

トマト養液栽培の栄養診断技術に関する基礎的研究

— 異なる硝酸態窒素濃度の培養液で栽培した トマトの葉内無機養分濃度の変動 —

何 毅清・寺林 敏・並木隆和

YI-QING HE, SATOSHI TERABAYASHI and TAKAKAZU NAMIKI

Fundamental study for diagnosis on nutrient
status of tomatoes cultured in hydroponics.

— Concentration of elements in leaves as
influenced by nitrate feeding —

要旨：汁液分析法を用いて、各生育段階における、硝酸態窒素濃度の異なる（2, 4, 8, 12 meq/l）培養液で栽培したトマト2品種‘桃太郎’と‘TVR-2’の栄養生長及び各節位の葉身と葉柄内無機養分濃度の分析を行った。

両品種ともに、培養液硝酸態窒素濃度の違いによる第1花房果実緑熟期の地上部茎葉重の差異は、第1花房着果期の第1花房下の葉の葉柄内硝酸態窒素濃度の差異と関連があった。各生育段階におけるカリウム、カルシウム、マグネシウム濃度の汁液分析値は、培養液硝酸態窒素濃度の影響を大きく受けないことがわかった。ただし、第1花房果実緑熟期のカルシウム濃度は、葉身、葉柄ともに、培養液硝酸態窒素濃度の高い区で低くなる傾向が認められた。

葉身に比べ、葉柄内の硝酸態窒素濃度は、早い生育段階から培養液の硝酸態窒素濃度の影響を受け、差異が現れた。培養液硝酸態窒素濃度の変化に対する反応が大きいのは、トマト植物体の先端から7-9節位目の葉柄であると認められた。ただし、第1花房果実緑熟期では、上位葉の各花房間で葉柄内硝酸態窒素濃度の変動が大きいことが認められた。

緒 言

養液栽培は作物生産の重要な栽培技術として発展してきた。現在では、野菜や花の養液栽培面積が着実に増加しており、養液栽培は施設園芸において重要な地位を占めるようになった（高島 1992）。養液栽培を、より安定した平易な技術として普及させていくためには、植物の生育不良や異常を早い段階で把握し、適切な培養液管理を行えるような栄養診断

技術の確立が必要である。

生葉を粉砕する汁液分析法では、測定時点における植物体中の、転流ないし蓄積されている無機養分濃度の状態を評価することができる。収量あるいは品質において良い結果が得られた、あるいは逆に悪い結果が得られた植物体の汁液分析のデータが蓄積されることによって、生育の各段階で各養分の好適濃度範囲が設定できるようになる。そしてこれらの標準値を規準として、得られた分析値がその作物の好適栄養状態にどれだけ近いかを知ることができる。

京都府立大学農学部蔬菜園芸学研究室

Laboratory of Olericulture, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, 606, Japan.

平成6年8月15日受理

このように、植物汁液分析は、植物の栄養状態を診断し、細かく対策を立てていくために非常に有効な手段となりえる。

窒素は植物の生長及び他の養分吸収に対して大きな影響がある。養液栽培では施与される窒素のほとんどが硝酸態である。景山ら(1971)は、窒素栄養の検定の指標には硝酸態窒素かたん白態窒素が適当であるとしていることから、簡易栄養診断を行うために汁液分析法で硝酸態窒素を検定することは大いに意味がある。

本実験は汁液分析法を用いて、培養液硝酸態窒素濃度の違いが各生育段階におけるトマト植物体の生長及び葉内無機養分濃度に及ぼす影響を調べ、栄養診断を行うために必要な基礎的データを得ることを目的として行った。

本研究の対象作物であるトマトでは、発達段階の異なる葉や、成熟段階の異なる花房が1つの植物に同時に存在する。更に、養分によっては植物体内での移動性に明らかに差異があり(Epstein, 1972)、節位の違いによる生体内濃度に差が生じる(景山1991, 穴戸ら1988, 1991a, 1991b)。よって、栄養診断を前提とした汁液分析では、採取時期、分析する葉の節位及び葉の部分を検討しなければならない。

本研究は節位の違いあるいは葉の部分によって、無機養分の汁液分析値がどのように変動するか明らかにするために、節位の異なる葉の葉柄及び葉身内の無機養分濃度の分析を行った。

