Znaczenie humianu sodowego w kulturze wodnej w obecności dwutlenku węgla, dwuwęglanów i siarkowodoru w pożywce

*Die Bedeutung des Natriumhumats in der Wasserkultur
in Anwesenheit von Kohlensäure, der Bicarbonate und des
Schwefelwasserstoffs in der Nährlösung*

S. GUMIŃSKI i M. BADUROWA

W roku 1962 donieśliśmy o podobnym działaniu humianu sodowego i wersenianu sodu w kulturach wodnych nie wietrzonych, bądź też w takich kulturach wodnych, w których uprzednio rosły identyczne rośliny (Gumińska, Gumiński i Badura 1962). Następnie przeprowadziliśmy doświadczenia z różnymi dawkami wapnia, magnezu i żelaza w obecności humianu względnie wersenianu i przekonaliśmy się, podobnie jak Czerwiński (praca w druku), że w kulturach nie wietrzonych siewek pomidorów czynnikiem ograniczającym wzrost roślin jest nie tyle tlen co żelazo, i że zarówno humian, jak i wersenian zapobiegają wytrącaniu się osadu fosforanu, względnie wodorotlenku żelaza, umożliwiając w ten sposób życie siewek nie sięgających korzeniami osadu na dnie naczynia (Gumiński, Gumińska i Sulej 1965). Wynik ten jednak nie wyjaśnił korzystnego wpływu kompleksorów w kulturach wodnych roślin rosnących na pożywce, w której poprzednio już wegetowały rośliny.

Celem niniejszej pracy było bliższe zbadanie tego zjawiska przy uwzględnieniu wyników wyżej cytowanych prac.

Biorąc pod uwagę fakt, iż humian zabezpiecza rośliny w kulturach wodnych przed niedostatkiem żelaza, należało zwrócić uwagę przede wszystkim na tego rodzaju „wydzieliny korzeniowe“, które mogłyby utrudniać pobieranie żelaza. Przede wszystkim wchodziłyby zatem w rachubę wodorowęglany (dwuwęglany), na których znaczenie w tym względzie wskazywały badania szeregu autorów: Lindsay i Thorne (1954), Porter i Thorne (1955), Wallihan (1961). Dwutlenek węgla jako bezpośredni produkt oddychania korzeni, a wodorowęglany jako produkt pośredni tego procesu należało oczywiście uznać za najpospolitsze „wydzieliny korzeniowe“, nie obojętne dla wzrostu roślin, zwłaszcza w nie przewietrzanych kulturach wodnych. Drugim ewentualnym czynnikiem, który wzięliśmy pod uwagę mając na względzie kwestię żelaza był siarkowodor. Było rzeczą prawdopodobną, iż w kulturach wodnych zwłaszcza nie przewietrzanych, gaz ten, mogący się wytwarzać przy rozkładzie związków białkowych obumarłych części

korzeni, hamuje wzrost roślin. Ponieważ doświadczenia przeprowadzone ongiś na glonach (Gumiński 1950) wskazywały na to, iż humian może działać ochronnie w obecności siarkowodoru, wydało się rzeczą interesującą zbadanie wpływu humianu na rośliny żyjące w kulturach wodnych, których pożywka zawiera siarkowodor. W doświadczeniach tych zwrócono uwagę nie tylko na wzrost roślin i ewentualne objawy chlorozy, lecz poddano również badaniu stężenie żelaza w górnych warstwach pożywki oraz zawartości żelaza i fosforu w pędach roślin, który to postulat wynikał z wniosków poprzedniej pracy (Gumiński, Gumińska i Sulej (1965) oraz pracy de Kocka i Halla (1955).

METODYKA OGÓLNA

Doświadczenia vegetacyjne przeprowadzano w szklarni na siewkach pomidorów wykiełkowanych w piasku. Po ukazaniu się drugiej pary listków siewki umieszczano w pożywce sporządzonej według Hampe'a (1939)* zmodyfikowanej pod względem składu mikroelementów w ten sposób, iż stosowano tzw. roztwór A-Z Hoaglanda z dodatkiem molidbenianu amonowego. Używano słoików szklanych o pojemności ok. 1400 ml, które wypełniono pożywką tak, aby małe siewki zanurzone były w niej po szyjkę korzeniową.

