

JERZY JONCZAK, VLADIMÍR ŠIMANSKÝ, NORA POLLÁKOVÁ

Zawartość i profilowe rozmieszczenie frakcji fosforu w uprawnych i leśnych czarnoziemach z poziomem cambic

Content and profile distribution of phosphorus fractions in arable and forest Cambic Chernozems

ABSTRACT

Jonczak J., Šimanský V., Polláková N. 2015. Zawartość i profilowe rozmieszczenie frakcji fosforu w uprawnych i leśnych czarnoziemach z poziomem cambic. Sylwan 159 (11): 931-939.

Comparative studies on the content and profile distribution patterns of phosphorus fractions in arable and forest Cambic Chernozems were conducted near the village Báb (western Slovakia). Soil samples were collected from every 10 cm and analyzed using standard procedures in soil science. Long term differences in the type of the studied soils usage were reflected in their physical and chemical properties (bulk density, porosity, acidity, the total content of organic carbon and nitrogen), as well as in the content and profile distribution patterns of phosphorus fractions. Total phosphorus content ranged from 498.8 to 754.7 mg/kg in arable soil and from 480.4 to 835.9 mg/kg in forest soil. Residual fraction, which constituted 54.9-77.8% of total phosphorus in arable soil and 57.3-79.2% in forest soil, was a predominant fraction. Such large contribution of this fraction is typical for young soils, with weakly weathered mineral substrates. Exchangeable phosphorus in arable soil constituted 0.6-6.1%, while 0.5-3.0% in forest soil, showing decreasing trends with depth in both soils. Free iron oxides and carbonates were important factors influencing profile distribution of phosphorus in the investigated soils. Iron oxides bound the element mainly in acidified horizons, whereas carbonates in alkaline (Bw and C) horizons. Organic fraction significantly differed in the investigated soils. A much larger content and contribution of this fraction in total phosphorus was noticed in forest soil. The content of organic phosphorus was positively related to the content of organic carbon. Stable fraction of organic phosphorus predominated over labile one in both soils.

KEY WORDS

Chernozems, arable soils, forest soils, phosphorus speciation

ADDRESSES

Jerzy Jonczak ⁽¹⁾ – e-mail: jerzy.jonczak@gmail.com
Vladimír Šimanský ⁽²⁾ – e-mail: vladimir.simansky@uniag.sk
Nora Polláková ⁽²⁾ – e-mail: nora.pollakova@uniag.sk

⁽¹⁾ Instytut Geografii i Studiów Regionalnych, Akademia Pomorska w Słupsku; ul. Partyzantów 27, 76-200 Słupsk

⁽²⁾ Katedra Gleboznawstwa, Słowacki Uniwersytet Rolniczy w Nitrze; ul. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Wstęp

Fosfor wywiera silny wpływ na właściwości gleb i zachodzące w nich procesy już od początkowych etapów ich rozwoju, m.in. jako czynnik warunkujący intensywność akumulacji węgla organicznego

nego i azotu. Pierwotnym źródłem pierwiastka w glebach są obecne w ich skałach macierzystych minerały, głównie apatyty. Głównymi źródłami wtórnymi są szczątki obumarłych organizmów (opad roślinny, szczątki zwierząt glebowych i mikroorganizmów) oraz wody podkoronowe i spływające po pniach, stanowiące elementy wewnętrznego obiegu pierwiastka w ekosystemach łądowych. Wśród najważniejszych źródeł zewnętrznych należy natomiast wymienić wody opadowe, wody gruntowe i spływające powierzchniowo oraz nawozy.

W ekosystemach leśnych fosfor jest na ogół deficytowym składnikiem pokarmowym, którego pobieranie z gleby ma zwykle charakter czynny, oparty na produkcji fosfatów. Mechanizmem adaptacyjnym roślinności do deficytu pierwiastka jest jego wycofywanie z organów asymilacyjnych przed ich zrzuceniem w okresie jesiennym [Dziadowiec, Pokojka 1988; Dziadowiec i in. 2007]. Proces ten jest jedną z przyczyn na ogół niskiego lub bardzo niskiego stężenia fosforu w opadzie roślinnym. W tym zakresie występują jednak znaczne różnice gatunkowe oraz pomiędzy poszczególnymi frakcjami opadu [Dziadowiec i in. 2007; Astel i in. 2009; Jonczak 2011, 2013]. Zasobność opadu roślinnego w fosfor silnie wpływa na dynamikę jego uwalniania w czasie rozkładu szczątków organicznych. W warunkach niedoboru pierwiastka obserwuje się względną jego akumulację [Dziadowiec 1990; Jonczak 2009], zaś przy większej biodostępności stopniowy spadek zawartości [Jonczak 2014; Jonczak i in. 2015].