材料及び方法

1991年9月京都府立大学の温室で、トマト品種‘桃太郎’と‘TVR-2’の種子をパーミキュライトと園芸培土を1:1の割合で混合した播種床に播種し育苗した。‘桃太郎’は、近年栽培が急速に増えた品種で、これまでの品種と同様な肥培管理では、異常茎の発生や花房の退化などが生じる場合がある。‘TVR-2’は、一般的な多収性の品種で、土耕栽培、水耕栽培いずれにおいても比較的広く栽培されてきた品種である。4-5葉期にクボタ式果菜用ベッドに定植し、湛液方式で栽培した。培養液への通気はエアープンプにより連続的に行った。硝酸態窒素濃度の異なる4処理の培養液(2, 4, 8, 12meq/l)で栽培した。他の養分については園試処方1/2単位濃度液(P:2meq/l, K:4meq/l, Ca:4meq/l, Mg:2meq/l)とした。

14葉期、第1花房着果期と第1花房果実緑熟期に草丈、葉数と地上部新鮮重を測定した。14葉期に2株から、第1花房下第1, 2, 3の3枚葉、同下

第4, 5, 6の3枚葉の葉身と葉柄、第1花房着果期に3株から、第2花房上の葉、第2花房下の3枚葉、第1花房下第1, 2, 3の3枚葉、同下第4, 5, 6の3枚葉の葉身と葉柄、第1花房果実緑熟期に2株から、各花房間の葉3枚と第1花房直下3枚葉の葉身と葉柄を分けて採取した。

葉身と葉柄をそれぞれ5g取って、小さく切り、蒸留水を50ml加え、ホモジナイザーで1分(葉柄では2分)間ホモジナイズした。抽出液をNo.2の濾紙で1回濾過した。濾液を15ml取って、硫酸アンモニウム2M(イオン強度調整剤)を1.5ml加え、蒸留水を加え、30mlの原液を作った。硝酸イオン電極で硝酸態窒素濃度を測定した。

原液1mlを取り、50倍希釈して原子吸光計でカリウムとマグネシウムの濃度を測定した。原液2mlに5000ppmSrCl₂を10ml加え、25倍希釈して原子吸光計でカルシウムの濃度を測定した。

結 果

第1図、第2図に培養液硝酸態窒素濃度の異なる4処理区における‘桃太郎’の生育段階別及び節位別の葉身と葉柄内硝酸態窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウム濃度の変化を示す。

14葉期と第1花房着果期では、葉身内硝酸態窒素濃度は培養液硝酸態窒素濃度の違いによる差が小さかった。果実緑熟期に、培養液硝酸態窒素濃度の違いによる葉身内硝酸態窒素濃度の差が大きくなった。葉柄は葉身に比べ、いずれの生育段階においても培養液の硝酸態窒素濃度の違いによる差異が認められた。また、果実緑熟期では、葉身、葉柄とも、節位が高くなると、硝酸態窒素濃度が減少する傾向にややばらつきが認められた。生育段階の若い14葉期では、硝酸態窒素濃度は葉身よりも葉柄において高かったが、生育段階が進んだ果実緑熟期では葉柄よりも葉身で高かった。

いずれの生育段階においても、葉身、葉柄ともに、培養液硝酸態窒素濃度の違いによるカリウム濃度の差はわずかであった。葉身と葉柄ともに、培養液硝酸態窒素濃度の違いによるカルシウム、マグネシウム濃度は、第1花房着果期まで変化がみられなかったが、果実緑熟期では、わずかに差が認められた。緑熟期では、葉身と葉柄内のカルシウム濃度が2meq/l区、4meq/l区に比べ、8meq/l区、12meq/l区で低い値を示した。いずれの生育段階においても葉身と葉柄内カルシウム及びマグネシウム濃度の測定値は上位葉ほど明らかに少なかった。この傾向は、葉身内カルシウム濃度において顕著であった。

