

OCENA ILOŚCIOWA WPŁYWU NIEKTÓRYCH WŁAŚCIWOŚCI GLEBY NA DYNAMIKĘ ROZPUSZCZALNOŚCI SZEŚCIU FRAKCJI MANGANU I ICH DOSTĘPNOŚĆ DLA ROŚLIN

Hieronim Kukurenda

Instytut Gleboznawstwa i Chemii Rolnej AR, Poznań

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w doświadczeniach modelowych z owsem odmiany Udycz Żółty na piasku gliniastym lekkim (tab. 1), pobranym z warstwy ornej 0-20 cm gleby uprawnej płowej, wytworzonej z gliny zwałowej, występującej na głębokości 50 cm. Glebę po wysuszeniu na powietrzu i przesianiu przez sito o średnicy oczek 2 mm umieszczano w plastikowych wazonach w ilości 5 kg suchej masy. Odczyn jej zróżnicowa-

Tabela 1

Niektóre właściwości gleby pobranej do badań

Fracja mechaniczna % części < 0,02 mm	pH	Substancja organiczna %	Kapilarna pojemność wodna %	Fracje manganu w mg/kg suchej masy gleby					
				Mn _w	Mn _a	Mn _{pH8}	Mn _{pH6,2}	Mn _{pH5,4}	Mn _{a+r}
14	5,65	1,09	23,14	0,47	5,6	39,5	63,1	86,2	265

no do trzech wartości pH: 4, 5 i 7,5, stosując CaO i 1n H₂SO₄. Wymagane dawki nawozu wapniowego oraz ilości kwasu siarkowego obliczono metodą krzywej neutralizacji i zakwaszania, inkubując 100 g odważki suchej masy gleby przez 30 dni ze wzrastającymi dawkami CaO i H₂SO₄ (po nasyceniu wodą destylowaną do konsystencji pasty).

Wilgotność gleby w wazonach przez cały czas trwania badań (23 IV—5 VIII) utrzymywano na trzech poziomach: 20-30, 50-60 i 90-100% kapilarnej pojemności wodnej sypkiej masy gleby. Połowa obiektów o róż-

nicowanym odczynie i wilgotności otrzymała nawożenie organiczne w postaci preparowanego obornika * w ilości 12,8 g suchej masy/wazon.

Nawożenie mineralne w g/wazon było następujące: N — 1,1 (w tym 0,6 g pogłównie w dwóch dawkach) w formie NH_4NO_3 ; P — 0,5 w formie $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; K — 1,5 w formie KCl i K_2SO_4 w stosunku 1 : 1; Mg — 0,3 w formie $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; CaO i $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ w postaci soli, a NH_4NO_3 , KCL, K_2SO_4 i $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w postaci roztworów wodnych oraz obornik w stanie sproszkowanym mieszano z całą masą gleby odważonej do wazonu.

Wszystkie objekty prowadzono w 14 replikacjach. Sprzętu owsa dokonano w pięciu fazach wzrostu: krzewienia (21 V), strzelania w źdźbło (6 VI), kwitnienia (21 VI), dojrzałości mleczonej (12 VII) i dojrzałości pełnej (5 VIII), tj. po 28, 44, 59, 80 i 104 dniach od założenia doświadczeń. Bezpośrednio po sprzęcie roślin pobierano z wazonów 0,5 kg odważki gleby za pomocą cylindrycznego próbomierza, w których po dokładnym wymieszaniu i usunięciu korzeni oznaczano:

- procentową zawartość wody metodą suszarkową;
- pH metodą potencjometryczną w paście glebowej przy stosunku gleby do wody równym 4 : 1;
- procentową zawartość substancji organicznej metodą Lichterfelda;
- liczebność bakterii i promieniowców metodą posiewów;
- sześć frakcji manganu: 1) rozpuszczalny w wodzie — Mn_w [13], 2) wymienny — Mn_a [16], 3) łatwo ulegający redukcji w roztworze ekstrakcyjnym o $\text{pH} = 8$ — $\text{Mn}_{\text{pH}8}$ [16], 4) łatwo ulegający redukcji w roztworze ekstrakcyjnym o $\text{pH} = 6,2$ — $\text{Mn}_{\text{pH}6,2}$ [za 5], 5) łatwo ulegający redukcji w roztworze ekstrakcyjnym o $\text{pH} = 5,4$ — $\text{Mn}_{\text{pH}5,4}$ [16], 6) — trudno ulegający redukcji — Mn_{a+r} [1].

Wszystkie oznaczenia wykonano w glebie o wilgotności aktualnej, lecz odważki do analiz sporządzano w przeliczeniu na suchą masę. Mangan oznaczono metodą nadsiarczanową [12] w materiale roślinnym po jego spaleniu w mieszaninie HNO_3 , H_2SO_4 i HClO_4 oraz w wyciągach glebowych z wyjątkiem Mn_w i Mn_a . Mangan rozpuszczalny w wodzie i wymienny oznaczono metodą formaldoksymową [17].

Otrzymane wyniki, jako wycinek szerszych badań nad manganem, opracowano metodą regresji wielokrotnej. Przedstawiają one w ujęciu kompleksowym wpływ ilościowy nawożenia organicznego, odczynu, wilgotności, ogólnej liczebności bakterii i promieniowców oraz czasu trwania badań na rozpuszczalność sześciu frakcji manganu glebowego i ich do-

* Obornik wstępnie suszono na powietrzu, a następnie w suszarce w temperaturze 40°C i mielono w tym stanie w homogenizatorze.

stępność dla owsa. Zamieszczone wyniki obrazują również ilościowy wpływ badanych czynników na koncentrację i pobranie manganu przez owies.

