

## トマトの水耕栽培における肥培管理と養分吸収

—Logistic 式による数値解析—

松井 佳久\*・梶岡 律子\*・野上 昌宏\*  
水嶋 修\*・猪原 泰\*・引野千嘉志\*

Nutrient Management and Nutrient Absorption in the Hydroponic Culture of Tomatoes.

—Numerical Analysis with the Logistic Equation—

Yoshihisa MATSUI, Ritsuko KAJIOKA, Masahiro NOGAMI,  
Osamu MIZUSHIMA, Yasushi IHARA, and Chikashi HIKINO

Tomatoes were cultivated by hydroponics, in which a nutrient solution was managed on the basis of only two indexes (pH and  $E_c$ ) and the composition of additional fertilizer was always kept constant. This simplification in nutrient management caused virtually no decrease in the yield of tomato fruits, though the concentrations of a few nutrients varied greatly during cultivation from their initial concentrations. Thus, it was judged that this simplified method of management is applicable to practical hydroponic culture. It was also confirmed that the cumulative amounts of nutrients, such as N, P, K, Ca, and Mg, absorbed by a tomato plant during cultivation fit well to the Logistic equation in which cumulative temperature is used as an independent variable.

水耕栽培は、近年新しい施設園芸手法として農家や産業界から注目され、大学や試験場においても基礎応用の両面から活発に研究されている。しかしながらこれを一般農家に広く普及させるためには、なお克服すべき技術的・経済的問題が幾つか残されている。その一つに、水耕栽培は土耕栽培と比較して、環境制御や肥培管理に高度な科学的知識を必要とするため、一般農家の抵抗感が大きいことがあげられる。水耕栽培を広く普及させるためには、栽培管理を出来るだけ簡素化する必要がある。

筆者らは、1981年から1985年までの5ヶ年にわたり、当農学部附属農場に設置されたマイクロコンピュータ制御の水耕栽培温室において、トマトの生産試験を行ってきた<sup>1)</sup>。1983年までの栽培では、培養液の養分分析を毎週1回行い、その結果に基づき主要養分濃度を固有の値に近づけるに要する追肥量を計算し、投与するという大変手のこんだ方法をとってきた。しかしこの様な管理は一般農家では不可能に近く、実用性に乏しい。そのため、1984年以降は、pH と  $E_c$  (電気伝導度) を基準に肥培

管理する方法に切り換えた。この場合、養分濃度の化学分析値は全く参考せず、 $E_c$  値のみを参考にして毎週1回追肥した。追肥に用いる5種の肥料(硝酸石灰、硝酸カリ、硫酸苦土、第1リン安、微量元素)の添加割合は常に一定に保った。本報告ではこの様な肥培管理の簡素化が、主要養分の培養液中濃度の経日変化やトマトの果実収量に及ぼす影響を及ぼすかを調べた結果を中心に述べる。

また筆者らは前報において、水耕栽培中の水の積算消費量が積算温度に対してS字型の曲線を示し、次式で表わされる Logistic 式によく当てはまることを示した<sup>2)</sup>。

$$Y = \frac{A}{1 + \exp(B - CT)} \quad (1)$$

ここで  $Y$  は水の積算消費量、 $T$  は積算温度、 $A$ 、 $B$ 、 $C$  は定数であり、 $A$  は  $T$  が無限大の時の  $Y$  値、 $B/C$  は  $Y$  が  $A/2$  になる時の  $T$  値に相当する。本報告では、 $Y$  として栽培中に吸収された養分の積算量をとった時の数値解析結果についても述べる。この様な解析は、複雑な生育要因を極端に単純化しすぎる欠点をもつが、現

\* 土壌物理化学研究室

象を巨視的に把握するには大変都合が良い。

### 実験方法

実験に用いた水耕栽培システムは、315m<sup>2</sup>のガラス温室に協和(株)製プラスチック栽培ベッド(縦3m×横1m×深さ0.1m)を39個設置したもので、1ベッド当たりトマト(品種:TVR-2)を14~18株定植している。本システムと栽培方法の詳細は既報<sup>1)</sup>で述べたので省略する。ここでは肥培管理法について簡単に述べておく。

#### 肥培管理法

1tの水に投与する肥料の標準量(1単位と呼ぶ)を第1表に、また1単位時における主要元素の濃度を第2表に示す。肥料の投与量は協和(株)の栽培基準書に基づいて決めたが、参考のため園試処方における養分濃度<sup>3)</sup>も第2表に示しておく。窒素濃度のみ協和方式は園試処方と比較してかなり高いが、その他の成分は両者に大きな差異がない。栽培に用いた水は附属農場で日常使用されている地下水であり、それに含まれている主要元素の平均

