

ZYGMUNT JAŚKOWSKI

DZIAŁANIE NAWOZÓW MINERALNYCH NA BARDZO KWAŚNYCH GLEBACH PIASKOWYCH

W 1967 roku zwróciliśmy uwagę i rozpoczęliśmy badania przyczyn wiosennego żółknięcia i przepadania zbóż i innych roślin na polach produkcyjnych. Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań i obserwacji, których wyniki opublikowano już poprzednio (8, 9, 10, 11, 12) wysunęliśmy przypuszczenie, że występujące dość powszechnie w niektórych rejonach kraju, szczególnie na bardzo kwaśnych glebach piaskowych żółknięcie zbóż może być związane z zachwianiem równowagi magnezowej w roślinach w następstwie względnie niskiej zawartości magnezu w glebach, silnego ich zakwaszenia oraz intensywniejszego nawożenia mineralnego (11, 12).

W roku 1969 podjęliśmy badania w celu dokładniejszego wyjaśnienia związku między nawożeniem mineralnym a nasileniem występowania obserwowanych przez nas zjawisk (żółknięcia i przepadania zbóż) na tych glebach.

Wyniki przeprowadzonych przez nas wstępnych doświadczeń z lat 1969—1970 potwierdziły całkowicie badania M. Batalina i St. Urbanowskiego (2), wskazujące na możliwość ujemnego działania nawozów mineralnych na glebach bardzo kwaśnych. We wszystkich doświadczeniach obserwowano, zwłaszcza w obiektach NPK, w początkowym okresie wegetacji, żółknięcie roślin i przynajmniej okresowe zahamowanie ich wzrostu, a w niektórych przypadkach także wyraźnie ujemny wpływ na plony końcowe. Ten ujemny wpływ nawożenia NPK na plony roślin obserwowaliśmy także w innych nie zakończonych jeszcze doświadczeniach wazonowych i polowych, wykonanych w naszej Pracowni w 1971 i 1972 r.

Hipoteza toksycznego działania glinu

M. Batalin (3) badając działanie nawozów mineralnych na glebach kwaśnych wysunął przypuszczenie, że żółknięcie liści młodych roślinek a następnie ginięcia części chorych roślin (a więc zjawiska opisywane przez nas jako skutek niedoboru magnezu), jest objawem szkodliwego działania glinu w następstwie stosowania chlorku potasu lub siarczanu amonu. M. Batalin i St. Urbanowski (2) za Awdoninem i Kuzinem, Ko-

szelkowem i Taninem, Mac Leodem i Awdoninem, Jacksonem, Maksimowem i Goralskim, Moskalem i Prianiszkowem wysunęli przypuszczenie, że mechanizm szkodliwego działania chlorku potasu polega w zasadzie na tym, że w warunkach gleb kwaśnych przyczynia się on pośrednio do dalszego zakwaszenia środowiska glebowego. Powoduje to przejście do roztworu szeregu składników, głównie glinu, manganu i żelaza. Podobny wpływ na odczyn wywiera wg tych autorów (2) siarczan amonu.

Wprawdzie, jak podają za innymi autorami Boguszewski i Kac-Kacas (4) chlorek potasu jest solą fizjologicznie kwaśną, ale podobny charakter nawozów fizjologicznie kwaśnych mają np. azotan amonu (NH_4NO_3) lub mocznik ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), które nie zawierają jonów chloru. W naszych doświadczeniach wazonowych z owsem rośliny silnie żółkły w obiektach NPK, mimo że stosowano tylko połowę dawki potasu w KCl lub K_2SO_4 . Jeśli zaś jony SO_4^{--} siarczanu amonu miałyby, jak podają M. Batalin i St. Urbanowski (2) w tak silnym stopniu zwiększać zakwaszenie gleby, że powodowałyby to przejście do roztworu nowych porcji glinu w stopniu toksycznym dla roślin, to podobny wpływ na odczyn gleb winny wywierać, jak przypuszczamy, także jony SO_4^{--} siarczanu magnezu ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$). W doświadczeniach wazonowych wykonanych w latach 1968 i 1969 z wzrastającymi od 0,076 do 19,56 g na 7 kg wazon gleby dawkami siarczanu magnezu, których wyniki podano w innej pracy (12) nie stwierdziliśmy po zbiorze roślin zmian pH gleby, ani wzrostu w glebie zawartości glinu oznaczonego metodą Sokołowa. Niewątpliwie stany końcowe nie odzwierciedlają możliwości zmian pH gleby w czasie wegetacji. Jednak w jednym z naszych doświadczeń polowych wykonanym w 1970 roku w Czersku rośliny żółkły w ciągu kilku dni po zastosowaniu wiosennej dawki (45 kg/ha) azotu w moczniku. Nawóz ten, po hydrolizie do amoniaku działa alkalizująco na glebę (14). W innym przypadku obserwowaliśmy u rolnika w 1971 r. (w Czersku) identyczne żółknięcie roślin po zwapnowaniu pola, wg naszych obserwacji nadmierną dawką wapna, jak poprzednio w 1970 r., przed jego zwapnowaniem. Podobne zjawisko obserwowaliśmy w 1970 r. u innego rolnika w Zaniach, pow. Chojnice.

