

WPLYW NAWOŻENIA NA WYMYWANIE WYBRANYCH SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH ROŚLIN W DOŚWIADCZENIU WAZONOWYM

Krzysztof Gonddek, Michał Kopeć

Katedra Chemii Rolnej, Uniwersytet Rolniczy
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: rrgonddek@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie. Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zastosowanego nawożenia mineralnego, odpadem po produkcji siarczanu magnezu oraz wapnowania na zawartość wybranych makroskładników w odciekach glebowych. Spośród badanych pierwiastków w największych ilościach wymywany z gleby był azot i wapń. Zastosowane nawożenie i wapnowanie istotnie zwiększyło zawartość obu pierwiastków w odciekach glebowych, natomiast nie spowodowało istotnych zmian w zawartości fosforu. Zawartość potasu w wodzie odciekającej z gleby obiektów nawożonych była istotnie większa od zawartości tego pierwiastka w wodzie odciekającej z gleby nienawożonej, niezależnie od zastosowanego wapnowania. Największą zawartość magnezu, podobnie jak siarki, oznaczono w odciekach glebowych z obiektów, w których zastosowano odpad po produkcji siarczanu magnezu. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że wprowadzenie do gleby siarki z nawozem mineralnym, jak również z odpadem po produkcji siarczanu magnezu może istotnie zwiększać zawartość tego pierwiastka w odciekach glebowych. W warunkach przeprowadzonych badań największe zagrożenie zanieczyszczenia wód pierwiastkami w wyniku ich wymywania dotyczy azotu. W ocenie wód powierzchniowych zawartości pozostałych wymywanych pierwiastków mają drugorzędne znaczenie.

Słowa kluczowe: nawożenie, wapnowanie, wymywanie, makroelementy, doświadczenie wazonowe

WSTĘP

Zrównoważone gospodarowanie składnikami nawozowymi w rolnictwie ma nie tylko znaczenie ekologiczne, ale również ekonomiczne. Odpływ składników biogenych z terenów rolniczych do wód jest kształtowany przez wiele czynników, spośród których najważniejsze to ilość opadów, fizjografia terenu, związłość i żyzność gleby oraz sposób gospodarowania (Power 1987, Lucey i Goolsby 1993, Randall i Mulla 2001, Dinner i in. 2002, Krzanowski i Wałęga 2007). Stosowanie składników nawo-

zowych w dawkach przewyższających wymagania pokarmowe roślin może doprowadzić do zmian równowagi jonowej roztworu glebowego i spowodować przemieszczenie składnika do wód podziemnych. Wielkość strat składników biogennych może być bardzo różna, co warunkowane jest również chemizmem każdego pierwiastka.

Sezonowa zmienność jakości wód jest między innymi wynikiem przemian zachodzących w glebie. Zwiększenie poziomu nawożenia i uproszczenia w agrotechnice mogą prowadzić do nierównomiernego wykorzystania składników mineralnych, a w efekcie do zanieczyszczenia nimi wód. Określenie strat składników biogennych z gleby na drodze wymywania jest nie tylko istotne dla zapewnienia optymalnego poziomu składników dla roślin, ale może być istotnym czynnikiem obciążającym środowisko naturalne, a szczególnie zasoby wodne. Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zastosowanego nawożenia mineralnego, odpadem po produkcji siarczanu magnezu oraz wapnowania na zawartość wybranych makroskładników w odciekach glebowych.

MATERIAŁ I METODY

Ocenę ilości wymywanych pierwiastków z gleby w wyniku zastosowanego nawożenia przeprowadzono w warunkach hali vegetacyjnej w wazonach wyposażonych w system do odprowadzania odcieków. Do badań użyto materiał glebowy (glinę średnią pylastą zawierającą 44% frakcji granulometrycznej o średnicy $> 0,02$ mm) pobrany z warstwy 0-30 cm użytku ornego. Charakterystykę wybranych właściwości chemicznych materiału glebowego podano w tabeli 1. Badania prowadzono w 3 letnim okresie (2004-2006), w wazonach z tworzywa sztucznego o średnicy 28 cm i wysokości 38 cm, mieszczących 22 kg powietrznie suchego materiału glebowego. Doświadczenie obejmowało 4 obiekty w trzech powtórzeniach i dwóch seriach (0 Ca i + Ca): gleba bez nawożenia – (0), gleba nawożona azotem, fosforem i potasem – (NPK), gleba nawożona azotem, fosforem, potasem i siarką – (NPKS), gleba nawożona azotem, fosforem, potasem oraz odpadem po produkcji siarczanu magnezu – (NPK,,O”).

