Wpływ miedzi na dynamikę przyrostu suchej masy roślin i niektóre procesy fizjologiczne u słonecznika (*Helianthus annuus* L.)

U. WOJCIESKA, E. WOLSKA, M. RUSZKOWSKA

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Samodzielna Pracownia Żywnienia
Roślin, Osada Pałacowa, 24-100 Puławy

(Otrzymano: 23.03.1981 r.)

U. Wojcieszka, E. Wolska, M. Ruszkowska (*Institute of Soil Science and
Cultivation of Plants, Osada Pałacowa, 24-100 Puławy, Poland, Laboratory of Plant Nutrition*) *Acta
Agrobotanica* 36 (1-2): 5-16, 1983.

*Effect of copper on the dynamics of the increment of plant dry mass and on some physiological processes
in sunflower (*Helianthus annuus* L.)*

Abstract

Experiments were undertaken in order to establish the influence of copper on the growth and yield of plants. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) was grown in pots with peat enriched with mineral elements with the excluding of Cu. Copper was applied immediately after plant germination in doses of 0, 5 and 125 mg Cu per pot in the form of CuSO_4 . During the vegetation period the following determinations were made: (a) dynamics of the increase of plant dry matter and of the assimilative surface, (b) chlorophyll content, (c) nitrate reductase activity and (d) intensity of photosynthesis and photosynthetic activity. The results indicate that copper deficit restricts the process of photosynthesis and the dynamics of dry mass increment. Differences in copper dosage did not have an immediate influence on the chlorophyll content and nitrate reductase activity, only rather an intermediate effect through the influence on the process of ageing.

WSTĘP

W Pracowni Żywnienia Roślin IUNG w Puławach prowadzone są badania, których celem jest poszukiwanie fizjologicznych skutków niedoboru miedzi w roślinach uprawnych (Łyszczyński, 1976; Ruszkowska i in., 1977, 1981; Ślusarczyk, 1980; Zinkiewicz i in., 1980; Wojcieszka, 1982 a, b).

Wyniki omawiane w niniejszej pracy są kontynuacją wspomnianych badań. Celem pracy jest poznawanie roli miedzi w metabolizmie i jej oddziaływanie na

wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Szczególną uwagę zwrócono na: a) przebieg i wydajność fotosyntezy i ściśle związaną z nim dynamiką przyrostu masy, b) niektóre wskaźniki metabolizmu azotowego u słonecznika.

METODYKA

Doświadczenia prowadzono w warunkach hali wegetacyjnej, w latach 1974 (Doświadczenie I) i 1975 (Doświadczenie II). Rośliny rosły w wazonach Mitscherlicha wypełnionych torfem niskim z torfowiska Wizna woj. białostockie, niedoborowym pod względem miedzi; pH torfu 6,7. Obiektem badań był słonecznik pastewny (*Helianthus annuus* L.) odmiany 'Wiernik'.

Pożywkę mineralną w postaci roztworów soli cz.d.a: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , KH_2PO_4 i MgSO_4 podano w następujących ilościach czystego składnika w mg na wazon: N — 875, P — 305, K — 870, Mg — 42. Ponadto we wszystkich doświadczeniach wprowadzono do wazonów mikroelementy w ilościach: 9,3 mg Fe (w postaci cytrynianu żelazowego); 0,3 mg B (jako H_3BO_3), 1,4 mg Mn i 0,9 mg Zn (w formie siarczanów) oraz śladowe ilości molibdenu i kobaltu. W wazonie rosły 4 rośliny słonecznika. Bezpośrednio po wschodach różnicowano poziom miedzi wprowadzając do wazonów 0, 5 i 125 mg Cu w postaci siarczanu miedzi. Wazony podlewano wodą zdejonizowaną do około 60% całkowitej pojemności wodnej. Rośliny zbierano w różnych fazach wzrostu. Określano: a) dynamikę przyrostu suchej masy i wielkość powierzchni asymilacyjnej — 4 powtórzenia po 4 rośliny, b) zawartość chlorofilu (B r u i n s m a, 1961), c) aktywność reduktazy azotanowej (K l e p p e r, 1974), d) intensywność fotosyntezy, e) aktywność fotosyntetyczną. W pomiarach intensywności i aktywności fotosyntetycznej stosowano metodę ^{14}C (B i r e c k a i in., 1964). Wyniki podano w liczbach względnych; miarą intensywności fotosyntezy była radioaktywność jednostki masy liści na jednostkę czasu, natomiast miarą aktywności fotosyntetycznej była radioaktywność całych roślin na jednostkę czasu. Materiał do oznaczeń zawartości chlorofilu i aktywności reduktazy azotanowej pochodził z 16 roślin (4 powtórzenia po 4 rośliny), a do pomiaru intensywności i aktywności fotosyntetycznej — z 9 roślin (3 powtórzenia po 3 rośliny).

