

*Jan Borkowski
Instytut Warzywnictwa w Skierniewicach*

Wzrost i plonowanie pomidorów w warunkach niedoboru miedzi

Wstęp

Od co najmniej 60 lat miedź jest uznana za mikroelement niezbędny do rozwoju roślin [27, 37, 41]. W tym też czasie stwierdzono, że gleby torfowe także nadają się pod uprawę zbóż i innych roślin, jeżeli je nawozić siarczanem miedzi lub innymi nawozami zawierającymi miedź [27, 37], a dalsze badania to potwierdziły [6, 26, 32, 39]. Miedź w torfie występuje często w znacznych ilościach, ale jest ona często silnie związana z kwasami huminowymi i przez to jest nieprzyswajalna dla roślin [26]. Miedź w Polsce jest tym mikroelementem, któremu poświęca się najczęściej uwagi [29].

W niniejszej pracy omawiano zależność między zawartością miedzi w liściach a plonem pomidorów uprawianych na torfie oraz zależność między niedoborem miedzi a zawartością w liściach pomidora proliny (aminokwas stresu). To zagadnienie może mieć w przyszłości duże znaczenie nie tylko dla praktyki ogrodniczej, ponieważ badania, które wykazują, że miedź zwiększa odporność roślin na suszę, mają duże znaczenie gospodarcze dla całego rolnictwa. Wykazano bowiem, że aż 42,5% gleb i 52,6% próbek liści pszenicy w Polsce ma niską zawartość miedzi [20]. Myszką i Kaczor [28] podali że, aż 66,6% badanych próbek liści ziemniaków wykazało zawartość tego mikroelementu poniżej optimum.

Wrażliwość pomidorów w stosunku do innych roślin na niedobór miedzi i jej zawartość w liściach

Przyjmuje się, że większość gatunków zbóż wykazuje niedobór miedzi, gdy jej zawartość w liściach spada poniżej 4,0 mg Cu/kg s.m. liści [6]. Dla owsa tę graniczną zawartość określono na 3,0 mg Cu/kg s.m. liści [33]. Jeszcze większą odporność na niedobór miedzi wykazuje żyto [17]. Buraki wykazują już niedobór miedzi, gdy jej zawartość w liściach wynosi 5 mg Cu/kg s.m. [26], odnośnie ziemniaków mówi się o

niedoborze tego mikroelementu, gdy jego zawartość w liściach spada poniżej 5,0 mg Cu/kg s.m. liści [28].

Hewitt i in. [23], badając wiele gatunków roślin uprawnych, stwierdzili wysoką wrażliwość pomidorów na niedobór miedzi.

Fernandes i Henriques [16] w pracy przeglądowej podali, że nie spotyka się roślin, które wykazywałyby niedobór miedzi przy zawartości powyżej 6 mg Cu/kg s.m. liści. Jednak wyniki analiz innych badaczy wykazują, że takie rośliny występują pospolicie i należą do nich pomidor [11, 13, 14, 15, 25, 32] oraz słonecznik [31, 47].

Lamb i Conroy [25] podają, że pomidory dobrze plonujące zawierają w liściach 14–15 mg Cu/kg s.m., ale mogą także zawierać 44 mg Cu/kg s.m. Adams i in. [1] podają, że pomidory dobrze plonujące zawierają w liściach 8–11 mg Cu/kg s.m. lub 8–15 mg Cu/kg s.m. [22]. Rahimi i Bussler [31] podają, że liście pomidorów nie wykazujących niedoboru Cu miedzi zawierają średnio 13,7 mg Cu/kg s.m. W pracy Starcka i in [39] maksymalna zawartość miedzi w liściach wynosiła 9,1 mg Cu/kg s.m., ale badano tam zawartość miedzi w liściach górnych, w których poziom tego mikroelementu bywa niższy niż w dolnych [30, 31].

Na uwagę zasługują dane Tyksińskiego [43], który dwa razy pobierał dolne oraz górne liście do analiz i stwierdził, że w górnych liściach pomidorów nawożonych miedzią zawartość tego mikroelementu wynosiła 10,5–15,8 mg Cu/kg s.m., natomiast w dolnych liściach odnośne dane wynosiły 8,1–9,6 mg Cu/kg s.m. Tę rozbieżność wyników tłumaczy praca Gumińskiej i in. [21], która podaje, że zapotrzebowanie na miedź u pomidorów zwiększa się wraz z intensywnością światła i może być ono 10 razy wyższe w lecie niż w zimie przy skrajnym niedoborze światła. Potwierdziły tę zależność ostatnie badania [15]. Wykazano w nich, że liście pomidorów w listopadzie, choć zawierały tylko 5,8 mg Cu/kg s.m., to jednak rośliny nie odczuwały braku miedzi, którego objawy wystąpiły w dużym nasileniu we wrześniu, to jest 2 miesiące wcześniej. Natomiast w uprawie wiosennej — w maju, czerwcu i lipcu — przy nieco wyższej zawartości miedzi w liściach, rośliny wykazywały niedobór tego mikroelementu, reagując na to obniżką plonu i osłabieniem wzrostu [11, 12, 13, 14, 15]. Należy zaznaczyć, że u pszenicy także stwierdzono mniejszą zawartość miedzi w liściach, które rozwinęły się jesienią lub wczesną wiosną, niż w liściach, które rozwinęły się w późniejszym okresie [24].

