Carpații Vestici, 100- Kasperske Hory și 52- Sandl-bei-Freistadt, ambele din Podișul Boemiei, au fost clasificate drept stabile și performante (grup 1) pentru toate cele patru caracteristici (Fig. 44).

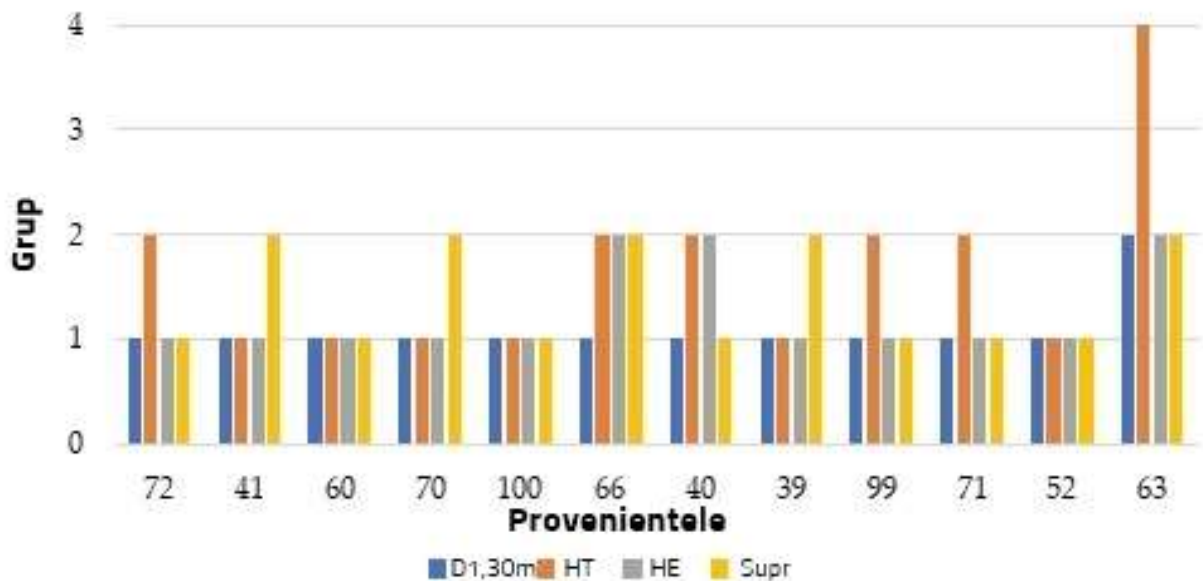


Fig. 44. Gruparea proveniențelor selecționate utilizând indicele MTSI

1 - performante și stabile; 2 - performante, dar instabile; 3 - neperformante, dar stabile; și 4 - neperformante și instabile.

Proveniențele 41-Eppenstein și 70-Coșna au fost stabile și performante (grup 1) pentru D1,30 m, HT și HE, dar în ceea ce privește supraviețuirea, au fost clasificate drept performante, dar instabile (grup 2).

Proveniențele 71-Moldovița, 72-Dorna Candrenilor și 99-Zelesna Ruda au fost stabile și performante în ceea ce privește D1,30 m, HE și Suprav, și performante, dar instabile în ceea ce privește HT.

Proveniențele 66-Marginea și 40-Wietersdf au fost stabile și performante în ceea ce privește D1,30 și performante, dar instabile în ceea ce privește înălțimile. Conform Suprav, proveniența 66 a fost performantă, dar instabilă, iar proveniența 40 a fost stabilă și performantă.

Proveniența 39-Klaunz Bannwald a fost stabilă și performantă în ceea ce privește toate caracteristicile, cu excepția Suprav, unde a fost clasificată drept performantă, dar instabilă.

Proveniența 63-Nyugatbukki Allami a fost performantă, dar instabilă în ceea ce privește toate caracteristicile, cu excepția HT, unde a fost clasificată drept neperformantă și instabilă (grup 4).

Dintre celelalte proveniențe românești, proveniența 73-Stulpicani a fost performantă și stabilă pentru toate caracteristicile, cu excepția HT, unde a fost neperformantă, dar stabilă (grup 3). Proveniențele 74-Galu și 64-Gheorghieni au fost performante, dar instabile pentru D1,30 m, HT și HE și stabile și performante cu privire la Suprav.



### 4.4.3. Discuții

Analiza stabilității este adesea efectuată pentru o singură caracteristică, în special pentru speciile de arbori. Primii indici de selecție simultană au fost propuși de Smith [208] și Hazel [209]. Dar, dacă există multicoliniaritate între variabile, coeficientul indicelui poate fi influențat [153]. Allen [210] a definit multicoliniaritatea drept *corelația puternică dintre două sau mai multe variabile*. Multicoliniaritatea este o problemă în analizele multivariate, care apare frecvent în populațiile de arbori, și poate crea probleme în interpretarea corectă a rezultatelor, ducând la concluzii eronate [211]. Un aspect al indicelui Smith-Hazel este dificultatea de a exprima valoarea economică a caracteristicilor [212].

Selecția pentru creșteri mai mari, cantitatea și calitatea lemnului, precum și adaptabilitatea sunt printre principalele obiective ale programelor de ameliorare a arborilor. Așadar, selecția simultană este necesară pentru a obține rezultate în direcția dorită pentru mai multe caracteristici simultan [213].

Creșterea posibilității de a utiliza calculatoare rapide și performante, a făcut posibilă utilizarea indicilor de selecție în ameliorarea arborilor forestieri [214]. Primele mențiuni ale indicilor de selecție bazați pe caracteristici multiple în ameliorarea arborilor forestieri au fost pe la mijlocul anilor 1980 [215], [216]. Prin utilizarea metodologiei modelelor mixte, se obțin cele mai bune predicții liniare imparțiale (Best Linear Unbiased Prediction - BLUP) ale valorilor genetice, care au multe avantaje față de predicțiile obținute prin metodele de analiză utilizate anterior [217]. Cel mai important avantaj este acela că ierarhizarea genotipurilor folosind valorile genetice estimate prin BLUP este foarte apropiată de ierarhizarea reală a genotipurilor [217]. De asemenea, modelele mixte pot procesa eficient baze de date nebalansate și pot elimina influența factorilor negenetici sau heteroscedasticitatea dintre culturi [218].

Selecția după mai multe caracteristici s-a realizat în fiecare cultură și între culturi. Metoda s-a bazat pe calculul unor indici de selecție ce reflectă superioritatea pentru toate caracteristicile analizate în fiecare cultură (MGIDI) și superioritatea și stabilitatea caracteristicilor între culturi (MTSI). Dacă se folosesc indicii de selecție bazați pe mai multe caracteristici, trebuie avut grijă la faptul că dacă sunt folosite prea multe caracteristici, este posibil să fie identificate genotipuri care sunt apropiate de medie pentru toate caracteristicile, dar extraordinare pentru niciuna [217]. Indicii de selecție utilizați au permis identificarea unor proveniențe superioare din punct de vedere al mai multor caracteristici, sporind astfel răspunsul la selecție. Astfel, utilizarea lor s-a dovedit eficientă în ceea ce privește răspunsul la selecție în direcția țelului de ameliorare bazat pe multiple caracteristici.

Când selecția proveniențelor a fost făcută în fiecare cultură comparativă, prin utilizarea indicelui MGIDI, clasamentul proveniențelor a fost diferit pentru fiecare cultură. Totuși, două proveniențe au avut performanțe bune în toate cele trei culturi comparative: 72-Dorna Candrenilor și 41-Eppenstein. Dintre cele 12 proveniențe selecționate cu indicele MTSI, 11 au fost selecționate și cu ajutorul indicelui MGIDI, în cel puțin o cultură comparativă. Singura neselecționată a fost proveniența 63-Nyugatbukki Allami, situându-se pe locul 17 la Turda, 20 la Dorna Candrenilor și 21 la Zărnești, conform indicelui MGIDI.

Proveniențele selecționate cu ajutorul acestor doi indici au o valoare ridicată pentru ameliorarea și utilizarea materialului forestier de reproducere. Au demonstrat performanțe bune de creștere și stabilitate și aparțin grupurilor din Carpații de Est și de Vest, Podișul Boemiei și Alpii Estici. Și în alte studii, proveniențe

din Carpații Orientali, Munții Bihor și din regiunea dintre Munții Beskizi și Munții Erz până la poalele Munților Harz au avut performanțe bune în diferite condiții ecologice [219] [220]. De asemenea, Schuler [221] a descoperit că cele mai productive și cu potențial la condițiile climatice viitoare ale Austriei provin din Masivul Boem și de la marginea sud-estică a Alpilor. Unele proveniențe românești au avut performanțe bune în legătură cu înălțimea totală și volumul, la vârsta de 32 de ani, într-o cultură comparativă de proveniențe de molid, din Letonia, una dintre ele fiind Dorna Candrenilor [109]. Proveniențe de molid din Carpați și din regiunea Mării Baltice au demonstrat creșteri superioare [222], chiar și în Canada [223]. Proveniențele românești de molid au avut creșteri superioare proveniențelor locale, chiar și la altitudini joase din estul Norvegiei [113].

Un alt element important al indicelui MTSI este acela că prin utilizarea lui a fost selectată proveniența 63-Nyugatbukki Allami, deși a fost clasificată drept instabilă și neperformantă în ceea ce privește înălțimea totală. Dacă selecția ar fi fost făcută după această caracteristică, această proveniență nu ar fi fost selectată.

## **5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE**

### **5.3. Concluzii**

#### **Cu privire la evaluarea variabilității genetice a principalelor caracteristici de interes economic și adaptativ în culturi de proveniențe**

- A fost evaluată variabilitatea genetică a molidului [*Picea abies*(L.) Karst.] în trei culturi comparative de proveniențe din România. Au fost analizate și comparate 81 de proveniențe de molid, din România și din alte 12 țări din Europa, din 11 grupuri geografice, la 49 de ani de la plantare. Au fost observate diferențe semnificative între proveniențe, grupuri geografice și culturi pentru diametrul la 1,30 m, înălțimea totală și cea elagată, precum și procentul de supraviețuire.
- A fost observată o variabilitate genetică ridicată a creșterilor anuale în diametru și a răspunsului la secetă al proveniențelor de molid testate. Aceste rezultate pot fi utilizate în programe de ameliorare, precum și de conservare genetică, dar reprezintă și un pas în dezvoltarea unei strategii de adaptare a acestei specii.
- Răspunsul la secetă al proveniențelor a fost influențat de anii în care au avut loc secetele, precum și de condițiile staționale ale locului de plantare.
- A fost necesară o perioadă mai lungă pentru recuperare, ceea ce indică o capacitate de revitalizare redusă a molidului după episoadele de secetă. Cu toate acestea, au fost identificate unele proveniențe cu creștere radială mare și cu rezistență și/sau recuperare bună.

