

蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究 IV

培養液濃度がトマトの生育、収量におよぼす影響

高嶋 四郎・並木 隆和・福井 重光
竹内 俊雄・西 新也

SHIRO TAKASHIMA, TAKAKAZU NAMIKI, SHIGEMITSU FUKUI,
TOSHIO TAKEUCHI and SHIN-YA NISHI

Studies on production of vegetable crops in water culture IV
Effect of nutrient concentration on growth and yield of tomatoes

要旨：水耕培養液の濃度、組成を一定に保って、液濃度の差異がトマトの生育、収量におよぼす影響を調べた。供試した濃度は $\text{NO}_3\cdot\text{P}\cdot\text{K}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ を 16.4.8.8.4 me/l 含む培養液の 25, 50, 100, 200% の 4 段階である。

トマトの生育には、老化が進んで生体重の劣った 200% 区を除いて培養液濃度の影響は大きく認められなかった。果実収量は低濃度区ほど高かった。尻腐果は高濃度になるほど、また植物体の Ca/N 率が低くなるほど増加し、特に 200% 区で多かった。果実の乾物含有率、糖含有率は高濃度区ほど高かった。25% 区では無機成分含有率が他の濃度区と著しく異なるパターンを示した。

電気伝導度の測定により一定の範囲内で液濃度の変動を許した濃度変動区で栽培した結果を濃度一定区の結果と比較すると、前者では P 不足などの理由により植物体の生育は劣ったが果実収量、品質に不利な点は認められなかった。

I 緒 言

水耕栽培における各作物の生育に最適の肥料組成、濃度に関して数多くの研究結果が報告されている (Hewitt: 1956, Penningsfeld et al.: 1966)。トマト栽培に関しても最適として数種類報告されているが、その数値は研究者によって異なっている。培養液に溶解した肥料の総和の重量パーセントで比較しても、0.2% (Ellis et al.: 1953, Penningsfeld et al.: 1966) から 0.34% (Turner et al.: 1948) と違いがあり、わが国で広く用いられているれき耕用園試処方第 1 例 (堀: 1966) は 0.24% となる。これらの差異の原因は品種、環境条件などにも差異があり、また培養液管理の差異も考えられる。また植物一個体あたりの培養液の量、培養液供給の方法、栽培中の減量を補充する方法、培養液中の溶存酸素濃度など、植物の養水分吸収のパターンに影響をあたえるファクターは多いと考えられる。

前報 (並木ら: 投稿中) で筆者らは、トマトを栽培している培養液中の各養分濃度が非常に短時間で変化し、また各養分の変化の率が異なるため、培養液の組成も所定のものとは違ったものになることを報告した。これらの濃度、組成の変動を最小にして、培養液濃度の影響をより正確につかむことが必要であり、そのためには根を常に培養液中に浸し、常に新しい液を補充するとともに、植物の根に触れて濃度の変化した液を捨てる方法が適当であると思われる。

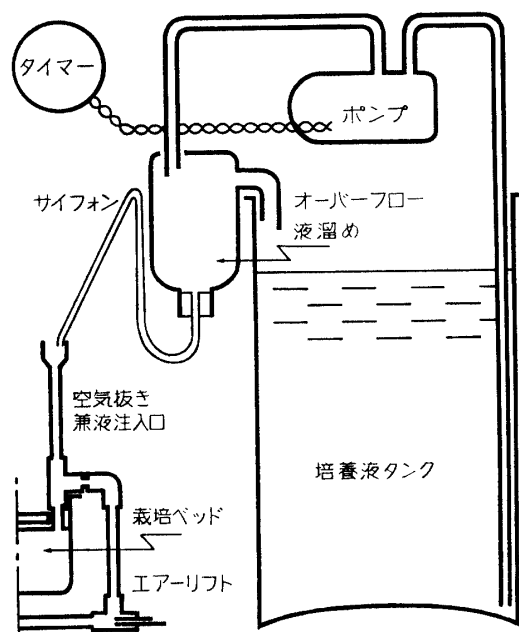
本実験は、実現可能な範囲で培養液の濃度、組成を一定に保つ装置を用いてトマトを栽培し、各濃度が養水分吸収、生育、収量、果実の品質におよぼす影響を調べ、水耕栽培における培養液管理の目標にするべき真の最適培養液濃度を決定するための基礎的資料を得んとしたものである。

常に一定の濃度、組成が保たれた場合の最適濃度が決定できたとしても、この様な方式での実際栽培を行

なうことは不可能であり、どの様な水耕栽培方式を採用しても、液の減量、濃縮、希釈は避けられない。従って、この理想の濃度、組成からどの程度、変動することが許されるか、変動による影響はどの程度なのか、どの様な方式により液を補充あるいは更新すべきかなどを決定することが必要となる。そのために、現在水耕栽培で一般に行なわれている培養液管理の一方法、すなわち液の電気伝導度により全塩濃度を推定し、減量を補充して所定の濃度にもどす方法で、トマト栽培中の液濃度の変動を一定範囲に制御して、一作中の電気伝導度の消長、液中の濃度変化がトマトの生育、収量におよぼす影響を調べて、上記の濃度一定による実験結果と比較するものである。

