ACTA SOCIETATIS
BOTANICORUM POLONIAE
Vol. XXX — Nr 2
1961

Nowe aspekty roli azotanów względnie soli amonowych jako źródeł azotu dla roślin. Część I

New aspects on the role of nitrates or ammonium salts as nitrogen sources for plants. Part. I.

J. POSKUTA

WSTĘP

Badania nad rolą azotanów, względnie soli amonowych, jako źródeł azotu dla roślin, mają ponad 100-letnią historię. W roku 1855 J. B. Boussingault stwierdził w glebie obecność azotanów i wykazał, że stanowią one doskonałe źródło azotu dla roślin. W. Knop (1860) i J. Sachs (1860) wykazali zdolność pobierania przez rośliny azotu mineralnego z pożywek płynnych. W następstwie, we wszystkich cywilizowanych krajach, wykonano ogromną ilość prac, gdyż ważność problemu, jakim jest zwiększenie produkcji płodów rolnych pod wpływem nawozów sztucznych, a przede wszystkim azotowych, jest oczywista. Wartość azotanów lub soli amonowych jako źródeł azotu dla roślin jest uzależniona od szeregu czynników.

1. Fizjologiczny odczyn azotanów i soli amonowych

Pierwszymi badaczami, którzy zwrócili uwagę na fizjologiczną kwasowość chlorku amonu i siarczanu amonu, byli F. Rautenberg i G. Kühn (1864). D. N. Prianisznikow (1951) opierając się na spostrzeżeniach wymienionych autorów, w wyniku wieloletnich badań (1899—1947) wykazał, że cenność azotanów, względnie soli amonowych jako źródeł azotu dla roślin, zależy w znacznej mierze od ich fizjologicznej reakcji. Następnie pobieranie jonów azotanowych i amonowych było przedmiotem badań M. Górskiego (1929), A. Maksimowa (1929), K. Pirschle (1929), V. A. Tiedjensa i W. R. Robbinsa (1931), J. A. Naftela (1931). Z prac tych wynika, że azotany i sole amonowe stanowią równie dobre źródła azotu przy odpowiednich dla nich wartościach pH, przy czym jony amonowe są intensywniej pobierane

w granicach pH 6,0—7,0, a jony azotanowe przy pH 4,0—5,0. W granicach pH 5,5—6,5 wyniki były zbliżone. P. Strebeyko (1932) stwierdził, że fizjologiczna reakcja azotanu amonu była bardziej zasadowa w wyższej temperaturze, ponieważ jon azotanowy był szybciej pobierany w stosunku do jonu amonowego. L. B. Arrington i J. W. Shive (1935) badali pobieranie azotu w formie amonowej i azotanowej przez 10-dniowe siewki pomidorów i wykazali, że przy pH 4,0 rośliny pobrały przeszło 4-krotnie więcej azotanów niż jonów amonowych, a przy pH 7 tylko o 20% więcej jonów azotanowych niż amonowych. Dane te zgadzają się z wcześniejszymi wynikami H. E. Clarka i J. W. Shive (1934). S. F. Trelease i H. M. Trelease (1933) uważają, że w fizjologicznie zrównoważonych roztworach jony amonowe i azotanowe są w przybliżeniu pobierane w jednakowych ilościach.

2. Jonowa równowaga i skład pożywki

Z danych doświadczalnych D. N. Prianisznikowa wynika, że zwiększenie zawartości jonu Ca sprzyja pochłanianiu jonu amonowego. Z drugiej strony wyjaśniono, że pobieranie azotanów jest intensywniejsze w obecności szybko pobieranych kationów, np. K (A. G. McCalla i E. K. Woodford 1948, G. T. Nightingale 1942, D. A. Arnon 1939). Stwierdzono także, że pobieranie azotanów jest uzależnione od poziomu fosforu (G. T. Nightingale 1942). C. P. Sideris i H. Y. Young (1946) wykazali, że wysoka zawartość fosforu w pożywce wobec niskiej zawartości azotanów spowodowała silną obniżkę plonu ananasów. D. R. Hoagland i D. J. Arnon (1941) stwierdzili, że wysoka zawartość chloru w pożywce hamuje pobieranie azotanów. Z badań B. Niklewskiego i J. Wojciechowskiego (1938) wynika, że dodatni wpływ na pobieranie jonów amonowych wywiera próchnica. Wpływ tego czynnika na pobieranie jonów SO_4 i HPO_4 okazał się mniejszy.

3. Zawartość węglowodanów w roślinie

Badania O. Warburga i E. Negeleina (1920), D. N. Prianiszkowa (1951), A. C. Chibnella (1939), G. T. Nightingale i L. G. Schemerhorna (1928), L. H. J. Bongersa (1956) wykazały ścisłą zależność metabolizmu azotowego z zawartością węglowodanów w roślinach. W warunkach niedostatecznego zaopatrzenia w węglowodany w komórkach roślinnych może nagromadzić się znaczna ilość amoniaku, azotynów i azotanów, które mogą być toksyczne dla roślin.

4. Stadium rozwojowe roślin

Pobieranie jonów amonowych i azotanowych w zależności od stadium rozwojowego roślin nie jest dotąd wyjaśnione. D. N. Prianisznikow (1935) polemizuje z wynikami prac J. A. Naftela (1931) oraz A. L. Stahla i J. W. Shive (1933), którzy stwierdzili, że młode rośliny intensywniej pobierają jony amonowe, natomiast w późniejszym okresie jony azotanowe. D. N. Prianisznikow uważa, że można to wyjaśnić poziomem soli w pożywce, a przede wszystkim soli azotowych. Zmniejszona ilość jonów Ca oraz wysoki poziom jonów SO_4 w pożywce stanowiły przyczynę tego stanu rzeczy.

5. Możliwość kompensacji niedoboru tlenu przez azotany

Zagadnienie to było przedmiotem obszernych badań D. J. Arnona (1937), który wykazał, że azotany mają zdolność kompensacji niedoboru tlenu w pożywce. Potwierdzono tym samym wcześniejsze wyniki J. W. Shive (1934). A. R. C. Haas (1940) stwierdził, że drzewa pomarańczowe, rosnące na stale nawadnianym czarnoziemie, zginęły po 16 miesiącach, kiedy były nawożone dużymi dawkami azotu w formie $(NH_4)_2SO_4$, natomiast drzewa rosnące w podobnych warunkach, lecz nawożone azotem w formie $Ca(No_3)_2$ nie zginęły i wykazały wzrost. W. H. Patrick, J. R. i M. B. Sturgis (1955) badali pobieranie jonów amonowych i azotanowych przez ryż w zależności od aeracji podłoża. Autorzy ci nie zdołali wykazać wyższości azotanów nad solami amonowymi. Jednakże jeżeli uwzględnimy wyniki obszernej pracy D. L. Taylora (1942), który stwierdził, że ryż w porównaniu z innymi zbożami ma wysoce aktywny mechanizm oddychania śróddrobinowego, a słabszy mechanizm oddychania tlenowego, to wyniki wymienionych autorów bynajmniej nie przeczą możliwości kompensacji niedoboru tlenu przez azotany. Zagadnienie to oraz rolę mikroelementów szerzej omawiamy w dyskusji I części pracy.

Opisana niżej praca została podjęta z inicjatywy i wykonana pod kierunkiem prof. dra K. Bassalika.

BADANIA WŁASNE

Wpływ aeracji, źródła azotu i manganu na wzrost kukurydzy i jej potencjał oksydoredukcyjny

DOŚWIADCZENIE I

Rolnikom praktykom dawno znany jest zabieg „okopywania" roślin, który znacznie zwiększa plony, jednakże w literaturze zupełnie nie ma prac, które by wyjaśniały celowość tego zabiegu. Zwyżka plonów często

objaśniana jest zwiększeniem wymiany gazowej między atmosferą gleby i atmosferą powietrza, jednakże brak jest dotychczas danych o optymalnych warunkach powietrznych dla korzeni roślin, o wpływie aeracji na procesy zachodzące w roślinach, o współdziałaniu szeregu innych czynników mających wpływ na rośliny. Na możliwość tego rodzaju wpływu wskazują dane z pracy D. J. Arnona (1937). Autor przeprowadzał doświadczenia z jęczmieniem w kulturach wodnych przy stałym i kontrolowanym pH 6,0 i stwierdził, że jęczmień inaczej reagował na aerację pożywki, w której azot znajdował się w formie amonowej, niż kiedy podany był w formie azotanowej. Mianowicie rośliny rosnące na pożywce amonowej silnie reagowały na wietrzenie pożywki, słabo natomiast reagowały na ten zabieg rośliny, które otrzymały azot w formie azotanowej. Autor stwierdził także, iż dodanie do pożywki manganu silnie wpływało na wzrost roślin rosnących na pożywkach amonowych nie przewietrzanych oraz nie wpływało wcale na rośliny przewietrzane oraz nie przewietrzane na pożywce azotanowej, hodowane wiosną. Zauważono jednak dodatni wpływ manganu na rośliny hodowane jesienią na pożywce azotanowej nie przewietrzanej.

Podobne działanie autor stwierdził po dodaniu do pożywki miedzi. Wyniki te D.J. Arnon objaśnia tym, że anion NO_3 jest dla rośliny nie tylko źródłem azotu, ale i tlenu, a działanie manganu i miedzi tym, że te pierwiastki biorą udział w procesach oksydoredukcyjnych zwiększając intensywność tych procesów. Nieco późniejsze badania H. Lundengardha (1939) wykazały, że mangan wywiera duży wpływ na oddychanie roślin. Mianowicie dodanie 0,00005 mol $MnCl_2$ na litr pożywki spowodowało zwiększenie intensywności pochłaniania tlenu o 155—470%, w przeciwieństwie do żelaza, które w formie chlorku żelaza i cytrynianu żelaza w analogicznych stężeniach powodowało zmniejszenie pobierania tlenu o ok. 21%. Prowadzone w tymże czasie badania H. Burströma (1939) wyjaśniły, że mangan silnie wpływa na asymilację azotanów przez korzenie pszenicy, natomiast żelazo tego rodzaju wpływu nie wykazało. Autor konkluduje, że bezpośrednim katalizatorem w procesie pochłaniania azotanów jest mangan, a nie żelazo. C. Eyster, T. E. Brown, H. E. Tanner i S. L. Hood (1958) stwierdzili, że mangan bierze udział w procesie fotosyntezy i w reakcji Hilla oraz niezbędny jest dla wzrostu *Chlorella pyrenoidosa*, *Scenedesmus quadricauda*, *Nostoc muscorum*, *Porphyridium cruentum* i *Lemna minor*. Z badań E. A. Bojczenko i N. I. Zacharowej wynika, że w czasie fotosyntezy w liściach *Primula obconica* i *Trifolium repens* zwiększa się ilość żelaza w formie zredukowanej, ulega również zwiększeniu ilość manganu w formie utlenionej.

Założeniem pracy było, że azotanowa forma azotu, dodanie do pożywki manganu oraz aeracja pożywki okażą wpływ na wzrost roślin poprzez zmianę procesów oksydoredukcyjnych, zachodzących w roślinie pod wpływem tych czynników. Mechanizm reakcji utleniania i redukcji jest rezultatem oddania lub przyłączenia elektronów, przeto reakcje utleniania i redukcji możemy przedstawić w postaci następującego schematu:

$$(\text{substancje utlenione})^{+} \underset{-e}{\overset{+e}{\rightleftarrows}} (\text{substancje zredukowane})^{-}$$

wg D. A. Sabinina (1955),

a stosunek substancji utlenionych do zredukowanych w formie potencjału oksydoredukcyjnego wg wzoru: $E_h = 0{,}029\ (rH - 2pH)$ lub

$$rH = \frac{E_h}{0{,}029} + 2pH \text{ przy } 18^{\circ}C$$

Celem pracy było wyjaśnienie, w jakim stopniu aeracja pożywki, źródło azotu i dodatek do pożywki manganu okażą wpływ na:

1) wzrost kukurydzy,
2) potencjał oksydoredukcyjny pożywki w okresie wegetacji,
3) potencjał oksydoredukcyjny wewnątrz rośliny,
4) zawartość cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych w roślinie oraz,
5) w jakim stopniu możliwa jest kompensacja niedoboru tlenu przez azotany.

Metodyka badań

Skład i regulacja pH pożywki. W przeprowadzonych badaniach roślin zostały użyte analogiczne pożywki jak w doświadczeniu D. J. Arnona (1937). Skład pożywki zakłada równe ilości wszystkich pierwiastków tak w pożywce amonowej jak i azotanowej. Wyjątek stanowi siarka, której jest o 123,8 mg/l więcej w pożywce amonowej niż azotanowej oraz tlen, którego w solach pożywki amonowej jest o 64 mg/l więcej niż w pożywce azotanowej. W tabeli 1 podany jest skład pożywek. Jedyna zmiana w wymienionych pożywkach polegała na tym, że zamiast winianu żelaza dodawano cytrynian żelaza. Utrzymywanie pH pożywek na stałym poziomie należało do najważniejszych czynności w okresie wegetacji roślin. Żelazo dodano w ogólnej ilości 4,6 mg/l dawkując co drugi dzień po 10 ml odpowiednio rozcieńczonego roztworu cytrynianu żelaza. pH pożywek ustalono na 6,7 i utrzymywano na stałym poziomie w okresie wegetacji przez dodawanie 1n H_2SO_4 i 1n NaOH. Oznaczenia pH wykonywano przy pomocy pehametru lampowego. Do badań użyto dużych

4,5-litrowych słojów szklanych pomalowanych z zewnątrz czarną olejną farbą i dwukrotnie białą. W ten sposób wyeliminowano znaczniejsze nagrzewanie się pożywek w wazonach, a system korzeniowy roślin znajdował się w ciemnym wnętrzu wazonu. Rozmiary wazonów, a tym samym pożywki, mają duże znaczenie w utrzymywaniu pH pożywki na stałym poziomie w okresie wegetacji roślin, gdyż duże ilości roztworu zapobiegają znaczniejszym zmianom odczynu środowiska w krótkim czasie. Wagę tego czynnika podkreśla D. J. Arnon i współpracownicy (1942).

