

ARBORII BIOINDICATORI ȘI BIOACUMULATORI DE SINTEZĂ ÎN ECOSISTEMUL FORESTIER

VALENTIN BOLEA¹, DĂNUȚ CHIRA¹, MARIUS POPA¹, COSTEL MANTALE¹,
DAN PEPELEA¹, VLADIMIR GANCZ², AURELIA SURDU²,
CARMEN IACOBAN³

¹Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Brașov

²Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, București

³Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Câmpulung Moldovenesc

Abstract

TREES-SYNTHETIC BIOINDICATORS AND BIOACCUMULATORS IN FOREST ECOSYSTEMS

Anthropogenic environmental pollutants ("acid rain" with SO₂, NO_x, HCl, HF) and a large amount of other chemical elements, which are not necessary for growth and development (e.g. heavy metals) may be absorbed by trees in different locations and under certain condition and may lead to: (i) an inadequate or excess supply of one or more trees nutrients known to be essential ((so-called macronutrients: nitrogen -N, phosphorus-P, potassium-K, calcium-Ca, magnesium-Mg and sulphur-S, and so-called micronutrients: manganese-Mn, iron-Fe, copper-Cu, zinc-Zn, chlorine -Cl)); (ii) disturbances in trees metabolism, growth and development to damaging symptoms.

Visual and analytical diagnosis during seasonal (deciduous trees) or yearly (coniferous) period of growth and development has provided two complementary methods for identifying a synthesis of nutritional disorders of trees which permit them to be distinguished from phytopathological damage too.

Analytical foliar diagnosis has made evident the following: (i) nutritional state of trees (N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Cu, Zn, Cl) compared to threshold values proposed in the European literature (Bonneau and Solberg, 1994, Bergmann, 1992); (ii) nutritional intensity and balance; (iii) synergism, antagonism and accumulation between essential nutrient elements in trees metabolism and other chemical elements; (iv) the capacity of sulphur, chlorine, calcium, magnesium, manganese, iron, copper and zinc metabolism.

Keywords: trees, foliar synthetic diagnosis, nutritional disorders, damaging symptoms, capacity of metabolism.

Rezumat

Arborii acumulează în frunze, pe lângă substanțele minerale absorbite din sol și noxele din atmosferă, de la începutul sezonului de vegetație până în momentul eşantionării. Astfel, analizele foliare redau, în funcție de factorii climatici, pedologici și biotici, o sinteză a ultimului sezon de vegetație, în cazul foioaselor ori a ultimilor ani (acele de un an, de doi ani, de trei ani etc.), în cazul rășinoaselor, privind: (i) starea nutrițională a arborilor (N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Cu, Zn etc.) în raport cu nivelurile de carență, critic sau optim; (ii) echilibrul nutritiv N,P,K; (iii) intensitatea nutriției; (iv) relația sinergică, antagonică ori cumulativă, între elementele minerale, cum este de exemplu N/S; (v) capacitatea de metabolizare și pragul de toxicitate cu S, Cl, F, Pb, Cu, Zn, Fe etc.;

Reluarea analizelor foliare, anuală sau periodică (3-5 ani), asigură monitorizarea acestor parametri importanți pentru echilibrul ecologic al ecosistemului forestier.

Ca bioindicatori, arborii prezintă pe frunze simptome specifice ale subnutriției, când substanțele nutritive coboară la nivelul carenței la: N, P, K, Ca, Mg etc., ori urcă la pragul de toxicitate cu S, Cl, F, O₃, Pb etc. Aceste simptome foliare indică nu numai substanța toxică sau la nivelul carenței ci și intensitatea procesului de toxicitate ori de carență, ceea ce permite prognoze utile pentru prevenirea extinderii efectelor negative.

Cuvinte cheie: bioacumulatori, bioindicatori, toxicitate, carențe, echilibru nutritiv, capacitate de metabolizare.

1. INTRODUCERE

În ultimele patru decenii, preocupările omenirii pentru un aer mai curat, mai sănătos se îndreaptă din ce în ce mai mult spre biosupraveghere, respectiv pe urmărirea reacțiilor la toate nivelurile de organizare a materiei vii sub raport morfologic, biochimic, fiziologic și ecologic, pentru a releva alterarea mediului și a urmării evoluția acesteia.

