

蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究 V

溶存酸素濃度が春作および秋作のトマトの生育，収量におよぼす影響

並木 隆和・西 新也・羽根田 明子・高嶋 四郎

TAKAKAZU NAMIKI, SHIN-YA NISHI, AKERU HANEDA and
SHIRO TAKASHIMA

Studies on production of vegetable crops in water culture V
Effect of O₂ concentration in nutrient solution on growth and yield of tomatoes

要旨： トマト品種大型福寿を湛水循環方式により水耕栽培して，通気-液循環用ポンプの稼動時間を 5/60, 5/30, 5/15, 25/30 とする 4 区を設け，培養液中の溶存酸素濃度の違いが春作と秋作のトマトの生育および収量におよぼす影響を調べた。

溶存酸素濃度はポンプ稼動時間の長い区で高く保たれ，日中，特に14時前後に最低となり，その時の濃度は 0.8 ppm から 6 ppm 以上まで大きな差異を示した。春作と秋作では気象条件が異なるにもかかわらず，溶存酸素濃度の変化はやや似たパターンを示したが，最低値は春作よりも秋作で高かった。本実験の範囲では通気-液循環は 5/15 区で充分であると認め，最低溶存酸素濃度は 2 ppm 以上と確認した。

溶存酸素濃度の違いにより開花から果実収穫までの日数が影響を受けた。栽培終了時の植物体重量は溶存酸素濃度が高いほど大きかったが，溶存酸素濃度を高めることによる重量増加には限界がみとめられた。本実験で行なった溶存酸素濃度の範囲では，果実の収量におよぼす影響は僅かであった。

春作および秋作とも溶存酸素濃度が高いほど 1 株あたりの養水分吸収量が大きくなる傾向がみられ，特に Ca, Mg でその影響が大きかった。植物体各部位の無機成分含有率におよぼす溶存酸素濃度の影響は僅かであった。果実の糖含有率は 5/30 区で最も高く，他の区では低くなった。

I 緒 言

根に十分な酸素が供給されないとトマトの養水分吸収，ひいては生育，収量に大きな影響をおよぼすことが知られている (Clark et al.: 1932, Arrington et al.: 1936, Arnon et al.: 1940, Durell: 1941, 伊東ら: 1950, Hopkins et al.: 1950, 山崎: 1952, 位田: 1956, Aubertin et al.: 1968)。トマトは根の酸素要求量が比較的大きく (位田: 1952)，茎葉よりの酸素移行が少ない (位田: 1953) ため，酸素の供給低下に敏感な作物である。

土壌で通常みられる団粒間隙の酸素の拡散，微生物による酸素の放出などは，水耕栽培に於ては期待できないので，肥料の供給，根温の管理などとともに，根に対する酸素の供給を合理的に行なうことがそ菜の水

耕栽培の成功に不可欠な条件となる。

我が国では現在多くの水耕栽培法が行われているが，いわゆる湛水循環方式 (並木ら: 1972) は，培養液タンクの容量が比較的小さくてすみ，根の周囲の培養液濃度，組成の変動が比較的ゆるやかである。また，停電事故や循環系統の故障があっても，直ちに植物の枯死に結びつかないなどの利点がある。その反面，根が常時水中にあるために，土耕や，根が気体酸素に触れる機会のある他の水耕方式に較べて，酸素不足におちいり易い欠点が考えられる。即ち，根による酸素吸収量が比較的大きいことに加えて，夏期の高温時には培養液の酸素溶解度が低下し，旺盛な生育とあいまって酸素不足の状態をきたし，トマトの収量を低下させることが考えられる。

本実験は溶存酸素濃度を 4 段階に保って，春作と秋

作のトマトを栽培し、溶存酸素濃度が養水分吸収、生育、収量におよぼす影響を調べて、湛水状態でトマトを水耕栽培する場合の基準にすべき溶存酸素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。

