



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ  
"GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI**

**ȘCOALA DOCTORALĂ**

**FACULTATEA DE INGINERIE CHIMICĂ ȘI  
PROTECȚIA MEDIULUI "Cristofor Simionescu"**



**IMPACTUL FITOTOXIC AL METALELOR  
GRELE ASUPRA UNOR PLANTE AGRICOLE  
ȘI POTENȚIALUL ACESTORA  
ÎN FITOREMEDIEREA SOLURILOR POLUATE**

**REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT**

*Conducător de doctorat:*

**Prof.univ. emerit dr.ing. MARIA GAVRILESCU**

*Doctorand:*

**Ing. IONELA-CĂTĂLINA VASILACHI-MITOȘERU**

**IAȘI, 2024**



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI**  
**R E C T O R A T U L**

Către

---

---

Vă facem cunoscut că, în ziua de 26.09.2024 la ora 11.00 în Sala de Consiliu a Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului "Cristofor Simionescu" , va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**" IMPACTUL FITOTOXIC AL METALELOR GRELE ASUPRA UNOR PLANTE AGRICOLE ȘI POTENȚIALUL ACESTORA ÎN FITOREMEDIEREA SOLURILOR POLUATE"**

elaborată de doamna Ing. **Ionela-Cătălina Vasilachi-Mitoșeru** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Prof.univ.dr.habil.ing. <b>Irina Volf</b> Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași	<b>Președinte</b>
Prof.univ. emerit dr.ing. <b>Maria Gavrilescu</b> Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași	<b>Conducător de doctorat</b>
Prof.univ.dr.habil.ing. <b>Vasile Stoleru</b> Universitatea pentru Științele Vieții "Ion Ionescu de la Brad" din Iași	<b>Referent oficial</b>
Conf.univ.dr.ing. <b>Raluca-Maria Hlihor</b> Universitatea pentru Științele Vieții "Ion Ionescu de la Brad" din Iași	<b>Referent oficial</b>
Prof.univ.dr.habil.chim. <b>Laura Bulgariu</b> Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași	<b>Referent oficial</b>

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

**RECTOR,**

**Prof.unui.dr.ing. Dan Cascaval**

**Secretar universitate,**

Ing. Cristina Nagit



## **Mulțumiri**

*Finalizarea tezei de doctorat reprezintă un pas important în viața și pregătirea mea profesională, marcând începutul carierei în domeniul cercetării științifice. Această teză de doctorat este o lucrare de suflet, reflectând mica mea contribuție la cercetarea în domeniul protecției mediului, realizată din dragoste profundă pentru natură.*

*Sincere mulțumiri și deosebită recunoștință adresez conducătorului de doctorat, doamnei Prof.univ.emerit dr.ing. **Maria GAVRILESCU**, pentru că a acceptat să fie mentorul meu în această călătorie academică, pentru profesionalism, îndrumare, atitudinea riguroasă și oportunitatea de a activa în diferite proiecte care au contribuit la dezvoltarea mea profesională, intelectuală, personală. Îi mulțumesc pentru deosebita implicare și răbdare, pentru încrederea în mine și încurajările de a mi depăși limitele și a explora noi orizonturi.*

*Doresc să adresez deosebite mulțumiri membrilor Comisiei de îndrumare și susținere a tezei de doctorat, Prof.univ.dr.habil.chim. **Laura Bulgariu** pentru valoroasele discuții, explicații, suportul și implicarea oferită în analiza probelor prin spectrometrie de absorbție atomică, Prof.univ.dr.habil.ing. **Irina Volf** pentru prețioasele sfaturi și încurajările calde, Conf.univ.dr.biol. **Mariana Diaconu** pentru îndrumarea și sugestiile oferite în acești ani dedicați programului de studii doctorale.*

*Mulțumesc membrilor Comisiei de evaluare și susținere pentru timpul și interesul acordat în a analiza conținutul tezei de doctorat: doamnei Prof.univ.dr.habil.ing. **Irina Volf** (Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași) în calitate de președinte al comisiei, distinșilor referenți oficiali: doamnei Prof.univ.dr.habil.chim. **Laura Bulgariu** (Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași), doamnei Conferențiar univ.dr.ing. **Raluca-Maria Hlihor** (Universitatea de Științele Vieții “Ion Ionescu de la Brad” din Iași) și domnului Prof.univ.dr.ing. **Vasile Stoleru** (Universitatea de Științele Vieții “Ion Ionescu de la Brad” din Iași) atât pentru interesul manifestat în analizarea tezei de doctorat, cât și pentru sprijinul acordat și oportunitatea oferită de a realiza experimentele în sera didactică a fermei V. Adamachi.*

*Mulțumiri alese doamnei director al Institutului de Chimie Macromoleculară "Petru Poni" din Iași, dr.ing. **Valeria Harabagiu**, alături de echipa domniei sale: domnul George Bogdan Rusu, doamna Carmen Racleş, doamna Maria Ignat și doamna Elena Marlica pentru colaborarea deosebită care a contribuit la finalizarea tezei mele de doctorat.*

*Adresez sincere mulțumiri tuturor cadrelor didactice și personalului din Departamentul de Ingineria și Managementul Mediului pentru pregătirea deosebită oferită pe parcursul studiilor universitare. De asemenea, mulțumesc colegilor din Laboratorul de Ingineria Proceselor Chimice și Biologice cu care am împărtășit aceeași pasiune pentru cunoaștere și dorință de a contribui la dezvoltarea domeniului Ingineria Mediului. Mulțumesc pentru suportul și colaborarea oferită doamnei dr.ing. **Diana-Elena Comăniță-Ungureanu** care a favorizat realizarea etapei de evaluare a performanțelor alternativelor de fitoextracție a metalelor grele din solurile poluate bazate pe analiza cost – beneficiu.*

*Mulțumesc tuturor oamenilor dragi care mi-au arătat, dincolo de muncă și colegialitate, prietenie, sprijin, motivație, valorizare, ajutor constant și alături de care acest drum a fost mai ușor de parcurs. Legăturile de prietenie create în această perioadă vor rămâne neprețuite și vor continua să îmi îmbogățească viața.*

*Cele mai calde mulțumiri și gânduri de recunoștință le adresez părinților mei, pentru dragostea necondiționată, sprijinul neprețuit și încrederea neclintită pe care mi le-au oferit. Sacrificiile voastre, răbdarea și înțelepciunea au fost fundamentale pentru a mă ajuta să ating această etapă semnificativă în călătoria mea academică. Credința lor în mine a fost o sursă constantă de forță, motivându-mă să depășesc limitele capacităților mele și să urmăresc mereu excelența. Această teza nu este doar rezultatul muncii mele, ci și al contribuției voastre esențiale în viața mea.*

*Îmi exprim recunoștința profundă celui mai mare sprijin în această călătorie, soțul meu. A fost stâncă mea de încredere și, fără îndoială, cel mai mare suport în acești ani. Îi mulțumesc din adâncul sufletului pentru iubirea, dedicarea, răbdarea și înțelegerea neprețuită de care a dat dovadă pe parcursul întregului proces. Fiecare moment de îndoială și provocare a fost mai ușor de depășit datorită prezenței sale constante, a încurajărilor și optimismului său neîncetat.*

*Cu toată aprecierea, mulțumesc prietenilor și tuturor celor care au oferit încredere, care mi-au fost suport moral și emoțional și care astăzi se bucură alături de mine de această reușită!*

*Și nu în ultimul rând, îi mulțumesc Bunului Dumnezeu că m-a ținut sănătoasă, mi-a dat putere și mi-a luminat mereu drumul pe care am ales să-l urmez!*

***Cu iubire, dedic această teză ca un omagiu familiei și amintirii fratelui meu!***

# CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	1
<b>PARTEA I. STADIUL CUNOAȘTERII</b> .....	11
<b>CAPITOLUL 1.</b>	
<b>STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND ELIMINAREA</b>	
<b>METALELOR GRELE PRIN PROCESE DE FITOREMEDIERE</b> .....	11
<b>1.1. Poluarea solului cu metale grele</b> .....	11
1.1.1. Prezența metalelor grele în sol – surse, efecte și necesitatea eliminării acestora .....	11
1.1.2. Poluarea solului cu ioni de cupru ( $\text{Cu}^{2+}$ ) - efecte asupra mediului și sănătății umane .....	19
1.1.3. Poluarea solului cu ioni de plumb ( $\text{Pb}^{2+}$ ) - efecte asupra mediului și sănătății umane .....	20
1.1.4. Poluarea solurilor agricole cu metale grele .....	23
1.1.5. Metode aplicate pentru eliminarea metalelor grele din sol .....	24
1.1.6. Fitoremedierea .....	30
1.1.6.1. Utilizarea agenților de chelare pentru fitoremediere .....	32
1.1.6.2. Utilizarea ingineriei moleculare în fitoremediere .....	34
<b>1.2. Investigarea relației dintre metalele grele și plantele agricole</b> .....	35
1.2.1. Absorbția și translocarea metalelor grele în plantele din sectorul agricol .....	35
1.2.2. Toleranța și acumularea metalelor .....	36
1.2.3. Impactul metalelor grele asupra fiziologiei plantelor .....	36
1.2.4. Efectele metalelor grele asupra randamentului și calității cerealelor ...	37
1.2.5. Interacțiunea și competiția dintre metalele poluante .....	37
<b>1.3. Utilizarea plantelor agricole în fitoremedierea solului poluat cu metale grele</b> .....	38
1.3.1. Mecanisme implicate în procesul de fitoremediere .....	38
1.3.2. Mecanisme de afectare a creșterii induse de metale grele în plantele agricole .....	39
1.3.2.1. Perturbarea activității enzimatică .....	41
1.3.2.2. Producția de specii reactive de oxigen (ROS) .....	41
1.3.2.3. Dezechilibre nutritive .....	42
1.3.2.4. Perturbarea integrității membranelor .....	43
1.3.3. Simptome și manifestări ale toxicității metalelor grele asupra plantelor agricole .....	44
1.3.4. Factori care influențează procesul de fitoremediere .....	47

1.3.5. Strategii de apărare a plantelor agricole împotriva toxicității metalelor grele: mecanisme de detoxifiere și strategii de adaptare .....	51
1.3.6. Specii de plante cu potențial de îndepărtare a metalelor grele din sol prin procesul de fitoremediere .....	55
1.3.6.1. Potențialul plantelor agricole de îndepărtare a poluanților din sol .....	56
1.3.6.2. Valorificarea produselor secundare rezultate din fitoremedierea cu plante agricole .....	59
1.3.7. Avantajele și dezavantajele procesului de fitoremediere .....	60
<b>1.4. Instrumente de evaluare a performanțelor de mediu și economice a tehnologiilor de fitoremediere .....</b>	<b>61</b>
1.4.1. Analiza ciclului de viață (LCA) .....	62
1.4.2. Analiza cost-beneficiu (ACB) .....	65
1.4.3. Analiza de decizie multicriterială (MCDA) .....	67
<b>CONCLUZII .....</b>	<b>70</b>
<b>PARTEA A II-A. CERCETĂRI ORIGINALE ȘI CONTRIBUȚII PROPRII .....</b>	<b>73</b>
<b>CAPITOLUL 2.</b>	
<b>STRATEGII ȘI METODOLOGII APLICATE ÎN CERCETĂRILE EXPERIMENTALE .....</b>	<b>73</b>
<b>2.1. Scopul și importanța cercetării .....</b>	<b>73</b>
<b>2.2. Speciile de plante utilizate în studiile experimentale .....</b>	<b>74</b>
2.2.1. Lucerna ( <i>Medicago sativa</i> L.) .....	74
2.2.2. Grâul ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	77
2.2.3. Porumbul ( <i>Zea mays</i> L.) .....	79
<b>2.3. Metodologia experimentală aplicată pentru determinarea fitotoxicității metalelor Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup> asupra plantulelor de <i>Medicago sativa</i> L., <i>Triticum aestivum</i> L. și <i>Zea mays</i> L. ....</b>	<b>81</b>
2.3.1. Cadrul de aplicare a studiilor de fitotoxicitate .....	81
2.3.2. Avantaje și dezavantaje ale testelor de toxicitate .....	83
2.3.3. Protocolul experimental pentru testarea fitotoxicității metalelor grele Pb <sup>2+</sup> și Cd <sup>2+</sup> la germinarea semințelor de <i>Medicago sativa</i> L., <i>Triticum aestivum</i> L. și <i>Zea mays</i> L. ....	84
2.3.4. Etapele protocolului experimental .....	85
2.3.5. Analiza statistică și de regresie a rezultatelor obținute .....	88
2.3.5.1. Utilizarea Rețelelor Neuronale Artificiale (ANN) .....	88
2.3.5.2. Analiza de regresie .....	90
<b>2.4. Metodologia experimentală pentru testarea toleranței plantelor <i>Medicago sativa</i> L., <i>Triticum aestivum</i> L. și <i>Zea mays</i> L. la toxicitatea ionilor metalici Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup> în sol poluat, la nivel de laborator .....</b>	<b>90</b>
2.4.1. Metodologia de pregătire și implementare a testelor de sol .....	90
2.4.2. Etapele protocolului experimental .....	91



<b>2.5. Metodologia experimentală de evaluare a dezvoltării și toleranței plantelor <i>Medicago sativa</i> L., <i>Triticum aestivum</i> L. și <i>Zea mays</i> L. în soluri poluate cu ioni <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math>, utilizând agenți chelatori și semințe tratate cu plasmă, în condiții de seră</b> .....	93
2.5.1. Protocolul experimental pentru determinarea toleranței plantelor <i>Medicago sativa</i> L., <i>Triticum aestivum</i> L. și <i>Zea mays</i> L. la toxicitatea ionilor metalici din sol și a capacității lor de creștere .....	88
2.5.2. Protocolul experimental pentru investigarea capacității plantei <i>Zea mays</i> L. de a se dezvolta și reține ioni metalici $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ prezenți simultan în sol poluat artificial .....	94
2.5.3. Protocolul experimental pentru determinarea toleranței și bioacumulării ionilor $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ de către planta <i>Zea mays</i> L. în sol poluat artificial, cu adăugare de agenți chelatori .....	96
2.5.4. Protocolul de testare a capacității de dezvoltare și retenție a ionilor $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ din sol în <i>Zea mays</i> L., utilizând semințe tratate cu plasma .....	97
<b>2.6. Protocol experimental pentru determinarea conținutului de pigmenți fotosintetici din plante</b> .....	99
<b>2.7. Protocol experimental pentru determinarea conținutului de metal din sol și plante</b> .....	100
2.7.1. Metoda calitativă .....	101
2.7.2. Metoda cantitativă .....	103
<b>2.8. Indicatori ai fitotoxicității ionilor metalici pentru plante și ai performanței fitoremedierii</b> .....	107
2.8.1. Indicatori ai fitotoxicității .....	107
2.8.1.1. Gradul de germinare .....	107
2.8.1.2. Creșterea relativă a lungimilor rădăcinilor și tulpinilor plantelor ( $Er\%$ ) .....	107
2.8.1.3. Indicele de inhibare a plantulelor sub influența metalelor grele ( $El\%$ ) .....	108
2.8.1.4. Creșterea relativă a biomasei ( $Br, \%$ ) .....	108
2.8.2. Indicatori de performanță a fitoremedierii .....	108
<b>2.9. Metodologia analizei cost-beneficiu (ACB)</b> .....	110
<b>CONCLUZII</b> .....	111
<b>CAPITOLUL 3</b>	
<b>CERCETĂRI PRIVIND EFECTUL IONILOR DE <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> ASUPRA GERMINĂRII ȘI DEZVOLTĂRII PLANTULELOR DE <i>Medicago sativa</i> L., <i>Triticum aestivum</i> L. ȘI <i>Zea mays</i> L.</b> .....	113
<b>3.1. Scopul și importanța cercetării</b> .....	113
<b>3.2. Efectele ionilor de <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> asupra germinării și dezvoltării plantulelor de <i>Medicago sativa</i> L.</b> .....	114

3.2.1. Influența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra germinării semințelor de <i>Medicago sativa</i> L. ....	114
3.2.2. Influența ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării semințelor de <i>Medicago sativa</i> L. ....	116
<b>3.3. Efectele ionilor de <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> asupra germinării și dezvoltării plantulelor de <i>Triticum aestivum</i> L. ....</b>	<b>119</b>
3.3.1. Influența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra germinării semințelor de <i>Triticum aestivum</i> L. ....	120
3.3.2. Influența ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării semințelor de <i>Triticum aestivum</i> L. ....	123
<b>3.4. Efectele ionilor de <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> asupra germinării și dezvoltării plantulelor de <i>Zea mays</i> L. ....</b>	<b>128</b>
3.4.1. Sterilizarea și germinarea semințelor pentru testele de fitotoxicitate ale semințelor de <i>Zea mays</i> L. ....	128
3.4.2. Influența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra germinării semințelor de <i>Zea mays</i> L. ....	129
3.4.3. Influența ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării semințelor de <i>Zea mays</i> L. ....	133
<b>3.5. Procesarea și modelarea datelor experimentale ....</b>	<b>137</b>
3.5.1. Analiza statistică a datelor experimentale ....	137
3.5.2. Modelarea datelor experimentale utilizând algoritmi bazați pe rețele neuronale artificiale ....	142
<b>CONCLUZII .....</b>	<b>145</b>
<b>CAPITOLUL 4.</b>	
<b>CERCETĂRI PRIVIND POTENȚIALUL PLANTEI <i>Medicago sativa</i> L. DE A TOLERA ȘI BIOACUMULA IONII DE <math>\text{Cu}^{2+}</math> ȘI <math>\text{Pb}^{2+}</math> DIN SOL .....</b>	<b>149</b>
<b>4.1. Scopul și importanța cercetării .....</b>	<b>149</b>
<b>4.2. Efectele ionilor de <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei <i>Medicago sativa</i> L. la nivel de laborator .....</b>	<b>150</b>
4.2.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra dezvoltării plantei <i>Medicago sativa</i> L. ....	150
4.2.2. Efectele ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ din solul poluat asupra dezvoltării plantei <i>Medicago sativa</i> L. ....	155
<b>4.3. Efectele ionilor de <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei <i>Medicago sativa</i> L. în condiții de seră .....</b>	<b>159</b>
4.3.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Medicago sativa</i> L. în condiții de seră .....	159
4.3.1.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra parametrilor morfologici ai plantei <i>Medicago sativa</i> L. ....	159
4.3.1.2. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra conținutului de pigmenți fotosintetici din planta <i>Medicago sativa</i> L. ....	163

4.3.1.3. Evaluarea capacității plantei <i>Medicago sativa</i> L. de fitoremediere a solului poluat cu $Cu^{2+}$ .....	164
4.3.2. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Medicago sativa</i> L. în sol poluat în condiții de seră .....	166
4.3.2.1. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra creșterii și dezvoltării <i>Medicago sativa</i> L. în sol poluat .....	166
4.3.2.2. Efectele ionilor metalici de $Pb^{2+}$ asupra conținutului de pigmenți fotosintetici în planta <i>Medicago sativa</i> L. ....	169
4.3.2.3. Evaluarea capacității de fitoremediere a <i>Medicago sativa</i> L. în sol poluat cu $Pb^{2+}$ .....	170
<b>CONCLUZII</b> .....	173
<b>CAPITOLUL 5.</b>	
<b>CERCETĂRI PRIVIND POTENȚIALUL PLANTEI <i>Triticum aestivum</i> L. DE A TOLERA ȘI BIOACUMULA IONII DE <math>Cu^{2+}</math> ȘI <math>Pb^{2+}</math> DIN SOL</b> .....	175
<b>5.1. Scopul și importanța cercetării</b> .....	175
<b>5.2. Efectele ionilor de <math>Cu^{2+}</math> și <math>Pb^{2+}</math> din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei <i>Triticum aestivum</i> L. la nivel de laborator</b> .....	175
5.2.1. Experimente preliminare privind toleranța și bioacumularea ionilor de $Cu^{2+}$ și $Pb^{2+}$ în planta <i>Triticum aestivum</i> L. ....	175
5.2.2. Efectele ionilor de $Cu^{2+}$ din solul poluat asupra dezvoltării plantei <i>Triticum aestivum</i> L. ....	176
5.2.3. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ din solul poluat asupra dezvoltării plantei <i>Triticum aestivum</i> L. ....	180
<b>5.3. Efectele ionilor de <math>Cu^{2+}</math> și <math>Pb^{2+}</math> din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei <i>Triticum aestivum</i> L. în condiții de seră</b> .....	183
5.3.1. Efectele ionilor de $Cu^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Triticum aestivum</i> L. în condiții de seră .....	183
5.3.1.1. Efectele ionilor de $Cu^{2+}$ din solul poluat asupra parametrilor morfologici ai plantei <i>Triticum aestivum</i> L. ....	183
5.3.1.2. Efectele ionilor de $Cu^{2+}$ din solul poluat asupra conținutului de pigmenți fotosintetici din planta <i>Triticum aestivum</i> L. ....	185
5.3.1.3. Evaluarea capacității plantei <i>Triticum aestivum</i> L. de fitoremediere a solului poluat cu $Cu^{2+}$ .....	187
5.3.2. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Triticum aestivum</i> L. în condiții de seră .....	189
5.3.2.1. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra creșterii și dezvoltării <i>Triticum aestivum</i> L. în sol poluat .....	189
5.3.2.2. Influența ionilor metalici de $Pb^{2+}$ asupra conținutului de pigmenți fotosintetici în planta <i>Triticum aestivum</i> L. ....	192
5.3.2.3. Evaluarea capacității de fitoremediere a <i>Triticum aestivum</i> L. în sol poluat cu $Pb^{2+}$ .....	192
<b>CONCLUZII</b> .....	195

<b>CAPITOLUL 6.</b>	
<b>CERCETĂRI PRIVIND POTENȚIALUL PLANTEI <i>Zea mays</i> L. DE A TOLERA ȘI BIOACUMULA IONII DE <math>\text{Cu}^{2+}</math> ȘI <math>\text{Pb}^{2+}</math> DIN SOL</b> .....	197
<b>6.1. Scopul și importanța cercetării</b> .....	197
<b>6.2. Efectele ionilor de <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei <i>Zea mays</i> L. la nivel de laborator</b> .....	198
6.2.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Zea mays</i> L. ....	198
6.2.2. Efectele ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Zea mays</i> L. ....	202
<b>6.3. Efectele ionilor de <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei <i>Zea mays</i> L. în condiții de seră</b> .....	208
6.3.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Zea mays</i> L. în condiții de seră .....	209
6.3.1.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra parametrilor morfologici ai plantei <i>Zea mays</i> L. ....	209
6.3.1.2. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra conținutului de pigmenți fotosintetici din planta <i>Zea mays</i> L. ....	212
6.3.1.3. Evaluarea capacității plantei <i>Zea mays</i> L. și a eficienței de fitoremediere a solului poluat cu $\text{Cu}^{2+}$ .....	213
6.3.2. Efectele ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra dezvoltării plantei <i>Zea mays</i> L. ....	216
6.3.2.1. Efectele ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra creșterii și dezvoltării <i>Zea mays</i> L. în sol poluat, în condiții de seră .....	216
6.3.2.2. Efectele ionilor metalici de $\text{Pb}^{2+}$ asupra conținutului de pigmenți fotosintetici în planta <i>Zea mays</i> L. ....	221
6.3.2.3. Evaluarea capacității de fitoremediere a <i>Zea mays</i> L. în sol poluat cu $\text{Pb}^{2+}$ .....	221
<b>CONCLUZII</b> .....	222
<b>CAPITOLUL 7.</b>	
<b>STUDII PRIVIND CAPACITATEA DE FITOREMEDIERE A <i>Zea mays</i> L. ÎN SOL POLUAT SIMULTAN CU IONI DE <math>\text{Cu}^{2+}</math> ȘI <math>\text{Pb}^{2+}</math> ȘI EFECTUL AGENȚILOR CHELATORI ȘI AL TRATAMENTULUI CU PLASMĂ ASUPRA DISPONIBILITĂȚII METALELOR</b> .....	225
<b>7.1. Scopul și importanța cercetării</b> .....	225
<b>7.2. Impactul agenților chelatori (EDTA și acid citric) asupra fitoremedierii solului poluat cu <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math></b> .....	226
7.2.1. Efectele cumulative ale ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ asupra creșterii și dezvoltării plantei <i>Zea mays</i> L. în condiții de seră .....	226
7.2.2. Efectele cumulative ale ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ , cu adăugarea EDTA, asupra dezvoltării și potențialului de bioacumulare al plantei <i>Zea mays</i> L. ...	232

7.2.3. Efectele cumulative ale ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ , cu adăugarea acidului citric, asupra creșterii și capacității de fitoremediere a plantei <i>Zea mays</i> L. ...	240
7.2.4. Efectele combinate al ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ și ale agenților chelatori EDTA și acid citric asupra dezvoltării și capacității de fitoremediere a <i>Zea mays</i> L. ....	247
<b>7.3. Impactul utilizării semințelor <i>Zea mays</i> L. tratate în plasmă asupra capacității de fitoremediere a solurilor poluate cu <math>\text{Cu}^{2+}</math> și <math>\text{Pb}^{2+}</math> .....</b>	<b>255</b>
7.3.1. Teste preliminare privind germinarea semințelor de <i>Zea mays</i> L. tratate în plasmă pentru optimizarea dezvoltării plantelor în prezența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ .....	255
7.3.2. Influența tratamentului în plasmă a semințelor <i>Zea mays</i> L. asupra toleranței și fitoremedierii solului poluat simultan cu ionii $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ .....	256
<b>CONCLUZII .....</b>	<b>264</b>
<b>CAPITOLUL 8.</b>	
<b>EVALUAREA PERFORMANTELOR DE MEDIU, ECONOMICE ȘI SOCIALE ALE ALTERNATIVELOR DE FITOREMEDIERE A METALELOR GRELE DIN SOLURI POLUATE BAZATE PE ANALIZA COST – BENEFICIU (ACB) ...</b>	<b>269</b>
<b>8.1. Scopul și importanța cercetării .....</b>	<b>269</b>
<b>8.2. Evaluarea scenariilor de fitoremediere și estimarea eficienței economice și ecologice prin analiza cost-beneficiu .....</b>	<b>269</b>
8.2.1. Elaborarea scenariilor/alternativelor de fitoremediere .....	269
8.2.2. Stabilirea modelelor și a frontierelor sistemului .....	271
8.2.3. Evaluarea și analiza costurilor .....	278
8.2.4. Evaluarea și analiza beneficiilor .....	298
8.2.5. Calculul și analiza rapoartelor cost-beneficiu și beneficiu-cost .....	321
8.2.6. Analiza comparativă a rapoartelor cost-beneficiu și beneficiu-cost pentru experimentele de fitoremediere a solurilor poluate cu ioni de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ .....	325
<b>8.3. Analiza de sensibilitate pentru procesul de fitoremediere a solurilor poluate cu metale grele .....</b>	<b>326</b>
8.3.1. Etapele analizei de sensibilitate ACB în cazul fitoremedierii .....	327
8.3.2. Interpretarea rezultatelor pentru VAN în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $\text{Cu}^{2+}$ din sol .....	333
8.3.3. Interpretarea rezultatelor pentru RIR (%) în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $\text{Cu}^{2+}$ din sol .....	335
8.3.4. Interpretarea rezultatelor pentru variația indicelui de sensibilitate pentru alternativele de fitoremediere a $\text{Cu}^{2+}$ din sol .....	337
8.3.5. Interpretarea rezultatelor pentru VAN în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $\text{Pb}^{2+}$ din sol .....	339
8.3.6. Interpretarea rezultatelor pentru RIR (%) în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $\text{Pb}^{2+}$ din sol .....	341

8.3.7. Interpretarea rezultatelor pentru variația indicelui de sensibilitate pentru alternativele de fitoremediere a $Pb^{2+}$ din sol .....	342
<b>CONCLUZII</b> .....	344
<b>CONCLUZII GENERALE</b> .....	349
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	371
<b>ANEXA 1. ACTIVITATEA ȘTIINȚIFICĂ</b> .....	I

*În rezumatul tezei de doctorat sunt incluse o parte din rezultatele cercetărilor experimentale realizate, concluziile generale și o bibliografie selectivă. Structura rezumatului respectă aceleași notații pentru capitole, paragrafe, tabele, figuri și ecuații folosite în textul tezei de doctorat.*

## INTRODUCERE

În contextul actual al schimbărilor globale și al intensificării activităților antropice, preocuparea pentru menținerea sănătății solului și a mediului înconjurător a devenit tot mai acută. Solul, un element fundamental al ecosistemelor terestre, joacă un rol esențial în susținerea vieții, fiind mediul în care se desfășoară procese complexe de interacțiune între componentele biotice și abiotice. Cu toate acestea, activitățile industriale, agricole și urbane au generat o acumulare semnificativă de poluanți, în special metale grele, care compromit funcționarea optimă a solului și, implicit, capacitatea sa de a susține viața vegetală și animală.

