

STANISŁAW CHWIL

WPLYW ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA NA STAN RÓWNOWAGI JONOWEJ PSZENICY JAREJ, JĘCZMIENIA JAREGO I OWSA W WARUNKACH GLEBY BARDZO KWAŚNEJ

Katedra Chemii Rolnej Akademii Rolniczej w Lublinie

WSTĘP

Rośliny uprawne dobrze rozwijają się w warunkach odczynu lekko kwaśnego i obojętnego. Jednakże mimo jednoznacznych zaleceń odkwaszania gleb i praktycznego stosowania nawozów odkwaszających, większość gleb w Polsce jest kwaśnych i bardzo kwaśnych. Należy zatem również podejmować badania nad produkcją roślinną w warunkach znacznego zakwaszenia gleby. Wiele prac wskazuje, że niekorzystne oddziaływanie kwaśnego odczynu na rośliny nie jest spowodowane wysokim stężeniem jonów wodorowych w roztworze glebowym, ale tak zwanymi wtórnymi skutkami zakwaszenia gleby, wśród których największe znaczenie ma duże stężenie jonów glinu i manganu [Anioł 1977; Dechnik, Filipek 1984; Filipek 1984, 1989].

Stosowanie nawozów, a zwłaszcza odkwaszanie gleby, narusza jednak naturalną równowagę między dostępnymi składnikami pokarmowymi i ma duży wpływ na skład mineralny i chemiczny roślin uprawnych.

Celem przeprowadzonych badań było określenie stanu równowagi jonowej pszenicy jarej, jęczmienia jarego i owsa w fazie kwitnienia pod wpływem zróżnicowanego nawożenia w warunkach silnego zakwaszenia gleby.

METODYKA BADAŃ

Przeprowadzono 3-letnie doświadczenie wazonowe na piasku gliniastym mocnym pylastym w hali wegetacyjnej. Odczyn gleby $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ wynosił 4,1, kwasowość hydrolityczna 25 mmol H^+ /kg gleby, zawartość węgla organicznego 0,69%, całkowita pojemność sorpcyjna – 38,7 mmol (+)/kg gleby, zawartość azotu oznaczonego metodą Kjeldahla 0,08%, zawartość fosforu według Egnera-Riehma 5,2 mg P/kg, zawartość potasu w 1 mol/dm³ octanie amonu 45,6 mg K/kg i zawartość magnezu w 1 mol/dm³ octanie amonu 4,4 mg Mg/kg gleby, zawartość

glinu wymiennego w 1 mol KCl/dm³ 29 mg Al/kg, manganu rozpuszczalnego w roztworze siarczanu magnezowego i siarczynu sodowego o pH 8 wg Schachtschabela 2,9 mg Mn/kg. Masa gleby w wazonie wynosiła 5,0 kg w przeliczeniu na suchą masę. Corocznie na takiej samej glebie stosowano zróżnicowane doglebowe nawożenie przedsiewne. Najwyższa dawka nawozów (dawka podstawowa – poziom I) w doświadczeniu wynosiła w przeliczeniu na 1 kg gleby: 0,142 g N, 0,025 g P, 0,174 g K, 0,007 g Mg i 0,017 g S. Stosowano sześć poziomów zmniejszającego się nawożenia: I – pełna dawka podstawowa, II – 3/4 dawki, III – 1/2 dawki, IV – 1/4 dawki, V – 1/8 dawki i VI – 0 dawki podstawowej (bez nawożenia). Azot zastosowano w formie NH₄NO₃, fosfor Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O, potas KCl i K₂SO₄, a magnez w formie MgSO₄ · 7H₂O.

Schemat doświadczenia obejmował: 3 gatunki roślin zbożowych, 6 poziomów nawożenia w 4 replikacjach i 3 powtórzeniach (w latach 1992–1994). Roślinami badanymi były: pszenica jara odmiany Henika, jęczmień jary odmiany Lot i owies odmiany Dragon. W czasie fazy kwitnienia co roku z jednego wazonu z daną dawką nawozów ścinano części nadziemne, w których w dwóch powtórzeniach oznaczono zawartość jonów.

