

Determinismul climatic al producerii fenofazelor la specii forestiere cu serii maxime din România

M. Teodosiu

Teodosiu, M. 2015. Climatic determinism in the occurrence of phenophases for forest species with maximum time series from Romania. Bucov. For. 15(1): 31-44.

Abstract. The paper analyze the relationship between phenophase timing of different forest species and climate (large scale circulation expressed by NAO and the local climate expressed by temperatures), for 40 phenological time series between 1946-1965 and 1962-1971 from Romania. The dependencies of bud burst and flowering on temperatures were modelled also with the Dynamic Model and the Growing Degree Hours model, using the PLS regression, for two varieties (early, late) of *Castanea sativa*. The results indicated negative relationship with the NAO values for all the phenophases, the best covariable being the mean of the values for the first three winter months. The same relationship was with the temperatures, the combined delay for all the phenophases being 1.3 days/°C, with differences between phenophases (2.5 days/°C - bud burst, 2.3 days/°C - leafing and 2.1 days/°C leaf out). The growing season length increased with 5.5 days/°C. Among months, the best predictors were the mean values of April or of February-April, explaining about 55% of variability. The chilling requirements were identical between varieties (36.12±5.22 CP in bud burst and 18.29±5.92 CP in flowering), while differing in heating. Dependencies of the phenophases timing on the mean temperatures of the chilling/forcing periods indicated mixed effects of the two, excepting the bud burst of the early variety, which related only on the forcing mean temperatures.

Keywords phenology, NAO, temperature, chilling, forcing, PLS regression, *Castanea sativa*

Autor. Marius Teodosiu - Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea", Calea Bucovinei 73 bis, 725100 Câmpulung Moldovenesc, Suceava.

Manuscris primit 20 mai 2015, revizuit 15 iulie 2015, acceptat 29 august 2015, publicat online 28 septembrie 2015.

Introducere

Fenologia - "sincronizarea activităților sezonale ale plantelor și animalelor" (Walther et al. 2002) - este una dintre științele care se bucură

în prezent de un interes crescut, prin prisma determinismului climatic al producerii fenofazelor (Cleland et al. 2007). Numeroase studii au pus în evidență faptul că schimbările climatice pot fi documentate cel mai bine prin reacțiile

speciilor de plante și animale (Root et al. 2003, Parmesan și Yohe 2003), ce pot fi considerate în acest caz drept bioindicatori (Menzel et al. 2008). Prima semnalare a legăturii fenologie-climat îi aparține lui Reaumur (1735), autor și al conceptului ce face legătura între “suma temperaturilor” și producerea fenofazelor (Delpierre et al. 2015). Studiile recente au pus de asemenea în evidență această dependență de temperaturi a fenofazelor - în special a celor de primăvară (de ex. Menzel et al. 2008), majoritatea indicând o producere mai timpurie a acestora pe fondul creșterii temperaturii la nivel global.

Prin extensie, producerea fenofazelor este influențată și de circulația atmosferică la scară largă, cuantificabilă prin intermediul a diferiți indicatori, între care și indicele oscilației nord-atlantice (NAO) (Hurrell 1995, D’Odorico și Yoo 2002). NAO este definit ca diferența dintre presiunea normalizată la nivelul mării (SLP), măsurată între Gibraltar și Stykkisholmur/Reykjavik (Islanda) și a fost calculat de Jones et al. (1997) pe bază de înregistrări instrumentale începând cu anul 1821. Dependența temperaturilor și precipitațiilor din Europa de NAO este evidentă în special în timpul iernii, cel mai puternic semnal fiind observat în perioada decembrie-martie (Hurrell, 1995), interval în care și influențele temperaturilor asupra fenofazelor de primăvară sunt cele mai puternice.

În ciuda faptului că producerea mai timpurie a fenofazelor de primăvară odată cu creșterea temperaturii este una unanim acceptată, studii recente au identificat și specii de plante insensibile la temperaturi sau ale căror fenofaze se produc în mod constant întârziat (Cook et al. 2012). Aceste reacții au fost puse pe seama mecanismelor complexe ce au loc în perioadele anterioare producerii fenofazei, în timpul repaosului vegetativ (dormanței) (Delpierre et al. 2015). Este cunoscut faptul că, de la formare și până la deschidere (producerea fenofazei) mugurii trec prin mai multe etape ale dormanței (Lang et al. 1987), dinamica lor fiind reglată, între altele, de temperatură și de fotoperioadă.

Unul dintre momentele importante - ieșirea din dormanță, are loc după îndeplinirea unor cerințe de frig în timpul fazei de răcire, în timp ce producerea fenofazei are loc după îndeplinirea și a unor cerințe de căldură în timpul fazei de forțare, ambele fiind cuantificabile prin durată și prin acumulările de temperaturi (Luedeling 2012). La acest nivel, influența temperaturilor nu mai funcționează doar în sensul amintit anterior, ci este dependentă de fază: creșterea temperaturilor în timpul fazei de frig poate conduce la o întârziere a producerii fenofazei, printr-o întârziere a finalizării acumulărilor necesare, în timp ce o producere mai timpurie poate fi determinată doar de o încălzire produsă în timpul perioadei de forțare (Guo et al. 2015, Luedeling și Gassner 2012).

Pentru cuantificarea comportamentelor descrise mai sus au fost dezvoltate numeroase modele, atât pentru arbori, cât și pentru pomii fructiferi (de ex. Chuine et al. 1999, Luedeling și Brown 2011). Metodele de determinare a cerințelor de răcire și forțare, pentru care sunt necesare valori zilnice (sau orare) ale temperaturilor - considerate mai apropiate de fiziologia plantelor (Gordo și Sanz 2010) - au fost recent completate prin utilizarea regresiei PLS (Luedeling și Gassner 2012). Regresia parțială a celor mai mici pătrate sau regresia PLS (abreviere după *partial least squares* sau după denumirea alternativă din lb. engleză “proiecție a structurilor latente”) este un tip de regresie multivariată dezvoltată în țările nordice, prezentată pentru prima dată în lucrarea lui Herman Wold (Wold 1966). Aceasta a fost aplicată ulterior în economie și în științele sociale (Wold 1975, 2001) și a devenit populară prin aplicațiile de calcul din chimie (Abdi și Williams 2013, Wold et al. 2001). Regresia PLS reprezintă o alternativă la regresia multiplă în condițiile unui număr redus de observații și atunci când există numeroase variabile predictor între care poate exista corelație, cum este și cazul valorilor climatice zilnice utilizate în explicarea variabilității seriilor fenologice.

Producerea fenofazelor, dar și relațiile acestora cu temperatura prezintă eterogenitate

spațială, ceea ce determină comportamente diferite ale speciilor din diferite regiuni ale Europei, cum ar fi între zonele estică și vestică (Menzel et al. 2005). La nivel continental, trendurile generale ale producerii fenofazelor urmează o direcție SSV-NNE (Menzel et al. 2005), pentru SE Europei sunt menționate tenduri negative ale temperaturii (Chmielewski și Rötzer 2001), sau o lipsă de reacție a colorării (mai timpurii) a frunzelor la temperaturile mai ridicate din Rusia-Belarus și Rusia-Ucraina (Menzel et al. 2006). Una dintre zonele pentru care informațiile legate de fenologie sunt încă rare este sud-estul Europei (de ex. Chmielewski și Rötzer 2001), între explicațiile posibile numărându-se și cea legată de existența seriilor de observații la sol. Ca exemplu local, comparativ cu seriile fenologice multisekulare sau multidecadale existente la nivel mondial - precum cele din bazele de date ale serviciilor de meteorologie naționale (Germania, Austria) - seriile speciilor forestiere românești nu ating două decenii, ceea ce constituie un factor limitativ major în ceea ce privește posibilitățile de analiză. Dacă pentru speciile agricole și pomicole programul de agrometeorologie al A.N.M. a asigurat desfășurarea de observații continue la scară națională (Teodosiu și Mateescu 2004), cele mai notabile rezultate referitoare la fenologia speciilor forestiere din România se leagă de perioada 1946-1965, când observațiile s-au desfășurat la nivelul întregii țări (Tomescu 1957, 1967). Între încercările recente de reluare a observațiilor fenologice la specii forestiere se menționează cele efectuate la scară largă în rețeaua FENOFOR, iar la nivel punctual, cele din cadrul rețelei de monitoring de nivel II (Teodosiu et al. 2005).

Studiul de față vine să completeze lipsa informațiilor referitoare la relația fenofaze-climat pentru România, dar să și detalieze mecanismele de bază implicate în producerea fenofazelor de primăvară (Guo et al. 2014, Luedeling et al. 2013b). Scopul lucrării îl constituie analiza dependenței de climat a producerii fenofazelor la diferite specii forestiere, atât în relație cu circulația atmosferică

la scară largă (determinanții continentali/regionali reprezentați prin NAO), cât cu climatul local (temperatura) al stațiunii fenologice (analiza I). Evaluarea cerințelor specifice de răcire și căldură prin intermediul unor modele fenologice, respectiv a reacției fenofazelor la temperaturile zilnice din perioada a două faze ale dormanței sunt prezentate printr-un studiu de caz, aplicat la fenofazele de primăvară ale castanului comestibil (*Castanea sativa* Mill.) (analiza II).

