

## **Ефект на различни подобрители върху биодостъпността на тежки метали и тяхната акумулация в маруля (*Lactuca sativa* L.)**

**Николай Динев<sup>1\*</sup>, Веселин Кутев<sup>2</sup>, Мариана Христова<sup>1</sup>, Иванка Митова<sup>1</sup>, Ана Кацарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н.Пушкаргов“, София*

<sup>2</sup>*Лесотехнически университет, София*

**E-mail\*:** ndinev@ipt.bg

### **Резюме**

Проведен бе вегетационен експеримент. Изпитани бяха различни мелиоранти (извлек от оборски тор, модифициран зеолит, минерално торене, минерални торове плюс слама и минерални торове плюс естествен зеолит) приложени към замърсена почва от района на стоманолеярнен комбинат „Кремиковци“. Мелиорантите оказват специфично влияние върху изявата на почвената токсичност. Установено бе, че макар и в ниски концентрации, максимално негативно въздействие върху санитарните качества на получаваната продукция има кадмия. Това е логично, отчитайки високата подвижност на кадмиевите йони и лесната им миграция в надземните части. Това обяснява и липсата на позитивен ефект от прилагането на различните мелиоранти. Впечатление прави и равномерното съдържание на кадмий в надземната част и кореновата биомаса. Резултатите при екстракция на металите с EDTA показват висока степен (двукратно) на извличане на всички елементи във вариантите с минерални торове и слама или зеолит. Изследванията показваха, че чрез приложената процедура Community Bureau of Reference (BCR) секвенционално разпределение реда на биодостъпността е Cd>Zn>Cu>Pb, като най-мобилния и достъпен за растенията елемент е кадмият. В изследваната биомаса на растенията тези ефекти не се дублират, като при преизчисляване на износа на тежки метали значително влияние оказва получения добив. Той е най-висок при вариантите с прилагане на минерални торове и особено при внасяне на минерални торове плюс слама.

**Ключови думи:** замърсени почви, тежки метали, оценка на риска, безопасност

## **Effect of various enhancers on the bioavailability of heavy metals and their accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.)**

**Nikolai Dinev<sup>1\*</sup>, Vesselin Kutev<sup>2</sup>, Mariana Hristova<sup>1</sup>, Ivanka Mitova<sup>1</sup>, Ana Katzarova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ISSAPP “N.Poushkarov”, Sofia*

<sup>2</sup>*Forest University, Sofia*

**Corresponding author\*:** ndinev@ipt.bg

**Citation:** Dinev, N., Kutev, V., Hristova, M., Mitova., & Katzarova. A. (2021). Effect of various enhancers on the bioavailability of heavy metals and their accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Bulgarian Journal of Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, 55(2), 65-75.

## Abstract

A vegetation experiment was carried out. Various ameliorants (manure water extract, modified zeolite, mineral fertilizers, mineral fertilizers plus straw or mineral fertilizers plus natural zeolite) applied to contaminated soil from the area of Kremikovtzi steel plant on lettuce growth were tested. Ameliorants have a specific effect on the changes of soil toxicity. It was found that although in low concentrations, cadmium has the maximum negative impact on the sanitary qualities of the lettuce biomass. It was confirmed high mobility of cadmium ions and their easy migration into the above-ground parts. This explains the lack of positive effect from the application of various ameliorants. The uniform content of cadmium in the aboveground part is also impressive. The results of metal extraction with EDTA show a high degree (twice) of extraction of all elements in the variants with mineral fertilizers and straw or zeolite. BCR sequential distributed of the order of bioavailability  $Cd > Zn > Cu > Pb$ , as the most mobile and accessible element for plants is cadmium. These effects are not duplicated in the recalculation of heavy metal exports in plant biomass, where the yield obtained has a significant impact. It is highest in the variants with application of mineral fertilizers and especially in the application of mineral fertilizers plus straw.

**Key words:** contaminated soil, heavy metals, risk assessment, food safety

## Въведение

Устойчивото развитие е политически приоритет за Европа. В областта на земеделието това предполага разумно и щадящо използване на природните ресурси. Почвата е източник на богатство и национален просперитет. Поддържането и в състояние на „здрави почви“ изисква ограничаване и минимизиране на процесите на разграждане. Основна алтернатива за това е включването на естествени и безопасни отпадъчни продукти в поддържането на равновесието на агроecosystemите.