Podane obserwacje nasunęły nam przypuszczenie, że bezpośrednim czynnikiem powodującym ujemne działanie nawozów mineralnych (żółknięcie roślin) nie mógł być w badaniach własnych, a także M. Batalina (1, 2) anion towarzyszący solom potasowym lub azotowym (Cl^- lub SO_4^{--}), lecz kation w doświadczeniach wazonowych — K^+ a w polowym — NH_4^+ (lub odpowiednio Ca^{++}).

Wg Gedroicia (cyt. wg. 4, 15, 16) jony K^+ wchodzą do glebowego kompleksu sorpcyjnego, a do roztworu wchodzą jony H^+ tworząc HCl , który wtórnie zwiększa ilość glinu ruchomego w glebie. Wszyscy zajmujący się tym zagadnieniem stwierdzają, że glin w formie ruchomej jest przy pew-

nym stężeniu szkodliwy dla roślin (cyt. wg 16). Dowodem szkodliwego działania glinu jest, jak podaje Moskal (16) znaczne nagromadzenie się tego pierwiastka w korzeniach roślin.

Wiadomo jest jednak z bardzo licznych badań, że w pewnych warunkach nagromadzają się w roślinach także inne składniki (np. krzem, potas) bez wywierania w zakresie określonych dawek (stężeń) ujemnego wpływu na plony końcowe roślin. W każdym odpowiednio wykonanym doświadczeniu dla zbadania tzw. antagonizmu jonowego można w stosunkowo prosty sposób wykazać, że wzrostowi zawartości w roślinie jednego kationu towarzyszy, przy uwzględnieniu odpowiednich dawek, spadek zawartości innego tzw. antagonistycznego kationu, np. Ca i Mg, K i Mg, NH_4 i Mg (7). W doświadczeniach nad wpływem zróżnicowanej zawartości wapnia i magnezu w nawozach wapniowych (13) stwierdziliśmy znaczne wahania w zawartości magnezu (MgO) w słomie owsa od 0,02 do 0,76%, przy czym plon słomy nie uległ większym zmianom. A więc stosunkowo duże nagromadzenie magnezu w roślinie nie podziało w naszych doświadczeniach ujemnie na plony końcowe. W innych doświadczeniach (11, 12) stwierdziliśmy nieproporcjonalnie wysokie w stosunku do plonów nagromadzenie się azotu i fosforu w roślinach owsa w warunkach niedostatecznej zawartości magnezu. Zawartość fosforu np. była w roślinach 4-krotnie wyższa w stosunku do plonów uzyskanych w warunkach dostatecznej zawartości magnezu.

W świetle tych faktów nasunęły się nam wątpliwości, dlaczego właśnie nadmiar glinu, pierwiastka bardzo rozpowszechnionego w skorupie ziemskiej, miałby działać toksycznie na rośliny, a nie np. nadmiar magnezu, wapnia i innych znacznie mniej rozpowszechnionych pierwiastków? Wydawało nam się, że gdyby glin był rzeczywiście tak silnie toksyczny dla roślin, jak się powszechnie przyjmuje, to w przyrodzie musiałyby wyginać wszystkie rośliny. Niemożliwe jest bowiem, aby glin nawet na glebach obojętnych nie przenikał do roślin.

