

蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究 X

環境条件がトマト根の溶存酸素吸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 X
Effects of environmental factors on oxygen uptake by the
intact tomato root

要旨: トマト品種大型福寿を用い, 種々の環境条件が根の溶存酸素吸収量におよぼす影響を調べた。

トマト根は約 0.2—6 mg/根の乾燥重(1g)/1時間, の溶存酸素を培養液より吸収した。

トマト根は, 培養液溶存酸素濃度が高い場合も 1 ppm 前後までの低い場合にもほぼ同じ割合で酸素を吸収した。

狭い温度範囲および暗黒下では培養液温度が高くなるにしたがい酸素吸収量は増加したが, 広い温度範囲および莖葉部に光のあたる状態ではその逆の現象が多くみられた。莖葉部の光の強さは, 酸素吸収量に影響をあたえなかった。

栽培中の培養液溶存酸素濃度の違いは, 種々の給液方式間では, 特に低い値を示した間欠給液区を除いて, 酸素吸収力に影響をあたえなかった。

I 緒 言

水耕栽培における培養液溶存酸素管理を合理的に遂行するには, 野菜の根が培養液中より吸収する溶存酸素の量, それに影響をあたえる要因は何か, その影響はどの程度なのか, などを明らかにする必要がある。

根の呼吸量および呼吸量に影響をあたえる要因に関しては種々の実験結果が報告されているが, その多くは切り取った根で行われている。この分離根を用いる実験には, 実験条件の制御や測定が容易であり, 植物体地上部の影響がないなどの長所があり, 報告されている数値が比較的一致している。その反面, 切断の影響, 根に貯蔵されている呼吸基質の量, 培養液より根に吸収される栄養塩の量などが問題となり, 得られた数値をひとつの基準として考慮することはできるが, そのまま実際の水耕栽培で野菜が生育している条件に

あてはめることはできない。栽培中に野菜が遭遇する環境条件に野菜の根がどのように反応するかを明らかにするには, 環境条件を実際の栽培に近く制御するとともに, 地上部に附着したままの根を用いて実験することが必要である。

本実験は, Steiner (1968) の述べた装置に似た方法を用い, 実際の水耕栽培に近い条件でトマト植物がどれだけの溶存酸素を吸収するか, 環境条件によりどの程度影響されるかを調べて, 水耕栽培トマトが培養液溶存酸素に依存する度合いを明らかにせんとしたものである。環境条件としては培養液温度, 莖葉部にあたる光の照度, 測定時の溶存酸素濃度, 栽培中の溶存酸素濃度などを取りあげ検討した。

II 実験材料および実験方法

砂床に播種し, 園試標準処方第 1 例の 50% 培養液で

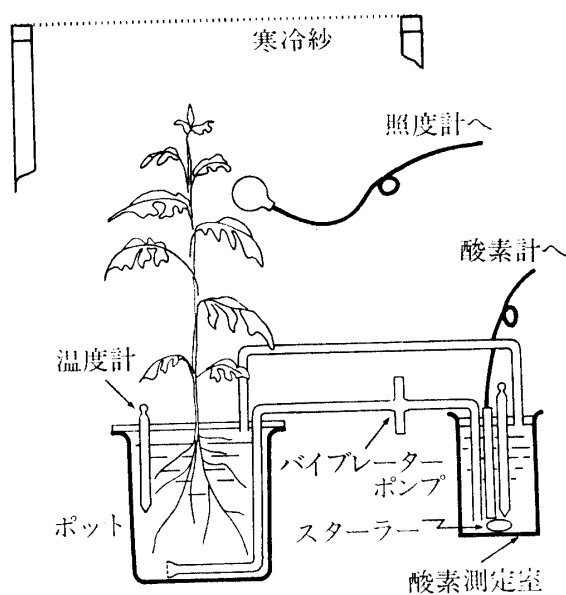
京都府立大学農学部蔬菜園芸学研究室

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

昭和50年7月31日受理

水耕育苗したトマト品種大型福寿を用い、本葉5~7枚展開時に実験を行った。測定には1/5000 aのプラスチック製ワグナーポットに培養液を3kg入れ、トマトを3本発泡ポリスチレン板にはめ込み固定し、液面よりの蒸発と酸素混入を防いだ。ポット中の液をビニール・チューブと小型バイブレーターポンプで溶存酸素計に導いて、隔膜ガルバーニ電極により、植物体を植えた状態で連続的に培養液の溶存酸素濃度を測定した。