II 実験材料および実験方法

トマト（大型福寿）を1972年1月31日ガラス室内の砂床に播種し、前報と同様にして水耕育苗した。3月28日ビニールハウス内のベッドに5本ずつ定植した。定植時、苗は高さ約36cm、第2花房を形成していた。ベッドは46×107×13cm（水深約7cm）のプラスチック成型品で、常時30ℓの培養液を満たした。ベッド内の培養液の通気、攪拌はエアリフトによった。定期的に一定濃度の培養液をベッドに供給するために第1図に示す様な装置を用いた。タイマーによりポンプが作動し、液を上部の液溜めに送る。一定量以上に入った液はオーバーフローよりタンクに戻るがその時水面はサイフォンの山を越し、ポンプが止まるととも



第1図 培養液を定期的に一定量栽培ベッドに供給するための装置

第1表 供試培養液組成

多量要素 (me/l)	濃 度 区 (%)				
	25	50	100	200	
NO ₃ -N	4	8	16	32	
P	1	2	4	8	
K	2	4	8	16	
Ca	2	4	8	16	
Mg	1	2	4	8	
微量元素 (ppm) 各区共通					
Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
3	0.5	0.5	0.05	0.02	0.01

に液溜めの液はすべて細いチューブを通してゆっくりとベッドに流れ込む。毎日7時より17時迄、1時間に1度ポンプを作動させて1日計42ℓの培養液を注入して、ベッドの反対側の端より常に液があふれ出る様にした。供試した培養液の組成を第1表に示す。（れき耕用園試処方第1例は100%に相当する。）

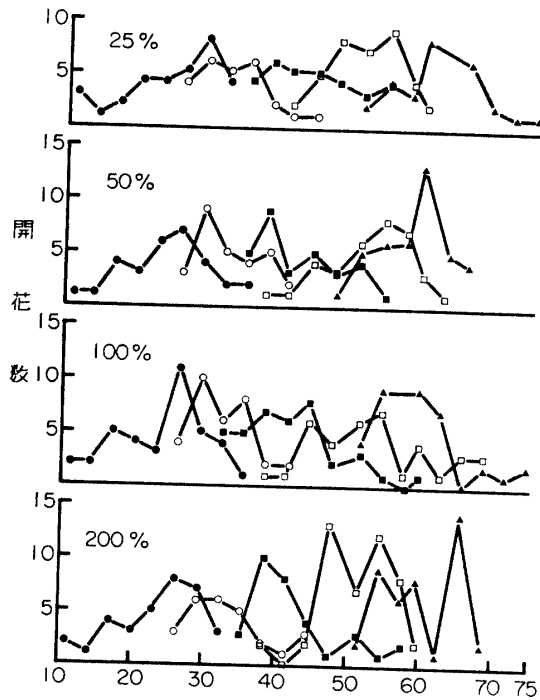
一定の範囲で培養液濃度の変動を許してトマトを栽培し、上記の濃度一定区と比較する実験は上記と同時、同場所で同様に栽培して行なった。ただし自動給液装置は使用せず、毎日ベッド内の液の減量を1/2濃度の液で補充するとともに、ベッド内の液の電気伝導度を測定した。全塩濃度が許容範囲を越えた場合にはその翌日に液全部を新しい液と交換した。この許容範囲を越えない場合でも3日目には液全部を交換した。残液の量と成分分析の結果より、植物によって吸収された養水分の量を算出した。使用した濃度は前記の50, 100%液で、各々25~75, 50~150%を許容範囲とした。

トマトは5段階摘心とし、収穫した果実と、7月21日栽培終了時の植物体各部分につき成分分析した。植物体は各果房下1葉から果房上2葉迄を1段として各段ごとに測定し、第1段より下、根までを基部として表わした。分析方法はKが原子吸光分光分析法によった他は前報と同様である。糖の分析はガスクロマトグラフィーによった。

III 実験結果

1. 培養液濃度を一定に保った場合

生育状態の外観や生育過程における草丈の変化には培養液濃度区間の差異がみられなかった。また、第2図に示すように開花日にも差異が無かった。植物体の重さを比較すると第3図に示すように、地上部の生体重では200%区が最も低かったが乾物重ではほとんど差異が無かった。根の生体重は高濃度区ほど高かった。