Ujemne działanie glinu, jak podaje na podstawie obszernej literatury St. Moskal (15, 16) może polegać na wywoływaniu kwasowości i sorpcji fosforanów w glebie, na antagonistycznym działaniu jonów Al i P_2O_5 oraz na wytrącaniu fosforanu glinu w korzeniach roślin.

Sorpcja fosforanów w glebie przez glin odbywa się poza rośliną, a więc nie można jak sądzimy, tym zjawiskiem tłumaczyć toksyczności glinu na roślinę. Z punktu widzenia toksyczności glinu na roślinę sorpcję fosforanów należałoby raczej określić jako zjawisko pożyteczne dla roślin, gdyż zmniejsza ona zawartość ruchomego glinu w glebach kwaśnych. Oczywiście w konsekwencji może to wywierać ujemny wpływ na rośliny, ale z powodu obniżenia zawartości tzw. dostępnego fosforu w glebie, a nie wzrostu toksyczności glinu. Z obszernej literatury przytoczonej przez St. Mos-

kała (15, 16) wynika, że wzrostowi zawartości glinu w korzeniach roślin towarzyszy wzrost zawartości fosforu, gdyż wytrąca się fosforan glinu. Trudno więc to zjawisko nazwać antagonizmem. Raczej dużym powinowactwem chemicznym glinu do fosforu. Wreszcie B.A. Gołubiew (wg 16) badając objawy szkodliwego działania glinu na rośliny nie stwierdził, poza zmniejszeniem masy, zasadniczych różnic w wyglądzie części nadziemnej roślin. Gdyby zaś w naszych doświadczeniach wystąpiła tak silna sorpcja fosforu w roślinach, że powodowałoby to gwałtowne zmiany w wyglądzie roślin, to należy przypuszczać, że wystąpiły także objawy głodu fosforowego. Oznak takich (niebieskozielone zabarwienie liści (17) w naszych doświadczeniach jednak nie obserwowaliśmy. Wydaje się więc, że tymi przyczynami nie można wyjaśnić dość gwałtownie przebiegających zjawisk obserwowanych w naszych doświadczeniach, np. żółknięcia roślin w kilka dni po zastosowaniu mocznika.

*Hipoteza zachwiania równowagi magnezowej**

Ponieważ w naszych doświadczeniach w obiektach NPK rośliny wyraźnie żółkły i wykazywały charakterystyczne (np. u zbóż) objawy niedoboru magnezu, nasunęło nam to przypuszczenie, że ujemne działanie nawozów mineralnych mogło być w badanych przypadkach, a także w badaniach M. Batalina (1, 2) wywołane jedynie zachwianiem równowagi magnezowej w roślinie w następstwie nawożenia potasem (jony K^+) lub (oraz) azotem (jony NH_4^+) w kwaśnym środowisku badanych gleb lub odpowiednio jonami Ca^{++} w następstwie przewapnowania gleby (obserwacje w Czersku i Zaniach). Hipoteza ta została po raz pierwszy wygłoszona przez autora na konferencji Naukowo-Technicznej SITR w Chojnicach w dniu 25. V. 1970. Za takim przypuszczeniem przemawiają następujące obserwacje:

1. Występujące na roślinach zbóż we wszystkich badanych i obserwowanych przypadkach na polach produkcyjnych (8, 9, 10, 11, 12, 13) objawy paciorkowatości jako znane w literaturze objawy niedoboru magnezu (7, 8).

2. Wyraźne zróżnicowanie zawartości magnezu w roślinach pobranych z pól produkcyjnych z miejsc „a”, gdzie rośliny w polu silnie żółkły i ginęły oraz z miejsc „b”, gdzie rośliny były zielone lub wykazywały jedynie objawy niedoboru magnezu (10). To wyraźne zróżnicowanie zawartości magnezu stwierdzono ponadto w licznych próbkach pobranych z pól produkcyjnych w latach 1970 i 1971, będących przedmiotem oddzielnego opracowania.

* Pojęciem tym autor określa zachwianie równowagi jonowej w glebie i roślinie na niekorzyść składnika występującego w minimum

3. Niskie zawartości magnezu w warstwie ornej badanych gleb (8, 9 10) oraz wyraźne zróżnicowanie zawartości magnezu w profilach glebowych wykonanych w miejscach „a” i „b” (10, 11).

