

## SOIL ENZYMES ACTIVITY IN THE RHIZOSPHERE OF THE DANDELION AS AN INDICATOR OF THE ECOCHEMICAL CONDITION OF URBAN SOILS

### Summary

*The dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) is rated among the most important herbs used to biomonitor the natural environment. The paper was aimed at determining the impact of the dandelion's rhizosphere on the heavy metal content and the enzymatic activity of soils in urban lands with different anthropopressure impacts. The research was carried out in the Upper Silesia region and in towns of eastern Poland. Samples of rhizosphere and non-rhizosphere soils were collected in central sectors of the towns and in suburbia. The heavy metal content and the enzymatic activity showed a considerable differentiation in both rhizosphere and non-rhizosphere soils; however, they were distinctly related to the anthropogenic pressure intensity. The observed enzymatic activity stimulation of soil in the direct vicinity of the dandelion's roots indicates that the rhizosphere zone is a natural filter cleaning the soil environment from impurities infiltrating from urban areas. Changes in the soil enzyme activity in the dandelion's rhizosphere zone allow the assessment of the environmental hazards resulting from the presence of heavy metals in urban soils.*

## AKTYWNOŚĆ ENZYMÓW GLEBOWYCH W RYZOSFERZE MNISZKA LEKARSKIEGO JAKO WSKAŹNIK STANU EKOCHEMICZNEGO GLEB MIEJSKICH

### Streszczenie

*Mniszek lekarski (*Taraxacum officinale* Web.) zaliczany jest do najważniejszych ziół stosowanych w biomonitoringu środowiska przyrodniczego. Celem pracy było określenie wpływu ryzosfery mniszka lekarskiego na zawartość metali ciężkich i aktywność enzymatyczną gleb z terenów miejskich o różnym oddziaływaniu antropopresji. Badania prowadzono na terenie Górnego Śląska i miast wschodniej Polski. Próbkę gleby ryzosferowej i pozaryzosferowej pobierano w strefach śródmiejskich oraz na obszarach peryferyjnych miast. Zawartość metali ciężkich i aktywność enzymów wykazywała duże zróżnicowanie w glebie strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej, jak również w poszczególnych obiektach badawczych, jednak wyraźnie zależała od intensywności presji antropogenicznej. Obserwowana stymulacja aktywności enzymatycznej gleby w bezpośrednim sąsiedztwie korzeni mniszka wskazuje, że strefa ryzosferowa stanowi naturalny filtr czyszczący środowisko glebowe z zanieczyszczeń dopływających z obszarów miasta.*

### Wstęp

Mniszek lekarski (*Taraxacum officinale* Web.) wykorzystywany jest jako popularny wskaźnik poziomu metali ciężkich w glebach miejskich [2, 6, 7]. Gatunek ten cechuje się dużą zdolnością do fitoekstrakcji pierwiastków śladowych [14].

Ryzosfera stanowi specyficzną niszę ekologiczną, która ma charakter biocenozy klimaksowej. Współzależność roślin wyższych i mikroorganizmów ryzosferowych w ogromnej mierze polega na wymianie specyficznych substancji chemicznych [1, 10]. Zmiany aktywności enzymów glebowych w strefie ryzosferowej odzwierciedlać mogą zaburzenia środowiska oddziałujące zarówno na glebę, jak i na rośliny [12].

Celem niniejszych badań było określenie wpływu ryzosfery mniszka lekarskiego na zawartość metali ciężkich i aktywność enzymatyczną gleb z terenów miejskich o różnym oddziaływaniu antropopresji.

### Materiał i metody

Obiektem badań były gleby strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej mniszka lekarskiego. Badania prowadzono na obszarze Górnego Śląska (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze) i miast wschodniej Polski (Biała Podlaska, Lublin, Stalowa Wola) w 12 parkach zlokalizowanych w strefach

śródmiejskich (1) oraz na przedmieściach (2) wytypowanych miast. Analiza składu granulometrycznego wykazała, że na badanych obiektach występują gliny lekkie pylaste.

