

REZUMAT

FITOREMEDIEREA UNOR ZONE POLUATE CU PETROL

Conducător științific: Prof. univ.Dr. PELE Maria

Doctorand: SCARLAT Virgil Gheorghită

CUVINTE CHEIE: poluare sol, țiței, săruri, bioremediere, fitoremediere, perlit

POLUAREA MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

Factorul principal care transformă, aproape total sau ireversibil, resursele naturale regenerabile în resurse neregenerabile este poluarea. Ca urmare a activității umane, în ultimele secole au apărut grave probleme de poluare asupra întregului ecosistem al Terrei. O poluare tot mai frecventă a zilelor noastre, este poluarea cu țiței sau produse petroliere a solului, apelor curgătoare, mărilor și oceanelor. Efectele negative ale poluării solului cu produse petroliere sunt poate mai puțin vizibile fiind mai rar sau puțin prezentate în mass-media, dar sunt de lungă durată, cu mare impact negativ în zonele agricole. Deoarece transportul sau extracția țițeiului se realizează în prezența de săruri, concomitent cu poluarea cu reziduuri petroliere, are loc și o poluare cu ape uzate, sărate, capabile să provoace și o salinizare puternică a solurilor poluate cu petrol.

În Europa poluarea cu produși petrolieri urmată de cea cu săruri reprezintă circa 11% din zonele contaminate cu diferiți poluanți. Salinizarea afectează în Europa în jur de 3.8 Mha. În România zonele cu soluri saline sau sodice se află concentrate în județul Prahova, județ cu zăcăminte de petrol și rafinării, precum și în sudul țării, în zonele traversate de conducte petroliere. De asemenea exista zone puternic saline, impropriei agriculturii, în vecinătatea Munților Apuseni.

Pentru remedierea zonelor poluate, în Uniunea Europeană, s-au elaborat o serie de legi și strategii care ghidează Politica europeană de mediu până în anul 2020 dar și pentru viitor. În acest context, solul fertil și terenul productiv sunt considerate parte a "Capitalului natural", care urmează să fie gestionate în mod durabil și protejate în mod adecvat, în timp ce acțiunea pentru remedierea zonele contaminate este încurajată.

Metodele convenționale de depoluare a solurilor contaminate cu produse petroliere se aplică la scară internațională, însă, majoritatea prezintă inconveniente: generarea unor efluenți lichizi sau gazoși ce necesită tratare sau depozitare suplimentară, perioade mari de operare, dificultăți de monitorizare și control, costuri ridicate de capital și operare.

Biotehnologiile mediului sunt o alternativa pentru remedierea solurilor contaminate atât prin utilizarea unor microorganisme cât și/sau de plante capabile să diminueze sau chiar să elimine prezenta compușilor poluanți din sol. Principalele căi de remediere prin utilizarea de agenți vii sunt *bioremedierea* și *fitoremedierea*.

Bioremedierea este utilizarea organismelor vii, cu precădere a microorganismelor, pentru îndepărtarea contaminanților din mediul înconjurător.

Fitoremedierea implică utilizarea plantelor verzi pentru decontaminarea zonelor poluate. Capacitatea de asimilare a contaminanților de către plante depinde în mare măsură de specia cultivată și de condițiile de mediu. De asemenea, în natură, plantele formează cu microorganismele din sol un ansamblu de conexiuni, în relații de simbioză pentru a se dezvolta și a contribui, dacă este cazul, la îndepărtarea contaminanților.

OBIECTIVE PRINCIPALE

În contextul mondial actual, de a se remedia, zonele poluate prin metode naturale, principalul scop al acestei teze a fost de *a se stabili un proces de remediere a solurilor poluate cu produși petrolieri și săruri, prin metode prietenoase cu mediul*.

Astfel, cercetările întreprinse în realizarea prezentei teze de doctorat au vizat următoarele obiective majore:

- ❖ Evaluarea procesului de bioremediere prin evaluarea capacității de a consuma produși petrolieri, de către microorganismelor selectate din zona poluată.
- ❖ Experimentări în seră și în câmp a metodelor de fitoremediere și determinarea unor proprietăți biochimice și a capacității plantelor cultivate, de a absorbi ionii de sodiu, potasiu, calciu și magneziu din solurile poluate.
- ❖ Elaborarea și dezvoltarea unei metode îmbunătățite a capacității de fitoremediere a plantelor selectate prin adăugarea în sol a unui produs inert chimic (perlit).
- ❖ Evaluarea aportului perlitului în procesul de fitoremediere.
- ❖ Evaluarea procesului de fitoremediere asupra solului prin determinarea concentrațiilor de ioni poluanți (sodiu, calciu, magneziu) în solul poluat.

