

蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究 XIV

生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマトの生育と 収量におよぼす影響

並木隆和・福島通博・西 新也・高嶋四郎

TAKAKAZU NAMIKI, MICHIMIRO FUKUSHIMA, SHIN-YA NISHI and SHIRO TAKASHIMA

Studies on production of vegetable crops in water culture XIV Effects of different levels of dissolved oxygen supply at different stages of growth on growth and yield of the tomato

要旨：春作と秋作において大型福寿トマトを水耕栽培し、栄養生長期、開花結実期、果実肥大期の一時期のみ培養液の溶存酸素供給量を多くして、生育段階により溶存酸素濃度に敏感な時期があるかどうか、生育、収量にどのような影響をおよぼすかを調べた。

開花結実期または果実肥大期に酸素供給量を多くすることにより、開花から果実収穫までの日数が短くなった。

生育の一時期に溶存酸素供給量を多くすることによる、生育、栄養・水吸収量、収量におよぼす影響はほとんどなかった。酸素供給量の多い状態から標準供給量にもどした場合、根腐れ症状がみられた。

I 緒 言

さきに著者ら（並木・高嶋・西・羽根田：1974）は、比較的短時間の実験により培養液溶存酸素濃度が水耕トマトの栄養・水吸収ならびにその生育に大きな影響をおよぼすことを報告した。しかし、溶存酸素供給量を4段階に設定して4段花房収穫までトマトを栽培した結果では、栄養・水吸収、生育、収量におよぼす影響は大きくなかった（並木ら：1973）ことより、生育段階により水耕トマトが溶存酸素濃度に敏感な時期があるのではないかと推測される。栽培中の一時期のみ溶存酸素供給量を多くすることがトマトの生育あるいは収量に好結果をもたらすならば、水耕栽培における培養液通気をより効果的に行うことが可能である。栽培中の一時点より栽培終了まで引続いて溶存酸素供給量を多くするならば好結果が期待されても、或る時期のみ溶存酸素供給量を多くしてその後は供給量を少い状態にもどす場合には異なる結果が想像される。

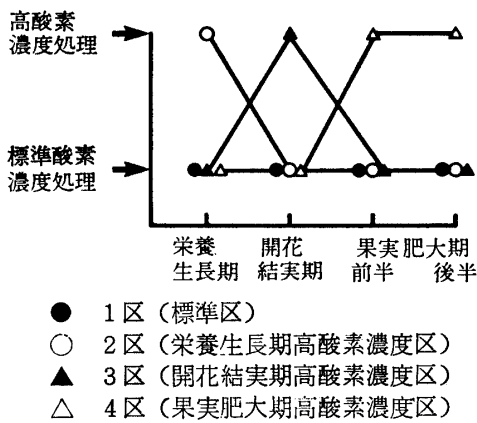
本実験は、水耕トマトの栽培期間を栄養生長期、開花結実期、果実肥大期にわけ、その各々に溶存酸素供

給量を多くし、その前後は標準供給量で栽培した場合の、栄養・水吸収、生育、収量におよぼす影響を調べ、トマト水耕栽培における培養液溶存酸素管理の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

春作および秋作について実験を行った。砂床に播種した（春作：1月23日、秋作：6月25日）大型福寿トマトを第1本葉展開時に鉢上げして（春作：2月20日、秋作：7月11日）水耕育苗し、本葉約8枚展開時にフェイロンハウス内の水耕ベッドに定植した（春作：3月26日、秋作：8月5日）。4段摘芯して（春作：5月17日、秋作：9月24日）栽培し、春作は7月10日、秋作は11月19日に実験を終了した。

水耕ベッドは、幅535×長さ1990×高さ130 mm（液深さ約60 mm）のプラスチック成型品で、12本のトマトを定植し、これを3基連結して1区とし、200 l入りのタンクを付属させた。培養液はれき耕用園試処方第1例（堀：1966）の50%液を用い、減量は同組成、同濃度の液を補給し、各生育段階の区切りごと（約1ヶ



第1図 実験区の設定 (以下図中記号は同じ)

月, 果実肥大期は前半と後半の区切りに)に全量を新しい液と交換した。夏の高温時, 培養液の pH が7.5, EC(電気伝導度)が1.8 mS を越える場合には水のみを補給した。

湛液循環方式(並木ら:1972)で培養液の循環と通気を行い, 生育段階別に溶存酸素供給量を異にする次の4実験区を設定した(第1図参照); 1区(標準区): 定植より栽培終了まで標準酸素濃度処理で栽培, 2区(栄養生長期高酸素濃度区):第1花房100%開花以前は高酸素濃度処理をし, その後は標準酸素濃度処理で栽培, 3区(開花結実期高酸素濃度区):第1花房100%開花より第4花房100%結実までの期間は高酸素濃度処理をし, その前後は標準酸素濃度処理で栽培, 4区(果実肥大期高酸素濃度区):第4花房100%結実より栽培終了までの期間は高酸素濃度処理をし, その前

は標準酸素濃度処理で栽培。各区とも, 標準酸素濃度処理は液循環・通気用ポンプを30分ごとに5分間, 高酸素濃度処理は30分ごとに25分間移動させた。

毎日, 液の残量, 補給量を記録し, 毎週2度, 各区の液サンプルを採取して溶存酸素濃度, pH, ECを測定し, 各栄養素含量を分析した。栽培終了後, 植物体各部位の重量を測定した。春作においては植物体各部位につき無機成分含量を分析した。分析法は培養液のNO₃-Nをフェノール硫酸法によった他は前報(高嶋ら:1976)と同様である。