W maju 2006 roku na każdym z wytypowanych obiektów 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 [19]. Glebę zebraną w obrębie korzeni uważano za glebę strefy ryzosferowej (R). Drobne korzenie z pobranych próbek były dokładnie usuwane. Jednocześnie z tego samego poziomu pobierano glebę nieprzeorniętą korzeniami. Przygotowane w ten sposób próbki uważano za glebę pozaryzosferową (N). Próbkę indywidualnie uśredniano w obrębie badanych obiektów i wykonywano w nich analizy enzymatyczne i chemiczne w trzech powtórzeniach.

W próbkach glebowych oznaczono aktywność enzymów: dehydrogenaz [20], fosfataz [18], ureazy [22] i proteazy [9]; odczyn – pH w 1 mol·dm<sup>-3</sup> KCl [ISO 10390]; węgiel organiczny [ISO 14235]; azot ogółem [ISO 13878]; pierwiastki śladowe (Zn, Pb, Cd, Cu) rozpuszczalne w 20% HCl metodą ASA.

Istotność różnic pomiędzy poszczególnymi wartościami oznaczeń enzymatycznych oceniano za pomocą testu Tukeya na poziomie istotności  $p < 0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

Większość badanych gleb, zarówno w strefie ryzosferowej, jak i pozaryzosferowej wykazywała odczyn obojętny. Jedyne gleba z Białej Podlaskiej charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym (tab. 1). Alkaliczność gleb na terenach zurbanizowanych związana jest z opadem pyłów alkalicznych oraz zasoleniem [3].

W obrębie strefy pozaryzosferowej zawartość węgla organicznego w glebach położonych w centrach miast była wyraźnie większa niż w glebach usytuowanych na obszarach peryferyjnych o mniejszym nasileniu wpływów antropogenicznych (tab. 1). Czynnikiem modyfikującym zasobność  $C_{org}$  w glebach 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). Najwięcej tego składnika (6,90-7,01%) stwierdzono w próbkach gleby pochodzącej z centrum Miasteczka Śląskiego (Miasteczko Śląskie 1).

Gleba ryzosferowa we wszystkich badanych obiektach cechowała się większą zawartością węgla organicznego niż pozostała gleba (tab. 1). Z badań Priha i in. [15] wynika, że gleba w strefie ryzosferowej zawiera wyższe stężenia rozpuszczalnego węgla niż gleba pozaryzosferowa. Lynch i

Whipps [11] dowiedli, że ilość uwalnianego przez rośliny do ryzosfery C organicznego może wynosić 40% całkowitej suchej masy wytwarzanej przez roślinę. Największe wartości stosunku C:N zanotowano w glebach z pochodzących z Miasteczka Śląskiego (15,2-15,7), co mogło być związane z ich wzbogaceniem w węgiel pochodzenia antropogenicznego. W glebach pozostałych obiektów badawczych wartości C:N w strefie ryzosferowej kształtowały się w granicach 11,0-12,1, a w obrębie strefy pozaryzosferowej zawierały się w zakresie 13,6-14,4 na obszarze Górnego Śląska i 10,8-12,9 na terenie miast wschodniej Polski (tab. 1).

W badanych glebach stwierdzono duże zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych (tab. 2), co wiązało się ze stopniem narażenia gleb na skażenia antropogeniczne. Gleby pochodzące z miast wschodniej Polski (Biała Podlaska, Lublin, Stalowa Wola) cechowały się naturalną zawartością badanych metali ciężkich (Zn, Pb, Cd, Cu). Natomiast w glebach z obszaru Górnego Śląska (Bytom, Miasteczko Śląskie, Zabrze) koncentracja tych pierwiastków osiągnęła wartość zanieczyszczenia [4]. Największą zawartość metali ciężkich stwierdzono w glebie pochodzącej z parku w centrum Miasteczka Śląskiego (Miasteczko Śląskie 1): cynku – 6428-6570  $mg \cdot kg^{-1}$ , ołowiu 1812-1919  $mg \cdot kg^{-1}$ , kadmu 77,0-89,2  $mg \cdot kg^{-1}$  i miedzi 61-69  $mg \cdot kg^{-1}$  gleby (tab. 2).