Humian sodowy otrzymywano z kompostu stereotypowym sposobem, opisywanym w dawniejszych pracach (Gumiński 1950, Gumiński i Gumińska 1953). Roztworu humianu dodawano w ilości odpowiadającej 100 mg suchej masy na litr pożywki mieszając dokładnie roztwór. Siewki wkładano do słoików na drugi dzień po „ustaleniu się” roztworu (po opadnięciu osadu). Rośliny rosły w szklarni przy naturalnym oświetleniu. Stosowano pięć równoległych powtórzeń, przy czym za jedno powtórzenie uważano kulturę trzech roślin w jednym słoju.

Po zakończeniu doświadczenia vegetacyjnego rośliny suszono do stałej wagi i oznaczano osobno ciężar korzeni i pędów. Następnie rozcierano w moździerzu razem pędy z wszystkich powtórzeń danej kombinacji (szeregu doświadczalnego), po czym z tak otrzymanego materiału spalano dwukrotnie po jednym gramie suchej masy mikrometodą według Walkleya (Piper 1957, s. 312). Żelazo oznaczano dwupirydylem po uprzedniej redukcji przy pomocy Na_2SO_3 do postaci dwuwartościowej (Babko i Pilipienko 1955, s. 262).

* Skład używanej pożywki na 1 litr wody wodociągowej:

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	0,71 g
KNO_3	—	0,57 g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	—	0,28 g
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	—	0,14 g
FeCl_3	—	0,11 g
Mikroelementy A—Z	—	1 ml.

Fosfor oznaczano w postaci zespolonego związku molibdeniano-fosforowego przy zastosowaniu redukcji tzw. „metolem“ (Babko i Pilipienko 1955, s. 216).

Kolorymetryczne oznaczenia przeprowadzano przy pomocy fotometru Pulfricha.

Po zakończeniu każdego doświadczenia wegetacyjnego badano ponadto zmianę pH pożywki oraz dokonywano analizy stężenia żelaza w górnej warstwie płynu w głębokości 5 cm. Z pożywek przewietrzanych pobierano próbki w godzinę po ostatnim ich wietrzeniu. Analizę przeprowadzano wyżej podaną metodą.

PRZEBIEG I WYNIKI DOŚWIADCZEŃ

I Doświadczenie z dwuwęglanem sodowym

Schemat doświadczenia widoczny jest z tabeli wyników (tabela 1). Wietrzenie pożywki polegało na dwukrotnym przelewaniu ze słoja do słoja, rano i wieczorem. Dwuwęglanu dodawano w ilości 0,01 g w 1 ml roztworu wodnego na słój codziennie przez 20 dni, począwszy od trzeciego dnia doświadczenia. W sumie do $\pm$ jednego litra pożywki dodano 0,2 g NaHCO_3 (ubytek wody przez transpirację).

W kulturach przewietrzanych rośliny rozwijały się zdrowo i bez różnicy we wszystkich szeregach. W kulturach nie wietrzonych z dodatkiem NaHCO_3 bez humianu rośliny zostały od początku zahamowane we wzroście, pożółkły i wkrótce zupełnie zginęły. Podobnie, chociaż mniej jaskrawe objawy patologiczne wystąpiły w kontrolnych kulturach nie wietrzonych. Humian dał znakomity efekt w kulturach nie wietrzonych i wyraźnie złagodził szkodliwe działanie dwuwęglanu, znacznie zmniejszając chlorozę.

Wyniki liczbowe doświadczenia przedstawione zostały w tabeli 1, wizualne zaś utrwalono na zdjęciach (fot. 1 A, B.)

II Doświadczenie z dwutlenkiem węgla

Ułożono doświadczenie według schematu widocznego w tabeli 2. Porównanie wpływu przepuszczania powietrza przez pożywkę, mechanicznego jej mieszania (bagietką) i przepuszczania przez pożywkę dwutlenku węgla wykazało, iż wzrost siewek jest najlepszy w pierwszym wypadku, najgorszy zaś w ostatnim, nigdzie jednak nie obserwowano chlorozy i w każdym z tych szeregów doświadczalnych wzrost był bez porównania lepszy aniżeli w kulturach, w których pożywka w ogóle nie była mieszana. Humian wywarł znakomity wpływ na wzrost roślin jedynie w tych kulturach, w których pożywka pozostawała nie poruszona, we wszystkich innych natomiast wpływu humianu nie zauważono. Wyniki liczbowe przedstawia tabela 2, obrazuje je fotografia 2 A, B.

