

WPŁYW FORMY AZOTU NAWOZOWEGO I DOKARMIANIA  
DOLISTNEGO NA PLON I GOSPODARKĘ AZOTOWĄ KORZENI  
SPICHRZOWYCH MARCHWI (*DAUCUS CAROTA* L.)

*Sylwester Smoleń<sup>1</sup>, Renata Wojciechowska<sup>2</sup>, Włodzimierz Sady<sup>1</sup>, Anna Szura<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Katedra Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Akademia Rolnicza

<sup>2</sup>Katedra Fizjologii Roślin, Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza

Al. 29 Listopada 54, 31-245 Kraków

e-mail: ssmolen@bratek.ogr.ar.krakow.pl

**Streszczenie.** Marchew 'Kazan F<sub>1</sub>' uprawiano w latach 2004-2005 w pojemnikach ażurowych o wymiarach 60×40×20 cm, umieszczonych na terenie otwartym pod cieniówką, wypełnionych gliną średnią pylastą (30% piasku, 28% pyłu, 37% łu) o średniej zawartości substancji organicznej 3,25%. Zawartość przyswajalnych form składników mineralnych uzupełniono do poziomu: 100 mg N, 80 mg P, 120 mg K, 80 mg Mg, 2000 mg Ca·dm<sup>-3</sup> gleby. Badaniami objęto podbloki z roślinami niedokarmianymi i dokarmianymi dolistnie przy przemiennym zastosowaniu 2% mocznika, 1% Supervitu R, ponownie 2% mocznika. W ramach podbłoków wyróżniono obiekty z doglebowym nawożeniem azotem: kontrola (nienawożona N), Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. Nawożenie azotem spowodowało podwyższenie masy pojedynczych korzeni oraz zawartości NO<sub>3</sub><sup>-</sup> i N-ogółem oraz aktywności reduktazy azotanowej (NR) i reduktazy azotynowej (NiR) w korzeniach spichrzowych. Nie wpłynęło natomiast na zawartość suchej masy w korzeniach marchwi. Dokarmianie dolistne spowodowało obniżenie masy pojedynczych korzeni spichrzowych. Korzenie spichrzowe roślin dokarmianych dolistnie zawierały więcej N-ogółem oraz charakteryzowały się wyższą aktywnością NR w porównaniu z roślinami niedokarmianymi. Dokarmianie dolistnie nie wpłynęło na zawartość: suchej masy, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> jak również aktywność NiR w korzeniach spichrzowych. Współdziałanie dokarmiania dolistnego × nawożenie miało istotny wpływ na masę korzeni oraz zawartość NO<sub>3</sub><sup>-</sup> jak i aktywność NiR; nie wpłynęło natomiast na zawartość NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-ogółem, suchej masy i aktywność NR w korzeniach spichrzowych marchwi.

**Słowa kluczowe:** azot, dokarmianie dolistne, reduktaza azotanowa, reduktaza azotynowa, marchew

## WSTĘP

Azot jest jednym z najbardziej plonotwórczych makroskładników pokarmowych. Jednak ponadoptimalne nawożenie tym składnikiem może być przyczyną obniżenia wartości biologicznej plonu między innymi na skutek nadmiernej akumulacji azotanów [10,15].

Problem nadmiernej akumulacji azotanów w plonie warzyw jest dość często spotykany w praktyce produkcyjnej [7,15,19]. Zasadniczo przy nawożeniu roślin zredukowanymi formami azotu (N-NH<sub>2</sub>, N-NH<sub>4</sub>) uzyskuje się plon z mniejszym poziomem akumulacji NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, niż ma to miejsce przy żywieniu roślin formą N-NO<sub>3</sub> [10, 15,19]. Jednak zależność ta nie zawsze znajduje odzwierciedlenie w praktyce produkcyjnej, ze względu na zmienne warunki glebowo-klimatyczne oraz zróżnicowaną zdolność poszczególnych gatunków i odmian do akumulacji azotanów [5,15].

Wyniki wielu badań wskazują, że zawartość azotanów w plonie warzyw można skutecznie obniżyć łącząc odpowiednie nawożenie doglebowe azotem z dolistnym dokarmianiem samym mocznikiem lub nawozami wieloskładnikowymi [1,12,14,15]. Z badań Smolenia i Sadego [18] wynika, że po opryskiwaniu roślin benzyloadeniną (BA) lub mieszaniną mocznika+BA+Mo+sacharoza uzyskano plon z niższą zawartością azotanów w korzeniach marchwi niż po opryskiwaniu samym mocznikiem oraz mocznikiem+Mo i mocznikiem+Mo+BA.

