

NAWOŻENIE ORGANICZNE I WAPNOWANIE GLEBY A ZAWARTOŚĆ OŁOWIU W WARZYWACH

Romualda Jabłońska-Ceglarek, Anna Zaniewicz-Bajkowska,
Robert Rosa, Jolanta Franczuk

Streszczenie. Badano wpływ nawożenia organicznego oraz wapnowania na zawartość ołowiu w glebie i warzywach. W pierwszym roku po nawożeniu i wapnowaniu uprawiano kapustę głowiastą białą, w drugim burak ćwikłowy, a w trzecim sałatę kruchą. Nawożenie organiczne stosowano w postaci: obornika ($60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), słomy żytniej ($4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) oraz żyta i wyki ozimej uprawianych na zielony nawóz jako międzyplony ozime. Glebę wapnowano nawozem wapniowym węglanowym zwyczajnym w dawce $1,5 \text{ t CaO}\cdot\text{ha}^{-1}$.

W pierwszym roku po nawożeniu organicznym obniżenie, w porównaniu do kontroli, zawartości w glebie ołowiu rozpuszczalnego uzyskano, stosując nawożenie słomą żytnią, obornikiem i żytem. Najkorzystniej na obniżenie zawartości ołowiu w kapuście wpłynęło nawożenie obornikiem i żytem ozimym. Wapnowanie gleby w pierwszym roku po jego zastosowaniu nie wpływało w sposób istotny na ilość ołowiu rozpuszczalnego w glebie.

Następny wpływ nawożenia organicznego na zawartość w glebie ołowiu rozpuszczalnego oraz na zawartość ołowiu w warzywach stwierdzono tylko w drugim roku po jego zastosowaniu. Najkorzystniej na obniżenie zawartości ołowiu rozpuszczalnego w glebie oraz jego zawartości w burakach ćwikłowych wpłynęło nawożenie wyką ozimą i żytem. Wapnowanie gleby nie miało istotnego wpływu na zawartość ołowiu w warzywach.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, ołów, nawożenie organiczne, wapnowanie gleby, warzywa, kapusta głowiasta biała, burak ćwikłowy, sałata krucha

WSTĘP

Podstawowym źródłem składników odżywczych jest dla roślin gleba. Z niej rośliny czerpią nie tylko pierwiastki konieczne do prawidłowego wzrostu i rozwoju, ale również i te, które nie są im potrzebne, a w większym stężeniu stają się szkodliwe. Do tej grupy pierwiastków należą metale ciężkie m.in. ołów. Rośliny uprawne zanieczyszczone metalami ciężkimi przyczyniają się do stopniowego zatrucia organizmu człowieka. Pierwiastki śladowe akumulują się w wątrobie, nerkach, mięśni sercowym [Czar-nowska i Gworek 1994].

Głównymi źródłami zanieczyszczenia środowiska naturalnego ołowiem są emisje ze środków transportu, energetyczne spalanie paliw, hutnictwo oraz przetwórstwo żelaza i metali nieżelaznych (Nriagu 1989, Hławiczka 1998), a także, choć w mniejszym stopniu, produkcja szkła kryształowego, ceramiki kolorowej, akumulatorów, nawozów sztucznych, farb i powłok antykorozyjnych [Buliński i in. 1987, Zommer-Urbańska i in. 1989]. Spalanie benzyny powoduje emisję 75% zanieczyszczeń ołowiem pochodzenia antropogenicznego [Hutton i Symon 1986, Pacyna i Münch 1988, Bartnicki i in. 1994].

Ograniczenie zanieczyszczenia roślin metalami ciężkimi można uzyskać, stosując prawidłową agrotechnikę, zwłaszcza racjonalne nawożenie organiczne i mineralne [Czernych i in. 1995, Gołowatyj i in 2000].

Na temat bezpośredniego działania nawożenia organicznego i wapnowania na zawartość ołowiu w glebie i uprawianych warzywach napisano wiele publikacji. Brak natomiast prac badawczych z zakresu następczego wpływu tych czynników na jego zawartość w glebie i roślinach.

Celem badań była ocena bezpośredniego i następczego wpływu nawożenia organicznego w postaci obornika, słomy żytniej i nawozów zielonych oraz wapnowania na właściwości chemiczne gleby oraz na zawartość ołowiu w warzywach.

MATERIAŁ I METODY

Eksperyment polowy przeprowadzono w Stacji Doświadczalnej w Zawadach należącej do Akademii Podlaskiej w Siedlcach. W bezpośrednim sąsiedztwie miejsca założenia doświadczenia przebiega międzynarodowa droga E-30 charakteryzująca się dużym natężeniem ruchu samochodowego. Spaliny oraz materiały eksploatacyjne do samochodów stanowią źródło skażenia środowiska, m.in. związkami ołowiu, w pasie po obu stronach jezdni.

Badania prowadzono na glebie brunatnej właściwej o średniej zawartości próchnicy 1,52% i poziomie próchnicznym sięgającym do głębokości 30–40 cm. Pod względem przydatności rolniczej gleba ta zaliczana jest do klasy bonitacyjnej IVa, kompleksu żytniego dobrego. Przed założeniem doświadczenia pH gleby w H₂O kształtowało się na poziomie 5,7. Warstwa orna gleby zawierała 78,52 mg Pb·kg⁻¹ s.m. ołowiu oraz 0,21 mg Pb·kg⁻¹ s.m. ołowiu przyswajalnego dla roślin.