Po opryskiwaniu pomidorów retardantem Sumi 7, który nie zawiera miedzi, stwierdzono na roślinach objawy ostrego niedoboru miedzi, chociaż jej zawartość w liściach wynosiła aż 25 mg Cu/kg s.m. [10, 11, 15]. W tym przypadku rośliny były najniższe i wydały najniższy plon, a wierzchołek pędu głównego był na każdej roślinie charakterystycznie zaschnięty [14]. Podobne wyniki odnośnie zawartości Cu otrzymano także pod wpływem CCC, czyli Antywylegacza płynnego 60 [10, 11, 12, 13], który jest polecany do traktowania rozsady pomidorów, żeby zapobiec jej nadmiernemu wyciąganiu się [8, 9].

Otrzymane wyniki [15] wykazały, że retardant Sumi 7 (substancja czynna — unikonazol) przyspiesza pobieranie miedzi przez pomidory, ale jednocześnie zwiększa zapotrzebowanie na ten mikroelement. Działanie Antywylegacza jest w tym wypadku znacznie słabsze niż Sumi 7.

Objawy niedoboru miedzi u pomidorów

Przy uprawie pomidorów w hydroponiku lub na wełnie mineralnej przy niedoborze miedzi zmienia się barwa liści na niebieskozieloną i zwijają się one rurkowato do góry, jest to powiązane z zahamowaniem wzrostu pędów [30, 32, 48]. Natomiast pierwszym objawem niedoboru miedzi na pomidorach rosnących w torfie lub glebie mineralnej jest lekkie więdnienie wierzchołków roślin w południe podczas słonecznej pogody, później następuje trwałe więdnienie liści [1, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 23, 27]. Poza więdnieniem pędów pomidorów, wywołanym niedoborem miedzi, obserwuje się ciemnozieloną lub niebieskozieloną barwę liści.

Często producenci nie łączą więdnienia wierzchołków roślin lub zwijania się liści z niedoborem miedzi, lecz tłumaczą to zjawisko niedoborem wody lub wystąpieniem chorób grzybowych korzeni pomidorów, np. korkowaceniem wywołanym przez *Pyrenochaeta lycopersici*, kiedy to więdnienie roślin także występuje (obserwacje autora pracy).

Należy dodać, że nie tylko u pomidora niedobór miedzi objawia się więdnieniem liści. Już 40 lat temu podobne objawy były znane u tytoniu oraz marchwi i występowały w większym nasileniu podczas suszy [27]. Szkolnik [41] podał, że miedź zwiększa odporność na suszę.

Rahini i Bussler [31] stwierdzili, że ostry niedobór miedzi ogranicza wzrost masy korzeni różnych roślin (w tym także pomidora), ale inni badacze tego nie potwierdzają [30, 33, 47]. Można tylko mówić o zahamowaniu wzrostu korzeni mniejszym niż wzrostu pędu.

Według cytowanych prac, nadmiar tego mikroelementu hamuje istotnie wydłużanie się korzeni oraz w mniejszym stopniu ogranicza ich masę. Prawdopodobnie wpływ miedzi na gospodarkę wodną wynika z faktu, że przy niedoborze tego mikroelementu wiązki przewodzące nie wykształcają się normalnie, czego następstwem są trudności w przenikaniu wody do wierzchołków pędów. Sugerują to badania Weryszko-Chmielewskiej [46], która wykazała u pszenicy i łubinu, że przy niedoborze miedzi ścianki rurek naczyniowych są słabo wykształcone, nie zdrewniałe i dlatego bywają zgniatanie przez sąsiednie tkanki.

