

Ignacy DECHNIK, Tadeusz FILIPEK

Równowaga jonowa w pszenicy jarej w warunkach zróżnicowanej zawartości $N-NO_3^-$ w glebie zasolonej środkami do zwalczania śliskości pośniegowej

Ионовое равновесие в яровой пшенице в условиях дифференцированного содержания $N-NO_3^-$ в почве, засоленной химическими средствами, применяемыми зимой против скольжения на дорогах

The Ionic Balance in Spring Wheat in the Conditions of Differentiated Contents of $N-NO_3^-$ in the Soil Salinized with the Agents Counteracting the Effects of Post-snow Slipperiness

Rośliny pobierają składniki mineralne głównie w formie jonowej. Niezależnie od ilości, proporcji oraz rozmieszczenia jonów w roślinie musi być zachowana równowaga pomiędzy ładunkami dodatnimi i ujemnymi. W związku z przewagą kationów ($C = K^+ + Na^+ + Ca^{++} + Mg^{++}$) nad anionami nieorganicznymi ($A = SO_4^{--} + H_2PO_4^- + Cl^- + NO_3^-$) nadmiar ładunków dodatnich neutralizowany jest przez metabolicznie regulowaną produkcję lub rozpad kwasów organicznych $R-COO^-$. Przyjmuje się (1, 4, 8, 10, 13, 14, 15), że ilość tych kwasów jest równa różnicy sum kationów i anionów nieorganicznych.

Celem badań było określenie stanu równowagi jonowej pszenicy jarej nawożonej zwiększającymi dawkami saletry amonowej na glebie zasolonej, charakteryzującej się wysokim stopniem wysycenia kationami zasadowymi.

METODYKA

Badania przeprowadzono w oparciu o doświadczenie wazonowe na glebie brunatnej wytworzonej z lessu (12% piasku, 58% pyłu i 30% części sypialnych), pobranej w miejscu bezpośrednio przylegającym do ruchliwej trasy komunikacyjnej Lublin-Lubartów. Zastosowano nawożenie mineralne w ilości: N_1 — 40, N_2 — 80, N_3 — 120 mg N/kg s.m. gleby; P — 30 mg P/kg; K — 83 mg K/kg. Fosfor i potas zastosowano w całości przed siewem roślin, w postaci $CaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ i KCl. Azot stosowano przed siewem i po wejściu roślin w postaci NH_4NO_3 . Pszenicę jara — odmiana Jara — ścinano trzykrotnie w czasie wegetacji w fazach: faza I — początek strzelania w źdźbło (4/5 Feekes), faza II — kłoszenie (10,5 Feekes), faza III — dojrzałość pełna (11,4 Feekes) (9,12).

Tab. 1. Zmiany zawartości azotu mineralnego w glebie (mg/100 g) w czasie wegetacji pszenicy
Changes of mineral nitrogen content in soil (mg/100 g) during wheat vegetation

Dawka	Faza I – 4/5 Feekes		Faza II – 10,5 Feekes		Faza III – 11,4 Feekes		Średnie dla azotu	
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
N ₁	0,30	0,98	0,33	0,33	0,46	0,89	0,36	0,73
N ₂	0,39	7,96	0,15	0,94	0,32	0,74	0,29	3,15
N ₃	0,35	12,80	0,79	5,87	0,27	1,66	0,47	6,38
Średnie dla faz	0,35	7,25	0,42	2,35	0,35	1,10		
NIR (p = 0,05) pomiędzy dawkami azotu i fazami								
w interakcji: dawka N × faza				r.n. 1,43				
				r.n. 3,20				

r.n. – różnice nieistotne

W próbkach roślinnych oznaczono zawartość kationów: NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} i anionów: H_2PO_4^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} . Po mineralizacji materiału roślinnego w stężonym H_2SO_4 oznaczono: fosfor, magnez — kolorymetrycznie, azot ogólny metodą Kjeldahla, wapń i potas — fotopłomieniowo oraz chlor i siarkę nefelometrycznie. W wyciągu wodnym ze zmielonego materiału roślinnego, po strąceniu białka kwasem tróchlorooctowym, oznaczono kolorymetrycznie: $\text{N}-\text{NH}_4^+$ z odczynnikiem Neslera oraz $\text{N}-\text{NO}_3^-$ z kwasem fenolodwusulfonowym.