W nadziemnych częściach roślin w fazie kwitnienia po mineralizacji materiału roślinnego w stężonym kwasie siarkowym z dodatkiem perhydrolu oznaczono: fosfor metodą wanado-molibdenową [Nowosielski 1974], potas metodą fotopłomieniową [Schillak 1967], wapń i magnez metodą ASA [Pinta 1977]. Po mineralizacji materiału roślinnego na sucho w tyglach kwarcowych i w temperaturze 550°C oznaczono ilość manganu metodą ASA [Pinta 1977] oraz glin metodą kolorymetryczną z aluminem¹. W ekstrakcie z 10% kwasem trójchlorooctowym oznaczono azot amonowy kolorymetrycznie metodą Nesslera [Marczenko 1979] oraz azot azotanowy kolorymetrycznie z kwasem fenolodwusulfonowym [Marczenko 1979]. Siarkę siarczanową po spaleniu materiału roślinnego w temperaturze 450°C oznaczono metodą nefelometryczną według Butters i Chenery [Grzesiuk 1968]. Po ekstrakcji 2% kwasem octowym oznaczono sód metodą fotopłomieniową [Schillak 1967] i chlor kolorymetrycznie¹ z azotanem srebra. Z różnicy sumy kationów (C) i anionów nieorganicznych (A) obliczono ilość anionów organicznych (C-A). Zamieszczone w tabelach wyniki są średnimi z trzech lat badań.

WYNIKI

Wzrost pszenicy jarej, jęczmienia jarego i owsa nie był zróżnicowany w początkowym okresie rozwoju. W fazie krzewienia pojawiły się różnice w wysokości roślin. Na obiekcie bez nawożenia (poziom VI) rośliny były znacznie niższe od roślin z poziomów nawożenia I–V. Dalsze zróżnicowanie wzrostu roślin przy zastosowanym nawożeniu wystąpiło w fazie strzelania w źdźbło. Na obiekcie bez nawożenia końce najstarszych liści pszenicy jarej pożółkły, a później na pożółkłych miejscach wystąpiły brązowe nekrotyczne plamki. Na jęczmieniu jarym takie same objawy jak na roślinach pszenicy jarej wystąpiły przy wszystkich dawkach nawozów. Na owsie natomiast nie stwierdzono tego typu objawów.

¹Metody analityczne stosowane w Katedrze Chemii Rolnej Akademii Rolniczej w Lublinie.

TABELA 1. Sucha masa [g/10 roślin] nadziemnych części badanych zbóż jarych w fazie kwitnienia
 TABLE 1. Dry matter [g/10 plants] of overground-parts of spring cereals at the flowering state

Poziom nawożenia Fertilization level	Pszenica jara Spring wheat	Jęczmień jary Spring barley	Owies Oat	Średnio Mean	NIR _{0,05} między poziomami LSD _{0,05} among levels
I	34,0	36,2	44,3	38,1	
II	27,4	34,2	40,9	34,2	
III	21,7	25,5	34,2	27,1	5,3
IV	17,4	16,5	24,8	19,6	
V	10,8	11,5	18,6	13,7	
VI	5,7	5,2	9,0	6,6	
Średnio – Mean	19,5	21,5	28,6	–	
NIR _{0,05} między gatunkami – among species					3,043
LSD _{0,05} gatunek × poziom – species × levels					11,420

Sucha masa nadziemnych części badanych roślin w fazie kwitnienia była istotnie zróżnicowana w zależności od zastosowanego nawożenia. Masa części nadziemnych zarówno pszenicy jarej, jęczmienia jarego, jak i owsa zmniejszała się wraz ze stosowaniem coraz niższych dawek nawozów (tab. 1).

Zawartość kationów w badanych roślinach była zróżnicowana i zależała od zastosowanych dawek nawozów. Stwierdzono także zróżnicowane zawartości jonów w przeliczeniu na suchą masę między badanymi gatunkami roślin zbożowych. Całkowita zawartość kationów w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie była różna przy każdym poziomie nawożenia. Największą zawartość kationów stwierdzono przy najwyższym poziomie nawożenia (I); zmniejszała się ona przy niższych dawkach nawozów (tab. 2). W przypadku niestosowania nawożenia (VI) w jęczmieniu jarym i owsie, a w pszenicy jarej przy dawce na poziomie V i VI stwierdzono niewielkie zwiększenie sumy kationów. Największy wpływ na kształtowanie się sumy kationów miał jon K⁺, ponieważ zawartość potasu w sumie kationów była najwyższa. Zawartość jonu K⁺ była proporcjonalna do zastosowanych dawek nawozów i zmniejszała się aż do obiektu V we wszystkich badanych gatunkach roślin zbożowych. Podobna zmienność zawartości wystąpiła w jonach Ca²⁺ i NH₄⁺. Stwierdzono natomiast bardzo mało jonów sodu i magnezu w trzech gatunkach zbóż. Zawartość jonów Mg²⁺ kształtowała się niezależnie od poziomu nawożenia i była największa w obiekcie VI w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie. Podobny wpływ miały zastosowane dawki nawozów na zawartość jonów Al³⁺ i NH₄⁺, z tym że w obiekcie VI (nie nawożonym) wystąpiła najmniejsza zawartość glinu. Ponieważ odczyn gleby był bardzo kwaśny na wszystkich obiektach, to więcej jonów Al³⁺ przy poziomach I–V w stosunku do VI poziomu (bez nawożenia) oraz brak wpływu stosowanego nawożenia można byłoby wyjaśnić większą aktywnością metaboliczną roślin w wyniku zwiększonej dostępności składników pokarmowych. Średnią zawartość kationów w pszenicy jarej można uszeregować następująco: K⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > Al³⁺ > NH₄⁺ > Mn²⁺ > Na⁺,