WYNIKI

WPŁYW ODCZYNU GLEBY, JEJ WILGOTNOŚCI, NAWOŻENIA ORGANICZNEGO I OGÓLNEJ LICZEBNOŚCI BAKTERII I PROMIENIOWCÓW ORAZ CZASU BADAŃ NA ROZPUSZCZALNOŚĆ SZĘŚCIU FRAKCJI MANGANU

Zróznicowany odczyn (pH 3,75-7,75) i wilgotność (4,02-21,66% H_2O) gleby w eksperymentalnym okresie (104 dni) wywarły największy, wśród uwzględnionych właściwości gleby, wpływ na przemiany badanych frakcji manganu (tab. 2). Z bezwzględnych wartości cząstkowych współczynników regresji wynika, że wpływ odczynu na rozpuszczalność poszczególnych frakcji maleje od Mn_w do $Mn_{pH\ 5,4}$ i jest nieistotny dla $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} . Jak wynika ze współczynników równań regresji, zwiększenie wartości pH gleby o jednostkę powoduje zmniejszenie zawartości w niej manganu od 2 (Mn_w) do 10 ($Mn_{pH\ 6,2}$) ppm.

Stopień wpływu wilgotności gleby na rozpuszczalność poszczególnych frakcji manganu był podobny, z wyjątkiem Mn_w i Mn_{a+r} . Działaniem istotnym tego czynnika objęte są, poza Mn_{a+r} , wszystkie badane frakcje manganu. Zwiększenie wilgotności gleby o 1% powoduje wzrost zawartości w niej manganu od 1,4 (Mn_w) do 3,1 ($Mn_{pH\ 5,4}$) ppm.

Nawożenie gleby obornikiem, liczebność w niej bakterii i promieniowców (142-2116 tys. komórek w 1 g suchej masy gleby) oraz okres prowadzonych badań wywierają mniejszy wpływ na przemiany poszczególnych frakcji manganu. Istotność działania tych czynników jest udowodniona tylko dla niektórych frakcji manganu. Można więc mówić o tendencji do wzrostu zawartości $Mn_{pH\ 8}$, $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} oraz zmniejszenia ilości Mn_a pod wpływem nawożenia gleby obornikiem, przyjmując za jednostkę pomiaru procent węgla organicznego w glebie. Podobnie można powiedzieć o zwiększeniu zawartości Mn_w i zmniejszeniu Mn_a , $Mn_{pH\ 8}$, $Mn_{pH\ 6,2}$ i $Mn_{pH\ 5,4}$, jeśli liczebność bakterii i promieniowców ulegnie zwiększeniu o 10 tys. w 1 g suchej masy gleby oraz o zwiększeniu zawartości Mn_w , $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} wraz z przedłużeniem czasu badań o jeden dzień.

Z wartości liczbowych współczynników korelacji wielokrotnej, wyrażonych w procentach, wynika, że rozpuszczalność poszczególnych frakcji manganu w warunkach przeprowadzonych badań kontrolowana jest od 28 (Mn_{a+r}) do 63% ($Mn_{pH\ 8}$) — uwzględnionymi czynnikami glebowymi — oraz od 22 ($Mn_{pH\ 5,4}$) do 62% ($Mn_{pH\ 8}$) — czynnikami działającymi istotnie.

Regresje wielokrotne frakcji manganu względem nawożenia gleby obornikiem, jej odczynu, wilgotności oraz liczebności bakterii i promieniowców i czynnika czasu
 $n = 54$

Frakcje manganu	Znormalizowane cząstkowe współczynniki regresji ^a					Eliminacje zmiennych niezależnych i odpowiadające im współczynniki korelacji wielokrotnej w % ^b					Współczynniki równań regresji uwzględniające istotne zmienne niezależne ^c									
	A	B	C	D	E	$R_5^2 \cdot 100$	1	$R_4^2 \cdot 100$	2	$R_3^2 \cdot 100$	3	$R_2^2 \cdot 100$	4	$R_1^2 \cdot 100$	b_0	b_A	b_B	b_C	b_D	b_E
Mn_w	-0,23	-0,76	0,27	0,02	0,16	58**	D	58**	E	55**				105,0	-41,0	-2,0	1,4			
Mn_a	-0,06	-0,53	0,51	-0,002	0,35	61**	D	61**	A	61**				36,0		-14,7	4,2			0,6
Mn_{pH8}	0,03	-0,57	0,48	-0,13	0,24	63**	A	63**	D	62**				95,7		-20,0	4,1			0,4
$Mn_{pH6,2}$	0,16	-0,34	0,41	-0,10	0,14	35**	D	34**	A	33**	E	32**		120,4		-10,1	2,8			
$Mn_{pH5,4}$	0,08	-0,00	0,48	-0,22	0,26	31**	B	31**	A	30**	D	27**	E	76,9			3,1			
Mn_{a+r}	0,22	-0,12	-0,17	0,42	0,15	28**	B	28**	E	25**	C	23**		229,9	37,0					0,01

^a Znormalizowane cząstkowe współczynniki regresji wielokrotnej, uwzględniające wszystkie badane czynniki.