W glebie przed założeniem doświadczenia oznaczono zawartość kationów wymiennych, ekstrahowanych roztworem 1 mol $\text{CH}_3\text{COONH}_4/\text{dm}^3$ o $\text{pH} = 7$. W przesączu kationy Ca^{++} , K^+ i Na^+ oznaczono metodą fotometrii płomieniowej, zaś Mg kolorymetrycznie przy użyciu żółci tytanowej. Zawartość $\text{N}-\text{NH}_4^+$ i $\text{N}-\text{NO}_3^-$ w glebie oznaczono trzykrotnie w czasie wegetacji stosując jako odczynnik ekstrakcyjny 1% K_2SO_4 . Azot mineralny oznaczono kolorymetrycznie: NH_4^+ z odczynnikiem Neslera, NO_3^- z kwasem fenolodwusulfonowym.

WYNIKI I DYSKUSJA

Użyta do badań gleba charakteryzowała się odczynem zasadowym oraz stosunkowo dużym udziałem sodu i wapnia, a małym potasu i magnezu w kompleksie sorpcyjnym. Wywołane to było coroczną aplikacją NaCl i CaCl_2 , które stosowane są do zwalczania śliskości pośniegowej na jezdni i przeznaczane w postaci aerozolu na pobocza i przydrożne gleby. Kompleks sorpcyjny wysycony był w 98% kationami zasadowymi, a tylko 2% jonami wodoru. Wśród kationów zasadowych 94,5–95,5% stanowił wapń, 1,0–1,5% magnez, 1,0–1,5% potas i 2,0–3,0% sód.

Tab. 2. Masa słomy i ziarna (g s.m./wazon) oraz współczynnik plonowania (%) pszenicy jarej
Straw and grain mass (g d.m./pot) and harvest index (%) of spring wheat

Dawka	Słoma	Ziarno	Współczynnik plonowania
0	4,0	1,1	27,5
N_1	19,8	12,8	39,2
N_2	24,7	18,5	42,7
N_3	25,0	21,4	46,0
NIR ($p = 0,05$)	1,8	2,2	3,6

Zawartość azotu mineralnego w glebie podano w tabeli 1. Mimo że w doświadczeniu zastosowano azot w postaci NH_4NO_3 rośliny miały do dyspozycji głównie $\text{N}-\text{NO}_3^-$. Proces nityfikacji w środowisku alkalicznym zachodził tak szybko, że po czterech tygodniach od zastosowania NH_4NO_3 w glebie stwierdzono prawie wyłącznie azot azotanowy. Zawartość tej formy azotu zależała od wielkości dawki i czasu pobrania prób do analiz. Na początku wegetacji pszenicy (Faza II) zawartość azotanów w glebie była proporcjonalna do wielkości dawki saletry amonowej. W obiektach z dawką N_1 nastąpiło duże wyczerpanie azotu i zawartość NO_3^- spadła poniżej 1 mg/100 g gleby. Wyczerpanie azotu w obiekcie N_2 nastąpiło w fazie kłoszenia, a w N_3 wystarczyło go aż do pełnej dojrzałości.

W tabeli 2 przedstawiono masę słomy i ziarna pszenicy jarej w zależności od zastosowanej dawki azotu. Tak wysoka efektywność działania azotu zarówno na plon słomy, jak i ziarna jest rzadko spotykana w warunkach produkcyjnych. Wydaje się, że przyczyną tego zjawiska było duże wyczerpanie, głównie azotu (od kilku lat uprawiano rośliny nie stosując żadnego nawożenia) oraz duże zasolenie gleby. Wyraźną dodatnią reakcją roślin na nawożenie azotem gleb słonych stwierdzili Thomas i Landgale (12). Ich zdaniem duża efektywność azotu wynikała z podstawienia Cl^- jonem NO_3^- i wzrostem koncentracji anionów organicznych.

W wyniku zmiennej dynamiki przyrostu masy słomy i ziarna nastąpiło wyraźne zróżnicowanie w wartościach współczynnika plonowania. Różnice istotne wystąpiły pomiędzy najniższą i najwyższą dawką azotu.

Tab. 3. Wpływ azotu na zawartość kationów – C i anionów nieorganicznych – A w pszenicy jarej (mmol · n/100 s.m.)

Nitrogen effect on cations – C and nonorganic anions – A content in spring wheat (mmol · n/100 d.m.)

