



## Revistă tehnico-științifică editată de Societatea „Progresul Silvic”

### COLEGIUL DE REDACȚIE

#### Redactor responsabil:

*Dr. Ing. Marius Teodosiu*

#### Membri:

*Prof. Dr. Ing. Ioan V. Abrudan*

*Ing. Codruț Bîlea*

*Prof. Dr. Ing. Stelian A. Borz*

*Prof. Dr. Ing. Alexandru L. Curtu*

*Conf. Dr. Ing. Mihai Daia*

*Conf. Dr. Ing. Gabriel Duduman*

*Conf. Dr. Ing. Sergiu Horodnic*

*Ing. Marius - Dan Sîulescu*

ISSN: 1583-7890

ISSN (Varianta online): 2067-1962

#### Indexare în baze de date:

CABI

DOAJ

Google Academic

SCIPIO

### CUPRINS

*Ecaterina Fodor*

*Pădurea ca holobiom .....3*

*Milian Marian Sandu, Iovu Adrian Biriș*

*Instalarea vegetației forestiere în stepă, provocare în contextul modificărilor climatice: exemplificări pe plan intern și internațional .....31*

*Daniel Paul Dima*

*Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție sau despre lupta silvicultorilor elvețieni cu schimbările climatice .....45*

*Mihai Enescu, Bogdan Popa, Liviu Nichiforel, Sorin Sfirlogea*  
*Maratonul pădurilor: un instrument de comunicare eficientă despre păduri .....55*



## Journal edited by the “Progresul Silvic” Society

### EDITORIAL BOARD

#### Editor in Chief:

*Dr. Marius Teodosiu*

#### Editorial Members:

*Prof. Dr. Ioan V. Abrudan*

*Eng. Codruț Bîlea*

*Prof. Dr. Stelian A. Borz*

*Prof. Dr. Alexandru L. Curtu*

*Assist. Prof. Dr. Mihai Daia*

*Assist. Prof. Dr. Gabriel Duduman*

*Assist. Prof. Dr. Sergiu Horodnic*

*Eng. Marius - Dan Sîulescu*

ISSN: 1583-7890

ISSN (Varianta online): 2067-1962

#### Indexare în baze de date:

CABI

DOAJ

Google Academic

SCIPIO

### CONTENTS

*Ecaterina Fodor*

*The forest as holobiome ..... 3*

*Milian Marian Sandu, Ioșu Adrian Biriș*

*The establishment of forest vegetation in the steppe area - a challenge in the context of climate changes. Internally and international examples ..... 31*

*Daniel Paul Dima*

*Protective cuttings in protective forests, or on the fight of swiss forestry against climate change ..... 45*

*Mihai Enescu, Bogdan Popa, Liviu Nichiforel, Sorin Sfirlogea*

*Marathon of Forests: A tool for efficient communication about forests..... 55*

## PĂDUREA CA HOLOBIOM

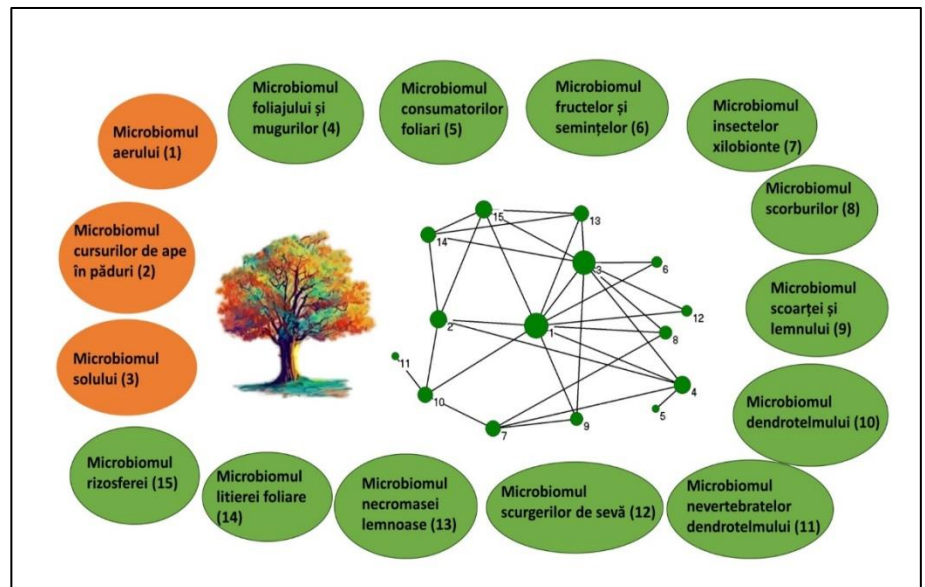
Ecaterina Fodor<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Universitatea din Oradea, strada Universității 1, 410087 Oradea, email: [ecaterina.fodor@gmail.com](mailto:ecaterina.fodor@gmail.com)

### REPERE

- Ecosistemul forestier este asimilat unui holobiom în care interacționează microbiomurile atașate arborilor și cele atașate mediilor de viață forestiere.
- Microbiomurile sunt comunități microbiene care conțin organisme procariote și eucariote afiliate mai multor regnuri, care stabilesc relații interspecifice cu arborii, cu alte organisme dependente direct și indirect de arbori.
- Între diferitele microbiomuri și gazdele lor se realizează rețele ecologice complexe.

### REZUMAT GRAFIC



### INFORMAȚII ARTICOL

Istoricul articolului:  
Manuscris primit la: 15 august 2024  
Primit în forma revizuită: 05 septembrie 2024  
Acceptat: 10 septembrie 2024  
Număr de pagini: 28 pagini.

Tipul articolului:  
Cercetare originală

### Cuvinte cheie:

*holobiom*  
*microbiomurile arborilor*  
*biodiversitate*  
*rețele ecologice*

### REZUMAT

Apariția paradigmei holobiomului a restructurat atât abordările teoretice – de la rețele trofice la circuite materiale în ecosisteme – la cele practice, de control și manipulare a microbiomului. Holobiomul este un sistem format din totalitatea microorganismelor asociate unui organism gazdă sau cele care există într-un habitat distinct/mediu de viață. Teatrul de activitate al microbiomului cuprinde microorganismele în sine precum și produși ai acestora fie că este vorba de molecule structurale (acizi nucleici, proteine, lipide, glucide, polizaharide etc.) fie metaboliți secundari cum sunt toxinele sau moleculele de semnalizare. Microbiomurile atașate direct sau indirect arborilor sunt interconectate între ele și înglobează organisme în general microscopice care aparțin mai multor regnuri care stabilesc relații interspecifice antagoniste sau de cooperare, atât cu arborii-gazde, cu organisme ce utilizează arborii ca resurse de hrană sau și ca habitate, cât și între ele. Biodiversitatea și compoziția microbiomurilor sunt studiate în momentul de față cu metode moleculare din categoria -omicelor, cu ajutorul bioinformaticii, dar și metode

\* Autor corespondent.  
Adresa de e-mail: [ecaterina.fodor@gmail.com](mailto:ecaterina.fodor@gmail.com)

---

*derivate din cele clasice, culturomice, aceste metode fiind dezvoltate pentru a permite identificarea microorganismelor necultivabile. Microbiomurile atașate arborilor sunt considerate fenotipuri extinse ale acestora. O proprietate importantă a rețelelor ecologice formate de speciile din microbiom este funcționarea acestora ca structuri deschise, capacitatea de a atașa sub-rețele pe măsură ce evoluează. Numărul cel mai mare de legături care interconectează microbiomurile arborilor cu microbiomurile mediilor de viață sunt cele ale microbiomului solului și cel al aerului, iar microbiomurile direct atașate arborilor care sunt cel mai dens interconectate sunt cele ale foliajului și rizosferei, realizând astfel o continuitate compozițională și funcțională la nivelul holobiomului. Toate rețelele arborilor se conectează la rețelele trofice tipice ale pădurii, astfel încât se confirmă un principiu fundamental în ecologie – totul este în legătură cu tot.*

---

## 1. INTRODUCERE

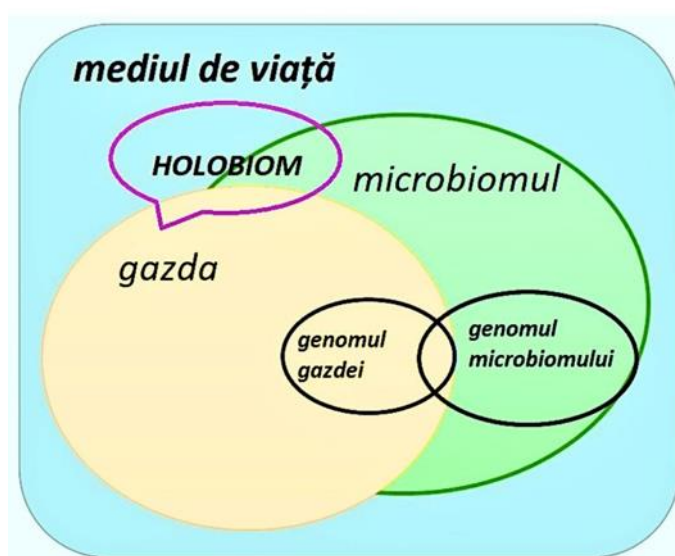
Aparent, a considera un domeniu foarte specializat, cum este microbiologia forestieră ca fiind unul marginal în contextul științelor silvice este o părere foarte răspândită. Nimic mai neadevărat, întrucât lumea microbiană este ultima frontieră a pădurii dar la scară dimensională microscopică și în același timp, în sens metaforic, materia întunecată, puțin cunoscută care permează toate mediile ecosistemului forestier. Mărimea estimată a numărului de celule bacteriene existente pe Pământ este de 10<sup>30</sup> [1] la care se adaugă un număr considerabil de alte categorii de organisme procariote și eucariote încadrate între microorganismele. Interesul oarecum scăzut pentru studiul microorganismelor din păduri, cu excepția celor fitopatogene sau a celor mutualiste cum ar fi cele responsabile de formarea micorizelor, este motivat și de o limită psihologică: oamenii sunt interesați de realități observabile la scara lor dimensională iar microorganismele sunt în afara câmpului senzorial uman. Cum studiul microorganismelor este o întreprindere anevoioasă și necesită o pregătire biologică temeinică, apariția tehnicilor moleculare, diferitele categorii de -omice a democratizat accesul la lumea microbiană, a grăbit procesul de obținere a informației în mod exponențial trezind interesul specialiștilor în silvicultură. Cu toate acestea, studiile asupra microorganismelor forestiere sunt mult în urmă față de studii similare în agricultură precum și în studiul microbiomului uman [2].

Totul a început cu o schimbare majoră de paradigmă în ecologia microorganismelor prin apariția conceptului de holobiom, hologenom sau meta-organism - sistemul format dintre un organism gazdă sau un mediu de viață și microbiom sau totalitatea microorganismelor asociate acestora [3, 4, 5] (**Figura 1**). Între gazdă (specie de plantă sau de animal) și microbiom se stabilesc relații interspecifice complexe: de mutualism, de parazitism, amensalism, comensalism sau neutralitate în timp ce între speciile componente ale microbiomului relațiile pot fi de antibioză, cooperare, facilitare, mutualism, competiție sau predatorism, toată această constelație de relații interspecifice fiind rezultatul co-evoluției gazdei cu microbiomurile sale. Conceptul a fost preluat de discipline precum bioinformatica, statistica și modelarea matematică, de medicina umană, fitopatologie și medicină veterinară, de ecologia teoretică și evoluționism, conservarea biodiversității și reabilitarea ecosistemelor, cu alte cuvinte, domenii fundamentale teoretice și domenii aplicative. Accentul cade pe interacțiuni complexe fiind astfel depășit nivelul de analiză a combinațiilor binare în interacțiunile dintre specii. În plus, deschide perspectiva unei abordări

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

integratoare, holiste a comunităților de organisme, a proceselor de nivel biocenotic (autoreglarea sistemelor prin intermediul interacțiunilor interspecifice) sau ecosistemic (circuitul materiale), asociere care formează holobiomul. Din punct de vedere evolutiv, holobiomul este o unitate rezultată din procesul de simbiogeneză [6] din acest motiv fiind privit drept o comunitate de organisme care împart același spațiu cu gazda lor [7] și ale căror genomuri interacționează prin schimb de material genetic.

Arborii, prin numărul uriaș de relații interspecifice directe și indirecte stabilite, prin intersecția multor rețele trofice funcționează fiecare în parte ca un ecosistem. Cu toate că este greu de decelat în experiența fiecărei zile, în contactul nostru direct cu arborii, microbiomul global al pădurii determină existența fitocenozelor, zoocenozelor și micocenozelor din pădure.



**Figura 1. Componentele holobiomului integrate în mediul de viață**

Din perspectiva în care un arbore este un sistem integrat de habitate și resurse pentru diferite categorii de organisme, atât partea supraterană cât și cea subterană, incluzând comunități microbiene sau microbiomuri, acest nou cadru paradigmatic modifică felul în care privim arborii. Comunitățile microbiene ocupă nișe distincte la interfața dintre sol și rădăcini precum și dintre părțile supraterane ale arborilor și atmosferă [8,9]. Microbiomurile arborilor influențează procese precum achiziția de nutrienți sau interacțiunile interspecifice (negative, cum este competiția sau pozitive, cum este mutualismul), distribuția spațială a arborilor, coexistența populațiilor de arbori și acțiunea factorilor de mediu [10,11], fiind factori biotici de control a densității populațiilor de arbori corelați cu o serie de factori abiotici (modificările în clima globală determină schimbări în structura și funcțiile microbiomurilor).

Ceea ce cuprinde microbiomul și anume organisme microscopice asociate unui substrat care poate fi viu, deci o gazdă sau materie organică în descompunere este un cumul de grupe de organisme observabile la scară microscopică, adică: bacterii, arhee, ciuperci microscopice, protiste și alge unicelulare. Criteriul prim de apartenență este deci, scara de observație. Din punct de vedere funcțional, microbiomul cuprinde organisme care interacționează cu substratul viu sau

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

---

neviu organic la nivel enzimatic, cel mai adesea prin eliberarea de enzime în aceste substraturi și nu prin consum direct. Există firește și excepții de la acest criteriu.

În mod atipic de la coerența unui domeniu de definiție, în microbiom sunt plasate și organisme macroscopice cum sunt majoritatea ciupercilor din încrengătura Basidiomycota care prezintă corpuri de fructificație macroscopice dar miceliul este alcătuit din unități funcționale, hifele care interacționează la nivel microscopic. Interesantă este ipoteza de lucru în virtutea căreia se desfășoară studiul ecologiei microorganismelor [12] și anume, interacțiunile se desfășoară la nivel microscopic.

Dincolo de limitele fluide ale definițiilor și conceptelor care structurează domeniul microbiologiei forestiere centrat pe paradigma microbiomului, nevoia presantă de a integra lumea microbială în ecologia proceselor și structurilor ecosistemelor forestiere este recunoscută de comunitatea științifică chiar dacă principiile, conceptele de bază ale domeniului se restructurează din mers [13,14].

## 2. DEFINIȚII ȘI PUNCTE DE VEDERE

Din perspectiva microbiomurilor atașate unui corp viu, acestea nu sunt separate ci există un continuum între diferitele microbiomuri legate direct și indirect de arbori, compoziția comunităților înregistrează specii comune mai multor microbiomuri, generaliste și specii conectate la un singur tip de substrat, fie că este vorba de un țesut sau de necromasă. Același continuum în compoziția de specii se înregistrează și în parcurgerea fazelor succesionale de la structurile vii ale arborilor (foliaj sau rădăcini) și necromasa derivată din aceste structuri – litiera foliară sau rădăcinile moarte. Arborii, plantele în general adăpostesc un număr impresionant de microorganisme [15]. De altfel, legătura strânsă dintre microbiom și gazdă este considerată a fi un fenotip extins dat fiind influența profundă a microbiomului asupra ontogeniei gazdei, funcțiilor și morfologiei acesteia [16].

Conceptul de microbiom integrează pe cel anterior, de comunitate microbială considerată o colecție de microorganisme care trăiesc împreună [17]. În momentul de față, sunt în circulație mai multe definiții ale microbiomului care au fie o importanță istorică, marcând un moment din evoluția conceptului, fie încearcă să acopere cât mai multe din interpretările existente, ecologice, axate pe interacțiunea gazdă/organisme asociate sau determinate de metodele genomice de studiu a acestei interacțiuni. Una din definițiile cele mai des citate, a lui [7] descrie microbiomurile în context ecologic drept comunități de organisme comensale, mutualiste și patogene asociate unui corp viu sau unui mediu de viață. În acest context se folosește frecvent și termenul de patobiom referitor la comunități microbiene patogene. Dacă este să găsim corespondențe cu termeni deja consacrați în ecologie, cel mai apropiat ca sens este cel de biocenoză care, prin definiție integrează comunități de organisme din diferite regnuri, în diferitele habitate care alcătuiesc biotopul unui ecosistem. Microbiomul se referă la microorganismele cu toate că împărțirea pe micro- și macroorganisme este și ea destul de fluidă.

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

Asocierea microbiomurilor cu mediul lor de viață are o structură ierarhică: dacă este vorba de gazde, microbiomurile sunt diferite în funcție de tipul de țesut, organ sau interfață activă (filosferă, rizosferă, lemn sau scoarța arborilor). În acest fel, un individ găzduiește câteva tipuri de microbiomuri cu o compoziție caracteristică. Între indivizii unei populații-gazdă există diferențe compoziționale ale microbiomurilor iar compoziția microbiomurilor astfel delimitate formal se modifică secvențial în funcție de fenologie, stare fiziologică, vârstă și variația factorilor de mediu precum temperatura sau umiditatea. Cum metabolismul majorității microorganismelor (care fac parte nu numai din specii diferite dar și din regnuri diferite având astfel parcursuri filogenetice diferite) se petrece în afara organismului prin secreția de enzime și metaboliți secundari cu roluri multiple, de la comunicare la acțiune biocidă. Habitatul în care trăiesc funcționează și ca resursă de hrană fie că este vorba de un alt organism viu, fie că este vorba de materie organică provenită de la organisme moarte sau un mediu de viață. De asemenea, structura microbiomurilor variază sezonier, în funcție de fiziologia și fenologia gazdelor, în funcție de diverși stresori (poluanți, perturbări climatice, modificarea structurii mediului de viață, etc.). Structura microbiomurilor atașate organismelor vii este modificată compozițional și funcțional în timpul bolii gazdelor și în timpul epidemiilor care afectează populația gazdă. Fenomenul de boli asociate este caracterizat de creșterea prevalenței comunității microbiene patogene, spre exemplu.

Microbiomurile pot fi clasificate și în funcție de un mediu de viață astfel discutându-se despre microbiomul solului, microbiomul aerului, microbiomul atașat rocilor, microbiomul apelor curgătoare, a bazinelor dulcicole stagnante (lacuri) sau marine. Dacă este vorba de medii de viață, microbiomurile solului, cel atmosferic și cel al cursurilor sau întinderilor de apă în păduri au de asemenea, microbiomuri cu o compoziție caracteristică. În plus, fiecare specie de arbore prezintă un microbiom specific [18].

O definiție centrată pe metoda cel mai des utilizată în inventarierea microorganismelor unui microbiom se referă la microbiom ca la întreg materialul genetic corespunzător microorganismelor asociate unei nișe și se mai numește metagenom microbionic. Acesta include virusuri, bacterii și ciuperci [19]. Alți autori includ în microbiomul plantelor bacterii, ciuperci, Oomycetes, alge microscopice și protozoare [20]. Cea mai cuprinzătoare și sintetică definiție i se datorează însă lui [21] care denumește drept microbiom o comunitate microbiană caracteristică într-un habitat relativ bine definit, cu proprietăți fizico-chimice definite care se constituie ca fiind *teatrul de activitate* al acestor microorganisme. Teatrul de activitate cuprinde nu numai microorganismele în sine ci și produși ai acestora fie că este vorba de molecule structurale (acizi nucleici, proteine, lipide, glucide, polizaharide etc.) cât și metaboliți secundari cum sunt toxinele sau moleculele de semnalizare. Structuri precum elementele genetice mobile ca fagii, virusurile, ADN extracelular relict se constituie ca elementele ale teatrului de activitate și nu ca elemente de compoziția a microbiomului. [17] atrag atenția că metagenomul nu trebuie confundat cu termenul de microbiom fiind o colecție de genomuri și gene provenite de la membrii microbiomului. Componenta microbionică din definiția de mai sus conține bacterii, arhee, ciuperci și protiste. Există o diferență subtilă între conceptul de comunitate microbiană (delimitată taxonomic cum ar fi comunitatea bacteriană sau comunitatea fungică) și microbiom: cel din urmă cuprinde toate speciile (precum și taxoni superiori), indiferent de apartenență taxonomică care interacționează între ele, co-există în același habitat și folosesc aceeași nișă [17]. Accentul cade pe interacțiuni iar modalitatea cea mai eficientă de a analiza interacțiunile multiple dintre specii este reprezentată de rețele (echivalentul grafurilor din matematică) [22]. Există și definiții mai restrictive cum este cea

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

---

utilizată în cadrul proiectului Earth Microbome [23] în care sunt considerate numai organismele din domeniile Bacteria și Archaea.

Pe cât de mult au avansat studiile asupra compoziției microbiomurilor, pe atât de puține sunt informațiile complete asupra interacțiunilor dintre diferitele specii componente. Trebuie subliniată importanța studiilor metabolice dat fiind că metaboliții secundari ai microorganismelor sunt implicați atât în interacțiunile dintre specii cât și la nivelul aceleiași specii. Un exemplu este fenomenul de *quorum sensing* care constă în inițierea cooperării dintre celulele bacteriene în realizarea unor structuri coloniale cum sunt biofilmele bacteriene precum și în inițierea unor modificări fenotipice precum aderarea la substrat a bacteriilor [24]. Această comunicare se realizează prin intermediul unor compuși cu molecule mici, cum sunt peptidele care sunt eliberate în mediu și funcționează vectori de informație.

Datorită structurii complexe, în fapt, din mai multe comunități delimitate taxonomic, microbiomurile funcționează ca rețele trofice sau ca părți de rețele trofice, în special cele asociate unor microhabitate sau unor medii de viață, dat fiind interacțiunile de tip trofic ale speciilor componente (prădătoare, specii de producători primari cum sunt eucariotele unicelulare [*Euglena* spp. este un exemplu], procariote fotosintetizante cum sunt cianobacteriile, specii parazite deci consumatoare și specii degradatoare).

Cum microbiomurile se asociază în mod specific cu gazdele, în mod diferențiat chiar în raport cu genotipul gazdei, s-a definit conceptul de *microbiom nucleu* care reunește consorții microbiene asociate constant cu gazdele (endofit sau exofit), sau cu un tip de habitat indiferent de condiții și factori de influență și conceptul de *microbiom satelit* alcătuit din specii asamblate la întâmplare, influențate de variații de genotip al gazdei de starea fiziologică a acesteia și de factori de mediu și care însoțesc microbiomul nucleu [25]. Conform acestei ipoteze, speciile nucleu ale microbiomului sunt cele cu impactul maxim asupra ecosistemului [17].

Datorită limitărilor logistice, microbiomul sau biocenoza microbială sunt studiate și definite taxonomic: comunități bacteriene, de protiste sau fungice dar în general ele funcționează corelat, în același loc și în interdependență funcțională. În studiile *-omice* când este accesat proteomul și metabolomul corespunzătoare unui microbiom, accentul cade pe o caracterizare biochimică iar compușii identificați provin de la categorii taxonomice diferite, cu o detaliere mergând de la varietăți și subspecii, la încrengături și domenii taxonomice.

## 2.1. Metode de studiu

Cunoașterea lumii microbiene a fost dependentă de progresele tehnicilor de observare și manipulare într-o măsură mai mare decât studiul altor categorii de organisme. Inventarea microscopului și primele observații consemnate de Antonie van Leeuwenhoek în secolul al XVII-lea au marcat practic începutul microbiologiei ca domeniu de studiu al organismelor care nu se văd cu ochiul liber.

