

園芸作物の硝酸塩蓄積に関する研究—X

トマト果実の硝酸塩蓄積におよぼす微量元素の影響 (1)

宮崎 正則・国里 進三・美谷 誠一

Studies on the Accumulation of Nitrate in Horticultural Products—X Effects of the Minor Elements on the Accumulation of Nitrate in Tomato Fruit.

Masanori Miyazaki, Shinzo Kunisato, and Seiichi Miya

The study was carried out to investigate the influences of the minor elements on the accumulation of nitrate in tomato fruit, using Fireball variety in sand culture.

Nitrate content in tomato fruit grown in excess (10 times of normal) of each of iron and copper in the culture solution increased during the ripening from the breaker stage to the red ripe, and became to remarkably high level at the red ripe stage.

Remarkable amount of nitrate was detected in the fruit grown on molybdenum omitted and molybdenum was not detected in the fruit.

Nitrate content in the fruit grown in excess of zinc decreased after breaker stage becoming to a low level at the red ripe stage.

Nitrate content in tomato fruit was not significantly affected by manganese and boron.

1. 緒 言

トマト果実中の NO_3^- 塩によるトマトジュース缶詰のスズ異常溶出を防止する目的で、トマト果実の NO_3^- 塩蓄積要因を検討し、前報までに N, P, K, Ca および Mg 肥料の影響について報告した。今回は微量元素の影響について報告する。Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo は植物に必須の要素であり、 NO_3^- -N 同化に関しては Mo は硝酸還元酵素系^{4),5)}に、Fe, Cu, Mn は亜硝酸還元酵素系およびそれ以降の還元系に関与する物質とされ^{6),7),8)}、これらが不足すると植物体に NO_3^- -N の蓄積が認められることが多く報告されている^{9),10),11),12),13),14),15),16)}。しかしこれらの報告はいずれも幼植物あるいは葉茎に関するものであり、果実に関する報告はほとんどみられない。予備実験で、培養液の微量元素をすべて欠除させた時、10倍濃度にした時および pH 4.5 の培養液を用いた時にはトマト果実の NO_3^- -N 濃度は標準区に比べ著しく高くなることが認められたので、Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo の欠除、過剰 (10倍) の影響について検討した。

2. 実験方法

トマト品種“ファイアボール”を1970年3月5日に播種した。播種後約30日間の育苗中培養液の

微量要素をできる限り低濃度にするため、標準の1/8倍濃度の培養液で育てたが、生育状態に応じて濃度を高めた。ただし Mo は与えなかった。4月13日に酸、アルカリ、酸で洗浄後十分水洗した砂を入れたポット (1/2000a) に定植し、ガラス室内で砂耕を開始した。定植1週間後から処理をはじめた。処理区は培養液の Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo を各々添加しない区、すべてを添加しない区、各々を10倍にした区およびすべてを10倍にした区を設けた。標準培養液組成は N (NO₃-N) 210 ppm, P 31ppm, K 234ppm, Ca 200ppm, Mg 48ppm, Fe (クエン酸鉄として) 8 ppm, Cu 0.02ppm, Mn 0.5ppm, Zn 0.05ppm, B 0.5ppm, Mo 0.05ppm とし、脱塩水で作成した。栽培管理は第9報³⁾に準じた。

各果房の1, 2番果の緑白期、催色期、完熟期および3, 4, 5, 6番果の完熟期の NO₃-N 濃度を測定した。1段果房1, 2番果の完熟果については無機物質も測定した。1週間毎の培養液の更新時に液中に残存する NO₃-N 量を測定し、トマトに吸収された NO₃-N 量を算出した。

分析方法は第8²⁾および第9報³⁾に準じた。

なお予備実験は1969年8月15日に播種し、処理区は培養液の NO₃-N 濃度を 210ppm (標準) と4倍の 840ppm として、その下に全微量要素無添加区、全微量要素10倍区、酸性区 (pH 4.5) を設け、11月末から12月に収穫されたトマト果実の NO₃-N 濃度を測定した。