Dintre metalele grele, **plumbul** și **cuprul** reprezintă poluanții din categoria metalelor grele ce trebuie eliminați cu precădere din sol, ca o consecință a efectelor negative pe care cele două metale le induce asupra sănătății umane și, în plus generată de constatarea că se acumulează în celulele vegetale, animale și inclusiv în lanțul alimentară, fapt de natură să conducă la efecte negative grave.

În acest context, s-au elaborat multe studii la nivel internațional privind modul de poluare și gestionare a poluării solului cu ioni de plumb și cupru, însă, sunt necesare instrumente, metode și cercetare colaborativă pentru a reuni și a crea legături eficiente în ceea ce privește prevenirea, remedierea și eliminarea aspectelor negative ale celor două metale din solurile poluate.

**Fitoremedierea** este una dintre cele mai promițătoare și utilizate metode de bioremediere, bazându-se pe capacitatea naturală a plantelor de a elimina sau stabiliza ionii de metale grele din sol printr-o serie de mecanisme specifice. Aceste mecanisme includ fitoextracția, fitostabilizarea, fitovolatilizarea și fitofiltrarea, fiecare având rolul său în procesul de curățare a solurilor poluate. *Fitoextracția* implică absorbția metalelor grele de către rădăcinile plantelor, urmată de translocarea și acumularea acestora în părțile aeriene ale plantei, cum ar fi frunzele și tulpinile. Metalele acumulate în biomasa vegetală pot fi ulterior recoltate și gestionate în mod corespunzător, prevenind astfel răspândirea poluanților. *Fitostabilizarea* este mecanismul prin care plantele reduc mobilitatea și biodisponibilitatea metalelor grele din sol, fixându-le în rădăcini sau în rizosferă (zona din jurul rădăcinilor). Aceasta împiedică metalele să se deplaseze către alte părți ale ecosistemului, reducând riscul poluării apei subterane sau al transferului în lanțul alimentară. *Fitovolatilizarea* este mecanismul prin care plantele absorb metale sau alți poluanți din sol și le transformă în forme volatile care sunt ulterior eliberate în atmosferă. Deși mai puțin utilizată, fitovolatilizarea poate fi eficientă pentru anumite elemente chimice, cum ar fi mercurul. *Fitofiltrarea* se referă la utilizarea plantelor pentru a filtra și reține metalele grele și alte poluanți din apele reziduale sau din apa din solurile saturate. Plantele acționează ca un filtru natural, captând și acumulând poluanții în structura lor.

Datele din literatură au evidențiat o lipsă semnificativă de informații complete privind utilizarea plantelor agricole precum **lucerna** (*Medicago sativa* L.), **grâul** (*Triticum aestivum* L.) și **porumbul** (*Zea mays* L.) în fitoremedierea solurilor poluate cu metale grele, în special **plumb** (Pb) și **cupru** (Cu). Aceste specii vegetale sunt deosebit de importante nu doar datorită rolului lor potențial în bioremediere, dar și datorită relevanței lor economice și alimentare, fiind culturi esențiale pentru producția agricolă globală.

Speciile de plante studiate prezintă o serie de caracteristici care le fac candidați ideali pentru fitoremediere. Printre aceste caracteristici se numără creșterea rapidă, care permite o acumulare

rapidă de biomasă și, implicit, o mai mare absorbție de metale grele din sol într-un interval scurt de timp. Sistemul radicular bine dezvoltat, pivotant și ramificat, contribuie la explorarea eficientă a solului, facilitând absorbția ionilor metalici chiar și din straturile mai adânci ale solului. Pe lângă potențialul lor de fitoremediere, aceste plante agricole ridică și preocupări legate de siguranța alimentară. Este esențial să se determine în ce măsură metalele grele sunt translocate în părțile comestibile ale plantei și să se stabilească protocoale de gestionare a culturilor fitoremediatoare pentru a preveni contaminarea alimentelor.

În acest context, teza de doctorat intitulată „**Impactul fitotoxic al metalelor grele asupra unor plante agricole și potențialul acestora în fitoremedierea solurilor poluate**” are ca obiectiv principal investigarea capacității plantelor agricole, precum **lucerna** (*Medicago sativa* L.), **grâul** (*Triticum aestivum* L.) și **porumbul** (*Zea mays* L.), de a bioacumula și stabiliza ionii metalici din solurile poluate, contribuind la remedierea ecologică a acestora. Cercetarea se axează pe înțelegerea mecanismelor prin care aceste plante pot tolera și bioacumula metale grele, cum ar fi **plumbul** ( $Pb^{2+}$ ) și **cuprul** ( $Cu^{2+}$ ), fie individual, fie în combinație cu agenți de chelare (acid etilendiaminotetraacetic-EDTA și acid citric CA) sau folosind semințe tratate în plasmă. De asemenea **obiectivul cercetării** este de a demonstra că grâul, porumbul și lucerna pot fi utilizate în mod sigur și eficient pentru fitostabilizarea solurilor poluate, reducând riscurile de contaminare a lanțului alimentar, prin monitorizarea strictă și gestionarea adecvată a biomasei. Aceasta asigură protecția sănătății publice și contribuie la remedierea ecologică a solurilor afectate de poluare cu metale grele.

**Pentru îndeplinirea obiectivului principal al tezei de doctorat au fost formulate și realizate următoarele obiective specifice:**

- Realizarea unei analize riguroase a stadiului actual al cercetărilor privind bioremedierea solurilor poluate cu ionii metalici  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$ ;
- Selectarea și caracterizarea speciilor vegetale cu potențial de reținere a ionilor metalici din sol, prin procese de fitoremediere;
- Elaborarea și stabilirea protocoalelor experimentale necesare pentru analizarea și prelucrarea datelor obținute;
- Determinarea efectelor fitotoxice ale ionilor metalici  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$  asupra germinării și dezvoltării plantulelor în mediu lichid, prin efectuarea de teste de fitotoxicitate la nivel de laborator;
- Analiza statistică a rezultatelor testelor de fitotoxicitate și dezvoltarea unor modele empirice pentru interpretarea datelor;
- Investigarea efectelor toxice ale metalelor grele asupra creșterii și dezvoltării plantelor *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. în soluri poluate cu diverse concentrații de  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$  și a gradului de bioacumulare al acestor metale în plantele selectate;
- Evaluarea potențialului de intensificare a procesului de fitoremediere prin adăugarea de agenți de chelare sau utilizarea semințelor tratate cu plasmă;
- Realizarea unei analize cost-beneficiu pentru a evalua eficiența economică a strategiilor de fitoremediere propuse, în vederea implementării lor la scară largă;
- Prezentarea rezultatelor obținute, formularea concluziilor și oferirea de recomandări pentru implementarea eficientă și pe scară largă a fitoremedierii solurilor poluate cu ionii metalici studiați.

Prin acumularea metalelor în rădăcini și monitorizarea atentă a conținutului de metale în părțile aeriene ale plantelor, se poate asigura faptul că biomasa produsă este sigură pentru consum sau este



utilizată în moduri care nu prezintă riscuri pentru sănătate. Această abordare contribuie la îmbunătățirea calității solului și la protecția mediului, în timp ce menține siguranța lanțului alimentar.

Teza de doctorat este structurată în două părți principale și cuprinde opt capitole, care includ figuri, tabele, precum și bibliografia, concluziile generale și anexele aferente.

Prima parte a tezei de doctorat (Capitolul 1) prezintă stadiul actual al cercetărilor privind fitoremedierea solurilor poluate cu ionii metalici  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$  prin utilizarea plantelor.

Partea a doua a lucrării conține rezultate originale obținute în urma programului experimental urmărit în acord cu obiectivul principal și obiectivele specifice propuse, cuprinzând 7 capitole. Această parte expune rezultatele și contribuțiile proprii privind fitoremedierea solurilor poluate cu ionii metalici  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$  prin evaluarea capacității de tolerare și bioacumulare a ionilor metalici din sol de către plantele *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. De asemenea, se prezintă potențialul plantei *Zea mays* L. de a tolera și bioacumula complexul de  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$  prin adăugarea agenților de chelare și a utilizării semințelor de *Zea mays* L. tratate în plasmă, cu scopul creșterii eficienței de fitoremediere.

**Rezultatele originale obținute și prezentate în această teză de doctorat contribuie semnificativ la avansarea cunoștințelor în domeniul interacțiunilor dintre plantele agricole și metalele grele din soluri poluate. Prin investigarea comportamentelor de toleranță, creștere și dezvoltare ale plantelor *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. în prezența ionilor metalici de  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$ , cercetările au oferit informații valoroase despre mecanismele prin care aceste specii răspund la poluarea cu metale grele. Aceste studii nu numai că aduc dovezi noi despre modul în care aceste plante interacționează cu ionii metalici, dar și despre modul în care aceste interacțiuni pot influența productivitatea agricolă și calitatea solului. De asemenea, cercetările prezentate oferă o perspectivă clară asupra potențialului acestor plante de a fi utilizate în strategii de gestionare a solurilor poluate, prin stabilizarea și reducerea biodisponibilității metalelor grele. Acest lucru asigură o bază științifică esențială pentru dezvoltarea unor practici agricole durabile și pentru selecția speciilor vegetale optime în contextul solurilor poluate, contribuind astfel la protejarea ecosistemelor și la menținerea siguranței alimentare.**

Activitatea de cercetare în vederea realizării tezei de doctorat a început la data de 1 octombrie 2019 în cadrul *Universității Tehnice "Gheorghe Asachi" din Iași*, în Laboratorul *Ingineria Proceselor Chimice și Biologice* din Departamentul Ingineria și Managementul Mediului al Facultății de Inginerie Chimică și Protecția Mediului "Cristofor Simionescu". O parte a experimentelor au fost realizate la *Universitatea pentru Științele Vieții "Ion Ionescu de la Brad"* din Iași, în sera didactică a fermei Adamachi și la *Institutul de Chimie Macromoleculară "Petru Poni"* din Iași.

**Teza de doctorat a fost elaborată sub conducerea științifică a doamnei Prof. univ. emerit dr. ing. Maria Gavrilăscu de la Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, Facultatea de Inginerie Chimică și Protecția Mediului "Cristofor Simionescu", Departamentul Ingineria și Managementul Mediului.**

Figura I prezintă schematic planul experimental care a stat la baza elaborării prezentei teze de doctorat, în vederea îndeplinirii obiectivului principal și a obiectivelor specifice.

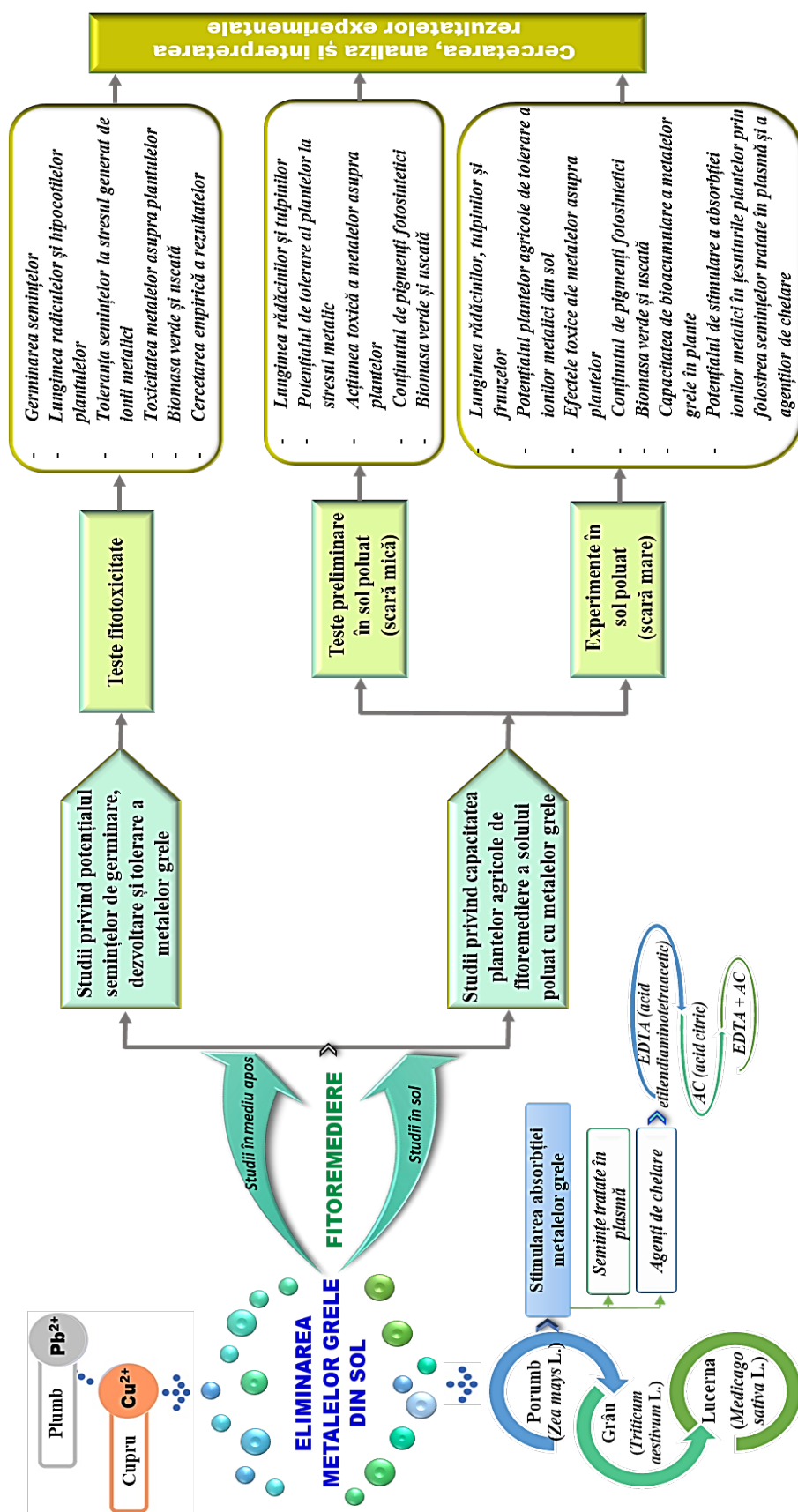


Fig. I. Metodologia experimentală aplicată pentru atingerea obiectivelor tezei de doctorat

## **CAPITOLUL 1.**

### **STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND ELIMINAREA METALELOR GRELE PRIN PROCESE DE FITOREMEDIERE**

#### **1.1. Poluarea solului cu metale grele**

##### *1.1.2. Poluarea solului cu ioni de cupru ( $Cu^{2+}$ ) - efecte asupra mediului și sănătății umane*

Cuprul este un element esențial pentru oameni și plante atunci când este prezent în cantități mici, însă în cantități excesive poate avea efecte dăunătoare. La nivel global, valorile normale ale concentrației cuprului în solurile nepoluate variază între 2 și 109 mg/kg. Totuși, activitățile antropice, cum ar fi mineritul, rafinarea petrolului, incinerarea deșeurilor, arderea combustibililor fosili, traficul rutier și utilizarea largă a produselor agrochimice (cum ar fi fungicidele, îngrășămintele, pesticidele și erbicidele), precum și amendamentele solului, au dus la creșterea nivelului de cupru în mediu (Brunetto și colab., 2019) (fig. 1.3). Cuprul nu este foarte mobil în sol și tinde să se acumuleze la suprafața solului din cauza adsorbției sale specifice pe fracțiile minerale și organice. Concentrațiile medii ale cuprului în stratul de suprafață al solului sunt de aproximativ 55 mg/kg. Concentrația medie de cupru în sol variază între 5 și 70 mg/kg și este mai mare în solurile situate în apropierea topitoriilor și zonelor miniere (ATSDR, 2022).

##### *1.1.3. Poluarea solului cu ioni de plumb ( $Pb^{2+}$ )- efecte asupra mediului și sănătății umane*

Plumbul este unul dintre cele mai abundente elemente toxice în sol. El exercită efecte adverse asupra morfologiei, creșterii și proceselor fotosintetice ale plantelor (Hlihor, 2011). Alături de Co, Cr, Ni, Cd, Pb este considerat un **“pericol pentru sănătatea mediului”**, și a fost inclus în lista prioritară a substanțelor periculoase, în primele zece poziții, de către Agenția pentru Registrul Substanțelor și Medicamentelor Toxice (Jan și colab., 2015; Tchounwou și colab., 2012). Studiile dovedesc că toxicitatea plumbului afectează sistemul neurologic, gastrointestinal, hematologic, renal și cardiovascular. Copiii sunt adesea cei mai vulnerabili la efectele neurotoxice ale ionilor de plumb, provocând probleme grave asupra sistemului nervos chiar și în doze mici. Expunerea la plumb determină 0,6 % din totalul îmbolnăvirilor globale, fiind afectată în special populația din țările în curs de dezvoltare (Jardan, 2016).

##### *1.1.6. Fitoremedierea*

Plantele au o capacitate remarcabilă de a absorbi poluanții din mediu prin rădăcini, tulpini și frunze, bioacumulând contaminanții. Procesul implică absorbția poluanților prin rădăcini și translocarea acestora către tulpini și frunze, unde sunt fie stocați, fie transformați în substanțe mai puțin toxice. Diferite tehnici de fitoremediere, cum ar fi fitoextracția, fitodegradarea, fitostabilizarea și fitovolatilizarea, permit adaptarea metodei în funcție de tipul și concentrația poluanților prezenți (fig. 1.6) (Ali și colab., 2013; Ma și colab., 2011; Manara, 2012; Pavel și colab., 2013). În prezent, sunt patru principalele strategii de fitoremediere pentru extragerea metalelor din sol: **(i) utilizarea hiperacumulatorilor naturali**, **(ii) absorbția crescută a metalelor de către plantele cu biomasă ridicată prin adăugarea de substanțe chimice (de exemplu, agenți de chelare) solului**, **(iii)**

fitovolatilizarea (Se, As, Hg) și (iv) îmbunătățirea capacității de fitoextracție a plantelor prin **inginerie moleculară** (Shinta și colab., 2021).

#### *1.1.6.1. Utilizarea agenților de chelare*

Disponibilitatea ionilor metalici în sol poate fi îmbunătățită prin adăugarea de **agenți de chelare** sau de agenți produși și exudați în rădăcinile plantelor și microorganismelor din rizosferă (fig. 1.7). Fertilizarea este considerată cea mai eficientă metodă de creștere a producției biomasei, lucru esențial pentru fitoextracția metalelor din sol, astfel că, în scopul promovării creșterii și dezvoltării plantelor este necesar adaosul de fertilizatori cu azot sau fosfor. Forma chimică a îngrășămintelor influențează pH-ul solului, care la rândul său influențează biodisponibilitatea ionilor metalici. S-a demonstrat că adăugarea de chelați precum EDTA și acid citric (CA) a îmbunătățit capacitatea plantelor de a absorbi și tolera concentrații mari de metale (Nawaz și colab., 2022).

#### *1.1.6.2. Utilizarea ingineriei moleculare*

**Mecanismul molecular al plasmei** ca tratament îmbunătățește germinarea semințelor, creșterea plantelor și rezistența la stresul abiotic și biotic, permite îndepărtarea pesticidelor, mărește biomasa și randamentul. Tratamentul direct al semințelor cu plasmă modifică forma învelișului semințelor rezultând inducerea germinării semințelor, reduce timpul de germinare, rezistența îmbunătățită la boli, dar și creșterea și dezvoltarea rapidă (Rasooli și colab., 2021; Nalwa și colab., 2017). Înțelegerea mecanismelor de absorbție și translocare a metalelor în plantele agricole este vitală pentru dezvoltarea strategiilor de minimizare a acumulării de metale grele în porțiunile comestibile ale culturilor și de atenuare a riscurilor pentru sănătate asociate cu consumul de alimente (Rai și colab., 2019; Pasricha și colab., 2021).

### **1.3. Utilizarea plantelor agricole în fitoremedierea solului poluat cu metale grele**

#### *1.3.1. Mecanisme implicate în procesul de fitoremediere*

Mecanismele de fitoremediere includ: fitoextracția (fitoacumularea/fitoabsorbție), fitostabilizarea (fitoimobilizarea), fitofiltrarea, fitodegradarea și fitovolatizarea (tabelul 1.9) (Ali și colab., 2013). Cercetările asupra modului în care poluanții se comportă în mediu au oferit informații valoroase despre cum afectează toxicitatea acestora creșterea și dezvoltarea plantelor. Ingineria genetică a permis dezvoltarea unor plante cu o toleranță mai mare la poluanți (Yadav și colab., 2018).

#### *1.3.6. Specii de plante cu potențial de îndepărtare a metalelor grele din sol prin procesul de fitoremediere*

Procesul de fitoremediere utilizează plantele în scopul remedierii siturilor poluate cu diverși poluanți. După Pantola și Alam (2014), plantele utilizate în procesul de fitoremediere ar trebui să îndeplinească unele condiții, precum:

- concentrația poluanților acumulați în plante să fie de 50 până la 100 de ori mai mare decât la speciile de plante normale;
- concentrațiile de poluanți din frunze și tulpini să fie mai mari decât din rădăcini;
- coeficientul de bioacumulare să aibă valoarea mai mare de 1;
- ușor de crescut, creștere rapidă și biomasă mare.

## **CAPITOLUL 2.**

### **STRATEGII ȘI METODOLOGII APLICATE ÎN CERCETĂRILE EXPERIMENTALE**

#### **2.1. Scopul și importanța capitolului**

Importanța acestui capitol constă în descrierea detaliată a procedurilor necesare pentru atingerea obiectivelor principale și specifice ale cercetării. Prin furnizarea unui cadru metodologic riguros și bine structurat, acest capitol contribuie la validitatea și reproducibilitatea rezultatelor obținute, asigurând în același timp transparența și replicabilitatea experimentelor.