#### **Cu privire la evaluarea interacțiunii genotip x mediu în cazul proveniențelor de molid testate în culturi comparative din România**

- Rezultatele confirmă faptul că molidul are o plasticitate fenotipică ridicată și există potențial pentru importante câștiguri genetice în următoarele faze ale programelor de ameliorare.

- Efectul locului de plantare este mai mare decât efectul provenienţelor, ceea ce subliniază atenţia necesară la condiţiile staţionale în lucrările de reîmpădurire.

### **Cu privire la analiza corelaţiilor fenotipice între caracteristicile de interes economic şi adaptativ şi între acestea şi gradientii geografici de origine ai provenienţelor testate**

- Au existat corelaţii semnificative şi pozitive între altitudinea de origine a provenienţelor şi procentul de supravieţuire al acestora în toate cele trei culturi comparative. Astfel, provenienţele de la altitudini mai mari au obţinut valori mai ridicate ale procentului de supravieţuire.
- Provenienţele sudice au obţinut valori mai mari ale procentului de supravieţuire şi ale diametrului la 1,30 m, faţă de provenienţele nordice, în toate cele trei culturi comparative.
- De asemenea, provenienţele sudice au avut înălţimi elagate mai mari faţă de cele nordice, în culturile Dorna Candrenilor şi Zărneşti.
- Provenienţele de la altitudini joase au avut o rezilienţă şi o rezilienţă relativă mai mari faţă de cele de la altitudini ridicate în cultura Turda, dar o recuperare şi o rezilienţă relativă mai mici în cultura Zărneşti.
- Provenienţele nordice au avut o recuperare şi o rezilienţă relativă mai mari faţă de cele sudice în culturile Dorna Candrenilor şi Turda, dar valori ale acestora mai mici faţă de cele sudice în cultura Zărneşti.
- Provenienţele estice au avut o rezistenţă mai mică faţă de cele vestice în cultura Dorna Candrenilor, dar o rezistenţă mai mare faţă de cele vestice în cultura Zărneşti.
- Provenienţele cu un procent ridicat de supravieţuire au avut recuperare şi rezilienţă relativă mai mici în cultura Dorna Candrenilor, faţă de cele cu un procent de supravieţuire mai redus. În Cultura Zărneşti, situaţia a fost inversă, cele cu un procent de supravieţuire ridicat, au avut o recuperare şi o rezilienţă relativă ridicate.
- Diametrul la 1,30 m, înălţimea totală, cea elagată şi procentul de supravieţuire au fost toate corelate foarte semnificativ, cu excepţia corelaţiei dintre diametrul la 1,30 m şi procentul de supravieţuire în cultura Zărneşti.
- Performanţele provenienţelor nu au fost foarte stabile, conform coeficienţilor de corelaţie. Se remarcă astfel interacţiunea provenienţă x cultură şi influenţa locului de plantare.

### **Cu privire la analiza influenţei condiţiilor climatice asupra caracteristicilor biometrice ale provenienţelor de molid**

- Au fost observate schimbări semnificative ale corelaţiilor dintre variabilele climatice şi creşterea anuală standardizată, în ultimii 40 de ani.
- Funcţiile de răspuns au evidenţiat influenţa pozitivă a temperaturilor ridicate din timpul verii procentului de lemn târziu.

- De asemenea, au fost evidențiate influența negativă a temperaturii ridicate din timpul toamnei asupra diametrului la 1,30 m și asupra înălțimii totale, precum și influența pozitivă a sumei precipitațiilor din lunile iunie, iulie și august (cea mai caldă perioadă de 3 luni) asupra celor două caracteristici analizate.
- Funcțiile de transfer au evidențiat faptul că diferențele de precipitații din cea mai caldă perioadă, dintre locul de plantare și cel de origine al proveniențelor, au avut o influență mai mare asupra înălțimii totale, față de diferențele de temperatură, în culturile Dorna Candrenilor și Zărnești, și asupra procentului de supraviețuire în cultura Turda.

### **Cu privire la selecția celor mai bune proveniențe de molid cu ajutorul indicilor de selecție**

- Indicii utilizați pentru selecția proveniențelor după mai multe caracteristici nu au probleme cu multicoliniaritatea, și sunt ușor de calculat și de interpretat. MGIDI poate fi utilizat pentru selecția proveniențelor adaptate anumitor condiții staționale, iar MTSI pentru selecția unor proveniențe cu performanțe bune în mai multe condiții de mediu.
- Au fost stabiliți pe baza a patru caracteristici, dar rezultate mai valoroase pot fi obținute dacă acest număr este mărit.
- De asemenea, pot fi utilizate diferite ponderi pentru MTSI, pentru a prioritiza fie stabilitatea, fie performanța medie a proveniențelor.
- Cu ajutorul indicelui MTSI, au fost identificate 12 proveniențe din întreg arealul speciei, din grupurile Carpaților de Est și de Vest, Podișul Boemiei și Alpii de Est, care au avut stabilitate și performanțe ridicate de creștere și adaptative.
- Luând în considerare vulnerabilitatea ridicată a resurselor genetice în fața schimbărilor climatice, ar fi de dorit ca aceste linii de descendențe unice să fie conservate *in-situ* și utilizate în migrarea asistată, ca parte a strategiei de adaptare forestieră.
- Studiul acestor proveniențe trebuie continuat, din moment ce vârsta culturilor comparative este de doar 49 de ani, jumătate din vârsta exploatabilității molidului în România.

## **5.4. Contribuții personale**

Prin cercetările ce stau la baza acestei lucrări, următoarele contribuții personale cu caracter de originalitate pot fi formulate:

- Analiza variabilității genetice a molidului în culturi comparative de proveniență, aflate la jumătate din vârsta exploatabilității molidului în România.
- Analiza răspunsului proveniențelor la secetele extreme, prin calcularea parametrilor de reziliență.
- Realizarea analizei perioadelor mobile pentru patru decenii în fiecare cultură comparativă.
- Realizarea corelațiilor între caracteristicile analizate, precum și între acestea și gradientii geografici ai proveniențelor.

- Analiza funcțiilor de răspuns în fiecare cultură comparativă pentru a determina variabilele climatice locale cu cea mai mare influență asupra înălțimii totale, diametrului la 1,30 m, creșterii anuale în diametru și asupra procentului de lemn târziu ale proveniențelor de molid.
- Analiza funcțiilor de transfer în fiecare cultură comparativă pentru a determina diferențele climatice dintre locul de plantare și locul de origine al proveniențelor, care au avut cea mai mare influență asupra înălțimii totale și asupra procentului de supraviețuire ale proveniențelor de molid.
- Utilizarea cu succes a doi noi indici de selecție, în premieră pentru speciile forestiere, combinând caracteristici de creștere, calitative și supraviețuirea proveniențelor.
- Identificarea unui număr de 12 proveniențe din întreg arealul speciei, din grupurile Carpaților Orientali și de Vest, Podișul Boemiei și Alpii de Est, care au avut stabilitate și performanțe ridicate pentru caracteristicile de creștere și adaptative.

## 5.5. Diseminarea rezultatelor

### A. Lucrări publicate în reviste indexate de Clarivate Analytics (fostul ISI Web of Science):

În calitate de autor principal/corespondent:

**Alexandru, A.-M.**, Mihai, G., Stoica, E., & Curtu, A. L. (2023). Multi-Trait Selection and Stability in Norway Spruce (*Picea abies*) Provenance Trials in Romania. *Forests*, 14(3), 456. <https://doi.org/10.3390/f14030456>

Mihai, G.; **Alexandru, A.M.**; Stoica, E.; Birsan, M.V. Intraspecific Growth Response to Drought of *Abies alba* in the Southeastern Carpathians. *Forests* **2021**, 12, 387. <https://doi.org/10.3390/f12040387>

**Alexandru, A.-M.**; Mihai, G.; Stoica, E.; Curtu, A. L. Drought Resilience Indices of Norway Spruce Provenances Tested in Long-Term Common Garden Experiments in the Romanian Carpathians. *Preprints* **2024**, 2024011040. <https://doi.org/10.20944/preprints202401.1040.v1>, trimis spre publicare

În calitate de coautor:

Mihai, G., Teodosiu, M., Birsan, M.-V., **Alexandru, A.-M.**, Mirancea, I., Apostol, E.-N., Gârbacea, P., & Ioniță, L. (2020). Impact of Climate Change and Adaptive Genetic Potential of Norway Spruce at the South-eastern Range of Species Distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108040. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108040>

### B. Lucrări publicate în reviste indexate în baze de date internaționale (BDI):

În calitate de autor principal/corespondent:

**Alexandru, A.-M.**, Mihai, G., Stoica, E., & Curtu, A. L., Variation in wood density among *Picea abies* provenances in the Romanian Carpathians, *Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, Vol. 17(66) No. 1 – 2024. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2024.17.66.1.1>

### C. Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe naționale sau internaționale:

**ALEXANDRU A.M.**, MIHAI G., CIOCÎRLAN E., CURTU A.L. și al., 2020: Variation of radial growth in Norway spruce provenance trials. Conferința internațională "9th International Symposium Forest and Sustainable Development", Braşov, 16 octombrie 2020, Prezentare orală;

**ALEXANDRU A.M.**, MIHAI G., STOICA E., CURTU A. L., 2021: Analyzing adaptive traits of Norway spruce provenances in relation to their place of origin in common garden trials across Romanian Carpathians. Conferința internațională IMER 5 - Integrated Management of Environmental Resources 2021, Suceava, 29 octombrie 2021, Prezentare orală;

**ALEXANDRU A.M.**, STOICA E., MIHAI G., CURTU A. L., 2022: Selection of the most adapted Norway spruce provenances for a sustainable forest management in the context of climate change. Conferința internațională Ecology & Safety, Burgas, Bulgaria, 16-19 august 2022, Poster.

**ALEXANDRU A.M.**, STOICA E., MIHAI G., CURTU A. L., 2023: The response to drought of Norway spruce (*Picea abies*) provenances in Romania. Second EVOLTREE Conference 2023 Resilient Forests For The Future, Braşov, România, 12-15 septembrie 2023, Poster.

**ALEXANDRU A.M.**, STOICA E., MIHAI G., CURTU A. L., 2023: Selection of Norway spruce (*Picea abies*) provenances from Romanian provenance trials based on multi-trait and stability. Conferința științifică internațională Forest science for people and societal challenges - The 90th "Marin Drăcea" INCDS Anniversary, București, România, 2-5 octombrie 2023, Prezentare orală.