Устойчивото земеделие предполага разработване на технологии, които да позволяват активно ползване на обработваемата земя в България. Необходими са екологосъобразни и икономически изгодни решения, приложими за големи масиви и малки фермерски стопанства. Това е особено актуално за райони, засегнати от екологични процеси, водещи до влошаване на почвеното плодородие и ограничаване на

възможностите за биологично земеделие.

Един от съвременните подходи за преодоляване на стреса при растенията, предизвикани от тежки метали в почвата, е фиторемедиацията (Dinev, 2012; Dinev et al., 2000). Този комплекс от технологични решения позволява рационално използване на биологичния потенциал на растителни видове, който може да се реализира при създаване на адекватни условия за вегетация. В последните години особено внимание се отделя на екологосъобразното оползотворяване на отпадни продукти от различни производства, влагането на природни продукти и реализация на растителни остатъци от земеделската практика.

В ремедиационните изследвания на замърсени земи обичайно се ползват данни за общото съдържание на замърсители (Bacon & Dinev, 2005). Недостатъчна е информацията за връзката между металното съдържание и биодостъпността на металите в замърсени почви.

В изследвания с различни видове и прилагане

на BCR процедура Junhui et al. (2010) докладват разпределението на метали в четирите стъпки, като редът е Cd > Zn > Cu > Hg > As > Pb и се очертава високата достъпност на кадмия и възможностите за свързване на мобилността с други почвени показатели. Същото заключение докладва и Dinev (2012), като са използвани три различни процедури за секвенционално разпределение на металите (Basta & Gradwohl, 2000). Тестване на различни подходи за ограничаване на мобилността на елементите докладват Turulla et al. (2021) и Lee et al. (2011) чрез използване на биовъглен и нива на компост.

Целта на разработката е да бъдат тествани различни мелиоранти (природни и модифицирани) върху поведението на тежките метали в почвата и подходите за определяне на биодостъпните форми при фиторемедиация в земеделски земи.

## Материал и методи

Проведени са вегетационни експерименти в контролирана среда (вегетационна къща на ИПАЗР).

Почва – Алувиално ливадна от района на МДК-Кремиковци. Почвата е от точка от мониторингова мрежа (детайлизирана – II ниво, Schulin et al., 2004; Schulin et al., 2007). Тя се характеризира като Алувиално ливадна.

Варианти на опита – създадени са 6 варианта на приложение на мелиорана, които включват контролна проба, воден екстракт от оборски тор, модифициран зеолит, класическо торене с NPK, NPK плюс слама, NPK плюс природен зеолит.

Като тест култура е ползвана маруля (*Lactuca sativa* L.).

Проведени са екстракции с небуферизиран разтвор на EDTA.

Секвенционална екстракция по BCR – приета от Европейското Бюро за стандартизация (Ure et al, 1993; модифицирана по J. Васон от MLURI Aberdeen, лична информация 20.07.2001). Включва четири последователни стъпки за извличане на тежките метали:

S1 - екстракция с 0,11 mol/L оцетна киселина

S2 - с хидроксиламин хидрохлорид

S3 - с пероксид и амониев ацетат

S4 - с царска вода

## Резултати и обсъждане

### Изходна почва

В българското законодателство се приема, че основен фактор за оценяване на замърсяването на почвата, е почвената реакция, която формира групи от степен на замърсители. В настоящият случай почвата е слабо алкална, което определя и съответните максимално допустими концентрации (МДК) на металите (таблица 1).

Съдържанието на мед надвишава 3,5 пъти МДК, на цинк - 3,3 пъти и на кадмий - 1,8 пъти.

### Добив

В развитието на растителния вид се наблюдават забележими разлики, дължащи се на модифицираната хранителна среда. Установено е, че максимален добив има във вариантите с прилагане на минерално торене и добавка на слама или зеолит (таблица 2) Данните показват, че самостоятелното внасяне на минерални форми дава най-ниски резултати.