WYNIKI

W początkowym okresie wegetacji wzrost i rozwój roślin porównywanych kombinacji był podobny. W miarę jak przyrastała masa siewek i wyczerpywały się zapasy miedzi nagromadzone w nasionach, ujawniały się symptomy niedoboru Cu. Już w fazie 8 liścia uwidoczniło się zahamowanie wzrostu roślin niedostatecznie zaopatrzonych w miedź. Różnice między porównywanymi roślinami pogłębiały się w miarę upływu czasu (rys. 1). W warunkach niedoboru tego składnika były one niższe od pozostałych i później wchodziły w kolejne fazy

rozwojowe. Ich liście były charakterystycznie wywinięte do dołu, szczególnie w części wierzchołkowej. Pąki jeśli się rozwijały, były zdegenerowane (rys. 1), tylko nieliczne rośliny zakwitły. Rośliny obficie zaopatrzone w miedź były najwyższe i zakwitły wcześniej niż w pozostałych obiektach. Wystąpiło ograniczenie wielkości powierzchni blaszek liściowych roślin rosnących w warunkach niedoboru miedzi i było tym większe, im później liść został wykształcony (tab. 1).

Rys. 1. Wpływ dawek miedzi na wzrost i rozwój roślin (32 — 0, 425 — 5, 468 — 125 mg Cu na wazon)

Fig. 1. Influence of copper doses on the growth and development of the sunflower plants (32 — 0, 425 — 5, 468 — 125 mg Cu/pot)

Zawartość chlorofilu w najmłodszych, w pełni wyrosniętych blaszkach liściowych była podobna we wszystkich obiektach (tab. 2); w późnych fazach rozwoju była jednak wyraźnie niższa w blaszkach liściowych roślin obficie

Tabela 1 – Table 1

Wpływ miedzi na wielkość powierzchni blaszek liściowych (dm²)
Influence of copper supply on size of leaf blades (dm²)

Liść Leaf No.	Doświadczenie I Experiment I									Doświadczenie I Experiment I								
	Terminy pomiarów Date of measurements																	
	29 V			14 VI			3 VII			9 VI			25 VI			10 VII		
	Poziom Cu – mg/wazon Cu level – mg/pot																	
	0	5	125	0	5	125	0	5	125	0	5	125	0	5	125	0	5	125
1	0,632	0,664	0,676	0,691	0,492	0,861												
2	1,279	1,539	1,426	1,622	2,224	2,025				1,489	1,766	1,075						
3	0,723	0,939	0,547	1,438	1,661	2,259				1,895	1,726	1,943						
4	0,093	0,169	0,072	0,801	1,642	1,584	0,888	1,245	0,936	1,177	1,374	1,374						
5				0,252	0,970	1,169	0,550	0,934	1,043	0,503	0,681	0,881	1,065	1,493	1,759	1,428	1,723	1,733
6							0,298	1,233	0,721				0,776	1,150	1,280	0,887	1,280	1,519
7							0,129	0,887	0,832				0,766	0,852	0,992	0,831	1,141	1,115
8																0,707	0,833	0,781
9																0,588	0,797	0,666

Liście liczone od podstawy ku wierzchołkowi.

Leaves numbered beginning with lowest one.

Tabela 2 – Table 2

Zawartość chlorofilu w liściach roślin rosnących przy
zróżnicowanym poziomie miedzi (mg/g św.m.)
Chlorophyll content in leaves of plants growing at different
copper supply (mg/g fresh weight)

Termin pomiarów Date of measurements	Poziom Cu – mg/wazon Cu level – mg/pot		
	0	5	125
Doświadczenie I Experiment I			
5 VII	2,39 (± 0,37)	2,43 (± 0,35)	2,09 (± 0,31)
Doświadczenie II Experiment II			
2 VI	4,70 (± 0,46)	4,85 (± 0,80)	4,82 (± 0,36)
27 VI	1,20 (± 0,06)	1,33 (± 0,13)	1,34 (± 0,04)
11 VII	1,32 (± 0,06)	1,05 (± 0,07)	0,78 (± 0,15)

Pomiary prowadzono na liściu najmłodszym, w pełni wyrośniętym. W nawiasach podano odchylenie standardowe.