Dawka	Faza (skala Feekes'a)								$\bar{x}$	
	4/5		10,5		11,4					
					słoma		ziarno			
	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
0*	125,4	24,0	78,9	16,8	60,7	15,1	24,8	15,5	72,5	17,9
N ₁	219,8	74,6	110,3	52,5	80,5	54,1	26,2	15,3	109,2	49,1
N ₂	229,6	66,0	141,3	48,5	87,6	50,8	26,9	15,9	121,3	45,2
N ₃	229,0	64,9	148,2	54,2	95,1	59,7	30,9	16,8	125,8	45,7
$\bar{x}$	226,2	68,5	133,3	51,7	87,7	50,6	28,0	16,0	—	—
NIR (p 0,05) – pomiędzy dawkami N									10,0	—
– pomiędzy fazami									12,7	17,6

* – nie liczono statystycznie

Nawożenie azotanem amonowym, a bezpośrednio wzrost koncentracji anionu saletrzanego w glebie wyraźnie zwiększył zawartość kationów w pszenicy (tab. 3). Największą dynamikę przyrostu stwierdzono w masie wegetatywnej pszenicy w fazie kłoszenia. Spadek zawartości kationów w masie wegetatywnej pszenicy wystąpił najwyraźniej w okresie maksymalnego tempa przyrostu plonu — od fazy początkowego strzelania w źdźbło do kwitnienia. W tym okresie tempo przyrostu masy plonu znacznie wyprzedza dynamikę pobierania jonów i następuje „efekt rozcieńczenia” składników w masie rośliny (6, 13). Zwiększone pobieranie kationów przez rośliny żywione azotanami stwierdziło wielu autorów (2, 3, 4, 7, 8). Podkreśla się przy tym, że wysoka koncentracja N-NO_3^- i kationów, zwłaszcza potasu, nie oddziałuje ujemnie na same rośliny, ale zwierzęta nie są przystosowane do spożywania takich pasz i może dochodzić do zaburzeń w przemianach metabolicznych (10).

Zmiany w kumulacji anionów nieorganicznych w pszenicy jarej nawożonej zwiększonymi dawkami azotu były mało wyraźne (tab. 3). Odwrotnie niż w przypadku kationów, w miarę wzrostu dawki azotu zawartość anionów lekko spadała. Stwierdzono również zmniejszanie się zawartości anionów nieorganicznych w masie wegetatywnej pszenicy w czasie wegetacji. Dynamika tego spadku była jednak wyraźnie mniejsza niż w przypadku wartości C.

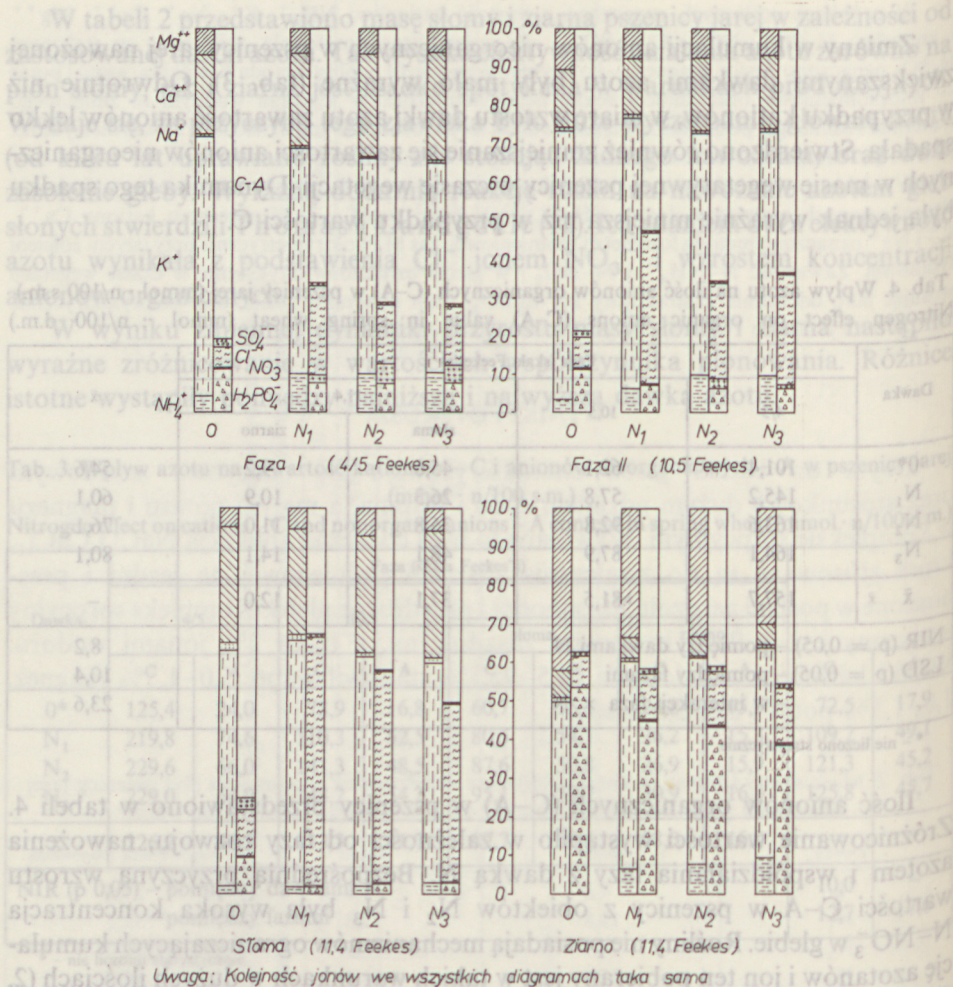
Tab. 4. Wpływ azotu na ilość anionów organicznych (C-A) w pszenicy jarej (mmol · n/100 s.m.)
Nitrogen effect on organic anions (C-A) value in spring wheat (mmol · n/100 d.m.)