Z poziomem akumulacji azotanów i azotynów w roślinach ściśle wiąże się intensywność ich redukcji. Redukcję NO<sub>3</sub><sup>-</sup> do NO<sub>2</sub><sup>-</sup> katalizuje enzym reduktaza azotanowa (NR), natomiast za redukcję NO<sub>2</sub><sup>-</sup> do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> odpowiada reduktaza azotynowa (NiR). Aktywność obu enzymów regulowana jest przez szereg czynników wewnętrznych i zewnętrznych [3,4,8] w tym przez formę azotu zastosowanego w nawożeniu roślin [16].

Celem badań było określenie wpływu różnych form azotu nawozowego i dokarmiania dolistnego na fizykochemiczne i biochemiczne cechy korzeni spi-chrzowych marchwi ze szczególnym uwzględnieniem metabolizmu azotanów.

## MATERIAŁ I METODY

Marchew 'Kazan F<sub>1</sub>' uprawiano w latach 2004-2005 w pojemnikach ażurowych o wymiarach 60 × 40 × 20 cm, umieszczonych na terenie otwartym pod cieniówką. Pojemniki wypełniono gliną średnią pylastą (30% piasku, 28% pyłu, 37% iłu) o zawartości substancji organicznej 3,6% w roku 2004 i 2,9% w roku 2005 – zawartość substancji organicznej oznaczono metodą Tiurina w modyfikacji Oleksynowej. Siew nasion wykonano w dniu 20.04.04 r. oraz 27.04.05 r. Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych utrzymywano w glebie na poziomie: P 80 mg, K 120 mg, Mg 80 mg, Ca 2000 mg·dm<sup>-3</sup> gleby stosując nawoże-

nie w oparciu o wyniki analizy chemicznych właściwości gleby wykonanych dwa razy w ciągu uprawy: 08.04.04 r. i 05.07.04 r. oraz 25.04.05 r. i 01.07.05 r. Składniki pokarmowe wprowadzono do gleby stosując:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$  oraz  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  + mikroelementy (o składzie: Mn 0,35%, Cu 0,3%, Zn 0,2%, B 0,05%, Mo 0,01%). Natomiast doglebowe nawożenie azotem wykonywano trzy razy w okresie uprawy (tj. 20.04.04 r., 05.07.04 r. i 23.08.04 r. oraz 25.04.05 r., 01.07.05 r. i 22.08.05 r.) w oparciu o wyniki analizy chemicznych właściwości gleby, uzupełniając zawartość N-mineralnego do poziomu  $100 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$  gleby.

Badaniami objęto dwa podbloki z dolistnym i bez dolistnego dokarmiania roślin. W podbloku z dolistnym dokarmianiem rośliny opryskiwano trzykrotnie (30.06.04 r., 06.08.04 r. i 24.08.04 r. oraz 28.06.05 r., 01.08.05 r. 23.08.05 r.) używając kolejno: 2% roztworu mocznika, 1% roztworu nawozu wieloskładnikowego Supervit R i ponownie 2% roztworu mocznika. W obrębie podbloków wyróżniono obiekty z doglebowym nawożeniem azotem: kontrola (nienawożona azotem),  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , i  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

Zbór marchwi połączony z oceną plonowania wykonano 15.09.04 r. i 27.09.05 r.; równocześnie pobrano próby gleby z podbloku niedokarmianego. W korzeniach spichrzowych marchwi oznaczono następujące zawartości:  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{NH}_4^+$  (jonometrycznie w ekstraktach wykonanych za pomocą  $0,02\text{M Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), azotu ogółem metodą Kjeldahla, suchej masy w  $105^\circ\text{C}$ . W celu oznaczenia zawartości azotu ogółem naważki analityczne świeżego materiału roślinnego przechowywano do czasu analizy w temperaturze  $-70^\circ\text{C}$ . Oznaczenie aktywności reduktazy azotanowej i azotynowej wykonano metodą *in vitro* opracowaną przez Buczka [2] z niewielkimi modyfikacjami.

W próbach gleby oznaczono odczyn  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  (potencjometrycznie), zasolenie EC (konduktometrycznie) oraz zawartość: N- $\text{NH}_4$ , N- $\text{NO}_3$ , P, K, Mg, Ca po ekstrakcji  $0,03 \text{ M}$  kwasem octowym [9]. Azot w próbach gleby oznaczony został metodą mikrodestylacji (według Bemnera w modyfikacji Starcka), K, Mg, Ca metodą AAS, a P metodą wanadowomolibdenianową.

Obliczenia statystyczne uzyskanych wyników przeprowadzono modulem ANOVA programu Statistica 6.0 PL dla  $\alpha = 0,05$ .