### Акумулация на тежки метали в растителната биомаса

Оценката на резултатите показва значително превишаване на санитарните норми за безопасност на марулята (таблица 2). Праговите стойности за отделните изследвани тежки метали са, както следва – Cd – 0,2 mg/kg, Pb – 0,3 mg/kg, за Cu и Zn – до 50 mg/kg.

Независимо от по-слабата степен на натопарване в почвата особено рисково натрупване в растителната продукция има кадмия. Концентрациите в марулята имат превишаване от 3 до 6 пъти на санитарните норми. Това показва, че този зеленчук е изключително опасен за отглеждане в района на Кремиковци. При вариантите на опита особена опасност представлява натрупването

на олово, като превишаването на санитарните норми е значително и достига до 12,5 mg/kg. Имайки предвид становището, че ако дори един от елементите превишава санитарните норми, продукцията се характеризира като опасна, може да се заключи, че в условията на експеримента марулята е санитарно уязвима култура (таблица 3). Резултатите показват, че използваните мелиоранти осигуряват различна достъпност на тежките метали в надземната биомаса на марулята. Това е особено показателно при медта, където варирането е голямо от 3,5 до 11,3 mg/kg. Най-ниското съдържание на мед е определено при използване на варианта с екстракт от оборски тор, а най-високо при варианта със самостоятелно ползване на минерални торове. Не се наблюдават различия в съдържанието на мед, дължащо се на използване на двата вида зеолит – модифициран и природен плюс минерални торове. Прилагането на минерален тор повишава над 2 пъти усвояването на мед от надземната биомаса в сравнение с нетретирания контролен вариант.

По отношение на цинка се наблюдава приблизително същия ефект на мелиорантите върху придвижването на цинка в надземната биомаса. Минимално съдържание се отчита при варианта с екстракт от оборски тор – 47,5 mg/kg, а максимално – при варианта с минерално торене – 82,5 mg/kg. Няма съществени различия в съдържанието на цинк в надземната биомаса при прилагане на вариантите с модифициран зеолит и NPK плюс слама, както и в контролния вариант. Завишаване има във варианта с минерален тор плюс природен зеолит. Като цяло, прилагането на минерални торове води до нарастване на усвояването на цинк от марулята в надземните ѝ части.

Оловото има различно поведение и акумулация в надземните части на марулята. Стойностите варират от 3,5 до 12,5 mg/kg. Най-ниско е измереното съдържание във варианта с модифициран зеолит, а най-високо при контролния вариант. Останалите варианти оказват следния ефект върху концентрацията на олово в надземните части – NPK плюс слама > NPK плюс природен зеолит > NPK > екстракт

от оборския тор. Концентрациите на олово в надземните части представляват един сериозен здравен проблем, като пределно допустимата концентрация е 5 mg.kg<sup>-1</sup>.

Усвояването и акумулацията на кадмия са интересни преди всичко отчитайки мобилността и токсичността на елемента в хранителната верига. Тук се отчита изравнен ефект на мелиорантите върху концентрациите на кадмий в надземните части на марулята – около 0,75-0,5 mg/kg. За съжаление тези нива превишават определените здравни граници (0,1 mg/kg).

### **Износ на тежки метали чрез надземната биомаса**

Най-висок износ на мед се отчита при варианта с прилагане на NPK плюс природен зеолит. Това означава, че определящо в случая е формирането на голяма биомаса, което като цяло се стимулира от прилагането на минерален тор (таблица 4). Наблюдава се нарастване на износа при всички варианти, включващи NPK, както и при модифицирания зеолит. Минимален износ на мед от надземните части се отчита при контролния вариант и при този с използване на екстракт от оборски тор (0,007-0,008 mg/kg).

Подобни тенденции се отчитат и при цинка. Тези сходни черти на двата елемента могат да се обяснят с положението им на есенциални за храненето на растенията и само при голям излишък като токсични за нормалната вегетация. Най-висок износ на цинк се отчита при варианта с прилагане на минерален тор и природен зеолит, а най-нисък износ при варианта с използване на екстракт от оборски тор. Сравнително висок е и изчисления износ при контролния вариант.

