

園芸作物の硝酸塩蓄積に関する研究—XIII

トマト果実の硝酸塩蓄積と品種との関係

宮崎 正則, *国里 進三, 美谷 誠一, 杉原 八郎,
藪内 一雄, 篠 乙郎Studies on the Accumulation of Nitrate in Horticultural Products—XIII
The Relation between the Accumulation of Nitrate in Tomato Fruit
and Tomato VarietiesMasanori Miyazaki, Shinzo Kunisato*, Seiichi Miya, Hachiro Sugihara,
Kazuo Yabuuchi and Itsuro Mayuzumi

The present study was carried out to investigate the variance of nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) content in tomato fruit among the varieties.

The variance of $\text{NO}_3\text{-N}$ content in ripe tomato fruits of sixteen varieties was investigated during the harvest season and these varieties were classified into three groups according to the content. The first group includes extremely early ripening varieties such as Fireball and Amature, and more than 5 ppm of $\text{NO}_3\text{-N}$ was contained in the ripe fruit throughout the harvest season. The second group includes early or middle ripening varieties as Chico and Heinz 1370, and $\text{NO}_3\text{-N}$ contents were from 5 to 10 ppm only at the early or middle period of the harvest season, then decreased to less than 3 ppm at the late period. Classified as the third group are Nozomi No. 1, VF 36, and other middle or late ripening varieties, and the $\text{NO}_3\text{-N}$ contents were less than 5 ppm throughout the harvest season.

Fluctuation of the $\text{NO}_3\text{-N}$ content in the fruit was investigated in the course of ripening of some varieties. The $\text{NO}_3\text{-N}$ content in the fruit of Fireball was high at the breaker stage and the level was maintained in the ripening course. While $\text{NO}_3\text{-N}$ contents in the fruits of Chico and Nozomi No. 1 were lower at the breaker stage than Fireball and further decreased in the ripening course. The facts indicate that $\text{NO}_3\text{-N}$ content in ripe tomato fruit would depend on $\text{NO}_3\text{-N}$ content at the breaker stage and the pattern of its change during the ripening period. From these results, it is considered that for minimizing $\text{NO}_3\text{-N}$ content in ripe tomato fruits, the conditions which reduce $\text{NO}_3\text{-N}$ content at the breaker stage and further lower it in the ripening course are needed.

無塗装缶を用いたトマトジュース缶詰の硝酸塩によるスズ異常溶出を防止する目的で、トマト果実の硝酸塩蓄積の要因を検討し、トマト果実の硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 含量が肥培条件、気象条件および生育条件の違いによって差異の生じることをすでに報告した^{1~4)}。一方標準栽培下での完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は品種間差異が大きく、果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量に関して品種特有の性質があるよう

* The deceased

に思われた。そこで十数種の加工用品種の完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を調べ、その多少から品種を分類するとともに、硝酸塩高蓄積性品種と低蓄積性品種間の生理の差について二、三検討した。

1. 実験材料および方法

1) 供試品種

関係機関から分譲をうけた「ファイアボール」, 「チコ」, 「のぞみ1号」その他13品種を供試した。

2) トマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の品種間差異に関する実験

前記16品種を数年間は場で標準栽培し、開花後から完熟するまでの間の2週間ごとの $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を測定した。「チコ」については草勢の影響をみるため、標準の $\frac{1}{2}$ 程度にまで摘葉して栽培し、収穫ごとの完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を調べた。一部の品種については各熟度ごとに硝酸還元力および化学成分を調べた。

3) トマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量におよぼす環境条件の影響に関する実験

「大豊」を $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の異なる培養液（標準の $\frac{1}{2}$ 倍, 1倍, 2倍濃度とし、それぞれ $\frac{1}{2}$ $\text{NO}_3\text{-N}$, 1 $\text{NO}_3\text{-N}$, 2 $\text{NO}_3\text{-N}$ と記す）および開花後株全体を寒冷紗二重遮光して砂耕し、成熟に伴う果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の変化を調べた。「ファイアボール」と「チコ」についてはそれらの処理区の完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を測定した。

