

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ
Facultatea de Silvicultură şi Exploatare Forestiere

Ing. Ioana Maria GAFENCO căs. PLEŞCA

**Structura fenologică şi analiza fenotipică pentru descriptori ai
frunzelor în populaţii periferice de gorun (*Quercus petraea* (Matt.)
Liebl.) din estul României**

REZUMAT

Conducător ştiinţific

Prof. dr. ing. Neculae ŞOFLETEA

BRAŞOV, 2023

CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezumat
MULȚUMIRI	3	1
INTRODUCERE	4	2
1. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTIINȚELOR PRIVIND TAXONOMIA, COROLOGIA, ECOLOGIA, VARIABILITATEA FENOTIPICĂ ȘI FENOLOGICĂ A GORUNULUI (<i>QUERCUS PETRAEA</i> (MATT.) LIEBL.)	5	3
1.1 Gorunul, specie edificatoare de ecosisteme forestiere: importanța și repere corologice și ecologice ale speciei	5	3
1.2 Variabilitatea taxonomică a gorunului	9	3
1.2.1 Poziția taxonomică a gorunului în cadrul genului <i>Quercus</i> L.	9	3
1.2.2. Variabilitatea taxonomică intraspecifică a gorunului	10	4
1.3 Aspecte privind variabilitatea fenotipică și fenologică a gorunului	11	4
1.3.1 Variabilitatea fenotipică	11	4
1.3.2 Variabilitatea fenologică	15	6
2. SCOP ȘI OBIECTIVE	19	7
2.1 Scopul cercetărilor	19	7
2.2 Obiectivele cercetărilor	19	7
3. METODOLOGIA CERCETĂRII	20	8
3.1 Localizarea cercetărilor	20	8
3.2 Materialul și metoda de cercetare	24	11
3.2.1 Materialul și metoda de cercetare pentru analiza fenologică	24	11
3.2.2 Materialul și metoda de cercetare pentru analiza trăsăturilor lemnului	27	13
3.2.3 Materialul și metoda de cercetare pentru analiza fenotipică în cultura comparativă de proveniențe Fântânele	31	15
3.2.4 Materialul și metoda de cercetare pentru analizele morfologice foliare	32	16
4. REZULTATE ȘI DISCUȚII	39	20
4.1 Fenologia gorunului în populații periferice din estul României și în cultura comparativă Fântânele	39	20
4.2 Analiza influenței categoriei fenologice asupra trăsăturilor lemnului	50	26
4.2.1 Influența categoriei fenologice asupra densității convenționale a lemnului	50	26
4.2.2 Influența categoriei fenologice asupra trăsăturilor structurale ale lemnului	53	28
4.2.3 Analiza componentelor principale și analiza cluster	58	31
4.3 Analiza fenotipică în cultura comparativă de proveniențe Fântânele	60	32
4.4 Variabilitatea fenotipică la nivelul frunzelor	73	43
4.4.1 Variabilitatea morfologică intrapopulațională și interpopulațională a gorunului	73	43



4.4.2 Variabilitatea intrapopulaţională şi interpopulaţională a descriptorilor macromorfologici şi micromorfologici foliari.....	76	44
4.4.2.1 Evaluarea variabilităţii fenotipice pe baza descriptorilor macromorfologici foliari.....	76	44
4.4.2.2 Evaluarea variabilităţii fenotipice pe baza descriptorilor micromorfologici foliari.....	83	47
4.4.3 Evaluarea variabilităţii macromorfologice şi micromorfologice prin utilizarea analizelor statistice multivariate.....	87	49
5. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUŢII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECŢII VIITOARE DE CERCETARE.....	103	57
5.1 Concluzii finale.....	103	57
5.2 Contribuţii originale.....	105	59
5.3 Diseminarea rezultatelor.....	105	59
5.4 Direcţii viitoare de cercetare.....	106	60
BIBLIOGRAFIE.....	107	61
Scurt rezumat.....	148	72

MULȚUMIRI

Toată muncă depusă și demersurile făcute pentru realizarea cercetărilor nu ar fi fost posibile fără sprijinul, îndrumarea și ajutorul primit din partea unor persoane deosebite cărora doresc să le mulțumesc.

Deosebită recunoștință și aleasă considerație se îndreaptă către domnul **prof. univ. dr. ing. Neculae ȘOFLETEA**, conducătorul științific al acestei teze de doctorat, căruia doresc să îi mulțumesc pentru încrederea acordată, răbdarea, înțelegerea și îndrumarea oferită pe întreaga durată a stagiului doctoral. Vă mulțumesc pentru că mi-ați oferit oportunitatea de a beneficia de vasta dumneavoastră experiență în domeniile dendrologiei și geneticii forestiere, precum și pentru sprijinul permanent, fără de care nu aş fi reușit să realizez această teză.

De asemenea, doresc adresa mulțumiri **prof. univ. dr. ing. Lucian CURTU, conf. dr. ing. Dan-Marian GUREAN și conf. dr. ing. Victor Dan PĂCURAR** pentru amabilitate de a face parte din comisia de îndrumare a tezei, precum și pentru recomandările și observațiile constructive care au contribuit la îmbunătățirea lucrării.

Pe această cale doresc să mulțumesc și domnului **prof. univ. dr. ing. Florin DINULICĂ**, pentru sprijinul acordat în ceea ce privește analiza trăsăturilor lemnului. Implicarea domniei sale a reprezentat un sprijin semnificativ atât din punct de vedere experimental, cât și teoretic.

Mulțumiri cordiale domnului **conf. dr. ing. Liviu FĂRTĂIȘ**, care mi-a insuflat pasiunea pentru genetică forestieră și care mi-a îndreptat pașii spre domeniul cercetării științifice.

Întreaga mea recunoștință, profundă prețuire și alese mulțumiri doamnei **CS I dr. ing. Ecaterina Nicoleta APOSTOL** pentru sprijinul oferit, sfaturile, răbdarea și încrederea acordată pe întreaga perioadă a carierei științifice, contribuind la formarea mea profesională și personală, și nu în ultimul rând, pentru generozitatea care o caracterizează.

În egală măsură, doresc să îmi exprim recunoștința față de domnul **Director Științific, CS I dr. ing. Ovidiu BADEA** pentru încrederea acordată, precum și pentru facilitarea accesului la bazele materiale necesare pentru a finaliza această cercetare.

Adresez mulțumiri Regiei Naționale a Pădurilor – RNP Romsilva, în mod special **domnilor ing. Dragoș BUTUNOI** – șef ocol Grivița, **ing. Relu ORÎNDARU** – șef ocol Căiuți, **ing. Daniel GUȚU** – șef ocol Huși, **ing. Dorel LEBĂDĂ** – șef ocol Răducăneni și **ing. Alin Constantin MICU** – șef ocol Bisericesc Bacău pentru suportul efectiv în inițierea și desfășurarea cercetărilor, dar și pentru sprijinul oferit în perioada pandemiei pentru a putea continua cercetările.

Alese mulțumiri tuturor colegilor care m-au ajutat în desfășurarea lucrărilor de teren.

În mod deosebit aş dori să mulțumesc **familiei mele**, surorii și cumnatului meu, nepoților, bunicilor, socrilor și cumnaților care m-au susținut necondiționat pe tot parcursul studiilor doctorale, însă, în mod special, soțului meu **Bogdan** pentru toată dragostea, susținerea, răbdarea și sacrificiile făcute pentru a putea duce la bun sfârșit această lucrare.

În memoria părinților mei, Ilie și Marcela

INTRODUCERE

Tot mai multe studii și cercetări aduc dovezi care indică faptul că schimbările de mediu reprezintă o amenințare tot mai mare la adresa persistenței și durabilității pădurilor (Soularue & Kremer, 2014), populațiile periferice fiind considerate printre ecosistemele cele mai vulnerabile la aceste fenomene (Fady et al., 2016; Ducci & Donnelly, 2017; Mátyás et al., 2018; Popescu & Șofletea, 2020). În acest context, populațiile periferice joacă un rol important în conservarea biodiversității (Gapare et al., 2005) și estimarea evoluției speciilor (Nielsen et al., 2001).

Spre deosebire de populațiile aflate în zona centrală a distribuției unei specii, populațiile periferice se găsesc în principal în medii climatice nefavorabile (Ursenbacher et al., 2016). Mai mult, ele sunt de obicei reprezentate de populații izolate și mici (Eckert et al., 2008; Lázaro-Nogal et al., 2017), ceea ce duce la o variație genetică redusă (Macdonald et al., 2017) asociată cu un risc crescut de dispariție (Hardie & Hutchings, 2010; Eliades et al., 2019). Cu toate acestea, populațiile periferice, în special cele aflate la limita inferioară a arealului natural de distribuție, sunt privite ca fiind mai bine adaptate la condițiile de mediu stresante și, în consecință, sunt susceptibile de a prezenta adaptări valoroase (Mátyás et al., 2009; Borovics & Mátyás, 2013; Ciocîrlan et al., 2017).

Fenologia, datorită sensibilității la variabilitatea condițiilor climatice de la un an la altul (Campbell & Sugano, 1975; Bertin, 2008; Zhang et al., 2009; Chen & Xu, 2012) este un indicator tot mai frecvent întrebuințat pentru studierea reacțiilor plantelor, și în particular a speciilor de arbori, la impactul pe termen lung al schimbărilor globale de mediu (Menzel & Fabian, 1999; Parmesan, 2007; Richardson et al., 2013). Totodată, există și opinii potrivit cărora nu doar schimbările climatice afectează fenologia, ci și variațiile fenologice influențează la rândul lor clima, atenuând sau agravând efectele încălzirii climatice asupra pădurilor în funcție de ponderea relativă a feedback-urilor pozitive sau negative (Peñuelas et al., 2009). Prin urmare, evaluarea fenologiei în populații aflate la limita inferioară a arealului de distribuție a unei specii poate oferi informații valoroase cu privire la efectele schimbărilor climatice asupra pădurilor.

În plus, fenologia este considerată un determinant cheie al răspândirii spațiale a arborilor (Chuine & Beaubien, 2001), fiind utilizată pentru a prezice modificările viitoare ale ariilor geografice de distribuție ale speciilor ca răspuns la schimbările climatice (Chuine 2010).

Datorită plasticității sale fenotipice ridicate (Mátyás, 2021), gorunul (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) este considerat o specie ideală pentru evaluarea efectelor schimbărilor climatice (Czúcz et al. 2011, Borovics & Mátyás, 2013, Mátyás et al., 2018).

În România, gorunul deține cea mai mare pondere dintre speciile de cvercinee, fiind o specie de o importanță ecologică și economică incontestabilă. Cu toate acestea, cunoștințele privind structura fenologică a gorunului în populații periferice situate spre limita estică a intervalului de distribuție a speciei sunt deficitare. Prin urmare, caracteristicile unice ale populațiilor periferice expuse constant presiunilor climatice și secetei solului reprezintă o zonă puțin studiată care necesită o atenție suplimentară.

Astfel, această lucrare își propune să analizeze comportamentul fenologic al gorunului, în vederea caracterizării structurii fenologice a speciei în populații de limită altitudinală inferioară reprezentative pentru arealul răsăritean al acesteia în România, precum și într-o cultură comparativă de proveniențe autohtone amplasată aproape de limita estică a speciei.

De asemenea, gorunul fiind o specie politipică, s-au realizat și analize fenotipice pentru a stabili structura taxonomică la nivelul descriptorilor morfologici foliari.

Rezultatele pot servi ca bază pentru stabilirea strategiilor de utilizare și conservare a resurselor genetice de gorun, cât și pentru prezicerea viitoarelor modificări fenologice sub amenințarea schimbărilor climatice de mediu.

1. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTINȚELOR PRIVIND TAXONOMIA, COROLOGIA, ECOLOGIA, VARIABILITATEA FENOTIPICĂ ȘI FENOLOGICĂ A GORUNULUI (*QUERCUS PETRAEA* (MATT.) LIEBL.)

1.1 Gorunul, specie edificatoare de ecosisteme forestiere: importanța și repere corologice și ecologice ale speciei

În linii generale, vastul areal ocupat de gorun se desfășoară între 37°-62° latitudine N, respectiv 10° longitudine V și 50° longitudine E (Vila-Lameiro & Díaz-Maroto, 2017).

În România, *Q. petraea sensu lato* (inclusiv ssp. *dalechampii* și ssp. *polycarpa*) deține 8,3% din suprafața acoperită cu pădure (IFN, 2019). Acesta formează un subetaj de vegetație propriu, unde se detașează ca specie edificatoare de ecosisteme forestiere (Șofletea & Curtu, 2000). Se găsește la altitudini ce pot varia între 300-800 m, însă uneori se extinde până în zona montană la 900-1000 m sau spre silvostepă sub 300 m. Totuși, sunt de remarcat și rarele apariții la câmpie (de exemplu în pădurea Hanu Conachi – Gafenco et al., 2023a) sau cele din zona montană înaltă (de exemplu, populația din Muntele Cozia – Șofletea & Curtu, 2007), ceea ce reflectă potențialul său ridicat de adaptare în populații marginale sau periferice.

Referitor la răspândirea subspeciilor *dalechampii* și *polycarpa* în România, acestea cresc alături de gorunul comun (diseminat sau în pâncuri), ssp. *dalechampii* fiind mai frecventă în Podișul Central Moldovenesc (Chiriță, 1981), iar ssp. *polycarpa* fiind bine reprezentată în dealurile joase ale Olteniei, precum și în munții din sudul Banatului (Șofletea & Curtu, 2007).

Gorunul are un comportament mezoterm tipic, dezvoltându-se optim la o temperatură medie anuală de 6-9°C (Stănescu et al., 1997), și pretinde valori ridicate ale precipitațiilor atmosferice, în general cuprinse între 600 – 800 mm anual (Stănescu et al., 1997), având din acest punct de vedere exigențe medii - specie mezofilă (Șofletea & Curtu, 2007; Fedorova et al., 2018). În plus, se numără printre speciile tolerante la secetă (Vander Mijnsbrugge et al. 2017), dezvoltând adaptări speciale în acest sens (Bréda et al., 1993). Ceilalți doi goruni (ssp. *dalechampii* și ssp. *polycarpa*), necesită cantități mai mari de căldură decât gorunul comun (subtermofili), fiind totodată și mai rezistenți la secetă decât acesta (mezoxerofiti-mezofiti), motiv pentru care înaintează mai mult către silvostepă, unde se amestecă cu stejarul pufos.

1.2. Variabilitatea taxonomică a gorunului

1.2.1 Poziția taxonomică a gorunului în cadrul genului *Quercus* L.

În literatura de specialitate din România, în funcție de încadrarea taxonomică adoptată, găsim menționate 7-9 specii de cvercinee (Georgescu & Morariu, 1948; Beldie, 1952; Stănescu et al., 1997; Șofletea & Curtu, 2007). Speciile native de cvercinee identificate în flora vasculară a țării noastre sunt sistematizate astfel: seria *Sessiliflorae* Loj. (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. ssp. *petraea* (Liebl.) Soó, *Q. petraea* ssp. *dalechampii* (Ten.) Soó, *Q. petraea* ssp. *polycarpa* (Schur) Soó), seria *Pedunculatae* Schwz. (*Q. robur* L., *Q. pedunculiflora* K. Koch), seria *Confertae* Simk. (*Q. frainetto* Ten.), seria *Lanuginosae* Simk. (*Q. pubescens* Willd., *Q. virgiliana* Ten.) și subgenul *Cerris* (Spach.) Oerst (*Q. cerris* L.).

Dintre cei trei taxoni ai seriei *Sessiliflorae* Loj., doar *Q. petraea* (Matt.) Liebl este considerat ușor de recunoscut și larg acceptat de majoritatea taxonomiștilor, lucru care însă nu se poate afirma când se analizează statutul taxonomic a celorlalți doi taxoni (*Q. dalechampii* Ten. și *Q. polycarpa* Schur).

Referitor la *Q. dalechampii* Ten., la nivel european, în cadrul clasificărilor taxonomice se disting două abordări contrastante. Astfel, în unele cazuri este considerată specie distinctă înrudită cu *Quercus petraea* (Schwarz, 1964, 1993; Filipova & Asenov, 2016), iar în opoziție este descrisă ca specie distinctă înrudită cu *Quercus pubescens* (Camus, 1934-1954; Di Pietro et al., 2012).

În urma lectotipificării, Di Pietro et al. (2012) fixează *Q. dalechampii* Ten. în cadrul *Q. pubescens sensu lato*. În acest context, Kučera (2018) propune numele de *Quercus banatus* P. Kučera, nomen novum, pentru înregistrările lui *Q. dalechampii* (cu lujeri glabri şi cupe subsesile) interpretate ca specii taxonomic apropiate de *Q. petraea* şi raportate în diferite ţări din centrul şi sud-estul Europei.

Nici în cazul *Q. polycarpa* Schur. nu se poate discuta despre un consens cu privire la poziţia sa taxonomică. Iniţial, până să fie descoperită şi descrisă de Schur în anul 1851 a fost considerată o formă a gorunului comun, fiind consemnată în literatură sub denumirea de *Q. sessiliflora* f. *iberica* (Steven ex M. Bieb.) Ledeb. Ulterior, cele mai multe studii confirmă asemănările în plan morfologic cu *Q. petraea sensu stricto*, cel mai adesea fiind nominalizată ca specie distinctă (Matula, 2008; Bartha, 2014) sau ca subspecie a acesteia (Govaerts & Frodin, 1998; Şofletea & Curtu, 2007; Raab-Straube & Raus, 2013).

1.2.2 Variabilitatea taxonomică intraspecifică a gorunului

În studiile asupra variabilităţii taxonomice a seriei *Sessiliflorae* (Beldie & Cretzoiu, 1941; Georgescu & Morariu, 1948; Beldie, 1952) sunt descrise formele şi varietăţile pe care reprezentăţii acesteia le prezintă, fiind nominalizate pentru ssp. *petraea*: f. *platyphylla* (Lam.) Schwz. cu subformele: subf. *normalis* Schwz şi subf. *angulata* Schwz., f. *laciniata* (Lam.) Schw. cu subformele: subf. *pinnata* (C. K. Schn) Schwz. şi subf. *lobulosa* Schwz., şi f. *longifolia* (Dippei) Schwz. cu subforma: subf. *angustifolia* (Zap) Schwz., pentru ssp. *dalechampii*: f. *lancifolia* (Vuk.) Schwz. şi f. *pinnatifida* (Boiss.) Schwz, iar pentru ssp. *polycarpa*: var. *typica* Beldie şi var. *glabra* Beldie.

1.3 Aspecte privind variabilitatea fenotipică şi fenologică a gorunului

1.3.1 Variabilitatea fenotipică

În Europa s-au realizat numeroase studii cu privire la diferenţierea morfologică a cvercineelor şi în mod particular a gorunului.

În nordul-estul Franţei, Dupouey şi Badeau (1993), au comparat variabilitatea la nivelul frunzelor pentru *Q. petraea*, *Q. robur* şi *Q. pubescens*, şi au constatat că parametrii cu cea mai mare capacitate de diferenţiere între cele trei specii sunt pilozitatea, numărul şi dimensiunea nervurilor intercalare, dar şi lungimea peţiolului.

Mai târziu, Kremer et al. (2002) au propus o metodologie pentru evaluarea variabilităţii în funcţie de morfologia frunzelor, în arborete mixte de stejar şi gorun. Pentru evaluarea variabilităţii la nivelul frunzelor s-au utilizat patru categorii de descriptori morfologici şi trei metode de analiză statistică multivariată (CDA, PCA şi MCA), astfel s-au putut distinge în mod evident două populaţii, corespunzătoare celor două specii.

Un an mai târziu, Borazan şi Babaç (2003) au realizat un studiu despre variabilitatea morfometrică a frunzelor la cvercinee (*Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*, *Q. virgiliana* şi *Q. cerris*), fiind analizate un număr de 16 caractere morfologice cu privire la numărul perechilor de lobi, lăţimea lobilor, lăţimea şi lungimea lamei sau lungimea peţiolului.

Într-o lucrare publicată în anul 2009a de Viscosi et al. a fost studiată morfologia frunzelor şi relaţiile morfometrice dintre patru specii ale genului *Quercus* (*Q. petraea*, *Q. robur*, *Q. pubescens* şi *Q. frainetto*).

Variabilitatea morfologică a gorunului a fost abordată şi în unele studii la nivel naţional. Spre exemplu, într-un studiu axat pe diversitatea genetică a gorunului din populaţii naturale (Stuparu et al., 2003), s-a analizat structura morfologică a frunzei prin intermediul a şase descriptori. De asemenea, Apostol et al. (2015) au urmărit identificarea unităţilor taxonomice intraspecifice într-un arboret mixt de cvercinee folosind descriptori morfologici foliari.

Bussotti și Grossoni (1997) au examinat cu ajutorul SEM (*Scanning Electron Microscopy*) caracteristicile micromorfologice pe de fața abaxială a frunzelor la mai multe specii de stejari. Potrivit acestui studiu, la gorun, ceara de pe suprafața abaxială a frunzei este distribuită în mod uniform sub forma unor excrescențe aplatizate, de mărimi diferite, și care nu acoperă în mod necesar toată suprafața frunzei. Stomatele au formă eliptică cu axa principală mai lungă decât cea secundară și sunt înconjurate cu ceară. Referitori la tricomi, aceștia sunt stelați, cu 2-4 brațe asimetrice aplatizate pe lamină. De asemenea, au fost analizate și probe de *Q. dalechampii*, constatându-se și în acest caz o anumită variabilitate a caracteristicilor micromorfologice (unele forme sunt identice cu *Q. petraea* în timp ce altele au suprafața abaxială complet glabră).

În ceea ce privește *Q. polycarpa*, descrierile referitoare la caracteristicile micromorfologice diferă considerabil în rândul cercetătorilor. Potrivit descrierii lui Camus (1934-1954) suprafața abaxială a laminei este fin pubescentă, potrivit lui Schwarz (1993) este glabră sau glabrescentă, în timp ce Krüssmann (1986) afirmă că suprafața abaxială este ușor pubescentă în tinerețe, iar ulterior glabră.

1.3.2 Variabilitatea fenologică

Pe scară largă, fenologia a fost utilizată tot mai mult în studii care vizează evaluarea sau modelarea impactului schimbărilor climatice (Hänninen, 1995; Kramer, 1995, 1996; Menzel & Fabian, 1999; Chuine, 2000; Cleland et al., 2007; Vitasse et al., 2011; Kolář et al., 2016).

Nizinski și Saugier (1988) se numără printre primii cercetători care au elaborat un model empiric de prognoză a înfrunzirii la gorun. În raport cu alte modele, cel propus de cei doi autori menționați anterior s-a dovedit a fi simplu (pentru calculul producerii fenofazei înfrunzirii ia în considerare doar două variabile: temperatura medie zilnică și fotoperioada) și cu precizie ridicată (± 2 zile, în comparație cu alte modele la care diferențele au fost de până la 3-4 zile).

Pentru analiza impactului schimbărilor climatice în relație cu fenologia în diverse arborete, Kramer (1994, 1996), Kramer et al. (2000) au utilizat modele mai complexe, de tip mecanicist. Astfel, pentru speciile genului *Quercus* (*Q. petraea* și *Q. robur*), efectul creșterii temperaturii asupra dinamicii fenologice s-a dovedit a fi unul redus, deoarece data la care are loc căderea frunzelor (16 octombrie) a avansat mai mult decât cea la care are loc înfrunzirea (6 mai).

Delpierre et al. (2009) au încercat să modeleze variabilitatea spațială a colorării frunzelor pentru gorun, stejar pedunculat și fag, folosind datele furnizate de rețeaua RENECOFOR (Franța) din perioada 1997-2006.

Din cercetările efectuate în culturi comparative de proveniențe de gorun (Liepe, 1993; Deans & Harvey, 1995; Ducousso et al., 1996), s-a observat că fenologia înfrunzirii variază cu latitudinea (populațiile sudice înfrunzesc mai devreme decât cele nordice). De asemenea, variații clinale asemănătoare au fost raportate și de-a lungul unor gradienti altitudinali (Alberto et al., 2011, 2013).

La gorun s-au constatat variații cu latitudinea și în ceea ce privește fenofaza colorării frunzelor (Deans & Harvey, 1995; Jensen & Hansen, 2008). Ca urmare a existenței unor variații în lungimea fotoperioadei, senescenta se declanșează mai devreme în populațiile de la latitudini ridicate decât în populațiile de la latitudini joase. Totuși, Vitasse et al. (2009), au observat că variația gradientală a senescentei cu altitudinea este mult mai probabil să fie indusă de temperatură decât de fotoperioadă.

În România, primele observații asupra fenofazelor speciilor de interes forestier (inclusiv gorun) au început în anul 1946, în cadrul Institutului de Cercetări Forestiere (Bălănică & Tomescu, 1953) și au continuat până în anul 1965.

Pe baza observațiilor efectuate în intervalul 1956-1965 s-a constatat că perioada de vegetație la gorun, indiferent de gradientii geografici, durează în medie 180 zile (200 zile la 100 m altitudine și 160 la 650 m altitudine). De asemenea, începutul înfrunzirii s-a produs în medie cu 10 zile mai devreme în sud decât în nord (diferența reprezentând aproximativ 5 zile pentru 1° latitudine) (Tomescu, 1967).

Referitor la colorarea autumnală a frunzelor, se arată că această fază are loc după o perioadă de timp în care s-a înregistrat o scădere bruscă şi foarte puternică a temperaturilor medii zilnice, faţă de la începutul toamnei (Tomescu, 1957). În plus, din cauza condiţiilor climatice (temperaturi ridicate, secetă accentuată) de la sfârşitul verii şi din toamnă, în regiunile sudice colorarea frunzelor este mai timpurie decât în nord.

La sfârşitul secolului trecut, în cadrul reţelei ICP Forest au fost reluate cercetările fenologice sistematice asupra celor mai importante specii forestiere de la noi (Badea, 1998), urmărindu-se în principal evaluarea schimbărilor climatice, precum şi stabilirea corelaţiilor dintre fenofaze şi diferiţi parametri măsuraţi (starea de sănătate, creşterea arborilor, acumulări de litieră, etc.) (Beuker et al., 2016).

Ulterior, Teodosiu et al. (2005) au efectuat observaţii fenologice asupra gorunului, în două puncte aparţinând reţelei FENOFOR.

În ultima perioadă, cercetări fenologice asupra unor specii de cvercinee s-au desfăşurat în pădurea de amestec Fundeanu (Chesnoiu et al., 2009; Chesnoiu, 2017). De asemenea, Crăciunesc (2013) a studiat implicaţiile fenologiei de primăvară asupra fenomenului de hibridare naturală între patru specii de cvercinee ale subgenului *Lepidobalanus* (*Q. petraea*, *Q. robur*, *Q. pubescens*, *Q. frainetto*).

Studiile fenologice indică, de asemenea, că arborii individuali pot fi clasificaţi în funcţie de rangul lor fenologic în categorii fenologice distincte: arbori precoci, intermediari şi tardivi (Chesnoiu et al., 2009; Delpierre et al. 2017, Denéchère et al. 2021). Lechowicz (1984) a atribuit diferenţele în momentul declanşării înmuguririi dintre arborii coabitânţi variaţiilor existente în anatomia lemnului acestora. Mai recent, alte studii au oferit dovezi că anatomia lemnului influenţează diferenţele dintre specii în ceea ce priveşte fenologia înfrunzirii (Panchen et al., 2014, Savage et al., 2022).

Mai mult, studiile combinate care utilizează atât trăsăturile anatomice ale lemnului cât şi date fenologice prezintă potenţial ridicat de a fi utile pentru explicarea semnalelor de mediu înregistrate la nivelul arborilor în diferite faze de formare ale lemnului (Pérez-de-Lis et al., 2016).

De obicei, momentul declanşării fenologiei înfrunzirii şi momentul formării cambiumului nu sunt concomitente şi pot fi influenţate diferit de condiţiile de mediu (Delpierre et al., 2016).

Studii recente au arătat că unele caracteristici funcţionale, cum ar fi densitatea lemnului, ar putea servi ca factori determinanţi pentru dezvoltarea fenofazelor speciilor (Sun & Frelich, 2011; Galvão et al., 2021; Wang et al., 2021). Fenologia înfrunzirii şi densitatea lemnului sunt trăsături funcţionale ale plantelor care sunt utile în evaluarea răspunsurilor speciilor la schimbările climatice şi estimarea producţiei de biomasă.

2. SCOP ŞI OBIECTIVE

2.1 Scopul cercetărilor

Gorunul este privit ca una din speciile cheie pentru silvicultură în viitor (Kuster et al., 2014), fiind considerată o specie tolerantă la secetă şi căldură (Nölte et al., 2020) datorită adaptărilor morfologice specifice în structura frunzelor şi a lemnului (Fonti et al., 2013; Kuster et al., 2013), precum şi în creşterea rădăcinilor (Arend et al., 2012).

Chiar dacă gorunul comun este un element de deal cu un comportament mezoterm tipic, se întâlnesc şi situaţii când acesta pătrunde până spre silvostepă formând arborete pure sau în amestec cu ceilalţi doi goruni subtermofili (Paşcovschi & Doniţă, 1967; Sanda et al., 2004). Climatul în aceste populaţii marginale se deosebeşte faţă de zona gorunetelor de deal (temperaturi medii anuale mai ridicate, precipitaţii medii anuale scăzute, evapotranspiraţie intensă), cu consecinţele aferente care decurg de aici pentru o specie mezofilă, aşa cum este gorunul, aflat la limita intervalului său de toleranţă.

În acest context, caracteristicile cu totul aparte ale acestor populaţii periferice, expuse în permanenţă uscăciunii climatului şi solului, reclamă cercetări în detaliu, care nu s-au întreprins până la ora actuală. De aceea, cercetările prezentate au avut drept scop evaluarea structurii fenologice şi taxonomice în populaţii de limită altitudinală inferioară reprezentative pentru arealul răsăritean al speciei în România.

Cercetările efectuate au urmărit în primul rând evaluarea structurii fenologice în populaţii marginale de joasă altitudine şi care vor permite o mai bună înţelegere a potenţialului lor de adaptare şi evoluţie în condiţiile anticipate ale schimbărilor climatice globale. De asemenea, datele obţinute din analiza comparativă a populaţiilor vor servi în stabilirea strategiilor de utilizare şi conservare a resurselor genetice de gorun.

În al doilea rând, s-a urmărit reliefarea unor corespundeţe posibile între categoriile fenologice şi anumite caracteristici ale inelelor anuale de creştere.

Totodată, analiza comportamentului fenologic şi a unor caractere ale lemnului într-o cultură comparativă de provenienţe de gorun instalată în arealul circumscris cercetărilor, în care sunt testate provenienţe din diferite zone ale arealului speciei în ţara noastră, va contribui la selectarea şi promovarea în culturi a celor mai potrivite provenienţe, astfel încât să se asigure stabilitatea ecosistemelor forestiere.

2.2 Obiectivele cercetărilor

Pentru îndeplinirea scopului cercetărilor s-au stabilit următoarele obiective:

- i. Evaluarea fenologiei de primăvară şi de toamnă în vederea stabilirii unor corelaţii între fenofaze şi condiţiile climatice locale.
- ii. Analiza influenţei categoriei fenologice asupra diferitelor trăsături ale lemnului
- iii. Analiza variabilităţii fenotipice într-o cultură comparativă de provenienţe de gorun instalată în arealul circumscris cercetărilor
- iv. Evaluarea nivelului de variabilitate fenotipică la nivelul descriptorilor macro şi micromorfologici foliari şi compararea rezultatelor cu ajutorul analizelor statistice multivariate.
- v. Identificarea după criterii fenotipice şi fenologice a populaţiilor valoroase sau a provenienţelor cu potenţial ridicat de adaptare la condiţiile climatice locale.

3. METODOLOGIA CERCETĂRII

3.1 Localizarea cercetărilor

Cercetările au vizat patru populații de gorun (Tabelul 3.1.1 și Figura 3.1.1), dintre care trei (SAT, OLT și FUN) sunt reprezentative pentru poziția lor periferică/marginală (la altitudine joasă pentru gorun în zona de cercetare, de-a lungul unui transect nord-sud), respectiv, în proximitatea limitei de est a distribuției generale a gorunului în România. În alegerea celor trei populații periferice s-a avut în vedere, de asemenea, ca punctele extreme ale transectului să fie situate la distanțe aproximativ egale față de mijlocul acestuia. Linia dreaptă dintre extremele transectului are aproximativ 120 km lungime.

În plus, pentru analiză comparativă a fost indentificată și selectată o populație de referință (HEL) situată în partea interioară a arealului autohton al speciei (non-periferică), în zona de optim ecologic (fiind încadrată în categoria pădurilor mezofile de gorun (Gancz et al., 2008)), precum și o cultură comparativă cu proveniențe autohtone de gorun (FAN), unde sunt testate 33 de proveniențe din arealul natural al gorunului în România (Tabelul 3.1.2). Cultura comparativă a fost instalată în anul 1978.

Tabelul 3.1.1 Localizarea geografică și condițiile climate ale populațiilor eșantionate și a culturii comparative de proveniențe

Cod	Denumire	Poziția geografică			Condiții climatice		Indicele de ariditate de Martonne
		Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m)	Temperatura medie anuală (°C)	Precipitații medii anuale (mm)	
Populații periferice							
FUN	Fundeanu	45°58′	27° 41'	210	9,6	470	24,0
OLT	Oltenești	46°34′	27° 53'	305	9,2	530	27,6
SAT	Satu Nou	46°58′	27° 49'	300	9,2	535	27,9
Populație de referință (non-periferică)							
HEL	Heltiu	46°14′	26° 55'	490	9,2	655	34,1
Cultură comparativă de proveniențe							
FAN	Fântânele	46°39′	26° 43′	260	9,6	590	30,1

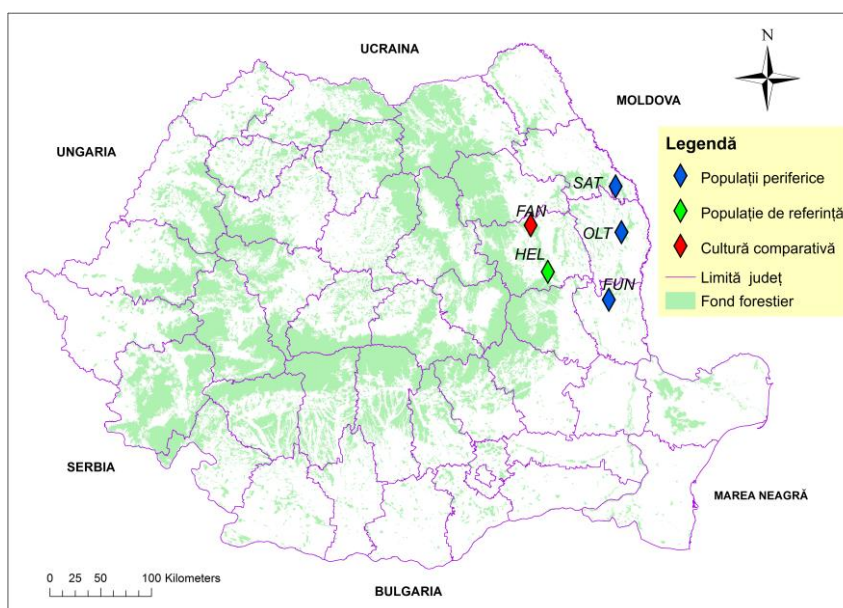


Figura 3.1.1 Localizarea populațiilor de gorun eșantionate și a culturii comparative de gorun (prelucrare după Harta pădurilor pe unități ecosistemice, Gancz et al. 2008). Codurile se regăsesc în Tabelul 3.1.1.

