

Tadeusz FILIPEK, Stanisław ŁABUDA, Ignacy DECHNIK

**Równowaga jonowa w jęczmieniu jarym w warunkach zróżnicowanej wilgotności
i wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby kationami wapnia i magnezu**

The Ionic Balance in Spring Barley in the Conditions of Differentiated Humidity
and Saturation of the Soil Sorptive Complex with Calcium and Magnesium Cations

Stan równowagi jonowej w roślinach uzależnia się najczęściej od mineralnego żywienia, zwłaszcza formy azotu i anionu towarzyszącego potasowi w nawozach potasowych (3–5, 7–9, 11–13, 16, 17, 20, 23). Znacznie mniej prac dotyczy wpływu wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby kationami na współzależności jonowe w roślinach (2, 19, 21, 22). Zdaniem Mattsona (18) pobieranie jonów przez rośliny uzależnione jest od: aktywności roztworu glebowego, wartościowości kationów i anionów oraz pojemności sorpcyjnej gleby. Najistotniejsze zależności stwierdza się pomiędzy zawartością jonów w glebie i w roślinie we wczesnych stadiach rozwojowych. Stąd też zawartość składników mineralnych w młodych roślinach może być wskaźnikiem zasobności gleb.

Równowaga jonowa w roślinach kształtowana jest również przez czynniki klimatyczne, zwłaszcza temperaturę i wilgotność (1, 14, 14, 24). Uważa się, że wzrost wilgotności gleby bardziej sprzyja pobieraniu kationów niż anionów nieorganicznych. Prowadzi to do zwiększenia różnicy sum kationów — C i anionów nieorganicznych — A, która określa ilość anionów organicznych (6, 10, 13, 23, 25).

Celem prezentowanych badań było określenie wpływu zróżnicowanego wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami wapnia i magnezu oraz wilgotności gleby na kształtowanie się równowagi jonowej w jęczmieniu jarym.

METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono w oparciu o doświadczenie wazonowe na glebie bielcowej wytworzonej z pyłu wodnego pochodzenia. Gleba silnie kwaśna — pH_{KCl} — 4,2, kwasowość hydrolityczna

42 mmol H^+ /kg — zawierała 26 mg P/kg gleby, 124 mg K/kg i 6 mg Mg/kg w formie przyswajalnej oraz 0,10% azotu oznaczonego metodą Kjeldahla i 1,05% węgla organicznego.

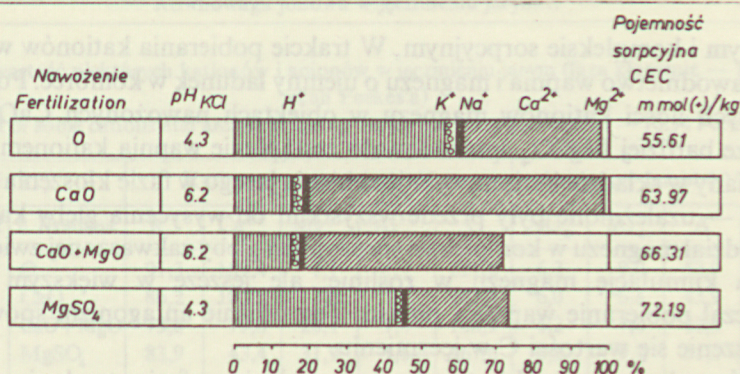
W wazonach umieszczono po 5,4 kg materiału glebowego i utrzymywano wilgotność na poziomie W_1 — 14%, W_2 — 23,5% i W_3 — 33,0% objętościowych, co odpowiadało odpowiednio: 31,7%, 53,0% i 74,8% PPW. Zróżnicowanie wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby kationami uzyskano tworząc obiekty: 0 — kontrola — CaO — tlenek wapnia zastosowany w ilości 7,06 g/wazon (wg 1 kwasowości hydrolitycznej), CaO + MgO (1:1) — zastosowane w ilości 6,05 g/wazon oraz $MgSO_4$ — w ilości 15,41 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ /wazon. We wszystkich wazonach zastosowano jednolite nawożenie NPK w ilości: 0,150 g N w postaci NH_4NO_3 , 0,065 g P w postaci $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ oraz 0,150 g K/kg gleby w postaci KCl.