Dawka	Faza (skala Feekes'a)				$\bar{x}$
	4/5	10,5	11,4		
			słoma	ziarno	
0*	101,4	62,1	45,6	9,2	54,6
N ₁	145,2	57,8	26,3	10,9	60,1
N ₂	163,6	92,8	36,8	11,0	76,1
N ₃	164,1	87,9	48,1	14,1	80,1
$\bar{x}$	157,7	81,5	37,1	12,0	—
NIR (p = 0,05) – pomiędzy dawkami N					8,2
LSD (p = 0,05) – pomiędzy fazami					10,4
– w interakcji faza × N					23,6

* – nie liczono statystycznie

Ilość anionów organicznych (C-A) w pszenicy przedstawiono w tabeli 4. Zróznicowanie wartości wystąpiło w zależności od fazy rozwoju, nawożenia azotem i współdziałania fazy z dawką N. Bezpośrednią przyczyną wzrostu wartości C-A w pszenicy z obiektów N₂ i N₃ była wysoka koncentracja N-NO₃⁻ w glebie. Rośliny nie posiadają mechanizmów ograniczających kumulację azotanów i jon ten pobierany jest w takich warunkach w dużych ilościach (2, 4). Pobieraniu N-NO₃⁻ towarzyszy równoważne wydzielanie jonu HCO₃⁻, a niekiedy także OH⁻. Azot azotanowy w roślinie ulega redukcji, a ujemny ładunek przenoszony jest na nietolne kwasy organiczne R-COO⁻ (2, 8, 14, 15). Jeśli więc przyjmie się, że ilość karboksylatów R-COO⁻ zależy w znacznej mierze od ilości zredukowanych azotanów, które następnie ulegają biosyntezie w związki organiczne, to dodatnie korelacje pomiędzy wartościami C-A i plonem, stwierdzane przez wielu autorów (11, 12, 15), wydają się być uzasadnione. Niestety, teoria ta nie zawsze znajduje potwierdzenie w badaniach (1, 3, 5).

Procentowy udział kationów w sumie kationów C i anionów w sumie anionów ogółem przedstawiono na ryc. 1. Kationem dominującym w masie wegetatywnej pszenicy był potas. Jego udział w C w miarę wzrostu nawożenia azotem spadał, ale zawsze stanowił ponad 50% wszystkich kationów. Stwierdzono wyraźny wzrost udziału Ca⁺⁺ w sumie kationów w słomie w porów-



Ryc. 1. Procentowy udział kationów w sumie kationów „C” i anionów w sumie anionów w pszenicy jarej

The proportion of cations in the sum of cations „C” and anions in the sum of anions in spring wheat nianiu z masą wegetatywną pszenicy w fazie kwitnienia i strzelania w źdźbło. Na wzrost udziału wapnia w sumie kationów dodatni wpływ wywarło również nawożenie azotem. Duży udział magnezu w sumie kationów stwierdzono w ziarnie pszenicy, ale spadał on w miarę wzrostu dawki azotu.

Największe znaczenie w równoważeniu dodatnich ładunków kationów w pszenicy miały aniony organiczne (C-A). Ich udział w sumie anionów ogółem spadał wraz z wiekiem pszenicy. Wzrastające dawki azotu zwiększały co prawda udział anionów organicznych w sumie anionów w pszenicy, ale nigdy nie zostały przekroczone wartości z obiektu kontrolnego. Na uwagę zasługuje zachowanie się chloru, którego udział w sumie anionów w pszenicy był mały, zwłaszcza

w obiekcie bez nawożenia. Startowa dawka azotu zwiększała kilkakrotnie jego zawartość w masie wegetatywnej, lecz dalszy wzrost koncentracji azotanów w glebie już wyraźnie hamował kumulację Cl^- w pszenicy.

