

INFLUENCE OF THE ROOT LAYER ON THE CONTENT OF CADMIUM AND LEAD IN SOILS AND VEGETABLE PLANTS IN REGIONS WITH DIVERSE ANTHROPOGENIC IMPACT

Summary

The dissertation aimed to determine the content of cadmium and lead in vegetables grown in allotments situated in regions with diverse anthropogenic impact as well as to examine the influence of the root layer of these plants (celery, red beet, carrot) on the content of heavy metals and an enzymatic activity of soils. The research comprised the allotments located in the Upper Silesian region (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze) and in the towns in eastern Poland (Lublin, Stalowa Wola, Zamość). The objects of the research were vegetables grown in allotments (celery, red beet and carrot) and soils within and beyond the root layer of these plants. The content of cadmium and lead in the analyzed vegetables depended strictly on plant species and the extent to which the soils were polluted with these metals. Among the analyzed vegetables, the highest amounts of Cd and Pb were accumulated in the celery. The exceedance of the admissible limit for the content of Cd and Pb was observed in the vegetable samples from the Upper Silesian region. A significant influence of the root layer on the favourable changes of the ecochemical condition of the soils was observed only for the allotments situated in the towns of eastern Poland. The lack of the effect of the root layer in the soils in the Upper Silesian region indicates a disturbance in the biological equilibrium in this environment.

WPLYW RYZOSFERY NA ZAWARTOŚĆ KADMU I OŁOWIU W GLEBACH I ROŚLINACH WARZYWNYCH Z TERENÓW O ZRÓŻNICOWANYM WPLYWIE ANTROPOPRESJI

Streszczenie

Celem pracy było określenie zawartości kadmu i ołowiu w warzywach uprawianych w ogródkach działkowych zlokalizowanych na terenach o zróżnicowanej intensywności antropopresji oraz zbadanie wpływu ryzosfery tych roślin (seler, burak ćwikłowy, marchew) na zawartość metali ciężkich i aktywność enzymatyczną gleb. Badaniem objęto ogródki działkowe zlokalizowane na obszarze Górnego Śląska (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze) i miast wschodniej Polski (Lublin, Stalowa Wola, Zamość). Obiektami badań były warzywa uprawiane w tych ogródkach (seler, burak ćwikłowy i marchew) oraz gleby strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej tych roślin. Zawartość kadmu i ołowiu w analizowanych warzywach była ściśle uzależniona od stopnia zanieczyszczenia gleb tymi metalami i gatunku rośliny. Spośród badanych warzyw seler gromadził największe ilości Cd i Pb. Przekroczenie dopuszczalnej normy zawartości Cd i Pb stwierdzono w próbkach warzyw pochodzących z obszaru Górnego Śląska. Istotny wpływ ryzosfery na pozytywne zmiany ekochemicznego stanu gleb stwierdzono wyłącznie w przypadku ogrodów działkowych z terenu miast wschodniej Polski. Brak efektu ryzosfery w glebach z obszaru Górnego Śląska wskazuje na zakłócenie równowagi biologicznej w tym środowisku.

1. Wstęp

Intensywna urbanizacja obszarów podmiejskich spowodowała, że ogródki działkowe znalazły się w zasięgu emisji metali ciężkich [3]. Rośliny żyjące na glebach zanieczyszczonych metalami ciężkimi tracą często właściwości selektywnego pobierania składników mineralnych i wówczas zawartość metali w roślinie wzrasta proporcjonalnie do ich występowania w podłożu [9]. Aktualnie obowiązujące regulacje prawne obejmują w przypadku metali ciężkich ograniczenia zawartości ołowiu i kadmu w materiale roślinnym przeznaczonym do spożycia [24].

