

WPLYW PRZEPACOWANEGO OLEJU SILNIKOWEGO NA WYBRANE ROŚLINY W POCZĄTKOWYM OKRESIE WZROSTU

ANNA MAŁACHOWSKA-JUTSZ, KORNELIUSZ MIKSCH

Poli technika Śląska, Katedra Biotechnologii Środowiskowej
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2

Keywords: toxicity, soil pollutant, crude oil, phytoremediation.

INFLUENCE OF USED OIL ON SAME PLANT SPECIES

Polycyclic aromatic hydrocarbons can affect all stages of plant growth from germination to reproduction. A sensitive response to PAHs loading can be assumed above all in the first stages of ontogenesis, the germination of seeds and the root elongation. The germination of the seed is the existential condition of the further development of the plant. In this relatively short period the plant has not yet sufficient detoxicative ability. The affection of germination due to the contamination of soils with polyaromatic compounds can be one of the factors of natural selection and even also of the plant evolution. It can be assumed that in plants there exists and is further developed the adaptation of germination to those selected conditions. In this study the phytotoxic effects of crude oil were studied. The effect of increasing concentration of the used oil in the soil (1, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 g/kg) on: the root elongation, biomass of roots, the stalk elongation, biomass of stalk and synthesis of chlorophyll of rye *Secale cereale* L., red clover *Trifolium repens* L., charlock *Sinapis alba* L., were studied. The results demonstrated that the increasing concentration of used oil inhibited on: the root elongation, biomass of roots, the stalk elongation, biomass of stalk and synthesis of chlorophyll by all tested plant. The species studied showed different sensitivity to the concentration of used oil.

Streszczenie

W doświadczeniu badano wpływ przepacowanego oleju silnikowego na wybrane rośliny – gorczycę białą, koniczynę czerwoną oraz żyto. Zastosowano następujące dawki przepacowanego oleju silnikowego: 1, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 g oleju/kg gleby. Toksyczne oddziaływanie badanego związku oceniano poprzez porównanie masy korzeni roślin rosnących na glebie kontrolnej (nieskażonej) oraz na glebie badanej tj. skażonej przepacowanym olejem silnikowym, a także przez wyznaczenie stopnia zahamowania przyrostu masy pędu oraz określenie stopnia zahamowania syntezy chlorofilu typu „a” i „b”. Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono wzrastający stopień zahamowania masy korzeni i łodyg roślin wraz z wzrostem stężenia oleju w glebie, zahamowanie syntezy chlorofilu „a” i „b” oraz zmianę stosunku chlorofilu a/b w roślinach rosnących na glebie skażonej w porównaniu z roślinami z gleb kontrolnych.

WSTĘP

Zanieczyszczenie gleb i wód gruntowych substancjami ropopochodnymi stanowi obecnie jeden z najpoważniejszych problemów środowiskowych. Według danych światowych 0,1–0,25 % zużywanych produktów naftowych przedostaje się do środowiska, przy czym są to głównie paliwa silnikowe [9]. W przypadku Polski, gdzie zużycie produktów naftowych wynosi 17 mln Mg/rok, można przewidywać, że 16–40 tys. Mg tych

substancji stanowi realne zagrożenie dla środowiska [3]. Większość produktów naftowych działa toksycznie na organizmy żywe. Szkodliwość olejów przetworzonych jest dużo wyższa niż olejów świeżych, wprowadzanych na rynek [3]. Przetworzone oleje napędowe stanowią złożoną wielokładnikową mieszaninę związków organicznych, głównie węglowodorów $C_{10} - C_{20}$.

Rozkład biochemiczny węglowodorów jest uzależniony od ich struktury i toksyczności. Sorpcja węglowodorów utrudnia rozkład tych związków. Zjawisko to zachodzi głównie w glebach zasilanych nawozami naturalnymi, torfem, kompostem. Szczególnie łatwo adsorbują się wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne [10]. Jak wykazali Walton i Anderson, układ rośliny – mikroorganizmy pełni istotną rolę w rekultywacji gleb zanieczyszczonych różnymi substancjami organicznymi [5]. Gatunek rośliny jest ważnym determinantem populacji ryzosfery. Dlatego też roślina selekcyjując i stymulując aktywność mikrobiologiczną, spełnia ważną rolę w bioremediacji gleb [5].

