

## 園芸作物の硝酸塩蓄積に関する研究—XIV

トマト果実の硝酸塩蓄積におよぼす培養液中の窒素、  
リン酸、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの影響

宮崎 正則, \*国里 進三, 美谷 誠一, 杉原 八郎, 藪内 一雄,  
黛 乙郎

**Studies on the Accumulation of Nitrate in Horticultural Products—XIV  
Effects of Nitrogen, Phosphoric acid, Potassium, Calcium and  
Magnesium in Culture Solution on the Accumulation of  
Nitrate in Tomato Fruit Grown with Sand Culture**

Masanori Miyazaki, Shinzo Kunisato\*, Seiichi Miya, Hachiro Sugihara,  
Kazuo Yabuuchi and Itsuro Mayuzumi

When tomato plant was grown on each of culture solutions containing low levels of  $\text{NO}_3\text{-N}$  and potassium and a high level of calcium,  $\text{NO}_3\text{-N}$  content in the fruit was markedly low as compared to the control. In the fruit grown on low levels of  $\text{NO}_3\text{-N}$  or potassium,  $\text{NO}_3\text{-N}$  content was always low during immature through full-ripe stages. On the other hand, the content in the fruit grown on a high level of calcium was high as that of the control at the immature stage, but decreased during the ripening period. The content of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the leaves was also reduced by these conditions.

In tomato plant grown on a low level of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the culture solution, it was found that the amount of  $\text{NO}_3\text{-N}$  absorbed was low, the contents of the nitrogen, total acids and potassium in the fruit were low and contents of the reducing sugar and calcium were high. These attitude of chemical constituents are considered to be resulted from the decline of  $\text{NO}_3\text{-N}$  absorption by the plant. When a low level of potassium or a high level of calcium was applied, the amount of  $\text{NO}_3\text{-N}$  absorbed by a plant and the change in chemical constituents in the fruit showed a similar tendency to the low  $\text{NO}_3\text{-N}$  application.

In order to investigate the influences of potassium and calcium on the accumulation of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the fruit, tomato plants free from  $\text{NO}_3\text{-N}$  were grown on  $\text{KNO}_3$  or  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  solution. From the result, it was found that a larger amount of  $\text{NO}_3\text{-N}$  was detected in the fruit on  $\text{KNO}_3$  solution than in the fruit on  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , and it was suggested that potassium accelerates the accumulation of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in tomato fruit.

トマト完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量が培地の  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、カリウムおよびカルシウム濃度に影響されることはすでに報告した<sup>1)</sup>。カリウムとカルシウムはトマトの主要な陽イオンで、これらの欠乏により窒素代謝が乱れ、水溶性窒素が増加し<sup>2,3)</sup>、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の増加することが示唆されているが<sup>4)</sup>、カリウ

\* The deceased

μ 低濃度培地のトマト 果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量はきわめて低い。そこでこれらの 肥料要素と 果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量との関係をより詳細に検討するため、各肥料要素濃度の異なる培養液でトマトを砂耕し、成熟に伴う果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量の変化、窒素代謝に関する化学成分含量などについて調査した。

## 1. 実験材料および方法

### 1) 砂耕法

品種「ファイアボール」を2月下旬には種し、4月上旬ガラス室内の砂耕用ポットに定植する方法および8月中旬には種し、9月中旬に定植する方法で、年2回砂耕実験を行なった。標準培養液組成は  $\text{KNO}_3$ : 5 ミリモル,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ : 5 ミリモル,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ : 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: 8 ppm, B: 0.5ppm ( $\text{H}_3\text{BO}_3$  で供給), Mn: 0.5ppm ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), Mo: 0.05ppm ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Zn: 0.05ppm ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) および Cu: 0.02 ppm ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) で、pH は6.0に調整した。砂は HCl, NaOH, HCl で順次洗浄し、充分水洗したのち、 $\frac{1}{2000}$  アールワグナーポットに充填し、1ポット1株定植し、3株を1区として20ℓの培養液で自動下底漉灌法により1日7回灌液した。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、バイブレーターで受粉させ、1果房6果着生させた。