Zdolność drobnoustrojów do transformowania związków niedostępnych dla rośliny na skutek złożonej struktury chemicznej oraz związków o charakterze toksycznym nadaje drobnoustrojom rolę ochronną w stosunku do rośliny. Wielkie zagęszczenie komórek bakteryjnych w strefie przylegającej do korzenia tworzy pewnego rodzaju filtr [16]. Pomiar aktywności enzymów

w glebie strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej pozwalają na zdefiniowanie zagrożeń środowiskowych wynikających z obecności metali ciężkich w glebie [1].

Celem pracy było określenie zawartości kadmu i ołowiu w warzywach uprawianych w ogródkach działkowych zlokalizowanych na terenach o zróżnicowanej intensywności antropopresji oraz zbadanie wpływu ryzosfery tych roślin (seler, burak ćwikłowy, marchew) na zawartość metali ciężkich i aktywność enzymatyczną gleb. Badania z tego zakresu pozwolą na ocenę potencjalnego zagrożenia wynikającego ze spożywania roślin uprawianych w danych warunkach glebowych.

2. Materiał i metody

Badaniem objęto ogródki działkowe zlokalizowane na obszarze Górnego Śląska (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze) i miast wschodniej Polski (Lublin, Stalowa Wola, Zamość). Obiektami badań były warzywa uprawiane w tych ogródkach (seler, burak ćwikłowy i marchew) oraz

gleby strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej tych roślin. Na terenie każdego z 6 wytypowanych ogrodów wybrano po jednej reprezentatywnej działce. Analiza składu granulometrycznego wykazała, że na badanych obiektach występują gliny lekkie pylaste.

We wrześniu 2008 roku na każdej z wytypowanych działek pobrano po 5 losowo wybranych roślin do analiz laboratoryjnych. Jednocześnie, również z pięciu losowo wybranych roślin odcinano i wyciągano z poziomu próchnicznego gleby (z głębokości 2-7 cm) końcowe partie korzeni wraz z przylegającą glebą. Z korzeni tych pobierano próbkę gleby poprzez otrząsanie, w odległości mniejszej niż 4 mm [22]. Glebę zebraną w obrębie korzeni uważano za glebę strefy ryzosferowej (R). Drobne korzenie z pobranych próbek były dokładnie usuwane. Z tego samego poziomu pobierano glebę nie przerosniętą korzeniami. Przygotowane w ten sposób próbki uważano za glebę pozaryzosferową (N). Indywidualne próbki gleby i roślin uśredniano w obrębie badanych obiektów i wykonywano w nich odpowiednie oznaczenia w trzech powtórzeniach.

W próbkach glebowych oznaczono aktywność enzymów: dehydrogenaz [23], fosfataz [21], ureazy [25], proteazy [13]; odczyn – pH w 1 mol·dm⁻³ KCl [ISO 10390]; węgiel organiczny [ISO 14235]; azot ogółem [ISO 13878].

Całkowitą zawartość kadmu i ołowiu w glebach i korzeniach roślin oznaczono metodą spektrometrii emisyjnej na aparacie Leeman Labs (PS 950) ze wzbudzeniem ICP w argonie. Próbkę gleby i roślin mineralizowano na mokro w mieszaninie stężonych kwasów, tj. HCl+HNO₃ (1:1) – gleba i HNO₃+HClO₄ (1:3) – rośliny [17].

Analizę statystyczną wyników badań wykonano przy wykorzystaniu programu Statistica 6.0 PL.

3. Wyniki i dyskusja

Większość badanych gleb, zarówno w strefie ryzosferowej, jak i pozaryzosferowej wykazywała odczyn obojętny. Jedynie gleba pochodząca z Zamościa charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym (tab. 1).

Alkaliczacja gleb na obszarach zurbanizowanych związana jest z opadem pyłów alkalicznych oraz zasoleniem. Niższe wartości pH_{KCl} gleby z Zamościa mogły być związane z mniejszą presją antropogeniczną na tym terenie, a w konsekwencji z obserwowanym nasileniem aktywności enzymatycznej w środowisku glebowym (tab. 5). Znaczący udział procesów biochemicznych w zakwaszeniu gleb wykazały inne badania [4, 12].

