

Wpływ stymulacji laserowej nasion na bioakumulację metali ciężkich w kostrzewie czerwonej

B. GRYGIERZEC¹, K. GOWIN²

¹*Katedra Łąkarstwa, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie im. Hugona Kołłątaja*

²*Katedra Biotechnologii Środowiskowej i Ekologii, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie im. Stanisława Staszica*

Effect of laser stimulation of seeds on heavy metals bio-accumulation in the red fescue

Abstract. The research was conducted in 2005–2008 in Krakow. The experiments were located close to three busy streets of the city: Igołomska, Lublanska and Mickiewicz Avenue. The experiment aimed at determining the effect of pre-sowing stimulation of red fescue seeds with a laser diode on heavy metal contents. After four years of red fescue exposure along the three streets in Krakow a smaller soil pollution with heavy metals was assessed in the pots sown with the grass sowing material which was pre-sowing stimulated with the laser diode. Computed bioaccumulation coefficients (BC) revealed that the red fescue which was pre-sowing stimulated with the laser diode accumulated higher quantities of all analyzed heavy metals than the plants which were not stimulated before sowing. Red fescue, both stimulated with the laser diode before sowing and without the pre-sowing stimulation absorbed greater quantities of copper, zinc, cadmium and nickel, but smaller amounts of chromium and lead.

Key words: heavy metals, *Festuca rubra*, soil, irradiation

1. Wstęp

Problem zanieczyszczenia roślin i gleb metalami ciężkimi występuje w Polsce lokalnie i dotyczy przede wszystkim obszarów uprzemysłowionych oraz zurbanizowanych. Jednak w niektórych rejonach, w sąsiedztwie dawnych lub obecnych źródeł emisji, rośliny i gleby wykazują niekiedy znaczny stopień zanieczyszczenia (KASZUBKIEWICZ i KAWAŁKO, 2009). W miastach głównym źródłem skażenia środowiska są środki transportu i komunikacji. Pojazdy spalinowe w efekcie eksploatacji emitują do atmosfery wiele szkodliwych substancji, w tym metale ciężkie będące składnikami spalin i pyłów. Spośród nich na uwagę zasługują związki cynku, miedzi, ołowiu, niklu, kadmu, a także chromu (JASIEWICZ i BUCZEK, 2000; ANTONKIEWICZ i MACUDA, 2005). Zagrożenie stwarzane przez spaliny samochodów jest tym większe, że ich toksyczne składniki są wydalane do atmosfery, często na obszarach gęsto zaludnionych, gdzie zabudowa ogranicza naturalną wymianę powietrza (PYŁKA-GUTOWSKA, 2004).

W obszarach zurbanizowanych środowisko zanieczyszczane jest również pyłami emitowanymi przez różne zakłady przemysłowe, a w okresie zimowym poważnym źródłem zanieczyszczenia są lokalne kotłownie. Bez względu na źródło pochodzenia metale ciężkie w nadmiernych ilościach stwarzają poważne zagrożenie dla wszystkich organizmów żywych. Stąd też istnieje stała potrzeba monitorowania ich zawartości, ale także poszukuje się wciąż nowych sposobów ograniczania zanieczyszczeń w terenach zurbanizowanych, dokonując obsiewu roślinnością trawiastą poboczy dróg, obsadzając je krzewami i drzewami. Z roślinności trawiastej wykorzystywanej do obsiewu poboczy, na szczególną uwagę zasługuje, ze względu na swoje właściwości – kostrzewa czerwona. Gatunek ten ma niskie wymagania troficzne i jest odporny na niekorzystne uwarunkowania klimatyczne. Mając na uwadze efektywność w ograniczaniu zanieczyszczeń w środowisku miejskim przeprowadzono badania z wykorzystaniem przedsewnej stymulacji materiału siewnego kostrzewy czerwonej. Bowiem według DOBROWOLSKIEGO (2001) szczególne znaczenie dla postępu w tych działaniach posiada zastosowanie stymulacji laserowej materiału biologicznego. Dotychczas przeprowadzone badania wykazały korzystny wpływ przedsewnego traktowania nasion promieniami laserowymi na stymulację kiełkowania, początkowy rozwój oraz plonowanie niektórych roślin zbożowych, okopowych i warzywnych (KOPER, 1996; DROZD i wsp., 1997; WÓJCIK i BOJARSKA, 1998; ĆWINTAL i SOWA, 2006). Brak jest natomiast odpowiednich informacji o wpływie naświetlania światłem zielonym diodą laserową materiału siewnego traw na kumulowanie pierwiastków śladowych. Stąd też podjęto badania w celu określenia wpływu przedsewnej stymulacji nasion kostrzewy czerwonej diodą laserową na zawartość metali ciężkich.