Przy długotrwałym niedoborze miedzi [6, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 23, 25, 30, 48] następuje u pomidorów trwałe zwiędnięcie liści, co łączy się z żółknięciem ich końców, powstaniem nekroz i zahamowaniem wzrostu, kwitnienia oraz wiązania owoców. W tym przypadku spadek plonów owoców może wynosić nawet do 80%

[13, 14, 15]. Jeżeli od początku wegetacji rośliny rozwijają się przy ostrym niedoborze miedzi, to wówczas w ogóle nie wytwarzają owoców [18, 23, 30], ponieważ niedobór tego mikroelementu hamuje rozwój generatywny roślin [6, 23, 29, 31, 33, 34, 46], a podczas kwitnienia powoduje sterylność pyłku [33, 34, 46].

Niektórzy badacze podają, że zwijanie się w rurki listków w dolnych liściach pomidorów także dowodzi niedoboru miedzi [7, 48]. To zjawisko łączy się z wygięciem ogonków liściowych do dołu. Zdaniem autora tej publikacji — opisane zjawisko jest w Polsce dość pospolite szczególnie w ogródkach działkowych. Należy podkreślić, że obfite nawożenie azotem zwiększa niedobór miedzi [6, 17, 26, 41].

Jak już wspomniano na początku niniejszej pracy — na około 50% badanych plantacji pszenicy i ziemniaków analizy wykazały niedobór miedzi [20, 28]. Ponieważ pomidory należą do roślin wymagających obfitego zaopatrzenia w miedź, należy przypuszczać, że niektóre polowe plantacje tych roślin także wykazują niedobór tego mikroelementu, szczególnie w lata upalne i suche. Dotyczy to szczególnie upraw pod osłonami, co potwierdzają wyniki doświadczeń przeprowadzonych w terenie przez Ośrodek Doradztwa Rolniczego w rejonie Sandomierza. Stwierdzono w nich, że opryskiwania 1,5-procentowym Ekolistem (nawóz dolistny z dużą zawartością miedzi) mogą zwiększyć o 33% plon pomidorów w uprawach pod folią i w polu, gdzie zaobserwowano wędnięcie roślin. Musi to być jednak preparat świeży, w którym miedź nie wytrąciła się na dnie pojemnika, co ma zwykle miejsce w partii preparatu wyprodukowanego przed 2–3 lata i wcześniej nie zużytego. Miedzian 50, który zawiera 50% tlenochlorku miedzi, okazał się mniej skuteczny niż Ekolist, co wykazały wyniki ostatnich badań [11, 13]. Prawdopodobnie miedź z tlenochlorku miedzi jest trudniej włączana w metabolizm roślin niż miedź z Ekolistu i siarczanu miedzi.

Wpływ niedoboru miedzi na zawartość proliny

Liczni badacze [2, 3, 4, 5, 35, 36, 40, 44, 49, 50] podają, że przy długotrwałym niedoborze wody następuje w roślinach akumulacja proliny, która jest aminokwasem stresu. Jej zawartość w liściach podczas suszy może się zwiększyć ponad 100 razy [50]. Rolą proliny jest prawdopodobnie łagodzenie ujemnych skutków deficytu wody w roślinie przez ochronę białek enzymów przed ich odwodnieniem [36]. Prolina może też pełnić funkcję metabolitu adaptacyjnego [2] lub funkcję osmoregulacyjną [40, 44], ułatwiającą wzrost elongacyjny komórek podczas suszy [44].

Aloni i Rosenshtein [2] podają, że dzikie gatunki pomidora *Lycopersicon peruvianum* i *L. pennellii* (synonim *Solanum pennellii*), odporne na suszę, mniej gromadzą proliny niż pomidor uprawny *L. esculentum*. Badacze ci nie podlewali przez 7 dni ośmiu odmian pomidorów uprawnych w szklarni i wówczas badali w młodych liściach zawartość proliny. Stwierdzili, że nie ma wyraźnej zależności między zawartością tego aminokwasu a odpornością odmian na suszę (tab. 1) wyrażoną dynamiką wzrostu

Tabela 1. Reakcja różnych odmian pomidorów na suszę trwającą 7 dni [2]

Odmiana	Zawartość proliny podczas suszy [$\mu\text{mol/g}$ św.m.]	Świeża masa roślin 2 tygodnie po okresie suszy w kontroli [%]	
		pędy	korzenie
Hosen	21,5	100	94
S – 5 ¹	20,0	93	117
366	19,0	126	132
Faculty – 16	24,5	118	127
Pakmor ¹	14,0	96	135
1970 ²	13,0	96	107
LX – 11 ¹	18,0	126	130
475 ²	10,0	77	96

¹ Liście do końca doświadczenia były krótsze niż w kontroli. ² Liście na końcu doświadczenia były dłuższe niż w kontroli. Kontrola zawierała 0,08–0,24 $\mu\text{mol/g}$ świeżej masy.