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Do badań użyto utworu glebowego pobranego z terenów niezanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi (z głębokości nie przekraczającej 30 cm), który przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm w celu ujednorodnienia. Wykonano podstawowe oznaczenia fizyko-chemiczne [8], a ocenę toksycznego oddziaływania przetworzonego oleju silnikowego na rośliny dokonano wg typowej metodyki [1, 5].

Zakres badań obejmował określenie:

- masy korzeni wybranych roślin rosnących w utworze glebowym kontrolnym (nie skażonym) oraz badanym tj. skażonym przetworzonym olejem silnikowym,
- stopnia zahamowania przyrostu masy części nadziemnej,
- stopnia zahamowania syntezy chlorofilu typu „a” i „b”.

Do badań stosowano niezaprawione, kwalifikowane nasiona żyta, koniczyzny czerwonej oraz gorczycy białej. Wyboru roślin dokonano na podstawie wytycznych OECD.

Doświadczenie prowadzono w pojemnikach o średnicy 8 cm i wysokości 12 cm. W każdym wazonie umieszczono po około 500 g utworu glebowego oraz po 25 podkiełkowanych na bibule filtracyjnej nasion (długość kielka nie przekraczała 2 mm, czas kiełkowania wynosił ok. 48 h w temperaturze 20°C w ciemności), a następnie wstawiono je do komory fitotronowej. W wazonach utrzymywano wilgotność gleby na poziomie 70 ± 5% całkowitej pojemności wodnej. Długość dnia i nocy wynosiła 12 h. Dla dnia przyjęto oświetlenie 2000 lux. Temperaturę utrzymywano na poziomie 20 ± 2°C w dzień i 16 ± 2°C w nocy. Badania prowadzono przez 30 dni, w pięciu równoległych powtórzeniach.

Użyta do badań gleba została skażona przetworzonym olejem silnikowym (minalnym) o gęstości 0,882 g/cm³. Dawkę oleju ustalono w gramach na 1000 g gleby.

Schemat prowadzenia badań:

- gleba kontrolna (nie skażona),
- próbka 1 – gleba skażona 1 g oleju silnikowego/1000 g gleby,
- próbka 2 – gleba skażona 10 g oleju silnikowego/1000 g gleby,
- próbka 3 – gleba skażona 25 g oleju silnikowego/1000 g gleby,
- próbka 4 – gleba skażona 50 g oleju silnikowego/1000 g gleby,
- próbka 5 – gleba skażona 75 g oleju silnikowego/1000 g gleby,
- próbka 6 – gleba skażona 100 g oleju silnikowego/1000 g gleby,

- próbka 7 – gleba skażona 125 g oleju silnikowego/1000 g gleby,
- próbka 8 – gleba skażona 150 g oleju silnikowego/1000 g gleby.

Po okresie 30 dni wzrostu roślin w wazonach pobrano z każdej próby części nadziemne i korzenie, które zważono. Toksyczne oddziaływanie przepracowanego oleju silnikowego na masę łodyg oraz korzeni oceniano stosując metodę logarytmiczno-probitową. Po 30 dniach wzrostu roślin w komorze fitotronowej, pobrano ich części nadziemne (z każdej próbki), a następnie oznaczono w nich zawartość chlorofilu typu „a” i „b”. Ocenę procesu zahamowania syntezy chlorofilu przeprowadzono wg metody [2].

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Do badań wykorzystano utwór glebowy zaliczany do grupy granulometrycznej glina lekka pylasta lub glina średnio pylasta (Tab. 1 i 2). Utwór ten charakteryzuje się dużymi właściwościami adsorpcyjnymi i sorpcyjnymi, co wpływać może na przebieg procesu rozkładu przepracowanego oleju. Ponadto utwór ten zawierał dużą ilość węgla w związkach organicznych, co również sprzyjało aktywności mikrobiologicznej oraz procesom rozkładu zachodzącym przy optymalnej wilgotności i temperaturze.