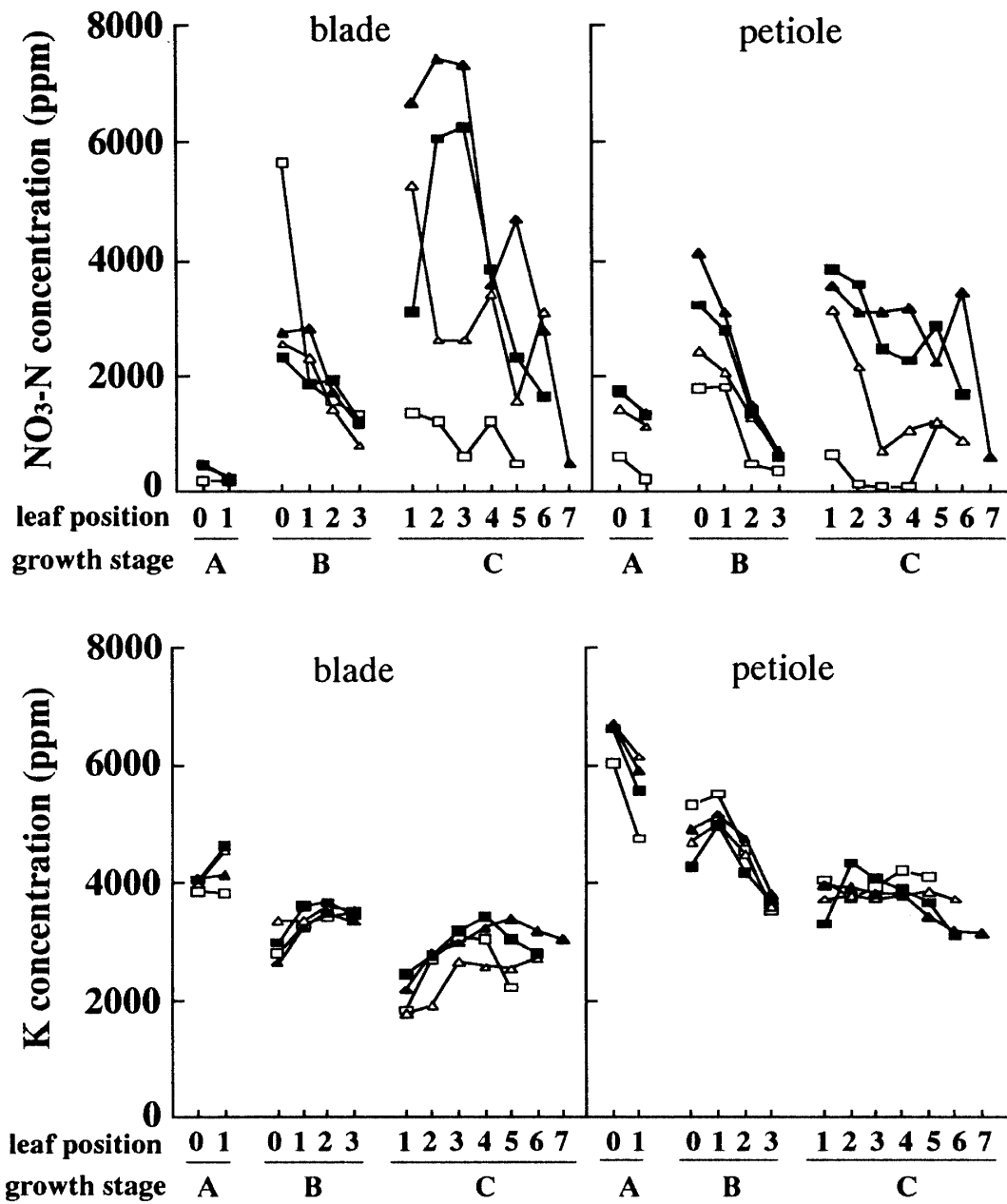


Fig. 1 The concentration of nitrate and potassium in leaf blades and petioles of tomato "MOMOTARO" cultured in the nutrient solution of four different NO₃-N concentration.

NO₃-N concentration of nutrient solution:

—□— 2 meq/l —△— 4 meq/l —▲— 8 meq/l —■— 12 meq/l

leaf position:

- 0: 3 leaves(4th-6th) under the 1st cluster
- 1: 3 leaves(1st-3rd) under the 1st cluster
- 2: 3 leaves under the 2nd cluster
- 3: 3 leaves under the 3rd cluster
- 4: 3 leaves under the 4th cluster
- 5: 3 leaves under the 5th cluster
- 6: 3 leaves under the 6th cluster
- 7: 3 leaves under the 7th cluster

growth stage:

- A: 14-leaf stage
- B: fruit setting stage of the 1st cluster
- C: mature-green fruit stage of the 1st cluster