4. Stosunkowo wysoka reakcja roślin na nawożenie magnezowe zarówno w wykonanych przez nas doświadczeniach wazonowych na glebach pobranych z warstwy ornej pól produkcyjnych z miejsc, gdzie rośliny silnie żółkły, jak i w polowych wykonanych w podobnych warunkach. W doświadczeniach wazonowych np. uzyskiwaliśmy w obiektach z magnezem kilkakrotnie (średnio 3-krotnie) wyższe plony niż w obiektach NPK (8, 11), w doświadczeniach polowych zakończonych zwyczajki plonów przekraczały na ogół 10 q ziarna zbóż z hektara (11) a w doświadczeniach polowych jeszcze nie zakończonych wykonanych w 1971 roku plony ziarna żyta w obiektach z magnezem były 2—3-krotnie wyższe niż w obiektach NPK (gdzie wynosiły 5—8 q/ha).

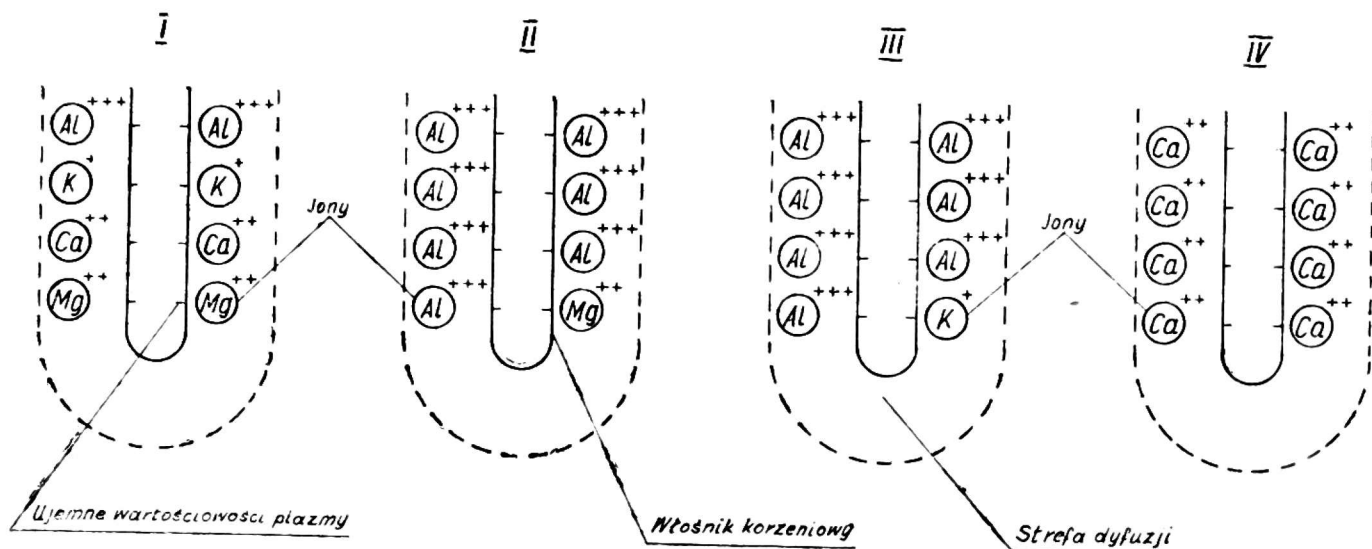
5. Nadmierna w stosunku do plonów akumulacja azotu i fosforu w roślinach z niedostateczną zawartością magnezu (11, 12), które to składniki, jak przypuszczamy, właśnie z braku magnezu nie mogły zostać włączone w łańcuch procesów biochemicznych przebiegających w komórkach i stąd zahamowanie wzrostu roślin. Pogląd nasz byłby więc zgodny z badaniami Takahashi (wg 6), który stwierdził, że niedostateczna ilość jakiegokolwiek składnika w podłożu sprzyja zwiększeniu koncentracji w roślinie innych pierwiastków.

Hipoteza układu zrównoważonego

Wg naszej hipotezy mechanizm ujemnego działania nawozów mineralnych (np. jonów K^+ , NH_4^+ , Ca^{++}) na silnie kwaśnych glebach piaskowych może być następujący (rys. 1).

