体内水分状態あるいは土壌水分状態に基づいてかん水された施設栽培トマトの生育

誌名	園藝學會雑誌
ISSN	00137626
著者名	荒木,陽一
発行元	園藝學會
巻/号	63巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 91-97
発行年月	1994年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

園学雑. (J. Japan. Soc. Hort. Sci.) 63(1) : 91-97. 1994.

体内水分状態あるいは土壌水分状態に基づいてかん水された施設栽培トマトの生育

荒木陽一*

野菜・茶業試験場施設生産部　470-23　愛知県武豊町南中根45

Growth of Greenhouse-Grown Tomato Irrigated on the Basis of Plant or Soil Moisture Status

Yoichi Araki

Department of Protected Cultivation, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea, Taketoyo, Aichi 470-23

Summary

Tomato plants under glasshouse culture frequently suffer from over-luxuriant vegetative growth, resulting in malformed fruits and delayed maturity. By imposing a mild water stress on the plants, a balance between vegetative and reproductive growths can be restored in favor of better fruit growth. To achieve this balance, an irrigation trial was conducted comparing method based on plant water status with that based on soil water status. Irrigated soil depth was 40 cm in both methods.

Vegetative growth was much poorer when plants were irrigated on leaf water potential (Ψ_L) than on soil moisture potential (Ψ_S) of pF 2.0. However, marketable yield and soluble solids contents of the fruits were significantly higher when Ψ_L rather than Ψ_S was used to time the irrigation.

From these results, it is concluded that soil water management based on Ψ_L is preferable to that based on Ψ_S in the forcing cultivation of tomato in greenhouses. Ψ_L of -0.1 MPa in the early growing stage (from planting to flowering on the third cluster) and -0.5 MPa thereafter are recommended as indicators for irrigation; a soil depth of 40 cm is recommended.

緒　言

著者らは，施設トマト栽培における水管理に関する一連の研究の中で，促成栽培トマトについて体内水分状態を指標としたかん水試験を実施し，定植後のかん水制限期間（荒木・五島，1986 c），生育前期のかん水開始点（荒木，1987 b）およびかん水対象土層深（荒木・五島，1986 a），ならびに生育後期のかん水開始点（荒木・五島，1986 b）およびかん水対象土層深（荒木，1987 a）について検討した．そして，かん水対象土層深を40 cmとした場合，かん水を始める葉の水ポテンシャル（かん水開始点）を，生育前期では-1.0 MPa，生育後期では-0.5 MPaにすることが良品多収につながることを明らかにした．

しかし，これらの実験で，かん水開始時における土壌水分吸引圧は，従来から好適とされているpF 2.0（五島，1977）よりかなり高く，pF 2.8以上に達していることが明らかとなった．

トマトは，温室条件下ではしばしば過繁茂に陥り，その結果，果実肥大が遅延したり，奇形果が多発することがある（正木・大野，1981）．このような場合，植物体に適度な水分ストレスを与えることが，栄養生長と生殖生長のバランスをよりよい果実肥大の方向に変えるのに役立つ（久富・藤本，1971）．

そこで本実験では，過繁茂を防止し，良品・多収を達成するための土壌水分管理を確立するために，温室栽培下のトマトについて，体内水分状態を指標とした水管理と，土壌水分状態を指標とした水管理とを比較

1993年6月25日　受理．体内水分を指標とした施設トマト栽培における水管理に関する研究．第5報．

*現在：中国農業試験場畑地利用部．

検討したので，その結果について報告する．

材料および方法

体内水分状態をかん水開始の指標とする試験区（体内水分区）では，かん水開始点（かん水開始時の葉の水ポテンシャル）を生育前期（定植～第3花房開花）には－1.0 MPa，生育後期（第3花房開花～収穫終了）には－0.5 MPaとした．土壌水分状態をかん水開始の指標とする試験区（土壌水分区）では，かん水開始点（かん水開始時の土壌水分吸引圧）を生育全期間（定植～収穫終了）を通してpF 2.0とした．かん水対象土層深（かん水によって湿る土層の深さ）は両試験区とも全期間40 cmとした．