W obrębie strefy pozaryzosferowej zawartość węgla organicznego w glebach pochodzących z uprzemysłowionych obszarów Górnego Śląska (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze) była istotnie większa niż w glebach z terenów wschodniej Polski (Lublin, Stalowa Wola, Zamość) o mniejszym nasileniu wpływów antropogenicznych (tab. 1). Czynnikiem modyfikującym zasobność C_{org.} w glebach na terenach dużych aglomeracji miejskich jest ilość tego składnika docierająca wraz z opadem suchym i mokrym do gleb (m.in. emisje pochodzące ze środków transportu, komunikacji i zakładów przemysłowych).

Gleba ryzosferowa we wszystkich badanych obiektach cechowała się większą zawartością węgla organicznego niż gleba strefy pozaryzosferowej. Statystycznie istotne różnice zanotowano wyłącznie w przypadku gleb pochodzących z miast wschodniej Polski (tab. 1). Z badań Priha i in. [18] wynika, że gleba ryzosferowa zawiera wyższe stężenia rozpuszczalnego węgla niż pozostała gleba. Lynch i Whips [15] dowiedli, że ilość uwalnianego przez rośliny do ryzosfery C organicznego może wynosić 40% całkowitej suchej masy wytwarzanej przez roślinę. Wartości stosunku C:N w glebach strefy ryzosferowej kształtowały się w granicach 10,3-12,1. W obrębie strefy pozaryzosferowej wartości stosunku C:N w glebach na obszarze Górnego Śląska zawierały się w granicach od 13,0 do 14,5, a w glebach pochodzących z miast wschodniej Polski od 9,3 do 11,2 (tab. 1). Obserwowane rozszerzenie wartości C:N w glebach z pochodzących z Górnego Śląska mogło być związane z ich wzbogaceniem w węgiel pochodzenia antropogenicznego.

Tab. 1. Niektóre właściwości chemiczne gleb
Table 1. Some chemical properties of soils

Miejscowość / City	Roślina / Plant	pH _{KCl}		C (%)		N (%)		C:N	
		Gleba / Soil							
		R	N	R	N	R	N	R	N
Lublin	Seler / Celery	7,0	7,1	1,72	1,24	0,16	0,12	10,7	10,3
	Burak / Red beet	6,9	7,2	1,68	1,22	0,15	0,11	11,2	11,1
	Marchew / Carrot	6,9	7,1	1,79	1,31	0,18	0,14	9,9	9,3
Stalowa Wola	Seler / Celery	7,0	7,2	1,96	1,57	0,20	0,15	9,8	10,4
	Burak / Red beet	6,9	7,0	1,94	1,60	0,20	0,16	9,7	10,0
	Marchew / Carrot	7,1	7,2	1,98	1,62	0,21	0,16	9,4	10,1
Zamość	Seler / Celery	6,1	6,3	2,56	1,89	0,24	0,18	10,6	10,5
	Burak / Red beet	6,2	6,4	2,47	1,86	0,26	0,18	9,5	10,3
	Marchew / Carrot	6,1	6,4	2,51	1,88	0,25	0,19	10,0	9,9
Bytom	Seler / Celery	7,1	7,2	2,98	2,76	0,22	0,20	13,5	13,8
	Burak / Red beet	7,0	7,2	2,95	2,72	0,22	0,20	13,4	13,6
	Marchew / Carrot	7,0	7,1	2,96	2,73	0,21	0,19	14,1	14,3
Miasteczko Śląskie	Seler / Celery	7,1	7,2	3,19	2,96	0,23	0,22	13,8	13,4
	Burak / Red beet	7,2	7,2	3,17	2,93	0,23	0,21	13,7	13,9
	Marchew / Carrot	7,2	7,3	3,16	2,94	0,22	0,21	14,3	14,0
Zabrze	Seler / Celery	7,0	7,2	2,99	2,76	0,23	0,21	13,0	13,1
	Burak / Red beet	7,0	7,1	3,05	2,87	0,21	0,20	14,5	14,3
	Marchew / Carrot	7,1	7,2	2,96	2,74	0,21	0,19	14,1	14,4

