



Otrzymano: 13 stycznia 2018
Zaakceptowano: 21 stycznia 2018
Udostępniono online: 15 marca 2018

Analiza oddziaływania nadtlenu wapnia na aktywność wybranych enzymów oksydoredukcyjnych w glebie lekkiej skażonej przepracowanym olejem silnikowym

Analysis of calcium peroxide effect on some oxidoreductive enzyme activities in soil contaminated with spent engine oil

Łukasz Węgrzynowski¹, Kornel Curyło¹, Danuta Konieczna², Arkadiusz Telesiński^{1,*}

¹Katedra Fizjologii Roślin i Biochemii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 71-434 Szczecin, Słowackiego 17, Polska

²Katedra Architektury Współczesnej, Teorii i Metodologii Projektowania, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 71-210 Szczecin, Żołnierska 50, Polska

Streszczenie: Celem podjętych badań było określenie oddziaływania nadtlenu wapnia na aktywność dehydrogenaz oraz oksydazy *o*-difenolowej w glebie zanieczyszczonej przepracowanym olejem silnikowym. Doświadczenie laboratoryjne przeprowadzono na piasku gliniastym o zawartości Corg 8.71 g·kg⁻¹. Do próbek gleby wprowadzono w różnych kombinacjach przepracowany olej silnikowy (w ilościach: 0, 10 i 50 g·kg⁻¹s.m. gleby) oraz nadtlenek wapnia (w ilościach: 0, 200 i 400 mg·kg⁻¹s.m. gleby). Wilgotność próbek gleby doprowadzono do 60% maksymalnej pojemności wodnej i przechowywano w szczelnie zamkniętych szklanych pojemnikach w temperaturze 20°C. We wszystkich kombinacjach oznaczono w 1., 7., 14. i 28. dniu doświadczenia aktywność dehydrogenaz oraz oksydazy *o*-difenolowej. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że aktywność dehydrogenaz w glebie zanieczyszczonej przepracowanym olejem silnikowym uległa podwyższeniu w stosunku do gleby kontrolnej, podczas gdy aktywność oksydazy *o*-difenolowej była hamowana. Aplikacja nadtlenu wapnia do gleby niezawierającej przepracowanego oleju silnikowego w niewielki sposób oddziaływała na aktywność oznaczanych oksydoreduktaz. Trudno jednoznacznie ocenić kierunek zmian aktywności dehydrogenaz oraz oksydazy *o*-difenolowej w glebie skażonej przepracowanym olejem silnikowym po aplikacji nadtlenu wapnia.

Słowa kluczowe: dehydrogenazy, oksydaza *o*-difenolowa, gleba, substancje ropopochodne

Abstract: The aim of study was to assess the effect of calcium peroxide on the activity of dehydrogenases and *o*-diphenol oxidase in soil contaminated with spent engine oil. The laboratory experiment was carried out on loamy sand with Corg content 8.71 g·kg⁻¹. For the soil samples, various combinations of spent engine oil (at the doses of: 0, 10 and 50 g·kg⁻¹DW soil) and calcium peroxide (at the doses of: 0, 200 and 400 mg·g⁻¹DW soil) were added. Samples were adjusted to 60% maximum water holding capacity, and they were incubated in tightly closed glass containers at 20°C. In all combinations, the activity of dehydrogenases and *o*-diphenol oxidase was determined on days 1., 7., 14., and 28. Obtained results showed that activity of dehydrogenases in the soil contaminated with spent engine oil was increased, compared to the control, while the *o*-diphenol oxidase activity was inhibited. The application of calcium peroxide to soil without spent engine oil resulted in a small effect on the activity of the oxidoreductases. It is difficult to unambiguously assess the direction of changes in the activity of dehydrogenases and *o*-diphenol oxidase in soil contaminated with spent engine oil after the treatment of calcium peroxide.