Uwalniane w wyniku wietrzenia minerałów i rozkładu organicznych składników gleby mineralne formy fosforu w zdecydowanej większości są pobierane przez organizmy żywe lub związane przez fazę stałą gleby. W sprzyjających okolicznościach niewielkie ilości pierwiastka mogą być wypłukiwane przez filtrujące wody poza solum gleb, przyczyniając się do systematycznego kurczenia jego zasobów [Walker, Syers 1976; Chardon, Schoumans 2007; Lair i in. 2009]. Tendencja ta może być hamowana, a nawet odwracana wskutek nawożenia gleb. Stosowane na glebach rolnych Europy w XX wieku dawki nawozów fosforowych były zróżnicowane przestrzennie, a miejscami bardzo duże, przekraczające 30 kg P/ha/rok [Sapek 2007]. Takie wartości kilkukrotnie przewyższają roczne ładunki pierwiastka dopływające do gleb leśnych z opadem roślinnym [Dziadowiec i in. 2007; Jonczak 2011, 2013].

Celem prezentowanych w niniejszej pracy badań było porównanie zawartości oraz schematów profilowego rozmieszczenia frakcji fosforu w uprawnych i leśnych czarnoziemach z poziomem cambic w okolicach miejscowości Báb w zachodniej Słowacji.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono jesienią 2014 roku w kompleksie czarnoziemów z poziomem cambic, zlokalizowanych w obrębie słabo falistego fragmentu wyżyny lessowej w okolicach miejscowości Báb (zachodnia Słowacja). Jest to obszar o łagodnym klimacie, ze średnią temperaturą roczną około 10,2°C i rocznymi sumami opadów w granicach 436-680 mm [Špáňik i in. 2002]. Skałą macierzystą tutejszych gleb są pokrywy lessowe o miąższości 2-5 metrów, zalegające na neogeńskich piaskach i ilach [Szombathová 2010]. Odkrywki glebowe wykonano w centralnej części pola uprawnego obsianego słonecznikiem (48°18,158'N, 17°53,219'E) oraz w obrębie sąsiadującego z polem leśnego rezerwatu przyrody Babsky Les (48°18,169'N, 17°53,247'E). Odkrywkę w lesie usytuowano w płacie drzewostanu z dominacją różnowiekowych, na ogół ponad stuletnich, osobników dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) i dębu burgundzkiego (*Q. cerris* L.), z domieszką klonu jawora (*Acer pseudoplatanus* L.) i głogu (*Crataegus* L.). Próbkę gleb do analiz laboratoryjnych pobierano z warstw co 10 cm, jako próbki o nienaruszonej strukturze do stalowych pierścieni o objętości 250 cm³ w 3 powtórzeniach oraz próbki o strukturze naruszonej. Gęstość objętościową (So) i wilgotność chwilową (W) określono w próbkach o nienaruszonej strukturze metodą wagowo-suszarkową,

a porowatość ogólną (P) na podstawie różnicy masy próbki całkowicie wysuszonej wodą i wysuszonej do stałej masy w temperaturze 105°C. Odczyn analizowano metodą potencjometryczną w zawiesinie z wodą ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), w stosunku wagowym gleba:woda 1:2,5. Zawartość węglanów (CaCO_3) określono metodą Scheiblera, węgla organicznego (C_{org}) – metodą Tiurina, azotu ogółem (N_t) – metodą Kjeldahla, a ogólną zawartość fosforu (P_t) – metodą kolorymetryczną z molibdenianem amonu po rozтворzeniu próbek w mieszaninie kwasów 40% HF i 60% HClO_4 . Ogólną zawartość żelaza (Fe_t) oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej z plazmą wzbudzoną mikrofalowo (Agilent 4100 MP-AES) po rozтворzeniu próbek w mieszaninie kwasów 40% HF i 60% HClO_4 , a jego wolnych tlenków (Fe_d) w wyciągu Jacksona [Mehra, Jackson 1960]. Sekwencyjną ekstrakcję fosforu wykonano metodą Hedleya i in. [1982] w modyfikacji O'Hallorana i in. [1987] (kolejne ekstrahenty: roztwór NaHCO_3 o stężeniu 0,5 mol/l, roztwór NaOH o stężeniu 0,5 mol/l oraz roztwór HCl o stężeniu 0,5 mol/l), pozwalającą wydzielić następujące frakcje pierwiastka: wymienną (P_{EX}), związaną z wolnymi tlenkami żelaza (P_{Fe}), związaną z jonami wapnia i apatytami (P_{Ca}), organiczną labilną (P_{OL}), organiczną stabilną (P_{OS}) i rezydualną (P_{R}), obliczoną na podstawie różnicy ogólnej zawartości fosforu i sumy pozostałych frakcji.