4) ほ場栽培法

3月上旬は種、育苗し、5月上旬には場に定植し、無支柱栽培を行なった。10アールあたり窒素20kg, リン酸20kg, カリ20kg, 苦土石灰150kg, 堆厩肥4tを施肥した。

5) 研耕法

標準培養液組成は KNO_3 : 5ミリモル, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 5ミリモル, KH_2PO_4 : 1ミリモル, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 2ミリモル, クエン酸鉄: 8ppm, B: 0.5ppm, Mn: 0.5ppm, Mo: 0.05ppm, Zn: 0.05ppm, Cu: 0.02ppmで、pHは6.0に調整した。1ポット ($\frac{1}{2}$ 2000アールワグナーポット) に1株定植し、3株を1処理区として20ℓの培養液を自動下底灌漑法により1日7回灌漑し、液は1週間ごとに更新した。株は1本仕立て、3番果房止めとし、1果房6果着生させた。

6) 分析法

$\text{NO}_3\text{-N}$ は Woolley らの方法⁵⁾, 全窒素は Gunning 変法、リン酸は関根らの方法⁶⁾, カリウムは炎光光度分析法, カルシウムは EDTA 法によって測定した。還元糖は熱アルコール抽出液を Somogi-Nelson 法で、全酸は崎山⁷⁾の方法で測定した。硝酸還元力は 2×2 mmの果肉切片3gに pH7.5 のリン酸緩衝液 5ml, 3×10^{-2} M KNO_3 1ml, 1.41×10^{-3} M NADH 1ml を加え、36°Cで1時間インキュベートした後、減少した $\text{NO}_3\text{-N}$ 量を測定した。

2. 実験結果

1) トマト完熟果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の品種間差異

16品種の収穫ごとの完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を測定し、整理した結果、図1に示したように供試品種は大略三つの品種群に分類された。その1は収穫の全期間をとおして5~10ppm以上の $\text{NO}_3\text{-N}$ を含む高蓄積性品種で、「ファイアボール」や「アマチュア」など草勢の弱い、極早生種が認められた。その2は収穫の一時期のみ5~10ppm程度で、他の時期には3ppm以下の品種群で、草勢のかなり強い「チコ」や「ハイツ1370」などが含まれた。その3は常に5ppm以下の低蓄積性品種群で、「のぞみ1号」など草勢の強い中晩生種が含まれた。

「チョコ」を標準の $\frac{1}{2}$ 程度にまで摘葉して栽培したところ、図2のように摘葉株の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は標準株に比べて収穫初期においてかなり高い傾向にあった。

2) 成熟に伴うトマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の変化の品種間差異

図1から代表的品種を選び、成熟に伴う果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の変化を調べ、図3に示した。「ファイアボール」などは催色期（6月下旬）の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が高く、その後の成熟過程でほとんど低下することなく完熟するにいたった。「チョコ」の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は催色期（6月下旬）に高く、その後の成熟過程で低下した。「のぞみ1号」の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は緑白期（6月下旬）に他の品種に比べて低く、さらにはその後の成熟過程で低下した。

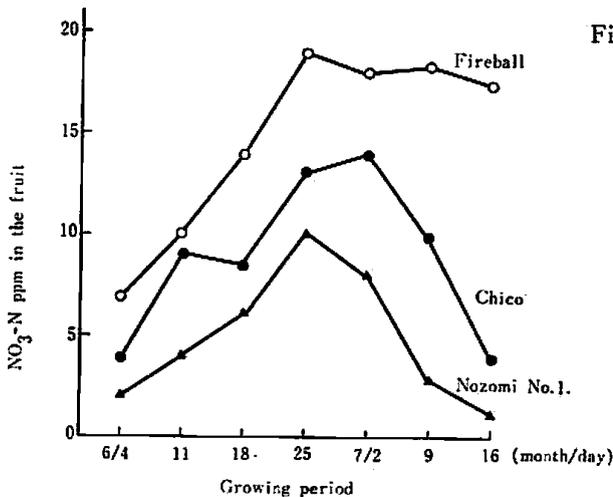


Fig. 3 The variation of change in $\text{NO}_3\text{-N}$ content in tomato fruit during ripening among varieties. Field culture.

3) トマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量におよぼす培地の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度および日射量の影響

培地の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と日射量をかえて「大豊」を栽培したところ図4に示したように、標準

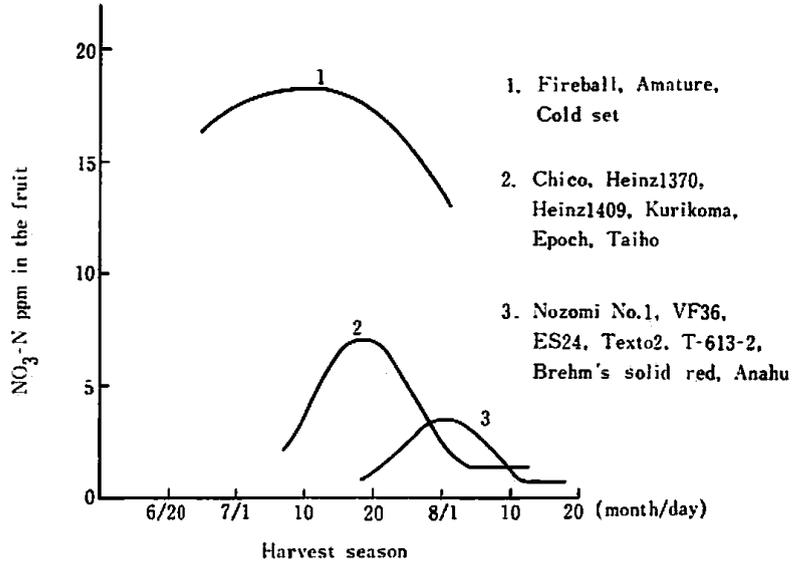


Fig. 1 The variation of seasonal change in $\text{NO}_3\text{-N}$ content in tomato fruits among varieties. Field culture.

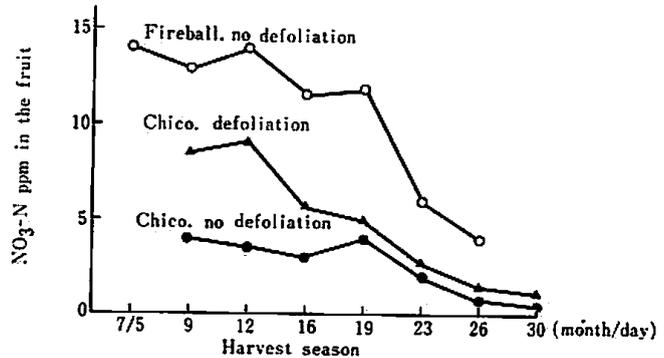


Fig. 2 Effect of the defoliation on $\text{NO}_3\text{-N}$ content in tomato fruit. Field culture.

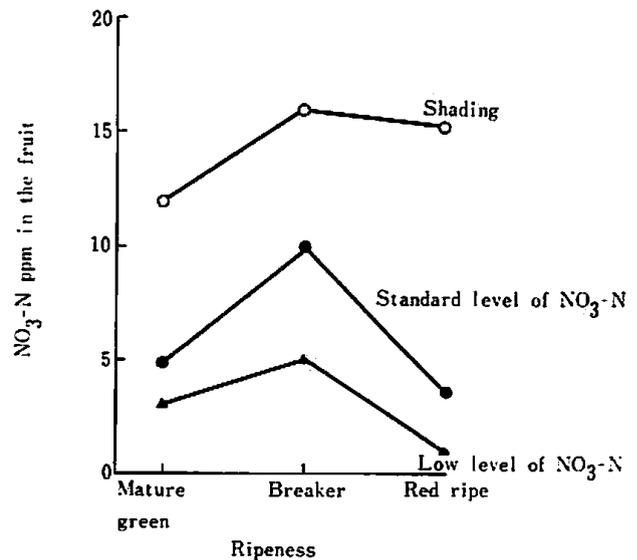


Fig. 4 Effects of shading and $\text{NO}_3\text{-N}$ level in culture solution on change of $\text{NO}_3\text{-N}$ content in tomato fruit during ripening. var. Taiho in sand culture.

