

農作物の硝酸塩蓄積に関する研究—Ⅰ

トマト果実の硝酸塩蓄積について—1

黛 乙 郎 宮 崎 正 則 国 里 進 三
岩 本 喜 伴 美 谷 誠 一 石 川 伸
木 多 武 雄 若 狭 勝 藪 内 一 雄

STUDIES ON THE ACCUMULATION OF NITRATE IN AGRICULTURAL PRODUCTS. I.

THE ACCUMULATION OF NITRATE IN TOMATO FRUIT-1

Itsuro Mayuzumi, Masanori Miyazaki, Shinzo Kunisato,
Yoshitomo Iwamoto, Seiichi Miya, Shin Ishikawa,
Takeo Kida, Masaru Wakasa and Kazuo Yabuuchi.

Tin has been often found to be dissolved in large amount in canned tomato juice and it is known that nitrate in tomato fruit causes tin-dissolving and nitrate nitrogen content in the fruit should be below 5 ppm to minimize the abnormal tin-dissolving in canned tomato juice.

This study was carried out to investigate the causes of the accumulation of nitrate in tomato fruit.

The results obtained are as follows.

(1) The nitrate-nitrogen content in the fruit was in the range of nil to 20 ppm, but that in the petiole was 100 to 1000 ppm, and even that in the calyx, which is attached to the fruit, was 10 to 500 ppm.

(2) The accumulation of nitrate in the petiole and calyx were influenced by nitrate level in the fertilizer, but that in the fruit was not significantly affected.

(3) Nitrate in the fruit increased as the mature developed and reached to the maximum at the mature green stage and then decreased.

Nitrate in the calyx increased as the ripeness developed and reached to the maximum at the early mature green stage and decreased to the minimum at the breaker stage and then increased again. These indicate that the nitrate reductase activity is lower in the unmaturing fruit and become stronger as ripeness develops.

(4) When the tomato plants were grown on modified Hoagland's cultural solutions with and without molybdenum, containing 120 ppm nitrate-nitrogen which was raised to 360 ppm from 7th day to 12th after the first flower of each cluster opened, the nitrate-nitrogen content in the fruit was found to be lower (4.8 ppm) when grown on molybdenum than when grown without molybdenum (6.5 ppm).

Whereas nitrate-nitrogen content in the fruit grown on the constant higher level of nitrate (360 ppm nitrate-nitrogen) with molybdenum was only 3.6 ppm and that

grown without molybdenum was 4.8 ppm.

From these results, it would be safe to say that nitrate accumulates in the tomato fruit grown in molybdenum deficiency and with the additional fertilization of nitrate.

1. 緒 言

近年アメリカにおいて、トマト、サツマイモ、ニンジン、ホーレン草、インゲンなどの缶詰でスズの異常溶出が発生し、毎年増加の傾向を示している¹⁾。わが国においても缶詰トマトジュース、その他で同じ問題が発生している。

この原因の一つに原料作物中の硝酸塩が関与していることが種々の実証試験により明らかにされた²⁾。

本研究は硝酸塩による缶詰トマトジュースのスズ異常溶出という観点から、トマト果実中の硝酸塩の蓄積現象について検討を行なったものである。

作物体内に吸収された硝酸塩はFADを含む硝酸還元酵素によって、 NADH_2 または NADPH_2 を酸化することにより、硝酸態窒素を還元し亜硝酸態窒素にする。このとき Mo が関与している^{3,4,5,6)}。亜硝酸以後の経路には Mo でなく、 Mn その他が関与している⁴⁾。体内に硝酸塩が蓄積するのはこの還元が進まないことによるのであり、これにおよぼす要因として、(1) Mo その他の微量金属不足⁷⁻¹⁰⁾、(2) 硝酸態窒素肥料を多く施して、株が過剰に吸収した時^{11,12)}、(3) 弱光下^{5,13)}、(4) 肥料成分をアンバランスに吸収した時⁵⁾、その他が考えられる。