Wyniki i dyskusja

CHARAKTERYSTYKA GLEB. Badane czarnoziemy są glebami płytkimi, o miąższości solum zaledwie 40 cm w glebie uprawnej i 70 cm w glebie leśnej, o budowie profilowej odpowiednio Ap-ABw-Bw-Cca i A1-A2-ABw-Cca. Znacznie mniejsza miąższość gleby uprawnej jest efektem jej degradacji wynikającej z długotrwałej uprawy rolnej oraz erozji wodnej, której ślady są dostrzegalne w lekko falistym krajobrazie badanej wyżyny lessowej. Długotrwałe różnice w charakterze użytkowania znajdują odzwierciedlenie również we właściwościach fizycznych i chemicznych gleb. Doskonale uwidaczniają się w pionowych gradientach gęstości objętościowej, która w glebie uprawnej wykazuje tendencję spadkową wraz z głębokością, świadcząca o zagęszczeniu przy powierzchniowej części gleby wskutek zabiegów agrotechnicznych, a w glebie leśnej wzrostową (tab. 1). Gleba uprawna ma znacznie mniejszą porowatość, szczególnie w poziomie próchnicznym, gdzie wynosi ona 39,7-45,2% wobec 55,8-69,4% w glebie leśnej. Odczyn badanych gleb zmienia się od słabo kwaśnego w poziomie Ap i ABw gleby uprawnej oraz silnie kwaśnego w poziomach A i A2 gleby leśnej do zasadowego w węglanowych skałach macierzystych obydwu gleb (tab. 2). Zawartość węgla organicznego w obydwu profilach systematycznie spada z głębokością, mieszcząc się w przedziale 14,47-5,79 g/kg w solum gleby uprawnej i 50,72-7,01 w solum gleby leśnej. Takie same prawidłowości pionowego rozmieszczenia wykazuje azot, którego ogólna zawartość w glebie uprawnej wynosi 1,42-0,39 g/kg, a w glebie leśnej 10,53-0,56 g/kg. Niewielki zakres wartości stosunku C:N świadczy o dużej aktywności biologicznej badanych gleb, niezależnie od charakteru użytkowania. Potwierdzeniem tego jest również obecność bardzo słabo rozwiniętej ektopróchnicy, występującej w okresie jesiennym w formie nieciągliwych płatów poziomu surowinowego. Zawartość żelaza ogółem oraz jego pedogenicznych form wykazuje niewielkie zróżnicowanie pionowe. Wartości stosunku Fe_d/Fe_t , mieszczące się w przedziale 0,26-0,37 w glebie uprawnej i 0,29-0,39 w glebie leśnej, świadczą o niezbyt dużym stopniu zwietrzenia substratów mineralnych. Zaznaczająca się w glebie leśnej słaba tendencja wzrostowa tego stosunku wraz z głębokością wskazuje na nieznaczne przemieszczenie labilnych form żelaza, któremu sprzyja silne zakwaszenie gleby.

ZAWARTOŚĆ, FORMY I SCHEMATY PIONOWEGO ROZMIESZCZENIA FOSFORU. Zawartość w glebach fosforu ogółem oraz poszczególnych jego frakcji jest silnie uwarunkowana pierwotną zasobnością materiałów macierzystych oraz modyfikującym oddziaływaniem kompleksu czynników glebo-

Tabela 1.

Gęstość objętościowa (So), porowatość ogólna (P), wilgotność chwilowa (W) i barwa poziomów genetycznych badanych gleb

Bulk density (So), total porosity (P), actual moisture (W) and colour of genetic horizons in investigated soils

Poziom Horizon	Głębokość Depth [cm]	So [g/cm ³]	P [%]	W [% v/v]	Barwa Colour
Czarnoziem uprawny Arable Chernozem					
Ap	0-10	1,42	45,2	27,3	10YR 2/3
	10-20	1,56	39,7	31,1	10YR 2/3
ABw	20-30	1,42	44,6	28,6	10YR 3/4
Bw	30-40	1,35	48,1	18,9	10YR 5/6
	40-50	1,40	46,9	5,4	10YR 7/3
Cca	50-60	1,32	50,2	12,9	10YR 7/3
	60-70	1,38	48,5	13,2	10YR 2/3
Czarnoziem leśny Forest Chernozem					
A	0-10	0,74	69,4	28,9	10YR 2/3
	10-20	0,89	65,0	24,2	10YR 3/4
A2	20-30	1,13	55,8	24,6	10YR 3/4
	30-40	1,11	56,8	23,1	10YR 3/4
ABw	40-50	1,31	49,8	26,1	10YR 4/5
	50-60	1,29	50,6	24,3	10YR 4/5
	60-70	1,20	54,7	13,5	10YR 4/5
Cca	70-80	1,26	52,7	9,7	10YR 7/4

