



# VARIABILITATEA FENOLOGICĂ A UNOR PROVENIENȚE DE FAG DIN ROMÂNIA

Maria Teodosiu<sup>a</sup>, Elena Alina Todirică<sup>a\*</sup>, Anca Botezatu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea", Stațiunea Câmpulung Moldovenesc, 725100, Câmpulung Moldovenesc, România

## REPERE

- sincronizarea fenofazelor de primăvară (înmugurire, înfrunzire) se diferențiază în proveniențe timpurii și târzii în raport cu altitudinea locului de origine
- proveniențele timpurii provin de la altitudini mai joase, iar cele târzii de la altitudini mai mari
- sumele de temperaturi au fost convergente cu rezultatele modelelor mixte în separarea proveniențelor timpurii și târzii

## INFORMAȚII ARTICOL

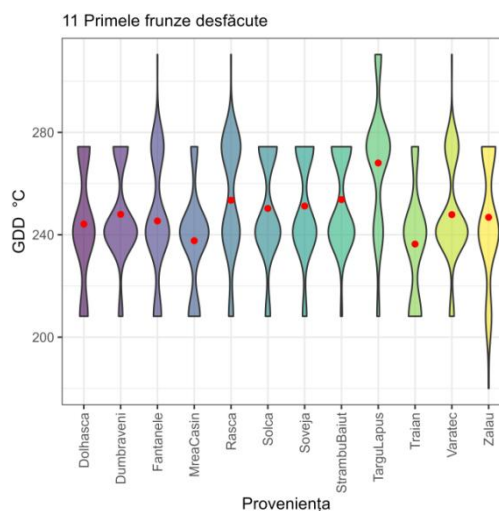
Istoricul articolului:  
Manuscris primit la: 23 iunie 2026  
Primit în forma revizuită: 30 iunie 2026  
Acceptat: 1 iulie 2026  
Număr de pagini: 12

Tipul articolului:  
Cercetare originală

### Cuvinte cheie:

*fenologie de primăvară  
proveniențe tardive și precoce  
cerințe de temperatură  
acumulări grade zile*

## REZUMAT GRAFIC



## REZUMAT

Fenofazele de înmugurire și de înfrunzire ale speciilor de arbori din zona temperată prezintă un determinism genetic mai ridicat, cu o eritabilitate mai mare. Acest studiu a observat fenologia de primăvară în șase fenofaze din 12 proveniențe dintr-un studiu amplasat în Carpații Orientali. Durata perioadei fenologice de primăvară a fost de 26 de zile, în timp ce variabilitatea fiecărei fenofaze a fost între 11 și 16 zile. Modelele cu efecte mixte ale zilei fenofazei (DOY) au indicat că sincronizarea fenofazelor de primăvară (înmugurire, înfrunzire) se diferențiază în proveniențe timpurii și târzii în raport cu altitudinea locului de origine, cele timpurii fiind cele provenind de la altitudini mai joase, iar cele târzii de la altitudini mai mari. Traian, Mănăstirea Cașin și Dolhasca au fost proveniențele timpurii, în timp ce Târgu Lăpuș și Râșca cele târzii. Deși nu a fost identificată o relație liniară semnificativă, aceleași proveniențe Dolhasca și Mănăstirea Cașin au prezentat cele mai scăzute rate de supraviețuire într-un alt studiu,

\* Autor corespondent.

Adresa de e-mail: [elena.todirica13@gmail.com](mailto:elena.todirica13@gmail.com)

---

*situație care sugerează o posibilă sensibilitate la înghețurile târzii, asociată cu mortalitatea. S-au elaborat și sumele cumulate ale temperaturilor aerului mai mari de 5 °C pentru fiecare perioadă care a precedat fenofazele individuale în studiu. În proveniențe individuale, aceste sume au fost destul de diferite, dar convergente cu rezultatele modelelor mixte în separarea proveniențelor timpurii și târzii. Cele mai mari cerințe de temperatură au fost înregistrate de proveniența Târgu Lăpuș, pentru toate fenofazele analizate, cu un nivel de grade-zi de 268 °C (calculat de la 1 ianuarie) pentru ultima fenofază observată - primele frunze desfăcute.*

---

## 1. INTRODUCERE

Atât la speciile de foioase, cât și la cele de rășinoase, fenofazele legate de înmugurire și înfrunzire ale speciilor de arbori din zona temperată prezintă un determinism genetic ridicat, cu o eritabilitate ridicată [1].

Studiile în culturi de proveniențe, în care populațiile din mai multe zone sunt crescute într-un mediu comun, sunt cea mai eficientă metodă de testare a variației genetice în cadrul unei specii. De la primele astfel de experimente cu fag, efectuate în Germania la sfârșitul anilor 1800, numeroase culturi de proveniențe naționale și internaționale s-au instalat în diferite țări europene [2]. Pe lângă faptul că au o istorie lungă în silvicultură [3], testele de proveniențe demonstrează performanțele diferențiate între populațiile cu diferite origini geografice [4,5].