W środowisku glebowym ustala się w strefie przywłośnikowej (dyfuzyjnej) korzeni stan dynamicznej równowagi między różnymi jonami znajdującymi się w roztworze. Z roztworu zrównoważonego przenikają do rośliny różne kationy w ilościach proporcjonalnych do ich aktywności i zawartości (stężenia) w danych warunkach, zgodnie z prawami fizyki (rys., schemat I). Przyjmujemy za Curtisem i Clarkiem (5) brak zdolności roślin — osobników należących do czystej linii — do selektywnej wybiórczości składników.

Na skutek działania różnych czynników i stopniowego zakwaszenia gleby, pojawiają się w roztworze coraz większe ilości jonów wodoru oraz tych jonów, których aktywność w tych warunkach wzrosła (np. glinu, żelaza, manganu). Wzrost zawartości np. glinu ruchomego w glebie, w miarę zakwaszenia, stwierdzają zgodnie różni autorzy (15, 16). Potwierdzają ją także nasze badania (12). Następuje więc zachwianie układu zrównoważo-



Schemat mechanizmu ujemnego działania nawozów mineralnych na glebach silnie kwaśnych (dla uproszczenia tylko przy uwzględnieniu jonów Al, Ca, Mg, K); I – stan równowagi (układ zrównoważony); II – przesunięcie równowagi na glebach silnie kwaśnych; III – moment krytyczny po zastosowaniu np. chlorku potasu; IV – moment krytyczny po przewapnowaniu (w schematach II i III pominięto, dla uproszczenia, jony K i Ca, a w schemacie IV – jony K)

nego (równowagi jonowej). Powoduje to wzrost przenikania do rośliny kationów znajdujących się w aktywnej przewodzie ilościowej (powyżej pewnych stężeń, lub których aktywność wzrosła), a może hamować przenikanie do rośliny i przemieszczanie do stref jej wzrostu innych kationów, szczególnie tych, które znajdują się w minimum. Mechanizm tych zjawisk może polegać między innymi, jak przypuszcza Scharrer i Mengel (18), na wypieraniu przez kationy będące w wyższej koncentracji innych kationów z ich sorpcyjnych powiązań lub wysycaniu ujemnych wartościowości plazmy, które są wówczas niedostępne dla innych kationów oraz (lub) też, jak dodatkowo przypuszczamy, na powstawaniu w komórkach szczególnie korzeni trudno rozpuszczalnych związków chemicznych. W ostrych przypadkach może to doprowadzić do stanu bliskiego granicy krytycznej niezbędnej, w typowych dla danego gatunku (odmiany, osobników czystej linii) procesach biochemicznych, ilości kationu znajdującego się w minimum, tak jak w naszym przykładzie magnez (rys., schemat II).

Jeśli w stadium bliskim granicy krytycznej wprowadzimy do roztworu określony kation, tzw. antagonistyczny w stosunku do kationu będącego w minimum (np. w naszych doświadczeniach K^+ lub NH_4^+ w stosunku do Mg^{++}), to może on wywołać przekroczenie granicy krytycznej niezbędnej w procesach biochemicznych ilości kationu znajdującego się w minimum, tak jak w naszych przypadkach magnez i gwałtowne zahamowanie przede wszystkim, jak przypuszczamy, procesów anabolicznych, następnie syntezy chlorofilu (jego częściowy lub całkowity rozpad),

a w konsekwencji żółknięcie roślin (rys., schemat III) wywołane zawartymi w chlorofilu barwnikami karotenoidowymi (5).

W tym stadium (jeśli czas jego występowania nie spowodował jeszcze nieodwracalnych zmian w metabolizmie rośliny lub jej wyginięcia z innych przyczyn, np. suszy), przywrócenie równowagi może nastąpić: albo przez zastosowanie (w naszym przykładzie) odpowiednio wysokiej dawki Mg (niska dawka może być niewystarczająca do całkowitego przywrócenia równowagi), albo przez wytrącenie z roztworu kationów będących w nadmiarze (np. glinu) poprzez zastosowanie odpowiedniej dawki wapna, albo przez łączne zastosowanie obu tych składników w odpowiednio mniejszych dawkach. Koncepcję tę potwierdzają całkowicie, jak sądzimy, wyniki przeprowadzonych przez nas doświadczeń z wzrastającymi dawkami wapnia i magnezu na plony owsa (12).

