

WOJCIECH TYKSIŃSKI, MACIEJ BOSIACKI, MACIEJ BUDZIK

WPLYW KADMU NA JAKOŚĆ OWOCÓW POMIDORA I STAN ICH ODŻYWIENIA

*Z Katedry Nawożenia Roślin Ogrodniczych
Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu*

ABSTRACT. In 2001, in the Experimental Farm Poznań-Marcelin, a greenhouse experiment was carried out. Its purpose was to define the effect of increasing doses of cadmium on the yield and quality of tomato fruits (*Fontana* cultivar) and on the status of their nutrition. Increasing doses of cadmium in the range of 0-50 mg·dm⁻³ of substratum did not affect the yield of fruits. On the other hand, there was an effect on increased cadmium content in fruits and leaves. It also affected the fruit quality and the content of macro- and microelements in fruits and leaves of tomato.

Key words: cadmium, fruits, tomato, quality

Wstęp

Ze względu na swoje właściwości kadm jest zaliczany do najbardziej toksycznych metali (**Brzozowska** 1991).

Fizjologiczny efekt nadmiaru kadmu jest obserwowany w postaci zaburzeń procesu fotosyntezy, transpiracji, przemian związków azotowych oraz przepuszczalności błon komórkowych i struktury DNA. Obecność kadmu w enzymach powoduje zakłócenia ich funkcjonowania (**Kabata-Pendias** i **Pendias** 1993). Pod wpływem kadmu następuje wzmożona peroksydacja lipidów i wzmożona synteza etylenu (**Kopcewicz** i **Lewak** 2005).

Niektóre rośliny odznaczają się tolerancją na dużą zawartość kadmu i nie wykazują wyraźnych objawów toksyczności. Nie ulegają także wyraźnemu uszkodzeniu (np. pomidor, kapusta), gdy koncentracja kadmu jest stosunkowo duża, rzędu 170 mg·kg⁻¹ s.m., podczas gdy u innych (np. szpinak, sałata) obserwuje się objawy toksyczności i spadek plonu, gdy stężenie pierwiastka wynosi 4-13 mg·kg⁻¹ s.m. (**Kabata-Pendias** i **Pendias** 1979).

Pomidory pod osłonami zajmują w Polsce pierwsze miejsce pod względem wielkości powierzchni upraw i zbiorów. W 2004 roku uprawiano je w szklarniach na 2419 ha, a w gruncie na 12-13 tys. ha (Kaniszewski 2006).

Celem badań było określenie wpływu rosnących dawek kadmu na plon i jakość owoców pomidora oraz na stan ich odżywienia.

Material i metody badań

Doświadczenie z pomidorem odmiany 'Fontana' przeprowadzono w 2001 roku w Stacji Doświadczalnej Marcelin w szklarni nieogrzewanej. Nasiona wysiano 30 marca do torfu wysokiego z Nowego Chwalimia, do którego dodano 7,0 g CaCO_3 i 1,5 g nawozu wieloskładnikowego Fertizal na 1 dm^3 torfu. Siewki przepikowano 22 kwietnia do doniczek o średnicy 8 cm.

Doświadczenie założono 11 maja, wysadzając rośliny do pojemników o objętości 10 dm^3 . Podłoże stanowiła mieszanina gleby mineralnej (piasek słabogliniasty) ze Złotnik koło Poznania z torfem wysokim z Nowego Chwalimia w stosunku objętościowym 1:1. Zarówno gleba mineralna (pH w H_2O = 3,57), jak i torf (pH w H_2O = 3,32) były bardzo ubogie w składniki mineralne.