^b Współczynniki korelacji wielokrotnej w modelu uwzględniającym j zmiennych niezależnych; cyfry arabskie oznaczają numery kolejnych eliminacji zmiennych niezależnych o działaniu nieistotnym,

^c Równanie regresji: $Y = b_0 + b_A \cdot x_A + b_B \cdot x_B + b_C \cdot x_C + b_D \cdot x_D + b_E \cdot x_E + b_F \cdot x_F$,

A — Zawartość węgla organicznego w procentach suchej masy gleby,

B — Odczyn gleby mierzony w paście przy stosunku gleby do wody równym 4:1,

C — Wilgotność w procentach suchej masy gleby,

D — Ogólna aktywność biologiczna gleby mierzona liczebnością bakterii i promieniowców w jednym g suchej masy gleby,

E — Czas badań w dniach,

F — Frakcje manganu,

n — Ilość replikacji,

** Korelacje istotne dla $L = 0,05$. Identyczne oznaczenia zastosowano w tabelach 3-7.

WPŁYW ODCZYNU, WILGOTNOŚCI, NAWOŻENIA ORGANICZNEGO,
OGÓLNEJ LICZEBNOŚCI BAKTERII I PROMIENIOWCÓW
ORAZ ZAWARTOŚCI W GLEBIE SZĘŚCIU FRAKCJI MANGANU
I CZYNNIKA CZASU NA KONCENTRACJĘ TEGO MIKROSKŁADNIKA W OWSIE

Spośród sześciu badanych czynników (tab. 3) odczyn gleby wykazuje największy wpływ na koncentrację manganu w owsie. Wartości bezwzględne cząstkowych współczynników regresji, informujące o rozmiarach tego wpływu, wzrastają w miarę włączania do kompleksowych badań coraz trudniej rozpuszczalnych frakcji manganu. Wpływ tych ostatnich systematycznie maleje od Mn_w do $Mn_{pH\ 6,2}$ i wykazuje istotne działanie dodatnie, w przeciwieństwie do ujemnego wpływu odczynu (tylko dla frakcji Mn_w i Mn_a)*. Z współczynników równań regresji wynika, że zwiększenie zawartości w glebie Mn_w i Mn_a o 1 ppm zwiększa koncentrację manganu w owsie odpowiednio o 11 i 3 ppm. Zwiększenie natomiast pH gleby o jednostkę zmniejsza zawartość manganu w owsie od 154 do 263 ppm. Zawartość w glebie $Mn_{pH\ 8}$, $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} nie jest istotnie skorelowana z koncentracją manganu w owsie. Potwierdza to wcześniejsze ustalenia autora, dokonane w innych warunkach i na innym materiale doświadczalnym [10]. W warunkach przeprowadzonych badań na koncentrację manganu w owsie nie ma również istotnego wpływu nawożenie gleby obornikiem, jej wilgotność, zawartość w niej bakterii i promieniowców, oraz czas trwania badań. Stwierdzono jedynie tendencje do zmniejszenia koncentracji manganu w owsie wraz ze wzrostem wilgotności gleby i pod wpływem zastosowanego obornika oraz tendencje do wzrostu koncentracji manganu w owsie wraz ze wzrostem liczebności bakterii i promieniowców w glebie i w miarę starzenia się roślin.

WPŁYW ODCZYNU, WILGOTNOŚCI, NAWOŻENIA ORGANICZNEGO,
OGÓLNEJ LICZEBNOŚCI BAKTERII I PROMIENIOWCÓW ORAZ ZAWARTOŚCI
W GLEBIE SZĘŚCIU FRAKCJI MANGANU I CZYNNIKA
CZASU NA POBRANIE MANGANU PRZEZ OWIES

Istotny wpływ na pobranie manganu przez owies posiada odczyn gleby, liczebność bakterii i promieniowców oraz faza wzrostu owsa (czynnik czasu), a także zawartość w glebie Mn_w (tab. 4). Zwiększenie pH gleby o jednostkę zmniejsza pobranie manganu od 7,08 do 10,26 mg/wazon, natomiast wzrost liczebności bakterii i promieniowców o 10 tys. w 1 g suchej masy gleby, zawartości Mn_w o 1 ppm i przedłużenie badań o 1 dzień zwiększa pobranie manganu odpowiednio o 0,02, 0,34 i od 0,35 do 0,43 mg/wazon. Rozmiary wpływu tych czynników w oparciu o

* Największe wartości współczynników korelacji dla zależności między zawartością w glebie Mn_w i Mn_a a koncentracją manganu w owsie otrzymał również Beer [3] oraz Beer i wsp. [4].

Tabela 3

Regresje wielokrotne koncentracji manganu w owsie względem nawożenia gleby obornikiem, jej odczynu, wilgotności, liczebności bakterii i promieniowców oraz czynnika czasu i frakcji manganu
n = 54

Znormalizowane cząstkowe współczynniki regresji						Eliminacje zmiennych niezależnych nieistotnych i odpowiadające im współczynniki korelacji wielokrotnej w %																	Współczynniki równań regresji uwzględniające istotne zmienne niezależne				
A	B	C	D	E	F	R ₆ ² ·100	1	R ₅ ² ·100	2	R ₄ ² ·100	3	R ₃ ² ·100	4	R ₂ ² ·100	5	R ₁ ² ·100	18	19	20	21	22	23	24				
-0,11	-0,43	-0,14	0,36	0,07	0,44 Mn _w	60**	D	60**	E	60**	A	59**	C	57**		1148			-154					11			
-0,19	-0,62	-0,16	0,05	0,05	0,28 Mn _a	55**	D	55**	E	55**	C	53**	A	50**		1612			-227					3			
-0,21	-0,67	-0,09	0,07	0,11	0,17 Mn _{pH8}	53**	D	53**	C	52**	F	52**	E	50**	A	1930			-263								
-0,21	-0,76	-0,02	0,04	0,15	0,00 Mn _{pH6,2}	52**	F	52**	C	52**	D	52**	E	50**	A	1930			-263								
-0,21	-0,77	-0,04	0,05	0,13	0,05 Mn _{pH5,4}	52**	C	52**	F	52**	D	52**	E	50**	A	1930			-263								
-0,20	-0,79	-0,02	0,08	0,14	-0,05 Mn _{a+r}	52**	C	52**	F	52**	D	52**	E	50**	A	1930			-263								

