

蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究 Ⅱ

培養液温度がトマト苗の生育におよぼす影響

高嶋四郎・福井重光・西 新也・並木隆和

SHIRO TAKASHIMA, SHIGEMITSU FUKUI, SHIN-YA NISHI and TAKAKAZU NAMIKI

Studies on production of vegetable crops in water culture XI

Effects of nutrient solution temperature on growth of tomato seedlings

要旨：トマト品種大型福寿を用いて、水耕栽培における培養液温度が苗の生育におよぼす影響を調べた。液温は低気温時に10, 15, 20, 25, 30, 35°Cを、高気温時に25, 30, 33, 35, 40°Cを設定した。

草丈、生体重、乾物含有率、無機成分含有率、葉数、花房数などより判断すると、生育は20, 25, 30°Cで良好、15, 33°Cでやや劣り、10, 35, 40°Cでは非常に悪かった。根の伸長最適液温は草丈のそれよりも5°C程低かった。

液温が高過ぎる場合、茎葉が小さく、根が極端に短く、乾物含有率が異常に高く、また植物体のK含有率が低下するなど、無機成分のバランスの乱れる傾向がいちじるしかった。

気温条件の違いにより、トマト苗の生育におよぼす液温の影響にいくらかの差が認められた。

1 結 言

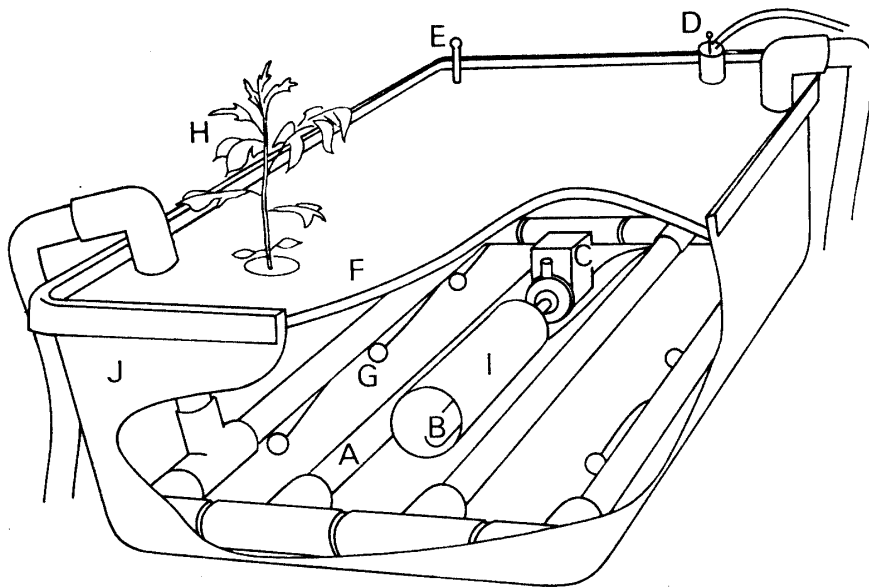
通常の土耕栽培においては、地下部温度を人為的に調節してそ菜を栽培することは少い。太陽輻射、水分蒸発、大きな熱容量、土壌間隙による断熱効果などにより土壌の温度変化が小さいために、土壌温度の調節は技術的にも経済的にも容易でなく、低温時の育苗における電熱温床線の利用を除いては、遮光、マルチ、灌水などによって限られた範囲で土壌温度を調節するに過ぎない。これに対して、水耕栽培では環境条件の影響により培養液温度の変動が大きく、それが直ちにそ菜の生育に影響をあたえる。ベッド、タンクの構造、材料、栽培方法などを適当に選んで断熱効果を高め、培養液の加温、冷却を効率良く行うことにより、そ菜の水耕栽培をより合理的に行うことができると考えられる。

また、前報（並木ら：1972）で報告したように夏期の高温時に、根部の温度が高くなり過ぎそ菜の生育が阻害されることが多い。根部温度の上昇は遮光や断熱材の使用によりある程度防ぐことができる。夏期、ト