Tabelul 3.1.2 Locul de origine ale provenienţelor de gorun testate în cultura comparativă FAN

Provenienţa	Regiunea şi subregiunea ecologică de provenienţă				Localizarea provenienţei			
	Cod*	Denumire regiune	Cod*	Denumire subregiune	Ocol silvic Unitate de producţie Unitate amenajistică	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m)
1	G	Podişul Moldovei	G26C	Câmpia Jijiei	Botoşani IV Poieniţa-Tulbureni 46 B	47°45'	26°40'	130
2**	G	Podişul Moldovei	G150	Podişul Sucevei şi Dealurile Siretului şi Iaşului	Dolhasca V Dolhasca 20 A	47°07'	26°37'	325
3	G	Podişul Moldovei	G350	Podişul Bârladului şi Dealurile Bacăului	Roman V Vulpăşeşti 76 B	46°52'	26°55'	300
4	G	Podişul Moldovei	G150	Podişul Sucevei şi Dealurile Siretului şi Iaşului	Vaslui II Lipovăţ 5 A	48°38'	27°48'	240
5	G	Podişul Moldovei	G150	Podişul Sucevei şi Dealurile Iaşului	Zeletin II Răchitoasa Vest 38	46°20'	27°05'	340
6**	G	Podişul Moldovei	G350	Podişul Bârladului şi Dealurile Bacăului	Sascut IV Gaiceana 52A	46°10'	27°05'	300
7	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Panciu I Varniţa 42 B	45°52'	23°03'	370
8	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Râmanicu Sărat III Buda 12 A	45°23'	23°03'	410
9	C	Carpaţii Meridionali	C250	Carpaţii Meridionali Sudici	Târgovişte VII Gura Ocnitei 131 A	44°55'	25°25'	280
10	C	Carpaţii Meridionali	C250	Carpaţii Meridionali Sudici	Mihăieşti II Hârticeşti 48 A	44°08'	25°08'	550
11**	C	Carpaţii Meridionali	C250	Carpaţii Meridionali Sudici	Băbeni III Şirineasa 10 A, 26 B	44°55'	24°14'	290
12***	Lipsă date							
13	C	Carpaţii Meridionali	C250	Carpaţii Meridionali Sudici	Tismana IV Tismana 138 A	45°05'	22°50'	310
14**	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Văleni III Slanic 45 A	45°10'	26°02'	490
15**	E	Munţii Apuseni	E250	Munţii Apuseni Vestici	Beiuş VII Cerbu 201 C, 202 B	46°40'	22°22'	300
16**	D	Munţii Banatului	D250	Munţii Banatului: Tarcu-Poiana Ruscăi	Făget V Vlădeana 90 B, 91 B	45°45'	22°05'	410
17	F	Podişul Transilvaniei	F250	Podişul Transilvaniei	Reghin III Săcele 40 A	46°45'	24°42'	440

Provenienţa	Regiunea şi subregiunea ecologică de provenienţă				Localizarea provenienţei			
	Cod*	Denumire regiune	Cod*	Denumire subregiune	Ocol silvic Unitate de producţie Unitate amenajistică	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m)
18	D	Munţii Banatului	D150	Mehedinţi-Cerna-Semenic	Orşova IV Mracovia Lespezi 3 A	44°41'	22°26'	180
19	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Vidra I Boloteşti 38	45°36'	27°10'	370
20	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Buzău V Barbu 81 F	45°10'	26°55'	250
21	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Panciu I Varniţa 42 B	45°52'	27°06'	370
22	G	Podişul Moldovei	G350	Podişul Bârladului şi Dealurile Bacăului	Fântânele I Trebeş 70	46°40'	26°40'	450
23	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Râmnicu Sărat III Buda 12 E	45°32'	27°03'	410
24**	G	Podişul Moldovei	G26C	Câmpia Jijiei	Botoşani IV Poieniţa-Turbuleni 46 B	47°45'	26°40'	130
25	E	Munţii Apuseni	E150	Munţii Zarandului şi Metaliferi	Lipova III Păltiniş 17 B	46°06'	21°44'	300
26***	D	Munţii Banatului	D150	Mehedinţi-Cerna-Semenic	Oraviţa Foratic 58 C	45°03'	21°44'	280
27	D	Munţii Banatului	D150	Mehedinţi-Cerna-Semenic	Bocşa Montană IV Smida 49 E	45°25'	21°45'	330
28**	F	Podişul Transilvaniei	F250	Podişul Transilvaniei	Blaj II Valea Lunga 19 G	46°12'	23°54'	420
29	B	Carpaţii de Curbură	B250	Carpaţii de Curbură (clina exterioară)	Râmnicu Sărat III Buda 12 E	45°25'	27°03'	410
30	C	Carpaţii Meridionali	C250	Carpaţii Meridionali Sudici	Voineşti II Gemenea 4 A	45°04'	25°16'	610
31**	F	Podişul Transilvaniei	F150	Câmpia Transilvaniei	Lechinţa V Matei 16	47°02'	24°20'	425
32**	E	Munţii Apuseni	E350	Munţii Apuseni Estici	Cluj IX Mara 38	46°45'	23°34'	600
33	E	Munţii Apuseni	E350	Munţii Apuseni Estici	Zalău VII Cehu Silvaniei 50	47°15'	22°48'	250

*Regiuni şi subregiuni ecologice de provenienţă stabilite în România (Pârnuţă et al., 2010)

**Provenienţe evaluate fenologic şi din punct de vedere al trăsăturilor lemnului

***Provenienţe excluse din analiza fenotipică

3.2 Material şi metoda de cercetare

3.2.1 Materialul şi metoda de cercetare pentru analiza fenologică

În vederea determinării structurii fenologice în populațiile de gorun eșanționate, s-a urmărit timp de patru ani consecutiv (2017-2020) stabilirea datelor la care se produc anumite fenofaze de dezvoltare și durata acestora.

Inițial, în fiecare din cele patru suprafețele de cercetare (FUN, OLT, SAT și HEL) au fost identificați și selectați câte un număr de 50 de arbori maturi din etajul dominant, situați la o distanță minimă de 30 m (în mod obișnuit 50 m) unul față de celălalt. Arborii din cuprinsul fiecărei suprafețe au fost numerotați cu vopsea și carteați cu ajutorul unui GPS Trimble Juno SC.

Ulterior, pentru populația FUN analizele morfologice asupra funzelor (suplimentate de cele ale lujerilor) au evidențiat faptul că un număr de 16 exemplare nu au putut fi încadrate ca fiind specia *Quercus petraea*, astfel au fost eliminate din studiu, gorunul fiind specia de interes. De asemenea, în urma unui fenomen meteorologic extrem petrecut în anul 2017, la sfârșitul lunii mai, în populația HEL au fost deșădăcinați și doborâți un număr de șapte arbori din cei incluși în studiu. Întrucât evenimentul s-a produs ulterior executării observațiilor asupra fenofazei înfrunzirii, studiile fenologice au continuat doar asupra celor 43 de exemplare rămase neafectate.

În cultura comparativă Fântânele s-au selectat 10 proveniențe din subregiuni ecologice diferite (lista proveniențelor este redată în tabelul 3.1.2), iar pentru fiecare proveniență s-au selectat aleatoriu câte cinci exemplare.

Observațiile fenologice s-au executat asupra fenofazelor de primăvară (în mugurirea - engl. *budburst*, abv. BB, dezvoltarea frunzelor - engl. *leaf development*, abv. LD și înflorirea - engl. *flowering*, abv. FL) și asupra senescentei în toamnă (engl. *leaf senescence*, abv. LS). În general, efectuarea observațiilor privind fenologia de primăvară s-au desfășurat între ultima decadă a lunii martie – prima decadă a lunii mai, respectiv ultima decadă a lunii septembrie – a doua decadă a lunii noiembrie, pentru fenofaza autumnală, în funcție de temperaturile medii zilnice din anul respectiv. Cercetările fenologice au fost executate în toate populațiile eșanționate și în cultura comparativă de proveniențe (FAN), la un interval de 2-4 zile, prin examinarea întregii coroane a fiecărui arbore individual, întotdeauna din aceeași direcție (Preushler, 1999), cu un binoclu de 20 × 50.

Evaluarea dinamicii fenofazelor a urmat protocolul propus pentru cvercinee în cadrul proiectului internațional Tree4Future (Pâques, 2016), fiind potrivit pentru arbori de înălțimi mari.

Astfel, determinarea stadiilor înfrunzirii s-a realizat corespunzător următoarei scări de evaluare (Figura 3.2.1.1): stadiul 0 – mai mult de 50% din mugurii coroanei sunt dorminzi, stadiul I – umflarea și crăparea la mai mult de 50% din muguri, stadiul II – peste 50% din muguri prezintă frunzulițe, și stadiul III – peste 50% din coroană prezintă frunze complet formate, însă incomplet dezvoltate.



Figura 3.2.1.1 Stadiile de dezvoltare ale înfrunzirii (Foto: Ioana Maria Gafenco)

Pentru fenofaza înfloririi s-a monitorizat doar maturarea amentilor masculi, deoarece este mai uşor de evaluat decât pentru florile femele (Chesnoiu et al., 2009), acestea din urmă având dimensiuni foarte mici (câţiva mm), şi totodată, este ştiut faptul că maturarea florilor masculine şi femele este intercorelată (Bacilieri et al., 1995).

Astfel, pentru fenofaza înfloririi florilor masculine s-au atribuit următoarele stadii (Figura 3.2.1.2): stadiul 0, pentru cazul în care mai mult de 50% amentii sunt de culoare verde sau verde-gălbui, fără a avea loc eliberarea polenului, şi stadiul I, pentru situaţia când peste 50% din amentii sunt de culoare galben-maronie şi are loc eliberarea polenului.



Stadiul 0



Stadiul I

Figura 3.2.1.2 Stadiile de înflorire ale amentilor masculi (Foto: Ioana Maria Gafenco)

Pentru fenofaza colorării autumnale a frunzelor (senescenţa) s-au folosit următoarele trei stadii (Figura 3.2.1.3): stadiul I – mai mult de 50% din coronamentul arborilor prezintă frunze de culoare verde-închis, cu mici pete gălbui; stadiul II – mai mult de 50% din coronamentul arborilor prezintă frunze de culoare verde-deschis, cu numeroase pete galbene şi stadiu III – mai mult de 50% din coronamentul arborilor prezintă frunze de culoare galbenă.



Stadiul I



Stadiul II



Stadiul III

Figura 3.2.1.3 Stadiile de colorare autumnală a frunzelor (Foto: Ioana Maria Gafenco)

Lungimea sezonului de vegetaţie a fost definită ca numărul de zile dintre data producerii înmuguririi (stadiul I al fenofazei înfrunzirii) şi cea a senescenţei (stadiul III al fenofazei colorării autumnale).

Pentru a putea efectua comparaţii între stadiile fenologice, s-a înregistrat data de început a stadiilor fenozafelor monitorizate cu ajutorul sistemului DOY (engl. *Day Of Year*). În acest mod, data de 1 ianuarie este considerată prima zi din an, iar DOY al fiecărui stadiu fenologic este considerat ca fiind numărul de zile de la începutul anului până la momentul producerii respectivului stadiu.

De asemenea, în vederea corelării producerii fenozafelor cu datele climatice, în interiorul fiecărei suprafeţe s-a instalat câte un senzor HOBO Pro v2, cu ajutorul căruia pe întreaga durată a cercetărilor, s-a înregistrat la intervale orare temperatura şi umiditatea relativă a aerului. Astfel, valorile medii zilnice s-au calculat pe baza valorilor orare furnizate de senzor.

Datele fenologice au fost analizate folosind software-ul statistic STATISTICA v.8.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, SUA).

Deoarece s-a constatat că acestea nu sunt normal distribuite, s-a folosit testul Kruskal-Wallis pentru a explora dacă există diferențe semnificative între acestea.

În plus, pentru cultura comparativă, relația dintre variabilele fenologice aferente fiecărui an și parametrii geografici, inclusiv latitudinea ecofiziologică, ai locului de origine al fiecărei proveniențe a fost evaluată folosind coeficientul de corelație a rangului Spearman (r_s). Latitudinea ecofiziologică (Le) reprezintă latitudinea (Lat) corectată cu altitudinea (Alt), unde o diferență de altitudine de 100 m este egală cu un grad de latitudine, și a fost determinată cu formula $Le = Lat + Alt/100$ (Wiersma, 1962) (Ecuația 1).

3.2.2 Materialul și metoda de cercetare pentru analiza trăsăturilor lemnului

Pentru o mai bună înțelegere a modului în care comportamentul fenologic al arborilor ar putea să influențeze anumite proprietăți ale lemnului s-a urmărit reliefarea unor corespondențe posibile între categoriile fenologice și densitatea convențională a lemnului, lățimea inelului anual, trăsăturile alburnului (lățimea alburnului și numărul de inele de alburn) la gorun în cele patru populații eșantionate, și în plus, și cu fenologia inelului anual din 2021 în cultura comparativă de gorun FAN (Tabelul 3.1.1, Tabelul 3.2.2.1).

În cultura comparativă de proveniențe FAN, dintre cele 10 proveniențe evaluate fenologic (Tabelul 3.1.2), trei se încadrează în categoria populațiilor periferice din zona de limită estică – nord-estică a arealului gorunului (Dolhasca, Sascut și Botoșani), iar celelalte șapte sunt non-periferice, fiind originare din zone cu o climă considerată favorabilă gorunului (Băbeni, Văleni, Beiuș, Făget, Blaj, Lechința și Cluj).

Tabelul 3.2.2.1 Caracteristicile populațiilor analizate și a culturii comparative de gorun FAN și mărimea eșantionului analizat

Populație	Statut	Desimea aboretului (arbori-ha ⁻¹)	Număr de arbori monitorizați fenologic	Vârsta arborilor (ani)	Număr arbori analizați
FUN	Periferică, regenerare naturală	291	34	80-95	10
OLT		283	50	70-75	10
SAT		289	50	75-110	10
HEL	Non-periferică, regenerare naturală	294	43	75-110	10
FAN*	Non-periferică, plantație	340	50	30-40	50

*Cultură comparativă de proveniențe

Pentru îndeplinirea acestui obiectiv, s-au comparat indivizi cu comportament fenologic diferit indicat prin momentul de început al înmuguririi. Astfel, având cronologia deschiderii mugurilor deja stabilită (Gafenco et al., 2022), s-au diferențiat arborii în funcție de rangul lor fenologic. În consecință, fiecare arbore a fost încadrat într-o categorie fenologică (precoce, intermediar, tardiv).

În populațiile periferice și în populația non-periferică, trăsăturile lemnului au fost analizate la un număr de 10 arbori (5 arbori precoci și 5 arbori tardivi) (Tabelul 3.2.2.1).

Numărul de arbori destinați determinărilor trăsăturilor lemnului a fost stabilit anterior folosind formula măririi eșantionului pentru date continue (Bartlett et al., 2001).

Pe de altă parte, în cultura comparativă, trăsăturile lemnului au fost analizate pentru toți cei 50 de arbori evaluați fenologic (5 arbori pe proveniență)(arbori precoci, intermediari și tardivi) (Tabelul 3.2.2.1).

În anul 2021, la începutul lunii aprilie, din arborii selectați pentru analiza trăsăturilor lemnului au fost extrase cu burghiul Pressler carote de creștere (la înălțimea de 1,3 m). Până la analiza lor ulterioară carotele prelevate au fost condiționate la un conținut de umiditate de 10%.

În laborator, pentru fiecare carotă, alburnul (engl. *sapwood*, abv. SAW) a fost delimitat de duramen (engl. *heartwood*, abv. HW), iar duramenul a fost împărțit în duramen juvenil (engl. juvenile heartwood,

abv. JHW) și duramen matur (engl. *mature heartwood*, abv. MHW). Delimitarea dintre JHW și MHW s-a realizat în funcție de dinamica lății inelului anual de la măduvă spre scoarță, iar în paralel s-a examinat și variația proporției de lemn târziu. Probele de lemn juvenil au inclus inele interioare largi, cu variații mari de lățime de la an la an (Zobel & Sprague, 1998). Cu toate acestea, în cadrul culturii comparative, deoarece arborii sunt mai tineri (Tabelul 3.2.2.1), secvența lemnului matur nu a fost suficientă pentru a separa carotele în trei secțiuni, astfel au fost separate doar în alburn (SAW) și duramen (HW).

Premergător determinării densității convenționale, pentru fiecare secțiune rezultată, s-a determinat numărul de inele anuale din secțiune și numărul de inele din alburn (engl. *number of sapwood rings*, abv. NSR); s-a măsurat lungimea fiecărei secțiuni (L) și proporția de alburn (SAW). Deoarece la gorun inelele anuale se disting cu ușurință datorită variațiilor dintre lemnul juvenil și lemnul matur, numărul de inele anuale s-a obținut prin observare directă cu ajutorul unui stereomicroscop Zeiss Discovery V.1.2.

În plus, pentru arborii din cultura comparativă, la momentul recoltării carotelor (2 aprilie 2021), s-a evaluat microscopic și stadiul de formare a inelului anual. S-au distins următoarele stadii: 1 - inelul 2021 nu s-a format, 2 - inelul 2021 conținea doar un singur rând de pori în zona lemnului timpuriu, 3 - inelul 2021 conținea doar două rânduri de pori în zona lemnului timpuriu și 4 - inelul 2021 conținea atât lemn timpuriu, cât și o parte din lemnul târziu.

Ulterior, folosind metoda conținutului maxim de umiditate (Smith, 1954; Dumitriu-Tătăranu et al., 1983), toate secțiunile au fost saturate cu apă prin fierbere timp de 12 ore pentru a determina densitatea convențională a lemnului (engl. *basic wood density*, abv. BWD). Pe parcursul acestui proces, apa a fost înlocuită de mai multe ori pentru a elimina conținutul de substanțe extractibile dizolvate care ar putea duce la o valoare supraestimată a densității (Zobel & Van Buijtenen, 1989). În etapa următoare, secțiunile au fost cântărite de două ori: (1) imediat după fierbere și (2) în stare anhidră, după uscarea lor la 104°C la o termobalanță până la atingerea unei greutăți constante.

În cele din urmă, densitatea convențională (în $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a fiecărei secțiuni a fost calculată folosind ecuația (2) (Smith, 1954; Dumitriu-Tătăranu et al., 1983):

$$BWD = \frac{1}{\frac{m_m - m_0}{m_0} + \frac{1}{G_{so}}}, \quad (2)$$

unde BWD este densitatea convențională a lemnului, m_m este masa secțiunilor de lemn saturate, m_0 este masa secțiunilor de lemn anhidru și G_{so} este densitatea medie a substanței lemnoase în stare anhidră; o constantă acceptată de obicei ca având o valoare de $1,53 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, deoarece densitatea substanțelor din peretele celular este practic identică pentru toate speciile lemnoase (Subbasis et al., 2019).

În plus, lățimea medie a inelului anual (engl. *average ring width*, abv. ARW) a fost calculată prin împărțirea lungimii secțiunilor la numărul de inele anuale din fiecare secțiune (Ecuația 3):

$$ARW = L / NSR \quad (3)$$

Analiza statistică a fost efectuată folosind software-ul STATISTICA v.8.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, SUA), iar nivelul de încredere a fost predefinit la 95%.

Într-o primă etapă, s-a verificat normalitatea setului de date obținut folosind testele Kolmogorov-Smirnov și Shapiro-Wilk (Sheskin, 2004), iar omogenitatea varianțelor a fost evaluată folosind testul Levene (Zar, 2010). Dacă ipotezele statistice nu au fost satisfăcute (normalitatea observațiilor și omogenitatea varianțelor), s-a utilizat testul neparametric Kruskal-Wallis. În situația în care s-a constatat că o variabilă aleatoare are o distribuție gaussiană s-a folosit analiza varianței.

Având în vedere faptul că vârsta arborelui și creșterea radială sunt factori cheie în dezvoltarea structurii lemnului (Zobel & van Buijtenen, 2012), pentru a elimina interacțiunea lor în relația dintre fenologia arborilor și trăsăturile studiate ale lemnului, a fost aplicată analiza de covarianță (ANCOVA) (Dytham, 2011).

După controlul vârstei arborilor și lățimii inelului anual, corelația parțială a fost utilizată pentru a estima relația dintre trăsăturile lemnului și fenologia înmuguririi.

De asemenea, s-a folosit analiza componentelor principale (engl. *Principal Component Analysis*, abv. PCA) pentru a studia legătura dintre trăsăturile lemnului și categoriile fenologice. În plus, înainte de a efectua PCA, toate variabilele cu distribuție non-gaussiană au fost transformate (folosind rădăcina pătrată sau logaritmul), și s-a verificat dacă setul de date este adecvat pentru acest tip de analiză prin utilizarea testului de măsură a adecvabilității eșantionării Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) și a testului de sfericitate Bartlett (BTS). Datele sunt considerate adecvate dacă valoarea KMO este cuprinsă între 0,5-1,0 și valoarea lui p (valoarea probabilității) este mai mică de 0,05 pentru BTS.

Totodată, analiza cluster a fost aplicată pentru a găsi asemănări între populații sau proveniențe prin utilizarea diferitelor trăsături ale lemnului. Pentru aceasta, metoda Ward și distanța euclidiană au fost utilizate ca regulă de amalgamare și, respectiv, măsură a distanței.

3.2.3 Materialul și metoda de cercetare pentru analiza fenotipică în cultura comparativă de proveniențe Fântânele

În toamna anului 2022 s-au efectuat următoarele evaluări fenotipice: supraviețuirea (procentul arborilor existenți la data evaluării din numărul de arbori plantați inițial), diametrul la înălțimea de 1,3 m (cm), înălțimea totală (m), înălțimea elagată (m), rectitudinea tulpinii (indice), forma trunchiului (indice), unghiul de inserție a ramurilor (indice) și diametrul ramurilor (indice).

Indicii au fost evaluați vizual folosind următoarele scoruri:

-rectitudinea tulpinii: 1= tulpină dreaptă, 2= tulpină având curbura într-un plan, 3= tulpină având curbura în două planuri, 4= tulpină sinuoasă;

-forma trunchiului: 1= trunchi drept, 2= trunchi cu o înfurcire, 3= trunchi cu două înfurcări;

-unghiul de inserție a ramurilor: 1= unghi < 60°, 2= unghi între 60° și 90°, 3= unghi > 90°;

-diametrul ramurilor de la baza coroanei: 1= ramuri cu diametrul mai mic de 5 cm, 2= ramuri cu diametrul de 5-8 cm, 3= ramuri cu diametrul mai mare de 8 cm.

Pentru a identifica anumite caracteristici comune, proveniențele au fost grupate în funcție de regiunea de proveniență căreia îi aparțin (Tabelul 3.1.2).

Pentru toate caracterele considerate, s-a testat normalitatea distribuțiilor și omogenitatea varianțelor folosind testul Shapiro-Wilk, și respectiv testul Levene. Dacă ipotezele statistice anterioare au fost satisfăcute, s-a folosit analiza varianței (ANOVA) pentru a estima variabilitatea caracterelor evaluate.

Pentru dispozitivul experimental adoptat, varianța totală a fost descompusă în varianță datorită repetiției, provenienței, grupului de proveniențe și erorii (reziduală) (Nanson, 2004). În consecință, semnificația componentelor proveniențelor a fost testată folosind următorul model statistic (Ecuația 4):

$$Y_{ijk} = m + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{ijk}, \quad (4)$$

unde m este valoarea medie generală, α_i este efectul celei de-a i proveniențe, β_j este efectul celei de-a j repetiții; γ_k este efectul grupului k și ϵ_{ijk} este eroarea aleatoare asociată cu arborii ijk .

În plus, dacă ANOVA a indicat o valoare F semnificativă, testul Duncan pentru o probabilitate de transgresiune de 5% a fost aplicat pentru a compara mediile.

Relația dintre caracterele analizate și poziția geografică (latitudine, longitudine, altitudine și latitudine ecofiziologică) a originii arboretelor de unde au fost recoltate semințele a fost evaluată folosind coeficientul de corelație Pearson (r). Latitudinea ecofiziologică (Le) a fost determinată folosind ecuația (1) (prezentată în capitolul 3.2.1).

Toate prelucrările statistice au fost efectuate folosind software-ul STATISTICA v.8.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, SUA).

3.2.4 Materialul şi metoda de cercetare pentru analizele morfologice foliare

Din arborii eşantionaţi pentru evaluări fenologice în cele patru populaţii naturale şi în cultura comparativă FAN (Tabelul 3.1.1 şi Tabelul 3.1.2) s-a recoltat inclusiv material vegetal pentru analize morfologice foliare.

Metodologia de recoltare a probelor biologice a urmat recomandările studiilor morfologice anterioare realizate la cvercinee (Kremer et al., 2002; Boroşan & Babaş, 2003; Curtu et al., 2011; Apostol et al., 2017). Astfel, frunzele au fost prelevate din interiorul părţii superioare a coroanei, evitându-se în acest mod cele supuse radiaţiei solare directe. Din toate exemplarele eşantioante au fost recoltate, de pe acelaşi lujer (Bacilieri et al., 1995), între 6 şi 12 frunze complet dezvoltate care au fost uscate şi erborizate, în vederea procesării ulterioare.

Pentru evaluarea variabilităţii taxonomice intraspecifice a celor trei subspecii de gorun după caracteristicile fenotipice ale frunzelor s-a utilizat descrierea unităţilor taxonomice intraspecifice prezentată în literatura din România (Beldie & Cretzoiu, 1941; Georgescu & Morariu, 1948; Beldie, 1952; Şofletea & Curtu, 2007).

Pentru studierea variabilităţii taxonomice intraspecifice au fost utilizaţi deopotrivă descriptori macromorfologici şi micromorfologici, alegerea acestora fiind fundamentată de studiile efectuate la nivel internaţional (Bussotti & Grossini, 1997; Bruschi et al., 2000, 2003; Kremer et al., 2002; Viscosi et al., 2009b; Fortini et al., 2015; Di Pietro et al., 2016; Yücedağ et al., 2021) şi naţional (Curtu et al. 2011; Şofletea et al., 2011; Enescu et al. 2013, Apostol et al., 2017) pentru diverse specii ale genului *Quercus*.

Prin urmare, pentru realizarea analizei variabilităţii macromorfologice s-au utilizat un set de 18 descriptori fenotipici, dintre care şapte variabile dimensionale, două variabile numărabile, patru variabile observate şi cinci variabile transformate (Tabelul 3.2.4.1).

Tabelul 3.2.4.1 Lista descriptorilor macromorfologici foliari analizaţi

Descriptori macromorfologici foliari		Cod
Variabile dimensionale (măsurate)	Aria frunzei (cm ²) (engl. <i>leaf area</i>)	LA
	Perimetrul frunzei (cm) (engl. <i>leaf perimeter</i>)	LP
	Lungimea laminei (cm) (engl. <i>lamina length</i>)	LL
	Lungimea peţiolului (cm) (engl. <i>petiole length</i>)	PL
	Lăţimea lobului (cm) (engl. <i>lamina width</i>) - măsurată între nervura mediană şi vârful lobului din zona de lăţime maximă	LW
	Adâncimea sinusului (cm) (engl. <i>sinus width</i>) - de sub lobul cel mai distanţat faţă de nervura mediană	SW
	Lungimea laminei de la bază până în zona de lăţime maximă (cm) (engl. <i>length of lamina at largest width</i>)	WP
Variabile numărabile	Numărul de lobi (engl. <i>number of lobes</i>)	NL
	Numărul de nervuri intercalare (engl. <i>number of intercalary veins</i>)	NV
Variabile observate	Forma bazei frunzei (engl. <i>basal shape of the lamina</i>)	BSL
	Pubescenţa frunzei pe faţa inferioară (engl. <i>abaxial laminar pubescence</i>)	AB PU
	Pubescenţa frunzei pe faţa superioară (engl. <i>adaxial laminar pubescence</i>)	AD PU
	Pubescenţa peţiolului (engl. <i>petiole pubescence</i>)	PE PU
Variabile transformate (calculate)	Forma laminei (engl. <i>lamina shape</i> sau <i>obversity</i>): WP/LL·100	OB
	Rata peţiolului (engl. <i>petiole ratio</i>): PL/(LL+PL) ·100	PR
	Ponderea adâncimii lobilor (engl. <i>lobe depth ratio</i>): (LW-SW)/LW·100	LDR
	Procentul de nervare a sinurilor (engl. <i>percentage venation</i>): NV/NL·100	PV
	Proporţia de lăţime a lobilor în raport cu lungimea laminei (engl. <i>lobe width ratio</i>): LW/LL·100	LWR

Pentru determinarea caracterelor dimensionale frunzele au fost scanate, iar cei şapte descriptori dimensionali au fost evaluaţi prin intermediul software-ului WinFOLIA PRO 2020 (Figura 3.2.4.1), dedicat pentru analize morfologice foliare.

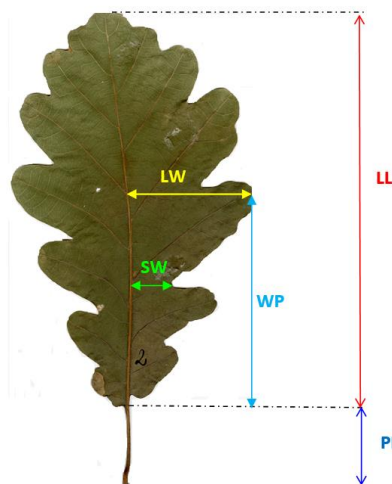


Figura 3.2.4.1 Reprezentarea grafică a caracterelor dimensionale evaluate (LL – lungimea laminei, PL – lungimea pețiolului, LW – lățimea lobului, SW – adâncimea sinusului, WP – lungimea laminei de la bază până în zona de lățime maximă)

În ceea ce privește variabilele observate, pentru evaluarea formei bazei frunzei s-a utilizat scara numerică (1 - cuneată până la 9 - auriculată) propusă de Kremer et al. (2002) (Figura 3.2.4.2), iar pentru aprecierea gradului de părozitate a pețiolului și de pe ambele fețe ale laminei s-a folosit scara (1 – fără părozitate până la 6 – foarte pubescent) concepută de Kissling (1977) (Figura 3.2.4.3) și s-a realizat cu ajutorul unui stereomicroscop (40X) (Figura 3.2.4.4).

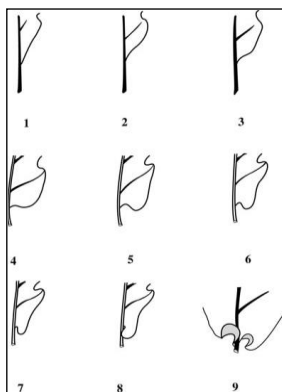


Figura 3.2.4.2 Evaluarea formei bazei laminei (Kremer et al., 2002)

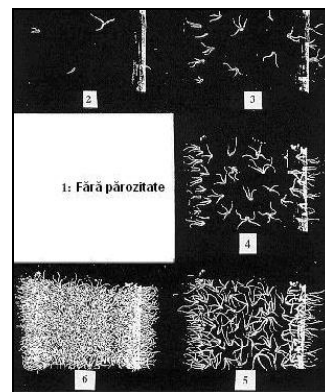


Figura 3.2.4.3 Evaluarea părozității (Kissling, 1997)

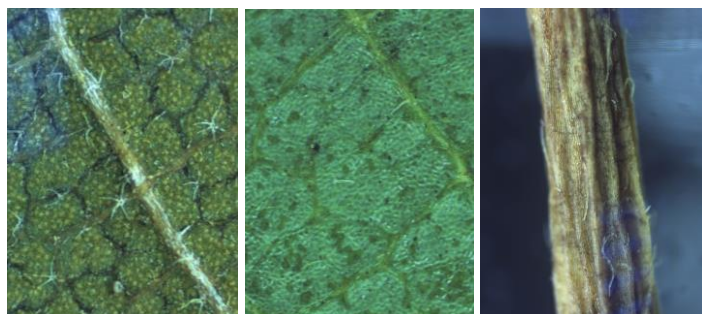


Figura 3.2.4.4 Aspecte generale ale suprafeței abaxiale, adaxiale și pețiolului frunzei la gorun (Foto: Ioana Maria Gafenco)

Complementar analizelor macromorfologice s-au efectuat și analize la nivel micromorfologic. În acest caz, pentru analiza variabilității micromorfologice s-au utilizat un număr de nouă descriptori (Tabelul 3.2.4.2).

Tabelul 3.2.4.2 Lista descriptorilor micromorfologici foliari analizați

Descriptori micromorfologici foliari	Cod
Densitatea stomatelor (număr · mm ⁻²) (engl. <i>stomatal density</i>)	StoD
Lungimea stomatelor (μm) (engl. <i>stomata rim length</i>)	SRL
Lățimea stomatelor (μm) (engl. <i>stomata rim width</i>)	SRW
Lățimea deschiderii ostiolei (μm) (engl. <i>freedom of stomatal rim</i>)	FSR
Indicele suprafeței stomatice (engl. <i>stomatal area index</i>): SD·SRL	SAI
Numărul tricomilor stelați (engl. <i>number of stellate trichomes</i>)	NST
Numărul tricomilor glandulari (engl. <i>number of glandular trichomes</i>)	NGT
Lungimea brațelor tricomilor stelați (engl. <i>length of rays of stellate trichomes</i>)	LRS
Numărul de raze ale tricomilor stelați (engl. <i>number of rays of stellate trichomes</i>)	NR

Pentru determinarea descriptorilor micromorfologici s-au utilizat frunzele analizate anterior din punct de vedere macromorfologic. Concret, pentru un număr de șase frunze pe arbore s-au realizat preparate microscopice care au fost examinate cu ajutorul unui microscop Olympus CX43 dotat cu camera PROMICAM LITE 5, iar numărul și dimensiunile stomatelor s-au obținut folosind software-ul de achiziție și prelucrare a imaginii QuickPHOTO MICRO 3.2.

Preparatele microscopice au fost obținute prin aplicarea unui strat subțire de nitrolac pe suprafața abaxială (inferioară) a frunzelor, internerval, în zona în care lățimea laminei a fost maximă. Determinările s-au făcut pe o suprafață standard (98278 μm² ≈ 0.1 mm²), iar valorile medii ale stomatelor au fost obținute pe baza măsurătorilor realizate pentru 10 stomate considerate la întâmplare.

În plus, pe lângă descriptorii micromorfologici ai stomatelor, au fost determinate și anumite caracteristici ale tricomilor (perilor) (Tabelul 3.2.4.2).

Caracteristic, la gorun, pe suprafața abaxială s-au observat tricomi glandulari și tricomi non-glandulari stelați și stelat-bifurcați (Figura 3.2.4.5).

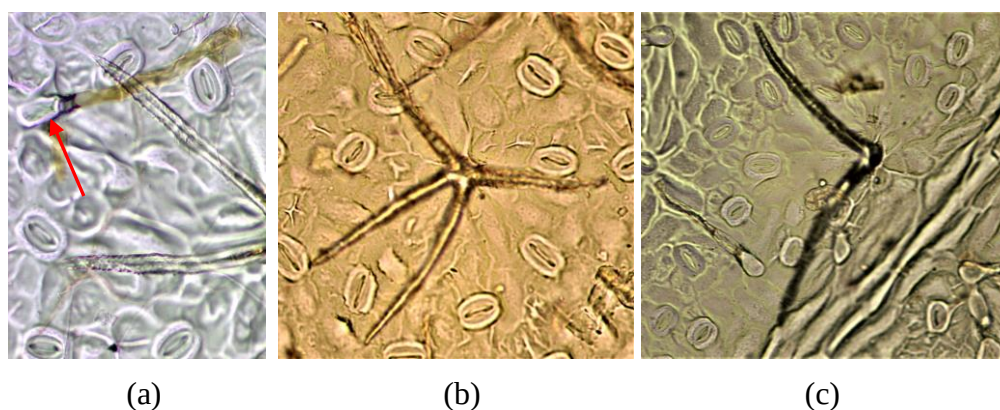


Figura 3.2.4.5 Tricom glandular (a) și tricomi non-glandulari stelați (b) și stelat-bifurcați (c). În prima imagine săgeta roșie indică celula distală a tricomului glandular (Foto: Ioana Maria Gafenco).