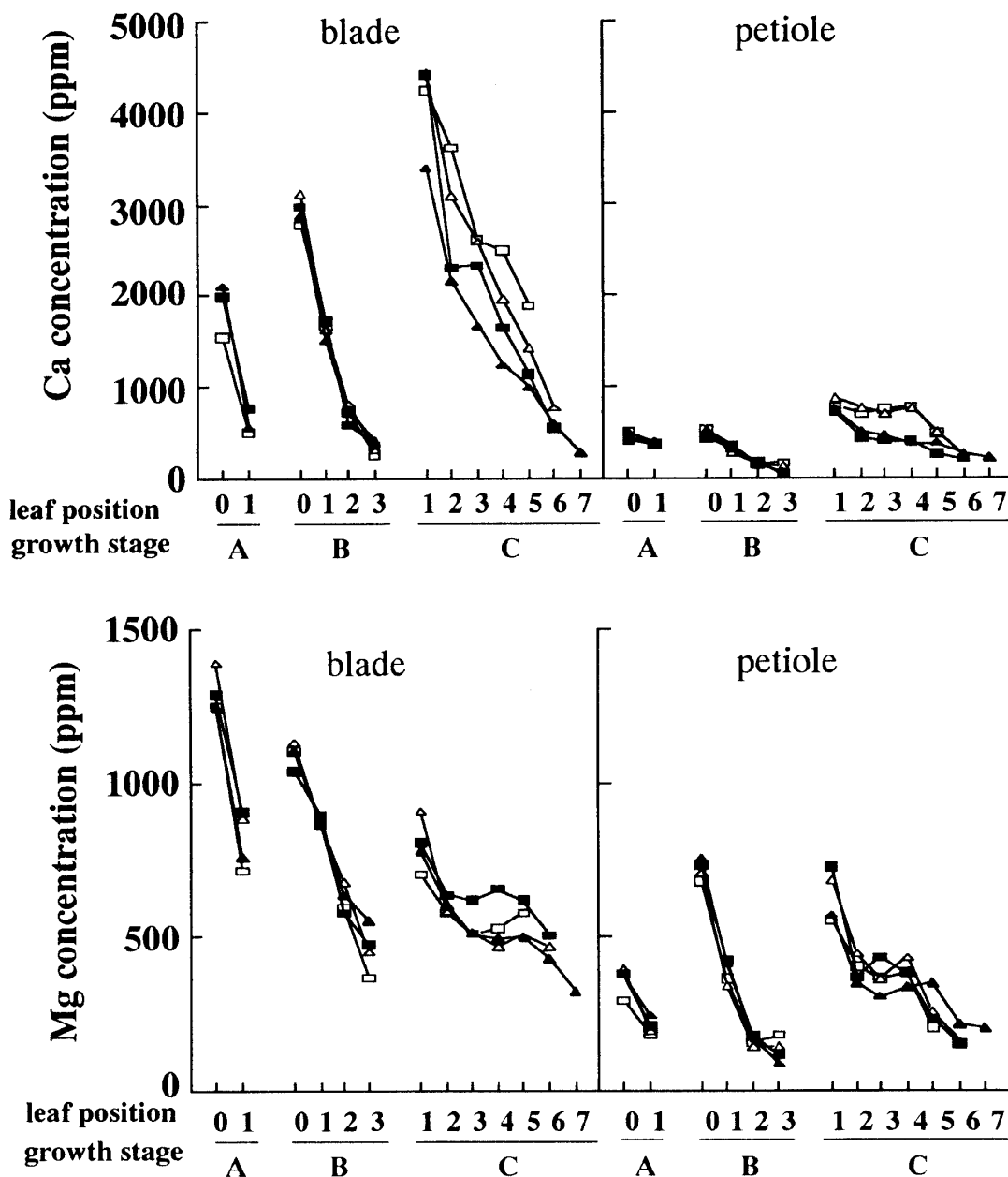


Fig. 2 The concentration of calcium and magnesium in leaf blades and petioles of tomato "MOMOTARO" cultured in the nutrient solution of four different NO₃-N concentration.

the NO₃-N concentration of nutrient solution:

—□— 2 meq/l —△— 4 meq/l —▲— 8 meq/l —■— 12 meq/l

leaf position:

- 0: 3 leaves(4th-6th) under the 1st cluster
- 1: 3 leaves(1st-3rd) under the 1st cluster
- 2: 3 leaves under the 2nd cluster
- 3: 3 leaves under the 3rd cluster
- 4: 3 leaves under the 4th cluster
- 5: 3 leaves under the 5th cluster
- 6: 3 leaves under the 6th cluster
- 7: 3 leaves under the 7th cluster

growth stage:

- A: 14-leaf stage
- B: fruit setting stage of the 1st cluster
- C: mature-green fruit stage of the 1st cluster

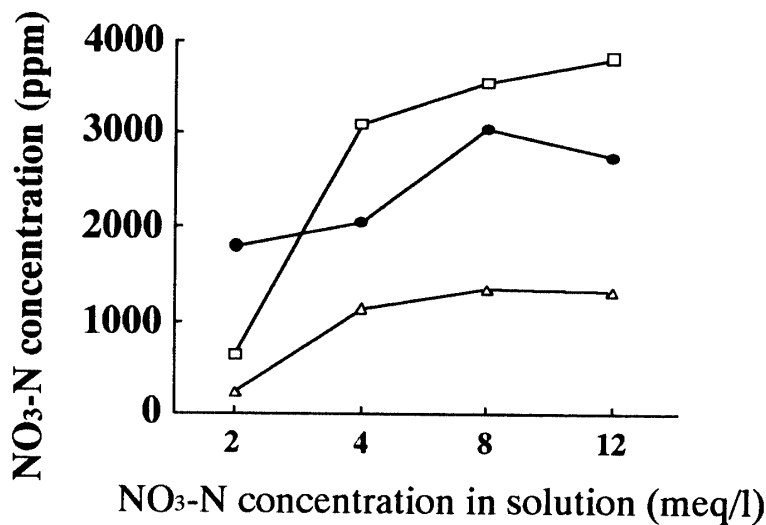


Fig. 3 NO₃-N concentration of petioles under the 1st cluster of tomato "MOMOTARO" cultured in the nutrient solution of four different NO₃-N concentration.

- △— 14-leaf stage
- fruit setting stage of the 1st cluster
- mature-green fruit stage of the 1st cluster

同一節位の間で葉柄内各無機養分濃度の変化を比較すると、生育段階が進むにつれて、カリウムがやや減少し、マグネシウム、カルシウムが増加する傾向がみられた。硝酸態窒素濃度では、2 meq/l 区を除き、生育段階が進むにつれて、増加する傾向が認められた。

品種 'TVR-2' の測定結果はここでは示さなかったが、'桃太郎' とほぼ同様の傾向がみられた。培養液硝酸態窒素濃度の違いによる、節位の異なる葉の葉身と葉柄内無機養分濃度の変化の様相に、品種間で顕著な差が認められなかった。

第3図に硝酸態窒素濃度の異なる培養液で栽培した '桃太郎' の、各生育段階における第1花房下の3枚葉の葉柄内硝酸態窒素濃度の変化を示す。葉柄内の硝酸態窒素濃度は、2 meq/l 区を除き齢の進行とともに上昇した。培養液硝酸態窒素濃度の違いによる葉柄内硝酸態窒素濃度は、第1花房着果期に差異がみられたが、第1花房果実緑熟期には2 meq/l 区を除き差異が再び小さくなった。

第4図に硝酸態窒素濃度の異なる培養液で栽培した '桃太郎' の、各生育段階における先端から7-9節位目の、生長の旺盛な葉の葉柄内硝酸態窒素濃度の変化を示す。本実験では、先端から7-9節位目の葉は、14葉期の植物体では第1花房下4-6葉、第1花房着果期の植物体では第1花房下1-3葉、第1花房緑熟期の植物体では第4花房下1-3葉にそ

れぞれ相当する。培養液硝酸態窒素濃度が増加すると葉柄内の硝酸態窒素濃度が増加したが、硝酸態窒素濃度の最も高い12 meq/l 区では、減少する傾向がみられた。14葉期と第1花房着果期の間で、いずれの培養液硝酸態窒素濃度においても、葉柄内の硝酸態窒素濃度が増加したが、第1花房着果期と果実緑熟期の間では、葉柄内硝酸態窒素濃度の増加は認められず、2 meq/l、4 meq/l 区及び12 meq/l 区では減少した。