Doświadczenie zlokalizowano w odległości 10 m od krawędzi jezdni. Założono je metodą split-blok, w 3 powtórzeniach, na stanowisku po jęczmieniu ozimym.

Badano w nim wpływ dwóch czynników:

A. Wapnowanie gleby:

- nawóz wapniowy węglanowy zwyczajny w dawce 1,5 t CaO·ha⁻¹,
- bez wapnowania.

B. Nawożenie organiczne:

- kontrola bez nawożenia organicznego,
- obornik w dawce 60 t·ha⁻¹,
- słoma żytnia w dawce 4 t·ha⁻¹,
- żyto ozime (norma wysiewu nasion 220 kg·ha⁻¹),
- wyka ozima (norma wysiewu nasion 70 kg·ha⁻¹).

Wapnowanie gleby wykonano w lipcu na miesiąc przed wysiewem nasion wyki. Rośliny przeznaczone na zielony nawóz uprawiano jako międzyplony ozime. Wysiewano je w latach 1994–1996: wykę w II dekadzie sierpnia, żyto w I dekadzie września. Masę zieloną roślin międzyplonowych, słomę żytnią i obornik przyorano w I dekadzie maja roku następnego. Przed przyoraniem pobrano próby materiału roślinnego, słomy i obornika w celu określenia ich wartości nawozowej, na którą złożyły się:

- plon świeżej i suchej masy roślin uprawianych na glebie wapnowanej i nie wapnowanej (w t·ha⁻¹),
- zawartość Pb w roślinach międzyplonowych, oborniku i słomie (w mg·kg⁻¹ s.m.).

W pierwszym roku po nawożeniu organicznym i wapnowaniu gleby uprawiano kapustę głowiastą białą odmiany 'Kamienna Głowa', w drugim buraki ćwikłowe odmiany 'Czerwona Kula', w trzecim sałatę kruchą odmiany 'Samba'.

Kapustę głowiastą białą uprawiano w latach 1995–1997. Przed posadzeniem rozsady na całej powierzchni doświadczenia zastosowano nawożenie mineralne w ilości 500 kg NPK·ha⁻¹ w stosunku N:P₂O₅:K₂O = 2:2:3. Kapustę zbierano w I dekadzie października.

Buraki ćwikłowe odmiany 'Czerwona Kula' uprawiano z nasion wysiewanych w I dekadzie czerwca w latach 1996–1998. Przed wysiewem buraków zastosowano nawożenie mineralne w ilości 250 kg NPK ha⁻¹ (N:P₂O₅:K₂O = 2:2:3). Zbiór korzeni przeprowadzono w II dekadzie września.

Sałatę kruchą odmiany 'Samba' uprawiano z rozsady przygotowanej w szklarni nieogrzewanej. Nasiona wysiewano w I dekadzie marca, a gotową do sadzenia rozsadę uzyskiwano w połowie kwietnia w latach 1997–1999. Nawożenie mineralne pod sałatę stosowano w ilości 200 kg NPK ha⁻¹ (N:P₂O₅:K₂O = 2:2:3). Główniki sałaty zbierano w połowie czerwca.

Podczas zbioru warzyw z każdego poletka pobrano reprezentatywne próby gleby i roślin w celu wykonania analiz laboratoryjnych.

W materiale roślinnym i glebowym oznaczano:

- zawartość węgla organicznego w glebie – metodą Tiurina,
- pH gleby w H₂O – metodą potencjometryczną,
- całkowitą zawartość ołowiu w glebie (Pb–całkowity) oraz w roślinach międzyplonowych i warzywach – metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej,
- zawartość związków ołowiu rozpuszczalnych w roztworze octanu amonu o pH 7,3, które przyjęto jako dostępne dla roślin – metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej.

Próby gleby pobrano z warstwy ornej 0–30 cm. Glebę wysuszone do powietrznie suchej masy i przesiano przez sito plastikowe o średnicy oczek 1 mm. Następnie do naczyń teflonowych naważono po 0,5 g gleby. Zastosowano metodę mikrofalowego roztwarzania częściowego z użyciem kwasu azotowego (7 ml H₂O + 7 ml HNO₃ 65%). Roztworzenie mikrofalowe gleby prowadzono według następującego programu: czas (moc) – 2 min (250 W), 5 min (400 W), 10 min (650 W), 2 min (0 W), 20 min (wentylacja).

Z główek kapusty i sałaty usunięto liście zewnętrzne. Korzenie buraków przeznaczone do analiz starannie myto. Materiał roślinny rozdrobniono, oznaczono w nim zawartość suchej masy i zmieszano. Do naczyń teflonowych naważano próbki: 0,5 g suchej masy kapusty białej i buraków ćwikłowych oraz 1,2 g suchej masy sałaty. Następnie dodawano 6 ml HNO₃ 65% i 2 ml H₂O₂ 30%. Mineralizację mikrofalową materiału

roślinnego prowadzono według następującego programu: czas (moc): 2 min (250 W), 2 min (0 W), 6 min (250 W), 5 min (400 W), 5 min (600 W), 20 min (wentylacja).

Ołów w mineralizatach uzyskanych z roślin międzyplonowych, obornika, słomy i warzyw oraz w roztworach i wyciągach glebowych (po zagęszczeniu do fazy organicznej z użyciem APDC) oznaczano metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej na aparacie Solar 929 firmy ATI UNICAM.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, stosując analizę wariancji. Istotność różnicy średnich oceniono testem Tukeya. Obliczono także współczynniki korelacji prostej.

