**Kształtowanie się zawartości wybranych pierwiastków
w roślinach lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
w zależności od fazy rozwojowej i części rośliny¹**

TADEUSZ ZAJĄC*, JACEK ANTONKIEWICZ,
ROBERT WITKOWICZ***

*Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin,

**Katedra Chemii Rolnej Akademia Rolnicza, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków,
e-mail: rrantonk@cyf-kr.edu.pl

Academy of Agriculture in Cracow, Department of Plant Cultivation*,
Department of Agricultural Chemistry**, al. Mickiewicza 21, 31-120 Cracow, Poland.

Selected element contents formation in linseed plants (*Linum usitatissimum* L.)
depending on the phase of development and plant part

(Otrzymano: 18.02.2002)

Summary

A single factor (variety) strict field experiment was carried out in 1999 – 2000 at the experimental station of the Department of Plant Production, Agricultural University of Krakow located at Prusy near Cracow to study the changes in selected macro- and microelement concentrations in the top parts of linseed and the uptake of these elements during vegetation at the characteristic phases of development, including also the plant parts, i.e. leaves, stems, seeds and straw.

On the basis of obtained results it was demonstrated that microelement contents in the linseed top parts changed considerably with the plant growth. The levels of Cr, Zn, Cd, Fe and Mn were highest at budding, while Cr, Pb, Fe and Mn levels were lowest at full maturity phase. Linseed grown in the area unpolluted with trace elements did not reveal the ability to accumulate excessive amounts of Cr, Zn, Pb, Cu, Ni, Fe and Mn, undesired from the usefulness for consumption point of view. Cadmium, irrespective of the examined stage of plant development, revealed high capacity for an excessive accumulation in the top parts. The contents and reciprocal ratios of macroelements in plants changed variously with their growth. The highest Na and K contents were noticed at budding phase, Ca at vegetative stage (arborescent) and Mg at the initial budding. The widest Ca:P ratio and K:(Ca+Mg) ratio occurred at budding,

¹ Opracowano w ramach grantu KBN 6 P06Z 013 21

whereas K:Na ratio at full maturity phase. Linseed accumulated macro- and microelements in the yield at various rates. Among the analysed elements Cd, Zn and Ni were taken up proportionally to increasing yields of linseed top part biomass.

Key words: *Linum usitatissimum*, skład mineralny, fazy rozwojowe

WSTĘP

Ze względu na wielorakość zastosowań, na co wskazuje nazwa gatunkowa, len uprawiany jest od tysięcy lat, a aktualnie panuje zgodność co do konieczności powiększania powierzchni uprawy oleistej formy lnu w krajach klimatu umiarkowanego (Appel 1991, Stand i in. 1996). Spośród roślin oleistych uprawianych w krajach Unii Europejskiej, len oleisty traktowany jest jako roślina przemysłowa. Możliwość wykorzystania oleju lnianego w przemyśle chemicznym do produkcji linoleum, mas plastycznych (Grant i in. 1999), sprawia że len oleisty można traktować jako roślinę nieżywnościową, co w dobie nadprodukcji żywności w tej części świata, ułatwi zwiększenie powierzchni zasiewów oleistej formy tego gatunku. Najnowsze doniesienia wskazują także na możliwość wykorzystania nasion lnu oleistego w piekarstwie, w celu wprowadzenia do standartowego chleba (pszenno-żytniego) pożądanych z dietetycznego punktu widzenia kwasów tłuszczowych oraz białka i związków mineralnych (Gambuś i in. 1999).

Traktowanie nasion lnu jako produktu nieżywnościowego, spowodowało że tę roślinę uprawną i konopie zaczęto wykorzystywać jako fitoekstraktorów do oczyszczania gleb z nadmiaru metali ciężkich (Grzebisz i in. 1998 a i b).