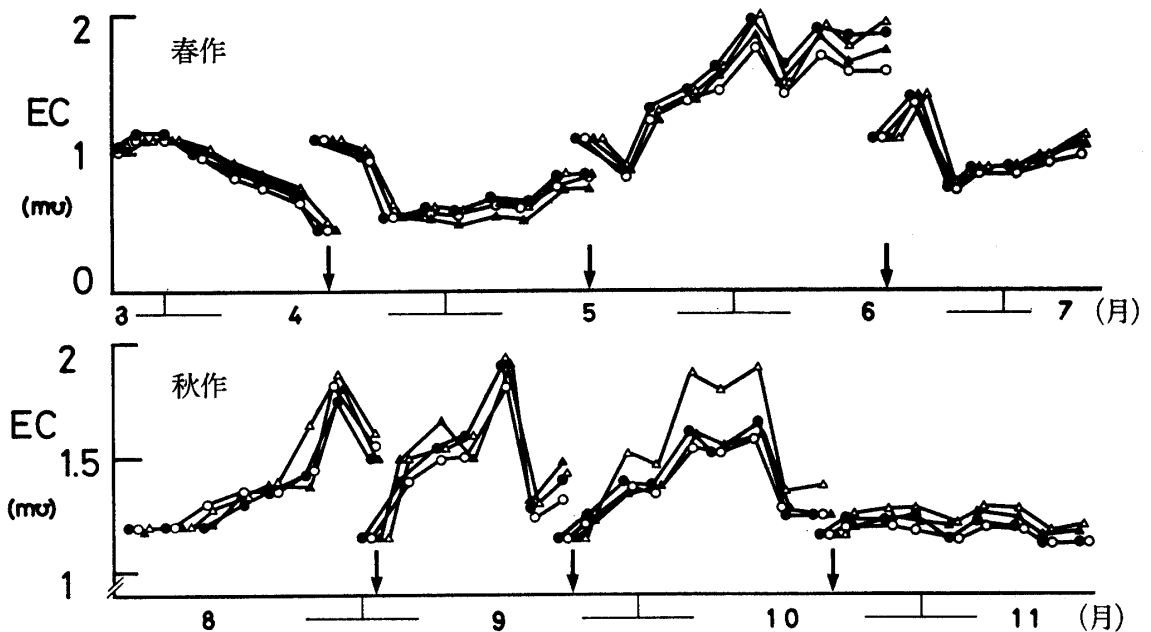
III 実験結果

1 環境条件

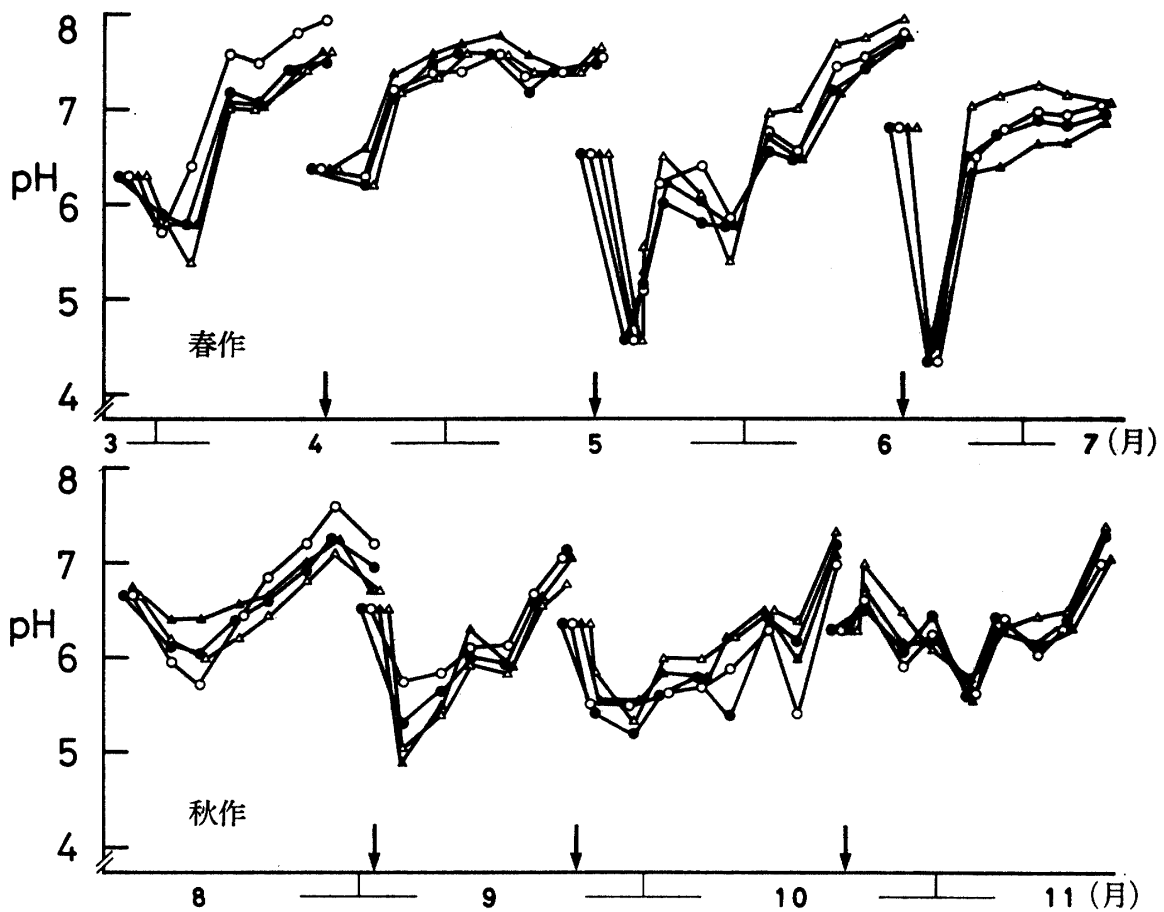
高酸素濃度処理により, 培養液の溶存酸素濃度の最低値は標準酸素濃度処理の区よりも常に約2 ppm 高く保たれた。春作では果実肥大期に3区の溶存酸素濃度が他区より低く, 秋作では開花結実期に4区で高い傾向が認められた。

