

トマトおよびキュウリの真昼と真夜中における木部いっ泌液の 無機成分濃度

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	柘田, 正治
巻/号	58巻3号
掲載ページ	p. 619-625
発行年月	1989年12月

トマトおよびキュウリの真昼と真夜中における 木部いっ泌液の無機成分濃度

梶 田 正 治

岡山大学農学部 700 岡山市津島

Mineral Concentrations in Xylem Exudate of Tomato and Cucumber
Plants at Midday and Midnight

Masaharu MASUDA

Faculty of Agricultural Science, Okayama University, Okayama 700

Summary

Investigation was carried out to gain a better understanding of the mineral transport from root to shoot during the day and the night. Tomato plants, *Lycopersicon esculentum* Mill, and cucumber plants, *Cucumis sativus* L., were grown in a nutrient solution containing $\text{NO}_3\text{-N}$, P, K, Ca and Mg at concentrations of 16, 4, 8, 8 and 4 meq/l, respectively. Xylem exudates were collected from 2-month-old tomato plants or 1.5-month-old cucumber plants for 1 h just after decapitation at 10 cm above the ground, at midday (12:00) and midnight (0:00) with solution temperatures of 26°C and 20°C, respectively.

Exudation rates in day-time were 8 to 14 times those in night-time in tomato and 7 to 8 times in cucumber plants, respectively. In day-time, the concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ and K in the xylem exudate were higher than those of night-time. On the other hand, P, Ca and Mg concentrations were higher in night-time. In particular, P concentration in night-time was markedly higher than in day-time; that is, 6 times as much in tomato and 5 times in cucumber.

Xylem sap concentration factor (XSCF) calculated as a ratio of mineral concentration in xylem exudate to that in nutrient solution was over 1.0 in both day-time and night-time for $\text{NO}_3\text{-N}$, P and K. These minerals seem to be concentrated at all times in xylem stream of the intact plants.

Xylem stream flow showed down rapidly after decapitation. We found that when the xylem stream flow before decapitation (an intact plant) was high, the reduction rate of flow was also high. The greatest reduction rate of xylem stream flow was 73.2% in the afternoon (14:30).

緒 言

作物の栄養状態を知るために、あるいは根の窒素代謝や根から地上部への養分輸送の研究に木部いっ泌液を採取・分析する方法が古くから用いられてきた(3, 6, 7, 14, 15)。しかし、その一方でこの手法における問題点もまたいくつか指摘されてきた。それはおもに茎を切断した植物と蒸散している無傷植物との関連性について十分な知見が得られていないこと、また採取液の成分濃度に影

響を及ぼす要因についても十分な研究がなされていないことなどである(5, 18)。

勿論、いっ泌流速と蒸散流速の関係についても明らかとはなっていない。それでもなお今日、この手法のもとにトマトの栄養生理に関する研究が幅広く行われていることは(2, 9, 10, 21, 22, 24, 25)、トマトの根の機能を個体レベルで明かにすることの重要性が認識されているからであろうと考えられる。

野菜に関するこれまでの報告によると、切り株に見られるいっ泌現象は普通、数日間続きその出液量には日周期性が認められること(8, 11, 15)、いっ泌液の無機成分

1988年9月26日 受理

本報告の一部は園芸学会昭和59年度秋季大会および60年度春季大会において発表した。

濃度は出流量とは無関係に茎切断後時間の経過とともに変化するので、採取は濃度の安定した時間帯に行うことが望ましいこと(1, 2, 7, 11, 17, 24)などが指摘されている。根から地上部への養水分移行を動的に把握するためには木部いっ泌液の性質についてより詳細な知見と情報が必要となる。

著者ら(12, 13)は先にトマトとキュウリの昼夜間の養水分吸収について、成分吸収量/水吸収量で示される成分吸収濃度がどの成分も夜間には高く昼間には低くなることを報告した。水と成分の根から地上部への移行速度に大きな変化がなければ地際部での茎の木部液においても成分濃度は少なくとも夜に高く昼に低くなるはずである。本研究は真昼と真夜中においてトマトとキュウリの木部いっ泌液を採取・分析し、先に報告した昼夜間の養水分吸収濃度との関連において養分の吸収・移行特性を考察したものである。

