

NFT水耕システムにおけるメロンのイオン吸収の動態

福山 寿雄・岡田 秋盛*

Dynamic Aspects of Ion Uptake by Melon Plants under a NFT Cultivation System

Toshio FUKUYAMA and Akimori OKADA

緒 言

わが国のマスクメロンは、その香り、美味、形状のよさなどから”果物の王様”といわれ、主に贈答用として重宝されている。このため、高級志向の非常に強い作物であり、その栽培も篤農的な技術が優先している。

いまやメロンは全国的に生産されているが、優秀なメロン栽培は静岡県を中心とした一部の地域に限定されている。そこでは伝統的な土耕栽培が行われ、綿密な生産管理のもとで周年栽培されている。

一方、新しい養液栽培技術の確立や^{2,5,11)}、コンピュータを積極的に導入した施設園芸システムの進展などから^{1,7,10,12,13,14)}、作物の光合成や蒸散活動などの生体情報を考慮した栽培システムがクローズアップされ、これに伴い、大衆消費を目指した効率的なメロンの生産が可能になった^{4,5,6,7)}。

そこで筆者らは、新しい養液栽培として最近注目を集めているNFT (Nutrient Film Technique) 水耕システムを取り上げ、良品のマスクメロンを計画的に生産する手法を確立する目的で栽培試験を行った。今回は、とくに少量の培養液で合理的に栽培管理する給液システムを考え^{3,8)}、その生産過程におけるイオンの吸収特性について検討した。その結果若干の知見が得られたので報告する。

材料および方法

1. 供試材料および培地の構造と養液管理

供試材料としてマスクメロン (Cucumis melo L. Var. reticulatus Naud cv. Tokai R-240) を用いた。苗の育成は、1985年8月3日、パーミキュライト培地に播種し、子葉が完全に展開した時に稚苗の根部を2.5cm角のウレタンブロックに1本ずつ挟んでNFTの育苗ベッドに移して行った。本床

* コスモ松山石油株式会社
(Cosmo, Matsuyama Oil Co., LTD)

への定植は、本葉が2.5~3.0葉に展開した8月15日に行った。栽培床は Fig. 1 に示すように、幅90cm、長さ10mのプラスチックのシートを緩傾斜1.5%に敷き詰めたものである。栽培密度は3.3m²当り7.6本とし、1ベッド当り30本を栽植した。

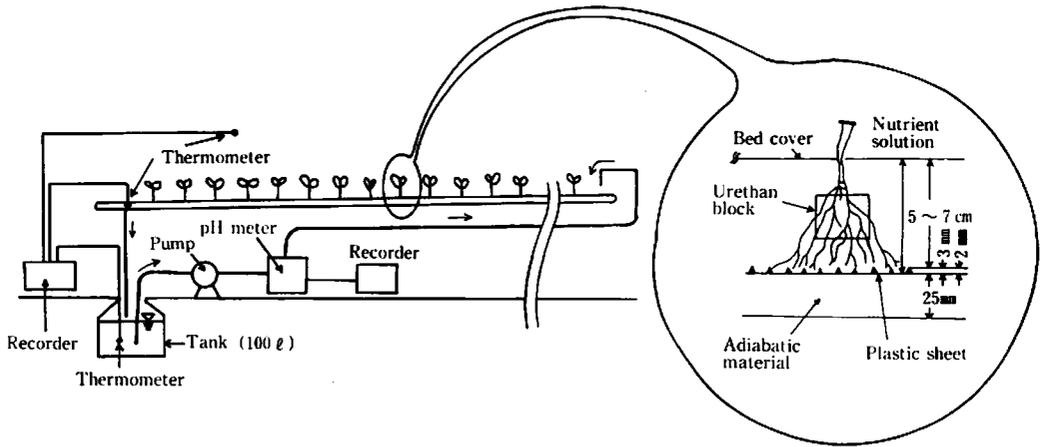


Fig. 1 Schematic diagram of NFT hydroponic system

Table, 1 Management of nutrient solution

	Seedling stage	Vegetative stage	Developmental stage of fruit	Maturing stage of fruit	
				First stage	Second stage
EC (mS/cm)	0.7-1.0	1.0-1.2	1.3-1.5	1.2-1.3	0.8-1.0
pH	5.5-6.5	5.0-6.5	5.0-7.0	5.0-6.5	5.5-6.5