区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は催色期に比較的高く、その後の成熟過程で低下するのに対し、遮光区の果実では催色期に著しく高く、その後ほとんど減少することなく完熟するにいたり、完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ は高含量であった。一方 $\text{NO}_3\text{-N}$ 低濃度培地区のトマトでは、催色期の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が低く、その後の過程で低下し、完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量はきわめて低かった。

硝酸塩高蓄積性品種「ファイアボール」と低蓄積性品種「チョコ」を $\text{NO}_3\text{-N}$ 高濃度培地と遮光下で栽培し、完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を測定し、その結果を表1に示した。「チョコ」は厳密には「のぞみ1号」などの低蓄積性品種ではないが、成熟に伴う $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の変化や完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が「ファイアボール」とは明らかに異なることおよび種々の点で実験に便利であることなどから、「ファイアボール」に対して「チョコ」を低蓄積性品種としてとりあつかった。その結果、「ファイ

Table 1 Effects of shading* and $\text{NO}_3\text{-N}$ level in culture solution on $\text{NO}_3\text{-N}$ content in tomato fruit. $\text{NO}_3\text{-N}$ ppm / fresh fruit

$\text{NO}_3\text{-N}$ level in culture solution	Fireball		Chico	
	No shading	Shading	No shading	Shading
1/2	6.3	—	1.9	—
1**	12.3	36.1	2.7	5.1
2	18.5	—	4.3	—

Sand culture

* With cheese cloth

** 210ppm, standard $\text{NO}_3\text{-N}$ level

アボール」の $\text{NO}_3\text{-N}$ 高濃度培地区および遮光区の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は標準区に比べて著しく高かった。一方「チョコ」では、これらの処理区の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は標準区に比べてやや高い傾向にはあったが、「ファイアボール」ほどの高含量ではなかった。

4) トマト果実および葉の化学成分含量の品種間差異

「ファイアボール」と「チョコ」を用い、窒素代謝に関係ある化学成分含量の差異を検討し、表2に示した。

Table 2 The variation of the contents of chemical compounds in tomato fruits and leaves between Fireball and Chico.

Variety	$\text{NO}_3\text{-N}$ ppm	Total-N ppm	P ppm	K ppm	Ca ppm	Reducing sugar %	Total acid %	
Fruits	Fireball	9.6	1721	263	2703	59	2.03	0.82
	Chico	2.3	1867	271	2080	84	2.92	0.71
Leaves	Fireball	774	2535	504	3280	3363	—	—
	Chico	560	2493	435	2260	4129	—	—

Soil culture

「チョコ」は「ファイアボール」に比べて果実の全窒素、還元糖、カルシウム含量が高く、全酸、カリウム含量が低く、無機成分は葉においても同様の傾向であった。

図5には「アマチュア」と「ハインツ1370」の果実の成熟に伴う硝酸還元力の変化を示した。「アマチュア」の硝酸還元力は緑白期に大きく、催色期、完熟期には小さいのに対し、「ハインツ1370」は催色期、成熟期に大きく、催色期以降の成熟過程において差異の大きいことが認められた。

3. 考 察

完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の多少から16品種を分類した結果、硝酸塩高蓄積性品種、低蓄積性品種および一時期のみ蓄積する品種の三つの品種群に大別された。このような品種間差異の生じる過程を知るため、成熟過程における果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の変化を調べ、硝酸塩高蓄積性品種の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は催色期に高く、その後の成熟過程でほとんど低下しないのに対し、低蓄積性品種の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は催色期に低く、かつその後の成熟過程で低下することを認め、各品種が成熟過程においてそれ