Tabela 1 — Table 1

Pożywki
Culture solutions

Sól Salt	Roztwór NH_4 NH_4 solution	Zawiera mg/l Content mg/l	Roztwór NO_3 NO_3 solution	Zawiera mg/l Content mg/l
$MgSO_4$	0,003 M	Mg— 72,9	0,003 M	Mg— 72,9
K_2SO_4	0,0015 M	K—117,3	0,001 M	K—117,3
$Ca(H_2PO_4)_2$	0,002 M	P—123,9	0,0015 M	P—123,9
KH_2PO_4	———	Ca—140,2	0,001 M	Ca—140,2
$CaSO_4$	0,0015 M	S—256,5	———	S—128,2
$(NH_4)_2SO_4$	0,002 M	N— 56,0	———	N— 56,0
$Ca(NO_3)_2$	———	O—768,0	0,002 M	O—704,0

Aeracja pożywki. W licznych badaniach wpływu aeracji na wzrost roślin stosowano różne metody wietrzenia podłoża w zależności od celów stawianych przez badaczy i możliwości technicznych. W naszych badaniach zastosowano aparaty do przewietrzania szeroko używane w akwariach. Po odpowiedniej regulacji tych aparatów osiąga się możliwie jednakowe ilości wtłaczanego powietrza do wazonu, a dzięki połączeniu żądanej ilości aparatów przy pomocy łączników ze źródłem prądu wszystkie wazony są jednocześnie przewietrzane równym strumieniem powietrza. Pożywki przewietrzano w ciągu 10 godzin na dobę od 9^{00} rano do 19^{00} wieczorem. Do pożywki w każdym wazonie wtłaczano około 15 l powietrza na godzinę.

Oznaczanie potencjału oksydoredukcyjnego i zawartości tlenu w pożywce. Potencjał oksydoredukcyjny oznaczano wg metody opisanej przez W. L. Omelianskiego (1940) i stosowanej w badaniach mikrobiologicznych. Zdając sobie sprawę ze zmienności tego czynnika, aby otrzymać porównywalne wyniki, do pożywek zanurzano elektrody platynowe na jednakową głębokość 10 cm i po upływie 2 minut odczytywano potencjał oksydoredukcyjny. Elektrody miały kształt prostokątów o rozmiarach 0,5 × 1,0 cm. Do oznaczeń E_h wewnątrz łodygi użyto elektrod platynowych w kształcie igły o długości

0,5 cm. Pomiary wykonywano przy pomocy potencjometru P-4. Zawartość tlenu w pożywce oznaczano wg Winklera w modyfikacji Rideal-Stewarda. Doświadczenie przeprowadzono wg schematu:

Przewietrzane: NH_4
NO_3
NH_4+Mn
NO_3+Mn
Nie przewietrzane: idem

Mangan dodano w ilości 0,5 mg/l w formie $MnSO_4 \cdot 4H_2O$. Obecności azotanów w czasie wegetacji w pożywce amonowej nie stwierdzono (próby z dwufenyloaminą w stężonym kwasie siarkowym). Powtórzenia 4-krotne.

Przebieg wegetacji

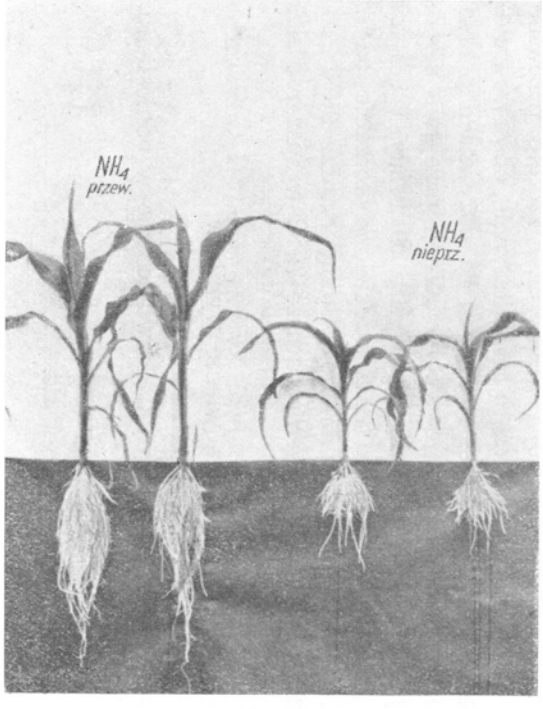
28.IV.1958 r. wybrano nasiona kukurydzy zwyczajnej (*Zea mays* L.) i kiełkowano na wodzie destylowanej. 3.V wykiełkowane siewki przeniesiono na wymienione pożywki i hodowano w piwnicy na oknie dobrze naświetlonym. Już 15.V zaobserwowano różnice we wzroście na korzyść roślin rosnących na pożywkach azotanowych. Zwłaszcza system korzeniowy tych roślin był silniej rozwinięty i rozgałęziony. 20.V wybrano jednakowe rośliny i przeniesiono na pożywki do 4,5-litrowych słojów, po 1 roślinie w każdym słoju. Tegoż dnia zaczęto przewietrzanie. Po 10 dniach od chwili, kiedy zaczęto przewietrzanie, obserwowano już znaczne różnice we wzroście roślin rosnących na pożywkach przewietrzanych, przy czym największy dodatni wpływ aeracji przejawił się na pożywce amonowej. 27.VI oznaczono E_h w łodydze u nasady 1 i 2 międzywęźli. 28.VI rośliny sfotografowano oraz oddzielono korzenie od części nadziemnej. Materiał roślinny zabijano w temperaturze 90°C, po czym suszono w ciągu 30 godzin w temperaturze 70°C w suszarce elektrycznej.

Omówienie wyników

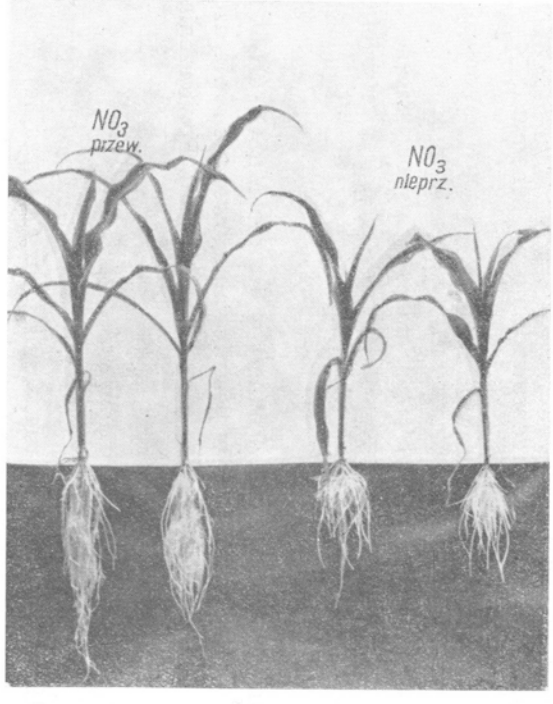
W tabeli 2 zestawiono wyniki doświadczenia w odniesieniu do suchej masy roślin.

Wpływ aeracji na wzrost kukurydzy. Największy wpływ aeracji na wzrost roślin przejawił się na pożywkach amonowych. Różnica w suchej masie części nadziemnej, na pożywce amonowej nie przewietrzanej przyjętej za 100%, wyraża się cyfrą 100 do 225% dla roślin rosnących na pożywce amonowej przewietrzanej. Podobnie sucha masa korzeni wyraża się cyfrą 100 do 241%. Natomiast dodanie manganu

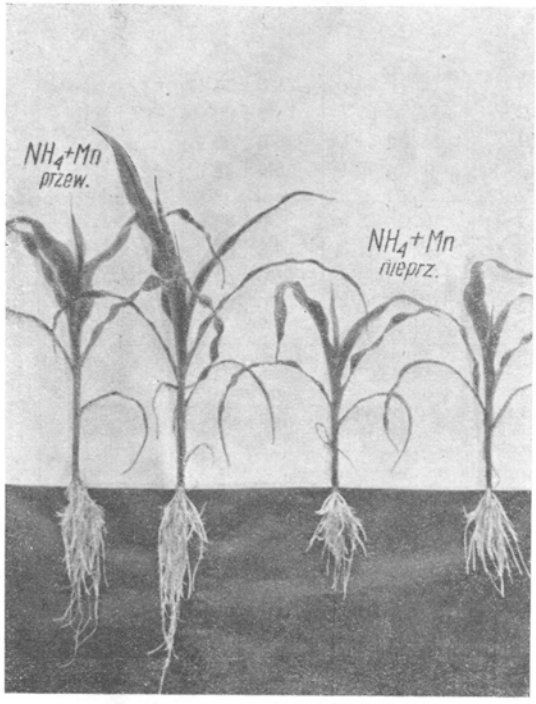
Ryc. 1. Doświadczenie I. Wpływ aeracji źródła azotu i manganu na wzrost kukurydzy
Experiment I. Effect of aeration, nitrogen and manganese on the growth of maize



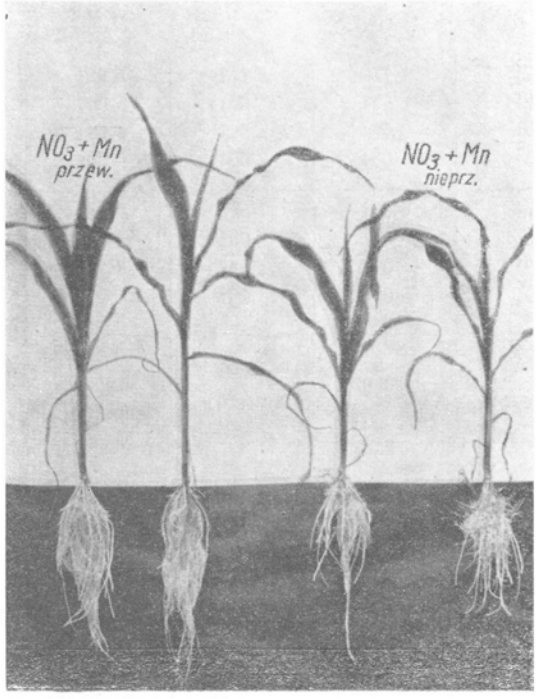
Ryc. 1a



Ryc. 1b



Ryc. 1c



Ryc. 1d

a — NH_4 przewietrzane i nie przewietrzane; b — NO_3 przewietrzane i nie przewietrzane; c — NH_4 + Mn przewietrzane i nie przewietrzane; d — NO_3 + Mn przewietrzane i nie przewietrzane

a — NH_4 aerated and NH_4 no aerated; b — NO_3 aerated and NO_3 no aerated; c — NH_4 + Mn aerated and NH_4 + Mn no arerated; d — NO_3 + Mn aerated and NO_3 + Mn no aerated

Tabela 2 — Table 2

Wpływ aeracji, źródła azotu i Mn na wzrost kukurydzy

Effect of aeration, nitrogen source and Mn on the growth of maize plants

	Pożywka Solution	Sucha masa w g Dry matter in g		Wpływ aeracji na wzrost. Za 100% przyjęto nie przewietrzane Effect of aeratian on growth 100% without aeration		Wpływ źródła azotu na wzrost. Za 100% przyjęto formę NH_4 Effect of nitrogen source on growth. 100% NH_4 form		Wpływ Mn na wzrost. Za 100% przyjęto bez Mn Effect of Mn on growth. 100% without Mn	
		część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots
Przewietrzane Aerated	NH_4	7,82±0,93	3,04±0,18	225,6	241,4	100	100	100	100
	NO_3	9,77±0,79	3,71±0,22	161,6	174,5	123,8	129,1	100	100
	NH_4+Mn	8,30±0,43	2,38±0,26	122,0	127,1	100	100	105,9	78,4
	NO_3+Mn	9,88±0,26	4,27±0,34	137,4	160,6	120,4	179,1	103,0	115,2
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	3,46±0,39	1,26±0,21	100	100	100	100	100	100
	NO_3	5,60±0,95	2,12±0,34	100	100	172,9	168,7	100	100
	NH_4+Mn	6,80±0,92	1,87±0,23	100	100	100	100	195,9	148,9
	NO_3+Mn	7,26±0,82	2,66±0,34	100	100	106,9	141,8	121,1	125,2

i przewietrzanie, w porównaniu z takimi samymi kombinacjami nie przewietrzanymi, wykazują nieznaczną stymulację wzrostu roślin, bo wynoszącą tylko 22% części nadziemnej i 27% korzeni. Rośliny rosnące na pożywce azotanowej wykazują mniejszą wrażliwość na przewietrzanie, a zwyżka suchej masy części nadziemnej wynosi 61,6 i 74,5% korzeni w porównaniu z analogiczną pożywką nie przewietrzaną. Dodanie manganu działa tutaj podobnie jak na pożywkach amonowych.

Wpływ źródła azotu na wzrost kukurydzy. Przyjmując za 100% suchą masę roślin rosnących na pożywkach amonowych, dodatni wpływ azotu azotanowego szczególnie widoczny jest w kulturach nie przewietrzanych. Zwyżka suchej masy części nadziemnej roślin rosnących na pożywkach azotanowych w porównaniu z amonowymi wynosi 72,9 i 68,7% korzeni. Mniejszy, bo około 20%, był przyrost suchej masy części nadziemnej, natomiast około 80% wynosił przyrost suchej masy korzeni (fot.) na korzyść roślin rosnących na pożywkach azotanowych. W analogicznych kombinacjach nie przewietrzanych notujemy prawie nieistotny przyrost suchej masy części nadziemnej, lecz około 42% przyrost suchej masy korzeni.