Wyniki wykorzystano do obliczenia wskaźników:

- rozpuszczalności ołowiu (stosunek zawartości Pb-rozpuszczalnego do Pb-całkowitego w glebie)
- akumulacji ołowiu (stosunek zawartości Pb w kapuście do Pb-całkowitego w glebie).

WYNIKI

Wartość nawozowa roślin międzyplonowych, obornika i słomy. Spośród badanych nawozów organicznych najwięcej świeżej i suchej masy organicznej dostarczył do gleby obornik w dawce $60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

W warunkach glebowo-klimatycznych wschodniej Polski plon świeżej masy żyta był istotnie wyższy od plonu świeżej masy wyki (tab. 1).

Udowodniono statystycznie istotny wpływ współdziałania wapnowania i nawożenia organicznego na ilość masy organicznej wytwarzanej przez rośliny międzyplonowe. Plon świeżej i suchej masy żyta uprawianego na glebie wapnowanej był istotnie niższy od uzyskanego na glebie niewapnowanej. Wapnowanie gleby przyczyniło się do istotnego wzrostu plonu świeżej masy wyki w porównaniu do zanotowanego na glebie niewapnowanej. Plon suchej masy wyki na glebie wapnowanej i niewapnowanej nie różnił się w sposób istotny.

Badane nawozy organiczne charakteryzowały się niewielką zawartością ołowiu (tab. 1). Z dawką 60 t obornika wniesiono do gleby średnio $27,11 \text{ g Pb}\cdot\text{ha}^{-1}$, a z dawką 4 t słomy – $3,20 \text{ g Pb}\cdot\text{ha}^{-1}$. Świeża masa żyta uprawianego na zielony nawóz wynosząca średnio $27,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ zawierała $39,94 \text{ g Pb}$, a świeża masa wyki średnio $15,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ zawierała $14,17 \text{ g Pb}$. Całkowita zawartość ołowiu w warstwie ornej gleby, przy średniej zawartości wynoszącej około $78,52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby, kształtowała się na poziomie $586,88 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ilości ołowiu wnoszonego do gleby z nawozami organicznymi są więc niewielkie w porównaniu z całkowitą jego zawartością w warstwie ornej.

Żyto uprawiane na glebie niewapnowanej wносиło do gleby istotnie więcej ołowiu w porównaniu do uprawianego na glebie wapnowanej. Ilość ołowiu w wyce ozimej uprawianej na glebie wapnowanej i niewapnowanej nie różniła się istotnie.

Wpływ nawożenia organicznego i wapnowania gleby na zawartość ołowiu w glebie. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono brak bezpośredniego i następczego wpływu nawożenia organicznego oraz wapnowania na całkowitą zawartość ołowiu w glebie.

Tabela 1. Ilość materii organicznej i ołowiu wnoszonego do gleby z nawozami organicznymi (średnia z lat 1994–1996)
 Table 1. Amount of organic matter and lead introduced into the soil with organic fertilizers (mean for years 1994–1996)

| Nawożenie organiczne Organic fertilization | Świeża masa (t·ha ⁻¹) Fresh matter (t·ha ⁻¹) | | | Sucha masa (t·ha ⁻¹) Dry matter (t·ha ⁻¹) | | | Ołów (g·ha ⁻¹) Lead (g·ha ⁻¹) | |
|--|---|-------------|-----------------|--|-------------|-----------------|--|-------|
| | W** | NW** | Średnio Mean | W** | NW** | Średnio Mean | W** | NW** |
| Obornik – Farmyard manure | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 16,08 | 16,07 | 16,08 | 26,83 | 27,38 |
| Słoma żytnia – Rye straw | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,40 | 3,40 | 3,40 | 3,18 | 3,22 |
| Żyto – Rye | 24,99 | 29,39 | 27,19 | 7,01 | 8,44 | 7,73 | 34,45 | 45,44 |
| Wyka ozima – Winter vetch | 16,09 | 14,47 | 15,28 | 3,15 | 2,95 | 3,05 | 13,83 | 14,51 |
| Średnio – Mean | 26,27 | 26,97 | 26,62 | 7,41 | 7,72 | 7,57 | 19,57 | 22,64 |
| NIR – LSD (p = 0,05) | | | | | | | | |
| Wapnowanie gleby Soil liming | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | | | 1,13 |
| Nawożenie organiczne Organic fertilization | | 0,74 | | | 0,20 | | | 1,51 |
| Wapnowanie × nawożenie organiczne Soil liming × organic fertilization | | 1,14 | | | 0,60 | | | 1,78 |

*W – gleba wapnowana – limed soil;