W celu uzyskania pH podłoża w przedziale 6,5-7,0 zastosowano dawkę 7,5 g CaCO_3 na 1 dm^3 na podstawie krzywej neutralizacji. Po kilku dniach dodano makro- i mikro- składniki oraz kadm:

- makroskładniki ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)
 - 200 mg azotu w postaci KNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$, 100 mg fosforu w postaci KH_2PO_4 ,
 - 250 mg potasu w postaci KNO_3 , KH_2PO_4 , 97 mg magnezu w postaci $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$,
- mikroskładniki – 200 mg Polichelatu LS-7 na 1 dm^3 podłoża,
- kadm w postaci $\text{CdSO}_4 \cdot 8 \text{ H}_2\text{O}$ w dawkach: 0; 5,0; 25,0; 50,0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Każda z czterech kombinacji składała się z sześciu powtórzeń; powtórzeniem była jedna roślina rosnąca w pojemniku, w 10 dm^3 podłoża. Rośliny podlewano, stosując system kroplujący. Dawki wody zależały od warunków pogodowych i fazy wzrostu roślin. W dniach 1.06, 15.06 i 22.06 rośliny dokarmiano Nutrifolem w ilości 5,0 g na roślinę.

W dniach 15.06, 17.06 i 22.06 rośliny opryskiwano 1-procentową saletrą wapniową w celu ograniczenia występowania suchej zgnilizny owoców.

W dniach 1.07 i 3.08 rośliny dokarmiano roztworami soli: NH_4NO_3 , KNO_3 , KH_2PO_4 i $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, stosując N – 100, P – 70, K – 200 i Mg – 51 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ podłoża w każdym terminie. Po wykształceniu trzeciego grona wierzchołki wzrostu usunięto, pozostawiając jeden w pełni wykształcony liść nad III gronem. W okresie wegetacji wykonano oprysk 0,1-procentowym Topsinem (2.06) i 0,2-procentowym Bravo (11.06). Od 13.07 do 12.08 osiem razy zebrano owoce. Doświadczenie zakończono 12.08. Podłoża po ścięciu roślin podlano do stałej wagi. Pobrano średnie próby podłoża w celu oznaczenia pH, zawartości makro- i mikroskładników i kadmu.

Analizy materiału roślinnego

Do analizy pobrano owoce I i III grona oraz liście ze środkowej części rośliny, które suszono 48 godzin pod lampami promiennikowymi, a następnie w papierowych torebkach w suszarce wyciągowej w temperaturze 55°C. Po wysuszeniu materiał roślinny zhomogenizowano. W celu mineralizacji odważono 2,5 g powietrznie suchego materiału roślinnego. W kolbach Kjeldahla zalano 30 cm³ kwasów HNO₃ i HClO₄ (3:1). Zmineralizowany materiał przeniesiono do kolbek o pojemności 50 dm³. Zawartość kadmu i mikroelementów oznaczono metodą AAS.

Mineralizację materiału roślinnego na mokro w celu oznaczenia makroskładników (z wyjątkiem azotu) oraz mineralizację w celu oznaczenia azotu ogólnego przeprowadzono metodami standardowymi. Również za pomocą tych metod, stosowanych w Stacjach Chemiczno-Rolniczych, oznaczono makroskładniki.

W Instytucie Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego AR w Poznaniu przeprowadzono analizy chemiczne, oznaczając:

- ekstrakt – metodą refraktometryczną,
- kwasowość ogólną – metodą miareczkową,
- pH soku – metodą potencjometryczną,
- cukry ogółem i sacharozę – metodą Lane-Eynoma (PN-90/A75101/07),
- zawartość witaminy C – metodą miareczkową według **Pijanowskiego** (2000).

W Katedrze Chemii Ogólnej AR w Poznaniu oznaczono cukry proste. W Katedrze Chemii Rolnej AR w Poznaniu przeprowadzono badania indeksu chlorofilowego N – testerem firmy Hydro. Badano pierwszy i drugi liść nad I gronem z czterech roślin wybranych losowo z każdej kombinacji. Do kolbki odważono 2,5 g pomidorów rozdrobionych w mikserze i zalano 25 ml mieszaniny C₂H₅OH i H₂O w stosunku 1:1. Po 15-minutowej ekstrakcji zawiesinę przesączono; 5 ml przesącza pobrano do próbówki. Po odparowaniu próby poddano silikacji z trimetylosilanem w temperaturze pokojowej w ciągu 30 minut. Pochodne sililowe rozpuszczono w 500 µl izooktanu, wytrząsano, a następnie do mieszaniny dodano 3 cm³ wody destylowanej w celu rozłożenia nadmiaru odczynnika. Frakcję organiczną przenoszono do wialek chromatograficznych i poddano analizie na GC/MS (gazowy chromatograf/spektrometr masowy).