Fagul este cea mai importantă specie ca suprafață din România, unde atinge limita estică a arealului și ocupă 31% din întregul fond forestier, cu o suprafață de 2,12 milioane ha și o distribuție altitudinală cuprinsă între 200 și 1600 m. Fagul este o specie adaptată la valori moderate de temperatură, iar în România nivelul altitudinal optim este între 600 m și 1200 m [6]. Principalul factor limitativ pentru pădurile de fag situate la altitudini joase este temperatura înregistrată în perioada de vegetație, asociată și cu o reducere a precipitațiilor [7]. În România, fagul crește într-o mare varietate de asociații forestiere, din zonele joase până în munții înalți.

Fagul poate tolera condiții foarte reci în timpul iernii, dar este sensibil la evenimentele de îngheț târziu după apariția frunzelor [5]. În acest sens, întârzierea înmuguririi *in situ* în concordanță cu un gradient altitudinal poate fi văzută ca o măsură de protejare împotriva înghețurilor târzii [8,9]. Schimbări ale comportamentului fenologic, la schimbări reduse ale climatului, se pot declanșa mai curând la altitudini mai ridicate decât la altitudini mai joase [10]. Momentul apariției înghețurilor târzii este unul dintre acestea, cel mai vătămător mai ales după crăparea mugurilor, deoarece după aceea, odată cu apariția frunzelor se pare că crește și toleranța la îngheț [5].

Desfacerea întârziată a frunzelor este o adaptare generală împotriva evenimentelor de îngheț târziu, iar în general, desfacerea frunzelor la fag este strâns legată de sumele gradelor de temperatură ale iernii târzii și primăverii [4]. [5] au arătat că proveniențele din partea de est și sud-

est a intervalului de distribuție naturală tind să își desfășureze frunzele mai devreme decât proveniențele din partea de vest a intervalului în ceea ce privește sumele gradelor de temperatură.

Cerințele referitoare la apariția fenofazelor arborilor depind de îndeplinirea unei sume cumulative de temperaturi, momentul declanșării fenofazelor de primăvară fiind în legătură cu momentul în care sunt depășite anumite limite de temperatură [11]. Acumulările de grade-zile (GDD) sunt adesea presupuse a fi eficiente în a prezice desfășurarea fenofazelor arborilor în condițiile climatice actuale. Compararea performanței a două metode (modelele statistice și metoda GDD) în predicția variației fenofazelor de primăvară oferă perspective similare asupra proceselor care stau la baza variabilității fenologice [12].

Folosirea modelelor de sumă de temperaturi corespunzătoare crăpării mugurilor permite evaluarea influenței temperaturii asupra dezvoltării mugurilor arborilor originari din diferite locații. Populațiile cu înmugurire timpurie sunt susceptibile de a-și devansa și mai mult fenologia, ceea ce poate conduce, de asemenea, la o și mai mare susceptibilitate la înghețurile de primăvară; în acest sens, previziunile privind fluctuațiile mari de temperatură din viitor ar putea fi cuantificabile în costuri pe termen lung ale daunelor cauzate de îngheț asupra arborilor, care ar putea depăși beneficiile creșterii timpurii în unele proveniențe [9].

Scopul lucrării a fost de a analiza comportamentul fenologic al proveniențelor testate și de a determina, pe baza unui număr mare de proveniențe, dacă populațiile de fag românești răspund fenologic în mod diferit și pot fi identificate proveniențe tardive sau precoce în funcție de producerea fenofazelor. De asemenea, s-au determinat necesarul de acumulări de temperatură corespunzătoare producerii fenofazelor analizate. Observațiile sunt importante în cazul transferului unor populații în locații unde există un pericol cunoscut de vătămare prin îngheț. La selectarea materialelor de reproducere forestiere adecvate contextelor climatice viitoare este necesar să se țină cont de comparațiile privind fenologia populațiilor din diferite condiții staționale, care ne pot ajuta să obținem o mai bună înțelegere a mecanismelor ce stau la baza diferențelor de performanță ale acestora [9].

## 2. MATERIALE ȘI METODE

Cultura comparativă de proveniențe Tomnatic (47° 43', 25° 26'), a fost instalată la o altitudine de 880 m, fiind testate 65 de familii (un singur arbore mamă ca sursă de semințe), aparținând unui număr de 12 populații (proveniențe). Schema experimentală a fost un bloc complet randomizat cu trei repetiții, fiecare parcelă unitară constând din 9 exemplare (3 x 3) la o schemă de plantare de 2 x 2 metri; în total, au fost 80 de parcele în fiecare repetiție; în total, s-au observat 1258 de puieți. Mai multe detalii cu privire la cultura de proveniențe Tomnatic în [13].