W warunkach typowej agrotechniki uwaga badaczy skierowana jest na podnoszeniu wielkości plonu nasion lnu oleistego poprzez zróżnicowane zabiegi agrotechniczne, w tym wielkości dawki nawożenia azotowego, co było przedmiotem badań prowadzonych przez Hockinga (1995), Aufhammera i in. (2000). W badaniach przeprowadzonych przez Stevensona i in. (1998) oceniono plonowanie lnu w następstwie różnych źródeł substancji organicznej, traktowanej jako donatory składników pokarmowych dla lnu oleistego i rzepaku jarego – najważniejszych roślin oleistych preriowej części Kanady. W badaniach rolniczych, dominuje ocena ilościowego oddziaływania przyjętych czynników badawczych na plonowanie, natomiast skład mineralny plonu jest z reguły pomijany (Casa i in. 1999, Diepenbrock i Porksen 1992, Pawelec 1998). W nielicznych z dotychczas wykonanych pracach analizowano skład mineralny lnu oleistego, a w odniesieniu do składu mineralnego nasion uczynili to Grzebisz i Baraniecki (1986), natomiast Hassan i Leitch (2000) analizowali zawartość i pobranie N, P i K w roślinach lnu, w zależności od fazy rozwojowej i gęstości siewu. Łabuda i Mazur (1992) postulują wykorzystać fazę kwitnienia roślin uprawnych jako najodpowiedniejszą dla analizy składu pierwiastkowego oraz wyznaczania stosunków pierwiastków w roślinie. W niedawno opublikowanej monografii lnu oleistego przez Wałkowskiego i in. (1998) nie uwzględniono składu mineralnego tej rośliny.

Celem podjętych badań było poznanie zmian w koncentracji wybranych pierwiastków w częściach nadziemnych lnu oleistego oraz przebiegu pobierania tych

składników podczas wegetacji w charakterystycznych fazach rozwojowych, z uwzględnieniem również części rośliny, czyli liści, łodyg, nasion oraz słomy.

MATERIAŁ I METODY

W latach 1999–2000 przeprowadzono jednoczynnikowe (odmianowe) ściśle doświadczenie polowe, w Stacji Doświadczalnej Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin AR w Krakowie, zlokalizowane w miejscowości Prusy koło Krakowa. Corocznie zakładano doświadczenia na czarnoziemie zdegradowanym wytworzonym z lessu i zaliczanym do kompleksu pszennego bardzo dobrego, I klasy bonitacyjnej. Len oleisty uprawiano na glebie o składzie granulometrycznym pyłu zwykłego. Gleba zawierała 1,17% C organicznego, 0,13% N ogólnego. Pojemność sorpcyjna oznaczona w 2M NH_4Cl wynosiła 15,23 cmol (+) $\cdot \text{kg}^{-1}$, a pH w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3} = 5,4$. Zawartość metali oznaczono w ekstrakcie uzyskanym po digierowaniu próbki glebowej w mieszaninie kwasu azotowego i nadchlorowego i wynosiła ona: 28,67 mg Pb; 0,51 mg Cd; 80,33 mg Zn; 14,71 mg Ni $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby. Według oceny IUNG (Kabata-Pendias i in. 1993) zawartość metali ciężkich w glebie mieściła się w zakresie tła naturalnego. Przedplon dla lnu oleistego stanowiły rośliny okopowe (ziemniaki średniowczesne), uprawiane bez obornika. Przyjęto dla lnu oleistego nawożenie mineralne w wysokości 180 kg NPK na 1 ha, a szczegółowo warunki agroklimatyczne prowadzenia doświadczenia opisano w pracy Zajac i in. (2001). Materiał roślinny, pochodzący z krajowej odmiany lnu oleistego „Opal” pobierano w pięciu charakterystycznych fazach rozwojowych tj. w fazie jodelki (faza wegetatywna), pąkowania, początku kwitnienia, końca kwitnienia oraz w fazie dojrzałości technologicznej lnu do zbioru (dojrzałość pełna). Po zbiorze rośliny suszono w termostacie, w temperaturze 105°C a następnie zmielono w młynku udarowym. W fazie pąkowania rośliny dzielono na łodygi i liście a w fazie dojrzałości pełnej na słomę i nasiona. W fazach od jodelki do końca kwitnienia oznaczano powierzchnię pojedynczych liści 10 pędów próby, przy wykorzystaniu planimetru firmy LI-COR model 3100, a znając zagęszczenie pędów obliczono indeks powierzchni liści.

W materiale roślinnym po mineralizacji na sucho oznaczono: Cr, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni, Fe, Mn metodą ICP (inductively coupled plasma – atomowa spektrofotometria emisyjna oparta na palniku indukcyjnie wzbudzonej plazmy), natomiast Mg, Ca, Na, K metodą ASA (atomic absorption spectrophotometry – absorpcyjna spektrofotometria atomowa), a P kolorymetrycznie (Ostrowska i in. 1991).