## WYNIKI

Analiza fizykochemicznych właściwości gleby podczas zbioru marchwi (tab. 1) wykazała, że najniższym odczynem charakteryzowała się gleba w obiekcie nawożonym  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , a najwyższym w kontroli i po nawożeniu  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Nawożenie azotowe spowodowało istotne podwyższenie ogólnego stężenia soli (EC) oraz zawartości N- $\text{NO}_3$  w stosunku do obiektu kontrolnego; należy zaznaczyć, że najwyższe stężenie soli w glebie stwierdzono po nawożeniu  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Nie wykaza-

no natomiast istotnego wpływu doglebowego nawożenia azotem na zawartość N-NH<sub>4</sub> w glebie. W glebie z obiektu kontrolnego oznaczono najwyższą zawartość P, K i Mg w stosunku do obiektów nawożonych azotem, przy czym w glebie nawożonej CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> stwierdzono podobną zawartość Mg jak w kontroli. Gleba z poszczególnych obiektów była istotnie zróżnicowana pod względem zawartości Ca. Najwięcej Ca stwierdzono w obiekcie nawożonym CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, a najmniej w glebie nawożonej NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> oraz w kontroli.

**Tabela 1.** Odczyn, zasolenie oraz zawartość: N, P, K, Mg i Ca w glebie w chwili zbioru marchwi w latach 2004-2005

**Table 1.** Reaction, salinity and N, P, K, Mg and Ca content in soil at the time of carrot harvest in 2004-2005

Średnie dla nawożenia Mean for fertilization	pH	EC (mS·cm <sup>-1</sup> )	(mg·dm <sup>-3</sup> gleby) (mg·dm <sup>-3</sup> soil)					
			N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Mg	Ca
Kontrola/Control	6,77	0,28	14,0	11,4	119,9	112,9	176,3	2030,6
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6,73	0,50	60,4	14,0	77,1	36,5	156,1	1834,9
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	6,41	0,44	55,1	9,6	86,8	22,1	159,2	1823,6
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6,07	0,97	63,9	7,9	80,0	47,7	160,7	2076,5
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	6,51	0,48	51,6	7,0	91,6	35,9	171,8	2123,4
NIR (dla nawożenia)				n.i.				
LSD (for fertilization)	0,087	0,071	11,03	n.s.	6,69	10,82	11,42	218,95
Średnie dla roku badań Mean for year of research	pH	EC (mS·cm <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Mg	Ca
2004	6,95	0,85	66,5	13,3	87,6	68,7	143,0	2558,6
2005	6,05	0,22	31,5	6,7	94,6	33,4	186,6	1397,0
NIR								
(dla roku badań)								
LSD	0,055	0,045	6,97	3,90	4,23	6,84	7,22	138,48
(year of research)								

n.i. – różnice nieistotne dla  $\alpha = 0,05$ ; n.s. – non-significant difference between objects at  $\alpha = 0.05$ .

W roku 2005 gleba w chwili zbioru marchwi charakteryzowała się istotnie niższym odczynem, stężeniem soli ogółem, niższą zawartością N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, K i Ca oraz wyższą zawartością P i Mg niż w roku 2004 (tab. 1).

Stwierdzono istotny wpływ współdziałania dokarmiania dolistnego  $\times$  nawożenie na masę pojedynczych korzeni marchwi; nie miało ono natomiast wpływu na masę naci oraz zawartość suchej masy w korzeniach spichrzowych i naci marchwi (tab. 2).

**Tabela 2.** Plon oraz zawartość suchej masy w korzeniu spichrzowym i naci marchwi zależności od: współdziałania dokarmiania dolistnego × nawożenie oraz nawożenia, dokarmiania dolistnego i roku badań

**Table 2.** Yield and content of dry weight of storage roots and carrot haulm with relation to the interactions of foliar nutrition × fertilization, the fertilization, foliar nutrition and year of study