Износът на олово от надземните части зависи съществено от приложените варианти за мелиориране на замърсената почва. Най-висок е този износ при варианта с минерален тор плюс слама, следвано от контролния вариант и този с минерален тор и природен зеолит. Изравнени са стойности на изчисления износ на олово при другите три третирания – с екстракт от оборски тор, с модифициран зеолит и с

вносяне само на минерални торове – около 0,007-0,008 mg/kg.

Специфично е поведението при износа на кадмий с надземните части на марулята. Много висок е износът на кадмия при варианта с прилагане на минерален тор и слама. Според нас, основание за това е оптимизирания растеж на марулята и много високия добив, който се отчита при тази мелиорация. По-нисък е износът на кадмий при варианта с вносяне на минерален тор и природен зеолит. Сравнително изравнен е ефекта на нетретирания, контролен вариант и този с вносяне на модифициран зеолит (около 0,0013-0,0011 mg/kg). Най-нисък износ се отчита при вариантите с прилагане на екстракт от оборски тор и с вносяне само на минерален тор.

#### **Характеризиране на биодостъпните фракции на почвата**

Екстракционният агент EDTA е един от предпочитаните при оценка на подвижните форми на тежките метали. Изследванията с EDTA показват, най-висока степен на освобождаване на (4-25%) олово (13-25%), и най-слабо цинк (7-12%). Забележима е редуцията на екстрахируемата с EDTA на медта, отчетена при приложение на екстракта от оборски тор, самостоятелното минерално торене и използване като модифициран зеолит.

Концентрациите на потенциално достъпната мед, екстрахируема с разтвори на EDTA се оценява като потенциално токсична. Тези концентрации се превръщат в реална токсична заплаха за агроecosystemите и околната среда в резултат на силната си зависимост от рН. Установява се, че небуферирания разтвори на EDTA са по-подходящи в методично отношение (по-лесно и по-бързо изпълними).

Резултатите показват висока степен (двукратно) на извличане на всички елементи във вариантите с минерални торове и слама или зеоли (таблица 5).

Това може да се дължи от една страна, на повишената микробиолна дейност в коренообитаемия слой (при сламата), а от друга

страна на блокирането на тези метали в почвата от приложените зеолитни минерали. Това намира отражение и в по-високите добиви.

Използването на разтвори тип „псевдопочвен разтвор“ не са подходящи за охарактеризиране на риска при почви със силна степен на замърсяване и стабилни физико-химични показатели. Те са подходящи за изследване на по-слабо или незамърсени почви, които са по-лабилни в физико-химично отношение.

Хелатните агенти с и без коригиране на киселинността са с висока степен на ефективност при изследваните елементи, като не показват различия в зависимост от киселинността на разтвора и имат еднаква приложимост за неутрални до слабо алкални почви.

#### **Системен ход на секвенциална екстракция по BCR (Tessier, 1979; Ure, 1996; Ure et al., 1993)**

BCR процедурата започва с оцетната киселина, която се използва за екстрахиране на металите, свързани с железните и манганови (хидро) оксиди – специфично и неспецифично (обменно) сорбирани, освен на трудно разтворимите соли, като карбонатите (таблица 6). Този факт обяснява много високите стойности на кадмиево-карбонатната фракция в почвите от Кремиковци, които не съдържат или съдържат незначително количество карбонати. Тази фракция може да се разглежда като най-мобилната, въпреки че включва и комплексно адсорбираните метали, които са по-слабо подвижни от обменните. Всъщност, по-силните реагенти, които се използват в тази процедура намаляват специфичността на екстракциите и в много по-голяма степен позволяват припокриване на фракции, което се наблюдава и от други автори (Junhui Li et al., 2010). Това затруднява правилното тълкуване на резултатите особено, ако не е изяснена физико-химичната характеристика на изследваните почвени образци. Вероятно по тази причина тук по-слабо се откроява ролята на железните и манганови (хидро)оксиди (Ф2) за акумулацията на кадмия и осигуряване на неговата достъпност. Подобни количествени несъответствия се наблюдават и по отношение