Tabela 1. Zestawienie fizykochemicznych właściwości utworu glebowego
Physical and chemical properties of soil used in pot experiment

Rodzaj oznaczenia Parameters	Wynik oznaczenia Results
pH w H ₂ O	7,29
pH w KCl	7,28
Masa organiczna [% wag.], Organic matter [% of weight]	23,17
Węgiel organiczny [g/kg smg] Organic carbon [g/kg of dry soil]	134,4
Fosfor ogólny [g P-PO ₄ /kg smg] Phosphorus [g P-PO ₄ /kg of dry soil]	2,0
Azot ogólny N _{og} [g N/kg smg] Nitrogen [g N/kg of dry soil]	20,32
Azot amonowy [g N-NH ₄ /kg smg] Ammonia nitrogen [g N-NH ₄ /kg of dry soil]	1,52
Azot azotanowy [g N-NO ₃ /kg smg] Nitrate nitrogen [g N-NO ₃ /kg of dry soil]	0,32
Kwasy huminowe [% wag. węgla całkowitego] Humins acids [% of total carbon]	27,1

W celu statystycznej oceny wyników stosowano metodę analizy wariancji, oceniając istotność różnic testem *F* Fishera-Snedecora, przy poziomie istotności $p = 0,05$. Na tej podstawie wyliczono współczynniki F_d i porównano je z wartościami F_t w tablicy rozkładu *F* [11]. Jako istotnie różniące się przyjmowano te, dla których była spełniona nierówność $F_d > F_t$. Oznacza to, że istniejąca różnica pomiędzy wariancjami jest znamienna,

a nie spowodowana działaniem przyczyn losowych. Wyniki te zamieszczono w tabeli 3. Wyznaczono również NIR (najmniejsza istotna różnica) pomiędzy poszczególnymi wariacjami. Równania odpowiednich prostych wyznaczono metodą analizy regresji liniowej, przy założonym poziomie istotności $p = 0,05$ uzyskując dla większości danych istotne wartości współczynników korelacji (0,822–0,970) (Tab. 3).

Tabela 2. Skład granulometryczny badanego utworu glebowego
Granulometric composition of soil %

Gatunek gleby Kind of soil	Średnica frakcji ϕ Diameter of fraction ϕ	%
Piasek Sand	1–0,1 mm	38
Pył Silt	< 0,02 mm	25
Il Clay	0,1–0,2 mm	37

Współczynniki regresji uzyskanych prostych mają wartości ujemne, co oznacza, że wraz ze wzrostem jednej zmiennej (stężenie oleju) druga zmienna malała (masa korzeni i części nadziemnych badanych roślin). Otrzymane wyniki wskazują na istotny statystycznie wpływ zastosowanej dawki przetworzonego oleju silnikowego na masę korzeni oraz łodyg roślin. Zwiększenie dawki oleju powodowało obniżenie masy tych organów rośliny.

Dla gorczycy, koniczyny i żyta wyznaczono metodą logarytmiczno-probitową 50% zahamowanie przyrostu masy korzeni i łodyg (Tab. 4).

Ważnym zagadnieniem przy wyborze roślin stosowanych podczas procesu fitoremediacji jest ich właściwy dobór uwzględniający warunki wpływające na poziom kumulacji ksenobiotyków, tj. warunki klimatyczne, glebowe, pory roku, wiek, odległość od emitorów zanieczyszczeń i drogi ich migracji [7]. Ocenę wrażliwości poszczególnych gatunków umożliwiają testy fitotoksyczności. Wykonanie ich w fazie kiełkowania nasion na glebie skażonej przeznaczonej do fitoremediacji pozwala na wytypowanie takich gatunków, które w warunkach skażenia mogą rosnać, rozwijać się i budować biomasę [4]. Tylko rośliny zdrowe, o prawidłowo przebiegających procesach wzrostu, mogą efektywnie zmniejszyć stężenie zanieczyszczeń w gruncie [9, 10].

Wprowadzony do gleby przetworzony olej silnikowy wpływał negatywnie na masę korzeni i łodyg roślin powodując jej zmniejszanie się, wraz ze wzrostem stężenia ksenobiotyku w glebie. Na skutek skażenia gleby użytym olejem silnikowym większość korzeni pierwotnych i wtórnych żyta ozimego nie wykazywała zewnętrznych objawów porażenia, natomiast w budowie anatomicznej uprawianego na glebie skażonej, wystąpiło splazmolizowanie i deformacja komórek, a w tkance przewodzącej zaczopowanie głównych naczyń ksylemu (Rys. 1). Badania dotyczące koniczyny czerwonej wykazały, że nastąpiło zniszczenie strefy merystematycznej, łącznie z częścią struktury włósnikowej (Rys. 2). Slovak i in. [9] podają, że u zbóż, roślin motylkowych i krzyżowych wokół ścian komórkowych, głównie mięksiszu, ob-

serwowano odkładanie się związku ropopochodnego, co utrudniało roślinom przewodzenie wody. W związku z tym u wszystkich badanych roślin nastąpiło odwodnienie tkanek, a co za tym idzie miejscowe lub całkowite ich zniszczenie i obumarcie rośliny zależne od stężenie ksenobiotyku w glebie. Ponieważ w osłabionych roślinach nie mogły prawidłowo zachodzić podziały komórkowe, prowadziło to do ograniczenia przyrostu masy.