第1表 肥料とその標準投与量(水1t当たり)

肥料	成分	標準投与量(g/t)
硝酸石灰	NO <sub>3</sub> -N (11.0%), CaO (23.0%)	900
硝酸カリ	NO <sub>3</sub> -N (13.0%), K <sub>2</sub> O (45.0%)	800
硫酸苦土	MgO (15.0%), SO <sub>4</sub> -S (12.0%)	500
第1リン安	NH <sub>4</sub> -N (11.0%), P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (59.0%)	200
微量要素	NH <sub>4</sub> -N (6.0%), Mn (1.0%), K <sub>2</sub> O (9.0%), B (1.0%), キレート態 Fe(5.7%), Cu(0.04%), Zn (0.07%), Mo (0.02%)	50

第2表 1単位時の主要元素濃度(g/t)

栄養元素	肥料	地下水	園試処方 <sup>a)</sup>
NO <sub>3</sub> -N	203	0.2 <sup>b)</sup>	113
NH <sub>4</sub> -N	25	0.0 <sup>b)</sup>	19
PO <sub>4</sub> -P	52	1.7 <sup>b)</sup>	42
K	302	1.1 <sup>b)</sup>	314
Ca	148	16 <sup>b)</sup>	162
Mg	45	6.0 <sup>b)</sup>	50
Na	0	14 <sup>b)</sup>	—
Fe	2.85	0.09 <sup>b)</sup>	3
Mn	0.39	0.06 <sup>b)</sup>	0.5
Cl	0	19 <sup>c)</sup>	—
SO <sub>4</sub> -S	60	4 <sup>c)</sup>	65

a) 文献3.

b) 1983年1月~6月 23試料の平均.

c) 1984年8月~12月 18試料の平均.

濃度も第2表に示した。1983年までの栽培では、木曜日に培養タンク中の液肥を採取し、主要元素の分析を行い、その結果に基づいて、第2表の標準濃度に戻すのに必要な各肥料の投与量を計算し、翌週の月曜日に追肥した。1984年以降は、月曜日のEc測定値を指標として追肥量を計算し、第1表の割合で肥料を投与した。ただし木曜日の液肥採取と化学分析は継続して行った。協和(株)の栽培基準書では、培養液のpHは5.5~6.5、Ecは2.2~2.7 mS/cmを保つことが推奨されている。本研究でもpHはこの範囲を保つように、4N水酸化カリウムまたは4N硫酸を用いて、月曜日に調整した。しかしEcは時に上記範囲からはみだすような管理も行った。例えば夏期高温時には、トマトの尻腐れ病を予防するためEcを比較的強く抑え、冬期低温時には養分吸収を促進するため、Ecを高目に設定した。pH、Ecの測定はそれぞれ横河北辰社製ポケットデジタルpH計および導電率計SC51を用いて行った。

培養液の化学分析は硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)、Na、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cl<sup>-</sup>および硫酸態硫黄(SO<sub>4</sub>-S)について行った。NO<sub>3</sub>-Nの分析は、1984年まではZn粉によって亜硝酸イオンに還元し、ジアゾ化発色させて比色定量する方法で行ったが、1985年には、培養液を活性炭脱色の後、希釈し、硝酸イオンの紫外吸収を直接測定する方法に変更した。後者の方が精度的に優れていた。NH<sub>4</sub>-Nはネスラー試薬またはインドフェノールブルー法<sup>7)</sup>によって発色させ、比色定量した。PO<sub>4</sub>-Pはバナドモリブデン酸を用いる比色定量で分析した。NaとKは炎光分析により、またMg、Ca、Fe、Mnは原子吸光分析により定量した。Cl<sup>-</sup>はチオシアン酸第2水銀を用いた比色定量で分析し、SO<sub>4</sub>-Sは塩化バリウムゼラチンを用いた比濁分析によって定量した。比色および比濁分析には日立社製ダブルビーム分光光度計220型を用い、炎光および原子吸光分析には日立社製原子吸光/炎光分光光度計170-40型を用いた。

#### データ処理

養分の吸収量は1週間単位で計算した。すなわち、ある週の養分濃度と培養液総量をそれぞれ*c(i)*、*w(i)*とし、それより1週間前の値を*c(i-1)*、*w(i-1)*とする。またその週に投与された養分量と地下水量をそれぞれ*u(i)*、*v(i)*とし、地下水中の養分濃度(第2表)を*a(i)*とすれば、1週間にトマトに吸収された養分の量*x(i)*は次式で表される。

$$x(i) = c(i-1)w(i-1) + u(i) + a(i)v(i) - c(i)w(i) \quad (2)$$

*x(i)*をトマトの株数で割れば、1株当たりの吸収量が

算出できる。これらの計算はすべて NEC 社製 マイクロコンピュータ PC-100 を用いて行った。また養分吸収の積算量と積算温度との関係についての Logistic 式による数値解析は、前報<sup>2)</sup>と同じプログラムによって行った。気温や日射量等の測定法も前報と同じである。