Jęczmień jary (*Hordeum vulgare*) odmiany Aramir zbierano trzykrotnie: w fazie strzelania w źdźbło (7 wg skali Feekesa), w fazie kłoszenia (10,54 wg skali Feekesa) oraz w fazie dojrzałości pełnej (11,4 wg skali Feekesa).

W jęczmieniu wczesnych faz rozwojowych oznaczono pełny skład jonowy, a w ziarnie i słomie zawartość podstawowych składników mineralnych. W mineralizacie w stężonym kwasie siarkowym z dodatkiem perhydrołu oznaczono azot ogólny metodą Kjeldahla, fosfor kolorymetrycznie metodą wanadomolibdenu, potas i wapń fotopłomieniowo, magnez kolorymetrycznie z żółcieniem tytanową oraz glin kolorymetrycznie z aluminonem. W ekstrakcie z materiału roślinnego 2% roztworem kwasu octowego z dodatkiem węgla aktywnego oznaczono sód — fotopłomieniowo oraz chlorki i siarczany — fotometrycznie. W wyciągu wodnym ze zmielonego materiału roślinnego, po strąceniu białka roztworem kwasu trójchlorooctowego oznaczono kolorymetrycznie: $N-NH_4^+$ z odczynnikiem Neslera oraz $N-NO_3^-$ z kwasem fenylodwusulfonowym. Z różnicy sum kationów i anionów nieorganicznych wyliczono ilość anionów organicznych C-A.

WYNIKI

Wartości sum kationów w młodych roślinach jęczmienia (w fazie strzelania w źdźbło) uzależnione były od wilgotności gleby (tab. 1). Wzrost wilgotności z poziomu niedoborowego W_1 do optymalnego W_2 istotnie sprzyjał kumulacji kationów. Wyższe wartości C były wynikiem zwiększonej kumulacji wszystkich kationów a zwłaszcza potasu i glinu. Zmiany w wysyceniu gleby kationami (ryc. 1) wywołane stosowaniem tlenku wapnia i magnezu oraz siarczanu magnezowego spowodowały istotne zróżnicowanie zawartości kationów Ca^{2+} i Mg^{2+} w jęczmieniu. Zwapnowanie silnie kwaśnej gleby tlenkiem wapnia powodowało nie tylko wzrost koncentracji Ca^{2+} w roślinie, co uznać należy za oczywiste, ale także sprzyjało pobieraniu Mg^{2+} . Jednak użycie do wapnowania wapna tlenkowego magnezowego zdecydowanie ograniczyło pobieranie wapnia a zwiększyło magnezu. Jeszcze większe ograniczenie pobierania wapnia stwierdzono po zastosowaniu siarczanu magnezowego. Mimo że zmiany w zawartości kationów wapnia i magnezu w jęczmieniu były bardzo głębokie, suma obydwu tych jonów była prawie stała. Wyjaśnieniem tego zjawiska jest to, że dzięki ujemnemu ładunkowi komórek większość kationów pobierana jest przez roślinę biernie na zasadzie przyciągania ładunków różnoimiennych. Można więc powiedzieć, że w tym przypadku mieliśmy do czynienia z procesem o charakterze niespecyficznym i w dużej mierze zależnym od stężenia kationu w roztworze



CEC - Cation Exchangeable Capacity

Ryc. 1. Odczyn i wysycenie kompleksu sorpcyjnego gleby kationami
Reaction and cation saturation of soil sorption complex

Tab. 1 Zawartość niektórych kationów i anionów w jęczmieniu jarym (faza strzelania w źdźbło — 7 wg skali Feekes'a)

The content of some cations and anions in spring barley (stem elongation stage — 7 Feeke's scale)