### 5.6. Direcții viitoare de cercetare

- Utilizarea celor doi noi indici de selecție și pentru alte culturi comparative.
- Includerea în calculul acestor indici și a altor caracteristici, precum: atacul produs de boli și dăunători, rata de respirație, fotosinteza, eficiența utilizării apei, etc.
- Analiza parametrilor de reziliență ai arborilor pentru alte specii, nestudiate încă sau prea puțin studiate, în România.
- Compararea indicilor de reziliență ai arborilor între molid și alte specii, în arborete de amestec de rășinoase și foioase.
- Realizarea corelațiilor de tip „age-to-age”, pentru a analiza comportarea în timp a caracteristicilor analizate.
- Luarea în calcul în studiile viitoare și a competiției dintre arbori.
- Utilizarea tomografiei computerizate (CT) pentru măsurarea carotelor prin raze X.

## Bibliografie

- [1] S. Jansen, H. Konrad, și T. Geburek, „The extent of historic translocation of Norway spruce forest reproductive material in Europe”, *Annals of Forest Science*, vol. 74, 2017, doi: 10.1007/s13595-017-0644-z.
- [2] A. Buras și A. Menzel, „Projecting Tree Species Composition Changes of European Forests for 2061–2090 Under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios”, *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, 2019, Data accesării: 20 februarie 2023. [Online]. Disponibil la: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.01986>
- [3] G. Mihai *et al.*, „Impact of Climate Change and Adaptive Genetic Potential of Norway Spruce at the South–eastern Range of Species Distribution”, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 291, p. 108040, sep. 2020, doi: 10.1016/j.agrformet.2020.108040.
- [4] G. Mihai, A.-M. Alexandru, I.-A. Nita, și M.-V. Birsan, „Climate Change in the Provenance Regions of Romania over the Last 70 Years: Implications for Forest Management”, *Forests*, vol. 13, nr. 8, Art. nr. 8, aug. 2022, doi: 10.3390/f13081203.
- [5] IPCC, „Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)].”, IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. [Online]. Disponibil la: doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- [6] A. R. Ganguly *et al.*, „Higher trends but larger uncertainty and geographic variability in 21st century temperature and heat waves”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, nr. 37, pp. 15555–15559, 2009.
- [7] D. Coumou, A. Robinson, și S. Rahmstorf, „Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures”, *Climatic Change*, vol. 118, nr. 3, pp. 771–782, 2013.
- [8] M. Stéfanon, P. Drobinski, F. D’Andrea, C. Lebeaupin-Brossier, și S. Bastin, „Soil moisture-temperature feedbacks at meso-scale during summer heat waves over Western Europe”, *Climate dynamics*, vol. 42, pp. 1309–1324, 2014.
- [9] P. Y. Groisman, R. W. Knight, D. R. Easterling, T. R. Karl, G. C. Hegerl, și V. N. Razuvaev, „Trends in intense precipitation in the climate record”, *Journal of climate*, vol. 18, nr. 9, pp. 1326–1350, 2005.
- [10] J. Spinoni, J. V. Vogt, G. Naumann, P. Barbosa, și A. Dosio, „Will drought events become more frequent and severe in Europe?”, *International Journal of Climatology*, vol. 38, nr. 4, pp. 1718–1736, 2018, doi: 10.1002/joc.5291.
- [11] A. Dai, „Increasing drought under global warming in observations and models”, *Nature Clim Change*, vol. 3, nr. 1, Art. nr. 1, ian. 2013, doi: 10.1038/nclimate1633.
- [12] K. Haslinger, W. Schöner, și I. Anders, „Future drought probabilities in the Greater Alpine Region based on COSMO?CLM experiments? spatial patterns and driving forces”, *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 25, nr. 2, pp. 137–148, mai 2016, doi: 10.1127/metz/2015/0604.

- [13] Ph. Ciais *et al.*, „Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003”, *Nature*, vol. 437, nr. 7058, pp. 529–533, sep. 2005, doi: 10.1038/nature03972.
- [14] C. D. Allen *et al.*, „A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests”, *Forest Ecology and Management*, vol. 259, nr. 4, pp. 660–684, feb. 2010, doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001.
- [15] F. Lloret, A. Escudero, J. M. Iriondo, J. Martínez-Vilalta, și F. Valladares, „Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes”, *Global Change Biology*, vol. 18, nr. 3, pp. 797–805, 2012, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02624.x.
- [16] M. Reichstein *et al.*, „Climate extremes and the carbon cycle”, *Nature*, vol. 500, nr. 7462, Art. nr. 7462, aug. 2013, doi: 10.1038/nature12350.
- [17] M.-H. Brice, K. Cazelles, P. Legendre, și M.-J. Fortin, „Disturbances amplify tree community responses to climate change in the temperate–boreal ecotone”, *Global Ecology and Biogeography*, vol. 28, nr. 11, pp. 1668–1681, 2019, doi: 10.1111/geb.12971.
- [18] W. R. L. Anderegg *et al.*, „Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests”, *Science*, vol. 368, nr. 6497, p. eaaz7005, iun. 2020, doi: 10.1126/science.aaz7005.
- [19] A. Kastridis, V. Kamperidou, și D. Stathis, „Dendroclimatological Analysis of Fir (*A. borisii-regis*) in Greece in the frame of Climate Change Investigation”, *Forests*, vol. 13, nr. 6, Art. nr. 6, iun. 2022, doi: 10.3390/f13060879.
- [20] A. Fugeray-Scarbel *et al.*, „Prospects for evolution in European tree breeding”, *iForest - Biogeosciences and Forestry*, vol. 17, nr. 2, p. 45, 2024, doi: 10.3832/ifer4544-017.
- [21] C. Senf, A. Buras, C. S. Zang, A. Rammig, și R. Seidl, „Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe”, *Nat Commun*, vol. 11, nr. 1, Art. nr. 1, dec. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-19924-1.
- [22] T. D. Price, A. Qvarnström, și D. E. Irwin, „The role of phenotypic plasticity in driving genetic evolution”, *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 270, nr. 1523, pp. 1433–1440, iul. 2003, doi: 10.1098/rspb.2003.2372.
- [23] P. Vitt, K. Havens, A. T. Kramer, D. Sollenberger, și E. Yates, „Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes”, *Biological Conservation*, vol. 143, nr. 1, pp. 18–27, ian. 2010, doi: 10.1016/j.biocon.2009.08.015.
- [24] M. I. Williams și R. K. Dumroese, „Preparing for Climate Change: Forestry and Assisted Migration”, *Journal of Forestry*, vol. 111, nr. 4, pp. 287–297, iul. 2013, doi: 10.5849/jof.13-016.
- [25] A. Mauri *et al.*, „Assisted tree migration can reduce but not avert the decline of forest ecosystem services in Europe”, *Global Environmental Change*, vol. 80, p. 102676, mai 2023, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2023.102676.



- [26] L. K. Gray, T. Gylander, M. S. Mbogga, P. Chen, și A. Hamann, „Assisted migration to address climate change: recommendations for aspen reforestation in western Canada”, *Ecological Applications*, vol. 21, nr. 5, pp. 1591–1603, 2011, doi: 10.1890/10-1054.1.
- [27] D. Luo, G. A. O’Neill, Y. Yang, E. Galeano, T. Wang, și B. R. Thomas, „Population-specific climate sensitive top height curves and their applications to assisted migration”, *Eur J Forest Res*, mai 2024, doi: 10.1007/s10342-024-01694-w.
- [28] Md. R. Islam *et al.*, „Projected effects of climate change and forest management on carbon fluxes and biomass of a boreal forest”, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 349, p. 109959, apr. 2024, doi: 10.1016/j.agrformet.2024.109959.
- [29] G. E. Rehfeldt *et al.*, „Comparative genetic responses to climate in the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: Clines in growth potential”, *Forest Ecology and Management*, vol. 324, pp. 138–146, iul. 2014, doi: 10.1016/j.foreco.2014.02.041.
- [30] M. Arend, T. Kuster, M. S. Günthardt-Goerg, și M. Dobbertin, „Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*)”, *Tree Physiol*, vol. 31, nr. 3, pp. 287–297, mar. 2011, doi: 10.1093/treephys/tpr004.
- [31] J. Burczyk și M. Giertych, „Response of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) annual increments to drought for various provenances and locations”, *Silvae Genetica*, vol. 40, nr. 3–4, pp. 146–152, 1991.
- [32] J.-P. George *et al.*, „Intra-specific variation in growth and wood density traits under water-limited conditions: Long-term-, short-term-, and sudden responses of four conifer tree species”, *Sci Total Environ*, vol. 660, pp. 631–643, apr. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.478.
- [33] G. Mihai, A. M. Alexandru, E. Stoica, și M. V. Birsan, „Intraspecific Growth Response to Drought of *Abies alba* in the Southeastern Carpathians”, *Forests*, vol. 12, nr. 4, Art. nr. 4, apr. 2021, doi: 10.3390/f12040387.
- [34] C. Trujillo-Moya *et al.*, „Drought Sensitivity of Norway Spruce at the Species’ Warmest Fringe: Quantitative and Molecular Analysis Reveals High Genetic Variation Among and Within Provenances”, *G3 (Bethesda)*, vol. 8, nr. 4, pp. 1225–1245, feb. 2018, doi: 10.1534/g3.117.300524.
- [35] M. Hrivnák *et al.*, „Differential associations between nucleotide polymorphisms and physiological traits in Norway spruce (*Picea abies* Karst.) plants under contrasting water regimes”, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, vol. 95, nr. 5, pp. 686–697, dec. 2022, doi: 10.1093/forestry/cpac027.
- [36] S. Kapeller, M. J. Lexer, T. Geburek, J. Hiebl, și S. Schueler, „Intraspecific variation in climate response of Norway spruce in the eastern Alpine range: Selecting appropriate provenances for future climate”, *Forest Ecology and Management*, vol. 271, pp. 46–57, mai 2012, doi: 10.1016/j.foreco.2012.01.039.