Material și metodă

Date fenologice și climatice

Dintre seriile fenologice publicate în literatura de specialitate românească, cele mai lungi sunt cele disponibile în sintezele observațiilor efectuate la nivel național în perioadele 1949-1955 și 1956-1965 (Tomescu 1957, 1967), precum și în perioada 1962-1971 la castan (*Castanea sativa*) (la Baia Mare, la exemplare precoce - P și tardive - T) (Bud 1973). În studiul de față, au fost analizate în total 40 de serii provenind din 9 stațiuni fenologice, corespunzătoare unui număr de 6 fenofaze (înmugurire, înfrunzire, înflorire, coacerea semințelor, colorarea, respectiv căderea frunzelor) de la 13 de specii de arbori și arbuși forestieri (detalii în secțiunea A – Material suplimentar). În lucrare, pentru comparabilitate cu literatura străină, fenofazele sunt prezentate și codificate, conform clasificării BBCH (Biologische Bundesanstalt Bundes-sortenamt and Chemical Industry)(Hack et al. 1992), care standardizează stadiile fenologice de creștere pentru toate speciile de plante, mono- și dicotiledonate.

Setul de date climatice a inclus valorile lunare ale indicelui NAO și ale temperaturilor medii (analiza I), precum și valorile minime, respectiv maxime ale temperaturilor zilnice de la stația Baia Mare (analiza II). Valorile istorice utilizate ale indicelui NAO au fost cele publicate de Climatic Research Unit (CRU) – Universitatea East Anglia (Jones et al. 1997)

Tablelul 1 Caracteristici ale stațiunilor fenologice asociate seriilor analizate

Stațiune fenologică	Latitudine N	Logitudine E	Altitudine (m)	Expoziție	Stație meteo
Arboretum Bazoș (Bz)	45° 46'	21° 15'	90	Teren plan	Timișoara
Arboretumul Hemeiuș (Hm)	46° 34'	26° 55'	200	Teren plan	Bacău
Arboretumul Mihăești (Mh)	45° 17'	25° 02'	430	Teren plan	Fundata
Baia Mare (Bm)	-	-	-	-	Baia Mare
Noroieni Odoreu (No)	47° 48'	22° 53'	120	Teren plan	Baia Mare
Sinaia - Plaiul Peleş (S1)	45° 21'	25° 33'	930	NNE	Vârful Omu
Sinaia - Piatra Arsă (S2)	45° 21'	25° 33'	930	NE	Vârful Omu
Sinaia - Piatra Arsă (S3)	45° 21'	25° 33'	930, 1020	E	Vârful Omu
Snagov (Sn)	44° 41'	26° 05'	100	Teren plan	Băneasa

Notă. Pentru stațiunile fenologice de la Baia Mare nu au fost disponibile informații referitoare la localizare.

(Web: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao>). În cazul temperaturilor, datele au provenit de la stația meteorologică cea mai apropiată de stațiunea fenologică (tabelul 1). Valorile zilnice maxime și minime ale temperaturilor au fost extrase din baza de date a European Climate Assessment & Dataset (<http://eca.knmi.nl/>)(Klein Tank et al. 2002).

Analiza datelor

Influența indicelui NAO și a temperaturilor. Relația dintre producerea fenofazei și factorii climatici (NAO, temperaturi) a fost analizată prin intermediul regresiei liniare simple. Deoarece seriile existente au prezentat lungimi variabile, la alegerea celor utilizate în calcul s-a ținut cont de regula numărului minim de înregistrări per covariabilă cantitativă necesare într-o regresie ($n = 10$) (Harrell 2001). Ca variabile independente au fost testate valorile lunare ale indicelui oscilației nord-atlantice (NAO) sau temperaturile medii lunare, din anul anterior sau din anul producerii fenofazelor, singure sau combinate (medie mobilă de 2-3 luni). Selecția modelelor s-a bazat pe varianța explicată și pe semnificația variabilei independente (nivel ales $p < 0,05$). Pentru a elimina modelele pur statistice (fără explicație biologică), în final au fost păstrate doar cele

ale căror luni corespunzătoare covariabilelor (NAO, temperaturi) au fost cel mult similare celei în care s-a produs fenofaza.

Răspunsul fenofazelor la temperaturile din fazele de răcire și forțare. Analiza II s-a bazat pe seriile de date ale castanului comestibil de la Baia Mare. În vederea utilizării, fiecare dintre seturile de date cu temperaturi zilnice a fost verificat pentru identificarea datelor lipsă. În cazul temperaturilor maxime zilnice acestea nu au fost prezente, în schimb în seriile de temperaturi minime s-au identificat 48 de valori absente (dintr-un total de 3603), completate prin interpolare liniară. Pentru a compensa nivelul posibil scăzut de autocorelație al valorilor zilnice, acestea au fost omogenizate prin aplicarea unei medii mobile de 11 zile, seriile zilnice obținute fiind apoi utilizate pentru derivarea seriilor orare, necesare în calculul cerințelor de frig și căldură, conform cu Luedeling și Gassner (2012).

Pentru modelarea fazelor de răcire și forțare ale dormanței s-au utilizat două modele, aplicate anterior în China la o specie locală de castan (*Castanea mollissima* Blume) (Guo et al. 2014). Estimarea cerințelor de răcire s-a realizat cu ajutorul modelului dinamic (Dynamic Model - Fishman et al. 1987, prescurtat DM în continuare). DM consideră că acumularea cerințelor de frig din timpul dormanței se

realizează sub forma “porțiunilor de frig (chill portions)”, într-un proces ce include două stadii, primul reversibil, iar al doilea ireversibil (Pérez et al. 2008). Modelul utilizează drept variabile de intrare temperatura orară, sezonul de frig considerat și data de start a acumulării de frig, ecuațiile acestuia și valorile constantelor utilizate fiind disponibile în Luedeling et al. (2009a).

Cuantificarea cerințelor de căldură s-a obținut cu ajutorul modelului de creștere ore-grade (Growing Degree Hours - Anderson et al. 1986, prescurtat GDH în continuare), unul frecvent utilizat în acest scop. GDH este potrivit pentru momentul ulterior încheierii endodormanței (când s-a finalizat realizarea cerinței de frig necesare), acumularea producându-se aici în momentul când temperaturile se găsesc între o valoare de bază și una critică, cu un maxim obținut atunci când ating valoarea optimă. Valorile GDH (orare) au fost cele derivate din temperaturile zilnice orare calculate anterior. O prezentare detaliată a modelului și a ecuațiilor se găsește în Luedeling et al. (2009b).

Valorile zilnice obținute în urma aplicării modelelor DM și GDH (730 variabile, câte 365 ale fiecărui model) au fost în continuare utilizate în analiza bazată pe regresia PLS ca variabile predictor pentru cele patru serii fenologice ale castanului (înflorire și înfrunzire, ale fiecăreia dintre varietățile precoce și tardivă). Principiul de bază al regresiei PLS este acela că, pe baza relațiilor liniare dintre variabilele predictor, sunt create noi variabile (numite variabile latente, asemănător componentelor din analiza în componente principale) care furnizează cea mai bună prognoză pentru variabila/variabilele dependente. Variabilele latente sunt identificate astfel încât covarianța dintre acestea și variabila independentă este maximă, iar variabilele latente să nu fie corelate între ele (Abdi și Williams 2013). În funcție de numărul variabilelor dependente, există două variante de utilizare: PLS1 (o singură variabilă dependentă, utilizată în cazul de față) și PLS2 (mai multe).

Importanța unei variabile predictor în expli-

carea variației variabilei dependente s-a evaluat prin intermediul indicatorului VIF (variable-importance-factor), pragul utilizat fiind cel obișnuit (0,8) (Wold et al. 2001). Coeficienții modelului pot lua fie valori pozitive, fie negative, iar pentru cei cu suport VIF ($>0,8$) poate fi formulată și o explicație biologică: apariție întârziată a fenofazei în primul caz, respectiv timpurie în al doilea, pe baza dependenței de valori ridicate ale cerințelor de răcire/căldură (Luedeling și Gassner 2012). Graficele combinate ale valorilor VIP, ale coeficienților modelului și ale acumulărilor (de porțiuni de frig, conform modelului DM sau de grade-ore de creștere, conform modelului GDH) permit estimarea intervalelor probabile ce pot fi asociate perioadelor de endo- și ecodormanță caracteristice unei fenofaze/specii/stațiuni și pentru care pot fi derivate și valorile cantitative corespunzătoare.