ベッド, タンク中の液温は, 気温の上下とともに変化した, 全期間を通じて高酸素濃度処理の区で他区よりも約2℃高い傾向が認められた。同じ酸素濃度処理の区ではほとんど差がなかった。

培養液のEC(電気伝導度)は気温の変化, トマトによる栄養素や水の吸収とともに大きく変化した。栽培前半には高酸素濃度処理の区で他より低い場合が多く, 春作, 秋作ともに栽培の後半では2区で低く, 4区で高い傾向が認められたが, いずれもその差はわずかであった(第2図)。



第2図 培養液電気伝導度の推移



第3図 培養液 pH 値の推移

pH 値は、第3図に示すように新しい液と交換した直後に大きく下降してその後上昇してゆき、気温の高い時にその傾向が強かった。春作、秋作とも全期間を通じて高酸素濃度処理の区で他区よりもわずかに高い場合が多く、その差は気温の高い時期に大きかった。

2 栄養・水吸収量

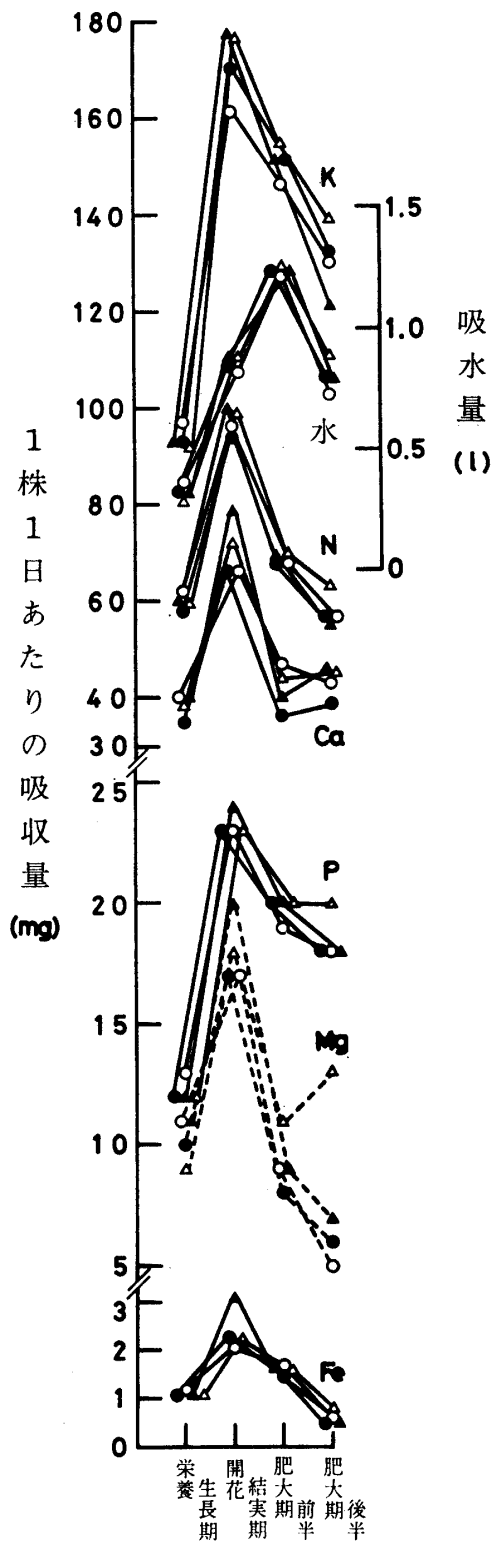
各栄養素・水の吸収量は週2度の分析のたびに大きく上下し、特に水吸収量は天候、気温の変化に従って大きく上下した。

春作において1株1日あたりの吸収量の最大値は、Nでは5月1日頃、P、Kでは5月20日頃、Caでは5月と6月に、Mgでは6月上旬に、Feでは5月上旬に、水では6月上旬にみられた。秋作において最大値は、Nでは9月2日頃、Pでは9月2日頃と9月下旬、Kでは9月上旬から10月上旬にかけ、Ca、Mgでは9月2日頃、Feでは9月2日頃と9月下旬、水では8月30日頃にみられた。