La "Conferința internațională privind poluarea aerului urban, biosupravegherea și alterarea mediului" care a avut loc în 2002 la Universitatea Hohenheim din Germania, considerată "Euroforum" s-au luat în considerare: i) utilizarea plantelor bioindicatoare pentru biosupraveghere în 30% din referate; ii) utilizarea lichenilor și mușchilor pentru biosupraveghere în 23%; iii) amplasarea unor rețele de biosupraveghere și standardizarea biosupravegherii în 21%; iv) valorificarea bioindicațiilor vegetației naturale în 9% din referate; v) conștientizarea și educarea publicului prin Eurobionet în 7% din cazuri; vi) poluarea aerului și alterarea mediului în 8%; vii) utilizarea informațiilor geografice în studiul poluării în 2% din referate.

În ecosistemele forestiere, ca și în cazul arborilor din zonele verzi ale României, se impune o biosupraveghere bazată pe arbori, ca bioindicatori și bioacumulatori, din cel puțin două considerente: (i) poluarea din România se găsește la nivel necrotic și nu subnecrotic, ca cea din vestul Europei (Garrec și Haluwyn, 2002); (ii) cine altcineva decât arborii pot evidenția mai bine efectele poluării asupra propriului lor organism?

2. BOGĂȚIA INFORMAȚIILOR OFERITE DE ARBORI

Dintre posibilitățile de evaluare și biosupraveghere prin biointegrare, biomarkeri, bioindicatori și bioacumulatori, arborii oferă o gamă largă de informații ca bioindicatori sau bioacumulatori: i) curente; ii) sintetice; iii) complexe; iv) perene; v) spațiale.

Informațiile curente se observă pe frunzele arborilor bioindicatori sub forma de: i) pete mici de arsuri, care apar imediat după ploile acide; ii) decolorări pale, restrânse care avertizează asupra apariției poluării cu dioxid de sulf, clor, fluor, ozon, plumb etc.; iii) decolorări din ce în ce mai evidente și mai mari, care se transformă în necroze și se extind, odată cu creșterea conținutului de noxe în aer; iv) subdezvoltarea frunzelor și malformări când noxele ating pragul de toxicitate.

Aceste informații sunt oferite pe parcursul întregului sezon de vegetație în cazul foioaselor sau al rășinoaselor cu frunze căzătoare, sau în permanență, în cazul rășinoaselor ori a foioaselor cu frunze sempervirescente, cum este *Viburnum ritidophyllum*.

Arborii înregistrează și respectiv acumulează secundă de secundă, zi de zi, lună de lună, alterările morfologice (bioindicatorii) ori biochimice (bioacumulatorii), reflectând sintetic, de exemplu stadiul și evoluția procesului de pătrundere a dioxidului de sulf prin stomate, de desprindere a magneziului din molecula clorofilei (în condiții de umiditate ridicată) și transformarea ei în feofitina, ori chiar (în concentrații mărite) desprinderea fitolului și formarea de feoforbidă.

Se precizează că bioacumularea este fenomenul prin care o substanță prezentă în aer pătrunde în organism, chiar dacă ea nu are nici un rol metabolic, sau chiar dacă ea este toxică pentru acel organism. Ea este rezultatul unui echilibru dinamic între aer și plantă, dependent de însușirile plantei, de biomasa ei, de capacitatea ei de metabolizare a poluanților (Bolea, s.a., 2001), de viteza ei de metabolizare a noxelor (sulful, azotul, clorul sunt rapid metabolizate), sau de viteza de depunere pe suprafața frunzelor.

Informațiile asigurate de arbori sunt polivalente. Aceași frunză a unui arbore bioindicator poate evidenția în funcție de felul decolorărilor ori necrozărilor, efectele următoarelor tipuri de substanțe: i) sulfului - internervare; ii) clorului și fluorului - perimetrare și apicale cu îndoirea marginilor frunzelor; iii) ozonului - verde deschise difuze, luminoase până la brun-roșcate pe partea superioară a frunzei; iv) plumbului - cenușii, negricioase la baza limbului.

Aceași probă de frunze a unui arbore bioacumulator prin analize foliare ne indică cu mare precizie: i) efectele toxice ale sulfului, clorului, fluorului, plumbului, cuprului, zincului, natriului, manganului etc.; ii) nivelurile optime, critice ori de carență a substanțelor nutritive - azotul, fosforul, potasiul, calciul, magneziul - și chiar a microelementelor - fierul, borul, cuprul, zincul, cobaltul, molibdenul, manganul și clorul.

Informațiile arborilor sunt perene, deoarece cât timp trăiesc, bioindicatorii și bioacumulatorii relevă cu fidelitate și consecvență, prin analize foliare - calitatea aerului și prin simptomele foliare - efectele noxelor asupra arborilor. Frunzele decolorate, sau necrozate, ale arborilor bioindicatori, evidențiază suprafața pădurilor expuse

efectelor poluantului și evoluția în timp și spațiu a acestor efecte.