Przed założeniem doświadczenia glebę stopniowo nawilżano doprowadzając ją do wilgotności 30% maksymalnej pojemności wodnej. Po tym okresie część materiału glebowego poddano wapnowaniu, w celu podwyższenia pH, w każdym lizymetrze oddzielnie. Zabieg ten przeprowadzono przy użyciu czystego chemicznie CaO ustalając dawkę na podstawie kwasowości hydrolitycznej gleby. Następnie materiał glebowy niezwapnowany i zwapnowany pozostawiono na 4 tygodnie, uzupełniając okresowo straty wody. Po tym okresie wprowadzono nawożenie mineralne oraz odpad po produkcji siarczanu magnezu, jako źródło siarki i wymieszano je z glebą. Charakterystykę składu chemicznego odpadu przedstawiono w tabeli 1. Dawka azotu wynosiła 0,14 g N, fosforu 0,10 g P, potasu 0,15 g K, a siarki 0,04 g S·kg⁻¹ s. m. gleby. Nawo-

żenie zastosowano w formie roztworów czystych chemicznie soli, odpowiednio: N – NH_4NO_3 , P – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, K – KCl, S – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Tabela 1. Wybrane właściwości chemiczne gleby i odpadu użytego w doświadczeniu
Table 1. Selected chemical properties of soil and waste used in experiment

Oznaczenie Determination	Gleba Soil	Oznaczenie Determination	Odpad Waste
pH H_2O	6,33	pH H_2O	9,53
pH KCl	5,70	Sucha masa Dry matter ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	630
Hh ($\text{mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	23,9	Popiół Ash ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	726
Material organiczna Organic matter ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	58,9	Formy ogólne Total forms ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	
N ogólny – Total N ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	1,60	N	0,09
S ogólna – Total S ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	0,28	P	0,35
P przyswajalny P available ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	48,6	K	0,28
K przyswajalny K available ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	158,8	S	67,1
Mg przyswajalny Mg available ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	129,1	Mg	9,28
Ca wymienny Ca exchangeable ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	2,44	Ca	1,68

Rośliną uprawianą w każdym roku doświadczenia była pszenica jara odmiany „Nawra”. Obsada roślin w lizymetrze wynosiła 28 sztuk. Nawożenie uzupełniające w roku drugim i trzecim stosowano w formie roztworów czystych chemicznie soli: azot w formie NH_4NO_3 ; fosfor w formie $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ oraz potas w formie KCl. Uzupełniające dawki składników nawozowych, oprócz siarki w obu latach były jednakowe i wynosiły: 0,10 g N; 0,02 g P oraz 0,14 g $\text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby. Ze względu na możliwy efekt następczego działania nawozowego składników zawartych w badanym odpadzie zaniechano uzupełniającego nawożenia siarką.

Pszenicę zbierano zawsze w fazie dojrzałości pełnej ziarna. Długość okresu wegetacji roślin wynosiła: w pierwszym roku 109 dni; w drugim 104 dni, a w trzecim roku 96 dni. Podczas trwania eksperymentu rośliny podlewano wodą destylowaną do 50% maksymalnej pojemności wodnej gleby.

W okresie wegetacji, w odstępach 30-dniowych, przemyto wodą destylowaną bryłę glebową w lizymetrze, symulując opad w wysokości 36 mm. Uzyskane przesącze glebowe zbierano z każdego przemycia i przechowywano w temperaturze 4°C.