În momentul de față, studiile asupra microbiomurilor beneficiază de metode avansate din categoria multi-omicelor sau meta-omicelor [1] care constau în metode de izolare a unui număr mare de microorganisme (metode culturomice), la vizualizare prin diferite tehnici de microscopie



**Fodor: Pădurea ca holobiom**

---

până la metode de identificare concomitentă a unui număr mare de microorganisme dintr-un mediu sau gazdă (metabarcoding), de identificare a metaboliților microorganismelor (prin metabarcoding și metode metagenomice) și analiza activității microbiene (metode metatranscriptomice, metaproteomice și metabolomice). De exemplu, metodele metaproteomice aplicate în studiile asupra microbiomurilor solurilor la nivel planetar în cadrul proiectului Earth Microbime, au arătat că enzima cu o răspândire ubicuitară este trehalohidraza, o enzimă responsabilă de legarea trehalozei, produsă de o serie de microorganisme din sol cum sunt bacteriile, ciupercile dar și de plante și nevertebrate sugerând o asociere de tip simbiotic [26,27].

Interpretarea acestor date a dat un avânt fără precedent domeniului bioinformaticii (care permite extinderea observațiilor obținute prin tehnici experimentale la domeniul *in silico*).

Trebuie subliniat că dincolo de acumularea unor baze de date uriașe folosind aceste metode, informațiile asupra structurii și funcționării microbiomurilor sunt încă limitate [3] și există observația pertinentă că cercetările sunt determinate mai mult de sofisticarea crescândă a tehnicilor decât de construirea unor concepte [28].

Pe de altă parte, metodele clasice de cultivare și identificarea pe baze morfologice ale microorganismelor sunt încă valide și contribuie cu informații importante asupra naturii interacțiunilor până la cum arată de fapt multe din organismele caracterizate pe baze moleculare. Problema principală în studiile anterioare asupra microbiomurilor a fost existența unui număr mare de specii necultivabile mai ales între bacterii, precum și lipsa de informații asupra proteinelor și genelor a căror funcție era încă necunoscută. 85 din încrengăturile de procariote din totalul de 118 nu conțin încă nici o specie descrisă fiind separate exclusiv pe baze moleculare și prin analiză *in silico* [29]. Pentru bacteriile și arheele necultivabile s-a propus un tip special de nomenclatură bazat pe conceptul de *Candidatus*, taxonul fiind descris doar pe baza datelor genomice [30]. Micro-eucariotele din care fac parte protozoarele și ciupercile microscopice sunt cultivabile într-o măsură mai mare decât procariotele dar taxonomia lor este mult mai complexă și, prin utilizarea metodelor moleculare, acumularea de date asupra unor organisme care încă nu au fost identificate fenotipic în natură este în continuă creștere. Aspectele funcționale legate de comunitățile microbiene sunt abordate și cu noua generație de tehnici: investigarea cu ajutorul marcării cu izotopi a ADN, ARN, a proteinelor și lipidelor (SIP), microautografia FISH, micro-spectroscopia Raman-FISH, aceasta din urmă făcând posibilă analiza unei singure celule [31, 32, 33, 34, 17].

Aceste metode permit analiza funcțiilor celulelor microbiene în lipsa cultivării. Pe de altă parte, tehnicile de cultivare au evoluat de la placa Petri sau eprubeta cu mediu de cultură, la sisteme microfluidice [35] numite și laboratoare într-un chip care permit caracterizarea comunităților microbiene ale căror specii apar simultan pe aceeași placă prevăzută cu micro-godeuri (numită chip), în fluide ce conțin micropicături de ulei în apă sau medii de cultură standard. Metoda a permis izolarea a unor specii anterior necultivabile din probe ambientale (sol, spre exemplu) sau chiar mai mult, plasarea sistemelor chip microfluidice direct în mediul de interes (cultivare *in situ*) [36]. Un exemplu de chip microfluidic de dimensiunea unei lame pentru microscopie este produs din meta-acrilat de polimetil (PMMA) și tereftalat de polietilenă (PET) în care sunt incizate 900 de micro-godeuri ( $600\ \mu\text{m} \times 600\ \mu\text{m} \times 700\ \mu\text{m}$ ) în care există mediu gelificat pentru cultura bacteriilor. Placa prezintă incizii pentru a păstra umiditatea necesară dezvoltării culturilor. Pereții despărțitori ai godeurilor sunt hidrofobi astfel nepermițând bacteriilor să migreze între godeuri [37].

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

---

În ceea ce privește informațiile despre potențiale specii care ar intra în structura microbiomul analizat (în ideea că nici un demers de identificare a tuturor membrilor unei comunități nu reușește să dea informații despre toate speciile), studiile *in silico* au devenit tot mai frecvente. Astfel, metoda RFLP virtual [38] generează modele ale secvențelor de nucleotide produse cu ajutorul unor endonucleaze virtuale, completând astfel o listă de specii identificate cu specii probabile, metodă utilă mai ales în efortul de identificare a unor noi specii și a posibilelor relații filogenetice ale acestora.

În studiile comunităților de ciuperci folosind metabarcoding-ul se obțin liste aproximativ complete de unități taxonomice care pot merge de la nivel de specie (inclusiv taxoni subspecifici precum varietățile sau subspeciile), la nivel de încrângătură. Acestea pot fi sortate pe grupe funcționale (saprotrofe, micorizante, descompunători ai lemnului, etc.) cu ajutorul unor softuri precum FUNGuild [39] care în momentul de față conține 13.000 de taxoni fungici adnotați. Este un important pas înainte dat fiind că listele de unități taxonomice oricât de complete ar fi nu spun nimic despre rolul și interacțiunile dintre acestea.

În momentul de față există baze de date cu informația genomică, proteomică, transcripomică sau metabolomică care sunt instrumente importante în identificarea corectă a microorganismelor analizate din una din metodele -omice: NCBI (SUA), EMBL (Europa), DDBJ (Japonia), UNITE (Estonia).

Limitările în studiul microbiomului sunt mai prozaice decât s-ar crede și nu țin neapărat de nivelul atins de cunoștințe și tehnici de investigare ci de finanțări ale cercetărilor și interesul socio-economic care vizează aspecte practice cu rezolvare imediată, recolte mai mari în agricultură, combaterea organismelor considerate dăunătoare, tratare de boli și găsirea de noi medicamente în medicina umană și exemplele sunt mult mai multe. Cu toate acestea, au fost posibile, prin efort asociativ, inițiative precum Earth Microbiome Project (proiectul microbiomului Pământului) [EMP - <http://www.earthmicrobiome.org>, 23] care are ca scop caracterizarea vieții microbiene a întregii planete folosind probe prelevate din cât mai multe habitate și biomi, fiind ceea ce se înțelege în momentul de față o sursă cu acces public sau open science. Studiul s-a axat pe diversitatea bacteriilor și arheelor folosind secvențierea ampliconilor genelor ARN ribozomal bacterian 16S, un marker taxonomic recomandat pentru procariote [31]. Mai mult de 500 de specialiști din toată lumea participă la proiect folosind o metodologie standardizată pentru colectare, menținere în colecții de microorganisme și analiză a datelor. Bazele proiectului au fost puse în 2010 fiind astfel analizate 200.000 de probe folosind metode precum secvențierea ampliconilor, abordarea metagenomică și metabolomică prin care vor face posibilă elaborarea unui atlas global de gene. Au fost până în momentul de față reconstruite 500.000 de genomuri microbiene. O serie de instituții științifice și fundații din toată lumea au acordat granturi pentru dezvoltarea proiectului.

Progresele de natură tehnică în inventarierea microbiomurilor sunt fără doar și poate impresionante dar ele continuă să genereze liste de organisme ale căror semnificație în cadrul comunităților cât și a ecosistemelor nu sunt întotdeauna cunoscute. Următorul pas în studiul microbiomurilor este cel dedicat studiului interacțiunilor cu mediul de viață, în cadrul comunităților ce formează microbiomurile iar instrumentele de analiză cantitativă provenite din știința rețelelor permit evaluarea simultană a relațiilor interspecifice la nivelul comunităților microbiene și microbiomurilor.

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

---

Aplicarea rețelelor în studiul microbiomurilor permite evaluarea simultană nu numai a relațiilor directe între unitățile taxonomice care sunt reprezentate prin noduri dar și relațiile indirecte și rolurile lor potențiale [40]. Segmentele care unesc nodurile reprezintă relații între noduri care în multe din studiile existente sunt în fapt co-prezențe evaluate cantitativ și sub aspectul semnificației (întâmplătoare sau neîntâmplătoare) prin intermediul unui coeficient de corelație (Pearson sau Spearman). Aceste rețele se numesc rețele de corelație și prezintă proprietățile caracteristice rețelelor precum modularitate și împachetare, conectivitate și metrici de centralitate care sunt descriptori ai întregului sistem analizat, microbiomul. S-a constatat astfel că asamblarea comunităților bacteriene este un proces stohastic iar distribuția abundențelor lor urmează un model lognormal [41].

În ultimii ani, o direcție promițătoare în știință a căpătat amploare, știința cetățenească care reprezintă o interfață între publicul larg și comunitatea științifică. Contribuția majoră adusă este culegerea de date de teren și prelevarea de probe în condițiile în care echipele de cercetători nu au cum să acopere nici ca efort și nici ca finanțare aceste aspecte [42]. În domeniul studiilor asupra diferitelor tipuri de microbiom, participarea științei cetățenești în campanii de strângere de probe în teren s-a dovedit extrem de utilă. Cele mai multe contribuții au provenit din cercetări legate de sănătatea umană, microbiomul rizosferei plantelor agricole, dar există o preocupare crescândă și în domeniul forestier mai cu seamă în probleme legate de sechestrarea carbonului și micorizarea arborilor [43], în proiecte de reconstrucție ecologică sau reabilitare. Fiind larg acceptat faptul că plantarea de puieți presupune în cel mai bun caz o micorizare realizată prin tehnici de laborator, celelalte componente ale microbiomului solului și rizosferei caracteristice fiecărei specii și tip de sol, în condiții staționale date nu sunt luate în considerare. Programe precum The Carbon Community ([www.carboncommunity.org/](http://www.carboncommunity.org/)) și Plant for the Planet ([www1.plant-for-the-planet.org/](http://www1.plant-for-the-planet.org/)) au fost implicate în studii asupra compoziției comunităților fungice și modul în care acestea afectează funcționarea ecosistemelor forestiere prin acțiuni extinse de voluntariat. O altă direcție în care sprijinul științei cetățenești s-a dovedit utilă a fost monitorizarea patogenilor arborilor precum și a insectelor fitofage [44] fie cu echipe de voluntari, fie prin înregistrarea semnalărilor în portaluri precum iNaturalist. Cum patogenii edifica patobiomuri, comunități de organisme asociate bolilor iar majoritatea acestor organisme sunt încadrate la microorganisme, reiese că deocamdată, cele mai importante progrese ale științei cetățenești în domeniul forestier sunt înregistrate în legătură cu patobiomurile arborilor.

## 2.2. Biodiversitatea microbiomurilor forestiere

Biodiversitatea microbiomurilor este parte integrantă a biodiversității globale și a pădurilor în particular. Și microbiomurile sunt confruntate cu erodarea biodiversității ceea ce alarmează atât comunitatea științifică cât și practicienii confrunțați cu perturbarea proceselor din ecosistemele forestiere mediate de microorganisme [45].

Pădurile sunt principalele rezervoare de carbon în domeniul uscatului [46], iar componentele biotice asociate, în special cele microbiene participă astfel atât la producerea de biomasă cât și la reciclarea principalei componente de necroamasă, cea vegetală. Structural sunt cele mai complexe ecosisteme terestre, în special datorită etajării, ceea ce duce la formare de nișe suplimentare pentru microbiomurile asociate. Pădurile cu grad înalt de naturalitate sunt cele care

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

---

prezintă structurarea cea mai complexă pe verticală, iar acest lucru se reflectă în compoziția și procesele desfășurate la nivelul microbiomurilor [47]. La nivelul unui arbore există diferite interfețe în care se desfășoară procese mediate de comunitățile microbiene care alcătuiesc microbiomul [14]. Aceste interfețe sunt: filosferă, rizosferă, scoarța și lemnul arborilor și câteva alte microhabitate conexe cu propriile microbiomuri (scorburi, scorburi inundate sau dendrotelmuri), necromasa formată de arbori (litiera foliară și cea lemnoasă). Se vorbește și de o categorie de microbiomuri care se găsesc la interiorul organelor plantelor pentru care se folosește termenul de endobiom [2]. Procesele mediate de aceste microbiomuri includ descompunerea necromasei, circuitele elementare, achiziția de nutrienți de către plante, modularea răspunsului plantei la factori de stres abiotic și biotic. În plus, microbiomurile sunt produsul unui proces de co-evoluție cu gazdele și a unui proces de succesiune ecologică la nivel de ecosistem. Un exemplu de co-evoluție vitală pentru supraviețuirea arborilor în condițiile mediului terestru a fost cu ciupercile de micoriză. De altfel, micorizele au dezvoltat proprietatea cooperării între speciile lemnoase dar și între ierburile forestiere [48, 49], un tip de relație care definește întregul ecosistem forestier dar și pădurea din perspectiva asimilării ei cu un holobiom.

Formarea microbiomurilor unui arbore (a unui substrat viu, în general) este un proces gradual iar transmiterea acestora are loc și vertical, între generații succesive, de la țesuturile vegetative care protejează ovulele, la granulele de polen purtătoare de propagule fungice [50], apoi în timpul ciclului de viață, de la arbori din aceeași populație și din mediile de viață. După germinare, pe măsura dezvoltării puieților, microbiomul acestora se formează prin achiziții de litieră sau prin continuitatea rădăcinilor, speciile de ciuperi micorizante sunt preluate din sol și de la arbori maturi conspecifici și heterospecifici din vecinătate [51]. Speciile mutualiste din microbiom sunt achiziționate preferențial orizontal, din mediul de viață dar sunt cunoscute și cazuri de transmitere verticală prin intermediul semințelor [15].

Dintre comunitățile microbiene înglobate în microbiom, componenta taxonomică cea mai intens studiată este reprezentată de ciuperci. Totuși, în ultimii ani interesul pentru comunitățile bacteriene și protiste a crescut mai ales datorită progreselor importante în obținerea unui volum mare de date cu ajutorul metodelor moleculare.

Iată câteva din caracteristicile microbiomurilor asociate arborilor (**Figura 2**) între care există o continuitate ilustrată de o rețea ale cărei noduri sunt tipurile de microbiom iar segmentele de legătură corespund conexiunilor de ordin compozițional și funcțional dintre microbiomuri.

Rețeaua ilustrează legăturile stabilite între diferitele comunități microbiene (microbiomuri) asociate microbiomului general al arborilor dar și altor categorii de organisme care utilizează arborii ca habitate și surse de hrană. Numărul de noduri corespunde microbiomurilor (15) iar numărul de legături directe stabilite între microbiomuri este de 31, cu numărul cel mai mare asociat microbiomurilor aerului (10 de legături), solului (9 de legături), apelor din mediul forestier (5 de legături), foliajului (5 de legături) și rizosferei (5 de legături). Se constată că există o continuitate între diferitele microbiomuri asigurată de specii comune și de succesiunea proceselor care au loc în ecosistem, de la producerea de biomasă, la descompunerea și mineralizarea necromasei, la fluxul de energie care travesază rețelele trofice asociate acestor microbiomuri și la circuitul material. Această rețea trebuie imaginată ca fiind deschisă astfel încât fiecărui nod i se mai pot asocia alte legături indicând interacțiuni la nivel de populații și comunități de arbori, alte componente biocenotice care se asociază indirect cu arborii și prezintă propriile microbiomuri, cum

## Fodor: Pădurea ca holobiom

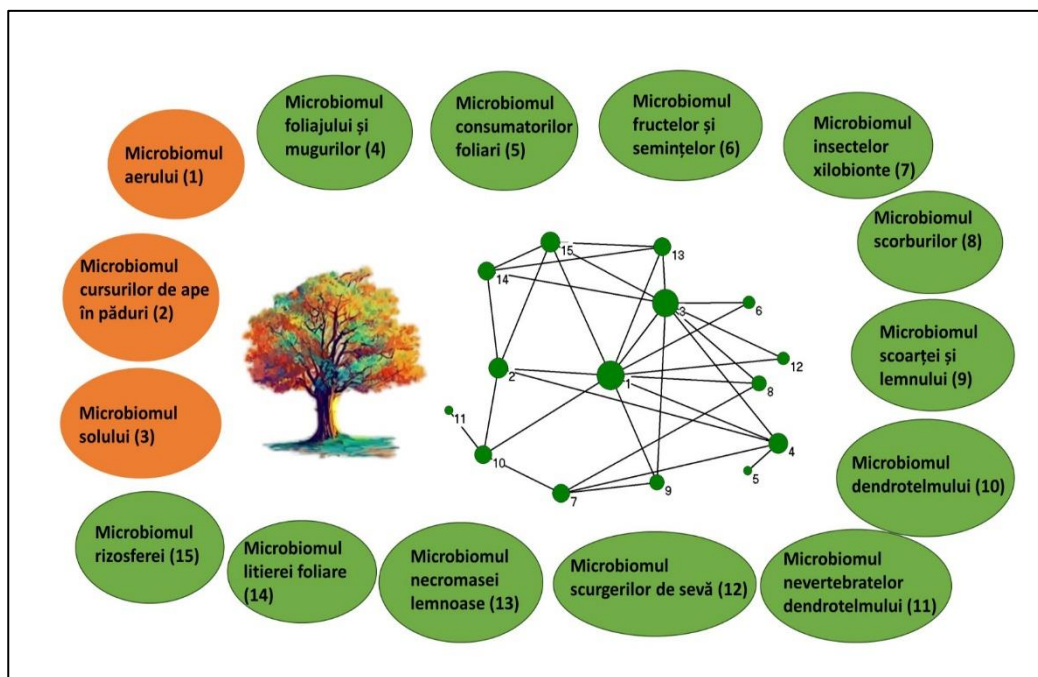


Figura 2. Microbiomurile asociate direct și indirect arborilor și rețeaua care ilustrează interacțiunea dintre microbiomuri: nodurile rețelei corespund tipurilor de microbiom iar segmentele de unire corespund prezenței speciilor comune nodurilor.

sunt insectele fitofage și cele parazitoidale sau cele prădătoare, cele detritofage sau mezofauna de nevertebrate a solului. Lista ar putea continua. Ideea este că reprezentarea legăturilor dintre componentele ecosistemului forestier prin intermediul microbiomurilor este o hartă a holobiomului pădurii. Legăturile reflectă poziții în rețele trofice, în succesiuni ale vegetației, ale comunităților de animale sau ciuperci dar și succesiuni degradative. La nivel conceptual se pot construi asemenea structuri complexe dar ceea ce lipsește deocamdată este detalierea la nivel de specii microbiene sau/și rolurile lor în cadrul comunităților.

Rețeaua fiind o entitate deschisă, atașarea de sub-rețele cum sunt cele edificate de insectele fitofage asociate arborilor creează o suprastructură de microbiomuri aflate în interacțiune, cu suprapuneri de specii care joacă diferite roluri în diferite contexte. Cum relația plantelor cu insectele este complexă, preponderent trofică, insectele fiind principalii consumatori de fitomasă, microbiomul insectelor fitofage este important în modularea acestei relații interspecifice și extinde sfera de influență a microbiomului plantelor. Microbiomul intern al insectelor este important pentru digestia fitomasei ingerate și este implicat în compromiterea barierelor naturale de apărare ale plantelor. De exemplu, micangiile insectelor de scoarță și lemn sunt structuri externe, aflate pe exoschelet și adăpostesc inocul de ciuperci și bacterii necesare dezvoltării stadiilor imature ale insectelor [52]. Alte numeroase specii patogene din microbiomul arborilor sunt preluate și vehiculate de insecte pentru a compromite barierele de apărare ale plantelor. O asociere binecunoscută este între gândacii de scoarță și specii de ciuperci responsabile de traheomicozele arborilor, plasate în ordinul Ophiostomatales (Ascomycota), un exemplu clasic de insecte devenite vectori biotici. Relația interspecifică este complexă și în sensul în care compuși volatili eliminați de ciuperci acționează ca atracțanți pentru insectele vectoare [53]. În cazul insectelor fitofage, speciile

## Fodor: Pădurea ca holobiom

endosimbionte sunt importante prin aportul de aminoacizi esențiali întrucât seva elaborată este o sursă săracă de azot necesar insectelor [54]. Este de asemenea, un fenomen frecvent existența unor endosimbionți secundari sau co-simbionți în bacteriocite sau micetocite (celule specializate pentru adăpostirea endosimbionților existente în tractul digestiv sau aflate în hemolimfa insectelor fleofage) fiind responsabili de expresia toleranței termice la insecte sau rezistența la parazitoizi [55]. În acest context se cunosc destul de puține despre modul în care microbiomurile plantelor și al insectelor fitofage, mai ales a celor înalt specializate trofic, interacționează și dacă și cât se suprapun [52]. Se știe spre exemplu, la *Agrilus planipennis* care este o insectă de scoarță și lemn care atacă speciile de *Fraxinus* spp., microbiomul foliar s-a dovedit a fi un bun predictor al compoziției microbiomului intestinului la insectele adulte [56]. În structura microbiomului diferitelor organe și țesuturi ale plantelor intră specii entomopatogene care reprezintă o barieră în sine: *Beauveria bassiana*, *Metarrhizium anisopliae*, *Paecilomyces farinosus* sunt specii izolate frecvent din filoplanul arborilor și sunt cunoscute ca specii importante de entomopatozoni folosiți în combaterea biologică. Alte specii patogene din microbiomul arborilor pot acționa în sinergie cu insecte fitofage în anumite condiții și pot fi repelente în altele. *Pseudomonas syringae*, bacterie patogenă la multe specii lemnoase, facilitează pătrunderea unor insecte de scoarță și lemn prin distrugerea barierei naturale de apărare, scoarța, iar când se află în filoplan (este o bacterie sistemică și colonizează practic întreaga plantă) este un repelent important pentru afide [57]. O asociere interesantă din punct de vedere adaptativ este cea dintre artropodele galigene și bacterii patogene între care se află specii producătoare de tumori ca tip principal de leziuni la plante lemnoase. Astfel, *Fragariocoptes setiger* (Eryophyoidea), o specie de arahnide galigene adăpostește în microbiomul său specii de bacterii fitopatogene din genurile *Pseudomonas* și *Erwinia* [58].

Ilustrarea sub-rețelelor cu structura funcțională a microbiomurilor asociate prin intermediul insectelor fitofage din **Figura 3** a fost gândită ca un instrument vizual cu un impact mai mare decât simpla enumerare a speciilor implicate în relațiile de tip tripartit – planta gazdă, consumator de fitomasă și specii asociate consumatorului fie că este vorba de microorganisme simbiote, cosimbionte, fie că sunt specii din microbiomuri implicate în facilitarea indirectă a consumului.

Spre exemplu, simbiotul primar al speciei de afid *Cinara cedri* este bacteria *Buchnera aphidicola* care și-a pierdut capacitatea de a sintetiza triptofan și riboflavină necesare gazdei (pe care sursa de hrană, seva elaborată nu o acoperă) în timp ce co-simbiontul, bacteria *Serratia symbiotica* este capabilă să producă aceste componente esențiale pentru metabolismul gazdei [59] (**Figura 3A**).

La insectele care se hrănesc la nivelul xilemului cum sunt cicadele spumoase (Hemiptera), endosimbionții primari cum sunt bacteriile din genul *Sulcia*, responsabile de producția de aminoacizi esențiali necesari gazdei au pierdut capacitatea de a produce triptofan, acest proces fiind preluat de cosimbionți din genul *Zinderia*, de asemenea bacterii [60] (**Figura 3B**).

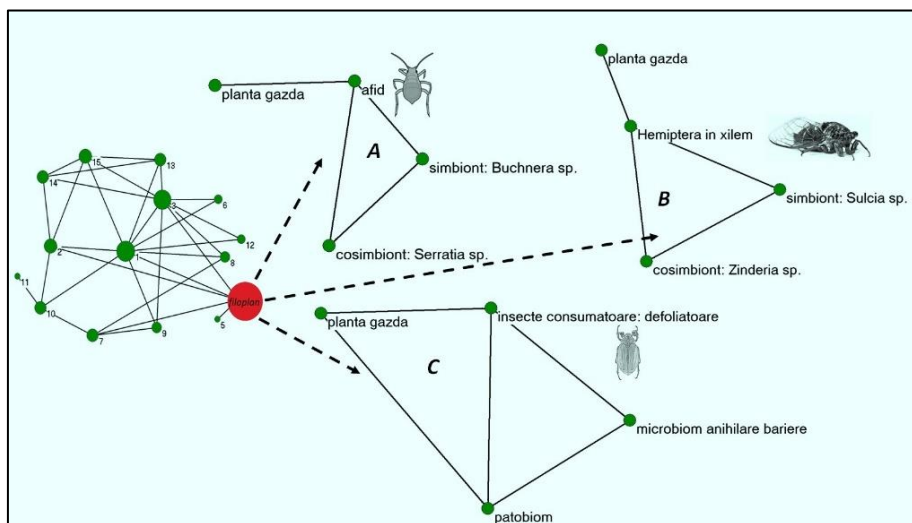


Figura 3. Sub-rețele atașate nodului ce reprezintă microbiomul filoplanului în rețeaua microbiomurilor arborilor din figura 2.