tych roślin. Odmiany z niską zawartością proliny były raczej wrażliwsze na suszę, biorąc pod uwagę wzrost masy pędów roślin nie podlewanych w stosunku do masy pędów roślin kontrolnych. Natomiast biorąc pod uwagę masę korzeni poszczególnych odmian, to nie stwierdzono nawet żadnej tendencji. Na 8 badanych odmian, tylko u 3 zawartość proliny wynosiła co najmniej 20 $\mu\text{mol/g}$, czyli 2,3 mg/g św.m. U jednej z odmian (nr 475) zawartość proliny w liściach wynosiła tylko 10 $\mu\text{mol/g}$ św.m., co dowodzi, że zawartość tego aminokwasu w roślinie zależy w dużym stopniu także od odmiany. Według Yanga i in. [49], rośliny gromadzące w swoich komórkach dużo proliny są bardziej odporne na stres.

Bandurska [3] w swej pracy przeglądowej podaje, że podczas stresu wodnego ilość nagromadzonej proliny zależy nie tylko od gatunku rośliny, ale także od odmiany, temperatury, intensywności światła oraz nawożenia potasem. Prolina w roślinie powstaje głównie drogą syntezy z glutaminianu, a tylko 15% z rozkładu białek. Jej zawartość szybko spada, gdy działanie stresu ustaje. Jednak u odmiany pomidorów LX-11 jeszcze 10 dni od momentu, jak zanikł stres wodny, zawartość proliny wynosiła jeszcze 25% jej maksymalnej zawartości, podczas gdy u innych odmian zawartość proliny w tym czasie spadła już o ponad 90% [2].

Prawdopodobnie ABA stymuluje gromadzenie się proliny [3]. Starck i in. [38] cytują wiele prac, w których wykazano istotny wzrost poziomu ABA w liściach podczas suszy lub zasolenia. ABA powoduje zamykanie się szparek, co zmniejsza intensywność transpiracji. Są też prace sugerujące, że zasolenie także zwiększa zawartość proliny [38]. Z cytowanej powyżej literatury wynika jednoznacznie, że przy stresie wodnym lub zasoleniu w liściach roślin gromadzi się prolina. Także przy niedoborze miedzi, szczególnie w dni słoneczne, rośliny pomidora wyglądają jakby

Tabela 2. Wpływ nawożenia dolistnego miedzią oraz mieszanką MIS-3 na wzrost roślin, plon oraz zawartość proliny i tego mikroelementu w liściach pomidorów uprawianych w substracie torfowym wiosną 1995 roku [13]

Sposoby traktownia	Wysokość roślin [cm]	Plon z rośliny [dag]		Zawartość proliny w liściach [mg/g św. masy]		Średnia zawartość Cu w liściach [mg/kg s.m.]
		ogólny	spękane	19 V	19 VI	
MIS-3	200,3 ^{ab}	377,1 ^a	133,1 ^a	0,17	0,12	54,4
Kontrola bez Cu	174,3 ^c	231,0 ^{bc}	59,3 ^b	4,90	8,84	9,3
Kontrola + 0,025% CCC	181,1 ^{bc}	219,7 ^c	61,7 ^b	4,54	4,16	14,9
0,025% CCC + 0,5% CuSO ₄ · 5H ₂ O	210,7 ^a	293,7 ^b	55,1 ^b	0,30	0,50	243,3
0,5% CuSO ₄ · 5 H ₂ O	197,9 ^{abc}	265,6 ^{bc}	40,7 ^b	0,21	0,34	295,0
0,3% Miedzian 50	206,0 ^a	245,7 ^{bc}	92,0 ^{ab}	0,27	0,87	483,0
0,3% Miedzian 50 (ograniczone podlewanie)	187,4 ^{abc}	216,5 ^c	31,3 ^b	0,97	2,00	542,0

a, b, c — wielkości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie.

były w stresie wodnym (górne liście są zwiędnięte i pozbawione turgoru). Niekiedy tym objawom towarzyszy istotnie zwiększone występowanie suchej zgnilizny wierzchołków pomidorów [15], co ma miejsce podczas suszy.