**NW – gleba niewapnowana – not limed soil

Tabela 2. Zawartość w glebie ołowiu rozpuszczalnego w octanie (mg Pb·kg⁻¹ s.m. gleby)
 Table 2. The content of soluble lead in soil (mg Pb·kg⁻¹ d.m. soil)

| Nawożenie organiczne Organic fertilization | Rok po nawożeniu i wapnowaniu – Year after fertilization and liming soil | | | | | | | | |
|--|--|-------------|-----------------|------|-------------|-----------------|------|-------------|-----------------|
| | I | | | II | | | III | | |
| | W* | NW** | Średnio Mean | W* | NW** | Średnio Mean | W* | NW** | Średnio Mean |
| Kontrola – Control | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,31 | 0,32 | 0,32 | 0,40 | 0,43 | 0,41 |
| Obornik – Farmyard manure | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,27 | 0,28 | 0,27 | 0,38 | 0,42 | 0,40 |
| Słoma żytnia – Rye straw | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,27 | 0,29 | 0,29 | 0,34 | 0,38 | 0,36 |
| Żyto – Rye | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,23 | 0,26 | 0,25 | 0,33 | 0,36 | 0,34 |
| Wyka ozima – Winter vetch | 0,19 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,23 | 0,21 | 0,35 | 0,38 | 0,36 |
| Średnio – Mean | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,26 | 0,28 | 0,27 | 0,36 | 0,39 | 0,38 |
| NIR – LSD (p = 0,05) | | | | | | | | | |
| Wapnowanie gleby – Soil liming | | n.i. – n.s. | | | 0,02 | | | 0,01 | |
| Nawożenie organiczne Organic fertilization | | 0,02 | | | 0,02 | | | n.i. – n.s. | |
| Wapnowanie × nawożenie organiczne Soil liming × organic fertilization | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | |

*W – gleba wapnowana – limed soil;

**NW – gleba niewapnowana – not limed soil

Tabela 3. Wskaźnik rozpuszczalności ołowiu (%)
Table 3. The lead solubility rate (%)

| Nawożenie organiczne Organic fertilization | Rok po nawożeniu i wapnowaniu – Year after fertilization and liming soil | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------|-----------------|------|-------------|-----------------|------|-------------|-----------------|----|------|-----------------|
| | I | | | II | | | III | | | | | |
| | W* | NW** | Średnio Mean | W* | NW** | Średnio Mean | W* | NW** | Średnio Mean | W* | NW** | Średnio Mean |
| Kontrola – Control | 0,28 | 0,27 | 0,28 | 0,42 | 0,43 | 0,43 | 0,54 | 0,56 | 0,55 | | | |
| Obornik – Farmyard manure | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,37 | 0,38 | 0,38 | 0,51 | 0,57 | 0,54 | | | |
| Słoma żytnia – Rye straw | 0,23 | 0,25 | 0,24 | 0,37 | 0,39 | 0,38 | 0,47 | 0,53 | 0,50 | | | |
| Żyto – Rye | 0,25 | 0,26 | 0,26 | 0,32 | 0,35 | 0,34 | 0,46 | 0,47 | 0,47 | | | |
| Wyka ozima – Winter vetch | 0,26 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,31 | 0,29 | 0,49 | 0,51 | 0,50 | | | |
| Średnio – Mean | 0,25 | 0,26 | 0,26 | 0,35 | 0,37 | 0,36 | 0,49 | 0,53 | 0,51 | | | |
| NIR – LSD (p = 0,05) | | | | | | | | | | | | |
| Wapnowanie gleby – Soil liming | | 0,01 | | | n.i. – n.s. | | | 0,02 | | | | |
| Nawożenie organiczne Organic fertilization | | 0,02 | | | 0,06 | | | 0,05 | | | | |
| Wapnowanie × nawożenie organiczne Soil liming × organic fertilization | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | | | | |

*W – gleba wapnowana – limed soil;
**NW – gleba niewapnowana – not limed soil

Tabela 4. Zawartość ołowiu w warzywach (mg Pb·kg⁻¹ s.m.)
Table 4. The lead content in vegetables (mg Pb·kg⁻¹ d.m.)

| Nawożenie organiczne Organic fertilization | Kapusta głowiasta biała White headed cabbage | | | Burak ćwikłowy Red beet | | | Sałata krucha Crisp lettuce | | |
|--|---|------------|-----------------|----------------------------|------------|-----------------|--------------------------------|------------|-----------------|
| | W* | NW** | Średnio Mean | W* | NW** | Średnio Mean | W* | NW** | Średnio Mean |
| Kontrola – Control | 5,29 | 5,71 | 5,50 | 2,49 | 2,45 | 2,47 | 5,52 | 5,74 | 5,63 |
| Obornik – Farmyard manure | 4,12 | 4,37 | 4,25 | 2,36 | 2,46 | 2,41 | 5,07 | 5,49 | 5,28 |
| Słoma żytnia – Rye straw | 4,34 | 4,59 | 4,47 | 2,24 | 2,31 | 2,28 | 5,51 | 5,37 | 5,44 |
| Żyto – Rye | 4,04 | 4,44 | 4,24 | 2,23 | 2,28 | 2,26 | 4,99 | 5,07 | 5,03 |
| Wyka ozima – Winter vetch | 4,54 | 4,31 | 4,43 | 2,28 | 2,28 | 2,28 | 5,19 | 5,24 | 5,22 |
| Średnio – Mean | 4,47 | 4,69 | 4,58 | 2,32 | 2,36 | 2,34 | 5,26 | 5,38 | 5,32 |
| NIR – LSD (p = 0,05) | | | | | | | | | |
| Wapnowanie gleby Soil liming | | n.i – n.s. | | | n.i – n.s. | | | n.i – n.s. | |
| Nawożenie organiczne Organic fertilization | | 0,62 | | | 0,13 | | | n.i – n.s. | |
| Wapnowanie × nawożenie organiczne – Soil liming × organic fertilization | | n.i – n.s. | | | n.i – n.s. | | | n.i – n.s. | |