第5図に培養液硝酸態窒素濃度の異なる4処理区における '桃太郎' の生育段階別の草丈、葉数と地上部茎葉新鮮重を示す。第1花房着果期までは、培養液硝酸態窒素濃度の違いによる、草丈や葉数の差異は見られなかった。第1花房果実緑熟期で、草丈、葉数、地上部茎葉新鮮重とも硝酸態窒素濃度の違いに対して、変化するのが認められた。果実緑熟期の草丈と葉数は培養液硝酸態窒素濃度が増加すると増加したが、硝酸態窒素濃度の高い8 meq/l 区と12 meq/l 区の間では差がなかった。果実緑熟期では茎葉新鮮重は、8 meq/l 区で最も重かった。

考 察

葉柄内硝酸態窒素濃度は葉身に比べ、早い生育段階から培養液硝酸態窒素濃度の影響を受け、差異が現れることが明らかになった。

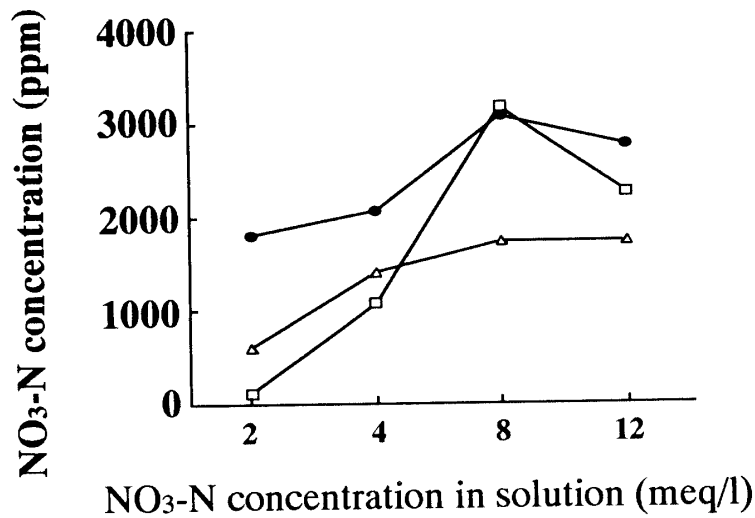


Fig. 4 NO₃-N concentration of petioles of the young mature leaf of tomato "MOMOTARO" cultured in the nutrient solution of four different NO₃-N concentration.

- △— 14-leaf stage
- fruit setting stage of the 1st cluster
- mature-green fruit stage of the 1st cluster

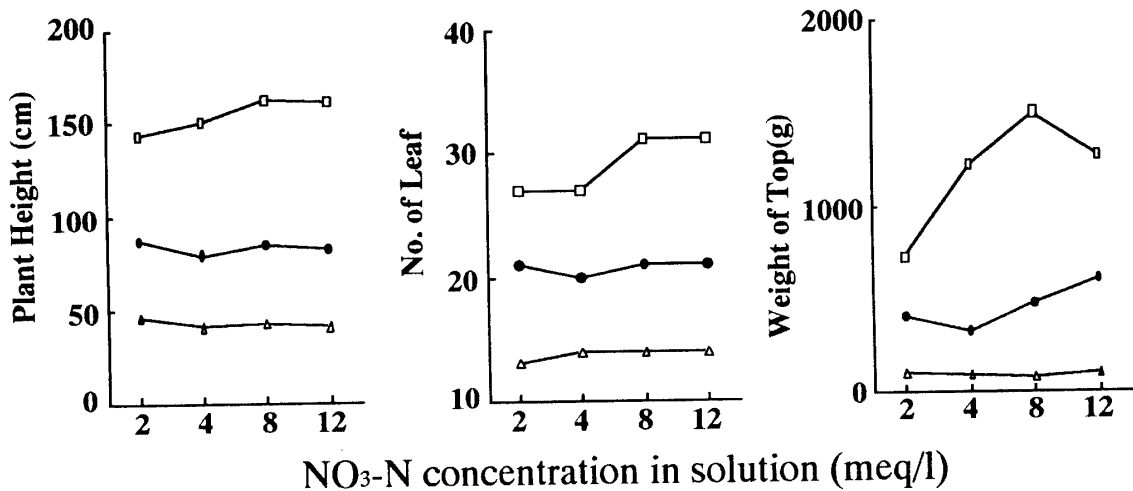


Fig. 5 Growth of tomato "MOMOTARO" cultured in the nutrient solution of four different NO₃-N concentration at different growth stage