Oznaczanie proliny rozpoczęto w 1994 roku na pomidorach rosnących w szklarni w substracie torfowym w wazonach 12-litrowych. W liściach tych roślin rosnących przy niedoborze miedzi oznaczono 5–6 razy więcej proliny, niż w liściach roślin mających miedzi pod dostatkiem [10]. Wyniki te potwierdziły się w 1995 roku (tab. 2). W tym przypadku najniższą zawartość proliny uzyskano przy nawożeniu mieszanką MIS-3, zasobną w miedź oraz inne mikroelementy (Fe, Mn, B, Mo, Zn). W tym obiekcie zawartość miedzi w substracie wynosiła 18 mg Cu/dcm³, a w liściach 54,4 mg Cu/kg s.m. Podobnie niską zawartość proliny w liściach pomidorów, jaką uzyskano w obiekcie nawożonym MIS-3, otrzymano także w obiekcie nr 5, gdzie przeprowadzono opryskiwanie roślin 0,5-procentowym CuSO₄ · 5 H₂O.

W obiekcie, w którym zastosowano opryskiwanie siarczanem miedzi oraz CCC (Antywylegacz płynny 60), rośliny w marcu, dwa tygodnie po zastosowaniu tego retardanta, były zahamowane we wzroście, ale w końcu maja, przed ogłowieniem ich za 8 gronem, osiągnęły najwyższy wzrost. Wysoki wzrost roślin łączy się z intensywniejszą transpiracją* i prawdopodobnie dlatego w tym obiekcie zawartość proliny w

* Wysokie rośliny są bardziej narażone na szybki ruch powietrza zwiększający transpirację.

liściach nieznacznie się zwiększyła. Pomidory rosły bowiem w wazonach 12-litrowych, gdzie równomierne utrzymanie wilgotności we wszystkich obiektach jest trudne do przeprowadzenia. W tych warunkach rośliny najwyższe mogły odczuwać niekiedy niedobór wody. Najwięcej proliny wytworzyło się w liściach roślin w obiekcie kontrolnym z niedoborem miedzi (tab. 2.). Jej zawartość w substracie torfowym wynosiła 1,5 mg/l substratu i 9,3 mg Cu/kg s.m. liści. W tym obiekcie zawartość proliny w liściach w pierwszym terminie analiz była 29 razy większa, a w drugim terminie 74 razy większa niż w obiekcie nawożonym mieszanką wieloskładnikową MIS-3. Należy dodać, że w obiekcie z najwyższą zawartością proliny (8,84 mg/g św.m. liści) rośliny wykazywały niedobór miedzi, ale nie wystąpiło jeszcze zasychanie pędu głównego, które opisują Borkowski i in. [14, 15].

Nieco niższe wartości odnośnie zawartości proliny uzyskano w obiekcie z niedoborem miedzi, gdzie jednocześnie stosowano 4 opryskiwania CCC (Antywylegacz płynny 60), który jest retardantem zwiększającym odporność na suszę i obniżającym transpirację [8].

Porównując dane zamieszczone w tabelach 1 i 2, dotyczące zawartości proliny, trzeba stwierdzić, że najwyższa zawartość w tabeli 1 wynosi 24,5 μmol proliny/g św.m. liści, a w tabeli nr 2 — 8,84 mg proliny/g św.m. liści.

Z obliczeń wynika, że 5,3 μmol proliny odpowiada 0,6 mg proliny/kg św. m. liści i dlatego należy sądzić, że stres wywołany ostrym niedoborem miedzi odpowiada zawartości proliny, jaką zgromadziłyby rośliny zagrożone całkowitym zasuszeniem (tab. 2). Jeżeli taki stres wystąpi u roślin na początku fazy kwitnienia i trwa długo, to mogą one w ogóle nie wydać plonu handlowego.

Na uwagę zasługuje fakt, że zastąpienie oprysków 0,5-procentowym siarczanem miedzi opryskiwaniem 0,3-procentowym Miedzianem 50 spowodowało wzrost zawartości proliny i lekkie więdnienie roślin na słońcu. To sugerowało, że Cu z opryskiwań Miedzianem 50 (tlenochlorek miedzi) z trudem włącza się do metabolizmu roślin, chociaż łatwo wnika do wnętrza liści [11]. Kiedy w obiekcie nr 7 roślinom ograniczono podlewanie, to zawartość proliny wzrosła ponad dwukrotnie w stosunku do obiektu nr 6 o identycznym nawożeniu miedzią.

W obiektach opryskiwanych Miedzianem 50 liście zawierały średnio ponad 450 mg Cu/kg s.m. Odpowiada to już progowi toksycznemu, ale należy wziąć pod uwagę, że większość tej miedzi osiada na powierzchni liści [11]. O zawartości miedzi w owocach decyduje zawartość tego mikroelementu w substracie, ponieważ Cu z powierzchni liści i powierzchni owoców nie wnika do ich wnętrza [12].