### 実験結果および考察

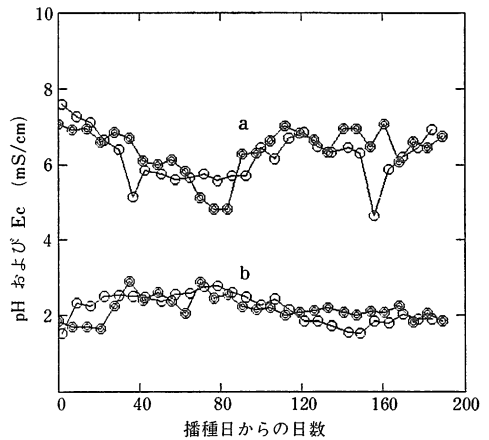
#### Ec を指標とする肥培管理と培養液成分の変化

トマトの栽培は1年を2回に分けて行った。ここでは前半を春作、後半を秋作と呼ぶ。1984、1985の両年は既に述べたように、Ec を指標として肥培管理を行い、追肥は常に第1表の重量比で行った。養分吸収が常に第2表の濃度比で進むものであれば、栽培期間中の養分濃度比は一定となるはずである。しかし実際に植物が要求する養分は生育段階によって変化するため、養分濃度比は生育とともに当初とは著しく異なってくる。この状況について調べた結果を以下に詳しく述べる。

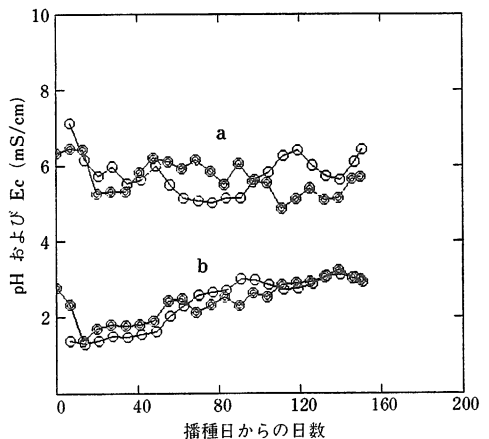
第1、2図はそれぞれ春作と秋作における pH と Ec の変化を示したものである。Ec は温度によってかなり変化するので、25℃の値に換算したものを使っている。横軸には播種日からの経過日数をとった。本実験で Ec は人為的に増減できるいわば独立変数であり、実験方法の部で述べたように、夏期高温時は低目に冬期低温時は高目に調整している。図にもその傾向は明瞭に現れている。pH は春作、秋作を問わず、栽培前期が低下傾向、後期が増加傾向を示した。pH の低下は主として陽イオン成分の吸収が陰イオン成分の吸収を上回るために起こり、pH の増加はその逆となるために起こるものと思われるが、トマト根部からの有機酸溶出の影響も考慮する必要がある。この点に関しては、今後の研究課題として残されている。

第3、4図はそれぞれ春作・秋作における NO<sub>3</sub>-N および NH<sub>4</sub>-N 濃度の変化を示したものである。春作の NO<sub>3</sub>-N 濃度は、かなりばらついてはいるものの、栽培期間を通しほぼ一定の値を保っている。Ec との相関係数 *r* は 0.3943 (試料数 *n*=55) とかなり低かった。これに対し秋作の NO<sub>3</sub>-N 濃度は次第に増加する傾向を示し、Ec との相関係数も 0.7873 (*n*=45) と高かった。NH<sub>4</sub>-N 濃度は春作・秋作とも栽培前期は比較的高く、肥料投与量に見合った濃度で検出されたが、栽培中期に至るとほとんど検出されなくなった。特に栽培前期高温が続く秋作では、NH<sub>4</sub>-N 濃度の低下が早く生じた。栽培中期以降では、月曜日に追肥として NH<sub>4</sub>-N が投与されても、その3日後の木曜日の培養液には全く検出されないことが多かった。NH<sub>4</sub>-N 消失の原因とし