Dokarmianie dolistne Foliar nutrition	Nawożenie Fertilization	Masa (g) mass (g)		s.m. (%) d.w. (%)	
		jednego korzenia <sup>1</sup>	naci z jednej rośliny <sup>2</sup>	korzeni spichrzowych <sup>3</sup>	naci <sup>4</sup>
Bez dokarmiania dolistnego Without foliar nutrition	Kontrola/Control	17,4	5,3	11,33	18,55
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	34,2	11,1	11,06	19,51
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	29,7	11,6	10,95	19,90
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	29,6	12,6	10,33	19,18
Dokarmianie dolistne With foliar nutrition	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	24,8	12,0	10,24	19,45
	Kontrola/Control	19,0	5,6	11,29	18,83
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	25,2	11,3	11,28	20,51
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	21,4	10,5	10,91	20,87
NIR (dokarmianie × nawożenie)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	22,0	12,5	10,63	19,33
	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	22,7	11,3	10,71	20,10
LSD (nutrition × fertilization)		5,45	n.i.	n.i.	n.i.
Średnie dla nawożenia Mean for fertilization		jednego korzenia	naci z jednej rośliny	korzeni spichrzowych	naci
Kontrola/Control		18,2	5,4	11,31	18,69
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		29,7	11,2	11,17	20,01
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		25,5	11,1	10,93	20,39
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		25,8	12,5	10,48	19,26
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>		23,8	11,6	10,47	19,77
NIR (dla nawożenia)		3,86	1,351	n.i.	0,930
LSD (for fertilization)				n.s.	
Średnie dla dokarmiania dolistnego Mean for foliar nutrition		jednego korzenia	naci z jednej rośliny	korzeni spichrzowych	naci
Bez dokarmiania dolistnego <sup>5</sup>		27,1	10,5	10,78	19,32
Dokarmianie dolistne <sup>6</sup>		22,1	10,2	10,96	19,93
NIR (dla dokarmiania)		2,44	n.i.	n.i.	0,588
LSD (for foliar nutrition)			n.s.	n.s.	
Średnie dla roku badań Mean year of research		jednego korzenia	naci z jednej rośliny	korzeni spichrzowych	naci
2004		23,9	9,8	10,97	19,20
2005		25,2	10,9	10,77	20,04
NIR (dla roku badań)		n.i.	0,855	n.i.	0,588
LSD (year of study)		n.s.		n.s.	

1 – one root, 2 – haulm from one plant, 3 – carrot storage roots, 4 – haulm, 5 – without foliar nutrition, 6 – with foliar nutrition; n.i. – różnice nieistotne dla  $\alpha = 0,05$ ; n.s. – non-significant difference between objects at  $\alpha = 0.05$ .

Najmniejszą masę pojedynczych korzeni stwierdzono u roślin z obiektu kontrolnego (niedokarmianego i dokarmianego dolistnie) a największą u roślin nawożonych  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  i niedokarmianych dolistnie.

Rozpatrując wpływ samego nawożenia azotowego na poziom plonowania marchwi wykazano, iż spowodowało ono istotne podwyższenie masy korzeni oraz masy naci marchwi w stosunku do obiektu kontrolnego (tab. 2). Należy podkreślić, że najwyższą masę pojedynczych korzeni (w stosunku do pozostałych obiektów) stwierdzono u roślin nawożonych  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Doglebowe nawożenie azotem spowodowało istotny wzrost zawartości suchej masy naci, w porównaniu do obiektu kontrolnego. Nie miało ono natomiast wpływu na zawartości suchej masy w korzeniach spichrzowych.

Generalnie rośliny dokarmiane dolistnie charakteryzowały się istotnie niższą masą korzeni oraz wyższą zawartością suchej masy w naci niż rośliny niedokarmiane (tab. 2). Zabieg dokarmiania nie miał natomiast istotnego wpływu na masę naci roślin oraz zawartość suchej masy w korzeniach spichrzowych marchwi.

W roku 2005 stwierdzono istotnie wyższy plon naci oraz zawartość suchej masy w naci w porównaniu do roku 2004. W obydwu latach prowadzenia badań obserwowano zbliżone wartości masy pojedynczych korzeni oraz zawartości suchej masy w korzeniach spichrzowych marchwi (tab. 2).

Analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała istotne współdziałanie dokarmiania dolistnego  $\times$  nawożenie w odniesieniu do zawartości  $\text{NO}_3^-$  oraz aktywności NiR w korzeniach spichrzowych marchwi (tab. 3). Najmniejszą zawartość  $\text{NO}_3^-$  stwierdzono w korzeniach roślin z obiektu kontrolnego (zarówno dokarmianych jak i niedokarmianych dolistnie) a największą w korzeniach roślin nawożonych  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  i dokarmianych dolistnie. Interesujące jest to, że w korzeniach marchwi nawożonej  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , po dokarmianiu dolistnym roślin stwierdzono około 36% mniej azotanów niż w przypadku roślin niedokarmianych. Jeśli chodzi o aktywność NiR, to jej najniższy poziom oznaczono w korzeniach roślin z obiektu kontrolnego (niezależnie od dokarmiania), natomiast najwyższy w korzeniach roślin nawożonych  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  i dodatkowo dokarmianych dolistnie. W tym ostatnim przypadku poziom ten nie różnił się istotnie w porównaniu do korzeni roślin nawożonych  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  i dokarmianych dolistnie. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu współdziałania dokarmiania dolistnego  $\times$  nawożenie na aktywność NR oraz zawartość  $\text{NH}_4^+$  i N-ogólnego w korzeniach spichrzowych marchwi.

Obliczenia statystyczne wykazały, że niezależnie od dokarmiania dolistnego, doglebowe nawożenie azotem miało istotny wpływ na zawartość  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , N-ogólnego oraz aktywność NR i NiR w korzeniach spichrzowych marchwi (tab. 3). Najniższą zawartość  $\text{NO}_3^-$  i N-ogółem oraz aktywność NR i NiR oznaczono w korzeniach roślin kontrolnych w porównaniu z roślinami nawożonymi azotem.