Insectele defoliatoare precum și cele fleofage prezintă în microbiomul asociat aparatului digestiv bacterii producătoare de enzime capabile să degradeze bariere naturale ale frunzelor precum cutina, pectinele, celuloza sau lignina și sunt eliminate pe măsura hrănirii. Speciile pot și astfel regăsite în microbiomul frunzelor [61]. Pe de altă parte, specii din patobiomul foliar prezintă mecanisme biochimice de atragere a insectelor foliivore care astfel creează situsuri de pătrundere ale patogenului în țesuturile plantei, fapt constatat la patogenul sistemic, bacteria *Pseudomonas syringae* [62] (relația dintre aceste componente de microbiom sunt redată în Figura 3C).

### 2.2.1 Microbiomul solului

Datorită heterogenității spațiale mari a solurilor de pădure și a structurii lor tridimensionale, diversitatea microbiomurilor este cu adevărat impresionantă. Un gram de sol la interfața cu vegetația conține  $10^{15}$  celule de procariote (bacterii și arhee),  $10^4 - 10^7$  celule de protiste, 100-1000 m de hife fungice și  $10^8 - 10^9$  particule virale [63, 64]. Factorii determinanți ai acestei diversități țin de fracția organică provenită din litiera fragmentată și încorporată în sol, la rândul ei dependentă de tipul de vegetație supraterană, tipul de pădure și aportul de elemente biogene din fracția minerală [65, 66]. Microbiomurile solului sunt implicate în circuitul carbonului, fosforului și azotului iar compoziția lor variază atât pe verticală, abundența și bogăția în specii scăzând pe măsură ce se trece la orizonturi inferioare cât și ca urmare a heterogenității spațiale orizontale afectate în special de compoziția și mozaicarea vegetației. Încărcarea în enzime extracelulare de origine microbiană variază spațial și realizează nuclee sau puncte fierbinți de activitate de ordinul centimetrilor sau metrilor [46]. Cele mai numeroase tipuri de interacțiuni se stabilesc între nivelul de aprovizionare cu nutrienți și comunitățile dependente de sol, inclusiv bacteriene. Relațiile sunt complexe: de mutualism, de competiție, predatorism, parazitism, amensalism și facilitare. De exemplu, protistele din sol se hrănesc selectiv cu bacterii contribuind astfel la menținerea unei anumite compoziții a comunității bacteriene. Bacteriile sunt implicate în finalizarea degradării materialului organic până la stadiul de mineralizare, fixarea azotului atmosferic și eliberarea

## Fodor: Pădurea ca holobiom

---

azotului ca urmare a proceselor de denitrificare, precum și oxidarea sulfului. Există și organisme fotosintetizante în cadrul microbiomului acestea fiind cianobacteriile. Spre exemplu, specii din genul *Anabena* existente în orizontul superior al solului generează oxigen în procesul de fotosinteză. Protistele din sol includ amibe, flagelate, ciliate, specii din Apicomplexa (patogene) care intră în structura rețelelor trofice din sol. Aceste specii eliberează compuși folosiți ca nutrienți de alte grupe și se hrănesc cu bacterii, ciuperci, Oomycota, nematode sau alte protiste. Solul este un rezervor important de patogeni care parcurg stadii saprotrofe sau se află în stare de repaus/anabioză: specii de Oomycota din genuri de fitopatogeni importanți pentru impactul lor la scară globală în ecosistemele forestiere precum *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., se află în sol, de asemenea, specii de *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* etc. Există o continuitate între microbiomul solului și cel al rizosferei, cea din urmă fiind dominată de comunitățile de ciuperci micorizante la care se adaugă speciile de bacterii helper precum și consumatori din rândul protozoarelor, toate aceste specii componente fiind într-o matrice biochimică de metaboliți secundari, produși de degradare, compuși structurali (proteine, între care fracția importantă a enzimelor, glucide simple și complexe, acizi grași). De remarcat în structura solului pădurilor zonei temperate biomasa mare realizată de miceliile extramatriciale ale speciilor de ciuperci ectomicorizante, aproximativ o treime din biomasa microbială a solului [67].

### 2.2.2 Microbiomul rizosferei

Interacțiunile la nivelul rădăcinilor sunt considerate ca fiind responsabile de evoluția ecosistemelor forestiere [68]. Rizosfera care cuprinde atât rădăcinile cât și solul adiacent acestora, este una din interfețele majore atât la nivelul arborilor cât și la nivelul întregului ecosistem forestier. Această interfață este prima linie de apărare a plantei împotriva patogenilor cu poartă de intrare radiculară. Siturile care ar putea fi atacate de patogeni sunt ocupate de micorize dar interacțiunile cu alte microorganisme din sol sunt cele care determină eficiența barierelor de apărare. Specii antagoniste cum sunt cele de ciuperci din genul *Trichoderma* [69] sau specii producătoare de antibiotice cum sunt bacteriile filamentoase din genul *Streptomyces* [70] asigură protecția împotriva unor patogeni virulenți cum sunt speciile de *Heterobasidion* spp. Compoziția microbiomului este dinamică și se schimbă în funcție de faza în ciclul de viață al plantei și în funcție de anotimp. Compoziția este diferențiată în specii *nucleu permanente*, *specii oportuniste* și *specii tranzitorii*. În raport cu poziționarea față de rădăcini ca organe, speciile se dezvoltă în interior, sunt endofite precum ciupercile de micoriză și bacteriile helper la care se adaugă specii endofite patogene și specii comensale. Pe de altă parte, asocierea ciupercilor de micoriză se mai produce cu specii de bacterii care devin simbiote cum sunt bacterii din Alphaproteobacteria [71]. Speciile cu poziție epifită, pe suprafața rădăcinilor sau în zona de influență a acestora (rizosfera) includ: bacterii, arhee, ciuperci, Oomycota, virusuri, alge, protiste – saprotrofe și patogene. Oomycota (plasate în momentul de față în regnul Chromista) este un grup de organisme asemănătoare ciupercilor, exclusiv patogen, fiind rezident în rizosferă de unde pătrunde în rădăcini, speciile în această fază devenind endofite.

Între planta gazdă și membrii microbiomului relațiile interspecifice sunt fie negative (patogenie care presupune blocarea unor situsuri accesibile mutualiștilor, producerea de toxine, producerea de elicitor de către gazde, secreția de substanțe antimicrobiene de către gazdă precum și răspunsul la procesul patogen prin manifestarea de simptome) sau relații interspecifice pozitive,



**Fodor: Pădurea ca holobiom**

cele dominante fiind relațiile mutualiste care asigură: accesul la nutrienți, accesul la apă, protecția împotriva consumatorilor, protecția împotriva secetei, producerea de modulatori ai imunității plantei, inducerea secreției hormonilor de creștere, formarea de biofilme protective etc.

Cea mai importantă componentă mutualistă biotrofă a microbiomului rădăcinilor - micoriza cuprinde ciupercile care realizează o interfață activă cu rădăcinile arborilor. În decursul evoluției lumii vii, primele plante terestre au achiziționat un tip particular de simbioză care au format micorize arbutoide (AM) care este un tip de endomicorize după care următorul moment evolutiv a fost marcat de apariția ectomicorizelor. Endomicorizele de tip ericoid și al orchideelor au fost achizițiile mai recente în procesul evoluției plantelor terestre [72]. În prezent, ecosistemele forestiere ecuatoriale sunt dominate de endomicorize arbutoide în timp ce pădurile zonei temperate conțin specii de arbori cu ectomicorize (**Foto 1C**), cu micorize arbutoide, și combinația celor două tipuri pe aceeași plantă, asociere care conferă un avantaj competitiv [73]. O serie de specii lemnoase sunt asociate cu bacterii mutualiste la nivelul rădăcinilor cum sunt rizobiile la speciile lemnoase din fam. Fabaceae – produse de bacterii fixatoare de azot, sau actinorize produse de bacterii din genul *Frankia* la speciile lemnoase din genurile *Hippophaë*, *Elaeagnus* și *Alnus*. O caracteristică remarcabilă a micorizelor este capacitatea de a forma o rețea care funcționează ca un releu de conectare a arborilor, ceea ce permite redistribuirea diferitelor produse ale metabolismului acestora. În acest context reiese că nu competiția este principalul modulator al relației dintre arbori, cel puțin la nivelul părților subterane ci cooperarea [48].

În afara componentei mutualiste a microbiomului rădăcinilor există o multitudine de microorganisme care stabilesc alte tipuri de interacțiuni cum sunt cele de competiție (antibioza), colaborarea pentru exploatarea unei resurse, facilitare, predatorism și patogenie.

**2.2.3 Microbiomul filosferei (foliajului)**

Microbiomul suprafețelor active fotosintetic, cu preponderență foliajul arborilor constituie un microhabitat și o resursă delimitată și prin structura microbiomului care trăiește în filoplan sau filosferă [74]. Aceste suprafețe sunt caracterizate de cantitatea mică de nutrienți disponibile pentru comunitățile de microorganisme [75], dar și de factori de mediu limitativi cum sunt: insolația puternică, uscăciunea substratului, variațiile mari de temperatură la suprafața frunzelor. Acest microbiom conține două componente separate spațial, cea plasată la suprafața frunzelor (epifită) și la interior (endofită). Microbiomul filoplanului este compus din ciuperci saprotrofe și patogene inclusiv drojdii, bacterii și virusuri. Taxonii superiori cel mai bine reprezentați între bacterii sunt: Acidobacteria, Proteobacteria, Actinobacteria, iar dintre ciuperci - Ascomycota. Acestea stabilesc rețele trofice complexe în interiorul microbiomului și cu gazdele (de tipul parazitismului, în special). Interacțiunile de la nivelul microbiomului filoplanului sunt implicate în nutriția plantelor precum și la răspunsurile acestora la stres [6]. Spre exemplu, prezența bacteriilor din familia Pseudonocardiaceae pe acele de molid induce creșterea cantității de clorofilă [76]. Sursa microbiomului filoplanului este în marea majoritate a cazurilor, atmosfera dar propagulele mai pot fi depuse prin zoohorie sau provin din litieră și sol. La aceste comunități componente ale microbiomului frunzelor se conectează microbiomurile insectelor foliivore, a celor miniere și a celor galigene, a arahnidelor asociate acestui tip de habitat. Microbiomurile acestor organisme conțin o bună parte din speciile existente la nivelul frunzelor, atât din rândul bacteriilor, arheelor, fitoplasmelor, virusurilor cât și al ciupercilor la care se adaugă specii mutualiste ale sistemului lor

## Fodor: Pădurea ca holobiom

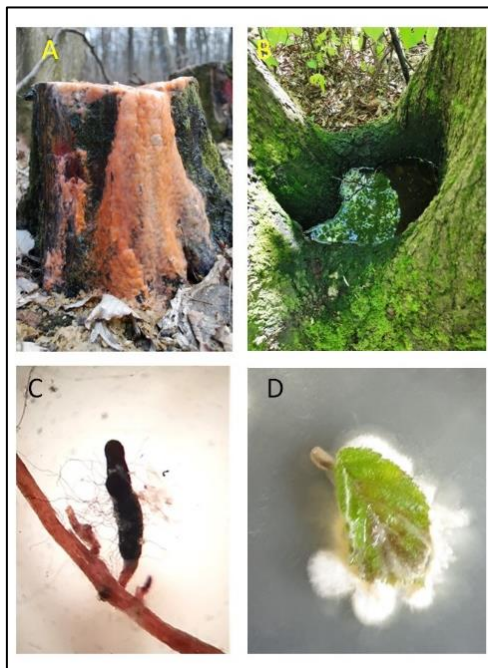


Foto 1. A. scurgeri de sevă. B. Dendrotelm la baza arborelui. C. Micoriză la gorun cu *Coenococcum geophilum*. D. Dezvoltarea pe mediu de cultură a speciilor din filoplanul de alun (fotografii de O. Hâruga)

digestiv implicate în digestia celulozelor (plasate între protiste, bacterii și drojdii). Spre exemplu, la *Melolontha hippocastani* (Coleoptera: Scarabeidae), bacterii din fam. Enterobacteriaceae sunt implicate în digestia celulozei provenită din consumul de frunze [61]. Relația acestor consumatori ai frunzelor cu planta gazdă este complexă în sensul în care microbiomul insectelor este constituit în cea mai mare parte de microbiomul foliajului consumat, în acest fel insectele devenind și vectori pentru patogeni. Cele mai multe fitoplasme, virusuri și numeroase specii de ciuperci patogene se află doar în tranzit câtă vreme se găsesc în microbiomul insectelor [77]. Ca și în cazul microbiomului rizosferei sau lemnului, acest microbiom este structurat succesional din comunități caracteristice fiecărui stadiu, de la muguri, la frunzele ajunse în literă în contextul în care procesul de degradare începe încă din fenofaza de creștere a frunzelor. Funcțional, comunitățile componente ale microbiomului conțin specii patogene în majoritate din Ascomycota, sapro-patogene oportuniste și specii saprotrofe, cele din urmă nefiind rezidenți permanenți ai frunzelor, sau fiind asociați cu anumite fenofaze, cum este fenofaza de înmugurire sau cea de deschidere a mugurilor a căror comunități sunt dominate de drojdii (precum *Sporobolomyces* spp. și *Aureobasidium pulullans*) și bacterii.

Asociat filoplanului prin numărul mare de specii comune este microbiomul fructelor și semințelor iar habitatul microbial delimitat de acestea constituie *carposfera* [78]. Specii patogene și sapropatogene caracteristice mediului bogat în nutrienți reprezentat de fructe și semințe cuprinde specii instalate în timpul cât fructele sunt în legătură cu planta (atât endofite cât și epifite). O serie de specii se atașează acestui microbiom după desprinderea de pe planta mamă și fac parte din bacterii, arhee, ciuperci, fitoplasme și virusuri [79]. Taxonii nucleu epifitici a fructelor conțin specii de bacterii și ciuperci saprotrofe precum *Pseudomonas* spp., *Pantoea* spp., *Methylobacterium* spp., *Cladosporium* spp., *Aureobasidium* spp., *Filobasidium* spp., *Vishniacozyma* spp., și *Alternaria* spp. [78].

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

Sursele primare ale speciilor din microbiomul fructelor și semințelor sunt aerul, filoplanul și solul (Foto 1D).

**2.2.4. Microbiomul litierei foliare sau al necromasei foliare**

Acest tip de microbiom ocupă o poziție nodală în structura și funcționarea ecosistemelor forestiere. Există o continuitate compozițională și în cadrul succesiunilor degradative între microbiomul litierei, microbiomul solului, microbiomul filoplanului, cel al rizosferei precum și microbiomul lemnului viu sau a celui care constituie necromasa lemnoasă. De altfel, ecosistemele forestiere sunt din punct de vedere a predominanței proceselor din circuitul material, ecosisteme de tip detritic la care componenta cantitativă cea mai mare este necromasa vegetală (foliară și lemnoasă) din care cauză microbiomurile asociate direct și indirect (ai altor participanți la rețelele trofice detritice cum sunt nevertebratele detritofage) sunt complexe. Procesele degradative încep încă din timpul vieții diferitelor module ale arborilor (în acest caz, frunzele) și continuă în planșeul pădurii până la încorporarea în orizontul organic al solului. Acolo are loc degradarea finală până la mineralizare cu participarea ciupercilor existente în sol și rizosferă și a bacteriilor din sol responsabile de mineralizare (Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes) [80]. Întreg procesul degradării și recirculării elementelor biogene existente în necromasă se produce secvențial constituind o succesiune degradativă care spre deosebire de succesiunile cunoscute la fito și zoocenoze care conduc la un stadiu de stabilitate timp nedefinit al comunității, evoluează spre degradarea completă a materiei organice - mineralizarea. Cum compusul organic cel mai greu degradabil din compoziția necromasei vegetale este lignina, și în litiera foliară precum în cazul lemnului mort, degradarea ligninei este asigurată de ciuperci din încreng. Basidiomycota.

**2.2.5. Microbiomul scoarței**

Microbiomurile asociate trunchiurilor și ramurilor arborilor, diferitelor tipuri de țesuturi care edifică scoarța și lemnul sunt diverse iar diversitatea diferitelor comunități depinde de tipul de organ, stadiul de dezvoltare ontogenetică, factori de mediu, diferitele surse primare și secundare de microorganisme. Poate aspectele cele mai interesante sunt legate de interconectarea sau intersecția dintre mai multe rețele trofice care au la bază resursele scoarței și lemnului. De exemplu, ramurile tinere, nelignificate a căror scoarță este fotosintetizantă adăpostesc microbiomuri diferite de ramurile la care procesul de lignificare s-a încheiat. Comunitățile de ciuperci saprotrofe, patogene sau facultativ mutualiste sunt mai mult sau mai puțin asemănătoare comunităților din foliaj. *Erysiphe alphitoides*, patogen în principal foliar epifit la speciile de *Quercus*, se extinde și pe scoarța nelignificată. Insectele fleofage care se hrănesc la nivelul lujerilor nelignificați sunt frecvent vectoare ale patogenilor sistemici: bacterii, fitoplasme sau virusuri contribuind în acest fel la edificarea endobiomului plantei. Microbiomul propriu al insectelor fleofage cum sunt cele din supraordinul Hemiptera conține specii bacteriene endosimbiotice primare și secundare implicate în metabolizarea sevei elaborate [81]. Astfel încât luând în considerare toate aceste componente biotice se conturează rețele multitrofice complexe în care relațiile interspecifice includ relația de parazitism dar și predatorism, herbivorie, mutualism și amensalism.

## Fodor: Pădurea ca holobiom

**2.2.6. Microbiomul lemnului trunchiurilor și ramurilor**

Este alcătuit în principal de degradatori ai lemnului, fiind dominat de ciuperci. Procesul de degradare este inițiat din timpul vieții arborelui de specii comensale care colonizează rănila apărute din activitatea insectelor, păsărilor sau mamiferelor silvicole, intervențiilor umane, fenomene climatice precum grindina sau ca urmare a elagajului natural. Este probabil microbiomul cel mai caracteristic al pădurii dat fiind că se asociază unor substraturi și microhabitate caracteristice numai arborilor. Are o compoziție care se schimbă secvențial de la țesuturile vii și funcționale ale scoarței și lemnului până la compoziția stadiului de degradare a lemnului mort, existând un continuum de procese și specii care se succed pe măsură ce apar noi microhabitate (scorburile și dendrotelmul) sau structura chimică a substraturilor se modifică pe măsura degradării ligninei și celulozelor. Modalitățile de obținere a nutrienților formează de asemenea un lanț în care nodurile sunt speciile patogene (în special din Ascomycota, Basidiomycota dar și bacterii cum sunt *Pseudomonas syringae* sau *Xanthomonas arboricola*, fitoplasme și virusuri), specii sapro-patogene oportuniste (din aceleași grupe mari taxonomice) și în final specii saprotrofe asociate tranzitoriu fiecărui stadiu în ciclul de viață al arborelui, în mare parte generaliste și care devin importante în stadiile inițiale ale descompunerii. În cazul lemnului (substrat bogat în lignină) microbiomul corespunzător degradării avansate este dominat de ciuperci din încreng. Basidiomycota.

O altă categorie/microbiom caracterizată de o mare bogăție a speciilor este cea asociat insectelor de scoarță și lemn, reprezentat de specii implicate în digestia celulozei în intestinul insectelor de lemn (microbiom dominat de ciliate) [82] sau speciile de ciuperci cultivate în galerii de către insectele de scoarță ca resursă de hrană pentru stadiile larvare, ciupercile de ambrozie la care se adaugă ciupercile introduse de insecte pentru compromiterea barierelor de apărare ale arborilor, majoritatea acestora fiind din genurile *Ceratocystis* și *Ophiostoma*. Ciupercile vehiculate de insecte sunt asociate mutualist cu acestea (Ascomycotina: Ophiostomatales și Saccharomycetales), asociere cu o istorie de co-evoluție îndelungată. Spre exemplu, co-evoluția gândacilor de lemn din fam. Lymexylidae (Coleoptera) cu ciupercile cultivate în galerii larvare este atestată paleontologic încă din Cretacicul târziu [83]. Mamiferele și păsările arboricole, cele care se adăpostesc în scorburi contribuie prin microbiomurile lor caracteristice la complexitatea microbiomurilor asociate arborilor.

Un microbiom cu existență efemeră, în perioada de început a sezonului de vegetație caracterizată de fluxuri puternice de sevă, este cel asociat scurgerilor de sevă, cu o compoziție complexă în bacterii și mai ales drojdii, cu o colorație caracteristică, portocalie și o textură mucoidă [84]. Dominate de ciuperci și drojdii, aceste consorții apar în seva care se scurge din răni sau care poate să apară pe cioate recente, fiind active o perioadă scurtă în primăvară, pe vreme umedă și caldă. Colorația portocalie este dată de o drojdie din Basidiomycota, *Cryptococcus macerans* [85], iar semnificația acestor consorții nu este una patogenă, sunt specii microbiene care profită de oportunitatea unui substrat bogat nutritiv, cu o existență scurtă (**Foto 1A**).

**2.2.7. Microbiomul dendrotelmului**

În ecologia microhabitadelor arborilor, scorburile inundate reprezintă un exemplu de ecosistem cu existență efemeră, cu o rețea trofică complexă și cu un grad mare de autonomie care

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

prezintă un microbiom specific. Aceste micro-ecosisteme acvaticice se mai numesc și fitotelme sau mai specific, dendrotelme și sunt descrise ca ecosisteme heterotrofe a căror structură trofică înglobează mai ales prădători și consumatori de detritus. Scorburile în sine sunt produsul activității ciupercilor de putregai și a diferitelor grupe de nevertebrate xilobionte precum și ocazional, activității păsărilor și mamiferelor de scorbură. Microbiomul este alcătuit din bacterii, protiste, ciuperci, cu diferite poziții în structura trofică, de la prădători (protiste) la specii saprotrofe (bacterii și ciuperci), constituind în egală măsură hrana altor grupe de viețuitoare. Un exemplu sunt larvele de țânțari (*Aedes triseriatus*, Diptera: Culicidae) care se dezvoltă în aceste microhabitate [86]. Ciupercile care intră în compoziția microbiomului scorburilor inundate sunt în majoritate saprotrofe dar există și ciuperci patogene provenite de pe scoarța sau din lemnul arborilor. Grupul caracteristic al comunității de ciuperci al acestui micro-habitat este cel plasat în cadrul clasei formale Hyphomycetes acvaticice [87], un grup de ciuperci saprotrofe, eterogen din punct de vedere filogenetic, ai căror reprezentanți se găsesc predominant în cursurile de ape cum sunt pâraiele care străbat pădurile (mai ales în spuma formată în vârtejurile de apă). Cu alte cuvinte sunt caracteristice *microbiomului cursurilor de ape* din păduri care la rândul lor, preiau o serie de specii de ciuperci, bacterii, protozoare dar și microalge cum sunt diatomeele din solul pădurii [88,89] realizând astfel un circuit care unește mai multe tipuri de habitate și microhabitate ale pădurii. Hyphomycetes acvaticice sunt astfel mai degrabă o grupare ecologică decât taxonomică cu o trasătură comună, adaptările la dispersia conidiilor prin intermediul apei (au formă hidrodinamică, sunt spiralate, sigmoide, cu brațe în formă de morișcă - tetraradiat, etc.). Speciile acestui grup se dezvoltă și înregistrează o diversitate specifică mare și în dendrotelme [87, 90, 91], dar și în picăturile de ploaie (dovada că aerul este un vector important pentru acest tip de organisme) sau în apa de ploaie care se scurge pe trunchiurile arborilor [87]. Sunt considerate specii amfibii datorită capacității de a se dezvolta pe substraturi vegetale în degradare terestră, dar și acvaticice și joacă un rol cheie în circuitele materiale forestiere, mai ales la interfața dintre cele două tipuri de medii, acvatic și terestru, datorită implicării în degradarea necromasei vegetale [92]. **(Foto 1B).**

**2.2.8 Microbiomul aerului**

Este în mod impropriu numit astfel dat fiind că microorganismele aflate în masele de aer sunt în formă inactivă, de propagule, iar aerul este mai degrabă un vector decât un mediu de viață. Există totuși părerea că se poate considera ca fiind microbiom în raport cu noțiunea de bioaerosol ca fiind materia organică aflată în suspensie în atmosferă, cuprinzând compuși organici din descompuneri, toxine provenite de la organisme, bacterii, ciuperci, virusuri și materii organice de proveniențe diverse (animale și vegetale între care de exemplu, granule de polen) [93] funcționând astfel ca un habitat de tip special. Autorii citați menționează faptul că în masele de aer aflate în apropierea solului, între ciuperci predomină cele din încrengăturile Ascomycota și Basidiomycota, incluzând de la specii fitopatogene sau zoopatogene, la specii mutualiste cum sunt cele micorizante. Cea mai mare parte a fitopatogenilor este vehiculată de masele de aer dar compoziția microbiomului atmosferei variază în raport de momentul zilei, de vreme și de sezon. Această compoziție cu variație sezonieră include bacterii cât și ciuperci, atât patogene cât și saprotrofe. Existența microbiomului aerului explică dispersia pe distanțe mari, uneori intercontinentale a speciilor de ciuperci care capătă astfel o răspândire cosmopolită, la nivelul întregii planete.