ては、トマトによる吸収がまず考えられるが、その他に培養液中の微生物による硝化または脱窒の可能性も無視できない。そこで NH<sub>4</sub>-N が消失した栽培後期の培養液を採取し、これに NH<sub>4</sub>-N を添加後、室温に放置し、NH<sub>4</sub>-N 濃度の経日変化を調べた。1週間放置しても、ほとんど NH<sub>4</sub>-N 濃度に変化は見られなかった。したがって NH<sub>4</sub>-N の急速な消失はトマトによる吸収が主な原因と判断できる。トマトは一般に好 NO<sub>3</sub>-N 性植物として知られ、培養液の当初の NO<sub>3</sub>-N/NH<sub>4</sub>-N 比も約8と非常に高く設定されているが、吸収速度はむしろ NH<sub>4</sub>-N の方が大きいものと思われる。Ec と NH<sub>4</sub>-N 濃度との間に有意の相関は見られなかった。



第1図 春作における pH (a) と Ec (b) の経日変化。  
○：1984年；◎：1985年。

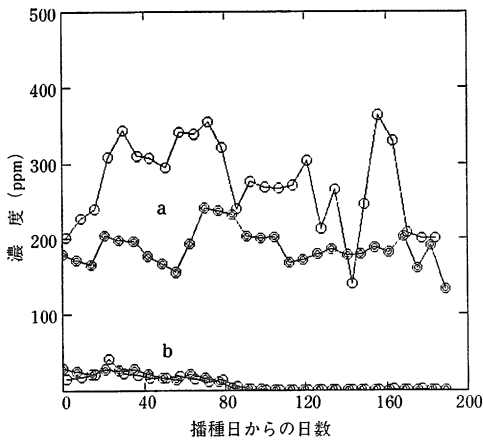


第2図 秋作における pH (a) と Ec (b) の経日変化。  
○：1984年；◎：1985年。

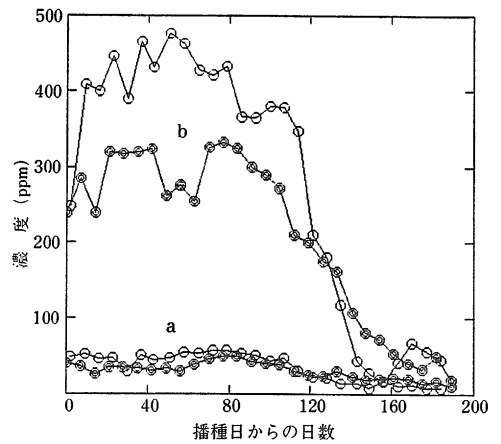
第5, 6図はそれぞれ春作と秋作における  $PO_4\text{-P}$  と K との変化を示したものである。両成分とも、春作・秋作のいずれでも、Ec の変化とかなり高い相関を保って変化していた。すなわち  $PO_4\text{-P}$  では  $r=0.6676$  ( $n=55$ , 春作),  $r=0.7741$  ( $n=45$ , 秋作) であり, K では  $r=0.6745$  ( $n=55$ , 春作),  $r=0.6976$  ( $n=45$ , 秋作) であった。ただ春作の K 濃度は栽培後期に著しい減少傾向を示した。植物の K 吸収は受動的であり、水分の吸収と並行して起こることが知られている<sup>12)</sup>。春作の栽培後期は夏期高温期に当たり、水分の吸収蒸散が激し

い。水分は自動的に補給されるが、Kの補給は間接的である。そのため第5図のようなKの急激な減少が起こったものと思われる。水分蒸散の穏やかな秋作ではこのような現象は見られない。

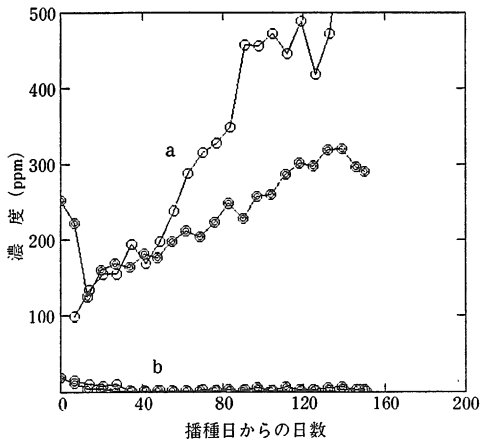
第7, 8図はそれぞれ春作・秋作における Ca と Mg の濃度変化を示したものである。Ca 濃度にはかなりのばらつきが見られるが、おおまかにみて両成分ともに春作ではほぼ一定値を保ち、秋作では増加傾向を示した。春作の Ec は栽培後期に低下するように調整しており、両成分濃度と Ec との間には有意の相関は見られなかつ



