

Franciszek Wielebski

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Poznaniu
Adres do korespondencji: fwiel@nico.ihar.poznan.pl

Zawartość substancji szkodliwych w nasionach i słomie lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) uprawianego w bezpośrednim sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych

The content of detrimental substances in seeds and straw of linseed (*Linum usitatissimum* L.) grown in the direct neighbourhood of routes

Słowa kluczowe: len oleisty, metale ciężkie, odmiany, plon, tłuszcz

Celem badań była ocena jakości plonu jasno- (Oliwin, Jantarol, Amon) i ciemnonasiennych (Szafir i Bukoz) odmian lnu oleistego uprawianego w sąsiedztwie trasy komunikacyjnej i zagrożonego zanieczyszczeniami emitowanymi przez środki transportu. W latach 2009–2010 prowadzono ściśle doświadczenia polowe: jedno w bezpośrednim sąsiedztwie autostrady A4, drugie porównawcze założono w oddaleniu, poza strefą oddziaływania autostrady.

Analiza prób gleby wykazała, że zawartość metali ciężkich (Pb, Cd, Ni i Cr) w glebie z pola przy autostradzie nie przekraczała wartości naturalnych dla tych pierwiastków w powierzchniowej warstwie gleb użytkowanych rolniczo. Ocena obecności metali ciężkich (Pb, Cd, Ni i Cr) w fazie dojrzałości pełnej w nasionach i słomie lnu oleistego wykazała, że tylko zawartość ołowiu w nasionach roślin rosnących przy autostradzie była istotnie wyższa (prawie trzykrotnie) w stosunku do nasion roślin uprawianych w znacznym oddaleniu od autostrady (kontroli). Zawartość żadnego z powyższych pierwiastków nie przekroczyła wartości uznawanych za graniczne dla koncentracji tych pierwiastków w produktach paszowych. Zawartość benzo(a)pirenu w nasionach lnu zebranego z pola obok autostrady była od 6 do 10 razy wyższa od wartości oznaczonych w próbach nasion pochodzących z kontroli. Wartości te nie przekraczały jednak norm dla środków spożywczych. W zawartości tłuszczu istotne różnice wystąpiły tylko między odmianami. Jasnonasienne odmiany: Jantarol, Oliwin i Amon zawierały w nasionach istotnie więcej tłuszczu niż odmiany ciemnonasienne: Szafir i Bukoz.

Key words: linseed, heavy metals, varieties, yield, crude fat

The aim of this work was the estimation of quality of crop of bright (Oliwin, Jantarol, Amon) and brown linseed varieties (Szafir and Bukoz) grown near the highway and menaced with pollutants emitted by vehicles. In the years 2009–2010 were conducted field trials: one in the direct neighbourhood of highway A4, and control installed in certain distance, beyond the influence of highway.

The analysis of soil samples showed, that the concentrations of heavy metals (Pb, Cd, Ni and Cr) in soil from field near highway did not exceed their natural values in superficial layers of soil. The estimation of content of above mentioned elements in mature seeds and straw of linseed, showed, that only the Pb content in seeds of plants growing near highway was significantly higher (almost three

times) in relation to seeds of the plant grown in considerable distance from highway (control). Any of the stated concentrations in linseed did not exceed the limit values established for fodder. The content of benz(a)pyrene in seeds of linseed from field situated close to the highway was 6 to 10 times higher than in plants from control, but they never exceeded the limits established for food. The bright linseed varieties (Jantarol, Oliwin i Amon) contained more crude fat in seeds in relation to brown varieties (Szafir and Bukoz).

Wstęp

W obrębie gatunku len zwyczajny (*Linum usitatissimum* L.) wyróżnia się dwa typy użytkowe: oleisty i włóknisty. W Polsce na większą skalę uprawiany był głównie ten ostatni, którego uprawa do lat dziewięćdziesiątych XX wieku cieszyła się dużym powodzeniem i zapewniała odpowiednie zyski. W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku powierzchnia uprawy lnu włóknistego w Polsce wynosiła ok. 110 tys. ha. Zmiana technologii produkcji włókna i kierunków wykorzystania wyrobów lnianych, jak również przemiany polityczne i gospodarcze w naszym kraju na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku spowodowały upadek większości zakładów produkujących włókno, a w efekcie także znaczne ograniczenie uprawy tej rośliny. W 2006 roku areal uprawy lnu włóknistego wynosił ok. 6 tys. ha, natomiast aktualnie uprawia się go w Polsce na powierzchni ok. 1500 ha. Według GUS (2010) łączna powierzchnia uprawy lnu włóknistego i oleistego w 2009 roku wynosiła niespełna 2 tys. ha.