Toate datele obținute au fost importate în software-ul XLFolia, unde pentru fiecare descriptor s-a calculat valoarea medie la nivelul fiecărui arbore. Prelucrările statistice ulterioare s-au realizat folosind programul STATISTICA 8.0.

Pentru caracterizarea variabilităţii intra- şi interpopulaţională la nivelul descriptorilor macro- şi micromorfologici foliari s-au determinat principalii indicatori statistici (media – abv. med, varianţa – abv. var, abaterea standard – abv. SD şi coeficientul de variaţie – abv. CV%).

Ulterior, la nivelul întregului set de date s-a testat normalitatea utilizând testele Kolmogorov-Smirnov şi Shapiro-Wilk (Sheskin, 2004), respectiv testul Levene (Zar, 2010). În situaţia în care s-a constatat că ipotezele statistice nu sunt îndeplinite (normalitatea observaţiilor şi omogenitatea varianţelor), variabilele s-au transformat folosind rădăcina pătrată sau logaritmul.

Pentru a evalua diferenţele dintre mediile celor trei subspecii a fost utilizată analiza varianţei (engl. *analysis of variance* – abv. ANOVA). După ANOVA, s-a testat semnificaţia diferenţelor dintre valorile medii ale variabilelor folosind testul t Welch indiferent dacă varianţele grupurilor au fost sau nu egale.

Dintre metodele frecvent utilizate în clasificările taxonomice s-au aplicat analiza componentelor principale (engl. *principal component analysis* – abv. PCA), analiza discriminantă (engl. *discriminant analysis* – abv. DA) şi analiza cluster.

4. REZULTATE ŞI DISCUŢII

4.1 Fenologia gorunului în populaţii periferice din estul României şi în cultura comparativă Fântânele

➤ Înmugurirea şi dezvoltarea frunzelor

În populaţiile periferice FUN, OLT şi SAT, gorunul a prezentat o diferenţă mică în data medie a înmuguririi (Tabelul 4.1.1). Mai mult, a existat doar o diferenţă de câteva zile între acestea şi populaţia de referinţă HEL, cu un avans mediu maxim de 5 zile pentru populaţia FUN. Spre deosebire de populaţiile periferice, HEL a prezentat cea mai scăzută variabilitate interanuală şi cel mai mic interval de variaţie (9 zile) pentru începutul înmuguririi.

Tabelul 4.1.1 Variabilitatea inter-individuală a înmuguririi (BB) şi a dezvoltării frunzelor (LD) observate la gorun în populaţiile analizate şi în cultura comparativă FAN pentru perioada 2017–2020

Populaţie	Înmugurire (DOY) - Stadiul I					Dezvoltarea frunzelor (DOY) - Stadiul III					Dinamica BB-LD		
	Min	Max	Medie ± SE	IV	SD	Min	Max	Medie ± SE	IV	SD	Nr. zile	T _{med} (°C)	Σ T (°C)
<i>Populaţii periferice</i>													
FUN	88	104	96 ± 0,38	16	4,4	101	114	109 ± 0,27	13	3,2	13,2	11,1	230,4
OLT	90	107	98 ± 0,27	17	3,7	104	120	111 ± 0,26	16	3,8	13,2	10,9	217,8
SAT	90	104	98 ± 0,23	14	3,1	106	120	112 ± 0,26	14	3,5	14,0	10,5	217,1
<i>Media populaţiilor periferice</i>	89	105	98 ± 0,16	16	3,7	104	118	111 ± 0,16	14	3,5	13,5	10,8	221,8
<i>Populaţie de referinţă (non-periferică)</i>													
HEL	97	106	101 ± 0,20	9	2,4	106	120	116 ± 0,25	14	3,3	15,4	10,4	214,5
<i>Cultură comparativă de provenienţă</i>													
FAN	95	112	103 ± 0,32	17	4,6	109	124	117 ± 0,29	15	3,9	15,4	10,4	236,9

Min – DOY minim; Max – DOY maxim; SE – eroare standard; IV - interval de variaţie; SD – abatere standard; T_{med} - temperatura medie(°C); ΣT (°C)– suma temperaturilor medii zilnice.

În populaţiile periferice înmugurirea a început înaintea populaţiei de referinţă, cu excepţia anului 2018, când au început aproape simultan (Figura 4.1.1).

Debutul mai întârziat al înmuguririi în populaţiile periferice în anul 2018, comparativ cu ceilalţi ani, a fost asociat cu temperaturile mai scăzute între senescenţa frunzelor în anul precedent şi începerea deschiderii mugurilor în anul curent. Prin urmare, declanşarea mai întârziată a înmuguririi în anul 2018 comparativ cu ceilalţi ani, a condus la un timp mai scurt de desfăşurare a fenofazei dezvoltării frunzelor (adică, numărul de zile de la înmugurire (stadiul I) până când frunzele s-au format complet (stadiul III)) în cele trei populaţii periferice.

În cultura comparativă FAN, intervalul de variaţie a datei de început a înmuguririi fost cel mai mare (17 zile), cea mai timpurie dată de declanşare a fost înregistrată în 2017 (DOY 95) şi cea mai târzie în anul 2020 (DOY 112) (Figura 4.1.1).

Numărul de zile necesar pentru ca frunzele să se dezvolte complet (intervalul de timp scurs de la stadiul I până la stadiul III al înfrunzirii) a fost în medie între 13 şi 16 zile pentru toate populaţiile, procesul fiind mai accelerat în populaţiile periferice.

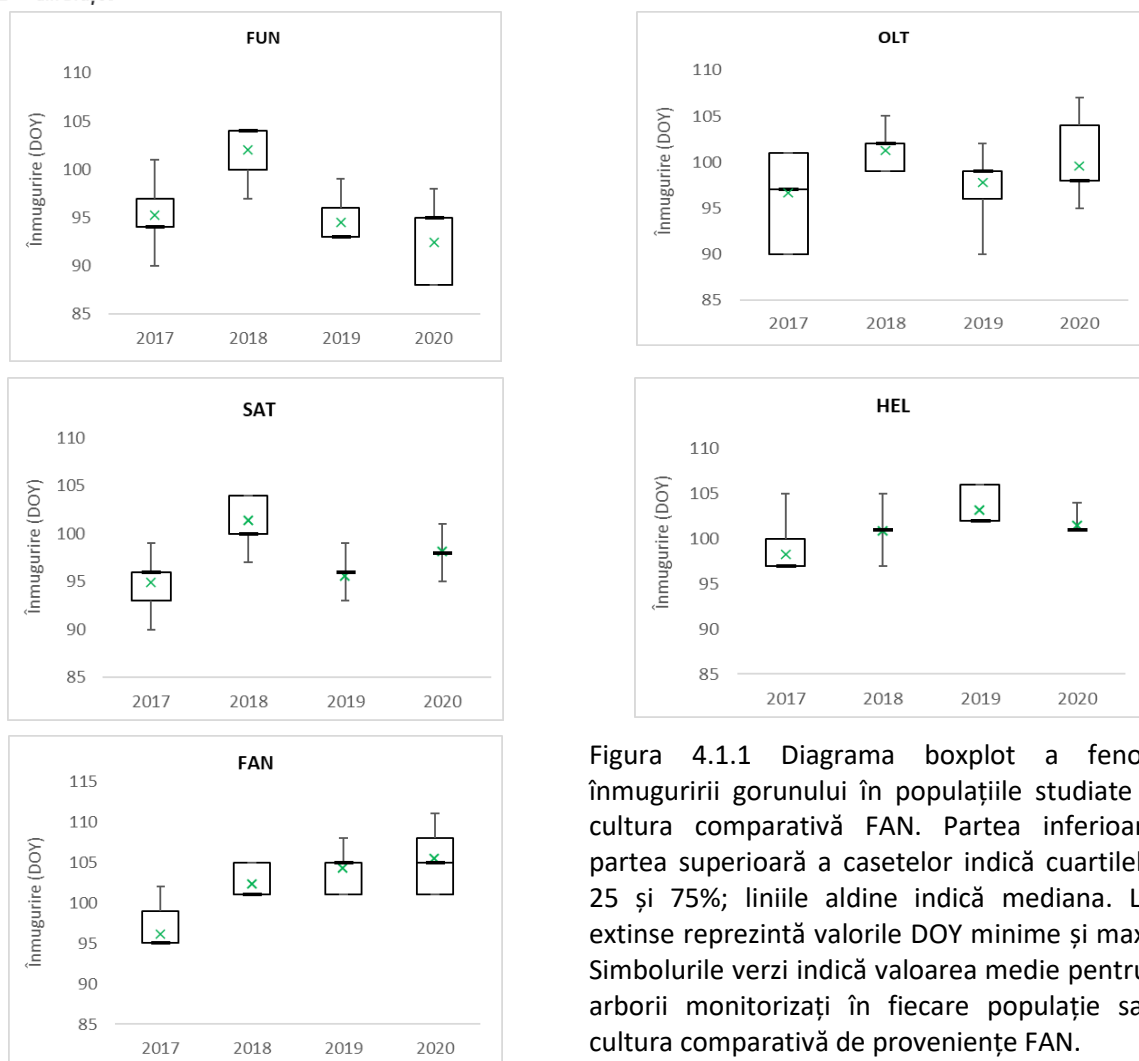


Figura 4.1.1 Diagrama boxplot a fenofazei înmuguririi gorunului în populațiile studiate și în cultura comparativă FAN. Partea inferioară și partea superioară a casetelor indică cuartilele de 25 și 75%; liniile albe indică mediana. Liniile extinse reprezintă valorile DOY minime și maxime. Simbolurile verzi indică valoarea medie pentru toți arborii monitorizați în fiecare populație sau în cultura comparativă de proveniență FAN.

Data medie a înmuguririi în populațiile periferice de gorun (DOY 98, 8 aprilie) a fost similară cu cea raportată de Tomescu (1957) în pădurea Dobrina (DOY 99, 9 aprilie), situată la 200 m altitudine în apropierea populației OLT. Cu toate acestea, durata observațiilor și locațiile nu au fost aceleași și, prin urmare, aceste comparații trebuie tratate cu prudență. Totuși, rezultatele arată că o valoare similară a datei înmuguririi ce datează de aproape 70 ani poate fi întâlnită și în prezent.

Mai mult decât atât, în comparație cu studiile fenologice realizate asupra gorunului extracarpatic, data medie a înmuguririi în populațiile periferice a avut loc cu aproape două săptămâni mai devreme decât data medie indicată pentru gorunul monitorizat în suprafețele experimentale OPTIMix din Franța (DOY 111; Perot et. al, 2021), și cu 3 până la 6 zile mai târziu decât data medie a înmuguririi obținută pentru gorun în populații de altitudine joasă (<387 m deasupra nivelului mării) din Valea Gave, Franța (DOY 92–95; Dantec et al., 2014). Cu toate acestea, aceste diferențe sunt doar ilustrative, deoarece ambele studii anterioare au luat în considerare scări de evaluare diferite pentru stabilirea fenofazei înfrunzirii.

Totuși, aceste diferențe evidențiază trăsăturile fenologice adaptative ale populațiilor de gorun situate în apropierea limitei de est a arealului general al speciei.

S-a observat că data medie a înmuguririi în populația de referință HEL a fost foarte apropiată de cea a populațiilor periferice (+3 zile), însă intervalul de variație a înmuguririi a fost aproape de două ori mai mic decât în populațiile periferice. Cu toate acestea, majoritatea exemplarelor monitorizate au finalizat fenofaza aproape de data medie, ceea ce sugerează o reducere mai mare a diversității comportamentale în populația de referință pentru înmugurire. De exemplu, de Sauvage et al. (2022) au studiat nouă populații de gorun de-a lungul unui gradient altitudinal în Pirineii Centrali din Franța și au descoperit o variabilitate fenologică mai mică pentru populațiile situate la altitudini mai mari.

Au existat diferențe extrem de mici ale sumei temperaturilor medii zilnice între 1 ianuarie și data înmuguririi în populațiile periferice, scăzând din regiunea sudică spre cea nordică a transectului (Tabelul 4.1.2). În populația HEL, suma temperaturilor medii zilnice a fost puțin mai mare decât în populațiile periferice (11,3% pentru SAT, 3,6% pentru OLT și 1,8% pentru FUN) în această perioadă și cu aproximativ 4,3% mai mică decât cultura comparativă FAN.

Dimpotrivă, suma temperaturilor medii zilnice dintre senescenta frunzelor în anul precedent și înmugurirea în anul curent a crescut de la populația periferică cea mai sudică la cea mai nordică. Cu toate acestea, diferențele au fost foarte mici. Sumele temperaturilor medii zilnice ale populațiilor HEL și FAN au fost aproximativ egale și mai mari decât cele ale populațiilor periferice.

Tabelul 4.1.2 Temperatura medie zilnică însumată de la 1 ianuarie până la înmugurire (BB) și de la LS în anul precedent până la BB în anul curent (B).

Populație	FUN	OLT	SAT	HEL	FAN*
$\Sigma T (^{\circ}\text{C}) \pm \text{SD}$					
(A) 1 ianuarie - BB DOY	191.5 $\pm$ 5.5	188.0 $\pm$ 5.6	173.0 $\pm$ 5.6	195.1 $\pm$ 5.5	203.8 $\pm$ 5.6
(B) LS DOY - BB DOY	438.4 $\pm$ 5.0	445.3 $\pm$ 5.3	447.0 $\pm$ 5.1	500.2 $\pm$ 4.7	500.8 $\pm$ 5.0

SD – abatere standard; $\Sigma T (^{\circ}\text{C})$ – suma temperaturilor medii zilnice.

*Cultură comparativă de proveniențe

Proveniențele locale 2-Dolhasca, 6-Sascut și 24-Botoșani — toate în regiunea G (Podișul Moldovei) unde a fost instalată cultura comparativă — au fost printre primele proveniențe care au atins stadiul I a fenozofazei înfrunzirii din toți anii studiați. Cu toate că diferențele în data medie a înmuguririi între proveniențe nu sunt considerabile, cel mai lent debut al înmuguririi a fost observat pentru proveniențele 32-Cluj și 15-Beiuș, ambele aparținând regiunea E (Munții Apuseni).

În plus, a fost găsită o corelație pozitivă semnificativă între înmugurire și altitudinea locului de origine al proveniențelor în cadrul culturii comparative FAN pentru toți cei patru ani de studiu. Mai mult, înmugurirea a fost corelată în mod semnificativ și indirect cu longitudinea locului de origine al proveniențelor. Prin urmare, datele obținute pentru gorun în cultura comparativă FAN indică o întârziere a declanșării înmuguririi de la est la vest de 0,5 până la 1,4 zile pentru fiecare grad de longitudine.

Numeroase studii efectuate în culturi comparative cu gorun (Liepe, 1993; Deans & Harvey, 1995; Ducouso et al., 1996) au arătat că fenologia înmuguririi variază în funcție de latitudine, astfel în populațiile sudice înfrunzirea se produce mai devreme decât populațiile nordice.

Totuși, aceste constatări contrastează cu cele ale lui Jensen (2000) care a descoperit analizând culturi comparative cu gorun și stejar pedunculat că proveniențele nordice au înmugurit mai devreme decât proveniențele sudice. Mai mult decât atât, unele studii au raportat, de asemenea, variații clinale similare de-a lungul gradientilor altitudinali (Alberto et al., 2011, 2013; Firmat et al. 2017).

➤ Înflorirea

În primăvara anului 2017, după o perioadă cu temperaturi medii ale aerului peste 10°C, temperatura aerului a scăzut și a persistat timp de câteva zile (DOY 109–115). Scăderea bruscă a temperaturii a fost însoțită de zăpadă abundentă, prinzând inflorescențele masculine în plin proces de maturare, iar temperaturile minime au scăzut noaptea sub 0°C. Atât în cele patru populații cât și în cultura comparativă, temperaturile minime au variat între -2,0°C și -0,9°C.

Astfel, în anul 2017, condițiile climatice nefavorabile din timpul eliberării polenului au afectat vizibil inflorescențele masculine, efectul temperaturilor apropiate de 0°C fiind întreruperea microsporogenezei și alungirii amenților, ceea ce duce la moartea completă a acestora (Garca-Mozo et al., 2001).

Populația de referință HEL a avut cea mai mare proporție de indivizi afectați de îngheț dintre populațiile studiate (47,5%), deoarece data medie de înflorire a fost mai aproape de data medie de producere a

îngheţului. Diferenţele dintre populaţii în intensitatea daunelor pot fi atribuite stadiului de dezvoltare al fenofazelor în momentul expunerii la îngheţ (Liepe, 1993; Chaar & Colin, 1999). În populaţiile periferice, procentul de indivizi care au suferit din cauza temperaturilor scăzute a fost mai redus, 24,0% în SAT, 12,0% în OLT şi 11,8% în FUN.

În cadrul culturii comparative FAN, s-au înregistrat vătămări doar la indivizi din provenienţele 11 Băbeni, 14 Văleni şi 24 Botoşani, acestea din urmă având cea mai mare proporţie de arbori vătămaţi. Şi în acest caz, leziunile la nivelul florilor au fost, de asemenea, asociate cu stadiul de dezvoltare în momentul expunerii la îngheţ. În consecinţă, cele trei provenienţe (11 Băbeni, 14 Văleni şi 24 Botoşani) care aveau exemplare aflate într-un stadiu de înflorire mai avansat au suferit daune ale florilor în 2017, explicând potenţiala sensibilitate crescută la îngheţ. Totuşi, aceste rezultate trebuie tratate cu prudenţă, deoarece a existat un singur episod de îngheţ târziu pe parcursul desfăşurării cercetărilor, fiind necesare studii suplimentare pentru a confirma această observaţie.

Fenofaza înfloririi s-a suprapus cu fenofaza de dezvoltare a frunzelor pentru toate populaţiile, cu excepţia populaţiei FUN, unde au fost înregistrate cele mai scăzute valori medii ale DOY (Tabelul 4.1.3).

Tabelul 4.1.3 Variabilitatea inter-individuală a înfloririi pentru gorun în populaţiile studiate şi în cultura comparativă FAN.

Populație	Înflorire (DOY)					Temperatură (°C)		Nr. zile ^a
	Min	Max	Medie ± SE	IV	SD	T _{med}	ΣT > 5 °C	
Populații periferice								
FUN	101	114	109 ± 0,31	13	3,7	12,4	80,0	7,0
OLT	104	117	110 ± 0,22	13	3,1	11,8	96,6	8,3
SAT	106	120	111 ± 0,23	14	3,4	11,4	94,3	8,5
Media populațiilor periferice	104	117	110 ± 0,15	13	3,4	11,9	90,3	7,9
Populație de referință (non-periferică)								
HEL	106	120	113 ± 0,28	14	3,1	11,1	90,5	8,0
Cultura comparativă de proveniențe								
FAN	109	124	117 ± 0,24	15	3,4	10,1	107,9	9,5

Min – DOY minim; Max – DOY maxim; SE – eroare standard; IV - interval de variaţie; SD – abatere standard; T_{med} - temperatura medie(°C); ΣT (°C) – suma temperaturilor medii zilnice.

^a Numărul mediu de zile între DOY înmugurire şi DOY înflorire.

Temperaturile medii înregistrate în timpul desfăşurării înfloririi în populaţiile OLT şi SAT au fost relativ similare. Populaţia FUN, situată în punctul cel mai sudic al transectului analizat, a avut cea mai ridicată temperatură medie, ducând la o înflorire mai rapidă în comparaţie cu celelalte populaţii.

În cadrul culturii comparative FAN, timpul de înflorire a fost corelat pozitiv cu gradientii latitudinali şi longitudinali, cu excepţia anului 2017, când această fenofază s-a fost corelat doar cu longitudinea. În plus, momentul înfloririi şi altitudinea au fost corelate semnificativ şi pozitiv în 2019 (testul de corelare a rangului lui Spearman, $p < 0,05$), dar nu şi în ceilalţi ani. Cu toate acestea, nu s-a observat nicio corelaţie semnificativă între timpul de înflorire şi latitudinea ecofiziologică.

În plus, în timpul procesului de înflorire în cultura comparativă FAN, au existat variaţii geografice cu latitudinea şi longitudinea şi, într-o măsură mai mică cu altitudinea. Data înfloririi a fost corelată negativ cu latitudinea şi longitudinea, ceea ce indică faptul că înflorirea are loc mai devreme în cazul provenienţelor nordice şi estice comparativ cu provenienţele sudice şi vestice.

Pentru gorun, rolul gradientilor geografici în debutul înfloririi nu a fost studiat la fel de mult ca şi în cazul înmuguririi. De exemplu, Grundström et al. (2019) a găsit o asociere între începutul eliberării polenului la stejar şi latitudine, astfel populaţiile sudice au înflorit mai devreme decât populaţiile nordice.

În cei patru ani consecutivi analizaţi, nu au fost observate diferenţe semnificative în ceea ce priveşte durata perioadei de înflorire (7-10 zile) între populaţii. Acest interval se încadrează în limitele observate în studiile anterioare în arborete mixte de cvercinee care au raportat o perioadă de înflorire de 6 (Chesnoiu et al., 2009) până la 12 zile (Crăciunesc, 2013; Chesnoiu, 2017).

➤ *Senescenţa frunzelor şi lungimea sezonului de vegetaţie*

Gorunul a prezentat o variaţie inter-individuală mai mare pentru data senescenţei frunzelor (DOY 281–325, 44 de zile) decât pentru cea a înmuguririi (DOY 88–112, 24 de zile) atât pentru cele patru populaţii, cât şi pentru cultura comparativă FAN (Tabelele 4.1.1 şi 4.1.4). Data medie a senescenţei frunzelor nu a variat foarte mult în rândul populaţiilor periferice (Tabelul 4.1.4). Mai mult decât atât, valoarea medie a senescenţei populaţiei periferice diferă de populaţia de referinţă cu aproape o săptămână (Tabelul 4.1.4).

Tabelul 4.1.4 Variabilitatea inter-individuală a senescenţei (LS) şi valorile medii ale sezonului de vegetaţie observate la gorun în populaţiile analizate şi în cultura comparativă FAN pentru perioada 2017–2020

Populație	LS (DOY)				Sezon de vegetație			SD
	Min	Max	Medie ± SE	IV	Nr. zile ^a	Condiții climatice		
						T _{med} (°C)	Σ T (°C)	
Populații periferice								
FUN	287	325	304 ± 0,74	38	208	17,8	3806,7	8,7
OLT	287	322	301 ± 0,62	35	203	17,5	3576,3	8,8
SAT	287	322	300 ± 0,69	35	202	17,4	3500,4	9,2
Media populațiilor periferice	287	325	302 ± 0,41	36	204	17,6	3627,8	9,5
Populație de referință (non-periferică)								
HEL	281	315	296 ± 0,80	34	195	17,1	3271,2	10,5
Cultură comparativă de proveniențe								
FAN	281	315	297 ± 0,60	34	194	17,2	3347,1	8,2

Min – DOY minim; Max – DOY maxim; SE – eroare standard; IV - interval de variaţie; T_{med} - temperatura medie(°C); Σ T (°C) – suma temperaturilor medii zilnice; SD – abatere standard.

^a Numărul mediu de zile între DOY înmugurire şi DOY senescenţă.

În anul 2018, când începutul înmuguririi s-a declanşat mai târziu comparativ cu restul anilor, populaţiile periferice au avut un debut mai timpuriu al senescenţei frunzelor (Figura 4.1.2).

Pe parcursul primelor două sezoane (2017-2018), populaţiile periferice au avut o colorare a frunzelor mai întâziată faţă de populaţia de referinţă HEL cu mai mult de 14 zile în 2017 şi aproape o săptămână în 2018 (Figura 4.1.2). În schimb, în utimele două sezoane (2019-2020), fenofaza autumnală în populaţiile periferice a avut loc fie aproximativ în aceeaşi perioadă cu populaţia de referinţă (în anul 2019, înregistrându-se o întârziere de 4 zile pentru populaţie FUN şi o zi pentru populaţiile OLT şi SAT), fie simultan (în anul 2020). Comparativ cu populaţia HEL, cultura comparativă FAN a avut, de asemenea, un interval de variaţie inter-individual similar, însă cu o valoare DOY medie ulterioară a senescenţei frunzelor.

Data medie a senescenţei frunzelor observată pentru populaţiile periferice (DOY 302) este mai târzie decât valorile DOY medii ale senescenţei raportate în studii realizate în urmă cu peste o jumătate de secol la nivel naţional în arborete de gorun. De exemplu, Tomescu (1957) a raportat o valoare medie a DOY pentru senescenţa frunzelor de 289 pentru gorunul din pădurea Dobrina, iar Tomescu (1967) a raportat o valoare medie pentru DOY de 273 pentru gorunul din pădurea Poieni situată la 360 m de populaţia SAT, sugerând o întârziere pentru senescenţa frunzelor de 2,0–4,3 zile pe deceniu. După cum s-a menţionat anterior, aceste diferenţe trebuie tratate cu prudenţă, deoarece protocolul de monitorizare al fenologiei nu este acelaşi, iar influenţa variabilităţii inter-observator este foarte mare (Liu et al., 2021). În mod similar, s-a observat o întârziere în data medie a senescenţei frunzelor în populaţia de referinţă HEL (DOY 296) şi în cultura comparativă FAN (DOY 297) în comparaţie cu populaţii din apropiere, precum pădurea Brădătel (DOY 273) şi pădurea Casa cu Nuci (DOY 289; Tomescu (1967)).

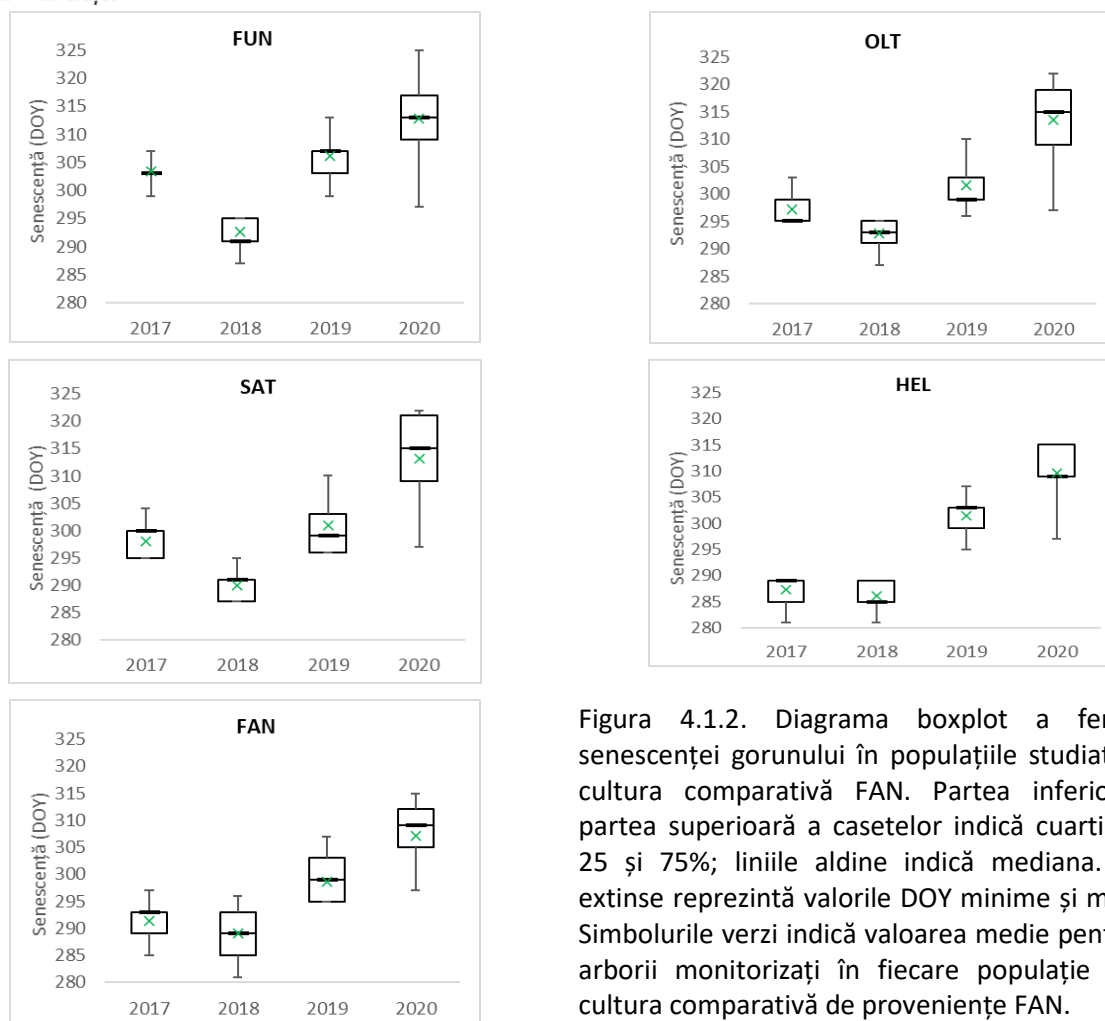


Figura 4.1.2. Diagrama boxplot a fenofazei senescentei gorunului în populațiile studiate și în cultura comparativă FAN. Partea inferioară și partea superioară a casetelor indică cuartilele de 25 și 75%; liniile albine indică mediana. Liniile extinse reprezintă valorile DOY minime și maxime. Simbolurile verzi indică valoarea medie pentru toți arborii monitorizați în fiecare populație sau în cultura comparativă de proveniență FAN.

Cu toate acestea, data medie a senescentei frunzelor în populațiile periferice a fost foarte apropiată de cea obținută de Chesnoiu (2017) în pădurea Fundeanu (DOY 299). Mai mult, datele medii de colorare a frunzelor în populațiile periferice au fost mai mici în comparație cu unele studii europene privind senescența la gorun care au raportat DOY de 299 (Delpierre et al., 2009) și 303 (Vitasse et al., 2011).

Spre deosebire de înmugurire, senescența frunzelor a fost corelată semnificativ cu gradientii geografici ai locului de origine al proveniențelor doar în anul 2017.

Pentru gorun, în cadrul unor studii anterioare s-au constatat variații cu latitudinea și în ceea ce privește fenofaza colorării frunzelor (Deans & Harvey, 1995; Jensen & Hansen, 2008). Ca urmare a existenței unor variații în lungimea fotoperioadei, senescența se declanșează mai devreme în populațiile de la latitudini mai mari decât în populațiile de la latitudini mai mici. Totuși, Vitasse et al. (2009), au observat că variația gradientală a senescentei cu altitudinea este mult mai probabil să fie indusă de temperatură decât de fotoperioadă. Cu toate acestea, rezultatele obținute de Torres-Ruiz et al. (2019) la gorun nu susțin o tendință clinală a senescentei cu temperatura.

În general, variația senescentei frunzelor de la un an la altul a fost mică în cultura comparativă. Cu toate acestea, au existat unele modificări la nivel de proveniență, în special proveniența 32-Cluj, care a avut cea mai timpurie colorare a frunzelor în fiecare dintre cei patru ani consecutivi.

Temperaturile înregistrate în timpul sezonului de vegetație au fost mai ridicate în populațiile periferice, iar între acestea diferențele au fost mici. Senescența frunzelor s-a produs mai devreme și s-a încheiat mai rapid în populația de referință HEL și în cultura comparativă FAN, deoarece ambele sunt situate în zona subcarpatică, rezultând un sezon de vegetație mai scurt în aceste zone.

Numeroase studii au indicat că, în timp, senescența frunzelor va fi întârziată progresiv sub influența schimbărilor climatice preconizate (Menzel et al., 2001; Menzel et al., 2008; Vitasse et al., 2011).

Modelele explorate de Nölte et al. (2020) pentru gorunul din sud-vestul Germaniei a prezis o întârziere a senescentei de 6–11 zile pe deceniu pentru perioada 2070–2100 comparativ cu 1985–2015. În schimb, s-a demonstrat că, din cauza încălzirii globale, fenologia înmuguririi stejarilor începe mai devreme cu 1–3 zile·°C⁻¹ (Thomas & Gausling, 2000; Fu et al., 2014) până la 5–7 zile·°C⁻¹ (Morin et al., 2010; Vitasse et al., 2010).

Aceste modificări în apariția fazelor fenologice se reflectă și în durata sezonului de vegetație (Menzel & Fabian, 1999; Vitasse et al., 2009b, 2010; Crabbe et al., 2016), așa cum se poate observa în comparațiile dintre aceste rezultate și cele raportate anterior pentru lungimea sezonului de vegetație. Pe baza observațiilor din perioada 1956–1965, Tomescu (1967) a constatat că perioada de vegetație la gorun a durat, în medie, 180 de zile indiferent de gradientii geografici (200 de zile la 100 m altitudine și 160 la 650 m). Prin urmare, putem observa o prelungire a sezonului de vegetație cu cca. 30 de zile în ultimele decenii.

➤ Corelații

Pentru gorun, în anii de observații fenologice s-au găsit corelații semnificative între fenofazele de primăvară, mai exact între înmugurire și dezvoltarea frunzelor, respectiv înflorire. Cu toate acestea, între înmugurire și senescenta frunzelor situațiile în care au existat corelații semnificative nu au fost frecvente, sugerând că debutul înmuguririi nu influențează începutul senescentei.

În plus, în majoritatea cazurilor nu s-au observat corelații semnificative între înmugurire din anul curent și senescenta din anul precedent, ceea ce contrazice rezultatele anterioare obținute pentru gorun de Marchand et al. (2020).

În acord cu studiile anterioare (Cole & Sheldon, 2017; Delpierre et al., 2017), momentul înmuguririi a fost repetabil de la an la an. Cu toate acestea, magnitudinea repetiției ($r_s < 0,6$) a fost medie spre scăzută, ceea ce sugerează că nu toți arborii eșantionați înmuguresc în aceeași perioadă în ani diferiți (Bacilieri et al., 1995). Cu toate acestea, variația condițiilor de mediu locale poate ajuta la explicarea repetabilității înmuguririi la nivelul arborilor (Morin et al., 2010).

În mod similar, ordinea repetabilă a înfloririi în ani consecutivi a fost observată în ciuda diferențelor existente între ani în momentul eliberării polenului. Cu toate acestea, coeficienții de corelație Spearman mici spre medii indică faptul că doar o mică parte din arborii eșantionați își mențin ordinea atunci când polenul este eliberat, în concordanță cu observațiile lui Crăciunesc (2012) și Chesnoiu (2017).

În plus, s-au obținut corelații pozitive ale înmuguririi cu dezvoltarea frunzelor și înflorirea. Prin urmare, momentul înmuguririi este un bun indicator al debutului dezvoltării frunzelor și înfloririi.

Prin comparație, momentul înmuguririi și al senescentei frunzelor au fost corelate, deși într-o măsură mai mică, indicând faptul că înmugurirea este un indicator slab pentru debutul senescentei frunzelor.

4.2 Analiza influenței categoriei fenologice asupra trăsăturilor lemnului

4.2.1 Influența categoriei fenologice asupra densității convenționale a lemnului

Pentru toți arborii, BWD medie a gorunului a fost de 0,579 g·cm⁻³ ($\pm 0,04$ abatere standard), cu un coeficient de variație de 6,6% (Tabelul 4.2.1.1) și valori incluse în intervalul 0,470–0,694 g·cm⁻³.

Tabelul 4.2.1.1 Densitatea convențională a lemnului de gorun potrivit locației de eșantionare

Locația de eșantionare	BWD (g·cm ⁻³)	
	Medie $\pm$ SD	CV(%)
Populații periferice (FUN, OLT, SAT)	0,572 $\pm$ 0,06	10,1
Populație de referință (HEL)	0,584 $\pm$ 0,04	6,3
Cultură comparativă (FAN)	0,589 $\pm$ 0,05	8,1
Total	0,579$\pm$0,04	6,6

La nivel de arbore, BWD a fost o variabilă cu distribuție gaussiană (d din testul Kolmogorov-Smirnov = 0,102, Lilliefors $p < 0,05$). Diferențele dintre arborii întregului eșantion au fost semnificative statistic ($t = 146,93$, $p < 0,001$). Aceste diferențe nu s-au datorat direct vârstei arborilor, ci lățimii inelelor anuale (Tabelul 4.2.1.2), arborii cu creștere viguroasă având BWD mai mare (testul de corelație a rangurilor Spearman $R = 0,266$, $p = 0,01$), acest efect fiind mascat de vârsta arborilor (corelația parțială între BWD și ARW după controlul vârstei arborilor a fost $-0,001$, $p = 0,93$).