Tabela 3. Zahamowanie [%] przyrostu masy łodyg i korzeni roślin badanych w odniesieniu do roślin kontrolnych
Inhibition of mass of plant stems and roots [%]

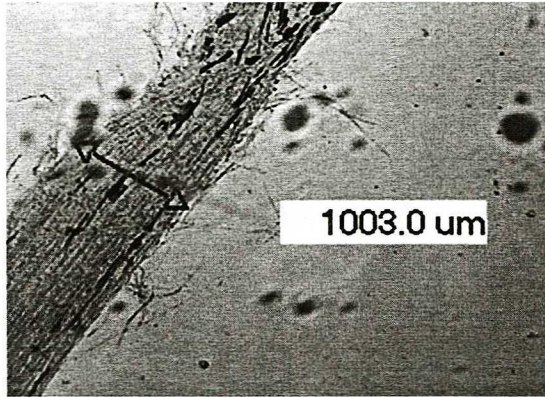
Użyta roślina Used plant	Stężenie oleju w glebie [g/kg gleby] Concentration of crude oil [g/kg of soil]	Zahamowanie masy łodygi [%] Inhibition of mass stems [%]	Współczynnik korelacji r Correlation coefficient r Wsp. Fishera F_d Fisher's coefficient F_d	Zahamowanie masy korzenia [%] Inhibition of mass roots [%]	Współczynnik korelacji r Correlation coefficient r Wsp. Fishera F_d Fisher's coefficient F_d
Gorczyca Charlock	0	–	r = -0,822 $F_d = 2,080$	–	r = -0,970 $F_d = 16,064$
	1	15,7*		19,5*	
	10	37,8*		21,8	
	25	42,9		24,4*	
	50	52,9*		39,2*	
	75	57,9		43,1	
	100	59,8*		75,6*	
	125	59,9		77,4	
Koniczyna Clover	0	–	r = -0,872 $F_d = 3,73$	–	r = -0,918 $F_d = 5,36$
	1	7,7*		8,3*	
	10	25,9*		26,4*	
	25	32,6*		43*	
	50	47,8*		47,4*	
	75	51,4		52,5	
	100	52		64*	
	125	55,6*		66,8	
Żyto Rye	0	–	r = -0,887 $F_d = 3,79$	–	r = -0,964 $F_d = 13,129$
	1	7,2*		10,1*	
	10	21,1*		28,9*	
	25	37,7*		40,1*	
	50	39,1		40,2	
	75	40,0*		42,0	
	100	70,8*		73,1*	
	125	80,4*		86,1*	
	150	85,6*	86,2		

* istotna statystycznie różnica – significant difference

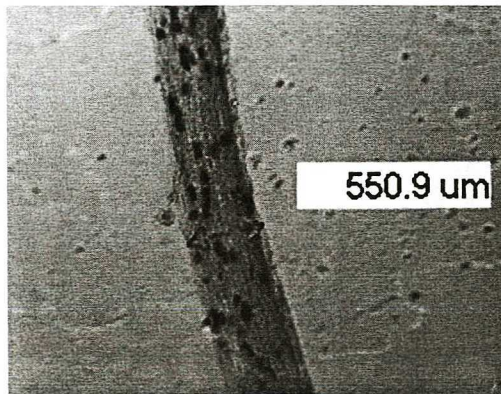
F_d – odczytane z tablic przy poziomie ufności $p = 0,05$ wynosi 3,73 – coefficient value with confidence limit $p = 0.05$ is 3.73

Tabela 4. Wyznaczenie IC_{50} na podstawie zahamowania wzrostu roślin
The IC_{50} assessment based on the inhibition of plant growth.