*W – gleba wapnowana – limed soil;

**NW – gleba niewapnowana – not limed soil

Tabela 5. Wskaźnik akumulacji ołowiu w warzywach
Table 5. The cumulation lead rate in vegetables

| Nawożenie organiczne Organic fertilization | Kapusta głowiasta biała White headed cabbage | | | Burak ćwikłowy Red beet | | | Sałata krucha Crisp lettuce | | |
|--|---|-------------|-----------------|----------------------------|-------------|-----------------|--------------------------------|-------------|-----------------|
| | *W | **NW | Średnio Mean | *W | **NW | Średnio Mean | *W | **NW | Średnio Mean |
| Kontrola – Control | 0,070 | 0,074 | 0,072 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,074 | 0,075 | 0,075 |
| Obornik – Farmyard manure | 0,055 | 0,058 | 0,057 | 0,032 | 0,033 | 0,033 | 0,068 | 0,074 | 0,071 |
| Słoma żytnia – Rye straw | 0,056 | 0,059 | 0,058 | 0,030 | 0,031 | 0,031 | 0,076 | 0,075 | 0,076 |
| Żyto – Rye | 0,053 | 0,060 | 0,057 | 0,031 | 0,031 | 0,031 | 0,069 | 0,067 | 0,068 |
| Wyka ozima – Winter vetch | 0,061 | 0,056 | 0,059 | 0,031 | 0,031 | 0,031 | 0,073 | 0,070 | 0,072 |
| Średnio – Mean | 0,059 | 0,061 | 0,060 | 0,031 | 0,032 | 0,032 | 0,072 | 0,072 | 0,072 |
| NIR – LSD (p = 0,05) | | | | | | | | | |
| Wapnowanie gleby Soil liming | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | |
| Nawożenie organiczne Organic fertilization | | 0,008 | | | 0,002 | | | n.i. – n.s. | |
| Wapnowanie x nawożenie organiczne Soil liming x organic fertilization | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | | | n.i. – n.s. | |

*W – gleba wapnowana – limed soil;

**NW – gleba niewapnowana – not limed soil

Nawozy organiczne, z wyjątkiem wyki, w pierwszym roku po ich przyoraniu, przyczyniły się do istotnego obniżenia zawartości Pb rozpuszczalnego w glebie w porównaniu do kontroli nienawożonej organicznie (tab. 2). Najkorzystniej na obniżenie zawartości ołowiu rozpuszczalnego w glebie wpłynęło nawożenie słomą żytnią oraz obornikiem.

W drugim roku po nawożeniu wszystkie zastosowane nawozy organiczne obniżyły w sposób istotny ilość ołowiu rozpuszczalnego w glebie w porównaniu do kontroli nienawożonej organicznie (tab. 2). Najniższą zawartością ołowiu rozpuszczalnego charakteryzowała się gleba nawożona nawozem zielonym z wyki ozimej ($0,21 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ s.m.). W trzecim roku po nawożeniu organicznym nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia organicznego na zawartość ołowiu rozpuszczalnego w glebie.

W pierwszym roku po zastosowaniu nie stwierdzono istotnego wpływu wapnowania na zawartość ołowiu rozpuszczalnego, natomiast w drugim i trzecim roku gleba wapnowana charakteryzowała się istotnie niższą zawartością ołowiu od gleby niewapnowanej (tab. 2).

W kolejnych latach badań nie stwierdzono istotnego wpływu współdziałania wapnowania i nawożenia organicznego na zawartość ołowiu rozpuszczalnego w glebie.

W pierwszym roku po wapnowaniu i nawożeniu organicznym ołów przyswajalny stanowił średnio 0,26% całkowitej zawartości ołowiu w glebie. Wapnowanie gleby wpłynęło istotnie na obniżenie wskaźnika rozpuszczalności ołowiu (tab. 3). Wskaźnik rozpuszczalności ołowiu dla gleby nienawożonej nawozami organicznymi był istotnie wyższy od stwierdzonego dla gleby nawożonej obornikiem, słomą żytnią oraz żytem.

W drugim roku po nawożeniu i wapnowaniu wskaźnik rozpuszczalności ołowiu wyniósł średnio 0,36%, a w trzecim 0,51% (tab. 3). Istotny wpływ wapnowania gleby na jego obniżenie zaobserwowano w trzecim roku po zastosowaniu nawozu wapniowego w ilości $1,5 \text{ t ha}^{-1}$. W drugim roku po nawożeniu organicznym istotnie niższym wskaźnikiem rozpuszczalności, w porównaniu do kontroli nienawożonej organicznie, charakteryzowała się gleba nawożona wyką ozimą i żytem.

W trzecim roku po nawożeniu organicznym i wapnowaniu istotnie niższy wskaźnik rozpuszczalności w odniesieniu do kontroli nienawożonej organicznie notowano na kombinacjach nawożonych żytem, słomą żytnią i wyką ozimą (tab. 3).

Wpływ nawożenia organicznego i wapnowania na zawartość ołowiu rozpuszczalnego w warzywach. Najwyższą zawartością ołowiu ($5,50 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ s.m.) charakteryzowała się kapusta na kontroli bez nawożenia organicznego (tab. 4). Wszystkie zastosowane w doświadczeniu nawozy organiczne przyczyniły się istotnie do obniżenia zawartości ołowiu w kapuście. Najniższą jego zawartością charakteryzowała się kapusta uprawiana po oborniku ($4,25 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ s.m.) oraz nawozie zielonym z żyta ($4,24 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ s.m.).