ぞれ特有の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の変化型を有する結果、完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の品種間差異が生じると考えられた。成熟過程における果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の種々の変化型は栽培条件の違いによっても生じ、遮光区のそれは硝酸塩高蓄積性品種の変化型に類似し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 低濃度培地区のそれは硝酸塩低蓄積性品種の変化型に一致した。このことから、完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は催色期頃の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量およびその後の成熟過程における $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の変化の如何んにより左右され、完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を低下させるには催色期頃の含量を低下させ、かつその後の成熟過程においても低下させる条件が必要であると思われた。硝酸塩高蓄積性品種は低蓄積性品種に比べて催色期以降の過程での果実の硝酸還元力が小さいこと、遮光区やすでに報告³⁾したMo欠除区、Cu過剰区など硝酸還元を阻害すると思われる条件下のトマトは催色期以降の過程で果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が低下しないことなどから考えて、催色期以降における果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の二つの変化型は硝酸還元力の多少によりもたらされるのではないかと推察した。硝酸還元が阻害されない場合には完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は催色期頃の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量に左右されるが、催色期の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は株による $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収量に影響されると考えられる。

硝酸塩低蓄積性品種は高蓄積性品種に比べて果実の全窒素、還元糖、カルシウム含量が高く、全酸、カリウム含量が低い傾向にあった。これら化学成分含量の差異と $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の多少との直接の関係は明らかでないが、低蓄積性品種は $\text{NO}_3\text{-N}$ をより同化しやすい状態にあるものと思われた。これらの成分は栽培条件の違いによってもある程度変化するので、低蓄積性品種の化学成分含量の傾向に着目し、このような条件を探索することもトマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を低下させる解決法の一つになるものと考えられ、さらに実験を進める必要があるように思われた。

硝酸塩低蓄積性品種は高蓄積性品種に比べて果実の熟期がおくれ、草勢が強い性質を有していた。熟期と $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量との関係は明らかでないが、草勢との関係については摘葉株の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が無処理株に比べて高いことから考えて、草勢の強い株ほど葉における $\text{NO}_3\text{-N}$ 貯蔵量が多く、硝酸還元量も多く、硝酸還元に必要な物質たとへば糖などの生産量も多く、果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を

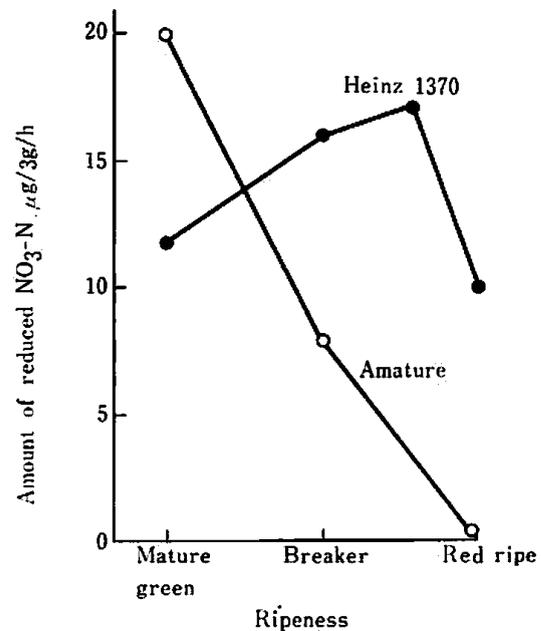


Fig. 5 The variation of nitrate reductase activity in tomato fruit between var. Heinz 1370 and var. Amature.

低下させるように作用するのではないかと思われた。

ところで摘葉区の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は収穫初期で高いが、中期以降では無処理区と大差がなく、かつ低含量であった。これと同様な傾向は施肥条件の異なるトマトにおいても認められている⁴⁾。これらのことから果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量には収穫時期別差異（果房間差異）があり、下位果房果実は $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積に関し不安定な状態にあり、上位果房果実は $\text{NO}_3\text{-N}$ を蓄積させないような生理作用が強いのではないかと思われた。この $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積を抑制する生理作用の果房間差異にも品種間差異があり、硝酸塩低蓄積性品種は下位果房果実の硝酸還元力が強く、上位果房果実ではさらに強く、硝酸塩高蓄積性品種では下位果房果実の硝酸還元力が弱く、上位果房果実では比較的強いと思われる。したがって硝酸塩低蓄積性品種の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は下位果房果実では栽培条件の違いによる差異が比較的小さく、上位果房果実ではその差異がさらに小さく、含量も低くなる。栽培条件の影響は収量その他の諸性状には認められるが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量に関してはその影響が現われがたい。一方硝酸塩高蓄積性品種では標準栽培条件下でもその $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は高く、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が蓄積しやすい条件に遭遇すると $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は直ちに増加するようになると推察された。以上果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の品種間差異、果房間差異を硝酸還元との関係から推察したが、ほ場栽培では土壤の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は収穫後期になると低下するので、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の果房間差異が土壤の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度に影響されることも考えられた。しかし砂耕法でたえず一定濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ を供給しても果房間差異は明らかに認められることから、果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の果房間差異はトマトのもつ生理作用にもとづくものであると思われた。