3. RELEVANȚA SIMPTOMELOR CAUZATE DE POLUARE

Arborii bioindicatori redau efectele poluării, observabile la nivel individual sub forma unor: i) alterări morfologice: decolorări și necroze; ii) modificări morfologice: frunze mai mici, malformate, internoduri mai scurte, flori mai mici ori avortate; iii) căderi premature de frunze și diminuări ale transparenței coroanei; iv) uscări de ramuri.

În cazul frunzelor aceste simptome se diferențiază în general după natura poluanților, iar în detaliu prezintă diferențieri specifice foarte importante, pentru evidențierea cărora s-au elaborat atlase. (i) În 1970, Jacobson și Hill au ilustrat decolorările și necrozele cauzate de diverși poluanți plantelor superioare din America; (ii) În 2005, "Grupul de lucru pentru calitatea aerului" (expert Panel on Deposition, ICP - Forest) a întocmit "Submanualul pentru evaluarea vătămarilor cauzate de ozon în ecosistemele forestiere europene"; (iii) În România este în curs de elaborare un atlas al simptomelor foliare la speciile forestiere în cadrul proiectului româno-belgian SUGRO privind fundamentarea prin GIS și analize foliare fitopatologice și entomologice a managementului zonelor verzi urbane și periurbane ale Brașovului.

O analiză mai atentă a simptomelor foliare permite diferențierea efectelor suprapuse a două (SO_2 și clor), ori a mai multor noxe, sau chiar interacțiunea poluării cu seceta și înghețul târziu, cu boli cauzate de ciuperci ori cu vătămarile cauzate de insecte.

În timp și spațiu, modificările în decolorarea și transparența coroanelor arborilor permit monitorizarea evoluției efectelor poluării de la o lună la alta, iar în cazul rășinoaselor, chiar de la un an la altul.

4. POLIVALENȚA DIAGNOZEI FOLIARE

Arborii bioacumulatori, amplasați câte 5-8 exemplare (repetiții) permit determinarea nivelurilor de poluare și a semnificației diferențelor dintre ele pe: (i) tipuri de ecosisteme forestiere; (ii) sectoare topoclimatice, cum sunt în cazul Brașovului (Marcu, 2004): Șesul depresionar al Bârsei; -sectorul topoclimatic piemontan; - sectorul topoclimatic de versanți piemontani; (iii) cartierele Brașovului.

Arborii se selectează ca bioacumulatori după următoarele criterii: să fie larg răspândiți în zona studiată; să fie repartizați cât mai uniform; să fie cât mai rezistenți, pentru a nu se perturba fenomenul de acumulare; să fie mai înalți de 3 m, pentru a permite mai multe prelevări foliare, pentru a fi ușor de marcat și de găsit, pentru a rezista la vandalisme și pentru a nu fi influențați de parametri telurici.

Eșantionarea, recoltarea probelor și determinarea conținutului frunzelor în elemente minerale (S, Cl, F, Na, Pb, Cu, Zn, Mn, Fe) se face prin metoda standardizată

pentru monitoringul european al nutriției arborilor (UNECE, 1994). Pentru fiecare noxă (S, Pb, Cu, Zn, Cl, Na, F, Mn, Fe), diferitele niveluri de poluare se regroupează pe 4 clase prin metoda statistică a clusterului (dendrograme) și se elaborează o hartă a zonelor poluate.

Analiza foliară a mai multor specii de arbori bioacumulatori, situați în aceeași stațiune, permite determinarea capacității de metabolizare a noxelor (tabelul 1).

Această capacitate de metabolizare a variat între: 1233 ppm la *Abies alba* și 8724 ppm la *Betula pendula* în cazul sulfului (pentru 22 specii) și 210 ppm la *Quercus robur* și 31320 ppm la *Populus x canadensis* (pentru 24 specii), în cazul clorului. În cazul fluorului, care nu este metabolizat, conținutul maxim în frunzele arborilor bioacumulatori, care nu s-au uscat, indică următoarea ierarhie în rezistența față de această noxă: i) *Acer pseudoplatanus*: 2300 ppm; ii) *Larix decidua*: 1029 ppm; iii) *Picea abies*: 1000 ppm; iv) *Fagus sylvatica*: 811 ppm.