Nawożenie organiczne miało istotny następczy wpływ na zawartość ołowiu w burakach ćwikłowych. Najwyższą jego zawartością charakteryzowały się buraki uprawiane bez nawożenia organicznego oraz po oborniku. Pozostałe zastosowane nawozy organiczne (słoma żytnia, żyto ozime i wyka ozima) również wpłynęły istotnie na obniżenie ilości ołowiu zgromadzonego w burakach ćwikłowych w porównaniu do kontroli.

W trzecim roku po nawożeniu nie stwierdzono istotnego wpływu tego czynnika na gromadzenie ołowiu przez sałatę kruchą.

Wapnowanie gleby nie miało istotnego wpływu na zawartość ołowiu w badanych warzywach.

Wskaźnik akumulacji ołowiu dla kapusty wyniósł średnio 0,060, dla buraków 0,032, a dla sałaty 0,072 (tab. 5). Wyliczone wartości świadczą o różnej zdolności tych gatunków do akumulacji ołowiu. Najwyższy wskaźnik akumulacji ołowiu (0,072) obliczono dla kapusty uprawianej bez nawożenia organicznego, natomiast istotnie niższy dla uprawianej na glebie nawożonej wszystkimi badanymi nawozami organicznymi. Najniższy wskaźnik stwierdzono dla kapusty nawożonej obornikiem i żytem (dla obu – 0,057).

Najwyższym wskaźnikiem akumulacji charakteryzowały się buraki nienawożone organicznie oraz nawożone obornikiem (w obu przypadkach – 0,033). Istotnie niższą wartość tego wskaźnika obliczono dla buraków uprawianych w drugim roku po nawożeniu słomą żytnią, żytem i wyką ozimą.

Wapnowanie gleby oraz współdziałanie badanych w doświadczeniu czynników nie miało istotnego wpływu na wysokość wskaźnika akumulacji ołowiu przez kapustę, buraki i sałatę.

Analiza współczynników korelacji. W pierwszym roku po nawożeniu i wapnowaniu stwierdzono istotną ujemną zależność między zawartością w glebie ołowiu rozpuszczalnego, a zawartością C-organicznego i pH gleby oraz istotną dodatnią zależność między zawartością ołowiu rozpuszczalnego, a całkowitą zawartością ołowiu w glebie.

W drugim roku po nawożeniu organicznym i wapnowaniu zawartość ołowiu rozpuszczalnego w sposób istotny ujemnie korelowała z zawartością C-organicznego i pH gleby, natomiast w trzecim roku po nawożeniu i wapnowaniu gleby podobnej zależności nie stwierdzono. Zarówno w drugim, jak i w trzecim roku po nawożeniu i wapnowaniu ilość ołowiu rozpuszczalnego w glebie była istotnie dodatnio skorelowana z całkowitą zawartością ołowiu w glebie (tab. 6).

Tabela 6. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością ołowiu w glebie i warzywach, a wybranymi właściwościami gleby (n = 90)

Table 6. Coefficient of correlation between lead content in soil and in vegetables and selected properties of the soil (n = 90)

| Parametry Parameter | Rok po nawożeniu i wapnowaniu – Year after fertilization and liming soil | | | | | |
|--|--|--------------------------------|---|--------------------------------|---|-------------------------------|
| | I | | II | | III | |
| | Pb rozpuszczalny w glebie Pb-soluble in soil | Pb w kapuście Pb in cabbage | Pb rozpuszczalny w glebie Pb-soluble in soil | Pb w burakach Pb in red bet | Pb rozpuszczalny w glebie Pb-soluble in soil | Pb w sałacie Pb in lattuce |
| C-organiczny w glebie C-organic in soil | -0,416** | -0,315** | -0,437** | -0,418** | -0,177 | -0,076 |
| PH gleby w H ₂ O Soil pH in H ₂ O | -0,268** | -0,282** | -0,320** | -0,218* | -0,0,95 | -0,083 |
| Pb-całkowity w glebie Pb-total in soil | +0,425** | +0,155 | +0,421** | +0,611** | +0,513** | +0,361** |
| Pb-rozpuszcz. w glebie Pb-souble in soil | x | +0,501** | x | +0,630** | x | +0,344** |

Istotny przy – significant at: $\alpha = 0,05^*$; $\alpha = 0,01^{**}$

Zawartość ołowiu w kapuście i burakach była w sposób istotny ujemnie skorelowana z zawartością węgla organicznego i pH gleby. Stwierdzono też, że zawartość ołowiu w kapuście, burakach i sałacie korelowała dodatnio z zawartością ołowiu rozpuszczalnego, a w burakach i sałacie z całkowitą zawartością ołowiu i zawartością ołowiu rozpuszczalnego w glebie (tab. 6).

DYSKUSJA

Nawożenie organiczne, szczególnie nawożenie obornikiem i słomą żytnią – w pierwszym oraz nawozami zielonymi z wyki i żyta – w drugim i trzecim roku po przyoraniu, obniżyło zawartość w glebie ołowiu rozpuszczalnego w porównaniu do zanotowanej w glebie nienawozonej nawozami organicznymi, o czym świadczą także wartości wskaźników rozpuszczalności ołowiu. Według Mocka i Owczarzaka [1993] materia organiczna jest głównym komponentem gleby wiążącym ołów. Również Baran i in. [1995] oraz Dziadowiec [1993] twierdzą, że zwiększona zawartość substancji organicznej w glebie ogranicza rozpuszczalność ołowiu.