### 2) 完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量におよぼす培養液の各要素の影響に関する実験

培養液中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  は標準の  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1 (標準), 2倍濃度区を設け、 $\frac{1}{4}\text{N}$ ,  $\frac{1}{2}\text{N}$ , 1N, 2Nと記し、他の要素も同様な方法で表示した。リンサン、カルシウムとマグネシウムは  $\frac{1}{4}$ , 1, 3倍濃度区、カリウムは  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{4}$ , 1, 3倍濃度区を設け、果房ごとの完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量を測定した。また  $\frac{1}{4}\text{N}$ , 1N,  $\frac{1}{8}\text{K}$ , 4Ca区を別に設け、1番果房果実について開花後42日から完熟するまでの間2日ごとに果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量を測定した。

### 3) トマト各部位の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量におよぼす培養液のカリウムとカルシウムの影響に関する実験

標準培養液の  $\frac{1}{4}$ 倍濃度液でトマトを栽培し、1番果房果実が肥大しはじめた頃に液の供給を断ち、水道水のみを供給し、トマト各部位に  $\text{NO}_3\text{-N}$  が検出されなくなったのち、 $\frac{1}{2} \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{KNO}_3 + \frac{1}{2} \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{KCl} + \frac{1}{4} \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{4} \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{CaCl}_2$  液(KとCaを含む標準液で、 $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ と記す),  $1 \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{KNO}_3$  (Ca欠除区で、 $\text{KNO}_3$ と記す),  $1 \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{KNO}_3 + 2 \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{CaCl}_2$  液(Ca過剰区で、 $\text{KNO}_3 + 4\text{Ca}$ と記す) および  $\frac{1}{2} \times 10^{-2}\text{M}$   $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (K欠除区で、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ と記す) の各培養液 (いずれもリンサン、マグネシウムおよび微量要素を含む) を供給し、供給1日後および5日後の1番果房果実(未熟果)、へたおよび葉柄の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量を測定した。

### 4) 果実と葉の化学成分および $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収量におよぼす培養液の各要素の影響に関する実験

$\frac{1}{6}\text{N}$ , 1N (標準で1K, 1Caを含む),  $\frac{1}{6}\text{K}$ , 3Caおよび  $\frac{1}{6}\text{K} + 3\text{Ca}$  の各培養液でトマトを栽培し、完熟果の還元糖、全酸含量および果実と葉の無機成分含量を測定した。株あたりの  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量は3番果房果実の完熟期に、果実、茎葉、根ごとに全Nを測定し、その合計で表わした。各成分の分析法は前報<sup>9)</sup>に準じた。

## 2. 実験結果

### 1) トマト完熟果の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量におよぼす培養液中の各肥料要素の影響

各肥料要素を濃度を変えて供給したときの完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量を図1に示した。一般に1番果房果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は3番果房果実に比べて高く、さらに各要素濃度の違いによって差を生じた

が、3番果房果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は低く、各要素の影響が小さかった。1番果房完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は標準区に比べて  $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度区、カリウム低濃度区、カルシウム高濃度区で明らかに低い傾向にあった。リンサンとマグネシウムについては標準区に比べて高および低濃度区の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量が高い傾向にあった。