NIR _{0,05}	0,23	0,02	1,2
---------------------	------	------	-----

R – ryzosfera; *rhizosphere*

N – strefa pozaryzosferowa; *non-rhizosphere*

Tab. 2. Zawartość metali ciężkich w glebach w mg·kg⁻¹ s.m.

Table 2. Content of heavy metals in soils in mg·kg⁻¹ d.m.

Miejscowość / City	Metal / Metal	Seler / Celery		Burak / Red beet		Marchew / Carrot	
		R	N	R	N	R	N
Lublin	Cd	0,38	0,47	0,45	0,50	0,42	0,48
	Pb	40,6	48,1	45,3	49,2	44,8	48,6
Stalowa Wola	Cd	0,46	0,55	0,53	0,61	0,52	0,58
	Pb	55,7	63,9	61,2	67,2	60,9	65,4
Zamość	Cd	0,26	0,39	0,34	0,42	0,36	0,44
	Pb	35,2	42,6	40,8	45,8	40,0	43,2
Bytom	Cd	8,6	10,9	9,4	11,0	9,6	11,1
	Pb	278,1	289,8	280,0	294,3	282,6	296,7
Miasteczko Śląskie	Cd	86,6	87,8	88,1	88,6	87,0	87,2
	Pb	350,3	351,9	350,8	352,0	349,9	354,6
Zabrze	Cd	3,4	4,0	3,6	4,2	3,4	4,1
	Pb	98,6	110,2	109,8	112,6	110,2	111,8

R – ryzosfera; *rhizosphere*

N – strefa pozaryzosferowa; *non-rhizosphere*

Tab. 3. Zawartość metali ciężkich w roślinach w mg·kg⁻¹ s.m.

Table 3. Content of heavy metals in plants in mg·kg⁻¹ d.m.

Miejscowość / City	Metal / Metal	Seler / Celery	Burak / Red beet	Marchew / Carrot
Lublin	Cd	0,09	0,05	0,07
	Pb	0,82	0,65	0,71
Stalowa Wola	Cd	0,09	0,04	0,06
	Pb	0,90	0,71	0,79
Zamość	Cd	0,06	0,02	0,04
	Pb	0,43	0,15	0,25
Bytom	Cd	2,19	1,55	1,82
	Pb	1,60	1,21	1,43
Miasteczko Śląskie	Cd	6,12	3,98	5,29
	Pb	4,42	3,30	3,79
Zabrze	Cd	1,32	1,04	1,18
	Pb	1,29	1,14	1,22

W badanych glebach stwierdzono duże zróżnicowanie zawartości kadmu i ołowiu (tab. 2), co wiązało się ze stopniem narażenia gleb na skażenia antropogeniczne. Gleby pochodzące z miast wschodniej Polski (Lublin, Stalowa Wola, Zamość) cechowały się naturalną zawartością tych metali. Natomiast w glebach z obszaru Górnego Śląska (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze) koncentracja Cd i Pb osiągnęła wartość zanieczyszczenia, w stopniu wykluczającym uprawy polowe i uprawę warzyw [11]. Największą zawartość badanych metali ciężkich stwierdzono w glebie pochodzącej z ogrodu działkowego w Miasteczku Śląskim: kadmu – 86,6-87,8 mg·kg⁻¹, ołowiu 350,3-351,9 mg·kg⁻¹ gleby (tab. 2).