W oparciu o pomiary wzrostu roślin i analizy zawartości pierwiastków w pięciu fazach rozwojowych lnu oleistego wyliczono wartości średnie, błąd standardowy średniej oraz odchylenie standardowe pobrania makro- i mikroelementów w suchej masie plonu, co przedstawiono w postaci graficznej na rysunkach 2 i 3. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem pakietu STATISTICA (Stanisz 1998).

OMÓWIENIE WYNIKÓW I DISKUSJA

Wysokość plonu części nadziemnych lnu oleistego była zróżnicowana i zależała od fazy rozwojowej oraz roku prowadzenia doświadczenia (rys. 1). Plony części

nadziemnych roślin zwiększały się w ciągu całej wegetacji aż do osiągnięcia pełnej dojrzałości, a największe przyrosty biomasy zanotowano w trakcie osiągania przez rośliny lnu oleistego faz pąkowania i kwitnienia, co było zgodne z oczekiwaniem.

Rys. 1. Teoretyczne krzywe gromadzenia suchej masy przez nadziemną część roślin lnu oleistego

Fig. 1. Theoretical curves of dry matter accumulation by above ground parts of linseed plant

Zawartość analizowanych pierwiastków w suchej masie lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.), zależała od fazy rozwojowej oraz części rośliny (tab. 1, 2). Koncentracja chromu w częściach nadziemnych lnu oleistego była bardzo zróżnicowana i zależnie od fazy rozwojowej wahała się od 0,07 do 0,37 mg Cr · kg⁻¹ s.m. Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 1 zawartość chromu w fazie pąkowania była ponad pięciokrotnie wyższa w porównaniu do pełnej dojrzałości. Zawartość cynku w analizowanych roślinach lnu oleistego wahała się w przedziale 32,10-52,70 mg Zn · kg⁻¹ s.m. i spośród analizowanych pierwiastków była najmniej zróżnicowana. Ponadto nie zarejestrowano większego zróżnicowania w koncentracji tego mikroelementu zależnie od fazy rozwojowej. Najwyższą zawartością ołowiu charakteryzował się len w stadium jodelki (0,33 mg Pb · kg⁻¹ s.m.), a najniższą w fazie pełnej dojrzałości (0,12 mg Pb · kg⁻¹ s.m.). Zawartość miedzi w częściach nadziemnych lnu kształtowała się inaczej w okresie wegetacji aniżeli zawartość poprzednio omówionego pierwiastka. Koncentracja Cu wahała się w granicach: 2,86-6,01 mg Cu · kg⁻¹ s.m. i była najwyższa w fazie pełnej dojrzałości a najniższa w fazie jodelki. Koncentracja Cd w badanej roślinie wahała się od 0,69 do 1,38 mg Cd · kg⁻¹ s.m. i podobnie jak w przypadku Cr i Zn była najwyższa w stadium pąkowania. Zawartość tego pierwiastka w okresie kwitnienia była najniższa, a pod koniec wegetacji tj. w fazie pełnej dojrzałości

stosunkowo szybko wzrosła. Zawartość niklu w testowanej roślinie systematycznie wzrastała w miarę wzrostu rośliny i wahała się w zakresie 0,45-0,82 mg Ni · kg⁻¹ s.m. Najwyższą koncentracją żelaza charakteryzował się len w fazie pąkowania – 101,48 mg Fe · kg⁻¹ s.m., po czym w następnych fazach rozwojowych zawartość tego pierwiastka była mało zróżnicowana. Mangan podobnie jak Fe, Cd, Cr, Zn i Pb w największych ilościach kumulował się w stadium pąkowania (46,17 mg Mn · kg⁻¹ s.m.), po czym w następnych fazach rozwojowych zawartość tego pierwiastka systematycznie malała, osiągając najniższą zawartość – 15,22 mg Mn · kg⁻¹ s.m. w stadium pełnej dojrzałości.

Tabela 1

Zawartość pierwiastków w roślinach lnu oleistego kolejnych fazach rozwojowych

Table 1

Content of elements in linseed plants in consecutive stages of vegetation

Pierwiastek Element		Faza rozwojowa – Growth stage				
		jodelka – vegetative phase (I)	pąkowanie – budding (II)	początek kwitnienia – early flowering (III)	koniec kwitnienia – anthesis (IV)	dojrzałość pełna – full maturity (V)
Cr	mg · kg ⁻¹ s.m. mg · kg ⁻¹ d.m.	0,11	0,37	0,10	0,14	0,07
Zn		36,60	52,70	32,10	37,85	51,28
Pb		0,33	0,30	0,30	0,26	0,12
Cu		2,86	4,73	3,09	5,66	6,01
Cd		0,88	1,38	0,84	0,69	1,22
Ni		0,45	0,76	0,64	0,72	0,82
Fe		60,70	101,48	47,10	51,25	43,80
Mn		27,50	48,17	27,10	16,70	15,22
Mg	g · kg ⁻¹ s.m. g · kg ⁻¹ d.m.	1,20	1,00	1,10	1,60	2,00
Ca		4,80	4,50	3,70	2,10	1,90
Na		0,09	0,12	0,13	0,07	0,07
K		6,80	10,60	9,90	7,70	7,00
P		2,40	1,40	2,40	2,80	2,10