Tabelul 1. Capacitatea de metabolizare a clorului și sulfului

Metabolism capacity of chlorine and sulphur		
Specia	Metabolizarea (ppm)	
	Clorului	Sulfului
<i>Populus x canadensis</i>	31.320	8.230
<i>Populus tremula</i>		5.650
<i>Fraxinus americana</i>	20.460	
<i>Tilia cordata</i>	20.240	
<i>Acer platanoides</i>	17.650	
<i>Acer pseudoplatanus</i>	16.420	
<i>Ulmus glabra</i>	15.340	
<i>Fagus sylvatica</i>	7.900	4.891
<i>Carpinus betulus</i>	6.010	
<i>Picea abies</i>	4.220	1.890
<i>Quercus petraea</i>	3.940	4.891
<i>Tilia pubescens</i>	2.330	
<i>Thuja plicata</i>	1.900	678
<i>Thuja occidentalis</i>	1.530	929
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	1.510	2.991
<i>Taxus baccata</i>	1.050	614
<i>Pinus strobus</i>	900	1.859
<i>Juniperus sabina</i>	680	2.066
<i>Picea pungens</i>	540	949
<i>Abies concolor</i>	470	794
<i>Pinus nigra</i>	340	
<i>Pinus sylvestris</i>		2.200
<i>Abies alba</i>	330	1.233
<i>Betula pendula</i>	250	8.724
<i>Quercus robur</i>	210	3.719
<i>Quercus rubra</i>		3.627
<i>Quercus cerris</i>		2.198
<i>Quercus pedunculiflora</i>		1.697
<i>Quercus frainetto</i>		1.434

Diagnoza foliară poate caracteriza starea nutrițională în raport cu următoarele niveluri europene (dupa Ștefan et al., 1997) (tabelul 2). Prin prelucrarea acestor elemente nutritive se poate stabili echilibrul nutritiv și balanța nutriției.

5. APLICAȚIILE PRACTICE ALE BIOINDICATORILOR ȘI BIOACUMULATORILOR

În protecția pădurilor cunoașterea simptomelor foliare ale poluării per-mite: (i) depistarea apariției și evoluției efectelor poluării pe specii și pe natură a poluanților, cu precizarea intensității și a frecvenței; (ii) semnalarea lunară a efectelor, pe natură de poluant, asupra puietilor din regenerări naturale și a arborilor maturi, prin rapoarte de semnalare a bolilor și dăunătorilor; (iii) supravegherea permanentă a bioindicatorilor până la dispariția completă a simptomelor foliare.

Pentru reducerea poluării și a efectelor negative ale poluării asupra zonelor verzi se face necesară conștientizarea populației asupra corelației strânse dintre simptomele foliare ale bioindicatorilor, nivelul ridicat al poluării și efectele negative ale poluării asupra sănătății omului.

Simptomele foliare ale bioindicatorilor evidențiază nivelul ridicat al poluării și sunt menite să țină în alertă autoritățile până la diminuarea poluării sub nivelul necrotic. Determinarea prin analize foliare a capacității de metabolizare a sulfului, ori a clorului, ori a rezistenței bioacumulatorilor, diferențiate pe specii asigură pentru împăduriri criterii importante pentru alegerea speciilor și amplasarea acestora în stațiunile poluate destinate împăduririlor.

Tabelul 2. Nivelurile europene la N, P, K, Ca, Mg, S, pentru principalele specii din ecosistemele forestiere (dupa Ștefan et al., 1997)

European levels of N, P, K, Ca, Mg, S for main species from forest ecosystems (Ștefan et al, 1997)

Specia	Clasa	Concentrația elementului nutritiv (ppm)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Molid	Inférieure	< 12	< 1,0	< 3,5	< 1,5	< 0,6	< 1,1
	Normală	12-17	1,0-2,0	3,5-9,0	1,5-6,0	0,6-1,5	1,1-1,8
	Optimă	> 17	> 2,0	> 9,0	> 6,0	> 1,5	> 1,8
Pin	Inférieure	< 12	< 1,0	< 3,5	< 1,5	< 0,6	< 1,1
	Normală	12-17	1,0-2,0	3,5-10	1,5-4,0	0,6-1,5	1,1-1,8
	Optimă	> 17	> 2,0	> 10	> 4,0	> 1,5	> 1,8
Cvercinee	Inférieure	< 15	< 1,0	< 5,0	< 3,0	< 1,0	-
	Normală	15-25	1,0-1,8	5,0-10	3,0-8,0	1,0-2,5	-
	Optimă	> 25	> 1,8	> 10	> 8,0	> 2,5	-
Fag	Inférieure	< 15	< 1,0	< 5,0	< 4,0	< 1,0	< 1,3
	Normală	15-25	1,0-1,7	5,0-10	4,0-8,0	1,0-1,5	1,3-2,0
	Optimă	> 25	> 1,7	> 10	> 8,0	> 1,5	> 2,0

În rezervațiile de semințe, în ariile protejate ca și în zonele verzi, diagnozele foliare permit identificarea fiziotipurilor și amendarea și fertilizarea în raport cu starea lor nutrițională (tabelul 3).