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

| Miejscowość Nr       | C     |      | N    |      | C:N  |      | pH  |     |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|
|                      | %     |      |      |      |      |      | KCl |     |
|                      | Gleba |      |      |      |      |      |     |     |
|                      | R     | N    | R    | N    | R    | N    | R   | N   |
| Biała Podlaska 1     | 3,42  | 2,84 | 0,30 | 0,22 | 11,4 | 12,9 | 5,9 | 6,3 |
| Biała Podlaska 2     | 3,76  | 2,52 | 0,34 | 0,23 | 11,0 | 10,9 | 6,2 | 6,5 |
| Lublin 1             | 3,56  | 2,14 | 0,32 | 0,17 | 11,1 | 12,6 | 7,0 | 7,2 |
| Lublin 2             | 3,60  | 1,84 | 0,32 | 0,17 | 11,2 | 10,8 | 6,9 | 6,8 |
| Stalowa Wola 1       | 3,10  | 1,72 | 0,28 | 0,15 | 11,0 | 11,4 | 6,9 | 7,1 |
| Stalowa Wola 2       | 3,28  | 1,67 | 0,29 | 0,15 | 11,3 | 11,1 | 7,0 | 7,2 |
| Bytom 1              | 3,65  | 3,26 | 0,31 | 0,23 | 12,1 | 14,1 | 7,2 | 7,3 |
| Bytom 2              | 2,98  | 2,72 | 0,26 | 0,20 | 11,4 | 13,6 | 6,9 | 6,8 |
| Miasteczko Śląskie 1 | 7,01  | 6,90 | 0,46 | 0,44 | 15,2 | 15,7 | 6,0 | 6,1 |
| Miasteczko Śląskie 2 | 3,04  | 2,42 | 0,25 | 0,18 | 12,1 | 13,4 | 7,0 | 7,2 |
| Zabrze 1             | 3,17  | 2,86 | 0,28 | 0,21 | 11,3 | 13,5 | 7,1 | 7,2 |
| Zabrze 2             | 3,48  | 2,16 | 0,31 | 0,15 | 11,2 | 14,4 | 7,0 | 7,2 |

R – strefa ryzosferowa; rhizosphere

N – strefa pozaryzosferowa; non-rhizosphere

1 – centrum miasta; city centre

2 – peryferie miast; outskirts of the city

Tab. 2. Zawartość pierwiastków śladowych rozpuszczalnych w 20% HCl ( $mg \cdot kg^{-1}$ )  
Table 2. Trace elements soluble in 20% HCl ( $mg \cdot kg^{-1}$ )

| Miejscowość Nr       | Zn    |      | Pb   |      | Cd   |      | Cu |    |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|----|----|
|                      | Gleba |      |      |      |      |      |    |    |
|                      | R     | N    | R    | N    | R    | N    | R  | N  |
| Biała Podlaska 1     | 65    | 78   | 29   | 41   | 0,5  | 1,0  | 14 | 20 |
| Biała Podlaska 2     | 61    | 73   | 21   | 34   | 0,4  | 0,8  | 11 | 15 |
| Lublin 1             | 92    | 106  | 42   | 55   | 0,8  | 1,4  | 12 | 19 |
| Lublin 2             | 84    | 99   | 30   | 47   | 0,6  | 1,1  | 9  | 14 |
| Stalowa Wola 1       | 85    | 104  | 28   | 36   | 0,7  | 1,6  | 17 | 26 |
| Stalowa Wola 2       | 79    | 93   | 15   | 24   | 0,5  | 1,3  | 11 | 19 |
| Bytom 1              | 1752  | 1780 | 308  | 347  | 6,2  | 11,1 | 52 | 58 |
| Bytom 2              | 1638  | 1693 | 290  | 316  | 5,5  | 9,2  | 32 | 44 |
| Miasteczko Śląskie 1 | 6428  | 6570 | 1812 | 1919 | 77,0 | 89,2 | 61 | 69 |
| Miasteczko Śląskie 2 | 734   | 759  | 323  | 347  | 5,2  | 6,9  | 28 | 36 |
| Zabrze 1             | 630   | 643  | 156  | 181  | 2,6  | 4,2  | 51 | 68 |
| Zabrze 2             | 541   | 597  | 133  | 160  | 2,0  | 3,4  | 39 | 46 |