Roślina Plant	Korzeń Root	Łodyga Stem
Gorzycza Charlock	$IC_{50} = 35,480$ [g o.s./1000 g gleby]	$IC_{50} = 39,810$ [g o.s./1000 g gleby]
Koniczyna Clover	$IC_{50} = 50,120$ [g o.s./1000 g gleby]	$IC_{50} = 79,430$ [g o.s./1000 g gleby]
Żyto Rye	$IC_{50} = 25,110$ [g o.s./1000 g gleby]	$IC_{50} = 39,810$ [g o.s./1000 g gleby]



Rys. 1. Żyto – 150 g oleju/kg gleby
Rye – 150 g of crude oil/kg of soil



Rys. 2. Koniczyna – 150 g oleju/kg gleby
Clover – 150 g of crude oil/kg of soil

Masa żyta zależna była od zakresu stężenia oleju, który powodował nagły spadek masy korzeni i powyżej którego masa ta tylko nieznacznie malała. Mieścił się on w granicach od 75 do 100 g przepacowanego oleju/1000 g gleby (Tab. 3). Dla gorczycy białej należącej do krzyżowców, zakres stężeń powodujący nagły spadek masy korzeni był identyczny. W przypadku rośliny motylkowej (koniczyny czerwonej) zahamowanie przyrostu masy korzeni było szczególnie widoczne przy niskich stężeniach ksenobiotyku od 1 do 25 g przepacowanego oleju/1000 g gleby (Tab. 3).

Masa łądyg wszystkich badanych roślin cechowała się największym ubytkiem w zakresie stężeń od 1 do 25 g przepacowanego oleju/1000 g gleby.

Stwierdzono również, że 50% zahamowanie przyrostu masy korzenia u wszystkich badanych roślin wystąpiło dla niższych dawek przepacowanego oleju silnikowego niż w przypadku części nadziemnych. Zależność ta wydaje się być oczywista, bowiem to korzeń jako pierwszy styka się z wprowadzonymi do gleby zanieczyszczeniami. Część z nich jest trwale adsorbowana na jego powierzchni, a tylko nieznaczna część transportowana wiązkami przewodzącymi do części nadziemnych.

W celu statystycznej oceny wpływu substancji ropopochodnej na syntezę chlorofilu u roślin stosowano test istotności t-Studenta, w którym porównywano średnie zawartości chlorofilu x zarówno „a” jak i „b”, ich odchylenia standardowe s , z wartościami x i s próbek kontrolnych. Na tej podstawie wyliczono wartości krytyczne rozkładu t-Studenta – t_{α} , a otrzymaną wartość porównano z wartością tabelaryczną, przy poziomie istotności $p = 0,05$. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono istotny statystycznie wpływ najniższych dawek oleju tj. 1, 10 oraz 25 g/1000 g utworu glebowego. Zastosowanie tych dawek powodowało bardzo gwałtowny spadek zawartości chlorofilu „a”, jak i „b”. Wzrost stężenia oleju w utworze glebowym powyżej 25 g/1000 g gleby powodował już tylko nieznaczny spadek zawartości chlorofilu w porównaniu z wartościami otrzymanymi dla roślin rosnących w glebie skażonej 25 g przepacowanego oleju silnikowego/1000 g gleby. Różnice te okazały się statystycznie nieistotne (Tab. 5, Rys. 3–5).

U wszystkich roślin wraz ze wzrostem skażenia podłoża następował spadek zawartości chlorofilu. Natężenie objawów chlorozy było różne. Zahamowanie syntezy chlorofilu było najbardziej widoczne przy stężeniach tj. 1, 10 i 25 g/1000 g gleby.

Chloroza u badanych roślin objawiała się odbarwieniami, opadaniem liści oraz wpływała na ogólny ich niedorozwój (cienkie i słabo rozwinięte łądygi). Zahamowanie syntezy chlorofilu było prawdopodobnie następstwem zmian pobierania wody i soli mineralnych wywołanych przez skażenie gleby olejem. Naruszona została homeostaza gleby. W glebach zanieczyszczonych związkami ropopochodnymi następują zmiany polegające na redukcji związków manganu, azotu, siarki i węgla. Ich skutkiem jest pogorszenie się warunków wzrostu i rozwoju roślin. W profilu glebowym pogarszają się warunki pionowej migracji powietrza glebowego i wody w obu kierunkach z powodu wytrącania się koloidalnych wodorotlenków żelaza na granicy kontaktu warstwy zredukowanej z tlenem, co powoduje zatykanie porów glebowych [10].