Wpływ manganu na wzrost kukurydzy. Za 100% przyjęto suchą masę roślin na pożywkach bez manganu. W kulturach przewietrzanych wpływ manganu okazał się znikomy, a na pożywce amonowej z dodatkiem manganu sucha masa korzeni uległa nawet zmniejszeniu. Natomiast w kulturach nie przewietrzanych dodatni wpływ manganu przejawił się jak najwyraźniej. Na pożywce amonowej nie przewietrzanej z manganem, w porównaniu z taką samą pożywką bez manganu, zwyżka suchej masy części nadziemnej wynosi 95,9 i 49,0% korzeni. Mniejszy wpływ manganu obserwujemy na pożywkach azotanowych nie przewietrzanych, ponieważ sucha masa części nadziemnej przewyższa o 21,1%, a korzeni o 25,2% suchą masę roślin z pożywek bez manganu.

Wpływ aeracji, źródła azotu, manganu na E_h i rH wewnątrz rośliny i pożywki. Tabela 3 przedstawia wyniki pomiarów potencjału oksydoredukcyjnego w łodydze wyrażonego w mv. Z tabeli wynika, że aeracja pożywki powoduje podwyższenie potencjału oksydoredukcyjnego wewnątrz rośliny w porównaniu z analogicznymi kombinacjami pozbawionymi tego zabiegu. Następnie notujemy wyższy potencjał oksydoredukcyjny roślin rosnących na pożywkach azotanowych w porównaniu z pożywkami amonowymi. Dodanie do pożywki manganu także powoduje podwyższenie poziomu E_h w porównaniu z pożywkami bez manganu. Przy analizie powyższych danych i porównaniu ich z wynikami tabeli 2 stwierdzamy ciekawą zależność: im wyższy potencjał oksydoredukcyjny w roślinie, tym roślina charakteryzuje się bujniejszym wzrostem. Wyniki pomiarów potencjału oksydoredukcyjnego pożywki

Tabela 3 — Table 3

Potencjał oksydoredukcyjny E_h w mv w łodydze na głębokości 0,5 cm*
Oxidation reduction potential E_h in mv on the stalk on depth of 0,5 cm

	Pożywka Culture solution	E_h w mv E_h in mv	
		I międzywęźle I internode	II międzywęźle II internode
Przewietrzane Aerated	NH_4	+423±8	+425±9
	NO_3	+459±7	+458±10
	NH_4+Mn	+453±9	+457±11
	NO_3+Mn	+495±6	+492±6
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	+355±7	+352±6
	NO_3	+379±7	+375±6
	NH_4+Mn	+384±8	+380±7
	NO_3+Mn	+395±10	+390±8

* Średnie z 2 elektrod z 4 roślin. Average in 2 electrodes in 4 plants.

w okresie wegetacji wyrażonego w rH przedstawia tabela 4. Jakkolwiek różnice w rH są niewielkie (w rzędach pionowych) i ulegają znacznym wahaniom w okresie doświadczenia, przy czym występująca zwyżka rH w końcu doświadczenia trudna jest do wytłumaczenia, to jednak należy stwierdzić, że aeracja, azotany i mangan powodują wzrost rH pożywki w porównaniu z kombinacjami nie przewietrzanymi z azotem w formie amonowej i bez manganu.

Wpływ aeracji, źródła azotu i manganu na zawartość w roślinach cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych. W tabeli 5 przedstawiono wyniki oznaczeń cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych w roślinach. Cukry oznaczano według mikrometody Bertranda, wolne kwasy organiczne według metody opisanej przez A. J. Jermakowa i współpracowników (1954). Z tabeli widzimy, że aeracja powoduje zwiększenie wolnych kwasów organicznych w roślinie tak w części nadziemnej jak i w korzeniach, natomiast zmniejsza się pod wpływem tego zabiegu zawartość cukrów redukujących we wszystkich kombinacjach. W odniesieniu do sacharozy tej prawidłowości nie udało się ustalić. Azotany w porównaniu z amonową formą azotu powodują na ogół zwiększenie zawartości cukrów rozpuszczalnych tak w części nadziemnej jak i w korzeniach, chociaż w znacznie mniejszym stopniu. Na szczególną uwagę zasługuje wpływ manganu na zawartość cukrów rozpuszczalnych w roślinach. Dodanie manganu powoduje bardzo wyraźne zwiększenie zawartości tych substancji zarówno w części nadziemnej, jak i w korzeniach niezależnie od ujemnego wpływu aeracji i dodatniego wpływu azo-

Tabela 4 — Table 4

Zmiany potencjału oksydoredukcyjnego pożywki w okresie wegetacji*

Changes of oxidation reduction potential in a culture solution in the vegetation period*

	Pożywka Solution	a		22.V		26.V		28.V		30.V		3.VI		7.VI		11.VI		14.VI		17.VI		19.VI		24.VI	
		mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH	mv	rH
Przewietrzane	NH_4	379	26,46	342	24,84	315	24,19	279	23,02	289	23,36	277	22,95	250	22,02	164	19,05	256	22,22	254	22,15	273	22,71	283	23,15
	NO_3	405	27,39	388	26,77	352	25,53	285	23,22	302	23,81	305	23,91	265	22,53	228	21,26	268	22,64	264	22,50	285	23,22	292	23,46
Aerated	NH_4+Mn	408	27,04	395	27,02	340	25,12	302	23,81	301	23,78	289	23,19	255	22,19	260	22,36	260	22,36	262	22,43	278	22,98	288	23,33
	NO_3+Mn	426	28,08	402	27,39	362	25,88	306	23,95	316	24,29	308	24,02	285	23,22	305	23,91	274	22,84	266	22,57	291	23,93	298	23,67
Nie przewietrzane	NH_4	—	—	302	23,81	262	22,43	264	22,50	261	22,40	260	22,36	221	21,02	124	16,67	252	22,08	244	21,81	157	18,81	205	20,46
	NO_3	—	—	349	25,43	276	22,91	270	22,71	278	22,98	272	22,77	234	21,46	200	20,29	256	22,22	249	21,98	193	20,05	236	21,53
No aerated	NH_4+Mn	—	—	338	25,05	270	22,71	290	23,40	274	22,84	281	23,08	238	21,67	237	21,57	254	22,15	249	21,91	182	19,67	170	19,26
	NO_3+Mn	—	—	365	25,98	308	24,12	295	23,57	290	23,40	288	23,30	246	21,88	320	24,43	266	22,57	250	22,02	232	21,41	242	21,74

* Średnie z 2 elektrod z 4 wazonów — average 2 electrodes in 4 pots; a — Przed wprowadzeniem roślin do pożywki — Before placing plants in the culture solution.

Tabela 6 — Table 6

Zmiany zawartości tlenu w pożywce w okresie wegetacji

Changes of the oxygen content of culture solution in the vegetation period

	Pożywka solution	21.V		28.V		3.VI		6.VI		9.VI		11.VI		14.VI		16.VI		19.VI		21.VI		24.VI	
		a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
Przewietrzane	NH_4	8,30	90,51	5,88	67,70	2,89	33,30	5,49	56,30	1,61	18,23	1,44	16,30	1,30	14,10	0,98	10,68	0,88	8,80	0,36	3,77	0,60	6,67
	NO_3	8,29	90,40	6,79	78,20	3,53	38,50	6,45	66,20	1,97	22,31	2,02	22,87	2,82	30,70	1,55	16,90	0,96	10,40	0,56	5,87	1,05	11,67
Aerated	$NH_4 + Mn$	8,19	89,31	6,02	69,30	3,09	33,70	6,01	61,70	1,94	21,85	1,61	18,23	1,89	20,60	1,49	16,20	0,93	10,10	0,40	4,13	0,76	8,45
	$NO_3 + Mn$	8,34	90,03	7,01	80,76	3,98	43,40	6,59	67,65	2,00	22,65	2,95	33,40	2,83	30,80	2,63	28,50	1,06	11,10	1,00	10,50	1,86	20,68
Nieprzewietrzane	NH_4	5,82	63,46	1,84	21,20	1,51	16,46	4,01	41,17	0,98	10,00	1,09	12,34	0,56	6,10	0,80	8,72	0,22	2,30	0,00	0,00	0,22	2,43
	NO_3	5,93	64,66	2,06	23,70	1,95	21,26	4,23	43,40	1,54	15,81	1,80	20,40	0,76	8,30	1,19	12,97	0,46	4,82	0,51	5,34	0,48	5,33
No aerated	$NH_4 + Mn$	5,98	65,20	2,00	23,00	1,74	18,97	4,53	46,50	1,90	21,40	1,45	16,51	0,82	8,94	1,02	11,10	0,36	3,77	0,40	4,19	0,30	3,33
	$NO_3 + Mn$	6,01	65,53	2,51	28,90	2,49	27,10	4,76	48,90	1,64	16,83	1,97	22,30	0,86	9,37	1,36	14,80	0,54	5,88	0,72	7,54	0,54	6,00

a — mgO_2/l; *b* — % nasycenia
saturation.

Tabela 5 — Table 5

Wpływ aeracji, źródła azotu i Mn na zawartość cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych w kukurydzy

Effect of aeration, nitrogen source and Mn on the soluble carbohydrates and free organic acids eontent in maize

	Pożywka Solution	Część nadziemna Tops			Korzenie Roots		
		cukry redukujące w % suchej masy reducing carbohydrates in % dry matter	sacharoza w % suchej masy saccharose in % dry matter	wolne kwasy organiczne w miliekwiwalentach na 100 g suchej masy the free organic acids in miliequivalents in 100 g dry matter	cukry redukujące w % suchej masy reducing carbohydrates in % dry matter	sacharoza w % suchej masy saccharose in % dry matter	wolne kwasy organiczne w miliekwiwalentach na 100 g suchej masy the free organic acids in miliequivalents on 100 g dry matter
Przewietrzane Aerated	NH_4	0,415	0,719	41,75	2,08	0,26	40,80
	NO_3	0,937	0,691	45,00	1,94	0,53	36,60
	NH_4+Mn	1,450	0,890	32,75	2,50	0,79	44,10
	NO_3+Mn	2,500	0,156	37,50	3,75	0,28	45,30
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	1,875	0,306	35,25	2,91	0,40	34,50
	NO_3	3,645	0,990	38,00	2,77	0,93	27,60
	NH_4+Mn	3,332	0,790	26,87	3,75	0,39	30,00
	NO_3+Mn	4,150	0,980	28,75	4,16	0,66	24,00

tanów. Wpływ azotanów i manganu na zawartość w roślinach wolnych kwasów organicznych nie daje jasnego obrazu, gdyż nie obserwujemy prawidłowości, którą cechuje wpływ aeracji, azotanów i manganu na zawartość wolnych kwasów organicznych.

Kompensacja niedoboru tlenu przez azotany i mangan. Zagadnienie to podjęte przez D. J. Arnona (1937) oraz stwierdzenie możliwości kompensacji niedoboru tlenu przez azotany przy oddychaniu korzeni pomidorów przez S. Gumińskiego i współpracowników (1957) uzyskało potwierdzenie w naszym doświadczeniu. Tabela 6 podaje zmiany zawartości tlenu w pożywce w czasie trwania doświadczenia. Tlen oznaczano po okresie nocnym między godzinami 7^{30}—8^{30} rano. Kultury przewietrzane po 10 godzinach tego zabiegu wykazywały 90—95% nasycenia tlenem pożywki. Z tabeli wynika, iż niezależnie od dużych wahań w zawartości tlenu w pożywkach w okresie wegetacji w kulturach przewietrzanych z azotem w formie azotanowej i manganem zawartość tlenu jest wyższa niż w analogicznych pożywkach nie przewietrzanych, z azotem w formie amonowej i bez manganu. Porównanie tabeli 6 z 4 nie daje korelacji między procentem nasycenia tlenem pożywki i poziomem rH. Trzeba podkreślić, że podane zawartości tlenu w pożywce nie dają istotnego obrazu o możliwości kompensacji niedoboru tlenu przez azotany i mangan ze względu na różnice w wielkościach systemu korzeniowego roślin w poszczególnych kombinacjach. Możliwość kompensacji niedoboru tlenu przez korzenie powietrzne nie jest brana pod uwagę, gdyż ilość tych korzeni w kulturach przewietrzanych i nie przewietrzanych w stosowanych kombinacjach wahała się od 8—11 sztuk na roślinie, nie wykazując jakichkolwiek prawidłowości, przeto dane te nie są brane pod uwagę. Aby móc przekonać się o rzeczywistej kompensacji niedoboru tlenu w pożywce przez azotany i mangan, należałoby odnieść ilość pobranego tlenu w ciągu określonego czasu do znanej masy korzeni.

Pobieranie azotu przez kukurydzę w zależności od aeracji, źródła azotu, dodatku do pożywki manganu lub miedzi

DOŚWIADCZENIE II

H. Burström (1939) wykazał, że mangan stymuluje pobieranie azotanów przez korzenie kukurydzy, interesujące więc wydawało się zbadanie wpływu manganu na pobieranie jonów amonowych i azotanowych przez rośliny kukurydzy. Pobieranie jonów jest jedną z najważniejszych fizjologicznych funkcji roślin, a zależność pobierania jonów od oddycha-

nia nie ulega wątpliwości i została potwierdzona przez licznych badaczy (D. R. Hoagland i T. C. Broyer, 1936, P. Prevot i F. C. Steward 1933, H. Lundegardh 1947).

Metodyka badań

Pobieranie azotu przez kukurydzę w czasie wegetacji oznaczano kolorymetrycznie wg metody opisanej przez N. L. Allporta (1947) i stosowanej przez J. A. Beckinga (1956) w badaniach nad mechanizmem pobierania jonów NH_4 przez kukurydzę. Do oznaczeń okresowo pobierano z wazonów odpowiednie ilości pożywki i oznaczano w niej zawartość azotu. Azot azotanowy oznaczano wg metody opisanej przez C. Olsena (1950). Oznaczenia zarówno jonów NH_4, jak i NO_3 wykonywano na Uniwersalnym Fotometrze typu U. F.-56 przy zastosowaniu filtrów dla NH_4 M-47, dla NO_3 M-43. Standartowe krzywe wykreślono na podstawie oznaczeń wzorcowego roztworu pożywki zawierającej znane ilości jonów NH_4 i NO_3. Pozostała procedura metodyczna stosowana w tym doświadczeniu jest analogiczna do opisanej w doświadczeniu I. Doświadczenie przeprowadzono wg schematu:

Przewietrzane:	NH_4	NO_3+Mn
	NO_3	NH_4+Cu
	NH_4+Mn	NO_3+Cu

Nie przewietrzane: idem

Miedź dodano w ilości 0,05 mg/l w formie $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. pH ustalono na 6,0 i utrzymywano na stałym poziomie w okresie wegetacji.