2. 方 法

NO_3^- -Nの定量はKammらのカドミウムを用いる方法¹⁴⁾を使用した。新鮮重で示す。

栽培方法は種々の栽培を行なったので、Table または Fig. に付記する。

3. 結果と考察

3-1. 株における NO_3^- -Nの分布

Table I に示すように、果実には少なく、果実以外の部位では高濃度に含まれていた。しかし、

Table I NO_3^- -N content in tomato plant

Cluster	NO_3^- -N (ppm)					
	Stem	Leaf	Fruit Stalk	Calyx	Fruit	Root
5 th	483	465				
4 th	450	820	450	458	12.5*	
3 rd	508	800	315	533	9.0*	
2 nd	308	838	225	590	10.8**	
1 st	325	663	308		13.8***	154

* Mature green fruit

** Breaker fruit

*** Red ripe fruit

Emmert⁽¹⁵⁾の報告の可溶性窒素量から判断してかなり少なかった。

3-2. 蔬菜類の NO_3^- -N

トマトの果実には非常に少なかったが、他の数種の蔬菜類(市場購入)の食用部位の NO_3^- -N 量は Table II に示すようになりに多かった。栽培条件の差を考慮していないが、大体において葉菜、根菜類は果菜類に比べて、より多くの硝酸塩を含んでいる。これは葉や根が硝酸塩の貯蔵機関であるためであろう。

3-3. 窒素施肥試験

1966年夏に砂耕、土耕、圃場で窒素肥料の形態と量をかえて栽培し、果実中の硝酸塩蓄積におよぼす影響をみた。無窒素区は窒素のみを加えない区である。砂耕、土耕は6連制

Table II NO_3^- -N content in edible part of some vegetables

Vegetable		NO_3^- -N
Spinach	Leaf blade	289.5 ppm
	Petiole	926.4
Carrot	Upper	35.6
	Lower	80.0
Butterbur	Upper	165.0
	Lower	276.3
Onion	Outer	7.5
	Inner	4.8
Mushroom	Cap	1.3
	Stem	1.7
Bambooshoot	Upper	9.3
	Lower	44.5
White asparagus		7.1
Green asparagus		0.2

区とし、同一の6ポットから収穫された完熟果のうち、色、形、大きさのそろった果実3~5個を供試した。Table III に砂耕の結果を示す。どの窒素形態でも施肥量が増すにつれて、果実中の

Table III Effect of fertilization of nitrate, ammonium and ammonium nitrate on the accumulation of nitrate in fruit on sand culture.

Level of nitrogen fertilization		Harvested on											
		June 23			June 27			June 30			July 12		
		Total -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	Total -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	Total -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	Total -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N
None		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		800	0.5	2.4	ppm	0.4	13.2	ppm	+	ppm	+	ppm	+
NO_3^- -N	Normal	1110	0.2	22.4	1110	0.8	20.6	1470	+	38.6	1330	+	26.0
	Double	1270	+	14.0	1340	+	18.0	1270	+		1370	0.2	26.0
	5 times					+	25.8	1670	+		1560	+	32.0
NH_4^+ -N	Normal		+	47.3	1260	+	23.6	1270	0.2	58.6	1500	+	29.2
	Double				1530	1.8	78.0	2400	1.2	133.4	1470	+	48.0
	5 times	2340	3.2	115.6									
$\text{NH}_4^+\cdot\text{NO}_3^-$ -N	Normal				1330	0.4	38.0	1270	0.8	40.6	2000	0.4	25.2
	Double				1400	0.2	57.0	1550	0.6	44.6		+	
	5 times		1.3	96.0	2830	8.3	240.0	3600	3.4	202.8		+	

Heinz 1370 variety was used.

The component in cultural solution of normal level was N 120, P 60, K 60, Ca 38, Mg 25, Mo 0.04, Zn 0.05, B 0.4, Mn 0.5, Fe 2.2 and Cu 0.02 ppm.^{16,17)}

Total-N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は増加したが, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は $\text{NH}_4 \cdot \text{NO}_3\text{-N}$ ・ 5 倍区以外はほとんど存在しなかった. Table IV に土耕の結果を示す. 砂耕と同じく, 施肥量が増すと果実中の Total-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ は増加したが, $\text{NO}_3\text{-N}$ はほとんど含まれなかった.