Solul poluat care a fost utilizat pentru experimente face parte din zonele agricole ale satului Icoana, comuna Icoana din județul Olt, zonă cu frecvente accidente de poluare cu produși petrolieri și săruri.

METODE DE LUCRU

Experimentele practice au fost efectuate în câmp, în comuna Icoana pe solul poluat (Tarlaua 71) și sol nepoluat precum și în sera UȘAMV-București, utilizându-se probe de sol poluat și nepoluat. Analizele de microbiologie, biochimie și a mineralelor au fost efectuate în laboratoarele Facultății de Biotehnologie – Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București.

Materialele biologice utilizate pentru studierea procesului de fitoremediere au fost: salata (*Lactuca sativa L.*) soiul *Butterhead*, cartofi (*Solanum tuberosum*) soiul *Colette*, tomate (*Lycopersicon esculentum L*) soiul hibrid *Cindel F1*, ardei (*Capsicum annum*) soiul *Albaregia*, fasole (*Phaseolus vulgaris*) soiul *Verdana*, grâu (*Triticum*

aestivum) soiul *Glosa*, porumb (*Zea mays*) soiul *Olt* și cățina (*Hippophae rhamnoides L.*). Pentru experimente cu îmbunătățirea calității solului s-a utilizat *Perlit horticol* de 5 mm.

Variantele de sol utilizate în experimentele din seră, au fost: V0-Sol nepoluat; V1-Sol poluat; V2-Sol poluat plus 25% perlit; V3-Sol poluat plus 50% perlit; V4-Sol poluat plus 75% perlit (anul 2014) precum și variantele de sol: V0-Sol nepoluat; V1-Sol poluat și V2-Sol poluat plus 50% perlit. (în câmp și sera) (2015, 2016, 2017).

Analizele de sol, a microorganismelor și a plantelor au fost efectuate conform legilor în vigoare, respectiv cu metode validate de laboratoare internaționale sau ISO, astfel: *determinarea substanței uscate* s-a realizat conform standardului ISO 751 din 1998; *determinarea glucidelor reducătoare* s-a realizat prin metoda cu acid 3,5-dinitrosalicilic (DNS); *determinarea proteinelor* s-a realizat prin metoda Lowry; *determinarea clorofilei* s-a realizat prin extracția clorofilelor cu N,N-dimetilformamida; pentru *mineralizarea prin calcinare la 450°* s-a folosit metoda Răuță și Chiriac, 1980; *determinarea concentrației de sodiu* s-a efectuat prin flamfotometriei; *determinarea concentrației de potasiu* s-a efectuat prin metoda Egner-Riehm-Domingo; *determinarea concentrației de calciu și magneziu* s-a realizat prin metoda descrisă de El Mahi și colab. în 1987; *determinarea activității superoxid dismutazei* prin metoda lui Winterbourn și colab. precum și Iordăchescu și Dumitru; *determinarea activității catalazei* a fost descrisă de Iordăchescu și Dumitru; *determinarea activității peroxidazei* prin metoda Brad.

Prelevarea probelor de sol s-a efectuat conform Ordinului nr. 184/1997, iar determinarea produselor petroliere din sol s-a efectuat conform metodei 1664 a Agenției de Protecție a Mediului din SUA.

Izolarea, identificarea și evaluarea capacităților de consum a produșilor petrolieri de către microorganisme, s-a efectuat prin metode microbiologice standard de cultivare în eprubete și în plăci Petri. Evaluarea capacității de degradare a produșilor petrolieri s-a efectuat prin determinarea conținutului de produși petrolieri, la diferite intervale de timp, după ce solul poluat și medii cu conținut cunoscut de motorină, benzină sau țigeti au fost inoculate cu microorganismele selectate.

REZULTATE OBTINUTE

Evaluarea nivelului de poluare cu țigeti. În luna iulie a anului 2012 o zona agricolă, din satul Icoana, de circa 5 ha a fost poluată cu țigeti, prin spargerea unei conducte. Pentru extracția conținutului de produși petrolieri dispersați din probele sol prelevate s-a stabilit ca solvent optim un amestec de hexan și eter de petrol în proporție de 1:1. Rezultatele obținute pentru probele de sol recoltate în luna noiembrie, au arătat valorile concentrațiilor de produse petroliere cu mult mai mari, de circa 300 ori până la 65 ori în funcție de distanța față de zona accidentului, față de Limita Maxima Admisă pentru terenurile agricole (MAL = 500 ppm).