トマトの茎葉部を暗黒状態において、温度が根の酸素吸収量におよぼす影響を調べた実験は第1図のよう

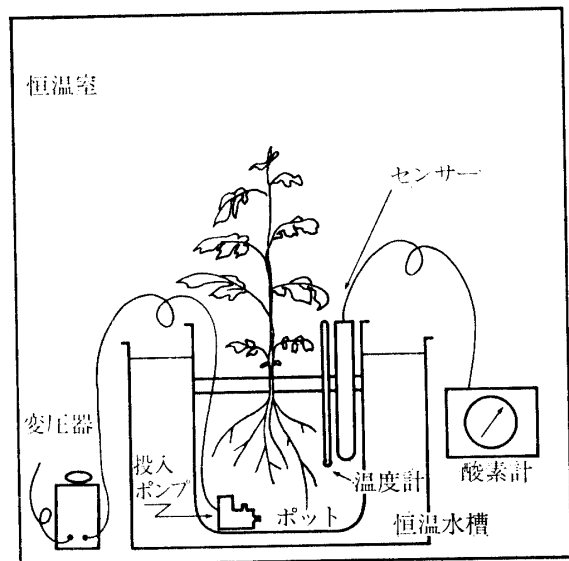


第1図 照度がトマト根の溶存酸素吸収量におよぼす影響を調べるために用いた装置（暗黒状態で測定する場合には装置全体を恒温器内に置いた）

な装置を用いて実験室内で行った。温度は茎葉部、根部ともに10, 20, 25, 30, 40°C区を設定した。

茎葉部の受ける光の照度が根の酸素吸収量におよぼす影響を調べる実験は同様の装置を用いて、気温が10—20, 20—30, 30°C以上の時期に晴天の日を選び戸外で行った。ワグナーポットをあらかじめ多数個用意して、液温と気温の差が無くなるのを確かめてから測定を開始した。照度の調節は白、黒の寒冷紗で植物体の上方を覆うことによって行った。直射日光のみを制限することにより、植物体茎葉部付近の照度は、白寒冷紗1枚：80%，黒1枚：60%，黒2枚：40%，黒4枚：20%となった。

栽培中の培養液溶存酸素濃度が根の酸素吸収力におよぼす影響を調べた実験では、前報（並木ら：1974）の実験と同様にして、1) 5/60分間欠給液、2) エアー



第2図 温度がトマト根の溶存酸素吸収量におよぼす温度の影響を調べるために用いた装置

リフト、3) 5/15分湛液循環、4) 5/60分湛液循環、5) 湛液無通気、により5種の培養液溶存酸素レベルでトマトを約80日栽培した後、植物体を第2図の装置に移し、同一条件下における酸素吸収量を測定した。測定中の温度は、気温は17°C一定、液温は13, 15, 17°Cを設定した。この実験に限り植物は第4花房開花時のもの1本を使用した。また測定用のポットは培養液6kg容量のものを使用した。

各実験における溶存酸素濃度測定は、1.5~3時間におよび、その都度、時間、液温、気温、照度を調べ、測定終了時には培養液の残量を記録し、根、茎、葉別にトマト植物の乾燥重を測定した。

酸素吸収量の算出は次のように行った。測定時間中に培養液は同一の割合で減少したものとみなし、実験開始時の液量を a g、 t 分後の測定終了時の液量を b g とすると、 X 分後のポット内の液量は：