W uzyskanych przesączach, neutrowalonych oznaczono pH – potencjometrycznie, przewodność elektrolityczną (EC) – konduktometrycznie oraz zawartość azotu ogólnego na analizatorze TOC – TN 1200 firmy Thermo. W materiale utrwalonym, po odparowaniu odcieku i rozтворzeniu pozostałości w rozcieńczonym kwasie azotowym 1:2 (v/v) oznaczono zawartość fosforu kolorymetrycznie na aparacie Beckman DU640, potasu i wapnia metodą fotometrii płomieniowej (FES), magnezu metodą absorpcji atomowej (AAS) na aparacie Philips 9100X oraz zawartość siarki metodą ICP-AES na aparacie JY 238 Ultrace.

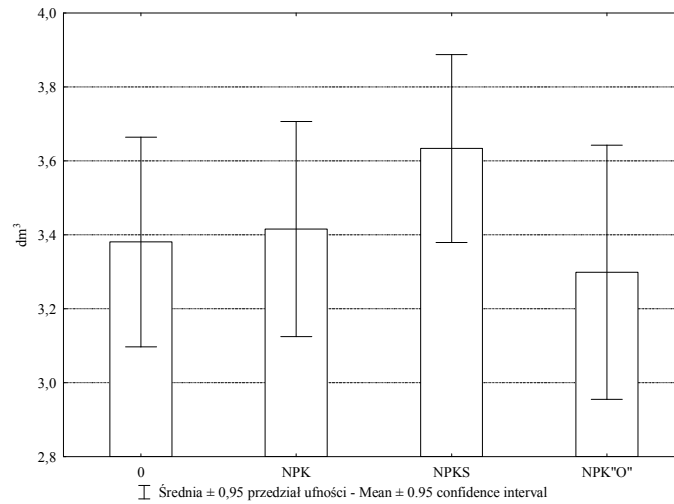
Analizy odcieków glebowych prowadzono w trzech powtórzeniach, a wynik uznawano za wiarygodny, jeżeli względny błąd oznaczenia nie przekraczał 5%.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie według modelu stałego gdzie czynnikiem było nawożenie i wapnowanie. W obliczeniach statystycznych uwzględniono analizę wariancji dwuczynnikową, a istotność różnic oszacowano przy pomocy testu Tukeya, przy poziomie istotności $p < 0,05$ (Stanisz 1989). Dla scharakteryzowania zmian zawartości badanych pierwiastków w odciekach glebowych pomiędzy poszczególnymi latami badań obliczono odchylenie standardowe (SD) oraz współczynnik zmienności (V%).