Tabela 1 - T a b e l l o 1

Wpływ NaHCO_3 w doświadczeniach z humanem-1 bez humanu-sodu na wzrost siewek pomidorów
Einfluss von NaHCO_3 auf das Wachstum von Tomaten-Sämlingen in Versuchen mit und ohne Natriumbasat

Czas trwania doświadczenia: 25.IV - 20.V.1963 (25 dni - Tagen)

Zeitdauer des Versuches:

Wzrost temperatury w szklarni: 15°C - 27°C

Temperaturschwankungen im Gewächshaus:

	Kombinacja Kombination	Początkowe pH pożywk Anfangs-pH	Końcowe pH pożywk End-pH	Fe+++ w 100 ml w 100 ml pożywk Fe+++ in 100 ml Nährlösung	Sucha masa w g Trockengewicht in g		Fe+++ w 1 g s.m. Fe+++ in 1 g T. G.	P w mg w 1 g suchej masy P in mg in 1 g T. G.	P/Fe
					pedy Sprossen	korzenie Wurzeln			
Przelewane Beifügt durch Umgiessen	+human	6.6	6.55	260	1.2049	0.1781	121.6	2.17	17.8
	-human	6.6	6.85	80	1.4375	0.2150	109.4	2.14	19.5
	+human + NaHCO_3	6.6	7.65	260	1.2302	0.1906	117.6	1.63	13.8
	-human + NaHCO_3	6.6	8.00	60	1.4481	0.2102	119.1	1.94	16.2
	Przedział ufnosol* Vertrauensbereich				0.3209	0.0775			
Nie przelewane Nicht beifügt	+human	6.6	5.80	3	0.5295	0.0995	153.7	1.94	12.6
	-human	6.6	5.80	2	0.1092	0.0270	201.0	2.86	14.2
	+human + NaHCO_3	6.6	6.65	4	0.1533	0.0250	140.0	2.99	21.3
	-human + NaHCO_3	6.6	6.75	2	0.0548	0.0097	138.5	2.74	19.7
	Przedział ufnosol* Vertrauensbereich				0.0415	0.0178			

Do 1 l pożywk wprowadzono w ciągu 20 dni w sumie 0.2 g NaHCO_3
Während 20 Tagen wurde in 1 l der Nährlösung insgesamt 0.2 g NaHCO_3 eingeführt

p = 0,05

T a b e l a 2 - T a b e l l e 2

Wpływ różnych sposobów mieszania pożywk - mechanicznego, przez przepuszczanie CO₂ oraz przez przepuszczanie powietrza
ma wzrost siewek pomidorów

Einfluss drei verschiedener Mischverfahren - mechanisches Mischen, CO₂-Spülung, Luftspülung - auf das Wachstum von Tomaten-Sämlingen in Versuchen
mit und ohne Natriumhumat

Czas trwania doświadczenia: 1.VI - 18.VI.1963 (18 dni - Tagen)

Zeitdauer des Versuches:

Wahania temperatury w szklarni: 20°C - 25°C

Temperaturschwankungen im Gewächshaus:

Sposób mieszania Mischverfahren	Kombinacja Kombination	Początkowe pH pożywki Anfangs-pH	Kokcowe pH pożywki End-pH	Fe+++ w 1 w 100 ml pożywki Fe+++ in 1 in 100 ml Nährlösung	Sucha masa w g Trockengewicht in g		Fe+++ w 1 1 g s.m. Fe+++ in 1 1 g T. G.	P w mg w 1 g suchej masy P in mg in 1 g T. G.	P/Fe
					pędy Sprossen	korzenie Wurzeln			
Mechaniczne Mechanisch	+humian -humian	6.5 6.5	6.32 7.00	220 19	1.1202 1.4560	0.2051 0.3023	196.9 217.3	2.36 2.18	11.9 10.0
Przepuszczanie CO ₂ CO ₂ -Spülung	+humian -humian	6.5 6.5	5.30 5.20	27 14	0.8153 0.7400	0.1810 0.1629	127.8 125.9	1.73 1.64	13.5 13.0
Powietrzem Luftspülung	+humian -humian	6.5 6.5	7.56 7.56	110 12.6	1.7188 1.6103	0.3206 0.2723	114.5 138.9	1.72 1.93	15.0 13.8
Nie mieszane Nicht gemischt	+humian -humian	6.5 6.5	6.03 5.72	8 2	1.6182 0.3589	0.3326 0.0730	104.0 115.4	1.94 2.13	18.6 18.4
Przedział ufnosci Vertrauensbereich *					0.0448	0.0182			

Powietrze względnie CO₂ przepuszczano przez pożywkę 2 razy dziennie przez 10 minut.
Die Luft bzw. Kohlendioxyd wurde 2 mal täglich während 10 Minuten durchgepumpt.