Tabelul 4.2.1.2 ANCOVA pentru trăsăturilor examinate ale lemnului (p din testul F)

Variabilă dependentă	Predictori		Efecte fixe: Categoria fenologică	
	Vârsta arborilor	Lățimea medie a inelelor anuale	Covarianțe	
			Vârsta arborilor	Lățimea medie a inelelor anuale
BWD	0,39	0,03*	0,01**	0,01**
SW	0,98	0,006**	0,34	0,32
NSR	< 0,001***	< 0,001***	0,57	0,36
Fenologie inel anual 2021	0,38	0,03*	0,02**	0,03**

Nivel de semnificație: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Efectul pe care diferențele de fenologie între arbori îl au asupra densității convenționale a lemnului este influențat atât de vârsta arborilor, cât și de creșterea radială a acestora (Tabelul 4.2.1.2). La nivelul întregului eșantion, arborii precoci au avut lemnul cu $31 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ mai dens decât arborii tardivi. Densitatea convențională a lemnului variază cu statutul locației de eșantionare (periferică/non-periferică, regenerare naturală/plantație): $F = 3.18$, $p = 0.04$. A rezultat că la aceeași vârstă a arborilor, arborii din populațiile periferice au lemnul din secțiunea de bază cu $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ mai ușor (Figura 4.2.1.1).

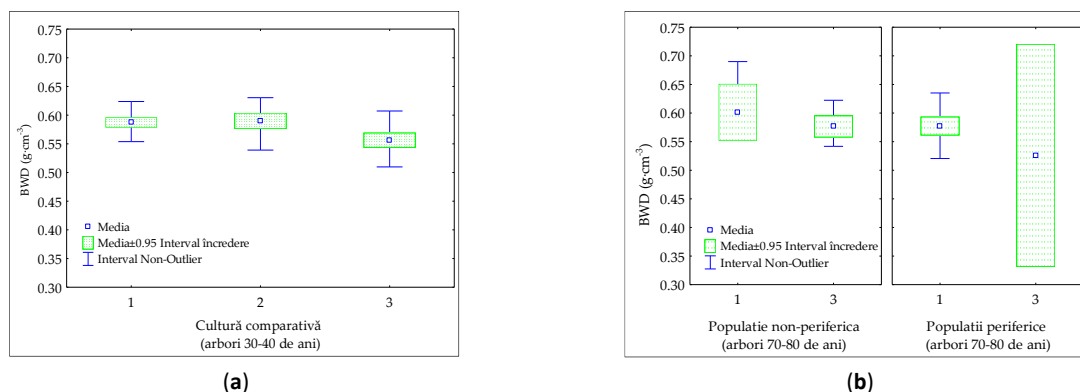


Figura 4.2.1.1 Variația BWD în funcție de categoria fenologică a arborilor (1- arbori precoci, 2- arbori intermediari, 3- arbori tardivi) în cultura comparativă (a) și în populațiile regenerate natural (b).

La nivelul culturii comparative, care a fost instalată într-o zonă non-periferică din arealul gorunului, proveniențele periferice (Dolhasca, Sascut și Botoșani) au avut BWD ceva mai mare decât proveniențele non-periferice (Băbeni, Văleni, Beiuș, Făget, Blaj, Lechința și Cluj), dar diferențele nu au fost asigurate statistic ($F = 0,47$, $p = 0,50$).

Densitatea lemnului din cultura comparativă, unde arborii sunt mai tineri a depășit densitatea din arboretele mai în vârstă (Figura 4.2.1.1). Rezultatul ar putea fi explicat prin rata mai mare de creștere a arborilor tineri, tradusă în inele mai largi, care sunt asociate cu lemn mai greu, datorită conținutului ridicat de lemn târziu (Bergès et al., 2000, 2008; Vavřík & Gryc, 2012; Pretzsch et al., 2018).

Când s-a analizat separat duramenul și alburnul, diferențele dintre arborii cu înmugurire precoce și înmugurire tardivă în ceea ce privește BWD au fost accentuate (Figura 4.2.1.2). În cultura comparativă, densitatea convențională a SAW a fost constant mai mică decât densitatea convențională a HW (testul Kruskal-Wallis: $H = 18,95$, $p < 0,001$), dar diferențele au fost mai mari la arbori cu înmugurire tardivă (Figura 4.2.1.2a). De asemenea, în populațiile regenerate natural, s-au observat diferențe ale BWD între JHW și MHW, acesta din urmă fiind mai puțin dens (Figura 4.2.1.2b).

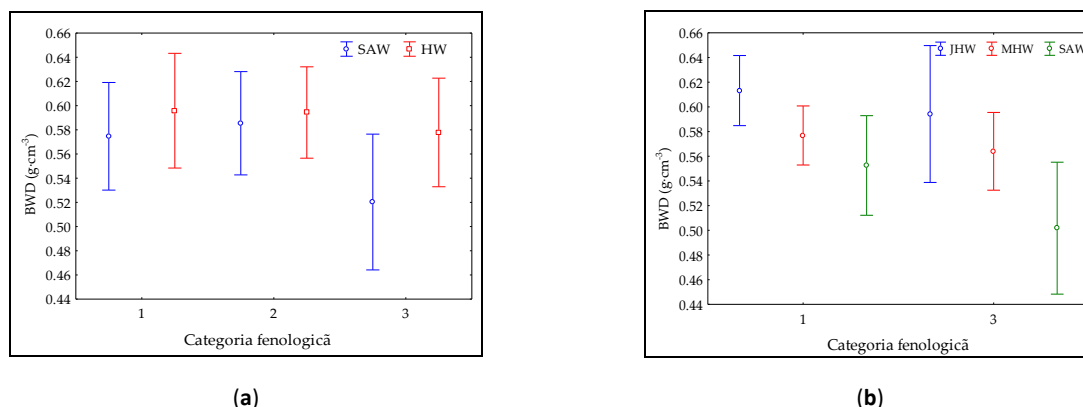


Figura 4.2.1.2 BWD (media $\pm$ abatere standard) a alburnului și duramenului în funcție de categoria fenologică (1- arbori precoci, 2- arbori intermediari, 3- arbori tardivi) la arborii din cultura comparativă (a) și din populațiile regenerare natural (b).

În cadrul culturii comparative, densitatea convențională a alburnului și duramenului arborilor cu înmugurire precoce și intermediară a fost mai mare decât cea a arborilor cu înmugurire tardivă (Figura 4.2.1.2a).

Deși s-a afirmat, în general, că densitatea crește treptat de la măduvă spre lemn juvenil, și apoi spre lemnul matur (Knapic et al., 2007), s-au atins valori mai mari pentru BWD în secțiunea JHW. Densitatea mai mare în lemnul juvenil al stejarilor este consecința proporției mai mari de lemn târziu în inelele anuale (Figura 4.2.1.2). Mai mult, în sprijinul acestei constatări, Pásztor et al. (2014), precum și Diaz-Maroto și Tahir (2018), au observat o densitate convențională mare în duramenul juvenil de gorun.

Diferența de BWD dintre arborii cu înmugurire precoce și înmugurire tardivă (Figura 4.2.1.1, Figura 4.2.1.2) este de fapt rezultatul diferențelor de creștere: o înmugurire precoce presupune și un început mai rapid al creșterii radiale și, implicit, o durată mai lungă de creștere, ceea ce duce la inele mai largi, care vor avea o densitate mai mare (Wang et al., 2021).

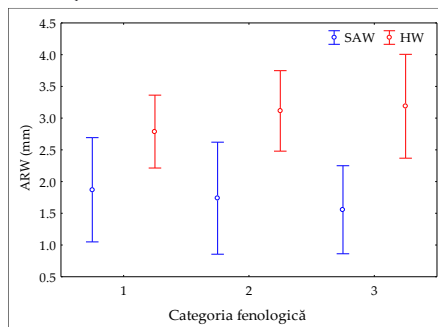
Variațiile geografice ale densității convenționale sunt evidențiate atât în arboretele naturale eșantionate, cât și prin proveniențele din cultura comparativă (Figura 4.2.1.1). Deși diferențele nu au fost substanțiale, populațiile periferice au avut cele mai scăzute valori medii pentru BWD, ceea ce confirmă faptul că densitatea lemnului pentru lemn poros de esență tare este mai mare în condiții ecologice optime (Bergès et al., 2008).

4.2.2 Influența categoriei fenologice asupra trăsăturilor structurale ale lemnului

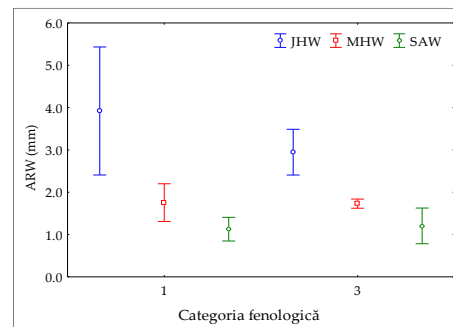
Diferențele dintre locațiile de eșantionare au fost semnificative statistic ($W = 22,60$, $p = 0,04$) și se datorează în primul rând vârstei arborilor, în special a celor din cultura comparativă ($H = 50,88$, $p < 0,001$). La aceeași vârstă a arborilor, populațiile periferice au inele mai înguste la înălțimea de 1,3 m decât populațiile non-periferice, precum și o amplitudine mai mare a ARW, dar fără ca diferențele să fie semnificative statistic (p de la testul Kruskal Wallis multiple comparison array = 0,13).

În ceea ce privește variația ARW în funcție de categoria fenologică (Figura 4.2.2.1), s-a constatat că cele mai late inele anuale au fost găsite pentru arborii cu înmugurire intermediară, iar cele mai înguste pentru arborii cu înmugurire tardivă, diferențele fiind semnificative statistic (testul Kruskal–Wallis: $H = 8,369$, $p < 0,05$) independent de vârsta arborilor.

Comparând diferite părți ale lemnului, alburnul are inele mai înguste decât duramenul, iar ambele părți de lemn au inele mai înguste la arborii cu înmugurire tardivă (Figura 4.2.2.1).



(a)

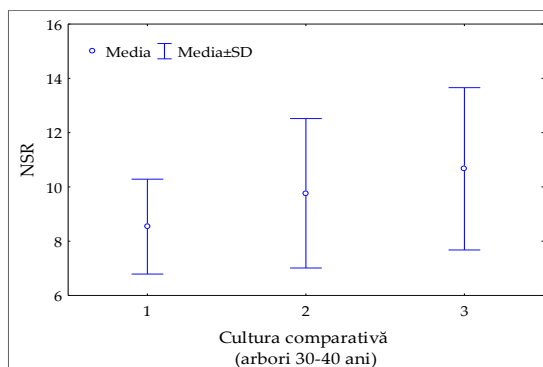


(b)

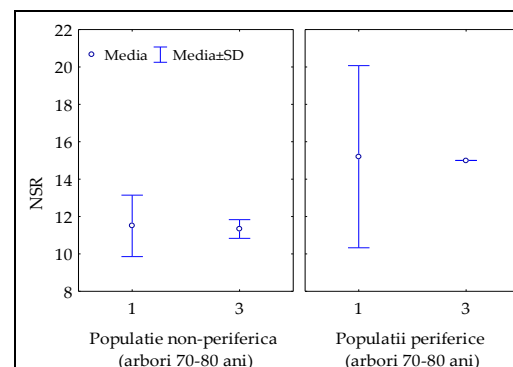
Figura 4.2.2.1 ARW (media $\pm$ abaterea standard) în funcție de categoria fenologică (1- arbori precoci, 2- arbori intermediari, 3- arbori tardivi) la arborii din cultura comparativă, 30-40 de ani (a) și în populațiile regenerate naturale, arbori de 70-80 de ani (b).

Nu au existat diferențe între locațiile de eșantionare în ceea ce privește SAW ($H = 19,42$, $p = 0,11$). Cu toate acestea, au existat diferențe semnificative statistic ($t = 27,21$, $p < 0,1$) între arborii în raport cu SAW și s-au datorat diferențelor de creștere radială exprimate prin ARW (Tabelul 4.2.1.2).

Diferențele dintre arborii în raport cu NSR au fost semnificative statistic ($t = 25,55$, $p < 0,1$), precum și diferențele între locațiile de eșantionare ($H = 42,83$, $p < 0,001$). NSR mediu al tuturor arborilor din cultura comparativă (arbori 30-40 ani) a fost de $9 \pm 2,5$ (Figura 4.2.2.2a), cu un interval de variație cuprins între 5 și 16 inele, și al populațiilor regenerate natural (arbori de 70-80 de ani) a fost de $14 \pm 4,4$ (Figura 4.2.2.2b), variind de la 6 la 27 de inele. NSR a fost dependent atât de vârsta arborilor, cât și de rata de creștere a acestora (Tabelul 4.2.1.2). Aparent, NSR a crescut odată cu vârsta arborilor (după cum s-a arătat din corelația simplă), dar după controlul efectului lățimii medii a inelelor anuale, contrar NSR a scăzut cu vârsta (corelație parțială = $-0,279$, $p = 0,01$).



(a)



(b)

Figura 4.2.2.2 Variația NSR (media $\pm$ abaterea standard) în funcție de categoria fenologică (1- arbori precoci, 2- arbori intermediari, 3- arbori tardivi) în cultura comparativă (a) și în populațiile regenerate naturale (b).

În plus, s-a testat relația dintre NSR și coordonatele geografice ale locurilor de origine ale celor zece proveniențe, și s-a constatat că NSR a fost corelat în mod semnificativ și indirect cu longitudinea originilor proveniențelor (testul de corelație a rangurilor R Spearman = $-0,230$, $p < 0,05$). Prin urmare, deși corelația a fost slabă, proveniențele de gorun din cultura comparativă FAN au prezentat o tendință de scădere a NSR de la vest la est, adică proveniențele periferice au avut mai puține inele în alburn. Când s-au comparat populațiile regenerate naturale, populațiile periferice au prezentat un NSR evident mai mare în comparație cu populația non-periferică (Figura 4.2.2.2b).

Posibilele diferențe între arborii cu fenologie diferită în raport cu SAW și NSR (NSR a scăzut de la arborii cu înmugurire tardivă, la cei cu înmugurire intermediară, la cei cu înmugurire precoce, Figura 4.2.2.2a) s-au datorat creșterii radiale (Tabelul 4.2.1.2). De exemplu, în cultura comparativă, NSR a scăzut cu ARW (testul de corelație a rangurilor R Spearman = $-0,354$, $p = 0,02$).

În cadrul culturii comparative (arbori cu vârstă de 30-40 de ani) a fost analizată și fenologia arborilor în raport cu formarea inelului anual 2021. Testul neparametric Kruskal–Wallis ($H = 13,151$, $p < 0,05$) a evidențiat diferențe semnificative între stadiile formării inelului anual din 2021 în funcție de categoria fenologică a arborilor.

În mod neașteptat, la 49% dintre arborii cu înmugurire precoce (22% din numărul total de arbori din cultura comparativă), până la 2 aprilie 2021 nu se formase inelul anual, în timp ce la unii arbori cu înmugurire tardivă, inelul era avansat în formare (Figura 4.2.2.3). În plus, la majoritatea arborilor cu înmugurire intermediară (61%, sau 23% din numărul total de arbori din cultura comparativă), formarea inelului 2021 a fost avansată (Figura 4.2.2.3).

De asemenea, s-a verificat cu ajutorul testului neparametric Kruskal–Wallis, diferențele între proveniențele din cultura comparativă cu privire la lățimea medie a inelelor anuale și a rezultat că acestea nu sunt semnificative din punct de vedere statistic ($H = 4.92$, $p = 0,84$). Totuși, acest fapt nu înseamnă că nu există diferențe între arbori, motiv pentru care s-a confruntat lățimea inelelor cu fenologia inelului 2021, de unde a rezultat o incompatibilitate între cele două variabile (testul de corelație a rangurilor R Spearman = -0.01 , $p = 0.95$). În plus, din reprezentarea grafică a lățimii medii a inelului anual clasificată în funcție de fenologia inelului 2021 (Figura 4.2.2.4), se poate remarca faptul că printre arborii la care formarea inelului 2021 nu începuse la data recoltării carotelor, sunt și arbori cu inele late, ceea ce evidențiază că nu este totuși o legătură între lățimea inelelor și fenologia formării lor.

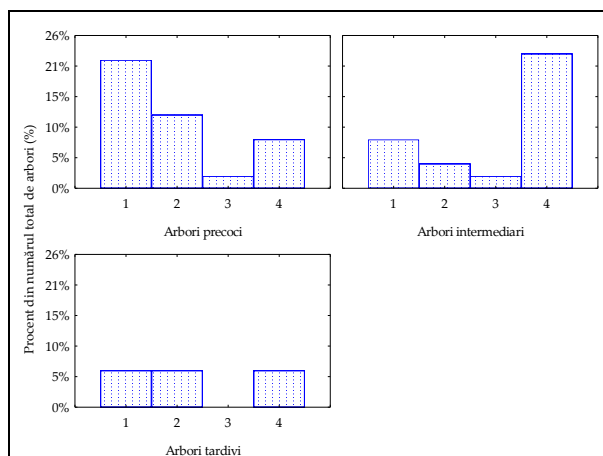


Figura 4.2.2.3 Fenologia inelului anual 2021 în funcție de categoria fenologică pentru arborii din cultura comparativă: 1 - inelul 2021 nu s-a format, 2 - inelul 2021 conține doar un singur rând de pori în zona de lemn timpuriu, 3 - inelul 2021 conține doar două rânduri de pori în zona de lemn timpuriu și 4 - inelul 2021 conține atât lemn timpuriu, cât și o parte din lemnul târziu.

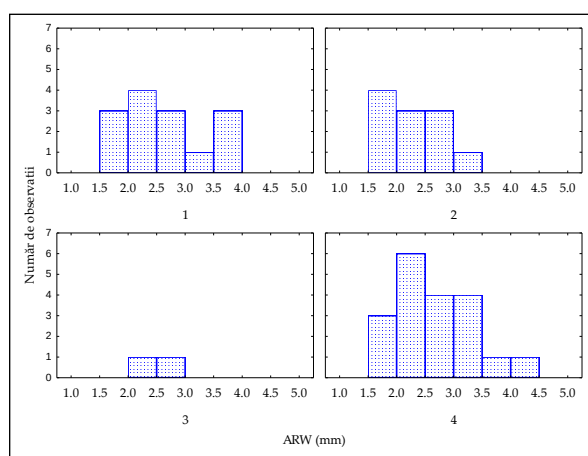


Figura 4.2.2.4 Histograma lățimii medii a inelului anual clasificată în funcție de fenologia inelului 2021 (1 - inelul 2021 nu este format, 2 - inelul 2021 conține doar un singur rând de pori în zona lemnului timpuriu, 3 - inelul 2021 conține doar două rânduri de pori în zona lemnului timpuriu și 4 - inelul 2021 conține atât lemn timpuriu, cât și o parte din lemnul târziu).

Spre deosebire de BWD, lățimea alburnului nu reflectă decalajele fenologice dintre arbori. În schimb, în condițiile de mediu omogene oferite de cultura comparativă și la aceeași vârstă a arborilor, numărul de inele din alburn indică o întârziere în privința trecerii la formarea duramenului la arborii tardivi, în medie cu doi ani față de arborii precoci (Figura 4.2.2.2).

Pe lângă amplasarea geografică a locurilor de eșantionare, valorile diferite ale NSR observate între populațiile naturale și cultura comparativă sunt legate de vârsta arborilor, arborii mai tineri având mai puține inele de alburn (Jevšenak et al., 2019). Ca și în cazul fenologiei arborilor, se poate presupune o întârziere de trecere la duramen în populațiile periferice, care au un număr consistent mai mare de inele în alburn comparative cu populația non-periferică (Figure 4.2.2.2b).

Structura inelelor anuale este un complex de variabile legate de creştere, care fac ca proprietăţile lemnului să depindă de lăţimea inelelor anuale (Rao et al, 1997; Gričar et al., 2013; Sousa et al., 2021). Pentru *Q. petraea*, ca specie cu lemn inelo-poros, lăţimea inelului anual este corelată pozitiv cu proporţia lemnului târziu (Bergès et al., 2000; Guilley et al., 2004), în sensul că, odată cu creşterea lăţimii inelului anual, se înregistrează şi o creştere a proporţiei lemnului târziu şi implicit a densităţii lemnului (Vavrčík & Gryc, 2012).

Faptul că, în majoritatea cazurilor, formarea lemnului la arborii cu înmugurire intermediară a precedat formarea lemnului la arborii cu înmugurire precoce pare să nu aibă legătură cu procesul fenologic interceptat. O posibilă explicaţie pentru această situaţie este că precocitatea şi tardivitatea fenologiei înmuguririi ar putea fi legate de procesul de anteză (formarea florilor) şi nu de formarea inelului anual. O altă posibilă explicaţie ar putea fi legată de originea provenienţelor cu înmugurire intermediară. Aşa cum s-a arătat într-un studiu anterior, înmugurirea a fost corelată negativ cu longitudinea şi pozitiv cu altitudinea locului de origine al provenienţelor (Gafenco et al., 2022). Prin urmare, aşa cum s-a observat şi în alte studii de provenienţe (Chmura & Rozkowski, 2002), efectul longitudinii asupra înmuguririi poate fi considerat un posibil mecanism de adaptare la condiţiile locale care permite arborilor să evite expunerea frunzelor la îngheţuri târzii.

Într-un studiu anterior asupra stejarului pedunculat, Puchalka et. al (2017) nu au găsit o corelaţie între fenologia înmuguririi şi formarea timpurie a vaselor de lemn. Alte studii (Gričar et al., 2022) susţin constatările că cele două evenimente nu sunt asociate. Cu toate acestea, există şi studii care raportează că fenologia înfrunzirii este probabil să fie în legătură cu formarea lemnului (Michelot et al., 2012; Guada et al., 2019).

Cu toate acestea, întrucât observaţiile s-au realizat doar la nivelul unui an (2021), rezultatele privind fenologia inelului anual nu pot fi extrapolate şi necesită investigaţii suplimentare.

4.2.3 Analiza componentelor principale şi analiza cluster

S-a confirmat caracterul adecvat al datelor pentru analiza PCA (KMO = 0,517, iar BTS a returnat o valoare semnificativă mai mică de 0,001). Rezultatele PCA au arătat că primii doi factori au descris 72,33% din varianţa totală, adică 46,48% şi, respectiv, 25,85% (Figura 4.2.3.1).

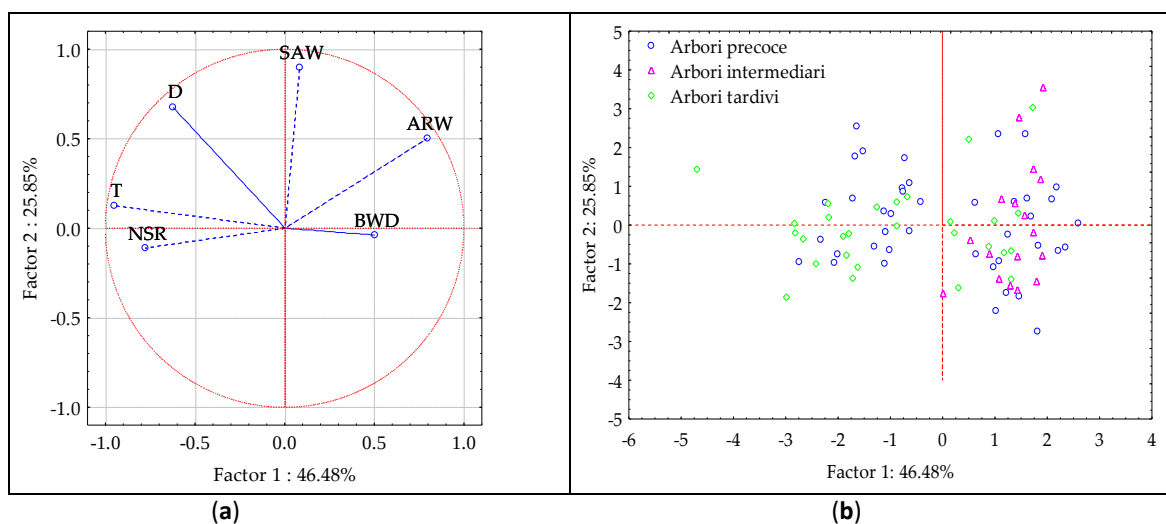


Figura 4.2.3.1 Analiza contribuţiei variabilelor la primii doi factori (a) şi diagrama de dispersie a rezultatelor PCA (b). Note: BWD – densitatea convenţională a lemnului, T – vârsta arborilor; D – diametrul arborilor la înălţimea de 1,3 m; SAW – lăţimea alburnului; ARW – lăţimea medie a inelelor anuale; NSR – numărul de inele de alburn.

Din analiza cluster, s-au putut observa două grupuri distincte pe baza celor cinci trăsături selectate ale lemnului (BWD, vârsta arborilor la 1,3 m, ARW, SW şi NSR) (Figura 4.2.3.2): unul reprezentat de cultura comparativă şi unul de populaţiile naturale. În plus, diferenţele dintre acestea sunt accentuate şi prin distanţa euclidiană lungă.

Dendrograma a separat populaţiile regenerate natural de cultura comparativă, iar în cadrul culturii comparative au fost diferenţiate două mari grupe de provenienţe, care, însă, nu au fost asociate în funcţie de poziţia lor geografică în cadrul arealului autohton al gorunului (Figura 4.2.3.2). De exemplu, provenienţa periferică Sascut s-a grupat într-un subcluster separat împreună cu provenienţa non-periferică Lechinţa. În plus, în populaţiile naturale, au existat unele asemănări între populaţiile periferice şi populaţia non-periferică, asemănări care au provenit din vârsta arborilor.

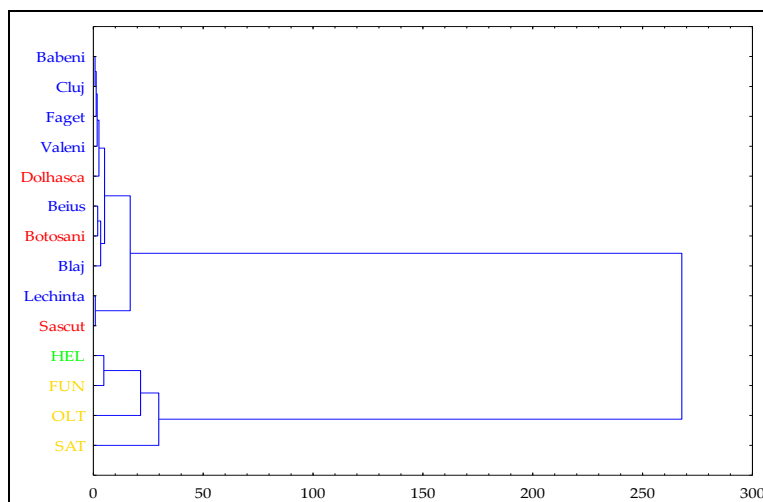


Figura 4.2.3.2 Dendrograma cluster bazată pe cinci trăsături ale lemnului (BWD, vârsta arborilor, ARW, SAW, NSR). Axa orizontală reprezintă distanţa euclidiană; axa verticală reprezintă provenienţele din cultura comparativă şi cele patru populaţii regenerate natural (provenienţele non-periferice sunt reprezentate cu albastru; provenienţele periferice sunt reprezentate cu roşu; populaţia naturală non-periferică este reprezentată cu verde şi populaţiile naturale periferice sunt reprezentate cu portocaliu).

În ceea ce priveşte analiza PCA (Figura 4.2.3.1) s-a putut observa că dintre categoriile fenologice identificate, arborii cu înmugurire intermediară au avut o asociere mai bună cu trăsăturile lemnului. De asemenea, când s-au luat în considerare toate trăsăturile investigate ale lemnului, analiza cluster (Figura 4.2.3.2) a permis separarea populaţiilor regenerate natural de cultura comparativă. Lipsa unei separări clare între provenienţe în cadrul culturii comparative ar putea fi legată de numărul limitat de trăsături considerate în analiză (Bessa et al., 2022).

4.3 Analiza fenotipică în cultura comparativă de provenienţe Fântânele

Supravieţuirea provenienţelor

Analiza varianţei a arătat diferenţe foarte semnificative între toţi cei trei factori analizaţi (repetiţii, provenienţe şi grupuri) în ceea ce priveşte supravieţuirea ($p < 0,001$) (Tabelul 4.3.1).

Supravieţuirea după 44 de ani de la plantare a fost foarte scăzută, variind între 6,7% (provenienţa 5 Zeletin) şi 22,0% (provenienţa 25 Lipova), cu o medie generală de 13,1% (Figura 4.3.1).

Tabelul 4.3.1 Analiza varianței pentru trăsăturile fenotipice studiate în cultura comparativă FAN

Sursa de variație	Factori	DF	SS	MS	F	p
Supraviețuirea	Repetiții	2	3472,83	1736,41	50,55	0,000
	Proveniențe	30	6663,33	222,11	6,47	0,000
	Grupuri	5	1643,80	328,76	7,02	0,000
	Eroare	304	10614,98	34,35		
Diametrul la înălțimea de 1,3 m	Repetiții	2	57,30	28,70	0,85	0,429
	Proveniențe	30	1366,00	45,50	1,35	0,112
	Grupuri	5	412,40	7104	2,42	0,036
	Eroare	304	10445,50	33,80		
Înălțimea totală	Repetiții	2	32,90	16,40	2,14	0,119
	Proveniențe	30	443,60	14,80	1,93	0,003
	Grupuri	5	144,80	29,0	3,62	0,003
	Eroare	304	2372,70	7,70		
Înălțimea elagată	Repetiții	2	2,04	1,02	0,23	0,798
	Proveniențe	30	180,78	6,03	1,33	0,120
	Grupuri	5	59,60	11,92	2,62	0,024
	Eroare	304	1398,75	4,53		
Volumul pe arbore	Repetiții	2	0,12	0,06	1,12	0,326
	Proveniențe	30	2,84	0,09	1,65	0,019
	Grupuri	5	0,99	0,20	3,38	0,005
	Eroare	304	17,71	0,06		
Rectitudinea tulpinii	Repetiții	2	0,523	0,26	0,73	0,483
	Proveniențe	30	18,09	0,60	1,68	0,017
	Grupuri	5	3,25	0,65	1,73	0,128
	Eroare	304	110,90	0,35		
Forma trunchiului	Repetiții	2	0,84	0,42	1,04	0,354
	Proveniențe	30	23,23	0,77	1,92	0,003
	Grupuri	5	7,10	1,42	3,36	0,006
	Eroare	304	124,88	0,40		
Unghiul de inserție al ramurilor	Repetiții	2	0,03	0,02	0,14	0,873
	Proveniențe	30	5,63	0,19	1,70	0,014
	Grupuri	5	0,88	0,18	1,52	0,184
	Eroare	304	34,07	0,11		
Diametrul ramurilor	Repetiții	2	1,05	0,52	1,05	0,351
	Proveniențe	30	51,44	1,72	3,43	0,000
	Grupuri	5	12,43	2,49	4,29	0,000
	Eroare	304	154,41	0,50		

DF = grade de libertate (engl. *degrees of freedom*), SS = suma pătratelor (engl. *sum of squares*), MS = media pătratelor (engl. *mean squares*), valoarea F , $p < 0,05$ este semnificativ, $p < 0,01$ este distinct semnificativ, $p < 0,001$ este foarte semnificativ (subliniere aldină).

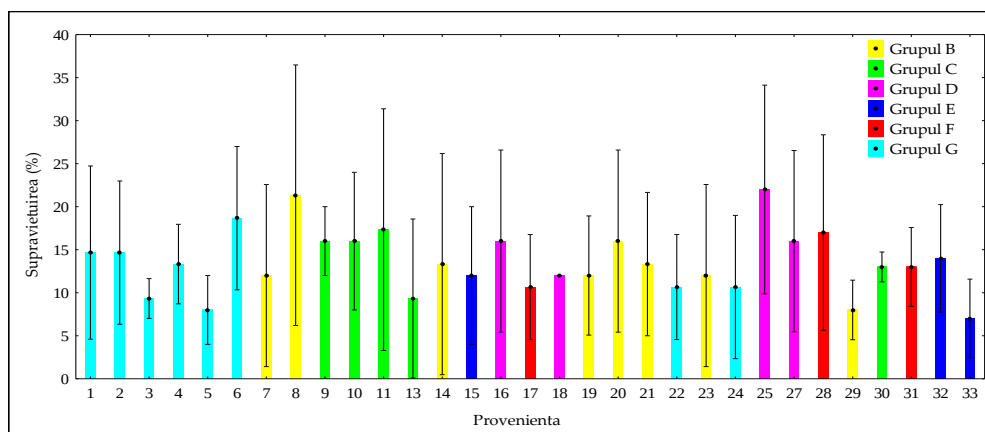


Figura 4.3.1 Variația supraviețuirii în cultura comparativă FAN. Liniile extinse reprezintă abaterea standard. Codurile proveniențelor și grupurilor de proveniențe sunt prezentate în tabelul 3.1.2.

Unele proveniențe non-locale (aparținând grupurilor B, C, D, E și F) s-au dovedit a fi mai bine adaptate în comparație cu cele locale (aparținând grupului G – unde a fost instalată cultura comparativă) (Figura 4.3.1). Prin urmare, proveniențele care vegetează în condiții de mediu similare cu cele de la locul de origine nu prezintă în mod obligatoriu o capacitate de adaptare mai mare. Cu toate că, studii anterioare au demonstrat că proveniențele non-locale au adesea rate de supraviețuire mai reduse în comparație cu cele locale (Grotehusmann & Schönfelder, 2011), aceasta nu poate fi considerată o regulă generală deoarece influența altor factori (care nu au fost incluși în studiu; de exemplu, tipul de sol, panta) nu poate fi neglijată.

Mai mult, într-un studiu recent, s-a raportat că fenologia înmuguririi pentru proveniențele testate în cultura comparativă FAN a prezentat o tendință dominantă de variație de-a lungul longitudinii (de la est la vest) (Gafenco et al., 2022). Astfel, există posibilitatea ca proveniențele non-locale să fi înregistrat rate de supraviețuire mai mari decât proveniențele locale, cel mai probabil din cauza ușoarei întârzieri în momentul debutului înmuguririi comparativ cu proveniențele locale, evitând astfel expunerea la înghețuri târzii. De asemenea, începutul ușor avansat al înmuguririi asociat cu rate scăzute de supraviețuire pentru unele proveniențe locale ar putea reflecta efectul perturbărilor climatice din ultimele decenii (Gafenco et al., 2023b)

Diametrul la înălțimea de 1,3 m

După analiza ANOVA, diferențe semnificative au fost detectate numai între grupurile de proveniențe ($p < 0,05$) (Tabelul 4.3.1). Valoarea medie a diametrului la înălțimea de 1,3 m a fost de 21,8 cm, cu o amplitudine de variație cuprinsă între 17,4 cm (6 Sascut) și 26,2 cm (33 Zalău) (Figura 4.3.2).

Dacă se compară rezultatele cu cele obținute de Stuparu (2009) în același studiu comparativ la 25 de ani de la plantare, se observă că proveniențele 6 Sascut și 33 Zalău și-au păstrat poziția în clasament ca proveniențele cu cea mai mică, respectiv cea mai mare creștere în diametru. Cu toate acestea, în interiorul clasamentului au existat numeroase schimbări de poziție între proveniențe, cum ar fi proveniența 19 Vidra, care era pe a doua poziție la evaluarea făcută la vârsta de 25 ani, acum se situează pe poziția a noua, iar proveniența 22 Fântânele, care a fost anterior peste valoarea medie a diametrului pe experiment, acum se află pe poziția 28.