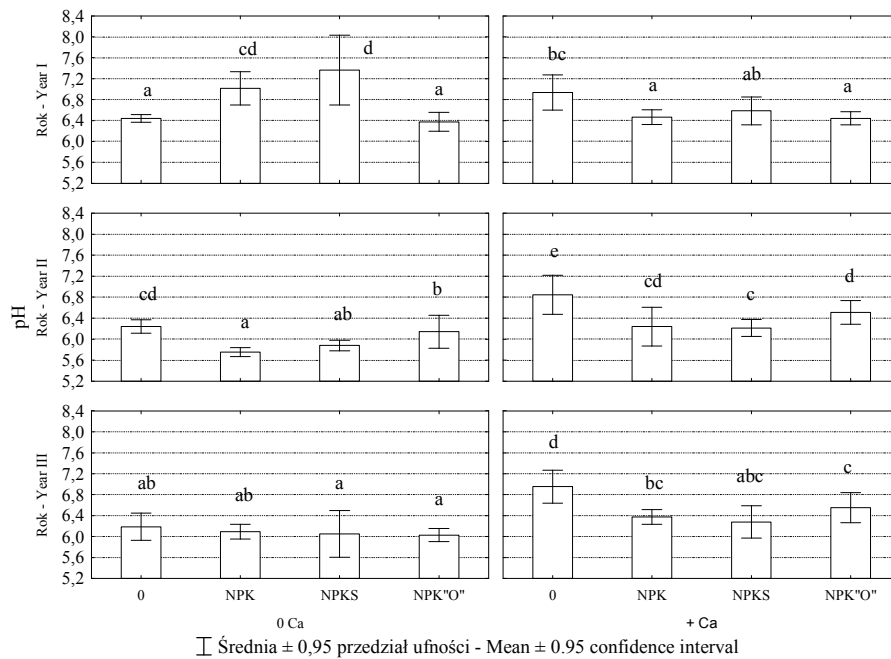
WYNIKI I DYSKUSJA

Ilości odcieków glebowych uzyskane w poszczególnych obiektach były zróżnicowane (rys. 1). Niezależnie od roku badań i serii najwięcej odcieków glebowych uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano nawożenie azotem, fosforem i potasem (NPK), jak również siarką (NPKS), najmniej zaś w obiekcie, w którym na tle nawożenia czystymi chemicznie solami mineralnymi azotu, fosforu i potasu zastosowano odpad po produkcji siarczanu magnezu (NPK,,O”).

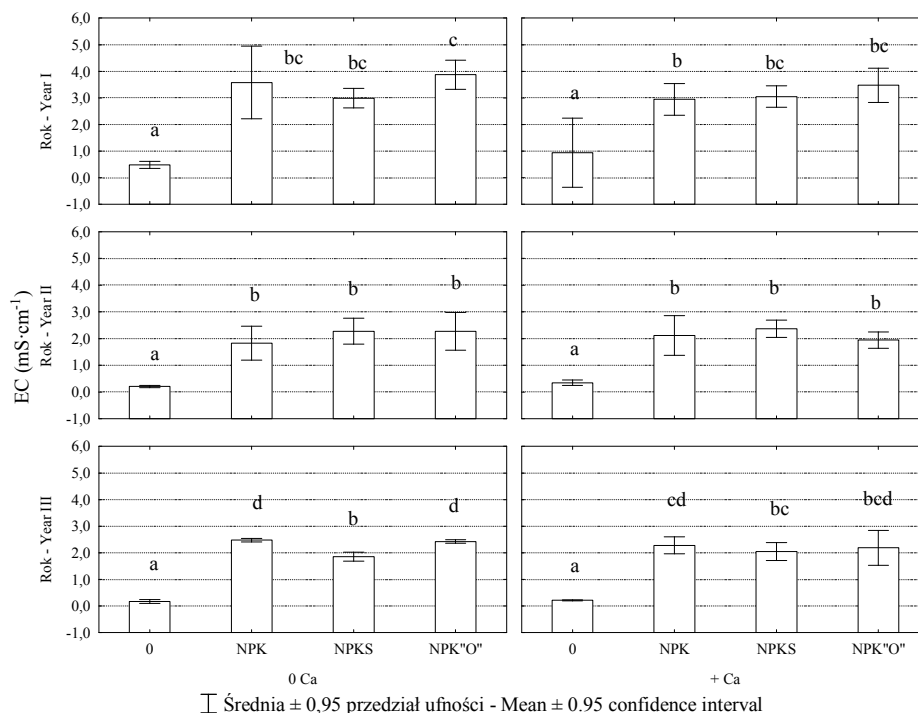
Wartości pH odcieków glebowych, po pierwszym roku badań, w obiektach (NPK) i (NPKS) były większe w serii niewapnowanej (0 Ca) w porównaniu do wartości pH oznaczonego w odciekach glebowych z obiektów nienawożonego (0) i nawożonego odpadem po produkcji siarczanu magnezu na tle nawożenia mineralnego (NPK,,O”) (rys. 2). Większe wartości pH odcieków glebowych z obiektów nawożonych (NPK) oraz (NPKS) wynikały ze znacznie większej w nich zawartości



Rys. 1. Ilość odcieków glebowych (średnia z serii i lat)
Fig. 1. Quantity of soil effluents (mean from series and years)



Rys. 2. Odczyn (pH) odcieków glebowych. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $p < 0,05$ według testu Tukeya
Fig. 2. Reaction (pH) of soil effluents. Means followed by the same letters do not differ significantly at $p < 0.05$ according to the Tukey test



Rys. 3. Wartość przewodności elektrolitycznej (EC) odcieków glebowych. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $p < 0,05$ według testu Tukeya

Fig. 3. Value of electrolytic conductivity (EC) of soil effluents. Means followed by the same letters do not differ significantly at $p < 0.05$ according to the Tukey test

wapnia i magnezu, głównie po pierwszym roku badań. Istotnie mniejsze wartości pH odcieków glebowych w dwóch kolejnych latach badań, niezależnie od zastosowanego nawożenia stwierdzono w obiektach z serii niewapnowanej (0 Ca).