Capitolul 2 include următoarele secțiuni:

- *Materiale și echipamente:*
  - materialele necesare pentru realizarea testelor de fitotoxicitate și pentru experimentele preliminare în sol
  - procedurile pentru montarea experimentelor la nivel de seră
  - determinarea pigmentilor fotosintetici, sideroforilor și digestia umedă a biomasei și solului
  - speciile de plante utilizate în experimente
  - metalele grele considerate în studiu
- *Prepararea și analiza probelor:*
  - metodologia de preparare și analiza probelor de  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$  necesare pentru testele de fitotoxicitate și experimentele în sol
  - proceduri de analiză a probelor de  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$
- *Metodologia pentru determinarea fitotoxicității:*
  - protocolul experimental pentru evaluarea fitotoxicității ionilor metalici selectați asupra germinării semințelor și dezvoltării plantulelor în mediul lichid
- *Analiza statistică a datelor:*
  - metodologia de analiză statistică a datelor experimentale pentru a asigura validitatea și reproductibilitatea rezultatelor
- *Testele preliminare în sol:*
  - protocolul experimental pentru realizarea testelor preliminare în sol, vizând capacitatea plantelor *Zea mays* L., *Triticum aestivum* L. și *Medicago sativa* L., de a se dezvolta pe soluri poluate cu ioni metalici de  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$ .
- *Testele în condiții de seră:*
  - metodologia experimentală pentru realizarea testelor în condiții de seră pe soluri poluate cu ioni metalici de  $Pb^{2+}$  și  $Cu^{2+}$ , atât separat cât și în combinație.
  - utilizarea agenților chelatori și a semințelor tratate în plasmă pentru a determina capacitatea plantelor selectate de a crește și tolera toxicitatea metalelor.
- *Determinarea pigmentilor fotosintetici:*
  - protocolul experimental pentru determinarea conținutului de pigmenți fotosintetici
- *Determinarea concentrației de ioni metalici:*

- metodologia aplicată pentru determinarea concentrației de ioni metalici din componentele plantelor și din sol

- *Evaluarea toleranței și performanțelor de fitoremediere ale plantelor utilizate în experimente:*
  - indicatorii privind potențialul de toleranță al plantelor la toxicitatea metalelor și performanțele lor de fitoremediere.
- *Evaluarea performanțelor economice și de mediu:*
  - metodologia de evaluare a performanțelor economice și de mediu ale tehnologiilor de bioremediere aplicate, prin analiza cost-beneficiu.

## **2.2. Speciile de plante utilizate în studiile experimentale**

### *2.2.1. Lucerna (Medicago sativa L.)*

**Medicago sativa L.** denumită popular lucernă, face parte din familia *Fabaceae* și este o plantă perenă cu flori, încadrându-se în categoria leguminoaselor (fig. 2.1). Este cultivată ca plantă de cultură furajeră importantă în multe țări din întreaga lume. Lucerna este, de asemenea, o plantă cu o producție ridicată de biomasă, ceea ce o face ideală pentru fitoremedierea (absorbția) metalelor toxice din sol. Această plantă prezintă o rădăcină pivotantă și profundă, care poate ajunge la adâncimi de 8-10 metri, permițând accesul la straturi de sol mai adânci și contribuind la stabilitatea și sănătatea solului (Peralta-Videa și colab., 2002).

### *2.2.2. Grâul (Triticum aestivum L.)*

**Triticum aestivum L.**, grâul este o plantă de bază în lanțul alimentar. Grâul este un termen generic care desemnează mai multe specii aparținând genului *Triticum*. Acestea sunt plante anuale din familia gramineelor (*Poaceae*) (fig. 2.2). Cultivarea grâului este deosebit de importantă datorită randamentului său ridicat și versatilității utilizării sale. Grâul nu doar că furnizează produse alimentare esențiale, dar contribuie și la alte industrii prin utilizarea produselor secundare. Rolul său în economia agricolă globală este crucial, datorită adaptabilității sale la diverse condiții climatice și de sol.

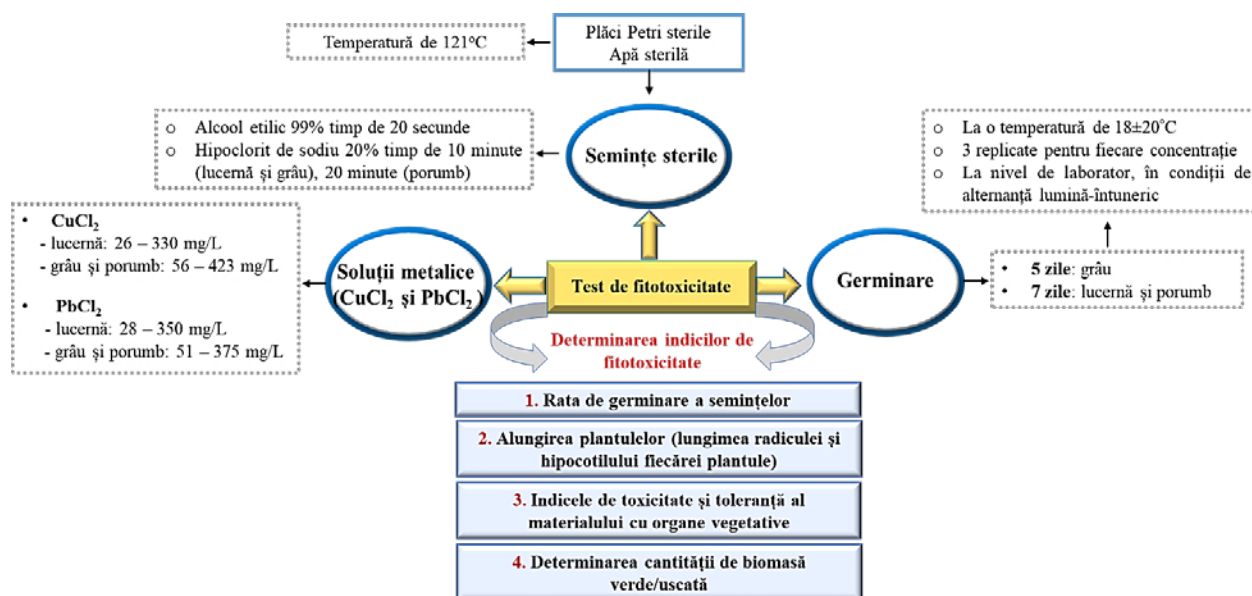
### *2.2.3. Zea mays L. (porumb)*

Porumbul (*Zea mays L.*) aparține familiei *Poaceae*, cultivată azi în multe regiuni ale lumii ca plantă alimentară, industrială și furajeră. Această plantă agricolă (fig. 2.3) este considerată ca fiind cea mai productivă din categoria cerealelor, datorită "plasticității ecologice" ridicate, permițându-i să fie cultivat în diverse condiții climatice. De asemenea, porumbul nu are cerințe speciale în ceea ce privește solul și poate fi cultivat pe o varietate largă de soluri, atât din punct de vedere textural, cât și al pH-ului. Dintre toate plantele, porumbul valorifică cel mai bine solurile sărace (Tandzi și colab., 2018; Vătămanu, 2014).

## **2.3. Metodologia experimentală aplicată pentru determinarea fitotoxicității metalelor Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup> asupra plantulelor de *Medicago sativa L.*, *Triticum aestivum L.* și *Zea mays L.* în mediu lichid**

### *2.3.1. Cadrul de aplicare a studiilor de fitotoxicitate*

Evaluarea toxicității, realizată prin teste toxicologice pe organisme model, oferă informații despre efectele potențiale ale poluanților asupra sănătății organismelor și poate indica riscurile ecologice. Punctele forte ale testelor de toxicitate sunt definite împreună cu măsurătorile de natură chimică și biologică. Cele trei abordări fundamentale în evaluările de mediu - evaluarea ecologică, analizele chimice și testele de toxicitate - formează o triadă naturală în care fiecare componentă amplifică eficacitatea celorlalte (Diaz-Baez și Dutka, 2005).



**Fig. 2.5.** Metodologia experimentală aplicată pentru determinarea fitotoxicității metalelor  $\text{Cu}^{2+}$  și  $\text{Pb}^{2+}$  asupra plantulelor, în mediu lichid

## 2.5. Metodologia experimentală de evaluare a dezvoltării și toleranței plantelor *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. în soluri poluate cu ioni $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ , utilizând agenți chelatori și semințe tratate cu plasmă, în condiții de seră

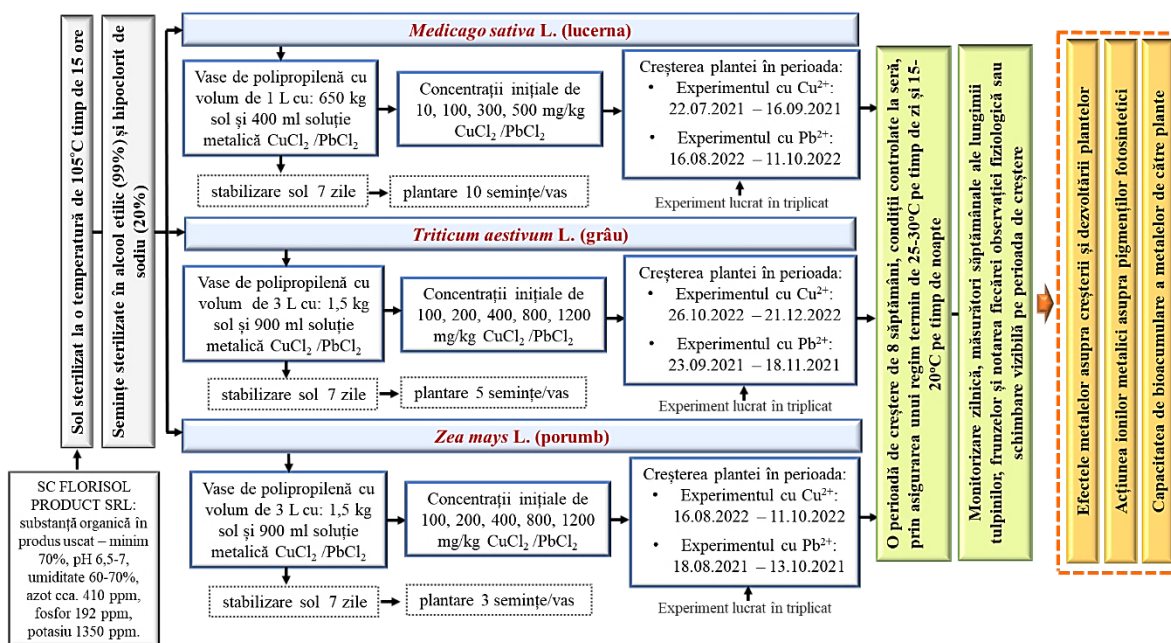
### 2.5.1. Protocolul experimental pentru determinarea toleranței plantelor *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. la toxicitatea ionilor metalici din sol și a capacității lor de creștere

Pentru a asigura consistența rezultatelor experimentale, au fost selecționate semințele de cea mai înaltă calitate. Semințele care prezentau decolorare, deformări sau deteriorări au fost eliminate, fiind păstrate doar semințele mature și uniform dezvoltate. Figura 2.9 descrie schematic protocolul experimental aplicat în scopul determinării capacității plantelor agricole selectate de a crește și toleranța acestora la toxicitatea ionilor metalici din sol.

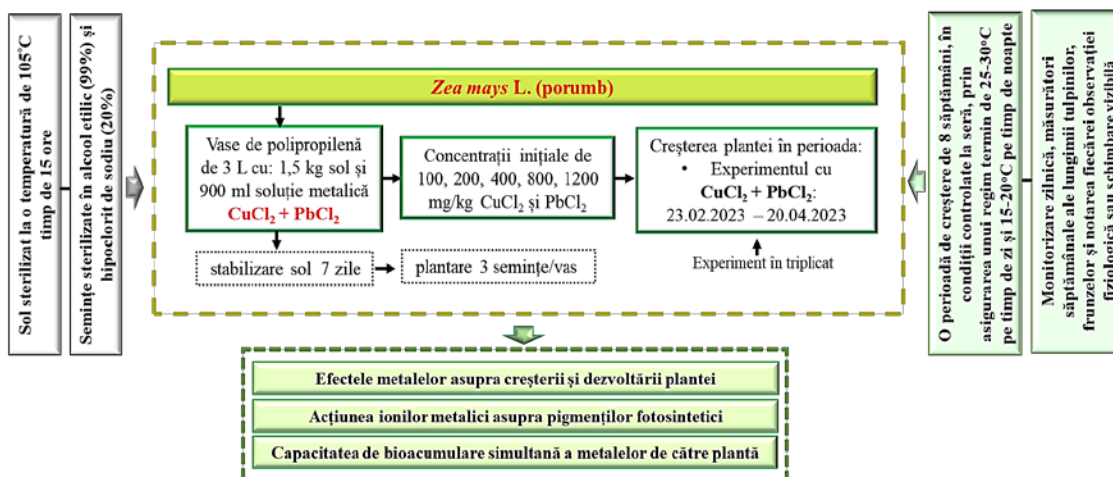
### 2.5.2. Protocolul experimental pentru investigarea capacității plantei *Zea mays* L. de a se dezvolta și reține ioni metalici $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ prezenți simultan în sol poluat artificial

Pentru realizarea experimentelor în care planta *Zea mays* L. a fost crescută pe un sol poluat simultan cu ioni de  $\text{Pb}^{2+}$  și  $\text{Cu}^{2+}$ , s-a folosit același protocol aplicat în experimentele anterioare cu *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. crescute pe sol poluat individual cu cele două metale (subcapitolul 2.5.1.). Diferența în acest caz constă în faptul că solul a fost poluat simultan

cu două soluții metalice diferite. În **fig. 2.10** sunt descrise schematic etapele experimentale aplicate în scopul determinării capacității plantei *Zea mays* L. de a se dezvolta sub stresul generat de ionii metalici din sol.



**Fig. 2.9.** Metodologia experimentală aplicată în scopul determinării capacității *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. de creștere și toleranță a toxicității metalelor din sol



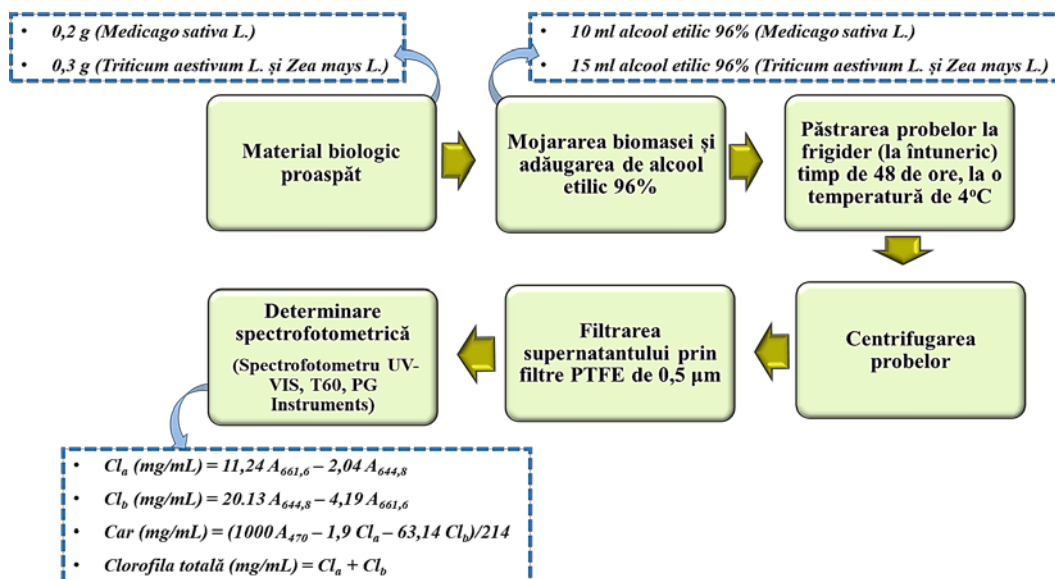
**Fig. 2.10.** Metodologia experimentală aplicată în vederea investigării capacității plantei *Zea mays* L. de a crește și a reține ioni metalici dintr-un sol poluat artificial cu  $\text{Cu}^{2+}$  și  $\text{Pb}^{2+}$  simultan

## 2.6. Protocol experimental pentru determinarea conținutului de pigmenți fotosintetici din plante

Clorofila este pigmentul principal implicat în fotosinteză, captând energia luminoasă pentru conversia dioxidului de carbon și a apei în glucoză și oxigen. Carotenoizii servesc drept pigmenți



accesorii în fotosinteză, ajutând la captarea energiei luminoase suplimentare și protejând clorofila de lumina excesivă. Determinarea pigmentilor asimilatori s-a efectuat prin metoda spectrofotometrică conform protocolului elaborat de Lichtenthaler și Buchmann (2001) (fig. 2.14).



**Fig. 2.14.** Metodologia experimentală în vederea determinării conținutului de pigmenți fotosintetici

## 2.7. Protocol experimental pentru determinarea conținutului de metal din sol și plantă

### 2.7.1. Metoda calitativă

Fluorescența cu raze X (XRF) este o metodă analitică nedistructivă, ideală pentru analiza calitativă foarte rapidă a compoziției elementare a diferitelor probe. Principiul XRF are la bază detectarea radiațiilor X fluorescente (sau secundare) emise de o mostră când aceasta este excitată de o sursă primară de radiații X. Radiațiile X primare dislocă un electron de pe unul dintre orbitalii care înconjoară nucleul unui atom din probă, creând o lipsă în orbital. Pentru a restabili echilibrul, un electron cu o energie mai mare din orbitalul superior cade în lipsa produsă din orbitalul inferior. Deoarece acest electron ocupă o poziție cu o energie mai mică, excesul de energie este emis sub formă de radiații X fluorescente. Fiecare dintre elementele prezente într-o probă produce un set de raze X fluorescente caracteristice („o amprentă”) care este unic pentru acel element specific.

### 2.7.2. Metoda cantitativă

Metoda are la bază fenomenul absorbției unei radiații electromagnetice de lungime de undă caracteristică de către atomii liberi din proba de analizat, sub formă de soluție ce vor fi pulverizate în flacără sub formă de aerosoli, unde au loc o serie de procese elementare precum: evaporarea solventului, vaporizarea sării, disocierea moleculelor în atomi, în urma cărora se obțin atomi ai probei de analizat în stare liberă, capabili să absoarbă radiația emisă de sursa exterioară (Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy, 1996).

## 2.8. Indicatori ai fitotoxicității ionilor metalici pentru plante și ai performanței fitoremedierii

### 2.8.1. Indicatori ai fitotoxicității

#### 2.8.1.1. Gradul de germinare

Criteriul de germinare este reprezentat de deschiderea semințelor, precum și apariția unei rădăcinile de minim 2 mm (Luo și colab., 2018; Visioli și colab., 2014) (ecuația 2.8):

$$G (\%) = \frac{S_{germ}}{M_{germ}} \times 100 \quad (2.8)$$

#### 2.8.1.2. Creșterea relativă a lungimilor rădăcinilor și tulpinilor plantelor ( $Er\%$ )

Pentru a evalua efectele fitotoxice s-au măsurat lungimea rădăcinilor și a tulpinilor supuse poluării cu diferite praguri ale concentrației metalelor și s-a calculat media lungimii pentru fiecare componentă a plantei în parte (Gaur și colab., 2017; Sainger și colab., 2014):

$$Er (\%) = \frac{L_{probă}}{L_{martor}} \times 100 \quad (2.9)$$

#### 2.8.1.3. Indicele de inhibare a plantulelor sub influența metalelor grele ( $El\%$ )

Acest indice este utilizat pentru determinarea toxicității ionilor metalici grele asupra componentelor plantelor (ecuația 2.10):

$$El (\%) = \frac{\text{Lungime rădăcină/tulpină martor (cm)} - \text{Lungime rădăcină/tulpină probă (cm)}}{\text{Lungime rădăcină/tulpină probă (cm)}} \times 100 \quad (2.10)$$

#### 2.8.1.4. Creșterea relativă a biomasei ( $Br$ ; %)

Acesta reprezintă indicatorul de creștere relativă a biomasei ( $Br$  %) ca procent din proba martor reprezintă cantitatea de biomasă obținută (verde sau uscată) raportată la proba martor (ecuația 2.11):

$$Br (\%) = \frac{\text{Biomasă probă test}}{\text{Biomasă probă martor}} \times 100 \quad (2.11)$$

### 2.8.2. Indicatori de performanță a fitoremedierii

Indicatorii de performanță a fitoremedierii se utilizează pentru a evalua capacitatea plantelor de a extrage și a acumula poluanții din sol. Factorul de bioconcentrare (BCF), factorul de bioacumulare (BAC) și factorul de translocare (TF) au fost indicatorii calculați în teză pentru a evalua performanța fitoremedierii (Roșca, 2021; Nirola și colab., 2015; Zand și Mühlhing, 2022).

- **Factorul de bioconcentrare (BCF)** oferă informații despre acumularea metalului din sol în rădăcinile plantelor (ecuația 2.12).

$$BCF = \frac{C_{\text{metal în rădăcini}}}{C_{\text{metal în sol}}} \quad (2.12)$$

- **Factorul de bioacumulare (BAC)** este un indicator important al capacității plantelor de a realiza absorbția poluanților, mobilizarea lor în țesuturile vegetale și depozitarea în biomasa vegetală a plantelor, în procesele de fitoremediere (ecuația 2.13).

$$BAC = \frac{C_{\text{metal în componentele aeriene ale plantei}}}{C_{\text{metal în sol}}} \quad (2.13)$$

➤ **Factorul de translocare (TF)**, este utilizat pentru evidențierea transferului poluanților din rădăcini la părțile superioare ale plantelor (ecuația 2.14).

$$TF = \frac{C_{\text{metal în componentele aeriene ale plantei}}}{C_{\text{metal în rădăcini}}} \quad (2.16)$$

## 2.9. Metodologia analizei cost-beneficiu (ABC)

Instrumentul suport pentru luarea deciziilor este *Analiza Cost-Beneficiu (ACB)*. ACB urmărește să estimeze impactul socio-economic al implementării unor proiecte prin cuantificarea costurilor și beneficiilor (Tabone și colab., 2010), prin parcurgerea unor etape care implică realizarea mai multor activități (fig. 2.23) (Ferreira și Almeida, 2015; Turner și colab., 2016).

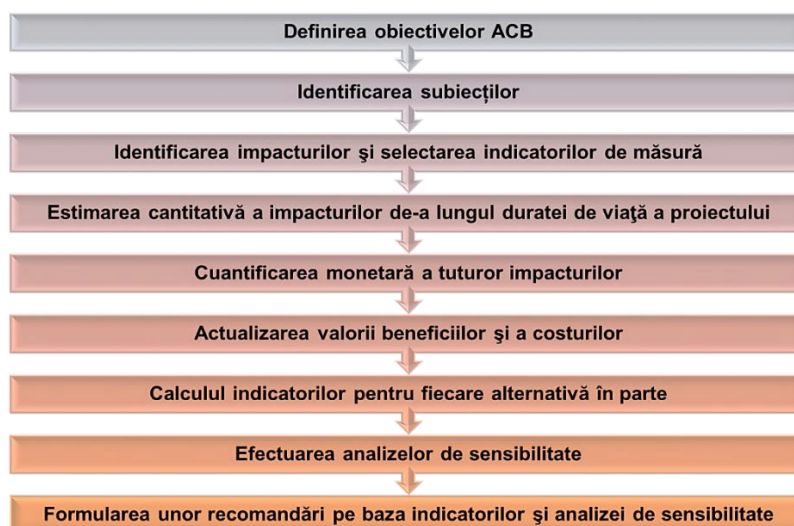


Fig. 2.23. Etapele analizei cost-beneficiu pentru un proiect de mediu

## CAPITOLUL 3.

### STUDII PRIVIND EFECTELE IONILOR DE $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ ASUPRA GERMINĂRII ȘI DEZVOLTĂRII PLANTULELOR DE *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. ȘI *Zea mays* L. ÎN MEDIU LICHID

#### 3.1. Scopul și importanța cercetării

Capacitatea plantelor *Medicago sativa* L., *Triticum aestivum* L. și *Zea mays* L. de a tolera și de a bioacumula ionii de cupru și plumb reprezintă un indicator esențial în procesul de fitoremediere. Obiectivul acestui capitol este să evalueze și să evidențieze efectele interacțiunii dintre ionii metalici și semințe, oferind totodată o perspectivă asupra potențialului acestor plante în abordarea poluării cu

cele două metale selectate. Având în vedere impactul negativ al acestor metale asupra ecosistemului și/sau lanțului trofic, se urmărește identificarea și utilizarea celor mai eficiente plante, caracterizate prin înaltă toleranță și o capacitate semnificativă de bioacumulare.

În acest sens, a fost dezvoltat un plan experimental care a inclus investigarea experimentală a fitotoxicității ionilor de cupru și plumb asupra următoarelor plante:

- *Medicago sativa* L. într-un interval de concentrații cuprins între 26 și 330 mgCu/L, respectiv 28 și 350 mgPb/L;
- *Triticum aestivum* L. în intervalul de concentrații 56-423 mgCu/L și 51-375 mgPb/L;
- *Zea mays* L. într-un interval de concentrații cuprins între 56 și 423 mgCu/L, respectiv 51 și 375 mgPb/L;

### 3.2. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării și dezvoltării plantulelor de *Medicago sativa* L. în mediu lichid

#### 3.2.1. Influența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra germinării semințelor de *Medicago sativa* L.

Rezultatele obținute în urma testelor de fitotoxicitate au relevat că influența ionilor metalici de  $\text{Cu}^{2+}$  asupra **gradului de germinare** în semințelor de *Medicago sativa* L., în intervalul de concentrație analizat (26-330 mg/L), a fost relativ mică în comparație cu proba martor. În mod remarcabil, această influență a fost caracterizată printr-o germinare consistentă a semințelor, cu doar variații procentuale minore observate în prezența ionilor metalici (fig. 3.3).



**Fig. 3.3.** Efectele morfologice ale plantulelor *Medicago sativa* L. sub influența ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$

#### 3.2.2. Influența ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării semințelor de *Medicago sativa* L.

În urma testelor de fitotoxicitate rezultatele au arătat o influență minoră a ionilor metalici de  $\text{Pb}^{2+}$  asupra gradului de germinare în semințelor de *Medicago sativa* L. în intervalul de concentrație 28-350 mgPb/L, comparativ cu proba martor. Germinarea semințelor a fost constantă chiar și la concentrația maximă de 350 mgPb/L, evidențiindu-se o rată a germinării de 100%. Această observație subliniază adaptabilitatea remarcabilă a plantei *Medicago sativa* L. de a se dezvolta chiar și sub stresul impus de ionii metalici de  $\text{Pb}^{2+}$  (fig. 3.7).