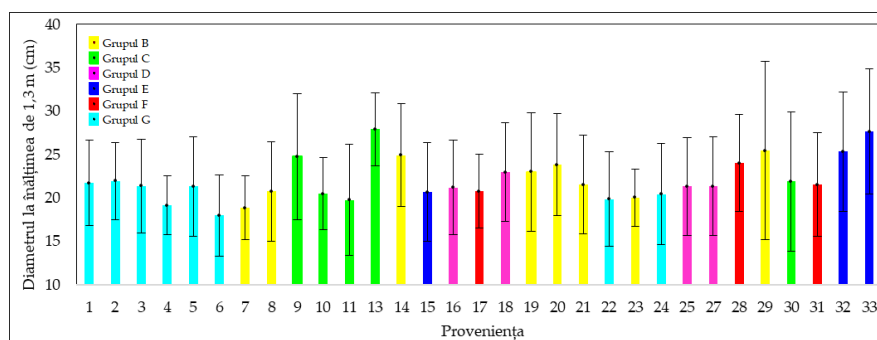


Figura 4.3.2 Variația diametrului la înălțimea de 1,3 m a proveniențelor de gorun în cultura comparativă FAN. Liniile extinse reprezintă abaterea standard. Codurile proveniențelor sunt prezentate în tabelul 3.1.2.

Chiar dacă cultura comparativă este situată în zona de optim a gorunului pentru temperatura medie anuală, grupul de proveniențe locale (grupul G) a avut cel mai mic diametru mediu (Figura 4.3.3). Cu toate acestea, în locul de testare, precipitațiile medii anuale se încadrează în zona de suboptim pentru gorun. Aceasta poate fi și o posibilă explicație pentru faptul că șase din cele opt proveniențe locale (grupul G) au performanțe slabe în ceea ce privește creșterea în diametru. Proveniențele din Munții Apuseni (grupul E) au avut cea mai bună creștere în diametru și au fost cu 11% mai mari decât valoarea medie pe experiment.

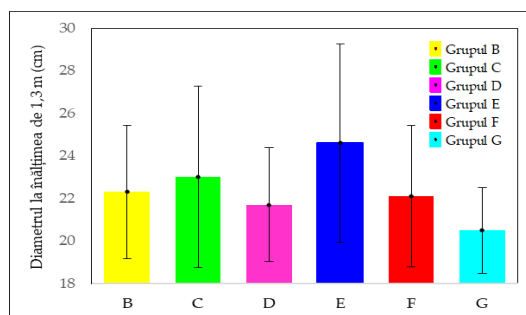


Figura 4.3.3 Variația diametrului la înălțimea de 1,3 m între grupurile de proveniențe în cultura comparativă FAN. Liniile extinse reprezintă abaterea standard.

Înălțimea totală

Valoarea medie a înălțimii totale a fost de 19,7 m, cu o amplitudine de variație cuprinsă între 17,7 m cât a realizat proveniența 4 Vaslui și 22,7 m cât a realizat proveniența 29 Râmnicu Sărat.

Din rezultatele raportate de Stuparu (2009) pentru cultura comparativă FAN la 25 de ani de la plantare, s-a observat că proveniența 4 Vaslui a fost printre proveniențele cu cele mai bune creșteri în înălțime (poziția 6 în clasament), în timp ce 29 Râmnicu Sărat a fost printre proveniențele cu cele mai reduse creșteri în înălțime (poziția 30 în clasament). De asemenea, evaluarea anterioară (Stuparu, 2009) a arătat că aceleași proveniențe de gorun au prezentat diferențe semnificative în performanța de creștere între cele trei culturi multistaționale (Fântânele, Mihăești și Râmnicu Sărat). Prin urmare, rezultatele obținute din evaluarea unei singure culturi comparative nu pot fi utilizate pentru a stabili dacă o proveniență este superioară sau este inferioară decât pentru condițiile staționale concrete ale locului respectiv de testare. Avantajul testelor în culturi comparative multistaționale rezidă, între altele, în furnizarea de informații referitoare la plasticitatea adaptativă a proveniențelor testate.

Ca și în cazul diametrului de bază analiza performanțelor pe grupuri de proveniențe a relevat faptul că grupul de proveniențe locale (grupul G) a fost ultimul în clasament (Figura 4.3.4). În cadrul acestui grup, primele două proveniențe au fost 2 Dolhasca și 1 Botoșani, ambele având înălțimi situate în jurul mediei generale la nivel de experiment. De asemenea, pentru celelalte grupuri, poziția în clasament pentru înălțimea totală este similară cu cea a diametrului la înălțimea de 1,3 m.

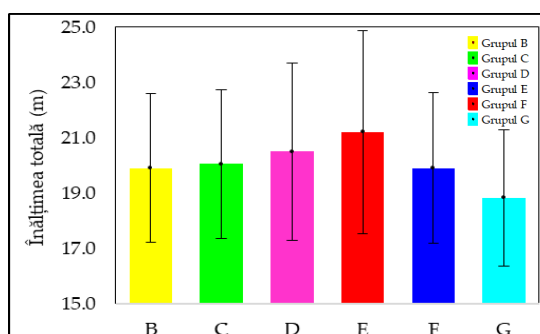


Figura 4.3.4 Variația înălțimii totale între grupurile de proveniențe în cultura comparativă FAN. Liniile extinse reprezintă abaterea standard.

Potrivit ANOVA, diferențe distinct semnificative în ceea ce privește înălțimea totală au fost găsite atât între proveniențe cât și între grupurile de proveniențe ($p < 0,01$) (Tabelul 4.3.1). Testând semnificația diferențelor dintre proveniențe folosind testul Duncan pentru o probabilitate de transgresiune de 5%, au fost diferențiate șase clase de variație omogene (Figura 4.3.5).

Prima clasă de variație omogenă cuprinde jumătate din numărul total de proveniențe și aparțin tuturor celor șase regiuni de proveniență, dar mai ales din Carpații de Curbură (grupul B) și Carpații Meridionali (grupul C). Proveniențele cel mai bine clasate pentru înălțimea totală au fost 29 Râmnicu Sărat, 33 Zalău și 32 Cluj, în timp ce proveniențele locale 24 Botoșani, 6 Săscut și 4 Vaslui au fost cele mai rău clasate.

Provenienţa	Media (m)	Clase de variaţie omogene pentru probabilitatea de transgresiune de 5%					
29	22,7	****					
33	22,3	****	****				
32	22,0	****	****	****			
27	21,3	****	****	****	****		
9	20,8	****	****	****	****	****	
25	20,8	****	****	****	****	****	
30	20,5	****	****	****	****	****	****
13	20,4	****	****	****	****	****	****
21	20,4	****	****	****	****	****	****
20	20,3	****	****	****	****	****	****
31	20,2	****	****	****	****	****	****
19	20,0	****	****	****	****	****	****
23	20,0	****	****	****	****	****	****
1	19,9	****	****	****	****	****	****
2	19,8	****	****	****	****	****	****
17	19,8	****	****	****	****	****	****
28	19,7		****	****	****	****	****
8	19,5		****	****	****	****	****
11	19,4		****	****	****	****	****
5	19,3		****	****	****	****	****
10	19,3		****	****	****	****	****
14	19,3		****	****	****	****	****
15	19,1			****	****	****	****
16	19,0			****	****	****	****
22	19,0			****	****	****	****
3	18,9				****	****	****
18	18,8				****	****	****
7	18,5				****	****	****
24	18,4				****	****	****
6	18,0					****	****
4	17,7						****

Figura 4.3.5 Testul Duncan pentru media înălţimii totale (provenienţele locale sunt evidenţiate)

Înălţimea elagată

Pentru înălţimea elagată, ANOVA a relevat o influenţă distinct semnificativă pentru factorul grup ($p < 0,01$), în timp ce repetiţia şi provenienţa au avut o influenţă nesemnificativă ($p > 0,05$) (Tabelul 4.3.1). În medie, înălţimea elagată a fost de 9,7 m, având o amplitudine de variaţie cuprinsă între 8,4 m pentru provenienţa 28 Blaj şi 11,0 m pentru provenienţa 6 Sascut.

Dintre grupurile de provenienţe, grupul de provenienţe locale (grupul G) a avut cea mai mare medie a înălţimii elagate (Figura 4.3.6).

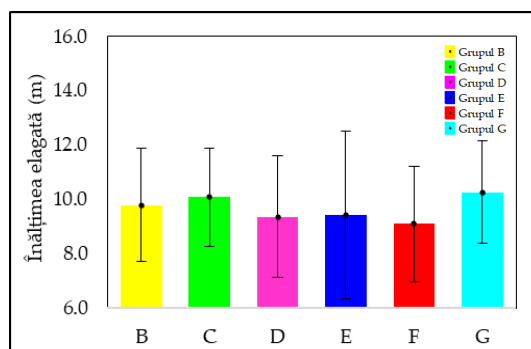


Figura 4.3.6 Variaţia înălţimii elagate între grupurile de provenienţe în cultura comparativă FAN. Liniile extinse reprezintă abaterea standard.

Volumul pe arbore

Dintre provenienţele studiate, diferenţa dintre provenienţa cea mai productivă (33 Zalău) şi provenienţa cea mai puţin productivă (6 Sascut) (Figura 4.3.7) a fost de 35%. Pentru provenienţe de cvercinee la 35 de ani de la plantare, Kleinschmit (1993) a constatat diferenţe în volum de până la 100%.

Provenienţa	Media (m ³)	Clase de variaţie omogene pentru probabilitatea de transgresiune de 5%				
33	0,622	****				
29	0,619	****	****			
32	0,542	****	****	****		
13	0,507	****	****	****	****	
9	0,498	****	****	****	****	
14	0,482	****	****	****	****	****
20	0,465	****	****	****	****	****
30	0,437	****	****	****	****	****
19	0,421	****	****	****	****	****
31	0,406	****	****	****	****	****
18	0,393	****	****	****	****	****
28	0,379	****	****	****	****	****
11	0,373	****	****	****	****	****
2	0,366		****	****	****	****
1	0,365		****	****	****	****
21	0,365		****	****	****	****
3	0,352			****	****	****
25	0,351			****	****	****
16	0,345			****	****	****
27	0,343			****	****	****
8	0,340			****	****	****
17	0,330			****	****	****
15	0,329			****	****	****
5	0,327			****	****	****
24	0,317			****	****	****
10	0,298			****	****	****
23	0,298			****	****	****
22	0,287			****	****	****
4	0,243				****	****
7	0,223					****
6	0,219					****

Figura 4.3.7 Testul Duncan pentru volumul pe arbore (provenienţele locale sunt evidenţiate).

Mai mult, prin analiza varianţei s-au constatat diferenţe semnificative între provenienţe ($p < 0,05$), diferenţe distinct semnificative între grupurile de provenienţe ($p < 0,01$), şi nesemnificative între repetiţii ($p > 0,05$) (Tabelul 4.3.1).

Conform testului Duncan, provenienţele au fost împărţite în cinci clase de variaţie omogene (Figura 4.3.7). Cea mai performantă clasă de variaţie omogenă (cu cele mai mari valori medii ale volumului pe arbore) a inclus 13 provenienţe care acoperă toate grupurile de provenienţe, cu excepţia grupului G.

Clasamentul provenienţelor pentru volumul pe arbore nu corespunde cu cel al înălţimii totale, dar au existat unele asemănări. Mai exact, în ambele clasamente, primele trei provenienţe clasate au fost aceleaşi (cu excepţia faptului că provenienţa 33 Zalău a depăşit provenienţa 29 Râmnicu Sărat), iar aceleaşi două provenienţe locale (4 Vaslui şi 6 Sascut) au fost printre cele mai slab clasate.

Rectitudinea tulpinii

Pentru această caracter valoarea medie în cultura comparativă FAN, a fost de 1,68, indicând o bună rectitudine a tulpinii la nivelul întregului experiment. Amplitudinea de variație a fost cuprinsă între 1,31 și 2,25, proveniența 30 Voinești având cel mai mic indice mediu (cele mai multe tulpini drepte), respectiv 29 Râmnicu Sărat având indicele mediu mai mare. ANOVA a evidențiat diferențe semnificative doar între proveniențe ($p < 0,05$) (Tabelul 4.3.1), confirmate ulterior și de testul Duncan (Figura 4.3.8).

Proveniența	Media (indice)	Clase de variație omogene pentru probabilitatea de transgresiune de 5%			
30	1,31	****			
7	1,33	****			
15	1,33	****			
1	1,36	****	****		
21	1,40	****	****		
10	1,42	****	****		
13	1,43	****	****		
3	1,43	****	****		
23	1,44	****	****		
24	1,50	****	****	****	
16	1,58	****	****	****	
11	1,62	****	****	****	****
27	1,62	****	****	****	****
8	1,62	****	****	****	****
17	1,63	****	****	****	****
28	1,65	****	****	****	****
19	1,67	****	****	****	****
9	1,75	****	****	****	****
20	1,75	****	****	****	****
18	1,78	****	****	****	****
14	1,80	****	****	****	****
5	1,83	****	****	****	****
31	1,85	****	****	****	****
6	1,86	****	****	****	****
22	1,88	****	****	****	****
4	1,90	****	****	****	****
2	1,91	****	****	****	****
25	1,95	****	****	****	****
32	2,00		****	****	****
33	2,14			****	****
29	2,25				****

Figura 4.3.8 Testul Duncan pentru rectitudinea tulpinii (proveniențele locale sunt evidențiate).

Proveniențele s-au grupat în patru clase de variație omogene suprapuse, majoritatea fiind incluse în prima clasă de variație. Singurele proveniențele rămase în afara acestei clase au fost 32 Cluj, 33 Zalău și 29 Râmnicu Sărat.

În ciuda diferențelor asigurate statistic între proveniențe pentru majoritatea caracterelor luate în considerare (cu excepția diametrului la înălțimea de 1,3 m și a înălțimii elagate), clasamentul proveniențelor în funcție de media rectitudinii tulpinii nu a fost în concordanță cu cel al înălțimii totale (Figura 4.3.5) și al volumului pe arbore (Figura 4.3.7). O constatare similară a fost raportată și de Fober (1998) într-o cultură experimentală cu proveniențe poloneze de gorun și stejar pedunculat.

Forma trunchiului

În această cultură comparativă, valoarea medie a fost de 1,54, sugerând o formă bună a trunchiului. Arborii din proveniența 24 Botoşani au avut o formă ideală a trunchiului (indicele mediu a avut valoarea 1,00), în timp ce arborii din proveniența 29 Râmnicu Sărat au avut cele mai multe defecte ale trunchiului (indicele mediu a fost de 2,13).

În ceea ce priveşte această trăsătură, analiza varianţei a permis evidenţierea unor diferenţe distinct semnificative între provenienţe şi între grupurile de provenienţe ($p < 0,01$) (Tabelul 4.3.1). Potrivit testului Duncan, valorile medii pentru forma trunchiului tuturor provenienţelor au fost aranjate în cinci clase de variaţie omogene (Figura 4.3.9).

Provenienţa	Media (indice)	Clase de variaţie omogene pentru probabilitatea de transgresiune de 5%				
24	1,00	****				
7	1,11	****	****			
3	1,14	****	****			
23	1,22	****	****	****		
8	1,25	****	****	****		
2	1,27	****	****	****		
1	1,27	****	****	****		
6	1,29	****	****	****		
33	1,29	****	****	****		
5	1,33	****	****	****	****	
28	1,35	****	****	****	****	
11	1,38	****	****	****	****	
4	1,40	****	****	****	****	
21	1,40	****	****	****	****	
9	1,50	****	****	****	****	****
22	1,50	****	****	****	****	****
27	1,50	****	****	****	****	****
25	1,55	****	****	****	****	****
30	1,62	****	****	****	****	****
10	1,67	****	****	****	****	****
14	1,70		****	****	****	****
16	1,75		****	****	****	****
31	1,77		****	****	****	****
15	1,78		****	****	****	****
32	1,86			****	****	****
17	1,88			****	****	****
19	1,89			****	****	****
20	1,92			****	****	****
13	2,00				****	****
18	2,00				****	****
29	2,13					****

Figura 4.3.9 Testul Duncan pentru forma trunchiului (provenienţele locale sunt evidenţiate).

Toate provenienţele locale s-au caracterizat prin forme foarte bune ale trunchiului fiind incluse în prima clasă de variaţie. În plus, între grupurile de provenienţe, grupul G (grupul de provenienţe locale) a avut cel mai mic indice mediu pentru forma trunchiului, în timp ce restul grupurilor de provenienţe au înregistrat valori medii puţin mai mari, cu diferenţe foarte mici între ele (Figura 4.3.10).

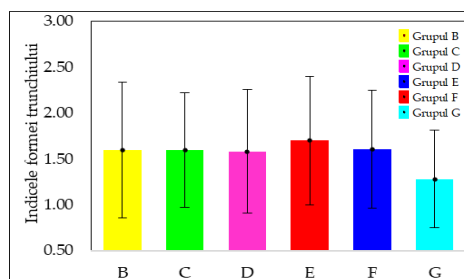


Figura 4.3.10 Variația indicelui formei trunchiului între grupurile de proveniențe în cultura comparativă FAN. Liniile extinse reprezintă abaterea standard.

Unghiul de inserție a ramurilor

Rezultatele ANOVA au indicat diferențe semnificative între proveniențele investigate pentru unghiul de inserție a ramurilor ($p < 0,05$) (Tabelul 4.3.1). În plus, testul Duncan a confirmat că există diferențe semnificative între mediile proveniențelor, rezultând trei clase de variație omogene (Figura 4.3.11).

Proveniența	Media (indice)	Clase de variație omogene pentru probabilitatea de transgresiune de 5%		
24	1,50	****		
9	1,42	****	****	
18	1,33	****	****	****
20	1,33	****	****	****
21	1,30	****	****	****
14	1,30	****	****	****
13	1,29	****	****	****
22	1,25	****	****	****
7	1,22	****	****	****
2	1,18	****	****	****
1	1,18	****	****	****
3	1,14		****	****
8	1,13		****	****
17	1,13		****	****
28	1,12		****	****
15	1,11		****	****
19	1,11		****	****
4	1,10		****	****
16	1,08		****	****
10	1,08		****	****
11	1,08		****	****
6	1,07		****	****
25	1,05			****
33	1,00			****
32	1,00			****
31	1,00			****
27	1,00			****
5	1,00			****
23	1,00			****
30	1,00			****
29	1,00			****

Figura 4.3.11 Testul Duncan pentru indicele mediu al unghiului de inserție al ramurilor (proveniențele locale sunt evidențiate).

Studiile anterioare care au evaluat unghiul de inserție a ramurilor la proveniențe de stejar (Hodžić & Ballian, 2020) au subliniat că cel mai favorabil interval pentru unghiul de inserție al ramurilor pentru indivizii de calitate superioară este cel între $67,5^{\circ}$ și 90° . Ca atare, în cazul nostru, arborii evaluați cu indicele 2 au avut unghiuri optime de inserție a ramurilor, ceea ce înseamnă că o valoare medie a indicelui de 2 este considerată favorabilă. Cel mai mare procent de arbori cu unghiul de inserție de $60-90^{\circ}$ s-au găsit pentru proveniența locală 24-Botoșani.

Diametrul ramurilor

Analiza varianţei pentru acest caracter a evidenţiat diferenţe foarte semnificative între provenienţe şi între grupurile de provenienţe ($p < 0,001$) (Tabelul 4.3.1). Testul Duncan (Figura 4.3.12) a confirmat existenţa unei variabilităţi mari între provenienţe, acestea fiind separate în opt clase de variaţie omogene.

Provenienţa	Media (indice)	Grupuri omogene pentru probabilitatea de transgresiune de 5%							
30	2,8	****							
33	2,7	****	****						
29	2,5	****	****	****					
28	2,4	****	****	****	****				
32	2,3	****	****	****	****	****			
27	2,3	****	****	****	****	****	****		
25	2,2	****	****	****	****	****	****	****	
31	2,2	****	****	****	****	****	****	****	
11	2,1		****	****	****	****	****	****	
14	2,0		****	****	****	****	****	****	****
9	1,9			****	****	****	****	****	****
19	1,9			****	****	****	****	****	****
8	1,9			****	****	****	****	****	****
24	1,9			****	****	****	****	****	****
3	1,9			****	****	****	****	****	****
2	1,8			****	****	****	****	****	****
6	1,8			****	****	****	****	****	****
18	1,8			****	****	****	****	****	****
7	1,8			****	****	****	****	****	****
13	1,7				****	****	****	****	****
20	1,7				****	****	****	****	****
5	1,7				****	****	****	****	****
15	1,7				****	****	****	****	****
10	1,6				****	****	****	****	****
23	1,6					****	****	****	****
16	1,5						****	****	****
21	1,5						****	****	****
22	1,4							****	****
4	1,3								****
1	1,3								****
17	1,3								****

Figura 4.3.12 Testul Duncan pentru diametrul ramurilor (provenienţele locale sunt evidenţiate).

Provenienţa 30-Voineşti a avut cea mai mare valoare medie a indicelui pentru diametrul ramurilor, în timp ce provenienţele 17-Reghin, 1-Botoşani şi 4-Vaslui au prezentat cele mai mici valori ale indicelui diametrului ramurilor.

Pentru speciile de foioase, şi în special, pentru cvercinee, dimensiunea diametrului ramurilor (măsurată aproape de joncţiunea ramurii cu tulpina) este un factor determinant major al calităţii lemnului (Struck & Dohrenbusch, 2000). Ca atare, ramurile cu diametre mai mici sunt de preferat deoarece procesul de autoelagare are loc mai rapid (Kint et al., 2010). Cu toate acestea, Harmer (1992) a subliniat că potenţialul de creştere al arborilor ar trebui să fie luat în considerare atunci când se estimează influenţa diametrului ramurilor asupra calităţii lemnului, deoarece arborii viguroşi pot avea ramuri groase care reduc valoarea lemnului, în timp ce arborii mai puţin viguroşi pot avea ramuri mici, dar performanţe de creştere scăzute. Pentru provenienţele testate în cultura comparativă FAN, se observă că provenienţele cu indici mai mari pentru diametrul ramurilor au şi performanţe de creştere mai bune.

Analiza corelației dintre caracterele fenotipice analizate și gradientii geografici ai locului de origine al proveniențelor

Analiza datelor experimentale a permis evidențierea unor legături statistice semnificative între caracterele studiate, pe de o parte și gradientii geografici ai locului de origine al proveniențelor, pe de altă parte, prin determinarea și stabilirea nivelului de semnificație al corelațiilor fenotipice (Tabelul 4.3.2).

Tabelul 4.3.2 Corelații fenotipice între caractere în cultura comparativă FAN

Caracterul	S	D	Ht	He	V	Rt	Ft	Ur	Dr	Lat	Long	Le	Alt
S	-	-0,156**	-0,001	0,034	-0,136**	-0,079	-0,103	-0,034	-0,064	-0,160**	-0,248***	-0,154**	-0,033
D	-	-	0,662***	-0,084	0,967***	-0,045	0,278***	0,180***	0,577***	-0,055	-0,012	-0,013	0,032
Ht	-	-	-	0,174***	0,718***	-0,106	0,122*	0,060	0,459***	-0,065	-0,105	0,043	0,102
He	-	-	-	-	-0,055	-0,199***	-0,252***	0,008	-0,175**	-0,012	0,091	-0,052	-0,047
V	-	-	-	-	-	0,425***	0,271***	0,145**	0,573***	-0,065	-0,027	0,013	0,069
Rt	-	-	-	-	-	-	0,284***	0,049	0,131*	0,085	-0,0004	0,053	-0,015
Ft	-	-	-	-	-	-	-	-0,008	0,232***	-0,135*	-0,069	0,006	0,120*
Ur	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	-0,028	0,103	-0,172**	-0,164**
Dr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,103	-0,179***	0,075	0,169**

S – supraviețuirea; D – diametrul la înălțimea de 1,3 m; H – înălțimea totală; He – înălțimea elagată; V – volumul pe arbore; Rt – rectitudinea tulpinii; Ft – forma trunchiului; Ur – unghiul de inserție al ramurilor; Dr – diametrul arborilor; Lat – latitudinea; Long – Longitudinea; Le – latitudinea ecofiziologică; Alt – altitudinea.

Nivelul de semnificație: *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001.

Corelația dintre supraviețuire și gradientii geografici ai locului de origine al proveniențelor a arătat că supraviețuirea nu a avut o corelație asigurată statistic cu altitudinea, dar s-au constatat influențe mici ale celorlalți gradienti geografici. Mai exact, corelațiile dintre supraviețuire și latitudine și latitudinea ecofiziologică au fost distinct semnificative și negative ($r = -0,160^{**}$, respectiv $r = -0,154^{**}$) și foarte semnificative și negative cu longitudinea ($r = -0,248^{***}$). Astfel, în cultura comparativă FAN sunt mai bine adaptate proveniențele vestice și sudice (de la latitudini și longitudini inferioare).

Diametrul la înălțimea de 1,3 m a fost corelat pozitiv și foarte semnificativ cu înălțimea totală a arborilor, volumul pe arbore, forma trunchiului, unghiul de inserție a ramurilor și diametrul ramurilor. Așadar, proveniențele cu diametre mai mari au avut înălțimi superioare, și o arhitectură relativ bună a ramurilor (valori mai mari ale indicilor), dar cu forme ale trunchiului inferioare (indici mai mari de formă a trunchiului).

Înălțimea totală a fost corelată direct și foarte semnificativ cu înălțimea elagată, volumul pe arbore și diametrul ramurilor și semnificativ cu forma trunchiului, ceea ce indică faptul că proveniențele care înregistrează cele mai mari înălțimi au înălțimea elagată pe o lungime mai mare, precum și trunchiuri cu calități mai reduse și grosimi mai mari ale ramurilor (indici cu valori mai mari).

Volumul pe arbore a fost corelat pozitiv și foarte semnificativ cu toate trăsăturile calitative, ceea ce denotă că arborii cu volume mai mari au avut o arhitectură bună a ramurilor și forme inferioare ale tulpinii și trunchiului.

Rectitudinea tulpinii și forma trunchiului au fost corelate direct și semnificativ și ambele au fost corelate pozitiv cu diametrul ramurilor, ceea ce înseamnă că tulpinile și trunchiurile drepte au ramuri mai groase. În plus, forma trunchiului a fost corelată indirect și semnificativ cu latitudinea ($r = -0,135^{*}$) și pozitiv și semnificativ cu altitudinea ($r = 0,120^{*}$), ceea ce înseamnă că proveniențele sudice și de la altitudini mai joase au avut trunchiuri mai drepte.

Dintre gradientii geografici ai locului de origine al proveniențelor, altitudinea a avut o influență mică asupra arhitecturii ramurilor. În acest sens, proveniențele de la altitudini inferioare au avut unghiuri de inserție mai ascuțite și ramuri mai subțiri. De asemenea, s-a observat o corelație slabă și negativă între longitudinea și diametrul ramurilor, ceea ce înseamnă că proveniențele vestice au ramuri mai groase.

4.4 Variabilitatea fenotipică la nivelul frunzelor

4.4.1 Variabilitatea morfologică intrapopulațională și interpopulațională a gorunului

Evaluarea variabilității morfologice intrapopulaționale pentru cele patru populații de gorun și pentru cultura comparativă FAN s-a realizat prin identificarea după caracterele frunzelor a unităților taxonomice infraspecifice (subspecii, forme, subforme, varietăți) potrivit descrierii acestora prezentată în literatura de specialitate.

Dintre cei 227 arbori evaluați, 164 de exemplare au prezentat caractere fenotipice specifice ssp. *petraea*, 54 specifice ssp. *dalechampii* și 9 specifice ssp. *polycarpa* (Tabelul 4.4.1.1). În cazul ssp. *petraea* și ssp. *dalechampii* s-au regăsit toate unitățile infraspecifice descrise în literatura, în schimb, pentru ssp. *polycarpa* au fost identificate doar exemplare corespunzătoare var. *typica* (Figura 4.4.1.1).

Tabelul 4.4.1.1 Unități infraspecifice identificate pentru exemplarele de gorun evaluate în cele patru de populații și în cultura comparativă FAN

Populația	Q. p. ssp. petraea					Total Q. p. ssp. petraea	Q. p. ssp. dalechampii		Total Q. p. ssp. dalechampii	Q. p. ssp. polycarpa	Total Q. p. ssp. polycarpa	TOTAL	
	f. platyphylla		f. laciniata		f. longifolia		f. lancifolia	f. pinnatifida		var. typica			
	subf. normalis	subf. angulata	subf. lobulosa	subf. pinnata	subf. angustifolia								
FUN	2	0	2	5	1	10	4	14	18	6	6	34	
OLT	10	0	6	9	0	25	6	17	23	2	2	50	
SAT	13	0	9	15	1	38	0	11	11	1	1	50	
HEL	13	0	12	13	3	41	0	2	2	0	0	43	
Cultura comparativă													
FAN	5	1	7	34	3	50	0	0	0	0	0	50	
Total	43	1	36	76	8	164	10	44	54	9	9	227	

Facând o analiză comparativă la nivelul structurii taxonomice intraspecifice a gorunului, între cele patru populații, se poate observa că populațiile periferice FUN, OLT și SAT prezintă o variabilitate intraspecifică mai ridicată decât populația HEL. Totodată, în populațiile periferice, în special în populațiile FUN și OLT, se remarcă o pondere mai ridicată a subspeciei *dalechampii*. Acest fapt poate fi rezultatul acțiunii selecției naturale care a promovat subspecia *dalechampii* ca urmare a adaptării sale la condițiile de xerofitism local, acestea fiind mai pregnante decât în populațiile periferice (indicii de ariditate de Martonne < 28,0) comparativ cu populația de referință HEL (indicele de ariditate de Martonne = 34,1).

La nivelul populațiilor periferice, se constată că în populația FUN întâlnim cel mai mare număr de unități infraspecifice (aproximativ 77%), aici fiind prezente 7 din cele 9 consemnate în literatura de specialitate. Populațiile OLT și SAT au aceeași pondere a unităților infraspecifice prezente (66,6%), însă se deosebesc prin faptul că, în populația OLT, lipsesc exemplare corespunzătoare *Q. p. ssp. petraea f. longifolia* subf. *angustifolia*, dar se regăsesc exemplare de *Q. p. ssp. dalechampii f. lancifolia*, iar în populația SAT situația este invers.

Populația HEL și cultura comparativă FAN prezintă același număr de unități infraspecifice (55% din numărul total de unități descrise în literatură), în ambele cazuri lipsind *Q. p. ssp. dalechampii f. lancifolia* și *Q. p. ssp. polycarpa* var. *typica*. Totodată, specific pentru cultura comparativă FAN este faptul că regăsim doar exemplare raportate la *Q. p. ssp. petraea*, precum și faptul că aici a fost identificat unicul exemplar asimilat *f. platyphylla* subf. *angulata*.

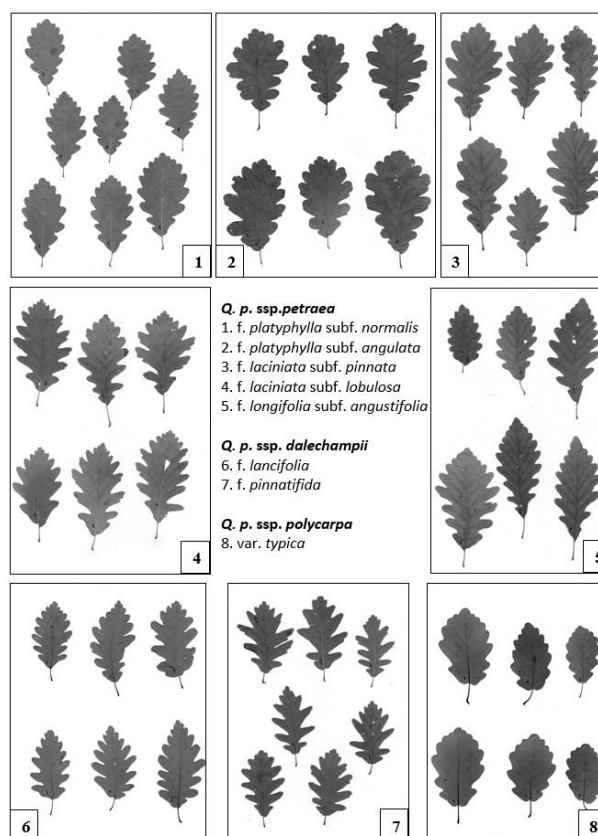


Figura 4.4.1.1 Unități intraspecifice identificate pentru *Q. petraea sensu lato*

4.4.2 Variabilitatea intrapopulațională și interpopulațională a descriptorilor macromorfologici și micromorfologici foliari

4.4.2.1 Evaluarea variabilității fenotipice pe baza descriptorilor macromorfologici foliari

➤ Variabile dimensionale (măsurabile)

La nivel de subspecie, *Q. p. ssp. petraea* și *Q. p. ssp. dalechampii* au avut valori medii ale LA relativ similare (aproximativ 50 cm²), însă mai mari comparativ cu *Q. p. ssp. polycarpa* (aproximativ 45 cm²) (Figura 4.4.2.1.1). În plus, valorile medii ale LA sunt considerabil mai mari decât valoarea medie (33,3 cm²) raportată de Fortini et al. (2015) pentru *Q. petraea*.

Ca și în cazul LA, valorile pentru LP au fost evident mai mici în cazul *Q. p. ssp. polycarpa* (38,5 cm) (Figura 4.4.2.1.1), însă între *Q. p. ssp. petraea* și *Q. p. ssp. dalechampii*, cea din urmă are o valoare medie (47,7 cm) cu 1,7 cm mai mare.

În ceea ce privește lungimea laminei (LL), *Q. p. ssp. petraea* și *Q. p. ssp. dalechampii* au prezentat valori medii de 11,5 cm, respectiv 11,2 cm, iar *Q. p. ssp. polycarpa* de 9,9 cm (Figura 4.4.2.1.1). Pentru *Q. petraea* studii similare au găsit valori mai mici, respectiv 9,5-10,4 (Bruschi et al., 2000; Boratynski et al., 2008; Fortini et al., 2015). Cu toate acestea, dimensiunile laminei sunt influențate de gradul de umbră, astfel Ponton et al. (2004) a obținut la gorun lungimi medii de 8,8 cm pentru frunzele expuse complet la lumină. Trebuie menționat faptul că valoarea medie obținută pentru *Q. p. ssp. dalechampii* este evident mai mare decât valorile identificate în studii similare pentru *Q. pubescens*, specie de care unele studii consideră că se apropie mai mult în plan morfologic (Camus, 1934-1954; Brullo et al., 1999; Di Pietro et al., 2012). Astfel, în arborete autohtone lungimea medie a laminei pentru *Q. pubescens* se situează în jurul valorii 8,0-8,4 cm (Șofletea et al., 2011; Enescu et al., 2013), în timp ce pe plan internațional valorile se situează între 6,9 – 9,4 cm (Bruschi et al., 2000; Di Pietro et al., 2016), în unele situații chiar și sub 6 cm (Franjić et al., 2006).

Din punct de vedere al descriptorului PL (lungimea peţiolului), valorile medii pentru cele trei subspecii de gorun sunt aproximativ egale, atingând 1,7-1,8 cm, cu valori medii individuale cuprinse între 0,9 – 2,8 cm (Figura 4.4.2.1.1). Valoarea medie este apropiată de cele găsite pentru gorun în Italia unde dimensiunea medie a peţiolului a fost de 1,5 cm (Fortini et al., 2015), respectiv 1,43-1,79 cm (Bruschi et al., 2003), şi Franţa (Dupouey & Badeau, 1993), unde s-a înregistrat o dimensiune de 1,6 cm. Pentru arborete de gorun din partea de nord a Europei, Kremer et al. (2002) a semnalat o valoare medie a PL mult mai mică (de 1,13 cm), în timp ce pentru arboretele din părţile centrale, sudice şi vestice ale Europei, PL atinge 1,52 cm.