第2図 培養液濃度が花房別開花日、開花数におよぼす影響

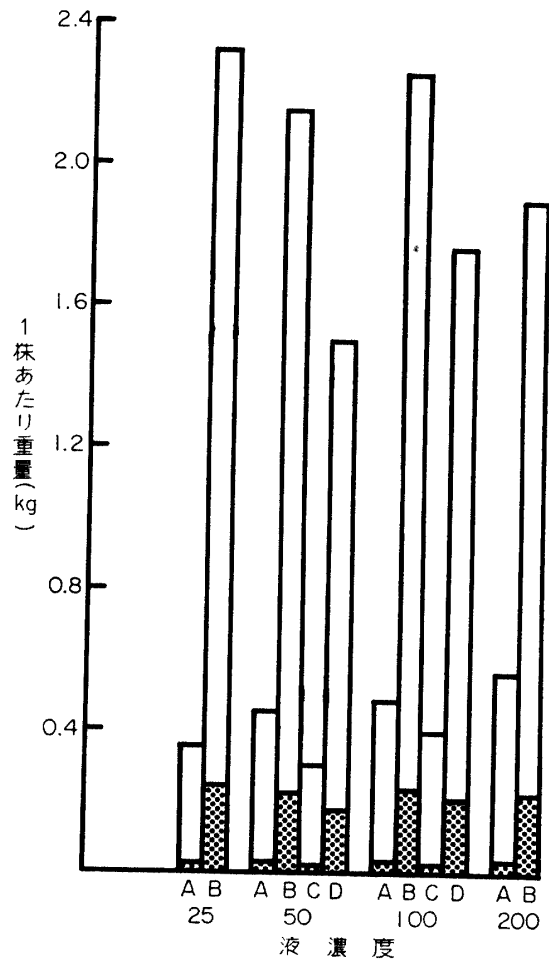
横軸：定植後日数，各区内
 ●：1段，○：2段，■：3段，□：4段，▲：5段花房

高濃度区では細根が多くてもろく，低濃度区では太い側根が多くてかたい傾向があった。

第2，3表に示すように開花数は100，200%区で25，50%区よりも高く有意差を示した。収穫果数は200%区が5%水準の有意差で他区より低く，収穫総重量は液濃度が高くなるに従い，1%水準の有意差で減少した。開花数に対する収穫果数の割合は液濃度と高い負の相関を示した。一個重も液濃度が高くなるとともに減少した。果実重量を果房別にみると，低段位の果房では差が小さいが段があがるにつれて差が大きくなり，200%区の高段位で特に低かった。尻腐果の発生は高濃度区で多く，これが果実数，収量減少のひとつの原因である。果実の乾物率（第4図）は液濃度

第2表 培養液濃度が開花数，果実数におよぼす影響

液濃度 (%)	開花数	収穫果数	尻腐果数	
濃度一定	25	31.6	25.6	1.0
	50	32.4	25.2	2.2
	100	37.2	24.4	7.6
	200	35.8	18.0	12.8
変動	50	32.8	25.8	0.6
	100	33.6	23.8	2.2



第3図 培養液濃度が植物体重量におよぼす影響

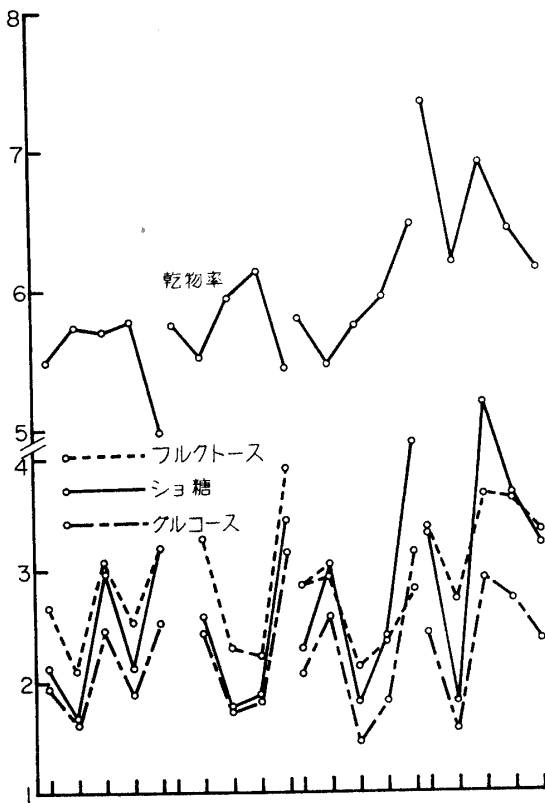
A：濃度一定区の根，B：同茎葉，
 C：濃度変動区の根，D：同茎葉，
 白ぬき部：生体重，打点部：乾物重

の上昇とともに増加し，200%区は他区に対し5%水準の有意差を示したが，果房段間では差異は認められなかった。

茎葉の無機成分含有率を段ごとに示したのが第5図である。Nは濃度区間，段間で有意差は認められない。

第3表 培養液濃度が果房別果実収量におよぼす影響 (g)

液濃度 (%)	花				房		
	1	2	3	4	5	計	
濃度一定	25	1312	1496	1446	1739	1349	7342
	50	1275	1425	979	1290	1213	6182
	100	1117	1264	923	1256	987	5547
	200	1187	790	844	775	368	3964
変動	50	1504	1399	1262	1248	1195	6608
	100	1241	975	1136	1059	1001	5412