**Tabela 3.** Zawartość azotanów, formy amonowej azotu i azotu ogółem oraz aktywność NR i NiR w korzeniach spichrzowych marchwi w zależności od: współdziałania dokarmiania dolistnego × nawożenie oraz nawożenia, dokarmiania dolistnego i roku badań

**Table 3.** Nitrate and ammonium ions, nitrogen content and activity of NR and NiR in carrot storage roots with relation to the interactions of foliar nutrition × fertilization, soil fertilization, foliar nutrition and year of study

Dokarmianie dolistne Foliar nutrition	Nawożenie Fertilization	(mg·kg <sup>-1</sup> ś.m.) (mg kg <sup>-1</sup> f.w.)		(nmol NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ·g <sup>-1</sup> ś.m·h <sup>-1</sup> ) (nmol NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> g <sup>-1</sup> f.w·h <sup>-1</sup> )		N (% s.m.) N (% d.w.)
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NR	NiR	
Bez dokar- miania dolist- nego	Kontrola/Control	49,4	221,4	21,11	182,90	0,68
Without foliar nutrition	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	170,2	194,3	30,99	413,57	1,62
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	285,4	177,9	39,05	375,91	1,80
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	356,2	208,3	33,12	428,20	1,93
Dokarmianie dolistne With foliar nutrition	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	336,3	174,6	43,64	429,49	1,93
	Kontrola/Control	30,1	198,4	32,60	121,14	0,75
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	395,1	206,7	40,41	408,19	1,78
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	270,5	180,9	42,99	521,80	2,00
NIR (dokarmianie×nawożenie) LSD (nutrition×fertilization)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	353,1	207,7	47,12	433,36	2,20
	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	216,3	173,9	47,83	450,14	1,87
		84,91	n.i.	n.i.	88,92	n.i.
			n.s.	n.s.		n.s.
Średnie dla nawożenia Mean for fertilization		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NR	NiR	N % s.m. N % d.w.
Kontrola/Control		39,8	209,9	26,85	152,02	0,71
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		282,6	200,5	35,70	410,88	1,70
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		277,9	179,4	41,02	448,85	1,90
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		354,7	208,0	40,12	430,78	2,06
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>		276,3	174,3	45,74	439,82	1,90
NIR (dla nawożenia) LSD (for fertilization)		60,04	18,49	5,804	62,88	0,116
Średnie dla dokarmiania dolistnego Mean for foliar nutrition		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NR	NiR	N % s.m. N % d.w.
Bez dokarmiania dolistnego Without foliar nutrition		239,5	195,3	33,58	366,01	1,59
Dokarmianie dolistne With foliar nutrition		253,0	193,5	42,19	386,93	1,72
NIR (dla dokarmiania) LSD (for foliar nutrition)		n.i.	n.i.	3,671	n.i.	0,073
		n.s.	n.s.		n.s.	
Średnie dla roku badań Mean year of research		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NR	NiR	N % s.m. N % d.w.
2004		381,2	236,4	40,72	286,01	1,73
2005		111,3	152,4	35,05	466,93	1,58
NIR (dla roku badań) LSD (year of study)		37,97	11,69	3,671	39,77	0,073

n.i. – różnice nieistotne dla  $\alpha = 0,05$ ; n.s. – non-significant difference between objects at  $\alpha = 0.05$ .

Należy podkreślić, że w przypadku nawożenia  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  korzenie spichrzowe zawierały istotnie więcej  $\text{NO}_3^-$  i N-ogólnego niż rośliny kontrolne i nawożone innymi nawozami azotowymi. Ponadto w korzeniach roślin nawożonych  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  i  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  oznaczono istotnie mniejszą zawartość  $\text{NH}_4^+$ , niż w pozostałych obiektach (tab. 3).

Analizując wyniki niezależnie od formy azotu nawozowego, dokarmianie dolistne spowodowało istotne podwyższenie zawartości N-ogólnego oraz aktywności NR w korzeniach spichrzowych marchwi (tab. 3). Nie miało ono natomiast wpływu na zawartość  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  oraz aktywność NiR.

Średnie dla poszczególnych lat badań przedstawione w tabeli 3 wskazują, że w 2005 roku stwierdzono generalnie mniejszą zawartość  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , N-ogólnego oraz niższą aktywność NR, natomiast wyższą NiR w korzeniach spichrzowych marchwi niż w roku 2004 (tab. 3).