Podobnie jak pomidor na niedobór miedzi reagują także inne rośliny psiankowate, np. ziemniaki i tytoń oraz przynajmniej część gatunków innych roślin uprawnych [27]. W niniejszej pracy wykazano, że niedobór miedzi powoduje u pomidorów stres równie silny, jak mocne ograniczenie podlewania roślin, które — jeżeli wystąpi w okresie wiązania owoców — to powoduje drastyczny spadek plonów. Należy przypuszczać, że u innych roślin uprawnych reakcja na niedobór miedzi jest podobna, tym bardziej, że zapotrzebowanie na ten mikroelement jest największe podczas rozwoju generatywnego roślin [33, 34, 41, 42, 45, 47]. Należy tu dodać, że w ciągu ostatnich 10 lat (1985–1995) susza w Polsce występowała co roku w mniejszym lub większym nasileniu, a niedobór miedzi występuje w całej północno-wschodniej Polsce. Jest to więc problem o dużym znaczeniu gospodarczym.

Badania nad reakcją pomidorów na niedobór miedzi są kontynuowane i będą robione starania, żeby poszerzyć ich zakres. Udowodnienie wpływu miedzi na gospodarkę wodną oraz określenie zakresu tego wpływu ma duże znaczenie teoretyczne i praktyczne. Wielu bowiem badaczy nie jest jeszcze przekonanych o istotnym wpływie miedzi na gospodarkę wodną roślin. Jak podaje Ruszkowska [33], są badacze, którzy więdnienie liści przy niedoborze Cu wiązali z wtórnym niedoborem wapnia w młodych liściach. Inni twierdzą, że więdnienie liści jest wynikiem spadku lignifikacji tkanek liści, a nie stanem ich uwodnienia [33]. Najprawdopodobniej więdnienie liści wiąże się ze słabą lignifikacją naczyń przewodzących, które później są zgniatanie przez rozrastające się tkanki sąsiednie [46], o czym wspomniano już wcześniej w niniejszej pracy.

Jak dotąd, wpływ miedzi na gospodarkę wodną roślin nie jest nawet w dostatecznym stopniu poznany. Na przykład jeszcze nic nie wiadomo o wpływie miedzi na poziom ABA w roślinie, który to związek wpływa na zamykanie się komórek szparkowych i przez to obniża transpirację [38].

W 1997 roku w Instytucie Warzywnictwa zamierza się kontynuować badania nad wpływem miedzi na gospodarkę wodną u pomidora.

Literatura

- [1] Adams P., Graves C.J., Winsor G. 1978. Effects of copper deficiency and liming on the yield, quality and copper status of tomatoes, lettuce and cucumbers grown in peat. *Sci. Hort.* 9: 199–205.
- [2] Aloni B., Rosenshtein G. 1984. Proline accumulation: A parameter for evaluation of sensitivity of tomato varieties to drought stress? *Physiol. Plantarum* 61: 231–235.
- [3] Bandurska H. 1991. Akumulacja wolnej proliny jako przejaw metabolicznej reakcji roślin na działanie stresu wodnego. *Wiadomości Botaniczne* 35(1): 35–46.
- [4] Bandurska H. 1991. The effect of proline on nitrate reductase activity in water-stressed barley leaves. *Acta Physiologiae Plantarum*, Warszawa, 13(1): 3–11.