În amenajarea pădurilor diagnoza foliară poate contribui la perfecționarea cartării staționale printr-o serie de importante avantaje: este mai precisă, mai sintetică, mai completă decât analiza de sol, prezintă rezultatul cumulat al însușirilor fizice și chimice ale solurilor; regimului de umiditate din sol, gradului de integritate al rădăcinilor și de micorizare al acestora, capacității de absorbție al arborelui, care poate fi condiționată și genetic. Are eficiență superioară, mai ales în precizarea carențelor de oligoelemente (microelemente) și detectează anomaliile de alimentare minerală, care rezultă dintr-un dezechilibru între elemente (tabelul 4).

În studiile de impact, ca și în cazul ariilor protejate și a zonelor verzi, arborii bioindicatori prin simptomele foliare și bioacumulatori prin analizele foliare asigură: evaluarea stării de sănătate, cartarea pe niveluri de poluare, biosupravegherea.

6. CONCLUZII

Metodele de biodetecție vegetală a poluării atmosferei, prin arbori bioindicatori și bioacumulatori, nu sunt concurente cu metodele fizico - chimice, ci complementare cu ele și au o serie de importante avantaje. Astfel, sunt metode simple, rapide și puțin costisitoare, care necesită investiții puține, infrastructură puțină și care presupun o întreținere și urmărire foarte ușoară.

Amplasarea și reamplasarea rețelei de arbori ușoară este și există posibilitatea de a instala un număr foarte mare de staționare. Se menționează posibilitatea de a instala, cu costuri scăzute, a rețelei de captatori fizico-chimici, capacitatea de detectare a poluanților noi, ori accidentali, neluați în evidență prin prelevarea și analizarea probelor de aer și asigurarea informațiilor biologice privind sensibilitatea și efectele asupra fiziologiei arborilor;

Metodele permit realizarea unor cartografieri privind: localizarea poluării și nivelurile de poluare; amplasarea de noi stații de măsurare a conținutului aerului în poluanți; urmărirea evoluției poluării ca urmare a deschiderii unor căi noi de circulație, a construirii de noi cartiere și darea în funcțiune a unor noi centre industriale; verificarea noilor legislații asupra calității aerului; darea în funcțiune a noilor planuri de circulație; luarea deciziilor în protejarea, orientarea sau ameliorarea spațiilor verzi și a parcurilor urbane; riscurile sanitare ale populației urbane mai fragile (copii, bătrâni).

Dezavantajele metodei de biodetecție vegetală sunt legate de natura biologică a "detectorului": (i) Disponibilitate limitată în raport cu climatul sau cu sezonul de vegetație, în cazul foioaselor; (ii) Posibilitatea suprapunerii peste alți factori de stres biotici ori abiotici; (iii) Dificultățile corelării cu concentrația poluanților din atmosferă; (iv) Timpul de reacție nu suficient de scurt și praguri de toxicitate destul de ridicate și diferențiate pe specii.

Tabelul 3. Fertilizări în zone verzi și rezervații de semințe în raport cu conținutul frunzelor în substanțe minerale. Pragurile conținutului frunzelor în azot și fosfor (în g / kg substanță uscată) pentru estimarea carenței în perioada 1 august - 15 septembrie, după Jitze Kopinga și Jan van den Burg - 1995

Fertilizations within green areas and seeds reserves in connection with minerals. Nitrogen and Phosphorous leaves contents thresholds (g/kg dried matter) to lack estimation during 1st August - 15th September (Jitze Kopinga and Jan van den Burg - 1995)