材料及び方法

トマト品種‘榮寿’を3月1日に、キュウリ品種‘ときわ光3号P型’を3月15日に播種した。発芽1週間後にそれぞれ水耕用ポットに鉢上げした。4月10日生育の良くそろった苗をそれぞれ16個体選び循環式水耕ベットに株間35cm, 条間26cmで定植した。培養液は園試均衡標準処方とし、ベット内に約100 l, タンク内に約200 l, 合計300 lを1時間に15分間のサイクルで循環させた。培養液は所定の組成で減水分を補い、pH 5.6~6.7, EC 1.6~2.2 mS/cmに維持管理した。5月2日全培養液を更新し5月4日の正午にトマトとキュウリそれぞれ4個体を選び、それらの茎を地際から約10cmの部位で切断した。その直後から自然にいっ泌する木部液を15分毎に別々のフラスコに受け、直ちに無機分析に供した。これは茎を切断したあと、どの時間帯に木部いっ泌液を採取すればよいかをあらかじめ知るためである。

続いて5月7日の正午と8日の午前0時にトマトとキュウリそれぞれ12個体(正午に6個体, 午前0時に6個体)から木部いっ泌液を採取した。採取時間は上述の予備試験より、茎切断直後から1時間ならば各成分濃度はほとんど変化しないことが分かったので、それに準じたが、さらにこの試験では茎切断面における細胞や篩部からのイオンの混入を避けるため、最初の数滴を捨てたのち1時間採取とした。

全てのサンプルは、-20℃のストッカーに保存し前報(11)と同様にして適宜分析に供した。

秋の試験ではトマトは9月10日、キュウリは9月25日に播種した。培養液の管理は春と同様に行った。11月

8日全培養液を更新し、11月13日の正午と14日の午前0時に春と同様にして各々6個体より木部いっ泌液を1時間採取した。栽培期間中の夜間の最低気温は12℃を下らないよう管理した。なお、トマトについては10月25日の1.5か月齢時に夜間の気温を昼間のそれと同じにして午前0時に木部いっ泌液を採取する試験区も設けた。即ち、その日の昼間の採取時の気温を午後6時より暖房機を作動させて維持した。

次に、実験1と2で採取した木部いっ泌液量が無傷作物での水の移動量の何割に相当するかを推量するため茎切断前後で茎内蒸散流速を測定した。2か月齢の水耕トマトにおいて、地際より約5cmの位置に径1mmのヒートパルス源を挿入し、その上流(下部)0.7cmおよび下流(上部)1.0cmの位置に同径のサーミスターを茎の導管部を突き抜けないようセットした。セット部分は外気温の変化をなくすため多量の脱脂綿で十分に覆った。先ず、茎切除25分前より5分間隔で5回ヒートパルスを与え茎内蒸散流速を測定した。その後、セット部より約5cmの位置で茎を切断し10分後から10分間隔で6回ヒートパルスを与え茎内木部液流速を測定した。なお、測定機器は蒸散流速計(林電工 Model, HP-1)を用い、流速の算出法は森川(16)によった。

結果及び考察

木部いっ泌液の無機成分濃度の経時的変化を第1図に示した。トマトではリンとカルシウムが時間の経過と共に若干高まる傾向にあった。硝酸態窒素、カリ、マグネシウムの濃度はほとんど変化せず非常に安定していた。一方、キュウリではカリシウムがわずかに上昇する以外はどの成分濃度も変化せずトマトより安定していた。木部いっ泌液分析による根から地上部への養分輸送濃度の研究では、そこで測定される成分濃度が無傷作物の蒸散流木部液の濃度を反映していることが重要であるが、実際に両者の濃度が一致しているかどうかを知ることは困難である。Pate(17)は無傷作物の濃度を代表させる時間帯は茎切断後2時間内が良いとし、ArmstrongとKirkby(1)は茎切断後1時間の内でも15~60分の濃度が最も安定することを認めている。Wilcoxら(25)も茎切断と同時にアンモニア態窒素を処理すると、処理後1.5~2.5時間でいっ泌液のカルシウムとマグネシウム濃度が低下するとしている。茎切断後1時間をこえるといっ泌液の成分濃度が大きく変化することはキュウリにおいても認められる(11)。