マト植物が充分生長し、繁茂した茎葉が太陽輻射のベッド上面への直射を妨げている春作では、根部温度は有害な高温にまで達することは少い。これに対して、秋作においては、夏期の高温時に育苗を行わねばならず、茎葉部が高温になるとともに、茎葉が小さくてベッド上面が直射日光を受け、培養液温度が上昇して、生育、収量をいちじるしく害する場合が多く、解決のぞまれている。

根部温度がトマトの生育におよぼす影響に関して多くの研究が報告されている。Richards et al. (1952), Went (1953, 1957), 門田 (1972), Cooper (1973) などが総説にまとめているが、実験の多くは土耕によるものであり、その結果を直ちに実際の水耕に適用できるか定かでない。また、夏期の高温対策に利用し得る高気温、高液温を取り扱ったデータがとばしい。

これらの観点より著者らは水耕トマトの生育と温度との関係を明らかにするために一連の実験を行ったが、ここには、低気温時と高気温時に培養液温度を調節してトマトを栽培した結果を報告する。



第1図 培養液温度を調節した装置

- A: 冷却パイプ, B: ヒーター, C: 循環用ポンプ,
- D: サーモスタット, E: 温度計, F: 発泡ポリスチレン板,
- G: 通気用発泡石, H: トマト苗, I: 循環ダクト,
- J: プラスチック槽

II 実験材料及び実験方法

実験は気温の低い1~4月と気温の高い5~7月に行った。低気温時の実験では1月31日砂床に播種した大型福寿トマトを第1本葉展開時の2月26日に各実験区に植えた。実験区は培養液温度昼夜とも10, 15, 20, 25, 30, 35°Cの6区を設定した。各区プラスチック製ベッドにれき耕用園試処方第1例培養液(堀:1966)を50ℓ充たして、液面に浮かした発泡ポリスチレン板に13本のトマトを植えた。液温の調節、液の攪拌、通気は第1図に示すような装置により行った。冷却を要しない高温の区ではサーモスタットによりヒーターを点滅し、冷却を要する区では冷却パイプに常時冷水を通じ、ヒーターを点滅することにより一定温度を保った。外側ファイロン、内側ポリエチレン・フィルムで実験を行い、気温は全期間を通じ20~25°Cに保った。温度処理開始後43日目に生育量を測定し、植物体を乾燥の後、個別に無機成分含量を分析定量した。分析法はN:フォーリンネスラー法, P:バナドモリブデン法, K, Ca, Mg, Fe:原子吸光分光法によった。

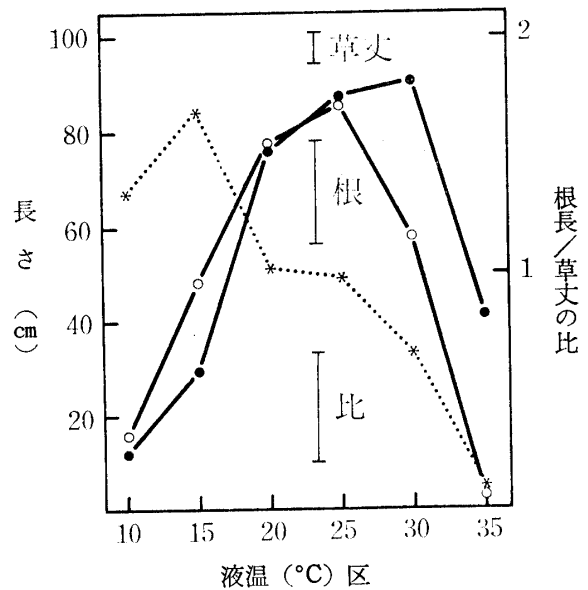
高気温時の実験では5月1日播種の苗を第1本葉展開時の6月5日に実験区に定植した。実験区は培養液温度昼夜とも25, 30, 33, 35, 40°Cの5区を設定し、低気温時の実験と同様の方法により調節した。実験は開放したガラス室内で行い、気温の調節は行わなかつ

