

WPLYW H^+ I Al^{+3} NA ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW MINERALNYCH ORAZ WZROST I ROZWÓJ PSZENICY JAREJ

A. Szatanik-Kloc

Instytut Agrofizyki im B. Dobrzańskiego PAN w Lublinie, 20-290 Lublin, ul. Doświadczalna 4.

Streszczenie. Przedstawione wyniki dotyczą wpływu niskiego pH ($pH = 4$) i różnych stężeń glinu, na wzrost i rozwój pszenicy jarej Omega. Na podstawie stosunku suchej masy korzeni i części nadziemnych roślin uprawianych w warunkach optymalnego pH ($pH = 7$) do roślin poddanych stresowi, zdolności roślin do podwyższania pH oraz zawartości wybranych pierwiastków stwierdzono, że to przede wszystkim jony glinu wpłynęły na ograniczenie wzrostu i rozwoju badanej pszenicy. Są również głównym czynnikiem ograniczającym zawartość Ca, Mg i P w roślinie.

Słowa kluczowe: korzeń, pH, stres glinowy, mikro i makro elementy

WSTĘP

Zbożami obsiewa się w Polsce ok. 54% powierzchni gruntów ornych. Udział poszczególnych zbóż w zasiewach jest różny. Najwięcej, bo ok. 25% tej powierzchni obsiewa się żytem, pszenica zajmuje ok. 14%, 9% owies i 6% jęczmień. Podział ten wiąże się z dużym zróżnicowaniem gatunków pod względem wymagań klimatycznych i glebowych. Pszenica ozima i jara ma duże wymagania glebowe. Najbardziej odpowiednie są dla niej gleby zasobne w składniki pokarmowe, o uregulowanych stosunkach wodnych i nie zakwaszone, o pH pomiędzy 6 a 7. Najwyższe plony pszenicy otrzymuje się na czarnoziemach, madach i wysokich rędzinach [4]. Korzeń, jako główny organ sorpcyjny rośliny, odpowiada za pobór wody i substancji pokarmowych. Intensywność wzrostu i rozwoju systemu korzeniowego jest różna i zależy od okresu wegetacji rośliny a także od uwarunkowań genetycznych. Największy przyrost masy korzeniowej obserwujemy

w początkowych fazach rozwoju (wschody, krzewienie, strzelanie w źdźbło) po czym stosunek masy korzeni do części nadziemnych ulega odwróceniu.

Pobór składników pokarmowych uwarunkowany jest, zapotrzebowaniem rośliny na pierwiastki biogenne środowiska zewnętrznego. Zapotrzebowanie to zmienia się pod względem ilościowym i jakościowym w różnych okresach ontogenezy rośliny. Najintensywniejsze zapotrzebowanie na składniki pokarmowe w przeliczeniu na jednostkę masy lub objętości, przypada na okres kiełkowania. W tym okresie jednak roślina czerpie składniki pokarmowe głównie z tkanki zapasowej. Maksimum zapotrzebowania większości rośliny w makro i mikro elementy przypada na fazę kwitnienia i tworzenia ziarniaków. Odnotowano wprawdzie dwukrotny wzrost poboru składników mineralnych przez pszenicę w okresie strzelania w źdźbło w porównaniu z fazą kwitnienia, są to jednak przypadki jednostkowe. Odzwierciedleniem dynamiki sorpcyjnej korzenia są wymagania roślin w stosunku do odpowiednich warunków żywienia. Młode rośliny pobierają szczególnie dużo fosforu, następnie zwiększają zapotrzebowanie na potas, a w końcu na azot. Zapotrzebowanie na inne związane jest również z poszczególnymi fazami rozwoju i intensywnością zachodzących w roślinie procesów metabolicznych. Naruszenie równowagi ekosystemu prowadzić więc może, w pierwszej kolejności, do zaburzenia wzrostu i rozwoju systemu korzeniowego, a w konsekwencji do nieprawidłowości rozwoju całej rośliny. Ważnym czynnikiem zachowania tej równowagi jest odczyn gleby. Na glebach kwaśnych i bardzo kwaśnych wzrasta stężenie jonów wodorowych, glinu i manganu. Spada stężenie metali, przede wszystkim wapnia, magnezu i potasu oraz ich pobieranie przez rośliny. Ograniczona zostaje rozpuszczalność fosforu i molibdenu. Głównym jednak czynnikiem limitującym plonowanie roślin na glebach kwaśnych jest glin. Przedmiotem niniejszej pracy jest zbadanie wpływu stężenia protonów i jonów glinu na zawartość kationów i wzrost pszenicy jarej Omega.