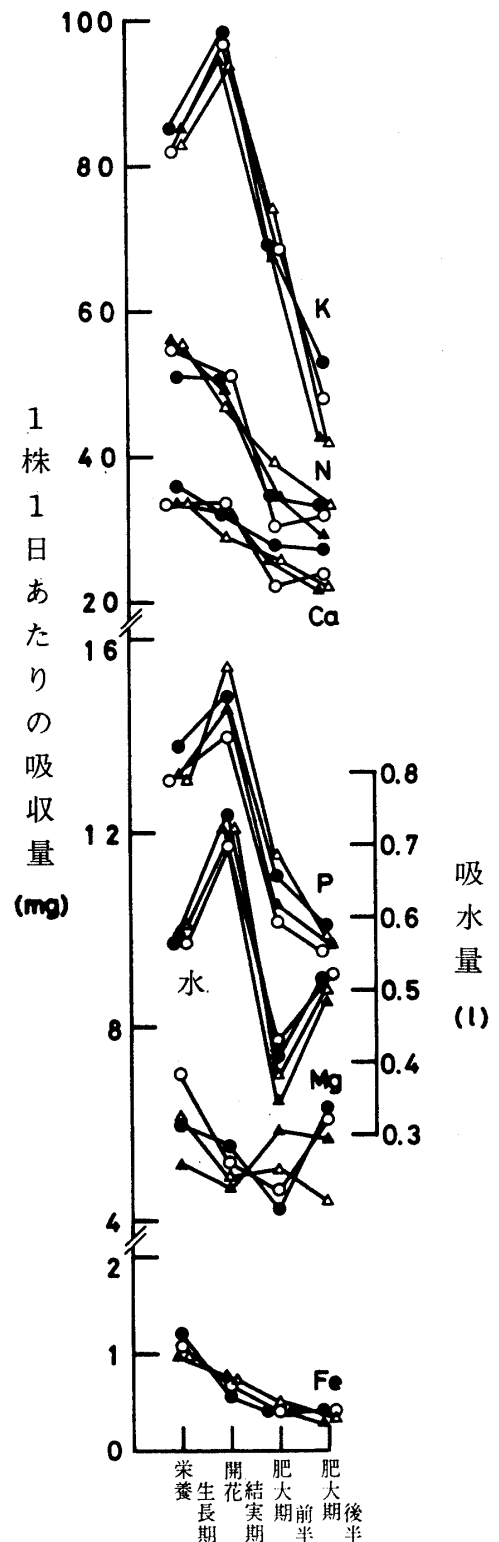
春作における栄養・水吸収量を各生育段階別に1株1日あたりの平均値として示したのが第4図である。いずれの栄養素も栄養生長期に吸収量が低く、開花結

実期に急激に高くなって最高値を示し、果実肥大期に漸次減少した。果実肥大期では、前半から後半に漸次減少したが、Pについては4区で、Caについては全区で、後半にも吸収量の減少がみられず、Mgについては4区において後半に増加した。水吸収量については栄養生長期ではなく、果実肥大期前半にその最大値がみられた。高酸素濃度処理による影響をみると、いずれの区や生育段階においても、栄養・水吸収量は高酸素濃度処理をしている区において他の区よりも高くなり、標準酸素濃度処理にもどした場合に他の区より低くなる傾向がみられたが、Mg以外ではその差はわずかであった。

秋作においては、各吸収量は第5図にみられるように春作とは異なるパターンを示した。N、Ca、Feについては生育が進むとともに漸次減少していったが、P、Kについては栄養生長期から開花結実期に移ると増加して最高値を示し、果実肥大期には急激に減少した。Mgについては吸収量は種々に変化したはその差は小さく、一定の傾向は認められなかった。水吸収量は栄養生長期に低く、開花結実期に増加して最高値を



第4図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマトの栄養・水吸収量におよぼす影響 (春作)



第5図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマトの栄養・水吸収量におよぼす影響 (秋作)

示し、果実肥大期前半に急激に減少して最低値を示し果実肥大期後半には再び増加した。高酸素濃度処理による一定の傾向は認められなかった。

3 生育

月に1度、草丈、葉数を測定したが区による差異はなかった。

春作栽培中の根の観察によれば、いずれの生育段階においてもその時、高酸素濃度処理をしている区で伸長が盛んであり、太い根が多く、分岐した根が多くみられた。1区では他区と比較して常に根量少く、分岐した根が主体で、根の細いのが目立った。定植直後か

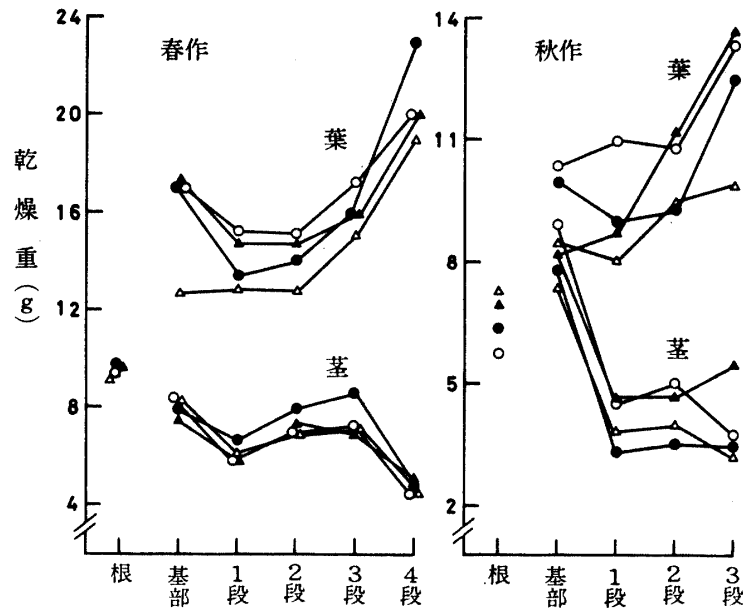
ら栽培の初期にかけ、この時期に高酸素濃度処理をしていた2区では、根の伸長が盛んで根量が他区の2倍程度あり、果実肥大期には分岐した根が他区より多いのが認められた。栽培終了時の観察では、1区では細かい根が均一に分布し、2区では株元を中心とした円状に褐色がかかった根が分布し、その外側に白い根が伸びていた。3区では根全体が特に色が悪く、4区では途中までやや褐変しており、先端の半分はきれいな白色の根であった。