Keywords: dehydrogenases, *o*-diphenol oxidase, soil, petroleum products

1. Wstęp

Stabilność ekosystemu glebowego w dużej mierze zależy od aktywności enzymów, biorących udział w degradacji, transformacji i mineralizacji materii organicznej, jak i rozkładzie ksenobiotyków [1]. Do najczęściej analizowanych enzymów należą dehydrogenazy oraz wiele innych oksydoreduktaz. Wiele doniesień literaturowych [2-4] wskazuje, że to właśnie aktywność enzymów oksydoredukcyjnych jest jednym z najlepszych wskaźników stanu ekochemicznego gleb zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi.

Pomimo ciągłych prób wdrażania pojazdów z napędem hybrydowym, paliwa kopalne nadal stanowią główny czynnik

energetyczny [1]. Olej silnikowy stosowany jest w każdym pojeździe napędzanym silnikiem tłokowym. Służy on przede wszystkim do smarowania elementów ruchomych w bloku silnika. W czasie pracy silnika zmienia on swoje właściwości fizyczno-chemiczne, pojawiają się produkty rozkładu termicznego i mechanicznego polimerów oraz drobne cząstki metali powstałe ze zużytych części silnika [5]. Panująca w silniku w czasie pracy wysoka temperatura powoduje wzrost lepkości i gęstości oleju. Staje się on trudno biodegradowalny i nabiera właściwości kancerogennych [6].

Przepracowane oleje silnikowe są odpadem i zalicza się je do odpadów niebezpiecznych, niestety szacunki wykazują, że około 25-30% przepracowanych olejów zostaje nielegalnie spalona lub celowo wprowadzona do środowiska. Dlatego też

Adres e-mail: arkadiusz.telesinski@zut.edu.pl

konieczne jest poszukiwanie sposobów remediacji gleb zanieczyszczonych przetworzonym olejem silnikowym [7].

Jedną z obiecujących metod usuwania substancji ropopochodnych z gleby jest zastosowanie nadtlenu [8]. Podczas rozkładu tych związków, powstaje nadtlenek wodoru, który jest z jednej strony źródłem tlenu dla mikroorganizmów zdolnych do biodegradacji wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych, a z drugiej powstają z niego rodniki hydroksylowe, zdolne do utleniania zanieczyszczeń organicznych [9, 10].

2. Część eksperymentalna

Doświadczenie przeprowadzono na próbkach gleby pobranych z poziomu orno-próchnicznego gleb rdzawych typowych z terenu Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku (woj. zachodniopomorskie). Gleba ta charakteryzuje się składem granulometrycznym piasku gliniastego oraz zawartością węgla organicznego $8.71 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, azotu ogółem $0.78 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz pH w 1 M KCl 6.45.

Pobraną z pola glebę przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. Do części ziemistych pobranego materiału glebowego wprowadzono w różnych kombinacjach przetworzony olej silnikowy w ilościach: 0, 10 i $50 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby oraz nadtlenek wapnia w ilościach 0, 200 i $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby. Następnie wilgotność próbek została doprowadzona do 60% maksymalnej pojemności wodnej. Tak przygotowane próbki przechowywano w szczelnie zamkniętych szklanych pojemnikach typu twist w temperaturze 20°C . We wszystkich kombinacjach, w 1., 7., 14. i 28. dniu doświadczenia, w trzech powtórzeniach, oznaczono aktywność dehydrogenaz oraz oksydazy *o*-difenolowej.