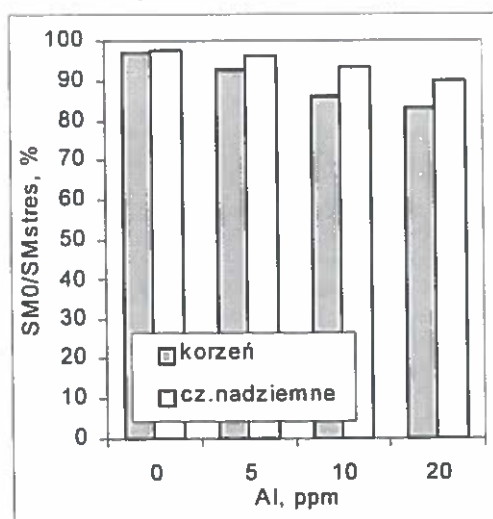
MATERIAŁ I METODY

Uprawę badanej pszenicy prowadzono w kulturze wodnej, przy ściśle kontrolowanym odczynie i składzie pożywki [13, 14]. Gdy rośliny osiągnęły początek fazy strzelania w źdźbło, część pojemników pozostawiono przy $\text{pH} = 7$ materiał kontrolny) a odczyn w pozostałych doprowadzono do $\text{pH} = 4$ i dodano różne ilości glinu (AlCl_3). Stężenie glinu w pojemnikach wynosiło odpowiednio: 0; 5;

10 i 20 $mgAl\ dm^{-3}$. Codziennie mierzono odczyn roztworów oraz doprowadzano go do $pH=4$ za pomocą 0,1 N HCl. Okres inkubacji w warunkach stresu wynosił 10 dni. Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Zebrane korzenie roślin przepłukano 0,001 N kwasem solnym i trzykrotnie wodą destylowaną w celu odmycia zaadsorbowanych wymiennie jonów powierzchniowych (standaryzacja próbek). Określono suchą masę korzeni i części nadziemnych oraz zawartość K, Ca, Mg, Fe, Mn, metodą ASA, P – kolorymetrycznie, N – metodą Kieldahla oraz Al metodą ICP AES.

WYNIKI I DYSKUSJA

Pod wpływem stresu wywołanego obniżeniem pH pożywki i letalnymi dawkami glinu zaobserwowano spadek suchej masy korzeni i części nadziemnych pszenicy co przedstawiono na rysunku 1.

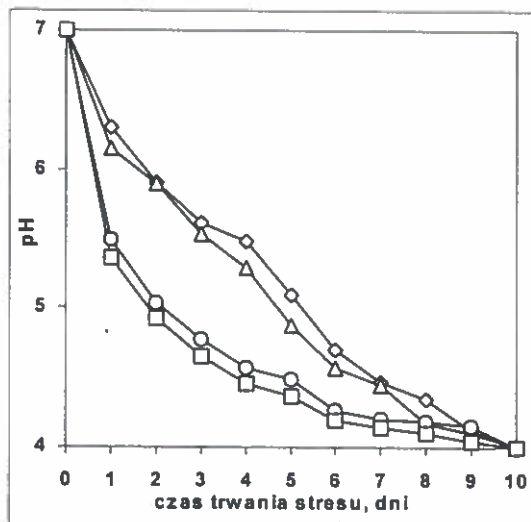


Rys. 1. Procentowy spadek suchej masy korzeni i części nadziemnej u roślin poddanych stresowi przy $pH=4$ i różnych stężeniach glinu w stosunku do roślin kontrolnych (średnie z trzech powtórzeń po 80 roślin).