2. Materiał i metody

Badania przeprowadzono w latach 2005–2008 w Krakowie. Doświadczenia zlokalizowano w pobliżu trzech ruchliwych ulic miasta: Igołomskiej (okolice Huty im. Sędzimir), Lublańskiej oraz alei Mickiewicza. W każdym z miejsc ustawiono po 16 obiektów (2 warianty w 8 powtórzeniach). Obiektami doświadczalnymi były wazon-y z kostrzewą czerwoną, odmianą Raisa. Każdy wazon napełniono glebą (czarnoziemem zdegradowanym wytworzonym z lessu) w ilości 2 kg na wazon, pochodzącą z gruntu ornego usytuowanego w pobliżu głównego szlaku komunikacyjnego łączącego Kraków z Proszowicami. Do wazonów zebrano glebę z wierzchniej warstwy ornej od 0 do 10 cm. Właściwości chemiczne tej gleby przedstawiały się następująco: $\text{pH}_{\text{KCl}}=6,4$; przyswajalne P–37; K–58 i Mg–18 g kg^{-1} ; N-organiczny 1,1; węgiel ogólny 9,6 g kg^{-1} gleby; Zn–97,68; Cu–10,25; Pb–35,93; Ni–3,17; Cd–0,60; Cr–14,96 mg kg^{-1} . Następnie wysiano nasiona kostrzewy czerwonej w ilości po 5 na wazon. Do 24 wazonów wysiano nasiona kostrzewy czerwonej naświetlone światłem zielonym diodą laserową o długości fali $\lambda = 660 \text{ nm}$ i mocy 21,9 mW, w czasie 30 sekund, trzy razy. Naświetlanie ziarniaków wykonano w Katedrze Biotechnologii Środowiskowej i Ekologii na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Z kolei do pozostałych 24 wazonów wysiano materiał siewny kostrzewy czerwonej bez wcze-

śniejszego naświetlania. Po wykiełkowaniu nasion dokonano przerywki roślin pozostawiając w wazonach po trzy rośliny, a po rozkrzewieniu się roślin, w wazonie pozostawiono tylko jedną roślinę. Rozkrzewione rośliny eksponowano od maja 2005 roku aż do jesieni 2008 roku wzdłuż trzech ruchliwych ulic Krakowa. Ulica Igołomska zlokalizowana jest na obrzeżach wschodniej części miasta, ulica Lublańska w północnej części, z kolei aleje Mickiewicza położone są w centrum Krakowa.

W sezonie wegetacyjnym roślinność zbierano 4–5 razy, poprzez ścinanie roślin do wysokości około 5 cm nad powierzchnią gleby. W okresie letnim i dużej trwającej suszy roślinność w wazonach podlewano wodą destylowaną w ilości 0,5 l na wazon, co 3 dni. Łącznie w sezonie wegetacyjnym wszystkie wazon-y podlewano 30 razy, co na jeden wazon wynosiło dodatkowo (oprócz opadu atmosferycznego) 15 l wody. Wyjątkowo w trzecim roku badań (2007) wazon-y podlewano 10 razy, czyli na jeden wazon stosowano dodatkowo 5 l wody.

W poszczególnych latach badań roczna temperatura powietrza kształtowała się na poziomie: 2005 – 7,5 °C; 2006 – 6,9 °C; 2007 – 9,2 °C; 2008 – 9,1 °C, a w okresie wegetacji odpowiednio: 13,2; 13,0; 15,5; 15,1 °C. Z kolei roczna suma opadów wynosiła: 2005 – 567,9 mm; 2006 – 597,5 mm; 2007 – 772,4 mm; 2008 – 633,1 mm. Natomiast suma opadów w okresie wegetacji łącznie z sumą nawadniania na jeden wazon była równa: 2005 – 347,9 mm; 2006 – 408,5 mm; 2007 – 471,4 mm; 2008 – 386,5 mm.