TABELA 2. Zawartość kationów oraz suma kationów (C) [mmol (+)/kg] w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie w fazie kwitnienia pod wpływem zróżnicowanych poziomów nawożenia

TABLE 2. Content of cations and the sum of cations (C) [mmol (+)/kg] in spring wheat, spring barley and oats in the flowering stage as affected differentiated fertilization levels

Roślina Plant	Poziom nawożenia Fertiliza- tion level	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺	C
Pszenica jara Spring wheat	I	3,9	443,6	96,6	54,1	11,8	53,5	66,9	730,4
	II	4,6	435,5	98,8	60,4	10,6	49,2	71,2	727,3
	III	4,5	399,0	88,5	67,3	9,7	43,1	43,8	655,9
	IV	4,3	337,7	62,6	51,8	9,6	49,0	30,1	545,1
	V	4,2	341,8	59,2	59,0	7,9	51,7	29,2	553,0
	VI	2,9	379,9	85,5	75,0	8,2	7,7	27,3	586,5
Średnio – Mean		4,0	389,5	81,8	61,2	9,6	42,3	44,7	633,0
Jęczmień jarym Spring barley	I	13,3	439,3	156,1	77,0	8,9	49,3	41,4	785,3
	II	14,0	387,6	153,5	74,1	7,5	44,9	30,2	711,8
	III	11,7	379,8	143,4	76,2	7,6	44,2	23,7	686,6
	IV	13,8	366,5	131,0	79,9	8,4	56,2	26,7	682,5
	V	14,4	365,4	120,9	86,6	8,3	36,8	30,4	662,8
	VI	12,8	411,7	110,7	99,8	6,5	17,1	21,6	680,2
Średnio – Mean		13,3	391,7	135,9	82,3	7,9	41,4	29,0	701,5
Owies Oats	I	8,3	406,3	130,7	88,7	12,8	46,7	41,7	735,2
	II	7,6	391,8	123,3	91,0	12,7	40,4	35,5	702,0
	III	7,0	379,1	100,6	87,2	11,9	47,6	31,3	664,7
	IV	6,5	346,5	84,4	79,4	11,7	55,6	23,8	607,9
	V	6,3	333,9	75,1	72,7	12,0	51,9	28,8	580,7
	VI	4,0	354,9	111,0	119,9	9,2	18,3	24,6	641,9
Średnio – Mean		6,6	368,8	104,2	89,8	11,7	43,4	30,9	655,4

jęczmieniu jarym: $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Al^{3+} > NH_4^+ > Na^+ > Mn^{2+}$ i w owsie: $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Al^{3+} > NH_4^+ > Mn^{2+} > Na^+$ (tab. 2). Różnice, jakie wystąpiły w szeregu jonów w badanych gatunkach zbóż jarych dotyczyły tylko jonów będących w mniejszej ilości w roślinie: NH_4^+ , Al^{3+} , Mn^{2+} i Na^+ . W jęczmieniu jarym i owsie w porównaniu z pszenicą jara było więcej jonów Al^{3+} niż NH_4^+ , a w jęczmieniu jarym więcej Na^+ niż Mn^{2+} . Spośród badanych gatunków owies był rośliną najbardziej tolerancyjną w stosunku do kwaśnego odczynu środowiska i charakteryzował się największą zawartością jonów kwaśnych Al^{3+} i Mn^{2+} .

Zmienność w zawartości jonów $H_2PO_4^-$ była zgodna z zastosowanymi dawkami nawożenia od obiektu I do IV (tab. 3). Natomiast na obiektach V i VI, na których uzyskano niższe plony, nastąpiło zwiększenie zawartości jonów fosforanowych, największe w pszenicy jarej, mniejsze w jęczmieniu jarym, a najmniejsze w owsie. Podobna zmienność wystąpiła w zawartości jonów SO_4^{2-} , jakkolwiek więcej siarczanów stwierdzono w jęczmieniu jarym i owsie od IV poziomu nawożenia. Zawartości jonów NO_3^- w roślinach były niskie, ale różne przy stosowanych

TABELA 3. Zawartość [mmol (-)/kg] anionów nieorganicznych oraz suma anionów nieorganicznych (A) i suma anionów organicznych (C-A) w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie w fazie kwitnienia pod wpływem zróżnicowanych poziomów nawożenia
 TABLE 3. Content [mmol (-)/kg] of non-organic anions as well as sum of non-organic anions (A) and sum of organic anions (C-A) in spring wheat, spring barley and oats in the flowering stage as affected differentiated fertilization levels