R – strefa ryzosferowa; rhizosphere

N – strefa pozaryzosferowa; non-rhizosphere

1 – centrum miasta; city centre

2 – peryferie miast; outskirts of the city

Tab. 3. Aktywność enzymatyczna gleb (ADh – dehydrogenazy w  $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , AF – fosfatazy w  $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , AU – ureaza w  $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , AP – proteaza w  $\text{mg tyrozyny} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )  
 Table 3. Enzymatic activity of soils (DhA – dehydrogenases in  $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , PhA – phosphatases in  $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , UA – urease in  $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , PA – protease in  $\text{mg tyrosine} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

| Miejscowość Nr       | ADh   |      | AF    |       | AU    |       | AP   |      |
|----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|                      | Gleba |      |       |       |       |       |      |      |
|                      | R     | N    | R     | N     | R     | N     | R    | N    |
| Biała Podlaska 1     | 3,32  | 2,19 | 85,16 | 40,34 | 37,92 | 21,55 | 5,41 | 3,48 |
| Biała Podlaska 2     | 4,38  | 3,56 | 99,87 | 52,21 | 45,16 | 28,39 | 6,22 | 4,15 |
| Lublin 1             | 2,92  | 1,84 | 79,16 | 41,17 | 30,28 | 19,63 | 5,08 | 3,21 |
| Lublin 2             | 3,75  | 2,43 | 92,49 | 46,43 | 41,59 | 23,90 | 5,94 | 3,90 |
| Stalowa Wola 1       | 2,61  | 1,52 | 63,25 | 32,40 | 28,02 | 16,11 | 4,37 | 2,89 |
| Stalowa Wola 2       | 3,43  | 2,17 | 76,09 | 35,98 | 37,65 | 19,97 | 5,16 | 3,12 |
| Bytom 1              | 0,98  | 0,73 | 44,17 | 19,84 | 7,63  | 4,39  | 2,05 | 1,38 |
| Bytom 2              | 1,03  | 0,86 | 53,72 | 26,29 | 9,42  | 5,76  | 2,83 | 1,74 |
| Miasteczko Śląskie 1 | 0,59  | 0,35 | 30,56 | 10,82 | 3,78  | 2,52  | 1,65 | 1,02 |
| Miasteczko Śląskie 2 | 0,97  | 0,82 | 41,68 | 17,52 | 10,21 | 7,16  | 3,12 | 1,91 |
| Zabrze 1             | 0,61  | 0,38 | 31,15 | 12,76 | 8,43  | 5,92  | 1,67 | 1,12 |
| Zabrze 2             | 0,71  | 0,42 | 42,81 | 17,99 | 11,89 | 7,83  | 2,94 | 1,86 |
| NIR <sub>0,05</sub>  | 0,12  |      | 1,46  |       | 1,83  |       | 0,29 |      |

R – strefa ryzosferowa; rhizosphere

N – strefa pozaryzosferowa; non-rhizosphere

1 – centrum miasta; city centre

2 – peryferie miast; outskirts of the city

Tab. 4. Współczynniki korelacji pomiędzy aktywnością enzymatyczną gleby i zawartością metali ciężkich  
 Table 4. Correlation coefficients between enzymatic activity of soil and heavy metals contents

|               | Zn    | Pb    | Cd    | Cu    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| Dehydrogenazy | -0,76 | -0,73 | -0,62 | -0,65 |
| Fosfatazy     | -0,71 | -0,61 | -0,59 | -0,60 |
| Ureaza        | -0,61 | -0,58 | -0,60 | -0,60 |
| Proteaza      | -0,60 | -0,57 | -0,58 | -0,59 |

istotne przy  $p = 0,05$ ; significant at  $p = 0,05$

Tab. 5. Wartości stosunku (R:N) aktywności dehydrogenaz (ADh), fosfatyz (AF), ureazy (AU) i proteazy (AP) w glebie strefy ryzosferowej (R) i pozaryzosferowej (N)