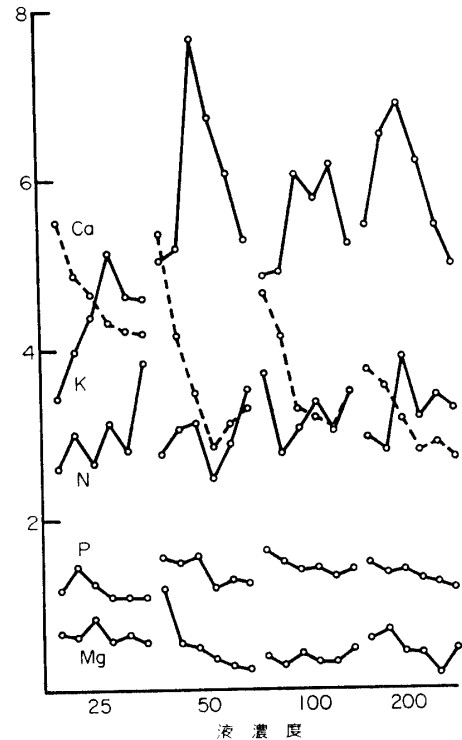


第4図 培養液濃度が果実の乾物含有率，糖含有率（乾物あたり）におよぼす影響

縦軸：含有率(%), 横軸：液濃度,
左より25, 50, 100, 200%,
各区左より1, 2, 3, 4, 5段花房

P は 50, 100%区で200%区よりも高く、25%区は200%区より低かった。段別では各区とも上段ほど低かった。Kは50, 100, 200%区で有意差が無く、25%区では他区よりも非常に低くなった。Caは濃度が低いほど、また段が低いほど高かった。Mgは有意差が無かった。50, 100 および 200%区の間では、200%区のCaが特に低いほかは大きな差異が無いのに対し、25%区においてはPが低く、Kが非常に低く、Caが高いといった特異な構成を示した。

果実の無機成分含有率を段ごとに示したのが第6図である。Nでは一定の傾向はみられなかった。Pでは50, 100%区が他区よりも高く1%水準の有意差を示した。Kでは25%区が特に高く他区に対して有意差を示した。Caでは200%区が低くて50%区との間に有意差が認められるが、他の区間では差が無かった。Mgでは25%区が特に高く、他区との間に有意差を認めた。全体を通じて、25%区でK・Mgが高く、Pが低い傾向があり、他の3区ではほとんど差が無かった。果実の無機成分含有率は茎、葉（第5図）の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度であるが、CaとMgが特に低く $\frac{1}{10}$ 以



第5図 培養液濃度が植物体各部の無機成分含有率におよぼす影響

縦軸：乾物あたり含有率(%), 横軸：各区
内左より基部, 1, 2, 3, 4, 5段目

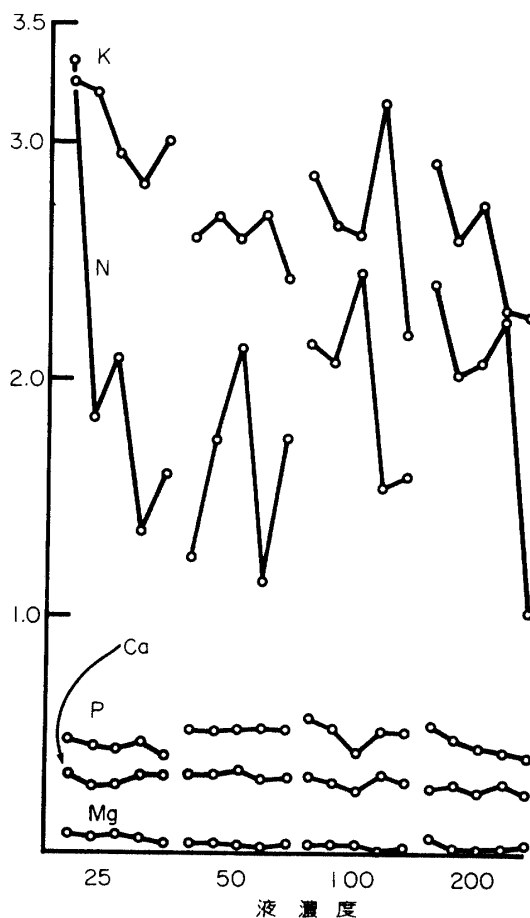
下であった。果実のMg含有率は葉のそれと高い相関を示し、Kでは葉のKと負の相関を示した。

果実の糖はガスクロマトグラフィーによりショ糖、フルクトース、グルコースが分析された。含有率はフルクトース、ショ糖が高く、グルコースが液濃度間および果房間を通じて最も低かった。含有率は一般に高濃度区ほど高い傾向を示した。各糖とも200%区が特に高く、フルクトースでは200%区に有意差が認められたが、他の糖では認められなかった。全糖と液濃度間、ショ糖と液濃度間において高い相関が認められた。