### 3.3. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării și dezvoltării plantulelor de *Triticum aestivum* L.

### 3.3.1. Influența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra germinării semințelor de *Triticum aestivum* L.

Investigarea influenței ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$  asupra **germinării semințelor** de *Triticum aestivum* L., a relevat o reducere semnificativă a gradului de germinare pe măsura creșterii concentrației de  $\text{Cu}^{2+}$ . observăm o reducere pronunțată a gradului de germinare. O scădere de 10% a fost observată în intervalul de concentrație de 227-269 mg Cu/L, în timp ce o reducere de doar 4% a avut loc în intervalul de concentrație de 311-423 mg Cu/L (fig. 3.11). Aceste rezultate indică un efect inhibitor substanțial al ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$  asupra germinării semințelor, în special la concentrații mai mari.



**Fig. 3.7.** Efectele morfologice ale plantulelor *Medicago sativa* L. sub influența ionilor de  $\text{Pb}^{2+}$



**Fig. 3.11.** Efectele morfologice ale plantulelor *Triticum aestivum* L. sub influența ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$

### 3.3.2. Influența ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării semințelor de *Triticum aestivum* L.

Analizând influența ionilor de  $\text{Pb}^{2+}$  asupra germinării semințelor de *Triticum aestivum* L., s-a observat că rata de germinare a rămas relativ stabilă și nemodificată la diferite concentrații de  $\text{Pb}^{2+}$ , comparativ cu proba martor. La concentrația de 261 mg  $\text{Pb}^{2+}$ /L, rata de germinare a fost cea mai scăzută, cu un procent de 87%, în timp ce la concentrații de 51, 220 și 375 mg  $\text{Pb}^{2+}$ /L, gradul de germinare a fost similar cu cel al probei martor, în jur de 97% (fig. 3.16). Această performanță de germinare robustă sugerează o rezistență notabilă a semințelor de *Triticum aestivum* L. la  $\text{Pb}^{2+}$ .

## 3.4. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării și dezvoltării plantulelor de *Zea mays* L.

### 3.4.2. Influența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra germinării semințelor de *Zea mays* L.

Rezultatele testului de fitotoxicitate reprezentate în fig. 3.22 indică o tendință contrastantă în **germinarea semințelor** atunci când sunt supuse stresul generat de  $\text{Cu}^{2+}$ . În timp ce procentul maxim

de germinare a fost evidențiat la concentrația de 56 mgCu/L, atingând un impresionant procent de 90%, influența ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$  a condus la o rată mai scăzută de germinare la concentrații mai mari, scăzând la un minim de 47% la 269 mgCu/L. Pe măsură ce concentrațiile de  $\text{Cu}^{2+}$  au crescut la intervalul de 311-423 mg/L, nu a fost observat un efect inhibitor semnificativ asupra semințelor de *Zea mays* L., rata de germinare menținându-se la aproximativ 57%.



**Fig. 3.16.** Efectele morfologice ale plantulelor *Triticum aestivum* L. sub influența ionilor de  $\text{Pb}^{2+}$



**Fig. 3.22.** Efectele morfologice ale plantulelor *Zea mays* L. sub influența ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$

### 3.4.3. Influența ionilor de $\text{Pb}^{2+}$ asupra germinării semințelor de *Zea mays* L.

Analizând rezultatele obținute după **germinare**, prezentate grafic în [fig. 3.27](#), apar câteva modele și efecte interesante. În primul rând, în intervalul de concentrație selectat de 51-375 mgPb/L rata de germinare a semințelor o depășește pe cea a probei martor. În absența expunerii la ioni metalici, proba martor a prezentat o rată de germinare de numai 63%.



**Fig. 3.27.** Efectele morfologice ale plantulelor *Zea mays* L. sub influența ionilor de  $\text{Pb}^{2+}$

### **3.5. Procesarea și modelarea datelor experimentale**

#### *3.5.1. Analiza statistică a datelor experimentale*

Rezultatele experimentale au fost analizate statistic pentru a determina semnificația diferențelor observate între tratamentele cu metale grele. Analiza statistică a inclus calculul mediei, deviației standard și intervalelor de încredere pentru fiecare set de date. Au fost aplicate teste de semnificație, cum ar fi ANOVA, pentru a evalua diferențele semnificative între grupuri. Modelarea prin rețele neuronale artificiale (ANN) a fost utilizată pentru a prezice comportamentul plantelor în condiții de poluare cu metale grele și pentru a identifica pattern-urile complexe de răspuns ale acestora.

Din interpretarea datelor din [tabelul 3.1](#) rezultă următoarele:

- tulpinile plantelor tratate cu ionul de  $Pb^{2+}$  prezintă o medie mai mare a lungimii tulpinii comparativ cu cele tratate cu ionul de  $Cu^{2+}$ , sugerând o mai bună toleranță a plantelor la plumb;
- Deviația standard mai mare pentru tulpina tratată cu Cu indică o variabilitate mai mare în răspunsul plantelor la cupru.
- Rădăcinile plantelor tratate cu ionul  $Pb^{2+}$  au o lungime medie mai mare comparativ cu cele tratate cu ionul  $Cu^{2+}$ , indicând o toleranță mai bună la plumb.
- Variabilitatea răspunsului este mare pentru ambele metale, dar mai pronunțată pentru rădăcinile tratate cu  $Pb^{2+}$ .

## **CAPITOLUL 4.**

### **CERCETĂRI PRIVIND POTENȚIALUL PLANTEI *Medicago sativa* L. DE A TOLERA ȘI BIOACUMULA IONII DE $Cu^{2+}$ ȘI $Pb^{2+}$ DIN SOL**

#### **4.1. Scopul și importanța cercetării**

Potențialul plantei *Medicago sativa* L. (lucerna) de a tolera și bioacumula ionii de  $Cu^{2+}$  și  $Pb^{2+}$  reprezintă un indicator esențial al procesului de fitoremediere, care este o tehnologie emergentă pentru remedierea solurilor poluate cu metale grele. Acest studiu are ca scop evaluarea și evidențierea efectelor interacțiunii dintre ionii metalici și semințele, respectiv plantele de *Medicago sativa* L., oferind totodată o perspectivă asupra potențialului acestei plante în eliminarea poluării cu cupru și plumb. Efectele toxice ale acestor metale asupra ecosistemului și lanțului trofic sunt bine documentate, iar identificarea și utilizarea plantelor eficiente, care demonstrează un grad ridicat de toleranță și o capacitate semnificativă de bioacumulare este esențială pentru sustenabilitatea ecologică. Pentru atingerea acestui scop, a fost elaborat un plan experimental bine structurat și desfășurat în mai multe etape:

- În primul rând, s-a investigat capacitatea plantei *Medicago sativa* L. de a tolera și bioacumula ionii metalici de cupru și plumb dintr-un sol poluat artificial în cadrul unor experimente preliminare. Aceste experimente au urmărit determinarea concentrației maxime a metalelor la care planta poate crește fără a prezenta efecte toxice vizibile, cum ar fi modificările de creștere sau semne de stres fiziologic.

- Ulterior, au fost realizate experimente în condiții de seră și monitorizate pe o perioadă extinsă de timp pentru a evalua pe deplin potențialul fitoremediativ al *Medicago sativa* L. Aceste experimente extinse au vizat identificarea și evaluarea efectelor toxice ale cuprului și plumbului asupra morfologiei și fiziologiei plantei. Mărimi precum înălțimea plantei, biomasa uscată, suprafața foliară au fost măsurate pentru a înțelege impactul metalelor asupra sănătății plantelor. De asemenea, gradul de bioacumulare a ionilor metalici în țesuturile plantei a fost determinat prin analize chimice detaliate, care au permis cuantificarea concentrațiilor de cupru și plumb acumulate în diverse părți ale plantei.

### **4.3. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei *Medicago sativa* L. în condiții de seră**

#### *4.3.1. Influența ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra dezvoltării plantei *Medicago sativa* L. în condiții de seră*

##### *4.3.1.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra parametrilor morfologici ai plantei *Medicago sativa* L.*

Observațiile experimentale au arătat că ionii de cupru au influențat dezvoltarea plantelor într-un mod care a permis menținerea stabilității în creștere comparativ cu proba de control (fig. 4.10). Conform datelor grafice, lungimea rădăcinilor se situează între 14 și 17 cm, în timp ce partea aeriană a plantei are o lungime între 14 și 16 cm.



a)



b)

**Fig. 4.10.** Aspectul vizual al plantei *Medicago sativa* L. crescută într-un sol poluat cu ionul  $\text{Cu}^{2+}$ : a) înainte de recoltare; b) după recoltare

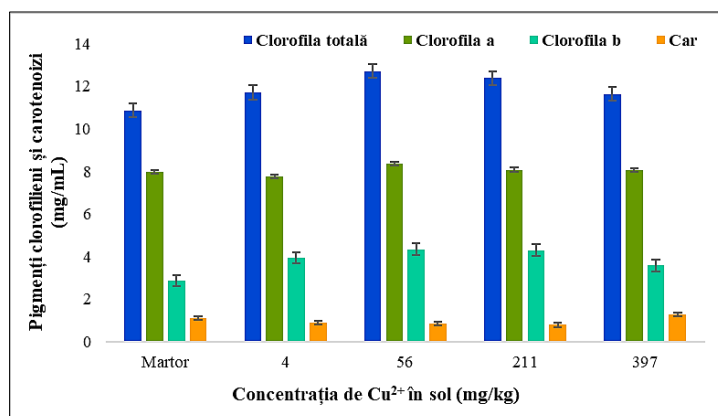


Se evidențiază un efect stimulator mai pronunțat pentru rădăcini, de la 13% (397 mgCu/kg) până la 22% (56 mgCu/kg). În ceea ce privește partea aeriană, se remarcă o stimulare a tulpinilor doar la concentrația de 56 mgCu/kg, de aproximativ 4%. Efectul inhibitor al ionilor de cupru devine vizibil odată cu creșterea concentrațiilor metalice, mai ales în cazul tulpinilor, unde se evidențiază o toxicitate de doar 6% la concentrația de 397 mgCu/kg.

#### 4.3.1.2. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra conținutului de pigmenți fotosintetici din planta *Medicago sativa* L.

S-a remarcat o stimulare a pigmenților clorofilieni în intervalul de concentrații 4 – 397 mgCu/kg comparativ cu proba martor cu aproximativ 2%. De asemenea, s-a constatat o direcție de creștere – descreștere în intervalul de concentrații selectat pentru clorofila *a* și *b*, respectiv clorofila totală (fig. 4.14), astfel:

- clorofila *a* și *b* au evidențiat o creștere a valorii până la concentrația 56 mgCu/kg (8,4% pentru clorofila *a* și 4,4% pentru clorofila *b*), și o descreștere ușoară a valorii odată cu creșterea concentrației la 211 mgCu/kg (8% pentru clorofila *a* și 4,3% pentru clorofila *b*);
- clorofila totală a prezentat o tendință de creștere la concentrațiile 4 și 56 mgCu/kg, respectiv 11,7% și 12,7%, urmând o scădere a valorilor odată cu creșterea concentrației la 211 și 397 mgCu/kg, respectiv 12,4% și 11,6%).



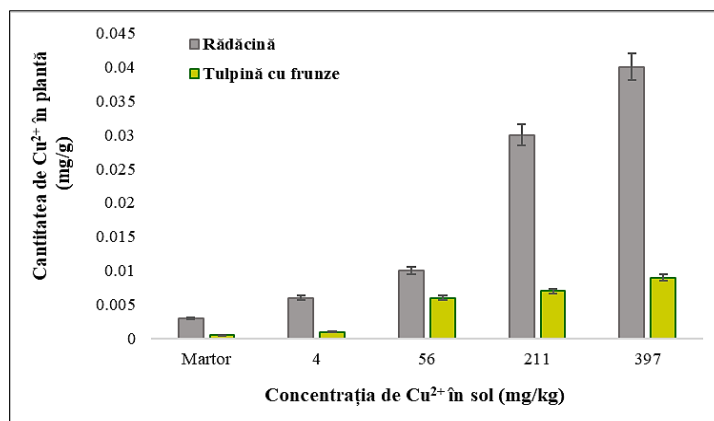
**Fig. 4.14.** Efectele ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$  asupra pigmenților clorofilieni și carotenoizi în planta *Medicago sativa* L.

#### 4.3.1.3. Evaluarea capacității plantei *Medicago sativa* L. de fitoremediere a solului poluat cu $\text{Cu}^{2+}$

Conform rezultatelor, concentrațiile de ioni metalici fitoextrase au variat în funcție de tipul de țesut și au crescut odată cu creșterea nivelului de cupru din sol astfel (fig. 4.16):

- în **rădăcinile** plantei conținutul de  $\text{Cu}^{2+}$  a variat de la 0,006 mg/g de plantă (la concentrația 4 mgCu/kg) la 0,04 mg/g de plantă (la concentrația 397 mgCu/kg).
- în **tulpinile cu frunze** ale plantei conținutul de metal a fost cuprins între 0,001 mg/g de plantă (la concentrația 4 mgCu/kg) și 0,009 mg/g de plantă (la concentrația 397 mgCu/kg).

Conform rezultatelor factorul de bioconcentrare (BCF) a înregistrat valori între 0,100 și 3, factorul de bioacumulare (BAC) a variat între 0,023 și 0,500, iar factorul de translocare a fost între 0,167 și 0,600. La proba martor și la concentrația 4 mgCu/kg s-a sesizat un factor de bioconcentrare cuprins în intervalul 1-10, ceea ce evidențiază că planta este acumulatorie a metalului cupru.



**Fig. 4.16.** Conținutul de Cu<sup>2+</sup> în țesuturile plantei *Medicago sativa* L.

#### 4.3.2. Efectele ionilor de Pb<sup>2+</sup> asupra dezvoltării plantei *Medicago sativa* L. în sol poluat în condiții de seră

##### 4.3.2.1. Efectele ionilor de Pb<sup>2+</sup> asupra creșterii și dezvoltării *Medicago sativa* L. în sol poluat

Conform rezultatelor, la concentrațiile de 16, 291 și 452 mgPb/kg s-a observat o creștere constantă atât a sistemului radicular, de aproximativ 8 cm, cât și a părții aeriene a plantei, de aproximativ 13 cm (fig. 4.17). S-a remarcat o toleranță ridicată a rădăcinilor odată cu creșterea concentrațiilor de metal. Stimularea creșterii sistemului radicular a fost evidentă la concentrația de 103 mgPb/kg, cu aproximativ 3%, și la concentrația de 291 mgPb/kg, cu 13%. Concentrația cea mai mare, respectiv 452 mgPb/kg, a demonstrat o toleranță de 97,6% pentru rădăcini și de 50,9% pentru tulpini.

##### 4.3.2.2. Efectele ionilor metalici de Pb<sup>2+</sup> asupra conținutului de pigmenți fotosintetici în planta *Medicago sativa* L

Planta a evidențiat o dezvoltare vizibil mai minoră a plantelor odată cu creșterea concentrațiilor de metal (fig. 4.17). La concentrații mai mici ale metalului, precum 16 mgPb/kg s-a înregistrat o valoare mai scăzută a clorofilei *a*, respectiv 7,2%. La concentrația 103 și 492 mgPb/kg valoarea clorofilei *a* a fost cea mai apropiată de cea a probei de control și anume 7,7%. În cazul clorofilei *b* s-a constatat o stimulare în intervalul 16 – 452 mgPb/kg de 0,08% (la concentrația 291 mgPb/kg) – 0,4% (la concentrația 103 mgPb/kg).

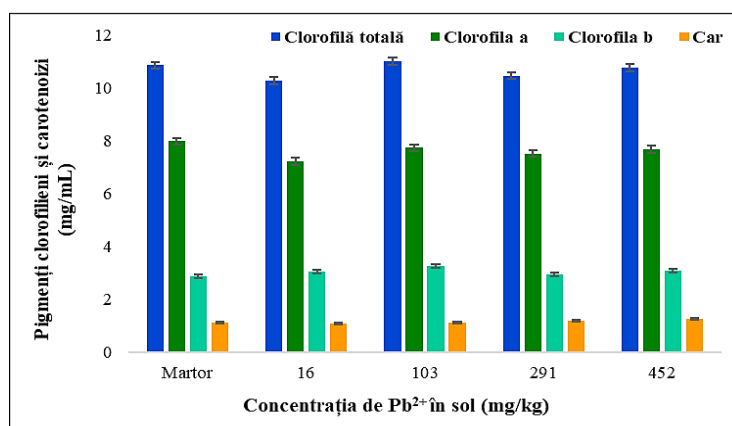


a)



b)

**Fig. 4.17.** Aspectul vizual al plantei *Medicago sativa* L. crescută într-un sol poluat cu  $Pb^{2+}$ :  
a) înainte de recoltare; b) după recoltare



**Fig. 4.21.** Efectele ionilor de  $Pb^{2+}$  asupra pigmentilor clorofilieni și carotenoizi în planta *Medicago sativa* L.

#### 4.3.2.3. Evaluarea capacității de fitoremediere a *Medicago sativa* L. în sol poluat cu $Pb^{2+}$

În urma analizei rezultatelor experimentelor, s-au constatat următoarele (fig. 4.24):

- în intervalul concentrațiilor de plumb în sol cuprinse între 16 – 452 mgPb/kg **rădăcinile** plantei au reținut un conținut de  $Pb^{2+}$  între 0,1 mg/g de plantă (la concentrația maximă de 452 mgPb/kg) și 0,25 mg/g plantă (la concentrația minimă de 16 mgPb/kg).
- **tulpinile cu frunze** ale plantei *Medicago sativa* L. au reținut o cantitate de metal de la 0,01 mg/g de plantă (la concentrația 452 mgPb/kg) până la 0,09 mg/g de plantă (la concentrația 16 mgPb/kg).

Rezultatele obținute în urma calcului indicatorilor de fitoremediere evidențiază următoarele:

- Factorul de bioconcentrare (BCF) a fost cuprins între 0,221 și 15,625;
- Factorul de bioacumulare (BAC) a variat între 0,022 și 5,625;
- Factorul de translocare (TF) a înregistrat valori de la 0,100 până la 0,360.

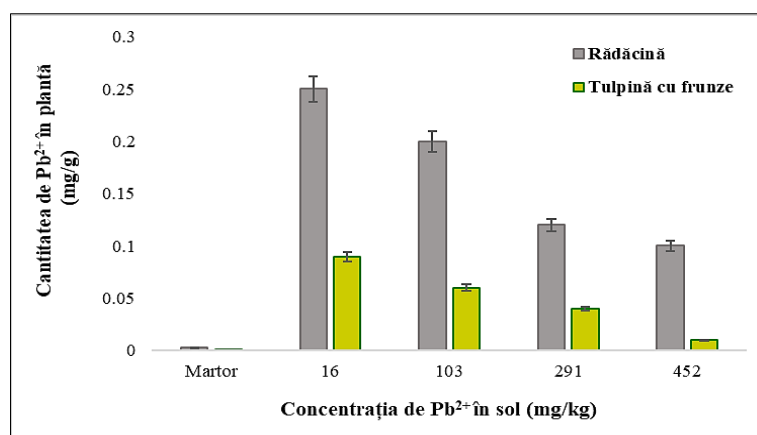


Fig. 4.24. Conținutul de Pb<sup>2+</sup> în planta *Medicago sativa* L.

## CAPITOLUL 5.

### CERCETĂRI PRIVIND POTENȚIALUL PLANTEI *Triticum aestivum* L. DE A TOLERA ȘI BIOACUMULA IONII DE Cu<sup>2+</sup> ȘI Pb<sup>2+</sup> DIN SOL

#### 5.1. Scopul și importanța cercetării

În capitolul 5 se analizează capacitatea plantei *Triticum aestivum* L. de a tolera ionii metalici de cupru și plumb, evaluând gradul de supraviețuire și bioacumulare a acestor ioni în țesuturile plantei. Pentru a îndeplini obiectivul principal al tezei, și anume utilizarea plantelor pentru eliminarea cuprului și plumbului din sol, s-au realizat o serie de experimente atât la nivel de laborator, cât și la nivel de seră:

- În prima etapă, au fost efectuate experimente preliminare pe o durată scurtă de timp pentru a determina intervalul de concentrații la care planta *Triticum aestivum* L. poate crește și se poate dezvolta fără a prezenta efecte semnificative ale toxicității ionilor de metal. Aceste experimente au implicat poluarea artificială a solului cu diverse concentrații de cupru și plumb, monitorizând răspunsul plantelor la aceste condiții.
- Ulterior, experimentele s-au desfășurat la nivel de seră pe o perioadă îndelungată de timp, având ca scop stabilirea gradului de toleranță al plantei *Triticum aestivum* L. supusă stresului indus de ionii de cupru și plumb. În aceste experimente, s-a evaluat impactul morfologic și fiziologic al ionilor metalici asupra plantei. Parametrii monitorizați au inclus înălțimea plantei, greutatea uscată, suprafața foliară, precum și activitatea enzimelor antioxidante.
- De asemenea, s-a determinat capacitatea plantei *Triticum aestivum* L. de a bioacumula ionii metalici în țesuturile sale. Aceasta a implicat analize chimice detaliate pentru a cuantifica concentrațiile de cupru și plumb acumulate în rădăcini, tulpini și frunze. Rezultatele acestor analize au oferit informații valoroase despre potențialul plantei de a fi utilizată în fitoremedierea solurilor poluate cu metale grele.

### **5.3. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei *Triticum aestivum* L. în condiții de seră**

#### *5.3.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ asupra dezvoltării plantei *Triticum aestivum* L. în condiții de seră*

##### *5.3.1.1. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra parametrilor morfologici ai plantei *Triticum aestivum* L.*

Aspectul vizibil al plantelor crescute în această perioadă în solul poluat (fig. 5.11) nu evidențiază un efect semnificativ al ionilor metalici asupra dezvoltării plantei. S-au constatat următoarele:

- o lungime a sistemului radicular cuprinsă între 20,6 – 25,6 cm;
- o lungime a tulpinilor cuprinsă între 36 – 66,2 cm;
- o lungime a frunzelor cuprinsă între 18,6 – 26,8 cm.

De asemenea s-a evidențiat o toleranță crescută a plantei la stresul generat de ionii metalici ai  $\text{Cu}^{2+}$ . Toleranța scade minor odată cu creșterea concentrațiilor, înregistrându-se la concentrația 684 mgCu/kg un procent al toleranței de 80,6% pentru rădăcină, 54,5% pentru tulpină și 72,8% pentru frunze, procente care se apropie de 100%.



a)



b)

**Fig. 5.11.** Aspectul vizual al plantei *Triticum aestivum* L. cultivată într-un sol poluat cu ioni  $\text{Cu}^{2+}$ :  
a) înainte de recoltare; b) după recoltare

### 5.3.1.2. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra conținutului de pigmenți fotosintetici din planta *Triticum aestivum* L.

Se constată următoarele (fig. 5.16):

- Valorile clorofilei totale au fost înregistrate între 5,9% (la concentrația 61 mgCu/kg) – 8,4 (la concentrația 501 mgCu/kg);
- Clorofila *a* a variat între 4,2% (la concentrația 61 mgCu/kg) și 6% (la concentrația 501 mgCu/kg);
- Clorofila *b* a crescut de la 1,7% (la concentrația 61 mgCu/kg) la o valoare de 2,4% (la concentrația 501 mgCu/kg);
- Pigmenții carotenoizi au înregistrat valori cuprinse în 0,6% (la concentrația 61 mgCu/kg) și 1% (la concentrația 501 mgCu/kg).

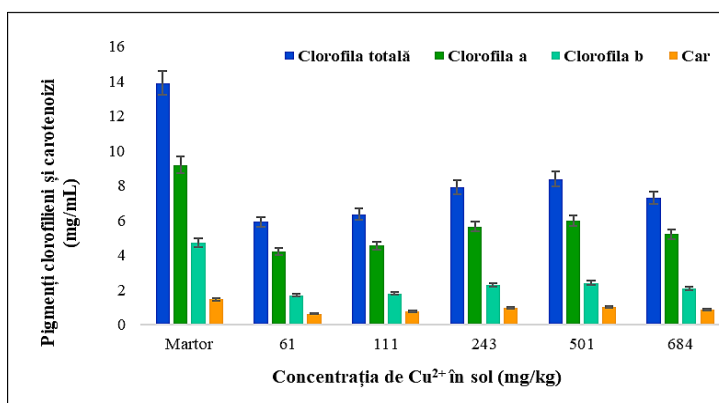


Fig. 5.16. Efectele ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$  asupra pigmenților clorofilieni și carotenoizi în planta *Triticum aestivum* L.

### 5.3.1.3. Evaluarea capacității plantei *Triticum aestivum* L. de fitoremediere a solului poluat cu ioni de $\text{Cu}^{2+}$

Rezultatele reprezentate grafic în fig. 5.17 au evidențiat o creștere constantă a cantității ionilor metalici în plantă odată cu creșterea concentrației de cupru din sol. Astfel s-au obținut următoarele rezultate:

- în **rădăcini** conținutul de cupru a variat de la 0,08 mg/g de plantă (la concentrațiile 61 și 111 mgCu/kg) la 0,37 mg/g de plantă;
- în **tulpină și frunze** cantitatea de metal a fost de la 0,009 mg/g de plantă (la concentrația 61 mgCu/kg) până la 0,12 mg/g de plantă (la concentrația 684 mgCu/kg).

Conform calculelor efectuate, factorul de bioconcentrare a fost cuprins în intervalul 0,420 – 1,311; factorul de bioacumulare a variat de la 0,090 la 0,206, iar factorul de translocarea înregistrat valori de 0,113 – 0,429. În urma analizelor s-a constatat că la o concentrație în sol de 61 mgCu/kg, absorbția ionilor metalici în rădăcinile *Triticum aestivum* L. (BCF) a fost peste 1, ceea ce o încadrează în categoria plantelor acumulative. Reținerea metalului și translocarea acestuia în tulpină și frunze (BAC) a indicat valori până în 1, arătând că planta are un potențial mediu de acumulare în țesuturile vegetale aeriene. De asemenea, valorile factorului de translocare sub 1 evidențiază un transfer ineficient al cuprului în părțile aeriene ale plantei, sugerând astfel o acumulare mai crescută a metalului în rădăcini.