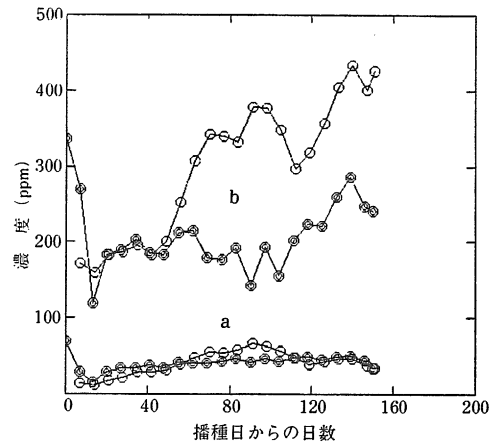
第3図 春作における硝酸態窒素(a)とアンモニア態窒素(b)の経日変化。  
○: 1984年; ◎: 1985年。



第5図 春作におけるリン酸態リン(a)とカリウム(b)の経日変化。  
○: 1984年; ◎: 1985年。



第4図 秋作における硝酸態窒素(a)とアンモニア態窒素(b)の経日変化。  
○: 1984年; ◎: 1985年。

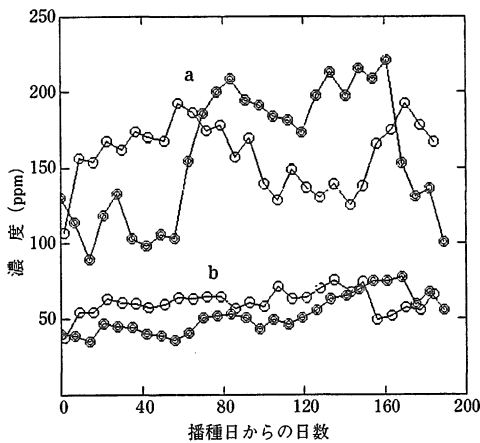


第6図 秋作におけるリン酸態リン(a)とカリウム(b)の経日変化。  
○: 1984年; ◎: 1985年。

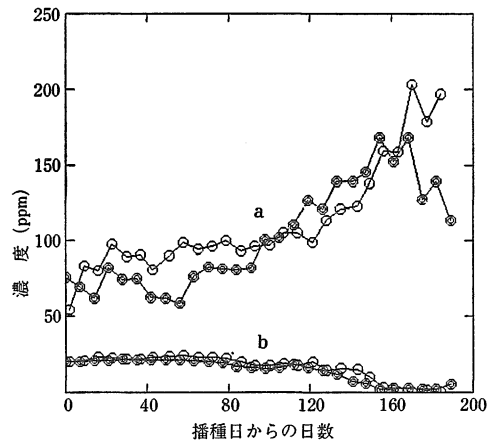
た。これに対して秋作では、栽培後期に Ec は増加するように調整しており、両成分濃度と Ec との間には高い相関関係が見られた。すなわち Ca では  $r=0.7475$  ( $n=45$ )、Mg では  $r=0.8638$  ( $n=45$ ) であった。Ca、Mg とともに植物根部で受動的に吸収されるかまたは能動的に排除されていると考えられている成分であり<sup>12)</sup>、K よりは一般的に吸収されにくい。そのため夏期高温時でも、K のように急激な濃度低下は起こらないのであろう。また K が果実部に分配される割合が比較的大きいの<sup>13)</sup>に対して、Ca、Mg は茎葉部に分配される割合が高い。

春作栽培後期には茎葉部の成長はすでにピークに達しており、植物が Ca、Mg を要求する度合はそれほど高くはないものと思われる。これも Ca や Mg が夏期高温時において K のような濃度低下を示さない一因であると考えられる。

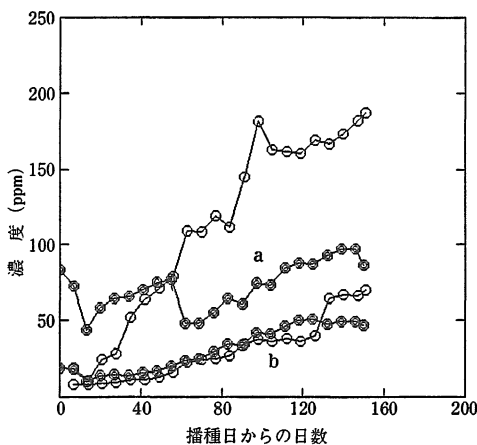
第9、10図はそれぞれ春作と秋作における  $SO_4-S$  および  $Cl^-$  の変化を示したものである。 $SO_4-S$  は春作・秋作ともに増加傾向を示した。そのため春作では Ec と有意の相関は見られず、秋作では  $r=0.7817$  ( $n=22$ ) とかなり高い相関が見られた。 $SO_4-S$  は植物が能動的