- [5] Bandurska H., Zielińska D. 1986. Wpływ stresu wodnego na akumulację wolnej proliny i aktywność reduktazy azotanowej u dwóch odmian jęczmienia. *Acta Univer. Lodzien. Folia Physiologica Cytologica et Genetica*. 1: 69–75.
- [6] Bergmann W. 1986. Farbatlas. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- [7] Blancard D. 1992. A Colour Atlas of Tomato Diseases. Wolf Publishing LTd-Eagle. Colourbooks Glasggo Scotland.
- [8] Borkowski J. 1981. Wpływ CCC i różnych poziomów nawożenia wapniem na wzrost, kwitnienie, owocowanie i zdrowotność pomidorów szklarniowych. *Biuletyn Warzywniczy* v. XXV: 203–217.
- [9] Borkowski J. 1992. Wpływ retardantów na wzrost, kwitnienie i plonowanie pomidorów gruntowych. *Biuletyn Warzywniczy* v. XXXVIII: 5–20.
- [10] Borkowski J., Kowalczyk W., Ostrzycka J. 1995. Wpływ retardantów i nawożenia dolistnego na zawartość miedzi w liściach oraz plon pomidorów uprawianych w substracie torfowym. Materiały z 50 Jubileuszowego Zjazdu Polskiego Towarzystwa Botanicznego, 30.VI. Kraków.
- [11] Borkowski J., Kowalczyk W. 1995. Zaburzenia w rozwoju pomidora uprawianego pod osłonami wywołane niedoborem miedzi. *Ochrona Roślin* 1: 6.
- [12] Borkowski J., Kowalczyk W., Ostrzycka J. 1996. Wpływ nawożenia dolistnego na zawartość miedzi oraz jakość plonu pomidorów uprawianych w substracie torfowym. Materiały z Konferencji "Miedź i molibden w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne". *Zeszyty Naukowe Komitetu "Człowiek i Środowisko"* 14: 158–161.
- [13] Borkowski J., Kowalczyk W., Ostrzycka J., Dyśko J. 1996. Oznaki niedoboru miedzi na pomidorach uprawianych w substracie torfowym. Materiały VIII Sympozjum "Mikroelementy w rolnictwie", *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 434: 425–429.
- [14] Borkowski J., Paul M., Kowalczyk W. 1994. Zaburzenia w rozwoju pomidora uprawianego pod osłonami wywołane niedoborem miedzi. *Ochrona Roślin* 29(8): 14–17.
- [15] Borkowski J., Paul M., Kowalczyk W. 1994. Wpływ niedoboru miedzi na wzrost i plon pomidorów uprawianych w szklarni. Integrowane metody produkcji warzyw. Sympozjum z okazji 30-lecia Instytutu Warzywnictwa, Skierniewice. Część II: 11–14.
- [16] Fernandes J. C., Henriques F. S. 1991. Biochemical, physiological and structural effects of excess copper in plants. *The Botanical Review* 57(3): 246–273.
- [17] Fotyma M. 1987. Nawozy mineralne i nawożenie. PWRiL, II wydanie, Warszawa.
- [18] Geissler T., Schmidt R., Drescher B. 1976. Mikronährstoffversorgung in der Gemüseproduktion in Gewachshäusern mehrjährigen Nutzung strukturbeständiger Substrate und Düngestoffe. *Gartenbau* 23(11): 332–334.
- [19] Geissler T., Schmidt R. 1978. Probleme der Mikronährstoffversorgung bei der Gemüseproduktion in Gewachshäusern. *Arch. Gartenbau*, Berlin 26: 65–77.
- [20] Gembarzewski H., Obojski J., Sienkiewicz U. 1992. Wstępne wyniki badań gleb i roślin w krajowej sieci pól wysokoprodukcyjnych na przykładzie pszenicy ozimej. Materiały VII Sympozjum "Mikroelementy w rolnictwie", AR Wrocław, 128–132.
- [21] Gumińska Z., Ciechanowska J., Skibicka B. 1984. Mikroelementy we wrocławskiej uprawie hydroponicznej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 242: 499–508.
- [22] Graves C.J., Adams P., Winsor G.W., Adatia M.H. 1978. Some effects of micronutrients and liming on the yield quality and micronutrient status of tomatoes grown in peat. *Plant and Soil* 50: 343–354.
- [23] Hewitt E.J., Bolle-Jones E.W., Miles P. 1954. The production of copper zinc and molybdenum deficiencies in crop plants grown in sand culture with special reference to some effects of water supply and seed reserves. *Plant and Soil* V(3): 205–22.
- [24] Jasiewicz Cz. 1988. Zawartość mikroelementów w wybranych odmianach pszenicy ozimej. *Acta Agraria et Silvestria, ser. Agr.* 27: 131–142.
- [25] Lamb J.G.D., Conroy E. 1962. Minor element deficiencies noted in commercial tomato crops in Ireland during 1961. *Irish Journal of Agricultural Research* 1(3): 342–343.