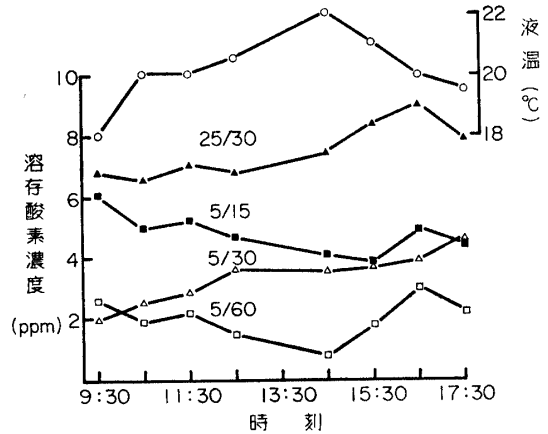
II 実験材料および実験方法

トマト品種大型福寿を用い、前報と同様にして水耕育苗した。本葉5~6枚の時、46×192×13 cm (水深約7 cm) のプラスチック成型ベッドに12本ずつ定植した。ベッド中に60ℓ、液タンクに60ℓ、計120ℓの培養液量を常時保った。使用した培養液はれき耕用園試標準処方第1例(堀:1966)の50%液である。毎日の減量は同組成、同濃度の培養液で補い、約1ヶ月で新しい液と交換した。湛水循環方式で培養液の通気と循環を行い、ポンプの稼動時間を5/60、5/30、5/15、25/30(5/60は60分ごとに5分間稼動したことを示す。以下同じ。)として4段階の溶存酸素レベルを設定した。環流口で測定したポンプ流量は約6ℓ/minであった。トマトは4段仕立てとして栽培し、生育、収量を調査した。花は開花時1個ずつトマトーンで処理・記録し、果実の表面1/2以上がピンク色を帯びた時に収穫した。溶存酸素濃度は隔膜ガルバーニ電極により毎週1度、最も濃度の低くなる13:30~14:30の間、ポンプの始動する直前に、ベッド内の最も濃度の低くなる位置(次報告予定)より培養液を採取して測定した。栽培終了後、各段の果実・茎・葉(各花房の上2節、下1節をまとめて各段とし、第1段より下を基部として表わした)、根の各要素含量と、培養液の残液

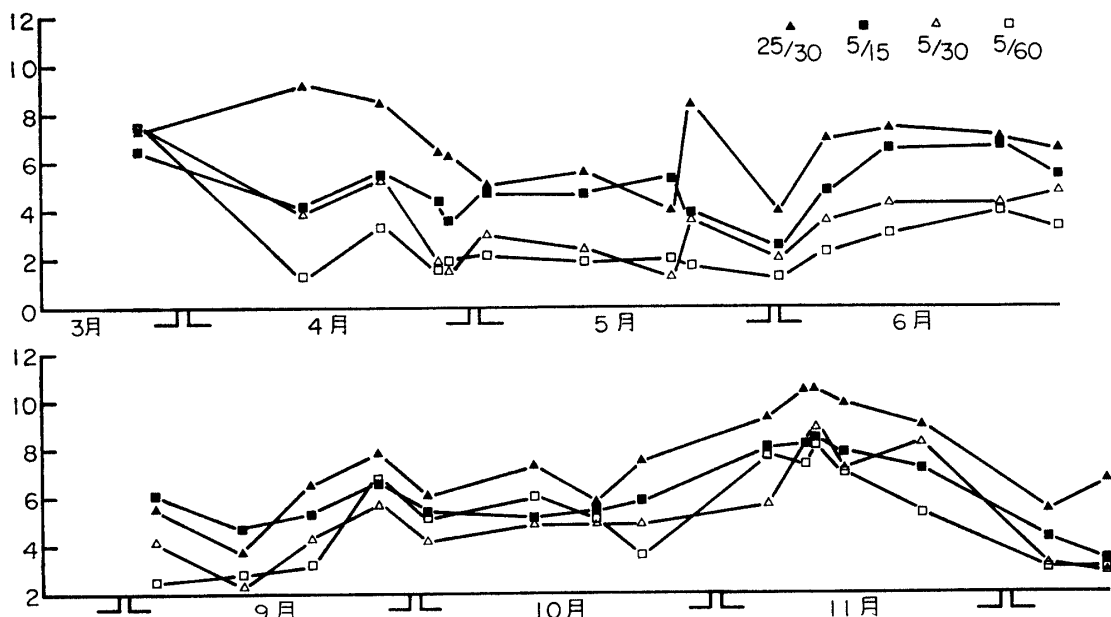
のN・P・K・Ca・Mgについて分析を行い、その結果と補給した培養液の量とにより各要素の吸収量を算出した。春作実験では果実の糖含量の分析をも行った。カリの分析は原子吸光分光分析、糖の分析はガスクロマトグラフィーにより、他は前報と同様に行った。春作は1月31日播種、2月23日水耕に移植、3月17日定植、7月14日栽培終了、秋作は7月12日播種、7月25日水耕に移植、8月18日定植、12月29日栽培終了として、作型の違いによる反応の差異を調べた。