twórczych. Wraz z rozwojem gleb następuje na ogół obniżanie ogólnej jego zawartości, zmieniają się proporcje ilościowe pomiędzy frakcjami oraz kształtują się charakterystyczne dla poszczególnych procesów glebotwórczych i lokalnych układów czynników glebotwórczych schematy ich profilowego rozmieszczenia [Borowiec 1971; Walker, Syers 1976; Czępińska-Kamińska 1992; Okołowicz i in. 2003]. Ogólna zawartość fosforu w badanych glebach była zbliżona, mieszcząc się w przedziale od 498,8 do 754,7 mg/kg w glebie uprawnej i od 480,4 do 835,9 mg/kg w glebie leśnej, z maksimami w przypowierzchniowych częściach poziomów próchnicznych i minimami w poziomach ABw (tab. 3). Są to stosunkowo małe, typowe dla gleb Słowacji stężenia, wynikające zarówno z uwarunkowań naturalnych, jak i niezbyt intensywnego nawożenia tym składnikiem (wynoszącego na przestrzeni ostatnich 20 lat średnio 8 kg/ha/rok) [Kováčik 2014]. Zróżnicowany charakter użytkowania badanych gleb znalazł jednak odzwierciedlenie w zawartości, udziale procentowym i schematach pionowego rozmieszczenia poszczególnych frakcji fosforu (ryc.). Zawartość fosforu wymiennego wynosiła od 3,5 do 45,9 g/kg w glebie uprawnej i od 3,3 do 25,5 g/kg w glebie leśnej, co stanowiło odpowiednio 0,6-6,1 i 0,5-3,0% ogólnej jego ilości. Maksymalna zawartość frakcji występowała w przypowierzchniowej 20-centymetrowej warstwie gleby, po czym gwałtownie spadała (ryc.).

Frakcja P_{Fe} stanowiła 0,8-14,1% fosforu ogółem w glebie uprawnej i 1,1-9,1% w glebie leśnej, przy zawartościach odpowiednio 4,8-106,2 g/kg i 6,9-59,3 g/kg (tab. 3). W obydwu profilach jej zawartość oraz udział stopniowo spadały wraz z głębokością, przy czym tendencja ta była nieco wyraźniejsza w glebie rolnej (ryc.). Większa zawartość i udział P_{Fe} w poziomie próchnicznym gleb rolnych jest niewątpliwie efektem ich nawożenia i wiązania przez półtoratlenki mineralnych form pierwiastka. Schematy profilowego rozmieszczenia frakcji P_{Ca} wykazują ten-

Tabela 2.

Odczyn, zawartość węglanów (CaCO_3), węgla organicznego (C_{org}), azotu ogółem (N_t), żelaza ogółem (Fe_t) i wolnych tlenków żelaza (Fe_d) w poziomach genetycznych badanych gleb

Soil pH, content of carbonates (CaCO_3), organic carbon (C_{org}), total nitrogen (N_t), total iron (Fe_t) and free iron oxides (Fe_d) in genetic horizons in investigated soils

Poziom Horizon	Głębokość Depth [cm]	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	CaCO_3 [g/kg]	C_{org} [g/kg]	N_t [g/kg]	C:N	Fe_t [g/kg]	Fe_d [g/kg]	Fe_d/Fe_t
Czarnoziem uprawny Arable Chernozem									
Ap	0-10	6,52	0,0	14,15	1,42	10,0	28,98	10,66	0,37
	10-20	6,03	0,0	14,47	1,31	11,0	29,36	10,21	0,35
ABw	20-30	6,48	0,0	8,72	0,60	14,5	32,48	10,89	0,34
Bw	30-40	6,94	0,0	5,79	0,39	14,8	32,15	10,72	0,33
	40-50	7,90	152,2	–	–	–	26,09	7,23	0,28
	50-60	8,05	255,8	–	–	–	21,98	5,79	0,26
	60-70	8,05	244,1	–	–	–	21,78	5,74	0,26
Czarnoziem leśny Forest Chernozem									
A	0-10	4,34	0,0	50,72	3,71	13,7	27,39	8,98	0,33
	10-20	4,28	0,0	30,01	2,15	14,0	28,62	9,20	0,32
A2	20-30	4,87	0,0	15,01	1,74	8,6	28,63	8,38	0,29
	30-40	6,47	0,0	12,90	1,35	9,6	29,07	8,55	0,29
ABw	40-50	5,89	0,0	10,52	0,78	13,5	32,09	10,24	0,32
	50-60	5,94	0,0	7,04	0,56	12,6	32,02	10,94	0,34
	60-70	7,45	38,4	7,01	0,51	13,7	29,65	11,53	0,39
Cca	70-80	7,89	190,9	–	–	–	24,14	8,63	0,36