Powrót do częściowej lub nawet całkowitej równowagi (w przypadku gdy dany kation nie znajduje się w absolutnym niedoborze) może nastąpić również innymi drogami: np. przez związanie nadmiaru np. jonów glinu fosforem lub „samoczynnie” poprzez usunięcie z gleby nadmiaru np. kationów potasu w drodze wymywania, sorpcji w glebie lub włączenia ich do procesów przemiany materii przebiegających w komórkach w miarę wzrostu roślin. Wreszcie przez „usunięcie” z gleby nadmiaru jonów, np. NH_4^+ w procesie nitryfikacji itp.

W podanym schemacie (rys.) stopniowe zwiększanie dawek np. wapna, aż do ilości bardzo dużych może doprowadzić do odwrotnie krańcowej sytuacji. Jony wapnia znajdujące się w nadmiarze w strefie dyfuzyjnej mogą zahamować przenikanie do rośliny i przemieszczanie do stref jej wzrostu (na identycznej zasadzie jak na glebach kwaśnych wywołał to np. glin) innych kationów, zwłaszcza znajdujących się w minimum (tak jak w naszym przykładzie magnez), czyli spowodować znane zjawisko tzw. przewapnowania gleby (rys., schemat IV).

Na to, że zjawisko przenikania składników w układzie gleba — roślina, związane jest z ustalaniem się równowagi tych składników, wskazują, jak przypuszczamy, obserwacje czasu trwania objawów niedoboru magnezu na roślinach. Okres ten jest zależny, przypuszczamy, między innymi od stopnia rozchwiania równowagi oraz od dawek i aktywności w danych warunkach składnika przywracającego tę równowagę. W warunkach przeprowadzonych przez nas obecnie a także poprzednio (12) doświadczeń wazonowych, w obiektach z wystarczającą do zaniku objawów dawką siarczanu magnezu, równowaga ustalała się po około 3—4 tygodniach od czasu założenia doświadczeń. Ustalaniem się równowagi można, jak przypuszczamy, całkowicie wyjaśnić w przeprowadzonych przez nas doświadczeniach z ówsem (12) zanikanie w późniejszym okresie mniej lub bardziej

wyraźnych na pierwszych listkach owsa objawów niedoboru magnezu, np. w obiektach z siarczanem magnezu.

Zdajemy sobie sprawę, że podana przez nas w sposób uproszczony hipoteza „układu zrównoważonego” nie odzwierciedla stosunków ilościowych ani chemizmu bardzo złożonych procesów przebiegających w glebie i roślinie w niezwykle labilnym układzie czynników środowiska. Schemat ten wyjaśnia jednak, jak sądzimy, mechanizm ujemnego działania nawozów mineralnych na glebach silnie kwaśnych. A więc nie aniony (Cl^- lub SO_4^{--}) i toksyczne w konsekwencji działanie glinu, lecz jak przypuszczamy kationy (w badanych przypadkach K^+ lub (oraz) NH_4^+) i ograniczanie poprzez nadmiar jonów, np. Al^{+++} przenikania do rośliny i aktywności w roślinie kationu znajdującego się w minimum (w naszych przykładach magnezu), a więc w konsekwencji wywoływanie „głodowania” specyficznego, co byłoby zgodne z poglądami B. A. Gołubiewa (wg 16). Innymi słowy: „nadmiar wywołuje niedobór”.

Podany schemat mechanizmu „układu zrównoważonego” wyjaśnia też, jak sądzimy, przyczyny braku reakcji na nawożenie magnezowe na glebach naturalnych (nienawożonych) mimo stwierdzenia metodami chemicznymi niskich zawartości magnezu w tych glebach (układ zrównoważony — magnez nie jest w absolutnym niedoborze). Wyjaśnia on również przyczyny braku wyraźnej — wzrokowej reakcji na nawożenie magnezem (np. pogłównie), mimo stwierdzenia objawów niedoboru tego składnika na roślinach, przy zbyt niskich dawkach nawozów magnezowych lub w przypadku równoległego występowania niedoboru innego składnika (niskie dawki mogą nie wystarczyć do przywrócenia równowagi w glebie i w roślinie, a ponadto nie uzupełniają braku pozostałego składnika występującego w niedoborze).