$$\left(a - \frac{a-b}{t} X\right) g$$

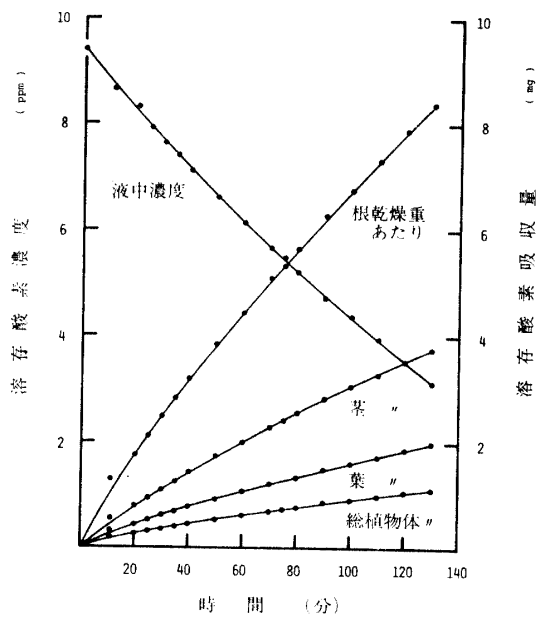
となるから、 X_1 分後と X_2 分後の間の酸素吸収量は：

$$\left(a - \frac{a-b}{t} X_1\right) D_1 - \left(a - \frac{a-b}{t} X_2\right) D_2 \times 10^{-3} \text{mg}$$

となる。ただし、 D_1 は X_1 分後の溶存酸素濃度 (ppm)、 D_2 は X_2 分後のそれである。算出された酸素吸収量は植物体の乾燥重あたりの数値として表わした。

III 実験結果

第3図は、植物体全体を30°C暗黒に置いた場合の培養液中溶存酸素濃度の推移およびそれから算出した酸素吸収量を植物体各部の単位乾燥重あたりの重量で



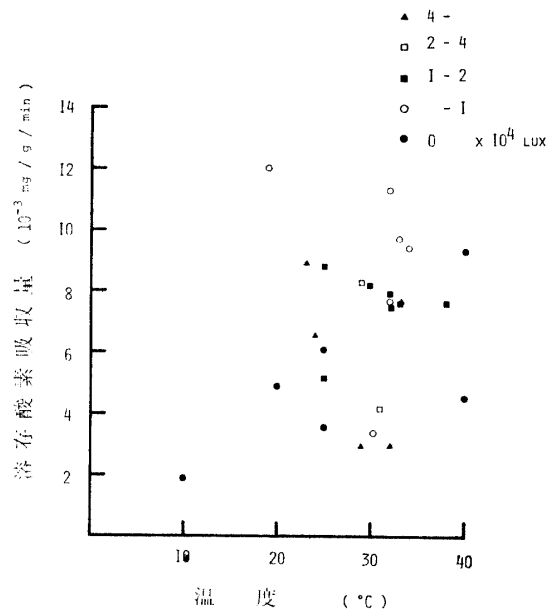
第3図 30°C 暗黒におけるトマト根の培養液溶存酸素吸収量

表わしたものである。培養液の溶存酸素濃度は時間とともにほとんど直線的に減少していき、濃度 1 ppm 前後になった頃から吸収の率がさがり、約 0.2 ppm で吸収が停止した。この測定値の直線部分より算出した植物体部位あたりの酸素吸収量は 植物体総乾燥重 1g あたり、 $9.2 \times 10^{-3} \text{ mg/min}$ 、葉乾燥重 1g あたり、 $14.5 \times 10^{-3} \text{ mg/min}$ 、莖乾燥重 1g あたり $27.5 \times 10^{-3} \text{ mg/min}$ 、根乾燥重 1g あたり $61.2 \times 10^{-3} \text{ mg/min}$ であった。

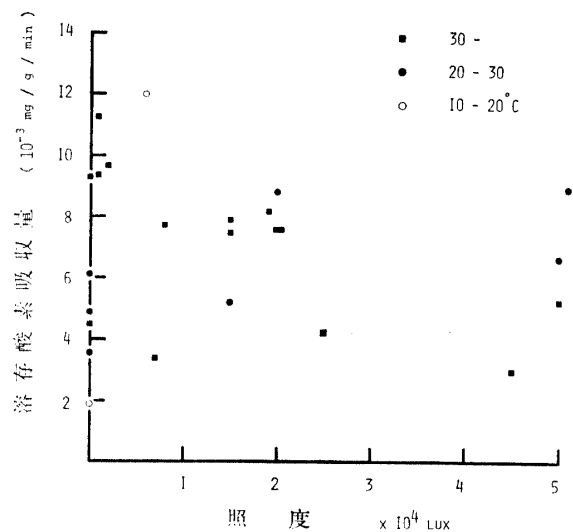
同様に溶存酸素吸収カーブの直線部より、植物体総乾燥重あたりの酸素吸収量を算出して、溶存酸素吸収量におよぼす温度と照度の影響を比較した。結果を第4図と第5図に示す。溶存酸素吸収量は、莖葉部の受ける光の照度が0 すなわち暗黒の場合には、温度が 10°C から 40°C まで上昇するとともに増加する傾向を示した。これに対して、莖葉部に光のあたる場合には温度および照度の影響ははっきりせず、照度の高い場合には逆に温度が高くなるにつれ酸素吸収量は減少する傾向を示した。