Wyniki i dyskusja

Plon owoców

Zastosowane w doświadczeniu rosnące dawki kadmu nie spowodowały zmian w wyglądzie roślin. Nie stwierdzono także różnic w plonie owoców (tab. 1). **Ciećko i in.** (2000) uzyskali zmniejszenie plonu korzeni i liści marchwi uprawianej w glebie zanieczyszczonej 25 mg·kg⁻¹ Cd. **Jasiewicz** (1993), stosując dawki kadmu od 0,25 do 64,00 mg·kg⁻¹ gleby, nie stwierdziła zmniejszenia plonów cebuli i rzodkiewki. Dawka 64 mg·kg⁻¹ Cd spowodowała zmniejszenie plonu liści i korzeni pietruszki. W przypadku kukurydzy zwiększanie dawek kadmu powyżej 0,5 mg·kg⁻¹ gleby powodowało zmniejszenie się plonu części nadziemnych i korzeni. **Patorczyk-Pytlik** (1997) wykazała, że wprowadzenie do gleby 5,0 mg·kg⁻¹ Cd wpłynęło ujemnie na wielkość i jakość plonu.

Tabela 1

Wpływ rosnących dawek kadmu na plon owoców pomidora (g·1 roślina⁻¹)
Effect of increasing cadmium doses on the yield of tomato fruits (g·1 plant⁻¹)

Dawki kadmu – Cadmium doses (mg·dm ⁻³)	0	5	25	50
Plon średni – Yield mean	2 472 a*	2 398 a	2 495 a	2 430 a

*Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie (5%).

*Means followed by the same letters do not differ at 5% level of significance.

Jakość owoców

Wyniki oznaczeń wybranych cech jakości ilustruje tabela 2.

Tabela 2

Wpływ kadmu na wybrane cechy jakościowe owoców pomidora
Effect of cadmium on selected quality features of tomato fruits

Badane cechy Measured features	Dawki kadmu – Cadmium doses (mg·dm ⁻³)			
	0	5	25	50
Ekstrakt (%) Extract (%)	8,0	8,0	8,0	7,5
Kwasowość ogólna w przeliczeniu na kwas cytrynowy (%) Total acidity recounted on citric acid (%)	0,46	0,42	0,38	0,34
pH soku pH of juice	3,90	4,10	4,20	4,20
Cukry ogółem (% św.m.) Sugars on the whole (% of f.m.)	5,55	5,42	5,44	4,50
Sacharoza (% św. m.) Saccharose (% of f.m.)	0,33	0,32	0,31	0,29
Witamina C w świeżych owocach (mg 100 g św.m.) Vitamin C in fresh fruits (mg 100 g of f.m.)	42,16	42,99	45,69	50,26

Rosnące dawki kadmu powodowały zmniejszanie się kwasowości ogólnej. Wartość pH soku owoców w kontroli była mniejsza niż w kombinacjach z dodatkiem kadmu. Zawartość cukrów ogółem w owocach kombinacji kontrolnej oraz w kombinacjach z dawkami 5 i 25 mg·dm⁻³ Cd była zbliżona; zmniejszyła się w owocach zebranych w kombinacji 50 mg·dm⁻³ Cd. Wzrost dawek kadmu powodował spadek zawartości sacharozy. Odwrotną zależność stwierdzono w odniesieniu do witaminy C, której zawartość w świeżych owocach wzrastała wraz ze wzrostem dawek kadmu.

W miarę wzrostu dawek kadmu następowało zmniejszenie indeksu chlorofilowego w liściach pomidora spowodowane malejącą intensywnością przebiegu fotosyntezy (tab. 3).