無傷作物の成分濃度に近似の濃度を得るためには、トマトでは茎切断後出来るだけ早い時間内に木部いっ泌液を採取・分析する方が良いと推察されたが、実際10分

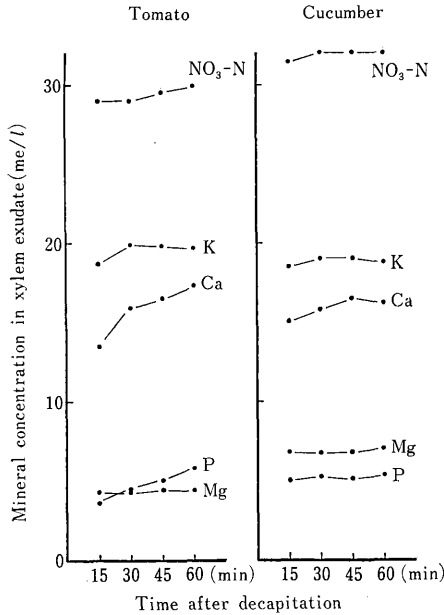


Fig. 1. Changes with time after decapitation in mineral concentration of xylem exudate in tomato and cucumber plants.

や 20 分では分析に必要な量だけ木部液が採取できない場合もあり、以後の実験においてはトマト、キュウリとも茎切断後 1 時間の採取とした。

春と秋におけるトマトの木部いっ泌液濃度を第 2 図に示した。硝酸態窒素は春作で 21 me/l, 秋作で 25 me/l, と秋に若干高くなり、両作ともその濃度は夜より昼の方が少し高くなる傾向を示した。リンは昼の濃度に比べて夜の濃度が著しく高く、春作では夜が 27 me/l, 昼が 4 me/l で夜は昼の約 7 倍となった。秋作においても同様で夜は昼の約 5 倍となった。ところが、カリは逆に昼の方が高く、春作では昼が 21 me/l, 夜が 15 me/l で昼は夜の約 1.4 倍となった。秋作では昼の濃度が更になくなったため昼/夜の濃度比は 1.7 となった。カルシウム、マグネシウムについては、春・秋とも夜の濃度が高く、昼の濃度の 2.6 倍~1.7 倍となった。

一方、キュウリについて見ると、硝酸態窒素とカリの濃度はトマト同様昼に高くなる傾向を示した。リン濃度は夜間に著しく高く、春作で約 20 me/l, 秋作で 36 me/l を示し、それぞれ昼の濃度の 4 倍および 6 倍となった。カルシウム、マグネシウムの濃度も夜間に高くなる傾向にあった (第 3 図)。

著者ら(12, 13)は春作のトマトとキュウリについて、本試験と同じ圃試均衡標準培養液における昼夜間の養水分吸収を調べ、吸収量/吸水量により成分吸収濃度を求

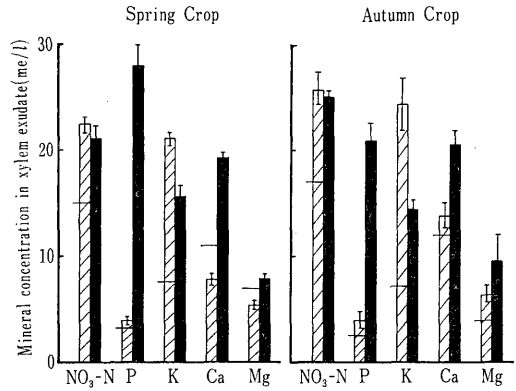


Fig. 2. Differences of mineral concentration in xylem exudate of tomato plants, at midday (▨) and midnight (■). Horizontal bars indicate the concentrations of nutrient solution and vertical bars indicate SD.

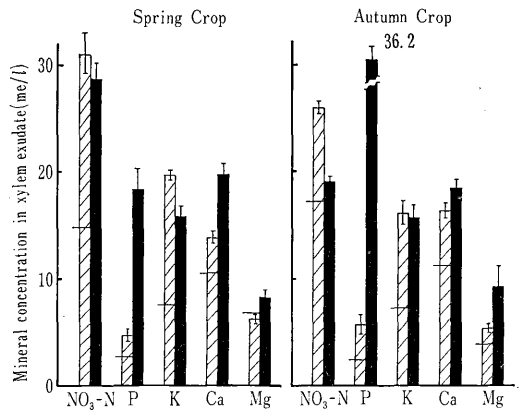


Fig. 3. Differences of mineral concentration in xylem exudate of cucumber plants, at midday (▨) and midnight (■). Horizontal bars indicate the concentrations of nutrient solution and vertical bars indicate SD.