- [37] M. Triviño *et al.*, „Future supply of boreal forest ecosystem services is driven by management rather than by climate change”, *Global Change Biology*, vol. 29, nr. 6, pp. 1484–1500, 2023, doi: 10.1111/gcb.16566.
- [38] J. Wang, A. R. Taylor, și L. D’Orangeville, „Warming-induced tree growth may help offset increasing disturbance across the Canadian boreal forest”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 120, nr. 2, p. e2212780120, ian. 2023, doi: 10.1073/pnas.2212780120.
- [39] N. Atzmon, Y. Moshe, și G. Schiller, „Ecophysiological response to severe drought in *Pinus halepensis* Mill. trees of two provenances”, *Plant Ecology*, vol. 171, nr. 1, pp. 15–22, mar. 2004, doi: 10.1023/B:VEGE.0000029371.44518.38.
- [40] M. Klisz *et al.*, „Effect of provenance and climate on intra-annual density fluctuations of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. in Poland”, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 269–270, pp. 145–156, mai 2019, doi: 10.1016/j.agrformet.2019.02.013.
- [41] V. Šimůnek *et al.*, „Different Adaptive Potential of Norway Spruce Ecotypes in Response to Climate Change in Czech Long-Term Lowland Experiment”, *Forests*, vol. 14, nr. 9, Art. nr. 9, sep. 2023, doi: 10.3390/f14091922.
- [42] R. Matisons, J. Katrevičs, P. Zeltniš, D. Jansone, și Ā. Jansons, „The Environmental and Genetic Controls of Increment Suggest a Limited Adaptability of Native Populations of Norway Spruce to Weather Extremes”, *Forests*, vol. 15, nr. 1, Art. nr. 1, ian. 2024, doi: 10.3390/f15010015.
- [43] E. Robert *et al.*, „Future carbon sequestration potential in a widespread transcontinental boreal tree species: Standing genetic variation matters!”, *Global Change Biology*, vol. 30, nr. 6, p. e17347, 2024, doi: 10.1111/gcb.17347.
- [44] J. Chen *et al.*, „Genomic data provide new insights on the demographic history and the extent of recent material transfers in Norway spruce”, *Evolutionary Applications*, vol. 12, nr. 8, pp. 1539–1551, 2019, doi: 10.1111/eva.12801.
- [45] G. Jansson *et al.*, „Norway Spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.)”, în *Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives*, L. E. Pâques, Ed., în *Managing Forest Ecosystems.*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2013, pp. 123–176. doi: 10.1007/978-94-007-6146-9\_3.
- [46] „Rezultate IFN – Ciclu II | Inventarul Forestier National”. Data accesării: 3 februarie 2020. [Online]. Disponibil la: <http://roifn.ro/site/rezultate-ifn-2/>
- [47] N. Șofletea și A. L. Curtu, *Dendrologie*. Editura Universității „Transilvania”, 2007.
- [48] F. Clinovschi, *Dendrologie*. Editura Universității din Suceava, 2005.
- [49] P. Mezei *et al.*, „Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus*—An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains”, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 242, pp. 85–95, aug. 2017, doi: 10.1016/j.agrformet.2017.04.004.

- [50] A. Simionescu, D. Chira, V. Mihalciuc, C. Ciornei, și C. Tulbure, *Starea de sănătate a pădurilor din România din perioada 2001-2010*. Suceava: Ed. Mușatinii, 2012.
- [51] D. Chira, C. Nețoiu, N. Olenici, M. Paraschiv, M. Buzatu, și F. Bălăcenoiu, „Starea fitosanitară a pădurilor afectate de insecte invazive și vătămătoare.”, INCDS “Marin Drăcea”, Proiect PN23090102/F3. Raport științific parțial (manuscris).
- [52] N. Olenici, M.-L. Duduman, I. Popa, G. Isaia, și M. Paraschiv, „Geographical Distribution of Three Forest Invasive Beetle Species in Romania”, *Insects*, vol. 13, nr. 7, Art. nr. 7, iul. 2022, doi: 10.3390/insects13070621.
- [53] M. Lévesque *et al.*, „Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch”, *Global Change Biology*, vol. 19, nr. 10, pp. 3184–3199, 2013, doi: 10.1111/gcb.12268.
- [54] C. Zang, C. Hartl-Meier, C. Dittmar, A. Rothe, și A. Menzel, „Patterns of drought tolerance in major European temperate forest trees: climatic drivers and levels of variability”, *Global Change Biology*, vol. 20, nr. 12, pp. 3767–3779, 2014, doi: 10.1111/gcb.12637.
- [55] C. Zang, H. Pretzsch, și A. Rothe, „Size-dependent responses to summer drought in Scots pine, Norway spruce and common oak”, *Trees*, vol. 26, nr. 2, pp. 557–569, apr. 2012, doi: 10.1007/s00468-011-0617-z.
- [56] O. Bouriaud și I. Popa, „Comparative dendroclimatic study of Scots pine, Norway spruce, and silver fir in the Vrancea Range, Eastern Carpathian Mountains”, *Trees*, vol. 23, nr. 1, pp. 95–106, feb. 2009, doi: 10.1007/s00468-008-0258-z.
- [57] H. Cochard, „Vulnerability of several conifers to air embolism”, *Tree Physiology*, vol. 11, nr. 1, pp. 73–83, iul. 1992, doi: 10.1093/treephys/11.1.73.
- [58] B. Konôpka și M. Lukac, „Moderate drought alters biomass and depth distribution of fine roots in Norway spruce”, *Forest Pathology*, vol. 43, nr. 2, pp. 115–123, 2013, doi: 10.1111/efp.12005.
- [59] I. Børja *et al.*, „Norway Spruce Fine Roots and Fungal Hyphae Grow Deeper in Forest Soils After Extended Drought”, în *Soil Biological Communities and Ecosystem Resilience*, M. Lukac, P. Grenni, și M. Gamboni, Ed., în Sustainability in Plant and Crop Protection. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 123–142. doi: 10.1007/978-3-319-63336-7\_8.
- [60] R. Gebauer *et al.*, „Effects of mild drought on the morphology of sun and shade needles in 20-year-old Norway spruce trees”, *iForest*, vol. 12, nr. 1, pp. 27–34, feb. 2019, doi: 10.3832/ifor2809-011.
- [61] S. Rosner *et al.*, „Hydraulic and mechanical dysfunction of Norway spruce sapwood due to extreme summer drought in Scandinavia”, *Forest Ecology and Management*, vol. 409, pp. 527–540, feb. 2018, doi: 10.1016/j.foreco.2017.11.051.
- [62] B. Schuldt *et al.*, „A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests”, *Basic and Applied Ecology*, vol. 45, pp. 86–103, iun. 2020, doi: 10.1016/j.baae.2020.04.003.

- [63] J. Honkaniemi, W. Rammer, și R. Seidl, „Norway spruce at the trailing edge: the effect of landscape configuration and composition on climate resilience”, *Landscape Ecology*, ian. 2020, doi: 10.1007/s10980-019-00964-y.
- [64] L. Marini *et al.*, „Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests”, *Ecography*, vol. 40, nr. 12, pp. 1426–1435, 2017, doi: 10.1111/ecog.02769.
- [65] J. Müller, H. Bußler, M. Goßner, T. Rettelbach, și P. Duelli, „The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: from pest to keystone species”, *Biodiversity and Conservation*, vol. 17, nr. 12, p. 2979, 2008.
- [66] T. Hlásny, S. Zimová, K. Merganičová, P. Štěpánek, R. Modlinger, și M. Turčáni, „Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications”, *Forest Ecology and Management*, vol. 490, p. 119075, iun. 2021, doi: 10.1016/j.foreco.2021.119075.
- [67] K. J. Liepe, E. van der Maaten, M. van der Maaten-Theunissen, și M. Liesebach, „High Phenotypic Plasticity, but Low Signals of Local Adaptation to Climate in a Large-Scale Transplant Experiment of *Picea abies* (L.) Karst. in Europe”, *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 5, 2022, Data accesării: 30 iunie 2022. [Online]. Disponibil la: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/ffgc.2022.804857>
- [68] M. He, X. Sun, Z. Li, și W. Feng, „Bending, shear, and compressive properties of three- and five-layer cross-laminated timber fabricated with black spruce”, *Journal of Wood Science*, vol. 66, nr. 1, p. 38, mai 2020, doi: 10.1186/s10086-020-01886-z.
- [69] P. Becvárová, M. Horváth, B. Sarapatka, și V. Zouhar, „Dynamics of soil organic carbon (SOC) content in stands of Norway spruce (*Picea abies*) in central Europe”, *iForest - Biogeosciences and Forestry*, vol. 11, pp. 734–742, 2018, doi: 10.3832/ifor2521-011.
- [70] I. Dutcă, I. V. Abrudan, P. T. Stăncioiu, și V. Blujdea, „Biomass Conversion and Expansion Factors for Young Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Trees Planted on Non-Forest Lands in Eastern Carpathians”, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol. 38, nr. 3, pp. 286–292, dec. 2010, doi: 10.15835/nbha3835450.
- [71] N. Wellbrock, E. Grüneberg, T. Riedel, și H. Polley, „Carbon stocks in tree biomass and soils of German forests”, *Central European Forestry Journal*, vol. 63, ian. 2017, doi: 10.1515/forj-2017-0013.
- [72] T. Brown și T. Daniel, „Predicting Scenic Beauty of Timber Stands”, *Forest Science*, vol. 32, pp. 471–487, iun. 1986.
- [73] L. Tyrväinen, H. Silvennoinen, și O. Kolehmainen, „Ecological and aesthetic values in urban forest management”, *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 1, nr. 3, pp. 135–149, ian. 2003, doi: 10.1078/1618-8667-00014.

- [74] A. Felton *et al.*, „The tree species matters: Biodiversity and ecosystem service implications of replacing Scots pine production stands with Norway spruce”, *Ambio*, nov. 2019, doi: 10.1007/s13280-019-01259-x.
- [75] T. Beardmore *et al.*, *THE STATE OF THE WORLD'S FOREST GENETIC RESOURCES*. 2014.
- [76] V. Enescu, *Producerea semin elor forestiere: genetic ameliorate*. Editura Ceres, 1982.
- [77] T. L. White, W. T. Adams, și D. B. Neale, *Forest Genetics*. 2007. [Online]. Disponibil la: <https://books.google.ro/books?id=UHZCeg4BqtkC>
- [78] M. Morgenstern, *Geographic variation in forest trees: genetic basis and application of knowledge in silviculture*. UBC press, 2011.
- [79] P. Alizoti *et al.*, „Non-Native Forest Tree Species in Europe: The Question of Seed Origin in Afforestation”, *Forests*, vol. 13, nr. 2, Art. nr. 2, feb. 2022, doi: 10.3390/f13020273.
- [80] L. Leites și M. Benito Garzón, „Forest tree species adaptation to climate across biomes: Building on the legacy of ecological genetics to anticipate responses to climate change”, *Global Change Biology*, vol. 29, nr. 17, pp. 4711–4730, 2023, doi: 10.1111/gcb.16711.
- [81] L. P. Leites, A. P. Robinson, G. E. Rehfeldt, J. D. Marshall, și N. L. Crookston, „Height-growth response to climatic changes differs among populations of Douglas-fir: a novel analysis of historic data”, *Ecological Applications*, vol. 22, nr. 1, pp. 154–165, 2012, doi: 10.1890/11-0150.1.
- [82] C. Mátyás, „Modeling climate change effects with provenance test data”, *Tree Physiology*, vol. 14, nr. 7-8-9, pp. 797–804, iul. 1994, doi: 10.1093/treephys/14.7-8-9.797.
- [83] C. Mátyás, „Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests”, *Euphytica*, vol. 92, nr. 1, pp. 45–54, ian. 1996, doi: 10.1007/BF00022827.
- [84] G. Namkoong, „Non-optimality of local races. I: Proceedings of the 10th Southern Forestry Tree Improvement Conference”, *Springfield, VA. US National Tree Improvement Society*, 1969.
- [85] Z.-Q. Chen, „Quantitative genetics of Norway spruce in Sweden”, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, nr. 2016:55, 2016, Data accesării: 15 iunie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://res.slu.se/id/publ/77503>
- [86] B. T. Campbell și M. A. Jones, „Assessment of genotype × environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials”, *Euphytica*, vol. 144, nr. 1, pp. 69–78, iul. 2005, doi: 10.1007/s10681-005-4336-7.
- [87] S. N. Aitken, S. Yeaman, J. A. Holliday, T. Wang, și S. Curtis-McLane, „Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations”, *Evolutionary Applications*, vol. 1, nr. 1, pp. 95–111, 2008, doi: 10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x.
- [88] C. K. Ghalambor, J. K. McKAY, S. P. CARROLL, și D. N. REZNICK, „Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments”, *Functional Ecology*, vol. 21, nr. 3, pp. 394–407, 2007, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01283.x>.