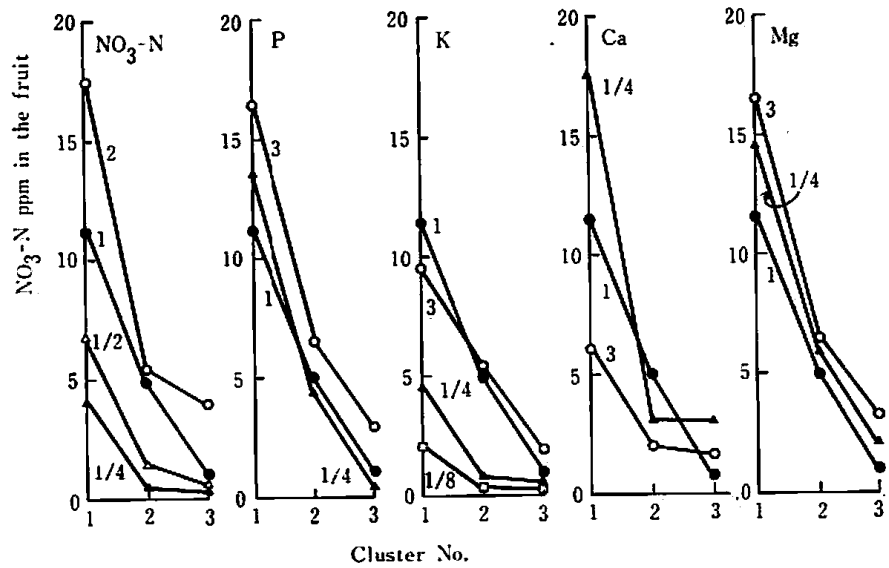


Fig. 1 Effects of the nutrient levels in culture solution on  $\text{NO}_3\text{-N}$  content in tomato fruit. Fireball in sand culture. Level of each nutrient was expressed in figures and level of standard was expressed as 1.

2) 成熟に伴う果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量におよぼす培養液の  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、カリウムおよびカルシウム濃度の影響

$\text{NO}_3\text{-N}$ 、カリウムおよびカルシウム濃度の異なる培養液で育てたトマト果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  を開花後42日から完熟にいたる間2日ごとに測定し図2に示した。標準区の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は開花後42日にはかなり高く、その後の成熟過程でほとんど低下せず、完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は明らかに高かった。 $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度区およびカリウム低濃度区の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は開花後42日には標準区に比べて著しく低く、低含量のまま果実は完熟するにいたった。カルシウム高濃度区の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は開花後42日には標準区と同程度に高かったが、その後の成熟過程で低下し、完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  は低含量であった。

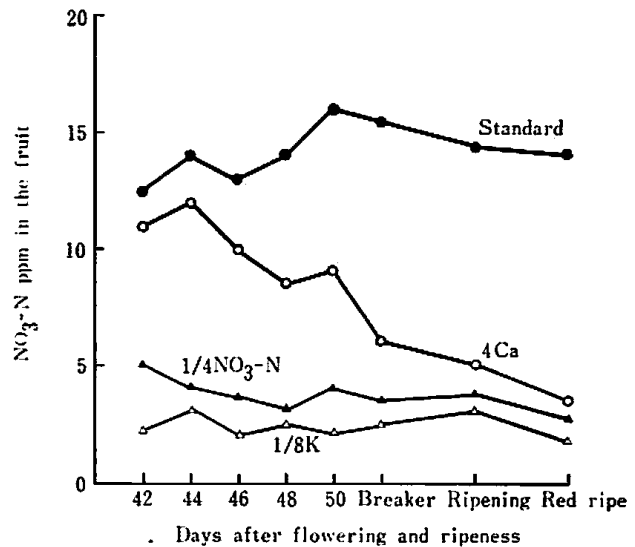


Fig. 2 Effects of the nutrient levels on the change of  $\text{NO}_3\text{-N}$  content in tomato fruit during ripening. Fireball in sand culture.

3) トマト作物の各部位の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量におよぼす培養液のカリウムおよびカルシウムの影響