Uprawa lnu oleistego w Polsce nigdy nie zajmowała znaczącej powierzchni. Na większą skalę len oleisty uprawiano jedynie w okresie międzywojennym, głównie na Kujawach (Wałkowski 1998). Po wojnie uprawy lnu oleistego prawie zaniechano. W ostatnim okresie uprawa lnu oleistego w Polsce wzrasta i w 2011 roku osiągnęła powierzchnię 1700 ha. Na świecie powierzchnia uprawy lnu oleistego jest 10-krotnie większa niż lnu włóknistego, światowa produkcja nasion lnu wynosiła w 2010 roku 1,93 mln t. Oleista forma lnu jest uprawiana w krajach klimatu suchego i ciepłego lub umiarkowanego. Największym producentem (22% światowej produkcji) i eksporterem nasion lnu na świecie jest Kanada. Len oleisty uprawia się także w Chinach, USA, Rosji, Indiach i Etiopii (FAO 2010). W najbliższych latach dotychczasowy areal uprawy lnu oleistego w krajach Unii Europejskiej (180 tys. ha) może znacząco wzrosnąć ze względu na nowe technologie wykorzystania surowców pochodzących z roślin włóknistych oraz wykorzystanie nasion tych roślin do celów nieżywnościowych. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej technologii włókno ze słomy lnu oleistego może być przerabiane na specjalne gatunki papieru i bibułki, zaś po rozdrobnieniu może służyć do wyrobu tzw. kompozytów wykorzystywanych w przemyśle meblarskim, motoryzacyjnym i budownictwie (Lewandowski 2008). Nasiona i makuchy dzięki swym właściwościom dietetycznym są wartościową paszą dla zwierząt (Stasiniewicz i in. 2000). Natomiast olej z nasion lnu oleistego jest bogatym źródłem niezbędnych nie-

nasyconych kwasów tłuszczowych oraz cennym surowcem dla przemysłu chemicznego, farmaceutycznego i kosmetycznego (Antonkiewicz i Zając 2003).

Prace hodowlane nad lnem oleistym doprowadziły do wyhodowania nowych odmian zarówno o brązowych, jak i żółtych nasionach charakteryzujących się korzystnymi cechami gospodarczymi (Piotrowska i Furowicz 1998). Obecnie w Krajowym Rejestrze znajdują się cztery polskie odmiany lnu oleistego: trzy autorstwa Hodowli Roślin Strzelce we współpracy z IHAR w Poznaniu (Jantarol, Oliwin, Szafir) i jedna odmiana wyhodowana w Instytucie Włókien Naturalnych w Poznaniu (Bukoz).

Len oleisty nie ma dużych wymagań siedliskowych. Najodpowiedniejsze są wszystkie gleby gliniasto-piaszczyste i piaszczysto-gliniaste, w dobrej kulturze. Nie nadają się do uprawy lekkie gleby piaszczyste, a także ciężkie gleby brunatne, mady, torfy oraz gleby podmokłe. Dzięki zdolnościom lnu do wychwytywania metali ciężkich (kadm, ołów) może być on rośliną wykorzystywaną również w celach niekonsumpcyjnych, do rekultywacji (fitoremediacji) gleb zanieczyszczonych chemicznie (skażonych) przez przemysł i motoryzację oraz zagospodarowania gleb niskiej klasy i mało przydatnych do produkcji żywności. Uprawa lnu na terenach skażonych pozwoliłaby na częściowe ograniczenie tam uprawy roślin konsumpcyjnych (zboża, okopowe, warzywa), a także wpłynęła na aktywizację gospodarstw w tych rejonach. Uzyskane w tej produkcji włókno lniane przeznaczone byłoby do produkcji papieru, a paździerz do wyrobu płyt. Natomiast olej uzyskany z nasion można przeznaczyć do produkcji pokostu i innych olejów technicznych, mógłby być on także wykorzystany do produkcji biopaliw.

Metale ciężkie są to pierwiastki o gęstości powyżej $4,5 \text{ g/cm}^3$ występujące naturalnie w skorupie ziemskiej wskutek uwalniania ze skał macierzystych w procesach glebotwórczych. Według Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska 97% powierzchni użytków rolnych w Polsce charakteryzuje się naturalną lub nieco podwyższoną zawartością metali ciężkich, a tylko 3% jest zanieczyszczone w stopniach od słabego do bardzo silnego. Istotnym źródłem skażenia środowiska są środki transportu i komunikacji. Wysoce toksyczne metale ciężkie: ołów, kadm, nikiel znajdujemy często w produktach roślinnych nie tylko na terenach skażonych od dawna przez przemysł. Pierwiastki te i inne substancje toksyczne (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, tlenki węgla, tlenki azotu) wytwarza także ruch samochodowy (spaliny). Na takie zanieczyszczenia szczególnie narażone są uprawy położone przy ruchliwych arteriach komunikacyjnych lub w aglomeracjach, co potwierdziły badania monitoringowe prowadzone przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska. Metale ciężkie bardzo wolno migrują w glebie (Potarzycki 1999), dlatego należą do najtrwalszych i szczególnie niebezpiecznych jej zanieczyszczeń. Łatwo ulegają akumulacji w organizmach żywych, przez co stwarzają poważne zagrożenie dla roślin, zwierząt i człowieka (Kabata-Pendias i in. 1993, Kabata-Pendias i Krakowiak 1997).

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu nawożenia lnu azotem i typu odmiany na nagromadzenie metali ciężkich w zebranych nasionach lnu oleistego uprawianego na obszarach użytkowanych rolniczo w sąsiedztwie intensywnie eksploatowanej autostrady A4 zagrożonej zanieczyszczeniami emitowanymi przez środki transportu.