Aktywność dehydrogenaz (EC 1.1.1.x) w glebie oznaczono zgodnie z procedurą opisaną przez Thalmanna [11]. Metoda ta polega na inkubacji gleby z bezbarwnym, rozpuszczalnym w wodzie substratem – chlorkiem 2,3,5-trifenylo-tetrazolu (TTC), który jest redukowany enzymatycznie do barwnego, nierozpuszczalnego w wodzie trifenyloformazanu (TPF). Zastępując tlen oraz inne naturalnie występujące akceptory, TTC przejmuje elektrony i protony, odłączone przez dehydrogenazy od utlenianych związków organicznych [12]. Aktywność oksydazy *o*-difenolowej (EC 1.10.3.1) w glebie oznaczono natomiast za pomocą metody Perucci'ego i in. [13], która polega na spektrofotometrycznym pomiarze (4-(*N*-prolino)-*o*-benzochinonu), powstałego w wyniku utlenienia katecholu (*o*CAT) w obecności proliny. Do pomiarów wykorzystano spektrofotometr UV-1800 firmy Shimadzu.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji ANOVA, gdzie czynnikiem pierwszym była dawka przetworzonego oleju silnikowego, a drugim – ilość nadtlenu wapnia oraz komplementarnie porównano testem post-hoc Tukey HSD, wykorzystując oprogramowanie Statistica 13.1. Przyjęty poziom istotności wynosił $p < 0.05$. Analizy wykonano niezależnie w każdym terminie pomiarów.

Na podstawie średnich aktywności oznaczanych enzymów ze wszystkich terminów pomiarów obliczono również:

- a) współczynniki średniego oddziaływania przetworzonego oleju silnikowego ($I_{F_{POS}}$) oraz średniego oddziaływania nadtlenu wapnia ($I_{F_{n.w.}}$), zgodnie ze wzorami podanymi przez Kaczyńską i in. [14]:

$$I_{F_{POS}} = \frac{A_{POS}}{A_0}$$

$$I_{F_{n.w.}} = \frac{A_{n.w.}}{A}$$

gdzie: A_{POS} – aktywność enzymu w glebie z dodatkiem przetworzonego oleju silnikowego; A_0 – aktywność enzymu w glebie kontrolnej, $A_{n.w.}$ – aktywność enzymu w glebie po dodaniu CaO_2 , A – aktywność enzymu w glebie bez lub z przetworzonym olejem silnikowym niezawierającej CaO_2 .

- b) wskaźniki średniej oporności enzymu (RS) na obecność w glebie przetworzonego oleju silnikowego i CaO_2 , za pomocą wzoru podanego przez Orwin'a i Wardle'a [15]:

$$RS = 1 - \frac{2|D|}{C + D}$$

gdzie: RS – wskaźnik oporności, C – aktywność enzymu w glebie kontrolnej, D – różnica pomiędzy aktywnością enzymu w glebie kontrolnej a aktywnością w glebie z dodatkiem przetworzonego oleju silnikowego i CaO_2 .

3. Wyniki i dyskusja

Aktywność dehydrogenaz w glebie kontrolnej w trakcie trwania doświadczenia wahała się w przedziale od 1.86 do $5.05 \text{ mg TPF}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}\cdot\text{gleby}\cdot\text{16 h}^{-1}$. Wprowadzenie nadtlenu wapnia do gleby niezawierającej przetworzonego oleju silnikowego w trakcie całego doświadczenia w niewielkim stopniu wpłynęło na aktywność dehydrogenaz (Tabela 1). Zanieczyszczenie przetworzonym olejem silnikowym w ilości $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby spowodowało w trakcie trwania całego doświadczenia aktywację dehydrogenaz w glebie o 100.00 – 154.84% w porównaniu do gleby kontrolnej. Po aplikacji CaO_2 w obu dawkach wykazana stymulacja również utrzymywała się przez cały czas trwania doświadczenia. Jednakże po wprowadzeniu nadtlenu wapnia w dawce $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby była ona niższa niż w glebie z samym przetworzonym olejem silnikowym (z wyjątkiem 14. dnia doświadczenia). Natomiast po dodaniu CaO_2 w dawce $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby stwierdzone podwyższenie aktywności dehydrogenaz w 1. dniu doświadczenia było zbliżone jak w przypadku samego przetworzonego oleju silnikowego, a w kolejnych zdecydowanie wyższe. Odnotowana stymulacja aktywności dehydrogenaz w glebie z dodatkiem przetworzonego oleju silnikowego w ilości $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby oraz CaO_2 w dawce $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby sięgała nawet 565.05% w odniesieniu do kontroli. Również zanieczyszczenie przetworzonym olejem silnikowym w dawce $50 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby stymulowało w trakcie trwania całego doświadczenia aktywność dehydrogenaz glebowych. Jednak w porównaniu do dawki $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby wykazana aktywacja charakteryzowała się w kolejnych dniach większą zmiennością i wahała się od 40.79% (7. dzień doświadczenia) do 480.36% (14. dzień doświadczenia). Po dodatkowym wprowadzeniu CaO_2 do gleby zanieczyszczonej przetworzonym olejem silnikowym w dawce $50 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby także odnotowano podwyższenie aktywności dehydrogenaz, które jednak zazwyczaj było inne niż w glebie z samym olejem silnikowym. W glebie zanieczyszczonej, do której dodano nadtlenek wapnia w dawce $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ gleby podwyższenie aktywacji oznaczanej grupy enzymów wystąpiło w 1., 7. i 28. dniu trwania doświadczenia, a obniżenie