Tabela 3

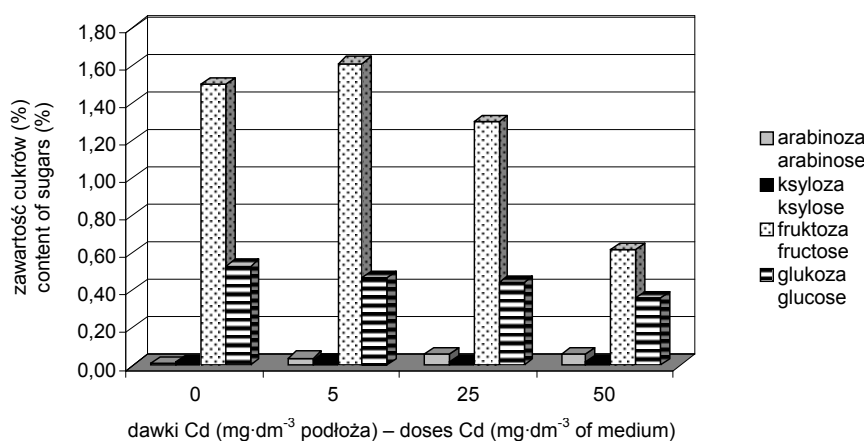
Wpływ rosnących dawek kadmu na indeks chlorofilowy w liściach pomidora
Effect of increasing cadmium doses on chlorophyll index in tomato leaves

Dawki kadmu – Cadmium doses ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)	0	5	25	50
Indeks – Index	591	538	531	474

Padmaja i in. (1990) stwierdzili, że nadmiar kadmu w roślinach wywołuje różne zaburzenia metaboliczne, m.in. powoduje spadek intensywności fotosyntezy, przez co zmniejsza się zawartość chlorofilu w roślinach.

Zawartość cukrów prostych w owocach pomidora przedstawiono na rycinie 1.

Wzrost zawartości kadmu w podłożu wpływał na obniżenie poziomu fruktozy i glukozy w owocach pomidora.



Ryc. 1. Wpływ rosnących dawek kadmu na zawartość cukrów prostych w owocach pomidora (wartości średnie)

Fig. 1. Effect of increasing cadmium doses on the content of simple sugars in tomato fruits (mean value)

Zawartość makroskładników w owocach i liściach pomidora

Pobieranie składników pokarmowych przez rośliny zależy m.in. od wartości pH podłoża. Wyniki pomiarów pH podłoża przedstawiono w tabeli 4.

Zróżnicowane dawki kadmu spowodowały małe różnice w pH podłoża, które nie wpływały w istotny sposób na pobieranie składników pokarmowych.

Wzrost dawek kadmu przyczynił się do wzrostu zawartości azotu ogółem w owocach I grona. Zawartość fosforu, potasu i magnezu w owocach była większa w kombinacjach z dodatkiem kadmu niż w kombinacji kontrolnej w owocach I i III grona (tab. 5). Zastosowane w doświadczeniu dawki kadmu nie wpłynęły na zawartość wapnia i sodu w owocach.

Tabela 4

Wartość pH podłoży po zakończeniu doświadczenia
Values pH of substrates after the termination of experiment

Dawki kadmu – Cadmium doses (mg·dm ⁻³)	0	5	25	50
pH (H ₂ O)	7,11	7,21	7,17	7,26

Tabela 5

Wpływ rosnących dawek kadmu na zawartość makroskładników w owocach pomidora
(% s.m.)

Effect of increasing cadmium doses on macronutrients content in tomato fruits (% d.m.)

	Dawki kadmu Cadmium doses (mg·dm ⁻³)	N-ogółem N-total	P	K	Mg	Ca	Na
Owoce I grona Fruits of I cluster	0	1,54	0,27	3,21	0,26	0,27	0,08
	5	1,60	0,30	3,56	0,31	0,25	0,09
	25	1,69	0,29	3,51	0,32	0,28	0,08
	50	1,75	0,32	4,03	0,42	0,27	0,09
Owoce III grona Fruits of III cluster	0	1,30	0,26	3,15	0,24	0,25	0,09
	5	1,46	0,32	3,43	0,29	0,24	0,09
	25	1,30	0,30	3,32	0,28	0,25	0,08
	50	1,43	0,33	3,54	0,31	0,25	0,09