Tabela 4

Regresje wielokrotne pobrania manganu przez owies względem nawożenia gleby obornikiem, jej odczynu, wilgotności, liczebności bakterii i promieniowców oraz czynnika czasu i frakcji manganu
n = 54

Znormalizowane cząstkowe współczynniki regresji						Eliminacje zmiennych niezależnych nieistotnych i odpowiadające im współczynniki korelacji wielokrotnej w %																	Współczynniki równań regresji uwzględniające istotne zmienne niezależne				
A	B	C	D	E	F	R ₆ ² ·100	1	R ₅ ² ·100	2	R ₄ ² ·100	3	R ₃ ² ·100	4	R ₂ ² ·100	5	R ₁ ² ·100	18	19	20	21	22	23	24				
-0,07	-0,49	0,05	0,40	0,37	0,26 Mn _w	52**	C	52**	A	51**						7	-7,08		0,02	0,35	0,34						
-0,12	-0,62	0,05	0,40	0,36	0,14 Mn _a	50**	C	50**	A	49**	F	46**				27	-10,26		0,02	0,43							
-0,13	-0,67	0,10	0,41	0,40	0,04 Mn _{pH8}	49**	F	49**	A	48**	C	46**				27	-10,26		0,02	0,43							
-0,14	-0,68	0,10	0,41	0,40	0,04 Mn _{pH6,2}	49**	F	49**	A	48**	C	46**				27	-10,26		0,02	0,43							
-0,13	-0,69	0,11	0,40	0,41	0,01 Mn _{pH5,4}	49**	F	49**	A	48**	C	46**				27	-10,26		0,02	0,43							
-0,15	-0,63	0,14	0,32	0,41	0,13 Mn _{a+r}	50**	F	50**	A	48**	C	46**				27	-10,26		0,02	0,43							

bezwzględne wartości cząstkowych współczynników regresji tworzą szereg malejący: $B > D > E > F$ Mn_w . Pozostałe badane frakcje manganu (Mn_a , $Mn_{pH\ 8}$, $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$, i Mn_{a+r}) oraz nawożenie gleby obornikiem i jej wilgotność nie mają istotnego wpływu na pobranie manganu. Pobranie to, jak wynika z wartości liczbowych współczynników korelacji wielokrotnej, kontrolowane jest przez badane czynniki od 49 do 52%, a przez czynniki działające istotnie od 46 do 51 procent.

DYSKUSJA

Spośród kilku czynników glebowych, których kompleksowy wpływ badano na przemiany i dostępność dla owsa sześciu frakcji manganu, odczyn jest czynnikiem determinującym zawartość w glebie Mn_w , Mn_a i $Mn_{pH\ 8}$ oraz pobranie i zawartość tego mikroskładnika w owsie (tab. 7). W warunkach doświadczeń modelowych zróżnicowanie odczynu w szerokim zakresie (pH 3,75-7,75), spotykane jednak na glebach lekkich w warunkach pól produkcyjnych, pozwoliło prześledzić wpływ tego czynnika na zmiany rozpuszczalności Mn_w , Mn_a , $Mn_{pH\ 8}$, $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} na tle zróżnicowanej wilgotności i nawożenia organicznego (tab. 5).

Wpływ odczynu gleby na ilościowe zmiany wymienionych frakcji manganu, badany w ujęciu sumarycznym, w którym każda następna frakcja jest sumą poprzednich, np.: Mn_a jest sumą Mn_w i Mn_a , a $Mn_{pH\ 8}$ odpowiednio Mn_w , Mn_a i manganu łatwo ulegającego redukcji, dowodzi zwiększenia zawartości w glebie wszystkich badanych frakcji w procesie zakwaszania gleby. Wyjątek stanowi frakcja Mn_{a+r} , której zawartość w glebie nie ulega istotnej zmianie podczas zmniejszenia jej odczynu z pH 5,65 na 4. Pod względem rozmiarów wzrostu zawartości badane frakcje tworzą szereg malejący: $Mn_w > Mn_a > Mn_{pH\ 8} > Mn_{pH\ 6,2} > Mn_{pH\ 5,4}$. Odwrotne ich zachowanie stwierdza się w warunkach wzrastającego pH pod wpływem wapnowania gleby. Zmniejszenie rozpuszczalności występuje w obrębie Mn_w — $Mn_{pH\ 5,4}$ i tworzy pod względem rozmiarów szereg malejący: $Mn_{pH\ 8} > Mn_w > Mn_a > Mn_{pH\ 6,2} > Mn_{pH\ 5,4}$. Zawartość frakcji Mn_{a+r} nie ulega istotnej zmianie również pod wpływem wapnowania gleby.