実験はガラス室で行い，地下水の侵入を防止するために床面下50 cmにゴムシートを敷設し，かん水による余剰水を排除するためにその上にドレーンを設置した．

うね立前に，稲わらとpH矯正のための炭酸苦土石灰を，それぞれ10 a当たり100 kg全層施用した．

肥料は，N-P_2O_5-K_2Oを基肥として，20-20-20 kg/10 aをそれぞれ硫安，過リン酸石灰，硫酸カリで全層施肥した．また追肥として，10-6.25-8.75 kg/10 aをリン硝安カリで，第3花房開花時，収穫開始時および収穫盛期の3回に分けて，マルチ下に表層施用した．

実験は接ぎ木栽培で行った．供試品種として穂木にトピック'，台木に'スクラム'を用い，台木は1987年9月16日，穂木は同26日に播種した．10月26日に割り接ぎを行い，第1花房が開花した12月8日に本圃に定植した．栽植様式はうね幅160 cm，株間20 cm 1条植えで，交互に左右に振り分けて誘引した．1区24株とし，各試験区とも2反復した．定植後，マルチ，二重カーテンの展張を行うとともに，夜間暖房を開始した．設定温度は定植から第3花房開花までは12 ℃とし，それ以降は10 ℃とした．1988年2月16日に第6花房の上3葉を残して摘心した．

葉の水ポテンシャルは，定植後1週間目の12月15日からほぼ2日おきに，プレッシャーチャンバー法で測定した．測定は，朝8時30分から9時の間に，上から5葉目の小葉について行った（荒木，1993 b）．葉の水ポテンシャルの測定には毎回3株を供試し，3株とも所定のかん水開始点に達している場合にかん水を行った．葉の水ポテンシャルの測定は，土壌水分区についても同様に行った．

両試験区とも，試験区の中央部付近の株間に地表から5 cm，15 cm，25 cmおよび35 cmの深さにテンシオメーターを設置し，葉の水ポテンシャル同様，12月15日からほぼ毎朝8時30分～9時に土壌水分吸引圧を測定した．土壌水分区は，この中で15 cmの深さに設置したテンシオメーターをかん水開始点測定用とした．また，両試験区とも，これら4本のテンシオメーターの示度を1回のかん水量を算出するために用いた．1回のかん水量は，両試験区とも深さ40 cmまでの土層の土壌水分吸引圧が24時間容水量であるpF 1.5に戻るのに必要な量とし，五島（1977）の方法を用いて算出した．さらに，両試験区とも，これら4本のテンシオメーターの示度から，適正にかん水されたかどうかを判断した．その結果，かん水後，体内水分区については深さ35 cmの土壌水分吸引圧が，また，土壌水分区については深さ25 cmと35 cmの土壌水分吸引圧がpF 1.5より低下することが観察されたが，低下の程度はそれほど大きくなく，ほぼ適正にかん水されたと判断した．

実験期間中，適宜生育調査を行った．生育調査には各試験区とも毎回2株を供試した．植物体は葉面積を調査した後，葉，茎，果実に分けて105 ℃で通風乾燥し，乾物重を測定した．各試験区の中央部で収量調査株を5株ずつ選び，果実を適宜収穫した後重量を測定し，障害の有無を調査した．さらに，果実品質を調査する株を各試験区に2株ずつ設け，各果房で最初に着色が見られた果実の糖度ならびに酸度を測定した．果実は収穫後直ちに－50 ℃の冷凍庫で凍結し，調査を行う前日に冷凍庫から出して解凍した．解凍した果実を搾汁し，濾液について可溶性固形物含量（糖度）は屈折計で，また，酸度は中和滴定法でクエン酸量としてそれぞれ定量した．

結　果

第3花房の開花は1988年1月20日であった．また，果実の収穫開始ならびに収穫終了は，それぞれ3月22日，5月23日であった．そこで，本実験では生育前期を1987年12月8日から1988年1月20日，生育後期を1月21日から5月23日とした．

葉の水ポテンシャル（Ψ_L）の経日変化を第1図に示す．両試験区とも定植の前日に十分かん水したが，Ψ_Lの測定を開始した定植後1週間目では，－1.0 MPaと低かった．この時点で体内水分区はかん水が行われ，その後，日数の経過とともに－0.3 MPaまで徐々に上昇した．また，土壌水分区は，土壌水分吸引圧の測定開始後数日おきにかん水開始点に達してかん