Table IV Effect of fertilization of nitrate, ammonium and ammonium nitrate on the accumulation of nitrate in fruit on soil culture.

Level of nitrogen fertilization		Harvested on								
		June 23			June 28			July 3		
		Total-N	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Total-N	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Total-N	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$
None		ppm	ppm	ppm	ppm	+	4.8	800	1.2	12.0
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	Normal				910	+	13.8	910	+	18.6
	Double				1270	1.2	22.5	1440	1.0	37.2
	5 times				1910	+	34.8	1640	2.0	56.0
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Normal	1400	+	12.2	1000	+	11.4	1080	+	14.6
	Double				1550	0.4	11.4	1370	1.4	34.6
	5 times				2130	+	66.9	1910	+	74.6
$\text{NH}_4 \cdot \text{NO}_3\text{-N}$	Normal		+	24.5	1220	+	31.0	1270	+	25.2
	Double				1440	0.4	32.5	1370	+	40.6
	5 times				2450	0.6	80.9	1830	0.9	43.5

The component of normal level was N 1.5, P 1.0, K 2.0 (g/pot).

Table V に圃場の結果を示す. 5 倍区はどの窒素区も 5 ppm 程度含んだが, 収穫期半ばにして減少した. 標準区, 2 倍区の果実にはほとんど含まれなかった.

Table V Effect of fertilization of nitrate, ammonium and ammonium nitrate on the accumulation of nitrate in fruit on fieldculture. ($\text{NO}_3^-\text{-N}$ ppm.)

Level of nitrogen fertilization		Harvested on					
		July 5	July 18	July 27	August 3	August 5	August 8
None		1.0	0.5	1.5	2.4		
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	Normal	0	0.6	1.5	3.5		
	Double	1.5	+	1.4	3.1		
	5 times	2.0	2.3	6.5	3.1	2.8	+
$\text{NH}_4\text{-N}$	Normal	+	1.6	2.9	1.0		
	Double	+	2.3	2.0	1.5		
	5 times	1.0	2.4	3.5	1.4	3.0	1.6
$\text{NH}_4 \cdot \text{NO}_3\text{-N}$	Normal	+	0.5	1.8	1.8		
	Double	+	1.0	1.9	1.8		
	5 times	0.8	1.6	5.4	4.0	1.2	0.6

The component of normal level was N 30, P 20, K 40 (kg/10a).

これら一連の結果を通して, 施肥窒素形態および量の差による果実中の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 量の差は明確でなかった.

Table VI Effect of fertilization of nitrate, ammonium and ammonium nitrate on the accumulation of nitrate in petiole and calyx. (NO_3^- -N ppm)

Level of nitrogen fertilization		Sand culture		Soil culture	
		Petiole	Calyx	Petiole	Calyx
None				13.9	7.7
NO_3^- -N	Normal	350.0	39.2	+	12.3
	Double	308.0	30.0	1.6	50.8
	5 times	567.0	107.1	1000.0	77.2
NH_4^+ -N	Normal	834.5	48.3	1.6	11.6
	Double	900.8		200.0	10.7
	5 times			933.0	114.9
$\text{NH}_4 \cdot \text{NO}_3$ -N	Normal	750.6	123.3	4.0	19.3
	Double	1067.8	113.3	279.0	2.9
	5 times			1333.0	179.6

葉柄や蒂のような硝酸塩の貯蔵機関とも考えられる部位での結果を Table VI に示す。葉柄、蒂の NO_3^- -N は窒素施肥量に著しく影響を受けた。土耕の標準区、2倍区の葉柄に少なかったのは、分析時が栽培後期であり、葉はクロロシスを起こし、窒素欠乏状態であったためであろう。砂耕の NH_4^+ -N 区の葉柄に多量の硝酸塩が存在したことは今後検討しなければならないが、別の試験から NH_4^+ -N の培養液を用いても、ある程度栽培中砂の中で NO_3^- -N に変わることが判明している。