Graficul tridimensional ce interpolatează datele producerii fenofazei în funcție de temperaturile medii din timpul perioadelor de frig și forțare indică tipul de dependență al producerii unei anumite fenofaze de una sau alta dintre aceste perioade, putând exista trei situații de dependență (Luedeling et al. 2013a): (A) doar de temperaturile din perioada de forțare, când se acumulează căldură, încălzirea fiind legată de o producere mai timpurie, situație exemplificată grafic prin linii (aproape) orizontale ale producerii fenofazelor, (B) doar de temperaturile din perioada de răcire, acumularea răcirii fiind legată de o producere mai târzie, situație exemplificată grafic prin linii (aproape) verticale ale producerii fenofazelor și (C) reacție mixtă la temperaturile din ambele faze, caracterizată grafic prin direcții oblice sau neregulate al izoliniilor (Guo et al. 2014).

Toate calculele au fost efectuate cu R (R Core Team 2015).

Rezultate

Influența circulației atmosferice la scară largă asupra producerii fenofazelor

În toate cazurile, apariția fenofazelor s-a corelat negativ cu valorile indicelui NAO; în cazul lungimii sezonului de vegetație al arțarului de la Hemeiuși, corelația a fost pozitivă (tabelul 2). Dintre fenofazele analizate, indicele a explicat cea mai mare parte din variabilitatea înmuguririi (62%) și a înfrunzirii (55%) și mai puțin din cea a înfloririi (36%).

Valorile medii lunare ale indicelui NAO din primele trei luni de iarnă constituie cel mai bun predictor la lemn câinesc, păducel și brad (tabelul 2), explicând între 68-82% din varianță, urmate de mediile ultimei luni de toamnă și a primelor două de iarnă la lemnul câinesc de la Noroieni și la bradul de la altitudine mare de la

Sinaia (55-62% din varianță). Mediile indicelui pe primele trei luni ale anului explică 51% din variabilitatea înmuguririi fagului, în timp ce doar valoarea lunii februarie pe cea a lemnului câinesc de la Hemeiuși (49%).

Media primelor trei luni de iarnă ale NAO explică cel mai frecvent înfrunzirea (salba moale și arțarul de la Hemeiuși, stejarul de la Mihăiești, arțarul de la Snagov și bradul de la Sinaia)(între 41-71% din variație) și, izolat, combinația a trei medii consecutive din noiembrie, a primelor două luni de iarnă sau doar valoarea lunii februarie. În afara bradului (din ambele stațiuni), speciile prezente în modelele înmuguririi și înfrunzirii au fost diferite.

Tabelul 2 Modele ale producerii fenofazelor în funcție de indicele NAO

Fenofază/specie	Codificare BBCH	Stațiune fenologică	N	Intercept	Pantă	Covar.	R ²	Semnif. p
Înmugurire								
<i>Ligustrum vulgare</i>	BBCH07	Sn	10	91,393	-8,141	^a DIF	0,82	0,00030
<i>Crataegus monogina</i>	BBCH07	Sn	10	95,628	-9,693	^a DIF	0,81	0,00042
<i>Crataegus monogina</i>	BBCH07	Hm	10	105,561	-4,966	^a DIF	0,70	0,00264
<i>Abies alba</i>	BBCH07	S1	10	134,448	-3,979	^a DIF	0,68	0,00348
<i>Ligustrum vulgare</i>	BBCH07	No	10	91,808	-6,513	^a N ^a DI	0,63	0,00003
<i>Abies alba</i>	BBCH07	S2	10	132,752	-4,052	^a N ^a DI	0,55	0,01432
<i>Fagus sylvatica</i>	BBCH07	S1	10	123,664	-4,860	IFM	0,51	0,02005
<i>Ligustrum vulgare</i>	BBCH07	Hm	10	102,486	-3,148	F	0,49	0,02412
Înfrunzire								
<i>Euonymus europaeus</i>	BBCH13*21*10	Hm	10	103,449	-9,908	^a DIF	0,71	0,00232
<i>Abies alba</i>	BBCH10	S2	10	146,523	-2,808	^a DI	0,55	0,01417
<i>Acer pseudoplatanus</i>	BBCH11	Hm	10	122,287	-6,254	^a DIF	0,55	0,01363
<i>Quercus robur</i>	BBCH11	Hm	10	124,873	-5,790	^a N ^a DI	0,49	0,02331
<i>Abies alba</i>	BBCH10	S1	10	148,581	-2,485	^a DIF	0,46	0,03032
<i>Acer pseudoplatanus</i>	BBCH11	Sn	10	117,380	-4,397	^a DIF	0,41	0,04623
Înflorire								
<i>Robinia pseudoacacia</i>	BBCH60*3	Sn	14	137,420	-4,019	^a DIF	0,27	0,01856
<i>Tilia tomentosa</i>	BBCH60*3	Sn	16	177,284	-2,196	FM	0,31	0,02767

Notă. Abrevierile stațiilor fenologice sunt cele din tabelul 1. Semnul ^a indică faptul că este vorba de anul anterior producerii fenofazei. Lunile corespunzătoare covariabilelor sunt codificate după prima literă, în ordinea apariției anuale; inițialele comune sunt explicitate (M₁ – mai).

În cazul înfloririi, s-au observat relații semnificative între NAO și lungimea sezonului de vegetație, atât cu unele luni de iarnă (Hemeiuși), cât și cu luna mai (Snagov).

Influența temperaturii asupra producerii fenofazelor

Cu excepția coacerii semințelor la castan, toate fenofazele s-au corelat negativ cu valorile temperaturii; excepția se aplică și lungimii sezonului de vegetație (tabelul 3). Panta medie, reprezentând întârzierea producerii fenofazei la o creștere cu un grad a temperaturii, calculată la nivelul tuturor fenofazelor, a fost de 1,3 zile, cu cele mai mari valorile înregistrate la înmugurire (2,5 zile), înfrunzire (2,3 zile) și căderea frunzelor (2,1 zile). În cazul lungimii sezonului de vegetație, creșterea a fost de 5,5 zile/°C. La nivel de specie, la înmugurire, valorile cele mai mari ale întârzierilor au fost înregistrate la fag și brad (5,1 zile, respectiv 3,2 zile), la înfrunzire la salbă moale și stejar (3,4 zile, respectiv 3,2 zile), iar la înflorire la salcâm (2,0 zile).

Variabilele explicative cel mai frecvent întâlnite în cazul înmuguririi au fost temperaturile medii din luna aprilie (în 33% din cazuri), respectiv mediile FM și FMA (22%); în cazul înfrunzirii, acestea au fost mediile temperaturilor MA în 27% din cazuri și mediile FM și FMA în 18%. În cazul înfloririi, mediile AM_i au fost prezente la jumătate dintre modele și în proporții egale mediile FMA și MAM_i (abrevieri conform tabelului 3). Lungimea sezonului de vegetație a fost influențată de valorile din intervalul martie-aprilie.

Modelele ajustate au explicat în medie 51% din variabilitatea fenofazelor, cel mai mult în cazul fenofazelor de primăvară și descreșcător în ordinea INM-IFL-IFZ (57% - înmugurire, 53% - înflorire, 51% - înfrunzire), precum și al lungimii sezonului de vegetație (53%). Pe specii, cea mai mare dependență de temperatură la înmugurire a fost la lemn cănesc, brad și păducel (între 81-85% din varianță explicată), iar la înfrunzire la stejar (stațiunea Hemeiuși, 79%).

Răspunsul fenofazelor la temperaturile din fazele de răcire și forțare

Faza de răcire de la înfrunzirea castanului precoce nu s-a individualizat foarte clar, perioada acumulărilor de frig, sugerată prin coeficienții negativi importanți (colorați în roșu) fiind combinată cu cea a coeficienților pozitivi (colorați în verde) (fig. 1). Perioada de răcire considerată a fost 9 septembrie - 13 martie, având în vedere și comparabilitatea cu studiile publicate (menționate anterior), din punct de vedere grafic individualizarea observată fiind ceva mai târzie (sfârșitul lui noiembrie). Perioada de forțare este mai clar reprezentată, între 25 decembrie și 16 mai. În cazul varietății târzii, perioada de răcire nu mai include luna septembrie, nefiind identificați coeficienți importanți pentru această perioadă în urma aplicării regresiei PLS (fig. 2), ci aceasta este cuprinsă între 3 decembrie - 13 martie. Perioada de forțare este relativ similară, încheindu-se cu două zile mai devreme (25 decembrie-14 mai).

În cazul înfloririi, perioadele de acumulare de frig (coeficienți negativi) sunt similare atât la varietatea precoce, cât și la cea tardivă (între 5 septembrie și 13 februarie), acestea fiind, de asemenea, amestecate cu valori pozitive ale coeficienților. Similaritate există și în cazul perioadei de forțare, care începe la aceeași dată pentru ambele varietăți și al cărei final diferă doar cu o zi (tabelul 4).