Nr. crt.	Specia	Conținutul frunzelor (ppm) în.....															
		azot				fosfor				potasiu				magneziu			
		foarte scăzut	scăzut	normal	optim	foarte scăzut	scăzut	normal	optim	foarte scăzut	scăzut	normal	optim	foarte scăzut	scăzut	normal	optim
1	<i>Acer platanoides</i>	<17	17-22	23-27	>27	<1,0	1,0-1,5	1,6-2,2	>2,2	<7	7-11	11,5-15	>15	<0,8	0,8-1,6	1,7-2,7	>2,7
2	<i>Acer pseudoplatanus</i>	<17	17-22	23-27	>27	<1,0	1,0-1,5	1,6-2,2	>2,2	<7	7-11	11,5-15	>15	<0,8	0,8-1,6	1,7-2,7	>2,7
3	<i>Acer saccharinum</i>	<13	13-18	19-27	>27	<1,0	1,0-1,3	1,4-1,9	>1,9	<4	4-9	9,5-18	>18	<0,7	0,7-1,4	1,5-2,7	>2,7
4	<i>Aesculus hippocastanum</i>	<14	14-18	19-22	>22	<1,0	1,0-1,2	1,3-1,5	>1,5	<4,5	4,5-8,5	9-14	>14	<0,7	0,7-1,1	1,2-2,7	>2,7
5	<i>Betula pendula</i>	<18	18-22	23-30	>30	<1,0	1,0-1,5	1,6-2,0	>2,0	<4	4-7	7,5-9	>9	<1,0	1,0-1,3	1,4-1,6	>1,6
6	<i>Corylus avellana</i>	<18	18-22	23-25	>25	<1,0	1,0-1,4	1,5-1,8	>1,8	<5	5-10	10,5-16	>16	<0,9	0,9-1,8	1,9-2,5	>2,5
7	<i>Fagus sylvatica</i>	<18	18-20	21-28	>28	<1,0	1,0-1,3	1,4-1,6	>1,6	<4,5	4,5-7	7,5-15	>15	<1,0	1,0-1,5	1,6-2,3	>2,3
8	<i>Fraxinus excelsior</i>	<18	18-22	23-28	>28	<1,0	1,0-1,5	1,6-2,0	>2,0	<6	6-10	10,5-15	>15	<0,9	0,9-1,6	1,7-2,8	>2,8
9	<i>Juglans regia</i>	<20	20-25	26-35	>35	<1,2	1,2-1,8	1,9-2,4	>2,4	<5	5-12,5	13-23	>23	<1,2	1,2-1,8	1,9-3,5	>3,5
10	<i>Liriodendron tulipifera</i>	<20	20-25	26-30	>30	<1,2	1,2-1,7	1,8-2,1	>2,1	<5	5-8	8,5-15	>15	<1,0	1,0-1,8	1,9-3,0	>3,0
11	<i>Platanus x acerifolia</i>	<15	15-19	20-26	>26	<1,0	1,0-1,4	1,5-1,8	>1,8	<4	4-6	6,5-17	>17	<0,8	0,8-1,4	1,5-2,6	>2,6
12	<i>Populus euramericana</i>	<22	22-25	26-28	>28	<1,2	1,2-1,5	1,6-2,0	>2,0	<5	5-12	12,5-15	>15	<1,2	1,2-1,7	1,8-2,8	>2,8
13	<i>Prunus avium</i>	<15	15-18	19-26	>26	<1,0	1,0-1,3	1,4-1,7	>1,7	<6	6-10	10,5-17	>17	<1,2	1,2-1,5	1,6-2,6	>2,6
14	<i>Prunus cerasus</i>	<15	15-18	19-26	>26	<1,0	1,0-1,4	1,5-1,8	>1,8	<6	6-10	10,5-17	>17	<1,2	1,2-1,5	1,6-2,6	>2,6
15	<i>Quercus robur</i>	<18	18-20	21-28	>28	<1,0	1,0-1,3	1,4-1,7	>1,7	<4	4-6	6,5-8	>8	<1,3	1,3-1,5	1,6-2,8	>2,8
16	<i>Robinia psudacacia</i>	<20	20-25	26-30	>30	<1,1	1,1-1,3	1,4-2,1	>2,1	<4	4-7	7,5-20	>20	<1,0	1,0-1,5	1,6-2,2	>2,2
17	<i>Salix alba</i>	<18	18-21	22-28	>28	<1,0	1,0-1,4	1,4-2,0	>2,0	<6	6-10	10,5-19	>19	<0,9	0,9-1,6	1,7-2,8	>2,8
18	<i>Sorbus aucuparia</i>	<15	15-18	19-22	>22	<1,0	1,0-1,2	1,3-1,6	>1,6	<4	4-6	6,5-14	>14	<0,8	0,8-1,4	1,5-2,5	>2,5
19	<i>Tilia cordata</i>	<17	17-20	21-24	>24	<1,0	1,0-1,4	1,5-2,0	>2,0	<8	8-10	10,5-15	>15	<0,8	0,8-1,1	1,1-2,4	>2,4
20	<i>Tilia platyphyllos</i>	<17	17-21	22-28	>28	<1,0	1,0-1,5	1,6-2,0	>2,0	<6	6,5-10	10,5-15	>15	<0,8	0,8-1,2	1,3-2,8	>2,8
21	<i>Ulmus glabra</i>	<18	18-22	23-27	>27	<1,0	1,0-1,5	1,6-1,9	>1,9	<6,5	6,5-12	12,5-18	>18	<0,9	0,9-1,6	1,7-2,7	>2,7