水が行われ，体内水分区同様，−0.3 MPa まで徐々に上昇した．しかしその後，体内水分区の Ψ_L は再度低下を始め，生育前期の終了間際にかん水開始点の−1.0 MPa まで低下してかん水が行われた．これに対して，土壌水分区では−0.5 MPa 以下になることはなかった．生育後期には，土壌水分区の Ψ_L は，しばらくの間は−0.5 MPa 以上で推移し，4 月以降−0.5 MPa 前後で推移するようになった．一方，体内水分区の Ψ_L は終始−0.5 MPa 前後で推移した．

体内水分区と土壌水分区の土層別土壌水分吸引圧（pF）の経日変化をそれぞれ第 2 図，第 3 図に示す．土壌水分吸引圧の測定を開始した定植後 1 週間目の pF は，全土層とも 1.5 前後であった．その後，体内水分区では，Ψ_L が上昇したにもかかわらず，pF は全土層で上昇を続け，1 月 19 日のかん水時には，5 cm と 15 cm で pF 2.8 以上となり，テンシオメーターでは pF が測定不能になった．この時 25 cm ならびに 35 cm の土層でも pF 2.8 まで上昇した．生育後期のかん水時には，全土層とも pF 2.8 前後に達した．これに対して，土壌水分区では定植後 Ψ_L が上昇を続けていたにもかかわらず，pF はかん水開始点に達し，それによるかん水のために，全土層の pF は上昇と低下を繰り返した．pF の測定は 1 日に 1 回しか行わなかったので，生育後期には設定値の 2.0 よりも高くなってからかん水することが多かった．

本圃でのかん水量を第 1 表に示す．生育前期には，

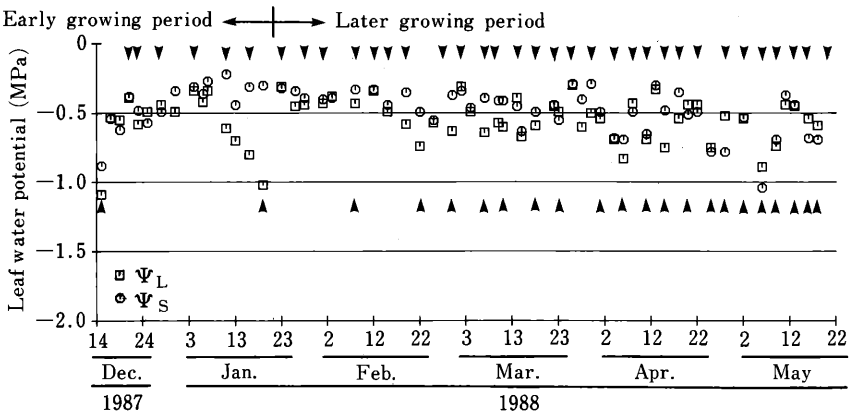


Fig. 1. Seasonal fluctuations in Ψ_L as a function of irrigating tomato plants based on plant moisture (Ψ_L) or soil moisture status (Ψ_S). ▲ and ▼ indicate times of irrigation based on Ψ_L and Ψ_S, respectively.

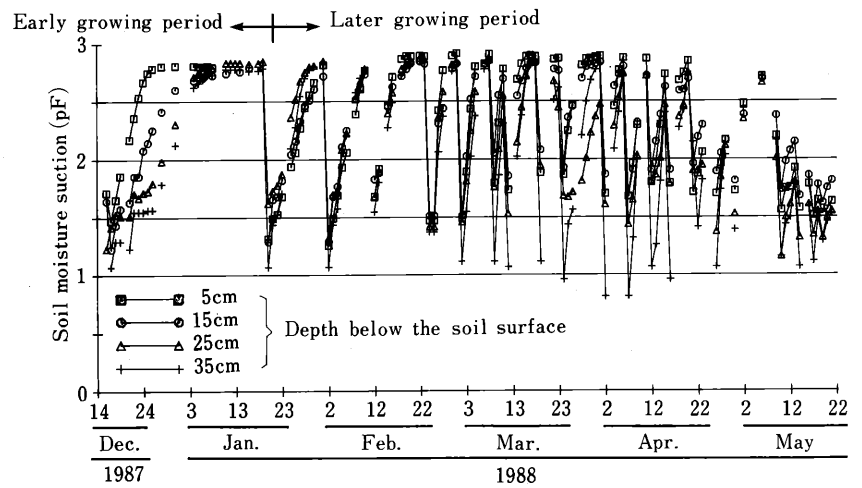


Fig. 2. Seasonal fluctuations in Ψ_S at different soil depths when irrigated based on plant water status.