dencję odwrotną w stosunku do P_{Fe} . Jej zawartość w glebie uprawnej wynosiła 41,9-224,1 g/kg (8,4-39,6% P_T), a w glebie leśnej 16,9-217,9 g/kg (3,4-34,1% P_T) (tab. 3). Wyraźne trendy wzrostowe zawartości P_{Ca} i udziału tej frakcji w P_T wraz z głębokością należy wiązać z pionowym rozmieszczeniem węglanów.

Panująca powszechnie opinia o dużych różnicach pomiędzy glebami leśnymi i uprawnymi pod względem zawartości fosforu organicznego [McDowell, Stewart 2006] znalazła potwierdzenie również w badanych czarnoziemach. Sumaryczna zawartość fosforu organicznego labilnego (P_{OL}) i stabilnego (P_{OS}) w glebie uprawnej wynosiła 13,4-80,1 mg/kg, podczas gdy w glebie leśnej 22,3-229,6 mg/kg. Z badań Pakuły i Kalemasy [2008] wynika, że w glebach leśnych fosfor organiczny stanowi na ogół ponad 80% ogólnej jego zawartości. W poziomie próchnicznym badanych czarnoziemów leśnych było to zaledwie 27,5%. Wyniki licznych badań dowodzą, że ważnym czynnikiem różnicującym proporcje pomiędzy poszczególnymi formami fosforu w solum gleb leśnych jest ich wiek [Walker, Syers 1976; Turner i in. 2007; Lair i in. 2009]. Badane gleby są stosunkowo młode, stąd niewielki udział fosforu organicznego i przewaga jego frakcji rezydualnej. W puli fosforu organicznego zdecydowanie dominowała frakcja stabilna, stanowiąca 2,1-9,6% P_T w glebie uprawnej i 2,9-22,4% P_T w glebie leśnej, nad frakcją labilną, której udział w P_T wynosił odpowiednio 0,3-9,4% i 0,6-5,3%. Różnice pomiędzy glebą rolną i leśną są wyraźne zarówno pod względem zawartości (tab. 3), jak i schematów pionowego rozmieszczenia organicznych form fosforu (ryc.). Wynikają one bezpośrednio z różnic w zawartości materii organicznej, co znajduje potwierdzenie w istotnych statystycznie, dodatnich współczynnikach korelacji, wynoszących 0,888 dla zależności P_{OL} vs C_{org} i 0,889 dla zależności P_{OS} vs C_{org} .

Tabela 3.

Zawartość fosforu [mg/kg] wymiennego (P_{EX}), związanego z tlenkami żelaza (P_{Fe}), związanego z jonami wapnia i apatytami (P_{Ca}), labilnego (P_{OL}) i stabilnego (P_{OS}) fosforu organicznego oraz fosfor rezydualny (P_R) i ogółem (P_T)

Content [mg/kg] of exchangeable phosphorus (P_{EX}), phosphorus bound to iron oxides (P_{Fe}) or calcium and apatites (P_{Ca}), labile (P_{OL}) and stabile (P_{OS}) organic phosphorus as well as residual (P_R) and total (P_T) phosphorus