Roślina Plant	Poziom nawożenia Fertilization level	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	A	Aniony org. Organic anions C-A
Pszenica jara Spring wheat	I	50,9	35,3	3,1	249,9	339,2	391,2
	II	49,2	41,7	2,7	232,3	325,9	401,4
	III	43,4	32,0	4,8	225,7	305,9	350,0
	IV	38,7	28,4	5,3	186,6	259,0	286,1
	V	47,3	40,4	5,0	183,0	275,7	277,3
	VI	62,9	43,4	3,5	116,6	226,4	360,1
Średnio – Mean		48,7	36,9	4,1	199,0	288,7	344,3
Jęczmień jarym Spring barley	I	43,6	116,3	1,7	211,9	373,5	411,8
	II	38,2	83,5	2,7	208,9	333,3	378,5
	III	36,9	48,4	3,6	226,3	315,2	371,4
	IV	33,2	64,0	3,5	189,1	289,8	392,7
	V	39,1	88,7	3,4	166,1	297,3	365,5
	VI	47,7	122,1	2,5	94,2	266,5	413,7
Średnio – Mean		39,8	87,2	2,9	182,7	312,6	388,9
Owies Oats	I	36,5	94,5	0,9	219,7	351,6	383,6
	II	33,6	92,4	1,0	201,4	328,4	373,6
	III	30,0	76,6	1,5	159,1	267,2	397,5
	IV	28,3	77,1	2,4	128,2	236,0	371,9
	V	30,9	79,7	2,9	106,1	219,6	361,1
	VI	43,0	195,6	2,3	52,7	293,6	348,3
Średnio – Mean		33,7	102,7	1,8	144,5	282,7	372,6

poziomach nawożenia. Więcej jonów NO₃⁻ wystąpiło w pszenicy jarej niż w jęczmieniu jarym i owsie. Zawartość jonów Cl⁻ zwiększała się zgodnie z poziomem nawożenia, co miało związek ze stosowaniem chloru w postaci KCl (tab. 3).

Większą zawartość anionów organicznych stwierdzono głównie na I i II obiekcie. Zaobserwowano również zmiany w zawartości jonów organicznych między badanymi gatunkami roślin. Pszenica jara z obiektu VI (bez nawożenia) zawierała więcej anionów organicznych niż na obiektach III, IV i V. W jęczmieniu jarym więcej anionów organicznych odnotowano przy poziomie VI (bez nawożenia), a w owsie na poziomie III. Wiązało się to z większą zawartością kationów K⁺, Ca²⁺ i Mg²⁺ w pszenicy jarej oraz jęczmieniu jarym, a mniejszą zawartością jonów Cl⁻, jaka wystąpiła na tych obiektach. W owsie natomiast dużo mniej jonów chlorkowych stwierdzano już od III poziomu nawożenia. Przy wszystkich sześciu poziomach nawożenia suma kationów w badanych trzech gatunkach zbóż była o 2,16–2,34 razy większa od sumy anionów nieorganicznych (tab. 4).

TABELA 4. Równoważnikowe stosunki jonowe (C/A, $C^+/(C^{2+} + C^{3+})$, K/(Ca + Mg) w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie pod wpływem zróżnicowanych poziomów nawożenia
 TABLE 4. The equivalent ion ratios (C/A), $C^+/(C^{2+} + C^{3+})$, K/(Ca + Mg) in spring wheat, spring barley and oats in the flowering stage as affected differentiated fertilization levels

Roślina Plant	Poziom nawożenia Fertilization level	C/A nieorg. C/A non-org.	$C^+/(C^{2+} + C^{3+})$	K/(Ca + Mg)
Pszenica jara Spring wheat	I	2,15	2,38	2,94
	II	2,02	2,00	2,73
	III	2,14	2,14	2,56
	IV	2,10	2,15	2,95
	V	2,00	2,11	2,89
	VI	2,59	2,32	2,36
Średnio – Mean		2,16	2,18	2,73
Jęczmień jary Spring barley	I	2,10	1,69	1,88
	II	2,13	1,51	1,70
	III	2,17	1,54	1,72
	IV	2,35	1,36	1,73
	V	2,22	1,62	1,76
	VI	2,55	1,88	1,92
Średnio – Mean		2,25	1,60	1,78
Owies Oats	I	2,09	1,63	1,85
	II	2,13	1,62	1,82
	III	2,48	1,68	2,01
	IV	2,53	1,63	2,11
	V	2,64	1,74	2,25
	VI	2,18	1,48	1,53
Średnio – Mean		2,34	1,63	1,92