Obiekty		Kationy — mmol (+)/100 g					Aniony — mmol (-)/100 g			
A. Wilgotność	B. Nawożenie	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	C	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	A	C-A
W ₁	O	141,4	68,4	9,9	2,2	259,7	35,8	18,1	108,7	151,9
	CaO	150,8	77,9	12,0	2,1	275,4	31,5	16,2	97,4	178,0
	CaO+MgO	150,3	51,3	44,2	2,1	283,7	41,8	15,1	105,0	178,7
	MgSO ₄	148,7	37,7	55,1	2,3	276,8	35,6	16,2	102,8	174,1
W ₂	O	170,5	65,7	11,2	2,4	285,4	50,4	16,9	121,7	163,7
	CaO	164,0	82,4	13,4	2,3	301,3	50,4	18,1	120,5	180,8
	CaO+MgO	155,1	54,1	48,3	2,3	199,0	49,9	16,5	119,2	179,7
	MgSO ₄	157,1	35,3	49,0	2,4	282,4	41,6	19,1	120,1	162,2
W ₃	O	163,6	74,9	10,5	2,8	286,5	42,9	18,0	115,6	170,9
	CaO	162,6	86,4	12,9	2,5	302,3	54,2	18,0	125,6	176,7
	CaO+MgO	151,3	57,1	51,8	2,5	298,7	46,7	17,2	118,6	180,1
	MgSO ₄	152,9	49,0	65,6	2,4	304,7	38,0	23,3	116,6	188,0
NIR — LSD (p=0,05)										
pomędzy										
A — wilgotność		12,0	n	n	0,2	19,0	7,0	1,3	5,4	n
B — nawożenie		n	12,3	10,2	n	n	n	1,7	n	n
A × B		n	n	n	n	n	n	3,8	n	n

C — suma kationów (K⁺ + Na⁺ + NH₄⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + Al³⁺)

A — suma anionów nieorganicznych (NO₃⁻ + Cl⁻ + H₂PO₄⁻ + SO₄²⁻)

C-A — ilość anionów organicznych

n — różnice nieistotne

glebowym i kompleksie sorpcyjnym. W trakcie pobierania kationów wystąpiło współzawodnictwo wapnia i magnezu o ujemny ładunek w komórce. Pojawienie się dużych ilości kationów magnezu w obiektach nawożonych $\text{CaO} + \text{MgO}$, a jeszcze bardziej MgSO_4 spowodowało zastąpienie wapnia kationem Mg^{2+} .

Zmiany w składzie kationowym jęczmienia jarego w fazie kłoszenia — 10.54 Feekes — uzależnione były przede wszystkim od wysycenia gleby kationami. Duży udział magnezu w kompleksie sorpcyjnym gleby zakwaszonej zwiększał co prawda kumulację magnezu w roślinie, ale jeszcze w większym stopniu ograniczał pobieranie wapnia i potasu. Ten właśnie antagonizm spowodował zmniejszenie się wartości C w jęczmieniu.

Porównując zawartość kationów w jęczmieniu w fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia, wyraźnie widać spadek wartości C w miarę wzrostu rośliny. Zawartość większości kationów w tym okresie zmniejszyła się kilkakrotnie, natomiast stężenie wapnia wzrosło o około 50%.

Zawartość anionów nieorganicznych w jęczmieniu w fazie strzelania w źdźbło przewyższała dwukrotnie, a w przypadku azotanów nawet 6-8 krotnie wartości A w roślinach starszych — w fazie kłoszenia. Wysoka kumulacja azotanów w młodych roślinach jęczmienia spowodowała zwiększanie się ilości nielotnych kwasów organicznych $\text{R}-\text{COO}^-$. W czasie redukcji azotanów w roślinie ujemne ładunki przenoszone były na aniony kwasów organicznych lub rzadziej HCO_3^- . Aniony kwasów organicznych równoważone były wzmożonym pobieraniem kationów, któremu towarzyszyło wydzielanie innych kationów, w tym najczęściej H^+ .

Wzrost wilgotności gleby z niedoborowej do optymalnej sprzyjał pobieraniu azotanów i siarczanów, jednak nadmiar wody w glebie ograniczył kumulację jonu NO_3^- . Zastosowanie do gleby siarczanu magnezu zwiększyło zawartość jonu SO_4^{2-} z wyjątkiem obiektów z niedoborem wilgoci w glebie.