Przed analizą chemiczną materiał glebowy suszono w temperaturze pokojowej, następnie rozdrobniono i przesiano przez sito. W pobranym materiale glebowym oznaczono: skład granulometryczny metodą sitową, pH w 1 mol \times dm⁻³ KCl metodą potencjometryczną, zawartość: węgla ogólnego metodą Tiurina w modyfikacji Oleksynowej, azotu ogólnego metodą Kjeldahla przy użyciu aparatu firmy Kjeltex, przyswajalnego fosforu metodą Egnera-Riehma kolorymetrycznie, przyswajalnego potasu metodą Egnera-Riehma przy zastosowaniu fotometrii płomieniowej, oraz przyswajalnego magnezu metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej AAS, po ekstrakcji w 0,0125 mol CaCl₂ dm⁻³. Zawartość form całkowitych metali ciężkich w glebie: Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr oznaczono techniką AAS po mineralizacji próbek w wodzie królewskiej zgodnie z PN-ISO 11047 (2001) i PN-ISO 11466 (2002). Materiał roślinny wysuszono, zmielono, a następnie przeanalizowano na zawartość metali ciężkich Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr – techniką AAS po mineralizacji w wodzie królewskiej. Próbkę analizowaną stanowił zbiorczy materiał roślinny z 8 powtórzeń.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono dla poszczególnych pierwiastków medianę, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności – V (%).

W celu określenia fitotoksyczności badanych metali obliczono współczynniki bioakumulacji (BC). Parametr ten obliczono ze stosunku zawartości metalu w roślinie do jego poziomu w glebie (GORLACH, 1995). Uzyskane wyniki poddano obliczeniom statystycznym, wykonując analizę wariancji. Do oceny różnic pomiędzy średnimi zastosowano test Studenta przy poziomie istotności $p = 0,05$. Analizę statystyczną wyników wykonano programem Statistica 8,0.

3. Wyniki i dyskusja

Występowanie metali ciężkich w glebach pochodzenia antropogenicznego wiąże się z długotrwałym procesem akumulacji, a ich przemieszczanie się w profilu glebowym związane jest z odczynem gleby. W glebach o odczynie kwaśnym wyraźnie zwiększa się ruchliwość pierwiastków i ich przyswajalność przez rośliny, z kolei w glebach o odczynie obojętnym, alkalicznym oraz w obecności węgla wapnia metale ciężkie są w małym stopniu przemieszczane do głębszych warstw (CZARNOWSKA, 1999). W badaniach własnych gleby charakteryzowały się odczynem obojętnym mieszczącym się w zakresie pH od 6,05 do 6,73. Zatem ze względu na stosunkowo wysokie pH, odczyn nie był czynnikiem wpływającym na zwiększenie się ruchliwości metali w badanej glebie.

Po czterech latach badań gleba z wazonów z kostrzewą czerwoną (nie stymulowaną przedsięwzięciem) zawierała następujące ilości metali ciężkich: 105,60–123,63 mg Zn; 11,85–13,96 mg Cu; 34,81–50,72 mg Pb; 3,56–5,23 mg Ni; 0,67–1,00 mg Cd; 15,32–18,68 mg Cr kg⁻¹ (tab. 1). Mediany zawartości wymienionych pierwiastków wynosiły: 111,23 mg Zn; 12,60 mg Cu; 42,98 mg Pb; 4,07 mg Ni; 0,71 mg Cd oraz 16,99 mg Cr kg⁻¹. Największą zawartością cynku, ołowiu oraz chromu cechowała się gleba z wazonów przy ulicy Lublańskiej (II). Z kolei największą ilość niklu i kadmu stwierdzono w glebie z wazonów ustawionych wzdłuż ulicy Igołomskiej (I), a miedzi w glebie z wazonów przy alei Mickiewicza (III). Zawartość metali ciężkich w glebie wykazywała duże zróżnicowanie, najniższy współczynnik zmienności V–12,1% obliczono dla cynku, a najwyższy V–42,1% dla kadmu.

Standard dla gruntów grupy C nie został przekroczony w przypadku żadnego metalu.