莖葉部の照度 10,000ルクス、気温 17°C で同一の植物につき液温 13, 15, 17°C における溶存酸素吸収量を求めた結果を第6図に示す。第3図の実験よりも植物体が大きいためにカーブの傾斜が急であるが、溶存酸素濃度の推移は同じカーブを示した。そして液温が 13°C より 17°C まで上昇するにしたがい溶存酸素はより速やかに吸収された。

水耕栽培方式を変えることにより培養液溶存酸素レ



第4図 温度がトマト根の溶存酸素吸収量におよぼす影響

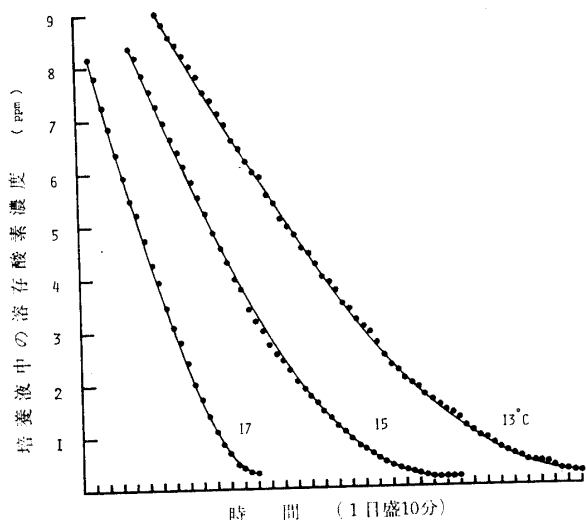


第5図 莖葉部の照度がトマト根の溶存酸素吸収量におよぼす影響

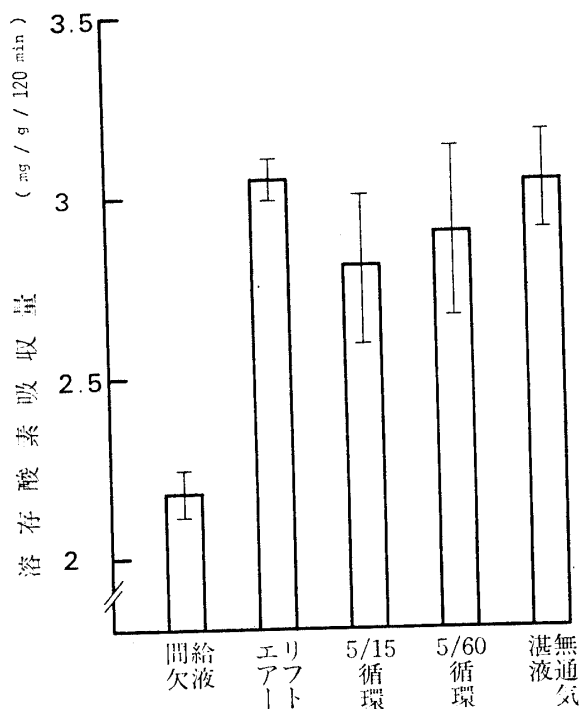
ベルを5種に保ってトマトを栽培し、栽培中の培養液溶存酸素濃度が、同一測定条件下における根の溶存酸素吸収力におよぼす影響を調べた結果を第7図に示す。照度約 10,000ルクス、気温 17°C で測定、比較した。間欠給液区の根は他よりやや低い値を示したが、エアリフト区、5/15分湛液循環区、5/60分湛液循環区、湛液無通気区の根はほとんど同じ溶存酸素吸収力を示した。