- [89] V. Codesido și J. Fernández-López, „Implication of genotype × site interaction on *Pinus radiata* breeding in Galicia”, *New Forests*, vol. 37, nr. 1, pp. 17–34, ian. 2009, doi: 10.1007/s11056-008-9105-8.
- [90] M. Haapanen, „Impact of Family-by-trial Interaction on the Utility of Progeny Testing Methods for Scots Pine”, *Silvae Genetica*, vol. 45, ian. 1996.
- [91] J. Costa e Silva, B. M. Potts, și G. W. Dutkowski, „Genotype by environment interaction for growth of *Eucalyptus globulus* in Australia”, *Tree Genetics & Genomes*, vol. 2, nr. 2, pp. 61–75, apr. 2006, doi: 10.1007/s11295-005-0025-x.
- [92] R. K. Campbell, „Genotype \* environment interaction: a case study for Douglas-fir in western Oregon. | Pacific Northwest Research Station | PNW - US Forest Service”. [Online]. Disponibil la: <https://www.fs.usda.gov/pnw/publications/genotype-environment-interaction-case-study-douglas-fir-western-oregon>
- [93] K. Isik, J. Kleinschmit, și J. Svolba, „Survival, growth trends and genetic gains in 17-year old *Picea abies* clones at seven test sites”, *Silvae Genetica (Germany)*, 1995, Data accesării: 22 decembrie 2022. [Online]. Disponibil la: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Survival%2C+growth+trends+and+genetic+gain+s+in+17-year+old+Picea+abies+clones+at+seven+test+sites&author=Isik%2C+K.&publication\\_year=1995](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Survival%2C+growth+trends+and+genetic+gain+s+in+17-year+old+Picea+abies+clones+at+seven+test+sites&author=Isik%2C+K.&publication_year=1995)
- [94] B. Karlsson, „Clone Testing and Genotype x Environment Interaction in *Picea abies*”, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria*, nr. 162, 2000, Data accesării: 7 decembrie 2022. [Online]. Disponibil la: <https://res.slu.se/id/publ/107965>
- [95] G. Mihai, „Surse de semin e testate pentru principalele specii de arbori forestieri din România [Tested seed sources for the main forest tree species from Romania]”, *Editura Silvică, București*, 2009.
- [96] R. Longauer, M. Pacalaj, D. Gömöry, S. Strmeň, și D. Krajmerová, „Growth and survival of Norway spruce in the provenance experiment IUFRO 1972 at the age of 38 year”, *Acta Facultatis Forestalis Zvolen Slovakia*, 2012, [Online]. Disponibil la: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Growth+and+survival+of+Norway+spruce+in+the+provenance+experiment+IUFRO+1972+at+the+age+of+38+year&author=Longauer%2C+R.%2C+National+Forest+Centre+-+Forest+Research+Institute+Zvolen%2C+Zvolen+%28Slovak+Republic%29&publication\\_year=2012](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Growth+and+survival+of+Norway+spruce+in+the+provenance+experiment+IUFRO+1972+at+the+age+of+38+year&author=Longauer%2C+R.%2C+National+Forest+Centre+-+Forest+Research+Institute+Zvolen%2C+Zvolen+%28Slovak+Republic%29&publication_year=2012)
- [97] J. Lundströmer, B. Karlsson, și M. Berlin, „Strategies for deployment of reproductive material under supply limitations – a case study of Norway spruce seed sources in Sweden”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 35, nr. 8, pp. 495–505, nov. 2020, doi: 10.1080/02827581.2020.1833979.
- [98] H. Sixto, J. Salvia, M. Barrio, M. Pilar Ciria, și I. Canellas, „Genetic variation and genotype-environment interactions in short rotation *Populus* plantations in southern Europe”, *New For.*, vol. 42, nr. 2, pp. 163–177, sep. 2011, doi: 10.1007/s11056-010-9244-6.

- [99] G. M. Heinrich, C. A. Francis, și J. D. Eastin, „Stability of Grain Sorghum Yield Components Across Diverse Environments1”, *Crop Science*, vol. 23, nr. 2, p. crops1983.0011183X002300020004x, mar. 1983, doi: 10.2135/cropsci1983.0011183X002300020004x.
- [100] D. R. Laing, „Adaptabilidad y estabilidad en el comportamiento de plantas de frijol comun”, International Center for Tropical Agriculture, 1978. [Online]. Disponibil la: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/69890>
- [101] H. C. Becker și J. Léon, „Stability Analysis in Plant Breeding”, *Plant Breeding*, vol. 101, nr. 1, pp. 1–23, 1988, doi: 10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x.
- [102] D. S. Falconer, *Introduction to quantitative genetics*. Harlow, England: Prentice Hall, 1996.
- [103] C. A. Raymond și G. Namkoong, „Optimizing breeding zones: genetic flexibility or maximum value”, *Silvae Genet*, vol. 39, nr. 3–4, pp. 110–3, 1990.
- [104] D. J. Chmura *et al.*, „Variation in growth of Norway spruce in the IUFRO 1972 provenance experimental series”, *Silvae Genetica*, vol. 67, nr. 1, pp. 26–33, mai 2016, doi: 10.2478/sg-2018-0004.
- [105] S. Stojnic *et al.*, „Provenance by site interaction and stability analysis of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances grown in common garden experiments”, *Silvae Genetica*, vol. 64, pp. 133–147, iun. 2015.
- [106] P. H. Krutzsch, „IUFRO’s role in coniferous tree improvement: Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)”, 1992.
- [107] M. Budeanu, „Testarea valorii genetice a unor rezervații de semințe de molid [*Picea abies* (L.) Karst.] în culturi comparative multistaționale”, Universitatea Transilvania din Braşov, Braşov, 2012.
- [108] É. Ujvári-Jármay, L. Nagy, și C. Mátyás, „The IUFRO 1964/68 Inventory Provenance Trial of Norway Spruce in Nyírjes, Hungary – results and conclusions of five decades”, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, vol. 12, pp. 1–2, mai 2016, doi: 10.1515/aslh-2016-0001.
- [109] P. Zeltiņš, J. Katrevičs, A. Gailis, T. Maaten, I. Desaine, și Ā. Jansons, „Adaptation Capacity of Norway Spruce Provenances in Western Latvia”, *Forests*, vol. 10, nr. 10, p. 840, oct. 2019, doi: 10.3390/f10100840.
- [110] N. Bélanger, D. Paré, M. Bouchard, și G. Daoust, „Is the use of trees with superior growth a threat to soil nutrient availability? A case study with Norway spruce”, *Can. J. For. Res.*, vol. 34, nr. 3, pp. 560–572, mar. 2004, doi: 10.1139/x03-216.
- [111] D. Danusevičius și G. Brazaitis, „Effect of provenance on early flowering in Norway spruce”, *Rural development 2011: the fifth international scientific conference, 24-25 November, 2011, Akademija, Aleksandras Stulginskis University: proceedings. Vol. 5, Book 2*, vol. 5, nr. 2, pp. 30–33, 2011.
- [112] „Forestry England takes part in 25-year Norway spruce provenance planting trial”, Forestry England. Data accesării: 17 iunie 2024. [Online]. Disponibil la:

<https://www.forestryengland.uk/news/forestry-england-takes-part-25-year-norway-spruce-provenance-planting-trial>

- [113] T. Skrøppa, *Forsøk med rumenske granprovenienser Trials with Norway spruce provenances from Romania*. NIBIO, 2021. [Online]. Disponibil la: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2789482>
- [114] T. Skrøppa și A. Steffenrem, „Selection in a provenance trial of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) produced a land race with desirable properties”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 31, nr. 5, pp. 439–449, iul. 2016, doi: 10.1080/02827581.2015.1081983.
- [115] V. Enescu, *Ameliorarea principalelor specii forestiere*. București: Ceres, 1975.
- [116] C. Nițu, „Cercetari privind comportarea provenientelor de molid testate in diferite conditii stationale (Researches concerning the behavior of Norway spruce provenances tested in different site conditions)”, *Redactia de propaganda tehnica Agricola, Bucuresti*, p. 36, 1984.
- [117] C. Nițu, D. Tătăranu, și V. Duran, „Contribuții la cunoașterea influenței originii geografice asupra unor caracteristici ale semințelor și plantulelor de molid”, *Revista Pădurilor*, vol. 85, nr. 2, 1970.
- [118] G. Mihai, „Variabilitatea genetică interpopulațională a molidului pentru principalele caractere de interes silvo-economic. II. Variabilitatea genetică a caracterelor adaptive și de calitate a lemnului”, *Revista Pădurilor*, vol. 115, nr. 6, 2000.
- [119] G. Mihai, „Researches of Norway spruce interpopulational genetic variability”, *Anale Institutul de Cercetari si Amenajari Silvice*, vol. 46, pp. 131–139, ian. 2003.
- [120] M. Budeanu, E. Apostol, P. Flaviu, și D. Postolache, „Analysis the stability of three Norway spruce comparative trials (Analiza stabilită ii a trei culturi comparative de molid)”, 2018.
- [121] C. Nițu *et al.*, „Aspecte privind variabilitatea genetică a unor proveniențe de molid.”, *Anale Institutul de Cercetari si Amenajari Silvice*, pp. 49–58, 1974.
- [122] L. Badea, *Geografia României*. Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1983.
- [123] „Meteo Romania | Clima României”. Data accesării: 14 februarie 2023. [Online]. Disponibil la: <https://www.meteoromania.ro/clima/clima-romaniei/>
- [124] J. A. Guijarro, „climatol: Climate Tools (Series Homogenization and Derived Products)”. 22 martie 2024. Data accesării: 27 iunie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://cran.r-project.org/web/packages/climatol/index.html>
- [125] H. Walter și H. Lieth, „Klimadiagramm Weltatlas.—VEB G”, *Fischer. Jena*, 1960.
- [126] D. I. Săndoiu, *Tehnică experimentală*. București: Ceres, 2012.
- [127] L. Opgenoorth *et al.*, „The GenTree Platform: growth traits and tree-level environmental data in 12 European forest tree species”, *GigaScience*, vol. 10, nr. 3, mar. 2021, doi: 10.1093/gigascience/giab010.