Metodyka badań

W latach 2009–2010 przeprowadzono cztery ściśle doświadczenia polowe z lnem oleistym na obszarach użytkowanych rolniczo i zagrożonych zanieczyszczeniami komunikacyjnymi. Doświadczenia ściśle realizowano w Zakładzie Doświadczalnym IHAR – PIB w Oleśnicy Małej, na terenie powiatu oławskiego w województwie dolnośląskim. Każdego roku jedno doświadczenie polowe wykonywano w bezpośrednim sąsiedztwie autostrady A4 (rys. 1). Drugie porównawcze zakładano w tej samej miejscowości poza strefą oddziaływania autostrady. Doświadczenia zakładano metodą losowanych podbloków w czterech powtórzeniach, według jednolitych schematów. Badano w nich reakcje pięciu odmian lnu oleistego (dwie ciemnonasienne: Szafir i Bukoz oraz trzy jasnonasienne: Oliwin, Jantarol i Amon) na dwa poziomy nawożenia azotem (40 i 60 kg N·ha⁻¹). Z badanych odmian jedna to odmiana czeska (Amon), cztery pozostałe (Szafir, Oliwin, Jantarol i Bukoz) to odmiany polskie, wpisane do Krajowego Rejestru.

Przed założeniem doświadczenia każdego roku z obu pól pobrano reprezentatywne próbki gleby w celu określenia pH gleby, zawartości przyswajalnych makro- i mikroelementów oraz oceny stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi i siarką. Próby pobrano łaską Egnera z kilkunastu punktów pola doświadczalnego, następnie mieszano je w celu uzyskania próby średniej. W 2009 roku doświadczenia założono na glebie średniej, lekko kwaśnej (pH 6,0–6,1), o bardzo wysokiej lub wysokiej zawartości fosforu, potasu i magnezu. W drugim roku badań (2010) doświadczenia zlokalizowano na glebie ciężkiej, zasadowej (pH 7,3), o bardzo wysokiej zawartości fosforu, wysokiej i niskiej zawartości potasu oraz średniej zawartości magnezu. W obu latach badań zasobność gleby w bor była niska, a zawartość pozostałych mikroelementów w glebie była średnia.

Przedplonem w obu latach był rzepak ozimy. Przedsięwzięcie zastosowano nawożenie PK w ilości 40–70 kg·ha⁻¹. Azot stosowano w saetrze amonowej w dawce 40 i 60 kg·ha⁻¹. Badane odmiany wysiano w terminach: 7.04.2009 r. i 26.04.2010 r. w ilości 600 nasion/m² i rozstawie 15 cm. Zwalczanie chwastów przeprowadzono w fazie jodełki stosując Chwastox Extra 300 SL w dawce 1,3 l·ha⁻¹. Notowano daty wschodów i początku kwitnienia. W celu zasuszenia roślin zastosowano Reglone w dniach: 28.08.2009 r. i 31.08.2010 r. Zbiór przeprowadzono kombajnem odpowiednio 7 i 8 września. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła

10 m². Po zbiorze w nasionach oznaczono zawartość tłuszczu oraz benzo(a)pirenu. Określono również zawartość metali ciężkich Pb, Cd, Ni i Cr oraz siarki ogólnej w nasionach i słomie lnu. Analizę próbek gleby, jak również zawartość metali ciężkich w nasionach i słomie lnu wykonano w Laboratorium Stacji Chemiczno-Rolniczej w Poznaniu zgodnie z procedurą badawczą. Zawartość benzo(a)pirenu w nasionach oznaczono metodą PN-EN ISO 15302:2007 w Akredytowanym Laboratorium Badawczym Hamilton Poland Ltd. w Gdyni. Oceny stopnia zanieczyszczenia roślin metalami ciężkimi i benzo(a)pirenem dokonano wykorzystując graniczne ich zawartości w roślinach paszowych.



Rys. 1. Oleśnica Mała. Doświadczenie polowe ok. 40 m od pasa autostrady — *Field experiment about 40 m from highway belt*

Zebrane dane poddano analizie statystycznej za pomocą pakietu statystycznego STATISTICA. Istotność różnic określono testem Tukeya na poziomie ufności $P = 0,05$ i wyrażono literowo. Symbolem ni oznaczono brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej.

Wyniki i dyskusja

Przebieg warunków atmosferycznych w Oleśnicy Małej przedstawiono w tabeli 1. W badanych sezonach wegetacyjnych układ warunków pogodowych nie sprzyjał prawidłowemu wzrostowi i rozwojowi roślin lnu. W pierwszym roku badań szybki wzrost roślin lnu po wschodach hamowała susza, natomiast w drugim roku siew nasion i wschody roślin znacząco opóźniła długa zima i bardzo mokra wiosna. Niekorzystne warunki pogodowe w obu latach badań wystąpiły w kolejnych miesiącach wegetacji lnu. Dużo wyższe od normy opady, zwłaszcza w czerwcu (o 100%) i lipcu (o 50%) notowano w 2009 roku, natomiast w drugim roku badań norma opadów została przekroczona w maju prawie o 80% i w lipcu o 40%. Częste i obfite opady w okresie od maja do lipca spowodowały bardzo wczesne i silne wylegnięcie roślin, co przełożyło się na gorsze wiązanie torebek i nasion oraz wyraźnie opóźniło ich dojrzewanie.