III 実験結果

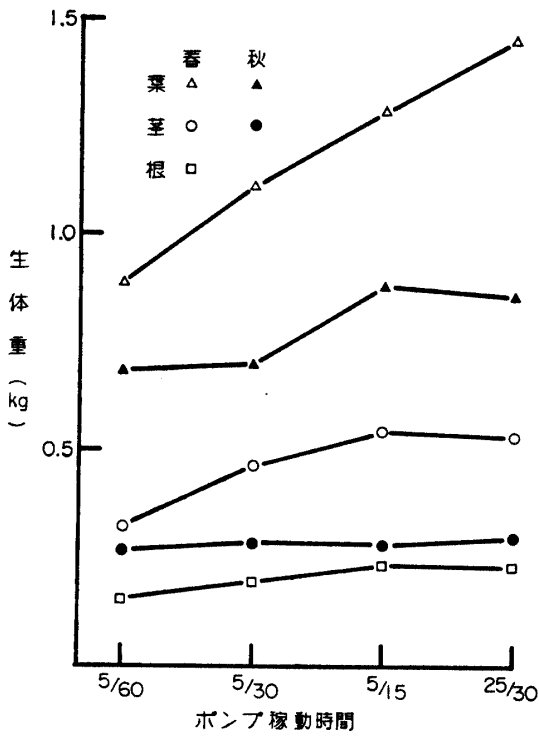
春作において、各区の溶存酸素濃度を日中1時間毎に測定した結果は第1図に示す。培養液温度は14時頃に最高となり、溶存酸素濃度はこの前後に最低となる



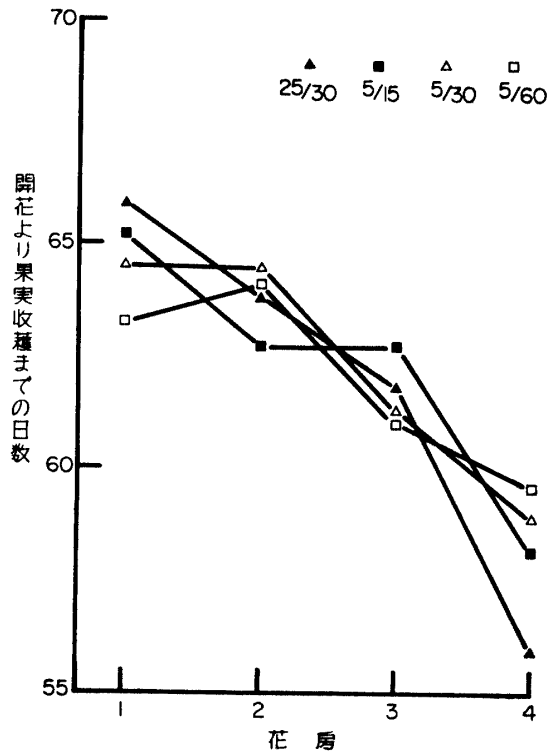
第1図 ポンプ稼動時間とトマト水耕ベッド中の溶存酸素濃度(5月23日)



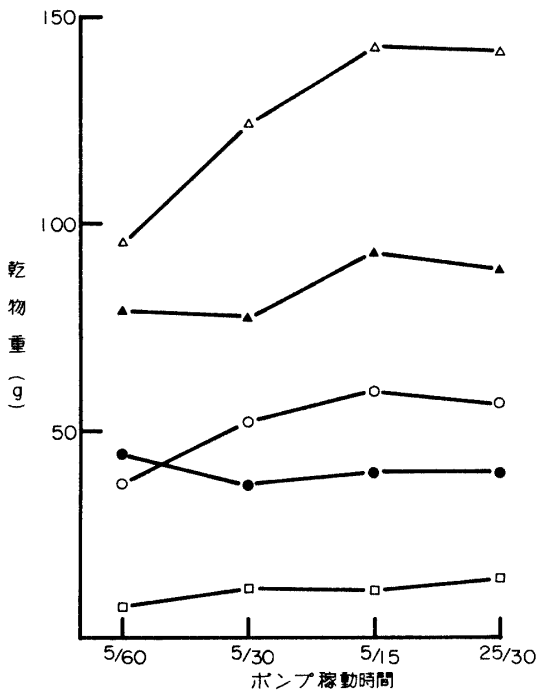
第2図 トマト栽培中の培養液溶存酸素の最低時濃度の消長
上:春作, 下:秋作, 縦軸:酸素濃度(ppm)