2. 培養液濃度の変動を許した場合

電気伝導度測定により全塩濃度の推移をみると、第7図のように50%区では最初、濃度の下がるが多かったが6月以降は高くなった。100%区では濃度は常に上昇し、5月以降はしばしば許容範囲を上まわった。両区の吸水量は第8図にみられるようにほとんど差異が無く、1株あたりの合計は50%区140.2ℓ, 100%区141.2ℓであった。雨天のために吸水量の急減した時期には電気伝導度の低いことが多かった。

生育状態の外観や生育過程における草丈の変化、開花日などは区間の差異が無く、濃度変動各区と濃度一



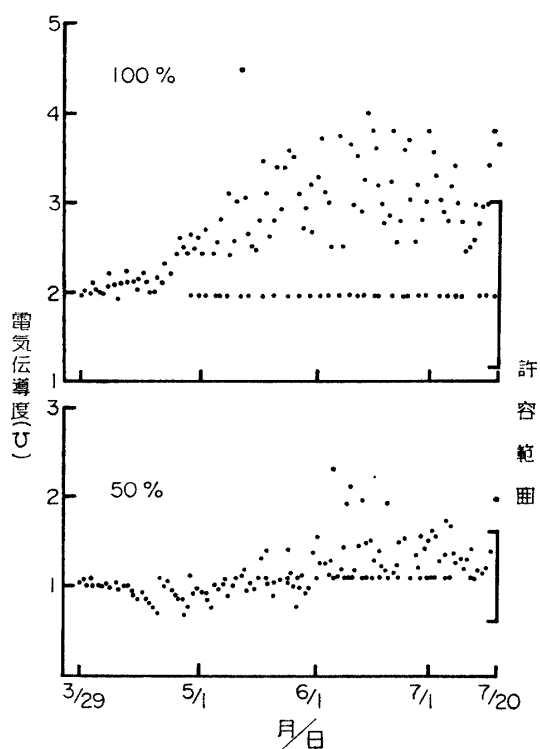
第6図 培養液濃度が果実の無機成分含有率におよぼす影響

縦軸：乾物あたり含有率(%), 横軸：各区
内左より1, 2, 3, 4, 5段果房

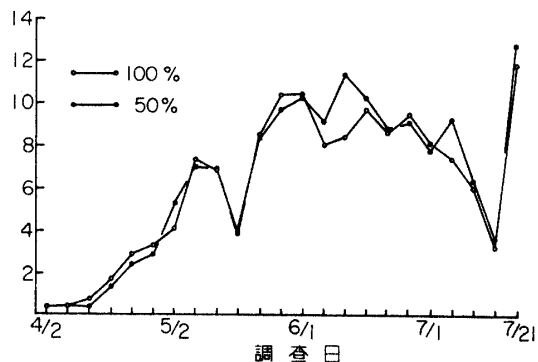
定各区との間にも差異が無かった。第3図にみられるように栽培終了時の植物体重量は濃度変動区では100%区が50%区よりも大きく、濃度一定区の結果と同じ傾向を示し、いずれも対応する濃度一定区よりも著しく低かった。

果実の重量(第3表)では総収量、一個重ともに濃度一定区と同様50%区が100%区よりもややすぐれていたが、同一濃度の培養液を用いた場合、収量の違いは認められなかった。開花数および収穫果数(第2表)は濃度変動区間では差がほとんどなく、濃度一定の50%区と似た値であった。尻腐果の発生は濃度の低い方が少なく、ともに濃度一定の場合よりも低かった。

養分吸収量の累積値を第9, 10図に示した。最終的にはN・K・Caでは50%区が高く、P・Mgでは100%区が高い傾向があった。吸水量の急減した時期には養分吸収量も減少し、特に100%区でその影響が大きいようであった。