Tabela 1

Warunki meteorologiczne w Oleśnicy w okresie wegetacji lnu oleistego na tle wielolecia
Meteorological conditions in growing season of flax in the years of investigation against the background of multiyears mean

Lata badań <i>Years of the studies</i>	Miesiące — <i>Months</i>					
	III	IV	V	VI	VII	VIII
Średniodobowa temperatura powietrza — <i>Daily mean temperature</i> [°C]						
2009	4,8	11,5	13,2	15,0	19,4	19,1
2010	4,2	9,3	12,1	16,8	20,2	18,5
Średnie wieloletnie — <i>Multiyear means</i>	4,1	7,3	12,9	15,8	17,7	17,6
Opady — <i>Precipitation</i> [mm]						
2009	66,0	18,8	82,1	191,3	135,7	36,9
2010	25,6	61,5	137,6	50,8	127,5	86,8
Średnie wieloletnie — <i>Multiyear means</i>	29,0	46,0	79,0	87,0	91,0	94,0

Zawartość metali ciężkich w roślinach zależy od gatunku, odmiany, fazy rozwojowej, części rośliny i ogólnej ich zawartości w glebie (Fotyma i Mercik 1995). W przeprowadzonych badaniach w oparciu o wykonane analizy nie stwierdzono podwyższonej zawartości metali ciężkich w powierzchniowej warstwie gleby (0–20 cm). Nieco wyższą zawartość ołowiu, kadmu, chromu i niklu stwierdzono w glebie z pola przy autostradzie (tab. 2). Nie przekraczały one dopuszczalnych wartości określonych przez IUNG (Kabata-Pendias i in. 1995) dla naturalnej zawartości tych pierwiastków występujących w powierzchniowej warstwie gleb użytkowanych rolniczo. Według rozporządzenia Ministra Środowiska (2002) dotyczącego standardów jakości gleby oraz jakości ziemi, graniczna zawartość metali w glebach zawierających zanieczyszczenia pochodzenia antropo-

Tabela 2

Właściwości gleb w doświadczeniu — *Properties of soil in the experiment*

	Pole kontrolne — <i>Control field</i>		Pole obok autostrady — <i>Field near the highway</i>	
	2009	2010	2009	2010
Kategoria agronomiczna gleby — <i>Agronomic category of soil</i>				
pH _{kCl}	średnia — <i>average</i> 6,0	ciężka — <i>heavy</i> 7,3	średnia — <i>average</i> 6,1	ciężka — <i>heavy</i> 7,3
Makroelementy — <i>Macrolelements</i> [mg·100 g ⁻¹]				
P ₂ O ₅	22,7 bardzo wysoka <i>very high</i>	35,6 bardzo wysoka <i>very high</i>	17,0 wysoka — <i>high</i>	23,6 bardzo wysoka <i>very high</i>
K ₂ O	20,1 wysoka — <i>high</i>	26,4 wysoka — <i>high</i>	10,0 niska — <i>low</i>	14,1 niska — <i>low</i>
Mg	8,4 wysoka — <i>high</i>	8,1 średnia — <i>average</i>	10,2 b. wysoka — <i>very high</i>	6,7 średnia — <i>average</i>
S-SO ₄	0,28 naturalna — <i>natural</i>	0,63 naturalna — <i>natural</i>	0,35 naturalna — <i>natural</i>	0,90 naturalna — <i>natural</i>
Mikroelementy — <i>Microelements</i> [mg·100 g ⁻¹]				
B	0,73 niska — <i>low</i>	1,60 niska — <i>low</i>	1,04 niska — <i>low</i>	1,06 niska — <i>low</i>
Mn	168 średnia — <i>average</i>	112 średnia — <i>average</i>	151 średnia — <i>average</i>	100 średnia — <i>average</i>
Cu	2,5 średnia — <i>average</i>	4,9 niska — <i>low</i>	3,9 średnia — <i>average</i>	3,9 niska — <i>low</i>
Zn	12,0 średnia — <i>average</i>	22,1 średnia — <i>average</i>	14,8 średnia — <i>average</i>	14,9 średnia — <i>average</i>
Fe	852 średnia — <i>average</i>	1035 średnia — <i>average</i>	806 średnia — <i>average</i>	821 średnia — <i>average</i>
Metale ciężkie — <i>Heavy metals</i> [mg·100 g ⁻¹]				
Cd	0,174 naturalna — <i>natural</i>	0,200 naturalna — <i>natural</i>	0,320 naturalna — <i>natural</i>	0,294 naturalna — <i>natural</i>
Pb	10,8 naturalna — <i>natural</i>	12,4 naturalna — <i>natural</i>	15,3 naturalna — <i>natural</i>	13,0 naturalna — <i>natural</i>
Ni	7,85 naturalna — <i>natural</i>	9,90 naturalna — <i>natural</i>	7,54 naturalna — <i>natural</i>	9,94 naturalna — <i>natural</i>
Cr	10,0 naturalna — <i>natural</i>	6,67 naturalna — <i>natural</i>	9,17 naturalna — <i>natural</i>	16,67 naturalna — <i>natural</i>

genicznego (grupa A) wynosi 100 mg Pb, 4 mg Cd, 100 mg Ni, 150 mg Cr·kg⁻¹, zaś w wierzchnich poziomach terenów przemysłowych-komunikacyjnych (grupa C) dopuszcza się następujące zawartości: 600 mg Pb, 15 mg Cd, 300 mg Ni, 500 mg Cr·kg⁻¹ gleby. Znacznie mniejszą zawartość metali ciężkich od ilości dopuszczalnych stwierdzono również w glebach terenów użytkowanych rolniczo, leżących bezpośrednio przy autostradzie A2 (Żurek i Prokopiuk 2011) i A1 (WIOŚ 2009) oraz wzdłuż dróg krajowych o znacznym natężeniu ruchu (Anonim 2007). Akumulacja ołowiu ze spalin w glebie była obserwowana w odległości nie przekraczającej 100 m od ruchliwych szlaków komunikacyjnych. Badania Grigalaviviene i in (2005) wykazały, że przekroczenie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich, zwłaszcza ołowiu, w glebie notowano w odległości od 5 do 40 m od autostrady. Żurek i Prokopiuk (2011) nie stwierdzili natomiast istotnego statystycznie wzrostu zawartości metali ciężkich w miarę zbliżania się do pasa jezdni autostrady A2.

