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

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	62巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 113-119
発行年月	1993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

AgriKnowledge

園学雑. (J. Japan. Soc. Hort. Sci.) 62(1) : 113-119. 1993.

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

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

Individual Variations in Leaf Water Potentials and Their Causal Factors in Greenhouse-grown Tomatoes

Yoichi Araki

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

Summary

To establish an efficient irrigation method based on plant water status for glasshouse-grown tomatoes, variations of leaf water potentials (ψl) among individual plants under forcing culture and their possible causes were investigated.

Coefficients of variability (r^2) for leaf water potentials attributable to plant location ranged from 15 to 25% within a row and between rows. They ranged from 5 to 20% based on leaf position on individual plants. The difference in leaf water potentials within single leaves was much smaller, with the value of r^2 fluctuating between 4 and 10%.

The variations in leaf water potentials among plants located in different parts of the greenhouse are due largely to differences in air temperature and wind speed. Fluctuations of light intensity, relative humidity and soil moisture potential, ψs, contributed to variations but to a considerably lesser extent.

The results indicate that a minimum of three representative plants are needed for leaf water potential measurements in order to establish a reliable irrigation index for glasshouse-grown tomatoes.

The fully expanded leaflet on the fifth leaf from the apex is suitable for the measurement of water potential. Because leaf water potential fluctuates diurnally even under a constant ψs, the auther recommends that mesurements be taken early in the morning at approximately the same time.

緒　言

トマトの体内水分をかん水開始の指標にするために，第1報（荒木・五島，1987）では葉の水ポテンシャルを測定するプレッシャーチャンバー法のトマト小葉への適用方法について報告した．本報では，温室内における葉の水ポテンシャルの変異について検討した．

温室内では，土壌水分をはじめとする各種環境要因が場所により大きく異なる．また，トマトの本葉は一定の規則に従って順次出葉する．さらに，トマトの本葉は複数の小葉を有する不整形の羽状複葉であり，先端の小葉から順次展開し，それぞれ葉齢が異なる．したがって，葉の水ポテンシャルは栽植位置，葉位ならびに小葉により異なると考えられる．

そこで，温室栽培下のトマトを供試して，まず，葉の水ポテンシャルの栽植位置による変異について調査した．そして，その変異の原因を明らかにするために，測定葉周辺の気温，相対湿度，照度，風速ならびに土壌水分を同時に測定した．また，葉位ならびに小葉による変異についても調査した．さらに，測定時刻による葉の水ポテンシャルの変化についても調査した．

1992年3月16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3報．

*現在：農業研究センター耕地利用部．

材料および方法

実験1．栽植位置による葉の水ポテンシャルの変異

温室栽培下の促成作型で検討した．実験には間口3.2 m，奥行17.8 mで16連棟（面積912 m^2）のフェ

ンロー型東西棟温室を用いた．台木'スクラム'を1987年9月16日に，また，穂木'トピック'を9月26日に播種し，10月26日に割り接ぎを行い，第1花房が開花した12月8日にガラス温室に定植した．栽植様式は畦間1.6 mの南北畦に，株間20 cmで1畦96株の1条植えとし，左右に交互に振りわけて誘引した．摘心を6段花房の上3葉を残して行った．定植後は点滴かん水により適宜均一かん水を行い，温度管理は昼温28 ℃，夜温10 ℃とした．

葉の水ポテンシャルの測定はプレッシャーチャンバー法で行い，葉の水ポテンシャルの畦内および畦間での変異について調査した．畦内の変異を調べるために，測定日に任意の畦を選び，左右に振りわけ誘引した一方の株を，南北畦の北端から1株おきに24株抽出した．一方，畦間の変異については，各畦とも畦の南端から同数目（測定日によって適宜選ぶ）の株を，東端の畦から12番目の畦まで12株抽出した．いずれの場合も，最上位展開葉の下5葉目の葉を選び，その葉の先端に向って左側の最初の小葉を水ポテンシャルの測定に用いた．測定は定植後から収穫終了まで適宜行った．各測定日とも朝8時30分から測定を開始し，まず畦内の変異について調査し，次に畦間の変異について調査した．全部の測定を行うのに約45分を要した．