果実の隣の蒂でさえもかなり高濃度の NO_3^- -N を含みながら、果実にはほとんど含まれないことは、蒂の部分に硝酸塩の通過を抑える作用、貯蔵作用、それとも果実中にもどんどん通過させるが果実内での硝酸還元能力が大きくてすぐに還元するので、硝酸塩が存在しない等々の作用が推察された。

3-4. 果実と蒂の NO_3^- -N

各熟度の果実と蒂の NO_3^- -N を測定した。その結果を Fig. 1 に示す。

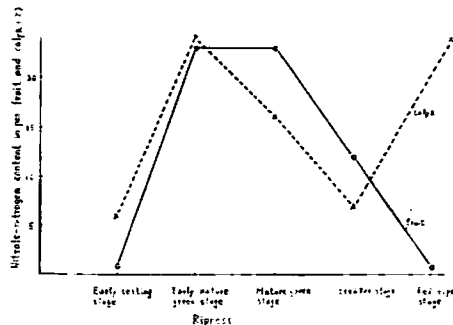


Fig. 1 Change of nitrate-nitrogen content in fruit and calyx at various mature stage

果実の NO_3^- -N は果実が肥大するにつれて増加し、緑白期頃最高に達し、以後減少して完熟果ではほとんど無くなった。一方、蒂の NO_3^- -N 含量は果実が肥大するにつれて増加し、肥大期頃最高になり、以後減少して、催色期頃最低になり、果実が熟するにつれて増加した。Total-N は果実では、幼果期で 11.5 mg、肥大期で 34.5 mg、緑白期で 42.9 mg、催色期で 51.5 mg、完熟期で 54.5 mg/果実となり、蒂の Total-N も果実の傾向によく似て、それぞれ 0.69 mg、

1.38mg, 1.41mg, 1.47mg, 1.35mg/蒂となり, 幼果期から肥大期にかけて急増した。

Fig. 1 から次のことが考えられた。

未熟果は硝酸塩を吸収するが, 硝酸還元能力が無いが, あっても小さく, 吸収された硝酸塩は蓄積されていく。したがって, 蒂にもたまってくる。熟度が進むと還元能力が大きくなって吸収された硝酸塩は, ただちに還元されるので蓄積することはないが, したがって蒂にも残らなくなる。しかし果実が完熟すると果実と蒂の間に離層ができて, 硝酸塩は果実に移行しにくくなるので, 蒂に残ってくる。

以上のことから未熟果により多くの硝酸塩を吸収させ, 蓄積させると完熟果にも蓄積しやすいのではないかと考え, 以下の実験を行った。

3-5. 硝酸塩蓄積におよぼす M_0 と窒素追肥の影響

培養液の窒素濃度120, 360ppm区および $40 \rightleftharpoons 120$, $120 \rightleftharpoons 360$ ppm区を設けた。 $40 \rightleftharpoons 120$, $120 \rightleftharpoons 360$ ppm区は各花房の第1番花が開花して7日後5日間だけ, 40, 120ppmをそれぞれ120, 360ppmに窒素濃度を高める区(追肥区と名付けた)である。さらに各区とも M_0 添加の効果をもみた。3連制とし, 各ポットの第1, 第2番果を1個ずつ分析した。窒素源は NO_3^- -Nで, 他の要素は Table IVと同じである。その結果を Table VII に示す。

窒素を一定量コンスタントに与えた場合, 120と360ppm区では差がなく, M_0 添加の有無で差が出た。

窒素濃度を変化させた場合, $40 \rightleftharpoons 120$ ppm区(窒素欠乏症状が現われた)よりも $120 \rightleftharpoons 360$

Table VII Effect of fertilization of nitrate together with molybdenum on the accumulation of nitrate in fruit.