秋作においても、その時、高酸素濃度処理をしている区で根の伸長が盛んであり、根の量が多く、太い根の間に細い根が多く分布していた。また、高酸素濃度処理から標準酸素濃度処理にもどした場合に、根の色につやがなく元気のない傾向がみられた。栽培終了時の根の観察結果は、根の量については4区>3区>2区>1区、根の長さについては1区>2区>3区>4区、根の白さについては1区>3区=2区>4区、細い根の量については4区>3区=2区>1区であった。

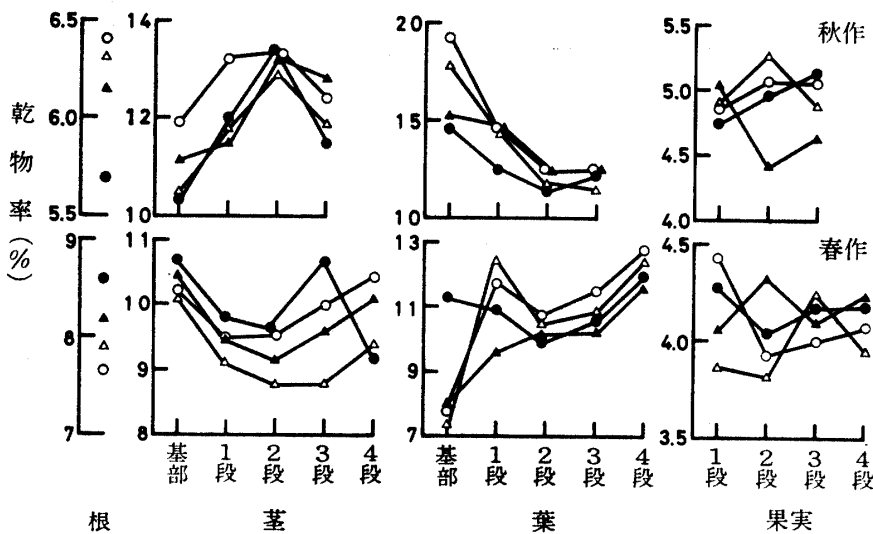
栽培終了時の植物体各部の乾燥重を第6図に示す。茎基部を除いていずれの部位も春作より秋作で低い値を示したが、葉、茎の段階別にみると春作と秋作はよく似た傾向を示した。春作、秋作とも4区の葉の乾燥重が低い他は処理区による差異はなかった。生体重もこれとよく似た傾向を示した。

栽培終了時の植物体各部の乾物率を第7図に示す。乾物率は根を除いていずれの部位においても春作より秋作で高い値を示したが、部位別のパターンは春作と秋作とで異なっていた。春作の茎について4区で低く、秋作の茎について2区で高く、根について1区で低かった他は差も小さく、処理区による一定の傾向は認められなかった。

4 植物体の無機栄養含有率
第8図に、春作栽培終了時の植物体各部位別、乾燥重あたりのN, P, K, Ca, Mg, Fe含有率を示す。部位別含有率は各区でよく似た傾向を示しており、差は大きくなかった。処理区により有意差を示したのは、葉のCaにおいて1区-3, 4



第6図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマト植物体各部の乾燥重におよぼす影響



第7図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマト植物体各部の乾物含有率におよぼす影響

区間, 2区-3区間, 葉のMgにおいて1区-2, 3区間, 3区-4区間, 茎のPにおいて2, 3区-4区間, 茎のKにおいて1, 2, 3区-4区間, 茎のMgにおいて1, 2, 3区-4区間であった。