Measurements were performed on youngest full expanded leaf. Standard deviations given in parentheses.

zaopatrzonych w miedź, przypuszczalnie w wyniku szybciej postępującego starzenia się tych roślin.

Miedź wywarła wyraźny wpływ na dynamikę przyrostu suchej masy roślin (tab. 3). O ile w fazie 8 liścia masy roślin porównywanych obiektów były jeszcze zbliżone, to już w fazie wytwarzania pąków masa roślin z niedoborem Cu stanowiła połowę plonu roślin obficie zaopatrzonych w miedź, a w fazie kwitnienia – zaledwie 1/3. W drugim roku doświadczeń te różnice były mniejsze. Już niewielki dodatek miedzi (5 mg Cu na wazon) znacznie stymulował wzrost roślin i przyrost suchej masy. Zastosowane dawki miedzi niejednakowo wpływały na dynamikę przyrostu masy poszczególnych organów. Stosunkowo najmniejszym zmianom ulegała dynamika przyrostu masy blaszek liściowych. Niedobór miedzi silnie ograniczał rozwój kwiatostanów i wykształcanie nasion. Łodygi roślin niedostatecznie zaopatrzonych w miedź były słabiej wyrośnięte i na ogół stanowiły niższy procent masy w porównaniu z roślinami obficie zaopatrzonymi w ten składnik pokarmowy.

Wyniki przedstawione na rysunku 2 ilustrują wpływ zwiększającego się zaopatrzenia w miedź na aktywność fotosyntetyczną słonecznika. Różnice w aktywności fotosyntetycznej roślin porównywanych obiektów wzrastały w miarę

Tabela 3 — Table 3

Wpływ dawek miedzi na dynamikę przyrostu suchej masy (w g na 1 roślinę)
Influence of copper doses on dynamics of dry weight increment (g per plant)

Organ Organ		Terminy zbiorów — Date of plant harvest																			
		faza 6 liści six leaf phase				wykształcanie pąków development of buds				początek kwitnienia beginning of anthesis				pełnia kwitnienia full bloom				osadzanie i wypełnianie nasion setting and filling of seeds			
		poziom Cu — mg/wazon — Cu level — mg/pot																			
		0	5	125	półprzedział ufności Tukeya Tukey's confidence semiinterval	0	5	125	półprzedział ufności Tukeya Tukey's confidence semiinterval	0	5	125	półprzedział ufności Tukeya Tukey's confidence semiinterval	0	5	125	półprzedział ufności Tukeya Tukey's confidence semiinterval				
Doświadczenie I — Experiment I																					
Liście Leaves	1,11	1,31	1,17	r.n.	1,75	2,61	3,23	0,70					2,34	5,70	4,84	2,32	5,00	5,85	6,80	r.n.	
Łodygi Stems	0,58	0,69	0,59	0,11	1,53	2,19	2,85	0,87					2,83	9,95	10,86	4,18	9,05	11,10	16,34	3,26	
Pąk kwia- towy Flower bud													0,23	0,79	0,66	0,51	2,36	3,08	2,67	r.n.	
Razem część nadziemna Whole above- ground part	1,69	2,00	1,76		3,28	4,80	6,08						5,40	16,44	16,36		16,41	20,03	25,81		
Korzeń Root	0,20	0,26	0,31		0,48	0,80	0,95						1,11	2,18	2,79		2,32	2,72	3,24		
Razem cała roślina Whole plant	1,89	2,26	2,07	r.n.	3,76	5,60	7,03	1,56					6,51	18,62	19,15	6,09	18,73	22,75	29,05	3,94	

		Doświadczenie II – Experiment II																		
Liście Leaves	1,54	2,17	2,24	0,36	1,90	2,60	3,00	0,60	3,46	4,40	4,42	0,83	3,47	3,96	4,15	r.n.	3,52	4,06	4,06	0,53
Łodygi Stems	1,48	2,48	2,34	0,52	2,32	5,11	6,26	1,51	7,98	11,18	13,55	4,45	11,15	15,21	16,45	2,25	14,45	18,77	20,28	3,15
Koszyczek Anthodium																	2,46	2,77	2,88	
Płatki Petals					0,08	0,21	0,34	0,24	0,62	1,10	1,18	0,06	2,62	3,19	4,92	1,59	0,93	1,11	1,14	
Nasiona Seeds																	0,59	0,66	1,15	0,53
Razem część nadziemna																				
Whole above- ground part	3,02	4,65	4,58	0,88	4,30	7,92	9,60	2,22	12,06	16,68	19,15	4,58	16,24	21,36	25,50	3,32	21,95	27,37	29,51	3,69
Korzeń Root					0,52	1,14	1,37						1,77	3,39	3,18		1,89	2,33	2,24	0,43

r.n. – różnice nieistotne.