Zahamowanie syntezy chlorofilu korelowało ze zwiększeniem stężenia przepacowanego oleju silnikowego w glebie. Dla danej wartości IC zahamowanie syntezy chlorofilu „a” zachodziło przy niższym stężeniu przepacowanego oleju silnikowego, niż zahamowanie syntezy chlorofilu „b”. Prawidłowość ta była obserwowana u wszystkich roślin z wyjątkiem koniczyny czerwonej. Największą wrażliwością na syntezę chlorofilu „b” cechowała się koniczyna (50% zahamowanie syntezy tego barwnika zachodziło już przy

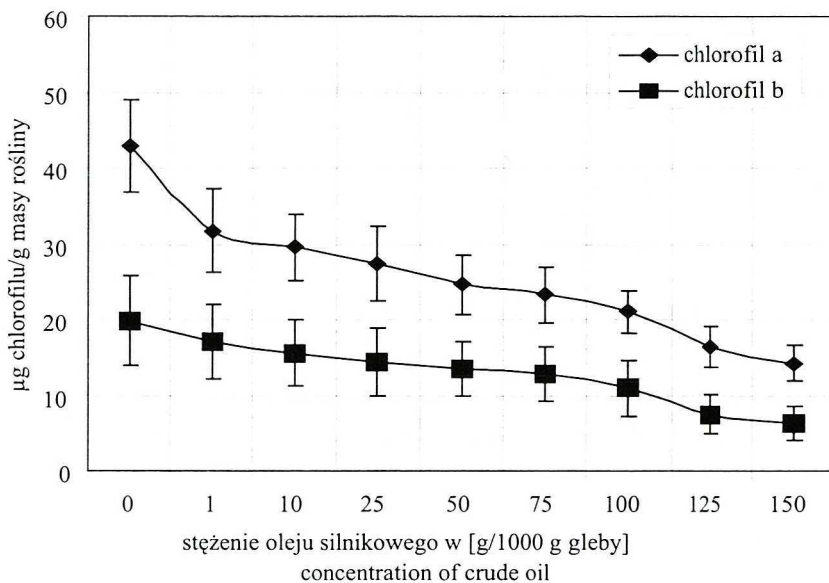
stężeniu 14,13 g przepracowanego oleju/1000 g gleby), a najmniejszą żyto ozime (50% inhibicję tego barwnika powodowała dawka 199,53 g przepracowanego oleju/1000 g gleby). W przypadku koniczyny czerwonej sytuacja przedstawia się odwrotnie jak dla żyta i gorczycy. 50% zahamowanie syntezy chlorofilu „b” następuje u tej rośliny przy mniejszym stężeniu niż chlorofilu „a”. Stężenie 1 i 10 g przepracowanego oleju/1000 g gleby okazały się tymi, które najbardziej hamowały syntezę chlorofilu „a” i „b” u roślin, a co za tym idzie działały najbardziej toksycznie (Tab. 5 i 6) Można je uznać za progowe, powyżej których synteza chlorofilu hamowana była już tylko w niewielkim stopniu.

Tabela 5. Zahamowanie syntezy chlorofilu po 30 dniach badań w odniesieniu do roślin kontrolnych [%]
Inhibition of chlorophyll synthesis after 30 days of experiment [%]