W porównaniu do odcieków glebowych z obiektów nienawożonych, wartości przewodności elektrolitycznej odcieków z obiektów nawożonych były istotnie większe, niezależnie od serii doświadczenia i roku badań (rys. 3). W porównaniu do pierwszego roku badań w drugim i trzecim roku wartość przewodności elektrolitycznej odcieków z obiektów nawożonych zmniejszyła się.

Zawartość azotu ogólnego w badanych odciekach glebowych była najmniejsza w obiektach nienawożonych (0) – tabela 2, gdzie głównym źródłem tego składnika był azot pochodzący z mineralizacji glebowej materii organicznej (Pondel i in. 1991). Zastosowane nawożenie niezależnie od serii doświadczenia istotnie zwiększyło zawartość azotu ogólnego w odciekach glebowych. Oprócz nawożenia mineralnego

istotny wpływ na zawartość tego pierwiastka w odciekach miało wapnowanie, które zwiększyło ilości azotu wymywanego z gleby. Wyliczone wartości współczynnika zmienności charakteryzujące zróżnicowanie wymycia tego składnika w poszczególnych latach były stosunkowo małe i na ogół porównywalne pomiędzy obiektami z obu serii. Koncentracja azotu w odciekach glebowych zależy od poziomu nawożenia i rodzaju gleby (Pondel i in. 1991). Stosunkowo duża mobilność mineralnych form tego pierwiastka w glebie w warunkach ograniczonego pobrania przez rośliny, bądź zbyt duże dawki nawozów mogą spowodować znaczną jego migrację do wód podziemnych zwłaszcza na glebach lekkich. Pondel i in. (1991) oraz Koc i in. (1999) twierdzą, że intensyfikacja nawożenia może powodować zwiększenie koncentracji azotu, ale nie musi warunkować zwiększenia wymycia tego składnika z gleby. Cytowani autorzy, jak również Oquist i in. (2007) oraz Randall i Irigavarapu (1995), uzależniają wymycie azotu z gleby od plonu roślin.

Zastosowane nawożenie oraz wapnowanie nie różnicowało istotnie zawartości fosforu w odciekach glebowych (tab. 2). Oznaczone zawartości tego składnika w wodzie odciekającej z gleby poszczególnych obiektów nawożonych, niezależnie od serii były mniejsze niż oznaczone w obiektach nienawożonych (0). Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w wynikach badań Kopcia i in. (1991), w których stwierdzono, że straty fosforu na drodze wymywania są niewielkie i w niewielkim stopniu zależą od nawożenia, ten pogląd nie do końca podzielają Bergström i Kirchmann (2006). Na podstawie wyliczonych wartości współczynnika zmienności (V%) stwierdzono znacznie większe zróżnicowanie zawartości fosforu w odciekach glebowych z poszczególnych lat w obiektach nienawożonych (0) w porównaniu do obiektów nawożonych.

Potas, oprócz fosforu był pierwiastkiem wymywanym w stosunkowo małych ilościach z gleby (tab. 2). Zastosowane nawożenie, jak również wapnowanie, nie spowodowało istotnych zmian w zawartości tego składnika w odciekach glebowych. Zawartość potasu w wodzie odciekającej z lizymetrów charakteryzowała się również stosunkowo małym zróżnicowaniem pomiędzy latami badań. O wymyciu potasu z gleby w znacznym stopniu decydują właściwości sorpcyjne gleby. Jak stwierdził Pondel i in. (1991) oraz Koc i in. (1999) znacznie większe straty potasu dotyczą gleb lekkich. Zwiększone nawożenie tym pierwiastkiem tylko w ograniczonym zakresie różnicuje zawartość tego składnika w odciekach glebowych. W przeprowadzonych badaniach własnych zastosowane nawożenie potasem wyraźnie zwiększyło jego wymycie, niemniej brak istotnego zróżnicowania pomiędzy poszczególnymi obiektami był spowodowany zastosowaniem zrównoważonych dawek tego składnika.