Przebieg wegetacji

28.IV.1959 r. kiełkowano nasiona kukurydzy na wodzie destylowanej (nasiona tej samej kukurydzy, które użyto w doświadczeniu I stosowano we wszystkich doświadczeniach tej pracy). 2.V siewki roślin przeniesiono na pożywki do 2-litrowych wazonów i hodowano w szklarni. 8.V po odcięciu nasion siewki przeniesiono do 4,5 l słojów i zaczęto przewietrzanie. Po 2 tygodniach od chwili, kiedy zaczęto przewietrzanie pożywek, obserwowano dodatnią reakcję na ten czynnik, największą na pożywce amonowej bez manganu i miedzi, mniejszą z dodaniem tych mikroelementów do pożywki. Zauważono, że dodatnia była reakcja na przewietrzanie pożywki także u roślin rosnących na pożywkach azotanowych, jednak znacznie mniej wyraźna niż na pożywkach amonowych. Z biegiem czasu

te zauważone różnice bardzo silnie pogłębiły się. W okresie wegetacji roślin poczyniono interesujące obserwacje. Mianowicie nagłe zachmurzenie i nieznaczne obniżenie temperatury (o 2—4°C) w ciągu dnia powodowały wystąpienie na liściach roślin kropel roztworu guttacyjnego. Oceniając porównawczo najsilniejszą guttację obserwowano u roślin rosnących na pożywkach azotanowych tak przewietrzanych jak i pozbawionych tego zabiegu. W tymże czasie notowano o wiele słabszą guttację na pożywkach amonowych przewietrzanych, a na pożywkach nie przewietrzanych często w ogóle nie można było zauważyć kropel roztworu guttacyjnego bądź proces ten był o wiele słabszy niż u roślin rosnących na pożywkach azotanowych oraz w mniejszym stopniu na pożywkach amonowych, lecz wietrzonych. Obserwacje występowania guttacji u tych roślin zaraz po zapadnięciu zmroku potwierdziły opisaną wyżej ocenę intensywności guttacji. 15.VI rośliny sfotografowano, oddzielono część nadziemną od korzeni, a z materiałem roślinnym postępowano jak w doświadczeniu I.

Omówienie wyników

Tabela 7 przedstawia wyniki doświadczenia w odniesieniu do suchej masy roślin. Podobnie jak w doświadczeniu I największy dodatni wpływ aeracji na wzrost roślin przejawił się na pożywce amonowej przewietrzanej, w porównaniu ze wzrostem roślin na tej samej pożywce, lecz nie wietrzonej. Duży dodatni wpływ aeracji notujemy także na pożywce amonowej zarówno z manganem, jak i miedzią. Wpływ tych mikroelementów na wzrost roślin na pożywkach azotanowych okazał się znacznie mniejszy. Z tabeli 7 wynika, że działanie aeracji na pożywce azotanowej przejawiło się znacznie wyraźniej w odniesieniu do części nadziemnej niż w stosunku do korzeni. W odniesieniu do wpływu źródła azotu na wzrost roślin z tabeli 7 odczytać można, co następuje: w grupie roślin rosnących na pożywkach przewietrzanych notujemy stosunkowo nieznaczną stymulację wzrostu roślin z pożywek azotanowych w stosunku do roślin z pożywek amonowych. Natomiast w grupie roślin nie przewietrzanych dodatni wpływ azotu w formie azotanowej przejawił się bardzo wyraźnie. Również znaczną stymulację wzrostu notujemy w odniesieniu do roślin rosnących na pożywkach azotanowych z dodatkiem Mn lub Cu w porównaniu z analogicznymi kombinacjami amonowymi. Dodanie Mn lub Cu do pożywki w grupie roślin przewietrzanych nie okazało znaczniejszego wpływu na wzrost roślin zarówno na pożywce amonowej, jak i azotanowej. Przyrost suchej masy pod wpływem tych mikroelementów waha się w granicach błędu doświadczalnego (100,4—113,5%). Znikomy jest również wpływ Mn i Cu w grupie roślin nie przewietrzanych z pożywek azo-

Tabela 7 — Table 7

Wpływ aeracji, źródła azotu, Mn i Cu na wzrost kukurydzy

Effect of aeration, nitrogen source, Mn and Cu on the growth of maize

Pożywka Solution	Sucha masa w g Dry matter in g		Wpływ aeracji na wzrost. Za 100% przyjęto nie przewietrzane Effect of aeration on the growth. 100% without aeration		Wpływ źródła azotu na wzrost. Za 100% przyjęto formę NH_4 Effect of nitrogen source on the growth. 100% NH_4 form		Wpływ Mn na wzrost. Za 100% przyjęto bez Mn Effect of Mn on the growth. 100% without Mn		Wpływ Cu na wzrost. Za 100% przyjęto bez Cu Effect of Cu on the growth. 100% without Cu	
	część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna toops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots
Przewietrzane Aerated										
NH_4	5,177±0,73	1,79 ±0,13	244,1	202,2	100	100	100	100	100	100
NO_3	6,472±0,41	1,92 ±0,21	151,9	112,	125,0	107,2	100	100	100	100
NH_4+Mn	5,712±0,94	1,59 ±0,22	165,4	215,6	100	100	110,3	111,1	—	—
NO_3+Mn	6,500±0,36	2,18 ±0,11	131,6	114,0	113,7	109,5	100,4	113,5	—	—
NH_4+Cu	5,625±0,65	1,97 ±0,19	190,6	169,8	100	100	—	—	108,6	110,0
NO_3+Cu	6,890±0,59	2,07 ±0,29	144,1	116,2	122,4	105,0	—	—	106,4	107,8
Nie przewietrzane No aerated										
NH_4	2,12 ±0,69	0,885±0,09	100	100	100	100	100	100	100	100
NO_3	4,26 ±0,83	1,700±0,11	100	100	200,9	192,0	100	100	100	100
NH_4+Mn	3,452±0,44	0,923±0,10	100	100	100	100	162,8	104,2	—	—
NO_3+Mn	4,937±0,91	1,912±0,08	100	100	143,0	207,1	115,8	112,4	—	—
NH_4+Cu	2,950±0,88	1,16 ±0,19	100	100	100	100	—	—	139,1	131,0
NO_3+Cu	4,842±0,81	1,78 ±0,10	100	100	164,1	153,4	—	—	113,2	104,7

tanowych (104,7—115,8%). Bardzo silnie natomiast zareagowały na dodanie do pożywek tych mikroelementów rośliny rosnące na pożywkach amonowych nie wietrzonych.

Tabela 8 przedstawia dane o intensywności i ilościach pobieranego azotu z pożywek w okresie wegetacji w zależności od aeracji, źródła azotu, dodatku do pożywki Mn lub Cu. Z tabeli tej widzimy, że:

1. W warunkach naszego doświadczenia azot azotanowy jest intensywniej pobierany przez kukurydzę w ciągu całego okresu wegetacji niezależnie od wymienionych czynników niż azot amonowy.

2. Azot azotanowy jest prawie jednakowo intensywnie pobierany przez kukurydzę w okresie wegetacji niezależnie od aeracji i dodatku do pożywki Mn lub Cu. Różnice w ilości i intensywności pobranego azotu azotanowego, wynikające z działania aeracji, Mn lub Cu, wskazują na pewny, aczkolwiek niewielki, stymulujący wpływ tych czynników na pobieranie azotu azotanowego przez kukurydzę.

3. Ogólne ilości pobranego z pożywek azotu azotanowego są we wszystkich kombinacjach wyższe od tych wartości dla pożywek amonowych. Szczególnie duże różnice wynikają przy porównaniu kombinacji nie przewietrzanych na korzyść pożywek azotanowych. Z analizy danych charakteryzujących ogólne ilości pobranego azotu przez kukurydzę w czasie doświadczenia z pożywek amonowych i azotanowych wynika, że największe różnice w ilości pobranego azotu wykazuje kombinacja NO_3 nie przewietrzana — 198 mg pobranego N wobec 98 mg N pobranego przez 1 roślinę z analogicznej pożywki amonowej. Mniejsze, chociaż wyraźne, różnice w ilości pobranego azotu przez rośliny notujemy na korzyść kombinacji azotanowych z dodatkiem Mn lub Cu w porównaniu z analogicznymi kombinacjami amonowymi. Dane cyfrowe charakteryzujące pobieranie azotu amonowego wykazują, że największy dodatni wpływ na ten proces wywiera aeracja pożywki. Działanie Mn lub Cu przejawiło się wyraźnie tylko na pożywkach amonowych nie przewietrzanych. W kombinacjach przewietrzanych wpływ tych mikroelementów jest w działaniu podobny do ich wpływu na pobieranie azotu azotanowego. Jakkolwiek działanie Mn i Cu jest podobne, należy podkreślić, że we wszystkich wypadkach mangan powodował nieco większy stymulujący wpływ na pobieranie azotu tak amonowego jak i azotanowego niż miedź.

W tabeli 9 przedstawione są wyniki oznaczeń cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych w roślinach. Dane tabeli całkowicie potwierdzają wyniki doświadczenia I. Również w tym doświadczeniu stwierdzamy dodatni wpływ Mn oraz Cu na zawartość w roślinach cukrów rozpuszczalnych. Nie uzyskano jasnego

Tabela 8 — Table 8

Pobieranie azotu przez kukurydzę w zależności od aeracji, źródła azotu, dodatku do pożywki Mn lub Cu

Nitrogen uptake by maize plants in relation to aeration, nitrogen source, Mn or Cu added in culture

	Pożywka NH_4 NH_4 solution	mg N pobranego przez 1 roślinę mg N uptake by 1 plant			pożywka NO_3 NO_3 solution	mg N pobranego przez 1 roślinę mg N uptake by 1 plant		
		po 11 dniach after 11 days	po 26 dniach after 26 days	po 39 dniach after 39 days		po 11 dniach after 11 days	po 26 dniach after 26 days	po 39 dniach after 39 days
Przewietrzane Aerated	NH_4	21	92	185	NO_3	30	101	206
	NH_4+Mn	26	101	199	NO_3+Mn	38	106	218
	NH_4+Cu	25	97	185	NO_3+Cu	33	111	210
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	11	30	98	NO_3	11	95	198
	NH_4+Mn	18	56	152	NO_3+Mn	27	100	204
	NH_4+Cu	17	52	128	NO_3+Cu	24	98	202

Tabela 9 — Table 9

Wpływ aeracji, źródła azotu, Mn i Cu na zawartość cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych w kukurydzy

Effect of aeration, nitrogen source, Mn and Cu on the soluble carbohydrates and free organic acids content in maize

	Pożywka Solution	Część nadziemna Tops			Korzenie Roots		
		cukry redukujące w % suchej masy reducing carbohydrates in % dry matter	sacharoza w % suchej masy saccharose in % dry matter	wolne kwasy organiczne w miliekwiwalentach na 100 g suchej masy the free organic acids in miliequivalents on 100 g dry matter	cukry redukujące w % suchej masy reducing carbohydrates in % dry matter	sacharoza w % suchej masy saccharose in % dry matter	wolne kwasy organiczne w miliekwiwalentach na 100 g suchej masy the free organic acids in miliequivalents on 100 g dry matter
Przewietrzane Aerated	NH_4	3,85	1,61	69,0	4,15	0,81	71,8
	NO_3	5,00	1,56	72,4	5,41	0,76	71,9
	NH_4+Mn	6,17	0,59	63,2	5,50	0,23	77,6
	NO_3+Mn	8,00	1,70	67,5	6,30	0,19	75,8
	NH_4+Cu	5,65	1,00	64,1	5,50	0,92	79,1
	NO_3+Cu	6,65	1,20	60,0	6,40	1,28	79,6
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	7,05	0,57	43,0	3,90	0,42	60,3
	NO_3	6,80	1,04	46,0	6,80	0,54	62,4
	NH_4+Mn	7,80	0,95	57,5	4,25	0,54	66,0
	NO_3+Mn	7,80	2,09	59,0	8,65	0,03	66,1
	NH_4+Cu	6,85	1,28	40,1	6,65	0,09	57,5
	NO_3+Cu	8,80	1,06	45,7	9,95	0,10	59,3

obrazu o wpływie Mn i Cu na zawartość w roślinach wolnych kwasów organicznych. Zwraca uwagę kilkakrotnie większa ilość cukrów redukujących w stosunku do sacharozy.

Wpływ aeracji, źródła azotu i manganu na parcie korzeniowe roślin kukurydzy

DOŚWIADCZENIE III i IV

Zagadnienie to podjęto z następujących powodów:

1. W doświadczeniu II zwrócono uwagę na różną intensywność guttacji u roślin w zależności od źródła azotu w pożywce.

2. W badaniach nad asymilacją azotu przez rośliny po długotrwałym głodzie azotowym (opisane będą w II części pracy) stwierdzono, że rośliny, którym dodano do pożywki azot azotanowy, wykazywały intensywniejszą guttację niż rośliny, którym dodano azot w formie amonowej. Obserwacje te sugerowały, że system korzeniowy roślin rosnących na pożywkach azotanowych wykazuje większą metaboliczną aktywność niż roślin z pożywek amonowych.