Tabela 1. Aktywność dehydrogenaz w glebie z dodatkiem przerepracowanego oleju silnikowego i CaO₂, mg TPF·kg⁻¹s.m. gleby ·16 h⁻¹

Dawka przerepracowanego oleju silnikowego g·kg ⁻¹ s.m. gleby	Dawka CaO ₂ mg·kg ⁻¹ s.m. gleby	Czas inkubacji, dni			
		1	7	14	28
0	0	4.02e	5.05e	3.92f	1.86d
	200	3.61e	5.57e	3.61f	2.68cd
	400	4.03e	4.84e	3.09f	2.47cd
10	0	8.25c	11.13bc	7.84e	4.74bc
	200	6.60d	7.32d	10.72d	3.71c
	400	8.26c	13.92a	9.28d	12.37a
50	0	10.93b	7.11d	22.75a	5.36b
	200	13.61a	12.28ab	15.33b	12.16a
	400	5.36de	10.62c	13.71c	4.74bc

Wartości oznaczone takimi samymi literami w obrębie kolumn nie różnią się statystycznie przy poziomie istotności $p < 0.05$, TPF - trifenyloformazan

w 14. dniu doświadczenia. Odwrotnie przedstawiała się sytuacja po aplikacji CaO₂ w dawce 400 mg·kg⁻¹s.m. gleby, gdzie w 1. i 14. dniu eksperymentu stymulacja aktywności dehydrogenaz była niższa, a w 7. dniu doświadczenia – wyższa niż w glebie zawierającej przerepracowany olej silnikowy.

Aktywność oksydazy *o*-difenolowej w glebie kontrolnej w ciągu trwania doświadczenia kształtowała się na poziomie od 2.50 do 3.23 μmol oCAT·kg⁻¹s.m.gleby·10 min⁻¹. Porównując wpływ nadtlenu wapnia na aktywność tego enzymu w glebie niezanieczyszczonej przerepracowanym olejem silnikowym trudno jednoznacznie ocenić kierunek oddziaływania. Zależał on zarówno od dawki CaO₂, jak i czasu inkubacji. Największą stymulację aktywności oksydazy *o*-difenolowej odnotowano po aplikacji CaO₂ w dawce 400 mg·kg⁻¹s.m. gleby w 14. dniu doświadczenia (o 23.13% w odniesieniu do kontroli), a największą inhibicję po dodaniu CaO₂ w tej samej dawce w 1. dniu doświadczenia (o 22.40%) (Tabela 2). Zanieczyszczenie gleby przerepracowanym olejem silnikowym w ilości 10 g·kg⁻¹s.m. gleby od 7. do 28. dnia doświadczenia spowodowało obniżenie aktywności enzymu o 22.39-36.53%. Po wprowadzeniu nadtlenu wapnia w dawce 200 mg·kg⁻¹s.m. gleby, aktywność oksydazy *o*-difenolowej od 7. do 28.