Table 5. The value of the ratio (R:N) of the activity of dehydrogenase (DhA), phosphatase (PhA), urease (UA) and protease (PA) in rhizosphere soil (R) and non-rhizosphere soil (N)

| Miejscowość Nr       | ADh | AF  | AU  | AP  |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|
| Biała Podlaska 1     | 1,5 | 2,1 | 1,7 | 1,5 |
| Biała Podlaska 2     | 1,3 | 1,9 | 1,6 | 1,5 |
| Lublin 1             | 1,6 | 1,9 | 1,5 | 1,6 |
| Lublin 2             | 1,5 | 2,0 | 1,7 | 1,5 |
| Stalowa Wola 1       | 1,7 | 1,9 | 1,7 | 1,5 |
| Stalowa Wola 2       | 1,6 | 2,1 | 1,7 | 1,6 |
| Bytom 1              | 1,3 | 2,2 | 1,7 | 1,5 |
| Bytom 2              | 1,2 | 2,0 | 1,6 | 1,6 |
| Miasteczko Śląskie 1 | 1,7 | 2,8 | 1,5 | 1,6 |
| Miasteczko Śląskie 2 | 1,2 | 2,4 | 1,4 | 1,6 |
| Zabrze 1             | 1,6 | 2,4 | 1,4 | 1,5 |
| Zabrze 2             | 1,7 | 2,4 | 1,5 | 1,6 |

1 – centrum miasta; city centre

2 – peryferie miast; outskirts of the city

W glebach położonych w centrach miast zawartość badanych pierwiastków śladowych była wyraźnie większa niż w glebach usytuowanych na obszarach peryferyjnych, zarówno w strefie ryzosferowej, jak i pozaryzosferowej (tab. 2).

We wszystkich badanych ogrodach parkowych zawartość Zn, Pb, Cd i Cu w glebach strefy ryzosferowej była mniejsza niż w glebie strefy pozaryzosferowej, co zaznaczyło się szczególnie wyraźnie w przypadku kadmu i ołowiu (tab. 2). Wskazuje to, że strefa ryzosferowa mnieszka lekarskiego stanowi naturalny filtr czyszczący środowisko glebowe z zanieczyszczeń dopływających z obszarów miasta. Z przeprowadzonych badań wynika również konieczność uwzględnienia dużej zdolności mnieszka do fitoeks-

trakcji metali ciężkich z gleby podczas stosowania tego gatunku w celach leczniczych i w dietetyce. Warto podkreślić, że kadm, obok ołowiu, cechuje zdolność do kumulacji w organizmie ludzkim, długi okres biologicznego półtrwania i związana z tym chroniczna toksyczność. Badania Potarczycy i Zawidzkiej [14] wykazały szczególną zdolność mnieszka do akumulacji biodostępnych form ołowiu, stanowiących poważne zagrożenie dla organizmów żywych.

Uzyskane wyniki wykazały wysoką inaktywację badanych enzymów w glebach na terenach będących pod silną presją czynnika antropogenicznego, szczególnie wyraźną w przypadku gleby pozaryzosferowej (tab. 3).

Aktywność wszystkich analizowanych enzymów w glebach pochodzących z obszaru Górnego Śląska była kilka-

krotnie mniejsza niż w glebach zlokalizowanych w miastach na terenie wschodniej Polski (tab. 3). Bardzo niska aktywność dehydrogenaz w glebach miejskich z terenu Górnego Śląska, kształtująca się w zakresie  $0,35-1,03 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{-kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  wskazuje na śladowe życie biologiczne w środowisku. Aktywność dehydrogenaz w glebie odzwierciedla ogólną aktywność mnożących się mikroorganizmów [13].