We wszystkich badanych ogrodach działkowych zawartości Cd i Pb w glebie strefy ryzosferowej były mniejsze niż w glebie strefy pozaryzosferowej, aczkolwiek w przypadku gleb pochodzących z obszaru Górnego Śląska różnice te były nieznaczne (tab. 2). Wskazuje to, że strefa ryzosferowa stanowi naturalny filtr czyszczący środowisko glebowe z zanieczyszczeń dopływających z obszarów miasta. Zawartość badanych metali ciężkich w ryzosferach wyraźnie zależała od gatunku rośliny. Najniższy poziom Cd i Pb stwierdzono w ryzosferze selera (tab. 2).

Zawartość kadmu i ołowiu w analizowanych warzywach była zróżnicowana w zależności od stopnia zanieczyszczenia gleb tymi pierwiastkami i gatunku

rośliny. Ilość Cd i Pb w próbkach warzyw wahała się w szerokim zakresie, odpowiednio: od 0,02-0,09 mg·kg⁻¹ s.m. i 0,15-0,90 mg·kg⁻¹ s.m. (Lublin, Stalowa Wola, Zamość) do 1,04-6,12 mg·kg⁻¹ s.m. i 1,14-4,42 mg·kg⁻¹ s.m. (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze), (tab. 3). Przekroczenie dopuszczalnej normy zawartości tych metali stwierdzono w próbkach warzyw pochodzących z obszaru Górnego Śląska (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze), [20]. W niniejszych badaniach wykazano istnienie ścisłej zależności pomiędzy zawartością kadmu i ołowiu w układzie gleba – korzenie analizowanych roślin, przy czym największe wartości współczynników korelacji odnotowano w przypadku kadmu (tab. 4). Podobne zależności wykazali w swych badaniach inni autorzy [2, 6].

Spośród badanych gatunków warzyw seler gromadził największe ilości Cd i Pb (tab. 3). W odniesieniu do zawartości tych metali w korzeniach analizowanych warzyw kolejność przedstawiała się następująco: seler > marchew > burak (tab. 3), co jest zgodne z danymi przedstawionymi przez Jasiewicz i Curyło [10]. Taką samą kolejność kumulacji Cd w wybranych warzywach (marchew, burak ćwikłowy) stwierdzili Leszczyńska [14] oraz Jagiełło i in. [7]. Inną kolejność kumulacji Pb w warzywach wykazała Jasiewicz [8]: burak > pietruszka > marchew, a zupełnie odmienną Leszczyńska [14]: pietruszka > burak > marchew. Pobieranie metali ciężkich

przez roślinę zależy zarówno od jego stężenia w roztworze glebowym, czynników środowiska, właściwości samego pierwiastka, jego zdolności do hydrolizy, jak i od fazy rozwojowej rośliny determinującej zmianę składu chemicznego własnej niszy ekologicznej, a w konsekwencji nasilenia procesów biochemicznych [11, 24]. Każda zmiana warunków środowiskowych modyfikuje mobilność i fitoprzyjmawalność metali ciężkich [11].

Z przeprowadzonych badań wynika konieczność uwzględnienia dużej zdolności selera do fitoekstrakcji Cd i Pb z gleby. Warto podkreślić, że kadm, obok ołowiu, cechuje zdolność do kumulacji w organizmie ludzkim, długi okres biologicznego półtrwania i związana z tym chroniczna toksyczność.

Tab. 4. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością metali ciężkich w glebach i roślinach (*istotne przy $p = 0,05$)

Table 4. Correlation coefficients between content of heavy metals in soils and plants (*significant at $p = 0.05$)

Metal / Metal	Seler / Celery	Burak / Red beet	Marchew / Carrot
Cd	0,78*	0,72*	0,74*
Pb	0,64*	0,61*	0,62*