Fig. 1. Decrease of the dry mass of roots and upper parts of the plant (dry mass %) during pH and aluminum stress as compared to nonstressed plant (average from 3 replicates of 80 plants each).

Obniżenie odczynu pożywki do $pH = 4$, nie wpłynęło znacząco na masę badanej odmiany pszenicy. Prawdopodobnie wiąże się to ze zbyt krótkim czasem

inkubacji w warunkach podwyższonego stężenia samych protonów. Natomiast obecność jonów glinu wyraźnie zmniejszyła suchą masę roślin (zwłaszcza korzeni) badanej pszenicy. Współczynnik korelacji pomiędzy wzrostem stężenia jonów glinu w pożywce a spadkiem suchej masy (liczony z trzech powtórzeń) wynosił 0,98–0,97. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany pH pożywki w trakcie trwania stresu.



Rys. 2. Zmiany odczynu pożywki (podnoszenie pH powodowane przez roślinę) po codziennym doprowadzaniu pH do wartości 4.

Fig. 2. Changes in pH of the stressing solutions after everyday adjustment of pH to the value of 4 (see the text).

Zdolność do podwyższania pH pożywki przez rośliny malała wraz ze wzrostem czasu trwania stresu i wzrostem stężenia glinu. Podwyższanie pH rizosfery jest jednym z mechanizmów obronnych roślin przed toksycznym działaniem glinu. Badania przeprowadzone przez Konzaka [11] na dwóch odmianach pszenicy o różnicowanej wrażliwości na glin wykazały, że w warunkach stresu odmiana wrażliwa pobierała więcej azotu amonowego niż azotanowego (odwrotnie niż odmiana odporna), co prowadziło do dalszego obniżenia pH. Niemniej jednak, najnowsze badania łączą raczej zdolność do optymalizacji pH z genetycznie uwarunkowaną cechą danej odmiany do utrzymywania stałego potencjału membranowego, a nie z cechą tolerancyjności na glin.

Odnotowano również spadek stężenia kationów w korzeniach i części nadziemnej badanej rośliny, co przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zawartość wybranych pierwiastków (% s.m) w korzeniu i części nadziemnej pszenicy jarej Omega. Średnie z trzech powtórzeń. Odchylenie od średniej <20%. * Stężenie glinu, mg dm⁻³.
Table 1. Selected elements content (% dry mass) in the roots and upper parts of the studied plant. Average data from 3 replicates. The deviation between the replicates did not exceed 20%. *Al concentration during the stress.

| | Ca | Mg | Fe | Mn | K | P | Al | N |
|---------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| KORZEŃ | | | | | | | | |
| PH7 | 2.00 | 0.80 | 0.50 | 0.008 | 2.20 | 0.14 | - | 2.50 |
| PH4 | 1.80 | 0.63 | 0.40 | 0.006 | 2.00 | 0.15 | - | 2.30 |
| PH4+Al 5* | 0.70 | 0.13 | 0.30 | 0.003 | 1.40 | 0.15 | 0.008 | 1.80 |
| PH4+Al 10* | 0.18 | 0.11 | 0.10 | 0.003 | 0.70 | 0.13 | 0.05 | 1.60 |
| PH4+Al 20* | 0.18 | 0.10 | 0.02 | 0.002 | 0.90 | 0.12 | 0.08 | 1.50 |
| CZ. NADZIEMNE | | | | | | | | |
| PH7 | 0.78 | 0.70 | 0.10 | 0.005 | 4.69 | 0.33 | - | 3.10 |
| PH4 | 0.77 | 0.65 | 0.09 | 0.003 | 4.34 | 0.32 | - | 3.00 |
| PH4+Al 5* | 0.30 | 0.15 | 0.02 | 0.003 | 4.01 | 0.20 | 0.002 | 2.50 |
| PH4+Al 10* | 0.21 | 0.30 | 0.01 | 0.002 | 3.03 | 0.18 | 0.003 | 2.40 |
| PH4+Al 20* | 0.20 | 0.40 | 0.02 | 0.001 | 2.02 | 0.17 | 0.004 | 2.40 |