Ilość anionów organicznych w jęczmieniu wyliczona z różnicy sum kationów i anionów nieorganicznych uzależniona była od nawożenia wapniem i magnezem. Wapnowanie silnie zakwaszonej gleby CaO i $\text{CaO} + \text{MgO}$ oraz w mniejszym stopniu wniesienie magnezu w formie MgSO_4 (bez zmiany odczynu) spowodowało wzrost wartości C-A w jęczmieniu w fazie strzelania w źdźbło. W fazie kłoszenia wystąpiły zupełnie inne zależności: nawożenie CaO i $\text{CaO} + \text{MgO}$, a szczególnie MgSO_4 spowodowało wyraźny spadek ilości anionów organicznych. Bezpośrednią przyczyną tego zjawiska było zmniejszenie kumulacji kationów, zwłaszcza wapnia i potasu, przy mało zmiennych wartościach A.

Zawartość anionów organicznych C-A w roślinach bywa często dodatnio skorelowana z biomasą roślin lub niektórymi elementami jakości plonu (11, 12, 20, 24). Ma to teoretyczne uzasadnienie, gdyż o ilości anionów organicznych w tkankach roślin decyduje pobieranie i zawartość kationów i anionów nieorganicznych oraz redukcja i biosynteza w związki organiczne azotanów

Tab. 2. Zawartość niektórych kationów i anionów w jęczmieniu jarym (faza kłoszenia — 10,54 wg skali Feekes'a)

The content of some cations and anions in spring barley (ear emergence stage — 10.54 Feekes scale)

Obiekty		Kationy — mmol (+)/100 g					Aniony — mmol (-)/100 g			
A. Wilgotność	B. Nawożenie	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	C	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	A	C-A
W ₁	O	91,3	109,4	9,1	1,7	221,6	6,2	9,0	52,9	168,7
	CaO	86,2	105,5	7,0	1,6	207,4	6,0	6,8	43,9	163,6
	CaO+MgO	73,8	79,0	26,1	1,4	168,9	6,2	7,0	43,9	143,0
	MgSO ₄	83,9	43,4	31,9	1,6	167,6	8,3	9,7	51,5	116,1
W ₂	O	80,7	99,6	7,4	1,7	197,0	2,9	7,3	48,5	148,6
	CaO	70,6	109,6	6,7	1,7	197,1	3,2	6,9	44,7	152,4
	CaO+MgO	69,8	81,9	34,2	1,7	195,2	6,9	6,9	49,9	145,3
	MgSO ₄	73,5	39,4	33,7	1,7	156,5	7,4	11,1	55,5	101,0
W ₃	O	82,0	101,2	10,2	1,7	205,1	9,3	9,0	57,6	147,5
	CaO	70,4	114,5	8,2	1,6	205,4	4,6	7,9	48,7	156,7
	CaO+MgO	65,0	72,0	36,9	1,6	185,9	5,0	8,3	48,8	137,2
	MgSO ₄	73,6	46,2	33,9	1,6	164,3	7,3	12,0	54,9	109,4

NIR — LSD (p=0,05)

pomędzy

A — wilgotność	n	n	2,2	0,1	n	n	n	n	n
B — nawożenie	n	59,5	2,8	0,1	41,0	n	2,0	n	n
A × B	n	n	6,2	n	n	n	n	n	n

C — suma kationów (K⁺ + Na⁺ + NH₄⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + Al³⁺)A — suma anionów nieorganicznych (NO₃⁻ + Cl⁻ + H₂PO₄⁻ + SO₄²⁻)

C-A — ilość anionów organicznych

n — różnice nieistotne

Tab. 3. Zależność (r_{xy}) pomiędzy niektórymi elementami równowagi jonowej w młodych roślinach jęczmienia a masą i zawartością N-ogółem i N-białkowego w ziarnieThe relationship (r_{xy}) between some elements of ionic balance in young plants of barley and biomass and the content of N-total and N-protein in grain

	Masa ziarna (g)	Masa słomy (g)	Biomasa części nadziemnej		MTZ mass of of kerne (g)	Zawartość	
			faza I (g)	faza II (g)		N-org. w ziarnie	N-białk. w ziarnie
C-A Faza I	0,57	0,55	0,52	0,64 *	0,41	-0,36	-0,28
C:A Faza I	-0,09	-0,07	0,10	-0,10	0,61 *	0,35	0,46
C-A Faza II	-0,48	-0,22	-0,06	-0,34	-0,20	0,48	0,47
C:A Faza II	-0,34	-0,15	0,18	-0,21	0,08	0,58 *	0,58 *

C-A — ilość anionów organicznych

C:A — stosunek sumy kationów do sumy anionów nieorganicznych.