dnia doświadczenia była niższa niż w glebie kontrolnej, a także niższa niż w glebie zanieczyszczonej olejem silnikowym w ilości 10 g·kg⁻¹s.m. gleby. Największa inhibicja wystąpiła w 14. dniu doświadczenia (48.61%). Natomiast aplikacja CaO₂ w dawce 400 mg·kg⁻¹s.m. gleby wywołała spadek aktywności oksydazy *o*-difenolowej jedynie w 7. dniu doświadczenia. W glebie zawierającej przerepracowany olej silnikowy w ilości 50 g·kg⁻¹s.m. gleby w trakcie trwania aktywność oksydazy *o*-difenolowej była niższa niż w glebie kontrolnej. Najmniejszą inhibicję aktywności enzymu stwierdzono w 1. dniu doświadczenia (18.80%), a największą w 7. dniu doświadczenia (68.11%). Po dodaniu nadtlenu wapnia w dawce 200 i 400 mg·kg⁻¹s.m. do gleby zawierającej olej napędowy w ilości 50 g·kg⁻¹s.m. we wszystkich terminach nie wykazano istotnych zmian aktywności oksydazy *o*-difenolowej w stosunku do gleby zanieczyszczonej.

Obliczone wskaźniki średniego oddziaływania przerepracowanego oleju silnikowego potwierdziły stymulujące działanie tej substancji na aktywność dehydrogenaz w glebie oraz hamujące na aktywność oksydazy *o*-difenolowej w glebie (Tabela 3). Stwierdzony efekt zwiększał się wraz ze wzrostem dawki. Jest to potwierdzeniem badań prowadzonych przez

Tabela 2. Aktywność oksydazy *o*-difenolowej w glebie z dodatkiem przerepracowanego oleju silnikowego i CaO₂, mmol oCAT·kg⁻¹s.m. gleby ·10 min⁻¹

Dawka przerepracowanego oleju silnikowego g·kg ⁻¹ s.m. gleby	Dawka CaO ₂ mg·kg ⁻¹ s.m. gleby	Czas inkubacji, dni			
		1	7	14	28
0	0	2.50a	3.23b	2.68b	2.64ab
	200	2.01b	3.83a	2.96ab	2.70a
	400	1.94b	3.14b	3.30a	2.49b
10	0	2.79a	2.05c	2.08c	1.86c
	200	2.46ab	1.66d	1.70c	1.02d
	400	2.43ab	1.64d	1.93c	1.68c
50	0	2.03b	1.03e	1.19d	0.90d
	200	1.96b	1.01e	0.80d	0.81d
	400	2.03b	0.97e	1.02d	0.94d

Wartości oznaczone takimi samymi literami w obrębie kolumn nie różnią się statystycznie przy poziomie istotności $p < 0.05$; oCAT – utleniony katechol

wielu autorów [16-19]. Ponadto Kaczyńska i in. [14] podają, że aktywność dehydrogenaz jest bardzo dobrym wskaźnikiem zanieczyszczenia gleby substancjami ropopochodnymi. Aktywność dehydrogenaz w glebie powiązana jest z czynnością wielu enzymów lub systemów enzymatycznych, powszechnie występujących w drobnoustrojach glebowych [20], a czynne dehydrogenazy występują w glebie, jako integralna część nienaruszonych komórek mikroorganizmów [12].