d.n.s – differences not significant

Rys. 2. Wpływ dawek miedzi na aktywność fotosyntetyczną roślin. Dane przedstawiono w wartościach względnych. Za 100% przyjęto aktywność fotosyntetyczną roślin rosnących w warunkach optymalnego zaopatrzenia w miedź ($\text{Cu} = 125 \text{ mg/wazon}$)

Fig. 2. Influence of copper doses on photosynthetic activity of the sunflower plants. Data in relative values. 100% = photosynthetic activity of plants growing under conditions of optimum copper supply ($\text{Cu} = 125 \text{ mg/pot}$)

Tabela 4

Wpływ dawek miedzi na aktywność
Influence of copper doses on nitrate

Doświadczenie I –

Organ	Terminy Dates of					
	11 VI*			20 VI		
Organ	Poziom Cu Cu level					
	0	5	125	0	5	125
Liście Leaves	$8,23 \pm 0,42$	$7,96 \pm 0,55$	$10,91 \pm 0,29$	$31,78 \pm 1,33$	$33,03 \pm 1,34$	$32,38 \pm 1,83$
Łodygi Stems	$2,17 \pm 0,06$	$0,97 \pm 0,05$	$1,63 \pm 0,08$	$3,53 \pm 0,03$	$1,44 \pm 0,48$	$1,87 \pm 0,17$
Korzeń Root	$1,65 \pm 0,03$	$1,03 \pm 0,03$	$1,91 \pm 0,14$	–	$1,93 \pm 0,02$	$2,50 \pm 0,22$

*Pomiary prowadzono przy mniejszym (0,1 M) niż w następnych terminach (0,3 M) stężeniu substratu.

Rys. 3. Wpływ dawek miedzi na intensywność fotosyntezy. Dane przedstawiono w wartościach względnych. Za 100% przyjęto intensywność fotosyntezy roślin rosnących w warunkach optymalnego zaopatrzenia w miedź (Cu = 125 mg/wazon)

Fig. 3. Influence of copper doses on intensity of photosynthesis. Data in relative values. 100% = photosynthesis intensity of plants growing under conditions of optimum copper supply (Cu = 125 mg/pot)

- Table 4

reduktazy azotanowej ($\mu\text{M/g}$ św.m./godz.)

reductase activity ($\mu\text{M/g}$ fr. weight/h)

Experiment I

pomiarów measurements						
	2 VII			17 VII		
– mg/wazon – mg/pot						
0	5	125	0	5	125	
30,80 ± 0,40	12,85 ± 0,44	7,74 ± 0,42	7.87 ± 0,07	5,00 ± 0,03	ślady traces	
2,28 ± 0,23	1,29 ± 0,13	1,19 ± 0,01	2,17 ± 0,14	1,50 ± 0,05	0,70 ± 0,03	
0,77 ± 0,15	1,63 ± 0,12	0,75 ± 0,03	–	–	–	

*Measurement performed at lower (0.1 M) substrate concentration than at further dates (0.3 M).

upływu czasu od zastosowania Cu. Na ogół najniższą aktywność fotosyntetyczną wykazywały rośliny kombinacji $Cu = 0$, a najwyższą — rośliny optymalnie zaopatrzone w miedź ($Cu = 125$). Różnice w aktywności fotosyntetycznej były częściowo wynikiem zmiany w intensywności wiązania CO_2 , spowodowanej przez zastosowanie miedzi (rys. 3), częściowo zaś wynikiem zmian w wielkości powierzchni asymilacyjnej i jej aktywności fizjologicznej (tab. 1). Jak już wspomniano wcześniej, rośliny z niedoborem miedzi ($Cu = 0$) były najniższe, a ich powierzchnia asymilacyjna wyraźnie mniejsza niż u pozostałych roślin. W warunkach zróżnicowanego zaopatrzenia w miedź wystąpiły również zmiany w tempie starzenia się roślin. Najwolniej proces ten postępował przy niedoborze Cu. W efekcie różnice w aktywności fotosyntetycznej roślin rosnących w warunkach niedoboru miedzi i obficie zaopatrzonych w ten składnik ulegały zmniejszeniu w późnych fazach rozwoju.