Rosnące dawki kadmu wpłynęły także na wzrost zawartości wapnia i sodu w liściach (tab. 6). Liście zebrane w kombinacjach z dodatkiem kadmu zawierały więcej fosforu niż liście w kombinacji kontrolnej. Sela i in. (1988) stwierdzili, że akumulacja kadmu w roślinie wiąże się ze spadkiem zawartości potasu i magnezu. Wyniki niniejszej pracy nie potwierdzają tej zależności.

Tabela 6

Wpływ rosnących dawek kadmu na zawartość makroskładników w liściach pomidora
(% s.m.)

Effect of increasing cadmium doses on macronutrients content in tomato leaves (% d.m.)

Dawki kadmu Cadmium doses (mg·dm ⁻³)	N-ogółem N-total	P	K	Ca	Na
0	1,29	0,19	2,30	2,30	0,05
5	1,30	0,23	2,32	5,94	0,07
25	1,37	0,22	2,65	6,66	0,07
50	1,26	0,24	2,31	8,16	0,08

Zawartość kadmu i mikrośladników w owocach i liściach pomidora

Zawartość kadmu i mikrośladników w owocach ilustruje tabela 7.

Rosnącym dawkom kadmu odpowiadał wzrost zawartości tego metalu w owocach I i III grona, a także wzrost zawartości cynku w owocach I grona. Większość danych literaturowych wskazuje na antagonizm między cynkiem a kadmem. Według **Kabayashi** (1971) między cynkiem i kadmem może zachodzić zjawisko równoległego pobierania obu pierwiastków. Rosnącym dawkom kadmu odpowiadał wzrost zawartości manganu w owocach I grona. Zawartość miedzi w owocach I grona w kombinacjach z dodatkiem kadmu była większa niż w kontroli.

Również w owocach III grona zawartość manganu, cynku i miedzi była większa w kombinacjach z dodatkiem kadmu niż w kontroli.

Powyższe prawidłowości są zgodne ze stwierdzeniem **Kabaty-Pendias i Pendiasa** (1979), że pobieranie miedzi i manganu może się zwiększać, gdy wzrasta stężenie kadmu.

Tabela 7

Wpływ rosnących dawek kadmu na zawartość mikrośladników w owocach pomidora
($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)
Effect of increasing cadmium doses on micronutrients content in tomato fruits
($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of d.m.)

	Dawki kadmu Cadmium doses ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)	Cd	Fe	Mn	Zn	Cu
Owoce I grona Fruits of I cluster	0	0,32	61,2	7,14	20,1	5,82
	5	2,50	58,2	7,02	23,0	7,34
	25	6,36	68,4	7,62	24,2	7,72
	50	9,78	62,6	8,30	54,8	6,56
Owoce III grona Fruits of III cluster	0	0,44	61,2	6,38	13,5	4,74
	5	2,58	73,0	7,06	17,3	6,48
	25	5,06	63,4	7,22	15,2	6,96
	50	7,10	74,8	6,90	17,3	5,86

Wpływ dawkowania kadmu na zawartość tego pierwiastka i mikrośladników w liściach ilustruje tabela 8.

Rosnącym dawkom kadmu odpowiadał wzrost zawartości tego metalu w liściach. Wzrastała także bardzo wyraźnie zawartość manganu. **Kabata-Pendias i Pendias** (1993) stwierdzili, że w relacji Cd/Mn może nastąpić antagonizm i synergizm.

Porównując zawartość kadmu w owocach i liściach pomidora w tych samych kombinacjach omawianego doświadczenia, stwierdzono, że w liściach było 14-16 razy więcej kadmu niż w owocach.

Tabela 8

Wpływ rosnących dawek kadmu na zawartość mikrośladników w liściach pomidora
($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)
Effect of increasing cadmium doses on micronutrients content in tomato leaves
($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of d.m.)