Observațiile fenologice au fost efectuate la un interval de 5 zile în intervalul aprilie-mai 2023 evaluându-se șase stadii, conform clasificării BBCH [14]: 00 - muguri dorminzi închiși, 01 - muguri umflați și elongați, 07 - debutul crăpării mugurilor, 09 - muguri cu vârfuri verzi (10 mm), 10n - primele frunze separate și 11 - primele frunze desfăcute. (Figura 1)

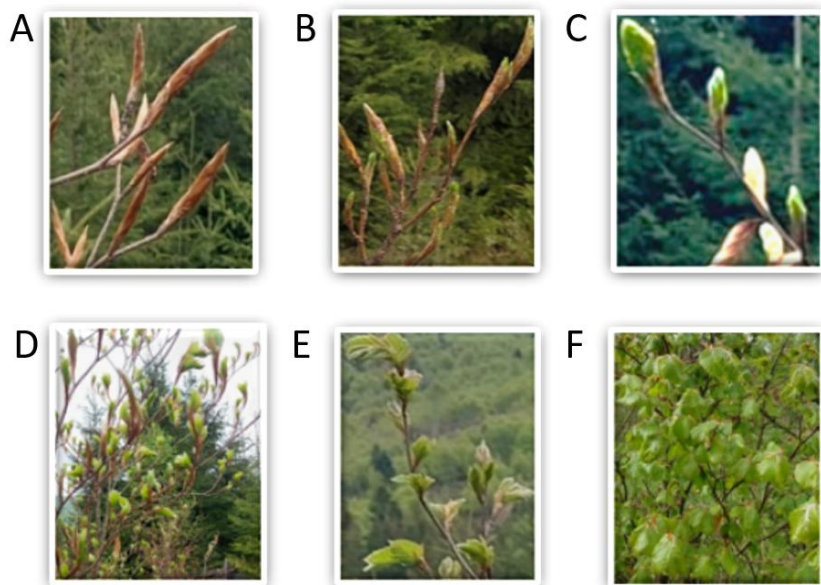


Fig. 1. Descrierea fenofazelor evaluate (corespondența dintre codul imaginii și codul BBCH A-00; B-01; C-07; D-09; E-10n; F-11)

Modelul cu efecte mixte folosit pentru a analiza caracteristicile fenologice a fost:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + P_j + \varepsilon_{ij}$$

unde:  $Y_{ij}$  este valoarea populației  $j(P)$  din repetiția  $i(R)$ ,  $R$  este efectul fix al repetiției,  $P$  este efectul random ale populației (provenienței).

Suma temperaturii de grade-zile de la 1 ianuarie a fost folosită ca indicator biologic semnificativ pentru perioada până la producerea fenofazei. Pentru estimarea necesarului de căldură pentru producerea fenofazelor, s-au calculat acumulările de grade-zile până la producerea fiecărei fenofaze per individ, valorile fiind apoi agregate ca valori medii, pentru a afla necesarul mediu de temperatură pentru producerea unei fenofaze la nivel de proveniență. Calculul gradelor-zile s-a realizat prin metoda propusă de [15], unde s-a folosit ca temperatură de bază temperatura de 5 °C. Datele climatice folosite au fost datele zilnice E-OBS [16], la o rezoluție spațială de 0.1°. Chiar dacă pot exista diferențe între datele spațiale și cele produse de stații meteorologice la nivelul aceluiași pixel [17], pentru zona de studiu s-au găsit corelații ridicate între datele E-OBS și cele furnizate de o stație meteo din apropiere [18], astfel încât s-a considerat că datele E-OBS sunt corespunzătoare folosirii în estimarea acumulărilor grade-zile.

### 3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Întreg procesul fenologic de apariție a fenofazelor observate a avut o durată de 26 de zile, desfășurându-se între data de 2.V.2023 (ziua iuliana 122) și 28.V.2023 (ziua iuliană 148) (**Tabelul 1**).

**Teodosiu et al.: Variabilitatea fenologică ...**

În medie, crăparea mugurilor a avut loc la 9 zile de la prima înregistrare a mugurilor dorminzi închiși, iar primele frunze separate la 12 zile de la aceeași fenofază; primele frunze s-au desfăcut la 15 zile de la observarea mugurilor dorminzi închiși.

**Tabelul 1. Statisticile fenofazelor analizate**

| Fenofaza                           | Media (ZI) | Minima (ZI) | Maxima (ZI) |
|------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| 00 Muguri dorminzi închiși         | 126        | 122         | 136         |
| 01 Muguri umflați și elongați      | 131        | 129         | 140         |
| 07 Debutul crăpării mugurilor      | 135        | 129         | 144         |
| 09 Muguri cu vârfuri verzi (10 mm) | 136        | 129         | 144         |
| 10n Primele frunze separate        | 138        | 129         | 144         |
| 11 Primele frunze desfăcute        | 141        | 132         | 148         |