IV 考 察

Ohmura et al. (1960), Lemon et al. (1962) は



第6図 培養液温度がトマト根の溶存酸素吸収量におよぼす影響



第7図 栽培中の培養液溶存酸素濃度がトマト根の溶存酸素吸収量におよぼす影響

種々の植物の若い分離根の先端を用いて実験し、酸素消費量は種による差が少なく、約 $7 \text{ mg O}_2/\text{g dry wt/hr}$ の平均値を得たことを報告した。位田 (1953) の実験では、トマトの分離根は飽和に近い酸素を含んだ水より1.25 (以下単位は同じ)、飽和に近い水蒸気を含んだ空気より3を吸収した。

地上部の附着した根の酸素消費量として報告されている値は、トウモロコシ:7, タバコ:7~14, ワタ:14 (Harris et al.: 1957), トウモロコシ:5.6~18.2, オオムギ:14~21, ライムギ:35 (Goddard et al.:

1960), ソラマメ:5.6 (Evans et al.: 1960), トウモロコシ:0.42~0.84 (Huck et al.: 1962), トウモロコシ:4.2 (Anderson et al.: 1964), トマト:7~8 (木下ら:1971) と相当な開きがある。本実験でトマトについて得られた値は根乾燥重あたりとして約0.2~6の範囲にある。このように実験者によって酸素吸収量に大きな差のある原因としては、種や品種に固有の性質 (位田:1951, 1952), 根の齢, 位置, 太さ (吉田ら:1960, Lemon et al.:1962, 熊野ら:1965, 長尾:1971, Luxmoore, et al.:1972), 茎葉部よりの酸素供給の量 (位田:1953: Coult et al.:1958, 有門:1959), 根の周囲の温度 (位田:1952, 熊野ら:1965, 木下ら:1974), 根の周囲の溶存酸素濃度 (Lemon et al.:1962, Luxmoore et al.:1972), 栄養供給 (Voigt:1953) などの違いが指摘されている。

第3図, 第6図において, トマト根の酸素吸収にともなう培養液溶存酸素濃度のカーブが1 ppm 前後まで, ほぼ直線的に減少したことは, 溶存酸素濃度が比較的低いところにあっても, 高いところとほぼ同じ割合で溶存酸素が吸収されることを示し, 木下ら (1971) の観察とも一致している。作物の根にとって重要なのは酸素濃度よりも吸収された酸素の量であると思われるから, 実際栽培における便宜的な指標として, あるレベル以上の溶存酸素濃度を保つよう指定することは意義があるが, 作物の株数, 植物体の大きさなどに関連した培養液の量, 通気の時間, 液循環の速度などを考慮に入れた溶存酸素供給量が重要である。

位田 (1952) は種々のそ菜の分離根で酸素吸収は 0°C 近くより始まり, $35\sim 45^\circ\text{C}$ 付近まで温度の上昇とともに吸収量も上昇することを報告した。Anderson et al. (1965) は地上部のついたトウモロコシの根では地温が17, 23, 30°C の範囲では 23°C で酸素吸収量が最も大であることを報告した。Scotter et al. (1967) は地上部のついた矮性エンドウの根では 15°C より 20°C で酸素吸収量が大きであることを報告した。第6図の結果では, 設定した温度範囲が狭く, 同一の植物個体で測定をくり返したために溶存酸素吸収量におよぼす培養液温度の影響は明瞭に現われているが, 第4図, 第5図の実験では温度の影響は判然としなかった。茎葉部を暗黒に置いた場合と光をあてた場合とでは温度の影響に逆の傾向があるようであった。照度の影響に一定の傾向はみとめられなかった。実験日も異なり, 多数の個体を用いた測定であるために数値にばらつきが出たことも考えられるが, 茎葉部にあたる光の強さは根の呼吸量に直接影響をおよぼさないと考えるべきで

あろう。

光の存在下では温度の高い場合に低い酸素吸収量を示す例のあることについては、光合成によって放出された酸素が通気間隙を通過して根に拡散してくるが、拡散速度は温度とともに上昇するので、温度の高い場合に地上部より送られてくる酸素の量が増加し、根が培養液溶存酸素に依存する度合いが減少したと考えられる。

測定時の温度、照度、根の周囲の溶存酸素濃度を同一にした第6図の実験では、栽培中の培養液溶存酸素濃度の違いは前報（並木ら：1974）で報告したように、根の通気間隙量の違いをもたらしただにもかかわらず、間欠給液区を除いて、溶存酸素吸収量に影響をおよぼさなかった。エアリフト区、5/15分湛液循環区、5/60分湛液循環区、湛液無通気区の根は酸素吸収量でも、その時間的推移、吸収可能最低濃度においても差がなかった。トマト根は本実験の条件においては、主として根の周辺の溶存酸素に依存し、通気間隙を通過して茎葉部より拡散してくる酸素に依存するのは二次的なものであると思われる。間欠給液方式で栽培したトマトの根の性質についてはなお実験を続行中である。