Parametrul LW (lăţimea lamei) a avut valori medii identice pentru *Q. p. ssp. petraea* şi *Q. p. ssp. dalechampii*, mai exact ambele subspecii au prezentat o lăţime medie a frunzelor de 3,6 cm (Figura 4.4.2.1.1). De asemenea, valoarea medie a LW pentru *Q. p. ssp. polycarpa* este foarte apropiată, atingând valoarea de 3,4 cm. Aceste valori sunt mai mici decât cele găsite pentru gorun în Italia, unde lăţimea maximă a lamei a fost de 5,89 cm (Bruschi et al., 2000). Tot în Italia, pentru acelaşi parametru, Fortini et al. (2015) au identificat o valoare mai mică, de 2,84 cm.

Analizând valorile medii pentru descriptorul SW (adâncimea sinusului) se observă *Q. p. ssp. petraea* şi *Q. p. ssp. polycarpa* au adâncimi ale sinusurilor de 2,0 cm, în timp ce *Q. p. ssp. dalechampii* are sinusuri uşor mai profunde (1,8 cm) (Figura 4.4.2.1.1). Când s-a folosit aceeaşi metoda de măsurare a SW, Fortini et al. (2015) a obţinut la gorun o valoare medie mai scăzută, de 1,33 cm, la fel ca şi Yücedağ şi Gailing (2013) care au găsit valori cuprinse între 1,13 – 1,36. În schimb, tot la gorun, Bruschi et al. (2000) a obţinut o valoare apropiată cu cele din cazul de faţă, respectiv 1,7 cm. Comparând valorile medii ale adâncimii sinusurilor cu cele ale lăţimii maxime a lamei pentru cele trei subspecii de gorun, se poate vedea că SW este aproximativ de două ori mai mic decât LW.

La nivelul descriptorul WP (lungimea lamei de la bază până în zona de lăţime maximă), valorile medii înregistrate sunt semnificativ mai mari pentru *Q. p. ssp. petraea* comparativ cu ceilalţi doi goruni (Figura 4.4.2.1.1). Acest aspect era de aşteptat, deoarece gorunul comun se detaşează de celelalte două subspecii prin forma obovată a frunzelor. Astfel, pentru *Q. p. ssp. dalechampii* şi *Q. p. ssp. polycarpa*, valoarea medie a WP se situează sub ½ din valoarea medie a LL, iar pentru *Q. p. ssp. petraea* WP depăşeşte ½ din valoarea medie a LL, ceea ce semnifică faptul că, gorunul balcanic şi gorunul transilvănean au lăţimi maxime în jumătatea inferioară a lamei, în timp ce gorunul comun în jumătatea superioară. Aceste aspecte sunt, de altfel, caracteristice pentru diferenţierea gorunilor fiind consemnate şi în literatură (Georgescu & Morariu, 1948; Beldie, 1952; Şofletea & Curtu, 2007; Clinovschi, 2005).

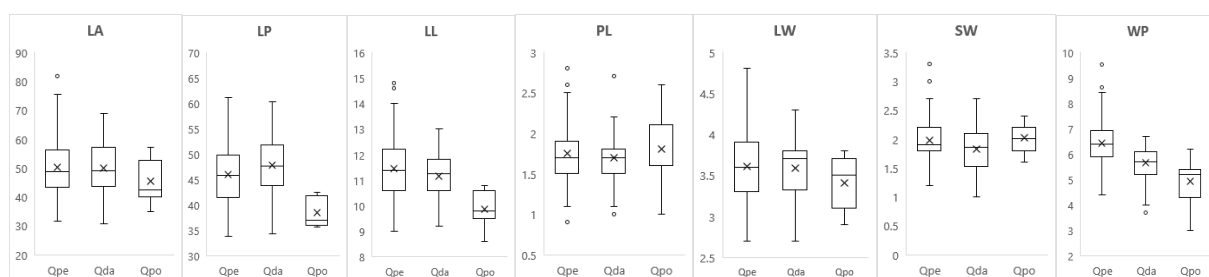


Figura 4.4.2.1.1 Diagrama boxplot pentru variabilele dimensionale ale frunzelor evaluate la gorun (Qpe - *Q. p. ssp. petraea*; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii*; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa*). Partea inferioară şi partea superioară a casetelor indică cuartilele de 25 şi 75%, iar linia din partea interioară indică mediana. Liniile extinse reprezintă valorile minime şi maxime ale descriptorului evaluat. Simbolul 'x' indică valoarea medie. Valorile aflate în afara distribuţiei (*outlieri*) sunt reprezentaţi prin simbolul 'o'.

➤ Variabile observabile şi numărabile

În ceea ce priveşte gradul de pubescentă la nivelul suprafeţei abaxiale a frunzei (descriptorul AB PU), *Q. p. ssp. petraea* prezintă o valoare medie de 2,7, fiind mai scăzut decât la celelalte două subspecii, acestea depăşind trepta a 3-a de pe scara de evaluare, şi anume 3,1 pentru *Q. p. ssp. dalechampii*,

respectiv 3,3 pentru *Q. p. ssp. polycarpa* (Figura 4.4.2.1.2). Pubescenta mai ridicată în cazul *Q. p. ssp. dalechampii* şi *Q. p. ssp. polycarpa* poate fi explicată prin caracterul mai xerofit şi termofil a celor două subspecii (Constantinescu, 1973), aceasta fiind o trăsătură adaptivă importantă în condiţii climatice mai aride (Morales et al., 2002). Aceste valori sunt mai mari comparativ cu cea întâlnită la gorun într-un alt studiu, şi anume Kremer et al. (2002) a semnalat o valoare de 1,4 pentru AB PU.

Gradul de pubescentă la nivelul suprafeţei adaxiale (AD PU) este semnificativ mai redus faţă de AB PU. Astfel, pentru toate cele trei subspecii de gorun valorile medii ale AD PU s-au situat între 1,4 pentru *Q. p. ssp. petraea* şi *Q. p. ssp. dalechampii*, şi 1,6 pentru *Q. p. ssp. polycarpa* (Figura 4.4.2.1.2). Majoritatea studiilor morfologice la gorun au evaluat doar pubescenta pe faţa inferioară a laminei (Dupouey & Badeau, 1993; Bruschi et al., 2000, 2003; Kremer et al., 2002, Fortini et al., 2015), deoarece partea superioară este considerată aparent glabră (Gellini et al., 1992), cu toate că unele studii semnalează existenţa unui grad scăzut de pubescentă (Milletti et al., 1982).

Mai mult decât atât, ca şi în cazul AD PU, pubescenta peţiolului (PE PU) este un caracter mai puţin frecvent evaluat în studiile taxonomice la cvercinee, dar care s-a dovedit a fi util în anumite situaţii (Fortini et al., 2015). În cazul de faţă, se observă un grad mai ridicat de pubescentă a peţiolului pentru exemplarele de *Q. p. ssp. dalechampii* (de 2,1), urmate de cele atribuite *Q. p. ssp. polycarpa* (de 1,9) şi *Q. p. ssp. petraea* (de 1,8) (Figura 4.4.2.1.2).

Forma bazei laminei (BSL) este considerată frecvent un element de diagnoză în identificarea speciilor genului *Quercus* (Beldie 1952; Scharz 1993; Christensen, 1997). Astfel, la nivelul subspeciilor, forma bazei laminei este lat-cuneată sau subcordată având valoarea medie de 2,9 pentru *Q. p. ssp. petraea*, de 3,1 pentru *Q. p. ssp. dalechampii* şi de 3,4 pentru *Q. p. ssp. polycarpa* (Figura 4.4.2.1.2). Într-un studiu la gorun, valoarea medie a BSL a fost de 2,0 (Fortini et al., 2015).

Referitor la numărul de lobi (NL), acesta a avut valorii medii de 13,6 pentru *Q. p. ssp. petraea*, de 13,4 pentru *Q. p. ssp. dalechampii* şi de 11,1 pentru *Q. p. ssp. polycarpa* (Figura 4.4.2.1.2), valori ce se încadrează în limitele precizate în literatura (Beldie, 1952; Şofletea & Curtu). Analizând acest descriptor, Fortini et al. (2015) a obţinut un număr mediu de lobi de 12,39, deci o valoare intermediară comparativ cu prezentul studiu. În schimb, o valoare apropiată a fost raportată de Dupouey şi Badeau (1993), NL fiind de 13,2. Valori apropiate ale numărul de lobi au fost identificate de Yücedağ şi Gailing (2013) în arborete de gorun din Turcia, unde valorile acestui descriptor au variat între 12,3 – 14,1.

Numărul de nervuri intercalare (NV) este foarte mic pentru toate cele trei subspecii. Totuşi, frunzele *Q. p. ssp. dalechampii* tind să aibă un număr mai ridicat de NV (în medie 0,4) comparativ cu *Q. p. ssp. polycarpa* (în medie 0,2) şi *Q. p. ssp. petraea* (în medie 0,1). Valorile obţinute sunt mult mai mici faţă de cele găsite de Fortini et al. (2015) (de 2,86) sau Yücedağ şi Gailing (2013) (de 0,8 – 1,5).

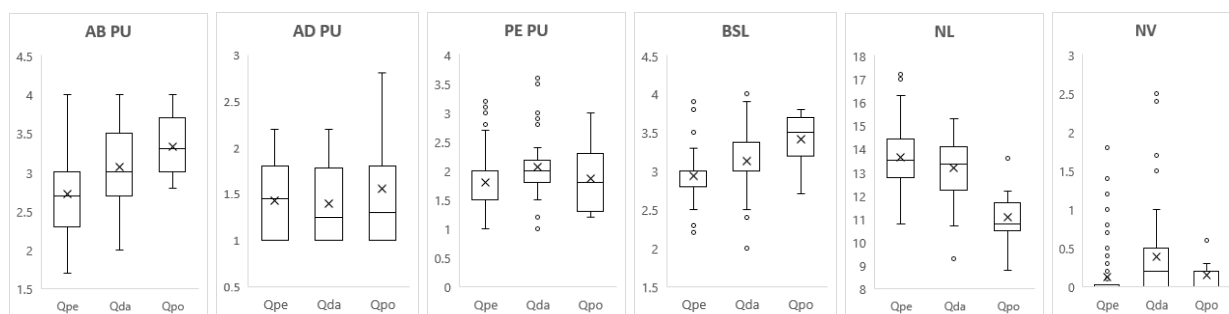


Figura 4.4.2.1.2 Diagrama boxplot pentru variabilele observabile şi numărabile ale frunzelor evaluate la gorun (Qpe - *Q. p. ssp. petraea*; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii*; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa*). Partea inferioară şi partea superioară a casetelor indică cuartilele de 25 şi 75%, iar linia din partea interioară indică mediana. Liniile extinse reprezintă valorile minime şi maxime ale descriptorului evaluat. Simbolul 'x' indică valoarea medie. Valorile aflate în afara distribuţiei (outlieri) sunt reprezentaţi prin simbolul 'o'.

➤ Variabile transformate (calculate)

În ceea ce priveşte forma laminei (OB), pentru *Q. p. ssp. petraea* acest descriptor are o valoare medie de 56%, timp ce pentru *Q. p. ssp. dalechampii* valoarea medie se situează în jurul valorii de 50%, iar pentru *Q. p. ssp. polycarpa* sub 50% (Figura 4.4.2.1.3). Prin urmare, se poate spune că pentru *Q. p. ssp. petraea* frunzele denotă predominant o formă obovată, iar pentru celelalte două subspecii o formă eliptic-ovată. În studiul realizat de Fortini et al. (2015), acest descriptor a avut valoarea de 49,2, fiind mai apropiată de cea găsită aici pentru *Q. p. ssp. dalechampii* şi *Q. p. ssp. polycarpa*.

Pentru rata peţiolului (PR), *Q. p. ssp. polycarpa* a înregistrat o valoare medie de 15,2, în timp ce pentru celelalte două subspecii s-a obţinut o valoare medie a PR de 13,2 (Figura 4.4.2.1.3). Aceste valori sunt mai mari comparativ cu studiul realizat de Fortini et al. (2015), unde PR a avut valoarea medie de 12,69.

Ponderea adâncimii lobilor (LDR) a avut o valoare medie de 40,5 pentru *Q. p. ssp. polycarpa*, de 44,8 pentru *Q. p. ssp. petraea* şi de 48,9 pentru *Q. p. ssp. dalechampii* (Figura 4.4.2.1.3). Potrivit acestor valori se constată că frunzele sunt în general penat-lobate până la penat-fidate. În studiul lui Fortini et al. (2013) ponderea adâncimii lobilor a fost mai mare, de 52,4%.

Proporţia de lăţime a lobilor în raport cu lungimea laminei (LWR) a înregistrat valori cuprinse între 31,6 pentru *Q. p. ssp. dalechampii* şi 34,5 pentru *Q. p. ssp. polycarpa* (Figura 4.4.2.1.3), valori mai mari decât cea semnalată de Fortini et al. (2015), de 27,47.

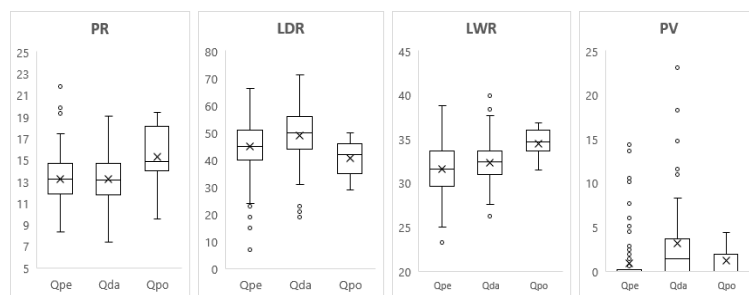


Figura 4.4.2.1.3 Diagrama boxplot pentru variabilele transformate ale frunzelor evaluate la gorun (Qpe - *Q. p. ssp. petraea*; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii*; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa*). Partea inferioară şi partea superioară a casetelor indică cuartilele de 25 şi 75%, iar linia din partea interioară indică mediana. Liniile extinse reprezintă valorile minime şi maxime ale descriptorului evaluat. Simbolul 'x' indică valoarea medie. Valorile aflate în afara distribuţiei (*outlieri*) sunt reprezentaţi prin simbolul 'o'.

4.4.2.2 Evaluarea variabilităţii fenotipice pe baza descriptorilor micromorfologici foliari

La nivelul celor trei subspecii, densitatea medie cea mai mare a stomatelor a fost de 317 şi este cea corespunzătoare *Q. p. ssp. dalechampii*, iar cea mai scăzută a fost de 306 în cazul *Q. p. ssp. petraea* (Figura 4.4.2.2.1). Aceste valori medii sunt apropiate de cele semnalate la gorun într-un studiu recent realizat în nordul Turciei (Yücedağ et al., 2019), unde s-au găsit un număr de 333 stomate·mm⁻², şi de Bruschi et al. (2000) în arborete din nordul şi centrul Italiei, unde au găsit 335 stomate·mm⁻². Totuşi, într-un studiu ulterior mai complex, Bruschi et al. (2003) au analizat atât frunze neexpuse cât şi expuse la lumina, şi au găsit valori medii ale StoD cuprinse între 329 – 498.

Sub aspectul dimensiunilor stomatelor, diferenţele între cele trei subspecii de gorun au fost reduse. Astfel, pentru descriptorul SRL (lungimea stomatelor) valorile medii au fost similare (aproximativ 23 µm) (Figura 4.4.2.2.1). Mici diferenţe s-au obţinut pentru lăţimea stomatelor (SRW), valorile medii fiind puţin mai mari pentru *Q. p. ssp. dalechampii* (de 17,3 µm) comparativ cu celelalte două subspecii (*Q. p. ssp. petraea* – 16,8 µm, respectiv *Q. p. ssp. polycarpa* – 16,9 µm). În medie, stomatele sunt mai lungi şi mai late decât în arboretele de gorun analizate de Fortini et al. (2015), unde stomatele au avut 13,1 µm lungime, respectiv 11,29 µm lăţime. În schimb, dimensiunile sunt asemănătoare cu cele raportate de Şofletea et al. (2001) în gorunetele de la Felmer (22,4 µm lungime, respectiv 15,2 µm lăţime).

Pentru *Q. p. ssp. petraea* FSR a fost de 3,5 μm , pentru *Q. p. ssp. dalechampii* de 3,6 μm , iar pentru *Q. p. ssp. polycarpa* de 3,9 μm (Figura 4.4.2.2.1). Pentru acelaşi descriptor, Bruschi et al. (2000) menţionează o valoare aproape dublă, de 7,13 μm , iar Fortini et al. (2009), de 4,8 μm .

Valorile medii pentru SRL între cele trei subsecii de gorun au fost similare, iar StoD a fost puţin mai mare pentru *Q. p. ssp. dalechampii*, şi valoarea medie a SAI a fost puţin mai mare în cazul acesteia, respectiv de 7313 (Figura 4.4.2.2.1). Celelalte două subspecii având valori mai apropiate ale densităţii şi lungimii stomatelor, şi valorile SAI au fost apropiate, pentru *Q. p. ssp. polycarpa* SAI fiind de 7103, iar pentru *Q. p. ssp. petraea* de 7030 (Figura 4.4.2.2.1). Studii micromorfologice la gorun au raportat valori medii ale SAI peste cele găsite în prezentul studiu, fiind cuprinse între 7828-11343 (Bruschi et al., 2003).

Toate cele trei subspecii prezintă un număr relativ abundent şi apropiat de tricomi glandulari (NGT). *Q. p. ssp. dalechampii* are un număr mediu de 65,2, *Q. p. ssp. petraea* de 61,9, iar *Q. p. ssp. polycarpa* de 60,9 (Figura 4.4.2.2.1). La gorun Fortini et al. (2015) a raportat o valoare medie de 60,37, în timp ce Bruschi et al. (2003) a găsit valori medii ce variază între 56-125.

Ca şi în cazul NGT, şi NST (numărul tricomilor stelaţi) a prezentat valori apropiate între cele trei subspecii. Specific, *Q. p. ssp. petraea* a avut o valoare de 11,4, *Q. p. ssp. dalechampii* de 12,0, iar *Q. p. ssp. polycarpa* de 13,0 (Figura 4.4.2.2.1).

Referitor la lungimea razelor tricomilor stelaţi (LRS), valorile medii se situează în jurul valorii de 100 μm , aspect confirmat şi de alte studii la gorun (Gellini et al., 1992; Bruschi et al., 2003). Mai mult decât atât, LRS şi NGT s-au dovedit a fi descriptori cu mare putere de discriminare între *Q. petraea* şi *Q. pubescens*, la specia din urmă LSR având valori peste 300 μm , iar NTG fiind semnificativ mai mic (Bruschi et al., 2000). *Q. p. ssp. dalechampii* şi *Q. p. ssp. petraea* au prezentat cei mai lungi tricomi stelaţi, de 101,1 μm , respectiv 99,0 μm , iar la *Q. p. ssp. polycarpa* au măsurat în medie doar 91,8 μm (Figura 4.4.2.2.1).

Analizând valorile medii ale numărului de raze a tricomilor stelaţi (NR) se observă că la *Q. p. ssp. petraea* şi *Q. p. ssp. dalechampii* tind să predomine tricomi stelaţi-bifurcaţi pentru acestea NR având o valoare de 2,7 (Figura 4.4.2.2.1). La *Q. p. ssp. polycarpa* proporţia de tricomi stelaţi şi stelat-bifurcaţi a fost egală, NR având o valoare medie de 3,0. Bruschi et al. (2000) au găsit pentru NR o valoare medie de 3,33.

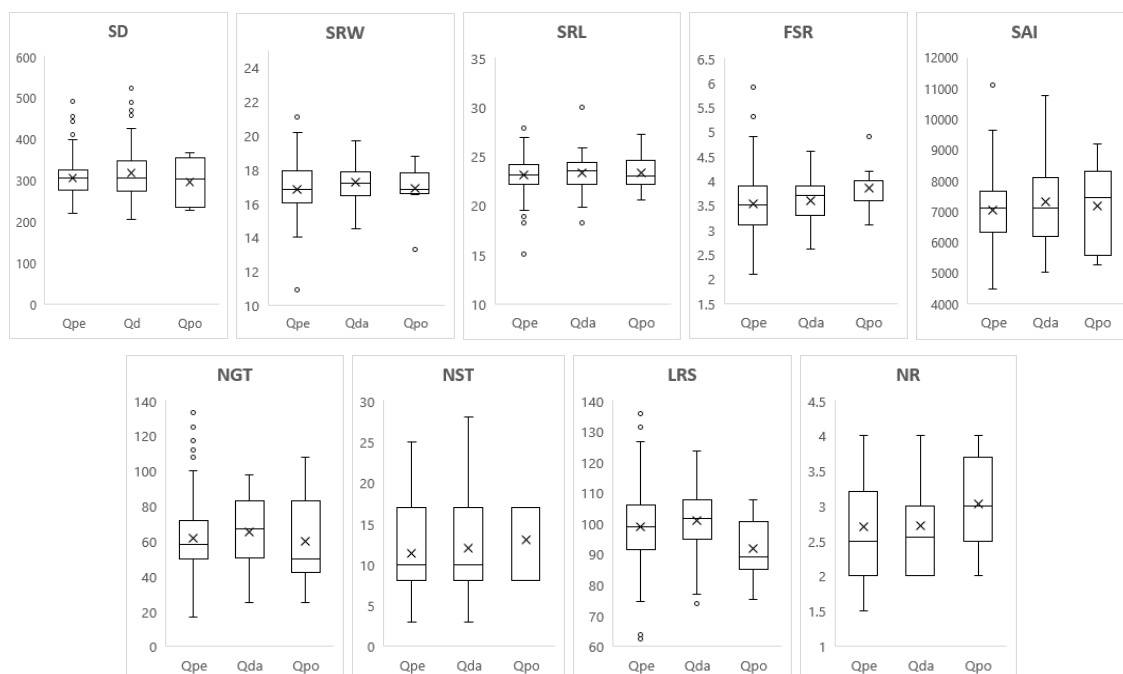


Figura 4.4.2.2.1 Diagrama boxplot pentru variabilele micromorfologice ale frunzelor evaluate la gorun (Qpe - *Q. p. ssp. petraea*; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii*; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa*). Partea inferioară şi partea superioară a casetelor indică cuartilele de 25 şi 75%, iar linia din partea interioară indică mediana. Liniile extinse reprezintă valorile minime şi maxime ale descriptorului evaluat. Simbolul 'x' indică valoarea medie. Valorile aflate în afara distribuţiei (*outlieri*) sunt reprezentaţi prin simbolul 'o'.

4.4.3 Evaluarea variabilităţii macromorfologice şi micromorfologice prin utilizarea analizelor statistice multivariate

➤ Analiza varianţei (ANOVA)

Între cele trei subspecii de gorun descriptorii care au contribuit semnificativ la diferenţierea acestora au fost perimetrul frunzei (LP), lungimea laminei (LL), WP (lungimea laminei de la bază până în zona de lăţime maximă), pubescenta pe faţa abaxială a laminei (AB PU), pubescenta peţiolului (PE-PU), NL (numărul de lobi), BSL (forma bazei laminei), numărul de nervuri intercalare (NV), forma frunzei (OB), ponderea adâncimii lobilor (LDR), procentul de nervare a sinurilor (PV), proporţia de lăţime a lobilor în raport cu lungimea laminei (LWR) şi lungimea razelor tricomialor stelaţi (LRS) (Tabelul 4.4.3.1). Dacă ne raportăm la valorile medii ale celor trei subspecii pentru descriptorii care au determinat diferenţe, se observă că descrierea se potriveşte cu cea din literatura, respectiv: subspeciile *dalechampii* şi *polycarpa* în comparaţie cu subspecia *petraea* au lungimi ale laminei mai mici, lăţimea maximă în jumătatea inferioară a laminei, un număr de lobi mai scăzut, forme mai ovate, cu bază frunzei subcordată. În plus, pentru subspeciile *dalechampii* şi *polycarpa* se observă o tendiţă mai ridicată de a prezenta nervuri intercalare.

Tabelul 4.4.3.1 Analiza ANOVA între cele trei subspecii de gorun

Variabila*	<i>Q. p. ssp. petraea</i>					<i>Q. p. ssp. dalechampii</i>					<i>Q. p. ssp. polycarpa</i>					t_{welch}	p
	Med	Min	Max	SD	CV%	Med	Min	Max	SD	CV%	Med	Min	Max	SD	CV%		
LA	50.2	31.5	81.8	10.0	19.9	49.9	30.7	68.7	9.1	18.2	45.4	35.0	57.2	7.5	16.5	1.67	0.210
LP	46.0	33.7	61.1	6.2	13.4	47.7	34.3	60.2	5.5	11.6	38.5	35.6	42.4	3.0	7.8	29.01	0.000
LL	11.4	9.0	14.8	1.1	9.9	11.2	9.2	13.0	0.9	8.4	9.9	8.6	10.8	0.8	7.6	51.19	0.000
PL	1.7	0.9	2.8	0.3	19.6	1.7	1.0	2.7	0.3	18.1	1.8	1.0	2.6	0.5	28.3	0.63	0.541
LW	3.6	2.7	4.8	0.4	12.2	3.6	2.7	4.3	0.3	9.7	3.4	2.9	3.8	0.3	9.8	1.39	0.270
SW	2.0	1.2	3.3	0.3	16.3	1.8	1.0	2.7	0.4	22.0	2.0	1.6	2.4	0.3	13.7	3.22	0.060
WP	6.4	4.4	9.5	0.8	13.2	5.6	3.7	6.7	0.7	11.6	4.9	3.0	6.2	0.9	19.1	10.22	0.000
AB PU	2.7	1.7	4.0	0.6	21.0	3.1	2.0	4.0	0.6	20.5	3.3	2.8	4.0	0.4	13.5	11.87	0.000
AD PU	1.4	1.0	2.2	0.4	27.4	1.4	1.0	2.2	0.4	30.9	1.6	1.0	2.8	0.6	38.9	1.07	0.361
PE PU	1.8	1.0	3.2	0.5	26.1	2.1	1.0	3.6	0.5	22.6	1.9	1.2	3.0	0.7	36.5	6.10	0.008
NL	13.6	10.8	17.3	1.4	9.9	13.2	9.3	15.3	1.3	9.5	11.1	8.8	13.6	1.3	12.1	16.65	0.000
BSL	2.9	2.2	3.9	0.2	8.5	3.1	2.0	4.0	0.4	12.7	3.4	2.7	3.8	0.4	10.8	12.11	0.000
NV	0.1	0.0	1.8	0.3	242.7	0.4	0.0	2.5	0.6	156.1	0.1	0.0	0.6	0.2	143.2	4.55	0.005
OB	56.1	37.4	65.4	4.6	8.2	50.7	31.6	60.0	5.6	11.0	49.8	28.3	57.9	8.9	17.9	21.96	0.000
PR	13.2	8.3	21.8	2.1	16.0	13.2	7.4	19.0	2.2	16.8	15.2	9.5	19.4	3.2	20.9	1.70	0.165
LDR	44.8	7.0	66.0	8.9	20.0	49.0	19.0	71.0	11.0	22.5	40.4	29.0	50.0	7.8	19.3	4.92	0.001
PV	0.9	0.0	14.4	2.3	246.9	3.1	0.0	23.1	5.2	166.4	1.2	0.0	4.4	1.6	134.4	4.40	0.002
LWR	31.6	23.3	38.8	2.7	8.4	32.3	26.2	39.9	3.0	9.1	34.5	31.5	36.8	2.0	5.7	9.49	0.000
StoD	305.7	220.0	492.0	44.7	14.6	316.8	205.0	524.0	71.5	22.6	310.4	226.0	437.0	77.6	25.0	0.57	0.830
SRW	16.8	10.9	21.1	1.5	8.7	17.3	14.5	19.7	1.2	6.9	16.9	13.3	18.8	1.6	9.3	2.11	0.061
SRL	23.1	15.1	28.2	1.9	8.2	23.3	18.2	30.0	1.9	8.0	23.3	20.6	27.2	2.1	8.9	0.30	0.987
FSR	3.5	2.1	5.9	0.6	16.3	3.6	2.6	4.6	0.4	12.1	3.9	3.1	4.9	0.6	14.4	1.74	0.128
SAI	7030.4	4485.0	11119.0	1068.9	15.2	7313.3	5027.0	10742.0	1449.7	19.8	7168.9	5243.0	9177.0	1516.6	21.2	0.86	0.627
LRS	99.0	62.4	135.6	12.0	12.1	101.1	73.8	123.5	11.8	11.7	91.8	75.3	107.8	10.9	11.9	2.68	0.019
NGT	61.9	17.0	133.0	21.1	34.0	65.2	25.0	98.0	19.8	30.4	60.1	25.0	108.0	27.9	46.4	0.55	0.882
NST	11.4	3.0	25.0	5.5	48.1	12.0	3.0	28.0	5.9	49.3	13.0	8.0	17.0	4.7	36.5	0.578	0.875
NR	2.7	1.5	4.0	0.7	27.5	2.7	2.0	4.0	0.7	25.3	3.0	2.0	4.0	0.8	25.5	0.71	0.767

*Codurile variabilelor sunt prezentate în tabelele 3.2.4.1 şi 3.2.4.2. Variabilele aldine prezintă diferenţe semnificative ($p < 0,05$).

➤ Analiza componentelor principale

Variabila LA (aria frunzei) este redundantă şi a fost eliminată din analiza PCA, având corelaţii foarte strânse cu unele variabile dimensionale. Prin urmare, din graficul PCA pentru cele 26 de variabile micro-şi macromorfologice (Figura 4.4.3.1), se constată o suprapunere a celor trei subspecii. Totuşi, *Q. p. ssp.*

polycarpa se observă că se asociază mai bine cu variabilele evaluate, având valori negative pe factorul 1. Această tendință se datorează valorilor mai mici ale variabilelor dimensionale LP, LL, LW și WP, care au o contribuție ridicată și pozitivă pentru factorul 1 (Figura 4.4.3.2).

Ulterior, pentru analiza PCA s-au considerat doar variabilele pentru care s-a demonstrat anterior, prin intermediul ANOVA, că prezintă diferențe semnificative între cele trei subspecii. În acest caz, cele două componente principale au reprezentat 24,58% (componenta 1) și 19,20% (componenta 2) din varianța totală (Figura 4.4.3.3). Nici în acest caz nu s-a realizat o separare clară a subspeciilor. Cele mai discriminante variabile identificate de-a lungul componentei 1 au fost LL (lungimea laminei) și WP (lungimea laminei de la bază până în zona de lățime maximă), care au fost mai mici pentru *Q. p. ssp. polycarpa*, în timp ce prezența nervurilor intercalare (NV) și procentul de nervare a sinurilor (NV) au fost trăsături discriminante pentru indivizii de *Q. p. ssp. dalechampii* la nivelul componentei 2. Totodată, variabilele AB PU (pubsecența pe fața abaxială a frunzei) și BSL (forma bazei laminei) au avut o contribuție aproape nulă pentru factorul 2, însă mai ridicată pentru factorul 1 (Figura 4.4.3.4).

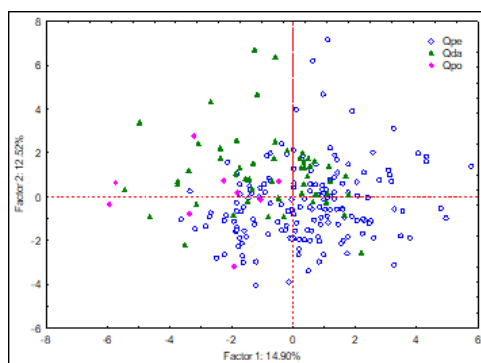


Figura 4.4.3.1 Graficul PCA cu includerea setului complet de variabile în analiză

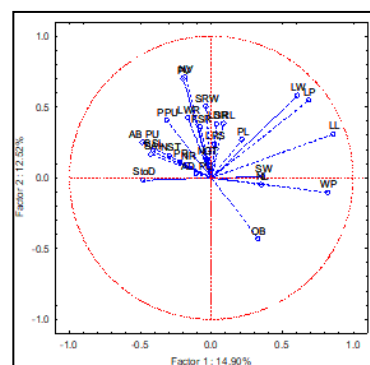


Figura 4.4.3.2 Contribuția variabilelor la primii doi factori

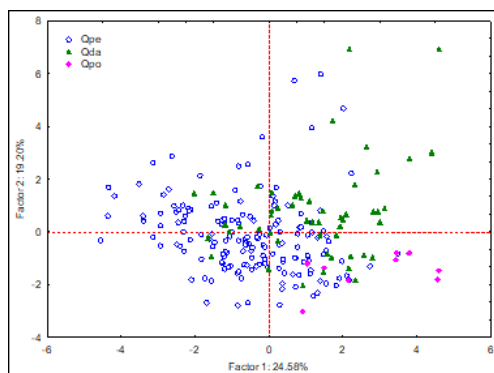


Figura 4.4.3.3 Graficul PCA cu includerea setului format din variabilele semnificative ale analizei ANOVA (Qpe - *Q. p. ssp. petraea*; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii*; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa*)

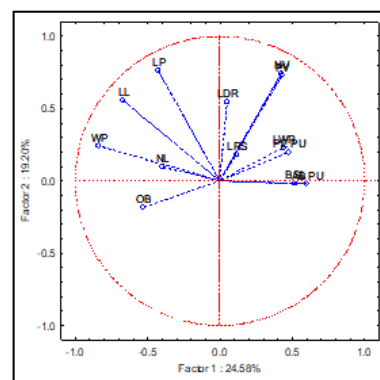


Figura 4.4.3.4 Contribuția variabilelor la primii doi factori

Pentru a verifica dacă totuși se realizează o grupare a subspeciilor s-a realizat și o analiză PCA prin includerea doar a variabilelor care au generat diferențe semnificative în cadrul analizei discriminatorii. Astfel, în PCA bazată pe cele 11 variabile semnificative obținute prin analiza DA, cele două componente principale au descris 42,18% din varianța totală, din care 23,78% pentru componenta 1 și 18,40% pentru componenta 2 (Figura 4.4.3.5). A fost identificat un model relativ continuu de distribuție a indivizilor de-a lungul componentei 2 a PCA, variabila LDR având o contribuție însemnată (41,4%) (Figura 4.4.3.6). Cu toate acestea, exemplarele de *Q. p. ssp. polycarpa* prezintă valori negative pe factorul 1.

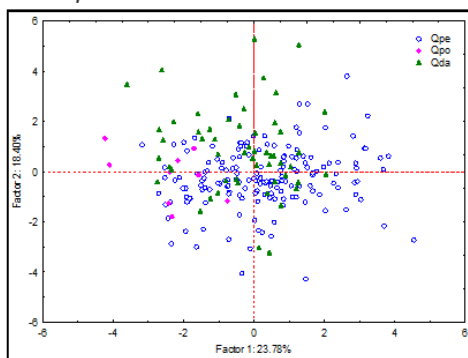


Figura 4.4.3.5 Graficul PCA cu includerea setului format din variabilele semnificative ale analizei discriminante (Qpe - *Q. p. ssp. petraea*; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii*; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa*)

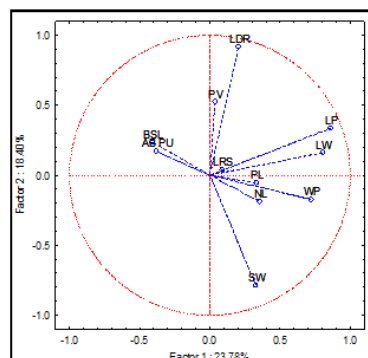


Figura 4.4.3.6 Contribuția variabilelor la primii doi factori

Într-un studiu recent realizat în Italia (Proietti et al., 2021) s-a încercat prin intermediul metodelor de analize multivariate (inclusiv PCA), discriminarea între *Q. petraea*, *Q. pubescens* și *Q. dalechampii*. Rezultatele PCA au aratat că cei *Q. petraea* și *Q. dalechampii* se suprapun aproape complet, astfel că potrivit trăsăturilor frunzelor și lujerilor, indivizii de *Q. dalechampii* se apropie în plan morfologic de *Q. petraea*, diferențele între cele două fiind considerate nesemnificative.