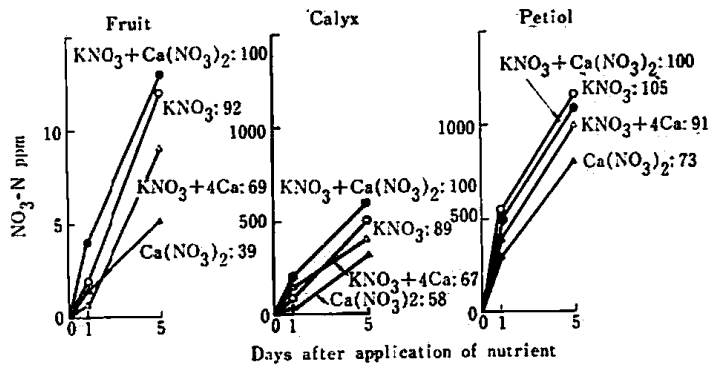
$\text{NO}_3\text{-N}$  の検出されないトマト作物に  $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液 (標準区)、 $\text{KNO}_3$  液 ( $\text{Ca}$  欠除区)、 $\text{KNO}_3 + 4\text{Ca}$  液 ( $\text{Ca}$  過剰区) および  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液 ( $\text{K}$  欠除区) をそれぞれ供給し、供給1日後と5日後の各部位の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量をみたのが図3である。果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は培養液供給1日後、5日後ともに  $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液、 $\text{KNO}_3$  液で高く、ついで  $\text{KNO}_3 + 4\text{Ca}$  液で高く、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液でもっとも低く、その含量は  $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液あるいは  $\text{KNO}_3$  液の  $1/2$  以下であった。へたと葉柄の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は果実と同様に  $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液、 $\text{KNO}_3$  液で高く、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液で低かったが、その差を比率からみると果実におけるほど大きくはなかった。

Fig. 3 Effects of potassium and calcium on the accumulation of NO<sub>3</sub>-N in tomato plant. Fireball in sand culture.

Plants free of NO<sub>3</sub>-N were grown on each of following nutrient solution.

KNO<sub>3</sub>+Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>: 1/2 × 10<sup>-2</sup>M  
 KNO<sub>3</sub>+1/2 × 10<sup>-2</sup>M KCl+1/4 × 10<sup>-2</sup>M Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>+1/4 × 10<sup>-2</sup>M CaCl<sub>2</sub>  
 (standard solution)

KNO<sub>3</sub>: 1 × 10<sup>-2</sup>M KNO<sub>3</sub> (calcium deficiency)  
 KNO<sub>3</sub>+4Ca: 1 × 10<sup>-2</sup>M KNO<sub>3</sub>+2 × 10<sup>-2</sup>M CaCl<sub>2</sub> (excess of calcium)  
 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>: 1/2 × 10<sup>-2</sup>M Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (potassium deficiency)  
 Figures express the index number of NO<sub>3</sub>-N content.



4) 果実と葉の化学成分含量および株あたりの NO<sub>3</sub>-N 吸収量におよぼす培養液の NO<sub>3</sub>-N, カリウムおよびカルシウム濃度の影響

培養液の NO<sub>3</sub>-N, カリウムおよびカルシウム濃度を変えてトマトを栽培したときの果実と葉の化学成分含量および株あたりの NO<sub>3</sub>-N 吸収量を表 1 に示した。NO<sub>3</sub>-N 低濃度区のトマトは標準区に比べて果実と葉の NO<sub>3</sub>-N, 全窒素, リン, カリウムおよび果実の全酸含量が低く, カルシウムと還元糖含量が高く, 株あたりの NO<sub>3</sub>-N 吸収量が低い傾向にあった。カリウム低濃度区のトマトは標準区に比べて果実と葉の NO<sub>3</sub>-N, 全窒素, カリウムおよび果実の全酸含量が低く, カルシウムと還元糖含量が高く, 株あたりの NO<sub>3</sub>-N 吸収量が低く, NO<sub>3</sub>-N 低濃度区によく似た傾向であった。

Table 1 Effects of the nutrient level in culture solution on the contents of chemical compounds in tomato fruits and leaves.