W glebach o pH poniżej 5 wraz ze wzrostem zakwaszenia pojawiają się jony glinu wymiennego, który przy dużym stężeniu w glebie działa toksycznie na rośliny. Niewielkie stężenie glinu w zakresie 20–40 mg Al^{3+} /kg gleby wpływa (przy braku zewnętrznych symptomów) głównie na zachwianie stosunków jonowych w roślinie. Przejawia się to zwiększonym pobieraniem potasu, przy mniejszym pobieraniu fosforu, magnezu i wapnia [Filipek, Dechnik 1995]. W przeprowadzonych badaniach udział poszczególnych kationów w sumie kationów oraz poszczególnych anionów w sumie anionów również wskazuje na konkurencyjne działanie jonów Al^{3+} w stosunku do jonów Mg^{2+} (tab. 5). Powodowane jest to tym, że Al^{3+} jest łatwo pobierany przez rośliny ze względu na znacznie mniejszy promień jonowy niż Mg^{2+} i po przedostaniu się do strefy korzeniowej blokuje pobieranie innych kationów [Filipek, Badora 1994a, 1994b, 1996]. Tym samym brak zróżnicowania zawartości Mg^{2+} w roślinie przy poszczególnych poziomach nawożenia wraz ze wzrastającymi dawkami magnezu na glebie o niskiej zasobności w ten składnik pokarmowy należy łączyć z oddziaływaniem glinu wymiennego na pobieranie Mg^{2+} , ponieważ stężenie tej formy glinu było na poziomie 29 mg Al^{3+} /kg gleby.

TABELA 5. Udział [%] poszczególnych kationów w sumie kationów (C) w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie pod wpływem zróżnicowanych poziomów nawożenia
 TABLE 5. The proportion [%] of cations in the sum of cations (C) in spring wheat, spring barley and oats in the flowering stage as affected differentiated fertilization levels

Roślina Plant	Poziom nawożenia Fertilization level	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺
Pszenica jara Spring wheat	I	0,5	60,9	13,2	7,4	1,6	7,3	9,1
	II	0,6	59,6	13,5	8,3	1,5	6,7	9,7
	III	0,7	60,8	13,5	10,3	1,5	6,6	6,7
	IV	0,8	62,2	11,4	9,5	1,7	8,9	5,5
	V	0,8	62,0	10,7	10,6	1,4	9,3	5,2
	VI	0,5	64,8	14,6	12,8	1,4	1,3	4,6
Średnio – Mean		0,6	61,7	12,8	9,8	1,5	6,7	6,8
Jęczmień jary Spring barley	I	1,7	55,9	19,9	9,8	1,1	6,3	5,3
	II	2,0	54,4	21,6	10,4	1,1	6,3	4,2
	III	1,7	55,3	20,9	11,1	1,1	6,4	3,5
	IV	2,0	53,7	19,2	11,7	1,2	8,2	3,9
	V	2,2	55,1	18,2	13,1	1,2	5,6	4,6
	VI	1,9	60,5	16,2	14,7	1,0	2,5	3,7
Średnio – Mean		1,9	55,8	19,3	11,8	1,1	5,9	4,2
Owies Oats	I	1,1	55,3	17,8	12,1	1,7	6,3	5,7
	II	1,1	55,8	17,6	13,0	1,8	5,7	5,0
	III	1,0	57,0	15,1	13,1	1,8	7,2	4,7
	IV	1,1	57,0	13,9	13,1	1,9	9,1	3,9
	V	1,1	57,5	12,9	12,5	2,1	8,9	5,0
	VI	0,6	55,3	17,3	18,7	1,4	2,9	3,8
Średnio – Mean		1,0	56,3	15,8	13,7	1,8	6,7	4,7

Proporcjonalnie wzrastające stężenie jonów Cl⁻ w badanych roślinach w stosunku do zastosowanego chloru na poszczególnych obiektach nawożenia mogło wywierać wpływ na pobieranie jonów NO₃⁻, których mniejszą zawartość stwierdzono przy odpowiednio większym udziale jonów chlorkowych nawet przy większym nawożeniu azotem azotanowym (tab. 3 i tab. 6). Jon chlorkowy pozostaje w roślinie w formie nie zmienionej, natomiast azotany ulegają procesowi redukcji do amoniaku i tempo tych przemian w znacznym stopniu decyduje o zawartości NO₃⁻ w roślinie [Warchołowa 1977]. Znane jest jednak z literatury występowanie antagonizmu jonowego, w tym między NO₃⁻ i Cl⁻ [Fotyma, Mercik 1995; Nowotny-Mieczynska 1976] oraz wzajemnych relacji między tymi jonami. Z badań innych autorów wynika, że azot ograniczał udział jonów Cl⁻ w sumie anionów oraz powodował wzrost udziału NO₃⁻, natomiast działanie wzrastających dawek potasu w postaci KCl było odwrotne [Filipek 1987; Warchołowa 1977]. Pomimo że prezentowane wyniki dotyczą doświadczenia wazonowego, gdzie jony chlorkowe nie ulegały wyplukiwaniu, to mogą mieć znaczenie

