園芸作物の硝酸塩蓄積に関する研究

(第 10 報) 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

Part X. Effects of the micro 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 micro 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 deficient, and molybdenum was not detected in the fruit.

Nitrate content in the fruit grown in excess of zinc decreased after the 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.

(Received Dec. 24, 1971)

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¹⁾²⁾³⁾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^{9)~16)}されている。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乏させたとき、10 倍濃度にしたときおよび pH 4.5 の培養液を用いたときにはトマト果実の 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 の欠乏、

過剰 (10 倍) の影響について検討した。

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元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 ($\frac{1}{2000}$ a) 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 をそれぞれ欠いた区、すべてを欠いた区、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 (NO_3^- -N) 210 ppm, P 31 ppm, K 234 ppm, Ca 200 ppm, Mg 48 ppm, Fe (クエン酸鉄として) 8 ppm, Cu 0.02 ppm, Mn 0.5 ppm, Zn

* 東洋食品研究所 (兵庫県川西市南花屋敷 4-23)

Toyo Institute of Food Technology. Kawanishi, Hyogo.

0.05 ppm, B 0.5 ppm, Mo 0.05 ppm 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 $\text{NO}_3\text{-N}$ 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週間ごとの培養液の更新時に液中に存残する $\text{NO}_3\text{-N}$ 量を測定し、トマトに吸収された $\text{NO}_3\text{-N}$ 量を算出した。

分析方法は第8³⁾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 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を210 ppm (標準) と4倍の840

ppm として、その下に全微量元素欠乏区, 全微量元素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 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を測定した。

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元素欠乏区, 10倍区, 酸性区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 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

第1表 トマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度におよぼす微量元素の影響

($\text{NO}_3\text{-N}$ ppm/fresh)

処 理 区		1 段 果 房				2 段 果 房				3 段 果 房		
		1, 2 番 果			3, 4 番果	1, 2 番 果			3, 4 番果	1, 2 番 果		3, 4 番果
		緑白	催色	完熟	完熟	緑白	催色	完熟	完熟	催色	完熟	完熟
		緑白	催色	完熟	完熟	緑白	催色	完熟	完熟	催色	完熟	完熟
N標準	標 準 区	6.6	6.6	9.4	10.8	2.0	7.5	5.7	3.2	8.0	5.1	3.2
	酸 性 区		16.3	13.3	14.7	4.0	8.6	10.4	2.0	8.9	7.3	2.0
	全微量元素欠乏区	8.6	9.7	22.2	25.7	2.0	7.5	7.0	16.3	8.9	7.5	3.3
	全微量元素10倍区	14.0	12.2	14.8	25.7	4.0	13.3	12.2	7.3	4.4	3.3	3.3
N4倍	標 準 区	10.6	19.3	7.7	6.2	2.4	9.9	7.7	3.3	5.6	5.6	1.3
	酸 性 区	16.9	14.7	14.1	12.9	5.8	9.4	7.7	4.7	8.8	9.9	
	全微量元素欠乏区	16.6	6.8	12.3	19.4	3.1	18.9	9.0		1.1	3.8	3.3
	全微量元素10倍区	12.5	12.7	17.0	11.8	4.0	17.1	14.8	14.7	9.4	9.4	2.7

第2表 トマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度におよぼす Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo の影響

($\text{NO}_3\text{-N}$ ppm/fresh)

処 理 区		1 段 果 房					2 段 果 房				
		1, 2 番 果			3, 4 番果	5, 6 番果	1, 2 番 果			3, 4 番果	5, 6 番果
		緑白	催色	完熟	完熟	完熟	緑白	催色	完熟	完熟	完熟
		緑白	催色	完熟	完熟	完熟	緑白	催色	完熟	完熟	完熟
Fe	標 準 区	10.0	17.8	20.0	17.5	13.3	6.9	2.5	2.2	1.6	2.4
	10 倍 区	14.4	40.0	36.1	33.1	32.7	12.0	24.6	12.6	7.0	7.0
	欠 乏 区	17.8	17.9	22.0	11.4	13.2	6.9	2.9	6.1	8.5	7.2
Mn	10 倍 区	9.1	25.2	25.4	23.5	17.9	5.2	7.2	5.6	2.6	2.6
	欠 乏 区	15.2	26.0	20.1	19.2	13.3	7.6		4.1	4.0	4.0
Cu	10 倍 区	15.2	22.9	30.9	33.6	26.0	13.2	19.8	19.4	13.8	14.7
	欠 乏 区	9.7	24.8	20.4	23.7	19.3	9.3	3.4	2.8	4.4	2.7
Zn	10 倍 区	7.2	26.0	10.0	8.0	9.1	5.2	3.3	2.0	2.0	
	欠 乏 区	11.4	22.6	19.6	20.7	17.3	10.6	3.4	5.3	3.7	2.0
B	10 倍 区	6.9	34.0	16.6	20.4		13.9	2.4	6.9	12.0	10.7
	欠 乏 区	9.2	23.2	11.4	15.6		9.6	13.6	5.1	4.4	2.8
Mo	欠 乏 区	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 倍 区	11.0	31.7	25.2	25.0	24.4	17.6	21.6	8.0	11.2	11.2
	欠 乏 区	4.0		10.6	10.2	9.4			7.0	4.8	