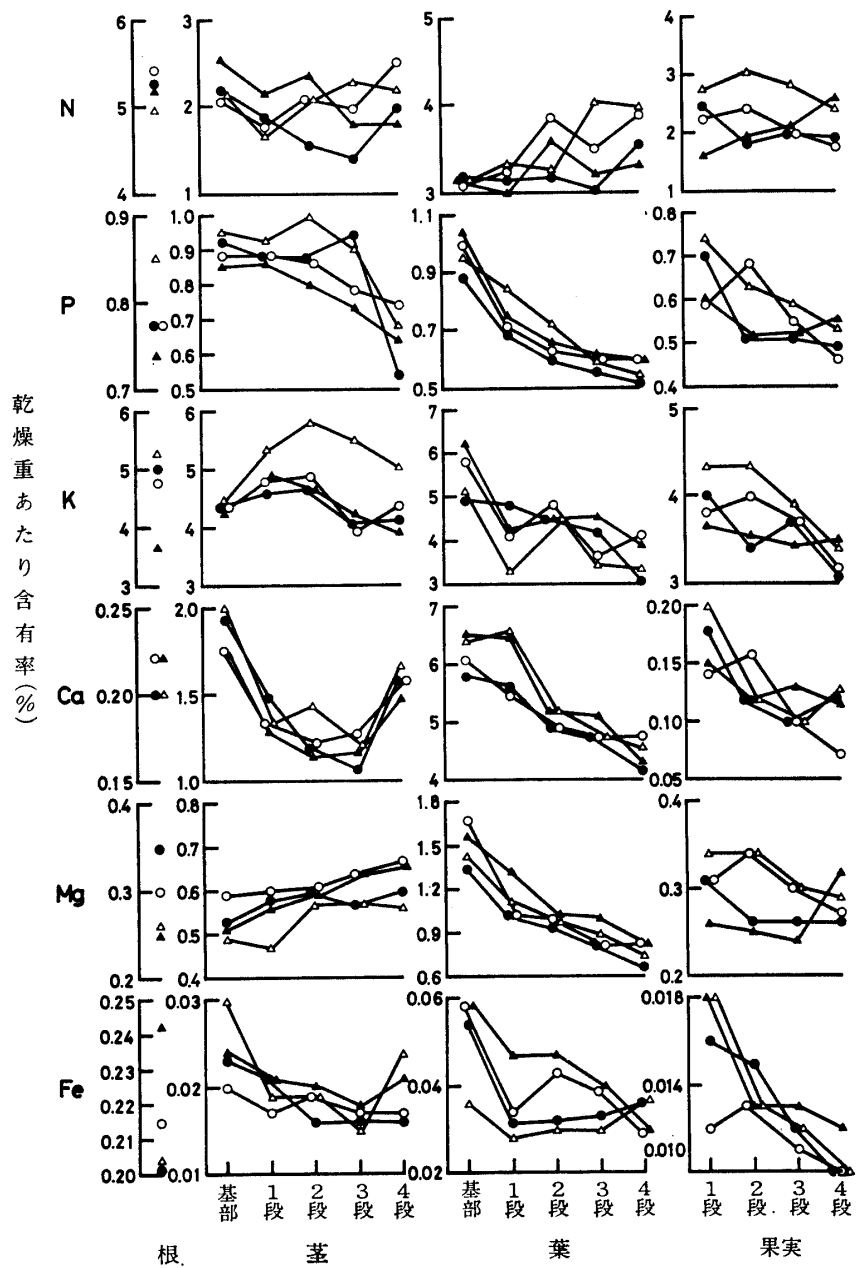
5 収量

第9図に各区の1株あたりの収量を示す。秋作の収穫後期に無暖房で気温が低かったため, 2, 3段花房の収量が低かったが, 春作と秋作においてよく似た傾向がみられた。1区と4区の収量が2区と3区よりやや高かったがいずれも有意差はなかった。第10, 11図に示したように, 果実一個重, 花房別果実数, 尻腐果率は区による有意差がなかった。尻腐果, 罹病果, 乱形果, 90g未満の小果は不良果として収穫の対象外とした。不良果率は4区で最も低かったが有意差はなかった。

開花(トマトーン処理時)より収穫(果実表面1/3以上がピンク色を帯びた時)までに要した日数を果実成熟に要した日数として第12図に示す。成熟に要した日数は春作では4区において, 秋作では3区において最も短く, 春作, 秋作ともに3, 4区が1, 2区よりも短く, 有意差が認められた。花房段位が高くなるとともに, 成熟に要した日数は長くなる場合が多かったが, 春作の3, 4区においては逆に短くなる場合が多かった。

IV 考 察

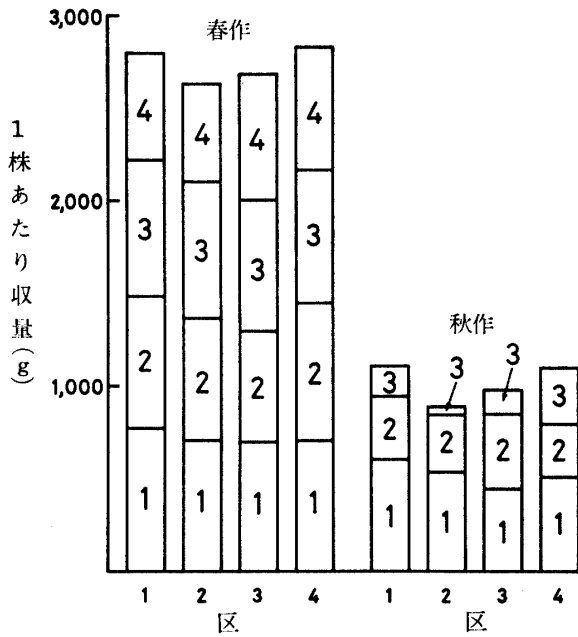
根に対する酸素供給量と植物の生育, 栄養・水の吸収に関しては多くの研究が行われており, 或る範囲を越えて酸素供給量が減少すると根の生育が劣って, 吸収量が低下し, 新根の量が減少することが認められている (Russell : 1952, Grable : 1966, Hewitt : 1966, Greenwood : 1969, Rowe and Beardseil : 1973)。実



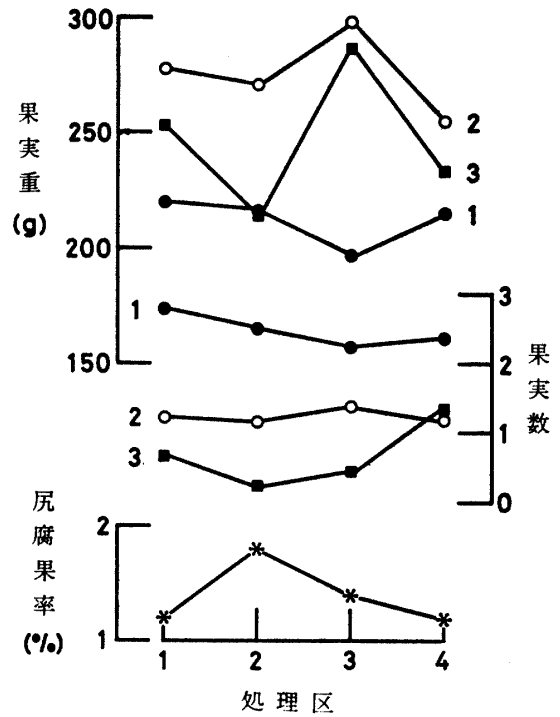
第8図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマト植物体各部の乾燥重あたり各無機栄養素含有率におよぼす影響