葉の水ポテンシャルの測定直前に測定葉付近の環境条件を測定した．測定を行った環境要因は，気温，相対湿度，照度ならびに風速である．また，土壌水分吸引圧の測定も各畦4か所にそれぞれ土層別（深さ5，15，25および35 cm）に設置したテンシオメーターで行った．得られたデータのうち，環境要因を独立変数，葉の水ポテンシャルを従属変数として重回帰分析を行い，標準偏回帰係数を求めた．

実験2. 葉位による葉の水ポテンシャルの変異

実験1と同じ温室内の株を供試した．実験1の調査の後，任意の株を選んで調査した．摘心までは最下位の測定可能な葉から最上位展開葉の下5葉目まで，また，摘心後は最上位葉まで，各葉について調査を行った．水ポテンシャルの測定には各葉の先端に向って左側の最初の小葉を用いた．

実験3. 小葉による葉の水ポテンシャルの変異

実験2の葉位による変異の調査ののち，同じ株の最上位展開葉から下に第5枚目の葉について任意の6枚の小葉を選び，それらについて水ポテンシャルを測定した（実験2の分とあわせて7小葉）．なお，摘心後は最上位葉の小葉を供試した．

実験4. 時刻による葉の水ポテンシャルの変異

実験1と同じ温室内の株の中から任意に16株を選んで調査株とした．早朝に晴天の日を選んで調査日を決定し，栽培期間中4回調査を行った．各調査日とも8時30分，10時30分，12時30分，14時30分なら

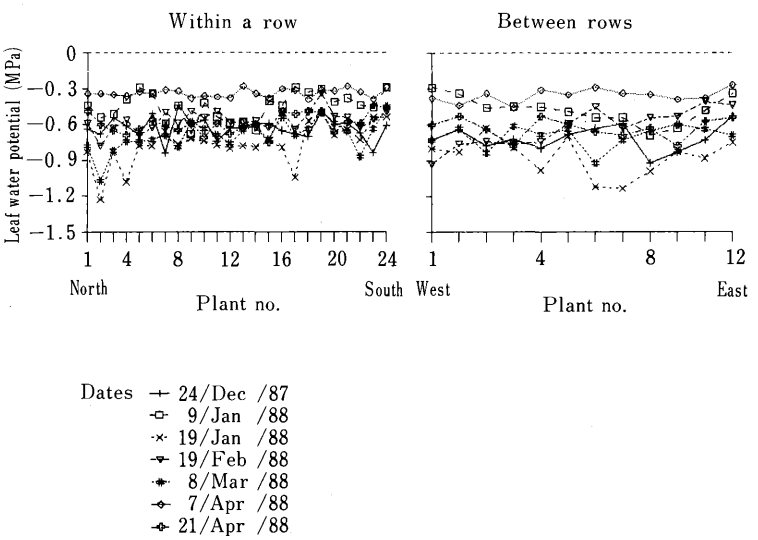


Fig. 1. The differences in leaf water potentials based on the location of tomato plants in a glasshouse.

Table 1. Variations in leaf water potentials based on the location of tomato plants.

Date	Within a row			Between rows		
	Mean	S. D.[z]	C. V.[y]	Mean	S. D.[z]	C. V.[y]
24/Dec/87	−0.634MPa	0.095	14.9%	−0.715MPa	0.109	15.3%
7/Jan/88	−0.448	0.116	25.9	−0.475	0.117	24.7
19/Jan/88	−0.764	0.168	22.0	−0.869	0.157	18.1
19/Feb/88	−0.566	0.086	15.1	−0.627	0.161	25.7
8/Mar/88	−0.691	0.129	18.7	−0.694	0.098	14.2
7/Apr/88	−0.356	0.058	16.2	−0.337	0.035	10.3
21/Apr/88	−0.589	0.085	14.4	−0.629	0.087	13.8

[z] S. D. : Standard deviation.
[y] C. V. : Coefficient of variability (r^2).