第7図 濃度変動区の培養液電気伝導度の消長



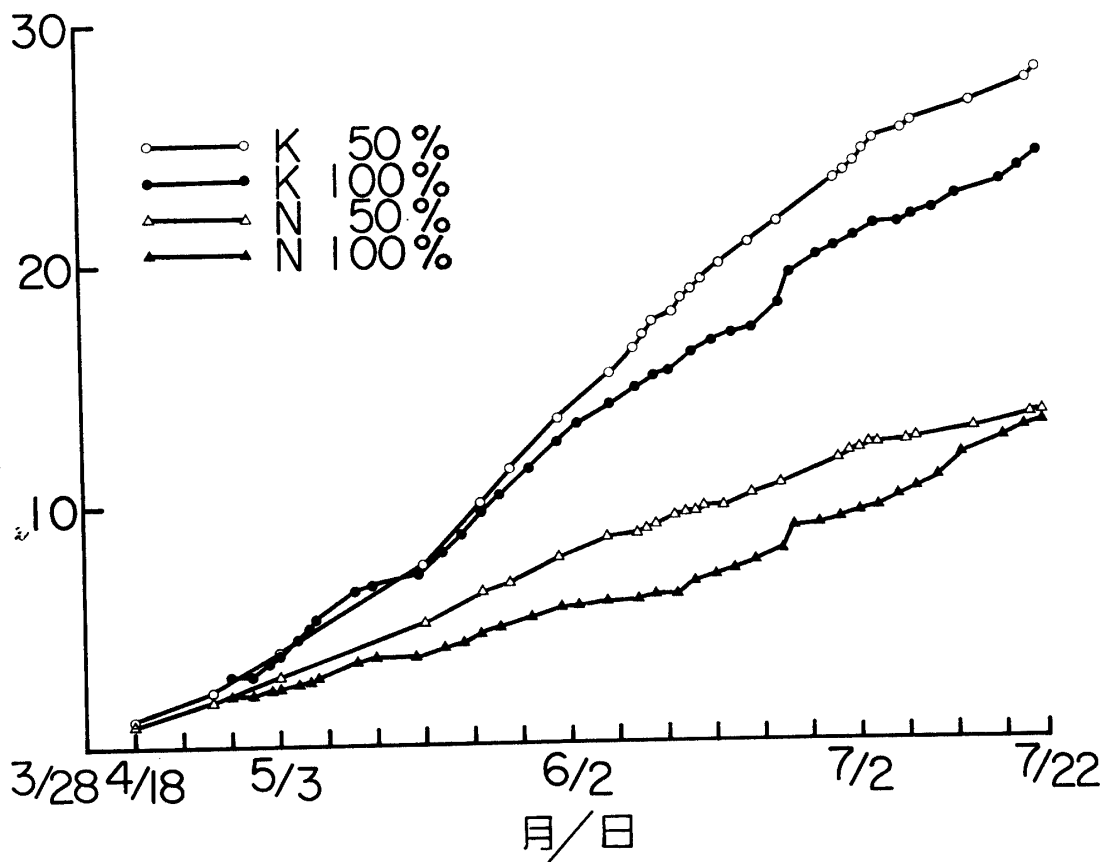
第8図 一作中5日ごとの吸水量
縦軸：1株あたり吸水量(ℓ)

第11図に茎葉の無機成分含有率を示し、濃度一定区の結果と比較検討した。含有率は50%区が100%区よりもPは低く、Caは高かった。その他では差が無かった。濃度一定区の結果と較べてPとKで低くMgで高かった。

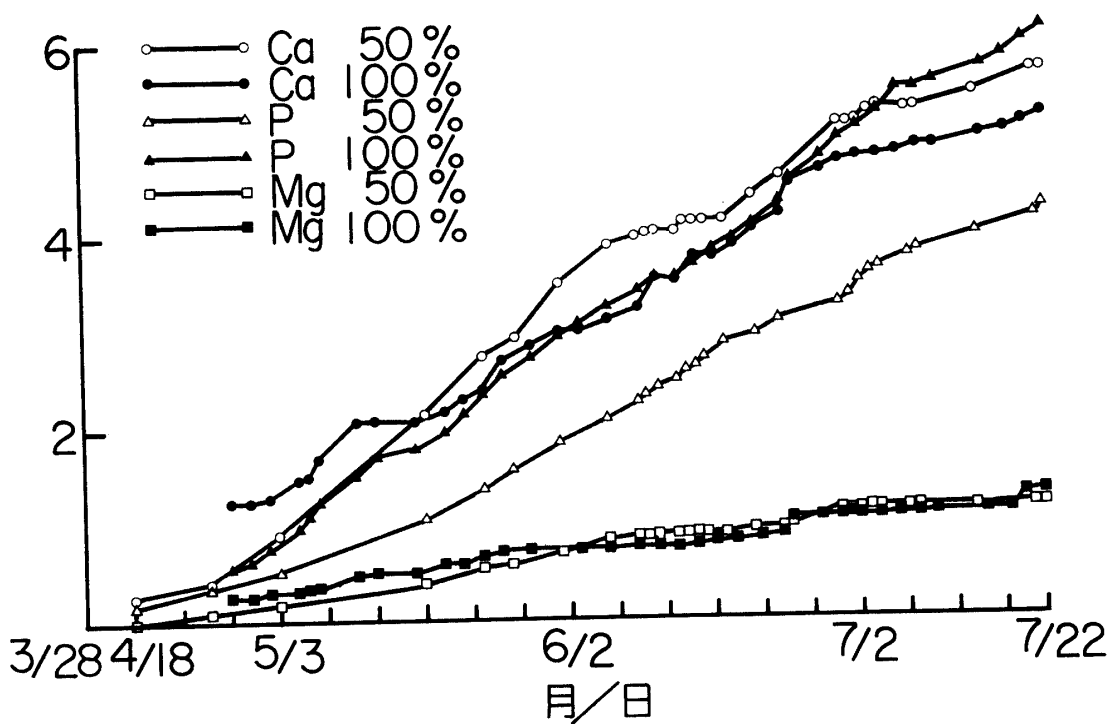
果実の糖含量を比較した結果は第12図にみられるように、濃度一定区とよく似た傾向を示し、濃度変動区はやや高いようであった。