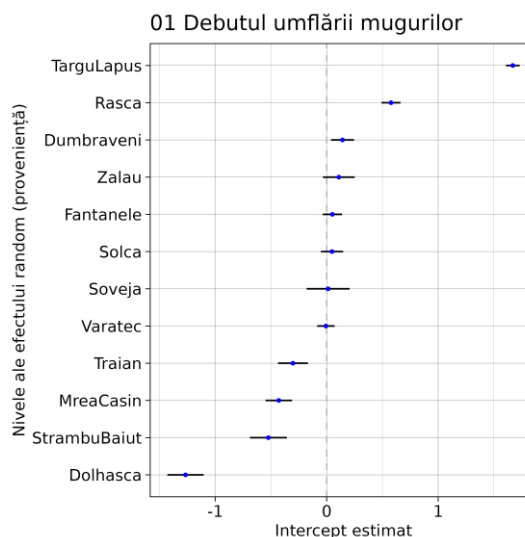
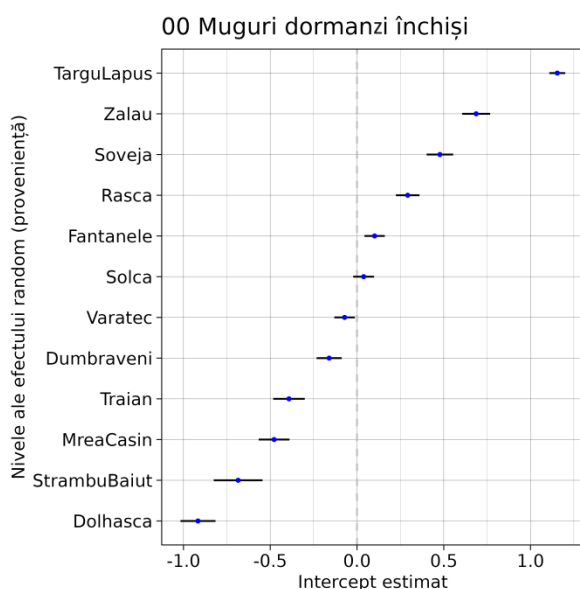
În cadrul proveniențelor analizate, amplitudinea fenofazei muguri dorminzi închiși a fost de 14 zile, cea a fenofazei muguri umflați și elongați de 11 zile, în timp ce crăparea mugurilor, apariția mugurilor cu vârfuri verzi și separarea primelor frunze au durat 15 zile. Ultima fenofază, desfacerea primelor frunze, a durat 16 zile. Valorile variabilității (amplitudinii) fenofazelor sunt mai mici decât cele găsite în populații naturale de fag de [11] și, în cazul studiului nostru, nici fenofaza identificată de autoarele citate – crăparea mugurilor – nu a prezentat cea mai ridicată variabilitate, ci fenofaza asociată desfacerii primelor frunze.

Diferențierea proveniențelor în funcție efectele random ale fenofazelor modelate (**Figura 2**) ne indică faptul că în cazul mugurilor dorminzi închiși, cele mai precoce proveniențe sunt Dolhasca, Strâmbu Băiuț, M-rea Cașin și Traian, iar cele mai tardive Târgu Lăpuș, Zalău și Soveja. Aceleași cele mai precoce proveniențe se întâlnesc și în cazul fenofazei debutul umflării mugurilor, cu cele mai tardive Târgu Lăpuș și Râșca. La fenofaza debutul crăpării mugurilor, proveniențele M-rea Cașin, Traian și Dolhasca au fost cele mai precoce, în timp ce Târgu Lăpuș, Zalău și Râșca cele mai tardive. În cazul fenofazei muguri cu varfuri verzi, Dolhasca, Strâmbu Băiuț, M-rea Cașin și Traian au fost cele mai precoce proveniențe, iar Târgu Lăpuș și Râșca cele mai tardive. Primele frunze separate s-au produs cel mai devreme în proveniențele Traian, Dolhasca și M-rea Cașin, iar cel mai târziu în proveniențele Târgu Lăpuș și Râșca. Cele mai precoce proveniențe ale fenofazei primele frunze desfăcute au fost Traian și M-rea Cașin, iar cele mai tardive Târgu Lăpuș și Strâmbu Băiuț.

Proveniențele Traian și M-rea Cașin au figurat între cele precoce în cazul tuturor fenofazelor, alături de Dolhasca (5 din 6 fenofaze). Cea mai tardivă proveniență, de asemenea prezentă în toate fenofazele, a fost Târgu Lăpuș, împreună cu Râșca (4 din 6 fenofaze) și Strâmbu Băiuț (1 fenofază). Proveniențele enumerate respectă criteriul altitudinal, cu Traian și M-rea Cașin fiind cele mai joase proveniențe (altitudine 376 m, respectiv 576 m), iar cu Dolhasca (altitudine 411 m) amplasată cu peste 400 m mai jos decât cultura de proveniențe (880 m altitudine) în care s-au