**Таблица 1.** Почвени характеристики преди експеримента  
**Table 1.** Soil characteristics before

pH	Humus %	pH	Cu	Zn	Pb	Cd
7,4	3,55	7,4	85	1320	1300	5,5
			300	400	120	3

**Таблица 2.** Добив растителна биомаса, g сухо биомаса на съд  
**Table 2.** Yield of plant biomass, gDW per pot

Контрола/ Control	Екстракт от об.тор/ FM extract	Модифици- ран зеолит/ Proc. Zeolite	NPK	NPK + слама/ NPK+Straw	Зеолит/ Zeolite
3,5	3,8	4,5	2,5	5,6	5,2

**Таблица 3.** Концентрации на тежки метали в биомасата, mg.kg<sup>-1</sup>  
**Table 3.** Concentration of heavy metals in biomass, mg.kg<sup>-1</sup>

Вариант/ Treatments	Cu	Zn	Pb	Cd
<i>Lactuca sativa L</i>				
Контрола Control	4,75	60	12,5	0,75
Екстракт оборски тор FM	3,5	47,5	4,25	0,5
Модифициран зеолит Proc. zeolite	7,25	60	3,5	0,5
NPK	11,3	82,5	5,5	0,75
Мин.тор+зеолит NPK+straw	6,25	65	10,3	0,75
Зеолит Zeolite	7,25	72,5	9	0,75
Максимално допустиви стойности Permissible levels	50	50	0,3	0,2

**Таблица 4.** Износ на тежки метали с надземната биомаса, g за съд  
**Table 4.** Export of heavy metals with aboveground biomass, g per pot

Вариант/ Treatments	Heavy metals			
	Cu	Zn	Pb	Cd
	Lettuce			
Контрола Control	0,007	0,089	0,008	0,0009
Екстракт оборски тор FM	0,016	0,135	0,008	0,0011
Модифициран зеолит Proc. zeolite	0,014	0,103	0,007	0,0009
NPK	0,017	0,180	0,029	0,0021
Мин.тор+зеолит NPK+straw	0,019	0,187	0,023	0,0019
Зеолит Zeolite				

**Таблица 5.** Концентрации на тежки метали след екстракция с EDTA, mg.kg<sup>-1</sup>  
**Table 5.** Concentration of metals after extraction by EDTA, mg.kg<sup>-1</sup>

Вариант/ Treatments	Cu	Pb	Cd
Контрола Control	5,25	180	0,50
Екстракт оборски тор FM	4,60	154	0,45
Модифициран зеолит Proc. zeolite	4,90	168	0,50
NPK	9,10	340	0,95
Мин.тор+зеолит NPK+straw	8,75	323	0,90
Зеолит Zeolite			

**Table 6.** Концентрации на тежки метали след прилагане на BCR - technique, mg.kg<sup>-1</sup>  
**Table 6.** Concentration of heavy metals after application of BCR - technique, mg.kg<sup>-1</sup>

Вариант/ Treatments	Cd mg.kg <sup>-1</sup>	Cu mg.kg <sup>-1</sup>	Pb mg.kg <sup>-1</sup>	Zn mg.kg <sup>-1</sup>
S1	Оцетна киселина, 0,11 mol / L - обменяема и слабо адсорбирана фракция Acetic acid, 0.11 mol/L – exchangeable and weakly adsorbed fraction			
Контрола Control	6,09	11,72	0,70	274,69
Екстракт оборски тор FM	6,18	11,88	0,69	278,84
Модифициран зеолит Proc. zeolite	6,13	11,80	0,69	276,76
НПК	6,13	11,80	0,69	276,76
Мин.тор+зеолит NPK+straw	6,15	11,82	0,69	277,45
Зеолит Zeolite	6,14	11,81	0,69	276,99
S2	Хидроксиламин хидрохлорид, 0,5 mol / L - фракции, свързани с водородни оксиди на Fe и Mn Hydroxylamine hydrochloride, 0.5 mol/L – fractions bound to hydrous oxides of Fe and Mn			
Контрола Control	0,87	6,73	461,50	142,38
Екстракт оборски тор FM	1,08	9,63	499,87	152,01
Модифициран зеолит Proc. zeolite	1,19	9,64	577,25	171,95
НПК	1,43	12,50	655,09	202,22
Мин.тор+зеолит NPK+straw	1,26	11,27	584,37	200,58
Зеолит Zeolite	1,18	11,82	582,36	188,48
S3	Водороден пероксид и амониев ацетат 1 mol / L - органично свързана фракция Hydrogen peroxide and ammonium acetate 1 mol/L – organically bound fraction			
Контрола Control	0,13	8,30	49,11	48,26
Екстракт оборски тор FM	0,09	5,98	32,31	43,13
Модифициран зеолит Proc. zeolite	0,09	7,15	43,71	45,70
НПК	0,20	7,25	41,27	47,70
Мин.тор+зеолит NPK+straw	0,19	7,09	40,42	45,57