### 3. PERTURBĂRILE CARE AFECTEAZĂ MICROBIOMURILE FORESTIERE

Microbiomurile sunt afectate de modificări în structura, dinamică temporală și spațială. Schimbările produse mai cu seamă în compoziția microbiomurilor au fost studiate inițial în legătură cu sănătatea umană iar aceste modificări care sunt asociate stărilor de boală poartă numele de *disbioze* [94]. Prin extindere, termenul poate fi aplicat microbiomurilor asociate speciilor forestiere precum și mediilor forestiere (solului, cursurile de apă, apele subterane, etc.) care sunt afectate de perturbări abiotice, biotice și antropice.

În principiu, compoziția microbiomurilor variază rapid în funcție de modificări produse în factorii de mediu dar și în fenofazele și starea fiziologică a gazdelor așa că este greu de evaluat cât de importante sunt schimbările la nivelul microbiomurilor în situația producerii de perturbări. Sunt documentate prin cercetări compozițiile microbiomurilor în diferite situații, în special la nivelul solului și implicit al rizosfeii. Datele provin în special din ecosisteme artificiale cum sunt cele agricole.

Gradațiile de insecte sunt printre factorii perturbatori cei mai agresivi care afectează holobiomul forestier [95]. În cazul defolierilor, se modifică structura microbiomurilor literei foliare precum și a celei incorporate în sol. Crește temperatura solului și scade umiditatea acestuia afectând astfel comunitățile microbiene [96]. Creșterea temperaturii solului este un fenomen tot mai extins și pe fondul creșterii incendiilor de pădure care alterează profund microbiomul solului și al rizosferei: sunt afectate până la dispariție ciupercile de micoriză, actinobacteriile, virusurile dovedindu-se cele mai rezistente [97].

Numeroase studii au fost dedicate microbiomului solului forestier, celelalte tipuri de microbiom beneficiind de mai puțină atenție dat fiind aserțiunea că solul este o structură centrală sau o scenă fundamental importantă în aproape toate procesele care caracterizează ecosistemul forestier [13]. Solul forestier este expus la perturbări majore: eroziune, compactare, adăugare de xenobiotice, conversia tipurilor de folosință și schimbări climatice. Perturbările afectează interacțiunile comunităților bacteriene din sol cu factorii biotici structura microbiomurilor, distribuția în sol a microorganismelor, interacțiunile cu alte categorii de organisme ca plantele, macro-, mezo- și microfauna din sol, nutrienții, pH ul, textura și umiditatea solului, repartiția metaboliților secundari precum moleculele de [98].

Poluarea prin depuneri de nitrați la nivelul solului caracteristică pentru ultimele decade este responsabilă de reducerea cantității de fosfor din frunze care se asociază cu scăderea biodiversității bacteriomului frunzelor [99]. De altfel, ceea ce se întâmplă ca modificare a structurii microbiomului solului sub presiunea factorilor poluanți și altor stresori se propagă până la nivelul coroanelor afectând microbiomul filoaferei [76].

Nu numai microbiomul asociat arborilor sau solului este afectat de perturbări dar și microbiomurile speciilor de animale direct sau indirect asociate arborilor. Spre exemplu, amfibienii din mediile forestiere (și nu numai) din întreaga lume sunt afectați de un fenomen global de extincție datorită patogenilor, în special datorită lui *Batrachochytrium dendrobatidis*, o specie de ciuperci din încrengătura Chytridiomycota [100]. Perturbările apărute în ecosistemele forestiere

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

au dus la o sărăcire și uniformizare a microbiomului pielii amfibienilor, o disbioză care favorizează instalarea și proliferarea speciilor patogene [101].

## 5. CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE

Holobiomul forestier este structural complex dat fiind diversitatea organismelor componente, și este, la nivel metaforic comparabil cu structura terțiară a proteinelor: o biodiversitate împachetată, arborescentă la care fiecare nivel de complexitate determină procese distincte dar interconectate, are o dinamică proprie și este permanent deschisă la adăugiri, reconfigurări și schimbări în traiectoria evolutivă.

Reiese că ecosistemul forestier este mult mai mult decât organismele care le vedem când intrăm în pădure, cu mult mai mult decât biomasa utilă, cea a trunchiurilor de arbori, de specii cinegetice sau ciupercile și fructele de pădure pe care se focalizează interesele economice dar în mare măsură și cele științifice. Înseamnă mult mai mult și decât organismele considerate curent ca fiind dăunătoare. Chiar și conservarea pădurilor sau studiul ecologiei comunităților tradițional considerate ca fiind dominante, cele ale plantelor începe să însemne mult mai mult și mai incluziv.

De la nivelul holobiomului perspectiva asupra structurii și proceselor din ecosistemele forestiere este de o complexitate impresionantă, întregul corp teoretic și conceptual de până acum în ceea ce privește uriașa rețea de organisme având nevoie de o reconsiderare prin includerea microbiomului și interacțiunilor realizate de acesta.

Cunoașterea aprofundată și manipularea microbiomului permite găsirea acelor grupe microbiene care ar ajuta arborii în contextul schimbărilor climatice și a gradațiilor de insecte asociate acestui fenomen global [95].

Ce s-a întâmplat în ultimii ani în mod spectaculos a fost schimbarea de paradigmă prin care liantul ce determină funcționarea pădurii ca un tot este cel al microbiomului, o realitate invizibilă, dar care permează toate nivelele de organizare: de la organisme individuale, la populații și comunități forestiere. Se confirmă primul principiu al ecologiei, *totul este în legătură cu tot*.

## EXTENDED ABSTRACT – REZUMAT EXTINS

### Title in English: The forest as holobiome

**Abstract:** *The rise of the holobiome paradigm has reshaped theoretical frame of ecology – beginning with trophic webs to elemental cycles, to practical issues related to the microbiome control and manipulation. The holobiome is a system encompassing all the microorganisms associated to another organism considered the host, or those dwelling in a particular environment/habitat. The activity theatre of the microbiome consists of the total number of microorganisms and their products as structural molecules (nucleic acids, proteins, lipids, glucides, polysaccharides, etc.) as well as secondary metabolites such as toxins and signalling molecules. The microbiomes attached directly and indirectly to the trees are interconnected and encompass microscopic organisms (prokaryotes and eucaryotes) from different phyla among which antagonistic or mutualistic interactions are established. The biodiversity and composition of the microbiomes are approached with methods of the omics category, by bioinformatics and new culturomics, all these methods contributing to the identification of uncultivable microorganisms. Interactions are developed between*

**Fodor: Pădurea ca holobiom**

*microorganisms and tree-hosts, microorganisms and other organisms using trees as trophic and habitat resources and finally, interactions among microorganisms as components of the microbiome. The tree microbiomes are considered extended tree phenotypes. An important property of the ecological networks established by tree microbiomes is the openness, the capacity to attach new sub-networks as the system evolves. The richest links interconnecting environmental microbiomes to the tree microbiomes are developed by air and soil microbiomes while the highest link density is found in the phylloplane and rhizosphere microbiomes. The networks are responsible for compositional and functional microbial continuity at the entire holobiont level. Moreover, tree microbiomes are connected to the general trophic web of the forest ecosystem, echoing the fundamental law in ecology: everything is connected to everything else.*

**Key words:** holobiont, trees' microbiomes, biodiversity, ecological networks

**REFERINȚE**

1. Jansson, J.N., Prosser, J.I. (2013). The life beneath our feet. *Nature*, 494: 7.
2. Terhonen, E., Blumenstein, K., Kovalchuk, A., Asiegbu, F. O. (2019). "Forest Tree Microbiomes and Associated Fungal Endophytes: Functional Roles and Impact on Forest Health" *Forests* 10(1): 42. <https://doi.org/10.3390/f10010042>.
3. Matthews, J.L. (2024) Editorial: Holobiont interactions. *Front. Ecol. Evol.* 12:1382169. doi: 10.3389/fevo.2024.1382169.
4. Zilber-Rosenberg, I., Rosenberg, E. (2008). Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution. *FEMS Microbiol Rev.*, 32:723–35.
5. Simon, J.-C., Marchesi, J.R., Mougél, C., Selosse, M.A. (2019). Host-microbiota interactions: from holobiont theory to analysis. *Microbiome*, 7:5. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0619-4>
6. Guerrero, R, Margulis, L., Berlanga M. (2013). Symbiogenesis: the holobiont as a unit of evolution. *Int. Microbiol.* 16:133–43.
7. Lederberg, J., McCray, A.T. (2001) 'Ome Sweet 'Omics — a genealogical treasury of words. *Scientist* 15:8.
8. Beckers, B. Op De Beeck, M. Weyens, N. Boerjan, W., Vangronsveld, J. (2017) Structural variability and niche differentiation in the rhizosphere and endosphere bacterial microbiome of field-grown poplar trees, *Microbiome* 5: 25, <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0241-2>.
9. Kim, M. Singh, D. Lai-Hoe, A. Go, R. Abdul Rahim, R. Chun, J. et al., (2012) Distinctive phyllosphere bacterial communities in tropical trees, *Microb. Ecol.* 63: 674–681, <https://doi.org/10.1007/s00248-011-9953-1>.
10. Luo, S., Schmid, B., De Deyn, G.B., Yu, S. (2018). Soil microbes promote complementarity effects among co-existing trees through soil nitrogen partitioning. *Funct. Ecol.* 32: 1879–1889, <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13109>.
11. Liang, M., Liu, X., Gilbert, G.S., Zheng, Y., Luo, S., Huang, F. et al. (2016). Adult trees cause density-dependent mortality in conspecific seedlings by regulating the frequency of pathogenic soil fungi, *Ecol. Lett.* 19, 1448–1456, <https://doi.org/10.1111/ele.12694>,
12. Fondi, M., Karkman, A., Tamminen, M.V, Bosi, E., Virta, M., Fani, R., Alm, E, McInerney, J.O. (2016). Every Gene Is Everywhere but the Environment Selects: Global Geolocalization of Gene



## Fodor: Pădurea ca holobiom

- Sharing in Environmental Samples through Network Analysis. *Genome Biol Evol.* 13;8(5):1388-400. doi: 10.1093/gbe/evw077.
13. Ossowicki, A., Raaijmakers, J.M., Garbeva, P. (2021). Disentangling soil microbiome functions by perturbations. *Environmental Microbiology Reports*, 13(5): 582-590. doi: 10.1111/1758-2229.12989.
  14. Li, F., Zi, H., Sonne, C., Li, X. (2023). Microbiome sustains forest ecosystem functions across hierarchical scales. *Eco-Environment & Health*, 2: 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2023.03.001>.
  15. Hardoim, P.R., van Overbeek, L.S., Berg, G., Pirttilä, A.M., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., Sessitsch, A. (2015). The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 79:293–320. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00050-14>
  16. Gehring, C.A., Sthultz, C.M., Flores-Rentería, L., Whipple, A.V., Whitham, T.G., (2017). Tree genetics defines fungal partner communities that may confer drought tolerance. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.* 114: 11169. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704022114>. LP – 11174.
  17. Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Verg`es, M.C.C., Charles, T., Chen, X., Cocolin, L., Eversole, K., Corral, G.H., Kazou, M., Kinkel, L., Lange, L., Lima, N., Loy, A., Macklin, J.A., Maguin, E., Mauchline, T., McClure, R., Mitter, B., Ryan, M., Sarand, I., Smidt, H., Schelkle, B., Roume, H., Kiran, G.S., Selvin, J., de Souza, R.S.C., Van Overbeek, L., Singh, B.K., Wagner, M., Walsh, A., Sessitsch, A., Schloter, M., (2020). Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*, 8: 1–22.
  18. Baldrian, P., Merhautova, V., Cajthaml, T. et al. (2010). Small-scale distribution of extracellular enzymes, fungal, and bacterial biomass in *Quercus petraea* forest topsoil. *Biol Fertil Soils*, 46: 717–26.
  19. \*\*\*ScienceDirect: Microbiome. <https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/microbiome>. Accesat 10.03.2024.
  20. Rodriguez, R.J., White J.F., Jr., Arnold, A.E, Redman, R.S. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist* 182:314–330. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x>.
  21. Whipps, J., Lewis, K, Cooke, R. (1988). Mycoparasitism and plant disease control. In: Burge M, editor. *Fungi Biol Control Syst.* Manchester University Press; p. 161-187.
  22. Machado, M. S., Lauber, M., Reitmeier, S., Kacprowski, T., Baumbach, J., Haller, D., List, M. (2021). Network analysis methods for studying microbial communities: A mini review. *Computational and Structural Biotechnology* 19: 2687-2698, <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.05.001>.
  23. Thompson, L. R., Sanders, J. G., McDonald, D., Amir, A., Jansson, J. K., Gilbert, J. A., Knight, R., et al. (2017). The Earth Microbiome Project Consortium. A communal catalogue reveals Earth's multiscale microbial diversity. *Nature*, 551:457-463. doi:10.1038/nature24621.
  24. Sassler, B.L. (2002). Small talk: Cell-to-cell communication in bacteria. *Cell*, 109:421-434.
  25. Shade, A., Handelsman, J., (2012). Beyond the Venn diagram: the hunt for a core microbiome. *Environ. Microbiol.* 14: 4–12. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02585.x>.

## Fodor: Pădurea ca holobiom

26. Shaffer, J.P., Nothias, L.F., Thompson, L.R. et al. (2022). Standardized multi-omics of Earth's microbiomes reveals microbial and metabolite diversity. *Nat Microbiol* 7, 2128–2150 <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01266-x>
27. Sharma, M.P., Grover, M., Chourasiya, D., Bharti, A., Agnihotri, R., Maheshwari, H.S., Pareek, A., Buyer, J.S., Sharma, SK., Schütz, L., Mathimaran, N., Singla-Pareek, S.L., Grossman, J.M., Bagyaraj, D.J. (2020). Deciphering the Role of Trehalose in Tripartite Symbiosis Among Rhizobia, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, and Legumes for Enhancing Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Front Microbiol.* 17:11:509919. doi: 10.3389/fmicb.2020.509919.
28. Brüssow, H. (2019). Problems with the concept of gut microbiota dysbiosis. *Microb Biotechnol.* <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13479>.
29. Overmann, J, Huang, S., Nübel, U., Hahnke, R.L., Tindall, B.J. (2019). Relevance of phenotypic information for the taxonomy of not-yet-cultured microorganisms. *Syst. Appl. Microbiol.*,42:22–9.
30. Konstantinidis, K.T., Rosselló-Móra, R., Amann, R. (2017). Uncultivated microbes in need of their own taxonomy. *ISME J.*11:2399–406.
31. Olsen, G. J., Lane, D. J., Giovannoni, S. J., Pace, N. R., Stahl, D. A. (1986). Microbial ecology and evolution: a ribosomal RNA approach. *Annu. Rev. Microbiol.*, 40: 337–365
32. Karst, S.M., Dueholm, M.S., McIlroy, S.J., Kirkegaard, R.H., Nielsen, P.H., Albertsen, M. (2018). Retrieval of a million high-quality, full-length microbial 16S and 18S rRNA gene sequences without primer bias. *Nat Biotechnol.* 36:190–195.
33. Murrell, J.C., Whiteley, A.S. (2010). Stable isotope probing and related technologies. American Society for Microbiology Press;
34. Lee, N., Nielsen P.H., Andreasen, K.H., Juretschko, S., Nielsen, J.L., Schleifer, K.H., et al. (1999). Combination of fluorescent in situ hybridization and microautoradiography—a new tool for structure-function analyses in microbial ecology. *Appl Environ Microbiol.* 65:1289–97.
35. Yu, Y., Wen H., Li S., Cao, H, Li X., Ma, Z, She, X., Zhou, L., Huang, S. (2022) Emerging microfluidic technologies for microbiome research. *Front. Microbiol.* 13:906979. doi: 10.3389/fmicb.2022.906979.
36. Ingham, C. J., Sprenkels, A., Bomer, J., Molenaar, D., Berg, A. V. D., Vlieg, J. E. T. V. H., et al. (2007). The micro-petri dish, a million-well growth chip for the culture and high-throughput screening of microorganisms. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104: 18217–18222. doi: 10.1073/pnas.0701693104.
37. Duran, C, Zhang, S., Yang, C., Falco, M.L., Cravo-Laureau, C., Suzuki-Minakuchi, C., Nojiri, H., Duran, R., Sassa, F. (2022) Lowcost gel-filled microwell array device for screening marine microbial consortium. *Front. Microbiol.* 13:1031439. doi: 10.3389/fmicb.2022.1031439.
38. Wei W., Davis, R. E., Lee, I.-M. Zhao, Y. (2007). Computer-simulated RFLP analysis of 16S rRNA genes: identification of ten new phytoplasma groups. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57: 1855.
39. Nguyen, N.H., Song, Z., Bates, S.T., Branco, S., Tedersoo, L., Menke, J., Schilling, J.S., Kennedy, P.G. (2016). FUNGuild: an open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild. *Fungal Ecology*, 20:241-248.

## Fodor: Pădurea ca holobiom

- 
40. Poudel, R., Jumpponen, A., Schlatter, D.C., Paulitz T.C, Gardener, B.B., Kinkel, L.L., Garrett, K.A. (2016). Microbiome Networks: A Systems Framework for Identifying Candidate Microbial Assemblages for Disease Management. *Phytopathology*, 106(10):1083-1096. doi: 10.1094/PHYTO-02-16-0058-FI.
  41. Shoemaker, W., Locey, K., Lennon, J. (2017). A macroecological theory of microbial biodiversity. *Nat Ecol Evo*, 1: 0107 <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0107>
  42. Brouwer, S., Van der Wielen, P.W., Schriks M., Claassen, M., Frijns, J. (2018). Public participation in science: the future and value of citizen science in the drinking water research. *Water*, 10: 284.
  43. David, D. (2021). Can soil inoculation accelerate carbon sequestration in forests? <https://thinklandscape.globallandscapesforum.org/51373/can-soil-microbiome-restoration-carbon-sequestration-in-forests/>. Accesat 9. 04.2024.
  44. Hulbert, J.M., Hallett, R.A., Roy, H.E., Cleary, M.(2023). Citizen science can enhance strategies to detect and manage invasive forest pest sand pathogens. *Front. Ecol. Evol.* 11:1113978.doi: 10.3389/fevo.2023.1113978
  45. Averill, C., Anthony, M.A., Baldrian, P. et al. (2022). Defending Earth’s terrestrial microbiome. *Nat Microbiol*, 7: 1717–1725 <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01228-3>
  46. Baldrian, P. (2017). Forest microbiome: diversity, complexity and dynamics, *FEMS Microbiology Reviews*, 41(2): 109–130, <https://doi.org/10.1093/femsre/fuw040>.
  47. Lang, A. K., LaRue, E. A., Kivlin, S. N., Edwards, J. D., Phillips, R. P., Gallion, J., Kong, N., et al. (2023). “ Forest Structural Diversity is Linked to Soil Microbial Diversity.” *Ecosphere* 14(11): e4702. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4702>.
  48. Uroz, S., Buee, M., Deveau, A., Mieszkina, S., Martin, F. (2016). Ecology of the forest microbiome: highlights of temperate and boreal ecosystems. *Soil Biol. Biochem.*, 103:471–488, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.006>.
  49. Högberg, P., Plamboeck, A.H., Taylor, A.F.S. et al. (1999). Natural C-13 abundance reveals trophic status of fungi and host-origin of carbon in mycorrhizal fungi in mixed forests. *P. Natl. Acad. Sci. USA.*, 96:8534–9.
  50. Liu, J., Nagabhyru, P., Schardl, C.L. (2017). *Epichloe festucae* endophytic growth inflorets, seeds, and seedlings of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Mycologia*, 109:691–700.
  51. Christian, N., Herre, E.A., Mejia, L.C, Clay, K. (2017). Exposure to the leaf litter microbiome of healthy adults protects seedlings from pathogen damage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284: 20170641.
  52. Pirttilä, A.M, Brusila, V., Koskimaki, J.J., Wali, P.R., Ruotsalainen, A.L., Mutanen, M, Markkola, A.M. (2023). Exchange of microbiomes in plant-insect herbivore interactions. *mBio.*, 14(2):e0321022.
  53. Kandasamy, D., Gershenson, J., Hammerbacher, A. (2016). Volatile organic compounds emitted by fungal associates of conifer bark beetles and their potential in bark beetle control. *J. Chem. Ecol.* 42:952–969. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0768-x>.
  54. Douglas, A.E. (2006). Phloem-sap feeding by animals: problems and solutions. *J. Exp. Bot.*, 57:747–754. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj067>.