- [128] I. Dumitriu-Tătăranu, I. Ghelmeziu, I. I. Florescu, I. Milea, V. Moş, și M. Tocan, „Estimarea calității lemnului prin metoda carotelor de sondaj”, *Editura Tehnică, București*, 1983.
- [129] „Cybis.se: Technical writing, software development, dendrochronology”. Data accesării: 30 mai 2023. [Online]. Disponibil la: <https://www.cybis.se/>
- [130] A. Bunn *et al.*, „dplR: Dendrochronology Program Library in R”. 10 iunie 2022. Data accesării: 23 iunie 2022. [Online]. Disponibil la: <https://CRAN.R-project.org/package=dplR>
- [131] R core team, „R: A language and environment for statistical computing”. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. [Online]. Disponibil la: <https://www.R-project.org/>.
- [132] F. Campelo, „detrendeR: A Graphical User Interface (GUI) to Visualize and Analyze Dendrochronological Data”. 16 aprilie 2022. Data accesării: 23 iunie 2022. [Online]. Disponibil la: <https://CRAN.R-project.org/package=detrendeR>
- [133] I. Popa, *Fundamente metodologice și aplicații de dendrocronologie*. Editura Tehnică Silvică, 2004. Data accesării: 15 decembrie 2023. [Online]. Disponibil la: <https://scholar.google.com/scholar?cluster=1367495708374559692&hl=en&oi=scholar>
- [134] G. Bucci, „ClimateDT - Climate Downscaling Tool”, ClimateDT - Climate Downscaling Tool. [Online]. Disponibil la: <https://www.ibbr.cnr.it/climate-dt/>
- [135] I. Dumitriu-Tătăranu, „Latitudinea corectată și durata estimată a perioadei de vegetație, caractere staționale de interes teoretic și practic”, *Revista Pădurilor*, vol. 88, nr. 8, pp. 413–417, 1973.
- [136] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, și J. I. López-Moreno, „A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index”, *Journal of Climate*, vol. 23, nr. 7, pp. 1696–1718, apr. 2010, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- [137] S. Beguería și S. M. Vicente-Serrano, „SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index”. 7 iunie 2017. Data accesării: 9 mai 2022. [Online]. Disponibil la: <https://CRAN.R-project.org/package=SPEI>
- [138] C. W. Thornthwaite, „An Approach toward a Rational Classification of Climate”, *Geographical Review*, vol. 38, nr. 1, pp. 55–94, 1948, doi: 10.2307/210739.
- [139] M. Becker, T. M. Nieminen, și F. Géréma, „Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO<sub>2</sub>”, *Ann. For. Sci.*, vol. 51, nr. 5, pp. 477–492, 1994, doi: 10.1051/forest:19940504.
- [140] G. Jetschke, E. van der Maaten, și M. van der Maaten-Theunissen, „Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods”, *Dendrochronologia*, vol. 53, pp. 55–62, feb. 2019, doi: 10.1016/j.dendro.2018.11.004.
- [141] A. Nanson, *Génétique et amélioration des arbres forestiers*. Presses Agronomiques de Gembloux, 2004.

- [142] A. Kuznetsova, P. B. Brockhoff, R. H. B. Christensen, și S. P. Jensen, „lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models”. 23 octombrie 2020. Data accesării: 8 decembrie 2022. [Online]. Disponibil la: <https://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>
- [143] X. Wu *et al.*, „Timing and Order of Extreme Drought and Wetness Determine Bioclimatic Sensitivity of Tree Growth”, *Earth’s Future*, vol. 10, nr. 7, p. e2021EF002530, 2022, doi: 10.1029/2021EF002530.
- [144] F. Lloret, E. G. Keeling, și A. Sala, „Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests”, *Oikos*, vol. 120, nr. 12, pp. 1909–1920, 2011, doi: 10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x.
- [145] C. Zang și F. Biondi, „treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships”, *Ecography*, vol. 38, nr. 4, pp. 431–436, 2015, doi: 10.1111/ecog.01335.
- [146] C. P. Bueno de Mesquita, C. T. White, E. C. Farrer, L. M. Hallett, și K. N. Suding, „Taking climate change into account: Non-stationarity in climate drivers of ecological response”, *Journal of Ecology*, vol. 109, nr. 3, pp. 1491–1500, 2021, doi: 10.1111/1365-2745.13572.
- [147] S. Kapeller, S. Schüller, G. Huber, G. Božič, T. Wohlgemuth, și R. Klumpp, „Provenance Trials in Alpine Range – Review and Perspectives for Applications in Climate Change”, *Management Strategies to Adapt Alpine Space Forests to Climate Change Risks*, aug. 2013, doi: 10.5772/56283.
- [148] M. Kuhn, „Building Predictive Models in R Using the caret Package”, *Journal of Statistical Software*, vol. 28, pp. 1–26, nov. 2008, doi: 10.18637/jss.v028.i05.
- [149] T. Wang, G. A. O’Neill, și S. N. Aitken, „Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate”, *Ecological Applications*, vol. 20, nr. 1, pp. 153–163, 2010, doi: 10.1890/08-2257.1.
- [150] C. Andalo, J. Beaulieu, și J. Bousquet, „The impact of climate change on growth of local white spruce populations in Québec, Canada”, *Forest Ecology and Management*, vol. 205, nr. 1, pp. 169–182, feb. 2005, doi: 10.1016/j.foreco.2004.10.045.
- [151] G. E. Rehfeldt, C. C. Ying, D. L. Spittlehouse, și D. A. Hamilton Jr., „Genetic responses to climate in *Pinus contorta*: Niche breadth, climate change, and reforestation”, *Ecological Monographs*, vol. 69, nr. 3, pp. 375–407, 1999, doi: 10.2307/2657162.
- [152] Systat Software Inc, *SigmaPlot 12.5: User’s Guide*. Systat Software Incorporated, 2013. [Online]. Disponibil la: <https://books.google.ro/books?id=HsQjnwEACAAJ>
- [153] T. Olivoto și M. Nardino, „MGIDI: toward an effective multivariate selection in biological experiments”, *Bioinformatics*, vol. 37, nr. 10, pp. 1383–1389, mai 2021, doi: 10.1093/bioinformatics/btaa981.
- [154] T. Olivoto, A. D. C. Lúcio, J. A. G. da Silva, B. G. Sari, și M. I. Diel, „Mean Performance and Stability in Multi-Environment Trials II: Selection Based on Multiple Traits”, *Agronomy Journal*, vol. 111, nr. 6, pp. 2961–2969, 2019, doi: 10.2134/agronj2019.03.0221.

- [155] T. Olivoto și A. D. Lúcio, „metan: An R package for multi-environment trial analysis”, *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 11, nr. 6, pp. 783–789, iun. 2020, doi: 10.1111/2041-210X.13384.
- [156] A.-M. Alexandru, G. Mihai, E. Stoica, și A. L. Curtu, „Multi-Trait Selection and Stability in Norway Spruce (*Picea abies*) Provenance Trials in Romania”, *Forests*, vol. 14, nr. 3, Art. nr. 3, mar. 2023, doi: 10.3390/f14030456.
- [157] M. Budeanu, N. Șofletea, și I. Petritan, „Among-population Variation in Quality Traits in Two Romanian Provenance Trials with *Picea abies* L.”, *Baltic Forestry*, vol. 20, pp. 37–47, 2014.
- [158] J. Katrevičs, B. Džeriņa, U. Neimane, I. Desaine, Z. Bigača, și Ā. Jansons, „Production and profitability of low density Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) plantation at 50 years of age: case study from eastern Latvia”, 2018, Data accesării: 29 iunie 2024. [Online]. Disponibil la: <http://hdl.handle.net/10492/3817>
- [159] R. Matisons, P. Zeltiņš, R. Kāpostiņš, K. Ozoliņš, și Ā. Jansons, „Productivity of local Norway spruce clones relates to weather sensitivity of height increment in the eastern Baltic region”, *Dendrochronologia*, p. 126187, mar. 2024, doi: 10.1016/j.dendro.2024.126187.
- [160] R. Petráš, J. Mecko, D. Krupová, M. Slamka, și A. Pažitný, „Aboveground biomass basic density of softwoods tree species”, *Wood Research*, vol. 64, nr. 2, pp. 205–212, 2019.
- [161] D. Gil-Moreno, D. Ridley-Ellis, și P. Mclean, „Timber properties of noble fir, Norway spruce, western red cedar and western hemlock grown in Great Britain.”, *Library review. Great Britain. Forestry Commission*, dec. 2016.
- [162] N. Șofletea, M. Budeanu, și G. Pârnu ă, „Provenance Variation in Radial Increment and Wood Characteristics Revealed by 30 Years Old Norway Spruce Comparative Trials”, *Silvae Genetica*, vol. 61, nr. 1–6, pp. 170–178, dec. 2012, doi: 10.1515/sg-2012-0022.
- [163] V. Cucchi, C. Meredieu, A. Stokes, F. de Coligny, J. Suarez, și B. A. Gardiner, „Modelling the windthrow risk for simulated forest stands of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)”, *Forest Ecology and Management*, vol. 213, nr. 1, pp. 184–196, iul. 2005, doi: 10.1016/j.foreco.2005.03.019.
- [164] L. Zeller *et al.*, „Tree ring wood density of Scots pine and European beech lower in mixed-species stands compared with monocultures”, *Forest Ecology and Management*, vol. 400, pp. 363–374, sep. 2017, doi: 10.1016/j.foreco.2017.06.018.
- [165] H. Pretzsch, P. Biber, G. Schütze, J. Kemmerer, și E. Uhl, „Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870”, *Forest Ecology and Management*, vol. 429, pp. 589–616, dec. 2018, doi: 10.1016/j.foreco.2018.07.045.
- [166] M. Bosela *et al.*, „Climate warming induced synchronous growth decline in Norway spruce populations across biogeographical gradients since 2000”, *Science of The Total Environment*, vol. 752, p. 141794, ian. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141794.