Utilizarea de microorganisme specifice zonei poluate în procesul de bioremediere. Din probele de sol poluat, prelevate în toamna anului 2012, au fost izolate zece complexe de microorganisme. Purificarea și identificarea exactă a tulpinilor, au necesitat evaluări specifice și de lungă durată a unor microbiologi specializați în acest

domeniu. Ca rezultat au fost obținute 10 tulpini pure, șapte tulpini de *Aspergillus*, o tulpina de *Penicillium* și două tulpini de *Trichoderma*.

Testarea acestora s-a realizat în condiții similare unei culturi obișnuite în câmp, și pentru a oferi microorganismelor capacitate de dezvoltare optimă, fiecărei probe de sol i s-a administrat o cantitate corespunzătoare de soluție nutritivă {25 g $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, 25 g K_2HPO_4 , 2g MgSO_4 și 100g NaCl și 1 L apă}. În probele de sol astfel preparate s-au adăugat produși petrolieri (țiței, motorină, benzină) și au fost inoculate cu câte 10 mg miceliu. Cele mai active microorganisme selectate de noi privind consumul de carburanți au fost o tulpina *Aspergillus niger* și două tulpini *Aspergillus ochraceus* (An, Ao6, Ao7). S-a determinat astfel cu cât concentrația de hidrocarburi cu molecule mari este mai mare cu atât capacitatea de distrugere a acestora de către microorganisme este mai mică. Nici unul dintre microorganismele testate de noi nu a reușit să descompună complet nici macăr benzina, cel mai ușor dintre carburanții testați, în perioada de incubare de 40 de zile la temperatura camerei. Cea mai activă tulpină a fost cea de *Aspergillus niger* care reușește să descompună benzina și motorina până la 78%, motorina până la 60% și țițeiul până la 50% după 40 de zile de incubare.

Fiecare tulpină a fost testată separat pe sol poluat. Însă, experiențele noastre au arătat că în următorul an după poluare, adică în primăvara anului 2013, solul contaminat nu mai conținea decât foarte puțini produși petrolieri, reprezentanți de asfaltene.

Biodegradarea produșilor petrolieri din sol este influențată de o serie de factori cum sunt compoziția acestor compuși, structura solului, temperatura, precipitațiile și lucrările care au loc pe terenul poluat. Toți acești factori, plus sinergismul de acțiune a consorțiilor de microorganisme din sol au permis ca după circa 7 luni de la perioada de prelevare a probelor de sol, produșii petrolieri să fie practic degradați în totalitate.

Îmbogățirea solului cu fertilizatori în special organici determină creșterea eficienței microorganismului aplicat sau a celor din sol.

Ca urmare a rezultatelor obținute, trebuie subliniat ca prin procesul de bioremediere, de adăugare a unui sau mai multor microorganisme specifice, cu capacitate ridicată de a consuma produși petrolieri la un sol poluat, se reduce semnificativ perioada de degradare a acestora.

În concluzie, în zonele unde poate apărea poluarea cu produși petrolieri, este recomandabil să se realizeze o bancă de microorganisme specifice, cu activitate ridicată, care să fie inoculate în solul poluat, pentru a se îmbogăți componenta de microorganisme din sol și a grăbi procesul de bioremediere.

Experimentări în seră a unor metode de fitoremediere

Deși în primăvara anului 2013, din produșii petrolieri poluanți nu au mai rămas decât asfaltenele, sărurile care au însoțit erupția cu petrol, au transformat terenul poluat într-un teren sărăturat, inadecvat culturilor agricole obișnuite în regiunea comunei Icoana. Diferitele studii au arătat ca perioada de remediere a unor astfel de soluri este destul de lungă, în funcție de gradul de poluare (de cele mai multe ori peste 10-13 ani de la data poluării), de natura solului, de plantele cultivate, condițiile fizico-chimice naturale și eficacitatea tratamentelor aplicate (de exemplu natura fertilizării).

În seră s-au efectuat experimente de urmărire a capacității unor plante cu diferite toleranțe la conductibilitatea electrică, de a se dezvolta și de a absorbi ionii de sodiu, potasiu, calciu și magneziu din solurile poluate. Pentru îmbunătățirea procesului de fitoremediere, de combinare sinergetică a efectului plantelor cultivate, s-a inițiat și un tratament adecvat asupra calității solului prin adăugarea unui material inert chimic. În acest context au fost realizate, pe lângă variantele de sol nepoluat și sol poluat, variante de sol cu adaus de perlit de 25%, 50% respectiv 75%.

Experimentele cu salată ($EC=1,3$ dS/m) și cartofi ($EC=1,7$ dS/m).