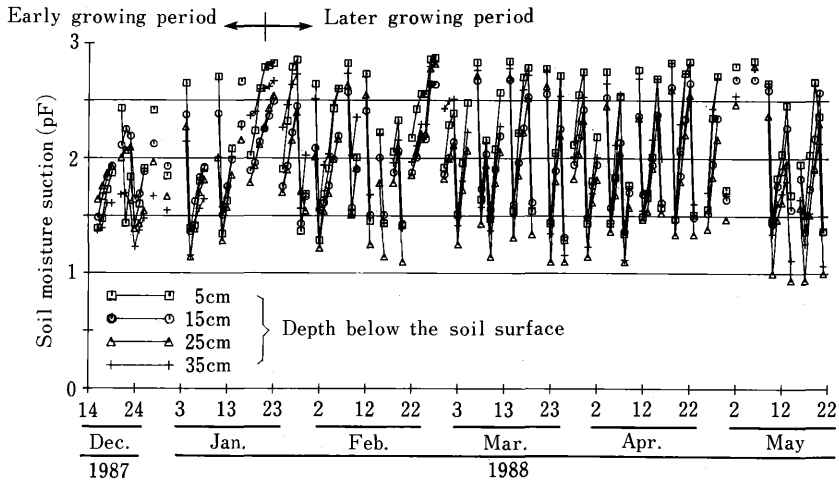


Fig. 3. Seasonal fluctuations in Ψ_S at different soil depths when irrigated based on soil moisture status.

Table 1. Soil water management methods on watering frequency and total amount of water applied in tomato culture under glasshouse[z].

Water management based on Ψ[y]	Early growing period[x]		Later growing period[w]		Total	
	Watering frequency	Amount of water applied	Watering frequency	Amount of water applied	Amount of water applied	Watering ratio[v]
Ψ_L	2	40 mm	21	403 mm	443 mm	1.39
Ψ_S	8	78	29	540	618	1.94

[z] Values represent means of two replicates.
[y] Ψ_L; Leaf water potential, Ψ_S; Soil water potential.
[x] From planting to flowering on the third cluster.
[w] From flowering on the third cluster to harvest of the sixth cluster fruits.
[v] Total amount of water applied/total amount of water evaporated from pan (318 mm).

1回のかん水量は土壌水分区が約 10 mm であったのに対して，体内水分区は2倍の 20 mm であった．かん水回数は土壌水分区が体内水分区の4倍であったので，前期の総かん水量は土壌水分区が体内水分区の約2倍となった．生育後期には，1回のかん水量は両試験区とも 19 mm 前後とほぼ同じであったが，かん水回数は土壌水分区が体内水分区の約 1.5 倍であり，後期の総かん水量も同じく約 1.3 倍であった．全期間のかん水量は土壌水分区が体内水分区の約 1.4 倍で，これをかん水比（総かん水量／全蒸発計蒸発量）でみると，土壌水分区が 1.94，体内水分区が 1.39 であった．

トマトの葉面積ならびに地上部各部の乾物重の経日変化を第4図に示す．トマトの生育は土壌水分区に対して体内水分区で大きく抑制され，特に葉面積は，生育前期の終り頃に試験区間に大きな違いがみられ，この違いは収穫終了時まで続いた．

果実の規格別収量を第2表に示す．可販果の数ならびに重量とも，体内水分区が土壌水分区よりも多かった．しかし，一果重 200 g 以上の果数は土壌水分区が多く，200 g 未満の果数は体内水分区が多かった．一方，不良果の数ならびに重量は土壌水分区が体内水分区よりも多かった．特に，すじ腐れ果や空洞果が土壌水分区で多かった．これに対して，果汁 100 g 未満の小果は体内水分区で多かった．

果実の糖度ならびに酸度の果房別変化を第5図に示す．供試した果実は，各果房とも最初に着色がみられた果実であったために全体的に大果が多く，体内水分区については果重 125 g～200 g，土壌水分区については 150 g～250 g の割合が多かった．糖度は終始体内水分区が土壌水分区よりも高かった．特に第1果房では約1%の差がみられた．酸度にはかん水処理による明確な違いはみられなかった．