- △— 14-leaf stage
- fruit setting stage of the 1st cluster
- mature-green fruit stage of the 1st cluster

培養液硝酸態窒素濃度の最も低い 2 meq/l 区では、第 1 花房下 3 枚葉、先端から 7-9 節位目の葉とともに、第 1 花房着果期から果実緑熟期までの間に、葉柄内硝酸態窒素濃度は減少し、植物体の栄養生長は著しく抑制されたことが認められた。これは培養液硝酸態窒素の不足から生じた結果と思われる。培養液硝酸態窒素の不足により、代謝の活発な上位葉の要求する窒素量が根から十分には供給されておらず、不足分が下位葉の葉身からの転流によって補給されたため、下位葉葉身の硝酸態窒素濃度が顕著に低下したものと考えられる (Ward, 1964)。

第 1 花房下 1-3 葉の低節位の葉では、生育段階が進むにつれて、葉柄内硝酸態窒素濃度は増加したが、培養液の硝酸態窒素濃度の違いによる差異は、2 meq/l 区の低い場合を除いて、あまり大きくならなかった。低節位の葉の葉柄内硝酸態窒素濃度の上昇は、硝酸態窒素同化速度を上回る旺盛な吸収 (李ら, 1991) あるいは、葉の老化に伴う硝酸還元力の低下によって生じる硝酸の蓄積 (N. Bellaloui 1990) が原因しているものと思われる。一方、葉柄内硝酸態窒素濃度の差は、2 meq/l 区を除いて、培養液中の硝酸態窒素濃度の違いに比べれば、その差はわずいぶん小さく、根の吸収過程において硝酸態窒素の吸収濃度がある一定の範囲内に制御されているものと思われる。

第 1 花房果実緑熟期では、先端から 7-9 節位目の葉柄内硝酸態窒素濃度は、培養液硝酸態窒素濃度の増加につれて増加したが、培養液硝酸態窒素濃度はさらに増加すると、減少する傾向が認められた (第 4 図)。

第 1 花房着果期における各処理区の第 1 花房下 1-3 葉の葉柄内硝酸態窒素濃度の差異 (第 3 図) は、明らかに第 1 花房緑熟期における地上部茎葉重の差異 (第 5 図) とよく対応している。つまり同一花房の間では、着果期の花房下の葉柄内硝酸態窒素濃度が緑熟期の栄養生長量を表しているものと考えられる。着果している花房下の葉の葉柄内硝酸態窒素濃度が、その後の栄養生長量を予測するための重要な情報を提供しうる可能性が大きい。

葉柄は根で吸収された養水分、あるいは他の葉からの養水分が葉身部分へ転流してくる器官である。葉柄部分の汁液中に含まれる養分状態は、その後の葉の生長を大きく左右すると考えられる。本実験では培養液の硝酸態窒素濃度を変えてトマトを養液栽培した。硝酸態窒素は養液栽培での主なる窒素源であり、硝酸態窒素の吸収の良否が生長を大きく左右する。実験の結果から、葉身では、果実緑熟期に認められる窒素栄養状態の差異を第 1 花房着果期の段

階では予見することが難しいことがわかる。それに比べ、葉柄では早い生育段階から硝酸態窒素濃度の差異が認められた。より早い生育段階での、その後の窒素栄養状態の診断にとって、葉柄の汁液分析が適しているといえる。これは他の研究者の研究結果 (景山ら, 1971; Gomez-Lepe ら, 1974) とも一致している。

栄養診断を行う上で望ましい採取節位は、研究者によって異なる。景山ら (1971) は、極端な多窒素条件下にのみ上部葉柄は硝酸態窒素の変化に反応することができるので、生存する成葉の下から 3-5 枚葉が検定試料として適当であると判定した。Smith (1987) は植物体の成熟花房部葉と中間葉 (成熟花房部葉と頂部との中間の位置) の 2 か所から採取した葉柄を栄養診断の部位とした。Gomez-Lepe ら (1974) の研究結果は植物先端から第 7 節位 (成熟した若い葉) の葉柄内硝酸態窒素濃度が培養液硝酸態窒素濃度の違いによって顕著に変化することを認めた。そして、体内窒素の栄養状態の診断部位として、先端から第 7 節位の葉柄が一番よいと判定した。本実験の結果からみると、培養液硝酸態窒素濃度の違いによる第 1 花房下 1-3 葉の葉柄内硝酸態窒素濃度の差異が第 1 花房着果期までみられたが、果実緑熟期では、硝酸態窒素濃度の最も低い 2 meq/l 区を除き 3 区の間での差異が小さくなった。しかし、先端から 7-9 節位目の葉柄内硝酸態窒素濃度は、いずれの生育段階においても培養液硝酸態窒素濃度の違いによる差異が明らかにみられた。培養液硝酸態窒素濃度の変化に対する反応が大きいのは先端から 7-9 節位目の葉柄であると認められた。