NO_3^- -N*	Molybdenum**	Cluster	Average NO_3^- -N content in the 1st and 2nd fruit	
ppm	Added	1 st	3.1 ppm	
		2 nd	2.2	
		3 rd	2.7	
	120	—	1	4.7
			2	1.5
			3	3.0
360	Added	1	3.6	
		2	2.7	
		3	1.8	
	—	1	4.8	
		2	1.9	
		3	0.7	
$40 \rightleftharpoons 120$ ***	Added	1	2.5	
		2	1.3	
		3	2.1	
	—	1	4.0	
		2	1.1	
		3	0.4	
$120 \rightleftharpoons 360$ (****)	Added	1	4.8	
		2	5.3	
		3	2.1	
	—	1	6.5	
		2	6.5	
		3	5.1	

* Nitrate-nitrogen level in cultural solution.

** 0.04 ppm $\text{Na}_2 \text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ —Mo in cultural solution.

*** Cultivated on 40 ppm nitrate-N (120 ppm) which

(****) was raised to 120 ppm (360 ppm) from 7th day to 12th after the first flower of each cluster opened.

ppm 区に多くの NO_3^- -N が含まれ、40 \approx 120ppm 区では M_0 の効果が現われたが、120 \approx 360ppm 区では窒素濃度変化の影響が著しかったためか、 M_0 の効果は現われなかった。このように M_0 の効果は認められたが、まだ明確でない点もあった。

NO_3^- -N の果実への現われ方は初期の果実に多く、後期の果実ほど少なくなった。

120 \approx 360ppm 区の果実は 360ppm 区の果実よりも多くの NO_3^- -N を含み、窒素を低濃度から高濃度に変化させることによって、絶えず高濃度で育てるよりも多くの NO_3^- -N を含むことになった。

この結果を圃場栽培にあてはめて考えると、窒素肥料の追肥、 M_0 欠乏土壌、酸性土壌における有効態 M_0 の減少などによって果実に硝酸がたまりやすいと考えられた。

4. 要 約

- 1) トマト果実の硝酸塩蓄積現象について検討した。
- 2) トマトの茎、葉、果梗、蒂には多量の硝酸塩が含まれているが、果実には少なかった。
- 3) 窒素施肥量によって 葉柄や蒂の硝酸塩蓄積は影響を受けやすいが、果実では明白でなかった。
- 4) 熟度の違いによって、果実と蒂の硝酸塩含量に差があり、未熟果では硝酸還元能力が小さく、完熟果で大きいことが推察された。
- 5) M_0 不足の培養液、栽培中時々窒素濃度を変化させた培養液で育てられた果実には硝酸塩を多く含む傾向があった。

文 献

- 1) NCA: Washington Research Laboratory. Interim Progress Report., 34 (1965)
- 2) 岩本, 前田: 本誌投稿中
- 3) ウェブスター: 植物の窒素代謝 (岩波書店), 2-13 (1963)
- 4) 戸蒔, 山田, 林: 作物の生理講座 2 (朝倉書店) 25-43, (1963)
- 5) 田口亮平: 作物の生理学 (養賢堂), 33-336 (1958)
- 6) H. J. Evans, and A. Nason: Plant Physiol., 28, 233 (1953)
- 7) E. G. Mulder, Bakema, and W. L. Vanveen: Plant and Soil., 10 (4), 319 (1959)
- 8) E. G. Mulder, R. Boxma, and W. L. Vanveen: Plant and Soil., 10 (4), 335 (1959)
- 9) W. Plant: Jour. Hort. Sci., 31, 163 (1956)
- 10) E. J. Hewitte, and C. C. McCready: Jour. Hort. Sci., 31, 284 (1956)
- 11) 杉山, 高橋: 園学雑, 27 (3), 161 (1958)
- 12) 中西, 沖村, 西尾: 農及園, 41 (5), 793 (1966)
- 13) F. J. Viets, E. F. Whitehead, and A. L. Noxon: Plant Physiol., 22, 465 (1947)
- 14) Len Kam, G. G. McKeown, and D. Morison Smith: Jour. AOAC., 48 (5), 893 (1965)
- 15) E. M. Emmert: Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 39, 621 (1941)
- 16) 斎藤, 畑山, 伊藤: 園学雑, 32, 131 (1963)
- 17) 大沢: 園学雑, 32, 211 (1963)
- 18) 奥田, 下瀬: 日土肥雑, 22 (2), 88 (1951)