TABELA 6. Udział anionów [%] nieorganicznych i anionów organicznych (C-A) w sumie anionów w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie pod wpływem zróżnicowanych poziomów nawożenia

TABLE 6. The proportion [%] of non-organic anions and organic anions (C-A) in the sum of anions in spring wheat, spring barley and oats in the flowering stage as affected differentiated fertilization levels

Roślina Plant	Poziom nawożenia Fertilization level	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	C-A
Pszenica jara Spring wheat	I	6,9	4,8	0,4	34,2	53,6
	II	6,7	5,7	0,3	31,8	55,2
	III	6,6	4,8	0,7	34,4	53,4
	IV	7,1	5,2	0,9	34,2	52,5
	V	8,6	7,3	0,9	33,1	50,1
	VI	10,7	7,4	0,6	19,9	61,4
Średnio – Mean		7,8	5,9	0,6	31,3	54,4
Jęczmień jary Spring barley	I	5,6	14,8	0,2	27,0	52,4
	II	5,4	11,7	0,4	29,3	53,2
	III	5,4	7,0	0,5	33,0	54,1
	IV	4,9	9,4	0,5	27,7	57,5
	V	5,9	13,4	0,5	25,0	55,1
	VI	7,0	17,9	0,4	13,8	60,8
Średnio – Mean		5,7	12,4	0,4	26,0	55,5
Owies Oats	I	5,0	12,9	0,1	29,8	52,2
	II	4,8	13,2	0,1	28,7	53,2
	III	4,5	11,5	0,2	23,9	59,8
	IV	4,6	12,7	0,4	21,1	61,2
	V	5,3	13,7	0,4	18,3	62,2
	VI	6,7	30,5	0,3	8,2	54,3
Średnio – Mean		5,2	15,8	0,2	21,7	57,0

praktyczne w uprawie zbóż, szczególnie na glebach zwięzłych w latach suchych, gdy ruch zstępujący wody jest ograniczony.

Zarówno udział kationów, jak i anionów nie był zróżnicowany pod wpływem zastosowanych dawek nawozów. We wszystkich badanych roślinach stwierdzono największy udział jonów K⁺ w grupie kationów i jonów Cl⁻ wśród anionów nieorganicznych.

Udział poszczególnych kationów w ich sumie we wszystkich badanych gatunkach roślin układał się następująco: K⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > Al³⁺ > NH₄⁺ > Mn²⁺ > Na⁺, oprócz jęczmienia, w którym udział kationów Na⁺ był większy niż Mn²⁺. Natomiast aniony tworzyły następujący szereg: aniony org. > Cl⁻ > SO₄²⁻ > H₂PO₄⁻ > NO₃⁻, tylko w pszenicy udział jonów H₂PO₄⁻ był większy niż jonów SO₄²⁻. Może to świadczyć o większym zapotrzebowaniu pszenicy jarej na fosfor niż jęczmienia jarego i owsa. Stwierdzony wyżej antagonizm jonów Al³⁺ i Mg²⁺ wystąpił najwyraźniej w pszenicy jarej i przyczynił się do nadmiernego rozszerzenia stosunku K/(Ca+Mg) (tab. 4).

DYSKUSJA

Z przeprowadzonych badań wynika, że największy wpływ na kształtowanie się równowagi jonowej w rozpatrywanych roślinach miał potas. Jon K^+ , charakteryzujący się wysoką aktywnością, występował w największych ilościach w badanych roślinach pod wpływem zastosowanych dawek nawożenia, co potwierdzają badania przeprowadzone przez Kaczora [1983/84] oraz Dechnika i in. [1986]. Zawartość jonów K^+ w roślinie była ściśle związana z zawartością jonów Cl^- , które miały decydujący wpływ, obok anionów organicznych, w równoważeniu jonów dodatnich w roślinie. Jony Cl^- przy dużej koncentracji w podłożu są pobierane w znacznych ilościach ze względu na łatwe ich wnikanie do rośliny, co nie pozostaje bez wpływu na równowagę jonową w roślinie. Potwierdzają to badania Dechnika i in. [1986] i Warchołowej [1981], z których wynika, że o ilości anionów organicznych w roślinie decydowały jony potasu i chloru. Według wielu badaczy [Borowski 1986; Warchołowa 1977; Wit i in. 1963] suma jonów K^+ , Na^+ , Ca^{2+} i Mg^{2+} jest prawie równa całkowitej ilości kationów, a suma $H_2PO_4^-$, NO_3^- , Cl^- i SO_4^{2-} równa całkowitej ilości anionów nieorganicznych. Pozostałe jony występujące w roślinie nie odgrywają większej roli w równowadze jonowej. Jedynie na glebach bardzo kwaśnych zawartość jonów Al^{3+} w roślinie była tak duża, że istotnie oddziaływała na kształtowanie się równowagi jonowej roślin [Filipek, Badora 1994a; Filipek, Dechnik 1995; Panak i in. 1988]. Wyniki badań własnych potwierdzają zarówno badania Filipka i Badory [1994a], jak i Panaka i in. [1988]. Udział jonów Al^{3+} w badanych roślinach zbożowych jest dość duży i wynosi średnio 6,4%. Filipek i Dechnik [1995] wykazali również, że na pobieranie K^+ korzystnie wpływa Al^{3+} występujący w glebie w małych ilościach, który wzmagal pobieranie K^+ przez korzenie i stymulował przemieszczanie się K^+ do części nadziemnych, a zmniejszał pobieranie Mg^{2+} . Podobne zjawisko wystąpiło w badaniach własnych, gdyż udział Mg^{2+} zmniejszał się w roślinach właśnie w tych obiektach doświadczalnych, gdzie zwiększał się udział jonów glinu i większa była zawartość K^+ .