Podany mechanizm wyjaśnia też, jak przypuszczamy, zasadniczą przyczynę korzystnego działania na plony roślin niskich dawek magnezu na tle wapnowania (przywrócenie równowagi następuje dwoma drogami: przez zobojętnienie nadmiaru jonów, np. glinu, wodoru, żelaza z równoczesnym zwiększeniem ilości jonów magnezu w roztworze. Wyjaśnia on też przyczyny korzystniejszego działania na plony roślin, na glebach kwaśnych, niezasobnych w magnez, np. azotanu wapnia (CaNO_3) niż azotanu amonu (NH_4NO_3) lub azotanu potasu (KNO_3). (W środowisku kwaśnym aktywność jonów azotanowych jest stosunkowo wysoka, a więc już samo ich wprowadzenie przyczynia się w swej istocie do przywrócenia równowagi. Dodatkowo zaś wprowadzony wapń zobojętnia środowisko. Podczas gdy jony NH_4 lub K hamują dopływ magnezu do roślin).

Podany przez nas mechanizm da się wreszcie, jak przypuszczamy, zastosować dla wyjaśnienia przyczyn ujemnego działania na plony roślin nadmiaru lub niedoboru dowolnego kationu (a być może także anionów).

LITERATURA

1. Batalin M.: Nawożenie gleb kwaśnych. Cz. I. Pam. Puł. z. 32, 1968.
2. Batalin M., Urbanowski St.: Nawożenie gleb kwaśnych. Cz. II. Pam. Puł. z. 37, 1969.
3. Batalin M.: Podstawowe czynniki w zagospodarowaniu gleb piaskowych. Materiały na konferencję naukowo-techniczną w Chojnicach 25—26 maj 1970. „Zagospodarowanie gleb lekkich w województwie bydgoskim”. Broszura wyd. SITR, Bydgoszcz 1970.
4. Boguszewski W., Kac-Kacas M.: Wapnowanie gleb. Broszura. PWRiL, W-wa 1968.
5. Curtis O.F., Clark D.G.: Wstęp do fizjologii roślin. PWRiL, Warszawa 1958.
6. Domnicz A.: Wpływ magnezu na gospodarkę fosforową roślin. Cz. V. *Acta Agraria at Silverstria*. I. 1961.
7. Jacob A.: Magnesia der fünfte Pflanzenhauptnährstoff. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1955.
8. Jaśkowski Z.: Objawy i skutki niedoboru magnezu w glebach. Nowe Rolnictwo nr 9, 10, 11 i 12. 1970.
9. Jaśkowski Z.: Obserwacje nad związkiem między żółknięciem roślin na bardzo kwaśnych glebach lekkich a zawartością w nich dostępnego magnezu. Pam. Puł. z. 35, 1968.
10. Jaśkowski Z.: Badania przyczyn żółknięcia zbóż na bardzo kwaśnych glebach lekkich. Cz. I. Pam. Puł. z. 42, 1971.
11. Jaśkowski Z.: Badania przyczyn żółknięcia zbóż na bardzo kwaśnych glebach lekkich. Cz. II. Pam. Puł. z. 50, 1971.
12. Jaśkowski Z.: Badania przyczyn żółknięcia zbóż na bardzo kwaśnych glebach lekkich. Cz. III. Zeszyty Problemowe PWR III Sympozjum Magnezowe.
13. Jaśkowski Z.: Wpływ różnej zawartości magnezu w nawozach wapniowych na niektóre właściwości gleby i pobranie CaO i MgO przez owies. Pam. Puł. z. 37, 1969.
14. Lasota T., Drzas K.: Mocznik jako nawóz azotowy. Postęp. Nauk Roln., nr 1 (79), 1963.
15. Moskal S.: Glin ruchomy w glebach Polski. Roczn. i glebozn. T. IV. 1955.
16. Moskal S.: Wpływ glinu ruchomego na pobieranie fosforu przez owies. Roczn. i glebozn. t. VIII. 1959.
17. Nowosielski O.: Metody oznaczania potrzeb nawożenia. PWRiL, Warszawa 1968.
18. Scharrer K., Mengel K.: Aufnahme und Verteilung der Kationen Ca, Mg, K und Na in der Pflanze bei variierter K- und Mg-Düngung sowie bei extraradikaler K-Versorgung. *Plant and Soil*. XII. 4. 1960.