*p = 0,05

Fot. 1. A, B. Wpływ NaHCO_3 na wzrost siewek pomidorów; A. W pożywce nie przelewanej; B. W pożywce przelewanej

A.1. +humian + NaHCO_3 ; 2. —humian + NaHCO_3 ; 3. +humian — NaHCO_3 ; 4. —humian — NaHCO_3 ;
B.5. +humian + NaHCO_3 ; 6. —humian + NaHCO_3 ; 7. +humian — NaHCO_3 ; 8. —humian — NaHCO_3

Einfluss von NaHCO_3 auf das Wachstum von Tomaten-Sämlingen in Versuchen mit und ohne Natriumhumat A. Nährlösung nicht belüftet; B. N. belüftet

Fot. 2. A, B. Wpływ różnych sposobów mieszania pożywek na wzrost siewek pomidorów

A. Przepuszczanie powietrza: 1. +humian, 2. —humian; przepuszczanie dwutlenku węgla: 3. +humian, 4. —humian. B. Mieszanie pałeczką: 5. +humian, 6. —humian; nie mieszano w ogóle: 7. +humian, 8. —humian

Einfluss verschiedener Mischverfahren auf das Wachstum von Tomaten-Sämlingen in Versuchen mit und ohne Natriumhumat

A. Luftspülung: 1 +Humat; 2. —Humat + CO_2 -Spülung; 3. +Humat, 4. —Humat; B. Mechanisch: 5. +Humat; 6. — Humat; nicht gemischt; 7. +Humat; 8. —Humat

III Doświadczenie z siarkowodorem

W doświadczeniu tym stosowano siarkowodor w postaci wody siarkowodorowej, nie przepuszczając gazu przez pożywkę. Pozwoliło to uniknąć dodatkowego mieszania pożywki, który to czynnik wystąpił

Fot. 3. A, B. Wpływ H_2S na wzrost siewek pomidorów; A. W pożywce przelewanej; B. W pożywce nie przelewanej

A.1. —humian — H_2S ; 2. +humian — H_2S ; 3. —humian + H_2S ; 4. +humian + H_2S ; B.5. — humian — H_2S ; 6. +humian — H_2S ; 7. —humian + H_2S ; 8. +humian + H_2S

Einfluss von H_2S auf das Wachstum von Tomaten-Sämlingen in Versuchen mit und ohne Natriumhumat A. Nährlösung belüftet; B. N. nicht belüftet

T a b e l a 3 - T a b e l l e 3

Wpływ H_2S w doświadczeniach z huminem- i bez huminu-sodu na wzrost stewek pomidorów
Einfluss von H_2S auf das Wachstum von Tomaten-Sämlingen in Versuchen mit und ohne Natriumhumat

Czas trwania doświadczenia: 5.IX - 26.IX.1963 (21 dni - Tagen)

Zeitdauer des Versuches:

Wahania temperatury w szklarni:

$19^{\circ}C - 26^{\circ}C$

Temperaturschwankungen im Gewächshaus:

	Kombinacja Kombination	Początkowe pH pożywki Anfangs-pH	Końcowe pH pożywki End-pH	Fe ⁺⁺⁺ w 100 ml pożywki Fe ⁺⁺⁺ in 100 ml Nährlösung	Sucha masa w g Trockengewicht in g		Fe ⁺⁺⁺ w 1 g suchej masy Fe ⁺⁺⁺ in 1 g T. G.	P w mg w 1 g suchej masy P in mg in 1 g T. G.	P/Fe
					pedy Sprossen	korzenie Wurzeln			
Przelewane Beitfütet durch Umgiessen	+humian	6.6	6.96	233	1.4*40	0.2607	99.8	1.95	19.5
	-humian	6.6	7.40	50	1.8206	0.2855	118.5	1.81	15.2
	+humian + H_2S	6.6	4.88	210	0.6045	0.1473	123.1	1.19	9.6
	-humian + H_2S	6.6	4.48	120	0.5462	0.1220	113.4	1.06	9.3
	Przedział ufronoci Vertraubsbereich*				0.0415	0.0379			
Nie przelewane Nicht beifütet	+humian	6.6	6.84	2	0.9900	0.1928	109.7	2.31	21.0
	-humian	6.6	7.32	1	0.2127	0.0397	189.1	2.89	15.2
	+humian + H_2S	6.6	4.32	22	0.3705	0.1045	131.7	1.20	9.1
	-humian + H_2S	6.6	4.09	12.6	0.1649	0.0415	177.5	1.27	7.1
	Przedział ufronoci Vertraubsbereich*				0.0149	0.0091			