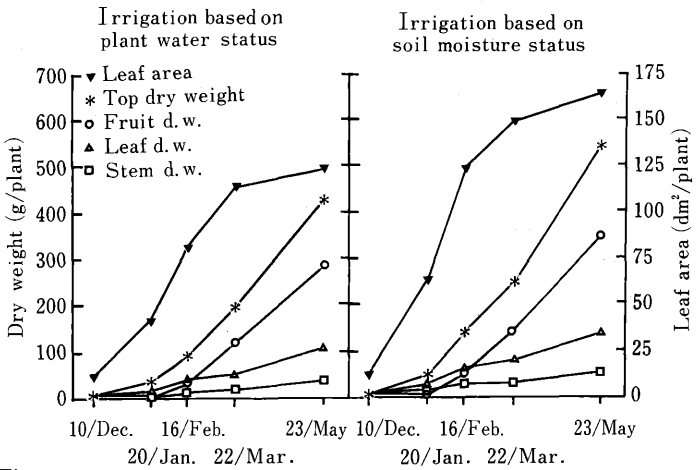


Fig. 4. Leaf area expansion and dry weight accumulation curves by different plant parts when irrigated based on Ψ_L (left) and Ψ_S (right).

Table 2. Comparison between soil water management methods and the yield of tomatoes[z].

	Soil water management based on			
	Ψ_L		Ψ_S	
Class	Number	Weight	Number	Weight
Marketable	/plant	g/plant	/plant	g/plant
>250 g	1.2	362	2.0	669
250 g~200 g	3.0	659	3.4	745
200 g~150 g	8.6	1463	6.2	1069
150 g~125 g	7.6	1014	8.0	1102
125 g~100 g	8.4	940	5.2	582
sub total	28.8	4438	24.8	4167
Yield, t/10 a		13.9		13.0
Non-marketable				
Small fruit[y]	9.8	718	7.2	624
Blotchy-ripened fruit	0.8	85	2.8	278
Puffy fruit	0	0	2.6	324
Others	1.4	291	2.6	367
sub total	12.0	1094	15.2	1593
Total	40.8	5532	40.0	5760

[z] Fruits on the clusters from first to sixth were harvested. Values represent means of 10 plants in two replicates.
[y] Fruits less than 100 g with no physiological disorders.

考　察

両試験区の Ψ_L に大きな差がみられたのは，定植後1月目からの約半月間だけであった．体内水分区のこの間の土壌水分吸引圧は全土層とも pF 2.8 以上に達し，特に地表面下 5 cm ならびに 15 cm の位置ではテンシオメーターでは測定不能になるほど高い値となった．定植後1週間目に−1.0 MPa だった体内水分区の Ψ_L が，その後全土層の pF が上昇を続けたにもかかわらず−0.3 MPa まで上昇したのは，土層別の pF の変化から判断して，トマトの根系が水を求めて土中深くに伸長したためと考えられる．そして，根群内の水分が pF 2.8 以上になるまで減少した結果，Ψ_L が再び低下を始めたと推察される．土壌水分吸引圧が pF 2.8 以上になるまで Ψ_L が低下しなかったのは，本試験と同じ土壌を用いて行ったポット試験の結果（荒木，1993 a）と同じであった．

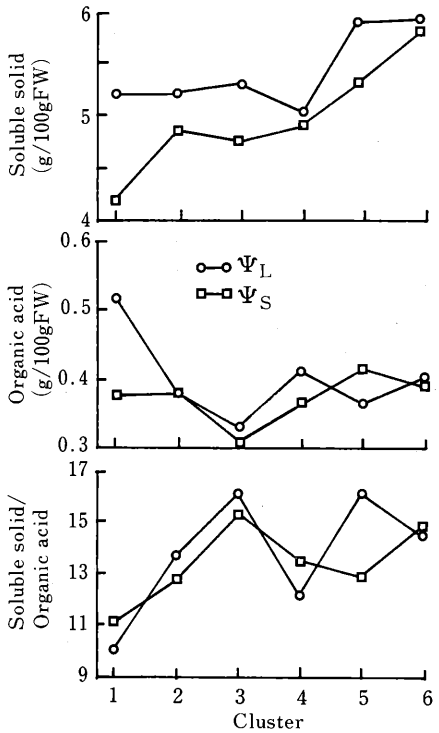


Fig. 5. Variations in soluble solids content, organic acids and their ratios of tomato fruits born on different clusters.