Таблица 6. Продължение  
Table 6. Continue

Зеолит Zeolite	0,17	6,41	37,35	42,25
S4		Aqua regia - остатък Aqua regia – residue		
Контрола Control	1,73	55,04	160,75	441,86
Екстракт оборски тор FM	1,43	51,71	147,56	404,25
Модифициран зеолит Proc. zeolite	1,54	54,45	161,24	420,37
NPK	2,01	56,80	158,20	430,25
Мин.тор+зеолит NPK+straw	1,95	58,44	158,68	446,85
Зеолит Zeolite	1,87	52,59	148,57	411,51

на кадмия, свързан с органичното вещество и с остатъчната фракция. Очевидно е, че разностранните химични връзки на тежките метали с почвените компоненти трудно могат да се опишат с прилаганата екстракционна схема.

Оловото също е концентрирано в минералната фаза и според данните от BCR над 50% от екстрахираното количество участва в състава на железните и манганови (хидро)оксиди като здраво свързано изоморфно, оклюдирано или хемосорбирано олово. В района на Кремиковци се обособява и друга стабилна фракция на оловото, представяща съдържанието на включеното в кристалните решетки на минералите олово, докато в района на гр. Пловдив не се наблюдава подобна тенденция. Така наречената фракция на свързаните с „карбонатите” тежки метали се екстрахира само от някои почвени разновидности и символизира съдържанието на обменното и специфично (комплексно) адсорбираното олово от трудно разтворимите съединения в почвите.

Наблюдаваните различия могат да се

свържат предимно с характеристиките на почвообразуващите материали, отколкото с техногенното разпределение на елемента. Очевидно е, че при ареозолно замърсяване аморфните съединения на желязото, алуминия и мангана се превръщат в един от основните колектори на техногенен кадмий в канелените горски почви от Софийското поле (Кбсз). Незамърсените почви се характеризират и с високо съдържание на кадмиево-мангановата фракция, която се явява доминантна в случаите на слабо палитрен (еднообразен) минерален състав. В този район се установява пренебрежимо ниско съдържание на обменен кадмий.

Разпределението на цинка показва следните тенденции: в незамърсените почви и особено в алувиално-ливадните почви преобладават устойчивите съединения на цинка с трудно разтворимите алумосиликатни, сулфидни и детритни минерали. Замърсяването променя тази тенденция в алувиално-ливадните почви в посока на акумулация на цинк във фракцията на железните и манганови (хидро)оксиди.

Медта също е устойчиво фиксирана в

изследваната почва, предимно от алумосиликатите, следвани от железните и манганови (хидро) оксиди. Органичната фракция на медта, както и карбонатната са слабо разпространени и трудно могат да се обяснят с промените в съдържанието или устойчивостта на връзките с органичното вещество или карбонатите.

Както отбелязахме и по-горе, BCR е приложима по-скоро за характеризирани на трудноразтворимите съединения на металите в почвите, за които са разработени две много информативни стъпки. Поради много ниските стойности на рН на използваните разтвори, участието на типично обменно свързаните тежки метали с минералните компоненти е силно маскирано и затруднява анализа на мобилността на изследваните елементи. Въпреки че разтворителят, избран да характеризира подвижността на тежките метали, свързани с органичните и органоминералните съединения е един от най-подходящите, също не осигурява достатъчно пълна и специфична информация за този тип съединения в почвите.