3. 実験結果

予備実験の結果を第1表に示す。同表を通覧してわかるように全微量要素無添加区、10倍区、酸性区の果実の NO₃-N 濃度は1段果房ではいずれも標準区に比べ高い傾向を示した。

Fe, Mn, Cu, Zn, B および Mo の影響を第2表に示す。Fe 10倍区は標準区に比べ、1, 2段果房果実とも著しく高く、Fe 無添加区は2段果房で高い傾向を示した。Mn 10倍区は1, 2段果房でやや高い傾向を示し、Mn 無添加区は標準区と同程度であった。また Cu 10倍区は1, 2段果房

Table 1 Effect of the minor elements on the nitrate contents in tomato fruit (NO₃-N ppm)

Treatment	1st Cluster				2nd Cluster				3rd Cluster		
	Ist and 2nd fruit			3rd fruit	Ist and 2nd fruit			3rd fruit	Ist and 2nd fruit		3rd fruit
	mature green	break-er	red ripe	red ripe	mature green	break-er	red ripe	red ripe	breaker	red ripe	red ripe
N.1 Standard	6.6	6.6	9.4	10.8	2.0	7.5	5.7	3.2	8.0	5.1	3.2
Acid (pH 4.5)		16.3	13.3	14.7	4.0	8.6	10.4	2.0	8.9	7.9	2.0
No addition of all minor elements	8.6	9.7	22.2	25.7	2.0	7.5	7.0	16.3	8.9	7.5	3.3
Exces of all minor elements	14.0	12.2	14.8	25.7	4.0	13.3	12.2	7.3	4.4	3.3	3.3
N.4 Standard	10.6	19.3	7.7	6.2	2.4	9.9	7.7	3.3	5.6	5.6	1.3
Acid (pH 4.5)	16.9	14.7	14.1	12.9	5.8	9.4	7.7	4.7	8.8	9.9	
No addition of all minor elements	16.6	6.8	12.3	19.4	3.1	18.9	9.0		1.1	3.8	3.3
Excesses of all minor elements	12.5	12.7	17.0	11.8	4.0	17.1	14.8	14.7	9.4	9.4	2.7

で著しく高く、Cu 無添加区は標準区と同程度であった。一方 Zn 10倍区は1段果房で著しく低く、Zn 無添加区は標準区と同程度であった。さらに B10倍区は2段果房で高く、B 無添加区では標準区と

Table 2 Effects of the minor elements on nitrate contents in tomato fruit (NO₃-N ppm)

treatment	1st Cluster					2nd Cluster					
	Ist and 2nd fruit			3rd fruit	4th fruit	Ist and 2nd fruit			3rd fruit	4th fruit	
	mature green	break-er	red ripe	red ripe	red ripe	mature green	break-er	red ripe	red ripe	red ripe	
Standard	10.0	17.8	20.0	17.5	13.3	6.9	2.5	2.2	1.6	2.4	
Fe	10 times	14.4	40.0	36.1	33.1	32.7	12.0	24.6	12.6	7.0	7.0
	No addition	17.8	17.9	22.0	11.4	13.2	6.9	2.9	6.1	8.5	7.2
Mn	10 times	9.1	25.2	25.4	23.5	17.9	5.2	7.2	5.6	3.6	2.6
	No addition	15.2	26.0	20.1	19.2	13.3	7.6		4.1	4.0	4.0
Cu	10 times	15.2	22.9	30.9	33.6	26.0	13.2	19.8	19.4	13.8	14.7
	No addition	9.7	24.8	20.4	23.7	19.3	9.3	3.4	2.8	4.4	2.7
Zn	10 times	7.2	26.0	10.0	8.0	9.1	5.2	3.3	2.0	2.0	
	No addition	11.4	22.6	18.6	20.7	17.3	10.6	3.4	5.3	3.7	2.0
B	10 times	6.9	34.0	16.6	20.4		13.9	2.4	6.9	12.0	10.7
	No addition	9.2	23.2	11.4	15.6		9.6	13.6	5.1	4.4	2.8
Mo	No addition	13.1	26.4	25.7	25.2	30.0	16.9	17.6	19.3	13.6	10.1
Fe, Mn, Cu, Zn, B	10 times	11.0	31.7	25.2	25.0	24.4	17.6	21.6	8.0	11.2	11.2
	No addition	4.0		10.6	10.2	9.4			7.0	4.8	