Indiferent de lungimea perioadelor de răcire (diferită la înfrunzire și identică la înflorire) cerințele de frig sunt similare între cele două varietați pentru ambele fenofaze, diferențe înregistrându-se doar în ceea ce privește cerințele de căldură. Sensul diferențelor nu este întotdeauna cel așteptat (mai mari la varietatea precoce), acesta regăsindu-se doar la înfrunzire și fiind inversat la înflorire. Raportat la diferențele dintre datele medii ale producerii fenofazei, în cazul înfrunzirii, unei diferențe de 12 zile îi corespund 608 GDH (51 GDH/zi), în timp ce la înflorire, la 9 zile corespund 271

Tablelul 3 Modele ale producerii fenofazelor în funcție de temperatură

Specie	Codificare BBCH	Stațiune fenologică	N	Intercept	Pantă	Covar.	R ²	Semnif. p
Înmugurire								
<i>Ligustrum vulgare</i>	BBCH07	Sn	10	115,980	-1,543	FMA	0,85	0,0001
<i>Abies alba</i>	BBCH07	S1	10	119,167	-4,533	A	0,83	0,0003
<i>Crataegus monogina</i>	BBCH07	Sn	10	101,319	-1,622	FM	0,81	0,0004
<i>Fagus sylvatica</i>	BBCH07	S1	10	106,065	-5,055	A	0,65	0,0049
<i>Quercus robur</i>	BBCH07	Sn	10	114,457	-3,246	M	0,57	0,0118
<i>Abies alba</i>	BBCH07	S2	10	125,815	-2,542	AM _i	0,54	0,0151
<i>Crataegus monogina</i>	BBCH07	Hm	10	134,388	-3,133	A	0,46	0,0300
<i>Ligustrum vulgare</i>	BBCH07	No	10	97,489	-1,326	FM	0,44	0,0016
<i>Ligustrum vulgare</i>	BBCH07	Hm	10	111,145	-1,130	FMA	0,40	0,0494
Înfrunzire								
<i>Quercus robur</i>	BBCH10	Hm	10	205,033	-3,162	MAM _i	0,79	0,0006
<i>Quercus robur</i>	BBCH10	No	10	154,068	-3,128	A	0,65	0,0047
<i>Acer pseudoplatanus</i>	BBCH10	Hm	10	126,359	-2,666	M	0,56	0,0130
<i>Euonymus europaeus</i>	BBCH13*21*10	Hm	10	126,250	-2,270	MA	0,56	0,0125
<i>Euonymus europaeus</i>	BBCH13*21*10	Bz	10	140,028	-3,381	MA	0,55	0,0142
<i>Acer pseudoplatanus</i>	BBCH10	Sn	10	121,668	-0,997	FM	0,51	0,0210
<i>Quercus robur</i>	BBCH10	Bz	10	161,515	-2,876	MA	0,49	0,0250
<i>Castanea sativa</i> (T)	BBCH10	Bm	10	140,996	-0,470	FMA	0,47	0,0297
<i>Abies alba</i>	BBCH10	S1	10	129,912	-1,033	FM	0,45	0,0350
<i>Abies alba</i>	BBCH10	S2	10	128,723	-0,832	FMA	0,44	0,0379
<i>Castanea sativa</i> (P)	BBCH10	Bm	10	122,799	-0,855	F	0,40	0,0488
Înflorire								
<i>Robinia pseudoacacia</i>	BBCH60*3	Hm	10	195,442	-2,040	AM _i	0,58	0,0104
<i>Robinia pseudoacacia</i>	BBCH60*3	Sn	14	183,142	-1,464	MAM _i	0,57	0,0001
<i>Castanea sativa</i> (P)	BBCH60*3	Bm	10	202,545	-1,522	AM _i	0,49	0,0237
<i>Tilia tomentosa</i>	BBCH60*3	Sn	16	184,698	-0,531	FMA	0,33	0,0199
Coacerea semințelor								
<i>Castanea sativa</i> (T)	BBCH86*2	Bm	10	260,861	1,390	M	0,44	0,0353
Căderea frunzelor								
<i>Castanea sativa</i> (T)	BBCH95	Bm	10	376,872	-2,067	I _i A _g	0,45	0,0337
Lungimea sezonului de vegetație								
<i>Acer pseudoplatanus</i>	-	Sn	10	140,617	5,476	M	0,66	0,0045
<i>Acer pseudoplatanus</i>	-	Hm	10	154,521	1,709	MA	0,48	0,0259
<i>Fagus sylvatica</i>	-	S1	10	164,068	6,282	A	0,45	0,0340

Notă. Abrevierile stațiilor fenologice sunt cele din tabelul 1. Covariabilele luni (covar.) sunt codificate după prima literă, în ordinea apariției anuale, iar în cazul duplicatelor, sunt explicitate (M_i - mai, I_i - iulie, A_g - august).

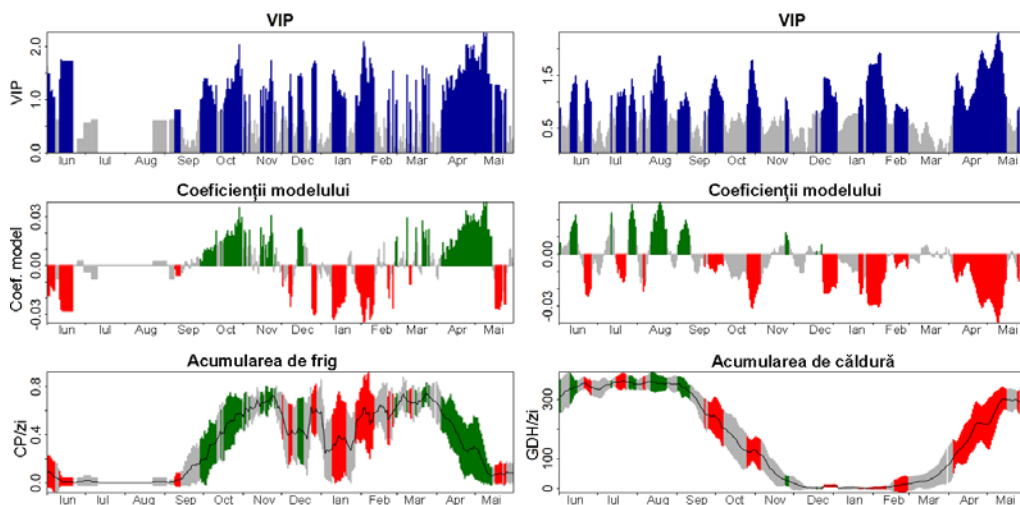


Figura 1 Rezultatele regresiei PLS pentru înfrunzirea castanului (P) la Baia Mare folosind modelul dinamic (DM, stânga) și modelul grade-ore (GDH, dreapta)

Sus: graficele importanței variabilelor în proiectie (VIP), în care barele cu albastru indică valorile VIP > 0,8 (pragul de importanță). Mijloc: coeficienții modelului, cei colorați sunt importanți (VIP > 0,8), cu roșu coeficienții negativi, cu verde cei pozitivi. Stânga-jos: acumulările zilnice de porțiuni de frig (cf. DM), dreapta jos: acumulările zilnice de căldură (cf. GDH).

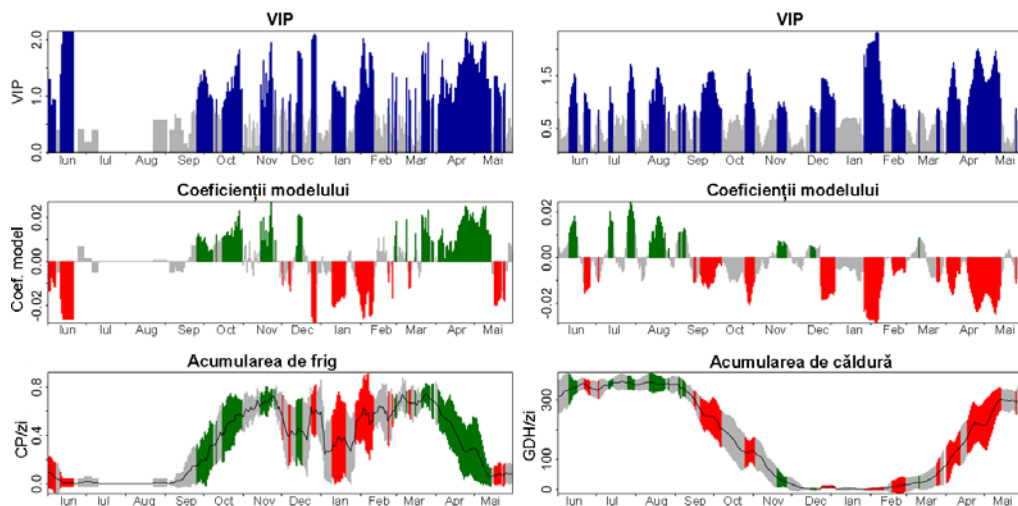


Figura 2 Rezultatele regresiei PLS pentru înfrunzirea castanului (P) la Baia Mare folosind modelul dinamic (DM, stânga) și modelul grade-ore (GDH, dreapta)

GDH (30 GHD/zi), însă în sensul acumulărilor mai mari ale variantei târzii.