Nutrient level* in culture solution	NO <sub>3</sub> -N ppm	Total-N ppm	P ppm	K ppm	Ca ppm	Reducing sugar %	Total acid %	NO <sub>3</sub> -N absorbed mg/plant	
NO <sub>3</sub> -N K Ca									
Fruit	1/4 1 1	2.4	1210	226	2133	72	2.67	0.62	1827
	1 1 1	9.7	1374	251	2267	68	1.73	0.71	4014
	1 1 3	3.4	1269	276	2343	91	2.24	0.72	3080
	1 1/6 1	1.8	1257	238	1250	72	2.57	0.49	2646
	1 1/6 3	1.7	1249	226	1292	94	2.63	0.48	2223
Leaf	1/4 1 1	76	1467	253	2320	3016	-	-	-
	1 1 1	734	2664	461	3903	2685	-	-	-
	1 1 3	330	2334	427	3362	3564	-	-	-
	1 1/6 1	280	2209	853	984	3352	-	-	-
	1 1/6 3	240	2183	687	1025	3925	-	-	-

Fireball in sand culture

\* Level of each nutrient is expressed in multiples and the level of the standard is expressed as 1.

た。カルシウム高濃度区のトマトは標準区に比べて果実および葉の  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、全窒素含量が低く、カルシウムと還元糖含量が高く、株あたりの  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量が低かったが、カリウムと全酸含量には大きな差異は認められなかった。

### 3. 考 察

トマト果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量におよぼす肥料要素の影響を砂耕法により検討し、培養液の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度、カリウム低濃度、カルシウム高濃度区のトマトの完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量が標準区のトマトに比べて明らかに低いことを認めた。この完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量の差異が生じる過程を知るため、成熟に伴う果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量の変化を調べ、これらの区の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は催色期頃に低く、低含量のまま完熟するにいたることを認めた。硝酸還元が阻害されない条件下では催色期頃の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は株による  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量の程度に左右されやすいと考えられ<sup>9)</sup>、また  $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度区、カリウム低濃度区、カルシウム高濃度区のトマトの株あたりの  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量は標準区に比べて低く、果実および葉の全窒素、 $\text{NO}_3\text{-N}$  含量が低いことなどから考えて、これらの区の催色期における果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低含量はこれらの肥培条件に伴う  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量の低下に影響されたものと思われ、さらに催色期の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低含量に伴って完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量も低くなったものと推察した。以上のことから、前報<sup>9)</sup>で指摘した完熟果の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量を高める条件の一つが培養液の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度、カリウム低濃度、カルシウム高濃度によってもとり除かれると考えた。

培養液の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度、カリウム低濃度区の果実は標準区に比べてカルシウムと還元糖含量が高く、全窒素、カリウムおよび全酸含量が低く、カルシウム高濃度区の果実はカルシウムと還元糖含量が高く、全窒素含量が低い傾向にあった。これらの傾向はそれぞれの肥培条件およびそれに伴う  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量の低下とともにもたらされるものと考えられた。 $\text{NO}_3\text{-N}$  と  $\text{NH}_4\text{-N}$  で栽培した作物の生育や生理の違いについては多く報告され<sup>6~10)</sup>、 $\text{NH}_4\text{-N}$  で生育した作物は  $\text{NO}_3\text{-N}$  の作物に比べて糖含量が多く、有機酸と陽イオン含量が少ないとされている。これは  $\text{NO}_3\text{-N}$  作物は吸収した  $\text{NO}_3\text{-N}$  の還元に必要なエネルギーを得るため糖を分解するので糖含量が少なく、 $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸収に伴って陽イオンの吸収も活発に行なわれ、 $\text{NO}_3\text{-N}$  が還元されると残存する陽イオンを中和するように有機酸が生成されるのに対し、 $\text{NH}_4\text{-N}$  作物では  $\text{NO}_3\text{-N}$  が存在しないため糖の分解も少なく、陽イオンの吸収も少ないことなどからも説明されている。

カリウムの生理については水稻<sup>11,12)</sup>、タバコ<sup>3,13,14)</sup>、トマト<sup>3,15)</sup>などについて報告され、カリウム欠乏で水溶性窒素が増加し、 $\text{NO}_3\text{-N}$  蓄積の可能性も示唆されている<sup>4)</sup>。しかしカリウム低濃度区のトマトの果実および葉の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は標準区に比べて著しく低く、株あたりの  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量も少なく、したがってカリウムは蛋白合成のみでなく、 $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸収にも作用するのではないかと思われた。トマト各部位における  $\text{NO}_3\text{-N}$  蓄積の初期段階の観察から、とくに果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は培養液中のカルシウムの有無にかかわらずカリウムの存在で高まることが認められ、さらにカリウムは果実や葉に多量に含まれるが、カルシウムは果実に少なく、葉に多く集積することなどを考え合わせると、 $\text{NO}_3\text{-N}$  の果実への移行にもカリウムが何んらかの積極的な作用を行なうのではないかと考えられる。岡本<sup>16)</sup>はカリウムがアミノ酸の移行に関与することを溢泌液の実験から報告している。