Tablelul 4: Anomaliile de alimentare minerală rezultate din dezechilibru între elemente

Mineral feeding anomalies resulting from elements imbalance

- în funcție de proporția față de azot:

Elementul	Proporția în raport cu azotul (%)		
	optimă	suficientă	insuficientă
N	100	100	100
P	10 – 14	5 – 10	< 5
K	50 – 100	25 – 50	< 25
Mg	10	5 – 10	< 5

- în funcție de raportul dintre două elemente:

Raportul	Nivelul raportului dintre elemente		
	Conținutul normal de K	Deficiență posibilă de K	Deficiență de K
K / Ca	3,5 – 1,0	0,5 – 1,0	> 0,5
K / Mg	1 – 9	9 – 12	12 - 20

7. PROPUNERI

În urma cercetărilor, cinsiderăm necesară amplasarea, în fiecare tip de ecosistem reprezentativ începând cu Parcurile Naționale și zonele de agrement din jurul centrelor industriale a câte 5 arbori bioindicatori și bioacumulatori din specia de bază și monitorizarea lor periodică (din 3 în 3 ani) prin analize foliare a următoarelor elemente minerale: S, N, Cl, F, Na, Cu, Zn, Pb, Fe, K, Mg, Mn, precum și folosirea de către amenajaștii a analizelor foliare pentru ridicarea preciziei cartării staționale.

Recomandăm alegerea, în jurul tuturor obiectivelor industriale ori turistice, a 10 arbori bioindicatori și bioacumulatori și precizarea în studiul de impact asupra mediului: a calității aerului, prin determinarea conținutului de S, N, Cl, F, Na, Cu, Zn, Pb, Fe, K, Mg, Mn în frunzele arborilor bioacumulatori și a obligativității de a urmări menținerea calității aerului prin analize foliare anuale, a acelorași elemente, la aceiași arbori.

De asemenea cartarea, în anii următori, a nivelurilor de poluare în București și Baia Mare prin metoda bioindicatorilor și bioacumulatorilor, aplicată în acest an la Brașov, în cadrul proiectului româno - belgian SUGRO.

BIBLIOGRAFIE

- BLANDIN, P., 1986: Bio-indicateurs et diagnostic des systcems écologiques. Bulletin d'Écologie, 17, pag 15-307.
- BOLEA, V. s.a., 1999: Nutritia minerala a principalelor specii forestiere din România, în raport cu pragurile de nutritie europene. Ed. Universitatea Transilvania Brasov.