びに16時30分に調査した．いずれの場合も，最上位展開葉の下5葉目の葉を選び，その葉の先端に向って左側の最初の小葉を水ポテンシャルの測定に用いた．

結　果

実験1．栽植位置による葉の水ポテンシャルの変異

葉の水ポテンシャルの畦内および畦間の個体変異に関して，7回にわたって行った葉の水ポテンシャルの測定結果を第1図に示す．また，測定日ごとの葉の水ポテンシャルの平均値，標準偏差，ならびに変動係数を第1表に示す．

葉の水ポテンシャルは曇雨天日（1月7日，4月7日）に高く，晴天日（1月19日，3月8日）に低かった．葉の水ポテンシャルの平均値は−0.3 MPaから−0.9 MPaの範囲に分布し，畦間の平均値のほうが畦内の平均値よりわずかに低い傾向がみられた．また，葉の水ポテンシャルの変動係数は，畦内と畦間では異なる場合もみられたが，ほぼ同程度の値が得られ，15〜25%の範囲に分布した．

葉の水ポテンシャルと同時に測定した環境要因について，照度，気温，相対湿度および風速を第2図に，土壌水分吸引圧を第3図にそれぞれ示す．

ほぼ同時刻の測定であるが，測定日が12月から4月にわたっていることや，晴天，曇天ならびに雨天の日を選んで測定日を決定したために，各環境要因は測定日によって著しく異なった．測定した環境要因のうち，風速，土壌水分ならびに照度の畦内および畦間の変異は大きく，気温ならびに相対湿度のそれは小さかった．

重回帰分析によって求めた各環境要因の標準偏回帰係数を第2表に示す．

トマトの葉の水ポテンシャルに対しては気温と風速の標準偏回帰係数が正の大きな値を示し，光強度と相対湿度のそれは同じく正であるがその値は小さかった．これに対して，土壌水分の標準偏回帰係数は負の小さい値を示した．

実験2．葉位による葉の水ポテンシャルの変異

葉位による葉の水ポテンシャルの変異を第4図に示す．また，葉の水ポテンシャルの平均値，標準偏差，ならびに変動係数を第3表に示す．

トマトの葉の水ポテンシャルは葉位によって異なり，下位葉で低下する傾向がみられた．葉位間の葉の水ポテンシャルの変動係数は，測定日によって5〜20%の範囲内に分布した．

実験3．小葉による葉の水ポテンシャルの変異

小葉による葉の水ポテンシャルの変異を第5図に示す．また，葉の水ポテンシャルの平均値，標準偏差，ならびに変動係数を第4表に示す．

1枚の葉でも調査した小葉によって水ポテンシャルが異なり，基部の小葉よりも先端の小葉で低い傾向がみられたが，小葉間の水ポテンシャルの変動係数は，調査時期によって多少異なるものの4〜10%の範囲内にあった．

実験4．時刻による葉の水ポテンシャルの変異

測定時刻による葉の水ポテンシャルの変動を第6図に示す．葉の水ポテンシャルは日変化し，早朝高く，その後昼過ぎまでは低下し，夕方にかけて再び上昇するというパターンを示した．この変化の様相は昼前から急に曇天となった12月18日の測定日以外はほぼ同