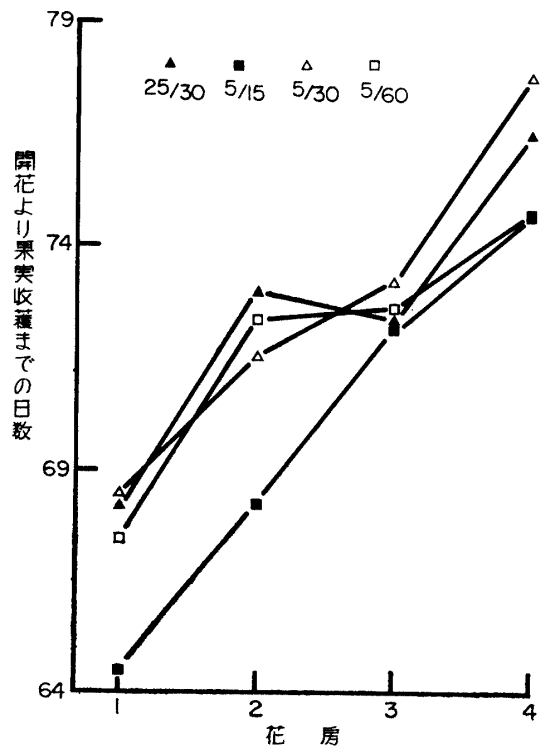
第3図 ポンプ稼動時間がトマト植物体各部の生体重におよぼす影響



第5図 培養液溶存酸素濃度が開花日より果実収穫までの日数におよぼす影響 (春作)



第4図 ポンプ稼動時間がトマト植物体各部の乾物重におよぼす影響 (符号は第3図と同じ)

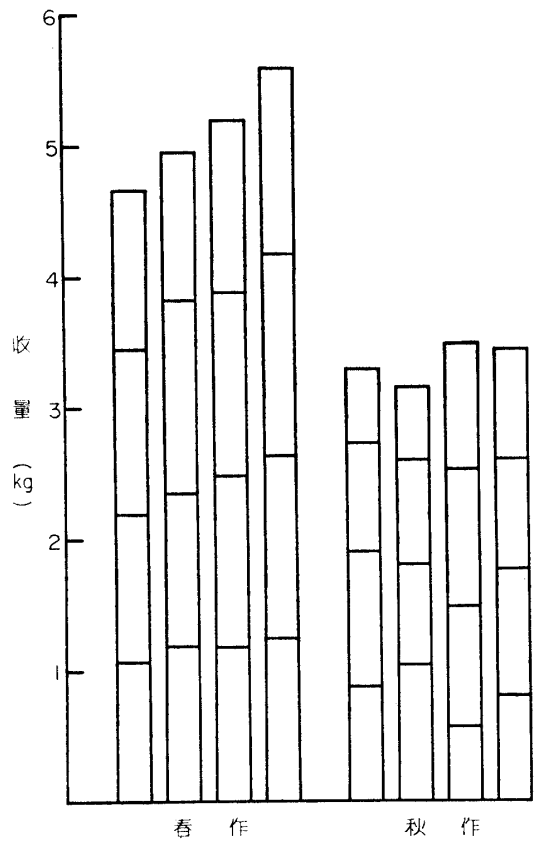


第6図 培養液溶存酸素濃度が開花日より果実収穫までの日数におよぼす影響 (秋作)

ことが多かった。最も頻繁に酸素の供給されている25/30区では常に約6.5 ppm以上を保ったのに対し、5/60区では最低0.8 ppmにまで下った。春作と秋作の全栽培期間中の最低溶存酸素濃度の推移を第2図に示す。一般にポンプ稼働時間の長い区は短い区に比して高い溶存酸素濃度を保った。春作と秋作では気象条件が大きく異なるにもかかわらず、溶存酸素濃度のグラフはやや似たパターンを示した。即ち、定植直後は高く、間もなく低下して比較的低い値を長く保ち、生育後期に上昇して、栽培の終わりにまた低下にむかった。最低濃度は春作よりも秋作の方が高かった。