第3表 トマト果実の NO₃-N 濃度と無機物質濃度

(ppm/fresh)

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

しく高く、Fe 欠乏区は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 欠乏区は標準区と同程度であった。また Cu 10倍区は1, 2段果房で著しく高く、Cu 欠乏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 欠乏区は標準区と同程度であった。さらに B 10倍区は2段果房で高く、B 欠乏区では標準区とは差異が認められなかった。Mo 欠乏区は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、全微量元素 10倍区は標準区よりやや高く、全微量元素欠乏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 欠乏区は催色期から完熟期にかけて果実の NO₃-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, の各 10倍区はそれらの欠乏区に比べ各要素濃度は高いが、欠乏区でもかなりの濃度が認められた。しかし Mo 欠乏区の果実には 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 NO₃-N の吸収量は第4表に示すように、全微量元素欠乏区で著しく少なく、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 B 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、全微量元素 10倍区は B 10倍区と同じ症状が B 10倍区より早く現われた。Fe 欠乏区で葉のクロロシス、Mn 欠乏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 欠乏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。全微量元素欠乏区は生育、果実数が著しく劣った。Mo 欠乏の特長は葉がコップ状に捲き上るといわれるが、供試した‘ファイアボール’の葉は捲き上る特性を持

第4表 NO₃-N 吸収量におよぼす微量元素の影響

処 理 区	吸 水 量* (l/株)	NO ₃ -N 吸収量* (mg/株)
標 準 区	38.2	5849
Fe	10倍区	36.5
	欠乏区	38.4
Mn	10倍区	33.1
	欠乏区	25.7
Cu	10倍区	35.2
	欠乏区	37.2
Zn	10倍区	27.2
	欠乏区	37.5
B	10倍区	39.7
	欠乏区	32.1
Mo	欠乏区	44.1
Fe·Mn· Cu·Zn·B	10倍区	32.5
	欠乏区	19.3

* 栽培の全期間

第5表 トマトの生育と収量におよぼす
微量元素の影響

处 理 区	收 量			草丈 (cm)	地上部* 重量 g/株	
	個数 (個数/株)	重量 (g/株)	1個重 (g)			
標 準 区	14.3	2175	125	56	470	
Fe	{ 10 倍 区	12.0	1795	162	58	442
	{ 欠 乏 区	16.0	1812	113	55	400
Mn	{ 10 倍 区	15.0	1790	119	61	417
	{ 欠 乏 区	13.0	1292	99	54	233
Cu	{ 10 倍 区	15.7	1941	124	64	292
	{ 欠 乏 区	15.0	1794	120	53	417
Zn	{ 10 倍 区	12.7	1279	101	52	330
	{ 欠 乏 区	14.0	1950	139	57	400
B	{ 10 倍 区	11.3	1569	109	64	383
	{ 欠 乏 区	14.3	1249	87	56	383
Mo	欠 乏 区	17.7	2248	127	64	500
Fe·Mn· Cu·Zn·B	{ 11 倍 区	15.3	1721	112	72	333
	{ 欠 乏 区	8.0	735	92	59	137

* 収穫終了直後の地上部茎葉

つので本実験では Mo 欠乏の症状は識別できなかった。

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。

植物が比較的多量を要求する Fe, Mn, B は, それらを欠乏させると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, これらを欠乏させても欠乏症状は現われがたく, 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なうための純化方法¹⁷⁾を行なわなかったことに由来すると考えられる。したがって文中欠乏区と記したが, 定植 1 週間後からの欠乏処理を意味し, 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ため, Mo 欠乏区の果実の Mo 量は 0 ppm であり, $\text{NO}_3\text{-N}$ 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 欠乏を再現させた結果, 標準区の茎葉の Mo 量