た。昼間の最高気温は25~40°Cであった。生育量測定は温度処理開始後10, 20, 30, 40日目に、無機成分の分析は40日目の植物につき行った。

III 実験結果

1 低気温時の実験

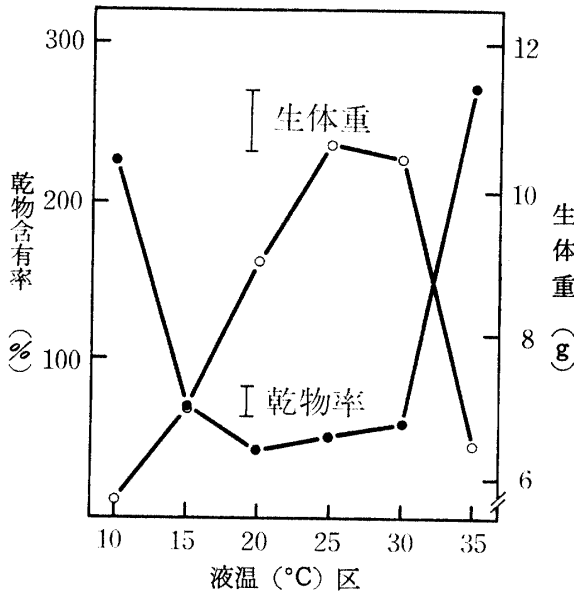
植物体の草丈は第2図にみられるように、10°C区



第2図 培養液温度がトマト苗の草丈、根長におよぼす影響(低気温時) 縦線はLSD:0.05の値

より 30°C 区まで培養液温度が高くなるに従い大きな値を示し、30°C 区で最高となり、35°C 区では急激に減少した。25, 30°C 区以外の各区間に有意差が認められた。根長はこれとよく似た傾向を示し、25°C 区まで液温が高くなるに従い大きくなり、ほぼ草丈に匹敵する値となったが、草丈の場合よりも 5°C 低い 25°C 区を最高にして、30, 35°C 区で急激に減少した。根の形は、10~30°C 区では長く分枝も多く量も多かったが、35°C 区では数cmの太く短い根が多数生じ、分枝や細根の非常に少ない特異な形状を示した。この傾向は根長/草丈比にも現われている。

植物体の生体重は第3図にみられるように、10°C 区より25°C 区までほぼ直線的に増大し、25°C 区で最

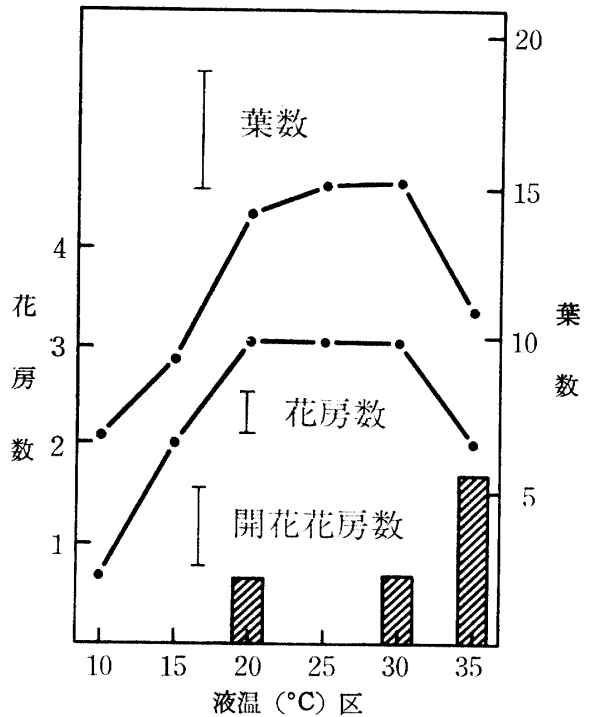


第3図 培養液温度がトマト苗の生体重、乾物含有率におよぼす影響 (低気温時) 縦線は LSD: 0.05の値

高となり、30°C 区では急激に減少した。10, 15°C および 35, 20, 25°C および 30°C 区間にそれぞれ有意差が認められた。乾物含有率は 10, 35°C 区で特に高く、15~30°C 区ではほぼ同じ値を示した。

展開葉数は第4図にみられるように、液温の上昇とともに順次増加し、25, 30°C 区で最高値を示し、35°C 区では減少した。10~30°C 区間では液温との間に相関が認められた。10°C 区、15 および 35°C 区、20, 25 および 30°C 区間に各々有意差が認められた。葉の色や植物体地上部の外観を比較すると、10°C 区では葉は濃緑色で茎は非常に細く、硬い感じであり、35°C 区では茎基部に多数の不定根を生じ、他区と異った外観を示した。10, 35°C 区以外の区ではよく似た形態を示した。