* =0,05.

i siarczanów. Sugeruje się także (5, 13, 25), że ilość anionów organicznych w roślinie jest powiązana ze zwiększoną asymilacją CO_2 , co jest podstawą lepszego plonowania.

Niestety teoria nie w pełni została potwierdzona w naszych badaniach (tab. 3). Dodatkowo zależności stwierdzono tylko pomiędzy ilością anionów organicznych w jęczmieniu w fazie strzelania w źdźbło i biomasą części nadziemnej rośliny w okresie kłoszenia. Wartości stosunku C : A w jęczmieniu w fazie kłoszenia były dodatnio skorelowane z zawartością azotu ogólnego i białkowego w ziarnie.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania upoważniają do postawienia następujących wniosków:

1. Zwapnowanie gleby zakwaszonej tlenkiem wapnia spowodowało wzrost zawartości w jęczmieniu jarym nie tylko wapnia, lecz także i magnezu.

2. Pojawienie się dużych ilości magnezu wymiennego w glebie w obiektach nawożonych $\text{CaO} + \text{MgO}$, a jeszcze bardziej MgSO_4 spowodowało wyraźne ograniczenie pobierania wapnia i wzrost kumulacji magnezu w jęczmieniu. Ponieważ suma obydwu kationów była niemalże stała, można przypuszczać, że wystąpiło zjawisko zastępowania wapnia magnezem.

3. Wzrost wilgotności gleby sprzyjał kumulacji kationów, a zwłaszcza potasu i glinu w początkowym okresie wzrostu jęczmienia — do fazy strzelania w źdźbło.

Praca wpłynęła 16 III 1990

PIŚMIENNICTWO

1. Angelow A. P.: Jonen balans w rastenijata. I. Wlijanije na uslowijata na mineralno hranene i wodnija režim wrchu kationno-anionija balans w pszenicata. Poczwozn. i Agroch, 1974, 13–22, 1.
2. Angelow A. P.: Wlijanije na pH na hranitelnata sreda wrchu niaкои kationo-anioni charakteristiki na rastenijata. Poczwozn. i Agroch., 1979, 16–23, 2.
3. Banwart W. L., Pierre W. H.: Cation — anion balance of field — grown crops. II. Effect of N and K fertilization and soil pH. Agron. J., 1975, 20–25, 67.
4. Borowski E.: Współdziałanie form soli azotu i potasu w kształtowaniu równowagi jonowej u wybranych roślin pastewnych (*Brassica oleracea* var. *ascephala* i *Zea mays* L. ssp. *indurata*). Rozprawa habilitacyjna, Seria Wydawnicza — Rozprawy Naukowe, Akademia Rolnicza — Lublin 1986.
5. Brateler H.: A comparison between ammonium and nitrate nutrition of young sugar-beet plants grown in nutrient solutions at constant acidity. 1. Production of dry matter, ionic balance and chemical composition. Neth. J. Agric. Sci. 21, 3, 227–244, 1973.
6. Brogowski Z., Kusińska A.: Stan równowagi jonowej w różnych gatunkach roślin łąkowych. Roczn. Nauk Roln., A, 101, 4, 21–33, 1976.
7. Brogowski Z., Czarnowska K.: Stan jonowy pszenicy ozimej na tle wzrastającego nawożenia azotowego. Roczn. Nauk Roln., s. A, t. 106, z. 4, 35–50, 1987.