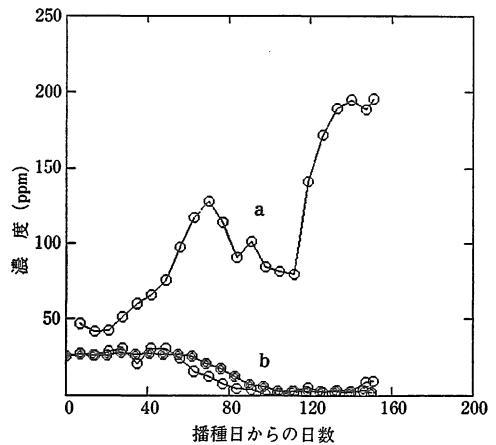
第7図 春作におけるカルシウム (a) とマグネシウム (b) の経日変化。  
○：1984年；◎：1985年。



第9図 春作における硫酸態イオン (a) と塩化物イオン (b) の経日変化。  
○：1984年；◎：1985年。



第8図 秋作におけるカルシウム (a) とマグネシウム (b) の経日変化。  
○：1984年；◎：1985年。



第10図 秋作における硫酸態イオン (a) と塩化物イオン (b) の経日変化。  
○：1984年；◎：1985年。

に吸収しなければならない成分であり<sup>12)</sup>、Kのように水分と並行して容易に吸収される訳にはいかない。またSは果実部にはほとんど分配されず、主として莖葉部に分配される<sup>13)</sup>。このため栽培後期になるにつれて培養液中に蓄積されることになるのであろう。これに対してCl<sup>-</sup>は他の成分とは際立って異なる濃度変化を示した。すなわち栽培前期にはほぼ一定濃度を保っていたが、春作では栽培後期に、秋作では栽培中期に濃度の急激な低下が観察された。Cl<sup>-</sup>はいちばん最後に確認された微量必須元素であり、光化学系2における酸素発生に関与していると考えられているが、今なおその詳しい生理的役割は明らかでない。栽培中後期に強く吸収されているところから、果実部に多く分配されている可能性もあるが、まだ実験的に確かめるところまで至っていない。今後に残された興味ある研究課題であると思われる。

最初に述べたように、1984および1985年の栽培では、主としてEcを指標として肥培管理を行った。当然の事ながら、Ecは培養液中の総カチオンまたは総アニオン量と密接な関係にあるはずである。事実、2年4期のデータを使い、Ecとの相関係数を計算したところ、総カチオン濃度(Na+K+Mg+Ca+NH<sub>4</sub>-N, meq/l)とは $r=0.7530$  ( $n=100$ )、総アニオン濃度(NO<sub>3</sub>-N+PO<sub>4</sub>-P+SO<sub>4</sub>-S+Cl<sup>-</sup>, meq/l)とは $r=0.7244$  ( $n=77$ )とかなり高い相関係数がえられた。Ecは栄養塩全体の含量を示す指標として有効であることが確かめられた。

過去5年9期にわたる水耕栽培トマトの果実収量を第3表にまとめて示す。全般的にいて、収量は春作の方が秋作より高い。1株当たりの果実収穫個数は春作と秋作で大差ないが、収穫重量は春作の方がかなり高い。これは、果実1個当たりの平均重において、春作の方が秋作より大きいためである。果実成熟期の気温が高く、日射量も多い春作において、いわゆる玉ぶとりが促進されるのであろう。また1985年秋作の収量が例年よりかなり

第3表 水耕栽培トマトの1株当たり平均果実収穫量

作期	年度	個数	重量(kg)	1個重(g)	収穫期間(日)
春作	1982	18	3.3	186	35
	1983	17	3.8	221	43
	1984	28	4.3	154	35
	1985	20	3.3	169	46
秋作	1981	29	4.4	152	80
	1982	16	2.3	139	55
	1983	19	2.5	129	72
	1984	18	2.4	136	64
	1985	12	1.4	123	50

低くなっているが、これも主として気温・日射量等の環境要因が悪かったためと考えられる。このように環境要因が年度・作期毎に変動することによる収量の増減は水耕栽培といえども避けられないが、ここで注目したいことは、pHとEcのみを肥培管理の指標とした簡易法を実施した1984年春作以降においても、トマトの収量にさほど大きな影響が現れていないと見られる点である。すでに述べたように、無機栄養塩濃度は栽培期間中にかなり大きく変動しており、特に春作においてその傾向が強かった。それにもかかわらず、養分濃度を一定に保つ努力をした1983年以前と比較して、収量はほとんど低下していない。培養液中の無機成分間のバランスが少々乱れても、植物体の方で必要成分を選択し吸収量をある程度調整していることがうかがえる。Ecを指標とした簡易肥培管理法は実用的であり、トマト栽培に対して大きな支障を与えることはないものと判断できる。