花房として肉眼で明確に識別できる数は 20, 25,



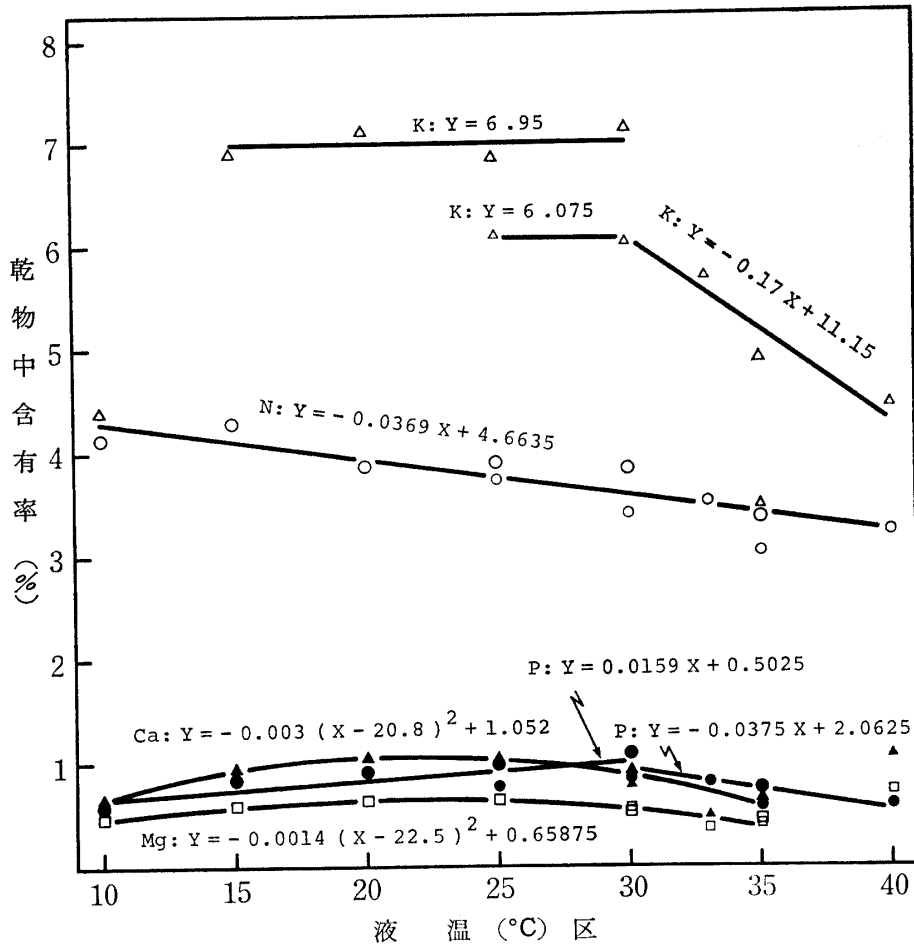
第4図 培養液温度がトマト苗の葉数、花房数におよぼす影響 (低気温時) 縦線は LSD: 0.05の値

30°C 区で同じ値を示し、15°C 以下、35°C では減少した。1花以上開花した花房数は25°C 区で0個、20, 30°C 区で各々 0.7個、35°C 区では 1.7個であった。35°C 区では花房形成数 2.0個に対し開花花房数 1.7個と、他区に比し開花が早かった。

第5図は植物体の乾物重あたり各無機成分含有率を示したものである。図中、大きな符号は低気温時の実験結果を、小さな符号は後述の高気温時の実験結果を示す。N含有率は温度の上昇とともに減少し、液温との間に相関が認められた。P含有率は10°C 区より30°C 区まで温度の上昇とともに増加し、液温との間に高い相関が認められた。35°C 区では非常に低く、全区を通じ最小値を示した。K含有率は15~30°C 区間で同じ値をとり、それ以下もしくは以上の液温区で急激に減少した。10, 35°C 区と15~30°C 区間に有意差が認められた。Ca含有率は15~25°C 区で高く、それ以下もしくは以上の液温区で低かった。15~25°C 区と30, 35°C 区との間に有意差が認められた。Mg含有率は25°C 区で最も高く、それ以下もしくは以上の液温区で低くなった。15, 25°C 区と30, 35°C 区間、10°C 区と25°C 区間に有意差が認められた。