#### DYSKUSJA

Wykazane w doświadczeniu zwiększenie masy pojedynczych korzeni oraz masy naci z jednej rośliny w obiektach nawożonych azotem w stosunku do kontroli, wynika z niedostatecznego zaopatrzenia roślin w ten składnik w obiekcie kontrolnym (na tych roślinach obserwowano objawy niedoboru azotu). Ponadto niedostateczne zaopatrzenie roślin kontrolnych w azot ograniczyło pobieranie P i K z gleby (wysoka zawartość tych składników w glebie), co również mogło być przyczyną obniżenia plonowania marchwi w tym obiekcie.

Zmniejszenie masy korzeni u roślin dokarmianych dolistnie jest dość trudne do zinterpretowania, ponieważ generalnie większość wyników badań wskazuje, że zabieg dokarmiania dolistnego wpływa na podwyższenie plonowania roślin. Dodatkowe dokarmianie dolistne mocznikiem wpłynęło na przykład na wzrost plonu marchwi [12], sałaty [21] czy brokułu [13]. Również Sady i in. [17] wykazali korzystny wpływ dokarmiania dolistnego mocznikiem i Supervitem-R (zastosowanego w układzie analogicznym do tego w prezentowanej pracy) na wysokość plonu ogólnego i handlowego korzeni marchwi, niezależnie od wielkości dawki azotu nawozowego. Jednak przytoczone powyżej wyniki uzyskiwano w doświadczeniach prowadzonych w uprawie polowej. Na zmniejszenie masy korzeni marchwi po dokarmianiu dolistnym, które obserwowano w niniejszym doświadczeniu mogły wpłynąć odmienne warunki uprawy (uprawa w pojemnikach), gdyż generalnie uzyskiwane plony w obu latach doświadczenia były niewielkie oraz to, że zawartość azotu w glebie przez cały okres uprawy była utrzymywana na optymalnym poziomie. W takim układzie dodatkowe dostarczanie roślinom azotu poprzez zabieg dokarmiania dolistnego mogło być mniej efektywne. Istnieją również wyniki prac wskazujące na to, że dokarmianie dolistne nawozami wieloskładniko-



wymi w niektórych wariantach aplikacji może powodować obniżenie plonowania, co wykazano w przypadku ziemniaka, pietruszki i ogórka [6].

Celem niniejszych badań było także rozpoznanie gospodarki azotowej korzeni marchwi pod wpływem zróżnicowanego nawożenia azotem. Dokarmianie dolistne w sposób efektywny obniżyło zawartość azotanów jedynie w przypadku roślin nawożonych doglebowo mocznikiem. W doświadczeniach polowych na skuteczność dokarmiania pozakorzeniowego (w zakresie akumulacji azotanów) duży wpływ mają zmienne warunki pogodowe, występujące w trakcie wegetacji roślin, co wyraźnie wykazano w doświadczeniu z brokułem [13]. Istotne znaczenie ma również termin uprawy i gatunek warzywa. Przykładowo w sałacie gruntowej dokarmianie dolistne efektywniej zmniejszało koncentrację azotanów w cyklu jesiennym uprawy niż w wiosennym [21], natomiast w równoległe prowadzonym doświadczeniu z brokułem zdecydowanie lepsze efekty w tym zakresie wykazano w wiosennym cyklu uprawy [13,22]. W cytowanych doświadczeniach w nawożeniu mineralnym roślin stosowano  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Należy podkreślić, że w prezentowanych wynikach badań obserwowano istotne zwiększenie zawartości azotanów po dokarmianiu dolistnym ale tylko w korzeniach marchwi nawożonej doglebowo  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . W tym przypadku zmniejszonemu zapotrzebowaniu na azot w częściach nadziemnych roślin mogło towarzyszyć intensywne pobieranie azotanów i ich akumulacja w korzeniach. O zwiększeniu zawartości azotanów (ale bez przekroczenia dopuszczalnych norm) w korzeniach marchwi 'Kazan F<sub>1</sub>' nawożonej  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  i  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  po dokarmianiu dolistnym mocznikiem i Supervitem-R donoszą również Sady i in. [17].

Przyczynami wysokiego poziomu azotanów w korzeniach marchwi nawożonej  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  w obu wariantach niniejszego doświadczenia najprawdopodobniej były z jednej strony warunki sprzyjające intensywnej nityfikacji, a z drugiej – duże stężenie anionów siarczanowych dostarczanych z tym nawozem, których nadmiar może przyczyniać się do akumulacji  $\text{NO}_3^-$  w roślinach [8]. Istnieje bowiem konkurencja pomiędzy anionami siarczanowymi i azotanowymi o energię niezbędną do procesów redukcji obu jonów. Wykazana w doświadczeniu największa zawartość azotu ogółem w korzeniach spichrzowych marchwi nawożonej  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  mogła mieć związek z wysokim poziomem azotanów zaobserwowanym w tym obiekcie.