Do słoja wprowadzono w ciągu 15 dni w sumie 30 ml wody siarkowodorowej

Während 15 Tagen wurde in 1 Versuchsglas mit Nährlösung insgesamt 30 ml Schwefelwasserstoff eingeführt

*p = 0,05

w doświadczeniu poprzednim, gdy przepuszczano strumień dwutlenku węgla przez pożywkę. Wodę siarkowodorową dodawano codziennie po 2 ml na słój począwszy od szóstego dnia od założenia doświadczenia. W sumie dodano 30 ml nasyconego wodnego roztworu H_2S na jeden słój.

Siarkowodor hamował wzrost roślin bardzo silnie, nie powodował jednak chlorozy; przeciwnie w kulturach nie przewietrzanych (nie poruszanych) przeciwdziałał chlorozie. Humian znakomicie ratował rośliny w kulturach nie przewietrzanych bez siarkowodoru, natomiast działanie ochronne humianu w stosunku do siarkowodoru było zaledwie zaznaczone i zauważyć się dało także w kulturach przewietrzanych. Liczbowe wyniki i dane doświadczenia zawiera tabela 3, obrazując doświadczenia fotograficznie 3 A, B.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Przegląd wartości pH na końcu doświadczenia wskazuje, iż zakwaszenie pożywki następowało zwykle tam, gdzie rośliny były silnie hamowane we wzroście, ponadto zakwaszającą działała woda siarkowodorowa, a także dwutlenek węgla; przeciwnie, a więc alkalinizującą wpływał dwuwęglan sodowy. Jednakże szkodliwy wpływ tych substancji nie może być tłumaczony zmianą pH środowiska, co szczególnie wyraźnie widać na przykładzie nie wietrzonych kultur z dodatkiem $NaHCO_3$, a także przy porównaniu kultur nie przewietrzanych i „przewietrzanych” dwutlenkiem węgla. Podobnie też nie można tłumaczyć ochronnego działania humianu wpływem tej substancji na odczyn podłoża, gdyż dodatek 100 mg na litr pożywki nie zmienia jej odczynu bardziej aniżeli o 0,2 pH; różnice odczynu pożywki na końcu doświadczenia w odpowiednich kombinacjach bez humianu i z humianem powodowane są wpływem gorzej lub lepiej rosnących roślin, a nie działaniem chemicznym humianu, są więc skutkiem, a nie przyczyną różnic we wzroście roślin.

Wyniki analiz stężenia żelaza w górnych warstwach pożywki wskazują, że zarówno dwuwęglan sodowy, jak i gazowy dwutlenek węgla obniżają stężenie żelaza w górnej warstwie pożywki, humian zaś wyraźnie przeciwdziała temu zjawisku. Szczególnie dobrze jest to widoczne w pożywkach wietrzonych (mieszanych), w których próbki do analizy pobierano w godzinę po ostatnim mieszaniu roztworu. Natomiast siarkowodor (woda siarkowodorowa) przyczyniał się poważnie do podtrzymywania znacznych ilości żelaza w nie poruszanej pożywce i w tym sensie działanie siarkowodoru nakładało się z działaniem humianu.

Cyfry podane w kolumnach tabel, dotyczących suchej masy roślin, stanowią ilościową dokumentację wizualnych wyników doświadczeń opisanych w poprzednim rozdziale. Jeżeli zważy się na ochronne działanie

humianu w stosunku do zjawiska strącania żelaza w roztworze, to korzystny wpływ substancji próchnicznych na wzrost roślin w obecności dwuwęglanów wydaje się zrozumiały. Występuje on silnie w kulturach nie wietrzonych (nie poruszanych), zanika natomiast przy mieszaniu (przelewaniu) pożywki, gdyż w tym ostatnim wypadku korzenie nie cierpią bynajmniej na brak żelaza. Przy przepuszczaniu gazowego dwutlenku węgla zjawisko utrudniania pobierania żelaza przez rośliny jest maskowane przez mieszanie pożywki banieczkami gazu, a być może i przez zakwaszanie pożywki. Te czynniki uboczne ułatwiając zaopatrywanie się rośliny w żelazo tym samym zapewne spowodowały zanik korzystnego wpływu humianu. Na istnienie tak rozumianych korelacji wskazywało bardzo wymownie zjawisko chlorozy. Występowała ona zawsze i wyłącznie w tych kulturach, w których pożywka nie była w żaden sposób mieszana, a szczególnie szybko i jaskrawo przy dodatku dwuwęglanu. Równocześnie można było stwierdzić, że w doświadczeniach z dwuwęglanem oraz z gazowym dwutlenkiem węgla korzystny wpływ humianu na wzrost roślin występował jedynie wtedy, gdy pożywki nie poruszano, przy czym humian zapobiegał równocześnie zjawisku chlorozy.