Lityński i Jurkowska [1982] oraz Misztal i Ligęza [1995] podają, że ilość rozpuszczalnego ołowiu oraz procent rozpuszczalności jest tym większy, im gleba jest kwaśniejsza. Według Barana i in. [1998] wapnowanie gleby lekkiej węglanem wapnia jest skuteczną metodą ograniczenia rozpuszczalności metali ciężkich. Wpływ wapnowania gleby na obniżenie zawartości w niej ołowiu rozpuszczalnego widoczny był w drugim i trzecim roku po zastosowaniu nawozu wapniowego. Wskaźniki rozpuszczalności ołowiu były istotnie niższe w pierwszym i drugim roku po wapnowaniu gleby.

Zastosowane w doświadczeniu nawozy organiczne przyczyniły się do istotnego spadku zawartości ołowiu w kapuście oraz w burakach ćwikłowych. Baran i in. [1995] oraz Cieccko i in. [1995] twierdzą, że nawożenie organiczne przyczynia się do ograniczenia pobierania metali ciężkich przez rośliny. W doświadczeniu wykazano istotną, ujemną korelację między zawartością ołowiu w kapuście i w burakach a ilością w glebie materii organicznej i pH gleby. Gerritse i Van Driel [1994] są zdania, że substancja organiczna w glebie w decydujący sposób zmniejsza fitoprzywajalność metali ciężkich. Misztal i Ligęza [1995] podają, że wraz ze wzrostem pH gleby na ogół następuje ograniczenie pobierania ołowiu przez rośliny.

Średnie wskaźniki akumulacji ołowiu w uprawianych warzywach wahały się od 0,032 do 0,072. Wartość ta jest zgodna z podaną przez Allowaya i Ayresa [1999], którzy twierdzą, że wskaźnik akumulacji ołowiu w roślinach jest niski i kształtuje się w granicach od 0,01 do 0,1. Niski współczynnik przenikania ołowiu z gleby do roślin wskazuje na silną jego sorpcję w glebie i małą dostępność biologiczną dla roślin [Thronton i Timoty 1984].

Wyliczone współczynniki korelacji nie potwierdziły istotnej zależności między całkowitą zawartością ołowiu w glebie a zawartością w niej węgla organicznego. Podobne wyniki uzyskali Chodak i in. [1995]. Natomiast Kukier [1991] oraz Chojnicki i Czarnowska [1993] w swoich doświadczeniach wykazali istotną dodatnią zależność między całkowitą zawartością ołowiu a ilością materii organicznej w glebie.

Na podstawie rezultatów uzyskanych w doświadczeniu stwierdzono istotną ujemną zależność między zawartością w glebie ołowiu rozpuszczalnego a zawartością C-organicznego i pH gleby oraz istotną dodatnią zależność między zawartością ołowiu rozpuszczalnego a całkowitą zawartością ołowiu w glebie. Wyliczone współczynniki korelacji wskazują, że zawartość ołowiu w warzywach wzrasta wraz ze wzrostem zawartości rozpuszczalnego Pb w glebie. Podobną zależność stwierdzili Tyksiński i Wróblewicz [2000].

WNIOSKI

1. Nawożenie organiczne w pierwszym i drugim roku po jego zastosowaniu ma istotny wpływ na zawartość ołowiu rozpuszczalnego w glebie. W trzecim roku po nawożeniu organicznym jego oddziaływanie na zawartość ołowiu rozpuszczalnego nie jest już statystycznie istotne.

2. Wapnowanie gleby w drugim i trzecim roku po jego zastosowaniu obniża zawartość ołowiu rozpuszczalnego w glebie.

3. Nawożenie organiczne tylko w pierwszym i drugim roku po jego zastosowaniu wpływa istotnie na zawartość ołowiu w warzywach.

4. Zawartość ołowiu w warzywach wzrasta wraz ze wzrostem zawartości ołowiu rozpuszczalnego w glebie, natomiast maleje wraz ze wzrostem zawartości materii organicznej w glebie i pH gleby.

PIŚMIENNICTWO

- Alloway B. J., Ayres D. C., 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. PWN Warszawa.
- Baran S., Martyn W., Flis-Bujak M., Pietrasik W., 1995. Problemy rekultywacji gleb zanieczyszczonych przez metale ciężkie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 418, 698–702.
- Baran S., Martyn W., Bojarski J., 1998. Wpływ wermikompostu z osadu ściekowego i węgla wapnia na migrację metali ciężkich do łańcuch troficznego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 461, 111–120.
- Bartnicki J., Hrehoruk J., Olendrzyński K., 1994. Oszacowanie udziału Polski w atmosferycznym transporcie metali ciężkich na obszar Europy. Arch. Ochr. Środ. 3–4, 39–66.
- Buliński R., Błoniarczyk J., Moskwa R., 1987. Wpływ emisji Huty Szkła „Krosno” na zawartość niektórych pierwiastków śladowych w wybranych warzywach i owocach. Bromat. Chem. Toksykol. 20, 222.
- Chodak T., Szerszeń L., Kabała C., 1995. Metale ciężkie w glebach i warzywach (burakach ćwikłowych i marchwi) ogrodów działkowych Wrocławia. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 418, 291–297.
- Chojnicki J., Czarnowska K., 1993. Zmiany zawartości fosforu ogółem i rozpuszczalnego Zn, Cu, Pb i Cd w glebach intensywnie użytkowanych rolniczo. Roczn. Gleboz. XLIV, 3–4, 99–111.
- Ciećko Z., Wyszowski M., Żołnowski A., 1995. Ocena wpływu kory drzewnej i torfu oraz wapnowania na pobieranie kadmu przez owies i kukurydzę. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 418, 603–609.