Badanie wpływu odczynu na przemiany manganu glebowego w ujęciu sumarycznym nie wskazuje źródła wzrostu rozpuszczalności tego mikroskładnika podczas zakwaszania gleby oraz miejsca jego „cofnięcia” pod wpływem wapnowania. Rzeczywisty obraz przebiegu zmian rozpuszczalności badanych frakcji manganu w tych warunkach otrzymuje się po odjęciu od wartości każdej następnej frakcji bezwzględnej wartości frakcji poprzedniej, np.: Mn_a — Mn_w , $Mn_{pH\ 8}$ — Mn_a , $Mn_{pH\ 6,2}$ — $Mn_{pH\ 8}$ itp. (tab. 6). Jest to tak zwane ujęcie różnicowe. Jak wynika z danych lic-

Tabela 5

Wpływ interakcji między odczynem a wilgotnością gleby na zmiany rozpuszczalności sześciu frakcji manganu (niezależnie od terminów pomiaru)^a

Frakcje manganu		Badane obiekty								
		pH	Bez obornika $n = 18$				Z obornikiem $n = 10$			
			wilgotność gleby w procentach kapilarnej pojemności wodnej							
		20—30	50—60	90—100	NIR ^b	20—30	50—60	90—100	NIR	
Mn _w	4	43,38	49,09	80,91		22,84	30,70	33,61		
	5	1,53	0,46	7,12	1,01	19,86	15,37	19,58	7,08	
	7,5	0,25	0,28	2,35		5,16	0,27	0,27		
Mn _a	4	60,70	64,13	115,21		55,04	48,76	64,74		
	5	8,01	2,93	74,33	1,79	42,98	37,88	54,22	2,93	
	7,5	4,23	3,07	45,27		1,72	5,48	17,05		
Mn _{pH8}	4	76,11	75,98	131,29		79,92	74,12	88,80		
	5	30,25	26,75	88,42	1,07	72,32	66,08	82,32	2,29	
	7,5	4,46	4,40	55,86		13,30	11,70	25,78		
Mn _{pH6,2}	4	93,30	95,39	155,88		102,90	98,10	105,20		
	5	68,09	66,51	105,01	1,69	97,60	94,30	112,60	4,42	
	7,5	47,76	35,45	93,68		80,90	81,10	95,40		
Mn _{pH5,4}	4	103,19	101,60	154,99		107,10	103,30	111,00		
	5	81,32	84,20	137,87	2,24	103,00	99,30	109,70	4,24	
	7,5	77,00	73,49	119,36		104,70	102,00	113,80		
Mn _{a+r}	4	259,12	262,25	250,37		291,20	273,20	280,00		
	5	266,37	258,25	261,27	7,48	280,60	294,20	283,00	7,57	
	7,5	267,00	265,00	255,75		280,08	291,20	280,40		

^a Badane frakcje Mn zestawiono w ujęciu sumarycznym.

^b Najmniejsza istotna różnica dla $L = 0,05$.

bowych tabeli 6, zakwaszenie gleby powoduje zwiększenie zawartości w niej tylko Mn_w i Mn_a we wszystkich badanych obiektach. Obydwie frakcje manganu zostały zwiększone w wyniku zmniejszenia zawartości Mn_{pH 8}, Mn_{pH 6,2}, Mn_{pH 5,4} i Mn_{a+r}. Największy procentowy spadek zawartości wykazuje frakcja Mn_{pH 8}, a najmniejszy Mn_{a+r}.

Zwiększenie wartości pH gleby z 5,65 na 7,5 w wyniku jej zwapnowania spowodowało w ujęciu różnicowym zmniejszenie zawartości tylko Mn_w, Mn_a i Mn_{pH 8}. Pod względem rozmiarów zmniejszenia rozpuszczalności frakcje te tworzą szereg malejący: Mn_{pH 8} > Mn_w > Mn_a. Zawartość w glebie pozostałych badanych frakcji manganu (Mn_{pH 6,2}, Mn_{pH 5,4}, Mn_{a+r}) została zwiększona pod wpływem wapnowania. Powyższe dane sugerują, że Mn²⁺, występujący w postaci kationu w roztworze glebowym (Mn_w) i w kompleksie sorpcyjnym w postaci zasorbowanej wymien-

Tabela 6

Wpływ interakcji między odczynem a wilgotnością gleby na zmiany rozpuszczalności sześciu frakcji manganu (niezależnie od terminów pomiaru)^a

Frakcje manganu	pH	Bez obornika $n = 18$			Z obornikiem $n = 10$		
		wilgotność gleby w procentach kapilarnej pojemności wodnej					
		20-30	50-60	90-100	20-30	50-60	90-100
Mn_w	4	43,38	49,09	80,91	22,84	30,70	33,61
	5	1,53	0,46	7,12	19,86	15,37	19,58
	7,5	0,25	0,28	2,35	5,16	0,27	0,27
Mn_a	4	17,39	15,04	34,30	32,20	18,06	31,13
	5	6,48	2,47	67,21	23,12	22,51	34,61
	7,5	3,98	2,79	42,92	0,00	5,21	16,78
Mn_{pH8}	4	15,34	11,85	16,08	24,88	25,36	24,06
	5	22,24	23,82	14,09	29,34	28,20	28,10
	7,5	0,23	1,33	10,59	11,58	6,22	8,73
$Mn_{pH6,2}$	4	17,19	20,41	24,59	22,98	23,98	16,40
	5	37,84	39,76	16,59	25,28	28,22	30,28
	7,5	43,30	31,05	37,82	67,60	69,40	69,62
$Mn_{pH5,4}$	4	9,89	6,21	0,00	4,20	5,20	5,80
	5	13,23	17,69	32,86	5,40	5,00	0,00
	7,5	29,24	38,04	25,68	23,80	20,90	18,40
Mn_{a+r}	4	155,93	161,65	105,38	184,10	169,90	169,00
	5	185,08	174,05	123,40	177,60	174,90	173,30
	7,5	190,00	191,51	136,39	176,10	189,20	166,60