O pobieraniu przez rośliny metali ciężkich decyduje często nie ogólna ich zawartość, ale niektóre właściwości gleby, np. pojemność sorpcyjna. W glebach lekkich więcej metali pozostaje w formie rozpuszczalnej, łatwo pobieranej przez rośliny, podczas gdy gleby ciężkie silniej wiążą metale, co ogranicza ich dostępność dla roślin. Pobranie metali ciężkich przez len, jak wykazały badania Jasiewicz i Antonkiewicza (2003), było zróżnicowane. W największym procencie pobierany był Cd, a w najmniejszym Pb. W badaniach własnych zawartość pierwiastków śladowych (Pb, Cd, Ni i Cr) w nasionach i słomie lnu oleistego z pola kontrolnego i z pola przy autostradzie nie różniła się istotnie (tab. 3 i 4). Jedynie dla ołowiu i tylko w drugim roku badań (2010) w nasionach roślin rosnących przy autostradzie stwierdzono istotnie wyższą (prawie trzykrotnie) zawartość tego pierwiastka niż w nasionach z roślin rosnących w znacznym oddaleniu od autostrady. Zawartość metali ciężkich zarówno na polu kontrolnym, jak i przy autostradzie w żadnym przypadku nie przekroczyła wartości uznawanych za graniczne dla koncentracji tych pierwiastków w produktach do celów konsumpcyjnych, paszowych i przemysłowych. Według nowych przepisów (Rozporządzenie Komisji WE 2006) dopuszczalna zawartość metali ciężkich w produktach żywnościowych jest bardzo niska. Maksymalna zawartość ołowiu i kadmu w nasionach (środkach spożywczych) to odpowiednio 0,2 i 0,1 mg·kg⁻¹ s.m. Według zaleceń IUNG (Kabata-Pendias i in. 1995) zawartość metali w roślinach paszowych powinna wynosić poniżej 10 mg Pb, < 0,5 mg Cd, < 20 mg Cr·kg⁻¹ s.m. Badania przeprowadzone przez Jankowską i in. (2007) wykazały, że zawartość ołowiu w roślinach rosnących przy trasie szybkiego ruchu zmieniała się w zależności od uprawianego gatunku roślin i zmniejszała się w miarę oddalania się od przydrożnego rowu. Również Jasiewicz i Buczek (1999) stwierdzili, że decydujący wpływ na stężenie Pb i Cd w bulwach ziemniaków miała odległość uprawy od jezdni, a przekroczenie norm konsumpcyjnych dla tych pierwiastków odnotowano w odległości 50 m od badanych dróg. Pewien wzrost zanieczyszczenia powietrza

metalami ciężkimi: ołowiem, kadmem i cynkiem spowodowany ruchem drogowym stwierdzono bezpośrednio przy drodze (Dmuchowski i Orliński 2003).

Tabela 3
Zawartość metali ciężkich w nasionach lnu oleistego — *Content of heavy metals in linseeds*

Miejsce / rok <i>Location / year</i>	Zawartość mg·kg ⁻¹ s.m. <i>Content mg·kg⁻¹ d.m.</i>				% s.m. S ogółem
	Pb	Cd	Ni	Cr	
2009					
Pole kontrolne — <i>Control field</i>	0,33	0,93	2,01	0,34	0,22
Pole obok autostrady — <i>Field near the highway</i>	0,31	0,99	1,13	0,38	0,20
NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>	ni	ni	ni	ni	ni
2010					
Pole kontrolne — <i>Control field</i>	0,11	0,36	0,83	0,38	0,17
Pole obok autostrady — <i>Field near the highway</i>	0,28	0,33	1,03	0,51	0,19
NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>	0,18	ni	ni	ni	ni
Średnio z dwóch lat — <i>Means from two years</i>					
Pole kontrolne — <i>Control field</i>	0,22	0,64	1,42	0,36	0,20
Pole obok autostrady — <i>Field near the highway</i>	0,29	0,66	1,08	0,44	0,19
NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>	ni	ni	ni	ni	ni

Tabela 4
Zawartość metali ciężkich w słomie lnu oleistego — *Content of heavy metals in straw of flax*

Miejsce / rok <i>Location / year</i>	Zawartość mg·kg ⁻¹ s.m. <i>Content mg·kg⁻¹ d.m.</i>				% s.m. S ogółem
	Pb	Cd	Ni	Cr	
2009					
Pole kontrolne — <i>Field control</i>	0,64	0,89	1,06	0,65	0,09
Pole obok autostrady — <i>Field near by highway</i>	0,75	1,03	1,24	0,78	0,10
NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>	ni	ni	ni	ni	ni
2010					
Pole kontrolne — <i>Field control</i>	0,57	0,90	0,89	0,51	0,07
Pole obok autostrady — <i>Field near by highway</i>	0,57	0,91	0,94	0,80	0,07
NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>	0,18	ni	ni	ni	ni
Średnio z dwóch lat — <i>Means from two years</i>					
Pole kontrolne — <i>Field control</i>	0,61	0,90	1,00	0,72	0,08
Pole obok autostrady — <i>Field near by highway</i>	0,66	0,97	1,07	0,65	0,09
NIR _{0,05} — <i>LSD_{0,05}</i>	ni	ni	ni	ni	ni