3. Interesowało nas, jak zareagują rośliny kukurydzy na krótkotrwałe, lecz intensywne wietrzenie pożywki.

4. Czy aeracja, źródła azotu i dodanie do pożywki Mn wykażą wpływ na skład aminokwasowy soku płaczu roślin.

Metodyka badań

1. Aerację pożywki przeprowadzono przy pomocy kompresora. Układ przewietrzający był następujący: do kompresora podłączono grubościenną rurkę gumową, która z kolei była połączona systemem rozgałęźników szklanych z jednakowej długości rurkami gumowymi zakończonymi rurkami szklanymi. Rurki szklane wkładano do wazonów z pożywką. Taki układ przewietrzający gwarantował możliwie równomierne wtłaczanie powietrza do wazonów z pożywką. W ciągu 15 minut przepuszczano przez pożywkę w każdym wazonie ok. 15 l powietrza. Przewietrzanie odbywało się 3 razy dziennie: w godzinach 8^{00}, 13^{00} i 19^{00}.

2. Badania składu aminokwasowego soku płaczu. Badania przeprowadzono na zbuforowanej bibule chromatograficznej Whatman Nr 1 wg E. F. MacFarrena i J. A. Millsa (1952). Metoda ma tę zaletę, że obniża niekorzystny wpływ obecności soli w roztworze

na rozdział aminokwasów na bibule. W naszych badaniach stosowano system rozpuszczalników fenol-bufor fosforanowy o pH 12. Buforem tym nasycano bibułę, po czym suszono w temperaturze pokojowej. Przed naniesieniem soku płaczu na bibułę równe ilości oczyszczonego fenolu mieszano z roztworem buforowym o pH 12 w rozdzielaczu. Po rozdzieleniu się faz dolną warstwę używano jako rozpuszczalnika. Stosowano metodę chromatografii wstępującej. Wzorcami były 0,1% roztwory aminokwasów. Badany roztwór nanoszono kilkakrotnie na bibułę w 1 punkt w ogólnej ilości 50 µl. Proces chromatograficzny zachodził w temperaturze pokojowej. Po przejściu rozpuszczalnika przez bibułę suszono ją w ciągu 2 godzin na powietrzu, po czym w ciągu 30 minut w suszarce elektrycznej z dobrą wentylacją w temperaturze 60°C. Wywoływano chromatogram butanolowym roztworem ninhydryny, do którego dodano lodowatego kwasu octowego do ogólnego stężenia 4% w celu zobojętnienia bibuły. Po spryskaniu bibuły roztworem ninhydryny w ciągu 15 minut chromatogram suszono na powietrzu, po czym w ciągu 30 minut w dobrze przewietrzanej suszarce elektrycznej w temperaturze 60°C. Przy zastosowaniu wymienionej procedury na bibule otrzymywano wyraźne plamy aminokwasów bez „ogonów" i zacieków.

3. Badania jakościowe soku płaczu przeprowadzono następująco:

a) azot azotanowy wykrywano w reakcji z dwufenyloaminą w stężonym kwasie siarkowym,

b) azot amonowy wykrywano z odczynnikiem Nesslera,

c) próby na cukry wykonywano w reakcji Molischa,

d) próby na białko: ksantoproteinową, Millona i biuretową wykonywano w następujący sposób: po dodaniu do soku płaczu 96% etanolu, tak aby końcowe jego stężenie w soku płaczu wynosiło 80%, wytrąca się biały kłaczkowaty osad; po odparowaniu etanolu w suszarce próżniowej w temperaturze 40°C otrzymuje się biały proszkowaty osad, z którym wykonywano próby na białko,

e) pH soku płaczu oznaczano potencjometrycznie przy pomocy pehametru lampowego. Sposób zbierania soku płaczu opisany będzie niżej. Pozostała procedura metodyczna jest analogiczna do opisanej w doświadczeniu I. pH pożywki ustalono na 6,0 i utrzymywano na stałym poziomie w czasie trwania doświadczenia. Powtórzenia 4-krotne.

Przebieg wegetacji

28.V.1959 r. kiełkowano nasiona kukurydzy na wodzie destylowanej i po tygodniu, po odcięciu nasion, siewki przeniesiono na pożywki do 4,5 l słojów i zaczęto przewietrzanie. W czasie wegetacji notowano różnice we

wzroście roślin podobne do opisanych w doświadczeniach I i II. Szczególną uwagę zwrócono na występowanie guttacji na roślinach w dzień w czasie zachmurzenia i wieczorami. Poczynione obserwacje całkowicie potwierdziły dane odnoszące się do doświadczenia II oraz obserwacje, które będą opisane w II części pracy. 26.VI rośliny sfotografowano. Fotografie przedstawiają stan roślin na 2 dni przed likwidacją doświadczenia.

Zbiór soku płaczu z roślin kukurydzy

28.VI po słonecznym i ciepłym dniu o godzinie 19^{00} do 19^{30} ścięto część nadziemną roślin na wysokości około 5 cm od szyjki korzeniowej i nałożono na pieńki kauczukowe zbiorniki na sok płaczu. Przed ścinaniem części nadziemnej miejsce, w którym dokonywano cięcia, przecierano etanolem. Zbiornikami były kauczukowe smoczki na butelkę, które przed założeniem na pieniek dobrze wymyto i także przetarto watą nasyconą etanolem. W zbiorniku przed momentem założenia go na pieniek wycinano mały otwór i rozciągając go zakładano na pieniek. W ten sposób uzyskano dobrą szczelność zbiorników. Szeroki otwór zbiornika zakrywano sterylną watą. Wydzielany prawie natychmiast sok płaczu zbierano mikropipetką do probówek. Sok płaczu zbierano tak, aby nie dotykać pieńka rośliny końcem pipety. Sok płaczu stanowił zupełnie klarowny roztwór. Po 4 godzinach wydzielony sok płaczu poddano badaniu w kolejności:

1) zmierzono objętość,

2) naniesiono po 50 µl roztworu na bibułę chromatograficzną i rozwijano chromatogram,

3) oznaczono pH,

4) wykonano próby na zawartość w soku płaczu białka, cukrów, azotu amonowego i azotanowego.

Tegoż samego dnia (29.VI), lecz już rano, zebrano następną porcję wydzielonego przez noc soku płaczu i poddano badaniom jak wyżej. Część nadziemną i korzenie traktowano wg standartowych metod opisanych w doświadczeniu I.

Wyniki doświadczenia III

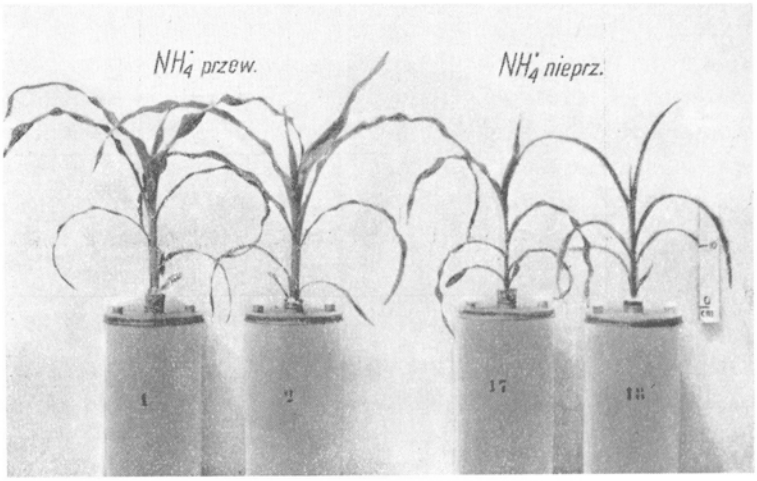
Tabela 10 przedstawia wyniki doświadczenia w odniesieniu do suchej masy roślin. Dane tego doświadczenia całkowicie potwierdzają wyniki uzyskane w doświadczeniach poprzednich. Wynika stąd wniosek, że krótkotrwała, lecz intensywna aeracja pożywki jest w swoim działaniu nie mniej skuteczna niż aeracja ciągła, lecz mniej intensywna.

Tabela 10 — Table 10

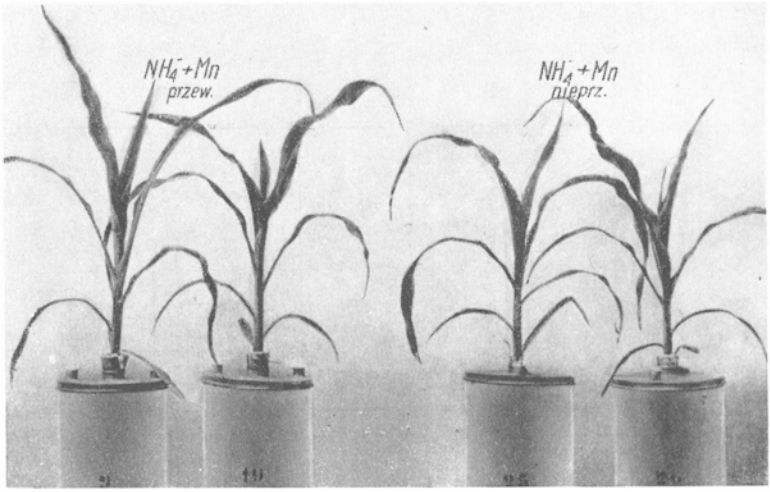
Wpływ aeracji, źródła azotu i Mn na wzrost kukurydzy

Effect of aeration, nitrogen source and Mn on the growth of maize

	Pożywka Solution	Sucha masa w g Dry matter in g		Wpływ aeracji na wzrost. Za 100 % przyjęto nie przewietrzane Effect of aeration on the growth. 100% without aeration		Wpływ źródła azotu na wzrost. Za 100% przyjęto formę NH_4 Effect of nitrogen source on the growth. 100% NH_4 form		Wpływ Mn na wzrost. Za 100% przyjęto bez Mn Effect of Mn on the growth. 100% without Mn	
		część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots	część nadziemna tops	korzenie roots
Przewietrzane Aerated	NH_4	2,81±0,30	1,09±0,04	248,6	281,6	100	100	100	100
	NO_3	3,34±0,29	1,03±0,09	122,3	128,7	118,8	94,5	100	100
	NH_4+Mn	2,73±0,18	0,97±0,07	135,1	186,5	100	100	97,1	88,9
	NO_3+Mn	3,52±0,21	1,20±0,03	116,1	135,2	128,9	123,7	105,3	116,5
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	1,13±0,08	0,387±0,015	100	100	100	100	100	100
	NO_3	2,73±0,18	0,80 ±0,01	100	100	241,5	206,1	100	100
	NH_4+Mn	2,02±0,10	0,52 ±0,013	100	100	100	100	178,7	134.3
	NO_3+Mn	3,13±0,09	0,887±0,021	100	100	154,9	170,5	110,9	110,8

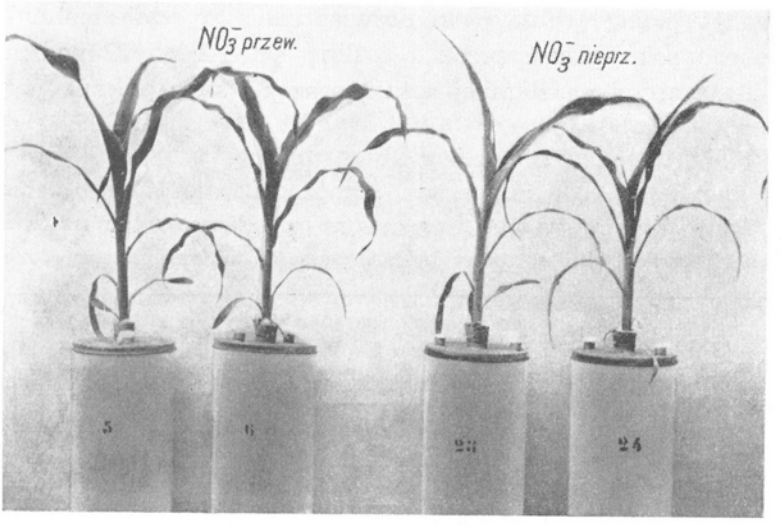


a

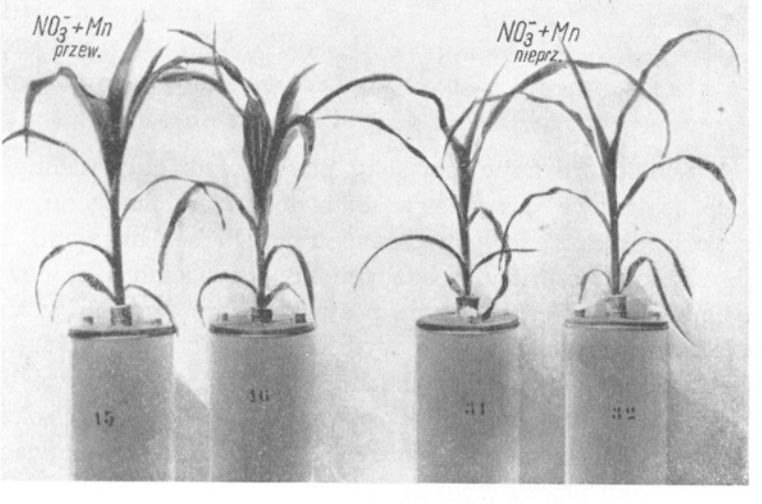


c

Ryc. 2. Doświadczenie III. Wpływ aeracji, źródła azotu i manganu na wzrost kukurydzy. Objaśnienia jak na ryc. 1



b



d

Experiment III. Effect of aeration, nitrogen source and manganese on the growth of maize. Description as in the fig. 1

Tabela 11 przedstawia wyniki doświadczenia w odniesieniu do ilości wydzielonego soku płaczu przez 1 roślinę, po 4 i po 12 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej roślin, oraz pH soku płaczu.