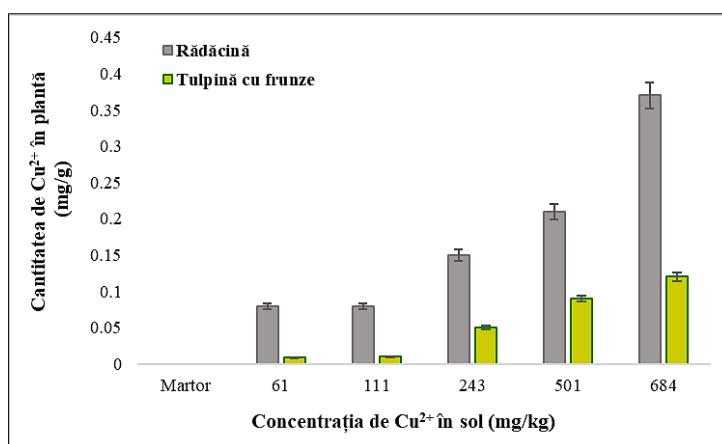


Fig. 5.17. Conținutul de cupru din țesuturile plantei *Triticum aestivum* L.

### 5.3.2. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra dezvoltării plantei *Triticum aestivum* L în condiții de seră

#### 5.3.2.1. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra creșterii și dezvoltării *Triticum aestivum* L. în sol poluat

Se observă o creștere vizibil constantă a părții aeriene, însă o diferență variată a creșterii și dezvoltării în ramificații a sistemului radicular (fig. 5.18). S-a evidențiat o creștere a componentelor *Triticum aestivum* L. în intervalul de concentrații selectat, similară cu cea a probei martor, care nu a fost poluată cu ioni metalici, după cum urmează:

- lungimea rădăcinilor a fost cuprinsă între 23,8 cm (106 mgPb/kg) – 206,7 cm (202 mgPb/kg);
- lungimea tulpinilor a fost cuprinsă între 58 cm (106 mgPb/kg) – 66,2 cm (martor);
- lungimea frunzelor a fost cuprinsă între 22,5 cm (1171 mgPb/kg) – 29,2 cm (martor).

Concentrațiile 202, 397 și 854 mgPb/kg au evidențiat o stimulare a toleranței rădăcinilor cu 5%, 2% și respectiv 2%. De asemenea, la concentrația 854 mgPb/kg, tulpinile plantei au prezentat un procent al toleranței de peste 90%, iar frunzele un procent puțin peste 80%.

#### 5.3.2.2. Influența ionilor metalici de $Pb^{2+}$ asupra conținutului de pigmenți fotosintetici în planta *Triticum aestivum* L.

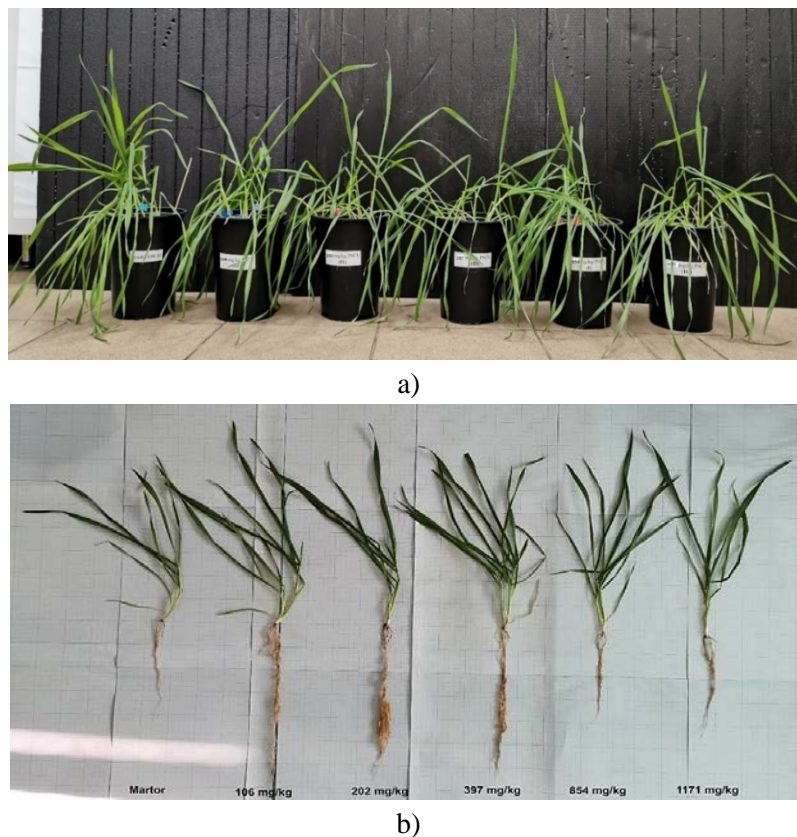
Rezultatele obținute (fig. 5.22) au arătat o stimulare în cazul clorofilei totale, dar și a clorofilei a, respectiv b, față de proba martor, însă nu și în cazul pigmentilor carotenoizi. Astfel, clorofila totală a evidențiat o stimulare de aproximativ 5%, înregistrând valori de 16,2% până la 18,3%, față de proba de control cu o valoare a clorofilei totale de doar 13,9%. La concentrația cea mai crescută a metalului în sol, respectiv 1171 mgPb/kg, valoarea clorofilei totale a fost de 17,4%. Clorofila a a crescut de la 9,9% la 10,4%, peste valoarea înregistrată de către martor, respectiv 9,2%. Clorofila b a fost stimulată cu 3,5%, iar procentul obținut în urma analizei spectrofotometrice a fost cuprins între 6,1% la și 8,2%, procent aproape dublu față de cel al probei martor, respectiv 4,7%.

#### 5.3.2.3. Evaluarea capacității de fitoremediere a *Triticum aestivum* L. în sol poluat cu $Pb^{2+}$

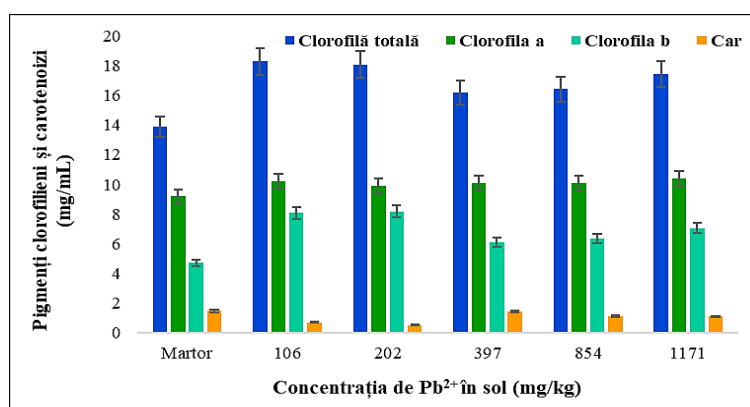
Conform graficului (fig. 5.23), concentrația plumbului în plantă a variat în funcție de tipul de țesut, crescând odată cu nivelul de plumb din sol, astfel că:

- în **rădăcini** s-a stabilit un nivel al plumbului cuprins între 0,05 mg/g de plantă (la concentrația 106 mgPb/kg) – 3,07 mg/g de plantă (la concentrația 1171 mgPb/kg);

- **tulpina cu frunze** a prezentat un conținut de plumb de la 0,0003 mg/g de plantă (la concentrația 106 mgPb/kg) până la 0,06 mg/g de plantă (la concentrația 1171 mgPb/kg).



**Fig. 5.18.** Aspectul vizual al plantei *Triticum aestivum* L. crescută într-un sol poluat cu  $Pb^{2+}$ : a) înainte de recoltare; b) după recoltare



**Fig. 5.22.** Efectele ionilor de  $Pb^{2+}$  asupra pigmenților clorofilieni și carotenoizi în planta *Triticum aestivum* L

La concentrații ale plumbului în sol de la 202 mg/kg până la 1171 mg/kg, acumularea ionilor metalici în rădăcinile *Triticum aestivum* L. (BCF) s-a dovedit a fi cuprinsă în intervalul 1-10, dovedindu-se astfel o plantă acumulatorie. De asemenea, absorbția ionilor de plumb și mobilizarea



lor în tulpină și frunze (BAC) s-a constatat a fi sub valoarea 1, evidențiind astfel potențialul redus spre mediu al plantei de acumulare a metalului în partea sa aeriană.

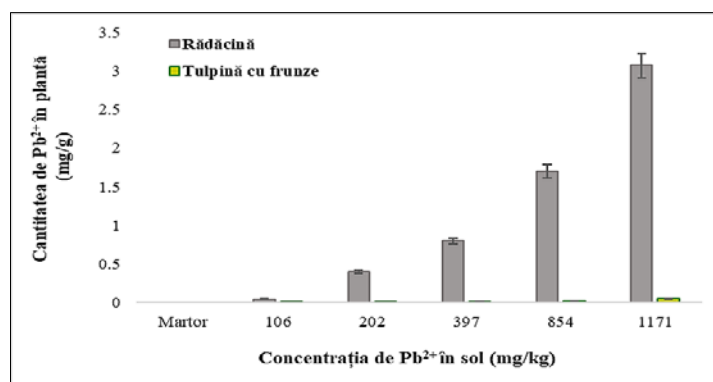


Fig. 5.23. Conținutul de Pb<sup>2+</sup> în țesuturile plantei *Triticum aestivum* L.

## CAPITOLUL 6.

### CERCETĂRI PRIVIND POTENȚIALUL PLANTEI *Zea mays* L. DE A TOLERA ȘI BIOACUMULA IONII DE Cu<sup>2+</sup> ȘI Pb<sup>2+</sup> DIN SOL

#### 6.1. Scopul și importanța cercetării

Cercetarea din acest capitol a fost realizată pentru a investiga relația dintre planta *Zea mays* L. și toxicitatea ionilor de cupru și plumb, evaluând capacitatea acestei plante de a tolera și bioacumula aceste metale în scopul fitoremedierii.

Obiectivele principale ale cercetării au fost următoarele:

- Evaluarea toleranței porumbului (*Zea mays* L.) la stresul indus de ioni de cupru și plumb din sol: acest obiectiv a implicat expunerea plantelor la diferite concentrații de metale pentru a determina pragurile la care apar efecte toxice semnificative.

- Determinarea concentrațiilor de metale care generează toxicitate în *Zea mays* L.: identificarea acestor praguri este esențială pentru a înțelege limitele de toleranță ale plantei și pentru a putea folosi această specie în procesele de fitoremediere.

- Analiza gradului de bioacumulare a ionilor metalici în țesuturile plantei: prin această analiză s-a urmărit să se stabilească cât de eficient poate *Zea mays* L. în absorbția și bioacumularea metalele grele din sol în propriile țesuturi.

#### 6.3. Efectele ionilor de Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup> din solul poluat asupra creșterii și dezvoltării plantei *Zea mays* L. în condiții de seră

##### 6.3.1. Efectele ionilor de Cu<sup>2+</sup> asupra dezvoltării plantei *Zea mays* L. în condiții de seră

##### 6.3.1.1. Efectele ionilor de Cu<sup>2+</sup> din solul poluat asupra parametrilor morfologici ai plantei *Zea mays*

Aspectul plantelor, prezentat în fig. 6.11 evidențiază odată cu creșterea concentrațiilor de metal din sol o scădere în lungime și densitate a părții aeriene de *Zea mays* L. și o descreștere a

ramificațiilor de la nivelul rădăcinii. S-a înregistrat o rată a lungimii componentelor *Zea mays* L. în intervalul de concentrații selectat, după cum urmează:

- lungimea rădăcinilor a fost cuprinsă între 32 cm (514 mgCu/kg) – 41,5 cm (63 mgCu/kg);
- lungimea tulpinilor a fost cuprinsă între 66,6 cm (730 mgCu/kg) – 90 cm (63 mgCu/kg);
- lungimea frunzelor a fost cuprinsă între 16,5 cm (514 mgCu/kg) – 27,8 cm (115 mgCu/kg).



a)



b)

**Fig. 6.11.** Aspectul vizual al plantei *Zea mays* L. crescută într-un sol poluat cu ioni de  $\text{Cu}^{2+}$ : a) înainte de recoltare; b) după recoltare

### 6.3.1.2. Efectele ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ din solul poluat asupra conținutului de pigmenți fotosintetici din planta *Zea mays* L.

În intervalul de concentrații reale 63 – 730 mgCu/kg s-a remarcat o fluctuație de creștere-descreștere a clorofilei. În privința clorofilei *a* cel mai mic procent a fost înregistrat la concentrația 227 și 730 mgCu/kg, respectiv 4,7% și 4,8%, urcând până la un procent de 5,5% la concentrația 115 mgCu/kg. De asemenea, clorofila *b* a evidențiat la concentrația minimă de 63 mgCu/kg și cea maximă de 730 mgCu/kg un procent de 1,7%, putând constata că odată cu creșterea concentrației ionilor metalici din sol clorofila din frunzele *Zea mays* L. nu este influențată. Carotenoizii au înregistrat procente sub 1, cu valori cuprinse între 0,84% și 0,98% (fig. 6.16).

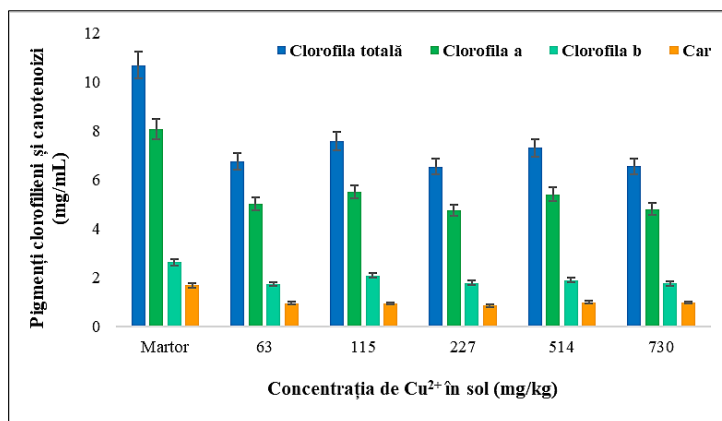


Fig. 6.16. Efectele ionilor de Cu<sup>2+</sup> asupra pigmentilor clorofilieni și carotenoizi în planta *Zea mays* L.

### 6.3.1.3. Evaluarea capacității plantei *Zea mays* L. și a eficienței de fitoremediere a solului poluat cu Cu<sup>2+</sup>

S-a constatat o creștere a absorbantelor metalului de către plantă pe măsură ce concentrația ionilor din sol s-a accentuat, iar în fig. 6.17 este reprezentată grafic cantitatea de Cu<sup>2+</sup> regăsită în țesuturi, respectiv:

- în **rădăcini** conținutul de ioni metalici a variat de la 0,02 mg/g de plantă, până la 0,2 mg/g de plantă;
- în **tulpină cu frunze** cuprul a fost regăsit a fost cuprins între 0,004 mg/g de plantă 0,02 mg/g de plantă.

În funcție de rezultatele analizei cantitative s-au calculat factorii de bioconcentrare (BCF), bioacumulare (BAC) și translocare (TF) pentru planta *Zea mays* L. Rezultatele obținute și prezentate în tabelul 6.1 au evidențiat un factor de bioconcentrare cuprins între 0,254 (la concentrația de 730 mgCu/kg în sol) – 0,310 (la concentrația 63 mgCu/kg în sol). Factorul de bioacumulare a variat între valoarea 0,022 (la concentrațiile 514 și 730 mgCu/kg) și 0,067 (la concentrația 63 mgCu/kg), iar factorul de translocare a fost între 0,080 (la concentrația de 514 mgCu/kg) – 0,215 (la concentrația de 63 mgCu/kg).

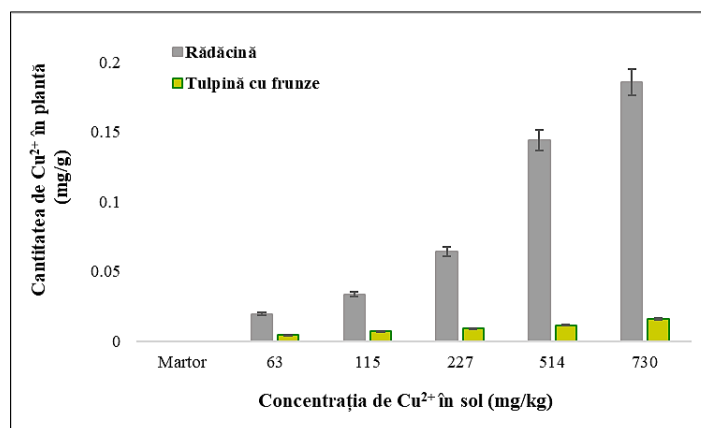


Fig. 6.17. Conținutul de Cu<sup>2+</sup> din țesuturile plantei *Zea mays* L.

### 6.3.2. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra dezvoltării plantei *Zea mays* L. în condiții de seră

#### 6.3.2.1. Efectele ionilor de $Pb^{2+}$ asupra creșterii și dezvoltării plantei *Zea mays* L. în sol poluat

Se poate observa în [fig. 6.18](#) o descreștere a părții aeriene odată cu creșterea concentrației la 1109 mgPb/kg. În intervalul 177-375 mgPb/kg s-a înregistrat o creștere de 34 cm a rădăcinilor și 58 cm a tulpinilor, iar intervalul 375-772 mgPb/kg a înregistrat o creștere a frunzelor de până la 21 cm. În ceea ce privește sistemul radicular s-a evidențiat o toleranță de 84% până la 100%. Tulpinile au înregistrat un procent al toleranței cuprins între 86% și 97%. În cazul frunzelor indicele de toleranță a marcat un procent minim de 74% și un procent maxim de 92%.

#### 6.3.2.2. Efectele ionilor metalici de $Pb^{2+}$ asupra conținutului de pigmenți fotosintetici în planta *Zea mays* L.

Rezultatele obținute și reprezentate în [fig. 6.22](#) evidențiază o creștere a clorofilei odată cu creșterea concentrației la 375 mgPb/kg, respectiv 772 mgPb/kg, comparativ cu proba martor. Clorofila totală și clorofila *a* arată valori mai ridicate decât proba de control la concentrația 70 mgPb/kg și în intervalul 375 – 1109 mgPb/kg, obținându-se valori cuprinse între 10,3%– 13,7% pentru clorofila totală și între 7,7%– 10,1% pentru clorofila *a*.



a)



b)

**Fig. 6.18.** Aspectul vizual al plantei *Zea mays* L. crescută într-un sol poluat cu ioni de  $Pb^{2+}$ : a) înainte de recoltare; b) după recoltare

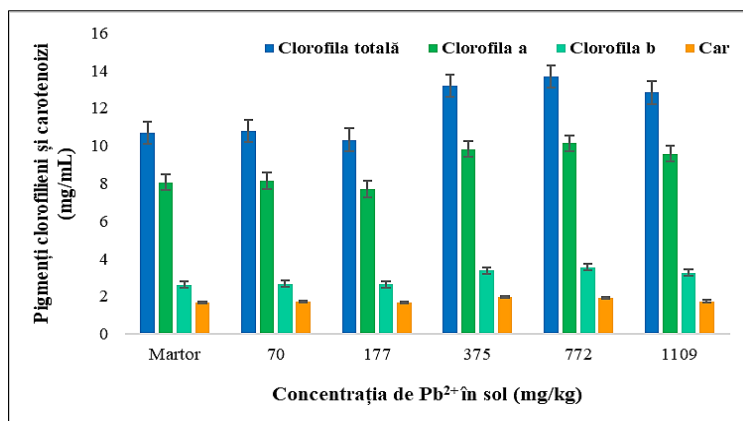


Fig. 6.22. Efectele ionilor de Pb<sup>2+</sup> asupra pigmentilor clorofilieni și carotenoizi în planta *Zea mays* L.

### 6.3.2.3. Evaluarea capacității de fitoremediere a *Zea mays* L. în sol poluat cu Pb<sup>2+</sup>

Valorile rezultate evidențiază o tendință de creștere a conținutului de metal în țesuturile plantei pe măsură ce concentrația din sol s-a mărit, respectiv (fig. 6.23):

- **rădăcinile** *Zea mays* L. au acumulat o cantitate de Pb<sup>2+</sup> cuprinsă în intervalul 0,03 mg/g de plantă (la concentrația 70 mgPb/kg) – 3,17 mg/g de plantă (la concentrația 1109 mgPb/kg);
- **tulpina cu frunze** a plantei a înregistrat valori de la 0,001 mg/g de plantă (la concentrația de 70 mgPb/kg în sol) până la 0,42 mg/g de plantă (la concentrația de 1109 mgPb/kg în sol).

Prin urmare, s-a constatat că:

- factorul de bioconcentrare (BCF) s-a încadrat în intervalul 0,462– 3,628;
- factorul de bioacumulare (BAC) a variat de la 0,014 la 0,780;
- factorul de translocare (TF) a fost cuprins între 0,006 și 0,215.

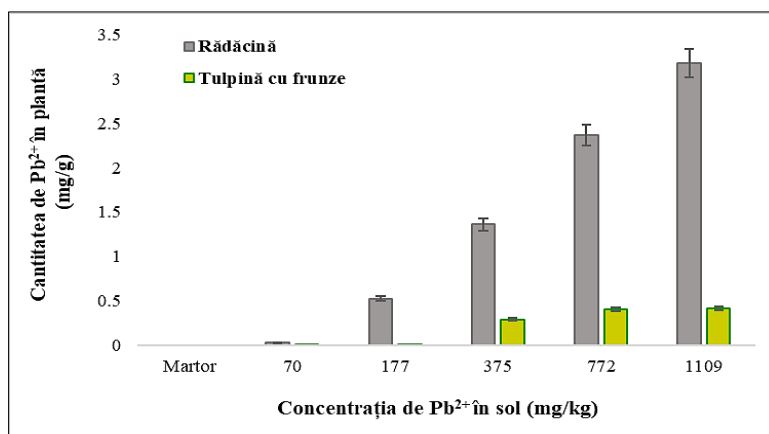


Fig. 6.23. Conținutul de Pb<sup>2+</sup> în țesuturile plantei *Zea mays* L.

## CAPITOLUL 7.

### **STUDII PRIVIND CAPACITATEA DE FITOREMEDIERE A *Zea mays* L. ÎN SOL POLUAT SIMULTAN CU IONI DE $\text{Cu}^{2+}$ ȘI $\text{Pb}^{2+}$ ȘI EFECTUL AGENȚILOR CHELATORI ȘI AL TRATAMENTULUI CU PLASMĂ ASUPRA DISPONIBILITĂȚII METALELOR**

#### **7.1. Scopul și importanța cercetării**

Scopul cercetărilor din acest capitol constă în investigarea capacității plantei *Zea mays* L. de a tolera și de a bioacumula ionii de cupru și plumb, reprezentând astfel o componentă esențială în domeniul fitoremedierii. De asemenea, capitolul vizează sublinierea importanței și a relevanței studiilor în acest domeniu, precum și oferirea unei perspective asupra disponibilității metalelor și a eficienței fitoremedierii prin utilizarea de agenți chelatori, cum ar fi acidul etilendiaminotetraacetic (EDTA) și acidul citric (CA) sau a semințelor tratate în plasmă, în strategiile de depoluare ale solului.

În scopul îndeplinirii obiectivului principal al tezei, care constă în utilizarea plantelor pentru eliminarea cuprului și plumbului din sol prin fitoremediere, am conceput un program experimental format din patru serii de experimente (lucrate în triplicat), după cum urmează:

- Evaluarea capacității plantei *Zea mays* L. de a tolera toxicitatea ionilor de cupru și plumb aflați simultan în solul poluat artificial cu acești ioni la diferite concentrații;
- Studiul capacității plantei *Zea mays* L. de a acumula în țesuturi ionii de cupru și plumb din solul poluat, prin adăugarea agentului chelator acid etilendiaminotetraacetic (EDTA);
- Analiza potențialului de creștere al capacității plantei *Zea mays* L. de a reține ionii metalici de cupru și plumb din sol, prin adăugarea acidului citric (CA);
- Determinarea biodisponibilității ionilor metalici din țesuturile plantei *Zea mays* L. prin aplicarea ambilor agenți chelatori (EDTA și acid citric) pe solul poluat cu cupru și plumb la diferite concentrații;
- Investigarea eficienței fitoremedierii prin utilizarea semințelor tratate în plasmă.

#### **7.2. Impactul agenților chelatori (EDTA și acid citric) asupra fitoremedierii solului poluat cu $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$**

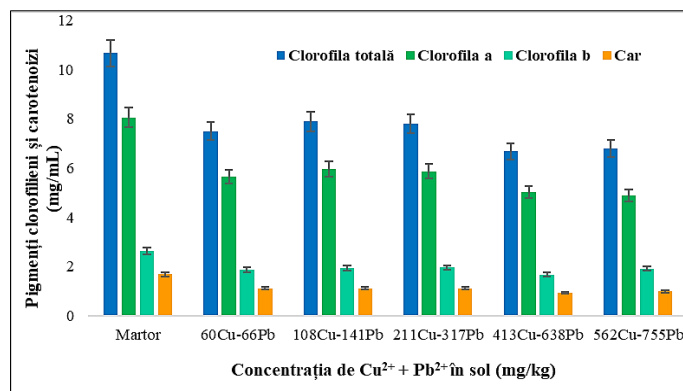
##### *7.2.1. Efectele cumulative ale ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ asupra creșterii și dezvoltării plantei *Zea mays* L. în condiții de seră*

Analizând toleranța plantei la stresul generat de cele două metale din sol, se observă o stimulare a toleranței frunzelor de 6% la concentrația 60 mg/kg  $\text{Cu}^{2+}$ +66 mg/kg  $\text{Pb}^{2+}$ . S-au înregistrat valori ale indicelui de toleranță între 40% - 95% pentru sistemul radicular, 39% - 84% pentru tulpini și 27% - 106% pentru frunze. La concentrația cea mai ridicată din intervalul selectat, și anume 562 mg/kg  $\text{Cu}^{2+}$ +755 mg/kg  $\text{Pb}^{2+}$ , s-a remarcat o toleranță de peste 50% a plantei (80% rădăcini, 70% tulpini și 51% frunze).