➤ Analiza cluster

Analiza cluster s-a aplicat atât pentru întregul set de arbori, cât și la nivelul populațiilor și a culturii comparative FAN.

Mai întâi s-a realizat o analiză cluster la nivelul întregului set de variabile macro- și micromorfologice (Figura 4.4.3.7). Se observă diferențierea a două subclustere principale, divizate la rândul lor în alte două subclustere. Teoretic, ar fi trebuit să se obțină trei subclustere corespunzătoare celor trei subspecii, însă departajarea nu este deloc evidentă. Prin urmare, s-a refăcut analiza cu utilizarea variabilelor care s-au dovedit a fi semnificative în urma analizelor ANOVA (Figura 4.4.3.8) și DA (Figura 4.4.3.9). Nici cele două clasificări nu reflectă o separare clară a celor trei subspecii de gorun, în schimb generează un număr considerabil mai mare de subclustere inferioare.

Când s-a refăcut analiza pentru întregul set de variabile asemănările sau deosebirile între cele patru populații și cultura comparativă FAN, se observă separarea acestora în două subclustere principale, unul format din populațiile periferice FUN și SAT, și cel de-al doilea format din cultura comparativă FAN, populația periferică OLT și populația de referință HEL (Figura 4.4.3.10). Gruparea mai strânsă a culturii comparative FAN de populația OLT, poate fi o consecință a valorilor mai apropiate la nivelul variabilelor dimensionale. În plus, diferențele dintre cele două subclustere principale sunt accentuate prin distanța euclidiană lungă.

Pentru cazul când s-au reținut doar variabilele care au generat diferențe semnificative, s-au obținut, de asemenea două subclustere, însă de această dată unul reprezentat de cultura comparativă FAN, populația de referință HEL și populația periferică FUN, și cel de-al doilea format din populațiile OLT și SAT (Figura 4.4.3.11). Totodată, de această dată distanța euclidiană a fost considerabil mai scurtă.

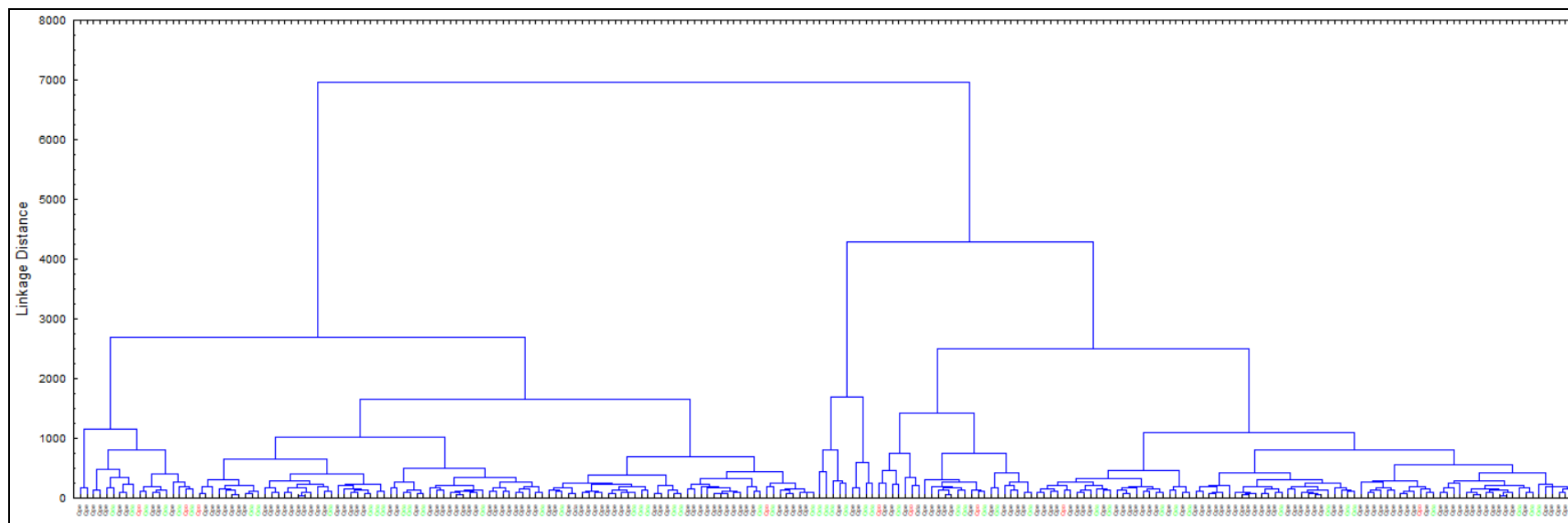


Figura 4.4.3.7 Dendrograma cluster bazată pe întregul set de variabile. Axa orizontală reprezintă arborii evaluați (Qpe - *Q. p. ssp. petraea* reprezentată cu negru; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii* reprezentată cu verde; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa* reprezentată cu roșu), iar axa verticală distanța euclidiană.

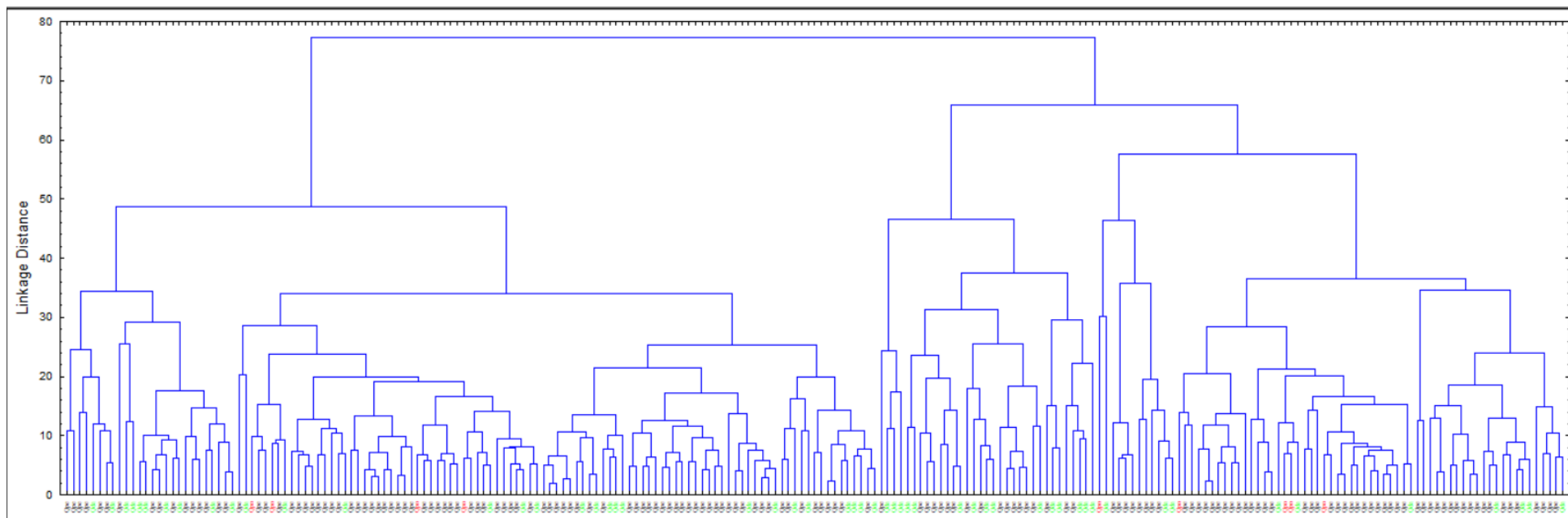


Figura 4.4.3.8 Dendrograma cluster bazată pe variabile semnificative generate de analiza ANOVA. Axa orizontală reprezintă arborii evaluați (Qpe - *Q. p. ssp. petraea* reprezentată cu negru; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii* reprezentată cu verde; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa* reprezentată cu roșu), iar axa verticală distanța euclidiană.

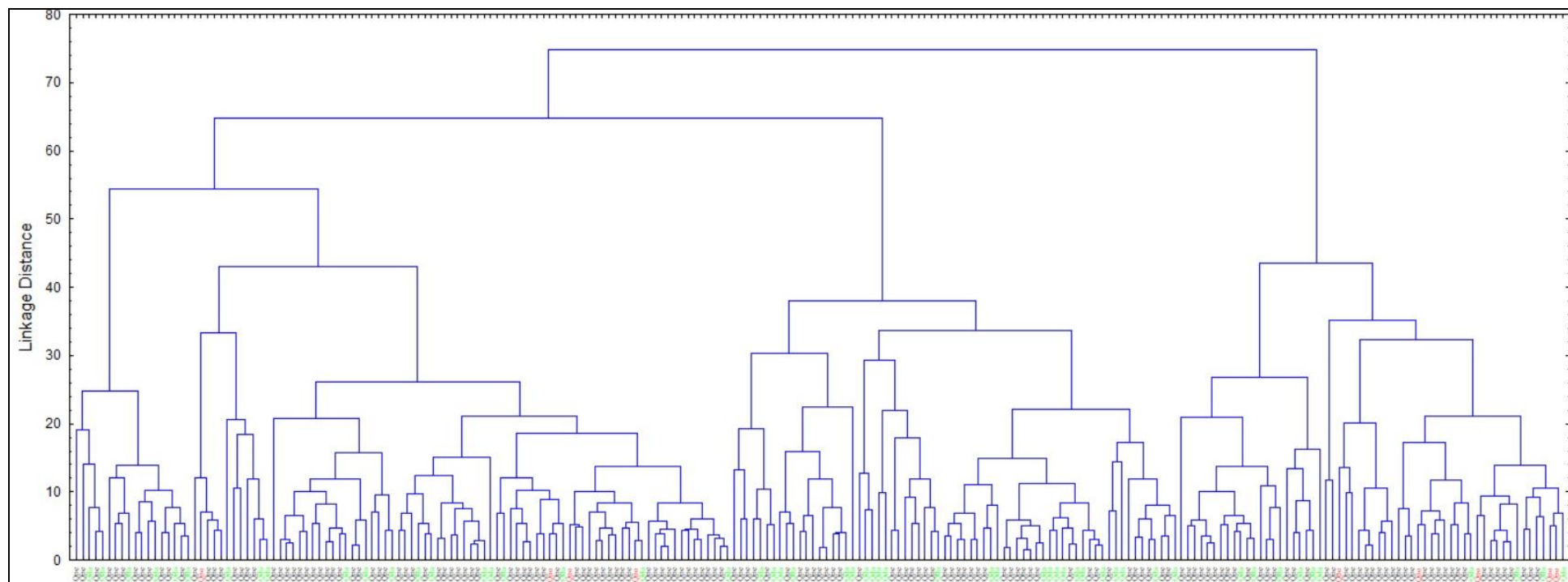


Figura 4.4.3.9 Dendrograma cluster bazată pe variabile semnificative generate de analiza DA. Axa orizontală reprezintă arborii evaluați (Qpe - *Q. p. ssp. petraea* reprezentată cu negru; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii* reprezentată cu verde; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa* reprezentată cu roșu), iar axa verticală distanța euclidiană.

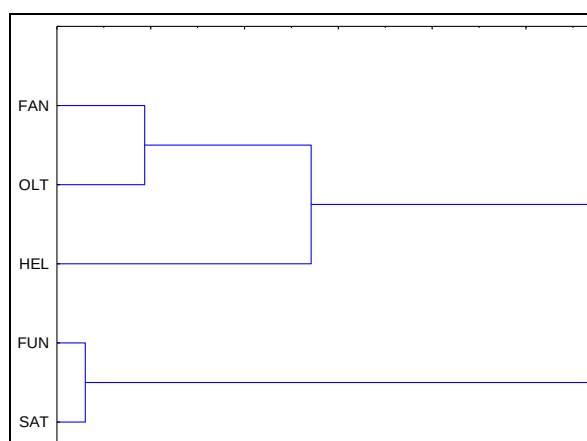


Figura 4.4.3.10 Dendrograma cluster bazată pe întregul set de variabile. Axa orizontală reprezintă distanța euclidiană, iar axa verticală reprezintă populațiile analizate și cultura comparativă FAN.

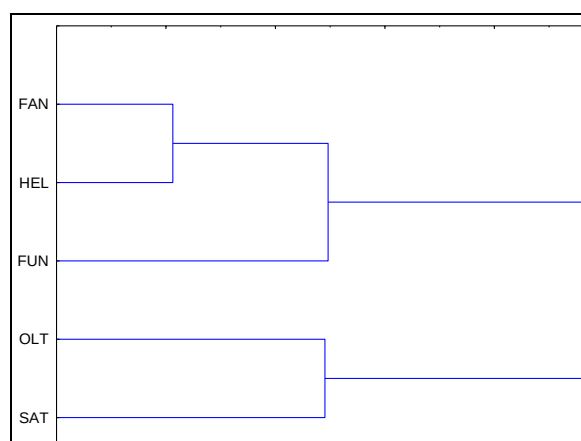


Figura 4.4.3.11 Dendrograma cluster bazată pe variabile semnificative generate de analiza ANOVA. Axa orizontală reprezintă distanța euclidiană, iar axa verticală reprezintă populațiile analizate și cultura comparativă FAN.

➤ Analiza discriminantă

Pentru analiza discriminantă (DA) s-a renunțat la includerea variabilei LA (aria frunzei) din cauza corelației ridicate cu alte variabile dimensionale.

Variabile care au contribuit semnificativ ($p < 0,05$) la diferențierea celor trei subspecii de gorun, au fost LP (perimetrul laminei), WP (lungimea laminei de la bază până în zona de lățime maximă), BSL (forma bazei frunzei), NL (numărul de lobi), LW (lățimea laminei), AB PU (pubescenta frunzei pe fața abaxială), PV (procentul de nervare a sinurilor), SW (adâncimea sinusului) și LDR (ponderea adâncimii lobilor). Astfel, prin aplicarea analizei doar cu cele 11 variabile care au deținut cea mai mare putere de discriminare între cele trei subspecii s-au stabilit cele două funcții discriminante:

Funcția 1: $-759,5 - 95,8 \cdot WP + 19,3 \cdot LP + 115,8 \cdot BSL - 33,0 \cdot NL - 501,4 \cdot LW - 68,8 \cdot PL + 50,7 \cdot ABPU - 0,8 \cdot LRS + 7,2 \cdot PV + 709,6 \cdot SW + 22,4 \cdot LDR$

Funcția 2: $1127,5 - 0,2 \cdot WP - 19,0 \cdot LP + 112,0 \cdot BSL - 26,6 \cdot NL + 465,6 \cdot LW - 104,7 \cdot PL - 14,7 \cdot ABPU - 2,8 \cdot LRS - 9,9 \cdot PV - 500,4 \cdot SW - 17,9 \cdot LDR$

Prima funcție generează semnul minus (-) pentru *Q. p. ssp. petraea* și plus (+) pentru *Q. p. ssp. dalechampii*, respectiv *Q. p. ssp. polycarpa*, iar cea de-a doua funcție generează semnul minus (-) pentru *Q. p. ssp. dalechampii*, respectiv plus (+) pentru celelalte două subspecii.

În plus, cele două funcții de clasificare obținute pentru fiecare subspecie pot fi utilizate pentru a determina pentru fiecare caz în cadrul cărei subspecii cel mai probabil aparține. În cazul de față doar 84,6% din cazuri au fost corect clasificate (Tabelul 4.4.3.2). Procentul ridicat de exemplare clasificate incorect în cazul *Q. p. ssp. dalechampii* și *Q. p. ssp. polycarpa* poate fi o consecință a faptului că diferențele la nivelul frunzelor sunt relativ subtile, de multe ori fiind suplimentate de cele ale lujerilor și fructelor.

Tabelul 4.4.3.2 Matricea clasificărilor potrivit analizei discriminante (Qpe - *Q. p. ssp. petraea*; Qda - *Q. p. ssp. dalechampii*; Qpo - *Q. p. ssp. polycarpa*)

Subspecia identificată	Cazuri corect clasificate (%)	Clasificare prezisă		
		Qpe	Qda	Qpo
Qpe	94,5	155	9	-
Qda	57,4	22	31	1
Qpo	66,7	3	-	6
Total	84,6	180	40	7

Pentru reprezentatii genului *Quercus*, astfel de funcții au fost testate și validate în mod obișnuit, la nivel interspecific, și într-o măsură mai mică la nivel infraspecific. La nivel interspecific există studii privind discriminarea gorunului de stejarul pedunculat (Bacillieri et al., 1996; Kremer et al., 2002; Boratynski et al., 2008; Yücedağ & Gailing, 2013; Jurkšienė & Baliuckas, 2014), a gorunului de stejar pedunculat și stejar pufos (Dupouey & Badeau, 1993), a gorunului de gârniță și stejar pufos (Fortini et al., 2015), sau a gorunului de mai multe specii ale subgenului *Lepidobalanus* (Viscosi et al., 2009b).

Dintre descriptorii micromorfologici evaluați, doar LRS (lungimea brațelor tricomilor stelați) a avut o contribuție semnificativă în deosebirea celor trei subspecii. La nivel infraspecific, cu ajutorul funcțiilor discriminante s-a reușit diferențierea *Q. brantii* var. *belangeri* de *Q. brantii* var. *brantii*, însă separarea nu a fost completă (Panahi et al., 2012).

5. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

5.1. Concluzii finale

❖ Cu privire la *evaluarea fenologiei de primăvară și de toamnă în vederea stabilirii unor corelații între fenofaze și condițiile climatice locale*

- Populațiile periferice se caracterizează printr-o variabilitate interanuală mai ridicată și intervale de variație mai mari în ceea ce privește debutul înmuguririi comparativ cu populația non-periferică.
- În populațiile periferice, momentul înmuguririi a avut valori medii ale DOY < 100, ceea ce sugerează faptul că, în aceste zone, gorunul poate fi mai susceptibil la acțiunea înghețurilor târzii.
- Specie mezotermă tipică, gorunul din populațiile periferice din estul României necesită pentru a porni în vegetație sume ale temperaturilor, de la 1 ianuarie și până la DOY înmugurire, de peste 173°C, și de la DOY senescentă până la DOY înmugurire, de aproximativ 438-447°C, valoare ce poate depăși 500°C pentru gorunul care vegetează în regiunea subcarpatică, non-periferică.
- Fenofaza dezvoltării frunzelor a durat în medie 13-16 zile, iar cea a înfloririi amănților masculi 7-10 zile, ambele fenofaze având o dinamică mai accelerată în populațiile periferice.
- În anul 2017, în perioada declanșării și derulării fenofazelor de primăvară, valori ale temperaturii sub 0°C asociate cu zăpadă abundentă au afectat parțial procesul de maturare a florilor masculine, însă nu și dezvoltarea frunzelor.
- Procesul de eliberare a polenului a avut loc atunci când temperaturile medii corespunzătoare perioadei de desfășurare a fenofazei au fost peste 10°C, iar sumele temperaturilor medii zilnice peste pragul de 5°C au fost relativ similare.
- În cultura comparativă FAN, înmugurirea proveniențelor de gorun a prezentat o tendință altitudinală/ longitudinală evidentă, cu o întârziere de la est la vest de 0,5-1,4 zile pentru fiecare grad de longitudine.
- În cultura comparativă FAN pentru momentul înfloririi s-au găsit variații geografice cu latitudinea și longitudinea locului de origine al proveniențelor, în sensul că aceasta are loc mai devreme în cazul proveniențelor nordice și estice comparativ cu proveniențele sudice și vestice.
- Prin evaluarea fenofazelor de primăvară și a senescentei în toamnă, s-a constatat că sincronizarea fenofazelor de primăvară este mai constantă decât fenofaza colorării frunzelor.
- Sezonul de vegetație în populația non-periferică se încheie cu o săptămână până la aproape două săptămâni mai repede decât pentru populațiile periferice.

❖ Cu privire la *analiza influenței categoriei fenologice asupra diferitelor trăsături ale lemnului*

- Densitatea convențională a lemnului pentru arborii precoci a fost mai ridicată decât pentru arborii tardivi, aspect ce poate fi pus pe seama diferențelor de creștere între cele două categorii fenologice.
- Variații geografice ale densității convenționale au fost evidențiate atât în arboretele naturale, cât și la nivelul proveniențelor din cultura comparativă FAN.
- Comparativ cu populațiile periferice, densitatea convențională a lemnului a fost superioară în populația non-periferică datorită inelelor anuale mai largi.
- Populațiile periferice au prezentat un număr mai mare de inele în alburn, ceea ce sugerează o întârziere în tranziția la formarea duramenului.

- Pentru provenienţele din cultura comparativă s-a constatat o tendinţă de scădere a numărului de inele din aburn de la vest spre est, în sensul că provenienţele periferice au avut un număr mai mic de inele în alburn.
- În cultura comparativă FAN, pentru arborii intermediari, formarea inelelor anuale în 2021 a fost mai avansată decât pentru arborii preoce. Acest fapt poate fi legat fie de fazele derulării procesul de anteză, fie de originea provenienţelor cu înmugurire intermediară.
- Analiza PCA a relevat o asociere mai bună pentru arbori cu înmugurire intermediară.

❖ **Cu privire la *analiza comportamentului fenologic şi a unor caractere ale lemnului într-o cultură comparativă de provenienţe de gorun instalată în arealul circumscris cercetărilor***

- Evaluările comparative în cultura de provenienţe de gorun FAN au indicat faptul că provenienţele non-locale au fost mai adaptate la condiţiile locului de testare şi au avut performanţe mai bune în ceea ce priveşte creşterea decât provenienţele locale.
- În condiţiile staţionale specifice locului de testare, provenienţele 29 Râmnicu Sărat, 32 Cluj şi 33 Zalău au fost cele mai performante din punct de vedere al creşterii, dar au prezentat forme inferioare ale tulpinii.

❖ **Cu privire la *evaluarea nivelului de variabilitate fenotipică la nivelul descriptorilor macro şi micromorfologici foliari şi compararea rezultatelor cu ajutorul analizelor statistice multivariate***

- La nivel intraspecific au fost identificate toate unităţile infraspecifice descrise în literatura de specialitate autohtonă, aspect ce susţine existenţa unei variabilităţi morfologice ridicate la nivel foliar.
- *Q. p. ssp. petrea f. platyphylla subf. angulata* nu a fost identificată în arboretele naturale, ceea ce indică probabil că frecvenţa sa este redusă comparativ cu restul unităţilor infraspecifice.
- *Q. p. ssp. dalechampii* a fost mai frecvent întâlnită în populaţiile periferice, probabil ca urmare a acţiunii îndelungate a selecţiei naturale, care a favorizat acest infrataxon în ecosistemele frecvent afectate de secetă din estul României. Totodată, în cadrul transectului nord-sud analizat se constată că frecvenţa subspeciei a scăzut de la sud spre nord, aspect care este de asemenea în relaţie cu regimul general cunoscut al precipitaţiilor din sezonul de vegetaţie al estului României.
- Spre deosebire de ssp. *petraea*, celelalte două subspecii se caracterizează prin frunze de lungimi mai reduse, cu lăţimea maximă în jumătatea inferioară a lamei, cu un număr mai mic de lobi, forme ovate, cu baza frunzei subcordată, aspecte consemnate, de altfel, şi în literatură. În plus, pentru ssp. *dalechampii* şi ssp. *polycarpa* s-a remarcat o frecvenţă mai ridicată a nervurilor intercalare.
- Singurul descriptor micromorfologic pentru care s-a demonstrat că prezintă o contribuţie semnificativă în diferenţierea celor trei subspecii de gorun a fost LRS (lungimea braţelor tricomilor stelaţi).
- Rezultatele PCA au relevat că cei trei taxoni se suprapun aproape complet, ceea ce sugerează apropierea în plan morfologic la nivelul descriptorilor macro şi micro-morfologici foliari.
- Analiza cluster nu a surprins o clasificare a arborilor pe subspecii, ceea ce presupune existenţa unei entităţi morfologice unice.
- Funcţiile discriminante generate au oferit posibilitatea separării corecte a celor trei subspecii în aproximativ 85% din cazuri.

- ❖ **Cu privire la *identificarea după criterii fenotipice şi fenologice a populaţiilor valoroase sau a provenienţelor cu potenţial ridicat de adaptare la condiţiile climatice locale.***
- În urma evaluărilor la nivel interpopulaţional, populaţiile periferice FUN şi OLT prezintă o variabilitate morfologică ridicată, astfel că se recomandă conservarea lor *in situ*.
- Din analiza comportamentului fenologic şi fenotipic al provenienţelor din cultura comparativă FAN, provenienţa 32-Cluj s-a identificat ca provenienţă superioară atât prin prisma înmuguririi mai tardive, cât şi a capacităţii ridicate de bioacumulare, caracteristici ce o recomandă pentru a fi promovată în cultură, în condiţii staţionale similare cu cele ale locului de testare.

5.2 Contribuţii originale

- Realizarea pentru prima dată a unui studiu fenologic multianual al speciei *Quercus petraea sensu lato* în populaţii periferice din proximitatea estică a arealului general de distribuţie al speciei în România, dar şi într-o cultură comparativă instalată în arealul circumscris cercetărilor în care sunt testate provenienţe din diferite zone ale arealului speciei în ţara noastră.
- Reliefarea pentru prima dată la gorun a unor corespondenţe între categoriile fenologice şi diferite caractere ale lemnului.
- Realizarea pentru prima dată în zona studiată a unei analize morfologice foliare complexe şi detaliate care înglobează atât descriptori macromorfologici cât şi micromorfologici.
- Identificarea de arborete care prezintă o variabilitate morfologică ridicată, potrivite pentru a fi încadrate ca resurse genetice forestiere.
- Identificarea descriptorilor macro- şi micromorfologici foliari cu cea mai mare capacitate de diferenţiere între cele trei subspecii.
- Identificarea în premieră pe baza descriptorilor macro- şi micromorfologici foliari de funcţii discriminante pentru determinarea celor trei subspecii.

5.3 Diseminarea rezultatelor

A. Lucrări publicate în reviste ISI:

Gafenco (Pleşca), I. M., Pleşca, B. I., Apostol, E. N., & Şofletea, N. (2022). Spring and Autumn Phenology in Sessile Oak (*Quercus petraea*) Near the Eastern Limit of Its Distribution Range. *Forests*, 13(7), 1125, <https://doi.org/10.3390/f13071125>, IF=3.282.

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

Gafenco (Pleşca), I. M., Pleşca, B. I., Şofletea, N. (2023). The taxonomic structure of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in marginal populations from Eastern Romania – a bibliographic study – acceptat spre publicarea în *Revista de Silvicultură şi Cinegetică*

Gafenco (Pleşca), I. M., Pleşca, B. I., Apostol, E. N., Ivan, R.C.; Ungureanu, A.M., Şofletea, N. (2023). Phenotypic variability of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in a comparative trial from Eastern Romania – acceptat spre publicarea în *Revista de Silvicultură şi Cinegetică*

C. Lucrări prezentate la simpozioane şi conferinţe naţionale sau internaţionale:

Gafenco (Pleşca), I. M., Pleşca, B. I., Apostol, E. N., & Şofletea, N. (2020). Spring and Autumn Phenology in Sessile Oak (*Quercus petraea*) Near the Eastern Limit of Its Distribution Range, 9th International Symposium „Forest and Sustainable Development” Braşov, Romania 16-18 October.

5.4 Direcţii viitoare de cercetare

Schimbările climatice ridică provocări unice pentru populaţiile periferice de gorun, aspecte care necesită răspunsuri specifice şi care impun continuarea şi aprofundarea cercetărilor.

Având în vedere că, în condiţiile actuale şi viitoare de aridizare a climei, subspeciile *dalechampii* şi *polycarpa* ar putea reprezenta soluţii de perspectivă pentru cultura gorunului în zone secetoase şi calde, identificarea acestora şi stabilirea precisă a unei distribuţii clare, trebuie să constituie o prioritate. Pe viitor, modelarea intervalelor de distribuţie ale gorunilor folosind modele ecologice de nişă care includ procese complexe (fenologie, plasticitate, dispersie etc.) trebuie să fie o direcţie de cercetare extrem de activă.

Totodată, investigaţii bazate pe o evaluare comună a markerilor moleculari şi a morfologiei frunzelor şi fructelor, sunt necesare pentru a permite stabilirea celei mai bune alternative de discriminare între cele trei subspecii.

De asemenea, sunt necesare studii suplimentare pentru a explora şi interpreta rezultatele obţinute şi în legătură cu caracteristicile anatomice şi chimice ale lemnului. În plus, extinderea cercetărilor şi la nivel dendrocronologic poate oferi informaţii utile cu privire la fenologia cambială în relaţie cu înfrunzirea arborilor.

Totodată, investigaţiile trebuie continuate şi în direcţia evaluării şi monitorizării acţiunii îngheţurilor târzii asupra fenologiei de primăvară, astfel încât să se identifice provenienţele cele mai rezistente.

Mai mult decât atât, pentru a obţine informaţii referitoare la plasticitatea adaptativă a provenienţelor de gorun testate, este extrem de necesar să se compare performanţele relative ale acestora şi în alte condiţii experimentale (de exemplu, în culturile comparative de provenienţe Mihăieşti şi Râmnicu Sărat).

Bibliografie

1. Alberto, F., Bouffier, L., LOUVET, J.M., LAMY, J.B., Delzon, S., & Kremer, A. (2011). Adaptive responses for seed and leaf phenology in natural populations of sessile oak along an altitudinal gradient. *Journal of Evolutionary Biology*, 24(7), 1442-1454.
2. Alberto, F.J., Derory, J., Boury, C., Frigerio, J.M., Zimmermann, N.E., & Kremer, A. (2013). Imprints of natural selection along environmental gradients in phenology-related genes of *Quercus petraea*. *Genetics*, 195(2), 495-512.
3. Apostol, E. N., Curtu, A. L., Daia, L. M., Apostol, B., Dinu, C. G., & Şofletea, N. (2017). Leaf morphological variability and intraspecific taxonomic units for pedunculate oak and grayish oak (genus *Quercus* L., series *Pedunculatae* Schwz.) in Southern Carpathian Region (Romania). *Science of The Total Environment*, 609, 497-505.
4. Apostol, E., Curtu, A., Şofletea, N. (2015). Structura taxonomică intraspecifică într-un complex de cvercinee din estul României, la contactul cu zona silvostepii externe. *Revista de Silvicultură şi Cînegetică*, 37, 47-51.
5. Arend, M., Brem, A., Kuster, T. M., & Günthardt-Goerg, M. S. (2012). Seasonal photosynthetic responses of three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*) to severe drought and elevated daytime temperature. *Plant Biology*, 1-8.
6. Bacilieri, R., Ducouso, A., Kremer, A. (1995). Genetic, morphological, ecological and phenological differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. in a mixed stand of northwest of France. *Silvae genetica*, 44(1), 1-9.
7. Badea, O. (1998). Fundamente dendrometrice şi auxologice pentru monitoringul forestier. *Rezumatul Tezei de doctorat*, Suceava, 35p.
8. Bălănică, T., Tomescu, A. (1953). Dare de seamă asupra observaţiilor fenologice forestiere efectuate în anul 1949. *Analele ICAS*, 13(1), 71-80.
9. Bartha, D. (2014). *Quercus polycarpa* Schur, 1851. In book: *Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Band III/2/35 Chapter: Quercus polycarpa*. *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie*.
10. Bartlett, J. E., Kotrlik, J. W., & Higgins, C. C. (2001). Determining appropriate sample size in survey research appropriate sample size in survey research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 19(1), 43-50.
11. Beldie, A. (1952). *Flora R.P.R. vol I. (Genus Quercus)*. Editura Academiei RPR, 224-261.
12. Beldie, A., Cretzoiu, P. (1941). Studiu sistematic al gorunului din România. *Analele ICAS*, 7(1), 38-49.
13. Bergès, L., Dupouey, J. L., & Franc, A. (2000). Long-term changes in wood density and radial growth of *Quercus petraea* Liebl. in northern France since the middle of the nineteenth century. *Trees*, 14, 398-408.
14. Bergès, L., Nepveu, G., & Franc, A. (2008). Effects of ecological factors on radial growth and wood density components of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) in Northern France. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 567-579.
15. Bertin, R. I. (2008). Plant phenology and distribution in relation to recent climate change. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 135(1), 126-146.
16. Bessa, F., Sousa, V., Quilhó, T., & Pereira, H. (2022). An Integrated Similarity Analysis of Anatomical and Physical Wood Properties of Tropical Species from India, Mozambique, and East Timor. *Forests*, 13(10), 1675.

17. Beuker, E., Raspe, S., Bastrup-Birk, A., Preuhsler, T., & Fleck, S. (2016). Part VI: Phenological Observations., In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany. 12 p. + Annex
18. Boratynski, A., Marcysiak, K., Lewandowska, A., Jasinska, A., Iszkulo, G., & Burczyk, J. (2008). Differences in leaf morphology between *Quercus petraea* and *Q. robur* adult and young individuals. *Silva Fennica*, 42(1), 115.
19. Borazan, A., & Babaç, M.T. (2003). Morphometric leaf variation in oaks (*Quercus*) of Bolu, Turkey. *Annales Botanici Fennici*, JSTOR, 233-242.
20. Borovics, A., & Mátyás, C. (2013). Decline of genetic diversity of sessile oak at the retracting (xeric) limits. *Annals of Forest Science*, 70, 835-844.
21. Brullo, S., Guarino, R., Siracusa, G. (1999). Revisione tassonomica delle querce caducifoglie della Sicilia. *Webbia* 54(1):1-72.
22. Bruschi, P., Grossoni, P., & Bussotti, F. (2003). Within-and among-tree variation in leaf morphology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. natural populations. *Trees-structure and function*, 17(2), 164-172.
23. Bruschi, P., Vendramin, G.G., Bussotti, F., Grossoni, P. (2000). Morphological and molecular differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. (*Fagaceae*) in northern and central Italy. *Annals of Botany*, 85(3), 325-333.
24. Bussotti, F., & Grossoni, P. (1997). European and Mediterranean oaks (*Quercus* L.; *Fagaceae*): SEM characterization of the micromorphology of the abaxial leaf surface. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 124(2), 183-199.
25. Campbell, R. K., & Sugano, A. I. (1975). Phenology of bud burst in Douglas-fir related to provenance, photoperiod, chilling, and flushing temperature. *Botanical Gazette*, 136(3), 290-298.
26. Camus, A. (1934–1954). Les chênes. Monographie du genre *Quercus*. Editura Lechevalier, Paris.
27. Chaar, H., & Colin, F. (1999). Impact of late frost on height growth in young sessile oak regenerations. *Annals of Forest Science*, 56(5), 417-429.
28. Chen, X., & Xu, L. (2012). Phenological responses of *Ulmus pumila* (Siberian Elm) to climate change in the temperate zone of China. *International Journal of Biometeorology*, 56, 695-706.
29. Chesnoiu, E.N. (2017). Discriminarea taxonomică prin descriptori ai frunzelor și analiza fenologiei de primăvară la stejarul pedunculat (*Quercus robur* L.) și stejarul brumăriu (*Quercus pedunculiflora* K. Koch). Rezumatul Tezei de doctorat, Braşov, 67.
30. Chesnoiu, E.N., Șofletea, N., Curtu, A.L., Toader, A., Radu, R., & Enescu, M. (2009). Bud burst and flowering phenology in a mixed oak forest from Eastern Romania. *Annals of Forest Research*, 52, 199-206.
31. Chmura, D. J., & Rozkowski, R. (2002). Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. *Silvae genetica*, 51(2-3), 123-127.
32. Chuine, I. (2010). Why does phenology drive species distribution?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1555), 3149-3160.
33. Chuine, I., & Beaubien, E. G. (2001). Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*, 4(5), 500-510.
34. Ciocîrlan, E., Șofletea, N., Ducci, F., & Curtu, A. L. (2017). Patterns of genetic diversity in European beech (*Fagus sylvatica* L.) at the eastern margins of its distribution range. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(6), 916.
35. Cleland, E.E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H.A., & Schwartz, M.D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(7), 357-365.