W doświadczeniach z siarkowodorem interpretacja wyników jest trudniejsza. Dodatek wody siarkowodorowej do pożywki hamował wzrost roślin nie tylko w kulturach nie wietrzonych, lecz także w wietrzonych (przez przelanie pożywki). Siarkowódór nie wywoływał chlorozy, przy czym jak wyżej wspomniano, powodował utrzymanie się znacznych ilości żelaza w roztworze pożywki. Hamowania wzrostu roślin nie można zatem tłumaczyć utrudnianiem pobierania żelaza przez rośliny. W związku z kwestią żelaza zapewne ochronne działanie humianu w kulturach nie wietrzonych wystąpiło silniej w szeregu doświadczalnym bez siarkowodoru aniżeli z siarkowodorem. Jednakże nie można powiedzieć, aby humian nie spełniał żadnej roli ochronnej przeciwko szkodliwemu działaniu siarkowodoru. Zarówno w kulturach wietrzonych, jak i nie wietrzonych sucha masa roślin w kombinacjach siarkowódór + humian jest większa aniżeli w kombinacjach z samym siarkowodorem. Mając na uwadze, że w kombinacjach siarkowodorowych nie mamy do czynienia z brakiem żelaza w pożywce, nawet gdy się jej nie miesza, i że zahamowane we wzroście rośliny nie są chlorotyczne, musimy korzystny wpływ humianu w obecności siarkowodoru tłumaczyć inaczej aniżeli w obecności węglanów. Nasuwa się przypuszczenie, że humian wiąże chemicznie lub fizykochemicznie pewne ilości siarkowodoru, przy czym związek ten byłby dla rośliny mniej szkodliwy aniżeli wolny siarkowódór względnie tworzące się w pożywce siarczki metali.

Pewne światło na omawiane w tej pracy zagadnienie rzucają wyniki analiz zawartości żelaza i fosforu w suchej masie pędów. Analizowano jedynie pędy wychodząc z założenia, że zawartość żelaza w korzeniach

jest złudna, gdyż — jak to wykazał Czerwinski (praca w druku) — znaczna ilość żelaza wytrąca się na powierzchni korzeni, przy czym płukanie wodą nie usuwa tego osadu.

W doświadczeniach z węglanem i dwutlenkiem węgla nie znaleziono korelacji pomiędzy zawartością żelaza w pędach i hamowaniem wzrostu oraz chlorozą roślin kultur nie wietrzonych. Także i zawartość fosforu w pędach oraz stosunek żelaza do fosforu nic tutaj nie mówi. Wyniki te stoją w pozornej sprzeczności z wynikami de Kocka (1955), który znalazł, że dla chlorozy powodowanej niedostatkami żelaza charakterystyczne jest podwyższanie stosunku P/Fe w liściach roślin. Trzeba jednak pamiętać, że nasze analizy dotyczą chlorotycznych roślin o daleko zaawansowanych objawach patologicznych; niedostatek żelaza zahamował u nich całkowicie wzrost oraz zapewne powstrzymał także pobieranie soli mineralnych, jak to wykazał w podobnych warunkach Czerwinski (praca w druku). Bardziej interesujący jest wynik analiz w obecności humianu, z których wynika, że humian nie powoduje akumulacji żelaza w roślinach, i nie zmienia stosunku P/Fe, a jedynie uprzystępnia żelazo w pożywce, a raczej chroni je przed wypadaniem z roztworu jeżeli to zjawisko zagraża.

Natomiast obecność siarkowodoru podwyższała zawartość żelaza w pędach oraz wyraźnie obniżała zawartość fosforu tak, że stosunek P/Fe został pod wpływem H_2S znacznie obniżony. Wystąpiło przy tym silne zazielenienie się roślin, co potwierdza mniemanie de Kocka o znaczeniu stosunku P/Fe dla poziomu chlorofilu w liściach. Można wysunąć sugestię, że siarkowodor specyficznie hamuje pobieranie fosforanów przez rośliny. Działanie humianów w tym wypadku jest niejasne.