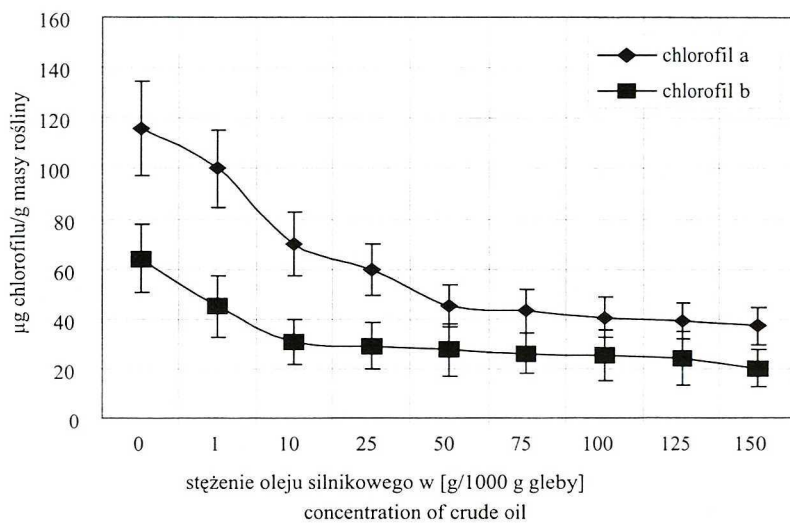
Roślina Plant	Stężenie oleju w glebie [g/kg gleby] Concentration of crude oil [g/kg of soil]	Zawartość chlorofilu „a” [µg/g suchej masy] Concentration of chlorophyll „a” [µg/g of dry mass]	Zahamowanie syntezy chlorofilu „a” [%] Inhibition of chlorophyll „a” synthesis [%]	Zawartość chlorofilu „b” [µg/g suchej masy] Concentration of chlorophyll „b” [µg/g of dry mass]	Zahamowanie syntezy chlorofilu „b” [%] Inhibition of chlorophyll „b” synthesis [%]
Gorzycza Charlock	0	42,88	–	19,85	–
	1	31,79	25,8*	17,03	14,2*
	10	29,56	31,0*	15,59	21,4
	25	27,38	36,1	14,44	27,2*
	50	24,61	42,6*	13,56	31,6
	75	23,32	45,8	12,8	35,5
	100	21,08	50,8*	10,92	44,9*
	125	16,45	61,6	7,49	62,2*
Koniczyna Clover	0	115,94	–	64,26	–
	1	100,07	13,7*	45,07	28,8*
	10	70,05	39,5*	30,82	52*
	25	59,75	48,5	29,06	54,7
	50	45,18	61,0*	27,58	57,1
	75	43,26	62,7	26,25	59,1*
	100	40,7	64,8	25,46	60,4
	125	39,17	66,2*	24,14	62,4
Żyto Rye	0	33,16	–	10,73	–
	1	27,24	17,8*	9,76	9,0*
	10	18,61	43,9*	8,73	18,6*
	25	17,15	48,3	7,96	25,8*
	50	15,49	53,2*	7,31	31,9*
	75	14,14	57,3	7,05	34,2
	100	12,78	61,5	6,44	39,9
	125	11,27	66,0*	5,61	47,7*
150	8,66	73,8*	4,86	54,7*	

* istotna statystycznie różnica – significant difference

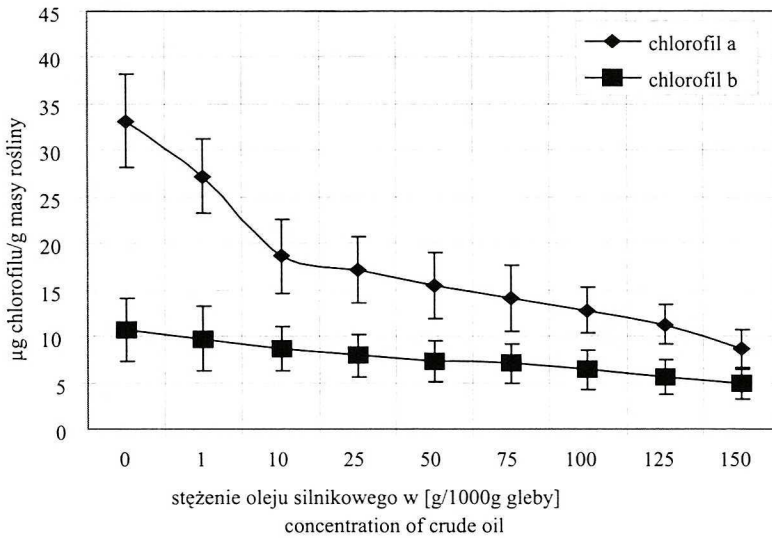
Skażenie gleby przepracowanym olejem silnikowym wpłynęło również na zmianę proporcji pomiędzy zawartością chlorofilu „a” i „b” u badanych roślin. Efekt ten widać najwyraźniej u koniczyny dla stężeń od 50 do 150 g przepracowanego oleju/kg gleby oraz u żyta ozimego dla stężeń od 10 do 150 g przepracowanego oleju/kg gleby.



Rys. 3. Zahamowanie syntezy chlorofilu gorczycy po 30 dniach badań
Inhibition of chlorophyll synthesis in charlock after 30 days of experiment



Rys. 4. Zahamowanie syntezy chlorofilu koniczyny po 30 dniach badań
Inhibition of chlorophyll synthesis in clover after 30 days of experiment



Rys. 5. Zahamowanie syntezy chlorofilu żyta po 30 dniach badań
Inhibition of chlorophyll synthesis in rye after 30 days of experiment

Tabela 6. Wyznaczanie IC_{50} na podstawie zahamowania syntezy chlorofilu
The IC_{50} assessment based on the inhibition of chlorophyll synthesis.