Aktywność wszystkich analizowanych enzymów w glebach pochodzących z obszaru Górnego Śląska była kilkakrotnie mniejsza niż w glebach zlokalizowanych w miastach na terenie wschodniej Polski (tab. 5). Można zatem stwierdzić, iż nasilenie aktywności badanych enzymów odzwierciedla stan antropogenizacji gleb. Inaktywacja enzymatyczna gleb na obszarze Górnego Śląska wiązała się z zanieczyszczeniem środowiska glebowego metalami ciężkimi. Na podstawie analizy korelacji wykazano odwrotny liniowy związek pomiędzy zawartością ołowiu w glebach a aktywnością badanych enzymów (tab. 6). Wyniki te wskazują, że stopień zanieczyszczenia ołowiem gleb z obszaru Górnego Śląska

osiągnął poziom, który zagraża organizmom żywym. W niniejszych badaniach analiza korelacji nie wykazała jednoznacznie inhibującego wpływu kadmu na aktywność analizowanych enzymów, co potwierdza wyniki uzyskane w innych badaniach [1, 3, 19]. Na uwagę zasługuje fakt, że gleba pochodząca z Miasteczka Śląskiego, mimo ekstremalnego zanieczyszczenia kadmem ($86,6-87,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) cechowała się wyższą aktywnością enzymatyczną niż gleby z Bytomia i Zabrze (tab. 5). Uzyskane wyniki skłaniają do ostrożnej oceny poziomu toksycznej dla organizmów żywych zawartości metali ciężkich w glebach, zmierzonej aktywnością enzymatyczną.

Tab. 6. Współczynniki korelacji pomiędzy aktywnością enzymatyczną gleby i metalami ciężkimi (*istotne przy $p = 0,05$, n.i. – nie istotne)

Table 6. Correlation coefficients between enzymatic activity of soil and heavy metals (*significant at $p = 0.05$, n.i. – not significant)

Metal / Metal	Dehydrogenazy / Dehydrogenases	Fosfatazy / phosphatases	Ureaza / Urease	Proteaza / Protease
Cd	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Pb	-0,65*	-0,71*	-0,58*	-0,62*

Istotny wpływ ryzosfery na wzrost aktywności badanych enzymów stwierdzono wyłącznie w przypadku gleb pochodzących z terenu miast wschodniej Polski (tab. 5). Obserwowanej stymulacji aktywności enzymatycznej gleby ryzosferowej towarzyszył istotny wzrost zawartości węgla organicznego (tab. 1), co generuje dynamiczny rozwój mikroorganizmów w strefie korzeniowej. W badanych ryzosferach aktywność dehydrogenaz była około 2-krotnie, ureazy i proteazy około 1,5-krotnie, a aktywność fosfataz około 3-krotnie większa niż w glebie pozaryzosferowej. Świadczy to o zagęszczeniu mikroorganizmów fosforolitycznych w strefie ryzosferowej.

Tab. 5. Aktywność enzymatyczna gleb (Dh – dehydrogenazy w $\text{cm}^3 \text{H}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, F – fosfatazy w $\text{mmol PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, U – ureaza w $\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, P – proteaza w $\text{mg tyrozyny}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)

Table 5. Enzymatic activity of soils (Dh – dehydrogenases in $\text{cm}^3 \text{H}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, F – phosphatases in $\text{mmol PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, U – urease in $\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, P – protease in $\text{mg tyrosine}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)