験の多くは土耕の植物を用い, 土壌空気組成と生育との関係調べたものであるが, 水耕のトマトを用いた実験でも, 通気量, 通気中の酸素濃度と生育との関係に関し同様の結果が報告されている (Pepkowitz and Shive : 1944, Erickson : 1946, Hopkins et al. : 1950)。本実験においても, 各生育段階において高酸素濃度処理をしている区で根の量が最も多く, 標準酸素濃度処理をしている区に比し, 太い根が多く, また分岐した細い根も多くみられた。

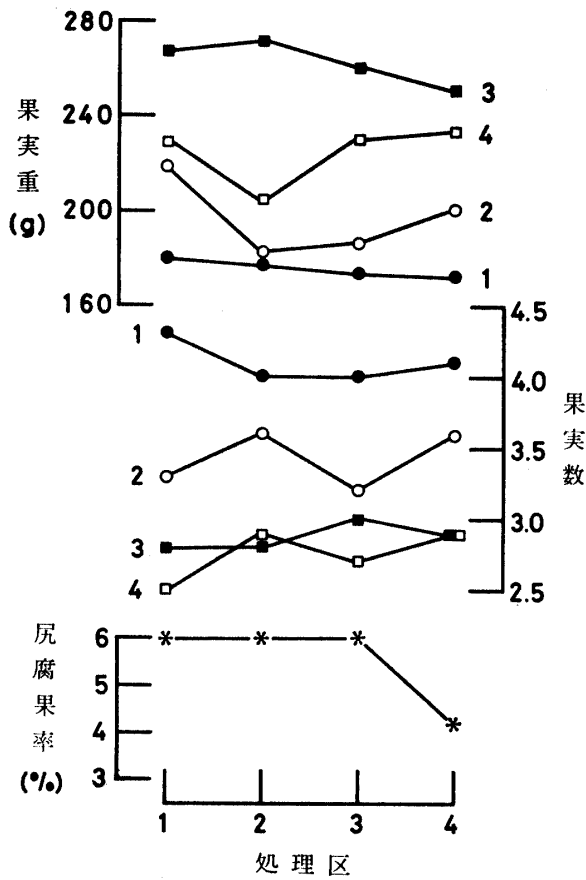
溶存酸素濃度の高い場合には根が白く, 酸素が不足すると根の褐変が進むことがしばしば観察されている



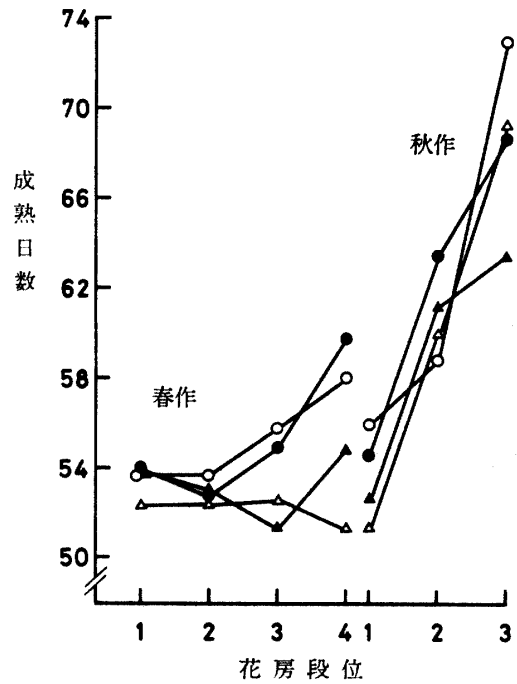
第9図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマトの収量におよぼす影響



第11図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマトの果実重、果実数、尻腐果率におよぼす影響（秋作、図中の数字は果房段位）



第10図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマトの果実重、果実数、尻腐果率におよぼす影響（春作、図中の数字は果房段位）



第12図 生育段階別の溶存酸素供給量の差異がトマト果実の成熟日数におよぼす影響

(Russell : 1952, 小倉 : 1972, 並木ら : 1974) が、本実験では春作栽培終了時の根にそれがよくあらわれていた。すなわち、3区の根が全体に褐変していたこと、2区の根が株元を中心に内側半分は褐変し、外側半分は白いことが観察された。これは高酸素濃度処理から標準酸素濃度処理に移された場合、酸素条件の変化に根が適応できず、酸素不足をきたして根腐れ症状を示したと思われる。2区では標準酸素濃度処理に移されたからの時間が長かったために根の適応が可能だったと思われる。Letey et al.(1962) はヒマワリ、インゲン、ワタで、Sojka et al.(1972) はコムギで、より若い時期の酸素不足は後の時期の酸素不足よりも影響が大きく、酸素不足から酸素の多い状態に移しても根の吸収機能の回復はおくれることを報告している。

溶存酸素濃度の変化に対する根の適応のあらわれかたのひとつとして、前報(並木・西・小田・高嶋 : 1974) で報告した根の通気間隙量の変化が考えられる。溶存酸素濃度の低い条件で水耕栽培されたトマトでは根の通気間隙量が増加、ないしは通気間隙量の多い根を作って、地上部より送られてくる酸素の量が多くなる。そのために、根が溶存酸素に依存する度合いが少くなり、溶存酸素濃度の比較的低い状態でも正常な根の機能が可能になったと思われる。本実験の結果ではこの適応には相当長時間を要することが明らかであった。秋作の場合、植物体が大きくて根の酸素要求量も多い時期に温度が低かったために、溶存酸素供給の影響が春作ほど顕著にはあらわれなかったが、同じような傾向は認められた。Valoras et al. (1964) はアボカドにおける酸素不足の影響は高温の場合に低温よりもはげしくあらわれることを報告している。