Tabela 2

Zawartość makro i mikroelementów w częściach roślin lnu oleistego

Table 2

Macro and microelements content in plants parts of linseed

Pierwiastek Element		Faza rozwojowa – Growth stage			
		pąkowanie – budding		dojrzałość pełna – full maturity	
		część rośliny – plant parts			
		lodyga – stem	liście – leaves	nasiona – seeds	słoma – straw
Cr	mg · kg ⁻¹ s.m. mg · kg ⁻¹ d.m.	0,18	0,56	0,04	0,10
Zn		38,9	66,5	69,6	32,9
Pb		0,14	0,46	0,01	0,24
Cu		4,55	4,91	10,22	1,81
Cd		1,09	1,67	1,12	1,31
Ni		0,52	0,99	1,31	0,34
Fe		59,0	144,0	59,9	27,8
Mn		16,9	75,4	19,5	10,9
Mg	g · kg ⁻¹ s.m. g · kg ⁻¹ d.m.	0,40	0,80	3,20	0,80
Ca		3,40	5,40	1,00	2,40
Na		0,10	0,15	0,09	0,08
K		7,20	17,1	5,70	7,80
P		1,8	1,10	2,2	2,0

W miarę wzrostu roślin najbardziej z badanych mikroelementów obniżyła się zawartość Cr następnie Mn i Fe (w częściach nadziemnych w okresie pełnej dojrzałości wynosiła ona odpowiednio ok. 19%, 33%, 43% zawartości występującej w fazie pąkowania). W przypadku ołowiu obniżka była również wysoka, z tym, że rośliny w stadium pełnej dojrzałości zawierały 36% zawartości występującej w fazie jodełki. Obniżanie się poziomu wymienionych pierwiastków w miarę wzrostu roślin jest wynikiem znacznego zwiększania się masy roślinnej, czyli jest efektem rozcieńczenia. Naturalna zawartość pierwiastków śladowych w glebach, wodzie i powietrzu nie stanowi zazwyczaj zagrożenia dla organizmów żywych, w tym m.in. roślin pastewnych i przemysłowych. Źródłem ich nadmiaru w roślinach pastewnych jak i innych roślinach uprawnych może być skażona gleba oraz emitowane pyły i gazy osiadające na częściach nadziemnych roślin (Curzydło 1986, Curzydło 1988, Sawicka-Kapusta i in. 1990). Len oleisty jest rośliną bardzo cenną pod względem gospodarczym.

Oprócz wysokowartościowego włókna, nasion, oleju, jego śruta poekstrakcyjna, makuchy i plewy mogą stanowić wysokowartościową paszę treściwą dla zwierząt (Hojden 1994, Kurhański 1982). Liczby graniczne dopuszczalnej zawartości pierwiastków śladowych w paszy wynoszą: 20 mg Cr; 150 mg Zn; 15 mg Pb; 10 mg Cu; 0,5 mg Cd; 50 mg Ni; 500 mg Fe; 1000 mg Mn · kg⁻¹ s.m. (Gorlach 1991). Zawartość Cr, Zn, Pb, Cu, Ni, Fe i Mn w częściach nadziemnych lnu oleistego nie przekroczyły wartości uznawanych za graniczne dla koncentracji w/w pierwiastków w paszach. Jedynie dla kadmu stwierdzono we wszystkich stadiach rozwojowych przekroczenie granicznej zawartości tego pierwiastka w paszach. Największe przekroczenie, bo aż prawie 3-krotne w stosunku do granicznej zawartości zarejestrowano w fazie pąkowania, a najniższe (ok. 1,4-krotne) pod koniec kwitnienia. W dotychczasowym piśmiennictwie jest mało informacji odnośnie zawartości pierwiastków w lnie, a w pracy przeglądowej Łabuda i Mazur (1992) podają koncentracje fosforu, wapnia, manganu i żelaza jedynie w lnie włóknistym.