#### Logistic 式による養分積算吸収量の数値解析

培養液中の無機栄養塩類は、トマトの生育に伴って植物体内に移行・蓄積されていく。植物体に吸収された栄養塩類の積算量は、植物の生育状況を見る上での重要な指標であり、また栽培に使われる肥料の量を知る上でも有効な量である。筆者等は前節において述べた培養液の化学成分変化の測定を通して、この養分積算吸収量を計算した。計算の対象とした成分は総窒素(T-N)、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)、K、CaおよびMgである。その結果いずれの成分においても、前報で積算水消費量について述べたのと同様なS字型吸収曲線を示し、Logistic式に良く適合することを見出した。第11図はその一例であり、いずれの場合も高い相関係数を与えた。なお横軸には積算温度(0℃基準)を用いている。第4表には年度・作期毎に求めたLogistic式のパラメータの一例として、Kの場合を示した。どの場合も非常に高い相関係数がえられている。また最大積算吸収量に当たるA値は春作の方が秋作より僅かに大きな値をとり、吸収量がA/2になる時の積算温度を示すB/C値は秋作の方が大きな値をとった。このように作期によってパラメータの値は若干異なったが、同じ作期を比較するとその変動はかなり小さく、再現性はかなり高かった。同様の結果は他の成分についてもえられており、各パラメータの作期別平均値のみを第5表に示しておく。

水消費に関するA値は春作の方が秋作より幾分大きく、K、Ca、Mgといった陽イオンでも同様の傾向が見られたが、T-NやPO<sub>4</sub>-Pといった陰イオンは逆の傾向を示した。また水消費に関するB/C値は春作と秋作

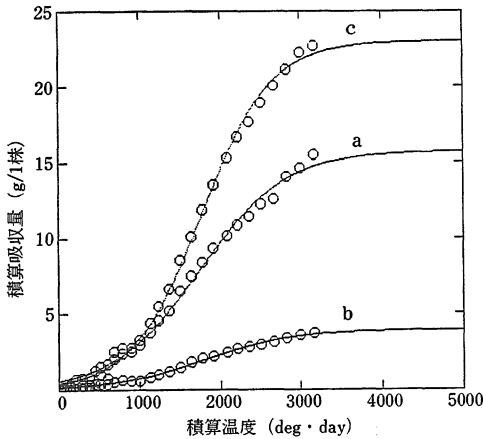
でほとんど差が見られないが、栄養塩類に関するこのパラメータは春作より秋作の方が大きな値をとる傾向が明瞭に見られた。前節で述べたように、春作と秋作とは生育時の環境因子が著しく異なっている。積算温度を独立変数として解析すれば、温度に関しては同一条件として比較することになるが、光環境については全く無視していることになる。光条件が異なれば光合成量も異なってくるし、養分吸収量も当然異なってくる。またそれに従って培養液中の養分濃度もかなり異なってくる。したがって上記のような作期の相違によってパラメータ値に

違いが出るのは当然であり、むしろそれにも拘わらず春作と秋作とでかなり近い値をとっていることに注目すべきであろう。本研究の現段階においては、これらのパラメータと植物の栄養生理との関係についての詳しい解析は無理であり、行っていない。今後の研究課題といえる。ただ、検討した5種の化学成分、T-N, PO<sub>4</sub>-P, K, Ca, Mgの基準培養液濃度の比が1.00:0.23:1.33:0.65:0.20であるのに対して、5年9期について平均したA値の比が1.00:0.32:1.45:0.77:0.18とかなり良く似た値を示したことを最後に指摘しておく。

### ま と め

水耕トマト栽培の肥培管理において、pHとEcのみを追肥時期や追肥量を決める指標とし、追肥時における5種の肥料の添加割合は常に一定に保つという簡易法を用い、これによって主要栄養塩類濃度の経日変化やトマト果実の収量にいかなる影響が生じるかを調べた。栄養塩類の中には、当初の濃度から大きく変動するものも見られたが、果実収量には大きな変化は見られなかった。したがってこの簡易管理法は十分実用性を持つものと思われる。またN, P, K, Ca, Mgの5種の栄養塩類について求めた積算吸収量は積算温度を独立変数とするLogistic式に良く適合することも確かめた。