2 高気温時の実験

前実験は気温の比較的低い時期に行ったものであるが、本実験では高気温時に同様の方法で行い、気温の違いにより、液温に対するトマトの反応がどのように



第5図 培養液温度がトマト苗の無機成分含有率におよぼす影響 (各符号: 大は低気温時, 小は高気温時の実験結果)

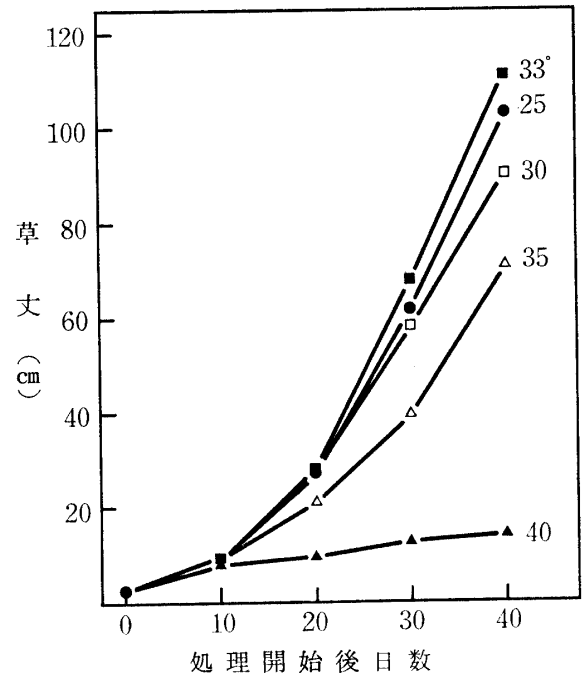
異なるかを明らかにせんとした。前実験の結果により, 生育に好適な高温の限界が30°Cと35°Cの間にあることが明らかになったので, 液温は25, 30, 33, 35, 40°Cを設定した。

第6図は液温処理開始後40日目の各区植物の外観で



第6図 培養液温度がトマト苗の生育におよぼす影響 (高気温時), 左より: 25, 30, 33, 35, 40°C区

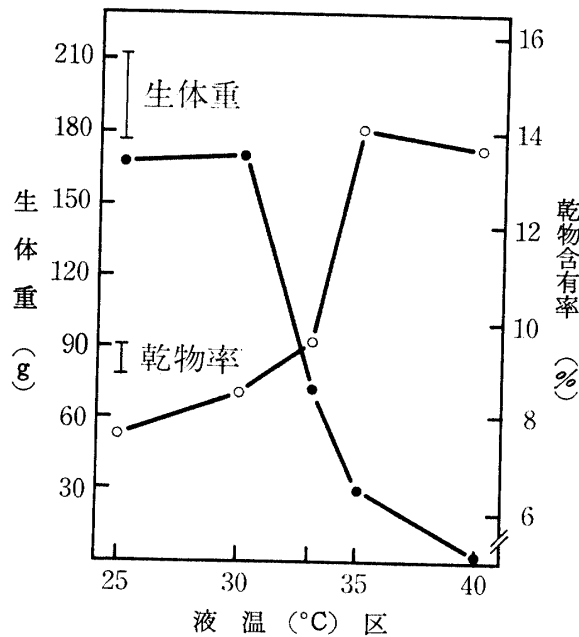
ある。第7図で示されるように, 処理開始後10日目ま



第7図 培養液温度がトマト苗の草丈におよぼす影響 (高気温時)

では草丈にほとんど差がなかったが、それ以後は差異が明らかとなり、25, 30, 33°C区でほぼ同じ値を示し、35°C区で低い値を示し、40°C区では生育は非常に悪かった。25~33°C区と35°C区、40°C区の間には有意差が認められた。