Tabela 1. Średnia zawartość metali w glebie

Table 1. Mean of the metals content in soils

Wyszczególnienie Specification	Bez naświetlania – without irradiation					
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr
	mg kg ⁻¹					
I	105,60	12,37	41,58	5,23	1,00	17,43
II	123,63	11,85	50,72	3,71	0,85	18,68
III	108,57	13,96	34,81	3,56	0,67	15,32
Mediana	111,23	12,60	42,98	4,07	0,71	16,99
Sd	13,60	2,36	10,67	1,35	0,35	2,90
V (%)	12,1	18,5	25,2	32,4	42,1	16,9

I – ul. Igołomska

II – ul. Lublańska

III – al. Mickiewicza

Gleba z wazonów z kostrzewą czerwoną (przedsięwzięciem naświetlaną diodą laserową) zawierała: 89,50–105,64 mg Zn; 10,73–12,42 mg Cu; 26,78–43,67 mg Pb; 3,02–4,35 mg Ni; 0,45–0,72 mg Cd; 11,59–17,21 mg Cr kg⁻¹ (tab. 2). Mediany zawartości

analizowanych pierwiastków wynosiły: 94,53 mg Zn; 11,62 mg Cu; 35,43 mg Pb; 3,50 mg Ni; 0,61 mg Cd oraz 14,91 mg Cr kg⁻¹. Największą zawartość cynku, ołowiu oraz chromu oznaczono w glebie z wazonów eksponowanych wzdłuż ulicy Lublańskiej (II). Z kolei największą ilość miedzi stwierdzono w glebie z wazonów przy alei Mickiewicza (III), a niklu i kadmu w glebie z wazonów przy ulicy Igołomskiej (I). Współczynnik zmienności zawierał się w przedziale od 16,3% dla zawartości miedzi do 34,7% dla kadmu.

Analiza zawartości metali ciężkich po czterech latach eksponowania wazonów wzdłuż trzech ulic Krakowa wskazuje, że mniej zanieczyszczone były gleby, obsiane materiałem siewnym kostrzewy czerwonej przedświecnie stymulowanym diodą laserową.

Według rozporządzenia Ministra Środowiska (2002) dotyczącego standardów jakości gleby i jakości ziemi, dopuszcza się w wierzchnich poziomach terenów przemysłowych – komunikacyjnych (grupa C) następujące zawartości: 1000 mg Zn; 600 mg Cu; 600 mg Pb; 300 mg Ni; 15 mg Cd i 1000 mg Cr kg⁻¹.

Tabela 2. Średnia zawartość metali w glebie

Table 2. Mean of the metals content in soils

Wyszczególnienie Specification	Z naświetlaniem diodą 3 × 30 s – with irradiation by diode 3 × 30 s					
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr
	mg kg ⁻¹					
I	89,50	10,73	35,81	4,35	0,72	15,48
II	105,64	11,16	43,67	3,02	0,63	17,21
III	91,26	12,42	26,78	3,27	0,45	11,59
Mediana	94,53	11,62	35,43	3,50	0,61	14,91
Sd	18,33	1,87	9,65	1,16	0,21	3,07
V (%)	19,2	16,3	27,3	32,8	34,7	20,8

I – ul. Igołomska

II – ul. Lublańska

III – al. Mickiewicza

Analiza zawartości metali ciężkich w kostrzewie czerwonej, której materiał siewny nie był poddany stymulacji światłem, pokazuje, że rośliny eksponowane wzdłuż ulicy Igołomskiej (I) zawierały średnio najwięcej ołowiu (1,78 mg), niklu (0,92 mg) i kadmu (0,25 mg kg⁻¹), wzdłuż ulicy Lublańskiej (II) najwięcej chromu (1,26 mg kg⁻¹), natomiast wzdłuż alei Mickiewicza (III) najwięcej cynku (63,57 mg) oraz miedzi (7,41 mg kg⁻¹) (tab. 3). Z kolei najmniejszą średnią ilość cynku (32,75 mg), miedzi (5,41 mg), niklu (0,75 mg) oraz kadmu (0,15 mg kg⁻¹) oznaczono w roślinach ustawionych wzdłuż ulicy Lublańskiej (II), chromu (0,91 mg kg⁻¹) – w roślinach na ulicy Igołomskiej (I), a ołowiu (1,42 mg kg⁻¹) – w roślinach na alei Mickiewicza (III).

Mediana zawartości metali ciężkich w kostrzewie czerwonej eksponowanej wzdłuż ulicy Igołomskiej (I) wynosiły: 34,93 mg Zn; 5,20 mg Cu; 2,08 mg Pb; 0,98 mg Ni;

0,27 mg Cd oraz 0,82 mg Cr kg⁻¹. Spośród badanych metali najmniejszym zróżnicowaniem odznaczał się cynk (V=16,5%), następnie kadm (V=33,2%), ołów (V=45,5%), chrom (V=51,8%), miedź (V=56,6%), a największym nikiel (V=62,0%).