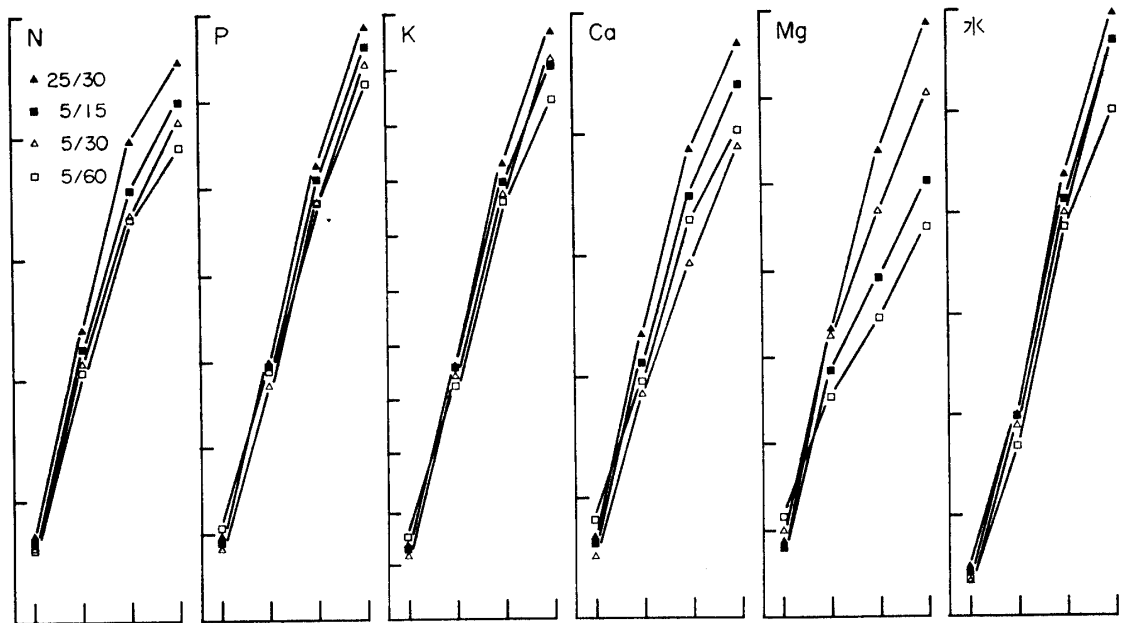
栽培終了時の植物体重量は生体重(第3図)、乾物重(第4図)ともに溶存酸素濃度を高く保った区ほど大であった。特に葉の重量でその影響が大きかった。このため栽培中、酸素濃度の高い区で旺盛な茎葉の繁茂がみられた。各部位の生体重は酸素濃度の高くなるに従い、増加の傾向を示し、春作の葉においては直線的に増加したが、その他の場合では増加の限界があるようで、5/15区と25/30区とで同じ値を示すことが多かった。

溶存酸素濃度の違いにより、開花日に差異は無かった。春作においてトマトーン処理日より個々の果実収穫までの日数を果房ごとに示したのが第5図である。第1果房ではこの日数が溶存酸素濃度の低い区で短い傾向があった。果房があがるにつれて一般的にこの日数は短くなり、第4果房では上記の傾向が逆転し



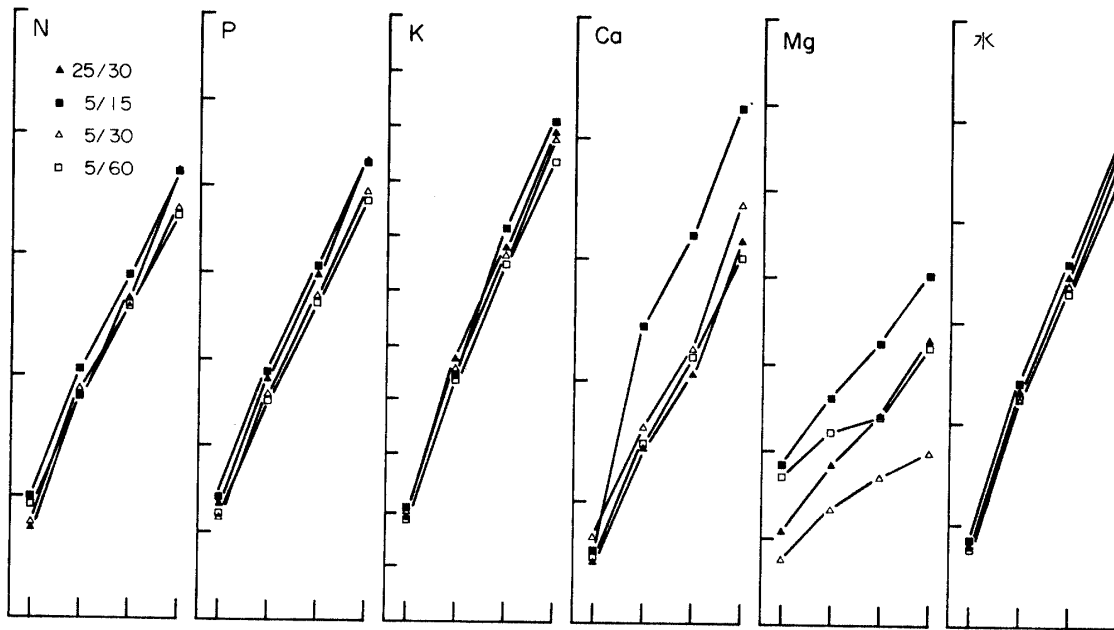
第7図 ポンプ稼働時間がトマトの果実収量におよぼす影響

横軸：左より5/60, 5/30, 5/15, 25/30区, 各区内：下より1, 2, 3, 4段花房



第8図 ポンプ稼働時間がトマトの養水分吸水量におよぼす影響(春作)