Zbierając razem wyniki przedstawionych doświadczeń próbujemy odpowiedzieć na pytanie stanowiące istotę dociekań, a mianowicie, czy można dwuwęglany względnie dwutlenek węgla oraz siarkowodor uważać za te „wydzieliny korzeniowe“, które hamują wzrost roślin powodując jednocześnie ich chlorozę, a przeciw którym humian działa ochronnie? Na tak sformułowane pytanie odpowiedź wypada twierdząco co do dwuwęglanów, a zatem pośrednio i co do dwutlenku węgla, natomiast negatywnie co do siarkowodoru. Trzeba przy tym zauważyć, iż humian wykazał pewne działanie ochronne także i przeciw siarkowodorowi, jednakże nie jest to związane ze zwalczaniem chlorozy, której obecność siarkowodoru nie powoduje. O ile korzystny wpływ humianu w obecności dwuwęglanów związany jest z zabezpieczeniem przez humian dostępnego dla roślin żelaza, to w wypadku obecności siarkowodoru mechanizm działania humianu jest inny.

Na zakończenie wypada powiedzieć, że stwierdzenie ochronnego działania humianu przed szkodliwym działaniem dwuwęglanów stanowić może pomost pomiędzy teorią „oddechową“ działania związków próchnicznych oraz tłumaczeniem tego działania przy pomocy jego właściwo-

ści kompleksotwórczych. Wystarczy tutaj zacytować pracę Millera i Evansa (1956), z której wynika, iż dwuwęglany są inhibitorami oksydazy cytochromowej, a więc enzymu zawierającego żelazo jako istotny składnik.

*Katedra Fizjologii Roślin
przy Uniwersytecie Wrocławskim
Wrocław, ul. Kanonia 6/8*

(Wpłynęło: dn. 14.9.1964 r.)

Zusammenfassung

Anschliessend an die früheren Arbeiten (Gumińska u. a. 1962, Gumiński u. a. 1965) wurde versucht das Phänomen der günstigen Wirkung des Na-Humats in Wasserkulturen, deren Nährlösung schädliche „Wurzelausscheidungen“ enthält, zu klären.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Wirkung des Humats im Wesentlichen auf der Stabilisierung des Eisens in gelöstem Zustande beruht (Gumiński u. a., 1965), wurden (Wasserkulturversuche mit solchen Substanzen durchgeführt, die als eisenbindende „Wurzelausscheidungen“ bezeichnet werden könnten; also mit Kohlensäure, Bicarbonaten und Schwefelwasserstoff. Als Versuchspflanzen dienten Tomaten-Sämlinge.

Das Kohlendioxyd wurde zweimal täglich 10 Minuten durch die Nährlösung gepumpt; als Kontrollversuche dienten einerseits Kulturen deren Nährlösung in derselben Weise mit einem Luftstrom versorgt wurde und andererseits gar nicht belüftete Wasserkulturen; darüber hinaus in einer Reihe von Kulturen wurde die Nährlösung mit einem Glasstab zweimal täglich gemischt.

Das Natriumbicarbonat wurde täglich in einer Menge von 0,01 g pro Liter Nährlösung den Wasserkulturen zugefügt, insgesamt 0,2 g NaHCO_3 pro Liter. Eine Hälfte der Kulturen wurde zwei mal täglich gelüftet (durch umgiessen der Gefässe), die andere blieb unbelüftet.

Der Schwefelwasserstoff wurde in Form von Schwefelwasserstoffwasser in einer Menge von 2 ml gesättigter Lösung täglich pro Liter Nährlösung zugefügt (insgesamt 30 ml pro Liter); auch in diesem Vegetationsversuch war eine Hälfte der Kulturen belüftet, während die andere unbelüftet blieb.

Nach einige Wochen dauernder Vegetation ergaben sich folgende Resultate:

Die Durchlüftung der Nährlösung mit Kohlendioxyd erwies sich so gut wie unschädlich; die Pflanzen blieben grün und wuchsen in diesen Kulturen fast so gut wie in den mit Luft versorgten, es wurde dabei auch keine Wirkung des Humats bemerkt (Tab. 2, Fot. 2 A, B). Dagegen aber in den nicht gelüfteten (und nicht gemischten) Kulturen und vor allem mit Zugabe von NaHCO_3 waren die Pflanzen in ihrem Wachstum stark gehemmt (oder gar gestoppt) und zugleich auffallend chlorotisch. In solchen Kulturen wirkte das Humat ausserordentlich günstig. Chemische Analysen der Nährlösungen ergaben also, dass das Bicarbonat die Fällung des Eisens beschleunigt, während das Humat dies verhindert (Tab. 1, Fot. 1 A, B).