- [167] F. Knutzen *et al.*, „Impacts and damages of the European multi-year drought and heat event 2018&ndash;2022 on forests, a review”, *EGUsphere*, pp. 1–56, iul. 2023, doi: 10.5194/egusphere-2023-1463.
- [168] B. Antonescu *et al.*, „Future changes in heatwaves characteristics in Romania”, *Theor Appl Climatol*, vol. 153, nr. 1, pp. 525–538, iul. 2023, doi: 10.1007/s00704-023-04412-5.
- [169] E. Mateescu, M. Smarandache, N. Jeler, și V. Apostol, „Drought conditions and management strategies in Romania”, *Initiative on “Capacity Development to Support. National Drought Management Policy”(WMO, UNCCD, FAO and UNW-DPC)*, vol. 600, 2013.
- [170] A. Busuioc și H. von Storch, *Changes in the Winter Precipitation in Romania and Its Relation to the Large Scale Circulation*. Max-Planck-Institut für Meteorologie, 1995.
- [171] „Caracterizare climatologică multianuală 1961-2022”, <http://www.meteoromania.ro/>. Data accesării: 14 martie 2024. [Online]. Disponibil la: [https://www.meteoromania.ro/clim/caracterizare-multianuala/cc\\_1961\\_2022\\_03.html](https://www.meteoromania.ro/clim/caracterizare-multianuala/cc_1961_2022_03.html)
- [172] J.-P. George *et al.*, „Genetic variation, phenotypic stability, and repeatability of drought response in European larch throughout 50 years in a common garden experiment”, *Tree Physiology*, vol. 37, nr. 1, pp. 33–46, ian. 2017, doi: 10.1093/treephys/tpw085.
- [173] J. D. DeBell, J. C. Tappeiner II, și R. L. Krahmer, „Wood density of western hemlock: effect of ring width”, *Can. J. For. Res.*, vol. 24, nr. 3, pp. 638–641, mar. 1994, doi: 10.1139/x94-083.
- [174] T. Franceschini, F. Longuetaud, J.-D. Bontemps, O. Bouriaud, B.-D. Caritey, și J.-M. Leban, „Effect of ring width, cambial age, and climatic variables on the within-ring wood density profile of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst.”, *Trees*, vol. 27, nr. 4, pp. 913–925, aug. 2013, doi: 10.1007/s00468-013-0844-6.
- [175] B. Hannrup *et al.*, „Genetic parameters of growth and wood quality traits in *Picea abies*”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 19, nr. 1, pp. 14–29, feb. 2004, doi: 10.1080/02827580310019536.
- [176] A. Steffenrem, H. Kvaalen, O. A. Høyib, Ø. M. Edvardsen, și T. Skråppa, „Genetic variation of wood quality traits and relationships with growth in *Picea abies*”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 24, nr. 1, pp. 15–27, feb. 2009, doi: 10.1080/02827580802641215.
- [177] D. Gräns, B. Hannrup, F. Isik, S.-O. Lundqvist, și S. McKeand, „Genetic variation and relationships to growth traits for microfibril angle, wood density and modulus of elasticity in a *Picea abies* clonal trial in southern Sweden”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 24, nr. 6, pp. 494–503, dec. 2009, doi: 10.1080/02827580903280061.
- [178] A. Zubizarreta Gerendiain, H. Peltola, și P. Pulkkinen, „Growth and wood property traits in narrow crowned Norway spruce (*Picea abies* f. *pendula*) clones grown in southern Finland”, *Silva Fennica*, vol. 43, nr. 3, dec. 2009, Data accesării: 23 ianuarie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://www.silvafennica.fi/article/194>

- [179] Z.-Q. Chen *et al.*, „Genetic analysis of fiber dimensions and their correlation with stem diameter and solid-wood properties in Norway spruce”, *Tree Genetics & Genomes*, vol. 12, nr. 6, p. 123, nov. 2016, doi: 10.1007/s11295-016-1065-0.
- [180] Z.-Q. Chen, M. R. G. Gil, B. Karlsson, S.-O. Lundqvist, L. Olsson, și H. X. Wu, „Inheritance of growth and solid wood quality traits in a large Norway spruce population tested at two locations in southern Sweden”, *Tree Genetics & Genomes*, vol. 10, nr. 5, pp. 1291–1303, oct. 2014, doi: 10.1007/s11295-014-0761-x.
- [181] T. Skrøppa, G. Høyen, și J. Dietrichson, „Relationships Between Wood Density Components and Juvenile Height Growth and Growth Rhythm Traits for Norway Spruce Provenances and Families”, *Silvae Genetica*, vol. 48, pp. 235–239, 1999.
- [182] E. N. Apostol și M. Budeanu, „Adaptability of Narrow-Crowned Norway Spruce Ideotype (*Picea abies* (L.) Karst. pendula Form) in 25 Years Half-Sib Comparative Trials in the Eastern Carpathians”, *Forests*, vol. 10, nr. 5, Art. nr. 5, mai 2019, doi: 10.3390/f10050395.
- [183] L. DeSoto *et al.*, „Low growth resilience to drought is related to future mortality risk in trees”, *Nat Commun*, vol. 11, nr. 1, Art. nr. 1, ian. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-14300-5.
- [184] R. Zas *et al.*, „Dendroecology in common gardens: Population differentiation and plasticity in resistance, recovery and resilience to extreme drought events in *Pinus pinaster*”, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 291, p. 108060, sep. 2020, doi: 10.1016/j.agrformet.2020.108060.
- [185] Z.-Q. Chen, B. Karlsson, și H. X. Wu, „Patterns of additive genotype-by-environment interaction in tree height of Norway spruce in southern and central Sweden”, *Tree Genetics & Genomes*, vol. 13, nr. 1, p. 25, ian. 2017, doi: 10.1007/s11295-017-1103-6.
- [186] Y. Li, M. Suontama, R. D. Burdon, și H. S. Dungey, „Genotype by environment interactions in forest tree breeding: review of methodology and perspectives on research and application”, *Tree Genetics & Genomes*, vol. 13, nr. 3, p. 60, mai 2017, doi: 10.1007/s11295-017-1144-x.
- [187] T. Skrøppa și A. Steffenrem, „Performance and Phenotypic Stability of Norway Spruce Provenances, Families, and Clones Growing under Diverse Climatic Conditions in Four Nordic Countries”, *Forests*, vol. 12, nr. 2, Art. nr. 2, feb. 2021, doi: 10.3390/f12020230.
- [188] M. Pigliucci, C. J. Murren, și C. D. Schlichting, „Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation”, *Journal of Experimental Biology*, vol. 209, nr. 12, pp. 2362–2367, iun. 2006, doi: 10.1242/jeb.02070.
- [189] X. Wu *et al.*, „Uneven winter snow influence on tree growth across temperate China”, *Global Change Biology*, vol. 25, nr. 1, pp. 144–154, 2019, doi: 10.1111/gcb.14464.
- [190] A. B. Reinmann, J. R. Susser, E. M. C. Demaria, și P. H. Templer, „Declines in northern forest tree growth following snowpack decline and soil freezing”, *Global Change Biology*, vol. 25, nr. 2, pp. 420–430, 2019, doi: 10.1111/gcb.14420.

- [191] J. Kreyling, „Winter climate change: a critical factor for temperate vegetation performance”, *Ecology*, vol. 91, nr. 7, pp. 1939–1948, 2010, doi: 10.1890/09-1160.1.
- [192] J. Hu, D. J. P. Moore, S. P. Burns, și R. K. Monson, „Longer growing seasons lead to less carbon sequestration by a subalpine forest”, *Global Change Biology*, vol. 16, nr. 2, pp. 771–783, 2010, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01967.x.
- [193] R. Weigel *et al.*, „Winter matters: Sensitivity to winter climate and cold events increases towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.)”, *Journal of Biogeography*, vol. 45, nr. 12, pp. 2779–2790, 2018.
- [194] R. Weigel *et al.*, „Ecosystem processes show uniform sensitivity to winter soil temperature change across a gradient from central to cold marginal stands of a major temperate forest tree”, *Ecosystems*, vol. 24, nr. 6, pp. 1545–1560, 2021.
- [195] L. Gómez-Aparicio, R. García-Valdés, P. Ruíz-Benito, și M. A. Zavala, „Disentangling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change”, *Global Change Biology*, vol. 17, nr. 7, pp. 2400–2414, iul. 2011.
- [196] A. J. Challinor, T. R. Wheeler, P. Q. Craufurd, C. A. T. Ferro, și D. B. Stephenson, „Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 119, nr. 1, pp. 190–204, feb. 2007, doi: 10.1016/j.agee.2006.07.009.
- [197] D. B. Lobell și C. B. Field, „Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming”, *Environmental Research Letters*, vol. 2, nr. 1, p. 014002, mar. 2007, doi: 10.1088/1748-9326/2/1/014002.
- [198] T. R. Wheeler, P. Q. Craufurd, R. H. Ellis, J. R. Porter, și P. V. Vara Prasad, „Temperature variability and the yield of annual crops”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 82, nr. 1, pp. 159–167, dec. 2000, doi: 10.1016/S0167-8809(00)00224-3.
- [199] A. Augustaitis *et al.*, „Tree-ring formation as an indicator of forest capacity to adapt to the main threats of environmental changes in Lithuania”, *Science of The Total Environment*, vol. 615, pp. 1247–1261, feb. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.169.
- [200] E. Linkevičius, A. Kliučius, G. Šidlauskas, și A. Augustaitis, „Variability in Growth Patterns and Tree-Ring Formation of East European Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances to Changing Climatic Conditions in Lithuania”, *Forests*, vol. 13, nr. 5, Art. nr. 5, mai 2022, doi: 10.3390/f13050743.
- [201] C.-C. Roibu *et al.*, „The Climatic Response of Tree Ring Width Components of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Common Oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe”, *Forests*, vol. 11, nr. 5, Art. nr. 5, mai 2020, doi: 10.3390/f11050600.
- [202] S. Gribbe, L. Enderle, R. Weigel, D. Hertel, C. Leuschner, și L. Muffler, „Recent growth decline and shifts in climatic growth constraints suggest climate vulnerability of beech, Douglas fir, pine and oak in Northern Germany”, *Forest Ecology and Management*, vol. 566, p. 122022, aug. 2024, doi: 10.1016/j.foreco.2024.122022.