Analiza dependenței producerii fenofazelor de temperaturile medii/fază a indicat diferențe între cele două varietăți pentru ambele feno-

faze studiate (secțiunea B – Material suplimentar). La înfrunzire (fig. 1), graficele indică o dependență comună de tip A (de temperaturile din perioada de forțare), mai clară în cazul varietății precoce și cu influențe mixte (C) în

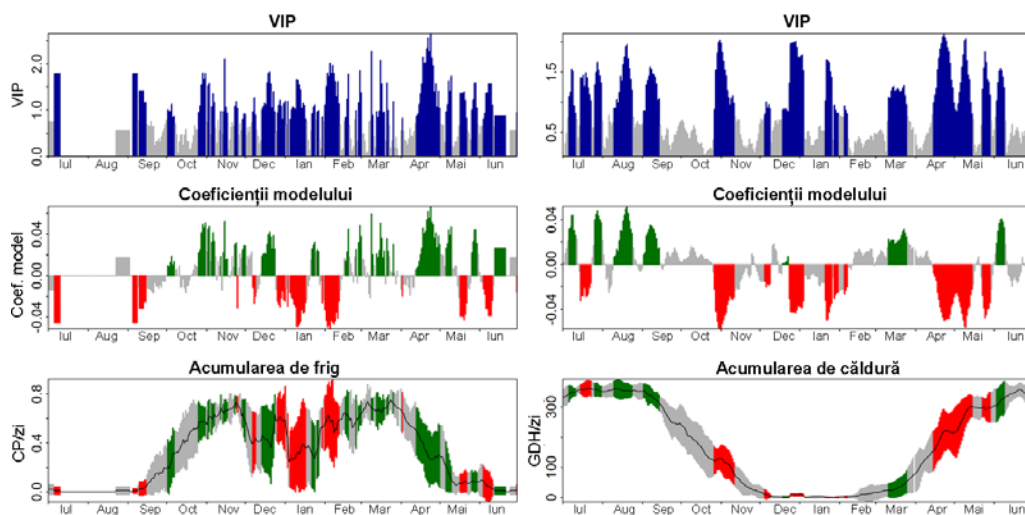


Figura 3 Rezultatele regresiei PLS pentru înflorirea castanului (P) la Baia Mare folosind modelul dinamic (DM, stânga) și modelul grade-ore (GDH, dreapta)

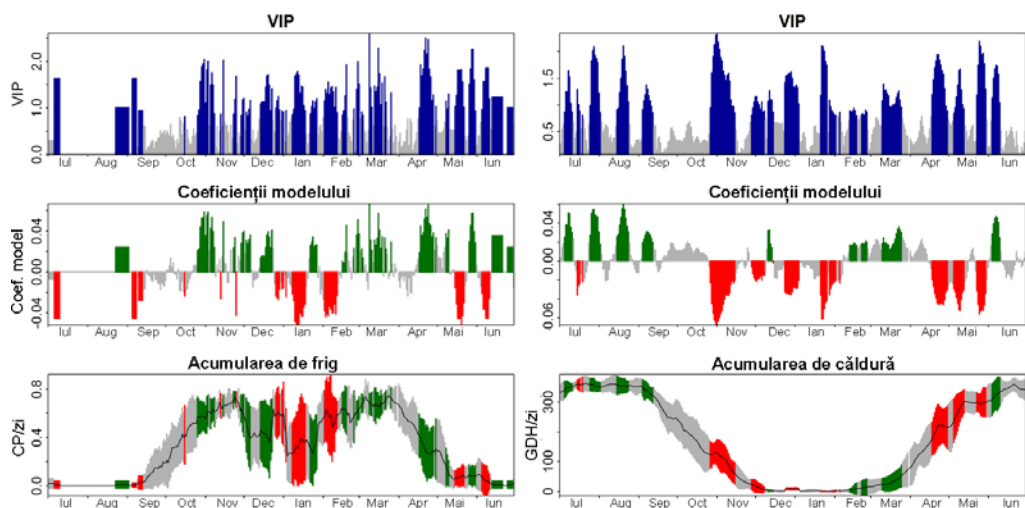


Figura 4 Rezultatele regresiei PLS pentru înflorirea castanului (P) la Baia Mare folosind modelul dinamic (DM, stânga) și modelul grade-ore (GDH, dreapta)

cazul celei târzii.

La înflorire, influența mixă (C) este prezentă la ambele varietăți, într-o formă similară înfrunzirii în cazul celei tardive și mult mai eterogenă la cele precoce, o consecință a influențelor mai importante ale perioadei de răcire (unele trenduri aproape de verticală).

Discuție

Influența circulației generale atmosferice

Analiza a pus în evidență existența unei corelații negative între producerea fenofazelor și NAO, similară unor studii anterioare (Menzel 2003).

Tabelul 4 Perioade și cerințe de răcire/căldură la castanul comestibil

Specie	Stațiune fenologică	Perioada de răcire	Cerința de răcire (CP)	Perioada de forțare	Cerința de căldură (GDH)
Înfrunzire (BBCH10)					
CP (123,5)	Bm	9 sep-13 mar	36,12±5,22	25 dec-16 mai	10356±1871
CT (134,7)	Bm	3 dec-13 mar	36,12±5,22	25 dec-14 mai	9748±1799
Înflorire (BBCH60*3)					
CP (162,2)	Bm	5 sep-13 feb	18,29±5,92	25 dec-29 mai	14520±1975
CT (170,8)	Bm	5 sep-13 feb	18,29±5,92	25 dec-30 mai	14791±1980

Notă. Codificările fenofazelor sunt cele din sistemul BBCH, iar lunile sunt abreviate după primele trei litere. Valorile următoare ± reprezintă abaterea standard.

Relații semnificative au fost observate cu valorile medii ale trei luni ale NAO (diferite în toate cazurile), diferența constituind-o lunile cu care sunt corelate fenofazele, în studiul de față fiind dominante primele trei luni de iarnă, comparativ cu alte studii, ce invocă primele trei luni din an (Aasa et al. 2004). Legătura NAO cu fenofazele de toamnă este în general una slabă (D' Odorico et al. 2002), aspect confirmat prin faptul că niciuna dintre fenofazele de toamnă nu a fost semnificativ legată de NAO (tabelul 2). Rezultatele obținute, referitoare la dependența de NAO a producerii fenofazelor, contrazic unele studii anterioare care neagă o astfel de relație pentru estul Europei, motivată de caracteristici regionale ale circulației (Aasa et al. 2004; Chmielewski și Rötzer 2001), însă perioadele diferite urmărite în studiul de față și cele invocate poate constitui o explicație.

În ciuda rezultatelor modelelor, unele la fel de performante ca cele bazate pe temperaturi (de ex. la lemn câinesc și păducel), modelarea fenofazelor pe baza acestora din urmă este considerată mai potrivită, ea ilustrând mai bine condițiile climatului local, precum și influențele reale ale climatului asupra fenofazelor, față de indicatorii ce operează la nivel de macroscară (Gordo și Sanz 2010). Luând în considerare variabilitatea temporală (incertitudinile legate de trendurile sale viitoare) și spațială (indusă de topografie) pe care o prezintă NAO (Bojariu și Giorgi 2005), utilizarea în prognoză a mo-

delor bazate pe acesta nu este recomandată.

Influența climatului local

Semnul negativ identificat al corelației dintre producerea fenofazelor de primăvară și temperaturi se înscrie în nota generală a studiilor care au operat cu metodologii similare (Menzel 2003). Valoarea medie a pantei, ca și valorile medii per fenofaze sunt mai mici (la limita minimă), de exemplu comparativ cu Germania. Valori mai mari s-au găsit doar în ceea ce privește lungimea sezonului de vegetație - 5,5 zile vs. 2,4-3,5 zile la Menzel (2003) - însă doar pe baza a trei înregistrări. Diferențele pot fi explicate și prin seriile de timp utilizate în cele două cazuri: studiul de față s-a bazat pe serii din perioada 1947-1965, una în care schimbările climatice nu deveniseră evidente (considerată drept perioada rece 1950-1970, după Parmesan și Yohe 2003), în timp ce studiul german a inclus și date din ultimele decenii, considerate mai calde. În mod așteptat, compararea importanței temperaturilor în explicarea variabilității producerii fenofazelor a furnizat rezultate similare, varianța explicată de modele încadrându-se aproximativ între aceleași limite cu cele citate de Menzel (2003).