Tabela 2. Średnia ważona zawartość makroelementów w odciekach glebowych
Table 2. Average weighted content of macroelements in soil effluents

Obiekty Objects	0 Ca			+ Ca				
	mg·dm ⁻³ (± SE)		SD	V%	mg·dm ⁻³ (± SE)		SD	V%
N								
0	17 a	± 0,9	2,8	17	26 a	± 1,2	3,5	14
NPK	174 b	± 16,2	48,7	28	285 c	± 26,6	79,7	28
NPKS	206 b	± 14,1	42,4	21	248 c	± 24,2	72,5	29
NPK _{„O”}	246 c	± 24,0	72,1	29	266 c	± 30,0	89,9	34
P								
0	1,30 a	± 0,26	0,78	60	1,11 a	± 0,12	0,36	32
NPK	1,12 a	± 0,16	0,49	44	1,02 a	± 0,14	0,42	42
NPKS	1,19 a	± 0,12	0,35	30	1,03 a	± 0,12	0,37	36
NPK _{„O”}	1,03 a	± 0,16	0,48	47	1,05 a	± 0,15	0,44	42
K								
0	2,75 a	± 0,21	0,62	22	2,85 a	± 0,32	0,95	33
NPK	6,60 b	± 0,42	1,25	19	6,45 b	± 0,51	1,53	24
NPKS	6,43 b	± 0,43	1,29	20	6,78 b	± 0,54	1,62	24
NPK _{„O”}	6,87 b	± 0,57	1,71	25	6,26 b	± 0,54	1,63	26
Ca								
0	32 a	± 4,9	14,7	46	50 b	± 8,3	25,0	50
NPK	194 cd	± 24,5	73,6	38	236 e	± 17,6	52,7	22
NPKS	185 c	± 10,2	30,5	17	224 e	± 12,0	36,1	16
NPK _{„O”}	279 f	± 7,9	23,8	9	205 d	± 16,2	48,6	24
Mg								
0	4,5 a	± 0,1	0,4	10	5,6 a	± 0,6	1,8	32
NPK	34,5 c	± 2,8	8,3	24	29,8 b	± 1,0	2,9	10
NPKS	31,6 bc	± 2,7	8,0	25	29,5 b	± 2,1	6,3	21
NPK _{„O”}	56,7 d	± 5,8	17,4	31	35,0 c	± 2,9	8,6	25
S								
0	16,2 b	± 0,87	2,60	16	11,0 ab	± 1,38	4,14	38
NPK	5,6 a	± 1,18	3,54	63	7,3 ab	± 1,76	5,28	72
NPKS	30,8 cd	± 3,89	11,68	38	28,9 c	± 3,07	9,20	32
NPK _{„O”}	40,8 de	± 3,82	11,47	28	50,8 e	± 4,12	12,38	24

Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnach nie różnią się istotnie przy $p < 0,05$ według testu Tukeya – Means followed by the same letters in columns do not differ significantly at $p < 0.05$ according to the Tukey test,

SE błąd standardowy średniej – standard error of mean value; SD odchylenie standardowe dla lat – standard deviation for years; V% współczynnik zmienności dla lat – variation coefficient for years.

Wapń był składnikiem wymywanym w podobnych ilościach jak azot (tab. 2). Zastosowane nawożenie, niezależnie od serii doświadczenia spowodowało istotne zwiększenie wymycia tego pierwiastka. Wymycie wapnia z gleby wapnowanej, w porównaniu do gleby niewapnowanej było większe średnio o 20% w obiektach nawożonych, zaś w obiekcie nienawożonym o ponad 50%. Również Ezerinskas (2002) wskazuje na zwiększenie wymywania wapnia w wyniku wapnowania gleby. W wielu badaniach stwierdzono, że wapń jest pierwiastkiem dominującym w odciekach glebowych, a koncentracja Ca w wodzie odciekającej z profilu glebowego zwiększa się proporcjonalnie do stosowanej dawki nawozów mineralnych (Kopeć i in. 1991, Ezerinskas 2002). Uzyskane wyniki badań własnych korespondują z wynikami innych autorów (Kopeć i in. 1991, Pondel i in. 1991).