Obliczone mediany zawartości analizowanych metali w roślinach ustawionych wzdłuż ulicy Lublańskiej (II) wynosiły: 27,92 mg Zn; 4,57 mg Cu; 1,70 mg Pb; 0,88 mg Ni; 0,13 mg Cd oraz 1,36 mg Cr kg⁻¹. Współczynnik zmienności zawartości metali ciężkich w kostrzewie czerwonej wahał się od 30,7% (dla ołowiu) do 62,1% (dla kadmu).

Tabela 3. Parametry charakteryzujące zawartość metali w roślinach
Table 3. Parameters characteristic of the metals content in plants

Wyszczególnienie Specification	Bez naświetlania – without irradiation					Cr
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	
mg kg ⁻¹						
Średnia – Mean	35,18	6,27	1,78	0,92	0,25	0,91
Min.	28,95	3,39	0,59	0,18	0,14	0,53
Max.	41,90	11,30	2,36	1,40	0,33	1,47
Mediana	34,93	5,20	2,08	0,98	0,27	0,82
Sd	5,81	3,55	0,81	0,57	0,08	0,47
V (%)	16,5	56,6	45,5	62,0	33,2	51,8
II						
Średnia – Mean	32,75	5,41	1,52	0,75	0,15	1,26
Min.	20,45	3,34	0,83	0,23	0,06	0,64
Max.	54,71	9,15	1,85	1,01	0,28	1,68
Mediana	27,92	4,57	1,70	0,88	0,13	1,36
Sd	15,08	2,65	0,47	0,36	0,09	0,44
V (%)	46,1	49,1	30,7	48,6	62,1	34,9
III						
Średnia – Mean	63,57	7,41	1,42	0,81	0,21	1,15
Min.	43,19	4,15	0,85	0,17	0,10	0,71
Max.	82,48	9,82	3,05	1,35	0,30	2,43
Mediana	64,30	7,84	0,90	0,86	0,22	0,73
Sd	16,90	2,37	1,09	0,51	0,09	0,85
V (%)	26,6	32,0	76,3	63,5	41,9	74,2

I – ul. Igołomska

II – ul. Lublańska

III – al. Mickiewicza

Mediany zawartości metali ciężkich w kostrzewie czerwonej wystawionej wzdłuż alei Mickiewicza (III) wynosiły: 64,30 mg Zn; 7,84 mg Cu; 0,90 mg Pb; 0,86 mg Ni; 0,22 mg Cd oraz 0,73 mg Cr kg⁻¹. Najmniejsze zróżnicowanie obliczono dla cynku

(V–26,6%), następnie dla miedzi (V–32,0%), kadmu (V–41,9%), niklu (V–63,5%), chromu (V–74,2%), a największe dla ołowiu (V–76,3%).

Kostrzewa czerwona przedsięwzięcie stymulowana diodą laserową ekspozycja wzdłuż ulicy Igołomskiej (I) gromadziła średnio najwięcej ołowiu (1,84 mg), niklu (1,18 mg) i kadmu (0,35 mg kg⁻¹), a wzdłuż alei Mickiewicza (III) najwięcej cynku (71,58 mg), miedzi (9,06 mg) oraz chromu (1,44 mg kg⁻¹) (tab. 4). Natomiast najmniejszą średnią ilość cynku (34,76 mg), miedzi (6,01 mg), ołowiu (1,75 mg), niklu (0,84 mg) oraz kadmu (0,19 mg kg⁻¹) oznaczono w roślinach wystawionych wzdłuż ulicy Lublańskiej (II), chromu (1,06 mg kg⁻¹) – w roślinach na ulicy Igołomskiej (I).

Tabela 4. Parametry charakteryzujące zawartość metali w roślinach
Table 4. Parameters characteristic of the metals content in plants