第8図にみられるように植物体の生体重は25, 30°C区では差がなく、33, 35, 40°C区で急激に減少した。



第8図 培養液温度がトマト苗の生体重、乾物含有率におよぼす影響（高温時）縦線は LSD: 0.05の値

特に33°C区での減少がいちじるしく、草丈の場合よりも限界温度が低くなり、30°Cと33°Cの間となった。25, 30°C区と33°C区と35°C区と40°C区の各区間に有意差が認められた。植物体の乾物含有率は25~33°C区で温度の上昇とともに順次増加し、各々の間に有意差が認められた。35°C区では急激に増加したが40°C区との間に有意差はなかった。

40°C区の植物は根が極端に短く、葉は紫色を帯びた濃緑色で、茎は非常に細かった。実験終了後、常温の栽培ベッドに定植したが、生育せずに約50日後にすべて枯死した。

第5図に小さな符号で示されている、乾物中の各無機成分含有率は、大きな符号で示されている低気温時の結果に比しやゝ低い値を示すことが多かった。N含有率は25°C区より温度の上昇とともに減少する傾向があり、40°C区でやゝ増加した。P含有率は25°C区より33°C区まではよく似た値を示し、35, 40°C区で減少した。25°C区と30, 33°C区と35, 40°C区間に各々有意差が認められた。K含有率は25~33°C区でよく似た値を示したが35, 40°C区で大きく減少した。

25~33°C区と35°C区と40°C区間に有意差が認められた。Ca含有率は25°C区から33°C区まで温度の上昇とともに減少し、35, 40°C区で逆に増加する傾向がみられた。33°C区と25, 30, 40°C区間、35°C区と25, 40°C区間、30°C区間、30°C区と40°C区間に有意差が認められた。Mg含有率はCaの場合と全く同様の傾向がみられた。MgとCaの含有率の間に極めて高い相関が認められた。

IV 考 察

低気温時の実験で苗生育の高温限界が30°Cと35°Cの間にあると認められたことと、水耕栽培では培養液温度が30°C以上40°C近くまで上昇することがあるので、高温時の実験では処理温度を40°C区まで設け、さらに33°C区を設定した結果、良好な生育の得られる液温の限界は30°Cと33°Cの間にあると認められた。トマト苗生育の上限温度としては、土耕による Clayton (1923), Hoagland (1944), Abd El Rahman et al. (1959), Lingle et al. (1959), Locascio et al. (1960), 藤重ら (1968), 水耕による Cannel et al. (1963), Alt (1966) の結果とほぼ一致している。生育の低温限界に関しては、気温条件その他が異なるため、多くの研究者の結果よりも低いところがあり、13°Cを限界とする堀ら (1968) のれき耕による結果に近いものと思われる。Martin et al. (1963) は地温13.3°Cと14.4°Cの間でトマトの生育量がいちじるしく異なったことを報告している。

吉江ら (1964) は、乾物率が6~7%, 乾物中Nを4.5%, Pを1%, Kを8~9%含有しているトマト苗を良苗であるとしたが、本実験の結果では乾物率では15~30°C区が、Nで15°C区が、Pで15~30°C区がほぼこの範囲にあり、Kでは15~30°C区が最もこれに近かったが低い傾向を示した。培養液中のK濃度を高めることにより植物体のK含量を増加させることができると思われる(並木ら: 1972)が、トマトの場合K濃度を高めることはCaの吸収を抑制して尻腐れ果を発生させる恐れがあるので注意が必要である。

苗の素質としてこの無機成分含量の他に、生体重、乾物率、根長/草丈の比、葉数、花房数などを比較したが、これらの基準で良好な生長をとげた苗が良苗であるとは限らない。定植後健全な生長を続け、収穫が早く、多く得られるような苗がのぞましい。本実験における低気温時の実験と同様の温度処理をした苗を自然温度で栽培した場合の収穫結果は、別報(並木ら: 1975)に報告したように、20, 25, 30°C処理苗で収穫が早く、収量は15°C処理苗を最高として育苗液温

が高くなるとともに低くなった。これを本実験の結果と比較すると、草丈、根長、生体重、葉数、花房数が大きく、乾物率の小さな苗が早い収穫をもたらす傾向があり、根長/草丈の比の大きな苗が高い収量をもたらしたことになる。収量に関して藤井ら(1962)、加藤(1964)も同様の結果を報告している。水耕栽培による本実験の結果では15~30°C、あるいは20~30°Cの範囲の培養液温度が育苗に最適と思われる。