Grzebisz i in. (1998 b) stwierdzili, że len uprawiany na zanieczyszczonej glebie metalami ciężkimi charakteryzował się ponad dwukrotnie większą zawartością kadmu w stosunku do jego wartości granicznej. Zawartość makroelementów w badanym lnie oleistym również zmieniała się w zależności od fazy rozwojowej i części rośliny (tabela 1 i 2). Zawartość wapnia w częściach nadziemnych lnu oleistego wahała się w zakresie 1,9–4,8 g Ca · kg⁻¹ w s.m. i była najwyższa w fazie jodełki, następnie systematycznie obniżała się do fazy pełnej dojrzałości. Koncentracja sodu i potasu w lnie oleistym kształtowała się zależnie od fazy rozwojowej odpowiednio: 0,07–0,13 g Na · kg⁻¹ w s.m. i 6,8–10,6 g K · kg⁻¹ w s.m. Najwyższe koncentracje wyżej wymienionych pierwiastków zarejestrowano w fazie pąkowania, po czym zawartość analizowanych pierwiastków systematycznie obniżała się w miarę wzrostu roślin. W przypadku magnezu nie zarejestrowano większego zróżnicowania w zawartości tego pierwiastka w poszczególnych fazach rozwojowych i wahała się od 1,0 do 2,0 g Mg · kg⁻¹ w s.m. Zawartość fosforu w lnie oleistym wahała się od 1,4 do 2,8 g P · kg⁻¹ w s.m. i najwyższą koncentrację tego pierwiastka zarejestrowano czasie kwitnienia a najniższą w fazie pąkowania. W miarę wzrostu roślin najbardziej obniżyła się zawartość wapnia (w częściach nadziemnych w okresie pełnej dojrzałości obniżka wynosiła ok. 65% zawartości występującej w fazie jodełki) następnie sodu i fosforu (odpowiednio: 40%; 13%). Zawartość potasu w okresie pełnej dojrzałości utrzymywała się na tym samym poziomie, który zanotowano w fazie jodełki. W przypadku magnezu nie zarejestrowano obniżki – rośliny w stadium pełnej dojrzałości zawierały ok. 70% więcej tego makroelementu w porównaniu do zawartości występującej w fazie jodełki. Obniżanie się poziomu wapnia, sodu i potasu w miarę wzrostu roślin było również wynikiem znacznego zwiększania się masy roślinnej. Trudny natomiast do wyjaśnienia jest wzrost koncentracji magnezu w badanej roślinie, co prawdopodobnie należy wiązać ze znaczeniem tego pierwiastka w procesie fotosyntezy.

Piśmiennictwo poświęcone składowi chemicznemu lnu oleistego nie dostarcza zbyt wielu informacji (Grzebisz i Baraniecki 1986; Grzebisz i in. 1998 b). Koncentracja badanych mikroelementów w częściach nadziemnych lnu jest najwyższa

na początku rozwoju roślin i następnie obniżała się lub nie ulegała większym zmianom. W badaniach Grzebisza (1998 b) nad lnem włóknistym, uprawianym na terenach zanieczyszczonych pyłowymi emisjami hut miedzi w Głogowie wykazano, że zawartość metali ciężkich (Cu, Pb, Zn i Cd) w różnych fazach rozwojowych zmniejszała się w szerokich granicach.