果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を高めると考えられる $\text{NO}_3\text{-N}$ 高濃度培地や遮光下でトマトを栽培すると、硝酸塩高蓄積性品種の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は標準区に比べて著しく増加するのに対し、低蓄積性品種ではそれほど大きく増加することはない。このことは $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積防止上重要なことであり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 低含量トマト果実を生産するには硝酸塩低蓄積性品種を導入、栽培することが必要であると考えられる。これらの品種は催色期から完熟期にかけて果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が低下する特性を有するので、催色期頃の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量を肥培などの条件で低下させることができれば収穫の全期間をとおして $\text{NO}_3\text{-N}$ 3 ppm 以下の果実の生産が可能であると考えられる。

4. 摘 要

1) トマト果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は品種間差異が大きく、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積に関し品種特性があると思われたので、これらについて二、三の検討を試みた。

2) トマト16品種を調べた結果、これらは果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が収穫の全期間をとおして5~10 ppm以上の硝酸塩高蓄積性品種群（「ファイアボール」、「アマチュア」など）、収穫の全期間をとおして常に5 ppm以下の硝酸塩低蓄積性品種群（「のぞみ1号」、「VF36」など）、収穫の一時期のみ5~10 ppm程度蓄積し、他の時期には5 ppm以下に低下する品種群（「チョコ」、「ハイソツ1370」など）の三つの品種群に分類された。

3) 硝酸塩高蓄積性品種の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は催色期に高く、その後の成熟過程でほとんど低下せず完熟するにいたった。低蓄積性品種および一時期のみ蓄積する品種では、催色期頃の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が低く、かつ成熟過程でその含量は低下した。

4) 一時期のみ蓄積する品種を遮光下で栽培すると催色期の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は高く、その後の成熟過程でその含量はほとんど低下しなかった。

5) $\text{NO}_3\text{-N}$ 高濃度培地、遮光条件下で栽培すると、硝酸塩高蓄積性品種の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は著しく高くなるのに対し、低蓄積性品種の含量はそれほど高くはなかった。

6) 硝酸塩低蓄積性品種は高蓄積性品種に比べ草勢が強く、また摘葉株の果実の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量は無処理株に比べてとくに収穫初期において高い傾向にあった。

7) 硝酸塩低蓄積性品種は高蓄積性品種に比べて果実の全窒素、還元糖、カルシウム含量が高く、全酸およびカリウム含量が低い傾向にあった。また催色期以降の過程における果実の硝酸還元力が高いことが認められた。

謝辞 研究にあたり御指導いただいた大阪府立大学緒方邦安教授ならびに種子の分譲をいただいた野菜試験圃支場上村昭二博士、長野農試桔梗が原分場芹沢鴨明博士、また御助言、御助力いただいた本研究所堀尾嘉友研究部次長、岩本喜伴室長、木多武雄主任、若狭勝氏、本学大塚滋教授、下田吉夫助教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 宮崎正則・国里進三・黛乙郎・岩本喜伴・堀尾嘉友：園学雑, 37. 178 (1968) .
- 2) 宮崎正則・国里進三・美谷誠一：食品工誌, 19. 22 (1972) .
- 3) _____・_____・_____：_____, 19. 418 (1972) .
- 4) _____・_____・_____：_____, 19. 429 (1972) .
- 5) Woolley, J. J., G. P. Hicks and R. H. Hageman : *Agri. Food. Chem.*, 8. 418 (1960) .
- 6) 関根隆光・笹川泰治・森田茂広・木村徳治・倉富一興：光電比色法, 化学の領域増刊 34, 南江堂, 1960, 98.
- 7) 崎山亮三：園学雑, 35. 36 (1966) .