Miejscowość / City	Roślina / Plant	Dh		F		U		P	
		Gleba / Soil							
		R	N	R	N	R	N	R	N
Lublin	Seler / Celery	5,53	2,24	76,3	24,7	30,6	19,2	5,8	3,9
	Burak / Red beet	3,22	1,72	70,5	22,8	25,3	16,9	5,2	3,4
	Marchew / Carrot	4,23	2,44	72,6	21,4	27,1	18,3	4,9	3,3
Stalowa Wola	Seler / Celery	4,16	2,11	65,7	19,8	22,9	14,3	4,1	2,7
	Burak / Red beet	3,68	1,95	60,2	18,3	20,5	12,8	3,6	2,3
	Marchew / Carrot	3,90	1,87	59,4	20,5	19,4	11,9	3,8	2,5
Zamość	Seler / Celery	7,31	2,96	99,8	31,2	40,3	25,7	9,2	6,3
	Burak / Red beet	5,06	2,47	87,1	30,6	33,1	20,4	8,4	5,3
	Marchew / Carrot	5,89	2,88	92,4	28,9	36,8	22,9	8,8	5,6
Bytom	Seler / Celery	0,98	0,86	23,7	11,8	8,4	5,7	2,4	1,9
	Burak / Red beet	0,92	0,75	19,6	10,1	7,9	5,1	2,1	1,7
	Marchew / Carrot	0,95	0,80	21,9	9,8	7,6	4,8	2,2	1,9
Miasteczko Śląskie	Seler / Celery	1,27	1,19	24,4	13,2	12,3	8,2	3,1	2,6
	Burak / Red beet	1,12	1,03	20,8	10,7	10,6	7,4	2,5	2,3
	Marchew / Carrot	1,18	0,96	22,3	11,6	9,8	6,9	2,8	2,7

Zabrze	Seler / <i>Celery</i>	0,74	0,68	17,5	8,3	10,2	6,4	1,8	1,6
	Burak / <i>Red beet</i>	0,65	0,62	16,2	7,8	8,4	5,7	1,4	1,2
	Marchew / <i>Carrot</i>	0,71	0,66	15,9	7,4	8,9	6,1	1,5	1,3
NIR _{0,05}		0,39		4,1		2,3		0,8	

R – ryzosfera; *rhizosphere*

N – strefa pozaryzosferowa; *non-rhizosphere*

Liczne dane z literatury przedmiotu [1, 4, 5] informują, że aktywność enzymatyczna, a w szczególności aktywność fosfataz jest bardzo wysoka w glebie strefy ryzosferowej roślin uprawnych. Brak efektu ryzosfery w glebach z obszaru Górnego Śląska wskazuje na zakłócenie równowagi biologicznej w tym środowisku.

4. Wnioski

1. Zawartość kadmu i ołowiu w glebach i badanych warzywach oraz aktywność enzymów glebowych wykazywała duże zróżnicowanie w zależności od intensywności presji antropogenicznej.
2. Zawartość kadmu i ołowiu w analizowanych warzywach była ściśle uzależniona od stopnia zanieczyszczenia gleb tymi metalami i gatunku rośliny. Spośród badanych warzyw seler gromadził największe ilości Cd i Pb.
3. Przekroczenie dopuszczalnej normy zawartości Cd i Pb stwierdzono w próbkach warzyw pochodzących z obszaru Górnego Śląska.
4. Istotny wpływ ryzosfery na pozytywne zmiany ekochemicznego stanu gleb stwierdzono wyłącznie w przypadku ogrodów działkowych z terenu miast wschodniej Polski.
5. Brak efektu ryzosfery w glebach z obszaru Górnego Śląska wskazuje na zakłócenie równowagi biologicznej w tym środowisku.
6. Pomiar aktywności enzymów w glebie strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej pozwalają na zdefiniowanie zagrożeń środowiskowych wynikających z obecności metali ciężkich w glebie.

5. Literatura

[1] Baran S., Bielińska E.J.: Wpływ ryzosfery mniszka lekarskiego (*Teraxacum officinale* Web.) na zawartość metali ciężkich i aktywność enzymatyczną gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 533, s. 21-29, 2008.

[2] Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Oleszczuk P., Żukowska G.: Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach i buraku ćwikłowym o zróżnicowanym wpływie antropopresji. Journal of Elementology 10 (3), cz. II. s. 683-692, 2005.

[3] Bielińska E.J.: Charakterystyka ekologiczna gleb ogrodów działkowych z terenów zurbanizowanych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 51 (2), s. 13-16, 2006.