Środki transportu, obok metali ciężkich, emitują inne groźne toksyny, takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), wśród których najgroźniejszy jest benzo(a)piren o właściwościach rakotwórczych. WWA powstają w procesach spalania wszelkich materiałów pochodzenia organicznego, w szczególności drewna, węgla i paliw ropopochodnych, a także są generowane ze ścierających się opon i nawierzchni bitumicznych oraz wycieków paliw i smarów. Występują w postaci gazu, par oraz na powierzchni lotnych pyłów. WWA mają własności mutagenne i kancerogenne i dlatego należą do najgroźniejszych zanieczyszczeń środowiskowych (Zakrzewski 1997). Związki te są słabo rozpuszczalne w wodzie i z tego powodu prawie niepobierane przez rośliny. Rozpuszczają się natomiast w lipidach, dlatego łatwo zatrzymywane są przez gatunki roślin o liściach i łodygach pokrytych woskami. W prezentowanych badaniach zawartość benzo(a)pirenu w nasionach lnu zebranego z pola obok autostrady była od 6 do 10 razy wyższa od wartości oznaczonych w próbach nasion pochodzących z kontroli (tab. 5). Mimo to zawartość benzo(a)pirenu oznaczona w nasionach lnu nie przekroczyła normy (Rozporządzenie Komisji WE 2006), która dla środków spożywczych wynosi $2,0 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Dmuchowski i Orliński (2003) stwierdzili również poziom skażenia WWA w bezpośrednim otoczeniu drogi blisko dziesięć razy wyższy niż na terenie odległym od tras komunikacyjnych. Ponadto wykazali, że zdecydowana większość WWA opada w pobliżu drogi, w odległości do 100 m.

Tabela 5
Zawartość benzo(a)pirenu w nasionach lnu oleistego — *Content of benz(a)pyrene in linseed*

Miejsce <i>Location</i>	Benzo(a)piren [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	
	2009	2010
Pole kontrolne — <i>Field control</i>	0,1	0,2
Pole obok autostrady — <i>Field near by highway</i>	1,1	1,2

Prezentowane wyniki badań wykazały, że uprawa lnu oleistego w bezpośrednim sąsiedztwie autostrady A4 nie pogarszała w istotny sposób jakości nasion i słomy jasno- i ciemnonasiennych odmian tej rośliny. Zawartość metali ciężkich i benzo(a)pirenu w żadnym przypadku nie przekraczała norm konsumpcyjnych dla tych pierwiastków.

W niekorzystnych warunkach pogodowych poziom plonowania badanych odmian zarówno na polu kontrolnym, jak i w sąsiedztwie autostrady był bardzo niski. W obu przypadkach obserwowano jednak bardzo duży efekt nawożenia azotem. Zwiększona dawka azotu z 40 do $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowała wzrost plonu nasion badanych odmian średnio o prawie 30%. Istotny wpływ udziału azotu w dawce nawozowej na plon nasion wykazali także Zajac i Kulig (2001), natomiast

w badaniach Aufhammera i in. (2000) zróżnicowane dawki azotu nie miały istotnego wpływu na plon nasion lnu oleistego. Na polu obok autostrady, gdzie ze względu na gorsze warunki siedliskowe (nieco słabsza gleba oraz utrudniony odpływ nadmiaru wilgoci z gleby) silniej ujawnił się wpływ niekorzystnych warunków pogodowych, średnie plony badanych odmian były istotnie niższe niż na polu kontrolnym (tab. 6). Grant i inni (1999) oraz Zajac i inni (2002) wskazują na silny wpływ warunków glebowo-klimatycznych na rozwój roślin, zwłaszcza na indeks powierzchni liści, co determinuje zmienne plonowanie lnu oleistego w latach. Niezależnie od wysokości nawożenia azotem badane odmiany różniły się istotnie plonem. Zarówno na polu kontrolnym, jak i polu obok autostrady najslabiej plonowała czeska odmiana Amon, od której istotnie lepiej plonowały odmiany Bukoz i Szafir. Nie wykazano istotnego współdziałania badanych odmian z dawką azotu. Pod wpływem nawożenia azotem u wszystkich odmian obserwowano wzrost plonu nasion.

Tabela 6

Plon nasion. Synteza z lat 2009–2010 — *Crop yield. Synthesis from 2009–2010*

Czynniki <i>Factors</i>	Pole kontrolne <i>Control field</i>		Pole obok autostrady <i>Field near the highway</i>		Średnia <i>Mean</i>	
	[dt·ha ⁻¹]	[%]	[dt·ha ⁻¹]	[%]	[dt·ha ⁻¹]	[%]
Dawka azotu — <i>N dose</i> [kg·ha ⁻¹]						
40	7,79 a	100	5,56 a	100	6,68 a	100
60	10,0 b	128	7,09 b	128	8,55 b	128
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,98		0,90		0,59	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} : dawka N [kg·ha ⁻¹] × miejsce – ni — <i>N dose</i> [kg·ha ⁻¹] × <i>location</i> – <i>ni</i>						
Odmiana — <i>Variety</i>						
Szafir	10,1 b	100	7,73 bc	100	8,94 b	100
Oliwin	8,09 ab	80	5,12 a	66	6,60 a	74
Jantarol	9,49 ab	94	5,42 ab	70	7,46 ab	83
Bukoz	9,92 b	98	8,40 c	109	9,15 b	102
Amon	6,90 a	68	4,94 a	64	5,92 a	66
NIR _{0,05}	3,01		2,46		1,97	
Średnio — <i>Mean</i>	8,90 b		6,32 a			
NIR _{0,05} : miejsce – 1,2; odmiana × miejsce – ni; odmiana × rok – ni LSD _{0,05} : <i>location</i> – 1,2; <i>variety</i> × <i>location</i> – ni; <i>variety</i> × <i>year</i> – ni						