両試験区の Ψ_L に差がみられたのが定植後1月目からの約半月間だけであったにもかかわらず，生育後期の水分消費量には大きな違いがみられ，体内水分区は土壌水分区の約3/4と少なかった．生育後期の両試験区の1回のかん水量はほぼ同じなので，体内水分区で水分消費量が少なかったのは，かん水回数が少なかったことによるものであり，かん水回数の減少は葉面積の拡大が大きく抑制されたことによっていると考えられる．葉面積の拡大の抑制は生育前期の終り頃にすでにみられ，収穫終了まで続いた．トマトの生育が水分ストレスによって一度でも抑制されると，その後水分ストレスが解除されても，水分ストレスを受けなかったトマトの生育にまで回復しない（Gates, 1955; 荒木・五島, 1985）．水分ストレスを利用したトマトの生育制御は，この性質を利用したものであろう．

土壌水分区は体内水分区よりも果実総収量が多かったが，不良果も多かった．不良果が多かったのは，葉面積のデータからも明らかなように，土壌水分区が過繁茂の状態を呈していたためであると考えられる．過繁茂条件下では，空洞果やすじ腐れ果など特有の不良果が多発生することが知られている（正木・大野, 1981）．その結果，良果収量は逆に体内水分区が土壌水分区よりも多くなった．そして，果実の糖度も第1果房から試験区間に差がみられ，体内水分区が土壌水分区より終始高く推移した．特に，第1果房の果実では1%以上の差があったが，これは，水分ストレスの影響がかなり早い段階から現れた結果とみてよいであろう．

以上のように，土壌水分吸引圧を指標とした場合，従来から好適と言われているpF 2.0（五島, 1977）をかん水開始点とすると，トマトは過繁茂の状態を呈し，過繁茂に特有の不良果が多くなって良果の収量が減少し，さらに，果実の糖度も低くなることが明らかになった．したがって，過繁茂にならないように，pF 2.0より高いpFをかん水開始点とする必要がある．本実験においては，土壌水分区のかん水時の土層深15 cmでのpFは2.5を越えていることが多かった（深さ5 cmではpF 2.8）にもかかわらず過繁茂状態になり，土壌水分吸引圧がpF 2.8に達するまでは葉の水ポテンシャルが低下しなかったが，これらのことから判断して，pF 2.8前後をかん水開始点とするのが適当でないかと考えられる．ナスでは，pF 2.7をかん水開始点としても果実収量がいっそう高くなる傾向が見られた（五島ら, 1982）．

本研究の結果，生育制御が必要なトマトの促成栽培においては，プレッシャーチャンバーで測定した葉の水ポテンシャルをかん水開始の指標とするのが有効であることが明らかとなった．この場合，かん水対象土層深を40 cmとして，生育前期（定植～第3花房開花）では−1.0 MPa，生育後期（第3花房開花～収穫終了）では−0.5 MPaをかん水開始点にするのが良いと思われる．ただ，この指針は栽培条件に応じて修正する必要がある．例えば，栽植密度が本実験より高い場合（荒木, 1987 b），基肥施用量が多い場合（荒木, 1987 c），水分保持能が高い土壌の場合（荒木, 1988 b）など，トマトの生育を旺盛にさせる条件下では，生育前期のかん水開始点は−1.5 MPaが適している．また，本実験条件よりも栽植密度が低い場合（荒木, 1987 b），基肥施用量が少ない場合（荒木, 1987 c），日射量が多い作型の場合（荒木, 1988 a）などでは，−0.5 MPaが適している．

プレッシャーチャンバーによる葉の水ポテンシャルの測定は，圃場で簡便に精度良く，短時間に多数の測

定ができ，しかも原理的には測定可能な範囲は無限であるという長所を持っているが，人手による測定のために自動かん水には不向きである．体内水分状態を指標にしたかん水法を実際的なトマト栽培に適用するためには，体内水分状態を自動で連続測定できる方法が開発される必要がある．これについては今後の研究・開発が待たれる．