Изследванията показваха, че чрез приложената процедура на секвенциално разпределение реда на достъпността е Cd>Zn>Cu>Pb, което обуславя, че най-мобилния и достъпен за растенията елемент е кадмият.

## Изводи

Резултатите от проведения вегетационен експеримент ни дават основание да направим следните изводи.

Подбраните мелиоративни варианти на опита оказват благоприятно въздействие върху добива. Най-подходящи са двата варианта с минерални торове и добавени слама и зеолит.

Най-голям износ на тежки метали се отрича при същите два варианта (минерални торове и добавени слама и зеолит) и модифицирания зеолит. Това се отразява в значително превишаване на санитарните норми за безопасност на марулята по отношение наличието на вредни вещества.

Резултатите при екстракция на металите с EDTA показват висока степен (двукратно) на

извличане на всички елементи във вариантите с минерални торове и слама или зеолит.

Изследванията показваха, че чрез приложената процедура BCR секвенциално разпределение по реда на биодостъпността е Cd>Zn>Cu>Pb, като най-мобилния и достъпен за растенията елемент е кадмият.

## Благодарности

Разработката е проведена при финансовото съдействие на Фонд за научни изследвания – МОН, проект КП-06-Н36/1 „Оптимизиране на състава и действието на растителни хидролизати за поддържане на почвеното плодородие в условията на устойчиво земеделие“

## Литература

**Bacon, J. R., & Dinev, N. S.** (2005). Isotopic characterisation of lead in contaminated soils from the vicinity of a non-ferrous metal smelter near Plovdiv, Bulgaria. *Environmental Pollution*, 134(2), 247-255.

**Basta, N., & Gradwohl, R.** (2000). Estimation of Cd, Pb, and Zn bioavailability in smelter-contaminated soils by a sequential extraction procedure. *Journal of Soil Contamination*, 9(2), 149-164.

**Dinev, N.** (2012). *Ecological monitoring and remediation strategies at heavy metal polluted soils*. Dissertation for the award of an academic position “Doctor of Sciences” Agricultural academy, Sofia.

**Dinev, N., Stanislavova, L., Filcheva, E., & Bojinova, P.** (2000). Phytoremediation Potential of Species from Brassicaceae and *Salvia sclarea* for Zinc, Cadmium and Lead Contaminated Soils. In: *Contaminated Land Problems in Central and Eastern Europe*, Katowice, January 18-19.

**Li, J., Lu, Y., Shim, H., Deng, X., Lian, J., Jia, Z., & Li, J.** (2010). Use of the BCR sequential extraction procedure for the study of metal availability to plants. *Journal of Environmental Monitoring*, 12(2), 466-471.

**Lee, S. H., Park, H., Koo, N., Hyun, S., & Hwang, A.** (2011). Evaluation of the effectiveness of various amendments on trace metals stabilization by chemical and biological methods. *Journal of hazardous materials*, 188(1-3), 44-51.

**Schulin, R., Keller, A., Daskalova, A., Mondeshka, M., Dinev, N., Koutev, V., & Todorova, I.** (2004). *Geo-statistical soil quality assessment and regional mass flux analysis for sustainable land use planning and management*. ETH Zurich.

**Schulin, R., Curchod, F., Mondeshka, M., Daskalova,**

**A., & Keller, A.** (2007). Heavy metal contamination along a soil transect in the vicinity of the iron smelter of Kremik-ovtzi (Bulgaria). *Geoderma*, *140*(1-2), 52-61.

**Tessier, A., Campbell, P. G., & Bisson, M. J. A. C.** (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical chemistry*, *51*(7), 844-851.

**Turull, M., Fontàs, C., & Díez, S.** (2021). Effect of different amendments on trace metal bioavailability in agricultural soils and metal uptake on lettuce evaluated by Diffusive Gradients in Thin Films. *Environmental Technology & Innovation*, *21*, 101319.

**Ure, A. M.** (1996). Single extraction schemes for soil analysis and related applications. *Science of the Total Environment*, *178*(1-3), 3-10.

**Ure, A. M., Quevauviller, P. H., Muntau, H., & Griepink, B.** (1993). Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *International journal of environmental analytical chemistry*, *51*(1-4), 135-151.