IV 考 察

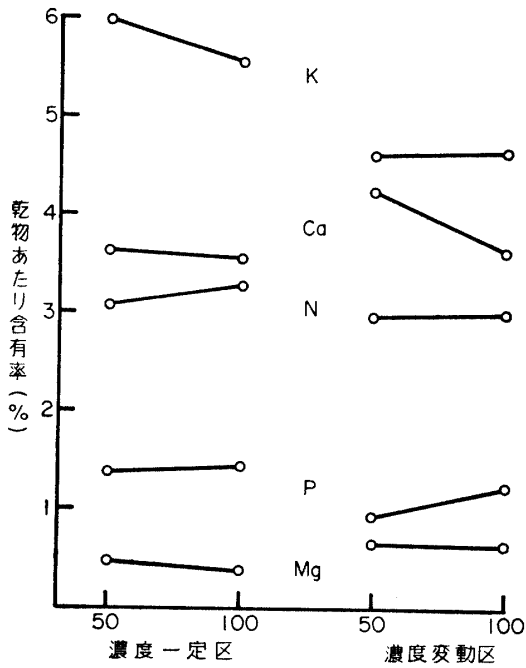
本実験の範囲では培養液濃度の差異が植物体の生育におよぼす影響はあまり顕著でなかった。濃度管理の方法は異なるが、本実験とほぼ同様な組成の培養液で



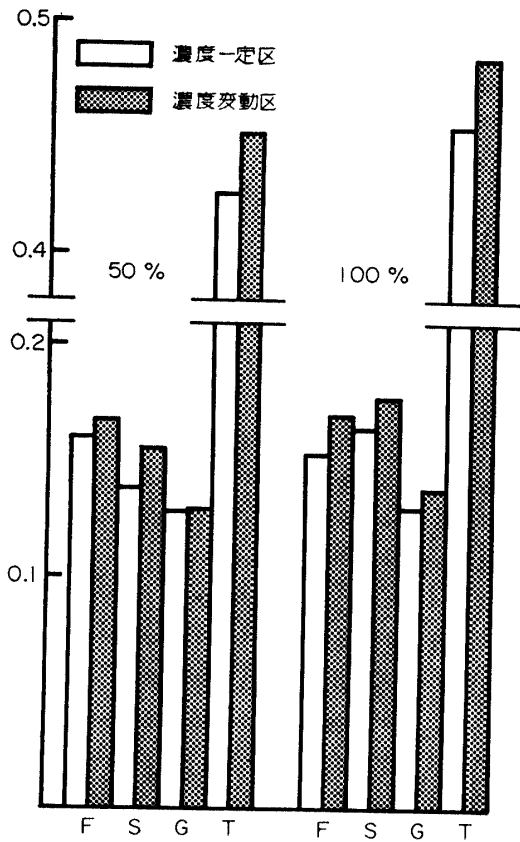
第9図 培養液より吸収されたN, Kの量 縦軸：1株あたり吸収量 (g)



第10図 培養液より吸収された P, Ca, Mg の量 縦軸：1株あたり吸収量 (g)



第11図 培養液濃度が植物体の無機成分含有率におよぼす影響



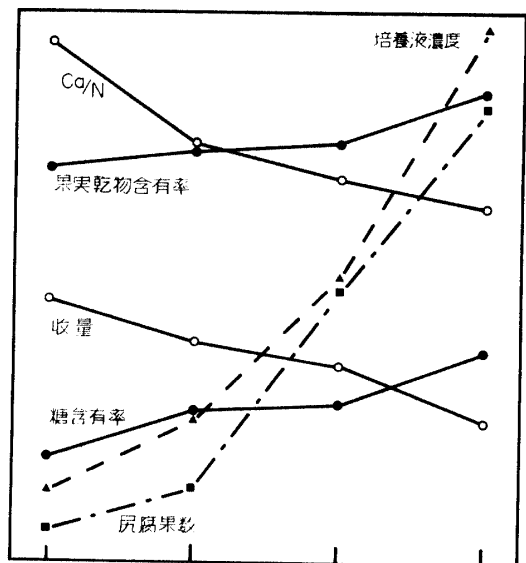
第12図 培養液濃度の変動が果実の糖含有率におよぼす影響

縦軸：乾物あたり含有率(%), 横軸：各区
内左よりフルクトース, ショ糖, グルコース,
その合計

トマトを水耕栽培し、標準濃度とその1/2濃度両区間では植物体各部分の乾物重に差が認められなかったという報告 (Cooper: 1972) があり、本実験でも同様な結果を得た。ただ、200%区では生体重が他区に比して劣るほか、栽培の終期に激しい下葉の枯れ上がりが観察され、乾物含有率が高く、植物体の老化が進んでいたと思われる。各無機成分の含有率は50, 100, 200%区でよく似たパターンを示した。トマトではKを多くあたえればあたえるほど多く吸収する、ぜいたく吸収が知られているが、各栄養素の濃度、バランスを一定に保った本実験でもこの現象は明らかで、25%区ではKの供給不足のために吸収制限を受けたが50%以上の区では常に濃度は一定に保たれたために供給は充分で、50, 100, 200%区でKの含有率に差の無かったことから、本実験におけるKの吸収量がトマトにおける最大限度であると考えられる。本実験の最低濃度である25%区では生育は他区と変らなかったが植物体のK含量が低くCa含量が高いという特異な構成を示し、果実に多量のKが移行していた。