Nawożenie azotem nie wpływało istotnie na zawartość tłuszczu w nasionach lnu, tak na polu kontrolnym jak i w sąsiedztwie autostrady. W obu przypadkach istotne różnice w zawartości tłuszczu wystąpiły między odmianami (tab. 7). Jasnonasienne odmiany: Jantarol, Oliwin i Amon zawierały w nasionach istotnie więcej tłuszczu niż odmiany ciemnonasienne: Szafir i Bukoz. Wydajność tłuszczu surowego zależała przede wszystkim od plonu nasion. Istotnie wyższe plony

tłuszczu otrzymano z poletek, które nawożono wyższą dawką azotu. Na polu kontrolnym, jak i w sąsiedztwie autostrady najwyższym plonem tłuszczu charakteryzowały się odmiany Szafir i Bukoz, a najniższym odmiana Amon.

Tabela 7
Zawartość i plon tłuszczu surowego w nasionach. Synteza z lat 2009–2010 — *Content and yield of crude fat in the seeds. Synthesis from 2009–2010*

Czynniki <i>Factors</i>	Pole kontrolne <i>Control field</i>		Pole obok autostrady <i>Field near the highway</i>		Średnia <i>Mean</i>	
	[%]	[dt·ha ⁻¹]	[%]	[dt·ha ⁻¹]	[%]	[dt·ha ⁻¹]
Dawka azotu — <i>N dose</i> [kg·ha ⁻¹]						
40	42,0	3,41 a	41,5	2,40 a	41,8	2,91 a
60	42,2	4,35 b	41,9	3,10 b	42,0	3,73 b
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	ni	0,42	0,31	0,41	ni	0,26
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05} : dawka N [kg·ha ⁻¹] × miejsce – ni — <i>N dose</i> [kg·ha ⁻¹] × location – ni						
Odmiana — <i>Variety</i>						
Szafir	40,9 a	4,28	41,2 ab	3,34 bc	41,0 a	3,81 b
Oliwin	43,9 c	3,68	42,8 d	2,26 a	43,4 c	2,97 a
Jantarol	42,8 b	4,22	41,7 bc	2,37 ab	42,2 b	3,29 ab
Bukoz	40,4 a	4,08	40,8 a	3,61 c	40,5 a	3,84 b
Amon	42,7 b	3,14	42,2 cd	2,19 a	42,4 b	2,66 a
NIR _{0,05}	0,80	ni	0,78	1,06	0,58	0,83
Średnio — <i>Mean</i>	42,1	3,88 b	41,7	2,75 a		
NIR _{0,05} odmiana × miejsce 0,82 dla tłuszczu i 1,18 dla plonu tłuszczu <i>LSD</i> _{0,05} variety × location 0,82 for crude fat and 1,18 for the yield of crude fat						
NIR _{0,05} odmiana × rok 0,82 dla tłuszczu i 1,18 dla plonu tłuszczu <i>LSD</i> _{0,05} variety × year 0,82 for crude fat and 1,18 yield crude fat						

Wnioski

1. Analiza prób gleby wykazała, że zawartość metali ciężkich (Pb, Cd, Ni i Cr) w glebie z pola przy autostradzie nie przekraczała wartości naturalnych tych pierwiastków w powierzchniowej warstwie gleb użytkowanych rolniczo.
2. Ocena zawartości pierwiastków śladowych (Pb, Cd, Ni i Cr) w nasionach i słomie lnu oleistego w fazie dojrzałości pełnej wykazała, że tylko zawartość ołowiu w nasionach roślin rosnących przy autostradzie była istotnie wyższa (prawie trzykrotnie) w stosunku do nasion z roślin uprawianych w znacznym oddaleniu od autostrady (kontroli). Zawartość żadnego z badanych pierwiastków nie przekroczyła wartości uznawanych za graniczne dla koncentracji tych pierwiastków w produktach paszowych.

3. Zawartość benzo(a)pirenu w nasionach lnu zebranego z pola obok autostrady była od sześciu do dziesięciu razy wyższa od wartości oznaczonych w próbach nasion pochodzących z kontroli. Wartości te nie przekraczały norm dla środków spożywczych.
4. W zawartości tłuszczu istotne różnice wystąpiły tylko między odmianami. Jasnonasienne odmiany: Jantarol, Oliwin i Amon zawierały w nasionach istotnie więcej tłuszczu niż odmiany ciemnonasienne: Szafir i Bukoz.
5. W niekorzystnych warunkach pogodowych poziom plonowania badanych odmian zarówno na polu kontrolnym, jak i w sąsiedztwie autostrady był bardzo niski. Ze względu na gorsze warunki siedliskowe (utrudniony odpływ nadmiaru wilgoci) średni plon z pola obok autostrady był o 1/3 niższy niż na polu kontrolnym.