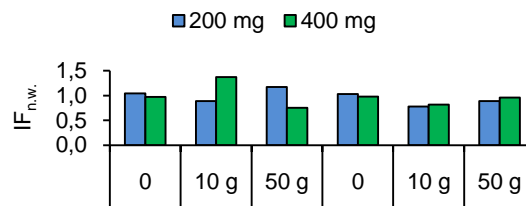
Tabela 3. Średnie wartości współczynnika oddziaływania przetworzonego oleju silnikowego (IF_{POS}) na aktywność dehydrogenaz i oksydazy *o*-difenolowej w glebie

Dawka przetworzonego oleju silnikowego $g \cdot kg^{-1} s.m. gleby$	DHA	<i>o</i> -DPO
10	2.15	0.78
50	3.11	0.46

DHA – dehydrogenazy, *o*-DPO – oksydaza *o*-difenolowa

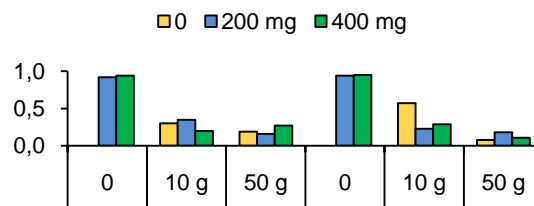
Analizując wartości średniego oddziaływania nadtlenu wapnia stwierdzono, że, zarówno w przypadku dehydrogenaz, jak i oksydazy *o*-difenolowej, w glebie kontrolnej dla obu dawek CaO_2 były zbliżone do 1, co świadczy o niewielkim wpływie tego związku na aktywność oznaczanych enzymów. Dla aktywności dehydrogenaz w glebie zawierającej przetworzony olej silnikowy w ilości $10 g \cdot kg^{-1} s.m. gleby$ po wprowadzeniu CaO_2 w dawce $200 mg \cdot kg^{-1} s.m. gleby$ wartość $IF_{n.w.}$ wyniosła 0.89, a w dawce $400 mg \cdot kg^{-1} s.m. gleby$ $IF_{n.w.}=1.37$. Odwrotnie przedstawiała się sytuacja w glebie zanieczyszczonej olejem silnikowym w ilości $50 g \cdot kg^{-1} s.m. gleby$, gdzie dla dawki nadtlenu wapnia równej 200 i $400 mg \cdot kg^{-1} s.m. gleby$ wartości $IF_{n.w.}$ wynosiły odpowiednio 1.17 i 0.75. Natomiast dla aktywności oksydazy *o*-difenolowej w glebie zawierającej przetworzony olej silnikowy, zwłaszcza w ilości $10 g \cdot kg^{-1} s.m. gleby$, po aplikacji nadtlenu wapnia wykazano obniżenie $IF_{n.w.}$ do 0.78 dla dawki $200 mg \cdot kg^{-1}$ i 0.82 dla dawki $400 mg \cdot kg^{-1} s.m. gleby$ (Rysunek 1). Małachowska-Jutysz i Niesler [21] podają, że główną zaletą stosowania nadtlenu wapnia jest jego powolny rozkład pod wpływem wilgoci, prowadzący do powstawania nadtlenu wodoru. Staje się następnie źródłem wolnych rodników i tlenu. Ze względu na powolny przebieg reakcji, która zapewnia długotrwale i stopniowe uwalnianie nadtlenu wodoru, nadtlenek wapnia może być stosowany jako źródło aktywnego tlenu [22]. Powstający w procesie tlen stwarza korzystne warunki niezbędne do intensyfikacji procesów biologicznych w środowisku, jak również biodegradacji zanieczyszczeń. Prace licznych autorów [10, 21, 22-25] wskazują na wzrost stopnia usunięcia takich zanieczyszczeń, jak węglowodory ropopochodne, WWA, tetrachloroetylen, 2,4,6-trinitrotoluen oraz substancji ropopochodnych po dodaniu nadtlenu wapnia.