Roślina Plant	Chlorofil „a” Chlorophyll “a”	Chlorofil „b” Chlorophyll “b”
Gorzyczka Charlock	$IC_{50} = 63,10$ [g o.s./1000 g gleby]	$IC_{50} = 100,00$ [g o.s./1000 g gleby]
Koniczyna Clover	$IC_{50} = 25,12$ [g o.s./1000 g gleby]	$IC_{50} = 14,130$ [g o.s./1000 g gleby]
Żyto Rye	$IC_{50} = 28,18$ [g o.s./1000 g gleby]	$IC_{50} = 199,53$ [g o.s./1000 g gleby]

WNIOSKI

1. Skażenie gleby przepracowanym olejem silnikowym w zakresie badanych stężeń (do 1 g do 150 g oleju silnikowego na 1000 g gleby) wywołało efekt toksyczny w stosunku do badanych roślin.
2. Zwiększenie dawki zastosowanego ksenobiotyku powodowało wzrastające zahamowanie przyrostu masy korzeni i łodyg oraz zahamowanie syntezy chlorofilu.
3. Rośliny użyte w doświadczeniu cechowały się różną wrażliwością na zastosowane dawki przepracowanego oleju silnikowego:
 - zahamowanie przyrostu masy łodygi i korzenia:
 - roślina najwrażliwsza – gorzyczka;
 - roślina najodporniejsza – koniczyna;

- zahamowanie syntezy chlorofilu „a”:
roślina najwrażliwsza – koniczyna;
roślina najodporniejsza – gorczyca;
 - zahamowanie syntezy chlorofilu „b”:
roślina najwrażliwsza – koniczyna;
roślina najodporniejsza – żyto.
4. Skażenie gleby przetworzonym olejem silnikowym spowodowało zmianę proporcji pomiędzy chlorofilem „a” i „b” u badanych roślin. Wraz ze zwiększeniem stężenia przetworzonego oleju silnikowego w glebie stosunek chlorofilu a/b zmniejszał się w porównaniu z roślinami z próbek kontrolnych.

Praca finansowana była w ramach projektu badawczego 7T09D04021 przez Komitet Badań Naukowych. Składamy serdeczne podziękowania Paniom Agnieszce Jawor i Agacie Pasek, które uczestniczyły w powyższych badaniach.

LITERATURA

- [1] Environment Canada. Biological Test Method: *Test for Measuring the Inhibition of Growth Using the Freshwater Macrophyte Lemna minor*. Method Development and Application Section, Environmental Technology Centre, Environment Canada, Ottawa, ON. Report EPS 1/RM/37, March 1999.
- [2] Kafarski P., P. Wieczorek: *Ćwiczenia laboratoryjne z chemii bioorganicznej*, Opole 1997.
- [3] Kotwzan B., E. Śliwka, J. Surygała: *Zastosowanie metod biologicznych do likwidacji zanieczyszczeń naftowych w odpadach powiertniczych*, [w:] Materiały VII Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowo-Technicznego: Biotechnologia Środowiskowa, Wisła-Jarzębata 2001, 337–345.
- [4] Kummerová M., M. Barták, J. Koptiková: *The influence of increasing concentration of fluoranthene on the primary processes of photosynthesis and the growth of plants of the faba bean (Vicia faba L.)*, 8th Days of Plant Physiology, Olomouc 1998, 132–133.
- [5] Łebkowska M., M. Zaleska-Radziwiłł, B. Słomczyńska: *Toksykologia środowiska. Ćwiczenia laboratoryjne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [6] Miłsch K., B. Twarda: *Ekologia mikroorganizmów ryzosfery występujących w warunkach skażenia gleby WWA*, [w:] Materiały III Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowo-Technicznego: Biotechnologia Środowiskowa, Ustroń 1995, 141–147.
- [7] Namieśnik J., W. Wardencki: *Wykorzystanie roślinności w biomonitoringu środowiskowym*, Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 7, 3 (2000).
- [8] Ostrowska A., Gawliński, Z. Szczubiałka: *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin – katalog*, Warszawa 1991.
- [9] Slovák L., M. Kummerová, I. Holoubek: *Phytotoxicity studies of benzo(a)pyrene with Lactuca sativa*, Toxicol. Environ. Chem., 51, 197–203 (1995).
- [10] *Zanieczyszczenia naftowe w gruncie*, red. J. Surygała, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [11] Zgierski A., R. Gondko: *Obliczenia biochemiczne*, PWN, Warszawa 1998.

Wpłynęło: 26 lutego 2003, zaakceptowano do druku: 19 stycznia 2004.