## Fodor: Pădurea ca holobiom

55. Douglas AE. (2015). Multiorganismal insects: diversity and function of resident microorganisms. *Annu Rev Entomol*, 60:17–34. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020822>.
56. Mogouong, J., Constant, P., Legendre, P., Guertin, C. (2021). The phyllosphere microbiome of host trees contributes more than leaf phytochemicals to variation in the *Agrilus planipennis* Fairmaire gut microbiome structure. *Sci. Rep.* 11:15911. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95146-9>.
57. Smee, M.R., Real-Ramirez, I., Zuluaga, A. C. et al. (2021). Epiphytic strains of *Pseudomonas syringae* kill diverse aphid species. *Appl Environ Microbiol*, 87:e00017–21.
58. Klimov, P.B., Chetverikov, P.E., Dodueva, I.E. et al. (2022). Symbiotic bacteria of the gall-inducing mite *Fragariocoptes setiger* (Eriophyoidea) and phylogenomic resolution of the eriophyoid position among Acari. *Sci Rep.*, 12:3811.
59. Lamelas, A., Gosalbes, M.J., Manzano-Marin, A. et al. (2011). *Serratia symbiotica* from the aphid *Cinara cedri*: a missing link from facultative to obligate insect endosymbiont. *PLoS Genet*; 7:e1002357.
60. Moran, N.A., McLaughlin, H.J., Sorek, R. (2009). The dynamics and time scale of ongoing genomic erosion in symbiotic bacteria. *Science*, 323:379–82.
61. Alonso-Pernas P., Bartram S., Arias-Cordero, E.M. et al. (2017). In vivo isotopic labelling of symbiotic bacteria involved in cellulose degradation and nitrogen recycling within the gut of the forest cockchafer (*Melolontha hippocastani*). *Front Microbiol*, 8:1970.
62. Groen, S.C., Whiteman, N.K., Bahrami, A.K. et al. (2013). Pathogen-triggered ethylene signalling mediates systemic-induced susceptibility to herbivory in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 25:4755–66.
63. Tecon, R., Or, D. (2017) Biophysical processes supporting the diversity of microbial life in soil. *FEMS Microbiol Rev*, 41: 599–623. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux039>.
64. Vos, M., Wolf, A.B., Jennings, S.J., Kowalchuk, G.A. (2013) Micro-scale determinants of bacterial diversity in soil. *FEMS Microbiol. Rev.*, 37: 936–954. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12023>.
65. Fierer, N., Jackson, R.B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 103:626–31.
66. Tedersoo, L., Bahram, M., Cajthaml, T. et al. (2016). Tree diversity and species identity effects on soil fungi, protists and animals are context dependent. *ISME J*, 10:346–62.
67. Ekblad, A., Wallander, H., Godbold, D.L. et al. (2013). The production and turnover of extramatrical mycelium of ectomycorrhizal fungi in forest soils: role in carbon cycling. *Plant Soil*, 366:1–27.
68. Loreau, M., Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412: 72–76, <https://doi.org/10.1038/35083573>.
69. Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M. (2004) *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts, *Nat. Rev. Microbiol.* 2 43–56, <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>.
70. Lehr, N.A., Schrey, S.D., Hampp, R., Tarkka, M.T. (2008). Root inoculation with a forest soil streptomycete leads to locally and systemically increased resistance against phytopathogens in Norway spruce, *New Phytol.* 177 965–976, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02322.x>

## Fodor: Pădurea ca holobiom

71. Bertaux, J., Schmid, M., Hutzler, P. (2005) et al. Occurrence and distribution of endobacteria in the plant-associated mycelium of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor* S238N. *Environ Microbiol*, 7:1786–95.
72. Strullu-Derrien, C., Selosse, M.-A., Kenrick, P., Martin, F.M. (2018). The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: From palaeomycology to phylogenomics. *New Phytol.*, 220, 1012–1030. DOI: 10.1111/nph.15076
73. Read, D.J. (1991). Mycorrhizas in ecosystems, *Experientia*, 47: 376–391, <https://doi.org/10.1007/BF01972080>.
74. Leveau, J.H.J., Beattle, G. A., Lindow, S.E., Mahaffee, W.F. 2023. Phyllosphere, front and center: Focus on formerly “ecologically neglected” microbial milieu. *Phytobiomes*, 7: 140-144 <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-08-23-0088-E>
75. Liu, H., Brettell, L.E., Singh, B. (2020). Linking the phyllosphere microbiome to plant health. *Trends Plant Sci.* 25: 841–844, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.06.003>.
76. Duan, Y., Siegenthaler, A., Skidmore, A.K. et al. (2024). Forest top canopy bacterial communities are influenced by elevation and host tree traits. *Environmental Microbiome*, 19: 21. <https://doi.org/10.1186/s40793-024-00565-6>
77. Coolen, S., Rogowska-van der Molen, M., Welte, C. U. (2022). The secret life of insect-associated microbes and how they shape insect–plant interactions. *FEMS Microbiology Ecology*, 98(9): fiac083, <https://doi.org/10.1093/femsec/fiac083>.
78. Zhimo, V.Y., Kumar, A., Biasi, A., Abdelfattah, A., Sharma, V.K., Salim, S., Feygenberg, O., Bartuv, R., Freilich S., Whitehead, S.R., Wisniewski, M., Droby, S. (2022). Assembly and dynamics of the apple carposphere microbiome during fruit development and storage. *Front. Microbiol.*, 13:928888. doi: 10.3389/fmicb.2022.928888.
79. Droby, S., Wisniewski, M. (2018). The fruit microbiome: a new frontier for postharvest biocontrol and postharvest biology. *Postharvest Biol. Technol.* 140: 107–112. doi: 10.1016/j.postharvbio.2018.03.004.
80. Purahong, W., Wubet, T., Lentendu, G., Schloter, M., Pecyna, M.J., Kapturska, D., et al. (2016). Life in leaf litter: novel insights into community dynamics of bacteria and fungi during litter decomposition. *Mol. Ecol.* 25: 4059–4074, <https://doi.org/10.1111/mec.13739>.
81. Buchner, P. (1965). *Endosymbioses of Animals with Plant Microorganisms*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
82. Engel, P., Moran, N. A. (2013). The gut microbiota of insects – diversity in structure and function, *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5) : 699–735, <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12025>.
83. Peris, D., Delclós, X., Jordal, B. (2021). Origin and evolution of fungus-farming in wood boring Coleoptera – a paleontological perspective. *Biol. Rev.*, 96: 2476-2488. doi: 10.1111/brv.12763.
84. Weber, R.W.S. (2006). On the ecology of fungal consortia of spring sap-flows. *Mycologist*, 20: 140-143 (doi:10.1016/j.mycol.2006.09.015).
85. Seifert, K., Gräfenhan, T., Hodge, K. Summere, B., Degawa, Y., McFadden-Smith, W. (2011). The International Tree Slime Project DNA barcoding of fungal volcanoes. <http://cesanluisobispo.ucanr.edu/files/300145.pdf>.

## Fodor: Pădurea ca holobiom

86. Kaufman, M.G., Bland, S.N., Worthen, M.E., Walker, E.D. Klug, M.J. (2001). Bacterial and fungal biomass responses to feeding by larval *Aedes triseriatus* (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.* 38: 711-719.
87. Gönczöl, J., Révay, Á. (2003). Tree-hole fungal communities: aquatic, aero-aquatic and dematiaceous hyphomycetes. *Fungal Diversity*, 12: 19-34.
88. Ingold, C.T. (1975). *Guide to Aquatic Hyphomycetes*. SP30. Freshwater Biological Society.
89. Edwards, P. M., Pan, Y., Mork, L., & Thorne, C. (2020). Using diatoms to assess river restoration: A pilot study in Whychus Creek, Oregon, USA. *River Research and Applications*, 36(10): 2089-2095.
90. Magyar, D., Vass, M., Oros, G. (2017). Dendrotelmata (water-filled tree holes) as fungal hotspots-a long term study. *Cryptogam Mycol.* 38: 55–66. doi: 10.7872/crym/v38.iss1.2017.55.
91. Chauvet, E. Cornut, J., Sridhar, K. R.m Selosse, M. -A., Bärlocher, F. (2016). Beyond the water column: aquatic hyphomycetes outside their preferred habitat. *Fungal Ecology*, 19: 112-127.
92. Bärlocher, F. 2016. Aquatic hyphomycetes in a changing environment, *Fungal Ecology*, 19:14-27. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.05.005>.
93. Naumova, N.B., Kabilov, M.R. (2022). About the Biodiversity of the Air Microbiome. *Acta Naturae*. 14(4):50-56. doi: 10.32607/actanaturae.11671. PMID: 36694900; PMCID: PMC9844089.
94. Bello, M.G.D., Knight, R., Gilbert, J.A., Blaser, M.J. (2018). Preserving microbial diversity. *Science*, 362:33–34.
95. Lehmann, P., Ammun'et, T., Barton, M., Battisti, A., Eigenbrode, S.D., Jepsen, J.U., Kalinkat, G., Neuvonen, S., Niemela, P., Terblanche, J.S., Økland, B., Bjorkman, C. (2020). Complex responses of global insect pests to climate warming. *Front. Ecol. Environ.* 18: 141–150. <https://doi.org/10.1002/fee.2160>.
96. Bässler, C., Müller, J., Cadotte, M.W. et al. (2016). Functional response of lignicolous fungal guilds to bark beetle deforestation. *Ecol. Indic.*, 65:149–60.
97. Nelson, A.R., Narrowe, A.B., Rhoades, C.C. et al. (2022). Wildfire-dependent changes in soil microbiome diversity and function. *Nat Microbiol*, 7: 1419–1430 <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01203-y>
98. König, S., Vogel, H-J., Harms, H., Worrlich, A. (2020) Physical, Chemical and Biological Effects on Soil Bacterial Dynamics in Microscale Models. *Front. Ecol. Evol.*, 8:53. doi: 10.3389/fevo.2020.00053.
99. Talkner, U., Meiwes K.J., Potočić N., Seletković, I., Cools, N, De Vos, B., Rautio, P. (2015). Phosphorus nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.) is decreasing in Europe. *Ann For Sci.*, 72:919–28.
100. Luedtke, J.A., Chanson, J., Neam, K. et al. (2023). Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature* 622: 308–314 <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4>.
101. Greenspan, S.E., Peloso, P., Fuentes-González, J.A. et al. (2022). Low microbiome diversity in threatened amphibians from two biodiversity hotspots. *Anim microbiome* 4: 69 <https://doi.org/10.1186/s42523-022-00220-w>.



# INSTALAREA VEGETAȚIEI FORESTIERE ÎN STEPĂ, PROVOCARE ÎN CONTEXTUL MODIFICĂRILOR CLIMATICE: EXEMPLIFICĂRI PE PLAN INTERN ȘI INTERNAȚIONAL

Milian Marian Sandu<sup>a\*</sup>, Iovu Adrian Biriș<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Regia Națională a Pădurilor – Romsilva, Direcția Silvică Brașov, Ocolul Silvic Brașov, Șirul Ludwig van Beethoven, Nr. 1, Brașov, 500123, România, [sandumilian@gmail.com](mailto:sandumilian@gmail.com)

<sup>b</sup>Programul de studii Silvicultură, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară din București, Bulevardul Mărăști, Nr. 59, București, 011464, România, [iovu.biris@gmail.com](mailto:iovu.biris@gmail.com)

## REPERE

- La împădurirea zonelor de stepă intervine factorul limitativ principal – apa.
- Silvicultorii au pus bazele creării unor culturi forestiere în condiții mai puțin prielnice existenței pădurilor, constituind un fond de date științifice valoroase.
- S-a urmărit comportamentul ecologic al speciilor de arbori și arbuști precum și interacțiunile acestora cu mediul de adopție.

## INFORMAȚII ARTICOL

Istoricul articolului:  
Manuscris primit la: 17 septembrie 2024  
Primit în forma revizuită: 19 septembrie 2024  
Acceptat: 20 septembrie 2024  
Număr de pagini: 14 pagini

Tipul articolului:  
Articol de sinteză

### Cuvinte cheie:

Împădurire

Stepă

Specii rezistente

Comportament ecologic

Experiment

## REZUMAT GRAFIC



## REZUMAT

În regiunile de stepă, suprafața pădurilor naturale este mică, datorită factorilor limitativi, principalul fiind apa. Prin instalarea artificială a plantațiilor forestiere în diferite combinații și structuri cenotice, în România, s-au desfășurat experimentele la Institutul de Cercetări și Experimentări Silvice, Stațiunile de Cercetare Dobrogea și Bărăgan. În arboretele de la Bărăgan s-a observat o concurență puternică între stejarul brumăriu și frasinul comun, în timp ce stejarul pufoș are o creștere viguroasă și o stare fitosanitară bună. Și la nivel mondial s-au experimentat împăduriri în zone de stepă și/sau deșert, în regiuni precum: Rusia, Turcia, Israel, China, Africa. În Rusia, principalele studii au fost făcute pe pinul silvestru, autorii turci s-au concentrat asupra pinului negru, iar în China s-a dezvoltat un program proiectat pe o lungime de 1700 km, unde principalele specii folosite au fost plopul tremurător, salcâmul, cenușerul și sofora.

## 1. INTRODUCERE

În actualul context al modificărilor climatice globale, definite ca „O schimbare a stării climei ce poate fi identificată prin modificări ale mediei și/sau variabilității proprietăților sale, care persistă pentru o perioadă lungă de timp, de regulă zeci de ani sau mai mult” [1], care au condus la o aridizare a climei pe mari suprafețe ale globului, asistăm la o tendință crescătoare a fenomenului numit deșertificare, mai exact o formă de degradare accelerată a terenurilor din zonele de stepă [2]. Stepele sunt considerate ecosisteme terestre vulnerabile, din cauza unor condiții ecologice, în general, extreme pentru viața plantelor, precum nivelul redus al precipitațiilor medii anuale, temperaturile medii anuale ridicate, rata evapotranspirației potențiale ridicată, prezența vânturilor uscate, a iernilor friguroase și uscate, solurile cu deficit hidric ș.a. [3]. În aceste zone pot supraviețui doar plante adaptate la condițiile de mediu, numite și xerofite, al căror nivel de rezistență este dat de particularitățile morfo-anatomice și fiziologice specifice [4], spre exemplu: prezența unui sistem radicular bogat și profund, care asigură explorarea unui volum mai mare de sol și accesul la umiditatea existentă în partea inferioară a solului vegetal; frunzele au o cuticulă groasă, fie cu aspect lucios, fie cu aspect tomentos sau pubescent, prin prezența perilor inactivi, iar stomatele prezintă un mecanism rapid de închidere încă de la primele semne ale deficitului hidric, ceea ce conferă plantelor rezistență la ofilire [5]. Suma reacțiilor de acomodare ale unei populații (biocenoză) dintr-o anumită specie la un anumit mediu ecosistemic (biotop), reacții ce pot fi morfologice, fiziologice, ori populaționale, determină așa-numitul “comportament ecologic” [6]. În general, speciile forestiere pot avea ca răspuns la impactul mediului abiotic asupra lor, trei acțiuni de bază: (a) fie să se adapteze și să persiste, cu zestrea genetică pe care o au, într-o gamă largă de condiții de mediu, prin intermediul plasticității fenotipice, de aceea, avem specii existente de milioane de ani, cum sunt indivizii genului *Quercus* – stejarii, care prezintă capacitatea de a se adapta din punct de vedere fiziologic și a căror variabilitate intraspecifică este foarte mare, regăsindu-se numeroase varietăți și forme; (b) atunci când nu-și mai găsesc condiții favorabile, potrivit exigențelor ecologice specifice, pot să migreze natural, prin semințe, în alte zone, și chiar să înlocuiască alte specii; (c) când nu se pot adapta și nici nu pot migra datorită unor particularități specifice, precum fructificații rare, condiții nefavorabile germinării semințelor, populații mici și izolate ș.a., se produce extincția (dispariția) populației sau chiar a speciei. În zonele de stepă, suprafața pădurilor naturale este redusă, tocmai din cauza factorilor limitativi, principalul fiind apa, iar vegetația este formată în mare parte din specii de graminee și arbuști pitici precum măceșul (*Rosa canina* L.), porumbarul (*Prunus spinosa* L.), migdalul pitic (*Prunus tenella* Batsch) ș.a., doar în micile depresiuni (crovuri), unde nivelul apei freatică este mai ridicat, s-au instalat arborete rărite și înierbate, în care specia predominantă este stejarul brumăriu (*Quercus pedunculiflora* L.) [7, 8]. Cu toate acestea, s-a încercat de-a lungul timpului o serie de experimente, prin instalarea artificială a unor plantații forestiere în diferite combinații și structuri cenotice (masiv compact de 0,25 – 1,0 ha și perdele forestiere), în condiții nefavorabile de mediu pentru arbori, iar rezultatele au fost consemnate într-o serie de lucrări științifice. Gospodărirea pe fundamente ecologice a trupurilor de pădure situate în zona de stepă, trebuie să se bazeze pe o bună cunoaștere a speciilor de arbori și arbuști utilizate, a cerințelor ecologice, precum și pe conexiunea dintre comunitățile umane și ambianța lor naturală, pentru îndeplinirea cu maximă eficiență a funcțiilor de protecție și în subsidiar, de a satisface nevoia de lemn a populației din aceste zone [9]. Scopul prezentului articol de sinteză este studiul bibliografic al literaturii de specialitate, pentru exemplificarea unor



experimente de împădurire cu diverse specii lemnoase în condiții nefavorabile de mediu (stepa) și rezultatele acestora după o perioadă de la plantare.

## 2. EXPERIENȚA LA NIVEL NAȚIONAL. STUDIUL COMPORTAMENTULUI ECOLOGIC

În țara noastră, împăduririle în zona de stepă au început încă din secolul al XIX – lea, atunci când efectele secetelor s-au resimțit asupra culturilor agricole. Astfel, atât autoritățile de la acea vreme, cât și marii proprietari de terenuri agricole, au luat măsuri, în principal, prin crearea de perdele forestiere în județele Ialomița și Brăila, precum și în Oltenia (Piscu Vechi) pentru fixarea nisipurilor mișcătoare [10]. Un mare silvicultor român care s-a preocupat de problema împăduririlor în zonele aride a fost D.R. Ruscescu [7], care în perioada 1904 – 1907 a elaborat primele lucrări din literatura silvică românească, bazate pe cercetări proprii folosind “căruța cu coviltir” pentru a se deplasa, acestea fiind: “Chestiunea împăduririlor artificiale în România” și “Nesiguranța recoltelor agricole”, în care a recomandat ca specii de bază pentru împădurirea Bărăganului salcâmul (*Robinia pseudoacacia* L.), ulmul de Turkestan (*Ulmus pumila* L.) și stejarul brumăriu (*Quercus pedunculiflora* L.), deși mulți silvicultori de la acea vreme erau sceptici în privința utilizării speciilor exotice în cultură (ex.: salcâmul), considerând că acestea se pot instala doar în parcuri. Debutul cercetărilor și experimentărilor riguroase în privința oportunității instalării vegetației lemnoase în zone de stepă începe odată cu crearea de către Institutul de Cercetări și Experimentații Forestiere (I.C.E.F.) a stațiunilor silvice experimentale Dobrogea (1938) și Bărăgan (1946), ambele sub îndrumarea doctorului inginer Ioan Zeno Lupe, silvicultor preocupat de perdelele forestiere de protecție, acesta fiind și motivul înființării celor două stațiuni – crearea de perdele forestiere pe baze științifice. Prin urmare, de atunci a început să se studieze adaptabilitatea unei game largi de specii lemnoase la un climat semiarid, s-au cercetat de asemenea modul de îngrijire și conducerea al arboretelor, precum și influența acestora asupra condițiilor staționale. În cadrul Stațiunii regionale de experimentație forestieră Dobrogea (1938) situată în pădurea Mangalia (fostă Comarova) primele cercetări au început în 1939, când s-au instalat, pe terenul proprietatea statului de la Herghelia Mangalia, perdele forestiere de protecție a câmpului, cu un asortiment larg de specii printre care: stejarul brumăriu (*Quercus pedunculiflora* L.), ulmul de Turkestan (*Ulmus pumila* L.), glădița (*Gleditsia triacanthos* L.), frasinul comun (*Fraxinus excelsior* L.), plopul hibrid (*Populus x euramericana* Guiner.), mojdreanul (*Fraxinus ornus* L.), jugastrul (*Acer campestre* L.) și o gamă diversă de arbuști, specii caracteristice zonelor de silvostepă. Acolo, cercetătorii I.C.E.F. au stabilit ineficiența cultivării plopului hibrid în amestec (datorită competiției interspecifice), precum și a salcâmului în monoculturi.

Stațiunea (Baza) experimentală Bărăgan a fost înființată în urma disponibilizării unei suprafețe de 1200 ha teren agricol de către Consiliul de miniștri, către I.C.E.F., în 1942. Sub coordonarea lui dr. ing. Ioan Zeno Lupe, în 1947 începe instalarea unor perdele forestiere cu amestec de salcâm și ulm de Turkestan. Rezultatul obținut nu a fost cel scontat, deoarece formula de împădurire și dipozitivul de plantare nu au fost corespunzătoare. Salcâmul a fost plantat în centrul perdelei, fiind puternic concurat de ulmul de Turkestan și apoi eliminat, în cea mai mare parte [10]. Cu toate acestea, s-au conturat unele concluzii cu privire la asocierea speciilor, la realizarea plantațiilor în zone de stepă. Ulterior, se trece la culturi experimentale cu specii de cvercinee (stejar pedunculat – *Quercus robur* L., stejar brumăriu – *Quercus pedunculiflora* K.Kosch,

## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

stejar pufos – *Quercus pubescens* Willd., cer – *Quercus cerris* L.), alte specii foioase, arbori și arbuști, dispuse în diverse scheme și compoziții de plantare. Baza experimentală Bărăgan (U.P. I Bărăgan) [11], ce ocupă în prezent o suprafață de 332,53 ha fond forestier proprietate publică a statului, este localizată din punct de vedere geografic, în partea central-estică a Bărăganului de Sud (Bărăganul Mostiștei), componentă a Câmpiei Române, iar administrativ-teritorial, întreaga unitate se află pe raza comunei Perișoru, județul Călărași. Fondul forestier din Unitatea de producție I Bărăgan este sub administrația Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”. Obiectivul principal al înființării acestei stațiuni experimentale a fost de a stabili modul de comportare a unei game cât mai diverse de specii lemnoase într-o regiune săracă în precipitații, cu temperaturi ridicate, în vederea alegerii acestora pentru perdelele forestiere de protecție [12]. Pe lângă acest obiectiv au existat și altele precum: aclimatizarea unor specii utilizate la crearea spațiilor verzi; refacerea pădurilor degradate din stepă și silvostepă. S-au produs și erori de-a lungul timpului, deoarece s-a deviat de la traiectoria inițială, cea de cercetare, urmându-se una de producție, prin exploatarea integrală a unor suprafețe experimentale și înlocuirea lor cu monoculturi de plop euramerican și răchită cu ciclu de producție scurt, precum și cultivarea de puiști forestieri și ornamentali pentru valorificare [8]. Experimentul de la Bărăgan are caracter de unicitate, deoarece este prima dată în România, când se creează pădure în stepă, cu un mare număr de specii de arbori, cerințe ecologice diferite și areale îndepărtate (molid – *Picea abies* L. Karst.; larice – *Larix decidua* Mill.; pin silvestru – *Pinus sylvestris* L.; pin negru – *Pinus nigra* Arn.; pin strob – *Pinus strobus* L.; stejar pedunculat – *Quercus robur* L.; stejar brumăriu – *Quercus pedunculiflora* K.Koch.; cer – *Quercus cerris* L.; stejar pufos – *Quercus pubescens* Willd.; stejar roșu – *Quercus rubra* L.; castan – *Castanea sativa* Mill.; frasin comun – *Fraxinus excelsior* L.; frasin pufos – *Fraxinus pallisiae* Wilmott.; plop euramericani – *Populus x Canadensis* Moench.; tei argintiu – *Tilia tomentosa* Moench.; salcâm – *Robinia pseudoacacia* L.; paltin de câmp și de munte – *Acer platanooides, pseudoplatanus* L.; sâmbovina – *Celtis australis* L.; jugastru – *Acer campestre* L.; arțar tătăresc – *Acer taticum* L. ș.a.), la care se mai adugă mai multe specii de arbuști. Principalul tip de sol este cernoziomul cu subtipurile cambic și tipic [11]. S-au derulat multe cercetări în cadrul Bazei Experimentale Bărăgan, asupra comportamentului ecologic al speciilor forestiere în condiții de stepă [13 - 15]; asupra transpirației și creșterii arborilor [16]; privind fenologia arborilor [17]; privind creșterea și dezvoltarea unor culturi de plop în condiții de irigare [18, 19], dar și asupra entomofaunei [20] și populațiilor de buruieni [21]. Între 1990-1992 s-a desfășurat o cercetare ecologică de mare complexitate [12], făcând apel la cercetători din alte institute și Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov pentru determinarea comportamentului ecologic al speciilor (hidric, termic, biocenotic), aspectele de microclimă, inventarierea buruienilor și păsărilor.