実験終了時に形成されていた花房数は葉数と平行関係にあり、液温区による差異は栄養生長の差異による間接的なものと思われ、花芽の発達におよぼす根部温度の影響(Phatak et al.: 1966)として明瞭に把握できなかった。実験終了時に開花を始めていた花房数は35°C区で特に多かった。

本実験においては、育苗時の培養液温度を昼夜同じとして調節したが、Went(1944)の"thermoperiodicity"、藤井(1948)の「夜冷育苗」に強調される昼夜の変温、あるいはその一方のみの調節効果および気温が異なる場合の液温の影響の違いなどについて明らかにする必要があり、なお実験を続行中である。

引用文献

- 1) Abd El Rahman, A. A., P. J. C. Kuiper and J. F. Bierhuizen (1959): Meded. Landb-Hogesch. Wageningen, 59: 1—12, cited after Cooper, A. J. (1973).
- 2) Alt, D. (1966): Z. Pfl. Ernähr. Düng. 112: 17—29.
- 3) Cannell, G. H., F. T. Bingham, J. C. Lingle and M. J. Garber (1963): Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 560—565.
- 4) Clayton, E. E. (1923): Amer. J. Bot. 10: 71—88.
- 5) Cooper, A. J. (1973): Root temperature and plant growth. Res. Rev. No. 4, Commonwealth Bureau of Hort. Plant. Crops.
- 6) 藤井健雄(1948): 農及園 23: 139—142.
- 7) ——・伊東正・椎名不二男・湊莞爾(1962): 千葉大園学報10: 59—70.
- 8) 藤重宣昭・杉山直儀(1968): 園学雑 37: 221—226.
- 9) Hoagland, D. D. (1944): Lectures on the inorganic nutrition of plants. Chronica Botanica, Waltham.
- 10) 堀裕(1966): 蔬菜・花卉のれき耕栽培, 養賢堂.
- 11) ——・新井和夫・細谷毅・小山田光男(1968): 園試報告 A7: 187—212.
- 12) 門田寅太郎(1972): 高知大農紀要 21: 1—138.
- 13) 加藤徹(1964): 農及園 39: 1135—1136.
- 14) Lingle, J. C. and R. M. Davis(1959): Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 73: 312—322.
- 15) Locascio, S. J. and G. F. Warren (1960): Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75: 601—610.
- 16) Martin, G. C. and G. E. Wilcox (1963): Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 27: 565—567.
- 17) 並木隆和・福井重光・西新也・高嶋四郎(1975): 京府大農・農場報告 7: 投稿中.
- 18) ——・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 24: 13—19.
- 19) ——・——・沢井勝治・高嶋四郎(1973): 京府大農・農場報告 5: 1—7.
- 20) Phatak, S. C., S. H. Wittwer and F. G. Teubner (1966): Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 88: 527—531.
- 21) Richards, S. J., R. M. Hagan and T. M. McCalla (1952): In Shaw, B. E. ed.: Soil physical conditions and plant growth, pp. 303—480. Academic Press, New York.
- 22) Went, F.W.(1944): Amer. J. Bot. 31: 135—150.
- 23) ——(1953): Ann. Rev. Plant Physiol. 4: 347—362.
- 24) ——(1957): The experimental control of plant growth. Chronica Botanica, Waltham.
- 25) 吉江修司・島田典司(1964): 千葉大園学報 12: 69—74.

Summary

"Ohgata-Fukuju" tomatoes were used to study the effect of nutrient soln temperature on early seedling growth in water culture. Temperatures tested were 10, 15, 20, 25, 30 and 35°C under cool atmospheric conditions, and 25, 30,

33, 35 and 40°C under hot ones.

Tomato growth as expressed by plant height, plant fresh wt, plant dry matter percentage, mineral concn, leaf number and inflorescence number, was best at 20, 25 and 30°C,

rather depressed at 15 and 33°C, and very poor at 10, 35 and 40°C. The optimum for root elongation was some 5°C lower than that for the shoot.

Plant growth at supraoptimal temperatures was characterized by stunted leaves and stems,

extremely short roots, abnormally high dry matter percentages.

The growth response of tomatoes to the effect of nutrient soln temperature was, in some cases, modified by the difference in atmospheric conditions.