Tabela 11 — Table 11

Wpływ aeracji, źródła azotu i manganu na parcie korzeniowe kukurydzy
Effect of aeration, nitrogen source and manganese on the root pressure of maize

	Pożywka Solution	ml wydzielonego soku płaczu przez 1 roślinę ml bleeding sap exudated by 1 plant		pH soku płaczu pH of bleeding sap	
		po 4 godzinach after 4 hours	po 12 godzinach after 12 hours	po 4 godzinach after 4 hours	po 12 godzinach after 12 hours
Przewietrzane Aerated	NH_4	1,95	4,95	6,85	5,70
	NO_3	4,15	14,45	6,60	5.90
	NH_4+Mn	2,95	8,05	7,20	5,80
	NO_3+Mn	4,60	17,20	6,50	5,80
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	0,85	2,35	7,20	5,80
	NO_3	2,50	10,50	6,70	5,80
	NH_4+Mn	1,55	3,55	6,50	5,80
	NO_3+Mn	4,00	13,80	6,00	5,80

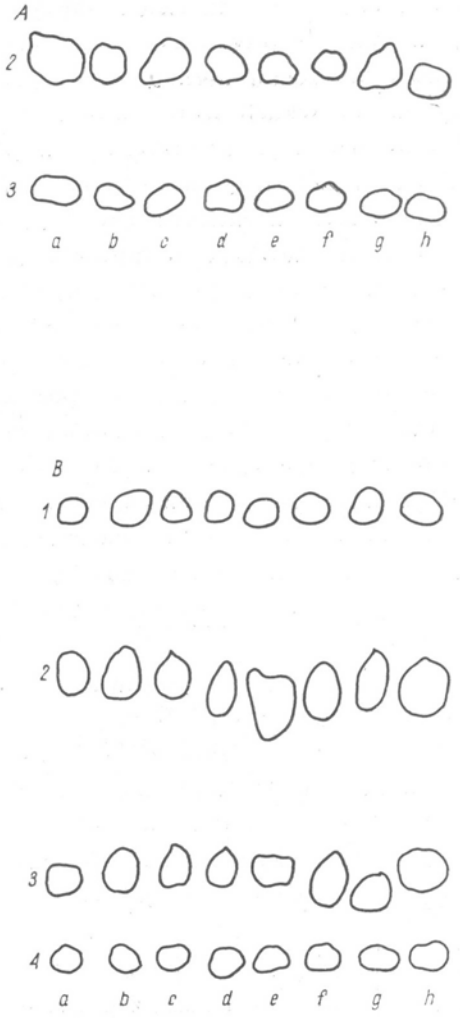
Z tabeli wynika, że najwięcej soku płaczu wydzieliły rośliny rosnące na pożywce azotanowej przewietrzanej z dodatkiem manganu, następnie rośliny z pożywek azotanowych przewietrzanych bez manganu. Podobne wyniki uzyskano z roślinami rosnącymi na pożywkach azotanowych nie wietrzonych. Z roślin rosnących na pożywkach amonowych w analogicznym czasie najwięcej soku płaczu wydzieliły rośliny w kombinacji amonowej wietrzonej z dodatkiem manganu, mniej na tej pożywce bez manganu. Na pożywce amonowej nie przewietrzanej najwięcej soku płaczu zebrano z roślin rosnących na pożywkach z dodatkiem manganu. Najmniejsze ilości soku płaczu wydzieliły rośliny rosnące na pożywkach amonowych nie wietrzonych. Z tabeli 11 wynika, że system korzeniowy roślin rosnących na pożywkach azotanowych wykazuje kilkakrotnie większą metaboliczną aktywność w procesie czynnego pochłaniania i wydalania wody przez rośliny tak w kulturach przewietrzanych jak i nie przewietrzanych w porównaniu z roślinami rosnącymi na pożywkach amonowych. Zwraca uwagę dodatni wpływ na ten proces dodatku do pożywki man-

ganu we wszystkich kombinacjach jakkolwiek mniejszy niż wpływ azotanów. Duży dodatni wpływ na proces czynnego pochłaniania i wydalania wody przez rośliny wykazała aeracja, największy na pożywkach amonowych i mniejszy na pożywkach azotanowych. Interesujący jest fakt znacznej obniżki pH soku płaczu po 12 godzinach w porównaniu z tymi wartościami dla soku płaczu zebranego po 4 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej roślin. Próby na zawartość w soku płaczu azotu amonowego wypadły dodatnio we wszystkich kombinacjach. Próby na zawartość w soku płaczu azotu azotanowego z pożywek azotanowych były dodatnie zarówno po 4, jak i po 12 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej roślin. Dodatnie były również próby na zawartość w soku płaczu azotanowego zebranego z roślin rosnących na pożywkach amonowych po 12 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej roślin. Należy przypuszczać, że wynik ten mógł być spowodowany bądź procesem nitryfikacji, bądź też działaniem enzymów zawartych w wydzielonym soku płaczu, albo sumą tych obu procesów. Próby na zawartość cukrów w soku płaczu były we wszystkich kombinacjach dodatnie, jednakże ich ilości były niewystarczające, aby je można było oznaczyć mikrometodą Bertranda.

Wielce interesująco wypadły próby na zawartość białka. Mianowicie po dodaniu do soku płaczu 96% etanolu lub nasyconego roztworu tanniny wypadał biały kłaczkowaty osad, największy w soku płaczu z pożywek azotanowych, a o wiele mniejszy z pożywek amonowych. Wyszczególnione w części metodycznej próby na białko we wszystkich kombinacjach wypadły dodatnio. Wyniki te mogą być bardzo interesujące ze względu na warunki syntezy białka w zależności od podawanego roślinom źródła azotu.

W wyniku analiz chromatograficznych uzyskano następujące dane: we wszystkich kombinacjach w soku płaczu, zebranym po 4 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej roślin, stwierdzono obecność kwasu glutaminowego i alaniny (bardzo silnie zabarwiona plama), natomiast po 12 godzinach stwierdzono kwas asparaginowy, kwas glutaminowy, alaninę (bardzo intensywna plama) oraz walinę (słabo zabarwiona plama). Ponieważ w tym układzie rozpuszczalników alanina i glutamina nie rozdzielają się, należy przypuszczać, że bardzo silnie zabarwiona plama odpowiadająca alaninie zawiera również glutaminę. Schematy chromatogramów przedstawiają wielkość i położenie plam na bibule.

Na podstawie analiz chromatograficznych soku płaczu, w układzie rozpuszczalników fenol-bufor fosforanowy o pH 12, nie uzyskano danych świadczących o wpływie aeracji, źródła azotu i manganu na skład aminokwasowy soku płaczu.



Ryc. 3. Chromatogramy soku płaczu kukurydzy: *A* — po 4 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej; *B* — po 12 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej
The chromatograms of bleeding sap from maize plants. *A* — 4 hours after cuting the top; *B* — 12 hours after cuting the top

Aminokwasy: *1* — walina; *2* — alanina; *3* — kwas glutaminowy; *4* — kwas asparaginowy. Oznaczenia: *a* — NH_4 przewietrzane; *b* — NO_3 przewietrzane; *c* — NH_4+Mn przewietrzane; *d* — NO_3+Mn przewietrzane; *e* — NH_4 nie przewietrzane; *f* — NO_3 nie przewietrzane; *g* — NH_4+Mn nie przewietrzane; *h* — NO_3+Mn nie przewietrzane

Amino acids: *1* — valine; *2* — alanine; *3* — glutamic acid; *4* — aspartic acid. Descriptions: *a* — NH_4 aerated; *b* — NO_3 aerated; *c* — NH_4+Mn aerated; *d* — NO_3+Mn aerated; *e* — NH_4 no aerated; *f* — NO_3 no aerated; *g* — NH_4+Mn no aerated; *h* — NO_3+Mn no aerated

Tabela 12 przedstawia wyniki oznaczeń cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych w roślinach. Dane tej tabeli potwierdzają wyniki uzyskane w doświadczeniach I i II.

Wyniki doświadczenia IV

Dane uzyskane w doświadczeniu III skłoniły nas do przeprowadzenia badań mających na celu wyjaśnienie:

1) w jakim stopniu azotany względnie sole amonowe stymulują proces czynnego pochłaniania i wydalania wody przez rośliny, które rosły w jednakowych warunkach na pożywkach z azotem w formie NH_4NO_3 i następnie zostały przeniesione na pożywki amonowe i azotanowe,

2) czy skład aminokwasowy tych roślin wykaże różnice,

3) czy uzyskamy potwierdzenie wyników doświadczenia III odnośnie zmian pH soku płaczu, wydzielanego białka, oraz czy azotany, które wykryto w soku płaczu zebranym po 12 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej z pożywek amonowych, były wynikiem działalności bakterii nitryfikacyjnych, czy też enzymów wydzielanych z sokiem płaczu. W tym celu przeprowadzono doświadczenie z kukurydzą w kulturach wodnych. Użyto pożywki azotanowej, zamieniając $Ca(NO_3)_2$ ekwiwalentną ilością NH_4NO_3. 20.VII.1959 r. kiełkowano nasiona kukurydzy na wodzie destylowanej i po tygodniu przeniesiono do 4,5-litrowych słojów szklanych, umieszczając o 1 roślinie w każdym słoju. pH ustalono na 6,0. Kultury nie były wietrzone. Pozostała procedura metodyczna była analogiczna do opisanej w doświadczeniu I. 18.VIII wybrano jednakowe siewki i, po dokładnym przemyciu systemu korzeniowego wodą wodociągową i destylowaną, przeniesiono na przygotowane pożywki:

NH_4 — 10 roślin
NO_3 — 10 roślin

Po 24 godzinach przebywania na tych pożywkach ścięto część nadziemną i na pieńki założono zbiorniki na sok płaczu. Aby zapobiec działalności mikroorganizmów po 30 minutach do każdego zbiornika z wydzielonym sokiem płaczu, dodano po 2 krople toluolu. Materiał roślinny zabijano w temperaturze 105°C i w tej temperaturze suszono do stałej wagi.

Sucha masa części nadziemnej wynosiła średnio 2,32 g i korzeni 0,71 g. Wykres na ryc. 4 przedstawia wyniki doświadczenia w odniesieniu do dynamiki parcia korzeniowego roślin. Z wykresu wynika, że ilość wydzielonego soku płaczu przez rośliny, które przeniesiono na pożywki azotanowe, jest po 3 godzinach przeszło 4-krotnie, po 12 godzinach przeszło 3,5-krotnie, a po 24 godzinach przeszło 3-krotnie wyższa w porównaniu

Tabela 12 — Table 12

Wpływ aeracji, źródła azotu i Mn na zawartość cukrów rozpuszczalnych i wolnych kwasów organicznych w kukurydzy

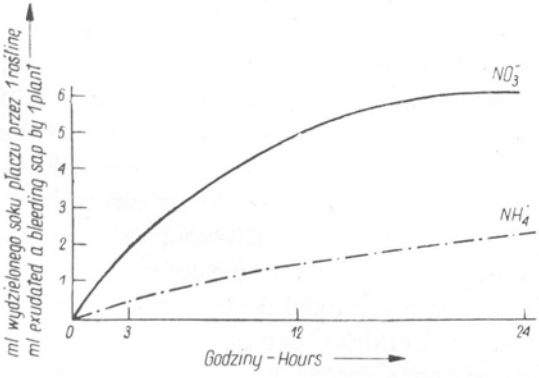
Effect of aeration, nitrogen source and Mn on the soluble carbohydrates and free organic acids content in the maize

	Pożywka Solution	Część nadziemna Tops			Korzenie Roots		
		cukry redukujące w % suchej masy reducing carbohydrates in % dry matter	sacharoza w % suchej masy saccharose in % dry matter	wolne kwasy organiczne w miliekwiwalentach na 100 g suchej masy the free organic acids in miliequivalents on 100 g dry matter	cukry redukujące w % suchej masy reducing carbohydrates in % dry matter	sacharoza w % suchej masy saccharose in % dry matter	wolne kwasy organiczne w miliekwiwalentach na 100 g suchej masy the free organic acids in miliequivalents on 100 g dry matter
Przewietrzane Aerated	NH_4	3,50	1,00	59,1	2,15	0,71	91,4
	NO_3	3,80	2,35	66,2	2,75	0,98	104,6
	NH_4+Mn	4,50	1,09	62,7	4,30	0,10	88,6
	NO_3+Mn	4,90	2,28	64,8	4,80	0,33	95,4
Nie przewietrzane No aerated	NH_4	3,80	1,52	51,7	1,80	0,90	63,2
	NO_3	4,65	1,90	58,0	3,30	0,20	88,7
	NH_4+Mn	5,65	1,70	54,2	2,90	0,13	66,7
	NO_3+Mn	4,95	2,46	57,0	3,80	0,22	83,5

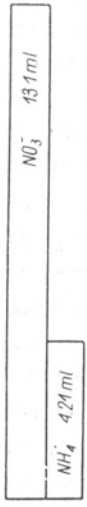
z ilościami soku płaczu wydzielonymi przez rośliny przeniesione na pożywki amonowe.

W roztworze soku płaczu azot azotanowy stwierdzono tylko w kombinacji azotanowej. Po zastosowaniu środka antyseptycznego nie stwierdzono azotanów w soku płaczu roślin z pożywek amonowych w czasie trwania doświadczenia i nawet po 4 dniach, w pozostawionym eksudacie, azotanów nie udało się stwierdzić. Potwierdzono natomiast obniżkę pH soku płaczu, które wynosiło na pożywce amonowej: po 3 godzinach 6,9, po 12 godzinach 6,1, a na pożywce azotanowej: po 3 godzinach 6,7, po 12 godzinach 5,9.

Próby na zawartość w soku płaczu cukrów i białka były we wszystkich wypadkach dodatnie. Największy osad białka po dodaniu etanolu notowano w kombinacji azotanowej. Przeprowadzona analiza chromatograficzna soku płaczu, zebranego po 3 i po 12 godzinach od chwili ścięcia



Ryc. 4. Dynamika parcia korzeniowego kukurydzy
The dynamics of root pressure of a maize plant



Ryc. 5. Całkowita ilość soku płaczu w ml
Total bleeding sap in ml

części nadziemnej roślin, dała analogiczne wyniki jak w poprzednim doświadczeniu (mimo różnicy 1 godziny w tym doświadczeniu). Interesująco wypadły próby na zawartość azotu azotanowego w roztworze guttacyjnym po przeniesieniu roślin na pożywki amonowe i azotanowe. Mianowicie po przeniesieniu roślin na pożywkę azotanową zanotowano wystąpienie guttacji już po 4 godzinach, natomiast u roślin przeniesionych na pożywki amonowe dopiero po 8 godzinach. Próby na zawartość azotu azo-

tanowego i amonowego z roztworem guttacyjnym roślin z pożywek azotanowych były dla obu tych form azotu dodatnimi. Natomiast w roztworze guttacyjnym roślin, które przeniesiono na pożywki amonowe, wykryto tylko azot amonowy, mimo że rankiem tegoż dnia z roztworem guttacyjnym tych roślin (pozostających jeszcze na pożywce NH_4NO_3) stwierdzono także azot azotanowy. Wynik ten świadczy o całkowitej redukcji azotanów pobranych z pożywki azotanowo-amonowej w ciągu 8 godzin po przeniesieniu roślin na pożywki amonowe.