^a Badane frakcje manganu zestawiono w ujęciu różnicowym

nie ($Mn_a - Mn_w$), przechodzi w warunkach wzrastającego pH gleby w połączenia wodorotlenkowe, wypadające z roztworu [7]: $Mn^{2+} + 2 OH \rightarrow Mn(OH)_2$. Koagulatory wodorotlenku manganowego w glebie o dobrej aeracji mogą przejść w wodorotlenek manganowy [14] $4Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 4 MnOOH + 2 H_2O$. Wysokie pH gleby i dobre jej przewietrzenie, według Diona i Manna [za 7], sprzyja przechodzeniu Mn^{3+} w trudno rozpuszczalny MnO_2 według schematu: $2Mn_2O_3 + O_2 \rightarrow 4 MnO_2$. Stosunkowo słaba rozpuszczalność powstałych wodorotlenków, malejąca ze wzrostem utlenienia manganu [7], znajduje potwierdzenie w badaniach autora. W obiektach nie nawożonych obornikiem, ale nadmiernie uwilgotnionych, warunkujących przewagę procesów redukcyjnych w glebie, rozmiary zmniejszenia zawartości Mn_w pod wpływem zwapnowania gleby do pH = 7,5 są około 10-krotnie mniejsze niż w obiektach o wilgotności 20-60% kapilarnej pojemności wodnej gleby. Podobny trend zawartości w tych warunkach wykazuje Mn_a i Mn_{pH8} .

Tabela 7

Wpływ interakcji między obornikiem, odczynem i wilgotnością gleby na plony, koncentrację i pobranie manganu przez owies (niezależnie od terminów sprzętu)

Nawożenie organiczne gleby	Wilgotność gleby w procentach kapilarnej pojemności wodnej											
	20-30				50-60				90-100			
pH	plon owsa w g/wazon s.m. n = 8(4)	koncentracja Mn w s.m. owsa w ppm n = 10	pobranie Mn mg/wazon n = 8(4)	plon owsa w g/wazon s.m. n = 8(4)	koncentracja Mn w s.m. owsa w ppm n = 10	pobranie Mn mg/wazon n = 8(4)	plon owsa w g/wazon s.m. n = 8(4)	koncentracja Mn w s.m. owsa w ppm n = 10	pobranie Mn mg/wazon n = 8(4)	plon owsa w g/wazon s.m. n = 8(4)	koncentracja Mn w s.m. owsa w ppm n = 10	pobranie Mn mg/wazon n = 8(4)
•4	2,63 (8,35) ^a	1472	3,59 (14,89)	12,51 (42,80)	1505	20,07 (138,63)	18,69 (36,30)	787	13,85 (22,72)			
5	16,54 (40,42)	271	4,20 (12,94)	30,13 (67,05)	184	7,28 (10,83)	43,63 (78,75)	214	8,41 (12,70)			
7,5	13,28 (33,56)	134	1,51 (4,12)	30,15 (77,36)	133	3,08 (9,77)	37,15 (82,69)	95	2,71 (6,21)			
4	12,27 (33,17)	924	9,82 (34,87)	31,06 (82,52)	693	17,28 (57,68)	28,93 (84,47)	774	17,23 (92,79)			
5	15,74 (39,39)	597	9,01 (23,19)	28,85 (83,17)	517	14,46 (38,10)	32,72 (86,30)	582	15,20 (76,17)			
7,5	14,66 (36,26)	100	1,29 (3,23)	27,12 (73,91)	62	1,47 (2,88)	27,73 (85,02)	85	2,92 (4,42)			
NIR dla L=0,05	5,52 (5,53)	22	0,97 (3,40)	5,52 (5,53)	22	0,97 (3,40)	5,52 (5,53)	22	0,97 (3,40)			

^a Liczby podane w nawiasach dotyczą V terminu sprzętu owsa (faza dojrzałości pełnej).

W obiektach nawożonych obornikiem i nadmiernie uwilgotnionych zawartość Mn_w nie wykazuje wspomnianego wyżej wzrostu, a rozmiary zwiększenia zawartości Mn_a są również mniejsze. Powyższe różnice spowodowane są prawdopodobnie wiązaniem Mn^{2+} przez substancje organiczne, wprowadzone do gleby z obornikiem. Rozpuszczalność takich połączeń, zarówno o charakterze kompleksowym, jak i jonowym, zmniejsza się, według Sapka [15], wraz ze wzrostem wartości pH środowiska.

Drugi spośród badanych czynników — który spowodował znaczne zmiany w rozpuszczalności manganu glebowego — to wilgotność gleby. Zróżnicowanie jej w zakresie 20-60% kapilarnej pojemności wodnej nie wywołuje istotnych zmian ilościowych w zawartości wszystkich badanych frakcji manganu. Natomiast długotrwałe nadmierne uwilgotnienie gleby (90-100% kapilarnej pojemności wodnej) prowadzi do wzrostu zawartości wszystkich badanych frakcji manganu, rozpatrywanych sumarycznie, z wyjątkiem Mn_{a+r} (tab. 5). Ta ostatnia frakcja nie wykazuje istotnych zmian ilościowych pod wpływem zróżnicowanej wilgotności gleby. Jak wynika z tabeli 5, zwiększenie zawartości badanych frakcji manganu pod wpływem nadmiernego uwilgotnienia gleby jest tym większe, im wyższe jest pH gleby.

Pod względem rozmiarów wzrostu rozpuszczalności frakcje te tworzą szereg malejący: $Mn_a > Mn_w > Mn_{pH\ 8} > Mn_{pH\ 6,2} > Mn_{pH\ 5,4}$. Największy wzrost zawartości Mn_a , wraz ze wzrostem wilgotności gleby, potwierdza wcześniejsze badania autora [11]. Dowodzi on również, że w warunkach nadmiernej wilgotności gleby, stwarzającej przewagę procesów beztlenowych, głównie o charakterze mikrobiologicznym, zachodzi redukcja utlenionych form manganu glebowego do Mn^{2+} i jego akumulacja w kompleksie sorpcyjnym w postaci wymiennej.