efectuat observațiile fenologice. Proveniențele tardive, din toate cele studiate, Târgu Lăpuș, Râșca și Strâmbu Băiuț (altitudine de 786 m, 799 m, respectiv 829 m) sunt amplasate la cea mai mare altitudine. Aceste rezultate le contrazic pe cele obținute de [4], referitor la fenologia de primăvară la 158 de proveniențe din toată Europa, în care la proveniențele de la altitudine mare fenofazele au loc mai devreme decât la proveniențele de la altitudini mai joase, însă sunt în acord cu rezultatele lui [9] și ale [2], care au constatat legături cu altitudinea ale fenofazelor înmuguririi, chiar dacă nu liniare. Mai trebuie menționat că și în studiul [4] zona Târgu Lăpuș-Strâmbu Băiuț figurează ca fiind tardivă.

Prima vulnerabilitate pe care o pot manifesta proveniențele precoc este sensibilitatea la îngheț, care este importantă la fag. Chiar dacă nu s-a reflectat prin corelație liniară semnificativă între ratele de supraviețuire per proveniență și data medie de producere a fenofazei, merită amintit faptul că proveniențele Dolhasca și Mănăstirea Cașin, cele mai precoc în producerea fenofazelor, au înregistrat și cea mai redusă rată de supraviețuire în raport cu celelalte proveniențe (46,8%, respectiv 46%) [13]. [4] arată că o proveniență frecvent afectată de înghețurile târzii este una care nu este probabil adaptată condițiilor locului de testare. Prin urmare, aceasta ar putea sugera că dacă vătămările provocate de îngheț sunt suficient de severe, atunci pot fi luate în considerare atunci când se realizează o analiză a mortalității proveniențelor [9]. Și [2] arată că momentul crăpării mugurilor poate avea o influență asupra supraviețuirii și a performanței de creștere.