Dawki kadmu Cadmium doses ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)	Cd	Fe	Mn	Zn	Cu
0	1,7	107,6	93,2	56,9	4,0
5	40,2	109,2	95,2	72,3	4,0
25	98,9	117,0	124,2	61,3	4,2
50	135,8	101,0	155,8	55,6	4,0

Wnioski

Zastosowanie siarczanu kadmu do podłoża w zróżnicowanych dawkach (0; 5,0; 25,0; 50,0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$):

- 1) nie wpłynęło na plon owoców,
- 2) spowodowało zmiany jakościowe w owocach (zmniejszenie kwasowości ogólnej, zawartości sacharozy, fruktozy i glukozy, indeksu chlorofilowego oraz zwiększenie zawartości witaminy C),
- 3) wpłynęło na stan odżywienia owoców makro- i mikrośladnikami. Owoce zawierały więcej azotu ogółem (I grono), fosforu (I i III grono), potasu (I i III grono), magnezu (I i III grono), cynku (I i III grono), manganu (I i III grono) i miedzi (I i III grono) niż owoce zebrane z kontroli,
- 4) spowodowało wzrost zawartości kadmu w owocach I i III grona oraz w liściach. W owocach było 14-16 razy mniej kadmu niż w liściach.

Literatura

- Brzozowska A.** (1991): Harmful elements versus iron, zinc and copper – interactions in the animal and human organism. Cz. 3. Cadmium. Roczn. PZH 42: 269-276.
- Ciećko Z., Rzoska R., Rolka E., Harnisz M.** (2000): Wpływ zanieczyszczenia gleby kadmem na plonowanie i skład chemiczny marchwi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 471: 889-894.
- Jasiewicz Cz.** (1993): Wpływ wzrastających dawek Cd na plon i zawartość tego metalu w niektórych warzywach. Acta Agr. Silv. Ser. Agr. 31: 64-69.
- Kabata-Pendias A., Pendias H.** (1979): Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Pendias H.** (1993): Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kabayashi J.** (1971): Air and water pollution by cadmium, lead and zinc attributed to the largest zinc refinery in Japan. Trace Subst. Env. Health 5: 117-128.

- Kaniszewski S.** (2006): Stan obecny i perspektywy rozwoju produkcji warzyw w Polsce. *Folia Hort.* Supl. 1: 7-20.
- Kopcewicz J., Lewak S.** (2005): Fizjologia roślin. PWN, Warszawa.
- Padmaja K., Prasad D.K., Prasad R.K.** (1990): Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. seedlings by cadmium acetate. *Photosynthetica* 2: 399-405.
- Patorczyk-Pytlik B.** (1997): Pobieranie kadmu przez rośliny w warunkach zróżnicowanego nawożenia fosforem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 448 b: 285-289.
- Pijanowski E., Dłużewski M., Dłużewska A., Jarczyk A.** (2000): Ogólna technologia żywności. WNT, Warszawa.
- Sela M., Tel-Or E., Fritz E., Huttermann A.** (1988): Localization and toxic effects of cadmium, copper and uranium in *Azolla*. *Plant Physiol.* 88: 33-36.

EFFECT OF CADMIUM ON THE QUALITY OF TOMATO FRUITS AND THEIR NUTRITIONAL STATUS

S u m m a r y

In 2001, in the Experimental Farm Poznań-Marcelin, a green house experiment was carried out. Its purpose was to define the effect of increasing doses of cadmium on the yield and quality of tomato fruits (Fontana cultivar) and on the status of their nutrition.

Increasing doses of cadmium (in the range of 0-50 mg·dm⁻³ of substratum) had no effect on fruit yield. They caused a decrease of general acidity and saccharose content, decreased level of fructose and glucose, decreased chlorophyll index, increased vitamin C value in fresh fruits. Fruits collected from combination with an addition of cadmium contained more total nitrogen (I cluster) phosphorus (I and III cluster), potassium (I and III cluster) and magnesium (I and III cluster). Increasing doses of cadmium caused an increased cadmium content in fruits (I and III cluster). Fruits collected from the combination with cadmium addition contained more manganese and copper than control fruits.