Zarówno obniżenie wartości pH pożywki jak i obecność jonów glinu zmniejszyły zawartość badanych pierwiastków w suchej masie pszenicy. Szczególnie wyraźnemu spadkowi uległo stężenie wapnia i magnezu w korzeniach. Procentowa zawartość tych kationów pod wpływem wysokich stężeń glinu (10 i 20 mg/dm³) spadła 10-krotnie w korzeniach i 3-krotnie w częściach nadziemnych. Stężenie fosforu w korzeniach w zasadzie nie uległo istotnym zmianom, nato-

miast w części nadziemnej roślin zmniejszyło się również około 3-krotnie. Prawdopodobnie wiązanie fosforu przez glin na powierzchni korzeni, w wolnych przestrzeniach międzykomórkowych, ścianie komórkowej i plazmolemie jest tak duże, że nie zmienia jego zawartości w korzeniu, hamuje jednak transport fosforu do części nadziemnej rośliny. Podczas stresu zaobserwowano również pewne symptomy toksycznego wpływu środowiska. Objawiało się to przede wszystkim żółknięciem i zamieraniem części nadziemnych. Rośliny, których uprawę przedłużono do fazy kłoszenia, nie wykształciły w warunkach silnego stresu glinowego kłosów. Symptomy toksyczności glinu w częściach nadziemnych roślin noszą charakter wtórny. Związane są raczej z niedoborem wody i składników pokarmowych, głównie wapnia i fosforu. Wiele badań wskazuje na ograniczenie poboru kationów przez rośliny w obecności podwyższonego stężenia jonów glinu [1, 2, 3, 5, 6, 7]. Zdaniem niektórych badaczy ograniczenie poboru składników pokarmowych, głównie Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , wiąże się bądź to z antagonizmem tych pierwiastków i glinu, bądź ze zmianą reakcji biochemicznych zachodzących w cytoplazmie i indukowanych obecnością jonów glinu [12]. Kinraide i Ryan [10] w swoich badaniach uszeregowali kationy według skuteczności ich konkurencji z jonami glinu: $\text{H}^{+} = \text{Me}^{+3} > \text{Me}^{+2} > \text{Me}^{+}$. Szereg ten dla czterech kationów badanych przez Grauera i Horsta [9] przedstawia się następująco: $\text{H}^{+} >> \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} >> \text{K}^{+}$. Maksimum wypierania wapnia, magnezu i potasu przez glin ma miejsce przy $\text{pH} = 4,4 \pm 0,4$. Przy dalszym spadku pH dochodzi do wzrostu protonizacji powierzchniowych grup karboksylowych, na skutek czego następuje dalsze ograniczenie zdolności korzeni do adsorpcji innych kationów [8]. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że powierzchnie komórek roślinnych (ściana komórkowa, plazmolema) mają przewagę ładunków ujemnych. Z większą energią wiążą więc kationy o wyższej wartościowości, takie jak Al^{+3} . Ponadto, zdaniem wielu autorów, miejsca adsorpcji Ca^{+2} (kanały jonowe) pokrywają się częściowo z miejscami wiązania glinu. Zatem i protony i jony glinu w określonych warunkach mają wpływ na stężenie makro- i mikroelementów w roślinie.

WNIOSKI

1. Stężenie samych protonów wpływa w większym stopniu na pobór składników pokarmowych, a więc na procesy fizjologiczne (metaboliczne) i transportowe, niż na zmiany morfologiczne badanej pszenicy.