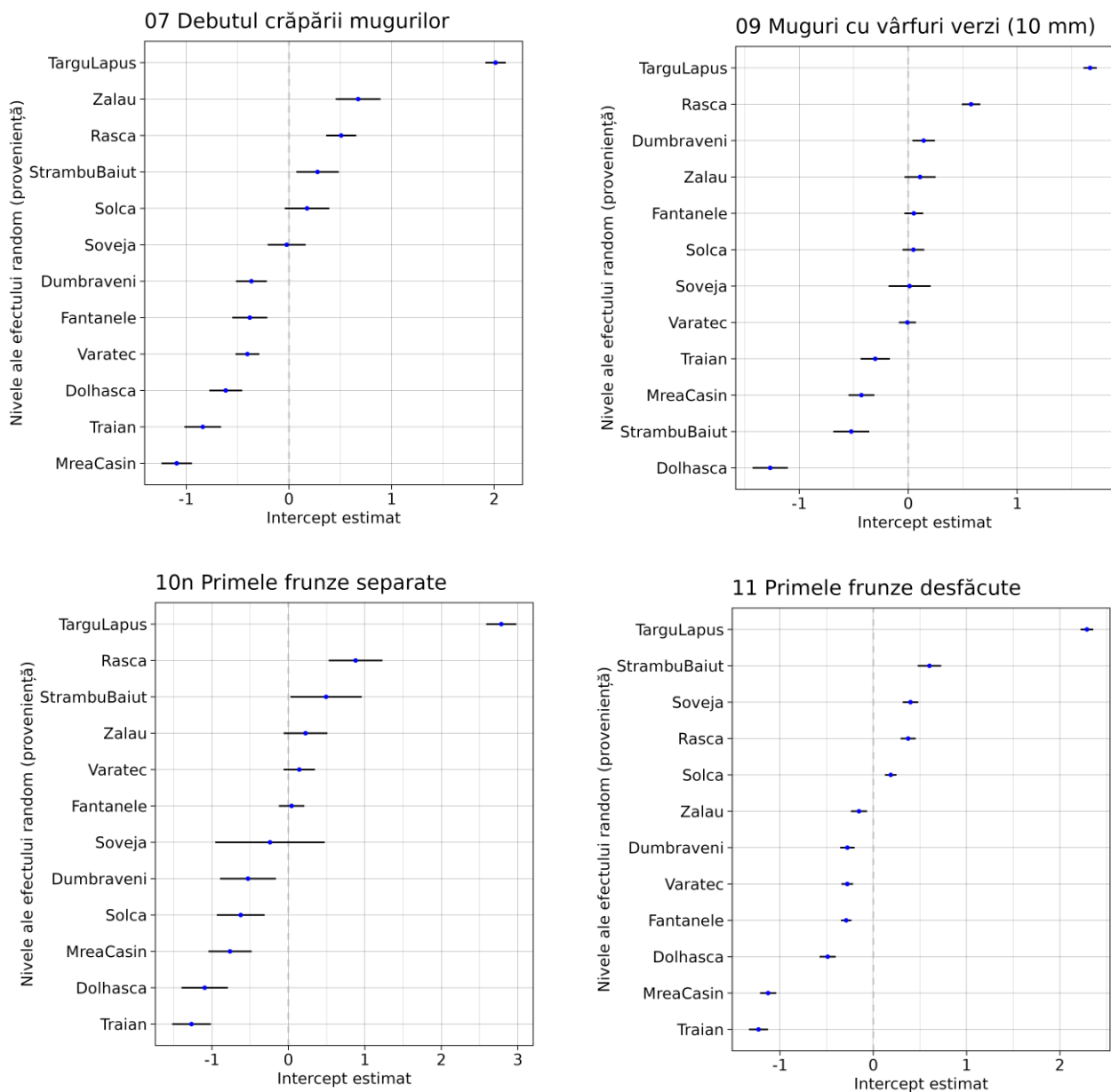


Fig. 2. Diferențierea proveniențelor pe baza modelelor fenofazelor analizate

Un aspect important îl constituie și regimul climatic al stațiunii culturii de proveniențe, care poate favoriza anumite proveniențe în defavoarea altora. [2] au concluzionat, într-un experiment similar, că proveniențele cu o înmugurire precoce au o mai bună supraviețuire și arbori mai mari, similar cu faptul că acestea beneficiază de climatul mai blând, lipsit de geruri și cresc mai rapid decât cele obișnuite să înmugurească mai târziu și își prelungesc sezonul lor de vegetație.

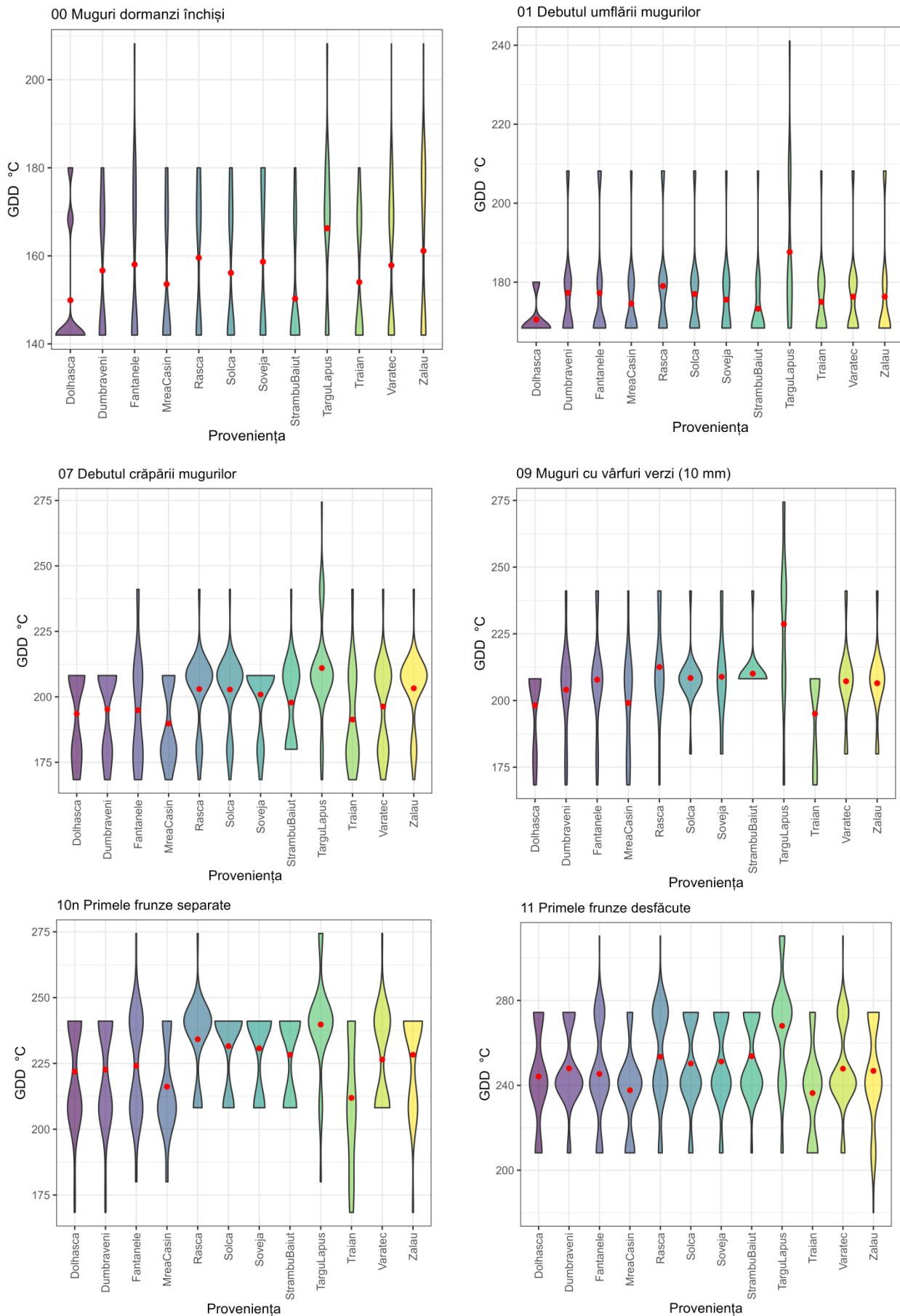
Cele mai scăzute cerințe de grade-zile pentru fenofaza mugurii dormanți închisi sunt ale proveniențelor Dolhasca și Strâmbu Băiut (150 °C), iar cele mai ridicate sunt la proveniența Târgu Lăpuș (166 °C) (Figura 3). Debutul umflării mugurilor are loc cel mai devreme la Dolhasca,