Table 3 Effects of the minor elements on the nutrient contents in tomato fruit (ppm/fresh)

Treatment	NO ₃ -N	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	
Standard	18.8	1480	323	2040	75	108	7.3	1.5	0.9	0.9	0.8	0.10	
Fe	10 times	34.7	1500	298	2090	130	115	10.6	1.5	0.9	0.7	1.4	0.08
	No addition	16.7	1320	298	2210	80	108	6.0	1.9	0.8	1.3	1.4	0.07
Mn	10 times	24.5	1530	298	2590	70	103	6.8	3.8	0.8	0.8	1.7	0.06
	No addition	19.6	1690	323	2940	60	148	7.6	1.0	1.1	1.0	1.8	0.12
Cu	10 times	32.2	1530	301	2330	100	120	4.4	1.5	1.4	1.0	1.5	0.04
	No addition	22.0	1400	263	1990	90	105	13.5	1.2	1.0	1.0	1.8	0.09
Zn	10 times	9.0	1500	345	2280	90	125	5.6	1.9	0.9	1.4	1.8	0.06
	No addition	19.6	1530	310	2300	65	138	7.4	1.5	1.1	1.0	1.7	0.10
B	10 times	18.5	1370	263	2210	100	108		1.5	1.7	1.2	2.7	
	No addition	13.5	1500	363	2740	90	145	7.4	1.7	1.0	4.9	1.4	
Mo	No addition	25.5	1290	263	1640	90	88	2.4	1.0	0.9	0.9	2.2	0.0
Fe, Mn, Cu, Zn, B	10 times	25.1	1430	310	1130	115	118	7.4	3.5	1.6	1.3	2.2	0.06
	No addition	10.4	1130	284	2140	95	123	10.4	0	0.6	1.1	1.8	0.14

は差異が認められなかった。Mo 無添加区は 1, 2 段果房とも標準区に比べ、著しく高い傾向を示した。これらに対し、全微量要素10倍区は標準区よりやや高く、全微量要素無添加区はかえって著しく低い傾向を示した。

Fe 10倍区, Cu 10倍区, Mo 無添加区は催色期から完熟期にかけて果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は低下することなく、一方 Zn 10倍区は著しく低下することが認められた。

1 段果房 1, 2 番果完熟果の無機物質濃度を第 3 表に示す。Fe, Mn, Cu, Zn, B の各10倍

区はそれらの無添加区に比べ各要素濃度は高いが、無添加区でもかなりの濃度が認められた。しかし Mo 無添加の果実には Mo は検出されなかった。Cu 処理区では Cu と Fe との拮抗性が認めら

Table 4 Effects of the minor elements on the amount of water and nitrate absorbed by tomato plant.

Treatment		Water absorbed	$\text{NO}_3\text{-N}$ absorbed
Standard		l/plant	mg/plant
Fe	10 times	36.5	4685
	No addition	38.4	5561
Mn	10 times	33.1	4539
	No addition	25.7	3772
Cu	10 times	35.2	4908
	No addition	37.2	5226
Zn	10 times	27.2	4000
	No addition	37.5	5556
B	10 times	39.7	5093
	No addition	32.1	4725
Mo	No addition	44.1	6809
Fe, Mn, Cu, Zn, B, 10 times		32.5	4223
No addition		19.3	2778

Table 5 Effects of the minor elements on the growth and yield of tomato plant.