Ilości pierwiastków pobranych przez rośliny zależą od wysokości plonu i zawartości danego pierwiastka. Faza rozwojowa lnu oleistego miała znaczący wpływ na wielkość pobrania badanych pierwiastków, co było wynikiem narastania plonu roślin i łanu. Pobranie mikroelementów z 1 m² pola w zależności od fazy rozwojowej wahało się od 0,002 do 0,08 mg Cr, od 0,95 do 35,4 mg Zn, od 0,008 do 0,15 mg Pb, od 0,07 do 3,83 mg Cu, od 0,02 do 0,92 mg Cd, od 0,01 do 0,53 mg Ni, od 1,58 do 30,45 mg Fe, od 0,71 do 10,71 mg Mn/m² pola uprawnego (rys. 2). W miarę wzrostu roślin pobranie mikropierwiastków przez części nadziemne lnu oleistego systematycznie rosło. Największe odprowadzenie Mn, Ni, Cu, Zn, Fe, Cd z plonem lnu stwierdzono w fazie dojrzałości, natomiast w odniesieniu do Cr i Pb, wystąpiło wcześniej, czyli już pod koniec kwitnienia. W przypadku chromu i ołowiu w fazie pełnej dojrzałości zarejestrowano spadek pobrania i wyniósł on odpowiednio ok. 35% i 27% w stosunku do ilości odprowadzanej w fazie kwitnienia. Nie tylko faza rozwojowa rośliny, ale rok prowadzenia doświadczenia miał pewien wpływ na ilość odprowadzonych pierwiastków w plonie nadziemnej biomasy lnu oleistego (tab. 3). Porównań tych dokonano, aby przybliżyć pobranie przez tonę nasion lnu oleistego (łącznie ze słomą) badanych pierwiastków i porównać ten gatunek z roślinami zbożowymi oraz rzepakiem. Dla pszenicy ozimej przy średnim poziomie plonowania, Budzyński i Szempliński (1999) podają pobranie na 1 tonę ziarna (+ słoma) następujących ilości trzech podstawowych makroelementów: 4 kg P; 15,8 kg K i 2,4 kg Mg. W oparciu o dane literaturowe dla rzepaku Muśnicki (1999) wyznaczył następujące ilości składników pokarmowych (w kg) zgromadzone w 1 tonie nasion (+ słoma) wynoszą: P – 8,7; K – 37,2; Ca – 46,2; Mg – 3,9. Bezpośrednie porównanie danych odnoszących się do lnu oleistego wskazuje na większe powinowactwo tego gatunku do pszenicy niż do rzepaku. Porównanie gromadzenia pierwiastków przez różne części lnu pozwala na stwierdzenie, że metale ciężkie silnie gromadzą liście niż nasiona.

Rys. 2. Pobranie mikroelementów przez nadziemną część roślin lnu oleistego (* – opis faz rozwojowych lnu jak w tabeli 1)

Fig. 2. Uptake of microelements by above ground parts of linseed plant (* – description of vegetation phase see in table 1)

Tabela 3

Pobranie przez len oleisty pierwiastków w zależności od roku i fazy rozwojowej

Table 3

Micro and macro elements uptake by linseed under year and growth stage

Pierwiastek Element	Rok – Year			
	1999		2000	
	faza rozwojowa – growth stage			
	pąkowanie – budding	dojrzałość pełna – full maturity	pąkowanie – budding	dojrzałość pełna – full maturity
	część rośliny – plant parts			
	$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ liści – leaves	$\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$ nasion – seeds	$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ liści – leaves	$\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$ nasion – seeds
Cr	3,25	0,261	2,99	0,248
Zn	461	175	425	167
Pb	2,65	0,558	2,44	0,531
Cu	40,6	19,0	37,4	18,1
Cd	12,0	4,61	11,0	4,39
Ni	6,59	2,68	6,07	2,55
Fe	895	150	825	142
Mn	416	53,2	384	50,5
Mg	513	6325	473	6012
Ca	3849	7070	3545	6720
Na	1625	24557	1497	23343
K	9068	26046	8352	24758
P	2908	9488	2679	9018

W przypadku makroelementów stwierdzono także znacznie większe odprowadzenie analizowanych pierwiastków. Pobranie makroelementów przez len oleisty w zależności od fazy rozwojowej rośliny wahało się od 0,03 do 1,44 g Mg, od 0,17 do 5,24 g K, od 0,12 do 1,42 g Ca, od 0,002 do 0,052 g Na, od 0,06 do 1,66 g P · m² pola uprawnego (rys. 3). W przypadku wapnia i potasu, w odróżnieniu od pozostałych makroelementów, zarejestrowano systematyczny wzrost ilości odprowadzonych wyżej wymienionych pierwiastków z plonem lnu oleistego. Największe odprowadzenie magnezu z plonem części nadziemnych lnu stwierdzono w fazie początkowego kwitnienia, a fosforu w fazie końcowego kwitnienia. Jak wynika z danych zamieszczonych na rysunkach 2 i 3, każdy z analizowanych pierwiastków wykazuje specyficzne uzdolnienia pod względem ilości odprowadzenia z plonem.