W przeprowadzonych badaniach suma kationów w pszenicy jarej, jęczmieniu jarym i owsie była większa niż anionów nieorganicznych, co znajduje potwierdzenie w literaturze [Filipek 1987; Kaczor 1983/84; Warchołowa 1977]. Oprócz zawartości poszczególnych składników mineralnych w roślinie zasadnicze znaczenie w żywieniu zwierząt mają ich ilościowe stosunki w paszy [Bednarek, Dechnik 1986]. Obliczony stosunek C/A , $C^+/(C^{2+} + C^{3+})$ i $K/(Ca + Mg)$ był zbliżony na wszystkich obiektach stosowanego nawożenia [Brogowski, Czarnowska 1987; Brogowski i in. 1993]. Tylko w pszenicy jarej wystąpiło nieznaczne rozszerzenie stosunku $K/(Ca + Mg)$. Mogło być to spowodowane zachowaniem stałych stosunków między stosowanymi pierwiastkami na wszystkich obiektach nawożenia (I–V).

WNIOSKI

1. Kształtowanie się równowagi jonowej w roślinie związane było z silnym zakwaszeniem gleby i występowaniem glinu wymiennego. Zwiększanie pobierania potasu, a zmniejszanie pobierania magnezu przez rośliny przyczyniło się do nadmiernego rozszerzenia stosunku $K/(Ca + Mg)$ w pszenicy jarej.

2. Stwierdzono wysokie i wprost proporcjonalne stężenie jonów Cl^- w zbożach jarych do zastosowanych poziomów nawożenia, któremu odpowiadały mniejsze stężenia jonów NO_3^- . Mniejsza zawartość azotanów powodowana była zwiększeniem intensywności procesów redukcyjnych azotu w roślinie pod wpływem zastosowania wyższych dawek nawozów (którym odpowiadały większe ilości anionów organicznych) lub oddziaływaniem jonów Cl^- na pobieranie jonów NO_3^- przez zboża jare.