Comportamentul hidric a fost evaluat în urma rezultatelor privind consumul de apă, transpirația și indicatorii dendrometrici (d, h, v, i), care reflectă nivelul de adaptabilitate la principalul factor limitativ (apa), în culturile în care nu s-au făcut irigații. Astfel, autorii studiului constată că din punct de vedere al transpirației, ulmul de Turkestan (*Ulmus pumila* L.) își poate reduce foarte mult nivelul (cu 43%) în a doua parte a verii, iar consumul de apă este de numai 132 mm/an. Salcâmul este a doua specie cu o reducere a transpirației mai mică decât a ulmului (30%). În privința comportamentului hidric al speciilor de stejari, pe prima poziție în clasament se situează stejarul pufos (*Quercus pubescens* Willd.) care își reduce transpirația cu 27% și are un consum de apă mic (172 mm/an), dar din punct de vedere al productivității este sub stejarul pedunculat (*Quercus robur* L.) și cer (*Quercus cerris* L.), iar dintre stejarul pedunculat și cel

## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

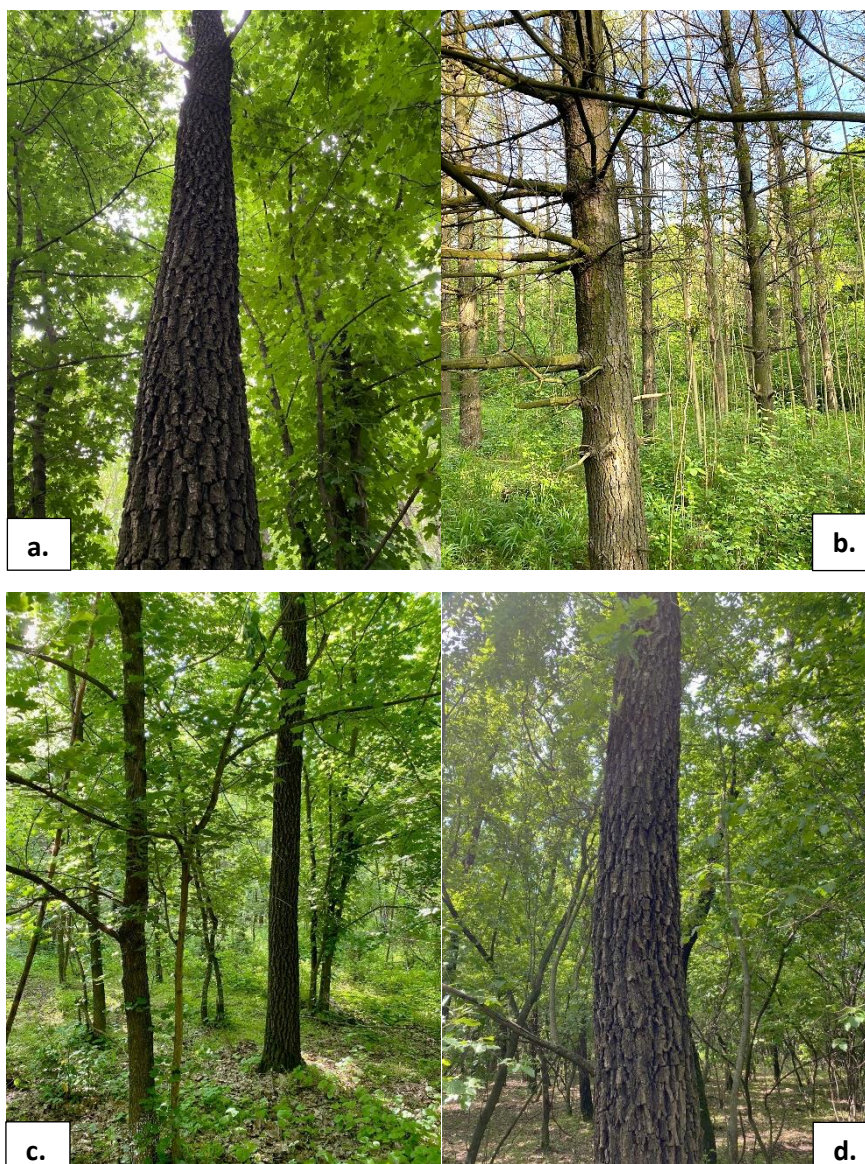
brumăriu (*Quercus pedunculiflora* K. Koch), primul are un consum mai redus de apă (177 – 198 mm/an) și o productivitate mai ridicată ( $3,0 \text{ m}^3/\text{an}^{-1}/\text{ha}^{-1}$ ), pe când stejarul brumăriu are o productivitate de numai  $2,6 \text{ m}^3/\text{an}^{-1}/\text{ha}^{-1}$ , cerul are un consum de 227 mm/an. Cel mai mare consum de apă, dintre stejari, îl are stejarul roșu (*Quercus rubra* L.) – 254 mm/an. Au fost analizate trei specii de frasin – frasinul comun (*Fraxinus excelsior* L.), frasinul pufos (*Fraxinus pallisae* Wilmott.), frasinul de câmp (*Fraxinus angustifolia* Vahl.), dintre aceștia, cel mai mare consum îl are frasinul comun (378 mm/an), urmat de frasinul de câmp (344 mm/an) și frasinul pufos (246 mm/an) acesta din urmă prezentând posibilitatea cea mai ridicată de reducere a transpirației (19%). O altă specie, mare consumatoare de apă, este plopul euramerican (457 mm/an). În privința arbuștilor, au fost analizate specii precum: jugastrul (*Acer campestre* L.), arțarul tăărăsc (*Acer tataricum* L.), păducelul (*Crataegus monogyna* Jacq.), sângerul (*Cornus sanguinea* L.), lemnul câinesc (*Ligustrum vulgare* L.), vișinul turcesc (*Prunus mahaleb* L), scumpia (*Cotinus coggygria* Scop.). Autorii au constatat că arțarul tăărăsc are un consum de apă redus (70 mm/an), în timp ce vișinul turcesc și păducelul prezintă un consum mai mare (101 -132 mm/an), iar în ce privește reducerea transpirației vara, lemnul câinesc se situează pe prima poziție (până la 43% nivelul de reducere).

Prin comportamentul termic se înțelege nivelul de acomodare al speciilor la regimul temperaturilor caracteristic zonei. Astfel, s-a constatat faptul că, majoritatea speciilor analizate s-au acomodată la variațiile termice din zona de stepă, cu toate acestea, unele specii au avut de suferit în perioadele cu ger, prezentând vătămări: paltinul de munte s-a uscat, cerul și stejarul pufos au suferit gelivuri, nucul (*Juglans regia* L.) și dudul alb (*Morus alba* L.) au prezentat o degerare a lujerilor tineri. De asemenea, tot din cauza temperaturilor scăzute, unele exemplare de frasin, stejar și paltin prezentau defectul de înfurcire al trunchiului, consecință a afectării lujerului terminal, fie de înghețurile timpurii, care îl surprind incomplet lignificat, fie de înghețurile târzii, care îl surprind la pornirea în vegetație.

Ca orice sistem viu, biologic, pădurea este supusă schimbării cantitative și calitative în continuu, procese ce se află în strânsă interdependență. Aceste schimbări se produc ca urmare a unei intense concurențe între indivizii aceleiași specii (intraspecifică), cât și competiției indivizilor din specii diferite (interspecifică), ce au ca urmare, în cazul arborilor diferențierea dimensională și eliminarea naturală. Totodată, schimbările la nivel populațional duc la o autoreglare a structurii populației, ca o componentă a procesului general de modificare la nivelul întregului ecosistem, deoarece, în funcție de stadiul dezvoltării în care se află, o pădure susține diferite alte specii de floră și faună, care au preferințe diferite, raportate la stadiul dezvoltării în care aceasta se află. Referitor la arboretele create în cadrul Bazei Experimentale Bărăgan, instalarea acestora în diverse compoziții de amestec s-a făcut, tocmai pentru a urmări raporturile inter- și intraspecifice care se creează între indivizi, și pentru a vedea care are o rezistență bună și o capacitate de adaptare în condiții de concurență. Toate acestea reflectă cea de-a treia categorie – comportamentul biocenotic. Silvicultorii au descoperit în urma analizei numărului de arbori uscați în perioada secetoasă 1982 – 1991, faptul că stejarul brumăriu a avut cea mai mare rată de eliminare (600 de exemplare), fiind puternic concurat și eliminat de frasinul de câmp și frasinul american. În schimb, deși în tinerețe este posibil să fi concurat și cu jugastrul, această specie de subetaj a ajutat stejarul în privința elagajului natural, l-a ferit de crăcile lacome ce ar fi putut apărea la nivelul trunchiului, care ar fi dus la o reducere a creșterii (**Figura 1, a, c**). Prin urmare, se poate spune că menținerea subarboretului este esențială în conducerea și îngrijirea pădurii. Frasinul este recunoscut pentru o concurență destul de intensă cu alte specii, atât în sol, datorită sistemului radicular foarte dezvoltat

## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

lateral (dar slab în adâncime), precum și din nevoia de lumină, fapt ce determină și o creștere rapidă în înălțime. Cu toate acestea, coroana frasinului nu se aseamănă cu a stejarului, în sensul că prezintă o coroană mult mai rară, un frunziș ce nu umbrește semnificativ solul, permițând instalarea și a altor specii sub coronamentul lui. Rezultatele împăduririi cu stejar pufos sunt surprinzătoare, au fost observate exemplare viguroase, cu tulpini destul de drepte (având în vedere caracteristicile morfologice ale speciei), elagate și indivizii prezentau o stare fitosanitară bună (**Figura 1, d**), ceea ce denotă că atunci când este plantat în condiții staționale mai favorabile decât stațiunile pe care le ocupă în mod natural, își poate exprima potențialul productiv și calitativ la un nivel superior, apropiindu-se de performanțele biometrice ale stejarului brumăriu, și poate valorifica la un nivel satisfăcător potențialul stațional. În privința raporturilor stabilite între rășinoase și speciile de amestec, acestea diferă în funcție de gradul de umbrire realizat de arbori, deoarece în majoritatea arboretelor de molid, pin strob, duglas, nu s-a observat prezența altor specii de subarboret, pe când laricele, pinul silvestru și negru permit dezvoltarea unor elemente de subarboret, inclusiv a păturii erbacee. Mai mult, culturile de rășinoase prezintă uscări frecvente, începând cu vârsta de 30 de ani, mai ales laricele. (**Figura 1, b**).





## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

Figura 1. Grupare de imagini din cadrul Bazei Experimentale Bărăgan: a – exemplar de stejar brumăriu; b – arboret de larice afectat de uscare; c – arboret de stejar brumăriu în amestec cu jugastru; d – exemplar de stejar pufos, într-un arboret de stejar pufos și arțar tătăresc (Sursa: Sandu Milian Marian)

Cercetările ecologice, privind modul de comportare a speciilor lemnoase utilizate în cadrul Bazei Experimentale Bărăgan, ne confirmă faptul că a fost posibilă în zona de stepă, din țara noastră, crearea pădurii ca masiv (nu doar sub formă de perdele). Trupurile de pădure, singure sau în completarea perdelelor forestiere pot avea un impact semnificativ în viitor, în contextul modificărilor climatice, prin ameliorarea microclimatului, cunoscut pentru excesele termice din zona de stepă, stocarea carbonului, conservarea biodiversității, condiții de viață mai bune pentru comunitățile locale, precum și efecte economice. Baza experimentală Bărăgan constituie în prezent un fond științific de date valoroase, ce pot fi utilizate în edificarea unei silviculturi, de această dată, a zonelor uscate.

### 3. EXPERINEȚA PE PLAN INTERNAȚIONAL. EXEMPLE DE PROGRAME DE ÎMPĂDURIRE ÎN STATELE AFECTATE DE FENOMENUL DEȘERTIFICĂRII

La nivel global, estimările recente ne indică faptul că, zonele aride ocupă între 41 și 46,2% ( $\pm 0,8\%$ ) din suprafața terestră cu o populație de aproximativ 3 miliarde (cca. 38.2% din populația globală), fiind localizate predominant în Africa și Asia [22]. Conform unui raport al FAO [23], zonele aride conțin mai mult de un sfert din suprafața forestieră a lumii (cca. 1,1 miliarde ha). La nivel mondial s-au făcut eforturi pentru implementarea unor programe de împădurire în zone de stepă și/sau deșert, din regiuni precum: Rusia, Turcia, Israel, China, Africa, Australia ș.a., iar unele dintre acestea au și o serie de rezultate în urma evaluării stării plantațiilor, cât și a impactului factorilor de mediu asupra arborilor din aceste regiuni. Deși există nenumărate studii în literatura științifică pe tema împăduririlor în zone secetoase, la nivel internațional, pentru studiul de față au fost selectate câteva exemple mai sugestive care pot fi relevante pentru situația de la noi din țară.

În Rusia, cele mai utilizate specii la plantare au fost din genul *Populus* ssp. și *Betula* ssp., în zonele cu nivel de precipitații mai ridicat, iar în cele mai uscate ulmul de Turkestan – *Ulmus pumila* L.; salcâmul – *Robinia pseudoacacia* L.; pinul silvestru – *Pinus sylvestris* L.; sălcioara – *Elaeagnus angustifolia* L., cățina roșie – *Tamarix ramosissima* Ledeb. Pentru a evalua impactul activităților antropice asupra pinului silvestru, în contextul modificărilor climatice [24] s-au selectat două arborete de pin din regiunea de stepă Voronej, primul în condiții ecologice neperturbate, departe de așezările locale sau urbane, iar al doilea aflat în împrejurimea unei fabrici. Din fiecare arboret s-au selectat aleatoriu 30 de arbori la care s-a studiat: clasa de defoliere a coroanei; clasa de decolorare a acelor; numărul de conuri noi apărute. Autorii [24] au constatat astfel că sub influența factorilor nefavorabili (ex.: poluare), nivelul deteriorării pinului silvestru este de trei ori mai mare decât în cazul primei plantații. Tot în regiunea Voronej s-au făcut și studii dendroclimatice la pinul silvestru [25 – 28] pentru a vedea care este creșterea radială într-o regiune cu condiții climatice de ariditate, secete cu o frecvență de 4-5 ani, temperatura maximă de 35,3 °C în luna iunie, iar precipitații medii anuale sub 300 mm/an. Astfel, modelele dendroclimatice elaborate pe baza carotelor extrase au arătat o corelație evidentă între condițiile de climă și creșterea radială. În lunile cu volum mai mare de precipitații, s-a observat o culminare a creșterilor.

## Sandu &amp; Biriş: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

În urmă cu aproximativ 4000 de ani pădurile acopereau 60% - 70% din teritoriul Turciei, iar stepele 10 - 15% [29], dar o serie de factori negativi precum creșterea populației, suprapășunatul, defrișarea în favoarea agriculturii și exploatarea irațională au dus la o reducere cu 26% a acestora. În prezent, Turcia este considerată extrem de vulnerabilă la secetă, degradarea terenurilor și deșertificare [22]. Primele împăduriri s-au făcut încă din perioada romanilor cu scopul de a fixa dunele de nisip de pe coasta Antalyei cu pin mediteranean – *Pinus pinea* L., în timp ce Imperiul Otoman nu s-a preocupat de creșterea suprafeței forestiere [29]. Un plan major, pe o suprafață de 2 250 000 ha s-a desfășurat în Turcia pentru crearea de perdele forestiere într-o perioadă de 54 de ani (1960-2014), de asemenea, s-au făcut numeroase împăduriri experimentale în multe zone aride și semiaride atât cu specii foioase, cât și rășinoase [30]. În urma evaluării unei plantații din 1996-1999 de pin turcesc – *Pinus brutia* Ten., din câmpia semiaridă Harran, cu precipitații medii anuale de 382 mm/an [31] a constatat o rată de supraviețuire între 18,60% - 57,13%, utilizând analiza varianței. Pinul negru – *Pinus nigra* Arn., plantat în districtele Devrek-Akcasu și Bartın [32] a avut o rată de supraviețuire redusă, parametrii biometrici indică un diametru mediu de 22,6 cm, iar înălțimea medie de 8,04 m. Mai mult [32], autorii consideră că rata de supraviețuire la pinul negru este o variabilă dependentă de mai mulți factori precum: precipitațiile, altitudinea la care se plantează, condițiile staționale, precum și tipul de puieți (cu rădăcini nude sau containerizați) (Figura 2).



Figura 2. Aspect dintr-o plantație de *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* în Anatolia Centrală [32] DOI: <https://doi.org/10.17221/74/2021-JFS>

Regiunea Anadoliei Centrale este cea mai uscată din toată Turcia, ca rezultat al factorilor naturali: climat arid, precipitații anuale reduse (300 mm/an), vânturi puternice, asociați cu cei antropici: culturi intensive și suprapășunat. Unele situri din această regiune s-au împădurit cu specii arborescente și arbustive precum: pin negru – *Pinus nigra* Arn.; sălcioară – *Elaeagnus angustifolia* L.; migdal – *Prunus dulcis* Batsch; salcâm – *Robinia pseudoacacia* L.; frasin de câmp – *Fraxinus angustifolia* Vahl.; vișin turcesc – *Prunus mahaleb* L. În urma evaluării plantației, prin măsurarea a trei parametri (h, d, rată de supraviețuire), [30] a arătat că cea mai mică rată de supraviețuire a avut-o pinul negru, iar cea mai mare migdalul, pe când salcâmul, a avut un diametru cu 30% mai mare decât celelalte specii. De asemenea, mai mulți autori [30] sunt de părere că rata de supraviețuire a pinului negru variază în funcție de nivelul precipitațiilor, respectiv: la

## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

300 mm/an – 43% rată de supraviețuire; la 500 mm/an – 60%, iar la 800 mm/an – 90% rată de supraviețuire evaluată la 3 ani de la plantare.

Regiunile din nordul, nord-vestul și nord-estul Chinei, ce cuprind și zona Deșertului Gobi, sunt considerate aride și semiaride, ocupând o suprafață de aproximativ 509 milioane hectare, cu precipitații medii anuale sub 450 mm/an. De asemenea, mai mult de 60% din teritoriul erau folosite ca pășuni în trecut [22]. Efectul simultan al schimbărilor climatice și activitatea umană au făcut ca deșertificarea și furtunile de praf să devină o problemă serioasă în aceste regiuni. Autoritățile chineze au luat act de această chestiune, iar în perioada 1950-1978 s-a încercat plantarea de arbori, dar fără rezultate notabile datorită procentului scăzut de acoperire (4%) din suprafața zonelor afectate [33]. Începând cu anul 1978 este regândit un nou program de împădurire numit „Marele Zid Verde al Chinei” (cunoscut oficial ca “Three North’s Shelter Forest Program” – EN), ce avea ca obiectiv de bază la acel moment, împădurirea prin crearea de monoculturi, în special cu *Populus* ssp. și *Salix* ssp., dense (5000 de puieți la hectar), cu scopul de a opri deșertificarea și furtunile de praf [33]. Proiectul are trei stagii de implementare, pe un interval de 72 de ani (I – 1978-2000; II – 2000-2020; III – 2020-2050) și se întinde pe o suprafață de 1700 km lungime (Figura 3).

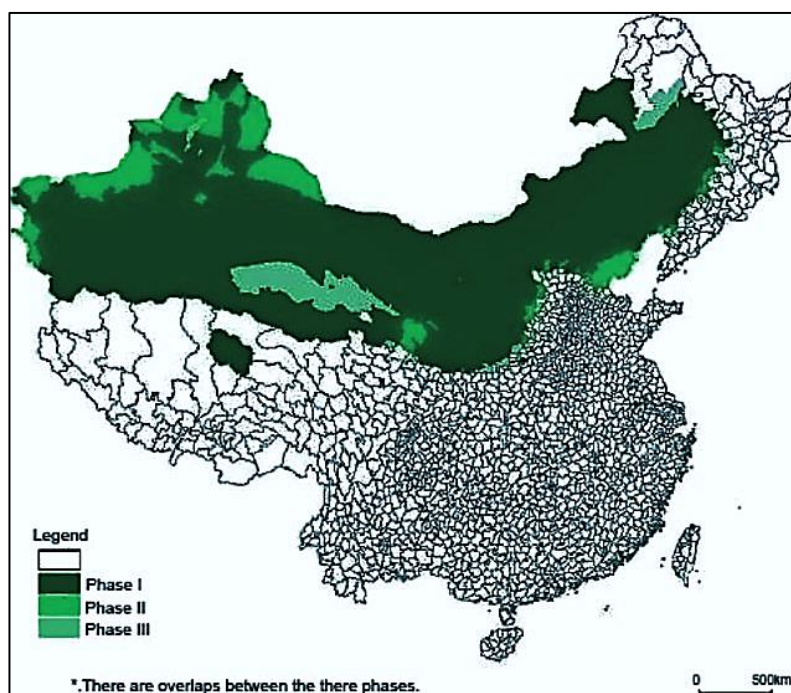


Figura 3. Localizarea zonelor din China, traversate de proiectul Three North’s Shelter Forest Program [34]  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10643380902800034>

Marele Zid Verde este proiectat în prezent astfel încât, să integreze mai multe categorii de utilizare durabilă a terenurilor, cuprinzând atât plantații forestiere, ferme agricole, culturi de legume, pășuni, toate pentru a susține dezvoltarea economiei și creșterea nivelului de trai al populațiilor din zonele afectate de secetă și eroziune ș.a. După 40 de ani de la inițierea proiectului, studiile recente arată că s-a împădurit o suprafață totală de 30,14 milioane hectare, iar procentul de acoperire din zona Marelui Zid Verde variază între 5,05% și 13,57% [33]. De asemenea, există rezultate bune și în privința combaterii deșertificării, eroziunii solului și absorbției de bioxid de

## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

carbon (CO<sub>2</sub>). Cu toate acestea, au existat și erori de-a lungul timpului, din punct de vedere silvicultural, prin faptul că s-au creat monoculturi cu *Populus tremula* L., specie considerată a fi mezofită și nu xerofită (conform condițiilor climato-edafice din nordul Chinei). Un studiu efectuat în nordul Chinei [34], într-o monocultură de *Populus tremula* L., arată că aproximativ 120 000 hectare s-au uscat, ca urmare a infestării cu *Anoplophora nobilis* Ganglb. și *Anoplophora glabripennis* Motsch., de asemenea [34] a constatat faptul că, în siturile împădurite cu *Populus tremula* L. din nordul provinciei Shaanxi s-a redus cu 52% numărul de specii erbacee. Aceste cercetări vin în susținerea tezei conform căreia, introducerea speciilor alohtone trebuie făcută cu prudență, astfel încât echilibrul ecosistemic să nu fie perturbat. Pe de altă parte, salcâmul (*Robinia pseudoacacia* L.) s-a adaptat mult mai bine condițiilor climato-edafice, [35] au măsurat evapotranspirația unui arboret de salcâm cu vârsta de 28 de ani, din zona platoului Loess, pe o perioadă de 5 ani, în condiții climatice de 590 mm precipitații medii anuale, respectiv 10,2 °C temperatura medie anuală, iar rezultatele au fost de 1,1 mm/zi evapotranspirație. Este știut faptul că, intensitatea transpirației depinde atât de factorii de mediu (lumina, temperatura, presiunea atmosferică, curenții de aer, umiditatea aerului și a solului) cât și de planta însăși, iar salcâmul este o specie ce prezintă capacitate adaptativă la secetă, prin particularitățile morfo-anatomice și fiziologice, precum circulația mai rapidă a apei și sărurilor minerale în tulpină, suprafața foliară redusă, precum și capacitatea eliminării unei părți din frunziș în condițiile deficitului hidric din sol și atmosferă [4, 5]. O problemă întâmpinată în arboretele nou create din nordul Chinei a fost infestarea cu *Anoplophora glabripennis* Motsch., insectă xilofagă (roade la început între scoarță și lemn, apoi direct în lemn) și polifagă (care se dezvoltă pe mai multe specii gazdă), din ordinul Coleoptera, familia Cerambycidae. S-a dorit astfel testarea nivelului de rezistență al unor hibrizi din genul *Populus*, dar și a altor specii: cenușer – *Ailanthus altissima* Mill.; sofora – *Sophora japonica* L., nuc comun – *Juglans regia* L., salcâm – *Robinia pseudoacacia* L. . Au dovedit o rezistență mare clonele *Populus x euramericana* 'Robusta', 'Sacrau-79' și *Populus deltoides*, iar rezistență foarte redusă a dovedit *Populus nigra* 'pyramidalis'. Cenușerul, sofora, nucul și salcâmul s-au dovedit a fi foarte rezistente la infestarea cu *A. glabripennis* Motsch. Unii cercetătorii [36] consideră că rezistența cenușerului se datorează unor substanțe volatile pe care le conține în scoarță și xilem (terpenoizi, acizi fenolici, alcaloizi, compuși flavonoizi). În zonele aride din provincia Shaanxi, care în perioada 1997-2006 a înregistrat o medie a precipitațiilor de 422,2 mm/an, [37] a dezvoltat o nouă metodă de plantare a puieților forestieri, deoarece se înregistrase un procent redus de supraviețuire ca urmare a umidității insuficiente. Metoda constă în căptușirea gropilor cu plastic biodegradabil care va reduce evaporarea apei și uscarea rapidă a rădăcinilor. Rezultatele au fost surprinzătoare, salcâmul înregistrând un procent de supraviețuire de 84,4% (față de 73,7% cu metoda clasică) [37].

#### 4. CONCLUZII

1. Rezultatele studiilor desfășurate în culturile experimentale din țara noastră au îmbogățit fondul de cunoștințe privind instalarea vegetației forestiere în zone neprielnice creșterii și dezvoltării arborilor și anume stepele. Avem șansa valorificării unui experiment de lungă durată in situ, în cadrul Bazei Experimentale Bărăgan, în condiții reale, care poate să ne ofere informații privind comportamentul ecologic al speciilor lemnoase în condiții de uscăciune dar și modul cum pot fi realizate astfel de plantații.



## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

2. Speciile de arbori și arbuști nu doar că s-au adaptat dar au format un mediu/microclimat specific forestier, s-au creat astfel condiții pentru celelalte categorii de specii, de la microorganismele din sol, specii de animale și păsări de pădure, până la specii de plante din flora specifică pădurilor din câmpie. După o perioadă de peste 70 de ani de la plantare, arborii și-au dezvoltat capacitatea de adaptare, în timp, la condițiile de mediu vitrege din stepă. Printre speciile de arbori cu o putere de acomodare mai mare se numără ulmul de Turkestan, stejarul pufos, stejarul brumăriu, salcâmul, cerul, frasinul pufos, plopii euramericani, iar în cazul arbuștilor, se pot menționa lemnul câinesc, păducelul, scumpia, arțarul tătäresc, jugastrul.
3. La nivel internațional, în urma consultării literaturii științifice au fost selectate o serie de exemple mai sugestive, în corelație cu situația de la noi din țară. De asemenea, au luat amploare în ultimii ani nu doar programele de împădurire în zonele aride ci și cercetările în acest domeniu, cum sunt cele de dendroclimatologie, ecologie, entomologie forestieră ș.a., pentru a evalua reușita unor plantații și/sau efectele factorilor dăunătorii asupra acestora, precum și îmbunătățirea metodologiei de lucru, încât reușita plantației, deși dificil de atins, să fie cât mai mare.

**CONFLICT DE INTERESE**

Autorii nu declară niciun conflict de interese.

**REZUMAT EXTINS – EXTENDED ABSTRACT**

**Title in English:** *The establishment of forest vegetation in the steppe area - a challenge in the context of climate changes. Internally and international examples*

**Introduction:** *In the steppe regions, the area of natural forests is small, due to the limiting factors, the main one being water, and the vegetation consists mostly of species of grasses and shrubs such as rosehip (*Rosa canina* L.), blackthorn (*Prunus spinosa* L.), dwarf Russian almond (*Prunus tenella* Batsch) etc., only in the small depressions (roofs), where the groundwater level is higher, sparse and grassy stands have been established, in which the predominant species is the grayish oak (*Quercus pedunculiflora* L.). However, a series of experiments have been tried over time, through the artificial installation of forest plantations in different combinations and cenotic structures (compact massif of 0.25 – 1.0 ha and forest curtains) in negative environmental conditions for trees, and the results were written up in several scientific papers.*

**Experience in Romania:** *The first plantations were made in the 19th century when the effect of drought was felt on agricultural crops. The beginning of research regarding the opportunity to plant trees in the steppe area began with the establishment by the Forestry Research and Experimentation Institute of the Dobrogea (1938) and Baragan (1946) Research Basis, under the guidance of Dr. Eng. Ioan Zeno Lupe. There were several reasons why the research stations were created, primarily to establish how tree and shrub species react in an area with low rainfall and high temperatures, also for the acclimatization of some exotic species used in the creation of parks and green spaces, as well as restoring degraded forests from the steppe and forest-steppe. Baragan Experimental Basis is managed by INCDS "Marin Dracea" and is in the steppe area of Romania, in the Baragan Plain, part of the Romanian Plain. The research carried out here is unique, as it is the first time that a very large range of tree and shrub species has been planted in a steppe area (Norway spruce – *Picea abies* L. Karst.; European larch – *Larix decidua* Mill.; Scots pine - *Pinus sylvestris* L.; European black pine – *Pinus nigra* Arn.; Eastern white pine – *Pinus strobus* L.; English oak – *Quercus robur* L.; Grayish oak – *Quercus pedunculiflora* K.Koch.; Turkey oak – *Quercus cerris* L.; Downy oak – *Quercus pubescens* Willd.; Red oak – *Quercus rubra* L.; Sweet chestnut – *Castanea sativa* Mill.; Common ash - *Fraxinus excelsior* L.; Pallas' ash - *Fraxinus pallisiae* Wilmott.; Canadian poplars – *Populus x Canadensis* Moench.; Silver linden – *Tilia**

**Sandu & Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....**

*tomentosa* Moench.; Black locust – *Robinia pseudoacacia* L., etc.). In order to evaluate the ecological behavior, the relationships between the mentioned species and the factors of the abiotic environment (water, temperature, intraspecific and interspecific relationships) were studied. For example, the Siberian elm – *Ulmus pumila* L., has the lowest water consumption among trees (132 mm/year), and its transpiration is reduced by 43% during the summer to preserve its water reserves. Regarding the water consumption of oak species, downy oak has the lowest consumption (172 mm/year); english oak (177 mm/year), grayish oak (178 mm/year), turkish oak (227 mm/year), red oak has the highest water consumption (254 mm/year). Related to inter- and intraspecific relationships between species, it reflects biocenotic or ecological behavior. In the stands at the Baragan Research Basis, a strong competition between the grayish oak and the common ash was observed, while the downy oak has a vigorous growth and a good phytosanitary status.

**The experience of other countries:** Worldwide efforts have been made to implement afforestation programs in steppe and/or desert areas, from regions such as: Russia, Turkey, Israel, China, Africa, etc., and some of these also have a series of results from the assessment of the state of the plantations, as well as the impact of environmental factors on the trees in these regions. In Russia, the main studies were done on Scots pine, through which the negative effect of pollution and drought on the growth and health of the trees was found. The Turkish authors believe that the survival rate of the black pine corresponds to the amount of precipitation, the altitude, the relief conditions as well as the way the seedlings are produced (with bare roots or in a container). In China, there has been the Three North Shelter Forest Program since 1978, designed on an area of 1700 km. The main species used were aspen - *Populus tremula* L., black locust - *Robinia pseudoacacia* L., three of heaven - *Ailanthus altissima* Mill., japanese pagoda tree - *Sophora japonica* L., etc. The authors show in the studies that the aspen stands were attacked by the insect *Anoplophora glabripennis* Motsch., while the walnut and black locust proved resistant to this insect.

**Conclusions:** In the case of Romania, the study of the ecological behavior of tree and shrub species from the Baragan Experimental Basis shows us that it is possible to create forests in the steppe area, because tree and shrub species have the ability to adapt over time to difficult environmental conditions from these regions. Internationally, many countries have implemented afforestation programs in areas affected by drought and climate change, a number of these countries have also come up with plantation assessment results, enriching the pool of scientific knowledge.

**Keywords:** afforestation, steppe, resistant species ecological behavior experiment

**REFERINȚE**

1. IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 544. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.008>
2. <https://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/Strategia%20Nationala%20privind%20Prevenirea%20si%20Combaterea%20Desertificarii.pdf> (accesat în data de 12.09.2024), 5-17.
3. Çalışkan S., Boydak M., 2017: Afforestation in arid and semi-arid region. Republic of Turkey, Ministry of Forestry and Water Affairs. General Directorate of Combating Desertification and Erosion. Ankara, 9-49.
4. Parascan D., 1977: Fiziologia plantelor lemnoase. Brașov: Facultatea de Silvicultură și Exploatarea forestiere. Manual de uz intern, 111 – 113.
5. Grudnicki Margareta, Barbu Cătălina, 2018: Fiziologie. Universitatea „Ștefan Cel Mare” din Suceava, Facultatea de Silvicultură, 44-56.
6. Doniță N., Purcelean Șt., Ceianu I., Beldie A., 1997: Ecologie forestieră. București, Editura Ceres, 163-216

## Sandu &amp; Biriș: Instalarea vegetației forestiere în stepă....

7. Catrina I., (2007): Bazele științifice și perspectivele înființării perdelelor forestiere de protecție în România. În: Revista Pădurilor, Nr. 6, Anul 122, 3-12.
8. Doniță N., și colab., (2011): Culturi forestiere experimentale din stațiunea Bărăgan. București: Editura silvică, 9-113.
9. Costandache C., Nistor Sanda, Untaru E., 2012: Cercetări privind comportarea unor specii de arbori și arbuști utilizate în compoziția perdelelor forestiere de protecție din sud – estul României. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XVII/Nr. 30, 34-46.
10. Neșu I., (1999): Perdele forestiere de protecție a câmpului. Slobozia: Editura "Star Tipp", 13-20.
11. Amenajamentul Bazei Experimentale Bărăgan, 2018 – Studiul general.
12. Doniță N., și colab., 1992: Cercetări privind comportamentul ecologic al speciilor lemnoase în culturi experimentale din zona de stepă, în vederea stabilirii asortimentului pentru zone verzi și perdele de protecție a câmpului. Temă de cercetare – INCDS "Marin Drăcea".
13. Georgescu C., Catrina I., 1953. Contribuții la cunoașterea transpirației speciilor forestiere din perdelele de protecție. Revista Pădurilor, Nr. 10.
14. Catrina I., 1955: Contribuții la cunoașterea acțiunii perdelelor de protecție asupra microclimei. Revista Pădurilor, Nr. 9.
15. Catrina I., 1964: Cercetări asupra regimului hidrotermic al arboretelor de stejar brumăriu din Câmpia Bărăganului. Rezumatul tezei de doctorat C.D.F., București.
16. Ceuca G., 1955: Influența microreliefului, a rocii mamă, a texturii și gradului de levigare a sărurilor asupra culturilor forestiere de protecție. Anale I.C.A.S. XVI P.I, București.
17. Tomescu Aurora și colab., 1967: Cercetări fenologice la principalele specii forestiere autohtone din RSR. C.D.E.F., București.
18. Papadopol S., 1969: Cercetări privind influența metodei de irigație asupra evpotranspirației și creșterii puieților de plop. Revista Pădurilor. Nr. 7.
19. Papadopol S., 1970: Cercetări asupra factorilor și proceselor care condiționează sporirea productivității plopilor euramerici în culturi intensive. Rezumatul tezei de doctorat, Brașov.
20. Ceianu I., 1963: Dăunătorii culturilor forestiere din Bărăgan. Rezumatul tezei de doctorat, București.
21. Parascan D., 1964: Cercetări privind buruienile din pepinierele silvice și combaterea lor cu ierbicide. Rezumatul tezei de doctorat, Brașov.
22. Mirzabaev A., și colab., 2019: Desertification. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Chapter 3
23. FAO 2019: Trees, forests and land use in drylands: the first global assessment – Full report. FAO Forestry Paper Nr. 184. Rome.
24. Serdyukova A. P., 2021: The state of Scots pine plantations in the steppe Voronezh region in drought conditions and under anthropogenic influence IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 817 012098. Ninth International Symposium "Steppes of Northern Eurasia". <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012098>

25. Matveev S.M., Timashchuk D.A., 2019: Dendroclimatic Assessment of a 200-Year-Old Scots Pine Stand in the Voronezh Biosphere Reserve. *Contemp. Probl. Ecol.* 12, 682–691 <https://doi.org/10.1134/S1995425519070096>
26. Maria A. Tabakova, Arzac A., Martínez E., Kirilyanov A., 2020: Climatic factors controlling *Pinus sylvestris* radial growth along a transect of increasing continentality in southern Siberia, *Dendrochronologia*, Volume 62, 125709, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125709>
27. Matveev S., Tishin D., Maximchuk P., Zhuravleva I., 2020: Seasonal radial growth dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Voronezh region (Russia). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 595. 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012044>
28. Matveev S., Litovchenko D., Gusev A., Golovin Y., 2022: Specificity of Individual Response Radial Increment of Scots Pine in the Voronezh Biosphere Reserve on the Differentiated Forest Conditions. *Life*, 12 (11), 1863. <https://doi.org/10.3390/life12111863>
29. Çalışkan S., Boydak M., 2017: Afforestation of arid and semiarid ecosystems in Turkey. In: *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*: Vol. 41: No. 5, Article 1. <https://doi.org/10.3906/tar-1702-39>
30. Yıldız O., Eşen Derya, Sargıncı M., Çetin b., Toprak B., A. Hüseyin Dönmez, 2022: Restoration success in afforestation sites established at different times in arid lands of Central Anatolia, *Forest Ecology and Management*, Volume 503, 119808, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119808>
31. Daşdemir I., Özel H.-B., Kaya H., 2019: Technical and economical evaluations of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) semi-arid plantations in the Şanlıurfa - Harran Plain of Turkey. In: *Applied Ecology And Environmental Research* 17(2): 1757-1772. [https://aloki.hu/pdf/1702\\_17571772.pdf](https://aloki.hu/pdf/1702_17571772.pdf)
32. Ayan S., Yücedağ C., Simovski B. 2021: A major tool for afforestation of semi-arid and anthropogenic steppe areas in Turkey: *Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. *Journal of Forest Science*, 67: 449–463. <https://doi.org/10.17221/74/2021-JFS>
33. Zhai J., Wang L., Liu Y., Wang Ch., Mao X., 2023: Assessing the effects of China's Three-North Shelter Forest Program over 40 years, *Science of The Total Environment*, Volume 857, Part 1, 159354, [10.1016/j.scitotenv.2022.159354](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159354)
34. Cao Shixiong 2011: Impact of China's Large-Scale Ecological Restoration Program on the Environment and Society in Arid and Semiarid Areas of China: Achievements, Problems, Synthesis, and Applications', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41: 4, 317 – 335 <https://doi.org/10.1080/10643380902800034>
35. Schwärzel K., Zhang L., Montanarella L., Wang Y., & Sun G. (2020): How afforestation affects the water cycle in drylands: A process - based comparative analysis. *Global Change Biology*, 26 (2), 944 - 959. <https://doi.org/10.1111/gcb.14875>
36. Yin W., Lu W., (2005): Review of Tree Selection and Afforestation for Control of Asian Longhorned Beetle in North China. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); Rome, Italy. Forest Health & Biosecurity Working Paper FBS/7E. <https://www.fao.org/forestry/9599-058fdddef27dd6c45f4665cedfcb9648f.pdf>
37. Cao S., Chen L., Liu Z., Wang G.. (2008): A New Tree-Planting Technique to Improve Tree Survival and Growth on Steep and Arid Land in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments - J ARID ENVIRON.* 72. 1374-1382. [10.1016/j.jaridenv.2008.02.007](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.02.007)



# TĂIERI DE PROTECȚIE ÎN PĂDURI CU ROL DE PROTECȚIE, SAU DESPRE LUPTA SILVICULTORILOR ELVEȚIENI CU SCHIMBĂRILE CLIMATICE

Daniel Paul Dima<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Porini Log Oy, Kyösti Kallion Tie 4A 8, 00570, Helsinki, Finlanda; email: [danielpaul.dima@porinilog.com](mailto:danielpaul.dima@porinilog.com)

## REPERE

- Sunt prezentate rezultatele unui schimb de experiență între silvicultorii români și elvețieni desfășurat în Elveția
- Vizita a debutat în cantonul Berna, a continuat cu expunerea unei tăieri pe protecție datorită schimbărilor climatice
- S-a vizitat o zonă defrișată pentru construirea unei pârtii de schi și Centrul de formare profesională în domeniul forestier de la Maienfeld

## INFORMAȚII ARTICOL

Istoricul articolului:  
Manuscris primit la:  
Primit în forma revizuită: 10 septembrie 2024  
Acceptat: 15 septembrie 2024  
Număr de pagini: 9 pagini

Tipul articolului:  
Comunicare

## Cuvinte cheie:

*Elveția  
silvicultura elvețiană  
tăieri de protecție*

## REZUMAT GRAFIC



## REZUMAT

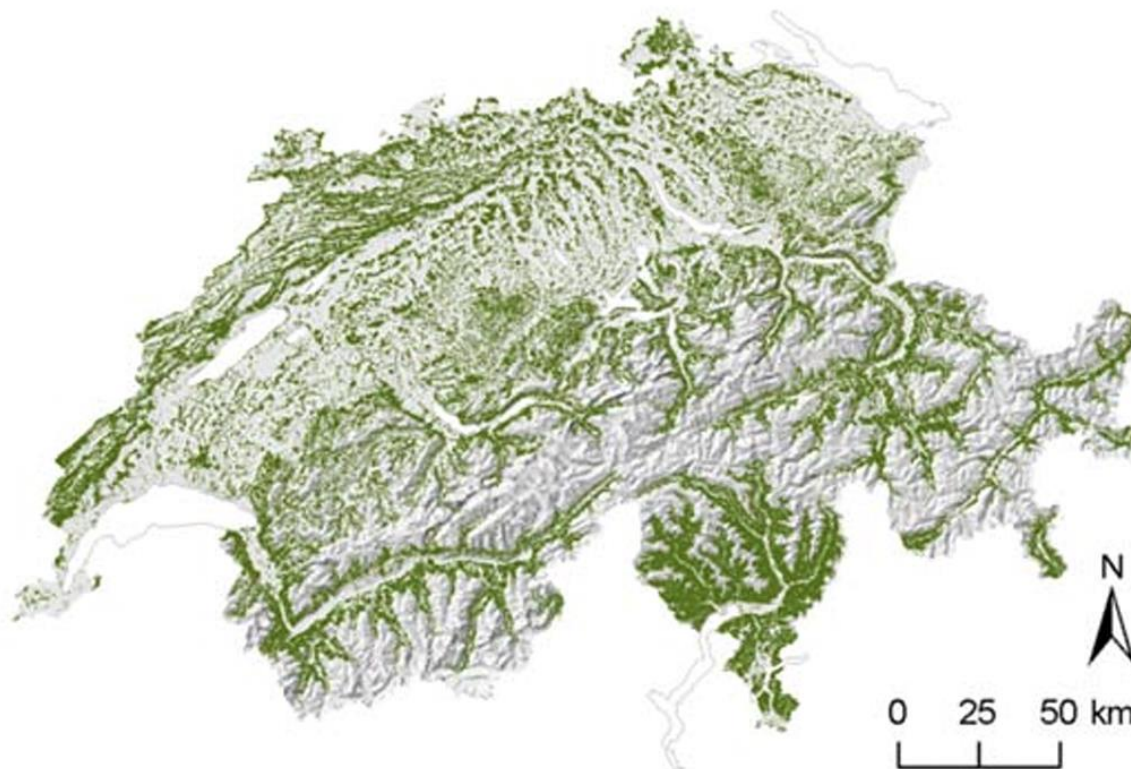
*În cadrul procesului intern de reconfigurare a Strategiei de dezvoltare a Regiei Naționale a Pădurilor, cunoașterea a cât mai multe particularități și moduri de organizare și funcționare ale unor structuri omoloage din Europa era una dintre modalitățile de a discerne și alege ce este mai bine de implementat pentru condițiile specifice ale cadrului natural și mediului de afaceri din România. În acest sens, s-a desfășurat un schimb de experiență între silvicultorii români și cei elvețieni, în Elveția. Vizita a debutat în cantonul Berna, unde silvicultorii elvețieni responsabili cu managementul forestier au explicat particularitățile silviculturii elvețiene, subliniind strânsa interdependență cu alte sectoare ale economiei naționale, în special cel turistic. Una din pădurile analizate a fost una cu rol strict de protecție împotriva eroziunii solului, dar în care fuseseră executate "tăieri de protecție", ceea ce a stârnit curiozitatea silvicultorilor români. Răspunsul oferit a fost legat de*

\* Autor corespondent.  
Adresa de e-mail: [danielpaul.dima@porinilog.com](mailto:danielpaul.dima@porinilog.com)

## Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...

*provocările actuale cu care se confruntă silvicultorii elvețieni în ceea ce privește schimbările climatice și impactul lor asupra pădurii. O altă vizită a fost în zona de vest a țării, la granița cu Franța, unde o comunitate locală decisese construirea unei noi pârtii de schi, ceea ce presupunea o defrișare, acceptată ca fiind necesară pentru dezvoltarea socio-economică a zonei. Vizita a mai inclus discuții la Centrul de formare profesională în domeniul forestier de la Maienfeld, un mic sat din cantonul Graubünden.*

Când ne gândim la Elveția, ne vin în minte cu ușurință munții Alpi, brânza, ciocolata, băncile și ceasurile elvețiene cu precizia lor renumită. Ne gândim poate mai puțin la pădurea elvețiană, deși aceasta contribuie decisiv la frumusețea și bogăția țării cantoanelor. Aproape o treime din țară (1,27 milioane ha) este acoperită cu păduri, din care circa 1% (14000 ha) sunt considerate primare, cu înaltă valoare de conservare.



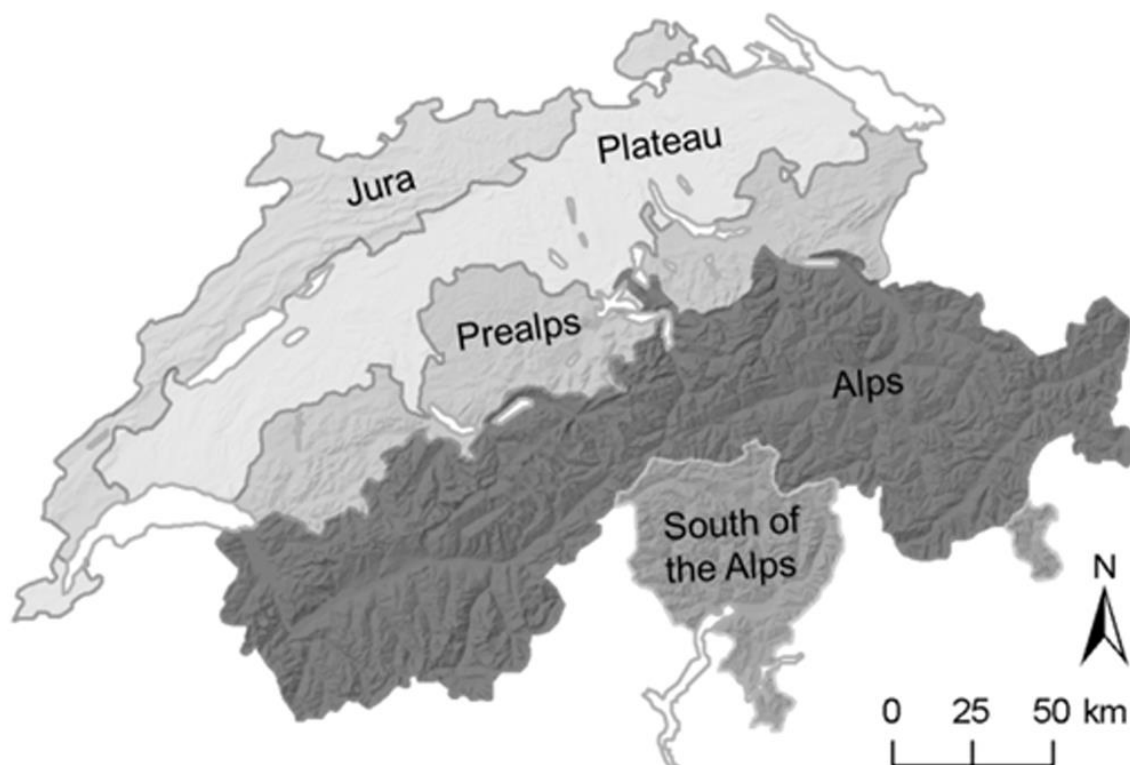
**Figura 1 Distribuția pădurilor în Elveția (Sursa: Inventarul Forestier Național / swisstopo)**

Volumul de lemn pe picior se ridică la aproape 430 milioane m<sup>3</sup>, din care 60% este în păduri cu rol de producție, iar 40% în păduri cu rol principal de protecție, dar nu una strictă, în sensul de a nu permite lucrări, ci una care să răspundă provocărilor de ordin natural și antropic tot mai numeroase cu care se confruntă Europa. Circa 65% din volumul de lemn pe picior este reprezentat de rășinoase (molidul predominând -peste 40%- , urmat de brad, larice și pin), acestea fiind și speciile ce ridică cele mai mari probleme în ceea ce privește adaptarea la temperaturile tot mai ridicate și sezoanele reci tot mai scurte. Dintre foioase, fagul este predominant (20%), urmat de paltin, frasin și cvercinee.



**Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...**

Munții Alpi sunt elementul definitoriu nu doar pentru peisajul țării, ci și pentru modul în care se face zonarea și administrarea pădurilor: altitudinal, luându-se în considerare diferențele mari de climă și sol de la o zonă a țării la alta. Astfel, 68% din pădure este situată în zonele pre-Alpi, Alpi și Alpii de Sud, în timp ce regiunile Jura și Platoul Central au mai puțină pădure, fiind și cele cu cea mai ridicată densitate a populației, activitate agricolă și industrială.