WNIOSKI

1. W glebie, o wysokim stopniu wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi, nastąpiła nityfikacja całej ilości azotu NH_4^+ zastosowanego w postaci NH_4NO_3 .
2. Stwierdzono wysoką efektywność działania zwiększonych dawek azotu na plon ziarna i słomy pszenicy jarej. Wyższa dynamika przyrostu masy ziarna niż słomy spowodowała wzrost wartości współczynnika plonowania.
3. Wyższe dawki saletry amonowej, a bezpośrednio wyższe koncentracje azotanów w glebie zwiększały kumulację kationów i ograniczały zawartość anionów nieorganicznych w pszenicy.
4. W warunkach doświadczenia wazonowego na glebie lessowej, w dużym stopniu wysyczonej kationami zasadowymi, żywienie pszenicy jarej azotanami ujawniło dodatnie zależności pomiędzy ilością anionów organicznych (C-A) a masą plonu.

PIŚMIENNICTWO

1. 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.*, 67, 20–25, 1975.
2. Blair G. J., Miller M. H., Mitchel W. A.: Nitrate and ammonium as sources of nitrogen for corn and their influence on the uptake of other ions. *Agron. J.*, 62, 4, 530–532, 1970.
3. Borowski E.: Współdziałanie form soli azotu i potasu w kształtowaniu równowagi jonowej u wybranych roślin pastewnych (*Brassica oleracea* var. *acephala* i *Zea mays* L. ssp. *indurata*). Rozprawa habilitacyjna, Seria Wydawnicza — Rozprawy Naukowe, Akademia Rolnicza. Lublin 1986.
4. Dijkshoorn W.: Nitrate accumulation, nitrogen balance and cation-anion ratio during the regrowth of perennial ryegrass. *Neth. J. Agric. Sci.* 6, 211–221, 1958.
5. Dechnik I., Filipek T., Kaczor A.: Zależności jonowe w jęczmieniu jarym w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem. *Równowaga jonowa w glebach i roślinach w warunkach intensywnego nawożenia. Materiały sympozjum*, 2, 49–54, 1986.
6. Filipek T.: Dynamika pobierania składników mineralnych a nawożenie zbóż. *Nowe Roln.* 4, 6–8, 1984.
7. Jungk A.: Interactions of nitrogen concentrations (NH_4 , NH_4NO_3 and NO_3) and pH of nutrient solution on growth and ionic balance of tomato plants. *Gartenbauwissenschaft*, 35, 5, 13–28, 1970.
8. Kirkby E. A., Knight A. H.: Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cation-anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiol.* 60, 3, 349–353, 1977.

9. Large E. C.: Growth stages in cereals. Illustrations of the Feekes scale. *Plant Pathol.* 3, 128-129, 1954.
10. Mattson S.: The ionic relationships of soil and plant. *Acta Agric. Scand.* 16, 135-143, 1966.
11. Noggle J. C.: Ionic balance and growth of sixteen plant species. *Soil. Sci. Amer. Proc.* 30, 763-766, 1966.
12. Thomas J. R., Langdale G. W.: Ionic balance in coastal bermudagrass influenced by nitrogen fertilization and soil salinity. *Agron. J.* 72, 449-452, 1980.
13. Waldren R. P., Flowerday A. D.: Growth stages and distribution of dry matter, N, P, K in winter wheat. *Agron. J.* 71, 3, 391-397, 1979.
14. Warchołowa M.: Równowaga jonowa w roślinach w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Wpływ nawożenia na jakość plonów. Materiały sympozjum, 21-38, Puławy 1981.
15. Wit. C. T., Dijkshoorn W., Noggle J. C.: Ionic balance and growth of plants. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 69, 15, 1-68, 1963.

РЕЗЮМЕ

В ходе опыта в вазах на бурой почве, образованной из лесса, насыщенной почти в полностью катионами оснований, избыток которых появился вследствие ежегодного осадка аэрозоля соли, используемой в борьбе со скольжением зимой на дорогах, были применены возрастающие дозы NH_4NO_3 . Через четыре недели в почве была обнаружена главным образом селитровая форма азота. Повышенная концентрация интратов в почве вызывала рост нагромождения катионов и органичивала содержание неорганических анионов в пшенице. Более высоким величинам C-A соответствовала большая масса урожая зерна и соломы.

SUMMARY

Increasing doses of NH_4NO_3 were applied in the pot experiment on the brown soil formed from loess almost completely saturated with alkaline cations which appeared in excess after the annual fall of salt aerosol used against the post-snow slipperiness. After four weeks, mainly the saltpetre form of nitrogen was found. A higher concentration of nitrates in the soils increased the accumulation of cations and reduced the content of inorganic anions in wheat. Higher values of C-A corresponded to a higher mass of grain and straw yields.