Pe solul poluat doar o planta din trei a crescut vizibil atât la salata cât și la cartofi. La recoltarea salatei, doar salata cultivata pe solul normal a format căpățâni specifice. Plantele de pe solul poluat erau mici și fără inflorescență. Plantele crescute pe variantele de sol cu adaus de perlit nu au dezvoltat căpățâni, frunzele crescând pe o tulpina înaltă, însă frunzele probelor cultivate pe sol poluat cu adaus de 50% respectiv 75% perlit au avut culori apropiate de salata normala si un număr crescător de frunze în acord cu creșterea concentrației de perlit.

În cazul cartofilor, cu cât a crescut concentrația de perlit adăugat în sol, aspectul plantelor de cartofi s-a apropiat de aspectul plantelor cultivate pe sol nepoluat, încât la adaus de 50% respectiv 75% perlit, plantele au fost asemănătoare cu cele crescute pe sol nepoluat. Producțiile de cartofi obținute pe plantă au fost de 16,77 % pe solul poluat, 41,3% pe solul cu adaus de 25% perlit, 72,1% pe solul cu adaus de 50% perlit și de 95,94% la adausul de 75% perlit fata de producția pe sol nepoluat. De asemenea cartofii recoltați de pe solul poluat au avut o colorație verde corespunzătoare unui conținut ridicat de solanină, un alkaloid toxic pentru oameni.

Din punct de vedere biochimic am analizat concentrația de proteine în frunzele de salata, frunzele de cartofi si tuberculi de cartofi deoarece o concentrație ridicată de proteine peste valorile medii ale plantelor crescute pe sol sănătos înseamnă în principal concentrații ridicate de enzime implicate în procesul de fotosinteză și în special a celor antioxidante ca răspuns la stresul toxic determinat de concentrații ridicate de săruri, dar concentrații scăzute pot arăta și incapacitatea plantelor de a răspunde stresului toxic.

În cazul salatei cultivate pe sol nepoluat concentrația de proteine a fost similară cu datele din literatura de specialitate (1.62 g/100 g frunze). Plantele cultivate pe variantele de sol poluat respectiv cu adaus de perlit, conținutul proteic este mult mai mic și crește cu concentrația de perlit adăugat. Acest fapt arată capacitatea redusă a salatei de a se adapta stresului salin si de a sintetiza enzime antioxidante.

În același timp, însă, conținutul de sodiu este de 1,5 ori mai mare în salata obținută pe solul poluat față de cel nepoluat. Acest conținut scade cu creșterea conținutului de perlit în sol.

În cazul cartofilor, concentrația medie de proteine în tuberculi cartofilor cultivați pe diferitele substraturi descrește în ordinea 2,47g/100g (sol nepoluat), 2,2g/100g (sol poluat plus 75% perlit), 2,1g/100g (sol poluat plus 50% perlit), 1,9g/100g (sol poluat plus 25% perlit) si 1,8g/100g (sol poluat). Conținutul în proteine din frunze a fost mai mare decât în tuberculi și a descreșcut în ordinea 4.20 g/100 g material vegetal(sol

poluat plus 75% perlit), 4,2g/100g (sol nepoluat), 3,5g/100g (sol poluat plus 50% perlit), 2,5g/100g (sol poluat plus 25% perlit) și 2,2g/100g (sol poluat).

Conținutul în Na din tuberculi a fost mai față de cel din frunze. Astfel tuberculii de cartofi conțineau: sol nepoluat-28ppm, sol poluat-47ppm, sol poluat+25% perlit-42%ppm, sol poluat+50% perlit-35%ppm și sol poluat+75% perlit-30%ppm. În același timp, în frunze am obținut: sol nepoluat-51ppm, sol poluat-62ppm, sol poluat+25% perlit-63%ppm, sol poluat+50% perlit-55%ppm și sol poluat+75% perlit-50%ppm.

Din analiza comparativă a datelor obținute pentru salată și cartofi, putem spune că răspunsul cartofilor la solul poluat și la cel cu adăus de perlit este mai bun decât cel al salatei, dar ambele legume nu fac decât să confirme toleranța lor redusă la conductibilitatea electrică.

Trebuie însă să menționăm că astfel de studii folosind salata și cartofii, sunt extrem de reduse, majoritatea utilizând diferite ierburi cu toleranța la săruri ridicată sau uneori cereale.

Experimentele în seră din anii 2016 și 2017 au fost efectuate cu tomate. Acestea au fost alese deoarece au o toleranță la sare mai ridicată ($EC=2,5$ dS/m), care îi permite o comportare mai bună comparativ cu salata și cartofii, fiind cultivată adesea pe arii întinse în comuna Icoana.