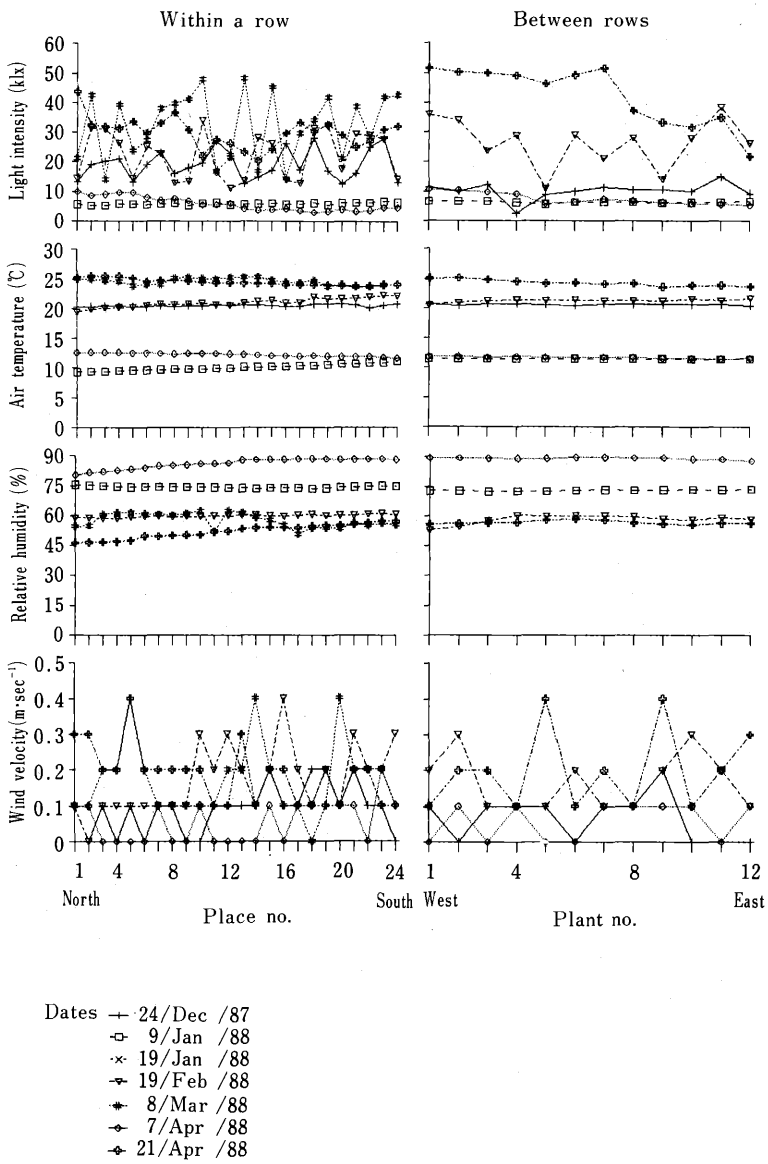


Fig. 2. The differences in light intensity, air temperature, relative humidity and wind velocity in a glasshouse.

じであった.

考　察

温室内の場所による環境要因の変異を調べた報告は多い（内藤，1981；矢吹・今津，1965）が，野菜の体内水分状態の変異を調べた報告は少ない．野菜の体内水分状態をかん水開始の指標とする場合に，問題となるのは，測定個体の抽出と葉位の決定ならびに測定時刻であろう．トマトの場合にはそのほかにどの小葉を用いるかが問題となる．

本研究の結果，トマトの水ポテンシャルは栽植位置，葉位，小葉ならびに測定時刻によってかなり異なることが明らかとなった．栽植位置による違いとしては，

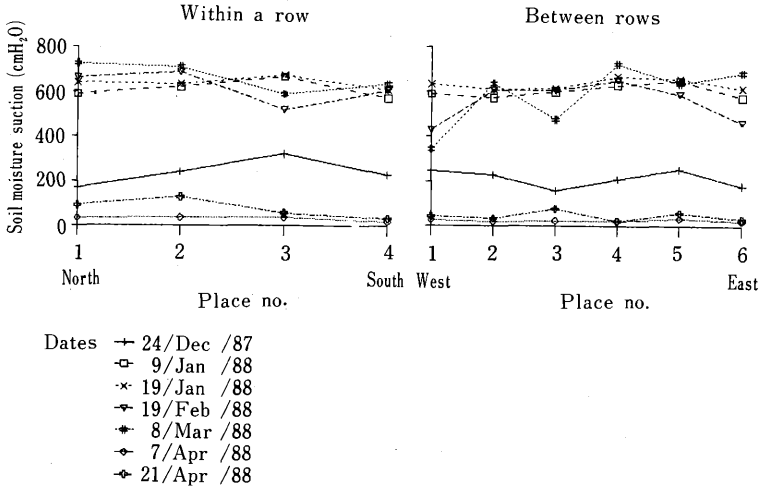


Fig. 3. The variations in soil moisture potentials in different parts of a glasshouse. Measurements were taken at different times of the year. Each symbol is the same as Fig. 2.