8. Dijkshorn W.: A note on the cation-anion relationships in perennial rye-grass. *Neth. A. Agric. Sci.*, 5, 81–85, 1957.
9. Dechnik I., Filipek T., Kaczor A.: Oddziaływanie wysokich dawek nawozów azotowych i potasowych na równowagę jonową rzepaku jarego i ozimego. Wpływ nawożenia na jakość plonów. *Materiały sympozjum*, 1, 28–33, 1986.
10. Egmond F., Houba V. J. G.: Production of carboxylates (C-A) by young sugar-beet plants grown in nutrient solution. *Neth. J. Agric. Sci.*, 18, 182–187, 1970.
11. Filipek T.: Równowaga jonowa i plonowanie roślin nawożonych zróżnicowanymi dawkami azotu i potasu. Cz. I. Stan równowagi jonowej i plonowanie buraka cukrowego. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio E*, vol. XLII, 20, 207–227, 1987.
12. Filipek T.: Równowaga jonowa i plonowanie roślin nawożonych zróżnicowanymi dawkami azotu i potasu. Cz. II. Stan równowagi jonowej i plonowanie pszenicy ozimej. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio E*, vol. XLII, 21, 229–246, 1987.
13. Houba V. J. G., Egmond F., Wittich E. M.: Changes in production of organic nitrogen and carboxylates (C-A) in young sugar-beet plants grown in nutrient solutions of different nitrogen composition. *Neth. J. Agric. Sci.*, 19, 39–47, 1971.
14. Karlen D. L., Ellis R., Whitney D. A., Grunes D. L.: Influence of soil moisture and plant cultivar on cation uptake by wheat with respect to grass tetany. *Agron. J.*, 70, 6, 918–921, 1976.
15. Karlen D. L., Ellis R., Whitney D. A., Grunes D. L.: Influence of soil moisture on soil solution cation concentrations and the tetany potential of wheat forage. *Agron. J.*, 70, 1, 73–78, 1980.
16. Kirkby E. A., Mengel K.: Ionic balance in different tissues of the tomato plants in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.*, 42, 1, 6–14, 1967.
17. Kirkby E. A.: Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation anion balance and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. *Soil Sci.*, 105, 3, 133–141, 1968.
18. Mattson S.: The ionic relationships of soil and plant. *Acta Agric. Scand.*, 16, 135–143, 1966.
19. Mercik St.: Próba ustalenia optymalnego stosunku kationów w nawożeniu. Równowaga jonowa w glebach i roślinach w warunkach intensywnego nawożenia. *Materiały sympozjum*, 1, 11–30, 1986.
20. Noggle J. C.: Ionic balance and growth of sixteen plant species. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 736–766, 1966.
21. Ochał J., Myszka A.: Poziom magnezu i równowaga kationowa w liściach ziemniaka na tle równowagi kationowej kompleksu sorpcyjnego gleby. *Pam. Pul.*, 82, 161–177, 1982.
22. Panak H., Procyk Z., Wojnowska T.: Wpływ rozszerzających się stosunków Ca:Mg:K:Na w glebie na równowagę jonową w roślinach. Równowaga jonowa w glebach i roślinach w warunkach intensywnego nawożenia. *Materiały sympozjum*, 2, 82–86, 1986.
23. Warchołowa M.: Równowaga jonowa w roślinach w warunkach zróżnicowanego zaopatrzenia w potas i magnez. *Pulawy, IUNG, R-117*, 1–78, 1977.
24. Williams D. E., Vlamis J.: Differential cation and anion absorption as effected by climate. *Plant Physiol.*, 37, 198–202, 1962.
25. Wit C. T., Dijkshoorn W., Noggle J. C.: Ionic balance and growth of plants. *Versl. Landbouwk. Onderz.*, 69, 15, 1–68, 1963.

SUMMARY

The point of investigations was the influence of differentiated humidity and saturation of the soil with calcium and magnesium on the ionic balance in spring barley in the phase of shooting and heading.

It was stated that an increase of soil humidity favoured cation cumulation, especially potassium and aluminium. In the conditions of high concentration of exchangeable magnesium in the soil, calcium got to be replaced by magnesium in spring barley. The number of organic anions C-A in young plants of spring barley was not correlated with the mass of grain and straw yields.