

養液栽培システムの改善に関する研究 (II)
—トマトの生長量と溶存酸素量及び蒸散流量との関係—

林 圭脛・房 薇・岩尾俊男・藤浦建史・竹山光一

Studies on the Improvement of Aquaculture Systems (II)
—Effects of Different Levels of Dissolved Oxygen Supply of
the Growth and Water Flux in the Stem of Tomatoes—

Gyuwan IM, Wei FANG, Toshio IWAO, Tateshi FUJIURA
and Kouichi TAKEYAMA

Abstract In the hydro-culture system, the growth vegetable crop was greatly influenced by the value of dissolved oxygen(DO). Effects of different levels of dissolved oxygen supply on growth and water flux in stems on seedling growth in hydro-culture were studied. And a system for measurement of water flow rate in a crop stem was the method of stem heat balance by the heat flux control. The amounts of dissolved oxygen in water were regulated in five grades.

The main results were as follows: The growth rate of seedling growth of tomato was generally influenced by the value of dissolved oxygen(DO), especially, the more the value of DO decreased, the more the formation of roots might interfere. The value of DO exerted a deep influence on sucking up of water in the stem, consequently, the transpiration flux was decreased. The measurement of transpiration flux is a very fair possibility of the growth evaluation in the seedling growth.

Key words: Hydro-culture system; dissolved oxygen; transpiration flux.

緒 言

水環境は植物の生長に密接に関係する。特に、水耕栽培の場合は、水に含まれている成分が他の栽培方式より植物の生長に大きく影響するために、従来から水環境条件と作物の生長との関係を明らかにすることが要求されてきた。また、多くの研究者により養液中の酸素は根の生育、養分と水分の吸収に不可欠であるとされている¹⁾。そして、根は水中に解けている酸素を得て呼吸し、また根のほかに根圏の微生物も呼吸するために多量の酸素が必要となる。特に、夏期には水の溶存酸素量が液温と共に低下するし、根圏微生物の増殖も盛んになるために十分な酸素が必要であると考えられる。したがって、培養液には、何らかの方法で酸素を供給しなければならない。

もし酸素が不足すると根腐れを起こしたり、N, Ca, Kなどの吸収が阻害され、微量元素の吸収にも影響する。NO₃-Nの吸収に対しては比較的影響が少ないがNH₄-Nの吸収には大きいと言われる。しかし植物体の根による養・水分の吸収、植物の生長と養液中の酸素濃度との関係はまだ解明されていない。

これらのことから本研究は、早苗時期のトマトを対象に、作物の生長量(根、茎、葉等)と溶存酸素量との関係について検討した。

実験装置及び実験方法

1. 実験装置

(1) 水耕栽培装置 4つの水耕ベッド(90×90 cm, TAM式)には、それぞれ給水用ポンプ(Magnet Pump PM-311B_{2c})とタンクを設置した。給水はタイマーを

房 薇：鳥取大学大学院連合農学研究科生産環境工学講座

用いて1時間毎10分間, 3ℓ/minの流量で行った, また, 養液への酸素供給は, コンプレッサを用いて行い, 各ベッド毎に空気量が調節できるようにした.

また, 定植板と液面間の空気層からの空気の流入を防止するために, 定植板を液面に浮かすと共にベッド全体をビニールで覆い密閉した. これによってベッド内の養液中の酸素量は, 一定に維持することができた.

(2) 蒸散流測定機 蒸散流測定機は, センサー部(D社製, ダイナゲージSGX5)と計測システム(C社製, 21Xデータロガー)で構成される. 蒸散流測定機によって測定されたデータは, パーソナルコンピュータ(PC-9801)に転送して解析を行った(図1参照).