Mănăstirea Cașin și Strâmbu Băiuț (170-175 °C), iar cel mai târziu la Târgu Lăpuș (188 °C). Cele mai reduse acumulări de temperatură la debutul crăpării mugurilor se înregistrează la proveniențele Mănăstirea Cașin și Traian (188-190 °C), iar cele mai ridicate la Târgu Lăpuș (211 °C). În cazul fenofazei care observă mugurii cu vârfuri verzi, cele mai reduse acumulări de grade-zile se înregistrează la Traian, Dolhasca și Mănăstirea Cașin (195-199 °C), iar cea mai ridicată, din nou, la Târgu Lăpuș (228 °C). Cel mai repede apar primele frunze desfăcute la Traian și Mănăstirea Cașin (acumulări de 211-215 °C), cu cea mai întârziată la Târgu Lăpuș (acumulări de 239 °C). În cazul ultimei fenofaze, primele frunze desfăcute, variabilitatea este mai redusă, cu cele mai reduse cerințe de temperatură la proveniențele Traian și Mănăstirea Cașin (236-238 °C) și cea mai ridicată, din nou, proveniența Târgu Lăpuș (268 °C). Datele comparative publicate de [11] pentru crăparea mugurilor, înregistrate în perioada 2005-2010, ne indică o valoare medie apropiată de cea de la Târgu Lăpuș (216.8 °C), cu minime și maxime între 131.8 °C și 263.4 °C.

Din analiza cerințelor de temperatură ale fiecărei fenofaze la nivel de proveniență a reieșit că cele mai ridicate cerințe le înregistrează proveniența Târgu Lăpuș, pentru toate fenofazele analizate, cu un nivel de grade-zile de 268 °C (calculat de la 1 ianuarie) pentru ultima fenofază observată (primele frunze desfăcute). În mod așteptat, rezultatul este similar cu cele obținute din modelarea fenofazelor, unde Târgu Lăpuș s-a diferențiat ca cea mai tardivă proveniență pentru toate fenofazele observate.

## 5. CONCLUZII

Rezultatele au arătat că durata perioadei fenologice de primăvară a fost de 26 de zile, în timp ce variabilitatea fiecărei fenofaze a fost între 11 și 16 zile. Producerea fenofazelor de primăvară (înmugurire, înfrunzire) se diferențiază, între proveniențele analizate, în precoce și tardive în raport cu altitudinea locului de proveniență, cele precoce fiind cele originare de la altitudini mai mici, iar cele tardive de la altitudini mai ridicate. Traian, Mănăstirea Cașin și Dolhasca au fost cele mai precoce proveniențe, în timp ce Târgu Lăpuș și Râșca cele mai tardive. Deși nu s-a identificat o relație liniară semnificativă, merită amintit faptul că aceleași proveniențe Dolhasca și Mănăstirea Cașin au prezentat cele mai reduse rate de supraviețuire într-un alt studiu, o situație ce sugerează



**Figura 3. Acumulările de grade-zile (GDD) necesare producerii fenofazelor la nivel de proveniență; punctele roșii sunt mediile valorilor**

sensibilitate la înghețurile târzii și la consecințele acestora. Acumulările de grade-zile la nivel de proveniență au diferențiat proveniențele în mod similar modelelor mixte, cu o ierarhizare asemănătoare a proveniențelor în precoce și tardive. Cele mai ridicate cerințe de temperatură le înregistrează proveniența Târgu Lăpuș, pentru toate fenofazele analizate, cu un nivel de grade-zile de 268 °C (calculat de la 1 ianuarie) pentru ultima fenofază observată - primele frunze desfăcute.

## FINANȚARE

Cercetările s-au desfășurat în baza proiectului de cercetare științifică în baze experimentale proprii ale INCDS "Marin Drăcea", P10/2022, *Evaluarea și monitorizarea culturilor comparative de descendențe materne și de proveniențe de fag instalate în cadrul Bazelor Experimentale ale INCDS*.

## CONFLICT DE INTERESE

Autoarele nu declară niciun conflict de interese.