謝辞 本研究の遂行に当たり、寺田俊郎本学名誉教授、吉野蕃人教授、太田勝巳助手、高橋亮正技官および小敷賀仁也技官の深い理解と協力をえた。ここに心からの謝意を表する。



第11図 1985年春作における総窒素(a)、リン酸態リン(b)およびカリウム(c)の積算吸収量と積算温度との関係、実線はLogistic式に当てはめて得た理論曲線。

第4表 カリウムの吸収に関するLogistic式パラメータ。積算温度を独立変数とする。

作期	年度	A(g)	B	C×10 <sup>3</sup>	B/C	r <sup>a)</sup>	r <sup>b)</sup>
春作	1982	20.1	5.38	3.35	1600	22	0.9976
	1983	18.6	4.70	2.54	1850	31	0.9963
	1984	20.2	4.43	2.75	1610	27	0.9980
	1985	23.0	4.06	2.30	1770	28	0.9981
	平均	20.5±0.8	4.64±0.24	2.74±0.20	1710±50		
秋作	1981	22.6	4.63	2.52	1840	23	0.9956
	1982	16.1	4.92	2.68	1840	21	0.9947
	1983	16.3	4.40	2.17	2020	22	0.9828
	1984	17.2	4.33	1.87	2310	22	0.9953
	1985	20.3	3.67	1.65	2220	23	0.9989
	平均	18.5±1.1	4.39±0.19	2.18±0.17	2050±90		
全平均	19.4±0.8	4.50±0.15	2.42±0.16	1900±80			

a) データ数。 b) 相関係数。

第5表 無機栄養塩類の吸収に関する Logistic 式パラメータ平均値。積算温度を独立変数とする。

養分	作期	A (g)	B	C×10 <sup>3</sup>	B/C
T-N	春作	12.6 ±1.0	4.17±0.56	2.40±0.33	1750± 40
	秋作	13.8 ±1.1	3.92±0.28	1.81±0.23	2260±190
PO <sub>4</sub> -P	春作	3.83 ±0.06	3.63±0.37	2.07±0.39	1760± 50
	秋作	4.70 ±0.47	4.21±0.19	1.74±0.16	2510±180
K	春作	20.5 ±0.8	4.64±0.24	2.74±0.20	1710± 50
	秋作	18.5 ±1.1	4.39±0.19	2.18±0.17	2050± 90
Ca	春作	12.0 ±1.4	3.40±0.06	1.83±0.14	1920±170
	秋作	9.0 ±0.6	3.87±0.28	1.83±0.16	2160±190
Mg	春作	2.47±0.43	3.88±0.25	2.14±0.19	1840±100
	秋作	2.28±0.30	3.67±0.26	1.66±0.22	2320±200
水	春作	117 ±4 <sup>a)</sup>	4.54±0.26	2.27±0.14	2010± 60
	秋作	92.2 ±4.8 <sup>a)</sup>	3.81±0.32	1.95±0.21	1990± 70

a) 単位, l.

### 引用文献

1. 寺田俊郎・高橋亮正・小敷賀仁也・松井佳久・梶岡律子・水嶋修：島根大附属農場研報 **6**：1-9, 1985.
2. 松井佳久・梶岡律子：島根大農研報 **19**：71-76, 1985.
3. H. M. RESH (並木隆訳)：野菜の水耕栽培 養賢堂, 東京, 1981, pp. 50-51.
4. 安藤忠男・尾形昭逸：土肥誌 **51**：48-54, 1980.
5. 安藤忠男・尾形昭逸：土肥誌 **56**：56-58, 1985.
6. 日本化学会(編)：分析化学便覧 丸善, 東京, 1960, p. 191.
7. D. R. KEENEY and D. W. NELSON: Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. (ed. by A. L. Page, et al.), Am. Soc. Agronomy and Soil Sci. Am. Publisher, Madison, 1982, pp. 674-676.
8. 土壤養分測定法委員会(編)：肥沃度測定のための土壤養分分析法 養賢堂, 東京, 1978, pp. 227-229.
9. 作物分析法委員会(編)：栄養診断のための栽培植物分析測定法 養賢堂, 東京, 1976, pp.73-128.
10. 日本化学会(編)：分析化学便覧 丸善, 東京, 1960, p. 236.
11. 半谷高久：水質調査法 丸善, 東京, 1960, p. 238.
12. D. J. F. BOWLING (柳沢宗男訳)：植物によるイオン吸収 産業図書, 東京, 1980, p. 50.
13. 梶岡律子：島根大農学部修士論文 1986.
14. 高橋英一：施肥農業の基礎 養賢堂, 東京, 1984, pp. 127-128.
15. 野上昌宏：島根大農学部卒業論文 1986.