- [26] Liwski S. 1963. Rola miedzi w żyzności gleb torfowych. *Roczniki Nauk Rolniczych* 87-A-3: 437–470.
- [27] Maksimow A. 1954. Mikroelementy i ich znaczenie w życiu organizmów. PWRiL Warszawa, 53–118.
- [28] Myszka A., Kaczor A. 1989. Ocena zaopatrzenia liści ziemniaków w Cu, Mn i Zn z uwzględnieniem wpływu podstawowych fizykochemicznych właściwości gleb. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 325: 127–134.
- [29] Patorczyk-Pytlik B., Spiak Z. 1992. Przegląd badań nad mikroelementami przeprowadzonych w Polsce w latach 1980–1990. VII Symposium "Mikroelementy w rolnictwie". AR Wrocław.
- [30] Rahimi A. 1970. Kupfermangel bei höheren Pflanzen. *Landwirtsch. Forsch. Sonderh.* 15(1): 42–47.
- [31] Rahimi A., Bussler W. 1973. Die Diagnose des Kupfermangels mittels sichtbarer Symptome an höheren Pflanzen. *Z. Pflanzenenerähr. Bodenk* 135: 267–283.
- [32] Roorda van Eysinga J.P.N.L., Smilde K.W. 1981. Nutritional diseases in glasshouse tomatoes, cucumbers and lettuce. Centre for Agricul. Publ. a Docum. Wageningen.
- [33] Ruszkowska M. 1983. Fizjologiczna rola miedzi w plonowaniu owsa. *Pamiętnik Puławski* 80: 13–32.
- [34] Ruszkowska M., Wojcieszka U. 1995. Fizjologiczne i biochemiczne funkcje miedzi i molibdenu w roślinach. Miedź i molibden w środowisku — problemy ekologiczne i metodyczne. Materiały z konferencji. Komitet Naukowy PAN Warszawa (w druku).
- [35] Samo M., Kawashima M. 1982. Water stress induced proline accumulation at different stalk positions and growth stage of detached tobacco leaves. *Agric. Biol. Chem.* 46: 647–653.
- [36] Schobert A.B., Tschesche H. 1978. Unusual solution properties of proline and its interaction with proteins. *Biochim. Biophys. Acta* 541: 270–277.
- [37] Sprague H.B. 1964. Hunger signs in crops: 262-265. David McKay Company, New York. Third Edition.
- [38] Starck Z., Chołuj D., Niemyska B. 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wydanie II. Rozprawy Naukowe i Monografie. SGGW Warszawa.
- [39] Starck J.R., Okruszko B., Senatorska-Wiśnioch. 1977a. Fertilization of greenhouse tomatoes with copper and molybdenum when growth on Sphagnum peat limed with ash of brown coal. *Acta Horticulturae* 58: 107–111.
- [40] Stewart C.R., Lee J. A. 1974. The role of proline accumulation in halophytes. *Planta* 120: 279–289.
- [41] Szkolnik M. 1980. Mikroelementy w życiu roślin. PWRiL, Warszawa, 169–188.
- [42] Szukalski H., Sikora H. 1981. Badania nad zawartością mikroelementów w różnych fazach rozwojowych rzepaku ozimego odmiany Janpol. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 143: 119–128.
- [43] Tyksiński W. 1989. Zawartości krytyczne dla molibdenu i optymalne dla miedzi w uprawie pomidora szklarniowego. *Biuletyn Warzywniczy, Suplement. Część II*: 113–116.
- [44] Voetberg G.S., Sharp R.E. 1991. Growth of the maize root at low water potentials. *Plant Physiology* 96: 1125–1130.
- [45] Warda Z., Mikos M., Kozak L., Bubicz M. 1991. Nagromadzenie składników pokarmowych przez rzepak ozimy pochodzący z plantacji produkcyjnych. Mikroelementy w rolnictwie, Wrocław, 109–114.
- [46] Weryszko-Chmielewska E. 1992. Zmiany morfologiczne i anatomiczne w organach kilku gatunków roślin w warunkach niedoboru miedzi. Rozprawa habilitacyjna. AR Lublin.
- [47] Wojcieszka U., Wolska E., Ruszkowska M. 1983. Wpływ miedzi na dynamikę przyrostu suchej masy roślin i niektóre procesy fizjologiczne u słonecznika (*Helianthus annuus* L.). *Acta Agrobotanica* 36(12): 5–16.
- [48] Wolley J. T., Broyer T.C. 1957. Foliar symptoms of deficiencies of inorganic elements in tomato. *Plant Physiol.* 32: 148–151.
- [49] Yang Y.W., Newton R.J., Miller F.R. 1990. Salinity tolerance in Sorghum. II. Cell culture response to sodium chloride in Sorghum bicolor and Sorghum halepense. *Crop. Sci.* 30: 781–785.

- [50] Zielińska D., Bandurska H. 1987. Wpływ stresu wodnego na akumulację wolnej proliny i potencjał osmotyczny u trzech odmian jęczmienia. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych, Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk.* LXIII: 267–275.

Growth and yield of tomato in copper deficiency condition

Summary

Tomato is a plant, which has high copper demand, and during sunny weather in summer ought to contain at least 12 mg Cu/kg of leaves dry mass. During low insolation (November) copper demand of tomato is at least 50% lower. Copper deficiency cause plant wilting in sunny days, plants lost buds and flowers, and comertial yield may be lower more than 50%. Quick and most effective method of copper deficiency preventing is to spray wilting plants with 0,4% hydrated copper sulphate. It was found that during high copper deficiency content of proline (amino acid connected with stress) may be 74 times higher, that means higher than during water deficiency. This suggests that copper deficiency increases tomato susceptibility for drought.