W oparciu o średnie wartości wskaźnika oporności (RS), stwierdzono, że po aplikacji CaO_2 , zarówno dla dehydrogenaz, jak i oksydazy *o*-difenolowej, były one zbliżone do 1. dnia doświadczenia, co świadczy o niewielkim wpływie tego związku na aktywność oznaczanych enzymów (Rysunek 2). Natomiast w glebie zawierającej przetworzony olej silnikowy, wartości RS były znacznie niższe i wynosiły dla 10 oraz $50 g \cdot kg^{-1} s.m. gleby$ odpowiednio 0.30 i 0.19 dla dehydrogenaz i odpowiednio 0.57 i 0.08 dla oksydazy *o*-difenolowej. Wprowa-



Rysunek 1. Średnie wartości współczynnika oddziaływania nadtlenu wapnia ($IF_{n.w.}$) na aktywność dehydrogenaz i oksydazy *o*-difenolowej w glebie niezanieczyszczonej i zanieczyszczonej przetworzonym olejem silnikowym: DHA – dehydrogenazy, *o*-DPO – oksydaza *o*-difenolowa; 200 mg i 400 mg – dawki CaO_2 na $kg s.m. gleby$, 0, 10 g i 50 g – dawki przetworzonego oleju silnikowego na $kg s.m. gleby$.

dzenie nadtlenu wapnia do gleby zanieczyszczonej w różnym stopniu zmieniało wartości RS w porównaniu do gleby z przetworzonym olejem silnikowym. Według Griffiths'a i Philpott'a [27], a także Orwin'a i Wardle'a [15] wartości RS bardzo dobrze obrazują wrażliwość ekosystemu na określone zanieczyszczenie. Ponadto dostarczają one informacji na temat jakości gleby zanieczyszczonej substancjami organicznymi, w tym węglowodorami [10].



Rysunek 2. Średnie wartości współczynnika oporności (RS) dla aktywności dehydrogenaz i oksydazy *o*-difenolowej w glebie niezanieczyszczonej i zanieczyszczonej przetworzonym olejem silnikowym: DHA – dehydrogenazy, *o*-DPO – oksydaza *o*-difenolowa; 0, 200 mg i 400 mg – dawki CaO_2 na $kg gleby$, 0, 10 g i 50 g – dawki przetworzonego oleju silnikowego na $kg gleby$.

4. Podsumowanie

- 1) Zanieczyszczenie gleby przetworzonym olejem silnikowym spowodowało istotne zmiany aktywności dehydrogenaz i oksydazy *o*-difenolowej.
- 2) Aktywność dehydrogenaz w glebie zanieczyszczonej przetworzonym olejem silnikowym uległa podwyższeniu w stosunku do gleby kontrolnej, podczas gdy aktywność oksydazy *o*-difenolowej była hamowana.
- 3) Aplikacja nadtlenu wapnia do gleby niezawierającej przetworzonego oleju silnikowego w niewielki sposób oddziaływała na aktywność oznaczanych oksydoreduktaz.
- 4) Trudno jednoznacznie ocenić kierunek zmian aktywności dehydrogenaz oraz oksydazy *o*-difenolowej w glebie skażonej przetworzonym olejem silnikowym po aplikacji nadtlenu wapnia.

5) Największe różnice pomiędzy oddziaływaniem zastosowanych dawek nadtlenu wapnia w glebie skażonej przepracowanym olejem silnikowym wystąpiły w przypadku dehydrogenaz. Aplikacja CaO_2 w dawce $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ do gleby zawierającej olej silnikowy w ilości $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ stymulowała, a dawka $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ inhibowała aktywność tej grupy enzymów, podczas gdy w glebie zanieczyszczonej na poziomie $50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ gleby wystąpiła odwrotna tendencja.