2. Obecność jonów glinu wpłynęła znacząco na zmniejszenie zawartości Ca i Mg w całej roślinie i znaczny spadek zawartości fosforu w częściach nadziemnych.
3. Zdecydowane zmiany masy korzeni i części nadziemnych obserwowano przy wysokich stężeniach glinu (10 mg dm^{-3} i 20 mg dm^{-3}), co jest zgodne z obserwacjami innych autorów, że zakres tolerancyjności na glin większości polskich odmian pszenicy mieści się w przedziale $4\text{--}8 \text{ mg/dm}^3$ glinu.

PIŚMIENNICTWO

1. Alva A. K., Edwards D.G.: Response of lupin cultivars to concentration of calcium and activity of aluminium in dilute nutrient solutions. *J. Plant Nutr.* 13, 57–76, 1990.
2. Badora A., Filipek T.: Reakcja zbóż na silne zakwaszenie gleb. Cz.II. Wpływ silnego zakwaszenia gleb na skład mineralny pszenicy w fazie kłoszenia. *Roczniki Gleboznawcze XLV*, 77–87, 1994a.
3. Badora A., Filipek T.: Reakcja zbóż na silne zakwaszenie gleb. Cz.III. Wpływ silnego zakwaszenia gleb na skład mineralny jęczmienia w fazie kłoszenia. *Roczniki Gleboznawcze XLV*, 85–90, 1994b.
4. Czerwiński E., Dobrzański B.: Nowoczesna uprawa roślin. PWRiL, Warszawa. 1976.
5. Dechnick I., Labuda S., Filipek T.: Reakcja jęczmienia jarego na zróżnicowaną wilgotność i wysycenie kompleksu sorpcyjnego gleby kationami. *Roczniki Gleboznawcze XLII*, 95–100, 1991.
6. Filipek T.: Kształtowanie się równowagi jonowej w życie, w zależności od wysycenia gleb kationami. *Roczniki Gleboznawcze XLI*, 133–143, 1990.
7. Filipek T., Badora A.: Reakcja zbóż na silne zakwaszenie gleb. Cz.I Żyto. *Roczniki Gleboznawcze XLIV*, 47–53, 1993.
8. Foy C.D., Oakes A.J.: A winter hardy, aluminum tolerant, perennial pasture grass for reclamation of acid mine spoils. *J. Plant Nutr.* 7, 929–951, 1984.
9. Grauer U.E., Horst W.J.: Comments on the calcium-aluminium balance (CAB). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 897–898, 1991.
10. Kinraide T.B., Ryan P.R.: Cell surface charge may obscure the identity of the rhizotoxic aluminium species. *Current Topics in Plant Biochem. and Physiol.* 10, 94–106, 1991.
11. Konzak C.P.: Screening several crops for aluminum tolerance. w: J.M. Wright (Ed.). *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Cornell Univ. Exp. St. Ithaca, NY, 311–327, 1976.
12. Olivetti G.P., Etherton H.: Aluminium interactions with corn rootplasma membrane. *Plant Physiology* 91, 1188–1195, 1991.
13. Szatanik-Kloc A.: Wpływ glinu na cechy morfologiczne oraz anatomiczne pszenicy i pszenżyta. *Mat. Konf. „Fizyczna degradacja gleb: prognozowanie, metody ochrony i rekultywacji”*. Lublin, 132–136, 1999a.
14. Szatanik-Kloc A.: Wpływ stresu glinowego na wzrost oraz morfologiczne i anatomiczne cechy korzeni wybranych zbóż. *Acta Agrophysica* 23, 167–175, 1999b.

EFFECT OF H⁺ AND AL⁺³ ON SELECTED ELEMENTS CONTENT AND GROWTH OF WHEAT

Alicja Szatanik-Kloc

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27, Poland

Summary. The plants of wheat grown in a nutrient solution at pH = 7 to their tillering stage were stressed at pH = 4 and at pH = 4 with different Al concentrations during 10 days. The root to upper parts of the plants ratio, ability of the plants to increase of pH of the stressing solutions and the content of Ca, Mg, Fe, Mn, K, P, Al and N in the plants showed the principal effect of aluminum and not pH on the growth and nutrition inhibition of the plant studied.

Key words: aluminum, pH, stress, growth, nutrition.