Wyszczególnienie Specification	Z naświetlaniem diodą 3 × 30 s – with irradiation by diode 3 × 30 s					
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr
mg kg ⁻¹						
I						
Średnia – Mean	37,74	7,38	1,84	1,18	0,35	1,06
Min.	16,53	3,74	0,57	0,43	0,18	0,38
Max.	48,46	11,46	2,59	1,75	0,45	1,73
Mediana	42,99	7,16	2,10	1,28	0,39	1,06
Sd	14,54	3,90	0,88	0,60	0,12	0,57
V (%)	38,5	52,9	47,7	50,7	34,5	53,9
II						
Średnia – Mean	34,76	6,01	1,75	0,84	0,19	1,38
Min.	19,39	2,64	0,83	0,18	0,04	0,52
Max.	56,48	8,93	2,16	1,23	0,27	1,74
Mediana	31,59	6,23	2,01	0,97	0,22	1,63
Sd	17,11	2,66	0,62	0,46	0,10	0,58
V (%)	49,2	44,3	35,4	54,4	54,1	41,7
III						
Średnia – Mean	71,58	9,06	1,79	1,11	0,31	1,44
Min.	31,57	3,75	0,65	0,15	0,14	0,72
Max.	93,64	13,58	2,85	1,45	0,53	2,79
Mediana	80,55	9,46	1,83	1,41	0,29	1,13
Sd	27,67	4,09	1,11	0,64	0,16	0,95
V (%)	38,7	45,1	62,0	57,7	52,2	65,6

I – ul. Igołomska

II – ul. Lublańska

III – al. Mickiewicza

Mediany zawartości metali ciężkich w roślinach przedsięwzięcie stymulowanych światłem zielonym i ekspozowanych wzdłuż ulicy Igołomskiej (I) wynosiły: 42,99 mg Zn; 7,16 mg Cu; 2,10 mg Pb; 1,28 mg Ni; 0,39 mg Cd oraz 1,06 mg Cr kg⁻¹. Współczyn-

nik zmienności zawartości analizowanych metali mieścił się w granicach od 34,5% (dla kadmu) do 53,9% (dla chromu).

Mediany zawartości metali w roślinach ustawionych wzdłuż ulicy Lublańskiej (II) wynosiły: 31,59 mg Zn; 6,23 mg Cu; 2,01 mg Pb; 0,97 mg Ni; 0,22 mg Cd oraz 1,63 mg Cr kg⁻¹. Najmniejsze zróżnicowanie obliczono dla ołowiu (V–35,4%), a największe dla niklu (V–54,4%).

Obliczone mediany zawartości analizowanych pierwiastków w kostrzewie czerwonej eksponowanej przy alei Mickiewicza (III) wynosiły: 80,55 mg Zn; 9,46 mg Cu; 1,83 mg Pb; 1,41 mg Ni; 0,29 mg Cd oraz 1,13 mg Cr kg⁻¹. Spośród badanych metali najmniejszym zróżnicowaniem odznaczał się cynk (V–38,7%), następnie miedź (V–45,1%), kadm (V–52,2%), nikiel (V–57,7%), ołów (V–62,0%), a największym chrom (V–65,6%).

Metale ciężkie występujące w środowisku w nadmiernych ilościach powodują zaburzenia we wzroście i rozwoju roślin, stąd też dokonano oceny stopnia zanieczyszczenia kostrzewy czerwonej metalami na podstawie opracowania KABATY-PENDIAS i wsp. (1995). Na tej podstawie stwierdzono, że zawartość badanych pierwiastków mieściła się w granicach dopuszczalnych norm. Zawartość chromu również była dużo mniejsza od maksymalnej dopuszczalnej ilości (poniżej 20 mg Cr kg⁻¹) jaka jest wymieniana dla roślin przeznaczonych na paszę. Jednak niektóre rośliny bardzo wrażliwe na chrom wykazują objawy toksyczności już przy stężeniu 1–2 mg Cr kg⁻¹. Podobnie zawartość kadmu w kostrzewie czerwonej układała się na ogół poniżej tolerowanej normy przez roślinę (czyli równo lub poniżej 0,50 mg Cd kg⁻¹), poza jednym wyjątkiem (zawartości maksymalnej – 0,53 mg Cd kg⁻¹ w roślinach przedświecnie stymulowanych światłem i eksponowanych wzdłuż alei Mickiewicza). Według KABATY-PENDIAS i wsp. (1995) zawartość kadmu w roślinach pastewnych jest czułym wskaźnikiem poziomu metalu w środowisku zwłaszcza w powietrzu atmosferycznym, które jest jego istotnym źródłem. Roślinność trawiasta pobiera kadm w 50% z powietrza atmosferycznego.

W celu ustalenia fitotoksyczności analizowanych metali obliczono współczynnik bioakumulacji (BC). Jego wartość odzwierciedla zdolność roślin do pobierania składników zawartych w glebie oraz informuje o wielkości i szybkości przemieszczania się metali z roztworu glebowego do części nadziemnych rośliny (JASIEWICZ i ANTONKIEWICZ, 2000).