Experimentele cu tomate ($EC=2,5$ dS/m)

Experiențele cu tomate au fost realizate prin cultivarea răsadurilor de tomate pe sol nepoluat (V0), pe sol poluat (V1) (EC mediu= $2,82$ dS/m), și pe sol poluat cu adăus de 50% perlit (V2). Producțiile de tomate obținute pe plantă față de cele de pe sol nepoluat au fost de 30,2% în anul 2016 și de 36,8% în 2017 pe solul poluat, iar producțiile pe solul ameliorat cu perlit au fost de 92% respectiv 94,4%.

Tomatele sunt cele mai consumate legume, sub diferite forme, în întreaga lume. De aceea este necesar să știm cum influențează salinitatea calitatea tomatelor. În acest context am analizat, în fructe, frunze, tulpini și rădăcini: substanța uscată, clorofila, glucidele, proteinele, unele minerale specifice solurilor saline (potasiu, sodiu, calciu, magneziu) și unele enzime importante în răspunsul plantelor la stres (catalaza, peroxidaza și superoxid dismutaza).

Literatura de specialitate arată că tomatele crescute în condiții saline au o calitate superioară prin faptul că unele proprietăți cum sunt substanța uscată și glucidele dau un gust mai bun fructelor și au un rol important pentru piața și prelucrare. Însă creșterea concentrației de glucide reducătoare conduce la lipsa unor cantități suficiente de fibre și amidon determinând deficiențe în textură, în rezistența fructelor și capacitatea crăcare crește.

Datele obținute raportate la întreaga plantă arată un conținut de substanță uscată, de glucide și de proteine mai mare pentru plantele cultivate pe sol poluat (s.u – maxim 46%; glucide - maxim 129%; proteine - maxim 53%), urmat de cel ale plantelor cultivate pe sol poluat plus perlit (s.u – maxim 32%; glucide - maxim 66%; proteine - maxim 24%;), față de valorile obținute pentru plantele recoltate de pe solul nepoluat. Rezultatele obținute arată că expunerea plantelor la stresul de sare începe cu expunerea

rădăcinilor acest stres și întreaga plantă este afectată. În cazul tomatelor, răspunsul plantelor este de adaptare de a produce substanțe osmotice active, în principal aminoacizi și zaharuri, care ajută la atenuarea salinității mediate de stresul osmotic.

În cazul clorofilei totale răspunsul plantelor este diferit. Concentrația de clorofilă totală este mai mare în plantele recoltate de pe solul nepoluat.

Probele recoltate de pe solul poluat au avut o concentrație medie de clorofilă cu 26,3% mai mică și în cazul probelor recoltate de pe solul poluat plus perlit cu 19,3% față de concentrațiile obținute pentru plantele recoltate de pe solul nepoluat.

Bioacumularea mineralelor majore din sol (Na, K, Ca, Mg) de către tomate arată gradul de acumulare diferit pentru fiecare țesut în parte. Datele privind absorbția de ioni per total plantă în cei doi ani 2016/2017, în ordinea V0, V1 și V2 se prezintă astfel: **Na**-63,3/72,5 ppm, 628,8/542 ppm, 484,5/433,3 ppm; **K**-237,5/185 ppm, 472,3/401 ppm, 434/353 ppm; **Ca**-194,5/148,3 ppm, 389,3/330,5 ppm, 280/234,8 ppm; **Mg**-258,8/183,5 ppm, 548,3/452,8 ppm, 455,5/342,5 ppm. La toate elementele se poate observa diferența clară dintre cantitatea de minerale absorbită din solul nepoluat față de cantitățile absorbite în variantele cu sol poluat. În probele prelevate de la tomatele dezvoltate pe solul poluat și pe cel cu perlit, ionul de sodiu este predominant față de ceilalți ioni.

Stresul abiotic, determinat în cazul nostru de poluarea cu țigări urmată de poluarea cu săruri, este responsabil pentru producția de specii reactive de oxigen (ROS) (H_2O_2 , OH^\bullet , RO^\bullet , $ROOH$, etc.), specii sunt toxice pentru orice organism. În acest context și în funcție de dotarea avută, am determinat în tomatele cultivate pe cele trei tipuri de sol, activitățile: peroxidazei, catalazei și superoxid dismutazei. Valorile medii obținute per total plantă în cei doi ani 2016/2017 în ordinea V0, V1 și V2 se prezintă astfel: **SOD**, U/mg prot. – 0,74/0,69, 1,93/1,84, 1,35/0,90; **CAT**, $\mu\text{mol } H_2O_2/\text{min}/\text{mg prot}/\text{ml}$ – 280,43/241,49, 407,42/390,43, 336,13/274,85; **POD**, $\mu\text{moli ac. asc}/\text{mg proteină}/\text{min}$ – 29,24/24,74, 39,52/29,70, 30,29/22,39. Activitatea mai ridicată a catalazei, superoxid dismutazei și a peroxidazei în probele recoltate de pe solul poluat sau cel poluat plus perlit față de cele recoltate de pe solul nepoluat, este un răspuns al plantelor la creșterea nivelului oxidativ în plante, stres datorat prezentei concentrațiilor ridicate de ioni, în special de sodiu și calciu.