Największą zawartość magnezu oznaczono w odciekach glebowych z obiektów, w których zastosowano odpad po produkcji siarczanu magnezu na tle nawożenia azotem, fosforem i potasem (NPK,,O"). W porównaniu do zawartości tego składnika w odciekach z pozostałych obiektów nawożonych w zależności od serii doświadczenia zwiększenie zawartości magnezu wynosiło średnio w serii niewapnowanej (0 Ca) 71% i w serii wapnowanej (+ Ca) 18%. Jak wynika z prezentowanych wyników wapnowanie przyczyniło się, na ogół istotnie, do zmniejszenia wymycia magnezu. Takiego spostrzeżenia nie potwierdzają wyniki badań Ezerinskasa (2002). Zróżnicowanie zawartości magnezu nie było duże w trzyletnim okresie badań na co wskazują wartości współczynnika zmienności (V%). Zazwyczaj większe dawki nawozów mineralnych zwiększają zawartość magnezu w odciekach glebowych i przyczyniają się do większego wymycia tego składnika. W przeprowadzonych badaniach zastosowane nawożenie czystymi chemicznie solami azotu, fosforu i potasu (NPK) oraz azotu, fosforu, potasu i siarki (NPKS) podobnie wpływało na wymywanie magnezu, jednak jego znaczny ładunek wprowadzony do gleby z odpadem po produkcji siarczanu magnezu (NPK,,O") istotnie zwiększył wymycie tego pierwiastka.

Według Kopcia i in. (1991), oprócz wapnia również siarkę cechuje duże wymycie z gleby. Według cytowanych Autorów, nie zauważa się wyraźnego związku wymycia siarki ani z rodzajem uprawnej rośliny ani nawożeniem. Wyniki badań własnych wskazują, że nawożenie mineralne azotem, fosforem i potasem (NPK) nie spowodowało większych strat tego składnika, ale zastosowanie nawożenia tym pierwiastkiem w obiekcie (NPKS) oraz wprowadzenie siarki do gleby z odpadem po produkcji siarczanu magnezu (NPK,,O") istotnie zwiększyło zawartość siarki, w odciekach glebowych. Zawartości tego pierwiastka w wodzie odciekającej z obiektów niewapnowanych i wapnowanych różniły się, ale nieistotnie. Uzyskane wyniki wskazują na duże zróżnicowanie, wyrażone w wartościach współczynnika zmienności (V%) zawartości siarki w odciekach glebowych z poszczególnych lat, zwłaszcza w obiektach, w których zastosowano nawożenie azotem, fosforem i potasem bez dodat-

ku S (NPK), kiedy dostępność tego pierwiastka dla roślin jest uwarunkowana procesami mineralizacji glebowej materii organicznej.

Na podstawie kryteriów dotyczących jakości wód powierzchniowych i podziemnych zamieszczonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (2004) oraz zawartości badanych pierwiastków w odciekach glebowych, w warunkach przeprowadzonych badań największe zagrożenie dotyczące zanieczyszczenia wód może być spowodowane azotem. Zawartości pozostałych pierwiastków, w tej ocenie odpowiadają zawartością klasom czystości od II do IV.

WNIOSKI

1. Spośród badanych pierwiastków w największych ilościach wymywany z gleby był azot i wapń. Zastosowane nawożenie i wapnowanie istotnie zwiększyło zawartość obu pierwiastków w odciekach glebowych.

2. Zastosowane nawożenie i wapnowanie nie spowodowało istotnych zmian w zawartości fosforu w odciekach glebowych.

3. Zawartość potasu w wodzie odciekającej z gleby obiektów nawożonych była istotnie większa od zawartości tego pierwiastka w wodzie odciekającej z gleby nienawożonej, a wapnowanie nie spowodowało istotnych zmian zawartości potasu w glebie.

4. Największą zawartość magnezu, podobnie jak siarki, oznaczono w odciekach glebowych z obiektów, w których zastosowano odpad po produkcji siarczanu magnezu. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że wprowadzenie do gleby siarki z nawozem mineralnym, jak również z odpadem po produkcji siarczanu magnezu, może istotnie zwiększać zawartość tego pierwiastka w odciekach glebowych.