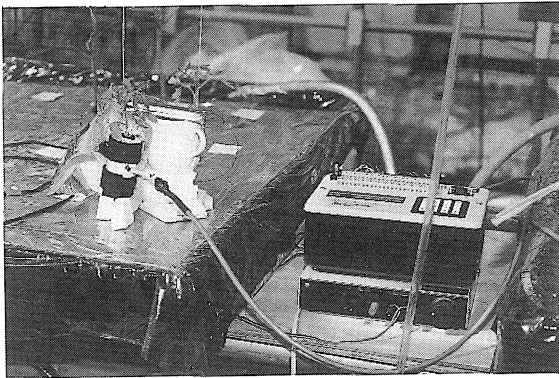


図1 作物蒸散量を測定する様子

(3) 気温, 液温, 葉温及び日射量の測定は, デジタル温度計とグローブチェンスキージャイロ計を用いて測定し, GP-IBを通じてコンピュータに入力した.

供試材料は, トマト(サンチェリー)で, 播種後50日, 草丈平均110mm, 葉枚数4-5枚, 茎径約3.5mmである.

2. 実験方法

生長計測は, 作物の草丈, 葉総重量, 茎直径, 地上部重量, 根長, 根重量及び根体積であり, 蒸散流量は30分毎に計測した. タンク内の空気注入量と溶存酸素量は表1に示す.

表1 各タンク内の空気注入量と溶存酸素量

タンク	空気注入量(m ³ /h)	溶存酸素量(DO値%)
A	0	25-30
B	0.07	35-40
C	0.14	45-50
D	0.21	55-60

蒸散流量の解析に関しては, 溶存酸素濃度が作物の生長量に影響を与えると考えられる. したがって, ここでは蒸散量と溶存酸素量について検討を行った.

蒸散流量の測定は, 熱収支平衡に基づく, 熱平衡方程式から求めたものである. 図2は, 加熱の際の茎の熱収支平衡概略図である. 熱は植物の茎の一部である組織に影響を及ぼさない程度で外周から与える. 蒸散が生じているとき, この部位に与えられた熱量Qは貯熱量の変化を無視すれば次の3成分に分配されると考えられる.

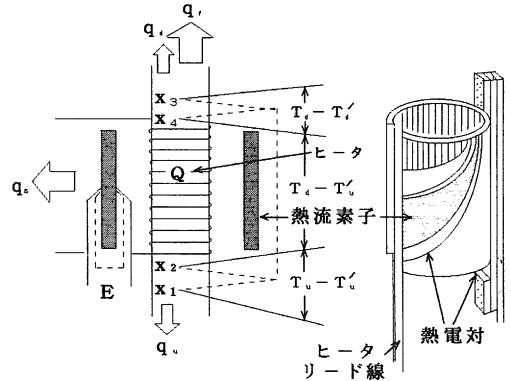


図2 加熱の際の茎の熱収支平衡概略図

- ①蒸散流によって上方に輸送される熱量Q₁,
- ②伝導によって茎の上下方向に失われる熱量Q₂ (Q_d - Q_u)
- ③加温部表面から周囲の空気へ失われる熱量Q₃, これを熱収支式で表すと次のようになる

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \text{--- (1)}$$

ここで, Q₁は, 茎内を上昇する水の量(S_{ER})と加温部上下の温度差(ΔT = T_d - T_u)の関係(C_w, 水の比熱, 4.18 J/g °C)として表される. すなわち,

$$Q_1 = C_w S_{ER} \Delta T \quad \text{--- (2)}$$

式(1)と式(2)から茎内を上昇する蒸散流量S_{ER}は, 次のように表される.

$$S_{ER} = (Q - Q_2 - Q_3) / C_w \Delta T \quad \text{--- (3)}$$

これらを解くことによって茎の蒸散流量S_{ER}を求めることが可能となる²⁾.

また, 蒸散流量は30分毎に測定した.