めた。それによると昼間の濃度は、どの成分も培養液の濃度に近い値となるが、夜間はどの成分も培養液の濃度よりはるかに高い値となる。本試験の木部いっ泌液濃度においても、夜はどの成分も培養液濃度より高い値を示した。しかし、昼夜の濃度の比較においてみると硝酸態窒素とカリにおいては、夜より昼の方が高くなる傾向を示し、これは夜間が昼間の 2.2~3.7 倍と夜にたかくなった先の吸収濃度(12, 13)とは明らかに異なるものであった。すなわち、昼夜濃度の高低で比較する限り、硝酸態窒素とカリに関しては吸収濃度といっ泌液の濃度は昼夜で逆転する結果となった。なぜこのようなことになるのか現在検討中であるが、一つには夜間の吸収と移行に

Table 1. The ratio of mineral concentrations of xylem exudate to mineral concentrations of nutrient solution in 2-month-old tomato plants, at midday and midnight.

Season of cultivation	Decap. time	Temp. at decap. time		Volume of sap (ml/h)	XSCF ²				
		Air	Solution		NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
Spring	Midday	25°C	27°C	37.8±2.8	1.5	1.2	2.8	0.7	0.7
	Midnight	16	21	2.8±0.2	1.4	8.6	2.1	1.8	1.2
Autumn	Midday	26	25	27.7±1.2	1.5	1.6	3.4	1.2	1.6
	Midnight	15	20	3.6±0.5	1.5	8.5	2.0	1.8	2.5

² Xylem sap concentration factor (XSCF)=Mineral conc. in xylem sap/mineral conc. in nutrient solution.

Table 2. The ratio of mineral concentrations of xylem exudate to mineral concentrations of nutrient solution in 1.5-month-old cucumber plants, at midday and midnight.

Season of cultivation	Decap. time	Temp. at decap. time		Volume of sap (ml/h)	XSCF ²				
		Air	Solution		NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
Spring	Midday	25°C	27°C	28.4±2.9	2.1	1.7	2.6	1.3	0.9
	Midnight	16	21	3.4±0.3	1.9	6.8	2.1	1.9	1.2
Autumn	Midday	26	25	12.8±2.6	1.5	2.3	2.2	1.4	1.4
	Midnight	15	20	1.9±0.2	1.1	15.1	2.2	1.6	2.4

² Xylem sap concentration factor (XSCF)=Mineral conc. in xylem sap/mineral conc. in nutrient solution.

かなりの time-lag が存在するのではないかと考えられる。夜間に吸収された硝酸態窒素とカリの一部は根に滞留し、翌朝に地上部に移行すると考えれば理解できる。勿論、吸収濃度は昼間（午前6時から午後6時まで）と夜間（午後6時から翌日の午前6時まで）の平均値として示されているのに対して、いっ泌液の成分濃度は昼夜間の代表として正午と午前0時に採取・分析されたものであることや、昼夜の温度が前報のそれと必ずしも同一でないことなど環境要因の影響を考慮しなければならない。それでもなおかつ、いっ泌液の硝酸態窒素とカリ濃度はそれらの吸収濃度に比べて昼に高すぎ夜に低すぎると言える。

トマトを連続光下で育てると、遂には枯死することが知られているが(4)、この現象も1つには昼夜間の養分吸収とその移行を含めた栄養代謝に関連しているのかも知れない。

次に、トマト・キュウリの木部いっ泌液量およびいっ泌液の濃縮係数を第1表と第2表に示した。RussellとShorrocks(20)は放射性同位元素を使って24時間内に地上部に移行する成分量と水量から蒸散流中の成分濃度を求め、培養液濃度に対するその比率を Transpiration Stream Concentration Factor (TSCF) と表現した。本試験では培養液の成分濃度に対するいっ泌液の成分濃度の比率をこれに準じて Xylem Sap Concentration Factor (XSCF) と記し、これをいっ泌液濃縮係数と名づけた。まずトマトについて見ると、春・秋ともいっ泌液量は昼と夜で大きく異なり春作の昼で37.8ml/h、夜で2.8ml/h

と昼は夜の13.5倍となった。秋作においても同様に昼に高くそれは夜の7.7倍となった。濃縮係数については、春・秋とも夜のリンが8.5と最も高く、次いで昼のカリが約3、その他の成分は昼夜ともほとんど1.2~2.0の範囲にあった。しかし、春作のカルシウムとマグネシウムは昼0.7となり、これだけが濃縮係数1以下となった。