Literatura

- Anonim. 2007. Budowa autostrady na odcinku Rzeszów–Przeworsk–Korczowa (granica państwa). Raport o oddziaływaniu na środowisko. Transprojekt Gdańsk. http://www.rzeszow.uw.gov.pl/img/2511240_584-ros-tomiv.pdf.
- Antonkiewicz J., Zając T. 2003. Zawartość wybranych pierwiastków w lnie oleistym (*Linum usitaissimum* L.) w zależności od stadium rozwojowego i części roślin. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 10 (9): 849-855.
- Aufhammer W., Wagner W., Kaul H.-P., Kubler E. 2000. Strahlungsnutzung durch Bestände olreicher Kornerfruchtarten – Winterraps, Öllein und Sonnenblume im Vergleich. *J. Agronomy Crop Sci.*, 184: 277-286.
- Dmuchański W., Orliński R. 2003. Wstępna ocena poziomu skażenia środowiska wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (wwa) oraz metalami ciężkimi pochodzącymi z transportu drogowego na odcinku drogi krajowej nr 8 pomiędzy Białymstokiem a Augustowem. Fundacja „Homo Et Planta” przy Ogrodzie Botanicznym CZRB Polskiej Akademii Nauk w Powsinie. Warszawa–Powsin, ss. 1-21.
- FAO. 2010. http://www.faostat3.fao.org/home/index.html#SEARCH_DATA.
- Fotyma M., Mercik S. 1995. *Chemia rolna*. PWN, Warszawa.
- Grant C.A., Dribnenki J.C.P., Bailey L.D. 1999. A comparison of the yield response of solin (cv. Linola 947) and flax (vvs McGregor and Vimy) to application of nitrogen, phosphorus and Provide (penillium bilaji). *Can. J. Plant Sci.*, 79: 527-533.
- Grigalavivieni I., Rutkoviene V., Marozas V. 2005. The accumulation of heavy metals Pb, Cu and Cd at roadside forest soils. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14 (1): 109-115.
- Jankowska J., Sosnowski J., Ciepela G.A., Jankowski K. 2007. Zawartość ołowiu w wybranych gatunkach roślin dwuliściennych rosnących na użytkach zielonych w pobliżu trasy szybkiego ruchu. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 30: 99-104.
- Jasiewicz Cz., Buczek J. 1999. Skład chemiczny ziemniaków uprawianych wzdłuż głównych dróg województwa podkarpackiego. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 6 (7): 595-600.

- Jasiewicz Cz., Antonkiewicz J. 2003. Assessment of Common Flax (*Linum usitatissimum* L.) usability for phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 10 (9): 901-907.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terlak H., Piotrowska M., Terlak H., Witek T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami i siarką. *IUNG Puławy, R* (53): 1-20.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowicka-Terlak H., Maliszewska-Kordybach B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch Cz. 1995. Podstawy chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, ss. 35.
- Kabata-Pendias A., Krakowiak A. 1997. Useful phytoindicator (Dandelion) for trace metal Pollution. The 5-th Inter. Conf. Proc., Transport, Fate and Effects of Silver in the Eviron., Canada. September 28 – October 1: 145–149.
- Lewandowski A. 2008. Nowe czasy dla lnu. <http://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/inne-uprawy/wlokniste/nowe-czasy-dla-lnu,7369.html>.
- Piotrowska A., Furowicz B. 1998. Postęp w hodowli jasnonasiennego lnu oleistego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XIX: 641-643.
- Potarzycki J. 1999. Stan geochemiczny gleb i jakość płodów rolnych w strefie oddziaływania trasy komunikacyjnej Poznań–Świecko. *Rocz. AR Poznań, CCCX, Melior. Inż. Środ.* 20, I: 77-85.
- Rocznik Statystyczny GUS. Warszawa 2010.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz jakości ziemi. *Dz. U.* 2002, Nr 165, poz. 1359.
- Rozporządzenie Komisji WE nr 1881 z 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, L 364/5-24.
- Stasiniewicz T., Krawczyk K., Strzetelski J., Bilik K. 2000. Wpływ zwiększonego udziału tłuszczu roślinnego w zbilansowanych dawkach pokarmowych dla opasanych buhajków na wyniki produkcyjne i wartość dietetyczną mięsa. *Rocz. Nauk Zoot. Supl.* 6: 118-122.
- Wałkowski T., Ladek A., Piotrowska A. 1998. *Len oleisty*. IHAR, Poznań, ss. 36.
- WIOŚ, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska. 2009. Raport o stanie środowiska województwa łódzkiego w 2008 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź, ss. 180.
- Zajac T., Kulig B. 2001. Oszacowanie wpływu wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie lnu oleistego w doświadczeniu 3⁴⁻¹. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXII (2): 597-608.
- Zajac T., Klima K., Borowiec F., Witkiewicz R. 2002. Plonowanie odmian lnu oleistego w warunkach siedliska. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXIII (2): 275-286.
- Zakrzewski S.F. 1997. Podstawy toksykologii środowiska. PWN, ss. 114.
- Żurek G., Prokopiuk K. 2011. Zawartość ołowiu, kadmu i chromu w glebach rolniczych przyległych do autostrady A2. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 262: 175-181.