Table 2. Relationship between leaf water potential of tomato and some environmental factors.

	Light intensity	Air temperature	Relative humidity	Wind velocity	Soil moisture potential (ψ_s)
Standard partial correlation coefficient	0.0612	0.6194	0.0900	0.7704	−0.3309

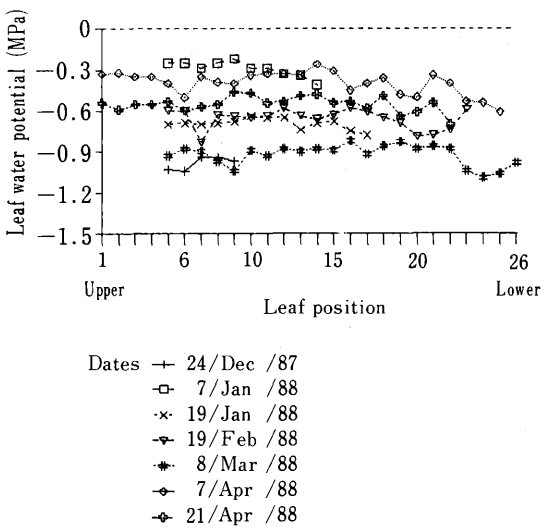


Fig. 4. The differences in leaf water potentials based on the positions of tomato leaves on the individual plant.

Table 3. Variations in leaf water potential among different leaf positions on a plant.

Date	Mean	S. D.[z]	C. V.[y]
24/Dec/87	−0.98MPa	0.048	4.9%
7/Jan/88	−0.29	0.056	19.2
19/Jan/88	−0.70	0.041	5.9
19/Feb/88	−0.66	0.074	11.2
8/Mar/88	−0.92	0.075	8.2
7/Apr/88	−0.40	0.086	21.7
21/Apr/88	−0.55	0.057	10.3

[z] S. D. : Standard deviation.
[y] C. V. : Coefficient of variability (r^2).

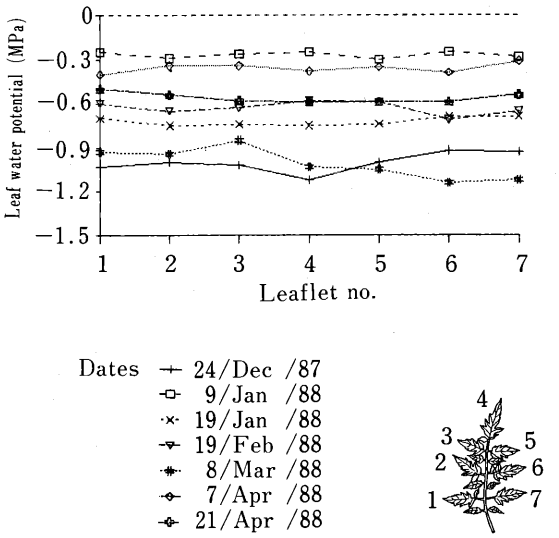


Fig. 5. The differences in leaf water potentials within a single tomato leaf.

Table 4. Variations in leaf water potential within a single tomato leaf.

Date	Mean	S. D.[z]	C. V.[y]
24/Dec/87	−1.00MPa	0.067	6.7%
7/Jan/88	−0.27	0.021	7.8
19/Jan/88	−0.72	0.028	3.9
19/Feb/88	−0.63	0.045	7.2
8/Mar/88	−1.00	0.106	10.5
7/Apr/88	−0.36	0.032	9.0
21/Apr/88	−0.56	0.035	6.3

[z] S. D.: Standard deviation.
[y] C. V.: Coefficient of variability (r^2).