Pigmenții fotosintetici remarcă valori relativ constante în intervalul de concentrații selectat:

- *Clorofila totală* a înregistrat valori cuprinse între 6,7% - 7,9%;

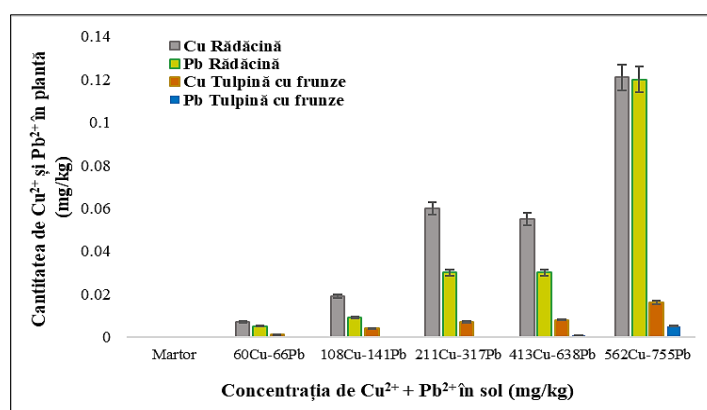
- Clorofila a a variat între procentul 4,9% și 6%;
- Clorofila b a prezentat în urma analizei valori de la 1,7% până la 2%;
- Pigmenții carotenoizi au înregistrat valori cuprinse între 0,9% și 1% (fig. 7.5).



**Fig. 7.5.** Influența ionilor de  $Cu^{2+}+Pb^{2+}$  asupra pigmentilor clorofilieni și carotenoizi

Conform valorilor obținute s-a sesizat o creștere a conținutului ionilor metalici în plantă odată cu creșterea concentrațiilor metalelor în sol. Prin urmare, s-au evidențiat următoarele aspecte (fig. 7.6):

- pentru metalul  $Cu^{2+}$  conținut al ionilor metalici în **rădăcini** de la 0,07 mg/g de plantă, până la 1,2 mg/g de plantă, iar în **tulpină cu frunze** de la 0,02 mg/g de plantă până la 0,2 mg/g de plantă;
- pentru metalul  $Pb^{2+}$  s-a remarcat un potențial de absorbanță al **rădăcinii** cuprins între 0,05 mg/g de plantă și 1,1 mg/g de plantă, iar pentru **tulpină cu frunze**, conținutul de metal a variat între 0,007 mg/g de plantă și 0,1 mg/g de plantă.



**Fig. 7.6.** Conținutul de  $Cu^{2+}$  și  $Pb^{2+}$  din țesuturile plantei *Zea mays* L.

În cazul  $Cu^{2+}$  factorul de bioconcentrare (BCF) a fost cuprins între 0,117 și 0,284 ceea ce evidențiază că planta *Zea mays* L. este o plantă slab acumuloare. Factorul de bioacumulare (BAC) a variat de la 0,017 până la 0,037 punând în evidență potențialul redus de absorbanță și mobilizare al

cuprului în partea aeriană a plantei. Factorul de translocare (TF) a fost între 0,117 și 0,211 indicând un transfer inefficient al ionilor metalici din rădăcini în tulpini și frunze.

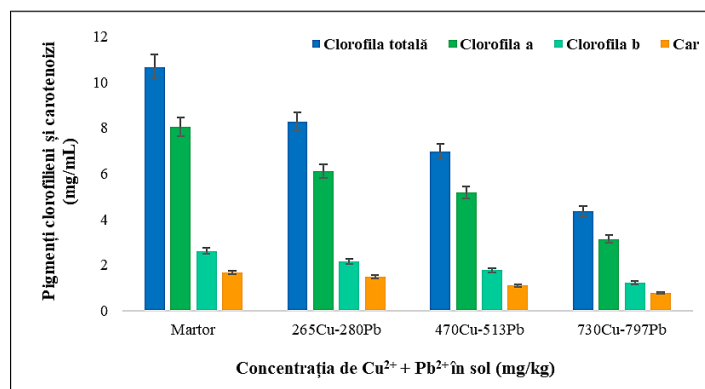
De asemenea, în cazul  $Pb^{2+}$  factorul de bioconcentrare (BCF) a avut valori cuprinse în intervalul 0,047– 1,159, evidențiind potențialul acumulator al plantei la concentrații ridicate ale plumbului în sol. Factorul de bioacumulare (BAC) a înregistrat valori de la 0 până la 0,007, lucru care ne arată că *Zea mays* L. este o plantă cu un nivel redus de acumulare a ionilor de plumb. Comparând cele două metale, s-a constatat un potențial mai ridicat al plantei *Zea mays* L. de acumulare și translocare a ionilor de  $Cu^{2+}$  din sol în rădăcini și tulpini cu frunze.

### 7.2.2. Efectele cumulative ale ionilor de $Cu^{2+}$ și $Pb^{2+}$ , cu adăugarea EDTA, asupra dezvoltării și potențialului de bioacumulare al plantei *Zea mays* L.

Analizând toleranța *Zea mays* L. la stresul din sol generat de cupru și plumb s-a remarcat o toleranță de peste 90% pentru rădăcini, peste 70% pentru tulpini și până la 100% pentru frunze. De asemenea, s-a evidențiat o stimulare a sistemului radicular la concentrația 730 mg/kg  $Cu^{2+}$ +797 mg/kg  $Pb^{2+}$  cu 4%, și în cazul frunzelor cu 17% la concentrația 265 mg/kg  $Cu^{2+}$ +280 mg/kg  $Pb^{2+}$ . Astfel, creșterea concentrației de metale în sol, nu a influențat semnificativ dezvoltarea plantei *Zea mays* L.

Pigmenții clorofilieni și carotenoizi au evidențiat o descreștere constantă a valorilor pe măsura creșterii concentrației metalelor în sol (fig. 7.11). Astfel:

- *clorofila totală* a înregistrat valori cuprinse între 4,4% și 8,3%;
- *clorofila a* a prezentat valori de la 3,1% până la 6,1%;
- *clorofila b* a evidențiat un interval al procentelor obținute cuprins între 1,2% și 2,2%.



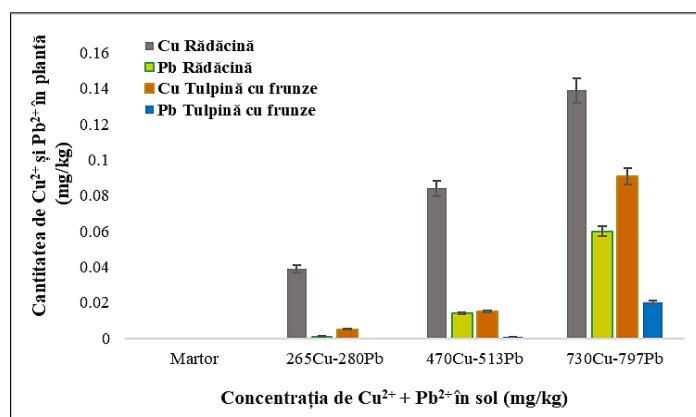
**Fig. 7.11.** Efectele ionilor de  $Cu^{2+}+Pb^{2+}$  asupra pigmentilor clorofilieni și carotenoizi ai plantei

În urma determinărilor de spectrometrie de absorbție atomică (AAS) s-a constatat o creștere a conținutului de ioni metalici în planta pe măsură ce concentrația celor două metale în sol se accentuează (fig. 7.13). Astfel:

- în cazul ionului de  $Cu^{2+}$  s-a evidențiat un conținut al metalului în **rădăcini** de la 0,039 mg/g de plantă, până la 0,139 mg/g de plantă, iar în tulpină cu frunze un conținut cuprins între 0,005 mg/g de plantă și 0,091 mg/g de plantă;



- în ceea ce privește conținutul de  $Pb^{2+}$  din planta *Zea mays* L. s-a constatat în **rădăcini** o cantitate de 0,001 – 0,06 mg/g de plantă, iar în **tulpină cu frunze** s-a observat o cantitate a ionilor metalici de 0 – 0,02 mg/g de plantă.



**Fig. 7.13.** Conținutul de  $Cu^{2+}$  și  $Pb^{2+}$  în țesuturile plantei *Zea mays* L. la adăugarea în sol de EDTA

Factorii de determinare a eficienței de fitoremediere a  $Cu^{2+}$  din solul poluat simultan cu  $Cu^{2+}$  și  $Pb^{2+}$  s-au remarcat valori de la 0 până la 0,655 după cum urmează:

- factorul de bioconcentrare (BCF) a avut valori cuprinse în intervalul 0,147 – 0,191; evidențiind un potențial de fitostabilizare al plantei;
- factorul de bioacumulare (BAC) a înregistrat valori de la 0,019 (până la 0,125; accentuând o capacitate redusă de acumulare a ionilor de către planta;
- factorul de translocare (TF) a variat între 0,128 și 0,655.

În ceea ce privește eficiența de fitoremediere a plantei *Zea mays* L. a ionilor de  $Pb^{2+}$  din solul poluat atât cu  $Pb^{2+}$ , cât și  $Cu^{2+}$  s-au evidențiat următoarele:

- acumularea metalului din sol în rădăcinile plantei (BCF) a variat în funcție de concentrația metalelor din sol de la 0,004 la 0,075;
- absorbția plumbului și transferul acestuia în componentele aeriene (BAC) a avut valori între 0 – 0,025; evidențiind un potențial de acumulare redus;
- translocarea ionilor metalici de la sistemul radicular în tulpină și frunze (TF) a fost cuprins în intervalul de valori 0 – 0,50 (la concentrația de 513 mgPb/kg).

### 7.2.3. Efectele cumulative ale ionilor de $Cu^{2+}$ și $Pb^{2+}$ , cu adăugarea acidului citric, asupra creșterii și capacității de fitoremediere a plantei *Zea mays* L.

Analiza toleranței *Zea mays* L. la stresul generat de ionii metalici din sol a subliniat procente de peste 76%. Rădăcinile au evidențiat o toleranță de la 76% (la concentrația 470 mg/kg  $Cu^{2+}$ +513 mg/kg  $Pb^{2+}$ ) până la un procent de 96% (la concentrația 265 mg/kg  $Cu^{2+}$ +280 mg/kg  $Pb^{2+}$ ). În ceea ce privește partea aeriană, tulpinile au înregistrat valori ale toleranței cuprinse între 81% (la concentrația 265 mg/kg  $Cu^{2+}$ +280 mg/kg  $Pb^{2+}$ ) – 96% (la concentrația 470 mg/kg  $Cu^{2+}$ +513 mg/kg  $Pb^{2+}$ ), iar frunzele au evidențiat o stimulare a toleranței la concentrațiile mici cu 10% (la concentrația 470 mg/kg  $Cu^{2+}$ +513 mg/kg  $Pb^{2+}$ ), respectiv 20% (la concentrația 265 mg/kg  $Cu^{2+}$ +280 mg/kg  $Pb^{2+}$ ).

În ceea ce privește pigmenții clorofilieni și carotenoizi din planta *Zea mays* L. (fig. 7.18), la momentul recoltării rezultatele au arătat astfel:

- clorofila totală a înregistrat valori cuprinse între 7,3% și 8,5%;
- clorofila a a prezentat un procent minim de 5,5% și unul maxim de 5,5%;
- clorofila b a variat între intervalul de valori 1,8% și 2%;
- pigmenții carotenoizi s-au încadrat între 1% și 1,2%.

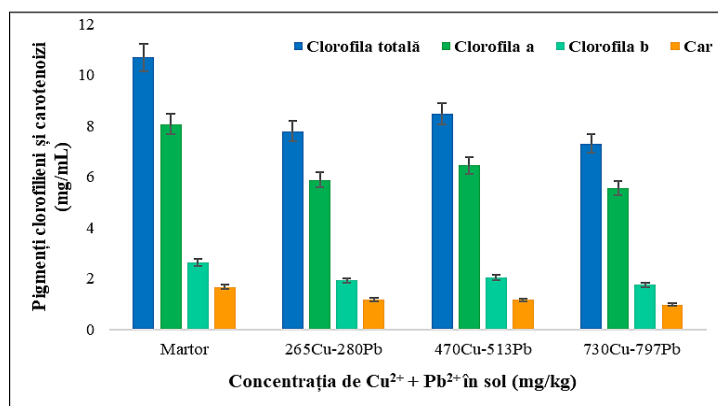


Fig. 7.18. Efectele  $\text{Cu}^{2+} + \text{Pb}^{2+}$  asupra pigmenților fotosintetici din planta *Zea mays* L.

Eficiența fitoremedierii solului poluat cu ioni de cupru și plumb, cu adăugarea agentului chelator AC a fost analizată prin intermediul spectrometriei de absorbție atomică (AAS) (fig. 7.20), în scopul determinării cantitative a fiecărui metal din țesuturile plantei și stabilirii efectelor agentului chelator AC în absorbția ionilor. Rezultatele au arătat următoarele:

- în cazul  $\text{Cu}^{2+}$  absorbția ionilor în **rădăcini** a înregistrat valori cuprinse în intervalul 0,029 mg/g de plantă – 0,09 mg/g de plantă, iar în **tulpină cu frunze** în intervalul 0,006 mg/g de plantă – 0,02 mg/g de planta.
- în cazul  $\text{Pb}^{2+}$  conținutul de metal în **rădăcini** a variat între 0,002 mg/g de plantă și 0,04 mg/g de plantă, iar în **tulpină cu frunze** conținutul ionilor metalici a fost cuprins între 0 – 0,004 mg/g de planta.

Pe baza valorilor cantitative determinate la spectrometria de absorbție atomică (AAS) s-au identificat factorii de bioconcentrare (BCF), bioacumulare (BAC) și translocare (TF):

- În ceea ce privește metalul  $\text{Cu}^{2+}$  acumularea ionilor din sol în rădăcinile plantei (factorul de bioconcentrare) a variat între 0,110 și 0,173. Acumularea cuprului și mobilizarea lui în componentele aeriene ale plantei (factorul de bioacumulare) a avut un nivel redus, înregistrând valori de 0,033– 0,055. De asemenea factorul de translocare, respectiv transferal metalului din rădăcină în tulpină și frunze a fost sub valoarea 1, arătând un potențial de fitostabilizare al plantei;
- În privința metalului  $\text{Pb}^{2+}$  factorul de bioconcentrare (BCF) a avut valori cuprinse între 0,007 și 0,050; evidențiind un potențial fitostabilizator al plantei. Factorul de bioacumulare (BAC) a înregistrat valori de 0 – 0,005, iar factorul de translocare a variat între 0 și 0,100; valori sub 1 care au arătat un transfer ineficient al ionilor de plumb din rădăcini în tulpină și frunze.

#### 7.2.4. Efectele combinate ale ionilor de $\text{Cu}^{2+}$ și $\text{Pb}^{2+}$ și ale agenților chelatori EDTA și acid citric asupra dezvoltării și capacității de fitoremediere a *Zea mays L.*

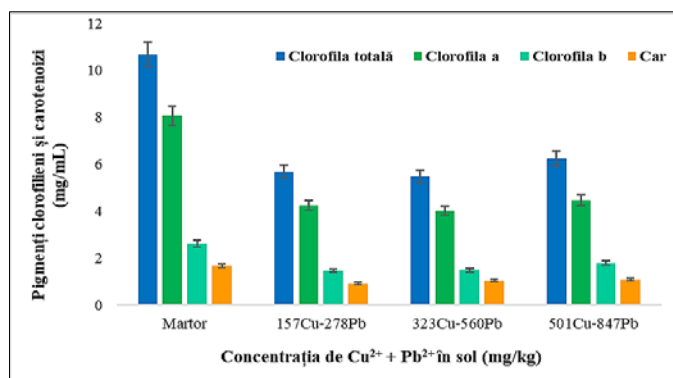
Sub influența ionilor metalici și a agenților de chelare, planta a prezentat o toleranță de 100% a rădăcinilor la concentrația minimă de 157 mg/kg  $\text{Cu}^{2+}$ +278 mg/kg  $\text{Pb}^{2+}$  și o stimulare de 11% la concentrația 323 mg/kg  $\text{Cu}^{2+}$ +560 mg/kg  $\text{Pb}^{2+}$ . De asemenea, tulpinile au evidențiat o toleranță cuprinsă între 76% la concentrațiile mici de ioni metalici în sol și 85% (la concentrația 323 mg/kg  $\text{Cu}^{2+}$ +560 mg/kg  $\text{Pb}^{2+}$ ). În ceea ce privește frunzele, s-a observat o creștere a toleranței odată cu creșterea concentrației de metale în sol.

Pigmenții fotosintetici determinați din biomasa proaspătă la momentul recoltării (fig. 7.25) au prezentat valori relativ constante în intervalul de concentrații reale, însă mai scăzute decât cele obținute la proba martor. Astfel s-a evidențiat:

- *clorofila totală* a înregistrat valori cuprinse între 5,5% și 6,2%;
- *clorofila a* a variat de la 4% la un procent de 4,5%;
- *clorofila b* a prezentat valori cuprinse între 1,5% și 1,8%;
- *pigmenții carotenoizi* au înregistrat un procent de 1% în intervalul de concentrații reale, procent ușor sub cel al probei martor de 1,7%.

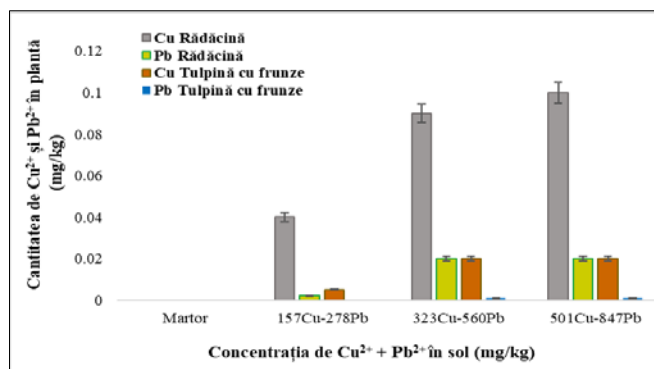
Rezultatele obținute în urma analizei și reprezentate grafic în fig. 7.27 au arătat o mărire constantă a ionilor de  $\text{Cu}^{2+}$  în rădăcinile plantei pe măsură ce concentrația celor două metale selectate în sol a crescut. Prin urmare s-au evidențiat următoarele:

- $\text{Cu}^{2+}$  a fost găsit în **rădăcini** într-o cantitate de 0,04 mg/g de plantă și până la 0,1 mg/g de plantă, iar în **tulpină și frunze** într-o cantitate cuprinsă între 0,005 mg/g de plantă și 0,02 mg/g de plantă;
- conținutul de  $\text{Pb}^{2+}$  în **rădăcini** a variat de la 0,002 mg/g de plantă la 0,02, iar în **tulpină și frunze** conținutul de metal a înregistrat valori cuprinse între 0 și 0,008.



**Fig. 7.25.** Efectele cumulative ale  $\text{Cu}^{2+}$  și  $\text{Pb}^{2+}$  asupra pigmentilor fotosintetici ai plantei

Pentru  $\text{Cu}^{2+}$  factorul de bioconcentrare (BCF) a variat între 0,200 și 0,279; arătând un potențial de fitostabilizarea a plantei. Factorul de bioacumulare (BAC) a avut un nivel redus, înregistrând valori de la 0,032, dublându-se valoarea la 0,062 la o concentrație de 323 mgCu/kg în sol. Translocarea cuprului din sistemul radicular în partea aeriană a plantei, a fost cuprinsă între 0,125 și 0,222; evidențiind un transfer ineficient al ionilor în tulpină și frunze. De asemenea, în ceea ce privește  $\text{Pb}^{2+}$  acumularea metalului din sol în rădăcinile plantei (BCF) a atins valori de 0,008 până la 0,036.



**Fig. 7.27.** Conținutul de Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup> cu adăugare de EDTA și AC în țesuturile plantei *Zea mays* L.

### 7.3. Impactul utilizării semințelor *Zea mays* L. tratate în plasmă asupra capacității de fitoremediere a solurilor poluate cu Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup>

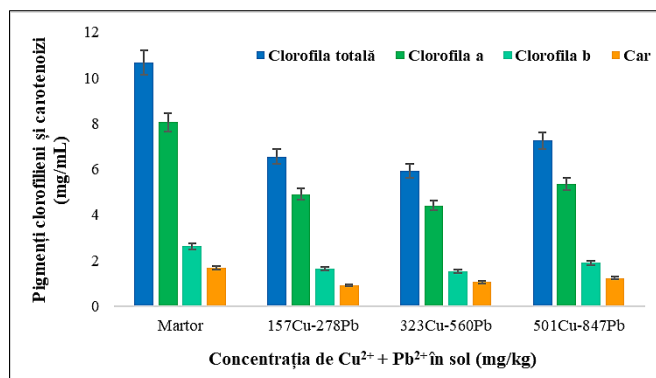
#### 7.3.2. Influența tratamentului în plasmă a semințelor *Zea mays* L. asupra toleranței și fitoremedierii solului poluat simultan cu ionii Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup>

Creșterea relativă în lungime (Er%) a scos în evidență a toleranță a părților componente *Zea mays* L. după cum urmează: rădăcină > frunze > tulpină (fig. 7.31a). De asemenea, s-a remarcat creșterea toleranței plantei odată cu creșterea ionilor metalici din sol. Astfel:

- Pentru sistemul radicular toleranța a fost cuprinsă între **81%** și **99%**;
- Tulpina a înregistrat valori ale toleranței de **60%** până la **73%**;
- Frunzele au evidențiat o rată a toleranței stresului metalic cuprinsă între **60%** și **85%**.

Rezultatele obținute (fig. 7.33) în urma analizei și calculelor au arătat o valoare mai crescută a pigmentilor clorofilieni și carotenoizi la concentrația cea mai mare din interval, respectiv 501 mg/kg Cu<sup>2+</sup>+847 mg/kg Pb<sup>2+</sup>, comparativ cu restul concentrațiilor mai mici. Acest lucru evidențiază că ionii metalici nu aduc efecte majore asupra pigmentilor fotosintetici ai plantei *Zea mays* L. Prin urmare:

- Clorofila totală a fost cuprinsă între 6% și 7,2;
- Clorofila *a* a înregistrat valori de 4,4%, 5% și 5,4%;
- Clorofila *b* a variat de la valoarea de 1,5% la o valoare de 1,9%;
- Pigmenții carotenoizi au înregistrat valorile cele mai scăzute, respectiv 1% și 1,3%.



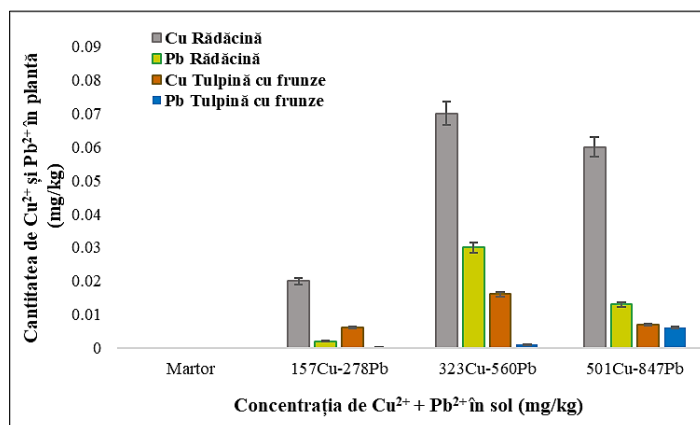
**Fig. 7.33.** Efectele ionilor Cu<sup>2+</sup>+Pb<sup>2+</sup> asupra pigmentilor clorofilieni și carotenoizi în planta *Zea mays* L.

Rezultatele obținute în urma analizei cantitative sunt reprezentate grafic în **fig. 7.35** și evidențiază o tendință de creștere-descreștere a conținutului de metale din plantă pe măsură ce concentrația ionilor metalici din sol crește. Astfel, s-a observat:

- un conținut de **Cu<sup>2+</sup> în rădăcini** de la 0,02 mg/g de plantă la 0,07 mg/g de plantă, iar în **tulpină cu frunze** între 0,006 mg/g de planta – 0,016 mg/g de planta;
- un conținut de **Pb<sup>2+</sup> în rădăcinile *Zea mays* L.** cuprins între valorile 0,002 mg/g de plantă și 0,03 mg/g de plantă, iar **tulpina cu frunze** a înregistrat valori între 0,001 mg/g de plantă și 0,006 mg/g de planta.

În urma calculelor și determinării celor 3 factori, s-a sesizat următoarele:

- În privința metalului **Cu<sup>2+</sup>** factorul de bioconcentrare (BCF) a variat între valorile 0,120 – 0,217; factorul de bioacumulare (BAC), adică gradul de absorbție a metalului în componentele aeriene ale plantei a prezentat valori cuprinse în intervalul 0,014 – 0,050. Acest interval al BAC a evidențiat faptul că *Zea mays* L., ale cărei semințe au fost tratate în plasmă este o plantă cu acumulare redusă a ionilor de cupru.
- Metalul **Pb<sup>2+</sup>** a prezentat valori de bioconcentrare ale ionilor în rădăcini (BCF) între 0,008 – 0,054. Acumularea metalului și transferul acestuia în tulpină și frunze (BAC) a înregistrat valori cuprinse între 0,001 și 0,007, iar translocarea ionilor de plumb din sistemul radicular în părțile aeriene ale plantei a evidențiat valori de la 0,033 până la 0,462.