DYSKUSJA

Przedstawione wyniki badań w 4 doświadczeniach tej części pracy wyłoniły szereg zagadnień wymagających oddzielnego omówienia.

1. Zagadnienie wpływu aeracji na wzrost kukurydzy. Zagadnienie to potrakowane zostało w naszych badaniach pod kątem widzenia fizjologicznego działania tego zabiegu na procesy zachodzące w roślinach. Wykazano, że aeracja pożywki powoduje zwiększenie potencjału oksydoredukcyjnego w roślinie i w pożywce (dośw. I), powoduje wzrost zawartości wolnych kwasów organicznych, a zmniejszenie zawartości cukrów rozpuszczalnych w roślinach (dośw. I, II i III). Zależność ta wskazuje na kierunek procesów zachodzących w roślinie pod wpływem tego czynnika: intensyfikacji procesów utleniania. Wykazano, że kukurydza jest rośliną wrażliwą na niedobór tlenu w pożywce, przede wszystkim w pożywce amonowej. Wykazano przy tym (dośw. III), że intensywna, lecz krótkotrwała aeracja pożywki jest jednakowo skuteczna w działaniu jak aeracja ciągła, lecz mniej intensywna. W aspekcie uzyskanych wyników należy ustosunkować się do danych przedstawionych w pracy J. Stabrowskiej (1959) z zastrzeżeniem w odniesieniu do wpływu aeracji na wzrost kukurydzy. W pracy tej autorki dostrzeżono pewne niedociągnięcia metodyczne. Mianowicie autorka podaje następujące ilości soli azotowych na 1 litr pożywki: pożywka azotanowa KNO_3 — 0,689 g/l + + $Ca(NO_3)_2$ — 0,774 g/l, co w przeliczeniu na azot daje 228,6 mgN/l pożywki i pożywka amonowa $(NH_4)_2SO_4$ — 0,942 g/l + $(NH_4)_2HPO_4$ — 0,124 g/l, co daje 226 mgN/l pożywki. Natomiast w następnym zdaniu pisze, że skontrolowano zawartość azotu w pożywkach i w litrze pożywki azotanowej stwierdzono 190,5 mgN/l, a w pożywce amonowej 191,0 mgN/l, a więc o 35—37 mgN/l mniej niż dodano.

W swej pracy autorka, jak się wydaje, uzyskała słaby wzrost kukurydzy we wszystkich doświadczeniach. Pod tym względem interesująco wygląda porównanie wyników doświadczenia J. Stabrowskiej przeprowadzonego 28.V.—18.V.1957 r. z naszym doświadczeniem z 28.V.—28.I. 1959 r. (dośw. III). Różnica w okresie wegetacji doświadczenia

autorki (7 dni hodowli na piasku + 21 dni na pożywkach) i naszego doświadczenia (7 dni na wodzie destylowanej + 24 dni na pożywkach) wynosiła przeto 3 dni na korzyść naszego doświadczenia. Różnic w pH nie bierzemy pod uwagę (w doświadczeniu autorki 6,6 w naszym 6,0), gdyż nie wykazały one wpływu na wzrost roślin tak w doświadczeniach autorki, jak i naszych. Niżej podajemy porównanie:

Dane J. Stabrowskiej Tabela 3		Dane nasze Tabela 10
Ciężar suchej masy 1 rośliny w g		
Pożywka azotanowa		
wietrzona	0,772	4,37
nie wietrzona	0,690	3,53
Pożywka amonowa		
wietrzona	0,612	3,90
nie wietrzona	0,512	1,517

Różnice są bardzo duże, a trzeba jeszcze podkreślić, że dane tej tabeli w odniesieniu do suchej masy kukurydzy są wyższe niż w pozostałych doświadczeniach z kukurydzą przeprowadzonych przez autorkę. W tabeli 5 autorka zestawiła stosunki odpowiednich suchych mas roślin z poszczególnych doświadczeń z kukurydzą. Z tabeli tej wynika, że aeracja pożywki azotanowej właściwie nie wpływa na wzrost roślin (zwyżka suchej masy pod wpływem tego czynnika waha się w granicach 0,3—14%), natomiast w grupie roślin rosnących na pożywkach amonowych tylko w jednym wypadku (doświadczenie 17.V.—6.VI) sucha masa roślin przewyższała o 62% suchą masę roślin z tej pożywki nie wietrzonej. W pozostałych trzech doświadczeniach zwyżka ta wahała się od 0,1 do 20%. Interpretacja wyników przez autorkę jest odmienna od uzyskanych w naszych badaniach. Wydaje się, że przyczyną tego stanu rzeczy było stosowanie przez autorkę odmiennej od naszej metody badań. Zastosowanie małych (0,9 i 1-litrowych) wazonów, w których autorka umieszczała po 4 rośliny, wydaje się, stanowiło najpoważniejszą przyczynę tego stanu rzeczy, a to z następujących względów: stosowana metoda wietrzenia (kilkakrotne przelewanie codziennie pożywki z wazonu do wazonu) albo nie gwarantowała dostatecznego nasycenia tlenem pożywki, albo rośliny w krótkim czasie pobrały rozpuszczony w roztworze tlen. Możliwe, iż jedną z przyczyn mogło być przyrządzenie pożywki na wodzie wodociągowej. Wydaje się, że argument skuteczności takiej metody aeracji pożywki, w odniesieniu np. do pomidorów, nie może chyba być uznany, gdyż cyfry charakteryzujące wzrost pomidorów są również bardzo małe.

2. Zagadnienie roli azotanów względnie soli amonowych jako źródeł azotu dla roślin w warunkach słabego natlenienia podłoża. Wyniki badań D. J. Arnona (1937), który wykazał możliwość kompensacji niedoboru tlenu w pożywce przez azotany, oraz wypowiedziana hipoteza o udziale azotanów w procesach oksydoredukcyjnych w roślinie, w naszych badaniach uzyskała bezpośrednie potwierdzenie. Wykazano, że azotany powodują zwiększenie poziomu E_h w roślinie. Potwierdzono także wyniki badań S. Gumińskiego i współpracowników (1957) o możliwości kompensacji niedoboru tlenu przez azotany. Na możliwość kompensacji niedoboru tlenu przez azotany wskazuje jeszcze jeden argument wynikający z porównania zawartości tlenu w solach pożywki amonowej i azotanowej: w pożywce amonowej ogólna ilość tlenu wynosi 768 mg/l pożywki, natomiast w pożywce azotanowej znajduje się 704 mg/l, w tym tlenu azotanów 96 mg/l pożywki. Te stosunki liczbowe charakteryzujące zawartości tlenu w solach pożywki amonowej i azotanowej, przy porównaniu ich skuteczności działania na wzrost i procesy zachodzące w roślinach w warunkach słabego natlenienia podłoża, wskazują, że tlen siarczanów i fosforanów, w przeciwieństwie do azotanów, nie wykazuje właściwości kompensacji niedoboru tlenu w pożywce. W badaniach pobierania azotanów i soli amonowych w warunkach naszego doświadczenia (dośw. II) stwierdzono, że azotany są intensywniej pobierane przez kukurydzę niż azot amonowy. Wykazano przy tym dodatni wpływ aeracji i dodatku do pożywki manganu i miedzi na ten proces, przede wszystkim w odniesieniu do azotu amonowego na pożywkach nie przewietrzanych.

3. Rola mikroelementów w warunkach niedostatecznego natlenienia pożywki. W przedstawionych badaniach w 4 doświadczeniach tej pracy wykazano, że dodanie do pożywki manganu oraz miedzi (dośw. II) powoduje wzrost zawartości w roślinach cukrów rozpuszczalnych. M. J. Szkolnik i S. A. Abduraszitow (1958) wykazali, że mangan zwiększa syntezę i przemieszczanie się monoz i sacharozy oraz zwyżkę aktywności polifenoloksydazy, peroksydazy, askorbinoksydazy i intensywności oddychania u kukurydzy w doświadczeniu polowym. Autorzy tłumaczą te fakty tym, że mangan powoduje zwiększenie intensywności procesów oksydoredukcyjnych zachodzących w roślinie. Objaśnienie to uzyskało potwierdzenie w naszych badaniach. Przy pomocy bezpośrednich pomiarów potencjału oksydoredukcyjnego wykazaliśmy zwiększenie poziomu E_h w roślinie pod wpływem dodatku do pożywki manganu. Wykazano również podwyższenie poziomu rH w pożywce z manganem w porównaniu z pożywkami bez manganu. Być może mechanizm działania manganu w pożywce jest następujący: mangan, jako pierwiastek mający stosunkowo wysoki potencjał oksydoredukcyjny, utlenia

związki zredukowane, sam ulegając redukcji utlenia się z kolei tlenem powietrza. Przypuszczenie to wymaga eksperymentalnego potwierdzenia. W doświadczeniu II wykazano stymulujący wpływ manganu i miedzi na pobieranie azotu amonowego w warunkach kultur nie przewietrzanych. W doświadczeniach I, II i III przedstawiono dane świadczące o stymulacyjnym działaniu manganu i miedzi (dośw. II) na wzrost roślin przede wszystkim w warunkach kultur nie przewietrzanych na pożywkach amonowych. Mangan wykazał również dodatni wpływ na parcie korzeniowe kukurydzy.

4. Rola azotanów w aktywnym pobieraniu i przewodzeniu wody przez rośliny była przedmiotem badań licznych fitofizjologów. Wpływ aeracji na ten proces znany jest od dawna i wyczerpująco oświetlony przez różnych autorów (P. J. Kramer 1956, A. S. Crafts, H. B. Currier i C. R. Stocking 1949, i in.) W naszych badaniach szczególnie wyraźny dodatni wpływ aeracji na ten proces przejawił się na pożywkach amonowych. Wpływ tego zabiegu w grupie roślin rosnących na pożywkach azotanowych, chociaż wyraźny, jest mniejszy niż w grupie roślin rosnących na pożywkach amonowych. Wyniki badań przedstawionych w dośw. III wykazały, że azotany stymulują aktywne pobieranie i przewodzenie wody przez rośliny. Wyników tych nie można objaśnić różnicami we wzroście roślin (dośw. III), gdyż np. w kombinacji NH_4 przewietrz. sucha masa korzeni przewyższa nawet suchą masę korzeni na analogicznych pożywkach azotanowych, podczas gdy ilość wydzielonego soku płaczu w jednakowym czasie jest: po 4 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej prawie 2,5-krotnie, a po 12 godzinach 3-krotnie wyższa w grupie roślin z pożywek azotanowych niż amonowych. Wniosek ten potwierdzają wyniki przedstawione w doświadczeniu IV. W odniesieniu do naszych wyników interesujące są dane z pracy F. C. Stewarda, P. R. Stouta i C. Prestona (1940). Wymienieni autorzy wykazali anomalne pochłanianie wody przez krążki z bulwy ziemniaka. Potas powodował zwiększenie intensywności tego procesu, natomiast wapń hamował działanie potasu. Jony azotanowe zwiększały jeszcze dodatnie działanie potasu.

W późniejszych badaniach F. C. Steward i J. K. Pollard (1956) wykazali, że azot w formie NH_4NO_3 w porównaniu z $(NH_4)_2SO_4$ stymuluje pochłanianie tlenu i syntezę białka przez krążki ziemniaka. W świetle tych danych przedstawione w naszych badaniach wyniki prób na zawartość białka w soku płaczu roślin rosnących na pożywkach azotanowych, należy chyba rozpatrywać z punktu widzenia zależności procesów aktywnego pobierania i przewodzenia wody przez rośliny z syntezą białka. Zagadnienie to jest przedmiotem odrębnych badań i będzie przedstawione w oddzielnej publikacji.

5. Analizy chromatograficzne składu aminokwasowego soku płaczu roślin (dośw. III i IV) przy zastosowaniu układu rozpuszczalników fenol-bufor fosforanowych o pH 12 nie wykazały wpływu aeracji, źródła azotu i manganu na skład aminokwasowy soku płaczu. Niejasny jest fakt zwiększenia liczby aminokwasów w soku płaczu zebranym po 12 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej. W soku płaczu zebranym po 3 i 4 godzinach od chwili ścięcia części nadziemnej roślin wykryto kwas glutaminowy, alaninę i prawdopodobnie glutaminę, a po 12 godzinach, oprócz związków wymienionych, jeszcze kwas asparaginowy i walinę, a więc podstawowe aminokwasy dla syntezy białka. Wyniki te rozpatrujemy jako orientacyjne, gdyż być może ilości roztworu soku płaczu (50 µl), używanego do analiz, nie zawierały dostatecznej ilości innych aminokwasów wykrywanych metodą chromatografii bibułowej. Być może także zastosowanie innego układu rozpuszczalników i techniki dwukierunkowej pozwoliłoby na rozwiązanie tego zagadnienia. Zagadnienia te są przedmiotem dalszych badań.