Z zawartością azotanów w tkankach roślin ściśle wiąże się aktywność enzymu redukującego jony  $\text{NO}_3^-$ . Pomimo, że reduktaza azotanowa jest enzymem indukowanym obecnością azotanów, niektórzy autorzy donoszą o stymulującym wpływie zredukowanych form azotu (np.  $\text{NH}_4^+$ ) na jego aktywność [8,11,20]. Uzyskane wyniki potwierdziły stabilizujący wpływ zredukowanych form azotu podanych roślinie w nawożeniu zarówno doglebowym jak i dolistnym na aktywność reduktazy azotanowej w korzeniach marchwi.

Interesującym uzupełnieniem badanych zależności są wyniki równoległe prowadzonych analiz w liściach [23]. W dyskusji bowiem nad metabolizmem azotanów istotne jest uwzględnienie wpływu badanych czynników doświadczenia na intensywność omawianych przemian także w częściach nadziemnych roślin.

#### WNIOSKI

1. Współdziałanie dokarmiania dolistnego  $\times$  nawożenie miało istotny wpływ na masę jednego korzenia oraz zawartość  $\text{NO}_3^-$  i aktywność NiR w korzeniach spichrzowych marchwi.

2. Nie wykazano istotnego wpływu współdziałania dokarmiania dolistnego  $\times$  nawożenie na masę naci oraz zawartość suchej masy w naci i korzeniach spichrzowych, zawartość  $\text{NH}_4^+$ , azotu ogólnego, jak również aktywność NR w korzeniach spichrzowych marchwi.

3. Nawożenie  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  oraz  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  spowodowało zmniejszenie zawartości  $\text{NH}_4^+$  w korzeniach spichrzowych w porównaniu do roślin kontrolnych jak i nawożonych  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  i  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

4. Doglebowe nawożenie azotem spowodowało zwiększenie: masy jednego korzenia, masy naci, zawartości suchej masy w naci oraz zawartości  $\text{NO}_3^-$ , azotu ogólnego jak również aktywności NR i NiR w korzeniach spichrzowych w porównaniu do roślin kontrolnych nienawożonych azotem.

5. Doglebowe nawożenie azotem nie wywołało istotnych zmian w zawartości suchej masy w korzeniach spichrzowych.

6. Dokarmianie dolistne spowodowało istotne obniżenie masy jednego korzenia a podwyższenie zawartości suchej masy w naci.

7. Korzenie spichrzowe roślin dokarmianych dolistnie zawierały więcej N-ogólnego oraz posiadały większą aktywność NR.

8. Dokarmianie dolistne nie wpłynęło w istotny sposób na masę naci oraz zawartość: suchej masy,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  jak również aktywność NiR w korzeniach spichrzowych.

9. W roku 2005 stwierdzono istotnie wyższy plon naci oraz zawartość suchej masy w naci; istotnie niższą zawartość  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , N-ogólnego, niższą aktywność NR a wyższą NiR w korzeniach spichrzowych marchwi niż w roku 2004.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Biesiada A.:** Wpływ dokarmiania dolistnego mocznikiem i siarczanem amonu na zawartość azotanów w sałacie. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo, LXXXVI, 515, 47-53, 2005.
2. **Buczek J.:** The occurrence of nitrate reductase inactivating factor in extracts of *Spirodela polyrrhiza*. Acta Soc. Bot. Pol., 53, 411-417, 1984.