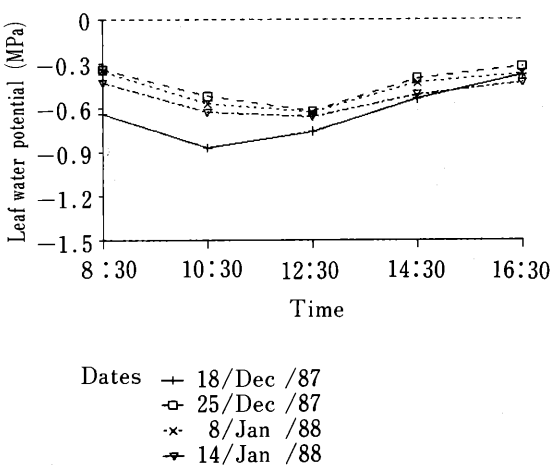


Fig. 6. Diurnal fluctuations in water potentials in a fully expanded, fifth leaf from the shoot apex of a tomato plant grown in a glasshouse.

畦間のほうが畦内よりもわずかに低い傾向がみられた．葉位については，下位葉ほど水ポテンシャルが低い傾向がみられた．また，小葉においても先端の小葉ほど水ポテンシャルが低い傾向がみられた．

一方，葉の水ポテンシャルの日変化については，トマト（Rudich ら，1981），イネ（平沢・石原，1978），ダイズ（有原・渡辺，1977），温州ミカン（町田・間苧谷，1974）において，本実験と同様な日変化が観察されているが，いずれの場合も，日射ならびに気温が高くて相対湿度が低い日中に低くなっていることから，飽差の変化が蒸散をとおして葉の水ポテンシャルに影響していると考えられる．

トマトの葉の水ポテンシャルは栽植位置，葉位ならびに小葉により変異の大きさも異なった．これを変動係数でみると栽植位置による葉の水ポテンシャルの変異が最も大きかった．そこで，栽植位置による葉の水ポテンシャルの変異の原因を知るために，葉の水ポテンシャルの測定と同時に測定個体周辺の数種環境要因を測定した．

重回帰分析の結果，各環境要因の標準偏回帰係数については，気温と風速が大きく，光強度，相対湿度ならびに土壌水分は小さかった．気温と風速の二つの要因の回帰の寄与率が78.1%とかなり大きいことから，栽植位置による葉の水ポテンシャルの変異は気温と風速でかなりの部分説明できると考えられた．

このように，温室内では栽植位置による葉の水ポテンシャルの変異が最も大きいので，葉の水ポテンシャルの測定に当たっては，まず，サンプリング数をいくらにするかが最も重要な問題と考えられる．

そこで，実験1で得られた結果から，葉の水ポテンシャルの測定に必要なサンプル数の推定を試みた．推定には Snedecor の計算式（スネデカー・コクラン，1975）を用いた．すなわち，

95%の確率の場合　$n=1.96\,\sigma^2/L^2$
99%の確率の場合　$n=6.6\,\sigma^2/L^2$

ここで，n：サンプル数（標本の大きさ）
σ：母集団標準偏差
L：推定値の限界値（母集団の平均値の推定に，ある確率をもって認められる許容誤差）

である．

その結果を第5表に示す．推定値の限界値を±0.1 MPa とすると，標準偏差が最大の時に99%の確率でこの範囲におさめるには約20株必要である．しかし，

推定値の限界値を±0.25 MPaとすると，標準偏差が最大の時でも99%の確率でこの範囲におさめるにはわずかに3株を必要とするだけである．実験1から同じ水管理を行った温室内でも，葉の水ポテンシャルは最大±0.25 MPaの変異が観察されたことから，サンプル数としては3株あれば十分と考えられる．これを一つの温室内に配置する場合，畦方向ならびに畦と直角方向をそれぞれ3等分し，それぞれの等分から1株ずつ計3株抽出すれば，全体を代表すると考えられる．