は 0.30~1.06 ppm, 果実では 0.05~0.15 ppm であったのに対し, Mo 欠乏区の茎葉では 0.01~0.02 ppm, 果実で 0 ppm であり, 育苗中に Mo を供給しなければ Mo 欠乏は再現できると考えられた。ある微量元素が欠乏すれば, $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積は起り得るが, その欠乏により生育が著しく抑制された場合には, 第2表の全微量元素欠乏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表の全微量元素欠乏区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 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¹⁸⁾, Cu 過剰は Fe 欠乏を誘起¹⁸⁾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できない。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た。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 Zn 10 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 の拮抗作用は認められなかった。Mo 欠乏区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 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 欠乏で $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積がみられることは数多く報告されている。本実験では Mo 欠乏区の欠乏症状は識別できなかったが, 果実の Mo 濃度が 0 ppm であったことから Mo 欠乏と判定し, 硝酸還元酵素活性の低下により果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなったと思われる。果実の N 濃度もかなり低い傾向を示した。

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 欠乏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 は利用されがたくなるので, 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。

トマトジュース缶詰の NO_3 -N 塩によるスズ異常溶出を防止するには、充填前の果汁の NO_3 -N 濃度を 3 ppm 以下にしなければならないとされているが、3 ppm を限界値として微量元素の影響をみると、Fe, Cu の過用は蓄積を明らかに促進させ、Zn の過用は蓄積を抑制はするが、3 ppm まで抑制することはできなかった。標準量の Mo でも 3 ppm に近づけることはできなかった。未報告ではあるが、Fe と Cu を両要素とも過用すると蓄積量はさらに増加し、これに Zn を過用しても Zn 単独過用の蓄積抑制効果は認められなかった。したがって本実験からは微量元素のみの調整で果実の NO_3 -N 濃度を 3 ppm 以下にすることは不可能と考えられる。そこで微量元素は土壤中に欠乏しない程度に存在し、 NO_3 -N の蓄積量を最低限に維持することが肝要であり、Fe あるいは Cu が過剰に吸収される条件はさなければならない。培養液の pH が 4 程度の強酸性でもトマトは生育するが、酸性下では Fe, Cu などは可吸態が増加し、一方 Mo は減少することが知られており、蓄積促進の好条件となり得るので酸性土壌は矯正すべきである。矯正した場合には Zn の利用度が低下するが、Zn 過用による蓄積抑制効果が培地の NO_3 -N 吸収抑制に由来するのではなく、体内の硝酸還元を含む N 代謝生理から説明されるならば今後 Zn の影響について検討すべきである。本研究の最終目標は収量および品質を低下させることなく、 NO_3 -N 濃度を 3 ppm 以下にすることにあるので、とくに微量元素に関しては N の吸収あるいは N 含量を低下させず、しかも NO_3 -N 濃度を低下させる方向での検討が必要である。

要 約

- 1) トマト果実の NO_3 -N 蓄積に及ぼす Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo の影響について検討した。
- 2) 培養液の Fe 濃度を 10 倍にすると、果実の NO_3 -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。
- 3) Zn 10 倍区は果実の NO_3 -N 濃度を著しく低下させる傾向を示した。
- 4) Mo 欠乏区の果実の NO_3 -N 濃度は著しく高く、一方果実の Mo 含量は 0 ppm であった。

本研究は大阪府立大農学部緒方邦安教授の御指導の下に行なわれた。ここに謝意を表わす。また、本研究を行なうにあたり、御助言をいただいた東洋食品研究所堀尾嘉友主任研究員、岩本喜伴主任研究員、東洋食品工業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東洋食品研究所、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：食品工誌，19，16 (1972)。
- 2) 宮崎正則・国里進三・美谷誠一：食品工誌，19，22 (1972)。
- 3) 宮崎正則・国里進三・美谷誠一：食品工誌，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) MEDINA, 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・岩波書店), p. 2 (1963)。
- 9) ANDERSON, A.J. and SPENCER, D.: *Austr. J. Sci. Research*, **B 3**, 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. Austr. Inst. Agri. 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 SIBBEY, P. M.: *Austr. J. Sci. Research*, **B 5**, 244 (1952)。
- 15) PLANT, W.: *J. Hort. Sci.*, **31**, 163 (1956)。
- 16) 山崎 伝：微量元素と多量要素 (博友社), p. 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, p. 1039 (1957)。
- 18) 小林茂久平：農及園，**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) ARORA, J. S. and SINGH, J.R.: 園学雑，**39**, 139 (1970)。

(昭和46年12月24日受理)