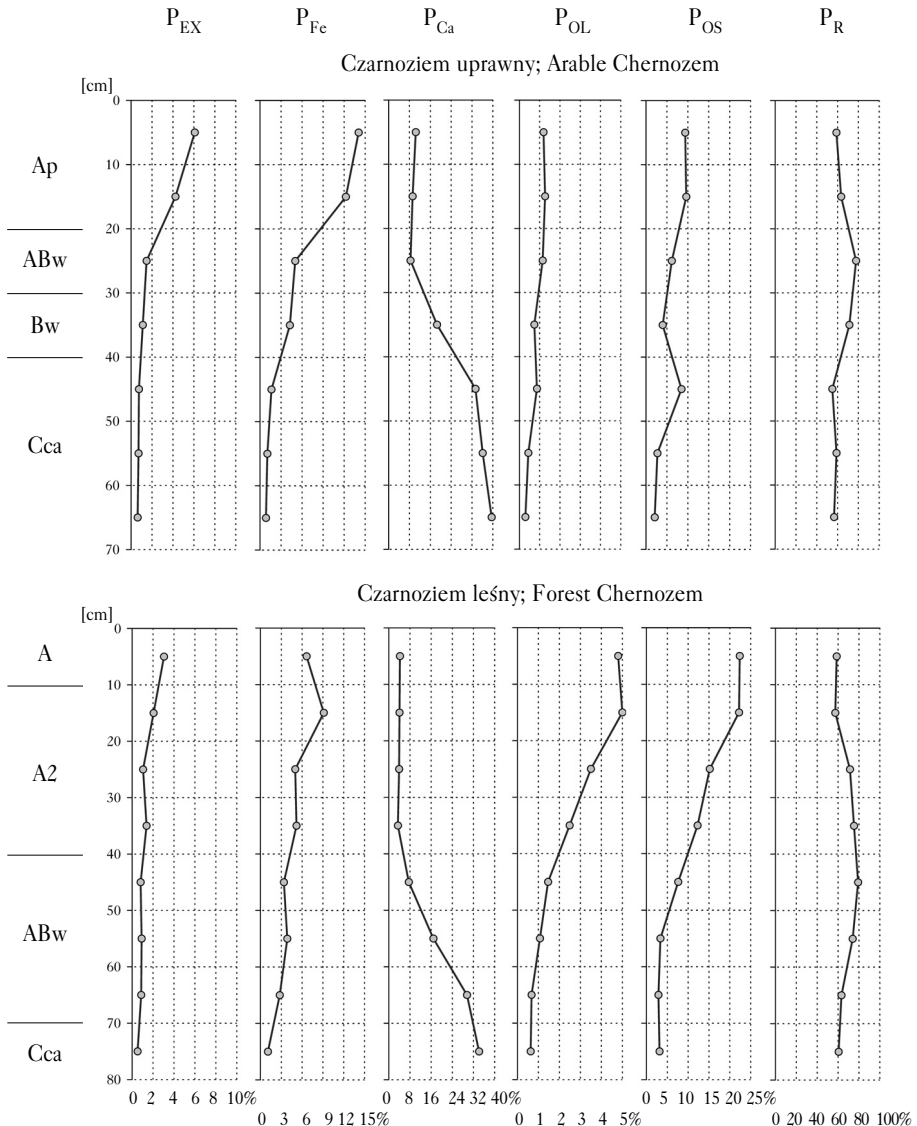
Poziom Horizon	Głębokość Depth[cm]	P_{EX}	P_{Fe}	P_{Ca}	P_{OL}	P_{OS}	P_R	P_T
Czarnoziem uprawny Arable Chernozem								
Ap	0-10	45,9	106,2	78,6	9,0	70,7	444,3	754,7
	10-20	31,2	90,2	67,7	9,3	70,8	467,1	736,3
ABw	20-30	7,4	25,1	41,9	5,7	30,7	388,0	498,8
Bw	30-40	6,4	24,4	106,4	4,2	22,8	409,0	573,3
	40-50	5,0	10,9	222,1	5,8	56,4	365,7	665,9
	50-60	4,4	6,5	224,1	2,7	16,9	366,0	620,7
Cca	60-70	3,5	4,8	223,1	1,7	11,7	319,2	564,0
Czarnoziem leśny Forest Chernozem								
A	0-10	25,5	55,6	35,1	42,5	187,1	490,1	835,9
	10-20	13,3	59,3	26,2	34,3	144,4	372,6	650,2
A2	20-30	5,3	25,4	19,7	17,8	77,1	362,5	507,9
	30-40	6,8	25,7	16,9	12,3	60,6	371,7	493,9
ABw	40-50	3,9	16,2	36,3	7,0	36,6	380,4	480,4
	50-60	4,6	19,5	84,8	5,4	16,9	372,6	503,8
	60-70	5,5	17,6	187,1	4,3	18,2	400,4	633,1
Cca	70-80	3,3	6,9	217,9	4,0	20,1	386,5	638,7

Frakcja rezydualna, stanowiąca w glebie uprawnej 54,9-77,8%, a w glebie leśnej 57,3-79,2% P_T , przy zawartości odpowiednio 319,2-467,1 mg/kg i 362,5-490,1 mg/kg, była dominująca (tab. 3). Jej udział w ogólnej zawartości pierwiastka wykazywał niewielkie zróżnicowanie profilowe (ryc.).