**Fig. 7.35.** Conținutul de Cu<sup>2+</sup> și Pb<sup>2+</sup> din țesuturile plantei *Zea mays* L. ale cărei semințe au fost tratate în plasmă

**S-a observat o dezvoltare mai intensă a plantei *Zea mays* L. și un nivel mai mare de toleranță la stresul generat de ionii metalici din sol, atunci când aceasta fost cultivată pe solul poluat cu cele două metale grele și s-au aplicat utilizând agenți chelatori și semințe tratate în plasmă, comparativ cu plantele crescute doar pe solul poluat, fără tratamentele menționate.**

De asemenea, eficiența plantei *Zea mays* L. de acumulare a celor două metale, respectiv cupru și plumb, în cele 5 cazuri diferite (cu/fără adăugare de agenți chelatori sau utilizarea semințelor tratate anterior în plasma) s-a clasat astfel:

- **Plantă slab acumuloare** – pentru absorbția cuprului
- **Plantă acumuloare** – pentru absorbția plumbului

- **Plantă cu nivel redus de acumulare** – pentru absorbția cuprului în prezența EDTA
- **Plantă cu nivel redus de acumulare** – pentru absorbția plumbului în prezența EDTA
- **Plantă cu nivel redus de acumulare** – pentru absorbția cuprului în prezența CA
- **Plantă fitostabilizatoare** – pentru absorbția plumbului în prezența CA
- **Plantă fitostabilizatoare** – pentru absorbția cuprului în prezența EDTA și CA
- **Plantă cu nivel redus de acumulare** – pentru absorbția plumbului în prezența EDTA și CA
- **Plantă fitostabilizatoare** – pentru absorbția cuprului în cazul utilizării semințelor tratate în plasmă
- **Plantă cu nivel redus de acumulare** – pentru absorbția plumbului în cazul utilizării semințelor tratate în plasmă

## **CAPITOLUL 8.**

### **EVALUAREA PERFORMANTELOR DE MEDIU, ECONOMICE ȘI SOCIALE ALE ALTERNATIVELOR DE FITOREMEDIERE A METALELOR GRELE DIN SOLURI POLUATE BAZATE PE ANALIZA COST – BENEFICIU (ACB)**

#### **8.1. Scopul și importanța cercetării**

Impactul asupra mediului joacă un rol important în alegerea celei mai bune tehnologii de bioremediere a solului poluat. În acest sens, prin intermediul instrumentelor de luare a deciziilor, putem analiza durabilitatea procesului de producție și de luare a deciziei pentru aplicare, pe baza unui suport oferit în urma analizei performanței ecologice și economice.

Scopul analizei cost-beneficiu este de a evalua eficiența, viabilitatea economică și impactul asupra mediului a două metode alternative de fitoremediere a metalelor grele (cupru - Cu și plumb - Pb) din soluri poluate, utilizând planta *Zea mays* L. (porumb). Analiza compară performanțele de mediu, economice și sociale pentru următoarele variante de fitoremediere:

1. **Utilizarea agenților chelatori (acid etilendiaminotetraacetic - EDTA și acid citric - AC)**
2. **Utilizarea semințelor de porumb tratate în plasmă**

Prin această evaluare, se urmărește identificarea celor mai importante beneficii și costuri, metode eficiente pentru reducerea poluării solurilor cu metale grele, creșterea productivității agricole și minimizarea impactului negativ asupra mediului.

#### *8.2.1. Elaborarea scenariilor/alternativelor de fitoremediere*

În scopul dezvoltării ACB au fost elaborate 20 scenarii/alternative de fitoremediere (notate cu A) bazate pe experimentele în care planta *Zea mays* L. a fost crescută pe o perioadă de 8 săptămâni pe un sol poluat cu metalele cupru și plumb, cu adăugare de agenți chelatori (acid etilendiaminotetraacetic – EDTA și acid citric -CA) sau folosind semințe tratate în plasma, după cum urmează:

- A1** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **211 mg/kg**
- A2** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **562 mg/kg**
- A3** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **317 mg/kg**
- A4** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **755 mg/kg**
- A5** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **265 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA**
- A6** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **730 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA**
- A7** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **280 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA**
- A8** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **797 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA**
- A9** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **265 mg/kg**, cu adăugare de **CA**
- A10** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **730 mg/kg**, cu adăugare de **CA**
- A11** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **280 mg/kg**, cu adăugare de **CA**
- A12** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **797 mg/kg**, cu adăugare de **CA**
- A13** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **157 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA și CA**
- A14** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **501 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA și CA**
- A15** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **278 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA și CA**
- A16** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **847 mg/kg**, cu adăugare de **EDTA și CA**
- A17** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **157 mg/kg**, cu **semințe tratate în plasmă**
- A18** - fitoremedierea **Cu** – concentrație teoretică inițială în sol de **501 mg/kg**, cu **semințe tratate în plasmă**
- A19** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **278 mg/kg**, cu **semințe tratate în plasmă**
- A20** - fitoremedierea **Pb** – concentrație teoretică inițială în sol de **847 mg/kg**, cu **semințe tratate în plasmă**

### 8.2.3. Evaluarea și analiza costurilor

Determinarea și evaluarea costurilor reprezintă o etapă de bază în (ACB) pentru a selecta metoda optimă de fitoremediere a metalelor grele, cum ar fi cuprul (Cu) și plumbul (Pb), din solurile poluate. Aceasta implică identificarea și cuantificarea tuturor costurilor asociate fiecărui scenariu propus, pentru a asigura o comparație corectă pentru fiecare alternativă (A1 – A20).

- *Costuri necesare realizării și implementării proiectului:* costuri pentru echipamente moderne și pentru management organizațional, costul achiziționării EDTA și AC, costul echipamentelor pentru tratamentul cu plasmă;
- *Costuri după implementarea proiectului (costuri de exploatare):* Costurile operaționale și de întreținere a echipamentului, costurile legate de energia necesară pentru tratamentul cu plasmă, costurile analizelor pentru evaluarea eficienței fitoremedierii, costuri pentru utilități, costuri de operare și mentenanță, costuri pentru personal.

### 8.2.4. Evaluarea și analiza beneficiilor

Beneficiile pentru alternativele A1-A20 au fost structurate pe trei domenii: *economic, ecologic și social*. Cele trei tipuri de beneficii specifice tezei nu se referă doar la indicatorii fizici și ecologici, ci și la variabilele socio-economice care pot fi evaluate din punct de vedere cantitativ.

Beneficiile directe au fost calculate din punct de vedere economic ca fiind 5% din totalul costurilor. Valoarea actualizată netă a beneficiilor se determină folosind rata de actualizare egală cu rata inflației și perioada de actualizare de 10 ani.

### 8.2.5. Calculul și analiza rapoartelor cost-beneficiu și beneficiu-cost

Rapoartele cost-beneficiu (C/B) și beneficiu-cost (B/C) sunt rezultatul raportului valorilor actualizate a costurilor totale la beneficiile actualizate. Rapoartele C/B și B/C se pot calcula cu Ec. (8.2) și ec. (8.3) (Noel și McCormack, 2014):

C/B = costuri totale actualizate/beneficii totale actualizate (8.2)

B/C = beneficii totale actualizate/costuri totale actualizate (8.3)

**Toate alternativele sunt rentabile, având  $B/C > 1$  (fig. 8.21).**

**În cazul fitoextracției Cu, s-au remarcat următoarele aspecte:**

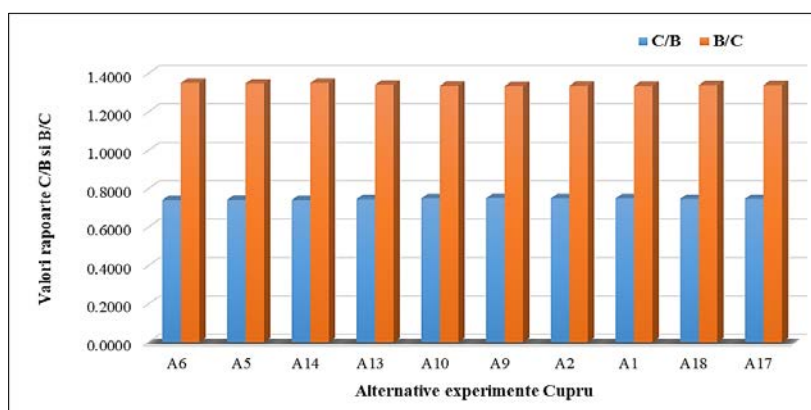
- **Valorile B/C:** A6 (1,3502) > A5 (1,3479) > A14 (1,3502) > A13 (1,3409) > A10 (1,335) > A9 (1,3334) > A2 (1,3350) > A1 (1,3345) > A18 (1,3387991) > A17 (1,3387138).
- **Valorile C/B:** A6 (0,7406) > A5 (0,7419) > A14 (0,7406) > A13 (0,7458) > A10 (0,7491) > A9 (0,7500) > A2 (0,7490) > A1 (0,7490) > A18 (0,746938) > A17 (0,7469857).

**A6 și A14 (fitoremedierea Cu cu concentrație reală de 730, respectiv 501 mg/kg, cu adăugare de EDTA) rămân cele mai eficiente și rentabile alternative din perspectiva rapoartelor C/B și B/C.**

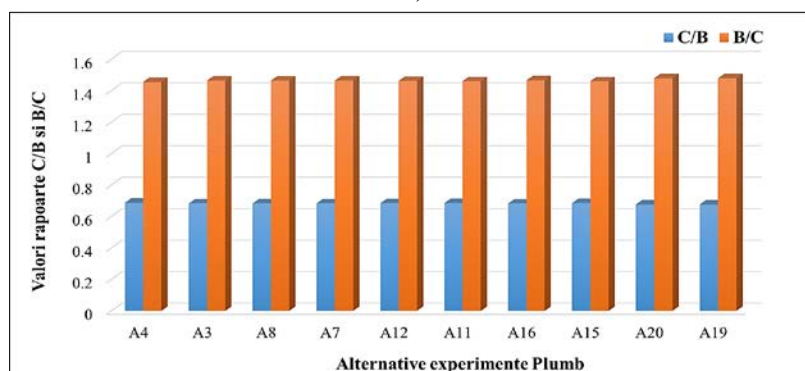
**În cazul fitoremedierii Pb, s-au remarcat următoarele aspecte:**

- **Valorile B/C:** A19 (1,4787) > A20 (1,4785) > A16 (1,4654) > A3 (1,4643) > A7 (1,4642) > A8 (0,4640) > A12 (0,4617) > A11 (0,4602) > A15 (0,4599) > A4 (0,4552).
- **Valorile C/B:** A4 (0,6871) > A15 (0,6849) > A11 (0,6848) > A12 (0,6841) > A8 (0,6830) > A7 (0,6829) > A3 (0,6828) > A16 (0,6824) > A20 (0,6763) > A19 (0,6762).

**A19 și A20 (fitoremedierii Pb cu concentrație inițială de 278 și 847 mg/kg cu semințe tratate în plasmă) prezintă cele mai bune rezultate, cu cele mai mici rapoarte C/B și cele mai mari rapoarte B/C, indicând cea mai mare eficiență economică.**



a)



b)

**Fig. 8.21.** Analiza rapoartelor cost-beneficiu (C/B) și beneficiu-cost (B/C) a: a) alternativelor cu metalul cupru, b) alternativelor cu metalul plumb



### **8.3. Analiza de sensibilitate pentru procesul de fitoremediere a solurilor poluate cu metale grele**

#### *8.3.2. Interpretarea rezultatelor pentru VAN în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $Cu^{2+}$ din sol*

**Valoarea netă actualizată (VAN)**, cunoscută și sub acronimul NPV-Net Present Value în limba engleză, este o măsură financiară folosită pentru a evalua profitabilitatea unei investiții sau a unui proiect.

##### **Scenariul pesimist:**

- **Cea mai mică valoare negativă VAN** s-a observat în scenariul A2 (-941,000.00 RON), ceea ce sugerează că fitoremedierea Cu cu concentrație teoretică inițială în sol de 1200 mg/kg fără adaosuri are cele mai mici pierderi.
- **Cea mai mare valoare negativă VAN** s-a observat în scenariul A1 (-1,419,432.63 RON), ceea ce sugerează că fitoremedierea Cu cu concentrație teoretică inițială în sol de 400 mg/kg fără adaosuri are cele mai mari pierderi.

##### **Scenariul optimist:**

- **Cea mai mare valoare VAN pozitivă** este observată în scenariul A2 și A13 (561,602.90 RON), ceea ce sugerează că fitoremedierea Cu cu concentrație teoretică inițială în sol de 1200 mg/kg fără adaosuri și cu adaos de EDTA și AC sunt cele mai profitabile.
- **Cea mai mică valoare VAN pozitivă** este observată în scenariul A1 (454,432.63 RON), ceea ce sugerează că fitoremedierea Cu cu concentrație teoretică inițială în sol de 400 mg/kg fără adaosuri este cel mai puțin profitabil.

#### *8.3.3. Interpretarea rezultatelor pentru RIR (%) în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $Cu^{2+}$ din sol*

**Rata Internă de Rentabilitate (RIR)**, cunoscută și sub acronimul IRR - Internal Rate of Return în limba engleză este o măsură utilizată în analiza investițiilor pentru a evalua profitabilitatea potențială a unui proiect sau a unei investiții.

##### **Scenariul pesimist:**

- **Cel mai negativ RIR** este observat în scenariile A5 și A6 (-202,12%), sugerând că adăugarea de EDTA la fitoremedierea Cu nu este rentabilă sub concentrațiile respective în sol de 265 mg/kg și 730 mg/kg.
- **Cel mai puțin negativ RIR** este observat în scenariul A2 (-101,00%), indicând că fitoremedierea Cu la o concentrație inițială de 562 mg/kg în sol este relativ mai puțin rentabilă decât alte scenarii.

##### **Scenariul optimist:**

- **Cel mai puțin negativ RIR** este observat în scenariile A5 și A6 (-55,88% și -55,63%), sugerând că adăugarea de EDTA poate îmbunătăți rentabilitatea, dar nu suficient pentru a face investiția profitabilă.
- **Cel mai negativ RIR** în scenariul optimist este observat în A9 și A10 (-99,51%), indicând că adăugarea de acid citric la fitoremedierea Cu are cele mai mari pierderi relative comparativ cu alte scenarii.

#### *8.3.4. Interpretarea rezultatelor pentru variația indicelui de sensibilitate pentru alternativele de fitoremediere a $Cu^{2+}$ din sol*

Indicele de sensibilitate este o măsură utilizată pentru a evalua cât de sensibil este rezultatul unui proiect (de exemplu, NPV sau IRR) la schimbările în variabilele de intrare (cum ar fi costurile, beneficiile, ratele de actualizare). Acesta ajută la identificarea riscurilor și la înțelegerea impactului variațiilor diferitelor factori asupra profitabilității proiectului.

- **Scenariul A1** are cel mai negativ indice de sensibilitate (-482500), ceea ce sugerează o sensibilitate extrem de mare la modificările în ipotezele de bază. Acest lucru indică faptul că, chiar și mici schimbări în condițiile inițiale ar putea avea un impact semnificativ asupra rezultatelor financiare, făcând acest scenariu foarte riscant.
- **Scenariul A2** are un indice de sensibilitate de -242924,55, ceea ce indică o sensibilitate relativ mai mică decât majoritatea celorlalte scenarii. Acest lucru sugerează că fitoremedierea Cu la o concentrație reală de 562 mg/kg fără aditivi este mai stabilă din punct de vedere financiar.

#### *8.3.5. Interpretarea rezultatelor pentru VAN în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $Pb^{2+}$ din sol*

##### **Scenariul optimist:**

Scenariile cele mai avantajoase sunt A7 și A3, cu valori VAN de 628113,64 RON și 614211,74 RON.

Scenariile cele mai puțin favorabile sunt A4 și A19, cu valori VAN de 474395,34 RON și 559572,719 RON.

##### **Scenariul pesimist:**

Toate scenariile pesimiste au valori VAN negative, ceea ce sugerează pierderi financiare semnificative. Cele mai mari pierderi sunt în scenariile **A8** (-1064300 RON) și **A7** (-1059800 RON), ceea ce indică riscuri financiare foarte mari pentru aceste metode.

#### *8.3.6. Interpretarea rezultatelor pentru RIR (%) în scenariul pesimist și optimist pentru alternativele de fitoremediere a $Pb^{2+}$ din sol*

##### **Scenariul pesimist:**

Toate alternativele luate în considerare prezintă o valoare a RIR de -101%, ceea ce indică o pierdere financiară semnificativă și constantă. Acest lucru arată că, în condiții pesimiste, investițiile în aceste metode de fitoremediere nu sunt rentabile și generează pierderi semnificative indiferent de metoda utilizată.

##### **Scenariul optimist:**

În scenariul optimist, valorile RIR sunt mai apropiate de -100%, dar totuși indică pierderi, deși mai mici comparativ cu scenariul pesimist.

#### *8.3.7. Interpretarea rezultatelor pentru variația indicelui de sensibilitate pentru alternativele de fitoremediere a $Pb^{2+}$ din sol*

**Indicele de sensibilitate** pentru fitoremedierea Pb din sol, arată că toate alternativele prezentate au sensibilități negative, indicând o influență negativă a condițiilor inițiale asupra eficienței fiecărei metode.

**Scenariile A3 și A20** sunt cele mai stabile, având cele mai mici valori negative ale indicelui de sensibilitate, sugerând o performanță relativ mai bună în condiții variate.

**Scenariile A4 și A8** sunt cele mai sensibile, indicând că aceste metode sunt cele mai afectate de schimbările condițiilor inițiale ale solului.

## CONCLUZII GENERALE

Teza de doctorat intitulată „**Impactul fitotoxic al metalelor grele asupra unor plante agricole și potențialul acestora în fitoremedierea solurilor poluate**” abordează o problemă de mare actualitate și relevanță în contextul protecției mediului și al agriculturii sustenabile. Lucrarea se concentrează pe investigarea capacității unor specii de plante agricole, precum **lucerna** (*Medicago sativa* L.), **grâul** (*Triticum aestivum* L.) și **porumbul** (*Zea mays* L.), de a tolera și de a acumula ioni metalici din soluri poluate cu plumb ( $Pb^{2+}$ ) și cupru ( $Cu^{2+}$ ).

Pentru a face o comparație între comportamentul plantelor (lucerna, grâul și porumbul) în solurile poluate cu  $Cu^{2+}$  și  $Pb^{2+}$ , s-au luat în considerare: *toleranța la metale, bioacumularea, translocarea metalelor, precum și impactul asupra creșterii și fotosintezei*:

- **Apecte comune:**

- 1. Toleranța la metale:**

- Toate cele trei plante au demonstrat o toleranță relativ ridicată la  $Cu^{2+}$  și  $Pb^{2+}$ , deși mecanismele de toleranță pot varia ușor între specii. De exemplu, toate plantele au prezentat o creștere constantă în condiții de poluare moderată cu Cu și Pb, sugerând că au mecanisme eficiente de detoxifiere și adaptare.

- 2. Bioacumularea metalelor în rădăcini:**

- În toate cazurile, rădăcinile au fost principalele locuri de acumulare a Cu și Pb. Acest comportament indică un mecanism comun de fitostabilizare, unde metalul este reținut în rădăcini, minimizând translocarea în părțile aeriene, care sunt mai susceptibile la toxicitate.

- 3. Impactul asupra fotosintezei:**

- Cu toate că s-au observat variații în intensitatea răspunsului, toate cele trei plante au arătat o reducere a conținutului de clorofilă la concentrații foarte mari de Cu și Pb, ceea ce sugerează că stresul metalic afectează procesele fotosintetice în mod similar la aceste specii.

- **Caracteristici diferite:**

- 1. Toleranța și adaptabilitatea:**

- *Lucerna: Medicago sativa* L. a demonstrat o toleranță excepțională la  $Cu^{2+}$ , cu o creștere mai bună în prezența acestui metal, comparativ cu Pb. Aceasta ar putea fi datorată capacității sale de a activa mai eficient enzimele antioxidante.

- *Grâul: Triticum aestivum* L. a arătat o toleranță bună la ambele metale, dar cu o creștere mai consistentă în prezența  $Cu^{2+}$  comparativ cu  $Pb^{2+}$ , sugerând o mai bună adaptare la cupru.

- *Porumbul: Zea mays* L. a prezentat o toleranță variată, cu o sensibilitate mai mare la Pb decât la Cu, în special în ceea ce privește dezvoltarea părților aeriene.

- 2. Bioacumularea și translocarea metalelor:**

- *Lucerna*: A acumulat cantități mai mari de Cu în rădăcini, cu o translocare redusă în părțile aeriene, ceea ce face această plantă potrivită pentru fitostabilizare în soluri poluate cu cupru.

- *Grâul*: A arătat o bioacumulare semnificativă în rădăcini atât pentru Cu cât și pentru Pb, dar cu o translocare mai mică a Pb în părțile aeriene, ceea ce sugerează o eficiență ridicată în fitostabilizarea solurilor poluate cu Pb.

- *Porumbul*: A avut o capacitate mai mare de a transloca Cu în părțile aeriene comparativ cu Pb, ceea ce indică un potențial mai mare pentru fitoextracție în cazul poluării cu cupru.

### **3. Impactul asupra creșterii și dezvoltării:**

- *Lucerna*: A arătat o creștere mai robustă în prezența cuprului, comparativ cu plumbul, sugerând o toleranță mai mare la  $\text{Cu}^{2+}$ .

- *Grâul*: A menținut o creștere constantă în ambele medii poluate, dar a avut o dezvoltare mai bună a rădăcinilor în prezența  $\text{Cu}^{2+}$ , sugerând un răspuns adaptativ mai eficient la acest metal.

- *Porumbul*: A fost mai afectat de  $\text{Pb}^{2+}$  decât de  $\text{Cu}^{2+}$ , în special în dezvoltarea părților aeriene, ceea ce poate fi explicat prin sensibilitatea sa la toxicitatea plumbului.

Teza de doctorat „**Impactul fitotoxic al metalelor grele asupra unor plante agricole și potențialul acestora în fitoremedierea solurilor poluate**” aduce o serie de contribuții originale și semnificative în domeniul fitoremedierii și al interacțiunilor plantă-metal, care se pot detalia astfel:

#### **1. Integrarea abordărilor inovatoare în fitoremediere:**

- Unul dintre cele mai notabile elemente de originalitate este integrarea agenților chelatori, cum ar fi EDTA și acidul citric, și a tratamentului cu plasmă în strategiile de fitoremediere. Aceste tehnici, aplicate plantelor agricole *Medicago sativa L.*, *Triticum aestivum L.*, și *Zea mays L.*, nu doar că sporesc eficiența bioacumulării metalelor grele, dar oferă și o abordare nouă și eficientă pentru optimizarea proceselor de fitoextracție.
- Tratamentele inovatoare cu plasmă aplicate semințelor pentru a îmbunătăți toleranța plantelor la stresul metalic reprezintă o altă contribuție originală, care deschide noi perspective pentru cercetarea în fitoremediere.

#### **2. Elucidarea mecanismelor de interacțiune plantă-metal:**

- Cercetarea a dezvăluit mecanisme noi prin care plantele agricole selectate tolerează și acumulează metale grele. Aceste mecanisme includ activarea enzimelor antioxidante, compartimentarea metalelor în vacuolele celulare și menținerea conținutului de pigmenți fotosintetici chiar și în condiții de stres metalic.
- Aceste descoperiri sunt esențiale pentru înțelegerea adaptării plantelor la condițiile de soluri poluate și contribuie la dezvoltarea unor metode de monitorizare mai eficiente.

#### **3. Evaluarea integrată a eficienței și viabilității economice a fitoremedierii:**

- Teza ta este inovatoare prin aplicarea unei analize cost-beneficiu (ACB) detaliate pentru a evalua fezabilitatea economică a strategiilor de fitoremediere propuse. Aceasta este una dintre primele cercetări care combină evaluările experimentale ale eficienței fitoremedierii cu o analiză economică și socială riguroasă, ceea ce permite dezvoltarea unor modele sustenabile de remediere a solurilor poluate.
- Integrarea acestei evaluări economice cu aspectele ecologice și sociale oferă o abordare holistică a viabilității metodelor de fitoremediere, evidențiind avantajele și provocările asociate implementării lor pe scară largă.

#### **4. Demonstrarea potențialului plantelor agricole în fitoremediere:**

- Lucerna, grâul și porumbul au fost studiate nu doar pentru capacitatea lor de a acumula metale grele, dar și pentru potențialul lor de a fi utilizate în combinație cu alte tehnici de remediere, cum ar fi agenții chelatori. Studiul acestor plante agricole comune în contextul fitoremedierii oferă soluții practice și accesibile pentru depoluarea solurilor, având în vedere importanța economică și disponibilitatea acestor culturi.
- Concluziile privind capacitatea de fitostabilizare și fitoextracție a acestor plante, alături de analiza impactului asupra lanțului alimentar și asupra sănătății solului, sunt elemente originale care contribuie la consolidarea rolului plantelor agricole în remedierea ecologică a mediului.

#### **5. Contribuții la monitorizarea și gestionarea culturilor în medii poluate:**

- Studiile efectuate au deschis calea pentru dezvoltarea unor metode avansate de monitorizare a sănătății culturilor, prin evaluarea markerilor fiziologici și biochimici care indică stresul metallic.
- Acest aspect este crucial pentru gestionarea eficientă a culturilor agricole în soluri poluate, prevenind astfel contaminarea alimentelor și asigurând siguranța alimentară.