一方、キュウリについて見ると、春・秋ともいっ泌液量はトマトと同様昼間に多く春作では28.4ml/hで夜の8.4倍、秋作では12.8ml/hで夜の6.7倍となった。濃縮係数についてもトマト同様に夜のリンが最も高く、春作で昼の6.8、秋作で15.1となった。その他の成分は春作の昼間のマグネシウム値の0.9を除いて全て1以上となった。これらの試験では表中にも示した様に茎切断時の気温及び液温は昼と夜で大きく異なっている。すなわち、気温で10°C 液温で5°C の差がある。このような昼夜の温度較差がいっ泌液量やいっ泌液の成分濃度に影響を及ぼすことは十分想定されたので、当日の夜間の気温を昼間の茎切断時の気温に維持して夜間のいっ泌液を採取した。その結果を第3表に示した。夜間の気温は昼の気温と同じ24°C に維持できたが、水温は23°C で昼間の19°C より4度高かった。このときのいっ泌液量は昼16.7ml/h、夜8.2ml/hで昼は夜の約2倍となり、上述の温度較差下での13.5倍と比べて著しく小さな値となった。いっ泌液濃縮係数は夜のリンが4.8、昼のカリが3.8と高く、他は全て1.2~2.8の範囲にあった。また昼夜の濃度については、硝酸態窒素は昼の方が若干高

Table 3. Mineral concentrations in xylem exudate of 1.5-month-old tomato plants after decapitation, at the same air temperature during day and night.

Decap. Time	Temp. at decap. time		Volume of sap (ml/h)	Mineral concentration (me/L)				
	Air	Solution		NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
Midday	24°C	19°C	16.7±1.0	25.0±0.6	4.1±0.4	26.5±0.7	11.8±0.8	3.9±0.7
Midnight	24	23	8.2±0.1	23.9±0.4	10.8±0.9	18.8±1.4	19.1±1.7	5.7±0.1

* Night air temperature was maintained at 24°C from 18:00 to 1:00.

く、リンは夜が高く昼の2.5倍、カルシウムとマグネシウムも夜が高く昼の約1.5倍、カリは逆に昼が高く夜の1.4倍となった。

一般に、作物のいっ 泌液濃縮係数は通常1以上を示すが、この値は培養液の濃度が低くなるほど大きくなり、高くなるほど小さくなる。例えば、トマトおよびキュウリ幼植物のいっ 泌液カルシウム濃度は、培養液濃度が6 me/lのときには濃縮係数は1以上、18 me/lでは1以下となる(23)。しかし、本試験でも明かになったようにいっ 泌液濃縮係数は昼と夜で大きく異なる。カルシウムとマグネシウムは昼に1以下となるようなことがあっても夜には1以上に上昇する。この値の昼夜間差の最も大きいのがリンで最も小さいのが硝酸態窒素であることが明らかになった。

次に、茎切断に伴う茎内蒸散流速の変化を第4図に示した。当日は、晴天で切断前の流速は時刻によって異なったが、どの株とも切断前25分間の流速には大きな変化は見られなかった。茎を切断すると、流速は急激に低下し徐々にではあるが時間の経過とともに更に低下する傾向を示した。その低下率を第4表に示した。茎切断前の流速値は午後2時過ぎの測定株において46.6cm/hと最も大きかったが、切断後の低下率もまた最も大きくなった。この低下率は日中が最大で朝夕に近づくほど減少した。

一般に、根から地上部への水の移動速度は蒸散作用と根圧によって律速されると考えられている(6, 20)。しかし、蒸散の盛んな植物では根圧は極めて小さくほとんど無視できる程度であるとされているし、その根圧は根か

ら離れるに連れて小さくなり遂には全く見られなくなる とされる(19)。本試験のトマトでは地際から10cmの高さで茎を切断しているの、得られた結果はこの部位における蒸散力と根圧の関与の程度を示すものであろう。茎を切断すると蒸散の影響がなくなるため流速は急激に低下し、その値は日中には切断前の約1/4にもなる。このことから、日中の水の移動にはこの部位で蒸散力が約75%、根圧が約25%の割合で働いているものと推定で