Treatment	Yield			Height	Weight of leaf and stem	
	Number of fruit	Total fruit weight	Fruit weight			
Standard	Number/plant	g/plant	g/fruit	cm	g/plant	
	14.3	2175	125	56	470	
Fe	10 times	12.0	1795	162	58	442
	No addition	16.0	1812	113	55	400
Mn	10 times	15.0	1790	119	61	417
	No addition	13.0	1292	99	54	233
Cu	10 times	15.7	1941	124	64	292
	No addition	15.0	1794	120	53	417
Zn	10 times	12.7	1279	101	52	330
	No addition	14.0	1950	139	57	400
B	10 times	11.3	1569	109	64	383
	No addition	14.3	1249	87	56	383
Mo	No addition	17.7	2348	127	64	500
Fe, Mn, Cu, Zn, B, 10 times		15.3	1721	112	72	333
	No addition	8.0	735	92	59	137

れ、一方 Zn 処理区では Zn と P との拮抗性は認められなかった。

トマト株による $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収量は第 4 表に示すように、全微量要素無添加区で著しく少なく、Zn 10 倍区もやや劣った。

第 5 表に収量、生育を示す。地上部に現われた症状は 10 倍区で葉縁に黒色の大きな斑点および収穫後期の枯死、Cu 10 倍区で葉のクロロシスおよび収穫中期からの著しい枯死、Zn 10 倍区で収穫中期からの軽度の萎凋が認められ、全微量要素 10 倍区は B 10 倍区と同じ症状がより早く現われた。Fe 無添加区で葉のクロロシス、Mn 無添加区は葉全面に茶色の小さい斑点および収穫中期からの著しい枯死が認められ、B 無添加区は果面にくぼみが現われ、光沢を失い、落果が顕著であった。全微量要素無添加区は生育、果実数が著しく劣った。Mo 無添加の特長は葉がコップ状にまき上るといわれるが、供試した“ファイアボール”の葉はまき上る特性を持つので本実験では Mo 無添加の症状は識別できなかった。

4. 考 察

Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo は、植物の生育に必須の要素であり、B 以外は $\text{NO}_3\text{-N}$ 同化にも関与するとされているので、これらが欠乏すると $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積が起り得ると考えられる。

植物が比較的少量を要求する Fe, Mn, B は、それらを添加しなければ欠乏症状は現われたが、果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は高濃度ではなく、また果実中の各要素も著しく低濃度ではなかった。ごく微量しか要求しない Cu, Zn は、これらを欠除させても欠乏症状は現われ難く、果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も高濃度ではなく、果実の各成分も著しく低濃度ではなかった。これらのことは栽培中にトマトがある程度量の Fe, Mn, Cu, Zn, B を吸収したことを意味し、育苗中適当量を含む培養液で育てたことおよび微量成分の欠乏症の実験を行うための純化方法⁷⁾を行なわなかったことに由来すると考えられる。したがって文中無添加区と記したが、定植 1 週間後からの無添加処理を意味し一般に用いられる欠乏とは異なることを明記する。Mo は育苗中の培養液に含まれなかったので、Mo 無添加区の果実の Mo 量はきわめて少なく、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も著しく高濃度であった。別の実験で本実験と同じ方法で Mo 無添加を再現させた結果、標準区の茎葉の Mo 量は 0.30~1.06ppm、果実では 0.05~0.15ppm であったのに対し、Mo 無添加区の茎葉では 0.01~0.02ppm、果実で 0.01ppm 以下であり、育苗中に Mo を供給しなければ Mo 欠乏に類似する症状はある程度再現できるのではないかと考えられた。ある微量元素が少なければ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積は起り得るが、それにより生育が著しく抑制された場合には、第 2 表の全微量要素無添加区のように培地からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収は抑えられ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積量はかえって少なくなることもある。第 1 表と第 2 表の全微量要素無添加区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は全く逆の結果を示したが、栽培時期の違い、育苗期間とその間の培養液の微量元素濃度を正確に同一としなかったことにより、処理開始後の株の微量元素欠乏度に差異を生じたためであろうと考えられる。

Fe 10 倍区、Cu 10 倍区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は著しく高濃度であった。Fe の過剰は Mn 欠乏を誘起し⁸⁾、Cu 過剰は Fe 欠乏を誘起⁹⁾するとされ、本実験でも果実の無機成分濃度からみて、この関係は認められたが、これが果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を高めた原因とは断定出来ない。これにつ