LITERATURA

- ANIOŁ A. 1977: Tolerancja roślin na niskie pH gleby. *Post. Nauk Rol.* 4: 91–108.
- BEDNAREK W., DECHNIK I. 1986: Wpływ wapniowania i nawożenia mączkami fosforytowymi na zawartość makroelementów w żyłoci wielokwiatowej. *Folia Soc. Sci. Lublin.* 28: 39–43.
- BOROWSKI E. 1986: Współdziałanie form soli azotu i potasu w kształtowaniu równowagi jonowej u wybranych roślin pastewnych. Wyd. AR w Lublinie. Rozpr. Habil. 1–75.
- BROGOWSKI Z., CZARNOWSKA K. 1987: Stan jonowy pszenicy ozimej na tle wzrastającego nawożenia azotowego. *Rocz. Nauk Rol.*, A 106, 4: 35–49.
- BROGOWSKI Z., GAWROŃSKA-KULESZA A., MACIASZEK D., SUWARA I. 1993: Stan równowagi jonowej w różnych fazach rozwojowych niektórych gatunków roślin uprawnych. Cz. II. Jęczmień jary odmiany Bielik. *Rocz. Nauk Rol.*, A 109, 4: 49–55.
- DECHNIK I., FILIPEK T. 1984: Stan odżywiania pszenicy na glebach kwaśnych. *Nowe Rol.* 10: 1–2.
- DECHNIK I., FILIPEK T., KACZOR A. 1986: Zależności jonowe w jęczmieniu jarym w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem. Mat. Kraj. Symp., Równowaga jonowa w glebach i roślinach w warunkach intensywnego nawożenia. Wrocław: 49–54.
- FILIPEK T. 1984: Dynamika pobierania składników mineralnych a nawożenie zbóż. *Nowe Rol.*, 4: 6–8.
- FILIPEK T. 1987: Równowaga jonowa i plonowanie roślin nawożonych zróżnicowanymi dawkami azotu i potasu. Cz. II. Stan równowagi jonowej i plonowanie pszenicy ozimej. *Ann. UMCS, E* 42: 229–246.
- FILIPEK T. 1989: Występowanie glinu ruchomego i jego działanie na rośliny. *Post. Nauk Rol.* 4–6: 3–14.
- FILIPEK T., BADORA A. 1994a: Ionic balance in spring barley in relation to mobile aluminium concentration in soil. *Polish J. Soil Sci.* 27, 1: 51–57.
- FILIPEK T., BADORA A. 1994b: Skutki fizjologiczne silnego zakwaszenia gleb. *Frag. Agrom.* 11, 1(41): 50–60.
- FILIPEK T., BADORA A. 1996: Ocena zasobności gleb i odżywiania roślin magnezem w warunkach silnego zakwaszenia. *Pr. Nauk. IV Ogólnopolskiego Sympozyum Magnezologicznego:* 93–97.
- FILIPEK T., DECHNIK I. 1995: Glin wymienny jako wskaźnik żyzności gleb. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 421a: 67–76.
- FOTYMA M., MERCIK S. 1995: Chemia rolna. PWN, Warszawa.
- GRZESIUK W. 1968: Nefelometryczne oznaczanie siarki siarczanowej w roślinach. *Rocz. Glebozn.* 19, 1: 167–173.
- KACZOR A. 1983/1984: Wpływ dwutlenku siarki we współdziałaniu z potasem na plonowanie i równowagę jonową w roślinach. Cz. II. Wpływ dwutlenku siarki we współdziałaniu z potasem na równowagę jonową w roślinach. *Ann. UMCS, E*, 38/39: 267–279.
- MARCZENKO Z. 1979: Spektrofotometryczne oznaczanie pierwiastków. PWN, Warszawa.
- NOWOSIELSKI O. 1974: Metody oznaczania potrzeb nawożenia. PWRiL, Warszawa.
- NOWOTNY-MIECZYŃSKA A. (red.). 1976: Fizjologia mineralnego żywienia roślin. PWRiL, Warszawa.

- PANAK H., WOJNOWSKA T., SIENKIEWICZ S. 1988: Zmiany ważniejszych elementów żyzności gleby i ich wpływ na równowagę jonową roślin w warunkach zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Mat. Symp.*, Olsztyn: 241–249.
- PINTA M. 1977: Absorpcyjna spektrometria atomowa. Zastosowanie w analizie chemicznej. PWN, Warszawa.
- SCHILLAK R. 1967: Oznaczanie składników mineralnych w materiałach roślinnych. Cz. IV. Płomieniowo-fotometryczne pomiary potasu, sodu i wapnia. *Rocz. Nauk Rol.*, A 93, 2: 335–356.
- WARCHOŁOWA M. 1977: Równowaga jonowa w roślinach w warunkach zróżnicowanego zaopatrzenia w potas i magnez. *Wyd. IUNG, Pr. Habil.*, 1–82.
- WARCHOŁOWA M. 1981: Równowaga jonowa w roślinach w warunkach zróżnicowanego nawożenia. *Mat. Symp.*, Wpływ nawożenia na jakość plonów. Puławy: 21–38.
- WIT C.T., DIJKSHOORN W., NOGGLE J.C. 1963: Ionic balance and growth of plants. *Versal. Landbouwk. Onderz.* 69, 15: 1–68.

S. CHWIL

INFLUENCE OF DIFFERENTIATED FERTILIZATION ON THE IONIC BALANCE STATE OF SPRING WHEAT, SPRING BARLEY AND OATS IN THE CONDITIONS OF THE VERY ACID SOIL

Department of Agricultural Chemistry, Agricultural University of Lublin

SUMMARY

The object of this study was an evaluation of ionic balance state in spring cereals. It was found that in the sum of cations was the most proportion ion K^+ and in the sum of non-organic anions ion Cl^- . The investigated plants were grown on the acid soil thus uptaken large quantity of aluminium what had an effect on less uptake of magnesium. Under conditions of experiment was observed antagonism of ions between Al^{3+} and Mg^{2+} , Cl^- and NO_3^- .

Praca wpłynęła do redakcji w marcu 1997 r.

*Dr Stanisław Chwil
Katedra Chemii Rolnej
Akademia Rolnicza w Lublinie
20-950 Lublin 1, ul. Akademicka 15
(skrytka pocztowa 158)*