**Teza de doctorat aduce o contribuție semnificativă la înțelegerea interacțiunilor complexe dintre plantele agricole și metalele grele, deschizând noi perspective pentru ingineria mediului și agricultura sustenabilă. Prin investigarea mecanismelor de toleranță la metale grele și implementarea unor tehnologii avansate, cum ar fi utilizarea agenților chelatori și tratamentul cu plasmă, teza evidențiază potențialul plantelor agricole în fitoremedierea solurilor poluate. Aceste elemente de originalitate subliniază nu doar valoarea științifică a cercetării, ci și impactul practic asupra dezvoltării unor metode durabile pentru gestionarea poluării solurilor și protecția mediului. Contribuțiile aduse de această cercetare oferă soluții inovatoare care pot fi integrate în strategii mai largi de remediere ecologică, promovând astfel practici agricole sustenabile și sprijinind dezvoltarea unor politici de mediu mai eficiente.**

### **BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ**

- Tabone M.D., Cregg J.J., Beckman E.J., Landis A.E., (2010), Sustainability metrics: life cycle assessment and green design in polymers, *Environmental Science and Technology*, **44**, 8264-8269.
- Tandzi L.N., Mutengwa C.S., Ngonkeu E.L.M., Gracen V., (2018), Breeding maize for tolerance to acidic soils: a review, *Agronomy*, **8**, 84, doi: 10.3390/agronomy8060084.
- Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J., (2012), Heavy Metals Toxicity and the Environment, 133-164, On line la: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4144270/>.
- Turner J.A., Nikolova S., Sutton M., (2016), The effect of living alone on the costs and benefits of surgery amongst older people, *Social Science and Medicine*, **150**, 95-103.
- Vătămanu V., (2014), Cerintele culturii de porumb fata de umiditate si fata de sol, *Agrimedia*, 1-12.
- Visentin C., da Silva Trentin W.A., Braun A.B., Thomé A., (2019), Application of life cycle assessment as a tool for evaluating the sustainability of contaminated sites remediation: A systematic and bibliographic analysis, *Science of The Total Environment*, **672**, 893-905.

- Visioli G., Conti F.D., Gardi C., Menta C., (2014), Germination and root elongation bioassays in six different plant species for testing Ni contamination in soil, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **92**, 490-496.
- Yadav K.K., Gupta N., Kumar A., Reece L.M., Singh N., Rezaia S., Khan S.A., (2018), Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects, *Ecological Engineering*, **120**, 274-298.
- Zand D.A., Mühlhing K.H., (2022), Phytoremediation capability and copper uptake of maize (*Zea mays* L.) in copper contaminated soils, *Pollutants*, **2**, 53-65.

## ACTIVITATEA ȘTIINȚIFICĂ

### Lucrări publicate în reviste incluse în Web of Science cu factor de impact

- 2023** *Integrated assessment of Pb(II) and Cu(II) metal ion phyto-toxicity on Medicago sativa L., Triticum aestivum L., and Zea mays L. Plants: Insights into germination inhibition, seedling development, and ecosystem health*, **Ionela-Cătălina Vasilachi-Mitoseru**, Vasile Stoleru, Maria Gavrilăscu, *Plants*, **12**, 3754, DOI: 10.3390/plants12213754 (**IF 4.5, Q1**), (zona roșie).
- Analysis of heavy metal impacts on cereal crop growth and development in contaminated soils*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Vasile Stoleru, Maria Gavrilăscu, *Agriculture*, **13**, 1983, DOI: 10.3390/agriculture13101983 (**IF 3.6, Q1**), (zona roșie).
- 2021** *Occurrence and fate of emerging pollutants in water environment and options for their removal*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana Mihaela Asiminicesei, Daniela Ionela Fertu, Maria Gavrilăscu, *Water*, **13**, 181, DOI: 10.3390/w13020181 (**IF 3.4, Q2**), (zona galbenă).

### Lucrări publicate în reviste incluse în baze de date

- 2021** *Methods for the remediation of soils polluted with heavy metals*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Maria Gavrilăscu, *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Secția Chimie și Inginerie Chimică*, **67**(71), (4), 23-40, 2021.
- 2020** *Heavy Metal Contamination of Medicinal Plants and Potential Implications on Human Health*, Dana-Mihaela Asiminicesei, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Maria Gavrilăscu, *Revista de Chimie*, **71**, 16-36, DOI: 10.37358/RC.20.7.8222.

### Lucrări publicate în volume ale conferințelor și simpoziunelor

#### ISI Proceedings

- 2022** *Effects of Ni(II), Co(II), Cu(II), Zn(II) metal ions on the growth and development of alfalfa (Medicago sativa L.) in agricultural soil*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Razvan Andrei Hutuliac, Maria Paiu, Mariana Minut, Petronela Cozma, Elena-Diana Comanita-Ungureanu, Maria Gavrilăscu, 2022 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iași 2022, România, DOI: 10.1109/EHB55594.2022.9991494.
- 2021** *Investigation of the toxic effects of lead on maize germination and growth (Zea mays)*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mariana Minut, Camelia Betianu, Maria Gavrilăscu, 2021 International

Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iasi 2021, Romania, DOI: 10.1109/EHB52898.2021.9657573, WOS:000802227900037.

*Recovery of valuable heavy metals from polluted soil using phytomining process - a new challenge for earning secondary raw materials and health risk reduction*, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Mihaela Roșca, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Raluca Maria Hlihor, Mariana Diaconu, Maria Gavrilăscu, 2021 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iasi 2021, Romania, DOI: 10.1109/EHB52898.2021.9657624, WOS:000802227900085.

**2020** *Human risks generated by the bioaccumulation of pollutants in cereals and their consumption*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mariana Minut, Mihaela Rosca, Petronela Cozma, Camelia Smaranda, Maria Gavrilăscu, 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iași 2020, DOI: 10.1109/EHB50910.2020.9280208.

*Pesticides in the environment and harmonized risk indicators*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Larisa Tapciuc, Gina Mihaela Finaru Chelaru, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mihaela Rosca, Petronela Cozma, Elena-Diana Comanita-Ungureanu, Camelia Smaranda, Raluca-Maria Hlihor, Daniela-Ionela Fertu, Maria Gavrilăscu, 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iași 2020, DOI: 10.1109/EHB50910.2020.9280252.

*Human health risk associated with the use of products from contaminated medicinal plants*, Asiminicesei Dana Mihaela, **Vasilachi Ionela-Cătălina**, Minut Mariana, Rosca Mihaela, Cozma Petronela, Hlihor Raluca-Maria, Gavrilăscu Maria, 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iași 2020, DOI: 10.1109/EHB50910.2020.9280286.

*Equilibrium studies on the sorption of organochlorine pesticide in agricultural soil*, Camelia Smaranda, Mihaela Rosca, Mariana Minut, Dana-Mihaela Asiminicesei, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Diana Elena Comanita-Ungureanu, Petronela Cozma, Maria Gavrilăscu, 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), Iași 2020, DOI: 10.1109/EHB50910.2020.9280210.

## Comunicări orale și postere

### Conferințe, simpozioane și congrese internaționale

**2024** *Assessment of rapeseed (*Brassica napus L.*) efficiency for phytoremediation of heavy metals contaminated soils*, Petronela Cozma, Mariana Minut, Mihaela Rosca, Raluca-Maria Hlihor, Maria Paiu, **Ionela-Cătălina Vasilachi-Mițoșeru**, Maria Gavrilăscu, **The 3rd International Electronic Conference on Processes**, ECP 2024, 29-31 Mai, Iași, România. **(Prezentare orală)**

**2023** *Tolerance of white mustard (*sinapis alba l.*) to soil polluted with Co(II), Cu(II), Ni(II) and Zn(II)*, Petronela Cozma, Mariana Minuț, Mihaela Roșca, Raluca-Maria Hlihor, Maria Paiu, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Diana-Elena Ungureanu-Comăniță, Maria Gavrilăscu, **International Conference of “Applications of Chemistry in Nanosciences and Biomaterials Engineering”**, NanoBioMat 2023, 28-30 Iunie, Iași, România. **(Prezentare orală)**

*Study on film and pore diffusion modeling for adsorption of organic pollutants in soil*, Camelia Bețianu, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mariana Minuț, Maria Gavrilăscu, **International**

**Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM12)**, 13-16 Septembrie 2023, Iași, România. (Poster)

*Evidence of Sinapis alba l. tolerance and accumulation of Cu(II), Co(II), Ni(ii) and Zn(II) from polluted soils*, Raluca-Maria Țăbuleac, Petronela Cozma, Mariana Minuț, Mihaela Roșca, Raluca-Maria Hlihor, Maria Paiu, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Diana-Elena Ungureanu-Comăniță, Maria Gavrilăscu, **International Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM12)**, 13-16 Septembrie 2023, Iași, România. (Poster)

*Experimental studies on the potential of some agricultural plants to absorb lead from contaminated soils*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Răzvan-Andrei Huțuliac, Vasile Stoleru, Maria Gavrilăscu, **International Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM12)**, 13-16 Septembrie 2023, Iași, România. (Poster)

*Ensuring secure and sustainable supply chain of critical raw materials in industrial systems*, Petronela Cozma, Maria Paiu, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mariana Minuț, Elena-Diana Comăniță-Ungureanu, Mariana Diaconu, Maria Gavrilăscu, **International Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM12)**, 13-16 Septembrie 2023, Iași, România. (Poster)

**2022** *A study of the use of alfalfa (Medicago sativa L.) for the phytoremediation of soil polluted with copper* **I.-C. Vasilachi**, M. Paiu, C. Bețianu, M. Diaconu, M. Gavrilăscu, **6<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering (ICCE 2022)**, 5-7 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*The assessment of Pesticide Contamination Index of soil*, C. Bețianu, **I.-C. Vasilachi**, M. Minuț, M. Gavrilăscu, **6<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering (ICCE 2022)**, 5-7 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Preliminary study on the effect of cobalt and nickel ions on the growth and development of Brassica napus (rapeseed)*, M. Paiu, P. Cozma, **I.-C. Vasilachi**, M. Minuț, M. Diaconu, M. Gavrilăscu, **6<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering (ICCE 2022)**, 5-7 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Heavy metals toxicity on the development of Sinapis alba (white mustard): preliminary studies for establishing its phytoremediation potential*, G.-M. Fînaru Chelaru, P. Cozma, M. Minuț, **I.-C. Vasilachi**, M. Paiu, M. Roșca, R.-M. Hlihor, M. Gavrilăscu, **6<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering (ICCE 2022)**, 5-7 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Studies on the behavior of Amaranthus retroflexus L. growing on agricultural soil polluted with nickel ions*, M. David, M. Minuț, P. Cozma, M. Roșca, **I.-C. Vasilachi**, M. Diaconu, M. Gavrilăscu, **6<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering (ICCE 2022)**, 5-7 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Response of Medicago sativa plant to zinc pollution and the opportunity of its use in phytoremediation*, D.M. Asiminicesei, **I.-C. Vasilachi**, P. Cozma, M. Gavrilăscu, **6<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering (ICCE 2022)**, 5-7 Octombrie, Iași, România. (Poster)



*The potential of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in phytoremediation of soil contaminated with copper ions, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Petronela Cozma, Mariana Diaconu, Maria Gavrilăscu, **International Conference of “Applications of Chemistry in Nanosciences and Biomaterials Engineering”**, NanoBioMat 2022, 22-24 Iunie 2022, Online Conference, Iași, România. (Poster)*

*Effects of heavy metals stress on the growth and development of *Brassica napus* (rapeseed) at laboratory scale, Maria Paiu, Petronela Cozma, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mariana Minuț, Mariana Diaconu, Maria Gavrilăscu, **International Scientific Conference on “Applications of Chemistry in Nanosciences and Biomaterials Engineering”**, NanoBioMat 2022, 22-24 Iunie 2022, Online Conference, Iași, România. (Poster)*

*Integrating environmental bioremediation with biomass valorization and critical raw materials recovery by phytomining (*Phytomin*), Project Director: Prof.univ.dr.eng. Maria Gavrilăscu; Members of the Research Team: Laura Bulgariu, Dan Alexandru Gavrilăscu, Mariana Diaconu, Petronela Cozma, Raluca-Maria Hlihor, Isabela-Maria Simion, Elena-Diana Ungureanu-Comăniță, Maria Apostol, Mariana Minuț, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Maria Paiu, European Exhibition of Creativity and Innovation, **14th Edition of EUROINVENT**, 26-28 Mai 2022, Palace of Culture, Iasi, Romania (Poster)*

*A study of mustard seed germination and growth under the influence of zinc stress, Maria Paiu, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mariana Minuț, Gavrilăscu Maria, **The 17th International Conference Constructive and Technological Design Optimization in the Machines Building Field (OPROTEH-2022)**, 25-27 Mai, Bacău, Romania. (Poster)*

*Preliminary study on the influence of copper on rapeseed growth and development, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Elena-Diana Comăniță, Mariana Minuț, Maria Paiu, Maria Gavrilăscu, **The 17th International Conference Constructive and Technological Design Optimization in the Machines Building Field (OPROTEH-2022)**, 25-27 Mai, Bacău, Romania. (Poster)*

*Experimental studies on phytoremediation of soils polluted with lead using agricultural plants, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Maria Gavrilăscu, **5th International Conference of the Doctoral School** (Universitatea Tehnică ”Gheorghe Asachi” din Iași), 18-20 Mai, Iași, Romania. (Prezentare orală)*

**2021** *Investigation of the toxic effects of lead on maize germination and growth (*Zea mays*), **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mariana Minuț, Camelia Betianu, Maria Gavrilăscu, **IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB 2021 - 9-th Edition)**, 18-19 Noiembrie 2021, Iași, România. (Prezentare orală)*

*Recovery of valuable heavy metals from polluted soil using phytomining process - a new challenge for earning secondary raw materials and health risk reduction, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Mihaela Roșca, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Raluca Maria Hlihor, Mariana Diaconu, Maria Gavrilăscu, **IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB 2021 - 9-th Edition)**, 18-19 Noiembrie 2021, Iasi - WEB CONFERENCE – Romania. (Poster)*

*Influence of the heavy metal Pb(II) on the development and early growth of wheat (*Triticum aestivum*, hybrid *Glossa*), **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mihaela Rosca, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Maria Gavrilăscu, **International Conference on***

**Environmental Engineering and Management (ICEEM11)**, 8-10 Septembrie 2021, Iași, România. **(Poster)**

*A review on heavy metal phytoextraction from soils by different plant species*, Asiminicesei D.M., Hlihor R.M, Mihaela Roșca, Cozma P, **Vasilachi I.**, Gavrilescu M., **11th International Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM11)**, Environmental Engineering for a Clean and Healthy Planet, 8 – 10 Septembrie, 2021 Muttentz, Switzerland (On line). **(Poster)**

*Investigation of chemical stress generated by lead on the growth and physiology of Zea mays L.*, **Ionela-Cătălina VASILACHI**, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mariana Minuț, Mihaela Rosca, Petronela Cozma, Camelia Bețianu, Maria Gavrilescu, **International Conference of “Applications of Chemistry in Nanosciences and Biomaterials Engineering”**, NanoBioMat 2021, 25-26 June, România. **(Comunicare orală)**

*Germination and growth of lucerne (Medicago sativa L.) plant under the influence of Cu(II) ions*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Raluca-Maria Hlihor, Maria Apostol, Maria Gavrilescu, **The 16th International Conference Constructive and Technological Design Optimization in the Machines Building Field (OPROTEH-2021)**, Iași, România (On line). **(Poster)**

*Phytomining of heavy metals from contaminated soils: a green technology*, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Mihaela Roșca, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana Mihaela Asiminicesei, Raluca Maria-Hlihor, Maria Apostol, Mariana Diaconu, Maria Gavrilescu, **The 16th International Conference Constructive and Technological Design Optimization in the Machines Building Field (OPROTEH-2021)**, 25-27 Mai, Iasi, Romania (On line). **(Poster)**

*Medicago Sativa development and stress in zinc contaminated environment*, Dana Mihaela Asiminicesei, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Raluca Maria Hlihor, Maria Gavrilescu, **16th International Conference of Constructive and Technological Design Optimization in the Machines Building Field (OPROTEH-2021)**, 25-27 Mai, Iasi, Romania (On line). **(Prezentare orală)**

*Abordări biotehnologice pentru protecția mediului: utilizarea plantelor autohtone pentru bioremedierea solurilor poluate cu metale grele*, **Vasilachi Ionela-Cătălina**, Asiminicesei Dana Mihaela, Minuț Mariana, Cozma Petronela, Comăniță Elena-Diana, Hlihor Raluca Maria, Gavrilescu Maria, **Simpozionul Științific Național cu participare internațională Biotehnologii moderne - soluții pentru provocările lumii contemporane**, 20-21 Mai, Iași, România. **(Comunicare orală)**

*Lead-inhibitory effects in seed germination and seedling growth of wheat (Triticum aestivum L.)*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mihaela Roșca, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Maria Gavrilescu, **4th International Conference of the Doctoral School (Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași)**, 19-21 Mai, Iași, Romania. **(Prezentare orală)**

**2020** *Human Risks Generated by the Bioaccumulation of Pollutants in Cereals and their Consumption*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mariana Minuț, Mihaela Rosca, Petronela Cozma, Camelia Smaranda, Maria Gavrilescu, **International Conference on**

**E-Health and Bioengineering** (EHB 2020 - 8th Edition), 29-30 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Pesticides in the Environment and Harmonized Risk Indicators*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Larisa Tapciuc, Gina Mihaela Finaru Chelaru, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mihaela Rosca, Petronela Cozma, Elena-Diana Comanita-Ungureanu, Camelia Smaranda, Raluca-Maria Hlihor, Daniela-Ionela Fertu, Maria Gavrilescu, **International Conference on E-Health and Bioengineering** (EHB 2020 - 8th Edition), 29-30 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Human Health Risk Associated with the Use of Products from Contaminated Medicinal Plants*, Asiminicesei Dana Mihaela, **Vasilachi Ionela-Cătălina**, Minut Mariana, Rosca Mihaela, Cozma Petronela, Hlihor Raluca-Maria, Gavrilescu Maria, **International Conference on E-Health and Bioengineering** (EHB 2020 - 8th Edition), 29-30 Octombrie, Iași, România. (Prezentare orală)

*Equilibrium Studies on the Sorption of Organochlorine Pesticide in Agricultural Soil*, Camelia Smaranda, Mihaela Rosca, Mariana Minut, Dana-Mihaela Asiminicesei, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Diana Elena Comanita-Ungureanu, Petronela Cozma, Maria Gavrilescu, **International Conference on E-Health and Bioengineering** (EHB 2020 - 8th Edition), 29-30 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Toxic effects of lead in early growth of wheat and its tolerance*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana-Mihaela Asiminicesei, Mihaela Roșca, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Raluca-Maria Hlihor, Camelia Smaranda, Maria Gavrilescu, **5<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering** (ICCE 2020), 28-30 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Fixed-bed column adsorption of Acid Orange 7 onto soil*, C. Smaranda, D.M. Asiminicesei, **I.-C. Vasilachi**, M. Minuț, M. Roșca, E.D. Ungureanu-Comăniță, P. Cozma, M. Gavrilescu, **5<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering** (ICCE 2020), 28-30 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Toxic effects of lead and cadmium on lettuce (*Lactuca sativa* Attraction)*, D.M. Asiminicesei, **I.-C. Vasilachi**, P. Cozma, M. Roșca, M. Minuț, R.M. Hlihor, M. Gavrilescu, **5<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering** (ICCE 2020), 28-30 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Assessment of human health risk associated with pesticides residues in fruits and vegetables*, P. Cozma, L. Budurin, M. Roșca, M. Minuț, **I.-C. Vasilachi**, G.M. Finaru (Chelaru), R.-M. Hlihor, M. Gavrilescu, **5<sup>th</sup> International Conference on Chemical Engineering** (ICCE 2020), 28-30 Octombrie, Iași, România. (Poster)

*Wheat development (*Triticum Aestivum*, hybrid *Glossa*) under the influence of lead stress*, **Vasilachi Ionela-Cătălina**, Asiminicesei Dana-Mihaela, Minuț Mariana, Ungureanu-Comăniță Diana-Elena, Petronela Cozma, Gavrilescu Maria, **International Congress Life Sciences Today for Tomorrow**, 22-23 Octombrie, Iași, România. (Prezentare orală)

*Lead-inhibitory effects in tolerance and early growth of cereals*, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Mihaela Roșca, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Maria Gavrilescu, **International Symposium of Chemical Engineering and Materials** (SICHEM 2020), 17-18 Septembrie, Universitatea Politehnică din București, România. (Poster)

### **Conferințe și simpozioane naționale**

**2020** *Investigarea toxicității plumbului asupra germinării și creșterii grâului, Ionela-Cătălina Vasilachi, Mihaela Roșca, Mariana Minuț, Petronela Cozma, Maria Gavrilescu, Aplicații ale chimiei în nanoștiințe și ingineria bionanomaterialelor*, 16-17 Iulie 2020, Universitatea Politehnică din București, România. (**Prezentare orală**)

*Efectele toxice ale plumbului asupra dezvoltării timpurii a unor cereale, Ionela-Cătălina VASILACHI, Dana Mihaela ASIMINICESEI, Mihaela ROȘCA, Petronela COZMA, Camelia SMARANDA, Maria GAVRILESCU, Academia Oamenilor de Știință din România (AOSR), 23-27 Noiembrie, Iași, România. (Prezentare orală)*

*Utilizarea plantelor și microorganismelor în bioremedierea solurilor contaminate cu metale grele, Mariana Minuț, Mihaela Roșca, Ionela-Cătălina Vasilachi, Dana Mihaela Asiminicesei, Petronela Cozma, Mariana Diaconu, Maria Gavrilescu, Academia Oamenilor de Știință din România (AOSR), 23-27 Noiembrie, Iași, România. (Prezentare orală)*

### **Premii**

#### **2023 BEST PAPER AWARD**

Autori: Petronela Cozma, Mariana Minuț, Mihaela Roșca, Raluca-Maria Hlihor, Maria Paiu, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Diana-Elena Ungureanu-Comăniță, Maria Gavrilescu  
Lucrare: Tolerance of White Mustard (*Sinapis Alba L.*) to Soil Polluted with Co(II), Cu(II), Ni(II) and Zn(II)  
Participare: International Conference of “Applications of Chemistry in Nanosciences and Biomaterials Engineering”, NanoBioMat 2023, 28-30 Iunie, Iași, România.

#### **2022 GOLD MEDAL**

Proiect: *Integrating environmental bioremediation with biomass valorization and critical raw materials recovery by phytomining (Phytomin)*  
Director proiect: Prof.univ.dr.eng. Maria Gavrilescu  
Membrii echipei de cercetare: Laura Bulgariu, Dan Alexandru Gavrilescu, Mariana Diaconu, Petronela Cozma, Raluca-Maria Hlihor, Isabela-Maria Simion, Elena-Diana Ungureanu-Comăniță, Maria Apostol, Mariana Minuț, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Maria Paiu  
Participare: European Exhibition of Creativity and Innovation, 14th Edition of EUROINVENT, 26-28 Mai 2022, Palace of Culture, Iasi, Romania

#### **SPECIAL AWARD**

Proiect: *Integrating environmental bioremediation with biomass valorization and critical raw materials recovery by phytomining (Phytomin)*  
Director proiect: Prof.univ.dr.ing. Maria Gavrilescu  
Membrii echipei de cercetare: Laura Bulgariu, Dan Alexandru Gavrilescu, Mariana Diaconu, Petronela Cozma, Raluca-Maria Hlihor, Isabela-Maria Simion, Elena-Diana Ungureanu-Comăniță, Maria Apostol, Mariana Minuț, **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Maria Paiu  
Participare: European Exhibition of Creativity and Innovation, 14th Edition of EUROINVENT, 26-28 Mai 2022, Palace of Culture, Iasi, Romania

**2021** *YOUNG RESEARCHER MENTION*

Autori: **Vasilachi Ionela-Cătălina**, Minuț Mariana, Bețianu Camelia, Gavrilescu Maria

Lucrare: *Investigation of the toxic effects of lead on maize germination and growth (Zea Mays)*

Participare: IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering, EHB 2021 - 9-th Edition, 18-19 Noiembrie 2021, Iasi - WEB CONFERENCE – Romania.

*BEST PAPER AWARD*

Autori: **Ionela-Cătălina Vasilachi**, Dana Mihaela Asiminicesei, Mariana Minuț, Mihaela Roșca, Petronela Cozma, Camelia Betianu, Maria Gavrilescu

Lucrare: *Investigation of chemical stress generated by lead on the growth and physiology of Zea mays L.*

Participare: International Scientific Conference of “Applications of Chemistry in Nanosciences and Biomaterials Engineering”, 25-26 Iunie 2021, București, Romania.

**Membru în echipele unor granturi naționale**

**2020-2022** “Integrarea bioremedierii mediului cu valorificarea biomasei și recuperarea unor materii prime critice prin phytomining (PHYTOMIN)”

PN-III-P2-2.1-PED-2019-5239, Contract no. 269PED/2020

Director Proiect: Prof.univ.dr.ing. Maria Gavrilescu

*Asistent de cercetare*

**2022-2023** “Rețea de excelență în cercetare și inovare aplicativă pentru programele de studii doctorale și postdoctorale (InoHubDoc)”

Manager Proiect: Prof.univ.dr.ing. Liviu Marșavina

*Membru grup țintă*

**Cerere de brevet de invenție**

- 2022** Gavrilescu Maria, Cozma Petronela, Mariana Diaconu, Ungureanu-Comăniță Elena-Diana, Minuț Mariana, **Vasilachi Ionela-Cătălina**, Paiu Maria, Hlihor Raluca-Maria, Bulgariu Laura, Apostol Maria, Simion Isabela-Maria, *Procedeu integrat de recuperare prin phytomining a unor metale critice din soluri poluate*, Cerere de brevet de invenție A/2022/00399/11.07.2022.

*Impactul fitotoxic al metalelor grele asupra unor plante agricole și potențialul acestora  
în fitoremedierea solurilor poluate*  
Rezumatul tezei de doctorat

---