カルシウムは作物による  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収の初期段階に必要で、硝酸還元にも必要とされている<sup>17)</sup>。カルシウム高濃度区のトマトは標準区に比べて株あたりの  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量が少なく、全窒素含量が低く、還元糖含量が高く、カリウムと全酸含量は同程度であることから、カルシウム高濃度区の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低含量はカリウムとの培抗関係あるいはカルシウムによる硝酸還元の増加によりもたらされたというよりは  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量の低下に大きく影響されたものと思われた。ただしカルシウ

ム高濃度区の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量が未熟期に高く、その後急速に減少することについては今後さらに検討しなければならないが、トマト体内におけるカルシウムとカリウムとの拮抗関係があるのかもしれない。

#### 4. 摘 要

- 1) トマト果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量におよぼす肥培条件の影響を砂耕法により検討した。
- 2) 培養液の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度、カリウム低濃度、カルシウム高濃度区のトマト果実の催色期および完熟期の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は標準区に比べて明らかに低かった。
- 3)  $\text{NO}_3\text{-N}$  の検出されないトマトに  $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液 (標準区)、 $\text{KNO}_3$  液 (Ca欠除区)、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液 (K欠除区) をそれぞれ供給した結果、供給1日後および5日後の未熟果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は  $\text{KNO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液と  $\text{KNO}_3$  液で高く、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液で低く、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は前2区の $\frac{1}{2}$ 以下であった。へたと葉柄の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量は果実と同様な傾向にあったが、 $\text{KNO}_3$  液と  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  液間における差異の比率は果実ほど大きくはなかった。
- 4) 培養液の  $\text{NO}_3\text{-N}$  低濃度区、カリウム低濃度区、カルシウム高濃度区のトマトでは、催色期頃の果実の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量が標準区に比べて著しく低い特性を有し、株あたりの  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸収量が少なく、果実の全窒素含量が低く、還元糖とカルシウム含量が高い傾向にあった。

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・美谷誠一：食品工誌，19. 429 (1972)。
- 2) 石塚喜明・高岸秀次郎：土肥誌，33. 32 (1962)。
- 3) Wall, M. E. : *Soil. Sci.*, 49. 315 (1940)。
- 4) 藤原彰夫：農及園，31. 1577 (1956)。
- 5) 宮崎正則・国里進三：園学雑，44. 204 (1975)。
- 6) 岩田正利：園学雑，31. 39 (1962)。
- 7) 岩田正利・間苧谷徹：園学雑，38. 309 (1969)。
- 8) 尾形昭逸：土肥誌，34. 313 (1963)。
- 9) 大沢孝也：園学雑，31. 227 (1962)。
- 10) 戸苧義次・山田登・林武：作物生理学講座2，朝倉書店，1962，P 25。
- 11) 藤原彰夫・飯田周治：土肥誌，27. 279 (1956)。
- 12) 松坂奏明・白井昭登・今泉吉郎：土肥誌，33. 129 (1962)。
- 13) 石塚喜明・高岸秀次郎：土肥誌，33. 77 (1962)。
- 14) 吉田大輔：土肥誌，33. 231 (1962)。
- 15) 崎山亮三：園学雑，35. 260 (1966)。
- 16) 岡本三郎：日本土壤肥料学会講演要旨集，18. 63 (1972)。
- 17) Minotti, P. L. , D. J. Williams, and W. A. Jackson : *Soil. Sci. Amer. Pro.*, 32. 692 (1968)。