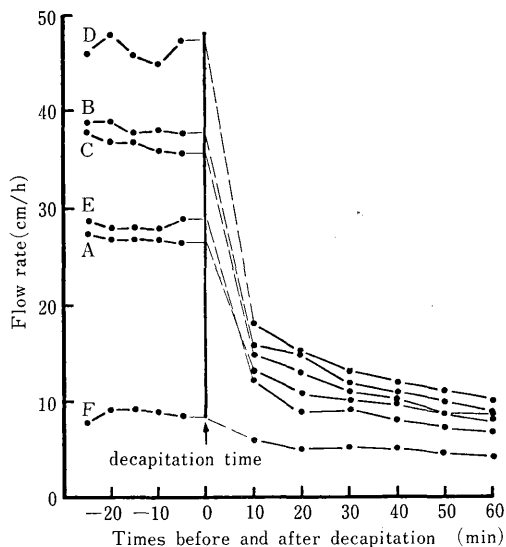


Fig. 4. Changes of flow rate in xylem stream before and after decapitation in tomato plants. Decapitation time: A. 9:30 B. 10:30 C. 12:00 D. 14:30 E. 16:30 F. 20:30

Table 4. Rates of xylem stream flow before and after decapitation at different times in tomato plants.

Decap. time	Light intensity at decap. time (klx)	Flow rate (cm/h)		$\frac{A-B}{A} \times 100$
		Before decap. (A)	After decap. (B)	
9:30	28	26.7	10.9	59.2
10:30	48	38.4	12.8	66.7
12:00	53	36.8	10.3	70.2
14:30	78	46.6	12.5	73.2
16:30	24	28.4	8.7	69.4
20:30	0	8.6	4.8	44.2

きる。また逆に、そこで得られたいっ泌液量を約4倍すればそのときの水の移動量が推定でき、本試験のトマトでは第1表より真昼の最大いっ泌液量が37.8 ml/hであることから1時間に $37.8 \text{ ml} \times 4 = 151.2 \text{ ml}$ の水が地上部へ移動したことになる。そして、この量といっ泌液の成分濃度から時間当りの成分移動量を算出することができる。

養分の移行を動的に把握するためには、今後さらにインタクトな状態で木部液の成分濃度を検知する方法、つまり非破壊的測定機器の開発が望まれる。

摘 要

養液栽培のトマトとキュウリの昼・夜における根から地上部への養分輸送濃度を知らうとして、春と秋の2回、午前0時と正午に地際より10cmの位置で茎を切断し1時間木部いっ泌液を採取して無機分析を行った。培養液は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P、K、Ca、Mgそれぞれ16、4、8、8、4 meq/lで、採取時の生育ステージはトマトが2か月齢、キュウリが1.5か月齢である。

1. いっ泌液量は真昼(液温:26°C)に多くトマトでは真夜中(同:20°C)の8~14倍量、キュウリでは7~8倍量であった。硝酸態窒素とカリの濃度は、トマト・キュウリとも夜より昼に高くなる傾向にあった。一方、リン濃度は夜に著しく高くなり、トマトでは夜は昼の5~7倍、キュウリでは4~6倍となった。カルシウムおよびマグネシウム濃度はリンと同様に夜に高くなる傾向にあったが、トマト・キュウリとも夜/昼の値はリンほど高くはなくどちらも2.6以下であった。

2. いっ泌液の成分濃度を培養液濃度で除した値をいっ泌液濃縮係数と表現したが、この値が昼夜とも1.0を越すのは硝酸態窒素、リン、カリで、これらは無傷個体の木部液中において常に濃縮されているものと推察された。カルシウム、マグネシウムについては昼に1.0以下となることもあった。濃縮係数の最大値はトマト・キュウリとも夜のリンでその値は7~15を示した。

3. トマトの茎を切断すると茎内蒸散流速は急激に低下した。その低下率は、朝夕よりも日中に大きく、一般に蒸散流速値が大きいほど低下率も大きくなる傾向にあった。最大減少率は73.2%で、この時のいっ泌液量及び無機成分量は無傷トマトでの移動量の約1/4に相当しているものと推察された。

引用文献

1. ARMSTRONG, M. J. and E. A. KIRKBY. 1979. Estimation of potassium recirculation in tomato plants by comparison of the rates of potassium and calcium accumulation in the

tops with their fluxes in the xylem stream. *Plant Physiol.* 63: 1143-1148.