春作においては、すべての栄養素の1株1日あたりの平均吸収量は開花結実期に、水の吸収量は果実肥大期前半に最大値を示した。秋作においては生育前半の吸収量が多く、生育後半には少くなる傾向が認められたが個々の栄養素によりパターンは異なった。水の吸収量のパターンも春作とは異なった。このように栄養・水吸収量は植物体の大きさや生育段階のみならず、気温、湿度、照度などの環境条件によっても大きく影響されることが明らかなので、詳細な実験を続行中である。

高酸素濃度処理により栄養・水吸収量はわずかに増加したが、その後標準酸素濃度処理にもどすと吸収量が減少し、吸収量の総和には処理による有意差が認められず、植物体各部位別、無機栄養含有率においても、一部に処理による有意差が認められたが一定の傾向がみられない結果となった。栄養生長と同様、果実収量

においても処理区による有意差、一定の傾向は認められなかった。

本実験で、生育段階別の溶存酸素供給量の差の影響が最も顕著にあらわれたのは果実成熟に要した日数である。全栽培期間を通じて溶存酸素供給量が多いと、少ない場合に比し上段花房の果実成熟に要した日数が短縮し、下段花房のそれが延長することを前報(並木ら : 1973) で報告したが、本実験の結果では栽培後半の一時期的み溶存酸素供給量を多くすることによりすべての花房で果実成熟に要した日数が短縮する傾向がみられた。この場合、溶存酸素供給量が多いことにより、栄養・水吸収量が増加し、植物体内の転流、代謝が盛んとなって、それらがトマトの栄養生長ではなく、主として果実の成熟に利用されたと考えられるが、詳細については今後の研究が必要であろう。春作では果実肥大期の高酸素濃度処理が、秋作では開花結実期の処理が有効であったが、果実肥大期が日数にして他の生育段階の約2倍あること、および秋作では後になるほど温度が低くなり溶存酸素供給が容易になるとともに根の酸素要求量が低くなることも考慮しなければならない。

溶存酸素供給量は、栽培中の或る時点以降、特に栽培後半に引続いて多くするならば根量を多くし、収穫を早めるなどの利点が期待できるが、限られた或る期間のみ溶存酸素供給量を多くし、その後供給量を減らすことは根の褐変をきたし根量を少なくするため避けるべきである。

引用文献

- 1) Erickson, L. C. (1946): Amer. J. Bot. **33** : 551—561.
- 2) Grable, A. R. (1966): Advan. Agron. **18** : 57—106.
- 3) Greenwood, D. J. (1969): In Whittington, W. J. ed.: Root growth. pp. 202—221, Butterworth, London.
- 4) Hewitt, E. J. (1966): Commonwealth Bureau of Hort. Plant. Crops Tech. Comm. No. **22** 2nd ed. pp. 276—287.
- 5) Hopkins, H. T., A. W. Specht and S. B. Hendricks (1950): Plant Physiol. **25** : 193—209.
- 6) 堀 裕 (1966): 蔬菜・花卉のれき耕栽培, 養賢堂.
- 7) Letey, J., L. H. Stolzy and G. B. Blank (1962): Agron. J. **54** : 34—37.
- 8) 並木隆和・西 新也・羽根田明子・高嶋四郎 (1973): 京府大学報, 農**25** : 17—24.

- 9) ———・———・伊藤哲英・矢崎邦子・杉本則雄
・高嶋四郎(1972):京府大学報, 農24 : 13—19.
- 10) ———・———・小田雅行・高嶋四郎(1974):京
府大学報, 農26 : 37—43.
- 11) ———・高嶋四郎・西 新也・羽根田明子(1974)
: 京府大農・農場報告 6 : 9—15.
- 12) 小倉祐幸(1972):農及園 47 : 707—712.
- 13) Pepkowitz, L. P. and J. W. Shive (1944) : Soil
Sci. 57 : 143—154.
- 14) Rowe, R. N. and D. V. Beardsell (1973) : Hort.
Abst. 43 : 534—548.
- 15) Russell, M. B. (1952) : In Shaw, B. T. ed. : Soil
physical condition and plant growth. pp. 253—
301, Academic Press, New York.
- 16) Sojka, R. E., H. A. Joseph and L. H. Stolzy (19
72) : Agron. J. 64 : 450—452.
- 17) 高嶋四郎・福井重光・西 新也・並木隆和(1976)
: 京府大学報, 農28 : 24—30.
- 18) Valoras, J., J. Letey, L. H. Stolzy and E. F.
Frolich (1964) : Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.
85 : 172—178.

Summary

Tomato variety "Ohgata-Fukujyu" was water-cultured as spring and fall crops, where dissolved oxygen supply to the nutrient solution was increased at each of the vegetative growth stage, the flowering and fruit setting stage and the fruit developing stage. The effect of temporarily increasing the oxygen supply was studied in relation to the following factors : oxygen concentration, pH and electric conductivity of the nutrient solution, $\text{NO}_3\text{-N}$, P, K, Ca, Mg, Fe and water absorption, plant weight and size, root appearance, mineral

composition of plant parts, yield and length of time required for fruit development.

Effect of increased oxygen supply to the nutrient solution at one of the growth stages on growth, nutrient and water absorption and yield of the tomato was little, if any. The length of time required for fruit development, that is, the number of days from anthesis to harvest-ripeness of the individual fruit, was shortened when the oxygen supply was increased at the later stage of plant growth.