縦軸：1株あたり吸水量, 1目盛はN: 3, P: 0.5, K: 2, Ca: 2, Mg: 0.5g, 水: 20ℓ
横軸：定植後の日数, 左より 29, 59, 91, 119日



第9図 ポンプ稼動時間がトマトの養水分吸収量におよぼす影響(秋作)

縦軸：第8図と同じ，横軸：定植後の日数，左より31, 61, 94, 133日

で、溶存酸素濃度の高い区で短くなる傾向を示した。秋作においては第6図に示すように、開花より果実収穫までの日数は果房があがるにつれて長くなる傾向があったが、溶存酸素濃度による一定の傾向はみられなかった。果実収量をみると第7図に示すように、溶存酸素濃度を高く保った区で大きくなる傾向があったが、その差は僅かであった。

春作における N・P・K・Ca・Mg および水の1株あたり吸収量を定植の29, 59, 91, 119日後の累積値として第8図に示した。秋作における同吸収量を定植の31, 61, 94, 133日後の累積値として第9図に示した。ともに同一の要素について溶存酸素濃度の影響による差異をみやすくするためにグラフ縦軸の1目盛を N: 3g, P: 0.5g, K: 2g, Ca: 2g, Mg: 0.5g, 水: 20ℓとしてある。春作においては各吸収量は生育の初期には差が小さく、前後する区もあったが、最終的にはいずれの要素においてもポンプ稼動時間の長い区において吸収量が大きく、N・Ca・Mgでその差が大きい傾向を示した。生育段階による一定の傾向はみられなかった。秋作においても同様の現象が観察されたが、Ca・Mgを除いて区間の差は小さかった。

春作の栽培終了時に植物体の各部分を分析して各要素の含有率を求めた結果を第10図に示す。Nの含有率は果実・葉・茎ともに段によって差が大きく、一定の傾向はみられなかった。Pについては5/60区では段による差がなかったが、他の区では果実・葉・茎ともに段があがるにつれて含有率が減少した。また、根で

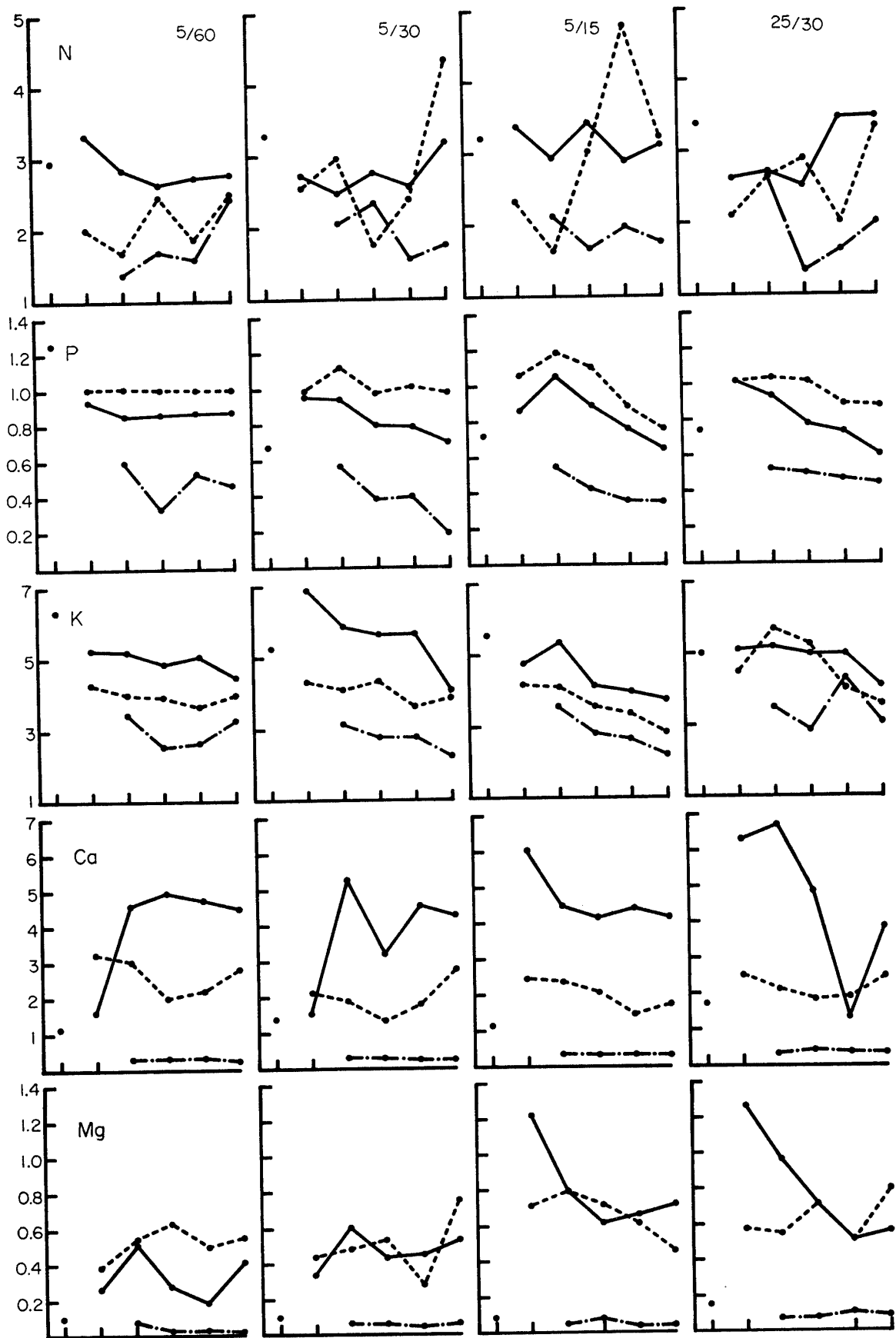
は5/60区だけに特に高いのが目立った。KについてもPとよく似た傾向がみられた。Caについては葉では段による差が大きく、一定の傾向がつかみがないが、果実・茎・根ではどの区もよく似たカーブを示した。Mgでは果実・葉・茎・根のすべてにおいてポンプ稼動時間が長くなるほど含有率が増加した。