- BOLEA, V., MANDAI, M., SURDU, A., 2000: Starea nutrițională a arborilor din România în perioada 1993-1999 raportată la standardele europene. Lucrările celei de a 5-a Conferințe Naționale pentru Protecția Mediului prin Metode și Mijloace Biologice și Biotehnice și a celei de a 2-a Conferințe Naționale de Ecosanogeneză, pag. 265-269. Ed. Universitatea Transilvania Brasov.
- BOLEA, V., VLONGA, ST., MANDAI, M., SURDU, A., 2001: Conținutul în sulf al frunzelor în 1998-1999 la fagul din câteva ecosisteme forestiere carpatice. În: "Pădurea românească la cumpăna mileniilor". Ed. Universitatea Transilvania Brasov.
- BOLEA, V., SURDU, A., 2001a: Capacitatea de metabolizare a sulfului și pragul de toxicitate cu sulf la speciile forestiere. În: "Revista de silvicultură", nr. 13-14, pag. 10-16, Brasov.
- BOLEA, V., CIOBANU, D., PANA, A-M., 2002b: Evaluarea poluării și avertizarea apariției și evoluției acesteia. În: "Pădurea și viitorul". Ed. Universitatea Transilvania Brasov, pag. 87-92.
- BOLEA, V., VLONGA, ST., SASARAN, M., LESAN, M., 2002c: Monitoringul compoziției floristice în ecosisteme forestiere poluate. Revista de Silvicultura 15-16, pag. 22-29, Brasov.
- BOLEA, V., CIOBANU, D., PANA, A-M., 2002: Dezvoltarea sistemului de supraveghere intensivă a principalelor ecosisteme forestiere prin urmărirea evoluției compoziției floristice. Anale Seria I I.C.A.S. Vol. 45, pag. 101-109. Ed. Tehnica Silvica, Bucuresti.
- BOLEA, V., CIOBANU, D., PANA, A-M., 2003: Plant composition and nutritional dynamic balance in five representative forest ecosystems of the Curvature Carpatians. Anale Seria I I.C.A.S. Vol. 46, pag. 177-187. Ed. Tehnica Silvica.
- BONNEAU, M., 1988: Le diagnostic foliare. Revue Forestière Française numero spécial.
- CHIRA, D., BOLEA, V., 2004: Diagnoza bolilor fiziologice ale celor mai importante specii forestiere cultivate în pepiniere și plantații, cu stabilirea de măsuri pentru prevenirea și combaterea acestora. Referat științific partial, ICAS, Bucuresti.
- CIOROIU-ANDRONESCU, M., 2003: Efectele dioxidului de sulf și ale fluorului asupra aparatului foliar la unele plante lemnoase și la vița de vie. Lucrare de licență, Sibiu.
- CISLAGHI, C., BRAGA, M., NIMIS, PL., 1996: Methodological aspects of an ecological study on the association between two biological indicators. Statistica Applicata 8, pag. 214-227.
- GARREC, J-P., HALUWYN, C.V., 2002: Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Ed. TEC & DOC Londres-Paris-New York.
- IMPENS, R., PIRET, T., ROBERT, M.J., 1981: Surveillance de la qualité de l'air par analyse de plantes indicatrices et accumulatrices. Annales de Gembloux, 87, pag. 49-59.
- JACOBSON, J.S., HILL, A.A., 1970: Recognition of air pollution injury to vegetation: a pictorial atlas. Air Pollution Control Association, Informative Report 1, TR+7 Agricultural Committee, Pittsburgh, Pennsylvania.
- JENSEN, S., ERIKSSON, G., KYLIN, H., STRACHAN, V.M.J., 1992: Atmospheric pollution by persistent organic compounds: monitoring with pine needles. Chemosphere, 24, pag. 229-245.
- MERSCH, J., CLAVERI, B., 1997: Biosurveillance des retombées atmosphériques d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de dioxines / furanes. In AFIE Le bio-indicateurs de la qualité de l'air, Rouen, pag. 39-40.
- MIGNANEGO, L., BIONDI, F., SCHENONE, G., 1992: Ozone biomonitoring in Northern Italy. Environmental Monitoring and Assessment, 21, pag. 141-159.
- MILLER, P.R., STOLTE, K.W., DURISCOE, D.M., PRONOS, J., 1996: Evaluating ozone air pollution effects on pines in the Western United States, Pacific SW Research Station.
- MULGREW, A., WILLIAMS, P., 2000: Biomonitoring of air quality using plants. Air Hygiene Report 10., King's College, London.
- PARASCAN, D., DANCIU, M., 2001: Fiziologia plantelor lemnoase. Ed. Pentru Viata.
- RICHERT, P., 1995: Rapport sur les évolutions souhaitables pour le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. Ministre de l'Environnement, Paris.
- RÜHLING, G.A., 1994: Atmospheric heavy metal deposition in Europe - estimation based on moss analysis. Nord, 9, pag. 1-53.
- SADOWSKA, A., PLUYGERS, E., NARKIEWICZ, M., PAWELECZAK, A., LATA, B., 1994: Environmental genotoxicity and cancer risk in humans. European Journal of Cancer Prevention, 3,

- pag. 69-78.
- SAVU, G., BOLEA, V., et al., 2000: Cercetări privind efectele nocive ale poluării asupra solurilor și arboretelor, precum și măsuri de prevenire prin lucrări silvice pentru zona Baia Mare și Baia Sprie. Referat științific final I.C.A.S.
- SUTINEN, BASTRUP-BIRK, GÜNTHART-GOERG, KRÄUCHI, SÁNCHEZ, CALATAYUD, 2005: Submanual for the Assessment of Ozone Injurz on European Forest Ecoszstems Finish Forest Research Institute, Denmark National Environmental Research Institute, WSL, CEAM.
- TONNEIJCK, A.E.G., POSTHUMUS, A., 1987: Use of indicator plants for biological monitoring of effects of air pollution: the Dutch approach. UDJ Berichte, 609, pag. 205-216.
- DE VRIES, W., REINDS, G.J., VAN KERKVOORDE M.S., HENDRIKS C.M.A., LEETERS E.E.J.M., GROSS C.P., VOOGD J.C.H., VEL E.M., 2000: Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. ECUN / ECE, Brussels, Geneva.
- UNECE, 1994: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Programme Coordinating Centres Hamburg and Prague.