Rys. 3. Pobranie makroelementów przez nadziemną część roślin lnu oleistego (* – opis faz rozwojowych lnu jak w tabeli 1)

Fig. 3. Uptake of macroelements by above ground parts of linseed plant (* – description of vegetation phase see in table 1)

Przeprowadzone badania wskazują na zróżnicowane pobieranie pierwiastków przez nadziemną biomasę roślin lnu oleistego, podczas prawie całego okresu wegetacji. Pobieranie pierwiastków przez len oleisty było zróżnicowane i zależało od fazy rozwojowej rośliny oraz roku prowadzenia doświadczenia (tab.3). W przeprowadzonych badaniach najmniejsze odprowadzenie pierwiastków stwierdzono w fazie jodełki, a najwyższe w fazie kwitnienia i dojrzałości pełnej. W badaniach Grzebisza i in. (1998 b) również stwierdzono, że pobranie metali przez len w fazie jodełki było niewielkie i wzrastało w kolejnych fazach rozwojowych.

Wzajemny stosunek makroelementów w częściach nadziemnych lnu oleistego ulegał znacznym zmianom w miarę wzrostu roślin. Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 4 duży wpływ na wzajemny stosunek makroelementów miała faza rozwojowa lnu oleistego.

Tabela 4

Wagowy stosunek makroelementów w częściach nadziemnych lnu oleistego w zależności od stadium rozwojowego

Table 4

Weight ratios of macroelements in the linseed parts as depending on the stage of vegetation

Faza rozwojowa Growth stage	Ca : P	K : Na	K : (Ca + Mg)
I	2,00	75,0	1,13
II	3,06	97,6	2,24
III	1,55	75,2	2,207
IV	0,72	114,0	2,14
V	1,50	76,4	1,83

Wagowy stosunek zawartości Ca : P był najwyższy w fazie pąkowania, po czym w następnych fazach rozwojowych malał, osiągając najniższą wartość pod koniec kwitnienia. W miarę wzrostu roślin wagowy stosunek K : Na systematycznie wzrastał, natomiast stosunek K : (Ca + Mg) w badanych fazach rozwojowych lnu był nieregularny. Najszerzy stosunek Ca : P wystąpił w roślinach w fazie pąkowania, natomiast najszerszy stosunek K : Na, wystąpił w końcu fazy kwitnienia. Najszerzy wagowy stosunek K : (Ca + Mg) zarejestrowano w fazie pąkowania, a najwęższy w fazie jodełki. Sformułowano następujące wnioski:

1. Zawartość mikroelementów w częściach nadziemnych lnu oleistego ulegała znacznym zmianom w miarę wzrostu roślin. Poziom Cr, Zn, Cd, Fe i Mn był najwyższy w fazie pąkowania, natomiast Cr, Pb, Fe i Mn najniższy w stadium pełnej dojrzałości.
2. Len uprawiany na terenie nie zanieczyszczonym pierwiastkami śladowymi odpowiadał normom wymaganym od paszy dobrej jakości. Natomiast niezależnie od stadium rozwojowego lnu stwierdzono przekroczenie granicznej dopuszczalnej zawartości kadmu w paszach.

3. Zawartość oraz wzajemny stosunek makroelementów w roślinach w różny sposób zmieniała się w miarę ich wzrostu. Najwyższą zawartość K zarejestrowano w fazie pąkowania, Ca w stadium jodełki, Na na początku kwitnienia, a Mg w fazie pełnej dojrzałości. Najszerzy stosunek Ca : P oraz K : (Ca + Mg) wystąpił w fazie pąkowania, a K : Na pod koniec kwitnienia.
4. Spośród analizowanych pierwiastków: tylko Cd, Zn i Ni pobierane były proporcjonalnie do narastającego plonu biomasy nadziemnych części lnu.