果実の糖は、春作の果実を凍結貯蔵の後ガスクロマトグラフィーによりフルクトース・ショ糖・グルコースを分析した結果を第11図に示した。含有率はフルクトース・ショ糖が高く、常にグルコースが最も低かった。果房により含有率に大きな差が生じたが5/30区で最も高く、他の区ではそれよりも低くなった。

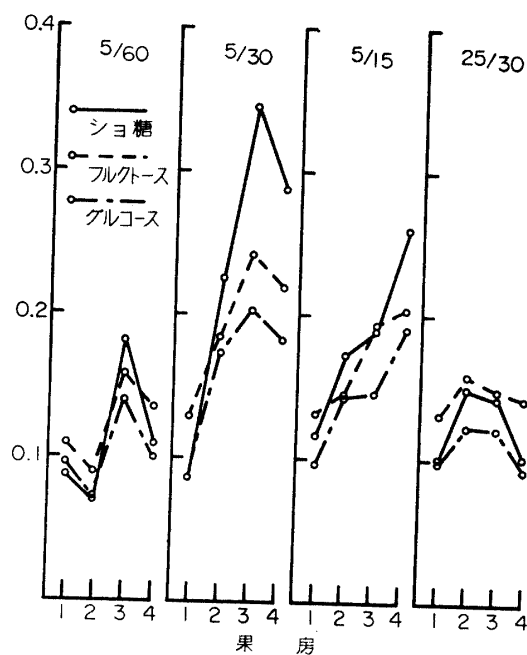
IV 考 察

溶存酸素濃度を4段階としてトマトを栽培した結果、酸素濃度の影響が最も顕著に表われたのは葉の重量であった。これは栽培中の外観でも明らかであった。根に酸素が充分供給されて養水分の吸収が充分行われたために、葉が旺盛に繁茂して果実生産を高める結果になったと考えられる。本実験の範囲では、通気-液循環は5/15区で充分で、それ以上のポンプ稼動はあまり効果が無いという結果になった。5/60区では果実の収量がやや劣り、植物体の生育も劣った。

これらの結果より、水耕栽培トマトの培養液溶存酸素濃度管理の基準として、本実験の条件下では5/60区の通気では不十分ではあるが、5/15区までで充分であるといえる。第1図、第2図に示している最低時の濃



第10図 ポンプ稼動時間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：各区内左より根, 基部, 1, 2, 3, 4 段
 各グラフ 実線：葉, 点線：莖, 破線：果実



第11図 ポンプ稼動時間がトマトの糖含有率におよぼす影響
縦軸：生体重あたり含有率(%)