Zróżnicowanie dawek miedzi nie miało wpływu na aktywność reduktazy azotanowej (RA) (tab. 4). Najwyższą aktywność tego enzymu stwierdzono w blaszkach liściowych; malała ona jednak wyraźnie w miarę postępującego starzenia się roślin. Aktywność RA w łodygach była niska i utrzymywała się na stałym poziomie w ciągu stosunkowo długiego okresu czasu. Niską aktywność reduktazy azotanowej stwierdzono również w elementach koszyczka (danych tych nie zamieszczono w tabelach) i w korzeniach. Wspomniane zależności były podobne w obydwu latach doświadczeń.

DYSKUSJA

Wyniki omawianych doświadczeń, a także wyniki naszych badań z owsem (R u s z k o w s k a i in., 1977, 1981) oraz L o n e r a g a n a i in. (1980) z pszenicą, wskazują, że symptomy niedoboru miedzi ujawniają się przede wszystkim w organach młodych, i zaznaczają się tym silniej im w późniejszym okresie ontogenezy organ jest wytwarzany. Zjawisko to jest konsekwencją stwierdzonego przez licznych autorów (W o o d i W o m e r s l e y, 1946; R e u t h e r i L a b a n a u s k a s, 1966; N u a l s r i i in., 1977; B r o w n i C l a r k, 1977; L o n e r a g a n i in., 1980) ograniczonego przemieszczania miedzi z liści starszych do merystemów, w warunkach jej niedoboru.

Plon roślin jest w głównej mierze rezultatem procesów wzrostowych i wydajności procesu fotosyntezy. Zarówno wyniki naszych obecnych i wcześniejszych badań (Ł y s z c z i in., 1976), jak i liczne doniesienia innych autorów (D r o z d o v, 1958; S o r o k i n a, 1966; B a s z y ń s k i i in., 1978) wykazały spadek intensywności fotosyntezy w warunkach niedoboru miedzi. Jednoczesne ograniczenie procesów wzrostowych i zahamowanie przyrostu powierzchni asymilacyjnej, w tych warunkach, spowodowało wyraźne obniżenie aktywności fotosyntetycznej roślin i w efekcie ograniczenie przyrostu masy, w porównaniu z roślinami obficie zaopatrzonymi w miedź. Brak różnic w

aktywności reduktazy azotanowej roślin, przy różnym zaopatrzeniu w miedź, mimo tak wyraźnych różnic w plonach suchej masy, nie wydaje się potwierdzać naszego przypuszczenia, że enzym ten może być wskaźnikiem aktywności metabolicznej i produktywności roślin — przynajmniej w odniesieniu do żywienia roślin miedzią. Wysoka aktywność tego enzymu, w roślinach cierpiących na niedobór miedzi, była wynikiem wysokiego poziomu azotu w tkankach tych roślin (R u s z k o w s k a i Ł y s z c z, 1975).

Niedobór miedzi hamował rozwój organów generatywnych. Zarówno uzyskane wyniki, jak i dane naszych wcześniejszych badań (Ł y s z c z i in., 1976) nie wykazują jednak, aby obniżona fotosynteza i niedobór asymilatów były głównymi czynnikami ograniczającymi wzrost i rozwój roślin. Przypuszcza się, że jedną z przyczyn mogą być tu zaburzenia w syntezie i przemieszczaniu regulatorów wzrostu. Badania nad tym zagadnieniem są prowadzone.

STRESZCZENIE

Celem prowadzonych doświadczeń była próba określenia wpływu miedzi na wzrost i plonowanie roślin. Obiektem badań był słonecznik (*Helianthus annuus* L.). Rośliny rosły w wazonach wypełnionych torfem, zasilonym pożywką mineralną z wyłączeniem Cu. Miedź podano bezpośrednio po wschodach w ilości: 0, 5 i 125 mg Cu/wazon, w postaci CuSO_4 . W czasie wegetacji określano: a) dynamikę przyrostu suchej masy roślin i powierzchnię asymilacyjną, b) zawartość chlorofilu, c) aktywność reduktazy azotanowej, d) intensywność fotosyntezy i aktywność fotosyntetyczną.