Podobny wzrost zawartości Mn_a i frakcji manganu łatwo ulegających redukcji w ujęciu sumarycznym pod wpływem zróżnicowanej wilgotności obserwował Beer [2] na glebach lekkich wapnowanych i nie wapnowanych. O zwiększeniu zawartości w glebie manganu łatwo ulegającego redukcji pod wpływem wzrastającego uwilgotnienia gleby donoszą również Sierdobolski [18], Grawen i Attoe [9], Grasmanis i Leeper [8].

W ujęciu różnicowym w poszczególnych obiektach uległa od kilku do kilkudziesięciokrotnemu zwiększeniu frakcja Mn_w i Mn_a . Rozmiary wzrostu zawartości Mn_a są większe niż Mn_w . Oprócz Mn_w i Mn_a zwiększona została również zawartość $Mn_{pH\ 8}$, lecz tylko w obiektach o pH 7,5. Zawartość pozostałych badanych frakcji manganu, a szczególnie Mn_{a+r} została zmniejszona pod wpływem zachodzących procesów redukcyjnych.

Porównanie wpływu zróżnicowanej wilgotności gleby na rozpuszczalność poszczególnych frakcji manganu (tab. 2) z jej wpływem na zawartość manganu w owsie (tab. 3) wskazuje na sprzeczność między zawar-

tością w glebie manganu dostępnego dla roślin a ilością tego mikroskładnika w suchej masie części nadziemnych owsa. Wzrastająca wilgotność gleby powyżej 60⁰/₀ jej kapilarnej pojemności wodnej sypkiej masy gleby powoduje bardzo wyraźny wzrost zawartości manganu dostępnego dla owsa, natomiast koncentracja Mn w owsie maleje. O zmniejszeniu zawartości manganu w owsie i kilku innych roślinach uprawnych na lekkich glebach meklemburskich w latach wilgotnych donosi Borchmann [6]. Podobne rezultaty nad wpływem zróżnicowanej wilgotności gleby na zawartość manganu w owsie w doświadczeniach modelowych otrzymał Beer [2]. Wymienieni badacze tłumaczą zmniejszenie zawartości manganu w roślinach pod wpływem wzrastającej wilgotności gleb lekkich stosunkowo ich małą zasobnością w mangan ogólny i dostępny dla roślin. Jest to, ich zdaniem, powodem „rozcieńczenia” tego mikroskładnika we wzrastającej masie plonu roślin w warunkach lepszego uwilgotnienia gleb.

Wyniki autora zgodne są z powyższym wyjaśnieniem tylko w zakresie wilgotności gleby od 20 do 60⁰/₀ jej kapilarnej pojemności wodnej. Z porównania danych liczbowych tabeli 5 i 7 wynika, że w tym zakresie wilgotności zawartość badanych frakcji manganu nie zmienia się w glebie lekkiej. Plony owsa w tych warunkach wzrastają natomiast najsilniej. Zwiększa się również pobranie manganu w mg z wazonu. Dalszy wzrost wilgotności gleby aż 90-100⁰/₀ jej kapilarnej pojemności wodnej wywołuje raptowny wzrost zawartości manganu, szczególnie jego frakcji łatwo rozpuszczalnych. Powinno to przy plonie owsa utrzymującym się na poziomie podobnym, jak w obiektach o mniejszej wilgotności (50-60⁰/₀), prowadzić do wzrostu koncentracji w nim manganu oraz zwiększonego pobrania tego mikroskładnika (tab. 7). Dane tabeli 7 dowodzą natomiast dalszego spadku koncentracji i pobrania manganu. Należy przypuszczać, że nadmierna wilgotność gleby nie sprzyja pobieraniu manganu przez owies, mimo jego obecności w bardzo dużych ilościach w środowisku wzrostu w postaci łatwo dostępnej. Z tabeli 7 wynika również, że zmniejszona koncentracja i pobranie manganu w tych warunkach nie jest spowodowana toksycznym działaniem manganu. Wyjaśnienia przyczyn tego zjawiska należy prawdopodobnie szukać w nadmiernej wilgotności gleby oraz jej wpływie na rozpuszczalność wielu innych składników, a przede wszystkim żelaza i glinu, i antagonistycznym ich działaniu w stosunku do manganu.

WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Spośród sześciu badanych czynników odczyn i wilgotność gleby wykazują największy wpływ na przemiany manganu glebowego.

2. Zmiany pH gleby lekkiej w zakresie 3,75-7,75, wywołane jej zakwaszeniem i odkwaszeniem powodują ilościowe zmiany wszystkich badanych frakcji manganu:

a. Zmniejszenie wartości pH gleby z 5,65 na 4 zwiększa w ujęciu „różnicowym” zawartość w niej Mn^{2+} , występującego w roztworze glebowym (Mn_w) i w kompleksie sorpcyjnym (Mn_a). Wzrost zawartości tych frakcji manganu jest wynikiem zmniejszenia ilości $Mn_{pH\ 8}$, $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} ,

b. Zwiększenie wartości pH gleby z 5,65 na 7,5 zmniejsza zawartość w glebie Mn^{2+} , występującego w roztworze glebowym (Mn_w) i w kompleksie sorpcyjnym (Mn_a) oraz manganu łatwo ulegającego redukcji ($Mn_{pH\ 8}$), a zwiększa ilość $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} .