摘　要

温室栽培下のトマトは過繁茂を呈することが多く，過繁茂は果実肥大の遅延や，空洞果あるいはすじ腐れ果といった生理障害果多発の原因となる．このような場合，適度な水分ストレスは過繁茂防止に有効で，より良い果実肥大のために栄養生長と生殖生長のバランスを変えるのに役立つ．本実験では，そのための土壌水分管理を確立するために，温室条件下のトマトについて，新たに開発した体内水分状態を指標とする水管理と，従来の土壌水分状態を指標とした水管理とを比較検討した．かん水対象土層深は両試験区とも 40 cm とした．

その結果，体内水分状態を指標にしたかん水の方が，土壌水分吸引圧 pF 2.0 でかん水を行ったよりも，栄養生長を抑制した．しかし，可販果収量ならびに果実の可溶性固形物含量は，体内水分状態を指標にしたかん水の方がかなり高かった．

これらの結果から，温室条件下におけるトマトの促成栽培においては，体内水分状態を指標にした土壌水分管理の方が土壌水分状態を指標にするよりも有効であることが明らかとなった．この場合，かん水対象土層深を 40 cm として，かん水開始点を生育前期（定植～第 3 花房開花）では－1.0 MPa，生育後期（第 3 花房開花～収穫終了）では－0.5 MPa とするのが良いと思われる．

謝　辞　一連の本研究「体内水分を指標とした施設トマト栽培における水管理に関する研究」の計画に当たっては，元野菜試験場施設栽培部長小澤行雄博士のご指導をいただき，実施に当たっては元野菜試験場栽培第 3 研究室長五島　康氏のご指導をいただいた．また，本報告の取りまとめに当たっては名城大学農学部教授高野泰吉博士ならびに農業環境技術研究所気象管理科長礒部誠之博士のご校閲をいただいた．ここに記して深甚な感謝の意を表します．

引 用 文 献

荒木陽一．1987 a．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 7 報．生育後期のかん水対象土層深が促成トマトの生育，収量，品質に及ぼす影響．園学要旨．62 春 : 258-259.

荒木陽一．1987 b．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 8 報．促成トマトの栽植密度と生育前期のかん水開始点．園学要旨．62 秋 : 310-311.

荒木陽一．1987 c．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 9 報．促成トマトに対する基肥施用量と生育前期のかん水開始点．園学要旨．62 秋 : 736.

荒木陽一．1988 a．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 10 報．トマトの作型と生育前期のかん水開始点．園学要旨．63 春 : 314-315.

荒木陽一．1988 b．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 11 報．土壌の種類と促成トマトに対する生育前期のかん水開始点．園学要旨．63 秋 : 713.

荒木陽一．1993 a．環境条件がトマトの体内水分状態に及ぼす影響．園学雑．61 : 827-837.

荒木陽一．1993 b．温室栽培トマトの葉の水ポテンシャルの個体間変異とその影響因子．園学雑．62 : 113-119.

荒木陽一・五島　康．1985．水分ストレスがトマトの生育と養水分吸収に及ぼす影響．野菜試報 A．13 : 71-84.

荒木陽一・五島　康．1986 a．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 4 報．促成トマト栽培における生育前期のかん水対象土層深．園学要旨．61 春 : 276-277.

荒木陽一・五島　康．1986 b．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 5 報．促成トマトの生育，収量，品質に及ぼす生育後期のかん水開始点の影響，園学要旨．61 秋 : 238-239.

荒木陽一・五島　康．1986 c．水管理による施設野菜の生育制御に関する研究．第 6 報．定植後のかん水制限期間が促成トマトの生育，収量，品質に及ぼす影響．園学要旨．61 秋 : 604.

Gates, C. T. 1955. The response of the young tomato plant to a brief period of water shortage. Ⅰ. The whole plant and its principal parts. Aust. J. Biol. Sci. 8 : 196-214.

五島　康．1977．施設園芸野菜の水管理とかん水施設．農及園．52 : 177-184.

五島　康・荒木陽一・柴田　明．1982．施設野菜のかん水開始点とかん水量に関する研究．Ⅱ．ナス科果菜について．野菜試報 A．10 : 147-160.

久富時男・藤本幸平．1971．低温期のトマトの生育調整に関する研究．（第 2 報）夜温，土壌水分，光量，苗質および窒素施用量がトマトの生育，収量に及ぼす影響－2^5 要因実験の 1/2 実施．奈良農試研報．3 : 37-54.

正木　敬・大野　元．1981．寡照条件下におけるトマト果実の生育．野菜試報 A．9．115-131.