しかし、第 1 花房果実緑熟期では、上位葉の各花房の間に葉柄内硝酸態窒素濃度の変動が大きく、不安定であることがみられた。先端から 7-9 節位目の葉柄内硝酸態窒素濃度の変動については、さらに詳細な調査が必要であると思われる。Smith (1987) の考えにあるように、トマトでは同一植物体に肥大した果実、着果し始めた果実あるいは開花している花房が下位節から順に上方に向かって連続的に発達していることから、1 か所での栄養診断は難しく、正確な栄養状態の情報を得ることはできないと思われる。

概して、カリウム、カルシウム、マグネシウム濃度の汁液分析値は、培養液硝酸態窒素濃度の影響を大きく受けないことが分かった。ただし、カルシウムに関しては、果実緑熟期のように生育段階が進むと、葉柄、葉身ともに培養液硝酸態窒素濃度の影響があられてくることが認められた。つまり、カルシウム栄養状態がカリウム、マグネシウムに比べ培養

液硝酸態窒素濃度の影響を強く受けていることがわかった。

引用文献

1. Bellaloui, N. and D.J.Polbeam. (1990) : Journal of Plant Nutrition **13** : 39-15.
2. Epstein, E. (1972) : Mineral Nutrition of Plants. PP191-221, John-Wiley & Sons, New York.
3. Gomez-Lepe, B.E., and A. Ulrich. (1974) : J. Amer. Soc. Hort. Sci. **99** : 45-49.
4. Hewitt, E.J. (1966) : Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition, Commonwealth Agricultural Bureaux, England.
5. 景山詳弘 (1991) : 園学雑 **60** : 583-592.
6. 景山美葵陽・石原正道・巽 穰・西村周一 (1971) : 農技研報告 E9. 161-183.
7. 李光植・喻景権・松井佳久 (1991) : 日本土壤肥料学雑誌 **62** : 461-468.
8. Regis, L., G. Andre and Louis-Philippe V. (1989) : J. Amer. Soc. Hort. Sci. **114** : 462-465.
9. 穴戸良洋・施山紀男・堀 裕 (1988) : 園学雑 **57** : 418-425.
10. ————・伊 千鐘・施山紀男・今田成雄・湯橋 勤 (1991a) : 園学雑 **59** : 771-779.
11. ————・堀 裕 (1991b) : 園学雑 **60** : 319-327.
12. Smith, D.L. (1987) : Rockwool in horticulture. PP86-96, Grower Books, London
13. 高島友三 (1992) : 養液栽培研究会千葉総会研究会資料 PP23-32.
14. Ward. (1964) : Plant Soil **21** : 125-133.

Summary

The growth and concentration of elements in leaf blades and petioles of different leaf position and at different growth stage of two tomato varieties (MOMOTARO and TVR-2) cultured in the nutrient solution of four different nitrate concentration (2, 4, 8, 12 meq/l) were determined by sap analysis.

In both varieties, the top weight at mature-green fruit stage of the 1st cluster was related to nitrate concentration of the petiole directly under the 1st cluster at fruit setting stage of the 1st cluster. In all the growth stage, there were no large effect of nitrate concentration in the nutrient solution on the concentration of K, Ca and Mg in the leaf. High nitrate concentration in the nutrient solution tended to decrease the concentration of Ca in leaf blade and petiole at mature-green fruit stage of the 1st cluster.

Nitrate concentration of petiole was influenced by nitrate concentration in the nutrient solution more quickly than that of leaf blade, the difference being noticeable at the early stage of growth. Compared with the nitrate concentration of petiole of lower leaves (below 1st cluster), that of young mature leaves (7-9 nodes from tip) were susceptible to the concentration of nitrate in nutrient solution. At the mature-green fruit stage of the 1st cluster, however, nitrate concentration in young leaves fluctuated.