3. Wilgotność gleb lekkich zróżnicowana w zakresie 20-60% ich kapilarnej pojemności wodnej nie wywołuje istotnych zmian w rozpuszczalności manganu glebowego. Natomiast nadmierne i długotrwałe ich uwilgotnienie (90-100% kapilarnej pojemności wodnej), warunkujące przewagę procesów beztlenowych, powoduje wzrost zawartości Mn^{2+} w roztworze glebowym i w kompleksie sorpcyjnym oraz manganu łatwo ulegającego redukcji ($Mn_{pH\ 8}$), a zmniejszenie ilości $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} .

4. Wpływ wilgotności gleby na przemiany manganu glebowego jest uzależniony od odczynu gleby i nawożenia jej obornikiem. Jest on większy w obiektach o wyższym pH, a mniejszy w obiektach nawożonych obornikiem.

5. Spośród sześciu badanych frakcji manganu istotnie skorelowany z koncentracją manganu w owsie, jako wskaźnik dostępności dla roślin, jest Mn_w i Mn_a . Zawartości w glebie $Mn_{pH\ 8}$, $Mn_{pH\ 6,2}$, $Mn_{pH\ 5,4}$ i Mn_{a+r} nie mają istotnego wpływu na zaopatrzenie owsa w mangan.

6. Istotny wpływ na koncentrację manganu w owsie wywiera również odczyn gleby. Jest on, poza zawartością Mn_w i Mn_a , również trafnym wskaźnikiem jej zdolności do zaopatrzenia owsa w mangan.

7. Trafnym wskaźnikiem zasobności gleb lekkich w mangan dostępny dla owsa jest także pobranie tego mikroskładnika, wykazujące istotną korelację ujemną z odczynem gleby oraz dodatnią z zawartością w niej Mn_w i liczebnością bakterii i promieniowców, a także z fazą wzrostu owsa.

LITERATURA

1. Beer K.: Untersuchungen über Bindungs Verhältnisse und Dynamik des Mangans in typischen mitteldeutschen Böden als Grundlage für die Bodenuntersuchung auf pflanzenverfügbares Mangan. Jena, Fridrich-Schiller-Univ., Diss., 1965.

2. Beer K.: Untersuchungen über den Einfluss der Feuchtigkeit des Bodens auf die Dynamik der leicht löslichen Bodenmanganfraktionen und die Manganaufnahme der Pflanzen. *Albrecht-Thaer-Archiv.*, 13, 7, 1969, s. 657-669.
3. Beer K.: Der Einfluss von Kalkung und Düngung auf die Dynamik der Bodenmanganfraktionen und die Manganaufnahme der Pflanzen auf verschiedenen Böden der DDR. *Thaer-Archiv.*, 12, 1, 1968, s. 53-68.
4. Beer K.; Grüdler C., Prausse A., Willing A., Wrazidlo W.: Einfluss von Kalkung und Düngung auf die Dynamik der Manganfraktionen in Thüringer Buntsandstein-verwitterungsböden und die Manganaufnahme von *Solanum tuberosum* L. *Thaer-Archiv.*, 10, 10, 1966, s. 909-926.
5. Boratyński K., Roszykowska S., Ziętecka M.: O metodach chemicznych (kolorymetrycznych) oznaczania zasobności gleb w mangan przyswajalny dla roślin. *Roczn. glebozn.*, XV, 1, 1965, s. 167-190.
6. Borchmann W.: Untersuchungen über den Mangan-, Kupfer-, und Kobaltgehalt landwirtschaftlicher Futterpflanzen und dessen Beeinflussung durch exogene Faktoren. Rostock, Univ., *Habil.-Schr.*, 1964, s. 155-197.
7. Buckman H. C., Brady N. C.: *Gleba i jej właściwości*. PWN, Warszawa 1971.
8. Grasmanis V. O., Leeper G. W.: Toxis manganese in near-neutral soil. *Plant and Soil*, 25, 1966, s. 41-48.
9. Grawen E. H., Attoe O. J., Smith D.: Effect of liming and flooding on manganese toxicity in alfalfa. *Soil Sci. Soc., Amer. Proc.*, 29, 1965, s. 702-706.
10. Kukurenda H.: Przydatność niektórych metod chemicznych do oznaczania w glebie przyswajalnych dla roślin form manganu. *Wydawn. PTPN*, XXVIII, 1969, s. 241-262.
11. Kukurenda H.: Influence of some properties of soil on behaviour of 6 fractions of manganese. *Roczn. glebozn.*, XXVI, 1 (w druku).
12. *Metody oznaczania dostępnych mikroelementów w glebach (projekt)*. Wydawn. PTG, Kom. Chemii Gleb, Zespół Mikroel., Warszawa 1966.
13. Page E. R., Schofield-Palmer, Mc Gregor A. J.: Studies in soil and plant manganese. I. Manganese in soil and its uptake by oats. *Plant and Soil*, 16, 1962, s. 238-246.
14. Pauling L.: *Chemia ogólna*. PWN Warszawa 1959.
15. Sapek A.: Wiązanie miedzi, manganu i cynku przez substancje próchniczne z torfów. *Roczn. globozn.*, 23, 2, 1972, s. 51-55.
16. Schachtschabel P.: Die Bestimmung des Manganversorgungsgrades von Böden und Seine Beziehung zum Auftreten der Dörrfleckenkrankheit bei Hafer. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd.*, 78 (123), 1956, s. 147-167.
17. Sideris C. P.: Colorimetric microdetermination of manganese. *Ind. Eng. Chem., Arral.*, Ed. 9, 445, 1937.
18. Sierdobolski J. P.: Wlijanie poczwiennych usłowij na priewraszczienija sojedinenij marganca w poczwie. *Trudy Poczvien. Inst. W. W. Dokuczajewa* 33, Rab. po agrch., 1950, s. 192-216.