度で表現すると、2 ppm 以上を保つことが要求され、6 ppm 以上は必要が無いということになる。トマト苗が溶存酸素濃度 1.05~2.40 ppm で萎凋を始めたという位田(1951)の報告とも一致する数値である。酸素の過剰供給によるトマトの生育障害が報告されている(Durell: 1941)が、勿論本実験の範囲ではその様な高い酸素濃度には達していなかった。

春作において、開花から果実収穫までの日数が溶存酸素濃度の影響を受けたのは、根の養水分吸収を容易にしてトマトの栄養生長を盛んにしたことによる間接的な影響であると考えられる。即ち、第1果房の果実が肥大している頃には摘心も未だ行われておらず、茎葉が盛んに伸長して、溶存酸素濃度の高い区ではより多く吸収された養水分が栄養生長に優先的に利用されたために果実の肥大が酸素濃度の低い区よりもおくれた。位田(1956)は初段の果実の重量増加が、土壌空气中の酸素濃度が10%の区よりも20%の区で劣ったこ

とを報告していることと同様の結果と考えられる。これに比し、第4果房の肥大の頃には摘心の後で葉の伸長にも限りがあり、吸収された養水分は専ら果実の肥大に利用され、短い期間に果実の肥大が完成し、酸素濃度の高い区で有利であったのだと考えられる。

本実験において、吸収された栄養の内、溶存酸素濃度に最も大きく影響を受けたのは Mg であった。近藤(1969)はやはりトマトで、酸素供給の点で有利と思われる「滴下区」において他の区よりも Mg の吸収が多かったことを報告している。栽培の後期に、酸素濃度の低い区で下葉の黄化、枯れ上がりが目立ったのはこれと関係があると思われる。

引用文献

- 1) Clark, H. E. and J. W. Shive (1932): Soil Sci. **34**: 37-42.
- 2) Arrington, L. B. and J. W. Shive (1936): Soil Sci. **42**: 341-357.
- 3) Arnon, D. I. and D. R. Hoagland (1940): Soil Sci. **50**: 463-483.
- 4) Durell, W. D. (1941): Plant Physiol. **16**: 327-341.
- 5) 伊東秀夫・加藤 徹 (1950): 農及園 **25**: 330.
- 6) Hopkins, H.T., A.W. Speckt and S.B. Hendricks (1950): Plant Physiol. **25**: 193-207.
- 7) 山崎 伝 (1952): 農技研報告 **B-1**: 1-92.
- 8) 位田藤久太郎 (1956): 園学雑 **25**: 85-93.
- 9) Aubertin, G. M., R. W. Rickman and J. Letey (1968): Agr. J. **60**: 345-349.
- 10) 位田藤久太郎 (1952): 園学雑 **21**: 202-208.
- 11) ————— (1953): 園学雑 **22**: 24-27.
- 12) 並木隆和・西 新也・伊藤哲英・矢崎邦子・杉本則雄・高嶋四郎 (1972): 京府大学報, 農学 **24**: 13-19.
- 13) 位田藤久太郎 (1951): 農及園 **26**: 472.
- 14) 近藤隆彦 (1969): 園試報告 **B-9**: 73-84.

Summary

Tomato variety "Ohgata-Fukuju" was water-cultured to study the effect of O₂ concn in nutrient solution on growth and yield. Modified Hoagland's solution in culture beds were kept at constant level and a pump for aeration and circulation was run for 5/60, 5/30, 5/15 or 25/30 minutes to obtain four levels

of O₂ supply to the root.

O₂ concn in the solution was maintained higher in beds where the pump was run for longer total period of time. It was often found at its lowest at around 2:00 pm, when it varied from as low as 0.8 to over 6 ppm, according to the pumping time. It was in

general maintained higher in the fall crop than in the spring. In spite of differences in the climatic condition with the two crops, the changes in O_2 concns for the two followed a somewhat similar pattern. Aeration and circulation of 5/15 cycle was considered sufficient under conditions of the present experiment. An O_2 concn above 2 ppm is recommended for a successful water culture of tomatoes.

The time elapsed from anthesis to harvest of each fruit was affected by O_2 concn in nutrient solution. Plant weights at the time of termination of the experi-

ment were higher with higher O_2 concns in nutrient solution, though there existed a certain limit for the increase. O_2 concn in nutrient solution affected the yield of tomatoes only a little, under conditions of the present experiment.

Increased O_2 concn in nutrient solution tended to increase absorption of major nutrient elements and water, especially that of Ca and Mg. The effect on mineral content of each plant region was small. Sugar contents of fruit were highest with 5/30 cycle.