Dintre fenofazele de toamnă, singura specie care a răspuns la temperaturi a fost castanul comestibil (varietatea tardivă), prin fenofazele coacerea semințelor și căderea frunzelor. În

ambele cazuri, covariabilele au fost comparabile cu majoritatea studiilor (tabelul 3), indicând o influență a temperaturilor din intervalul martie-mai asupra coacerii semințelor/fructelor (Gordo și Sanz 2010), de cele din perioada mai-iulie fiind legată colorarea frunzelor (Menzel 2003).

Influența temperaturilor asupra lungimii sezonului de vegetație a variat între 1,7-6,2 zile la o creștere cu un grad a temperaturii, cu diferențe mari la nivelul aceleiași specii (arțar: 1,7 zile la Hemeiuși și 5,5 zile la Snagov). Similar altor studii (Gordo și Sanz 2010), cei mai buni predictorii - temperaturile lunilor martie și aprilie, singure sau combinate - au explicat între 45-66% din varianță.

Răspunsul fenofazelor la temperaturile din fazele de răcire și forțare

Prima observație ce rezultă din analiza II se referă la cerințele de frig identificate - similare pentru ambele fenofaze ale celor două varietăți, aspect semnalat și la alte specii (migdal) (Alonso et al. 2005). Cu toate acestea, valorile produse nu trebuie nepărat considerate fixe per specie, ci acestea constituie doar valori funcționale pentru stațiunea fenologică analizată (Luedeling et al. 2013a). Variabilitatea cerințelor de frig/căldură a fost deja semnalată în alte studii, sugerându-se posibilitatea existenței unor mecanisme compensatorii prin care, pentru aceeași fenofază, cerințe mai scăzute de răcire (îndeplinite deja) pot fi compensate ulterior prin acumulări mai mari de căldură (Harrington et al. 2010, Luedeling et al. 2013b).

Suprapunerea perioadelor de răcire în toate cazurile analizate, dar și lipsa unei delimitări fixe a acestei perioade (mai ales la înflorire), indică faptul că modelul teoretic al separării dormanței în perioade (para-, endo- și ecodormanță) (Lang et al. 1987) este unul simplist, în realitate între acestea existând interacțiuni (Delpierre et al. 2015), o posibilă explicație și pentru acumulările în faze și nu continue observate (fig. 1-4) (Guo et al. 2014).

În concordanță cu suprapunerea fazei de răcire peste cea de forțare, ce a rezultat atât din analiza curentă, dar și din altele conduse la *Castanea* sp., testarea unui model mai complex, care să considere acumulări de frig și căldură în paralel (Luedeling et al. 2013a), și eventual acumulări în trepte și nu continue în cursul perioadei de răcire (Guo et al. 2014) (observate și în cazul de față) poate constitui o opțiune mai realistă.

Chiar dacă unele studii indică perioada de forțare drept cea care determină producerea fenofazelor (Luedeling et al. 2013b), în cazul de față ipoteza a fost valabilă doar la înfrunzirea varietății prococe, în rest înregistrându-se influențe mixte, ale ambelor perioade. În cazul producerii înfloririi, situația este în concordanță cu alte studii (Guo et al. 2014). Dacă avem în vedere cerințele egale de răcire, diferența între cele două varietăți este dată în fapt de cerințele de căldură. În condițiile scenariilor referitoare la schimbări climatice, ce prognozează o creștere a temperaturilor - însoțită și de o producere mai devreme a fenofazelor - situația observată conduce la concluzia că o varietate precoce, mai influențată în ambele fenofaze de perioada de forțare - cea expusă încălzirii - dar și mai bine adaptată unui sezon de vegetație mai lung, se poate comporta în viitor mai bine decât una tardivă. Datele prezentate pot fi privite și cu o anumită circumspecție, datorită lungimii reduse a seriilor fenologice folosite în calcule, regresia PLS fiind una recunoscută pentru sensibilitatea în acest sens (Luedeling și Gassner 2012). Cu toate acestea, setul de serii utilizat este unul valoros, cel mai probabil unic pentru România, astfel că dacă informațiile cantitative rezultate nu sunt asigurate prin replicații (mai multe serii pentru aceeași specie), atunci acestea pot reprezenta praguri informative și informații asupra modului în care se desfășoară procesele fiziologice în perioada anterioară producerii fenofazelor.

Investigațiile fenologice de acest tip sunt importante în studiile predictive referitoare la reacția arborilor la schimbările de temperatură prognozate de diferitele scenarii climatice prin

aceea că oferă informații detaliate asupra mecanismelor aflate în relație cu temperaturile, atât din perioada sezonului de vegetație cât și din afara acestuia. În condițiile în care reacțiile fenologice (de ex. ale fenofazelor de primăvară) nu sunt în mod neapărat liniare, nici în relație strict inversă cu temperaturile și nici similare la nivel de specie (Cook et al. 2012), este necesară luarea în calcul a unor modele mai apropiate de realitate, care să reprezinte mai bine procesele, dar să ia în calcul și alți factori care influențează fenologia arborilor, precum fotoperioada sau umiditatea aerului (Laube et al. 2014, Way și Montgomery 2014).

Concluzii

Relația dintre producerea fenofazelor și indicele oscilației nord-atlantice (NAO) a fost în toate cazurile negativă, circulația la scară mare influențând fenofazele în ordinea înmugurire-înfrunzire-înflorire. Media primelor trei luni de iarnă explică cel mai frecvent înmugurirea, urmată de media lunilor noiembrie-decembrie-ianuarie.

În general, toate fenofazele s-au corelat negativ cu temperaturile, întârzierea la nivelul tuturor fenofazelor fiind de 1,3 zile/°C, cu valorile cele mai mari înregistrate la înmugurire (2,5 zile), înfrunzire (2,3 zile) și căderea frunzelor (2,1 zile); lungimea sezonului de vegetație a crescut cu 5,5 zile/°C. Temperaturile lunii aprilie și mediile lunilor februarie-martie-aprilie au fost cei mai buni predictorii în 55% din cazuri.

Cerințele de frig și de căldură ale celor două fenofaze analizate ale castanului comestibil au indicat valori identice de răcire pentru ambele varietăți (precoce, tardivă), dar și diferențe mai mari la înfrunzire pentru cea tardivă și în sens invers la înflorire. Dependența producerii fenofazelor de temperaturile medii/fază a indicat influențe combinate ale acestora în majoritatea cazurilor, exceptând înfrunzirea varietății precoce, unde forțarea a fost faza determinantă.

Bibliografie

- Aasa A., Jaagus J., Ahas R., Sepp M., 2004. The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe. *Int. J. Climatol.* 24: 1551–1564.
- Abdi H., Williams L.J., 2013. Partial least squares methods: partial least squares correlation and partial least square regression. In: *Computational Toxicology*. Springer, pp. 549–579.
- Alonso J.M., Ansón J.M., Espiau M.T., 2005. Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 130: 308–318.
- Anderson J.L., Richardson, C.D., Kesner, E.A., 1986. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. *Acta Hortic. ISHS* 184: 71–78.
- Bojariu R., Giorgi F., 2005. The North Atlantic Oscillation signal in a regional climate simulation for the European region. *Tellus A* 57: 641–653.
- Bud N., 1973. Sinteza unui deceniu de observații fenologice la *Castanea sativa* Mill. *Rev. Pădur.* 88: 198–205.
- Chmielewski F.-M., Rötzer T., 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agric. For. Meteorol.* 108: 101–112.
- Chuine I., Cour P., Rouseau D.D., 1999. Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implications for tree phenology modelling. *Plant Cell Environ.* 22: 1–13.
- Cook B.I., Wolkovich E.M., Parmesan C., 2012. Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109: 9000–9005.
- D'Odorico P., Yoo J.C., Jaeger S., 2002. Changing seasons: an effect of the North Atlantic Oscillation? *J. Clim.* 15: 435–445.
- Delpierre N., Vitasse Y., Chuine I., Guillemot J., Bazot S., Rathgeber C.B., 2015. Temperate and boreal forest tree phenology: from organ-scale processes to terrestrial ecosystem models. *Ann. For. Sci.* 1–21.
- Fishman S., Erez A., Couvillon G.A., 1987. The temperature dependence of dormancy breaking in plants: computer simulation of processes studied under controlled temperatures. *J. Theor. Biol.* 126: 309–321.
- Gordo O., Sanz J.J., 2010. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Glob. Change Biol.* 16: 1082–1106.
- Guo L., Dai J., Ranjitar S., Yu H., Xu J., Luedeling E., 2014. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *Int. J. Biometeorol.* 58: 1195–1206.
- Guo L., Dai J., Wang M., Xu J., Luedeling E., 2015. Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: A case study of apricot flowering in China. *Agric. For. Meteorol.* 201: 1–7.