実験結果及び考察

1. 溶存酸素量と作物生長量

溶存酸素量の差は作物の生長に及ぼすものと考えられるので, 幼苗期のトマトを溶存酸素量が生長に与える影

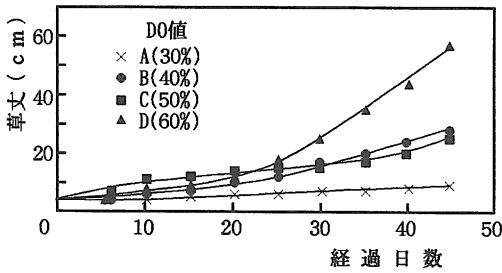


図3 経過日数と作物草丈との関係

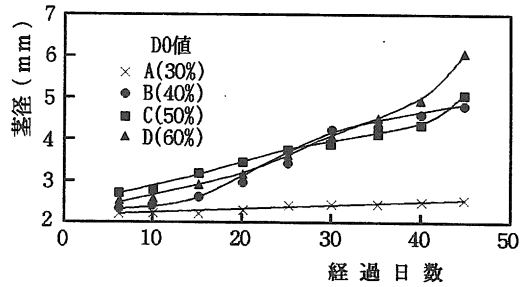


図5 経過日数と作物茎径との関係

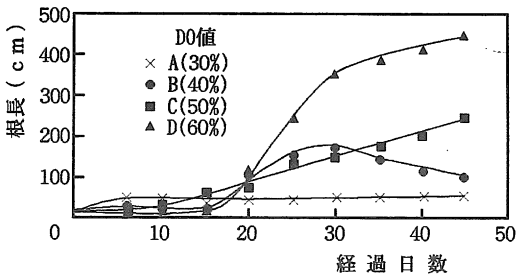


図4 経過日数と作物の根長との関係

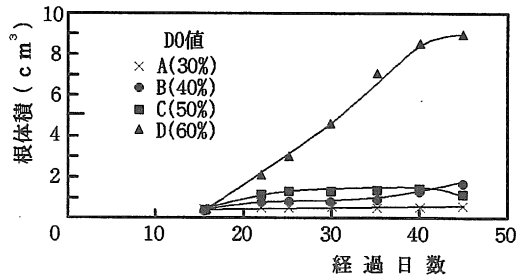


図6 経過日数と作物の根の体積との関係

響を地上部と地下部について比較検討した。

図3は、経過日数と作物草丈との関係であり、図4は経過日数と作物の根長との関係である。作物地上部の草丈と地下部の根長の伸長量は、両方共に、溶存酸素量の増加に従い生長が良い傾向を示した。一番生長の良いDタンク(DO値60%)を100%として比較すると、溶存酸素量の供給が最低であるAタンク(DO値30%)の作物は草丈6%、根長7.8%で低い生長率を示している。

Hopkinsらと橘³⁾によると、酸素濃度の低い場合にはトマト葉の中のP, K, Fe, Mg, Mnの含量が減少し、無通気の場合には、上葉にクロロシスが発生し、生長が阻害されることが報告されている。

根は養水分吸収の他に種々の機能を地上部の生育を支えていて、その一つはサイトカイニの生成とされる。サイトカイニは核酸や蛋白質の合成促進を通して細胞分裂やクロロフィル形成と分解抑制あるいは通導組織の形成に関与しており、気孔の開閉にも作用し、根の根端分裂組織がその主要な生成の場所であることは認められている。したがって、本実験においても低酸素状態で作物の草丈の小さいことが認められたことから、低溶存酸素水はサイトカイニの生成を阻害し、生長が低下すると考えられる。

図5は、経過日数と作物茎径との関係であり、図6は経過日数と作物の根の体積との関係である。この二つ図

面の実験結果は図3・4と異なり、地上部の作物の茎径は、酸素をほとんど供給してないAタンク(DO値30%)を除いて、他のものは生長量の差は小さい。しかし地下部の根の体積は酸素量の減少に従い著しく減少した。特に、溶存酸素量30%のAタンクは体積がほとんど増加していない。Dの増加率の1%であった。