Uzyskane wyniki wykazały, że niedobór miedzi ograniczał proces fotosyntezy i dynamikę przyrostu suchej masy roślin. Zróżnicowanie dawek miedzi nie miało bezpośredniego wpływu na zawartość chlorofilu i aktywność reduktazy azotanowej, a raczej pośredni — poprzez oddziaływanie na proces starzenia.

LITERATURA

- B a s z y ń s k i T., R u s z k o w s k a M., K r ó l M., T u k e n d o r f A., W o l i ń s k a D., 1978. The effect of copper deficiency on the photosynthetic apparatus of higher plants. Z. Pflanzenphysiol. 89: 207-216.
- B i r e c k a H., D a k i ć - W ł o d k o w s k a L., 1964. Photosynthesis, translocation and accumulation of assimilates in cereals during grain development. Acta Soc. Bot. Pol. 33: 408-426.
- B r o w n J. C., C l a r k R. B., 1977. Copper as essential to wheat reproduction. Pl. Soil 48: 509-523.
- B r u i n s m a J., 1961. A comment on the spectrophotometric determination of chlorophyll. I. Biochim. Biophys. Acta 52: 576-582.
- D r o z d o v S. N., 1958. Vlijanie medi na intensivnost fotosinteza listev jarovoj pšenicy. Dokl. Akad. Nauk SSSR 121: 753-754.
- K l e p p e r L., 1974. A mode of action of herbicides: inhibition of the normal process of nitrite reduction. Research Bulletin 259, University of Nebraska — Lincoln College of Agriculture.
- L o n e r a g a n J. F., S n o w b a l l K., R o b s o n A. D., 1980. Copper supply in relation to content and redistribution of copper among organs of the wheat plant. Ann. Bot. 45: 621-632.

- Łyszczyński S., Ruszkowska M., Wojciechowska U., Zinkiewicz E., 1976. The activity of ascorbic acid and catechol oxidase, the rate of photosynthesis and respiration as related to plant organs, stage of development and copper supply. *Acta Agrobot.* 29: 99-105.
- Nualsri L., Robson A.D., Loneragan J.F., 1977. Diagnosis of copper deficiency in peanuts by plant tissue analysis. *Cyt. za Loneraganem i in.* 1980.
- Reuther W., Labanauskas C.K., 1966. Copper. In: *Diagnosis criteria for plants and soil.* *Cyt. za Loneraganem i in.* 1980.
- Ruszkowska M., Łyszczyński S., 1975. Wpływ dawek NPK i Cu na plony oraz pobieranie miedzi i azotu przez rośliny w warunkach doświadczeń wazonowych. *Pam. Puł.* 62: 229-250.
- Ruszkowska M., Łyszczyński S., Ślusarczyk M., Wojciechowska U., Wołska E., Zinkiewicz E., 1983. Badania nad fizjologiczną rolą miedzi w plonowaniu roślin zbożowych. *Zesz. probl. Post. Nauk rol.* 242: 167-176.
- Ruszkowska M., Łyszczyński S., Wojciechowska U., Wołska E., Zinkiewicz E., 1977. Skutki niedoboru miedzi w roślinach intensywnie nawożonych NPK. Materiały seminarium „Fizjologia i biochemia intensywnie nawożonych roślin”. Wyd. IUNG, s. 153.
- Ślusarczyk M., 1980. Zmiany w zawartości i składzie frakcji węglowodanowych owsa w warunkach niedoboru miedzi. *XLV Zjazd PTBot. Lublin. Streszczenia wykładów i komunikatów*, s. 87.
- Sorokina G.I., 1966. Vlijanie medi na intensivnost fotosinteza i urożaj kartofela. *Fiziol. Rast.* 13: 645-651.
- Wojciechowska U., 1982 a. Fizjologiczna rola miedzi w plonowaniu owsa. Cz. I. Wpływ dawki miedzi na wysokość i strukturę plonu. *Pam. Puł.* 77: 109-130.
- Wojciechowska U., 1982 b. Fizjologiczna rola miedzi w plonowaniu owsa. Cz. II. Wpływ terminu stosowania miedzi na wzrost i rozwój roślin. *Pam. Puł.* 77: 131-142.
- Wood J.G., Womersley H.B.S., 1946. Development and metabolism of copper deficient oat plants. *Aust. J. exp. Biol. med. Sci.* 24: 79-94.
- Zinkiewicz E., Ruszkowska M., Wojciechowska U., Wołska E., 1980. The productivity of oat plants in dependence on copper nutrition. *FESP Congress II Santiago de Compostela. Abstracts of lectures and poster demonstrations.* s. 740-741.