W parkach położonych w centrach miast aktywność enzymatyczna gleb, zarówno w strefie ryzosferowej, jak i pozaryzosferowej była istotnie mniejsza niż w parkach usytuowanych na obszarach peryferyjnych. Można zatem stwierdzić, iż nasilenie aktywności badanych enzymów odzwierciedla stan antropogenizacji gleb. Obserwowane osłabienie aktywności enzymatycznej gleb, szczególnie wyraźne w przypadku uprzemysłowionych aglomeracji miejskich powiązane było z zanieczyszczeniem środowiska glebowego metalami ciężkimi. W niniejszych badaniach stwierdzono ujemną korelację pomiędzy aktywnością enzymów i zawartością badanych metali ciężkich w glebach (tab. 4). Dopływ metali ciężkich do środowiska glebowego wywołuje zmiany ilościowe i jakościowe w składzie mikroflory glebowej, które prowadzą do zmian w aktywności enzymów [5]. Szczególnie wrażliwe na działanie tych pierwiastków są dehydrogenazy, których aktywność może być hamowana w zakresie od 10 do nawet 90%, w zależności od stopnia zanieczyszczenia gleby [21].

We wszystkich badanych parkach aktywność enzymatyczna gleb strefy ryzosferowej była istotnie większa niż gleby pozaryzosferowej (tab. 3). Obserwowanej stymulacji aktywności enzymatycznej gleby ryzosferowej towarzyszył wzrost zawartości węgla organicznego i ogólnej ilości azotu (tab. 1). Jak podają Rossel i in. [17], aktywność enzymatyczna jest stymulowana przez produkty fotosyntezy wydzielane przez korzenie do gleby. Wieloletnie badania Reddy i in. [16] wykazały znacząco wyższą aktywność enzymatyczną gleby ryzosferowej niż pozostałej gleby. Związane jest to z dynamicznym rozwojem mikroorganizmów w strefie korzeniowej spowodowanej obfitością łatwo dostępnej substancji energetycznej.

Wartości stosunku aktywności badanych enzymów w glebie ryzosferowej do ich aktywności w glebie pozaryzosferowej były największe w przypadku fosfatyz i mieściły się w granicach od 1,9 do 2,4 (tab. 5). Świadczy to o zagęszczeniu mikroorganizmów fosforolitycznych w strefie ryzosferowej. Według Hedleya i in. [8] aktywność fosfatazy w glebie ryzosferowej zwiększa się wraz ze wzrostem niedoboru fosforu spowodowanego przez zwiększoną gęstość korzeni i zmniejszenie poziomu rozpuszczalnego fosforu nieorganicznego.

## Wnioski

1. Zawartość metali ciężkich i aktywność enzymów wykazywała duże zróżnicowanie w glebie strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej, jak również w poszczególnych obiektach badawczych, jednak wyraźnie zależała od intensywności presji antropogenicznej.
2. We wszystkich badanych ogrodach parkowych zawartość Zn, Pb, Cd i Cu w glebach strefy ryzosferowej była mniejsza niż w glebie strefy pozaryzosferowej, co zaznaczyło się szczególnie wyraźnie w przypadku kadmu i ołowiu. Świadczy to, że strefa ryzosferowa mniska stanowi naturalny filtr czyszczący środowisko glebowe z zanieczyszczeń dopływających z obszarów miasta.

3. W parkach położonych w centrach miast aktywność enzymatyczna gleb, zarówno w strefie ryzosferowej, jak i pozaryzosferowej była istotnie mniejsza niż w parkach usytuowanych na obszarach peryferyjnych, co wskazuje, że nasilenie aktywności badanych enzymów odzwierciedla stan antropogenizacji gleb.
4. Obserwowane osłabienie aktywności enzymatycznej gleb, szczególnie wyraźne w przypadku uprzemysłowionych aglomeracji miejskich związane było ściśle z zanieczyszczeniem środowiska glebowego metalami ciężkimi.
5. Stwierdzono ujemną korelację pomiędzy zawartością cynku, ołowiu, kadmu i miedzi w glebach a aktywnością badanych enzymów.
6. Pomiary aktywności enzymów w glebie strefy ryzosferowej i pozaryzosferowej pozwalają na zdefiniowanie zagrożeń środowiskowych wynikających z obecności metali ciężkich w glebie.