総収量、1個重とも培養液濃度が低いほど有利という結果になったがその差は大きくない。また、乾物含有率と糖含有率よりみた果実の品質では培養液濃度が高いほど向上する傾向があった。本実験で栽培したトマトの品質と土耕栽培の場合との比較には今後の研究が必要である。

尻腐果の発生は他の結果とともに第13図にまとめたように、培養液濃度が高くなるにつれて増加し、200%区で特に高かった。尻腐果の発生は培養液濃度が高くなるほど下段果房より発生する傾向があり、200%区では第3果房より上に発生した。Robbins (1937) は



第13図 培養液を濃度一定に保った実験結果の要約

尻腐果は培養液の高い浸透圧によって生じると報告している。Geraldson (1957) は Ca/N を低下させるような環境が尻腐果の発生をうながすと報告しており、本実験の結果からも同様なことがいえる。

結局、最適の培養液濃度としては25%では果実の生産はあがるが味の薄い果実となり、200%では味の濃厚な果実にはなるが尻腐果が多くて収量があがらず、50%と100%の間を目標に培養液管理を行うべきであると思われる。

トマト1株あたり6ℓの培養液量を保ち、毎日その減量を補給して、おそくとも3日目には液全部を新しい液と交換した培養液濃度変動区の実験では、植物体の生育は劣るが果実の収量は種々の面で、対応する濃度の濃度一定区と較べて差異は認められなかった。開花数はやや少くなる傾向を示したが、摘果数、尻腐果数が少いから収穫果数には差異は認められない。

電気伝導度で示される全塩濃度は1日で上昇し、また前報(並木ら:投稿中)で報告したようにトマトを栽培中の培養液組成は短時間で変化し、PとKの含量が減少し易いことから、本実験でも培養液中のPとKが不足して茎葉のPとKの含有率が低くなったものと考えられる。特にPの吸収量が50%区と100%区とで差のあることから、Pが充分供給されなかったことが植物体生育の劣った原因のひとつと考えられ、実際栽培においては施用する肥料の効率にも関係する

ので、この点につき実験を続行中である。本実験で供試した濃度変動の範囲ではトマト栽培に不利な点は無く、電気伝導度の利用も可能で特に50%液の使用が有効であることを認めた。

引用文献

- 1) Hewitt, E. J. (1956): Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops Technical Communication. No. 22.
- 2) Penningsfeld, F. und P. Kurzmann (1966): Hydrokultur und Torfkultur. Verlag Eugen Ulmer.
- 3) Ellis, C. and M. W. Swaney (1953): Soilless growth of plants. Reinhold.
- 4) Turner, W. J. and V. M. Henry (1948): Growing plants in nutrient solutions. Wiley and Sons.
- 5) 堀 裕(1966): 蔬菜・花卉のれき耕栽培, 養賢堂.
- 6) 並木隆和・西 新也・黒田和夫・田中教也・羽根田明子・高嶋四郎(1973): 園芸学研究集録 9 (投稿中).
- 7) Cooper, A. J. (1972): J. hort. Sci. **47**: 341-347.
- 8) Robbins, W. R. (1937): Plant Physiol. **12**: 21-50.
- 9) Geraldson, C. M. (1957): Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **69**: 309-317.

Summary

Tomato variety "Ohgata-Fukujyu" was water-cultured in beds where four levels of nutrient concn were kept constant with the continuous-flow system, to study the effect of nutrient concn on growth and yield. Nutrient solutions used were 25, 50, 100 and 200% strengths of modified Hoagland's solution containing $\text{NO}_3 \cdot \text{P} \cdot \text{K} \cdot \text{Ca}$ and Mg at 16.4.8.8 and 4 me/ℓ, respectively.

Nutrient concn did not affect growth of tomatoes much, except in the case of 200% where plants showed an advanced stage of senescence and lower fresh weight. Fruit yield was higher with lower concns. Occurrence of blossom-end rot was higher with higher nutrient concns, or with higher Ca/N ratios of the

plants, being extremely high with the 200%. Dry matter and sugar contents of the fruit were higher with higher nutrient concns. Fruit with the 25% concn showed a pattern of mineral contents which was quite different from those of others.

Tomato growth and yield in a culture where nutrient solution was controlled to fluctuate in concn within a range, by means of electric conductivity measurements, were compared with those in constant concns. Concn fluctuation did not lower the yeild or quality of tomatoes under conditions of the present experiment, though plant growth was inferior possibly because of the limited supply of P.