**Figura 2 Distribuția unităților zonale altitudinale a pădurilor în Elveția (Sursa: Inventarul Forestier Național / swisstopo)**

În ceea ce privește exploatarea lemnului, circa 5 milioane  $m^3$ , reprezentând 50% din creșterea anuală, sunt extrași, existând un plan național de creștere a acestui volum la 6 milioane  $m^3$ /an. Pentru îndeplinirea acestui obiectiv strategic, rețeaua de drumuri forestiere (deja foarte bine dezvoltată, cu circa 40 m/ha) ar urma să fie extinsă și completată cu instalații cu cabluri de medie și lungă distanță, care să satisfacă atât cerințele de eficiență economică, cât și pe cele de protecția a mediului și peisajului. Merită subliniat faptul că nivelul de detaliu al cartării electronice a întregii Elveții este cu date vectoriale (raster) din 0,5 în 0,5 metri, ceea ce permite planificarea și proiectarea optimă a lucrărilor de exploatare forestieră (în special a trasării liniilor de funicular).

Dat fiind că Elveția nu este membră a Uniunii Europene, nici Serviciul Forestier de Stat elvețian, divizie a Biroului Federal pentru Mediu, nu este membru în EUSTAFOR, așadar, în toamna anului trecut o delegație a conducerii Romsilva a vizitat Elveția, în vederea stabilirii de conexiuni care să permită colaborări viitoare între silvicultorii celor două țări. Totodată, dat fiind că la acea dată se derula procesul intern de reconfigurare a Strategiei de dezvoltare a Regiei

**Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...**

Naționale a Pădurilor, cunoașterea a cât mai multe particularități și moduri de organizare și funcționare ale unor structuri omoloage din Europa era una dintre modalitățile de a discerne și alege ce este mai bine de implementat pentru condițiile specifice ale cadrului natural și mediului de afaceri din România. Delegația română i-a inclus pe domnii Daniel Nicolaescu, Director General al RNP Romsilva, Adrian Băban și Costel Petcu, ambii Consilieri ai Directorului General și pe Cătălin Munteanu, inginer în cadrul Departamentului Comercial – Biroul pentru exploatarea și valorificarea lemnului.

Vizita a debutat în cantonul Berna, unde silvicultorii elvețieni responsabili cu managementul forestier au explicat particularitățile silviculturii elvețiene, subliniind strânsa interdependență cu alte sectoare ale economiei naționale, în special cel turistic. De aici și nevoia de a lucra cu utilaje adaptate reliefului, practic o combinație de funiculare cu tractoare forestiere și chiar elicoptere, fiecare utilizat în zona optimă pentru care a fost proiectat și construit.



Producătorul de funiculare Wyssen Seilbahnen și-a prezentat fabrica din Reichenbach, unde sunt realizate instalațiile cu cabluri pentru exploatarea forestieră și construcții, precum și dispozitivele folosite pentru producerea controlată a avalanșelor în vederea protejării infrastructurii și a așezărilor omenești din zona munților Alpi și a Cordiliei Anzilor, din Canada până în Chile.

Vizita pe teren ce a urmat a fost una foarte interesantă, generatoare de întrebări din partea oaspeților români și a unei discuții profesionale cu privire la diferențele de abordare conceptuală și punere efectivă în practică a managementului forestier în zona de munte.



Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...

---



Pădurea analizată era una cu rol strict de protecție împotriva eroziunii solului, dar în care fuseseră executate “tăieri de protecție”, ceea ce a stârnit curiozitatea celor patru silvicultorii români: “Cum adică tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție? Ce sunt și de ce se realizează astfel de lucrări?”



Răspunsul oferit a fost legat de provocările actuale cu care se confruntă silvicultorii elvețieni în ceea ce privește schimbările climatice și impactul lor asupra pădurii. Practic, s-a

**Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...**

---

observat că o bună parte din arboretul de molid în cauză intrase într-o stare de lăncezire, cu arbori care se uscau pe picior înainte de a ajunge la vârsta de fructificație, ceea ce i-a condus pe silvicultori spre o soluție ce implică introducerea în compoziție a unor specii noi, care răspund mai bine temperaturilor mai ridicate și secetei prelungite.

Pentru aceasta, s-a decis realizarea unor tăieri în "os de pește", pe toată lungimea versantului și perpendicular pe curba de nivel, cu deschiderea unui coridor principal folosind un funicular Wyssen ce poate deplasa sarcini pe distanțe de până la 2 km, urmat de trasul din lateral pe mini-coridoare a arborilor recoltați pe distanțe de 30-50 de metri stânga-dreapta.

Întrebarea legitimă a specialiștilor români a fost legată de intensitatea intervenției, pentru că părea că s-a intrat prea puternic în arboret, mai ales fiind vorba de unul de protecție. Răspunsul, oferit cu un zâmbet oarecum stângaci, a fost că un alt coleg elvețian decisese asupra volumului de extras, că într-adevăr, s-ar fi putut scoate poate mai puțin lemn, dar că s-a ținut cont și de faptul că la acel moment cererea din partea pieței era una mare, iar prețul unul foarte bun (2021, anul când piața nord-americană a explodat în materie de rășinoase, bulversând comerțul cu lemn la nivel global). Asta deoarece și în Elveția, la fel ca în România și oriunde în altă parte, peste 80% din veniturile administratorilor de pădure sunt generate de vânzarea masei lemnoase, iar anumite conjuncturi din piață trebuie valorificate.

Totodată, trebuie evidențiat sprijinul financiar extrem de important pe care Guvernul Cantonal îl oferă proprietarilor de pădure, dacă aceștia optează să lase pe teren întregul volum de lemn exploatat, dar cojit și așezat pe curba de nivel, rezemat de cioatele înalte (până la un metru) rezultate din doborârea arborilor: până la 18000 de euro/ha! Acest stimul financiar funcționează perfect în condițiile unei piețe normale a lemnului, acoperind generos posibilele pierderi economice rezultate din nevânzarea lemnului.

Ulterior exploatării, în decurs de doi ani silvicultorii și proprietarii terenurilor (în cazul de față o comunitate locală) au obligația de a introduce noile specii: un mix de rășinoase (douglas, tsugă) și foioase (scoruș, paltin, chiar și cvercinee), ținând cont în principal de expoziția versanților, evapotranspirație și mai puțin de altitudine).

Conceptul de reținut este cel de flexibilitate în aplicarea regimului silvic, astfel încât funcțiile economice, sociale și de mediu ale pădurii să poate fi armonizate de la un moment la altul, fără a permite dezechilibre într-o anumită direcție: supra-exploatarea sau protecția în exces, ambele cu potențial nociv asupra pădurii: prima prin reducerea excesivă a consistenței arboretului, a doua prin împiedicarea intervenției în forță în cazul unor calamități naturale cu potențial de răspândire (incendii forestiere, doborâturi produse de vânt, rupturi cauzate de zăpadă, toate posibil a fi urmate de atacuri de insecte).

Deplasarea în Elveția a continuat cu o vizită în zona de vest a țării, la granița cu Franța, unde o comunitate locală decisese construirea unei noi pârtii de schi, ceea ce presupunea o defrișare, pe care însă lumea a acceptat-o ca fiind necesară pentru dezvoltarea socioeconomică a zonei.



Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...

---



Din nou, utilajul de bază folosit atât pentru exploatarea forestieră, cât și pentru transportul materialelor de construcții a fost un funicular instalat pe o distanță de circa 800 m, completat de un forwarder (transportor forestier) în zona platformei primare, pentru a elibera cu rapiditate zona tasonului și a evita astfel eventuale blocaje și a preveni posibile accidente de muncă.

Au urmat alte două zile cu vizite în pădure, în diverse zone din centrul țării unde se făceau exploatări forestiere, deplasarea culminând cu o întâlnire de lucru la Centrul de formare profesională în domeniul forestier de la Maienfeld, un mic sat din cantonul Graubünden, devenit faimos datorită romanului "Heidi, fetița munților" de Johanna Spyri.

Acesta este locul unde forestierii elvețieni învață munca propriu-zisă în materie de exploatări forestiere, combinând cu succes aspectele teoretice cu cele practice. Elevii pot fi fie tineri care vor să devină muncitori forestieri, iar ulterior să avanseze spre nivelul de inginer silvic, fie ingineri silvici absolvenți ai universității, care vor să învețe aspectele practice ale meseriei.

## Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...

---

Este un sistem dual, ce permite acumularea de competențe solide atât în ceea ce privește aspectele teoretice, cât și lucrul propriu-zis cu o gamă completă de utilaje forestiere (skidder, forwarder, funicular tradițional, instalație cu cabluri cu turn), pe care centrul le deține, cu implicarea unor echipe de profesioniști din zona de lucru efectiv în pădure (unii dintre ei chiar patroni de firme de exploatare), educând nu doar elvețieni, ci pe oricine dorește să facă un astfel de curs – ideal, un grup care să compună o echipă de lucru, sau să se integreze într-una internațională.

A fost o săptămână plină, cu multe întâlniri productive, cu discuții profesionale, pe alocuri dezbateri în contradictoriu, cu glume și mult râs, cu legarea unor prietenii menite să deschidă ușile pentru viitoare colaborări între silvicultorii celor două țări definite de relieful montan și de păduri frumoase și bogate!





Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...

---



**REZUMAT EXTINS – EXTENDED ABSTRACT**

*Title in English: Protective cuttings in protective forests, or on the fight of swiss forestry against climate change*

*Abstract: In the internal process of reconfiguring the Development Strategy of the National Forest Management, knowing as many peculiarities and ways of organization and operation of similar structures in Europe as possible was one of the ways to discern and choose what is best to implement for the specific conditions of the natural environment and business environment in Romania. In this sense, an exchange of experience took place between*

**Dima: Tăieri de protecție în păduri cu rol de protecție ...**

---

*Romanian and Swiss foresters, in Switzerland. The visit started in the canton of Bern, where the Swiss foresters responsible for forest management explained the particularities of Swiss forestry, emphasizing the close interdependence with other sectors of the national economy, especially tourism. One of the analyzed forests was one with a strict role of protection against soil erosion, but in which "protective cuts" had been carried out, which aroused the curiosity of Romanian foresters. The answer given was related to the current challenges Swiss foresters are facing in terms of climate change and its impact on the forest. Another visit was in the western part of the country, on the border with France, where a local community had decided to build a new ski slope, which involved deforestation, accepted as necessary for the socio-economic development of the area. The visit also included discussions at the Forestry Training Center in Maienfeld, a small village in the canton of Graubünden.*

**Keywords:** *Switzerland forestry, protective cuttings, protective forests, climate change, work visit*



## MARATONUL PĂDURILOR: UN INSTRUMENT DE COMUNICARE EFICIENTĂ DESPRE PĂDURI

Mihai Enescu <sup>a, b</sup>, Bogdan Popa <sup>c, e</sup>, Liviu Nichiforel <sup>d, e</sup>, Sorin Sfîrlogea <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Programul de Studii Silvicultură, Facultatea de Agricultură, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București, Bulevardul Mărăști, nr. 59, București-011464, România

<sup>b</sup> Inițiativa națională *Plantăm fapte bune în România*, Strada Pitar Moș, Nr. 27, etaj 5, ap. 16, București-010452, România

<sup>c</sup> Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Universitatea Transilvania din Brașov, Șirul Beethoven, nr. 1, Brașov-500123, România

<sup>d</sup> Facultatea de Silvicultură, Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, Strada Universității, nr. 13., Suceava-720225, România

<sup>e</sup> Grupul pentru Dialog Forestier, Strada Izvorul Crișului, nr. 9, sector 4, București, Romania

### REPERE

- Maratonul Pădurilor a presupus 8 ore de dezbateri LIVE online, accesibile publicului larg.
- Dezbaterile au fost structurate în 4 paneluri.
- Înregistrările sunt disponibile în mediul online, atât pe Facebook, cât și pe YouTube.

### INFORMAȚII ARTICOL

Istoricul articolului:  
Manuscris primit la:  
Primit în forma revizuită:  
Acceptat:  
Număr de pagini: 4 pagini.

Tipul articolului:  
Comunicare

Editor:

### Cuvinte cheie:

Dezbateri  
LIVE online  
Maraton  
Păduri

### REZUMAT GRAFIC



### REZUMAT

În 29 mai 2024, a fost organizat Maratonul Pădurilor, un eveniment LIVE online, care a cuprins peste 8 ore de dezbateri pe unele dintre cele mai importante aspecte din sectorul pădure-lemn. Dezbaterile au fost structurate în 4 paneluri: socio-economic, conservare și extindere păduri, digitalizare-monitorizare și comunicare, iar în paneluri au participat, în total, 18 experți, reprezentanți ai Grupului pentru Dialog Forestier, Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, Facultății de Silvicultură din Suceava, colegi din administrație, cercetare, reprezentanți ai societății civile și ai structurilor de control al regimului silvic. Moderarea a fost realizată de dl. dr. ing. Mihai Enescu, reprezentant al inițiativei Plantăm fapte bune în România. Discuțiile au fost transmise LIVE simultan pe 5 pagini de Facebook, respectiv: Pădurile din România, Plantăm fapte bune în România, Agro TV și paginile celor două facultăți. Înregistrările dezbaterilor sunt disponibile în mediul online, atât pe Facebook, cât și pe YouTube.

## MARATONUL PĂDURILOR

Comunicarea eficientă în sectorul forestier din România se confruntă cu o serie de provocări complexe, care pot împiedica transmiterea corectă a informațiilor și implicarea activă a publicului. Lipsa unei comunicări transparente și regulate în trecut a contribuit la o percepție negativă asupra sectorului forestier. Rezultatele unui sondaj de opinie reprezentativ la nivel național (IRES 2021)<sup>1</sup> arată că peste 50% din români consideră că stoparea totală a tăierilor de păduri ar fi calea de urmat pentru gestionarea pădurilor naționale. Rețelele sociale facilitează răspândirea rapidă a știrilor false legate de păduri, creând confuzie și panică, iar publicul nu are întotdeauna instrumentele necesare pentru a verifica veridicitatea informațiilor pe care le primește.

În acest context, în 29 mai 2024, a avut loc Maratonul Pădurilor: o serie de dezbateri LIVE online despre multiple aspecte din sectorul Pădure-Lemn-Biodiversitate. Evenimentul a fost organizat de inițiativa Plantăm fapte bune în România și asociația Grupul pentru Dialog Forestier, cu sprijinul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov și al Facultății de Silvicultură din Suceava. Partenerul media a fost Agro TV, cele peste 8 ore de dezbateri LIVE online fiind transmise simultan pe paginile de Facebook Pădurile din România, Plantăm fapte bune în România, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, Facultatea de Silvicultură din Suceava și Agro TV. Scopul evenimentului a fost de a depăși barierele clasice de comunicare a sectorului cu societatea prin discutarea unor teme de interes într-un format accesibil publicului larg. Dezbaterile au fost structurate în patru paneluri, respectiv: panelul 1 - socio-economic, panelul 2 - protecția și extinderea pădurilor, panelul 3 - digitalizare - monitorizare și panelul 4 - comunicare.

În deschiderea evenimentului, au luat cuvântul reprezentanții celor patru parteneri ai acestui demers, respectiv domnul prof. univ. dr. ing. Alexandru Lucian Curtu, Decanul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, domnul conf. univ. dr. ing. Ciprian Palaghianu, Decanul Facultății de Silvicultură din Suceava, domnul ing. Sorin Sfirlogea, președintele Grupului pentru Dialog Forestier și domnul dr. ing. Mihai Enescu, membru al Plantăm fapte bune în România.

Principala temă abordată în primul panel a constat în evidențierea importanței pădurilor pentru societate, într-o abordare echilibrată, prezentându-se atât provocările conservării acestora, cât și importanța beneficiilor pe care pădurile le oferă oamenilor. Paneliștii au fost reprezentanții Grupului pentru Dialog Forestier, respectiv domnii ing. Adrian Băban, ing. Daniel Nicolaescu, conf. univ. dr. ing. Liviu Nichiforel, prof. univ. dr. ing. Bogdan Popa, ing. Paul Dima și ing. Sorin Sfirlogea. Acestora li s-a alăturat și domnul dr. ing. Raul Radu, de la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea".

În cel de-al doilea panel, au fost dezbătute teme de actualitate cu privire la conservarea și extinderea pădurilor. În platou, în plus față de reprezentanții Grupului pentru Dialog Forestier, au participat la dezbateri domnii conf. univ. dr. ing. Tudor Stăncioiu și conf. univ. dr. ing. Dan Traian Ionescu, de la Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, domnii conf. univ. dr. ing. Ciprian Palaghianu și conf. univ. dr. ing. Gabriel Duduman, de la Facultatea de Silvicultură

<sup>1</sup> [https://ires.ro/articol/428/protejarea-mediului--i-a-animalelor-salbatice\\_sondaj-na%C8%9Bional\\_iii\\_mediu-%C8%99i-resurse-naturale](https://ires.ro/articol/428/protejarea-mediului--i-a-animalelor-salbatice_sondaj-na%C8%9Bional_iii_mediu-%C8%99i-resurse-naturale)



**Enescu et al.: Maratonul Pădurilor: un instrument de comunicare eficientă despre păduri**

din Suceava, domnul ing. Dan Popescu, Șeful Ocolului Silvic “Renașterea Pădurii” Mârșani, domnul dr. ing. Costel Petcu, directorul tehnic al Direcției Silvice Tulcea din cadrul Regiei Naționale a Pădurilor - Romsilva și domnul ing. Radu Vlad, Managerul Național al Departamentului Păduri, WWF România.

Dezbaterile din sfera digitalizării și a monitorizării din sectorul silvic au fost coordonate de domnii ing. Sorin Sfirlogea și prof. univ. dr. ing. Bogdan Popa, din partea Grupului pentru Dialog Forestier. La discuții au participat și au expus exemple concrete, dar și propuneri de îmbunătățire a cadrului existent domnul prof. univ. dr. ing. Mihai Niță, de la Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, domnul șef de lucrări dr. ing. Ionuț Bărnoaiea, de la Facultatea de Silvicultură din Suceava și domnul ing. Mihai Gășpărel, Inspectorul Șef al Gărzii Forestiere Suceava.

Ultimul panel, dedicat comunicării din și despre sectorul pădure-lemn, a debutat cu o prezentare realizată de domnul dr. ing. Mihai Enescu având ca subiect știrile false despre sectorul forestier, propagate în mediul online. Ulterior, la discuții s-au alăturat și domnii conf. univ. dr. ing. Ciprian Palaghianu, ing. Sorin Sfirlogea, ing. Paul Dima și ing. Mihai Gășpărel.

Înregistrările video ale celor peste 8 ore de dezbateri LIVE online sunt disponibile în mediul online și pot fi accesate prin scanarea QR-code-ului de mai jos.

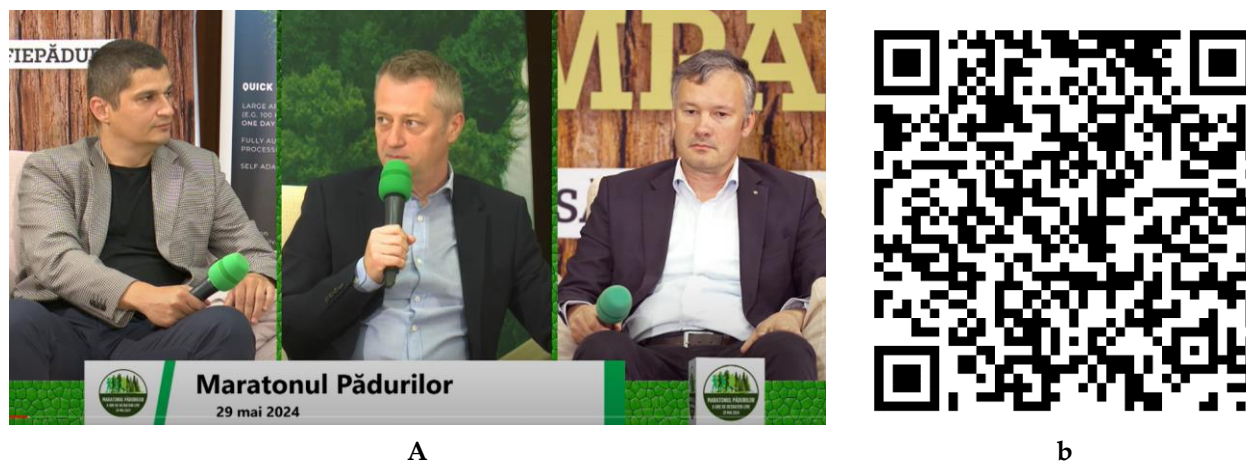


Figura 1. Aspecte din timpul întâlnirii: a – Dr. ing. Mihai Enescu, reprezentant Plantăm fapte bune în România, Conf. univ. dr. ing. Ciprian Palaghianu, Decanul Facultății de Silvicultură din Suceava, Prof. univ. dr. ing. Alexandru Lucian Curtu, Decanul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, b – QR code-ul playlist-ului cu înregistrările disponibile online

Interesul manifestat în mediul online față de eveniment arată că rețelele sociale pot fi un instrument eficient pentru a ajunge la publicul larg și pentru a crea comunități online interesate de obținerea unor informații avizate despre gestionarea pădurilor.

## MULȚUMIRI

Adresăm mulțumiri și celor 29 de colegi și colaboratori care au susținut evenimentul prin realizarea unor materiale video, înregistrate în prealabil, respectiv: ing. Ionuț Sorin Banciu (Secretarul de Stat pentru Păduri, Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor), ing. Marius Dan Sîiulescu (Directorul General al Regiei Naționale a Pădurilor – ROMSILVA), ing. Adrian Crețu

**Enescu et al.: Maratonul Pădurilor: un instrument de comunicare eficientă despre păduri**

---

(Președintele Asociației Administratorilor Privati de Păduri), dr. ing. Ciprian Muscă (Președintele Asociației Forestierilor din România), dr. ing. Alex Giurcă (European Forest Institute), dr. ing. Viorel Blujdea (Joint Research Centre), dl. Bogdan Bucur (Primarul localității Rășinari, Sibiu), dl. Ion Spiridon (Primarul localității Urzica, Olt), dl. Dinu Bumbăcea (PwC România), ing. Tibor Kadar, ing. Mihai Boghean și ing. Alexandra Popa (FSC România), ing. Valeriu Caisin (Agenția Moldsilva), ing. Erika Bela-Vaida (Fundatia ProPark Brașov), ing. Călin Bibarț (Primarul Municipiului Arad), ing. Alexander Degianski (Forest & Biomass România), ing. Alexandru Nițulescu (Tornator România), ing. Lucian Filigean (PEFC România), ing. Gheorghe Marin (Inventarul Forestier Național), ing. Gabriel Oltean (Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor), ing. Ștefan Nica (Asociația Română de Arboricultură), șef lucrări dr. ing. Cosmin Mihai (Facultatea de Horticultură București), ing. Delia Bungău (Regia Națională a Pădurilor – ROMSILVA), conf. univ. dr. ing. Alina Truța (Facultatea de Silvicultură și Cadastru Cluj-Napoca), prof. univ. dr. ing. Laura Bouriaud și dr. ing. Ramona Scriban (Facultatea de Silvicultură Suceava), dr. ing. Diana Culescu (Asociația Peisagiștilor din România), ing. Maria Antal (Garda Forestieră Oradea) și ing. Opra Boglárka (Universitatea Sapientia).

**REZUMAT EXTINS – EXTENDED ABSTRACT**

*Title in English: Marathon of Forests: A tool for efficient communication about forests*

*Abstract: On May 29, 2024, the Marathon of Forests was organized, a LIVE online event, which included over 8 hours of debates on some of the most important aspects of the forest-wood sector. The debates were structured in 4 panels: socio-economic, forest conservation & extension, digitization-monitoring and communication, and a total of 18 experts participated in the panels, representatives of the Group for Forestry Dialogue, the Faculty of Silviculture and Forest Engineering from Brașov, the Faculty of Silviculture from Suceava, other colleagues from administration, research, representatives of the civil society and control structures of the forestry regime. Moderation was carried out by Dr. Eng. Mihai Enescu, representative of Planting good deeds in Romania. The discussions were broadcasted LIVE simultaneously on 5 Facebook pages, respectively: Forests of Romania, Planting good deeds in Romania, Agro TV and the pages of the two faculties. Recordings of the debates are available online, both on Facebook and YouTube.*

*Keywords: Debates, Marathon, Forests, LIVE online*