[4] Bielińska E.J., Mocek A., Paul-Lis M.: Wpływ systemu uprawy na aktywność enzymatyczną gleb zróżnicowanych typologicznie. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 53 (3), s. 10-13, 2008.

[5] Burns R.G.: Extracellular enzyme-substrate interactions in soil. Slater H. (red.): Microbes in their natural environments, Cambridge University Press, New York, s. 249-298, 1983.

[6] Gworek B., Mocek A.: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Tom. I. Inst. Ochr. Środ., Warszawa, 2000.

[7] Jagiełło A., Bożym M., Waclawek W.: Zawartość Cd, Cu, Pb, Zn i N-NO₃ w anatomicznych częściach warzyw z ogrodów

działkowych w Brzegu (woj. opolskie). Roczn. Glebozn. 54. Nr 4. s. 83-89, 2003.

[8] Jasiewicz Cz.: Ołów w warzywach z ogródków działkowych. Aura Nr 12. s. 16-17, 1991.

[9] Jasiewicz Cz., Baran A.: Przewodnik do wykładów i ćwiczeń z toksykologii. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Krakowie, Kraków, 2008.

[10] Jasiewicz Cz., Curyło T.: Wpływ nawozów organiczno-mineralnych na skład chemiczny roślin uprawianych na glebie zanieczyszczonej metalami ciężkimi. Fol. Univ. Agric. Stein. 190 Agricultura (72), s. 123-129, 1998.

[11] Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy 35. s. 5-15, 1993.

[12] Kurek E.: Związki przyczynowo-skutkowe aktywności mikrobiologicznej i zakwaszenia gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 482, s. 307-316, 2002.

[13] Ladd N., Butler J.H.A.: Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. Soil Biol. Biochem. 4, s. 19-30, 1972.

[14] Leszczyńska T.: Porównanie zawartości wybranych metali ciężkich w warzywach pochodzących ze sklepów z żywnością ekologiczną oraz placów targowych Krakowa. Bromat. Chem. Toksykol. Nr 2. s. 191-196, 1999.

[15] Lynch J.M., Whips J. M.: Substrate flow in the rhizosphere. Plants a Soil 129, s. 1-10, 1990.

[16] Małachowska-Jutcz A., Miksch K.: Rola ryzosfery roślin jedno- i dwuliściennych w usuwaniu WWA, TPH oraz frakcji ciężkich ze środowiska glebowego. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej, Inżynieria Środowiska 45, s. 75-88, 2000.

[17] Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. IOŚ, Warszawa, 1991.

[18] Priha O., Hallantie T., Smolander A.: Comparing microbial biomass, denitrification enzyme activity and numbers of nitrifiers in the rhizosphere of *Pinus sylvestris*, *Picea abie* and *Betula pendula* seedlings with microscale methods. Fertility of Soils, Springer-Verlag, 1999.

[19] Renella G., Chaudri M.A., Brookes P.C.: Fresh additions of heavy metals do not model long-term effects on microbial biomass and activity. Soil Biol. Biochem. 34, s. 121-124, 2002.

[20] Rozporządzenie Komisji Nr 466/2001/WE z dnia 8 marca 2001 r. ustalające maksymalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Dz. Urz. WE L 77 Z 16.03.2001.

[21] Tabatabai M.A., Bremner J.M.: Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem. 1, s. 301-307, 1969.

[22] Tarafdar J.C., Jungk A.: Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biol. Fertil. Soils 3, s. 199-204, 1987.

[23] Thalmann A.: Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). Landwirtsch. Forsch. 21, s. 249-258, 1968.

[24] Wiśniowska-Kielian B., Lipiński W. (red.): Ocena składu chemicznego roślin. W: Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza. Kraków – Warszawa – Wrocław, 2007.

[25] Zantua M.I., Bremner J.M.: Comparison of methods of assaying urease activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* 7, s. 291-295, 1975.