Literatura

- [1] M. Stręk, A. Telesiński, *Acta Agrophys.*, **2016**, 23(3), 505-513.
- [2] F.I. Achuba, P.N. Okoh, *Open J. Soil Sci.*, **2014**, 4, 399-406. doi: 10.4236/ojss.2014.412040.
- [3] G. Kaczyńska, A. Borowik, J. Wyszowska, *Water Air Soil Pollut.*, **2015**, 226(11), 372. doi: 10.1007/s11270-015-2642-9.
- [4] M. Stręk, A. Telesiński, *Environ. Protect. Engin.*, **2017**, 43(1), 151-160. doi: 10.5277/epe170112.
- [5] M.M.A. Blessing, A.A. Abdulrahman, *Asian J. Sci. Technol.*, **2015**, 6(2), 1032-1035.
- [6] J.N. Nwite, M.O. Alu, *J. Soil Sci. Environ. Manag.*, **2015**, 5(4), 44-51. doi: 10.5897/JSSEM12.070.
- [7] A. Gałązka, *Kosmos*, **2015**, 64(1), 145-164.
- [8] A. Małachowska-Jutcz, W. Janosz, J. Rudek, *Ochr. Środ.*, **2012**, 34(1), 15-20.
- [9] A. Małachowska-Jutcz, M. Gumińska, Z. Bernaś, *Ochr. Środ.*, **2014**, 36(3), 37-42.
- [10] M. Stręk, A. Telesiński, *Chem. Environ. Biotechnol.*, **2016**, 19, 7-11. doi: 10.16926/cebj.2016.19.01.
- [11] A. Thalmann, *Landwirtsch. Forsch.*, **1968**, 21, 249-258.
- [12] M. Brzezińska, T. Włodarczyk, *Acta Agrophys.*, **2005**, 3, 11-26.
- [13] R. Perucci, C. Casucci, S. Dumonet, *Soil Biol. Biochem.*, **2000**, 32, 1927-1933.
- [14] G. Kaczyńska, A. Borowik, J. Wyszowska, *Water Air Soil Pollut.*, **2015**, 226, 372. doi: 10.1007/s11270-015-2642-9.
- [15] K.H. Orwin, D.A. Wardle, *Soil Biol. Biochem.*, **2004**, 36(11), 1907-1912. doi: 10.1016/j.soilbio.2004.04.036.
- [16] F.I. Achuba, B.O. Peretiemo-Clarke, *Int. Agrophys.*, **2008**, 22, 1-4.
- [17] F.I. Achuba, P.N. Okoh, *Open J. Soil Sci.*, **2014**, 4, 399-406.
- [18] K. Ramadass, M. Megharaj, K. Venkateswarlu, R. Naidu, *Soil Biol. Biochem.*, **2015**, 85, 72-81. doi: 10.1016/j.soilbio.2015.02.026.
- [19] M. Stręk, A. Telesiński, *Plant Soil Environ.*, **2016**, 62(4), 157-163. doi: 10.17221/740/2015-PSE.
- [20] J. Wyszowska, E. Boros-Lejszner, W. Lejszner, J. Kucharski, *Environ. Earth Sci.*, **2017**, 76, 403. doi: 10.1007/s12665-017-6742-2.
- [21] A. Małachowska-Jutcz, M. Niesler, *Water Air Soil Pollut.*, **2015**, 226, 365. doi: 10.1007/s11270-015-2632-y.
- [22] M. Stręk, A. Płatkowski, *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* **2016**, 328(39)3, 211-218. doi: 10.21005/AAPZ2016.39.3.18.
- [23] M. Kostecki, J. Mazierski, *Przem. Chem.*, **2008**, 87(3), 278-283.
- [24] A. Northup, D. Cassidy, *J. Hazard. Mat.*, **2008**, 152, 1164-1170. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.096 A.
- [25] A. Goi, M. Viisimaa, M. Trapido, R. Munter, *Chemosphere*, **2011**, 82, 1196-1201. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.11.053.
- [26] J. Khodaveisi, H. Banejad, A. Afkhami, E. Olyaei, S. Lashgari, R. Dashti, *J. Hazard. Mat.*, **2011**, 192, 1437-1440. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.060.
- [27] A. Griffiths, L. Philippot, *FEMS Microbiol. Rev.*, **2013**, 37(2), 112-129. doi: 10.1111/j.1574-6976.2012.00343.x.