5. W warunkach przeprowadzonych badań największe zagrożenie zanieczyszczenia wód pierwiastkami w wyniku ich wymywania dotyczy azotu. W ocenie wód powierzchniowych zawartości pozostałych wymywanych pierwiastków mają drugorzędne znaczenie.

PIŚMIENNICTWO

- Bergström L., Kirchmann H., 2006. Leaching and crop uptake of nitrogen and phosphorus from pig slurry as affected by different application rates. *J. Environ. Qual.*, 35, 1803-1811.
- Dinner D. L., Karlen D. L., Jaynes D. B., Kaspar T. C., Hatfield J. L., Colvin T. S., Cambardella C. A., 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agron. J.*, 94, 153-171.
- Ezerinkas V., 2002. Effect of liming and fertilizing on the biogenic and chemical nutrient leaching from acid soils of different types. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 482, 151-155.
- Koc J., Szymczyk S., Procyk Z., 1999. Czynniki kształtujące wymywanie azotu, fosforu i potasu z gleb uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 467, 119-125.

- Kopeć S., Nowak K., Smoroń S., 1991. Straty składników nawozowych przez wymywanie w zależności od nawożenia i uprawianej rośliny. *Roczn. Glebozn.* XLII, 3/4, 109-114.
- Krzanowski S., Wałęga A., 2007. The impact of biogenic compounds inflowing with the Dunajec river waters on the level of water trophicity of Czorsztyn-Niedzica-Sromowce Wyżne water reservoir complex. *Pol. J. Environ. Stud.* 16, 2a, 252-255.
- Lucey K. J., Goolsby D. A., 1993. Effects of climatic variations over 11 years on nitrate-nitrogen concentrations in the Raccoon River, Iowa. *J. Environ. Qual.*, 22, 38-46.
- Oquist K. A., Strock J. S., Mulla D. J., 2007. Influence of alternative and conventional farming practices on subsurface drainage and water quality. *J. Environ. Qual.*, 36, 1194-1204.
- Pondel H., Ruszkowska M., Sykut S., Terelak H., 1991. Wymywanie składników nawozowych z gleby w świetle badań Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. *Roczn. Glebozn.* XLII, 3/4, 97-107.
- Power J. F., 1987. Legumes: Their potential role in agricultural production. *Am. J. Alternative Agric.*, 2, 69-73.
- Randall G. W., Iragavarapu T. K., 1995. Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *J. Environ. Qual.*, 24, 360-366.
- Randall G. W., Mulla D. J., 2001. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *J. Environ. Qual.*, 30, 337-344.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r., Dz. U. 32 poz. 284.
- Stanisz A., 1998. Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. Statsoft Polska.

EFFECT OF FERTILIZATION ON SELECTED PLANT NUTRIENT LEACHING IN POT EXPERIMENT

Krzysztof Gonddek, Michał Kopeć

Department of Agriculture Chemistry, Agricultural University
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: kgonddek@ar.krakow.pl

Abstract. The investigations were conducted to determine the effect of applied mineral fertilization, treatment with a waste from magnesium phosphate production, and liming on the content of selected macroelements in soil effluents. Among the analysed elements the greatest amounts of nitrogen and calcium were leached from the soils. Applied fertilization and liming significantly increased concentrations of both elements in the soil effluents, but did not cause any significant changes in phosphorus content. Potassium content in water leaching from the soil of the fertilizer treatments was significantly higher than this element concentration in water leaching from the non-fertilized soil, irrespective of applied liming. The greatest amounts of magnesium and sulphur were assessed in soil effluents from the treatments where the waste from magnesium sulphate production was used. On the basis of the obtained results it was found that sulphur supply to the soil with the mineral fertilizer and also with the waste from magnesium sulphate production may significantly increase the concentration of this element in soil effluents. Under conditions of the experiment, nitrogen poses the most serious hazard of water contamination with elements as a result of their infiltration. In surface water assessment the content of the other leached elements is of secondary importance.

Keywords: fertilisation, leaching, macroelement, pot experiment