Obliczone wartości wskaźników bioakumulacji (BC) metali ciężkich przez kostrzewę czerwoną, której materiał siewny nie był stymulowany światłem zielonym, mieściły się w przedziałach: 0,265–0,585 mg Zn; 0,457–0,531 mg Cu; 0,030–0,043 mg Pb; 0,176–0,228 mg Ni; 0,176–0,310 mg Cd; 0,052–0,075 mg Cr kg⁻¹ (tab. 5). Kostrzewa czerwona pobierała w największej ilości miedź, cynk, kadm oraz nikiel, a w mniejszej ołów i chrom. Świadczy to o dużej ruchliwości szczególnie tych pierwiastków w porównaniu z innymi metalami oraz stosunkowo łatwym ich pobieraniu przez rośliny. Według BIELIŃSKIEJ (2006) kadm i cynk są metalami, bardzo łatwo gromadzącymi się w tkankach roślinnych, włączając się tym samym do łańcucha troficznego.

Tabela 5. Średnie wskaźniki bioakumulacji (BC) metali w kostrzewie czerwonej
Table 5. Average bioaccumulation (BC) coefficient of metals in *Festuca rubra*

Wyszczególnienie Specification	Bez naświetlania – without irradiation					
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr
I	0,333	0,507	0,043	0,176	0,250	0,052
II	0,265	0,457	0,030	0,202	0,176	0,067
III	0,585	0,531	0,041	0,228	0,310	0,075
NIR _{α = 0,05} LSD _{α = 0,05}	0,27	0,29	0,04	0,13	0,14	0,04

I – ul. Igołomska
II – ul. Lublańska
III – al. Mickiewicza

Kostrzewa czerwona przedsięwzięcie stymulowana diodą laserową kumulowała wyższe ilości wszystkich analizowanych metali ciężkich, o czym świadczą obliczone współczynniki bioakumulacji (BC) (tab. 6). Dla każdego metalu były one wyższe, niż u roślin nie stymulowanych przedsięwzięcie, zawierając się w granicach: 0,329–0,784 mg Zn; 0,539–0,729 mg Cu; 0,040–0,067 mg Pb; 0,271–0,339 mg Ni; 0,302–0,689 mg Cd; 0,068–0,124 mg Cr kg⁻¹.

Tabela 6. Średnie wskaźniki bioakumulacji (BC) metali w kostrzewie czerwonej
Table 6. Average bioaccumulation (BC) coefficient of metals in *Festuca rubra*

Wyszczególnienie Specification	Z naświetlaniem diodą 3 × 30 s – with irradiation by diode 3 × 30 s					
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr
I	0,422	0,688	0,051	0,271	0,486	0,068
II	0,329	0,539	0,040	0,278	0,302	0,080
III	0,784	0,729	0,067	0,339	0,689	0,124
NIR _{α = 0,05} LSD _{α = 0,05}	0,28	0,17	0,04	0,19	0,31	0,07

I – ul. Igołomska
II – ul. Lublańska
III – al. Mickiewicza

4. Wnioski

- Po czterech latach ekspozycji kostrzewy czerwonej wzdłuż trzech ulic Krakowa stwierdzono mniejsze zanieczyszczenie metalami ciężkimi gleb w wazonach obsianych materiałem siewnym tej trawy przedsięwzięcie stymulowanym diodą laserową.
- Obliczone wartości wskaźników bioakumulacji (BC) wskazały, że kostrzewa czerwona przedsięwzięcie stymulowana diodą laserową kumulowała wyższe ilości wszystkich analizowanych metali ciężkich, niż rośliny przedsięwzięcie nie stymulowane.

- Kostrzewa czerwona zarówno przedsięwzięcie stymulowana diodą laserową, jak również bez przedsięwziętej stymulacji, pobierała w większej ilości miedź, cynk, kadm oraz nikiel, a w mniejszej chrom i ołów.