LITERATURA

- Appel R. S. W. 1991. The linseed market in the United Kingdom. *Aspects Appl. Biol.* No 28: 1–6.
- Budzyński W., Szempliński W. 1999. Pszenica. W: Szczegółowa Uprawa Roślin. t.I: 71–129, praca zbiorowa pod redakcją Z. Jasińskiej i A. Koteckiego. Wyd. AWA Wrocław.
- Aufhammer W., Wäagner W., Kaul H.-P., Kübler E. 2000. Strahlungsnutzung durch Bestände ölreicher Körnerfruchtarten-Winterraps, öllein und Sonnenblume im Vergleich. *J. Agron. Crop Sci.* 184: 277–286
- Casa R., Russell G., Lo Cascio B., Rossini F. 1999. Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities. *Eur. J. Agron.* 11: 267–278.
- Curzydło J. 1986. Akumulacja metali ciężkich w roślinach uprawianych w rejonie strefy ochronnej kombinatu Huty im. Lenina. *Zesz. Nauk. AGH, 1031, Sozologia i Sozotechnika* 21: 141–154.
- Curzydło J. 1988. Zawartość metali ciężkich w glebach i roślinach uprawnych w rejonie kombinatu metalurgicznego Huty im. Lenina. *Acta Agr. et Silv., ser. Agr.* 27: 119–130.
- Diepenbrock W., Porksen N. 1992. Phenotypic plasticity and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.) in response to spacing and N-nutrition. *J. Agron. Crop Sci.*, 169: 46–60.
- Gambuś H., Borowiec F., Gambuś F., Zajac T. 1999. Zdrowotne aspekty chleba z dodatkiem nasion lnu oleistego. *Żywność* 4 (21): 185–194.
- Gorlach E. 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 262, *Sesja Nauk. z.* 34: 13–22.
- Grant C. A., Dribnenki J. C. P., Bailey L. D. 1999. A comparison of the yield response of solin (cv. Linola 947) and flax (cvs. McGregor and Vimy) to applications of nitrogen, phosphorus, and Provide (*Penicillium bilaji*). *Can. J. Plant Sci.* 79: 527–533.
- Grzebisz W., Baraniecki A. 1986. Wpływ wieloletniego nawożenia na skład chemiczny nasion lnu oleistego. *Rocz. AR w Poznaniu. CLXXI*: 9–14.
- Grzebisz W., Diatta J. B., Barłóg P. 1998a. Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny włókniste z gleb zanieczyszczonych emisjami huty miedzi. *Cz. I. Konopie siewne. Zesz. Probl. PNR.*, 460: 685–695.
- Grzebisz W., Potarzycki J., Cieśla L. 1998b. Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny włókniste z gleb zanieczyszczonych emisjami huty miedzi. *Cz. II. Len. Zesz. Probl. PNR.*, 460: 697–708.
- Hassan F. U., Leitch M. H. 2000. Influence of seeding on contents and uptake of N, P and K in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 185: 193–199.
- Hocking P. J. 1995. Effects of nitrogen supply on the growth, yields components and distribution of nitrogen in Linola. *J. Plant Nutr.* 18: 257–275.

- Hojden B. 1994. Lecznicze i użytkowe zalety lnu. *Wiadomości Zielarskie* 9 : 7–8.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa*. Puławy, P. (53), IUNG, 1–20.
- Kurchański M. 1982. Uprawa lnu włóknistego. PWRiL, Warszawa, ss. 156.
- Łabuda S., Mazur J. 1992. Skład pierwiastkowy roślin uprawnych w fazie kwitnienia. *Postępy Nauk Rol.* nr 5-6/92: 69–79.
- Muśnicki Cz. 1999. Rośliny kapustne (krzyżowe). W: *Szczegółowa Uprawa Roślin t. II: 377–453*. praca zbiorowa pod redakcją Z. Jasińskiej i A. Koteckiego. Wyd. AWA Wrocław.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. *Katalog*. Wyd. IOŚ, Warszawa, ss.334.
- Pawelec T. 1998. Uprawa lnu na ziemiach polskich. *Postępy Nauk Rol.* nr 6/98 : 51–64.
- Sawicka-Kapusta K., Świergosz R., Zajac K.P., Koczańska W. 1990. Ocena skażenia rejonu olkuskiego na podstawie badań roślinności użytków rolnych. *Zesz. Nauk. AGH, 1368, Sozologia i Sozotechnika* 32 : 183–200.
- Stand J., Ondrej M., Smirous P. 1996. Olejny len. *Nove Smery v pestovani a vyuziti. Metod. Pro Zemed. Praxi. Ustav Zemed. a Potrav. Inf. Praha.* Nr 7. ss. 32.
- Stanisz A. 1998. Przystępny kurs statystyki. StatSoft Polska Sp z o.o., Kraków.
- Stevenson F.C., Johnston A.M., Beckie H.J., Brandt S.A., Townley-Smith L. 1998. Cattle manure as a nutrient source for barley and oilseed crops in zero and conventional tillage systems. *Can. J. Plant Sci.* 78 : 409–416.
- Wałkowski T., Ladek A., Piotrowska A. 1998. *Len oleisty*. IHAR Poznań ss. 36.
- Zajac T., Borowiec F., Micek P. 2001. Porównanie produktywności, składu chemicznego i profilu kwasów tłuszczowych żółtych i brązowych nasion lnu oleistego. *Rośliny Oleiste. t. XXII z. 2: 441–453*.