いま、播種後100日、4段花房開花時の大型福寿トマトの根乾燥重10g、培養液温度30°C、培養液の通気、攪拌は適当であるとして本実験の結果をあてはめると1株のトマトが1時間に約40mgの溶存酸素を培養液より吸収することになり、空気が23% (w/w)の酸素を含むとすると、174mgすなわち約650cc(30°C, 1 atm)の空気に含まれる酸素が必要となる。(勿論、空気中の酸素の全量が培養液に溶解するわけではない)。この量が確保されないと、ある程度は通気間隙を通過して茎葉部より酸素が供給されるが、その限度を越えると根の栄養吸収が制限を受け、更に進むと根腐れが起ると考えられるが、この限界値、酸素供給の方法などについて実験を続行中である。

引用文献

1) Steiner, A. A. (1968) : *Plant Soil* 28 : 173—

176.

- 2) 並木隆和・西 新也・小田雅行・高嶋四郎(1974) : 京府大学報, 農26 : 37—43.
- 3) Ohmura, T. and R. W. Howell (1960) : *Plant Physiol.* 35 : 184—188.
- 4) Lemon, E. R. and C. L. Wiegand (1962) : *Agron. J.* 54 : 171—175.
- 5) 位田藤久太郎 (1953) : 園学雑 22 : 24—27.
- 6) Harris, D. G. and C. H. M. van Bavel (1957) : *Agron. J.* 49 : 11—14.
- 7) Goddard, D. R. and W. D. Bonner (1960) : In Steward, F. C. ed. : *Plant Physiology 1A* : 209—312. Academic Press, New York.
- 8) Evans, N. T. S. and M. Ebert (1960) : *J. exp. Bot.* 11 : 246—257.
- 9) Huck, M. G., R. H. Hageman and J. B. Hanson (1962) : *Plant Physiol.* 37 : 371—375.
- 10) Anderson, W. B. and W. D. Kemper (1964) : *Agron. J.* 56 : 453—456.
- 11) 木下隆雄・穂積清之 (1971) : 東海近畿農試研報 22 : 110—118.
- 12) 位田藤久太郎 (1951) : 農及園 26 : 472.
- 13) ————— (1952) : 園学雑 21 : 202—208.
- 14) 吉田武彦・高橋治助 (1960) : 日土肥 31 : 423—426.
- 15) 熊野誠一・藤瀬一馬 (1965) : 日作紀 34 : 30—34.
- 16) 長尾照義 (1971) : 日作紀 40 : 351—355.
- 17) Luxmoore, R. J. and L. H. Stolzy (1972) : *Crop Sci.* 12 : 442—445.
- 18) Coult, D. A. and K. B. Vallance (1958) : *J. exp. Bot.* 9 : 384—402.
- 19) 有門博樹 (1959) : 日作紀 28 : 1—3.
- 20) Voigt, G. K. (1953) : *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17 : 150—152.
- 21) 木下隆雄・穂積清之 (1974) : 昭48野菜試栽培部研報No.1 : 1—2.
- 22) Scotter, D. R., G. W. Thurtell and C. B. Tanner (1967) : *Soil Sci.* 104 : 374—378.

Summary

Effects of environmental factors on oxygen uptake from the nutrient soln by the intact root of water-cultured "Ohgata-Fukujyu" tomatoes was studied.

Dissolved oxygen consumption by the tomato

root was 0.2—6mg/g root dry wt/hr under the conditions of the present study. Nearly the same rate of oxygen uptake persisted over a wide range of dissolved oxygen concn in the nutrient soln.

Within a narrow range of temperature, or in darkness, rise in soln temperature increased the oxygen uptake, while under illumination, the reverse was often the case, which may suggest an increased internal aeration through the root air space. Light intensity had no

effect on the oxygen uptake rate.

The rate of oxygen uptake was not directly affected by the oxygen concn in the nutrient soln in which the tomato plant had been grown.