Literatura

- ANTONKIEWICZ J., MACUDA J., 2005. Zawartość metali ciężkich i węglowodorów w gruntach przylegających do wybranych stacji paliw w Krakowie. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiustus*, 4 (2), 31–36.
- BIELIŃSKA E.J., 2006. Charakterystyka ekologiczna gleb ogrodów działkowych z terenów zurbanizowanych. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*, 51 (2), 13–16.
- CZARNOWSKA K., 1999. Metale ciężkie w glebach zieleńców Warszawy. *Roczniki Gleboznawcze*, L, 1/2, 31–39.
- ĆWINTAL M., SOWA P., 2006. Efekt przedsięwziętej stymulacji nasion lucerny światłem lasera w roku siewu i latach pełnego użytkowania. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura* 5(1), 11–23.
- DOBROWOLSKI J.W., 2001. Biotechnologia proekologiczna kluczem do unowocześnienia inżynierii środowiska. *Inżynieria Środowiska*, Wyd. AGH, 6, 2, 259–272.
- DROZD D., SZAJSNER H., JEZIEŃSKI A., 1997. Zastosowanie elektronowego rezonansu paramagnetycznego EPR do oceny wpływu promieniowania laserowego na ziarniaki pszenicy jarej. *Biuletyn IHAR*, 204, 181–186.
- GORLACH E., 1995. Metale ciężkie jako czynnik zagrażający żyzności gleby. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 321, 113–122.
- JASIEWICZ Cz., ANTONKIEWICZ J., 2000. Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny z gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Cz. II konopie siewne. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 472, 331–339.
- JASIEWICZ Cz., BUCZEK J., 2000. Zawartość metali ciężkich w glebie i pszenicy narażonej na wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 472, 341–347.
- KABATA-PENDIAS, A., PIOTROWSKA, M., BOLIBRZUCH, E., 1995. Badania gleb i roślin oraz metody analizy chemicznej w Zintegrowanym Monitoringu Środowiska Przyrodniczego [W:] *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe*, Biblioteka Monitoring, Warszawa.
- KOPER R., 1996. Urządzenie do przedsięwziętej obróbki nasion promieniowaniem laserowym. Patent RP 162598.
- PN-ISO 11047. 2001. Jakość gleby – Oznaczanie kadmu, chromu, kobaltu, miedzi, ołowiu, manganu, niklu i cynku w ekstraktach gleby wodą królewską – Metody płomieniowej i elektrotermicznej absorpcyjnej spektrometrii atomowej.
- PN-ISO 11466. 2002. Jakość gleby – Ekstrakcja pierwiastków śladowych rozpuszczalnych w wodzie królewskiej.
- PYŁKA-GUTOWSKA E., 2004. *Ekologia z ochroną środowiska*. Wyd. Oświata, Warszawa, ss. 320.
- ROZPORZĄDZENIA MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 9 września 2002 r. W sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi. *Dz.U.*, nr 165, poz.1359.
- WÓJCIK S., BOJARSKA U., 1998. Wpływ przedsięwziętej obróbki nasion promieniami lasera na plon i jakość korzeni kilku odmian buraka cukrowego. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Secio E*, 10, 87–96.

**Effect of laser stimulation of seeds on heavy metals bio-accumulation
in the red fescue**

B. GRYGIERZEC¹, K. GOWIN²

¹*Department of Grassland Sciences, Hugon Kołłątaj – Agricultural University
of Krakow*

²*Department of Environmental Biotechnology and Ecology, AGH University
of Science and Technology in Krakow*

Summary

The research was conducted in 2005–2008 in Krakow. The experiments were located close to three busy streets of the city: Igołomska, Lublanska and Mickiewicz Avenue. 16 objects were set up at each location (2 variants in 8 replications). The experimental objects were pots with red fescue, *Raisa c.v.* 24 pots contained the plants which before sowing were stimulated with a green light emitted by the laser diode, three times for 30 seconds, whereas the remaining 24 pots were sown with red fescue sowing material without previous irradiation.

The experiment aimed at determining the effect of pre-sowing stimulation of red fescue seeds with a laser diode on heavy metal contents. After four years of red fescue exposure along the three streets in Krakow a smaller soil pollution with heavy metals was assessed in the pots sown with the grass sowing material which was pre-sowing stimulated with the laser diode. Computed bioaccumulation coefficients (BC) revealed that the red fescue which was pre-sowing stimulated with the laser diode accumulated higher quantities of all analyzed heavy metals than the plants which were not stimulated before sowing. Red fescue, both stimulated with the laser diode before sowing and without the pre-sowing stimulation absorbed greater quantities of copper, zinc, cadmium and nickel, but smaller amounts of chromium and lead.

Recenzent – Reviewer: *Zofia Benedycka*

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Dr Beata Grygierzec

Katedra Łąkarstwa, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

al. Mickiewicza 21, 31-120 Krakow

tel. 12 662 43 61

e-mail: rrgolab@cyf-kr.edu.pl