## REZUMAT EXTINS

**Title in English: Phenological variability of phenophases in beech provenances from Romania**

**Abstract:** The bud burst and leaf flushing phenophases of the trees species from the temperate zone present a higher genetic determinism, with a higher heritability. This study observed the spring phenology in six phenophases of 12 provenances from a trial located in the Eastern Carpathians. The length of the spring phenological period was of 26 days, while the variability of each phenophase was between 11 and 16 days. The mixed effects models of the phenophase day of the year (DOY) indicated that the timing of the spring phenophases (budding, leafing) is differentiated into early and late provenances in relation to the altitude of the place of origin, the early ones being those originating from lower altitudes, and the late ones from higher altitudes. Traian, Mănăstirea Cașin and Dolhasca were the early provenances, while Târgu Lăpuș and Râșca the late. Although no significant linear relationship was identified, the same provenances Dolhasca and Mănăstirea Cașin presented the lowest survival rates in another study, a situation that suggests possible sensitivity to late frosts, associated with mortality. The authors elaborated cumulative sums of air temperatures higher than 5 °C for each period that preceded individual phenophases under study. In individual provenances, these sums were rather different, but convergent with the results of mixed models in separating early and late provenances. The highest temperature requirements were recorded by Târgu Lăpuș provenance, for all analyzed phenophases, with a level of degree-days of 268 oC (calculated from January 1st) for the last observed phenophase - the first leaves unfolded.

**Keywords:** phenology, spring phenophases, trial, provenances

## REFERINȚE

1. 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(9), 1853–64.
2. Chmura D.J.; Rozkowski R. 2002: Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. *Silvae Genetica* 51(2-3), 123–27.
3. Burger H. 1948: Einfluss Der Herkunft Des Samens Auf Die Eigenschaften Forstlicher Holzgewächse. VI Mitteilungen: Die Buche. *Mitteilungen Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* 25, 287–326.
4. von Wuehlisch G.; Krusche D.; Muhs H. 1995: Variation in temperature sum requirement for flushing. *Silvae Genetica* 44, 5–6.
5. Kreyling J.; Thiel D.; Nagy L.; Jentsch A.; Huber G.; Konner M.; Beierkuhnlein C. 2012: Late frost sensitivity of juvenile *Fagus sylvatica* L. differs between Southern Germany and Bulgaria and depends on preceding air temperature. *European Journal of Forest Research* 131(3), 717–25.
6. Șofletea N.; Curtu A.L. 2007: Dendrologie. Brașov, Editura Universității Transilvania Brașov.
7. Budeanu M.; Petrișan A.M.; Popescu F.; Vasile D.; Tudose N.C. 2016: The resistance of European beech (*Fagus sylvatica*) from the eastern natural limit of species to climate change. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 44 (2), 625–33.
8. Davi H.; Gillmann M.; Ibanez T.; Cailleret M.; Bontemps A.; Fady B.; Lefèvre F. 2011: Diversity of leaf unfolding dynamics among tree species: new insights from a study along an altitudinal gradient. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(12), 1504–13.
9. Robson T.M.; Rasztovits E.; Aphalo P.J.; Alia R.; Aranda I. 2013: Flushing phenology and fitness of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances from a trial in La Rioja, Spain, segregate according to their climate of origin. *Agricultural and Forest Meteorology* 180(October), 76–85.
10. Čufar K.; De Luis M.; Saz M.A.; Črepinšek Z.; Kajfež-Bogataj L. 2012: Temporal shifts in leaf phenology of beech (*Fagus sylvatica*) depend on elevation. *Trees* 26(4), 1091–1100.
11. Slovíková K.; Bednářová E. 2014: Monitoring of vegetative phenological stages in European beech (*Fagus sylvatica* L.) growing in a mixed stand. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* 62, 1109–1115.
12. Andric I.; Jazbec A.; Pintar V.; Kajba D. 2018: Modelling the timing of leaf unfolding in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) clonal seed orchard. *Šumarski List* 3–4, 137–48.
13. Ciuvăț C.; Teodosiu M.; Todirică E.A.; Botezatu A.; Tudor C.; Apostol E.N. 2024: Testarea valorii genetice a unor surse de semințe de fag (*Fagus sylvatica* L.) din România. *Revista Pădurilor* 139(2): 23–41.
14. Meier U. 1997: Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph; Berlin: Blackwell
15. Baskerville G.L.; Emin P. 1969: Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50(3), 514–17.
16. Cornes R.C.; van der Schrier G.; van den Besselaar E.J.M.; Jones P.D. 2018: An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets. *J. Geophys. Res. Atmos.* 123, 9391–9409.

17. Ma Q.; Huang J.-G.; Hänninen H.; Berninger F. 2019: Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Glob. Change. Biol.* 25, 351–360.
18. Semeniuc Fecioru A.; Teodosiu M.; Botezatu A. 2024: Climate triggers and growth effects of cold damage in silver fir (*Abies alba* Mill.) populations from Eastern Carpathians. *Trees* 38, 667–679.