Experimentări în câmp a unor metode de fitoremediere

În anul 2014, pe ariile experimentale, delimitate pe solul poluat, au fost cultivate: *tomate* (EC=2,5 dS/m), *ardei* (EC=1,5 dS/m) și *fasole verde* (EC=1,0 dS/m). Pe suprafața rămasă, de circa 3,5 ha teren poluat, s-a cultivat grâu (*Triticum aestivum*) (EC=6,0 dS/m).

Pe marginea terenului cultivat cu grâu, au fost cultivați pentru testare, arbuști de cătină care au o toleranță relativă maximă de EC=8,0 dS/m.

Însă, în acest an, eforul depus a condus la eșec, pe de o parte efectul cumulativ al conținutului ridicat de sare din sol (EC mediu = 2,82 dS/m), a valorii de pH bazice (7,8), iar pe de altă parte efectul repetatelor inundații (5 până în luna iulie). Astfel, tomatele au un aspect veșted, frunzele sunt rare și mici, tulpinile sunt subțiri și uscate, iar fructele sunt mici, puține și foarte puține în stadiul de maturare normal. Recolta de tomate de pe

terenul poluat a fost de 5 ori mai mică fata de cea de pe terenul nepoluat. Ardeii au avut aspect de plante dezvoltate normal dar nu aveau nici flori nici fructe. Cultura de fasole a arata ca un câmp de buruieni printre care mai apăreau și unele plante, numai frunze, majoritatea galbene, fără fructe. Deși cățina are o ridicata toleranta la sare, inundațiile care au avut loc în zonă a dus la distrugerea completa a arbuștilor.

În condițiile meteo menționate doar grâul s-a dezvoltat până la fructificare. Totuși producția de grâu pe terenul poluat a fost față de cea de pe terenul nepoluat de doar 56,25%. Evaluând profitul obținut, pentru terenul poluat acesta este cu minus 780 roni per hectar. Ca rezultat, profitul pe tarlăua 71 (11,45 ha) ce conține zona poluată este practic nesemnificativ, revenind o valoare de circa **31,4 lei per hectar**.

Ca urmare a numeroaselor pagube datorate inundațiilor, s-a construit un dig pe râul Vedea. Astfel au putut fi efectuate, în condiții de repetabilitate, experimente succesive în anii 2015, 2016 și 2017.

Experimentele cu porumb ($EC=1,7 \text{ dS/m}$)

Solul parcelelor delimitate pentru experiențe (parcele de 0,3 ha) (trei repetiții) a fost omogenizat cu perlit de 5 mm, 50%, astfel în câmp am avut cele trei variante de sol: sol nepoluat (V0), sol poluat (V1) și sol poluat cu adaus de 50% perlit (V2). Spre deosebire de experimentele în seră, în câmp apar variabilități datorită în special fenomenelor meteorologice și anume precipitațiile și temperaturile, fenomene ce trebuie luate în considerare pentru a avea o privire de ansamblu corectă.

Deși, producțiile de boabe de porumb au crescut semnificativ în fiecare an, profiturile obținute pe solul poluat au fost cu valori negative. Acest lucru s-a datorat pe de o parte producțiilor scăzute pe solul poluat față de cele de pe solul nepoluat (2015-14,3%, 2016-16,1%, 2017-17,7%), iar pe de alta parte creșterii semnificative a costurilor de producție și scăderii prețului de vânzare. În același timp producțiile pe solul poluat plus perlit față de cele de pe solul nepoluat au fost: 2015-88,4%, 2016-89,5%, 2017-85,3%. În aceste condiții profiturile, deși mai mici, au fost cu valori pozitive fiind față de cele obținute pe solul nepoluat de: 2015-71,0%, 2016-71,8%, 2017-64,3%.

Pe lângă analiza economică, am analizat și unele aspecte privind calitatea biochimică a boabelor de porumb (substanța uscată, concentrația de proteine).

Conținutul mediu, pe perioada 2015 – 2017, de substanță uscată și proteine în porumbul recoltat de pe cele 3 variante de sol a fost de: V0- s.u. 87,3%, g prot/100 g s.u. 8,03; V1- s.u. 82,3%, g prot/100 g s.u. 9,1; V2- s.u. 85,3%, g prot/100 g s.u. 8,4. Datele obținute arata mici diferențe între valorile obținute pentru boabele de porumb recoltate de pe solul nepoluat, poluat și de pe solul cu adaus de perlit. Totuși, raportat la substanța uscată concentrația de proteine este mai mare în porumbul cultivat pe solul poluat.