- Hack H., Bleiholder H., Buhr L., Meier U., Schnock-Fricke U., Weber E., Witzemberger A., 1992. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler pflanzen—Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. Nachrichtenblatt Dtsch. Pflanzenschutzdienstes 44: 265–270.
- Harrell F.E., 2001. Regression modeling strategies, with applications to linear models, survival analysis and logistic regression. Springer, 572 p.
- Harrington C.A., Gould P.J., Clair J.B.S., 2010. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir. *For. Ecol. Manag.* 259: 798–808.
- Jones P.D., Jonsson T., Wheeler D., 1997. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int. J. Climatol.* 17: 1433–1450.
- Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P., Böhm, R., Demarée G., Gocheva, A. Mileta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C., 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.* 22: 1441–1453.
- Lang G.A., Early J.D., Martin G.C., Darnell R.L., 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *Hort-Science* 22: 371–377.
- Laube J., Sparks T.H., Estrella N., Menzel A., 2014. Does humidity trigger tree phenology? Proposal for an air humidity based framework for bud development in spring. *New Phytol.* 202: 350–355.
- Luedeling E., 2012. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Sci. Hortic.* 144: 218–229.
- Luedeling E., Brown, P.H., 2011. A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees. *Int. J. Biometeorol.* 55: 411–421.
- Luedeling E., Gassner A., 2012. Partial Least Squares Regression for analyzing walnut phenology in California. *Agric. For. Meteorol.* 158-159: 43–52.
- Luedeling E., Guo L., Dai J., Leslie C., Blanke M.M., 2013a. Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases. *Agric. For. Meteorol.* 181: 33–42.
- Luedeling E., Kunz A., Blanke M.M., 2013b. Identification of chilling and heat requirements of cherry trees - a statistical approach. *Int. J. Biometeorol.* 57: 679–689.
- Luedeling E., Zhang M., Luedeling V., Girvetz E.H., 2009a. Sensitivity of winter chill models for fruit and nut trees to climatic changes expected in California's Central Valley. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133: 23–31.
- Luedeling E., Zhang M., McGranahan G., Leslie C., 2009b. Validation of winter chill models using historic records of walnut phenology. *Agric. For. Meteorol.* 149: 1854–1864.
- Menzel A., 2003. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Clim. Change* 57: 243–263.
- Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Eckhardt S., 2005. "SSW to NNE"—North Atlantic Oscillation affects the progress of seasons across Europe. *Glob. Change Biol.* 11: 909–918.
- Parmesan C., Yohe G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- Pérez F.J., Ormeno N.J., Reynaert B., Rubio S., 2008. Use of the dynamic model for the assessment of winter chilling in a temperate and a subtropical climatic zone of Chile. *Chil. J. Agric. Res.* 68: 198–206.
- R Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reaumur R. de, 1735. Observations du thermometre, faites a Paris pendant l'annee 1735, comparees avec celles qui ont ete faites sous la ligne, a l'Isle de France, a Alger et en quelques-unes de nos isles de l'Amerique. *Mem. Acad. Sci. Paris* 545–576.
- Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C., Pounds J.A., 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- Teodosiu M., Guiman G., Bujilă M., Frătilă E., Coandă C., Hăruță O., Dorog S., 2005. Observații fenologice la specii forestiere în sezonul de vegetație 2004. *Analele ICAS* 48: 73–83.
- Teodosiu M., Mateescu E., 2004. Fenologia-dezvoltare și perspective. O sinteză. *Bucov. For.* 12: 1–2.
- Tomescu A., 1957. Fazele periodice de vegetație la speciile forestiere. Sinteza pentru perioada 1946-1955. Ed. Agro-Silvică, București.
- Tomescu A., 1967. Cercetări fenologice la principalele speciile forestiere autohtone din R.S.R. Sinteza pentru perioada 1956-1965. C.D.T.E.F., București.
- Way D.A., Montgomery R.A., 2014. Photoperiod constraints on tree phenology, performance and migration in a warming world. *Plant Cell Environ.* 38(9):1725–36.
- Wold H., 1975. Path models with latent variables: The NIPALS approach. *Acad. Press.*
- Wold H., 1966. Estimation of principal components and related models by iterative least squares. *Multivar. Anal.* 1: 391–420.
- Wold S., 2001. Personal memories of the early PLS development. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 58: 83–84.
- Wold S., Sjöström, M., Eriksson, L., 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 58: 109–130.

Material suplimentar

Versiunea online a articolului include informații suplimentare.

A. Caracteristici ale seriilor fenologice

Tabelul 1. Date statistice ale producerii fenofazelor

B. Relația fenofaze-temperaturi medii la răcire/fortare

Fig. 1. Înfrunzirea la castan comestibil (precoce)

Fig. 2. Înfrunzirea la castan comestibil (tardiv)

Fig. 3. Înflorirea la castan comestibil (precoce)

Fig. 4. Înflorirea la castan comestibil (tardiv)

Material suplimentar

Teodosiu, M. 2015. Determinismul climatic al producerii fenofazelor la specii forestiere cu serii maxime din România. Bucovina Forestieră 15(1): 31-44.

A. Caracteristici ale seriilor fenologice

Din setul de date utilizat, cele mai lungi serii existente la nivelul unei stațiuni fenologice au fost la Snagov (*Tilia tomentosa* - 16 ani și *Robinia pseudoacacia* 14 ani).

La nivelul tuturor speciilor, în medie înmugurirea s-a produs în jurul datei de 16 aprilie (ziua iuliană $106 \pm 16,5$ zile ab. std.). Cel mai timpuriu, aceasta a avut loc la păducel și lemn câinesc (13 martie), iar cel mai târziu la brad (24 mai, Sinaia1).

Data medie a producerii înfrunzirii a fost 9 mai ($129 \pm 12,2$ zile), cea mai rapidă înregistrându-se la stejar (7 aprilie, Snagov), iar cea mai târzie tot la brad (5 iunie, Sinaia1,2). Data medie a înfloririi a fost în jur de 5 mai (125), cu variație de 44,7 zile. Cel mai timpuriu a înflorit aninul negru (22 februarie, Snagov), iar cel mai târziu teiul argintiu (10 iulie, Hemeiuși).

Colorarea medie a frunzelor s-a produs în jurul datei de 19 septembrie ($262 \pm 38,8$ zile).

Între cele două varietăți de castan, datele legate de coacerea semințelor au diferit cu două zile, în schimb la căderea frunzelor acestea au fost între 6 și 10 zile (în sensul varietății timpurii).

Lungimea medie a sezonului de vegetație a fost de 156 de zile, extremele înregistrându-se la arțar (cel mai scurt de 131 zile la Sinaia2, iar cel mai lung de 182 zile la Hemeiuși și Snagov).

Material suplimentar

Teodosiu, M. 2015. Determinismul climatic al producerii fenofazelor la specii forestiere cu serii maxime din România. Bucovina Forestieră 15(1): 31-44.

Tabelul 1. Date statistice ale producerii fenofazelor

Specie	Stațiune fenologică	Data minimă	Data medie	Data maximă	Abaterea std. (zile)
Înmugurire					
<i>Abies alba</i>	S1	1 mai	14 mai	24 mai	6.7
<i>Abies alba</i>	S2	1 mai	13 mai	22 mai	6.9
<i>Alnus glutinosa</i>	Sn	17 mar	11 apr	29 apr	15.9
<i>Crataegus monogyna</i>	Bz	13 mar	28 mar	25 apr	15.0
<i>Crataegus monogyna</i>	Hm	2 apr	16 apr	27 apr	8.2
<i>Crataegus monogyna</i>	Sn	21 mar	4 apr	18 apr	9.6
<i>Euonymus europaeus</i>	Bz	10 mar	26 mar	15 apr	12.1
<i>Euonymus europaeus</i>	Hm	20 mar	12 apr	22 apr	10.4
<i>Euonymus europaeus</i>	Sn	14 mar	31 mar	16 apr	11.7
<i>Fagus silvatica</i>	Mh	10 apr	20 apr	29 apr	5.1
<i>Fagus silvatica</i>	S1	13 apr	3 mai	14 mai	8.4
<i>Fagus silvatica</i>	S2	13 apr	2 mai	13 mai	8.7
<i>Ligustrum vulgare</i>	Hm	23 mar	12 apr	25 apr	10.3
<i>Ligustrum vulgare</i>	No	13 mar	2 apr	18 apr	10.2
<i>Ligustrum vulgare</i>	Sn	13 mar	1 apr	15 apr	9.7
<i>Quercus cerris</i>	Sn	26 apr	8 mai	15 mai	5.7
<i>Quercus robur</i>	Sn	26 mar	12 apr	30 apr	9.6
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Sn	8 ian	12 apr	7 mai	34.0
Înfrunzire					
<i>Abies alba</i>	S1	20 mai	28 mai	5 iun	5.0
<i>Abies alba</i>	S2	17 mai	26 mai	5 iun	5.2
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Hm	17 apr	2 mai	14 mai	9.1
<i>Acer pseudoplatanus</i>	S2	14 mai	16 mai	22 mai	2.6
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Sn	18 apr	27 apr	11 mai	7.4
<i>Castanea sativa (P)</i>	Bm	27 apr	3 mai	10 mai	4.2
<i>Castanea sativa (T)</i>	Bm	9 mai	14 mai	19 mai	3.0
<i>Quercus robur</i>	Bz	10 apr	25 apr	18 mai	11.0
<i>Quercus robur</i>	Hm	17 apr	5 mai	21 mai	10.5
<i>Quercus robur</i>	Mh	20 apr	5 mai	13 mai	7.8
<i>Quercus robur</i>	No	16 apr	28 apr	12 mai	6.6
<i>Quercus robur</i>	Sn	7 apr	27 apr	11 mai	9.0
Înflorire					
<i>Alnus glutinosa</i>	Sn	22 feb	11 mar	29 mar	13.6
<i>Castanea sativa (P)</i>	Bm	3 iun	11 iun	18 iun	5.1
<i>Castanea sativa (T)</i>	Bm	11 iun	19 iun	25 iun	5.3
<i>Quercus robur</i>	Sn	10 apr	24 apr	8 mai	8.7
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Bz	1 mai	14 mai	24 mai	7.9
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Hm	20 mai	27 mai	3 iun	4.8
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Mh	16 mai	28 mai	12 iun	8.0
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Sn	4 mai	17 mai	28 mai	6.5
<i>Tilia tomentosa</i>	Bz	11 iun	23 iun	5 iul	6.8
<i>Tilia tomentosa</i>	Hm	23 iun	30 iun	10 iul	4.9