In Anwesenheit von Schwefelwasserstoff in der Nährlösung waren die Pflanzen in ihrem Wachstum gehemmt, blieben aber intensiv grün. Die Wirkung des Humats auf das Wachstum dieser war bemerkbar, blieb aber gegenüber denen mit NaHCO_3 stark zurück. Entsprechende Analysen der Nährlösungen ergaben, dass der Schwefelwasserstoff die Fällung des Eisens in der Nährlösung verhinderte und das Verhältnis P/Fe in den Sprossen der Tomaten verkleinerte (Tab. 3, Fot. 3 A, B).

Diese Resultate werden nun folgendermassen interpretiert: In den nicht gelüfteten Wasserkulturen wird das Eisen wegen der Fällung entweder mit Phosphat-Ionen oder aber mit Hydroxyl-Ionen zum Minimumfaktor. Dies wird durch die Wirkung der Bicarbonate beschleunigt, daneben erschweren die Bicarbonate die Eisenaufnahme durch die Pflanzenwurzeln spezifisch (Wallihan 1961, Lindsay u. Thorne 1954, Porter u. Thorne 1955). Dagegen aber in Anwesenheit von Na-Humaten wird die Pflanze besser mit dem Eisen versorgt. Bei der Durchlüftung der Nährlösung mit CO_2 wird diese stark gemischt, die kurzen Wurzeln der jungen Pflanzen verfügen deshalb über Eisensalze und die schädliche Wirkung der Kohlensäure kommt nicht zu Tage; deswegen wirkt auch das Humat nicht.

Die schädliche Wirkung des Schwefelwasserstoffs beruht nicht auf einer Verminderung der Eisenaufnahme und die schwache günstige Wirkung der Humats erscheint in diesem Falle unklar.

Schliesslich wird vermutet, dass die eigentlichen „Wurzelausscheidungen“, die das Wachstum der Pflanzen hemmen und welche mit Na-Humat bekämpft werden können, sind die Bicarbonate.

LITERATURA

- Babko A. K. i Pilipienko A. T., 1955, Analiza kolorymetyczna, Warszawa, P.W.T.
- Czerwiński W. (w druku), Porównanie wpływu humianu sodowego na wzrost roślin oraz pobieranie przez korzenie soli mineralnych w kulturach wodnych.
- Czerwiński W. (w druku), Znaczenie humianu sodowego w kulturach wodnych pod kątem widzenia czynnika minimum.
- De Kock P. C. and Hall A., 1955, The phosphorus-iron relationship in genetical chlorosis, *Plant. Physiol.* 30:293—295.
- Gumiński S., 1950, Badania nad warunkami i mechanizmem działania związków próchnicznych na organizm roślinny, *Acta Soc. Bot. Polon.* 20:589—620.
- Gumiński S. i Gumińska Z., 1953, Chemiczne podstawy podobnego działania fizjologicznego próchnicy oraz wyciągów wodnych z liści niektórych gatunków roślin, *Acta Soc. Bot. Polon.* 22:771—785.
- Gumiński S., Gumińska Z. and Sulej J., 1965, Effect of humate, agar-agar and EDTA on the development of tomato seedlings in aerated and non aerated water cultures, *J. Exper. Bot.* (in press).
- Gumińska Z., Gumiński S. und Badura L., 1962, Über die direkte und indirekte Wirkung der Humusverbindungen auf den pflanzlichen Organismus. Vorläufige Mitteilung, *Acta Soc. Bot. Polon.* 31:265—268.
- Hampe P., 1938, Les solutions nutritives pour cultures dans l'eau, *Jardinage* 26(228):23—28.
- Lindsay W. L. and Thorne D. W., 1954, Bicarbonate ion and oxygen level as related to chlorosis, *Soil Sci.* 77:271—279.
- Miller G. W. and Evans H. J., 1956, Inhibition of plant cytochrome oxidase by bicarbonate, *Nature* 178:974—976.
- Piper C. S., 1957, Analiza gleby i roślin, PWN, Warszawa.
- Porter L. K. and Thorne D. W., 1955, Interrelation of carbon dioxide and bicarbonate ions in causing plant chlorosis, *Soil Sci.* 79:373—382.
- Wallihan E. F., 1961, Effect of sodium bicarbonate on iron absorption by orange seedlings, *Plant Physiol.* 36:52—53.