36. Clinovschi, F. (2005). Dendrologie, Editura Universităţii Suceava, 299 p.
37. Cole, E. F., & Sheldon, B. C. (2017). The shifting phenological landscape: Within-and between-species variation in leaf emergence in a mixed-deciduous woodland. *Ecology and Evolution*, 7(4), 1135-1147.
38. Constantinescu, N. (1973). Regenerarea arboretelor (Ediția a II-a). Editura Ceres, Bucureşti, 667 p.
39. Crabbe, R.A., Dash, J., Rodriguez-Galiano, V.F., Janous, D., Pavelka, M., & Marek, M.V. (2016). Extreme warm temperatures alter forest phenology and productivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 563, 486-495.
40. Crăciunesc, I. (2013). Evaluarea nivelului de hibridare naturala la specii autohtone de cvercinee: analiza de caz în rezervația Bejan-Deva. Teza de doctorat: 175 p.
41. Crăciunesc, I., Enescu, C.M., Șofletea, N., & Curtu, A.L. (2012). Floral phenology in a mixed species, natural oak forest of Romania. Conferința IUFRO „Genetics of *Fagaceae* and *Nothofagaceae*” 9-12 octombrie, Bordeaux (Franța).
42. Curtu, A. L., Șofletea, N., Toader, A. V., & Enescu, M. C. (2011). Leaf morphological and genetic differentiation between *Quercus robur* L. and its closest relative, the drought-tolerant *Quercus pedunculiflora* K. Koch. *Annals of Forest Science*, 68, 1163-1172.
43. Czúcz, B., Gálhidy, L., & Mátyás, C. (2011). Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science*, 68, 99-108.
44. Dantec, C. F., Vitasse, Y., Bonhomme, M., Louvet, J. M., Kremer, A., & Delzon, S. (2014). Chilling and heat requirements for leaf unfolding in European beech and sessile oak populations at the southern limit of their distribution range. *International Journal of Biometeorology*, 58, 1853-1864.
45. de Sauvage, J. C., Vitasse, Y., Meier, M., Delzon, S., & Bigler, C. (2022). Temperature rather than individual growing period length determines radial growth of sessile oak in the Pyrenees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 317, 108885.
46. Deans, J. D., & Harvey, F. J. (1995). Phenologies of sixteen European provenances of sessile oak growing in Scotland. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 68(3), 265-274.
47. Delpierre, N., Dufrêne, E., Soudani, K., Ulrich, E., Cecchini, S., Boé, J., François, C. (2009). Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6-7), 938-948.
48. Delpierre, N., Guillemot, J., Dufrêne, E., Cecchini, S., & Nicolas, M. (2017). Tree phenological ranks repeat from year to year and correlate with growth in temperate deciduous forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 234, 1-10.
49. Delpierre, N., Vitasse, Y., Chuine, I., Guillemot, J., Bazot, S., & Rathgeber, C. B. (2016). Temperate and boreal forest tree phenology: from organ-scale processes to terrestrial ecosystem models. *Annals of Forest Science*, 73(1), 5-25.
50. Denéchère, R., Delpierre, N., Apostol, E. N., Berveiller, D., Bonne, F., Cole, E., Delzon S., Dufrêne, E., Gressler, E., Jean, F., Lebourgeois, F., Liu, G., Louvet, J. M., Parmentier, J., Soudani, K., & Vincent, G. (2021). The within-population variability of leaf spring and autumn phenology is influenced by temperature in temperate deciduous trees. *International Journal of Biometeorology*, 65, 369-379.
51. Di Pietro, R., Di Marzio, P., Medagli, P., Misano, G., Silletti, G. N., Wagensommer, R. P., & Fortini, P. (2016). Evidence from multivariate morphometric study of the *Quercus pubescens* complex in southeast Italy. *Botanica Serbica*, 40(1), 83-100.
52. Di Pietro, R., Viscosi, V., Peruzzi, L., & Fortini, P. (2012). A review of the application of the name *Quercus dalechampii*. *Taxon*, 61(6), 1311-1316.

53. Diaz-Maroto, I. J., & Tahir, S. (2018). Testing of wood physical properties in oak species (*Quercus Robur* L., *Q. Petraea* (Matts) Liebl. and *Q. Pyrenaica* Willd.) for cooperage. Part II: wood grain. *Wood Research*, 63(6), 959-969.
54. Ducci, F., & Donnelly, K. (2017). Forest tree marginal populations in Europe-report on the state of knowledge on forest tree marginal and peripheral populations in Europe. *Annals of Silvicultural Research*, 41(3), 1-12.
55. Ducousso, A., Guyon, J., & Kremer, A. (1996). Latitudinal and altitudinal variation of bud burst in western populations of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt) Liebl). *Annales des Sciences Forestières*: 775-782.
56. Dumitriu-Tătăranu, I., Ghelmeziu, N., Florescu, I., Milea, I., Moş, V., & Tocan, M. (1983). Estimarea calităţii lemnului prin metoda carotelor de sondaj (Estimation of Wood Quality Using the Method of Cores Sampling). Editura Tehnică, Bucureşti, 69-82.
57. Dupouey, J., & Badeau, V., (1993). Morphological variability of oaks (*Quercus robur* L, *Quercus petraea* (Matt) Liebl, *Quercus pubescens* Willd) in northeastern France: preliminary results. *Annales des Sciences Forestières*. EDP Sciences, 35s-40s.
58. Dytham, C. (2011). *Choosing and Using Statistics. A Biologist's Guide*; Wiley-Blackwell: Oxford, UK.
59. Eckert, C. G., Samis, K. E., & Loughheed, S. C. (2008). Genetic variation across species' geographical ranges: the central–marginal hypothesis and beyond. *Molecular ecology*, 17(5), 1170-1188.
60. Eliades, N. G. H., Papageorgiou, A. C., Fady, B., Gailing, O., Leinemann, L., & Finkeldey, R. (2019). An approach to genetic resources conservation of peripheral isolated plant populations: the case of an island narrow endemic species. *Biodiversity and Conservation*, 28, 3005-3035.
61. Enescu, C. M., Curtu, A. L., & Şofletea, N. (2013). Is *Quercus virgiliana* a distinct morphological and genetic entity among European white oaks?. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(5), 632-641.
62. Fady, B.; Aravanopoulos, F.A.; Alizoti, P.; Mátyás, C.; von Wühlisch, G.; Westergren, M.; Belletti, P.; Cvjetkovic, B.; Ducci, F.; Huber, G.; Kelleher, C. T., Khaldi, A., Dagher Kharrat M. B. I., Kraigher, H., Kramer, K., Mühlethaler, U., Peric, P., Perry, A., Rousi, M., Sbay, H., Stojnic, S., Tijardovic, M., Tsvetkov, I., Varela, M. C., Vendramin, G. G., & Zlatanov, T. (2016). Evolution-based approach needed for the conservation and silviculture of peripheral forest tree populations. *Forest Ecology and Management*, 375, 66-75.
63. Fedorova, B., Kadavý, J., Adamec, Z., Knott, R., Kučera, A., Kneifl, M., Drápela, K., & Inurrigarro, R. O. (2018). Effect of thinning and reduced throughfall in young coppice dominated by *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Carpinus betulus* L. *Austrian Journal of Forest Science*, 1, 1-17.
64. Filipova, E., & Asenov, A. (2016). Review on *Quercus dalechampii* Ten. and - (Mattuschka) Liebl. in the vegetation of Bulgaria. *Annual of Sofia University "St. Kliment Ohridski" Faculty of Biology*, book 2-botany, Volume 100.
65. Firmat, C., Delzon, S., Louvet, J. M., Parmentier, J., & Kremer, A. (2017). Evolutionary dynamics of the leaf phenological cycle in an oak metapopulation along an elevation gradient. *Journal of Evolutionary Biology*, 30(12), 2116-2131.
66. Fober, H. (1998). Provenance experiment with pedunculate (*Quercus robur* L.) and sessile (*Q. petraea* [Matt.] Liebl.) oaks established in 1968. *Arboretum Kórnickie*, 43, 67-78.
67. Fonti, P., Heller, O., Cherubini, P., Rigling, A., & Arend, M. (2013). Wood anatomical responses of oak saplings exposed to air warming and soil drought. *Plant Biology*, 15, 210-219.
68. Fortini, P., Antonecchia, G., Di Marzio, P., Maiuro, L., & Viscosi, V. (2015). Role of micromorphological leaf traits and molecular data in taxonomy of three sympatric white oak species and their hybrids (*Quercus* L.). *Plant Biosystems*, 149(3), 546-558.

69. Fortini, P., Viscosi, V., Maiuro, L., Fineschi, S., Vendramin, G. (2009). Comparative leaf surface morphology and molecular data of five oaks of the subgenus *Quercus* Oerst (*Fagaceae*). *Plant Biosystems* 143(3):543-554.
70. Franjić, J., Liber, Z., Skvorc, Z., Idzajtich, M., Sostaric, R., & Stancic, Z. (2006). Morphological and molecular differentiation of the Croatian populations of *Quercus pubescens* Willd.[*Fagaceae*]. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 75(2), 123-130.
71. **Gafenco (Pleşca), I. M.**, Pleşca, B. I., Apostol, E. N., & Şofletea, N. (2022). Spring and Autumn Phenology in Sessile Oak (*Quercus petraea*) Near the Eastern Limit of Its Distribution Range. *Forests*, 13(7), 1125.
72. **Gafenco (Pleşca), I.M.**, Pleşca, B.I., Apostol, E.N., Ivan, R.C., Ungureanu, A.M., Şofletea, N. (2023b). Phenotypic variability of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in a comparative trial from Eastern Romania. *Revista de Silvicultură şi Cinegetică*, 52.
73. **Gafenco (Pleşca), I.M.**, Pleşca, B.I., Şofletea, N. (2023a). The taxonomic structure of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in marginal populations from Eastern Romania – a bibliographic study. *Revista de Silvicultură şi Cinegetică*, 52.
74. Gancz V., Doniţă, N., Biriş, I.A., Bandiu, C., Apostol, J., Marcu, C. (2008). *Harta Pădurilor pe Unităţi Ecosistemice 1:100.000*, Editura Silvică (ISBN 978-973-88379-2-8).
75. Gapare, W. J., Aitken, S. N., & Ritland, C. E. (2005). Genetic diversity of core and peripheral Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr) populations: implications for conservation of widespread species. *Biological Conservation*, 123(1), 113-123.
76. Garca-Mozo, H., Pablo, J. H., Galn, C., Gmez-Casero, M. T., & Domnguez, E. (2001). Catkin frost damage in Mediterranean cork-oak (*Quercus suber* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 49(1), 42-47.
77. Georgescu, C.C., & Morariu, I. (1948). *Monografia stejarilor din România*. Tipografia Universul SA, 26 p+11planşe.
78. Govaerts, R., & Frodin, D.G. (1998). *World checklist and bibliography of Fagales*. Kew: Royal Botanic Gardens, Kew vii, 407 p.
79. Gričar, J., De Luis, M., Hafner, P., & Levanič, T. (2013). Anatomical characteristics and hydrologic signals in tree-rings of oaks (*Quercus robur* L.). *Trees*, 27, 1669-1680.
80. Gričar, J., Jevšenak, J., Hafner, P., Prislán, P., Ferlan, M., Lavrič, M., Vodnik, D., & Eler, K. (2022). Climatic regulation of leaf and cambial phenology in *Quercus pubescens*: their interlinkage and impact on xylem and phloem conduits. *Science of the Total Environment*, 802, 149968.
81. Grotehusmann, H., & Schönfelder, E. (2011). Comparison of French and German sessile oak ((Matt.) Liebl.) provenances. *Silvae Genetica*, 60(1-6), 186-196.
82. Grundström, M., Adams-Groom, B., Pashley, C. H., Dahl, Å., Rasmussen, K., de Weger, L. A., Thibaudon, M., Fernández-Rodríguez, S., Silva-Palacios, I., & Skjøth, C. A. (2019). Oak pollen seasonality and severity across Europe and modelling the season start using a generalized phenological model. *Science of the Total Environment*, 663, 527-536.
83. Guada, G., Vázquez-Ruiz, R. A., & García-González, I. (2019). Response patterns of xylem and leaf phenology to temperature at the southwestern distribution boundary of *Quercus robur*: A multi-spatial study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 269, 46-56.
84. Guilley, E., Hervé, J. C., & Nepveu, G. (2004). The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl. *Forest Ecology and Management*, 189(1-3), 111-121.
85. Hänninen, H. (1995). Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology. *Canadian Journal of Botany*, 73(2), 183-199.

86. Hardie, D. C., & Hutchings, J. A. (2010). Evolutionary ecology at the extremes of species' ranges. *Environmental Reviews*, 18(NA), 1-20.
87. Harmer, R. (1992). Relationships between shoot length, bud number and branch production in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 65(1), 61-72.
88. Hodžić, M. M., & Ballian, D. (2020). Quality of pedunculate oak Provenances in Bosnian--Herzegovinian provenance test based on branching angle and stem form. *Forestist*, 70(2), 95-105.
89. IFN (Inventarul Forestier Național). (2019). Disponibil online: <http://roifn.ro/site/rezultate-ifn-2/> (Accesat pe 5 Decembrie 2020).
90. Jensen, J.S. (2000). Provenance variation in phenotypic traits in *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Danish provenance trials. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15(3), 297-308.
91. Jensen, J.S., & Hansen, J.K. (2008). Geographical variation in phenology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl and *Quercus robur* L. oak grown in a greenhouse. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(2), 179-188.
92. Jevšenak, J., Goršić, E., Stojanović, D. B., Matović, B., & Levanič, T. (2019). Sapwood characteristics of *Quercus robur* species from the south-western part of the Pannonian Basin. *Dendrochronologia*, 54, 64-70.
93. Jurkšienė, G., & Baliuckas, V. (2014). Leaf morphological variation of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Lithuania. *Research for Rural Development*, 2, 63-69.
94. Kint, V., Hein, S., Campioli, M., & Muys, B. (2010). Modelling self-pruning and branch attributes for young *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. trees. *Forest Ecology and Management*, 260(11), 2023-2034.
95. Kissling, P. (1977). Les poils des quatre espèces de chênes du Jura (*Quercus pubescens*, *Q. petraea*, *Q. robur* et *Q. cerris*). *Ber. Schweiz. Bot.*
96. Kleinschmit, J. (1993). Intraspecific variation of growth and adaptive traits in European oak species. In *Annales des Sciences Forestières* (Vol. 50, No. Supplement, pp. 166s-185s). EDP Sciences.
97. Knapic, S., Louzada, J. L., Leal, S., & Pereira, H. (2007). Radial variation of wood density components and ring width in cork oak trees. *Annals of Forest Science*, 64(2), 211-218.
98. Kolář, T., Giagli, K., Trnka, M., Bednářová, E., Vavrčík, H., & Rybníček, M. (2016). Response of the leaf phenology and tree-ring width of European beech to climate variability. *Silva Fennica*, 50(2).
99. Kramer, K. (1994). A modelling analysis of the effects of climatic warming on the probability of spring frost damage to tree species in The Netherlands and Germany. *Plant, Cell & Environment*, 17(4), 367-377.
100. Kramer, K. (1995). Modelling comparison to evaluate the importance of phenology for the effects of climate change on growth of temperate-zone deciduous trees. *Climate Research*, 119-130.
101. Kramer, K. (1996). Phenology and growth of European trees in relation to climate change, 210 p.
102. Kramer, K., Leinonen, I., & Loustau, D. (2000). The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview. *International Journal of Biometeorology*, 44(2), 67-75.
103. Kremer, A., Dupouey, J.L., Deans, J.D., Cottrell, J., Csaikl, U., Finkeldey, R., Espinel, S., Jensen, J., Kleinschmit, J., & Van Dam, B. (2002). Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across western European mixed oak stands. *Annals of Forest Science*, 59(7), 777-787.
104. Krüssmann, G. (1986). Manual of cultivated broad-leaved trees & shrubs. Batsford, London, 621p.

105. Kučera, P. (2018). New name for Central European oak formerly labelled as *Quercus dalechampii*. *Biologia*, 73(4), 313-317.
106. Kuster, T. M., Arend, M., Günthardt-Goerg, M. S., & Schulín, R. (2013). Root growth of different oak provenances in two soils under drought stress and air warming conditions. *Plant and Soil*, 369, 61-71.
107. Kuster, T. M., Dobbertin, M., Günthardt-Goerg, M. S., Schaub, M., & Arend, M. (2014). A phenological timetable of oak growth under experimental drought and air warming. *PloS one*, 9(2), e89724.
108. Lázaro-Nogal, A., Matesanz, S., García-Fernández, A., Traveset, A., & Valladares, F. (2017). Population size, center-periphery, and seed dispersers' effects on the genetic diversity and population structure of the Mediterranean relict shrub *Cneorum tricoccon*. *Ecology and Evolution*, 7(18), 7231-7242.
109. Lechowicz, M. J. (1984). Why do temperate deciduous trees leaf out at different times? Adaptation and ecology of forest communities. *The American Naturalist*, 124(6), 821-842.
110. Liepe, K. (1993). Growth-chamber trial on frost hardiness and field trial on flushing of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl). In *Annales des Sciences Forestières* (Vol. 50, No. Supplement, pp. 208s-214s). EDP Sciences.
111. Liu, G., Chuine, I., Denéchère, R., Jean, F., Dufrêne, E., Vincent, G., Berveiller, D., & Delpierre, N. (2021). Higher sample sizes and observer inter-calibration are needed for reliable scoring of leaf phenology in trees. *Journal of Ecology*, 109(6), 2461-2474.
112. Macdonald, S. L., Llewelyn, J., Moritz, C., & Phillips, B. L. (2017). Peripheral isolates as sources of adaptive diversity under climate change. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 88.
113. Marchand, L. J., Dox, I., Gričar, J., Prislan, P., Leys, S., Van den Bulcke, J., Fonti, P., Lange, H., Matthysen, E., Peñuelas, J., Zuccarini, P., & Campioli, M. (2020). Inter-individual variability in spring phenology of temperate deciduous trees depends on species, tree size and previous year autumn phenology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290, 108031.
114. Matula, R. (2008). Comparison of general tree characteristics of less known oak species *Quercus dalechampii* Ten. and *Quercus polycarpa* Schur. *Journal of Forest Science*, 54(8), 333-339.
115. Mátyás, C. (2021). Adaptive pattern of phenotypic plasticity and inherent growth reveal the potential for assisted transfer in sessile oak (*Quercus petraea* L.). *Forest Ecology and Management*, 482, 118832.
116. Mátyás, C., Berki, I., Bidló, A., Csóka, G., Czimmer, K., Führer, E., Gálos, B., Gribovszki, Z., Illés, G., Hirka, A., Somogyi, Z. (2018). Sustainability of forest cover under climate change on the temperate-continental xeric limits. *Forests*, 9(8), 489.
117. Mátyás, C., Vendramin, G. G., & Fady, B. (2009). Forests at the limit: Evolutionary-genetic consequences of environmental changes at the receding (xeric) edge of distribution. Report from a research workshop. *Annals of Forest Science*, 66(8), 800.
118. Menzel, A., & Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397(6721), 659-659.
119. Menzel, A., Estrella, N., Fabian, P. (2001). Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. *Global Change Biology*, 7(6), 657-666.
120. Menzel, A., Estrella, N., Heitland, W., Susnik, A., Schleip, C., & Dose, V. (2008). Bayesian analysis of the species-specific lengthening of the growing season in two European countries and the influence of an insect pest. *International Journal of Biometeorology*, 52, 209-218.
121. Michelot, A., Simard, S., Rathgeber, C., Dufrêne, E., & Damesin, C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus*

- sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. Tree physiology, 32(8), 1033-1045.
122. Morin, X., Roy, J., Sonié, L., Chuine, I. (2010). Changes in leaf phenology of three European oak species in response to experimental climate change. New Phytologist, 186(4), 900-910.
 123. Nanson, A. (2004). Genetic and forest trees breeding. Editura Gembloux, Belgium.
 124. Nielsen, J.L.; Scott, J.M.; & Aycrigg, J.L. (2001). Endangered species and peripheral populations: Cause for conservation. Endanger. Species Update, 18, 194–197.
 125. Nizinski, J.J., & Saugier, B. (1988). A model of leaf budding and development for a mature *Quercus forest*. Journal of Applied Ecology, 643-652.
 126. Nölte, A., Yousefpour, R., & Hanewinkel, M. (2020). Changes in sessile oak (*Quercus petraea*) productivity under climate change by improved leaf phenology in the 3-PG model. Ecological Modelling, 438, 109285.
 127. Panahi, P., Jamzad, Z., Pourmajidian, M., Fallah, A., Pourhashemi, M., & Sohrabi, H. (2012). Taxonomic revision of the *Quercus brantii* complex (*Fagaceae*) in Iran with emphasis on leaf and pollen micromorphology. Acta Botanica Hungarica, 54(3-4), 355-375.
 128. Panchen, Z. A., Primack, R. B., Nordt, B., Ellwood, E. R., Stevens, A. D., Renner, S. S., Willis, C. G., Fahey, R., Whittemore, A., Du, Y., & Davis, C. C. (2014). Leaf out times of temperate woody plants are related to phylogeny, deciduousness, growth habit and wood anatomy. New Phytologist, 203(4), 1208-1219.
 129. Pâques, L.E. (coord.) (2016). TREES4FUTURE — Designing Trees for the Future. Alternative Methodologies for Phenology Assessment in Forest Trees, pp. 4–6.
 130. Parmesan, C. (2007). Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. Global Change Biology, 13(9), 1860-1872.
 131. Pârnuța, G., Lorent, A., Tudoroiu, M., & Petrila, M. (2010). Regiuni de Provenienta Pentru Materiale de Baza din Care se Obțin Materiale Forestiere de Reproducere în România, Editura Silvica, București, Romania.
 132. Paşcovschi, S., & Doniță, N. (1967). Vegetația lemnoasă din silvostepa României. Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 294 p.
 133. Pásztor, Z., Börcsök, Z., Ronyecz, I., Mohácsi, K., Molnár, S., & Kis, S. (2014). Oven dry density of sessile oak, turkey oak and hornbeam in different region of Mecsek Mountain. Wood Research, 59(2), 683-694.
 134. Peñuelas, J., Rutishauser, T., & Filella, I. (2009). Phenology feedbacks on climate change. Science, 324(5929), 887-888.
 135. Perot, T., Balandier, P., Couteau, C., Delpierre, N., Jean, F., Perret, S., & Korboulewsky, N. (2021). Budburst date of *Quercus petraea* is delayed in mixed stands with *Pinus sylvestris*. Agricultural and Forest Meteorology, 300, 108326.
 136. Ponton, S., Dupouey, J. L., & Dreyer, E. (2004). Leaf morphology as species indicator in seedlings of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl.: modulation by irradiance and growth flush. Annals of Forest Science, 61(1), 73-80.
 137. Popescu, R., & Șofletea, N. (2020). Spring and autumn phenology in sub-mesothermal beech stands from the southwestern extremity of the Carpathians. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48(2), 1057-1069.
 138. Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J., & Uhl, E. (2018). Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. Forest Ecology and Management, 429, 589-616.

139. Preushler, T. (1999). Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. In Part IX, Phenological Observatio; UNECE: Geneva, Switzerland.
140. Proietti, E., Filesi, L., Di Marzio, P., Di Pietro, R., Masin, R., Conte, A. L., & Fortini, P. (2021). Morphology, geometric morphometrics, and taxonomy in relict deciduous oaks woods in northern Italy. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 32(3), 549-564.
141. Puchałka, R., Koprowski, M., Gričar, J., & Przybylak, R. (2017). Does tree-ring formation follow leaf phenology in Pedunculate oak (*Quercus robur* L.)?. *European Journal of Forest Research*, 136(2), 259-268.
142. Raab-Straube, E.V., Raus, T. (2013). Euro+Med-Checklist Notulae, 1. *Willdenowia*, 43(1), 151-164.
143. Rao, R. V., Aebischer, D. P., & Denne, M. P. (1997). Latewood density in relation to wood fibre diameter, wall thickness, and fibre and vessel percentages in *Quercus robur* L. *IAWA Journal*, 18(2), 127-138.
144. Richardson, A. D., Keenan, T. F., Migliavacca, M., Ryu, Y., Sonnentag, O., & Toomey, M. (2013). Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, 156-173.
145. Sanda, V., Barabaş, N., & Ştefănuţ, S. (2004). Atlas *Florae Romaniae*. III-Genul *Quercus* Editura Ion Borcea, Bacău. 173 p.
146. Savage, J. A., Kiecker, T., McMann, N., Park, D., Rothendler, M., & Mosher, K. (2022). Leaf out time correlates with wood anatomy across large geographic scales and within local communities. *New Phytologist*, 235(3), 953-964.
147. Schwarz, O. (1964). *Quercus* L. Pp. 61-64. In: Tutin, T.G., Burges, N.A., Chater A.O., Edmondson J.R., Heywood V.H., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M. & Webb, D.A. *Flora Europaea*. Cambridge, University Press 1.
148. Schwarz, O. (1993). *Quercus* L. In: Tutin, T.G., Burges, N.A., Chater, A.O., Edmondson, J.R., Heywood, V.H., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. *Flora Europaea*, 2nd rev.ed. Cambridge, University Press, 72-76.
149. Sheskin, D. J. (2004). Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. 3rd ed. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, London, New York, Washington, 1182 p.
150. Smith, D. M. (1954). Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: Madison, WI, USA, 1954; 110–120.
151. Şofletea, N., & Curtu, L. (2000). Dendrologie. Vol. II, Editura Pentru Viaţă, 300 p.
152. Şofletea, N., & Curtu, L. (2007). Dendrologie. Editura Universităţii Transilvania, 418 p.
153. Şofletea, N., Moldovan, I.C., Enescu, M.C., Crăciunesc, I., & Curtu, A.L. (2011). Consideraţii privind identificarea hibrizilor între speciile autohtone de cvercinee. *Revista pădurilor*, 126(1), 6-11.
154. Şofletea, N., Târziu, D., Spârchez, Gh., & Curtu, A.L., (2001). Cercetări privind ecotipul de gorun submezoterm de mare altitudine de la Poiana Braşov. *Analele ICAS*, 44(1), 17-22.
155. Soularue, J. P., & Kremer, A. (2014). Evolutionary responses of tree phenology to the combined effects of assortative mating, gene flow and divergent selection. *Heredity*, 113(6), 485-494.
156. Stănescu, V., Şofletea, N., & Popescu, O.C., (1997). *Flora forestieră lemnoasă a României*. Editura Ceres, Bucureşti, 450 p.
157. Struck, G., & Dohrenbusch, A. (2000). Development of a new branchiness index Asix-A simple tool to describe branchiness in young deciduous forest stands. *Annals of Forest Science*, 57(8), 811-818.

158. Stuparu, E. (2009). Variația genetică a principalelor specii de arbori forestieri: evaluări în culturi comparative. Gorunul (*Quercus petraea* L). pp. 201-220. In: Surse de semințe testate pentru principalele specii de arbori forestieri din România, editat de G. Mihai. Editura Silvică, București.
159. Stuparu, E., Guiman, G., & Scărlătescu, V. (2003). Cercetări privind diversitatea genetică a gorunului din populații naturale din subregiunea Făgăraș-Sud. *Analele ICAS*, 45, 39-46.
160. Subhasis, M., Kaiser, I., Showkat, A., Aatif, H., Sabyasachi, D., & Todaria, N. P. (2019). Wood specific gravity of temperate forest species of Garhwal Himalaya, India. *Indian Forester*, 145(11), 1035-1038.
161. Sun, S., & Frelich, L. E. (2011). Flowering phenology and height growth pattern are associated with maximum plant height, relative growth rate and stem tissue mass density in herbaceous grassland species. *Journal of Ecology*, 99(4), 991-1000.
162. Teodosiu, M., Guiman, G., Bujilă, M., Frățilă, E., Coandă, C., Hăruță, O., & Dorog, S. (2005). Observații fenologice la specii forestiere în sezonul de vegetație 2004. *Analele ICAS*, 48(1), 73-83.
163. Thomas, F.M., & Gausling, T. (2000). Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science*, 57(4), 325-333.
164. Tomescu, A. (1957). Fazele periodice de vegetație la speciile forestiere - Sinteza pentru perioada 1946-1955. Editura Agro-Silvică de Stat, București, 123 p.
165. Tomescu, A. (1967). Cercetări fenologice la principalele specii forestiere autohtone din RSR-Sinteza pentru perioada 1956-1965. Centrul de documentare tehnică pentru economia forestieră, București, 100 p.
166. Torres-Ruiz, J. M., Kremer, A., Carins Murphy, M. R., Brodribb, T., Lamarque, L. J., Truffaut, L., Bonne, F., Ducousso, A., & Delzon, S. (2019). Genetic differentiation in functional traits among European sessile oak populations. *Tree physiology*, 39(10), 1736-1749.
167. Ursenbacher, S., Guillon, M., Cubizolle, H., Dupoué, A., Blouin-Demers, G., & Lourdais, O. (2015). Postglacial recolonization in a cold climate specialist in western Europe: patterns of genetic diversity in the adder (*Vipera berus*) support the central-marginal hypothesis. *Molecular Ecology*, 24(14), 3639-3651.
168. Vander Mijnsbrugge, K., Turcsán, A., Maes, J., Duchêne, N., Meeus, S., Van der Aa, B., Steppe, K., & Steenackers, M. (2017). Taxon-independent and taxon-dependent responses to drought in seedlings from *Quercus robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl. and their morphological intermediates. *Forests*, 8(11), 407.
169. Vavřík, H., & Gryc, V. (2012). Analysis of the annual ring structure and wood density relations in English oak and Sessile oak. *Wood research*, 57(4), 573-580.
170. Viscosi, V., Fortini, P., Slice, D., Loy, A., & Blasi, C. (2009a). Geometric morphometric analyses of leaf variation in four oak species of the subgenus *Quercus* (*Fagaceae*). *Plant Biosystems*, 143(3), 575-587.
171. Viscosi, V., Lepais, O., Gerber, S., & Fortini, P. (2009b). Leaf morphological analyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: A comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 143(3), 564-574.
172. Vitasse, Y., Bresson, C.C., Kremer, A., Michalet, R., & Delzon, S. (2010). Quantifying phenological plasticity to temperature in two temperate tree species. *Functional Ecology*, 24(6), 1211-1218.
173. Vitasse, Y., Delzon, S., Bresson, C.C., Michalet, R., & Kremer, A., (2009). Altitudinal differentiation in growth and phenology among populations of temperate-zone tree species growing in a common garden. *Canadian Journal of Forest Research* 39(7):1259-1269.

174. Vitasse, Y., François, C., Delpierre, N., Dufrêne, E., Kremer, A., Chuine, I., Delzon, S. (2011). Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7), 969-980.
175. Vitasse, Y., Porté, A.J., Kremer, A., Michalet, R., & Delzon, S., (2009). Responses of canopy duration to temperature changes in four temperate tree species: relative contributions of spring and autumn leaf phenology. *Oecologia* 161(1), 187-198.
176. Wang, L., Han, X., Yin, Q., Wang, G., Xu, J., Chai, Y., & Yue, M. (2021). Differences in leaf phenological traits between trees and shrubs are closely related to functional traits in a temperate forest. *Acta Oecologica*, 112, 103760.
177. Wiersma, J. H. (1962). Enquete kwantitatieve aspecten van het exotenvraagstuk. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, 34(5), 175-184.
178. Yücedağ, C., & Gailing, O. (2013). Morphological and genetic variation within and among four *Quercus petraea* and *Q. robur* natural populations. *Turkish Journal of Botany*, 37(4), 619-629.
179. Yücedağ, C., Müller, M., & Gailing, O. (2021). Morphological and genetic variation in natural populations of *Quercus vulcanica* and *Q. frainetto*. *Plant Systematics and Evolution*, 307, 1-15.
180. Yücedağ, C., Sanders, J., Musah, M., & Gailing, O. (2019). Stomatal density in *Quercus petraea* and *Q. robur* natural populations in Northern Turkey. *Dendrobiology*, 81.
181. Zar, J.H. (2010). *Biostatistical Analysis*, 5th ed.; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA.
182. Zhang, X., Friedl, M. A., & Schaaf, C. B. (2009). Sensitivity of vegetation phenology detection to the temporal resolution of satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(8), 2061-2074.
183. Zobel B.J., & Sprague, J.R., (1998). *Juvenile Wood in Forest Trees*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany, 1-19.
184. Zobel, B. J., & van Buijtenen, J. P. (2012). *Wood variation: its causes and control*. Springer Science & Business Media, USA, New York, 1-32.
185. Zobel, B. J., van Buijtenen, J. P., Zobel, B. J., & van Buijtenen, J. P. (1989). *Wood variation and wood properties. Wood variation: its causes and control*, 1-32.
186. *** QuickPHOTO MICRO 3.2.
187. *** STATISTICA v. 8.0 StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA.
188. *** WinFOLIA PRO 2020, Regent Instruments.
189. *** XLFolia, Regent Instruments.

Scurt rezumat

Scopul cercetărilor a constat în evaluarea structurii fenologice şi taxonomice în populaţii de limită altitudinală inferioară reprezentative pentru arealul răsăritean al speciei *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. în România.

Pe baza analizelor fenologice s-au identificat mici variaţii între populaţia de referinţă şi populaţiile periferice asociate cu condiţiile climatice. S-a constatat că sincronizarea fenofazelor de primăvară este mai constantă decât senescenţa frunzelor. Mai mult decât atât, înmugurirea în cultura comparativă a prezentat o tendinţă longitudinală evidentă, cu o întârziere de la est la vest de 0,5–1,4 zile pentru fiecare grad de longitudine.

În ceea ce priveşte analiza influenţei categoriei fenologice asupra diferitelor trăsături ale lemnului, s-a confirmat statistic că, la vârste şi creşteri radiale comparabile, arborii care prezintă înmugurire tardivă au avut densitatea convenţională a lemnului mai mică şi au prezentat diferenţe de densitate mai mari între alburn şi duramen comparativ cu arborii cu înmugurire precoce ($F = 3,18$, $p = 0,04$). În cultura comparativă, arborii cu înmugurire intermediară au inele mai largi, a căror formare este mult mai avansată decât la arborii cu înmugurire precoce.

În cultura comparativă au fost detectate diferenţe semnificative statistic între provenienţe pentru majoritatea trăsăturilor luate în considerare (cu excepţia diametrului la înălţimea de 1,3 m şi a înălţimii elagate), care au fost confirmate de testul Duncan. În general, provenienţele non-locale au fost printre cele mai performante din punct de vedere al creşterii. Analiza de corelaţie a arătat că provenienţele vestice şi sudice, precum şi de la altitudini joase au avut rate de supravieţuire mai bune. Forma trunchiului şi diametrul ramurilor au fost corelate pozitiv şi semnificativ cu altitudinea ($r = 0,120^*$, $r=0,169^{**}$), ceea ce înseamnă că provenienţele la altitudini mai mici au avut trunchiuri mai drepte şi unghiuri de inserţie mai ascuţite.

Prin intermediul analizelor fenotipice s-au determinat descriptorii foliari care au contribuit semnificativ la diferenţierea celor trei subspecii de gorun. Astfel, gorunii subtermofili (subspeciile *dalechampii* şi *polycarpa*) în comparaţie cu cel comun au frunze ceva mai scurte, cu lăţimea maximă în jumătatea inferioară a laminei, un număr de lobi mai scăzut, forme ovate, cu baza frunzei subcordată. În plus, pentru goruni subtermofili se observă o tendinţă mai ridicată de a prezenta nervuri intercalare.