Obserwowane różnice w zawartości i udziale poszczególnych frakcji fosforu w jego ogólnej puli oraz schematach ich profilowego rozmieszczenia w badanych glebach są niewątpliwie efektem zróżnicowanego charakteru użytkowania oraz następczej modyfikacji cech fizycznych i chemicznych gleb, decydujących o kierunkach i intensywności procesów przekształceń oraz mobilności pierwiastka. Jako jeden z kluczowych czynników należy wskazać zróżnicowany odczyn, warunkujący zarówno biodostępność fosforu [Devau i in. 2009], jak i możliwości jego migracji. Przy pH poniżej 6,5 fosfor jest wiązany przez wolne tlenki Fe i Al [Sah, Mikkelsen 1986; Darke, Walbridge 2000; Achat i in. 2013], zaś przy odczynie zasadowym przez jony wapnia, tworząc trudno rozpuszczalne sole. W zasobnych w materię organiczną poziomach powstawanie fosforanów żelaza jest hamowane przez związki humusowe [Kodama, Schnitzer 1980; Borggaard i in. 1990], czym częściowo można tłumaczyć mniejszy udział tej frakcji w bardziej zasobnych w materię organiczną glebach leśnych.

Wnioski

✦ Ogólna zawartość fosforu w badanych uprawnych i leśnych czarnoziemach z poziomem cambic była zbliżona. Sposób użytkowania znalazł natomiast odzwierciedlenie w zawartości, udziale i schematach profilowego rozmieszczenia poszczególnych frakcji pierwiastka.



Ryc.

Profilowe zróżnicowanie udziału frakcji fosforu w jego ogólnej zawartości w uprawnych i leśnych czarnoziemach

Profile distribution patterns in the content of phosphorus fractions in total phosphorus of arable and forest Chernozems

Oznaczenia jak w tabeli 3; denotes as in table 3

✦ Dominacja frakcji rezydualnej, stanowiącej w glebie uprawnej 54,9-77,8%, a w glebie leśnej 57,3-79,2% P_T , jest typowa dla gleb młodych, o małym stopniu zwietrzienia substratów mineralnych.

✦ Frakcją fosforu różnicującą badane gleby jest frakcja organiczna, która występowała w znacznie większych ilościach w glebie leśnej w porównaniu z glebą uprawną. Jej zawartość w poszczególnych poziomach była ściśle, dodatnio skorelowana z zawartością węgla organicznego,

wykazując w obydwu profilach tendencję spadkową wraz z głębokością. W puli fosforu organicznego frakcja stabilna znacznie przeważała nad labilną.

✦ Istotnymi czynnikami kształtującymi schematy profilowego rozmieszczenia fosforu w badanych glebach były wolne tlenki żelaza i węglany. W pozbawionych węglianów i zakwaszonych poziomach próchnicznych gleb uwalniane w wyniku wietrzenia minerałów, rozkładu szczątków organicznych i pochodzące z zewnętrznych źródeł fosforany wiązane były głównie przez półtoratlenki. W poziomach brunatnienia, a szczególnie w węglanowych skałach macierzystych podstawową rolę w tym zakresie odgrywały jony wapnia.