Valorile medii pe cei trei ani a concentrațiilor de sodiu, potasiu, calciu și magneziu din boabele de porumb, recoltate de pe cele trei tipuri de sol sunt: **Na** – V0-75 ppm, V1-118 ppm, V2-93 ppm; **K** – V0-82 ppm, V1-98 ppm, V2-89 ppm; **Ca** – V0-37,7 ppm, V1-175,7 ppm, V2-119 ppm; **Mg** – V0-130,3 ppm, V1-110 ppm, V2-119,7 ppm. Așa cum se observă din date, absorbția cea mai mare de ioni este în plantele cultivate pe solul poluat, urmată de cea ale plantelor cultivate pe solul cu adaus de perlit. Deși valorile obținute

sunt mai mari decât cele considerate în mod uzual nutriționale, domeniile de concentrații pentru acești ioni sunt extrem de largi, astfel încât, concentrațiile obținute nu influențează prea mult valoarea alimentară a porumbului., dar contribuie la remedierea zonei poluate.

Efectul procesului de fitoremediere asupra solului poluat.

În perioada 2015 – 2017 am urmărit efectul culturii de porumb pe sol poluat și sol îmbogățit cu perlit asupra concentrațiilor de Na, K, Ca și Mg.

Concentrațiile de ioni poluanți (sodiu, potasiu, calciu, magneziu) în solul nepoluat, poluat și poluat cu adăugare de perlit, pentru o evaluare comparativă corectă, au fost raportate la substanța uscată a variantelor respective de sol. Determinarea concentrațiilor de ioni s-a efectuat înainte și după de cultura. Astfel scăderea concentrațiilor de ioni a fost: **Na** – 2015: sol poluat de la 336ppm la 313 ppm, sol poluat plus perlit de la 351 ppm la 265 ppm, 2016: sol poluat de la 318 ppm la 296 ppm, sol poluat plus perlit de la 258 ppm la 187 ppm; 2017: sol poluat de la 290 ppm la 269 ppm, sol poluat plus perlit de la 182 ppm la 147 ppm; **K** – 2015: sol poluat de la 171 ppm la 158 ppm, sol poluat plus perlit de la 174 ppm la 137 ppm, 2016: sol poluat de la 253 ppm la 225 ppm, sol poluat plus perlit de la 223 ppm la 181 ppm, 2017: sol poluat de la 215 ppm la 192 ppm, sol poluat plus perlit de la 181 ppm la 145 ppm; **Ca** – 2015: sol poluat de la 534 ppm la 510 ppm, sol poluat plus perlit de la 511ppm la 459 ppm, 2016: sol poluat de la 506 ppm la 468 ppm, sol poluat plus perlit de la 453 ppm la 379 ppm, 2017: sol poluat de la 464 ppm la 423 ppm, sol poluat plus perlit de la 370 ppm la 321 ppm; **Mg** – 2015: sol poluat de la 195 ppm la 179 ppm, sol poluat plus perlit de la 235 ppm la 211 ppm, 2016: sol poluat de la 180 ppm la 161 ppm, sol poluat plus perlit de la 182 ppm la 150 ppm, 2017: sol poluat de la 165 ppm la 153 ppm, sol poluat plus perlit de la 154 ppm la 125 ppm. Datele arată că prin procesul de fitoremediere a avut loc, succesiv, în mod clar, o scădere a concentrațiilor de ioni poluanți din sol.

De asemenea capacitatea de absorbție a ionilor din solul poluat plus perlit față de cea din solul poluat a fost de 2,7 – 4,0 ori mai mare pentru ionul de Na, între 1,5 – 2,3 ori mai mare pentru ionul de Ca și de 1,2 – 2,6 ori mai mare pentru ionul de Mg.

Excepție face prezența ionilor de potasiu, pentru care nu s-a putut urmări evoluția concentrațiilor doar depinzând de cultură și adăugare de perlit în sol, deoarece pe parcursul celor trei ani, solul a fost fertilizat cu îngrășămintă NPK

Din aceste date influența adăugării de perlit este evidentă.

Efectul proceselor de fitoremediere experimentate de noi, asupra valorilor de pH și EC, arată o apropiere treptată a acestora de valori normale pentru suprafețe agricole. Astfel valoarea de pH a scăzut pentru solul poluat de la 7,88 la 6,74 și de la 7,75 la 6,42 pentru solul cu adăugare de perlit.