- Czarnowska K., Gworek B., 1994. Pierwiastki śladowe w warzywach liściowych i owocach z ogrodów działkowych dzielnicy Warszawa-Mokotów. Roczn. Glebozn. XLV 1/2, 37–43.
- Czernych N. A., Owczarenko M. M., Popowiczewa Ł. Ł., Czernych I. N., 1995. Prijemny sniżenia fitotoksyczności tęższych metali. Agrohimiya 9, 101–107.
- Dziadowiec H., 1993. Ekologiczna rola próchnicy glebowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 411, 269–282.
- Gerritse R. C., Van Driel W., 1994. The relationship between of trace metals, organic matter and pH in temperate soil. J. Environ. Annal. 13/2, 197–204.
- Gołowatyj S. E., Żigariw P. E., Pankrutszkaja Ł. J., 2000. Postupienie kadmia w sielskociazaj-stwiennyje. Agrohimiya 1, 81–85.
- Hławiczka S., 1998. Ocena emisji metali ciężkich do powietrza z obszaru Polski. Cz. II. Emisje w latach 1980–1995. Arch. Ochr. Środ. 24/4, 91–108.
- Hutton M., Symon C., 1986. The Quantities of Cadmium, Lead, Mercury and Arsenic Entering the U.K. Environment from Human Activities. Sci. Total Environ. 57, 409–419.
- Kukier U., 1991. Metale ciężkie w atmosferze i glebach Lublina. Arch. Ochr. Środ. 2, 117–138.
- Lityński T., Jurkowska H., 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN Warszawa.
- Misztal M., Ligęza S., 1995. Wpływ odczynu, wilgotności i czasu inkubacji na rozpuszczalność metali ciężkich w glebie zanieczyszczonej przez hutę cynku. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 418, 466–472.
- Mocek A., Owczarek W., 1993. Wiązanie Cu, Pb, Zn przez próchnicę w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 411, 293–298.
- Nriagu J., 1989. Natural versus anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. [w:] Pacyna J., Ottar B. (red.): Control and Fate of Atmospheric Trace Metals. Kluwer Publ. Dordrecht., 3–13.
- Pacyna J., Münch J., 1988. Atmospheric emissions of arsenic, cadmium, mercury and zinc in Europe in 1982. Norwegian Inst. for Air Research 17.
- Thorton I., Timothy H. J., 1984. Sources of Lead Associated Metals in Vegetables Grown in British Urban Soils: uptake from the soil versus air deposition. [w:] Hemphill D.D. (red.): Trace Substances in Environmental Health-XVIII, University of Missouri, 303–310.
- Tyksiński W., Wróblewicz A., 2000. Zawartość kadmu i ołowiu w podłożach i częściach jadalnych warzyw pochodzących z upraw produkcyjnych. Mat. Konf. „Efektywność stosowania nawozów w uprawach ogrodnictwa”. SGGW Warszawa, 131–133.
- Zommer-Urbańska S., Topolewski P., Kuczyńska I., Wojciech P., 1989. Badania zawartości fluoru i ołowiu w wybranych warzywach i owocach uprawianych w zasięgu emisji tych pierwiastków przez Hutę Szkła Gospodarczego „Irena” w Inowrocławiu. Roczn. PZH XL, 3, 208–214.

ORGANIC FERTILIZATION AND LIMING OF SOIL VERSUS LEAD CONTENT IN VEGETABLES

Abstract: The effect of organic fertilization and liming of soil on lead content in soil and in the white cabbage grown in the first year after fertilization was studied. The following organic fertilizers were used: farmyard manure at the dose 60 t ha⁻¹, rye straw at the dose of 4 t ha⁻¹, and rye and winter vetch cultivated for green fertilizer as winter intercrops. The soil was limed with the normal calcium carbonate fertilizer at the dose of 1,5 t CaO·ha⁻¹.

In the first year after organic fertilization lowering of soil content of lead dissolvable in ammonium acetate (pH 7,3), assumed available for the plants, was obtained with the use of fertilization with straw, farmyard manure, and rye.

The greatest lowering of lead content in cabbage was obtained with fertilization with farmyard manure and winter rye. The liming of soil, in the first year after use, did not have an essential influence on the quantity of dissolvable lead in soil and its contents in cabbage.

The successive effect of organic fertilization on the content of lead dissolvable in soil and in vegetables was found only in the second year following its application. The most beneficial effect on lowering dissolvable lead content in soil and red beet was exercised by fertilization with winter vetch and rye.

The liming of soil did not have an essential influence on the content of lead in vegetables.

Key words: heavy metals, lead, organic fertilization, soil liming, vegetables, white headed cabbage, red beet, crisp lettuce

Romualda Jabłońska-Ceglarek, Anna Zaniewicz-Bajkowska, Robert Rosa, Jolanta Franczuk, Katedra Warzywnictwa, Akademia Podlaska w Siedlcach, ul. Bolesława Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail rjablon@ap.siedlce.pl