- [203] G.-H. Strand, „Effects of early summer drought on the crown density of Norway spruce”, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, vol. 70, nr. 2, pp. 157–160, ian. 1997, doi: 10.1093/forestry/70.2.157.
- [204] S. Solberg, „Summer drought: a driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway”, *Forest Pathology*, vol. 34, nr. 2, pp. 93–104, 2004, doi: 10.1111/j.1439-0329.2004.00351.x.
- [205] N. Kunert, P. Hajek, P. Hietz, H. Morris, S. Rosner, și D. Tholen, „Summer temperatures reach the thermal tolerance threshold of photosynthetic decline in temperate conifers”, *Plant Biology*, vol. 24, nr. 7, pp. 1254–1261, 2022, doi: 10.1111/plb.13349.
- [206] Y. Miyamoto, H. P. Griesbauer, și D. Scott Green, „Growth responses of three coexisting conifer species to climate across wide geographic and climate ranges in Yukon and British Columbia”, *Forest Ecology and Management*, vol. 259, nr. 3, pp. 514–523, ian. 2010, doi: 10.1016/j.foreco.2009.11.008.
- [207] P. Čermák, T. Kolář, T. Žid, M. Trnka, și M. Rybníček, „Norway spruce responses to drought forcing in areas affected by forest decline”, *Forest Systems*, vol. 28, nr. 3, Art. nr. 3, dec. 2019, doi: 10.5424/fs/2019283-14868.
- [208] H. F. Smith, „A Discriminant Function for Plant Selection”, *Annals of Eugenics*, vol. 7, nr. 3, pp. 240–250, 1936, doi: 10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x.
- [209] L. N. Hazel, „The Genetic Basis for Constructing Selection Indexes”, *Genetics*, vol. 28, nr. 6, pp. 476–490, nov. 1943.
- [210] M. P. Allen, Ed., „The problem of multicollinearity”, în *Understanding Regression Analysis*, Boston, MA: Springer US, 1997, pp. 176–180. doi: 10.1007/978-0-585-25657-3\_37.
- [211] J. G. Prunier, M. Colyn, X. Legendre, K. F. Nimon, și M. C. Flamand, „Multicollinearity in spatial genetics: separating the wheat from the chaff using commonality analyses”, *Mol Ecol*, vol. 24, nr. 2, pp. 263–283, ian. 2015, doi: 10.1111/mec.13029.
- [212] E. H. Bizari, B. H. P. Val, E. de M. Pereira, A. O. D. Mauro, și S. H. Unêda-Trevisoli, „Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean1”, *Rev. Ciênc. Agron.*, vol. 48, pp. 110–117, mar. 2017, doi: 10.5935/1806-6690.20170012.
- [213] T. Wang, S. N. Aitken, P. Rozenberg, și M. R. Carlson, „Selection for height growth and Pilodyn pin penetration in lodgepole pine: effects on growth traits, wood properties, and their relationships”, *Canadian journal of forest research*, vol. 29, nr. 4, pp. 434–445, 1999, doi: 10.1139/x99-012.
- [214] E. R. Falkenhagen, „Understanding Multiple Trait Index Selection and its Problems”, *South African Forestry Journal*, vol. 137, nr. 1, pp. 26–32, iun. 1986, doi: 10.1080/00382167.1986.9629640.
- [215] C. Christophe și Y. Birot, „Genetic structures and expected genetic gains from multitrait selection in wild populations of Douglas fir and Sitka spruce. II. Practical application of index selection on several populations.”, *Silvae Genetica*, vol. 32, nr. 5/6, pp. 173–181, 1983.

- [216] F. Chollet și B. Roman-Amat, „Determination of economic coefficients for multitrait selection of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.)”, 1986.
- [217] T. White, „Breeding strategies for forest trees: Concepts and challenges”, *Southern African Forestry Journal*, vol. 190, nr. 1, pp. 31–42, mar. 2001, doi: 10.1080/20702620.2001.10434113.
- [218] Y. Zhao *et al.*, „Genetic Parameters and Genotype–Environment Interactions in Paulownia Clonal Tests in Temperate and Subtropical Regions of China”, *Forests*, vol. 13, nr. 12, Art. nr. 12, dec. 2022, doi: 10.3390/f13122113.
- [219] J. Matras, „Growth and development of Polish provenances of *Picea abies* in the IUFRO 1972 experiment”, *Dendrobiology*, vol. 61, 2009.
- [220] M. Budeanu, N. Șofletea, și G. Pârnută, „Testing Romanian seed sources of Norway spruce (*Picea abies*): Results on growth traits and survival at age 30”, *Annals of Forest Research*, vol. 55, pp. 43–52, 2012, doi: 10.15287/afr.2012.74.
- [221] S. Schueler *et al.*, „Adaptive genetic diversity of trees for forest conservation in a future climate: a case study on Norway spruce in Austria”, *Biodivers Conserv*, vol. 22, nr. 5, pp. 1151–1166, mai 2013, doi: 10.1007/s10531-012-0313-3.
- [222] M. Giertych, „Genetics”, în *Biology and Ecology of Norway Spruce*, M. G. Tjoelker, A. Boratyński, și W. Bugała, Ed., Dordrecht: Springer Netherlands, 2007, pp. 115–155. doi: 10.1007/978-1-4020-4841-8\_9.
- [223] D. P. Fowler și J. F. Coles, „Norway Spruce Provenance Experiments in the Maritimes Region of Canada”, *The Forestry Chronicle*, vol. 56, nr. 4, pp. 155–160, aug. 1980, doi: 10.5558/tfc56155-4.



## REZUMAT

Variabilitatea genetică este definită drept capacitatea unui individ sau a unei populații de a varia din punct de vedere al însușirilor genotipice și fenotipice. Variabilitatea genetică cantitativă este esențială pentru adaptabilitatea speciilor la schimbările climatice.

Scopul acestei teze a fost acela de a evalua variabilitatea genetică a molidului – cea mai importantă specie de rășinoase din România din punct de vedere ecologic și economic – în vederea îmbunătățirii strategiei naționale de ameliorare și măsurilor de conservare a resurselor genetice de molid din România în contextul schimbărilor climatice.

Au fost analizate și comparate 81 de proveniențe de molid, din România și din alte 12 țări din Europa, în trei culturi comparative, la 49 de ani de la plantare, aproape jumătate din vârsta de exploatare a acestei specii în România. Proveniențele acoperă bine arealul natural și de cultură al speciei în Europa, fiind împărțite în 11 grupuri geografice.

Au fost observate diferențe semnificative între proveniențe, grupuri geografice și culturi pentru diametrul la 1,30 m, înălțimea totală și cea până la prima ramură verde, precum și procentul de supraviețuire. De asemenea, a fost observată o variabilitate genetică ridicată a creșterilor anuale în diametru și a răspunsului la secetă al proveniențelor de molid testate. Diferențe semnificative între proveniențe în ceea ce privește densitatea convențională a lemnului au fost obținute doar în cultura Dorna Candrenilor.

Utilizarea indicelui SPEI-3 pentru perioada 1972-2020 a permis identificarea anilor cu evenimente de secetă severă și extremă ce au avut loc în cele trei culturi comparative.

Corelațiile dintre caracteristicile analizate și dintre acestea și locul de origine al proveniențelor au fost utilizate pentru a examina măsura în care variația caracteristicilor este influențată de adaptarea locală la condițiile climatice ale locului de origine.

Analiza interacțiunii genotip x mediu a demonstrat că efectul acestei interacțiuni este semnificativ pentru cele două înălțimi. Efectul locului de plantare a fost mai mare decât efectul proveniențelor, ceea ce subliniază atenția necesară la condițiile staționale în lucrările de reîmpădurire.

Prin analiza corelațiilor pe perioade mobile au fost evidențiate schimbările ale corelațiilor dintre variabilele climatice cu creșterile anuale în diametru standardizate ale proveniențelor.

Funcțiile de răspuns au permis identificarea corelațiilor dintre variabilele climatice diferite ale locurilor de plantare și procentul de lemn târziu, înălțimea totală și diametrul la 1,30 m.

Prin utilizarea funcțiilor de transfer, au fost analizate corelațiile dintre diferențele climatice ale locului de plantare și cele ale locului de origine cu înălțimea totală și procentul de supraviețuire.

Prin utilizarea a doi noi indici de selecție, MGIDI – multi-trait genotype-ideotype distance index și MTSI – multi-trait stability index, au fost selecționate 12 proveniențe din Carpații Orientali și de Vest, Podișul Boemiei și Alpii Estici. MGIDI a fost utilizat pentru selecția proveniențelor adaptate anumitor condiții staționale, iar MTSI pentru selecția unor proveniențe cu performanțe bune în mai multe condiții de mediu.

## ABSTRACT

Genetic variability is defined as the capacity of an individual or a population to have varying genotypic and phenotypic traits. Quantitative genetic variability is essential for species adaptability to climate change.

The aim of this thesis was to evaluate the genetic variability of Norway spruce (*Picea abies*)—the most important conifer species from Romania in terms of ecological and economic values—to improve the national breeding strategy and conservation measures of Norway spruce genetic resources from Romania in the context of climate change.

81 Norway spruce provenances from Romania and 12 other European countries have been analysed and compared in three provenance trials from Romania. The provenances are almost half of the rotation age of this species in Romania, 49 years. The provenances cover the species' distribution range in Europe well, being from 11 geographical groups.

Significant differences between provenances, geographical groups, and trials have been observed regarding diameter at breast height, total and pruned height, and survival percentage. A high genetic variability of the radial growth and the response to drought of the provenances has also been observed. Regarding conventional wood density, significant differences between provenances were recorded only in the Dorna Candrenilor trial.

Calculating the SPEI-3 for the 1972-2020 period has allowed the identification of the years with severe and extreme drought events.

The correlations between the traits and between them and the provenances' place of origin have been used to examine the extent to which the trait variation is influenced by the local adaptation to the climatic conditions of the place of origin.

The genotype x environment interaction analysis has demonstrated the significant effect of this interaction on the total and pruned height. The planting site had a higher effect than the provenances, emphasising the attention required to the site conditions in reforestation works.

With the moving windows correlation analysis, the changes in the correlations between the climatic variables and the standardised annual radial growth of the provenances have been observed.

The response functions have permitted the identification of the correlations between the different climatic variables of the three trials and the latewood percentage, total height and diameter at breast height.

Using the transfer functions, the correlations between the differences between the climate variables of the planting site and those from the place of origin have been analysed for total height and survival percentage.

Using the two new selection indices, MGIDI – multi-trait genotype-ideotype distance index and MTSI – multi-trait stability index, 12 provenances were selected from the Eastern and Western Carpathians, Bohemian, and Eastern Alps groups.