2. ARMSTRONG, M. J. and E. A. KIRKBY. 1979. The influence of humidity on the mineral composition of tomato plants with special reference to calcium distribution. *Plant and Soil* 52: 427-435.
3. ARISZ, W. H. 1951. Analysis of the exudation process in tomato plants. *J. Exp. Bot.* 2: 257-297.
4. BLEASDALE, J. K. A. 1973. *Plant physiology in relation to horticulture.* MacMillan Press, London and Basingstoke. 33 p. (2nd Ed.).
5. BOLLARD, E. G. 1960. Transport in the xylem. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 11: 141-166.
6. BOWLING, D. J. F. 1976. Uptake of ions by plant roots. Chapman and Hall, London. 153-173.
7. HOFSTRA, J. J. 1964. Amino-acids in the bleeding sap of fruiting tomato plants. *Acta Botan. Neerl.* 13: 148-158.
8. 穂積清之・野中正義・木下隆雄. 1976. 野菜のいっ泌液に関する研究。(第1報)果菜類のいっ泌液量の日変化について. *園学要旨.* 昭51秋: 132-133.
9. KIRKBY, E. A. and A. H. KNIGHT. 1977. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation, and cation-anion balance in whole tomato plants. *Plant. Physiol.* 60: 349-353.
10. LORENTZ, H. 1976. Nitrate, ammonium and amino acid in the bleeding sap of tomato plants in relation to form and concentration of nitrogen in the medium. *Plant and Soil* 45: 169-175.
11. MASUDA, M. and K. GOMI. 1982. Diurnal changes of the exudation rate and the mineral concentration in xylem sap after decapitation of grafted and non-grafted cucumbers. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 51: 293-298.
12. 梶田正治・吉沢和秀・五味 清. 1984. トマトの栄養特性に関する研究。(第1報)昼夜の養水分吸収と養水分移行について. *園学要旨.* 昭59春: 226-227.
13. 梶田正治. 1985. キュウリの昼夜間における養水分吸収と養水分移行について. *園学要旨.* 昭60春: 258-259.
14. MINSHALL, W. H. 1964. Effect of nitrogen containing nutrients on the exudation from detopped tomato plants. *Nature* 202: 925-926.
15. MINSHALL, W. H. 1968. Effect of nitrogenous materials on translocation and stump exudation in root systems of tomato. *Can. J. Bot.* 46: 363-376.
16. 森川 靖. 1972. 樹液流測定装置と測定法. *日林*

- 誌. 166-171.
17. PATE, J. S. 1962. Root-exudation studies on the exchange of ^{14}C -labelled organic substances between the roots and shoot of the nodulated legume. *Plant and Soil* 17: 333-356.
 18. PATE, J. S. 1973. Uptake, assimilation and transport of nitrogen compounds by plants. *Soil Biol. Biochem.* 5: 109-119.
 19. リチャードソン. 1975. 植物の物質移動 (吉田邦久. 訳) p. 21-33. 朝倉書店. 東京.
 20. RUSSELL, R. S. and V. M. SHORROCKS. 1959. The relationship between transpiration and the absorption of inorganic ions by intact plants. *J. Exp. Bot.* 10: 301-316.
 21. 鐘 鈴峰・加藤 徹. 1987. ナス科果菜の比較生理生態的研究 (第4報) 木部泌液の無機成分濃度に及ぼす培養液濃度の影響. *生環調.* 25: 97-102.
 22. TACHIBANA, S. and I. SUZUKI. 1980. Studies on the fertilization and cultivation of horticultural crops under covering conditions. VI. Effects of the concentration of nutrient solution on the chemical constituent in the root exudate of cucumber and tomato. *Bull. Fac. Agr. Mie Univ.* 60: 1-13.
 23. 橋 泰憲. 1982. 各種植物のカルシウム吸収・移行特性. 日本土肥学会編. *植物と金属元素.* p. 5-33. 博友社. 東京.
 24. WIDDERS, I. E. and O. A. LORENZ. 1982. Ontogenetic changes in potassium transport in xylem of tomato. *Physiol. Plant.* 56: 458-464.
 25. WILCOX, G. E., MITCHELL, C. A. and J. E. HOFF. 1977. Influence of nitrogen form on exudation rate, and ammonium, amide, and cation composition of xylem exudate in tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 192-196.