植物生理の観点からすれば、植物体内の生長ホルモンは、酸素欠乏の場合、移送障害の原因になる。この結果、生長ホルモンの集中している根、茎、葉の先端から、他の器官または他の部分への生長ホルモンの移動は阻害され、移送量と移送速度に影響する。生長ホルモンの機能は、生長している部分の細胞の伸長を促進するものであって、ホルモン移動の滞りは、伸長生長の草丈、根長及び2次生長の支根の伸長に影響を与える⁴⁾。従って、溶存酸素量の不足は、作物の肥大生長よりも根群の増殖に影響するものと考えられる。

図7は、経過日数と地上部重量との関係であり、図8は経過日数と地下部重量との関係である。

地上部の重量については、30日経過後、低溶存酸素区を除いて、著しく増加の傾向となるが、一方、地下部の重量ではDタンク(DO値60%)を除いて、著しい増加が認められなかった。これらのことから、低溶存酸素の状態は根の生成に影響を及ぼすことが明らかとなった。

図9は、Dタンク(DO値60%)の生長率を100%とした

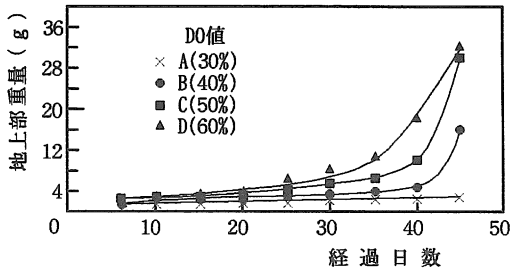


図7 経過日数と地上部重量との関係

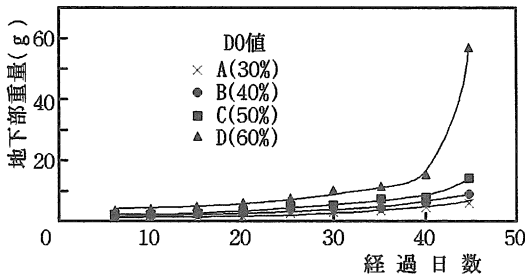


図8 経過日数と地下部重量との関係

場合の各部分の生長率である。溶存酸素量の変化は地下部の生長に大きく影響することが明らかになった。

橘³⁾によると、酸素不足は根の種々の生理機能に影響を及ぼすが、これらの多くは、酸素不足による呼吸の乱れに関係するとされる。呼吸によって得られるエネルギーは根の生長、膜の機能維持など生長に直接関係しない種々の生理過程、及び養・水分吸収などに消費される。根の呼吸速度は溶存酸素量が低下する時、急速に減退すると考えられることから、特に、側根分岐が著しく抑制されていることが認められた。

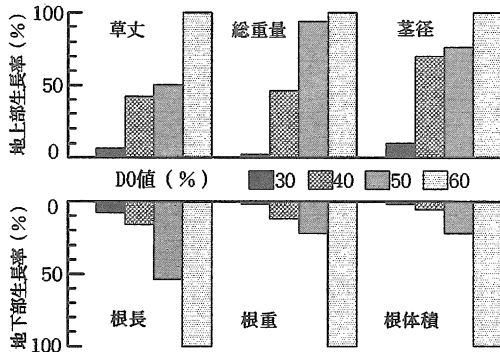


図9 溶存酸素量により地上部と地下部の変化率

2. 溶存酸素量と作物蒸散量

羽生らは熱収支法で蒸散量の計測を行い、植物蒸散量と茎径変化との関係を調べ、それを生育機能の評価指標になると提案している⁵⁾。桜谷も熱収支法で植物蒸散量を測定し、作物の水消費量を評価する基準とした⁶⁾。本研究では蒸散流量を用いて作物の地下部生長の評価指標として利用するために、熱収支法で植物の蒸散流量を測定し、その結果を作物生長量の変化、特に地下部の生長量と比べ、それらについての相関性を求めた。図10は、晴天の場合、定植後90日、溶存酸素量が異なるCタンク(DO値50%)とDタンク(DO値60%)における、24時間(午前5時から翌日午前5時まで)の蒸散量の変化である。測定日の作物生長状況は表2に示す。