## Literatura

- [1] Arshad M., Frankenberg Jr., W.T.: Growth of bacteria in the rhizoplane and rhizosphere of rape seedlings. [w.] F. Blaine Metting, Jr. (red.) "Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environmental Management". Marcel Dekker Inc. New York – Basel – Hong Kong, s. 307-347, 1992
- [2] Cook C.M., Sgardelis S.P., Panties J.D., Lanaras T.: Concentrations of Pb, Zn and Cu in *Taraxacum officinale* ssp. in relation to urban pollution. *Biull. Environ. Contam. Toxicol.* 53, s. 204-210, 1994
- [3] Czarnowska K.: Gleby i rośliny w środowisku miejskim, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 418, s. 111-115, 1995
- [4] Czarnowska K., Milewska A.: The content of heavy metals in an indicator plant (*Taraxacum officinale*) in Warsaw. *Pol. J. En. Stud.* 9(2), s. 125-128, 2000
- [5] Dahm H., Li Ch.-Y., Januszek K.: Development of microorganisms and oxidation of some organic compounds in soil polluted with heavy metals. *Pol. J. Soil Sci.* 30(2) s. 55-63, 1997.
- [6] Diatta J.B., Grzebisz W., Apolinska K.: A study on soil pollution by heavy metals in the city of Poznań (Poland) using dandelion (*Taraxacum officinale* WEB) as a bioindicator. *Electr. J. Pol. Agric. Univ.* 6 (2), series: *Environ. Develop.* 2003
- [7] Gworek B., Mocek A.: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Tom I. *Inst. Ochr. Środ.* 2000
- [8] Hedley M.J., Nye P.H., White R.E.: Plant-induced changes in the rhizosphere status on the pH, phosphatase activity and on the cation-anion balance in the plants. *New Phytologist* 95, 1, s. 69-82, 1983
- [9] 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
- [10] Lamb C.J., Dixon R.A.: Molecular communication in interactions between plants and microbial pathogens. *Plant Physiol. Plant Molecular Biol.* 41, s. 339-367, 1990
- [11] Lynch J.M., Whips J. M.: Substrate flow in the rhizosphere. *Plants a Soil* 129, s. 1-10, 1990
- [12] Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F.: Monitoring of bioremediation by soil biological activities. *Chemosphere* 40, s. 339-346, 2000

- [13] Martyniuk S., Stachyra A., Wróblewska B., Zięba S.: Związki pomiędzy mikrobiologicznymi i enzymatycznymi właściwościami gleby a plonami ziemniaków. w: Barabasz W. (red.) *Drobnoustroje w środowisku, występowanie, aktywność i znaczenie*. AR Kraków, s. 439 – 447, 1997
- [14] Potarzycki J., Zawadzka E.: An assessment of environment contamination by heavy metals by means of dandelion (*Teraxacum Officinale*), *J. Elementol.* 10(2), s. 379-384, 2005
- [15] 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: 162 ss, 1999
- [16] Reddy G.B., Faza A., Bennett R.: Activity of enzymes in rhizosphere and non-rhizosphere soils amended with sludge. *Soil Biol. Biochem.* 19, 2, s. 203-205, 1987
- [17] Rossel D., Tarradellas T., Bitton G., Morel J.L.: Use of enzymes in soil ecotoxicology: a case for dehydrogenase and hydrolytic enzymes. W: J. Tarradellas, G. Bitton, D. Rossel (red.). *Soil ecotoxicology*, CRC Lewis Publishers, Boca Ration-New York-London-Tokyo, s. 179-205, 1997
- [18] 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
- [19] 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
- [20] Thalmann A.: Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch. Forsch.* 21, s. 249-258, 1968
- [21] Wyszowska J., Kucharski J.: Właściwości biochemiczne i fizykochemiczne gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 492, s. 435-442, 2003
- [22] Zantua M.I., Bremner J.M.: Stability of urease in soils. *Soil Biol. Biochem.* 9, s. 135-140, 1975.