De asemenea valorile conductivității electrice (EC) au scăzut pentru solul poluat de la 3,84 la 3,38 și de la 3,67 la 2,63 pentru solul cu adăugare de perlit.

Prin utilizarea perlitului s-a obținut o ameliorare a conținutului total în săruri în sol, o uniformitate a plantelor la culturile de porumb în câmp, o îmbunătățire a structurii solului, o mai bună dezvoltare a rădăcinilor și un drenaj adecvat al apei.

CONCLUZII GENERALE

Experiențele de evaluare a gradului de poluare cu petrol urmata de cea cu săruri unei zone agricole din satul Icoana/comuna Icoana, precum și a capacității unor microorganisme/plante de a absorbi poluanții, singure sau ajutate de îmbunătățirea calității solului prin adăugare de perlit putem prezenta următoarele concluzii generale:

❖ Pentru extragerea produșilor petrolieri, în vederea determinării concentrațiilor acestora în sol este bine să se stabilească cel mai bun solvent pentru solul respectiv.

❖ Din solul poluat au fost izolate, purificate și identificate zece tulpini de microorganisme. Dintre acestea, trei complexe (An, Ao6, Ao7) au arătat capacități ridicate de consum a produșilor petrolieri. Ca urmare a activității microbiene la circa 7 luni de la data poluării, în sol existau doar 0,51 și 2,26 g/kg, asfaltene.

❖ Aplicarea de fertilizatori îmbunătățește procesul de bioremediere.

❖ Solul poluat cu concentrații ridicate de săruri a prezentat în 2015 valori ridicate de conductivitate electrică (în medie 3,9 dS/m).

❖ Salata cu toleranța relativă scăzută (EC=1,3 dS/m) nu s-a putut dezvolta corespunzător. Cartofii (EC=1,7 dS/m), pe sol cu concentrații de 50% respectiv 75% perlit în sol s-au dezvoltat similar cu cei cultivați pe sol nepoluat. Conținutul de Na din salată și cartofi a fost mare la culturile pe solul poluat față de recoltele de pe sol nepoluat.

❖ Producția de tomate a fost în medie de 33,5% în solul poluat și de 93,1% în solul poluat plus perlit față de producțiile pe sol nepoluat.

❖ Concentrațiile de substanță uscată, proteine, glucide, Na, K, Ca, Mg și activitățile enzimatică ale catalazei, superoxid dismutazei și peroxidazei, raportate la întreaga plantă, sunt mai ridicate pentru plantele cultivate pe sol poluat, urmate de cele ale tomatelor cultivate pe sol poluat plus perlit față de valorile obținute de pe solul nepoluat.

❖ Concentrația de clorofilă totală în plante scade în ordinea culturilor pe sol nepoluat > sol poluat plus perlit > sol poluat.

❖ Producțiile medii de porumb, pe cei trei ani, pe terenul poluat sunt de circa 16% și de 87,7% pe terenul poluat plus perlit față de terenul nepoluat.

❖ Concentrațiile de ioni sunt mai mari în boabele de porumb recoltate de pe solul poluat față de celelalte variante. La testările culinare, produsele (mămăliga) obținute cu cele trei categorii de porumb nu au fost practic diferențiate de către consumatori, fiind apreciate ca foarte bune.

❖ Concentrațiile de ioni poluanți în sol, precum și valorile de pH și EC au scăzut semnificativ în sol.

❖ Prezenta perlitului, permite ca drenajul apei în sol să fie mult mai eficient și să reface structura solului permițând o dezvoltare corespunzătoare a rădăcinilor.

❖ Perlitul nu s-a utilizat până în prezent pentru îmbunătățirea solului poluat.

Ca urmare a rezultatelor obținute, considerăm că pe parcursul timpului solul poluat la care se adaugă perlit se va remedia într-un timp mai scurt decât cel de 10 – 13 ani prezentat în literatura de specialitate.

S U M M A R Y

PHYTOREMEDIATION OF PETROLEUM POLLUTED AREAS

Scientific coordinator: *Professor, Dr.* PELE Maria

Ph.D-student: SCARLAT Virgil Gheorghiu

Key-words: xxxxxxxx; xxxxxxxxxxxxxx; xxxxxxxx; xxxxxxxx;

**R É S U M É de la thèse
de doctorat**

**PHYTOREMÉDIATION DES ZONES CONTAMINÉS PAR HYDROCARBURES DU
PÉTROLE**

**Coordinateur scientifique: Prof. univ. Dr. PELE Maria
Doctorant: SCARLAT Virgil Gheorghiu**

MOTS-CLÉS: xxxxxxxxxxx; xxxxxxxxxxx; zzzzzzzzzzzzz; xxxxxxxxxxx;

These de doctorat

.....