茎蒸散量は、日射量と温度の増加と共に増加しているが溶存酸素量の多い方が作物の生理活動が盛んであり、茎の蒸散流量も高くなる特徴を示している。

湛水状態の養液としては、水中溶存酸素の含有率が低下する場合、液内では局所的な嫌氣的発酵によりCO₂が生成されることがある⁷⁾。植物の根としてはCO₂濃度が高くなると根細胞の呼吸が弱く、根の吸水の動力になる

表2 CタンクとDタンクにおける作物の生長率の比較

	C (DO値50%)	D (DO値60%)
根の体積	12.5	100
根長	51	100
地下部総重量	26.4	100

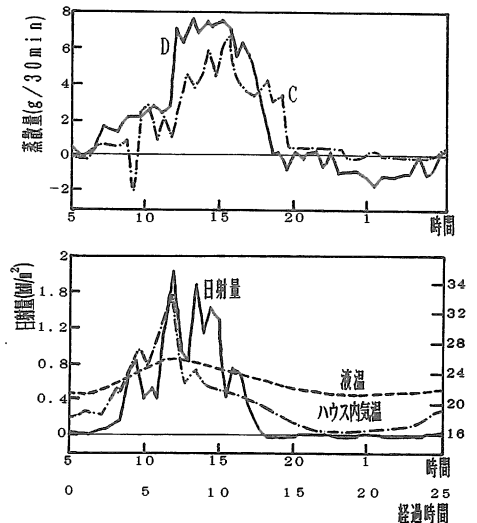


図10 溶存酸素量別の茎蒸散流量の変化

力(根圧)が発生し難くなる。

根の吸水は葉の蒸散作用による水の損失の速度によって主に支配される。これは吸水と蒸散とが植物体の木部組織系中の連続した水柱によって互いに関連しているからである。もちろん、蒸散の行われぬ時は、根圧を生じないが、逆に、根の吸水が障害される時も蒸散流量が低くなるであろう⁴⁾。

溶存酸素量と生長量の関係から溶存酸素量の変化は植物の根に影響するものであることが明らかになり、根の機能から根の吸水力は蒸散流量に関係する。従って、蒸散流量の変化を測定することにより、作物の生長状態を推定することが可能であると考えられる。

結 言

本研究は、早苗時期のトマトを対象に、溶存酸素量が作物の生長に及ぼす影響について検討した。

また、作物の生長計測の目安として、便宜的に茎蒸散流量を用いるために、溶存酸素の差による蒸散流量の変化を測定した。主な実験結果は次の通りである。

(1) 溶存酸素量は直接作物の生長に影響する。特に低溶存酸素の場合には、根の生成に影響を及ぼすことが明らかになった。

(2) 溶存酸素量は根の吸水に影響し、それが蒸散流量に影響する。

(3) 蒸散流量の測定により、溶存酸素量の変化を推定することが可能である。

引 用 文 献

- 1) 位田藤久太郎, 蔬菜の根の生理に関する研究. 園芸学会雑誌, 21: 202-207, 1953.
- 2) 桜谷哲夫, 新しい茎流量センサーの原理と応用. 農及園, 63: 1284-1288, 1988.
- 3) 橘昌司, 養液栽培における環境要因と根の機能. 同, 61: 223-228, 1986.
- 4) 田口亮平, 植物生理学大要. 養賢堂, 東京, 102 pp., 1978.
- 5) 羽生広道・関山哲雄・岩尾憲三・高木信義, 植物生体情報の工学的計測と処理(第3報)-茎径変化と蒸散流量及び吸水量との関係-電力中央研究所報告, 483010: 1-25, 1984.
- 6) 桜谷哲夫, 作物体内の蒸散流量測定法の開発とその応用. 農業技術研究所報告, A(29): 61-69, 1982.
- 7) 土壤微生物研究会, 土壤と微生物(土壤微生物研究会編「土壤と微生物」所収). 岩波書店, 東京, pp. 111-125, 1971.