3. **Campbell W. H.:** Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the gap between biochemistry and physiology. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 277-303, 1999.
4. **Forde B. G., Cole J. A.:** Nitrate Finds a Place in the Sun. *Plant Physiology*, 131, 395-400, 2003.
5. **Gutezeit B., Fink M.:** Effect of cultivar and harvest date on nitrate content of carrot roots. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 74 (3), 297-300, 1999.
6. **Jaskulski D.:** Efektywność produkcyjna i ekonomiczna dolistnego stosowania nawozów Sonata w uprawie niektórych warzyw polowych. *Fragmenta Agronomica*, XXII, 1 (85), 419-428, 2005.
7. **Kołota E.:** Problematyka z zakresu nawożenia warzyw polowych azotem na XXVI Międzynarodowym Kongresie Ogrodniczym w Toronto, Kanada. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, XXXCLVI, Ogrodnictwo, 37, 241-248, 2004.
8. **Marschner H.** *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London, 1995.
9. **Nowosielski O.** *Zasady opracowywania zaleceń nawozowych w ogrodnictwie*. PWRiL. Warszawa, 1988.
10. **Rożek S.:** Czynniki wpływające na akumulację azotanów w plonie warzyw. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 364, 71, 19-31, 2000.
11. **Rożek S., Leja M., Wojciechowska R., Sady W.:** Nitrate and nitrite contents in spring cabbage as related to nitrogen fertilizer type, method of fertilizer application and to nitrate and nitrite reductase activity. *Acta Hort.*, 506, 153-157, 1999.
12. **Rożek S., Sady W., Kasprzyk A.** Wpływ pozakorzeniowego dokarmiania roślin na wielkość i jakość plonu marchwi. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 364, z. 71, 159-162, 2000.
13. **Rożek S., Wojciechowska R.:** Effect of foliar urea application and different levels of nitrogen in soil on yield and its quality of broccoli heads in autumn growing cycle. *Horticulture and Vegetable Growing* 24(3): 291-301, 2005.
14. **Rydz A.:** The effect of foliar nutrition urea on yield quality of broccoli cv. Lord F<sub>1</sub>. *Veg. Crops Res. Bull.*, 54, (1), 61-64, 2001.
15. **Sady W.:** *Nawożenie warzyw polowych*. Plantpres, Kraków, 2000.
16. **Sady W., Rożek S., Myczkowski J.:** Effect of different forms of nitrogen on the quality of lettuce yield. *Acta Horticulture*, 401, 409-416, 1995.
17. **Sady W., Smoleń S., Rożek S.:** Effect of differentiated nitrogen fertilization and foliar application on yield and biological quality of carrot crop. *Horticulture and Vegetable Growing*, 24 (3), 273-281, 2005.
18. **Smoleń S., Sady W.:** Effect of foliar nutrition with nitrogen, molybdenum, sucrose and BA on biological quality of carrot. *Horticulture and Vegetable Growing*, 24 (3), 227-234, 2005.
19. **Wanng Z., Li S.:** Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Plant Growth and Nitrate Accumulation in Vegetables. *Journal of Plant Nutrition*, 27 (3), 539-556, 2004.
20. **Wojciechowska R.:** The nitrate and nitrite reductase activity in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) as related to nitrate content modified by different nitrogen fertilization. *Veg. Crops Res. Bull.*, 56, 31-38, 2002.
21. **Wojciechowska R.:** Wybrane aspekty metabolizmu azotanów w warzywach ze szczególnym uwzględnieniem sałaty masłowej 'Sprinter F<sub>1</sub>'. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ser. Rozprawy*, 297, 2004.
22. **Wojciechowska R., Rożek S., Rydz A.:** Broccoli yield and its quality in spring growing cycle as dependent on nitrogen fertilization. *Folia Horticulturae* (in press), 2005.
23. **Wojciechowska R., Smoleń S., Sady W., Koltun A.:** Redukcja azotanów w liściach marchwi w zależności od dokarmiania dolistnego i różnych form azotu nawozowego. *Acta Agrophysica*, 7(3), 763-774, 2006.

EFFECT OF FERTILIZATION WITH DIFFERENT FORMS  
OF NITROGEN AND FOLIAR NUTRITION ON YIELD AND NITROGEN  
METABOLISM IN CARROT ROOTS (*DAUCUS CAROTA* L.)

*Sylwester Smoleń<sup>1</sup>, Renata Wojciechowska<sup>2</sup>, Włodzimierz Sady<sup>1</sup>, Anna Szura<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Department of Soil Cultivation and Fertilization of Horticulture Plants, Agricultural University

<sup>2</sup>Department of Plant Physiology, Faculty of Horticulture, Agricultural University

Al. 29 Listopada 54, 31-245 Kraków

e-mail: ssmolen@brattek.ogr.ar.krakow.pl

**Abstract.** Carrot 'Kazan F<sub>1</sub>' was grown in 2004-2005 in containers 60×40×20 cm, placed in the open under a fabric shade. Medium silty clay loam (30% sand, 28% silt, 37% clay) was used as the substrate. The containers were filled with the clay soil containing on average 3.25 % of organic matter. Available mineral nutrients were supplemented to the following levels: 100 mg N, 80 mg P, 120 mg K, 80 mg Mg, 2000 mg Ca·dm<sup>-3</sup> of soil. The research included treatments with and without foliar nutrition which was applied three times with alternate use of 2% urea, 1% Supervit R and 2% urea. Distinguished in the experiment were objects with different soil nitrogen fertilization: control (without nitrogen fertilization) and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. Nitrogen fertilization caused increase of single root weight, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and total nitrogen content, as well as of the activity of NR and NiR in the carrot roots. Nitrogen fertilization did not significantly affect the content of dry matter in roots. Foliar nutrition caused decrease of single root weight. Plants treated by foliar nutrition had roots with higher total nitrogen content and higher NR activity. Foliar nutrition did not significantly affect the content of: dry matter, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, and activity of NiR in roots. Interaction of foliar nutrition and nitrogen fertilization significantly influenced single root weight, content of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and activity of NiR while it did not affect the content of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, total nitrogen, dry matter nor NR activity in carrot roots.

**Key words:** nitrogen, foliar nutrition, nitrate reductase, nitrite reductase, carrot