Material suplimentar

Teodosiu, M. 2015. Determinismul climatic al producerii fenofazelor la specii forestiere cu serii maxime din România. Bucovina Forestieră 15(1): 31-44.

Coacerea semințelor					
<i>Castanea sativa (P)</i>	Bm	16 sep	20 sep	26 sep	3.7
<i>Castanea sativa (T)</i>	Bm	18 sep	22 sep	27 sep	2.8
Colorarea frunzelor					
<i>Alnus glutinosa</i>	Sn	8 iun	24 aug	28 oct	55.7
<i>Castanea sativa (P)</i>	Bm	23 sep	28 sep	7 oct	4.8
<i>Castanea sativa (T)</i>	Bm	3 oct	8 oct	13 oct	3.3
<i>Quercus robur</i>	Sn	30 sep	6 oct	16 oct	6.8
Căderea frunzelor					
<i>Castanea sativa (P)</i>	Bm	3 oct	12 oct	24 oct	6.7
<i>Castanea sativa (T)</i>	Bm	14 oct	22 oct	30 oct	6.6
Lungimea sezonului de vegetație [zile]					
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Hm	155	172	182	8.5
<i>Acer pseudoplatanus</i>	S2	131	144	162	10.6
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Sn	133	164	182	16.3
<i>Fagus silvatica</i>	Mh	164	173	180	5.5
<i>Fagus silvatica</i>	S1	126	142	169	12.5
<i>Fagus silvatica</i>	S2	125	140	167	11.6

Material suplimentar

Teodosiu, M. 2015. Determinismul climatic al producerii fenofazelor la specii forestiere cu serii maxime din România. Bucovina Forestieră 15(1): 31-44.

B. Relația fenofaze-temperaturi medii la răcire/forțare

Producerea fenofazelor (valori în legendă) în funcție de temperaturile medii din timpul fazei de răcire și forțare. Punctele prezintă observațiile, iar gradientul variația producerii fenofazei.

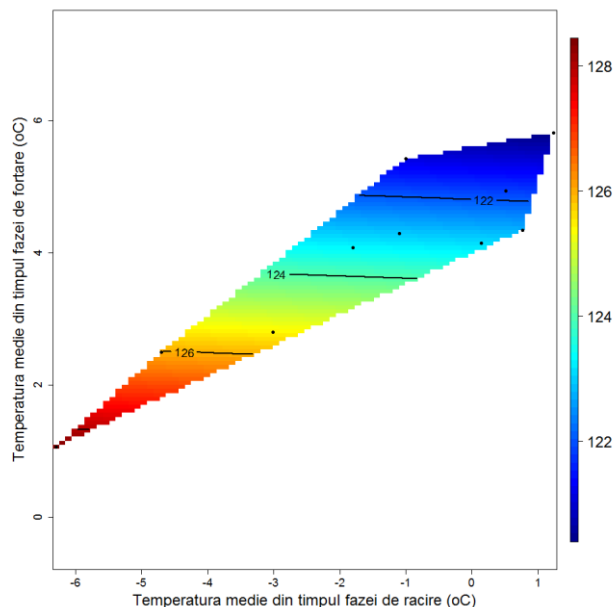


Fig. 1. Înfrișirea la castan comestibil (precoce) (Baia Mare)

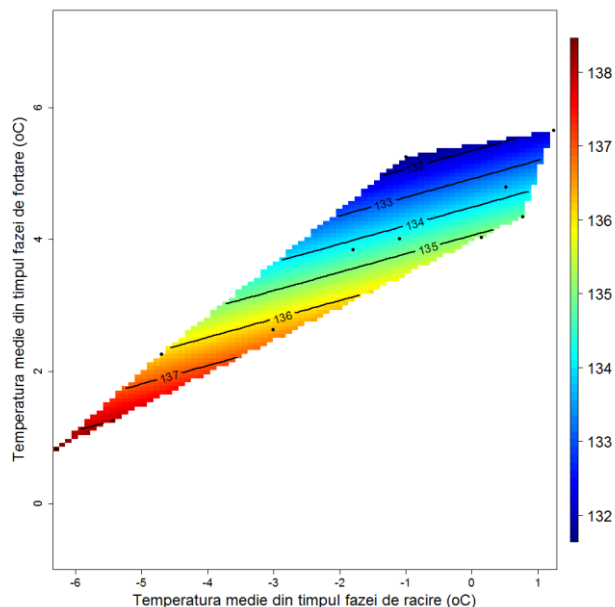


Fig. 2. Înfrișirea la castan comestibil (tardiv) (Baia Mare)

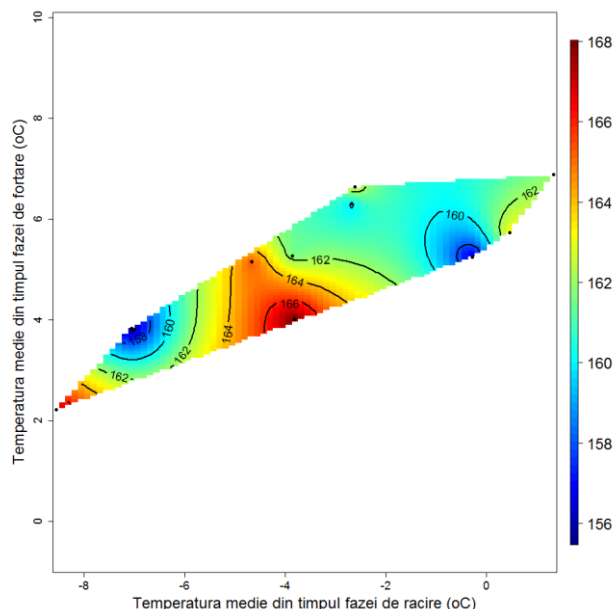


Fig. 3. Înflorirea la castan comestibil (precoce) (Baia Mare)

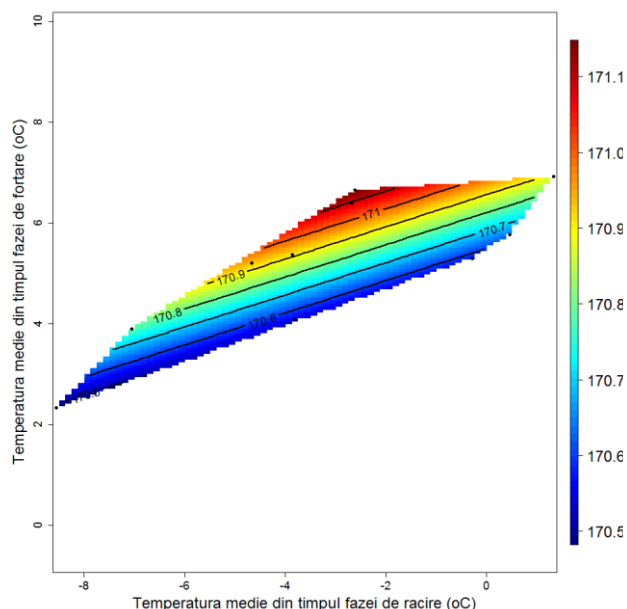


Fig. 4. Înflorirea la castan comestibil (tardiv) (Baia Mare)