葉位間の水ポテンシャルの変異は，個体間変異よりやや小さかったものの，葉の水ポテンシャルに基づくかん水法においては葉位の選択は重要な問題であると思われる．調査の結果，上位葉から中間葉にかけてはほぼ同じ水ポテンシャルであったが，下位葉になるとそれよりもかなり低下した．したがって，葉位についてはサンプリングのしやすさの点からも上位葉が適していると考えられるが，小葉の葉柄の長さ（測定器の構造上最低1 cm以上必要）を考慮すると，最上位展開葉の下5葉目あたりが適していると考えられる．

小葉による葉の水ポテンシャルの変異は栽植位置や葉位間のそれよりも小さかったが，特に先端の小葉が低い傾向であった．サンプリングの行い易さを考慮すると，本葉の最も基部の小葉が水ポテンシャルの測定に適していると考えられる．

葉の水ポテンシャルは土壌水分状態が同じでも日変化を示したことから，日変化には気象環境要因が関係していると考えられる．気象環境要因の影響を排除し，土壌水分状態をうまく反映させるには早朝あるいは夕方の測定が適しているが，測定後にかん水を行うことを考慮すると早朝の測定が最適と考えられる．

Table 5. Number of samples needed for leaf water potential measurement.

C. L.[z]	S. D.[y]	95%[x]	99%[x]
±0.1MPa	Minimum	1	1
	Maximum	11	19
±0.25	Minimum	1	1
	Maximum	2	3
±0.5	Minimum	1	1
	Maximum	1	1

[z] C. L.: Confidence limits.
[y] S. D.: Standard deviation (see in Table 1).
[x] Probability.

摘　要

体内水分状態に基づいた温室トマトのかん水方法を確立するために，促成作型において葉の水ポテンシャルの個体間変位とその影響因子について調査した．

栽植位置による葉の水ポテンシャルの変動係数は，畦内および畦間とも15～25%の範囲に分布した．葉位による葉の水ポテンシャルの変動係数は，5～20%の範囲内に分布した．小葉による葉の水ポテンシャルの変動係数はさらに小さく，4～10%の範囲に分布した．

栽植位置による葉の水ポテンシャルの変異には，気温と風速が大きく関係していた．照度，相対湿度ならびに土壌水分の変化は，葉の水ポテンシャルの変異の原因としては小さなものであった．

葉の水ポテンシャルをかん水開始の指標にするには，1温室内で3株測定すれば十分であった．その時の調査株は温室全体を代表するように選定し，最上位展開葉の下5葉目の葉の最も基部の小葉が水ポテンシャルの測定に適していた．

さらに，土壌水分が一定でも葉の水ポテンシャルは日変化を示したので，測定時刻を決める必要があり，早朝の測定が適していると考えられた．

引用文献

荒木陽一・五島　康．1987．プレッシャーチャンバー法のトマト小葉への適用．園学雑．56：328-333.

有原丈二・渡辺和之．1977．水ポテンシャル測定法と二・三の測定例．日作紀．46：137-141.

平沢　正・石原　邦．1978．水稲の体内水分と環境条件との関係．第2報．葉の水ポテンシャルと木部の水ポテンシャルについて．日作紀．48：557-568.

町田　裕・間苧谷　徹．1974．果樹の葉内水分不足に関する研究．(第1報)．Pressure chamberによる温州ミカン葉のwater potentialの測定法について．園学雑．43：7-14.

内藤文男．1981．構造様式を異にするガラス室内好適微気象条件の確立．p. 88-91．農林水産技術会議事務局編．高能率施設園芸に関する総合研究．

Rudich, J., E. R. Poblete, M. A. Stevens and A. I. Ambri. 1981. Use of leaf water potential to determine water stress in field tomato plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106：732-736.

スネデカー・コクラン．1975．統計的方法，原著第6版（畑村又好・奥野忠一・津村善郎共訳）．p. 477-480．岩波書店．東京．

矢吹万寿・今津　正．1965．ガラス室の炭酸ガス濃度について．農業気象　20：125-129.