STRESZCZENIE

W latach 1958—1959 przeprowadzono badania nad wpływem aeracji, źródła azotu, dodatku do pożywki manganu i miedzi na wzrost, pobieranie azotu i procesy biochemiczne zachodzące w roślinach pod wpływem tych czynników. Rośliną doświadczalną była kukurydza zwyczajna *(Zea mays)*. Badania przeprowadzono w kulturach wodnych przy stałym i kontrolowanym pH pożywki. W wyniku badań wykazano, że kukurydza jest rośliną wrażliwą na niedobór tlenu w pożywce (dośw. I, II i III). Dane te nie zgadzają się z wynikami prac J. Stabrowskiej (1959) oraz S. Gumińskiego i współpracowników (1957). Wykazano, że fizjologiczne działanie aeracji polega na zwiększeniu intensywności procesów oksydoredukcyjnych zachodzących w roślinie. Zabieg ten powoduje zwiększenie zawartości wolnych kwasów organicznych, a zmniejszenie zawartości cukrów rozpuszczalnych w roślinie (dośw. I, II i III). Aeracja powoduje wzrost poziomu E_h w roślinie i rH w pożywce (dośw. I), stymuluje pobieranie azotu amonowego (dośw. II) oraz procesu aktywnego pobierania i przewodzenia wody przez rośliny (dośw. III). Azotany w warunkach słabego natlenienia podłoża kompensują niedobór tlenu w pożywce oraz zwiększają E_h w roślinie i rH pożywki (dośw. I) i w porównaniu z solami amonowymi w warunkach niedoboru tlenu w pożywce stymulują wzrost roślin (dośw. I, II i III). Azotany stymulują aktywne pobieranie i przewodzenie wody przez rośliny (dośw. III). Wykazano, że azot azotanowy przy pH 6,0 w warunkach naszego doświadczenia był intensywniej pobierany przez rośliny niż azot amonowy (dośw. II). W soku płaczu roślin, rosnących na pożywkach azotanowych, po dodaniu etanolu, stwierdzono większy osad białka niż w soku płaczu roślin z pożywek amonowych (dośw. III i IV).

Dodanie do pożywek manganu lub miedzi stymuluje wzrost roślin rosnących na pożywkach amonowych w warunkach słabego natlenienia podłoża.

Działanie tych mikroelementów na wzrost roślin na pożywkach azotanowych tak przewietrzanych jak i nie przewietrzanych, oraz na pożywkach amonowych

przewietrzanych, jest znikome lub nie przejawia się wcale. Mangan i miedź zwiększają intensywność procesów oksydoredukcyjnych i powodują wzrost zawartości cukrów rozpuszczalnych w roślinie (dośw. I, II i III). Wykazano dodatnie działanie manganu na proces aktywnego pobierania i przewodzenia wody przez rośliny (dośw. III). Wykazano, że mangan i miedź stymulują pobieranie azotu amonowego przez rośliny w warunkach niedostatecznego natlenienia podłoża (dośw. II).

W wyniku analiz chromatograficznych na bibule soku płaczu roślin, przeprowadzonych w układzie rozpuszczalników fenol-bufor fosforanowy, o pH 12, nie wykazano wpływu aeracji, źródła azotu i manganu na skład aminokwasowy soku płaczu (dośw. III i IV).

Wskazanie tematu, cenne rady i pomoc w wykonaniu tej pracy zawdzięczam ś.p. Profesorowi Kazimierzowi Bassalikowi, Kierownikowi Katedry Fizjologii Roślin Uniwersytetu Warszawskiego.

Pracowniczce Katedry pani Jadwidze Roskosz składam podziękowanie za wydatną pomoc w technicznym przygotowaniu doświadczeń.

Katedra Fizjologii Roślin
Uniwersytetu Warszawskiego

(Wpłynęło dn. 10.3.1960 r.)

SUMMARY

The influence of aeration, of different nitrogen sources, and of culture solutions enriched with manganese and copper on the growth, nitrogen uptake and biochemical processes occuring in plants under the influence of these factors were investigated in the years 1958—59. Maize (*Zea mays* L.) was used for the experiments. Investigations were made in water cultures under constant check on the pH of culture solutions. It has been shown that maize is sensitive to shortage of oxygen in culture solutions (experiments I, II, III). These data do not agree with the results obtained by J. Stabrowska (1959) and S. Gumiński with collaborators (1957). It has been shown that the physiological effect of aeration consists in an increased intensity of oxidation-reducing processes occuring in the plants. Aeration increases also the content of free organic acids and decreases soluble carbohydrates content in the plants (experiments I, II III). Aeration raises the E_h level in the plant and the rH of culture solution (experiment I), stimulates the uptake of ammonium nitrogen, as well as the process of active uptake and movement of water in the plants (experiments III, IV). In conditions of low oxygen level in the nutrient solution nitrates compensate oxygen deficit in the culture solution and raise the E_h in the plant and the rH in the culture solution (experiment I) and in comparison with ammonium salts in culture solutions with oxygen deficit, they stimulate plant growth (experiments I, II, III). Nitrates stimulate an active uptake and movement of water by plants (experiment III). It has been shown that nitrate nitrogen in our experiment (by pH 6) was more intensively used by the plants, than ammonium nitrogen (experiment II).

In the bleeding sap of plants growing on nitrate culture solutions a greater protein sediment was found after ethanol had been added that in bleeding sap of plants grown on ammonium culture solutions (experiments III, IV).

Manganese or copper added to culture solutions stimulate the growth of plants on ammonium culture solutions with oxygen deficit. The effect of these microelements on plant growth on nitrate culture solutions both aerated and not aerated is insignificant or altogether incouspicuous. Manganese and cooper increase the intensity of oxidation-reducing processes and increase soluble carbohydrates content in plants (experiments I, II, III). It was demonstrated that manganese increases the active uptake and movement of water by plant (experiment III). Copper and manganese stimulate ammonium nitrogen uptake by plants in culture media with oxygen deficit (experiment II).

Chromatographic analyses of the bleeding sap of plants made in the phenol--buffer phosphate with pH 12 solvent system have not shown any influence of aeration, nitrogen source and manganese on the amino acids constitution of bleeding sap.

LITERATURA

Allport N. L., 1947, Colorimetric Analysis, Champman Hall. Ldt., London.

Arnon D. J., 1937, Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley at different season in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper and oxygen supply, Soil Sci. 44: 91—121.

Arnon D. J., 1939, Effect of ammonium and nitrate nitrogen on mineral composition and sap characteristics of barley, Soil Sci. 48: 295—307.

Arnon D. J., Fratzke W. E. and Johnson C. M., 1942, Influence of hydrogenion concentration in relation to absorption of inorganic nutrients by higher plants, Plant Physiol. 17: 525—539.

Arrington L. B. and Shive J. W., 1935, Rates of absorption of ammonium and nitrate nitrogen from culture solutions by ten-day-old tomato seedlings at two pH levels, Soil Sci. 39: 431—435.

Becking J. A., 1956, On the mechanism of ammonium ion uptake by maize roots, Acta bot. neerl. 5. (1): 1—79.

Bojczenko E. A., Zacharowa N. I., 1959, Żelezo i marganiec w reakcjach fotosynteza, Fizjołogia rastieni 6. wyp. 1: 88—91.

Bongers L. H. J., 1956, Aspects of nitrogen assimilation by cultures of green algae. Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen. Nederland. 56 (15): 1—52.

Bossingault J. B., 1957, Izbrannyje proizwiedienia po fizjołogii rastieni i agrochimii, Sielchozizdat, Moskwa (Tłumaczenie ros. z franc.).

Burström H., 1939, Über die Schwermetallakatalyse der Nitrat-Assimilation, Planta 29: 292—305.

Chibnall A. C., 1939, Metabolizm białek w roślinie (Tłum. polskie z ang.), P. W. R. i L., Warszawa 1952.

Clark H. E. and Shive J. W., 1934, The influence of the pH of culture solution on the rates of absorption of ammonium and nitrate by the tomato plant, Soil Sci. 37: 203—225.

Crafts A. S., Currier H. B., Stocking C. R., 1949, Water in the physiology of plants, Chronica Botanica Co, Walthman, Mass.

Eyster C., Brown T. E., Tanner H. A., Hood L. S., 1958, Manganese requirement with respect to growth, Hill reaction and photosynthesis, Plant Physiol. 33: 235—241.

Górski M., 1929, O fizjologicznej reakcji soli, Roczn. Nauk. Roln. 22: 27.

Gumiński S., Czerwiński W., Unger E. Skrabka H. 1957, Badania nad oddychaniem korzeni. Część II. (Wpływ niektórych związków mineralnych), Acta Soc. Bot. Pol. 26: 631—645.

Haas A. R. C., 1940, The importance of root aeration in avocado and citrus trees, Calif. Avocado Assoc. Year Book. 77—84.

Hoagland D. R., Broyer T. C., 1936, General nature of the process of salt accumulation by roots with description of experimental methods, Plant Physiol. 11: 471—507.

Hoagland D. R. and Arnon D. J., 1941, Physiological aspects of nutrients for plant growth, Soil Sci. 51: 431—444.

Jermakow A. N., Arasimowicz M. J., Smirnowa-Ikonnikowa M. I., Murri I. K., 1952, Mietody biochimiczeskogo analiza rastieni, Sielchozgiz, Moskwa.

Knop W., 1860, Landwirtsch. Vers. Sta. 2: 65—99, 270—293.

Kramer P. J., 1956, The uptake of water by plant cells. Handbuch Der Pflanzenphysiologie, 316—334, Band II.

Landegardh H., 1939, Mangan als Katalysator der Pflenzenatmung, Planta 29: 419—426.

Lundegardh H., 1947, Mineral nutrition of plants. Ann. Rev. Biochem. 16: 503—528.

McCalla A. G. and Woodford E. K., 1938, Effect of a limiting element of the absorption of individual elements and on the anion: cation balance in wheat, Plant Physiol. 13: 695—712.

MacFarren E. F., Mills J. A., 1952, Anal. Chem. 24: 650.

Maksimow A., 1929, Studja nad fizjologiczną reakcją soli amonowych i azotanów, Roczn. Nauk. Roln. i Leśn. 22: 33.

Naftel J. A., 1931, The absorption of ammonia and nitrate nitrogen by various plants at different stages of growth, J. Amer. Soc. Agronom. 23: 142—158.

Nightingale G. T. and Schermerhorn L. G., 1928, Nitrate assimilation by asparagus in the absence of light, J. N. Agricult. Exper. Stat. Bull. 476.

Nightingale G. T., 1942, Potassium and phosphate nutrition of pineapple in relation to nitrate and carbohydrate reserves, Bot. Gaz. 104: 191—223.

Niklewski B. i Wojciechowski J., 1938, Wpływ związków próchnicznych na pobieranie fosforanu amonu $(NH_4)_2HPO_4$ i siarczanu amonu $(NH_4)_2SO_4$ przez rośliny, Acta Soc. Bot. Pol. 15: 111—151.

Olsen C., 1950, The significance of concentration for the rate of ion absorption in higher plants in water culture, Physiol. Plant. 3: 152—165.

Omielanskij W. L., 1940, Prakticzeskoje rukowodstwo po mikrobiologii, Izdat. AN SSSR, 416—419.

Patrick W. H., J. R. and M. B. Sturgis, 1955, Concentration and movement of oxygen as related to absorption of ammonium and nitrate nitrogen by rice, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19: 59—62.

Pirschle K., 1929, Nitrate und Ammonsalze als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen bei konstanter Wasserstoffionenkonzentration. IV, Z. Pflanzenernährg, Düng. u. Bodenkde 22: 51—86.

Prianisznikow D. N., 1951, Izbrannyje Soczinienia, Izdat. AN SSRR, Moskwa.

Prevot P., Steward F. C., 1936, Salient features of root system relative to the problem of salt absorption, Plant Physiol. 11: 509—534.

Rautenberg F., Kühn G., 1864, Landwirtsch. Vers. Sta. 6: 355—359.

Sabinin D. A., 1955, Fizjołogiczeskije osnowy pitania rastieni, Izdat. AN SSSR, 424—427, Moskwa.

Sachs J., 1860, Landwirtsch. Vers. Sta. 2. 22—31, 219—268.

Shive J. W., 1934, Nitrogen absorption and aeration, N. J. Agricult. 16: 2—3.

Sideris C. P., a. Young H. Y., 1946, Effects of potassium on the nitrogenous constituents of *Ananas comosus* (L.) Merr., Plant. Physiol. 21: 218—232.

Stahl A. L., a. Shive J. W., 1934, Studies on nitrogen absorption from culture solutions. I. Oats, Soil Sci. 35: 375—399.

Steward F. C., 1933, The absorption and accumulation of solutes by living plant cells. V. Observations upon the effect of time, oxygen and salt concentration upon absorption and respiration by storage tissue, Protoplasma. 18: 208—242.

Steward F. C., Stout P. R., Preston C., 1940, The balance sheet of metabolites for potato discs showing the effect of salts and dissolved oxygen of metabolism at 23°C, Plant Physiol. 15: 409—447.

Steward F. C., Pollard J. K., 1956, Some further observations on glutamyl and related compounds in plants, A Symposium Inorganic Nitrogen Metabolism, Baltimore, The Johns Hopkins Press.

Stabrowska J., 1959, Wzrost roślin na azotanach lub solach amonowych w zależności od stopnia natlenienia podłoża, Acta Soc. Bot. Pol. 28: 589—620.

Strebeyko P., 1932, Wpływ temperatury na fizjologiczną reakcję azotanu amonowego, Roczn. Nauk. Roln. Leśn. 28: 1—14.

Szkolnik M. J., Abduraszitow S. A., 1958, Wlijanije mikroelementow na syntez i pieredwiżenie uglewodow, Fizjołogia rastieni. 5. wyp. 5: 393—399.

Tiedjens V. A. a. Robbins W. R., 1931, The use of ammonia and nitrate nitrogen by certain crop plants, N. J. Agricult. Exper. Stat. Bull. 526.

Trelease S. F. a. Trelease H. M., 1933, Physiologically balanced culture solutions with stable hydrogen-ion concentration, Science 78: 438.

Taylor D. L., 1942, Influence of oxygen tension on respiration, fermentation and growth in wheat and rice, Am. J. Bot. 29: 721—738.

Warburg O., Negelein E., 1920, Über die Reduktion der Salpetesäure in grünen Zellen, Biochem. Z. 110: 66—115.