Literatura

- Achat D. L., Bakker M. R., Augusto L., Derrien D., Gallegos N., Lashchinskiy N., Milin S., Nikitich P., Raudina T., Rusalimova O., Zeller B., Barsukov P. 2013. Phosphorus status of soils from contrasting forested ecosystems in southwestern Siberia: effects of microbiological and physicochemical properties. *Biogeosciences* 10: 733-752.
- Astel A., Parzych A., Trojanowski J. 2009. Comparison of litterfall and nutrient return in a *Vaccinio uliginosi-Beuletum pubescentis* and an *Empetro nigri-Pinetum* forest ecosystem in northern Poland. *Forest Ecology and Management* 257 (12): 2331-2341.
- Borggaard O. K., Jørgensen S. S., Moberg J. P., Raben-Lange B. 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. *European Journal of Soil Science* 41: 443-449.
- Borowiec J. 1971. Formy fosforu, ich udział i przemiany w glebie na przykładzie polskich czarnoziemów. *Annals UMCS, sec. E* 26 (15): 321-354.
- Chardon W. J., Schoumans O. F. 2007. Soil texture effects on the transport of phosphorus from agricultural land in river deltas of Northern Belgium, The Netherlands and North-West Germany. *Soil Use and Management* 23: 16-24.
- Czepińska-Kamińska D. 1992. Wpływ procesów glebotwórczych na rozmieszczenie mineralnych związków fosforu w glebach. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Darke A. K., Walbridge M. R. 2000. Al and Fe biogeochemistry in a floodplain forest: Implications for P retention. *Biogeochemistry* 51: 1-32.
- Devau N., Le Cadre E., Hinsinger P., Jaillard B., Gérard F. 2009. Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches. *Applied Geochemistry* 24: 2163-2174.
- Dziadowiec H. 1990. Rozkład ściółek w wybranych ekosystemach leśnych. Wydawnictwo UMK, Toruń.
- Dziadowiec H., Jonczak J., Czarnecki A., Kacprowicz K. 2007. Masa, dynamika i skład chemiczny opadu roślinnego w różnowiekowych plantacjach odmiany uprawnej topoli czarnej – Hybryda 275. *Roczniki Gleboznawcze* 58 (3/4): 68-77.
- Dziadowiec H., Pokojska U. 1988. Phosphorus cycling in soils of forest ecosystems in Northern Poland. W: Tissen H. [red.]. *Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Regional workshop 1: Europe, Proceedings of a workshop arranged by the SCOPE and the UNEP organized by the Department of Agrobiolgy and Forestry of Polish Academy of Sciences, May 1 to May 6 1988, Czerniejewo, Poland.* 77-87.
- Hedley M. J., Stewart J. W. B., Cauhan B. S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. *Soil Society of American Journal* 46: 970-976.
- Jonczak J. 2009. Leaf litterfall decomposition in age-differentiated stands of poplar cone Hybrid 275. *Polish Journal of Soil Science* 42 (2): 159-166.
- Jonczak J. 2011. Struktura, dynamika i właściwości opadu roślinnego w 110-letnim drzewostanie bukowym z domieszką sosny i świerka. *Sylwan* 155 (11): 760-768.
- Jonczak J. 2013. Dynamics, structure and properties of plant litterfall in a 120-year old beech stand in Middle Pomerania between 2007-2010. *Soil Science Annual* 64 (1): 9-14.
- Jonczak J. 2014. Rozkład liści buka w 120-letnim drzewostanie na obszarze Pomorza Środkowego. *Sylwan* 158 (8): 621-629.
- Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. 2015. Decomposition of four tree species leaf litters in headwater riparian forest. *Baltic Forestry* 21 (1): 133-143.
- Kodama H., Schnitzer M. 1980. Effect of fulvic acid on the crystallization of aluminum hydroxides. *Geoderma* 24: 195-205.
- Kováčik P. 2014. *Princípy a spôsoby výživy rastlín.* SPU, Nitra.
- Lair G. J., Zehetner F., Khan Z. K., Gerzabek M. H. 2009. Phosphorus sorption-desorption in alluvial soils of a young weathering sequence at the Danube River. *Geoderma* 149: 39-44.
- McDowell R. W., Stewart I. 2006. The phosphorus composition of contrasting soils in pastoral, native and forest management in Otago, New Zealand: Sequential extraction and ³¹P NMR. *Geoderma* 130: 176-189.

- Mehra O., Jackson J. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay and Clays Minerals* 5: 317-327.
- O'Halloran I. P., Steward J. W. B., Kachnoski R. G. 1987. Influence of texture and management practices on the forms and distribution of soil phosphorus, *Canadian Journal of Soil Science* 67: 147-163.
- Okołowicz M., Czępińska-Kamińska D., Janowska E., Konecka-Betley K. 2003. Rozmieszczenie fosforu w glebach rezerwatu biosfery „Puszcza Kampinoska”. *Roczniki Gleboznawcze* 54 (3): 39-48.
- Pakuła K., Kalembsa D. 2008. Frakcje fosforu w leśnych glebach płowych Niziny Południowopodlaskiej. *Roczniki Gleboznawcze* 59 (1): 161-166.
- Sah R. N., Mikkelsen D. S. 1986. Sorption and bioavailability of phosphorus during the drainage period of flooded-drained soils. *Plant and Soil* 92: 265-278.
- Sapek A. 2007. Przyczyny zwiększania się zasobów fosforu w glebach Polski. *Roczniki Gleboznawcze* 58 (3/4): 110-118.
- Špánik R., Repa Š., Šiška B. 2002. Agroklimatické a fenologické pomery Nitry (1991-2000). SPU, Nitra.
- Szombathová N. 2010. Chemické a fyzikálno-chemické vlastnosti humusových látok pôd ako ukazovateľ antropogénnych zmien v ekosystémoch (lokality Báb a Dolná Malanta). SPU, Nitra.
- Turner B. L., Condon L. M., Richardson S. J., Peltzer D. A., Allison V. J. 2007. Soil organic phosphorus transformations during pedogenesis. *Ecosystems* 10: 1166-1188.
- Walker T. W., Syers J. K. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma* 15: 1-19.