いては根、葉での関係を調べる必要があると思われる。著者らの未報告の実験では Cu 過剰は果実の硝酸還元酵素活性を低下させた。Zn 10倍区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は著しく低い傾向を示し培地の Zn 濃度が高くなるにつれて地上部の N 濃度は低下する傾向¹⁹⁾があり、本実験では Zn10倍区の $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収量はやや劣った。一方 Zn 欠乏に Zn を供給することにより $\text{NO}_3\text{-N}$ が消失すること、硫酸亜鉛の葉面散布により糖、アスコルビン酸が増加²⁰⁾することなどからみて、Zn は生理的にも N 代謝に影響すると考えられる。Zn と P の培抗作用は認められなかった。Mo 無添加区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は著しく高い傾向を示した。Mo は硝酸還元酵素系に関与し、Mo 無添加で $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積がみられることは数多く報告されている。

完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の著しく高い Fe 10倍区、Cu 10倍区、Mo 無添加区は催色期から完熟期にかけて果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は低下せず、完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の低い Zn 10倍区では著しく低下したことは前報の蓄積型、蓄積しない型と一致した。

培地が酸性になると可吸態 Fe、Cu が増加し、有効態 Mo は利用され難くなるので、酸性土壌ではトマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は高くなると推察された。

5. 要 約

5・1 トマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積におよぼす Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo の影響について検討した。

5・2 培養液の Fe 濃度を10倍にすると、果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は著しく高くなる傾向を示したこの傾向は Cu 10倍区でも認められた

5・3 Zn 10 倍区は果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を著しく低下させる傾向を示した。

5・4 Mo 無添加区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は著しく高く、一方果実の Mo 含量はきわめて低かった。

終りに、本研究を行なうにあたり、御助言をいただいた当研究所堀尾嘉友主任研究員、岩本喜伴主任研究員、当短期大学大塚滋教授、下田吉夫助教授に感謝いたします。また、御助力いただいた当研究所、本多武雄氏、杉原八郎氏、藪内数雄氏、若狭勝氏に感謝いたします。

文 献

- 1) 宮崎正則・国里進三・美谷誠一：日食品工会誌，18，12（1971）
- 2) 宮崎正則・国里進三・美谷誠一：日食品工会誌，19，22（1972）
- 3) 宮崎正則・国里進三・美谷誠一：日食品工会誌，19，55（1972）
- 4) Nicholas, D. J. D., Nason, A., and McElroy, W. D. : J. Biol Chem, 207, 341 (1954)
- 5) Nicholas, D. J. D., and Nason, A. ; Arch. Biochem. Biophys, 51, 310 (1954)
- 6) Nicholas, D. J. D. : Nature, 179, 800 (1957)
- 7) Medind, A., and Nicholas, D. J. D. : Nature 179, 533 (1957)
- 8) Webster, G. C. : 植物の窒素代謝（松中昭一・田中房江・飯塚宏栄訳一岩波書店）2，1963

- 9) Anderson, A. J., and Spencer, D. : Australian. J. Sci, Res, **B3**, 414 (1950)
- 10) Hewitte, E. J., and Jones, E. W. : J. Pomol. Hort, Sci. **23**, 254 (1947)
- 11) Wilson, R. D., and Waring, E. J. : J. Austalian. Inst. Agr. Sci, **14**, 141 (1948)
- 12) Mulder, E. G. : Plant and Soil, **1**, 94 (1948)
- 13) Mulder, E. G. : Ann. Rev. Plant Physiol. **1**, 1 (1950)
- 14) Wood J. G., and P. M. Sibey. : Australian. J. Sci, Res. **B5**, 244 (1953)
- 15) Plant, W. : J. Hort. Sci., **31**, 163 (1956)
- 16) 山崎伝 : 微量要素と多量要素 (博友社) 287 (1966)
- 17) 京都大学農学部農芸化学教室編 : 農芸化学実験書 (産業図書) 3巻, 1039 (1957)
- 18) 小林茂久平 : 農業および園芸, **44**, 1061 (1969)
- 19) 大沢孝也 : 昭和45年度園芸学会秋期大会発表要旨, 182 (1970)
- 20) J. S. Arora, and J. R. Singh : 園芸会雑, **39**, 139 (1970)