Table. 1 は幼苗期からメロン成熟期にいたる期間の生育に応じた養液管理 (EC, pH) について示したものである。

培養液は大塚ハウス液肥1号および2号を用い、3対2の割合で混合し、使用に当たっての希釈倍率は1,400倍とした。この場合における濃度 (EC) は約1.0mS/cmとなり、各種成分の組成は、それぞれ NH₄: 6 mg, NO₃: 64.4mg, PO₄: 26.1mg, K: 99.3mg, Mg: 3.36mg, Ca: 32.4mg, SO₄: 59.3 mg, Fe: 0.779mg, Mn: 0.476mgであった。

すなわち、幼苗期には吸収条件を考慮して、最適値よりもやや低めの濃度 (EC) 0.7—1.0mS/cm で供給し、pHは5.5—6.5とした。活着期から交配期にかけては次第にルートマットが形成され、生育は旺盛となってくるので、EC 1.0—1.2mS/cm, pH 5.0—6.5とした。

次に、果実肥大期には根の機能が活発となり酸素要求量や養分吸収量が多くなるため^{6,9,13,15,16,17,18,19}、濃度を高めてEC 1.3—1.5mS/cmとしpHは5.0—7.0とした。さらに、果実成熟期の前半期になると根の機能は老化が始まるため^{3,4,6,17,18}、培養液濃度ECを少しさげて1.2—1.3mS/cm, pH 5.0—6.5とした。また同時期の後半期に入ると、ECを更に下げて0.8—1.0mS/cmとして、pHは5.5—6.5になるよう、それぞれ培養液の調整を行った。

2. 培養液のECおよびpHの測定ならびに各種イオンの分析

水耕培養液のEC測定は、横河北辰電気製作所株式会社のECメータ(MODEL-EC51)を用いて行った。またpHについては、同社のpH連続測定機(8511—8024)を用い、Fig.1に示すとおり培養液タンクの給液側に組み込み、連続測定を行った。

各種イオンの分析は次の通り行った。 NH_4 はイオン電極法(ORION RESEARCH INCORPORATED MODEL #9510, SERIAL #G01)により、 NO_3 は還元蒸留した後、中和滴定法によって求めた。また PO_4 はモリブデン青吸光、光度比色法(島津製作所株式会社—UV—210A)によって行った。さらにK、Ca、Mg、などのイオン濃度は原子吸光法によって求めた。また、資料の採取は、栽培期間中毎日午前9時に行った。イオンの吸収量は前日の同時刻から当日の9時までに消費された培養液中のイオン濃度の差によって求めた。また、今回の実験では、分析の精度をより高めるために培養液タンクの容量をできるだけ少なくして、一株当りの液量を2.2 l/dayで賄えるようにした。また培養液タンク中にはできるだけ不溶性塩類などが集積しないように配慮した。培養液の採取およびEC、pH等の計測後は液量の調整を行った。

結果および考察

作物の生育を評価する場合、長期的にみた物質生産による生長解析と、短期的にとらえた光合成などの生理プロセス(経時的変動)を考え合わせた生理、生態学的立場から検討することが重要である。

1. NFT水耕システムで栽培したマスクメロン果実の評価

Table.2はNFT水耕システムで栽培したマスクメロンの収穫果実の評価を示した。またTable.3は、収穫果実全体を級別に評価したものである。すなわち、1個当りの生果重は約1.5kgと大きく、果形も(縦径、横径は)ほぼ同等の値を示し、形状の評価は高い。しかも、果肉の厚さは3.8cmと比較的厚く、その上、糖度(Brix%)は13%と高い品質の果実が得られた。従って、上級品の果実が50%をしめ、低品位のそれは15%にとどまった。このように、十分満足できる結果がえられた。

2. 生育ステージに伴う養分吸収速度の推移

Fig.2は栽培、生育に伴う養分吸収速度の推移を示したものである。図中の(A)は活着時期、(B)は交配期、(C)はネット発現初期、(D)は果実発育最盛期、(E)は果実成熟期を示す。定植してから活着、交配、主茎の摘心時期に至るいわゆる栄養生長

Table. 2 Quality of fruit

Fresh weight (kg/fruit)	1.491±0.178
Diameter Longitudinal (A) (cm)	13.77±0.78
Transverse (B) (cm)	13.74±0.62
(A)/(B)	1.003±0.036
Thickness of flesh (cm)	3.82±0.28
Sugar content Brix (%)	13.0±1.3

Table. 3 Evaluation of fruit quality

High grade	50%
Middle grade	35%
Low grade	15%

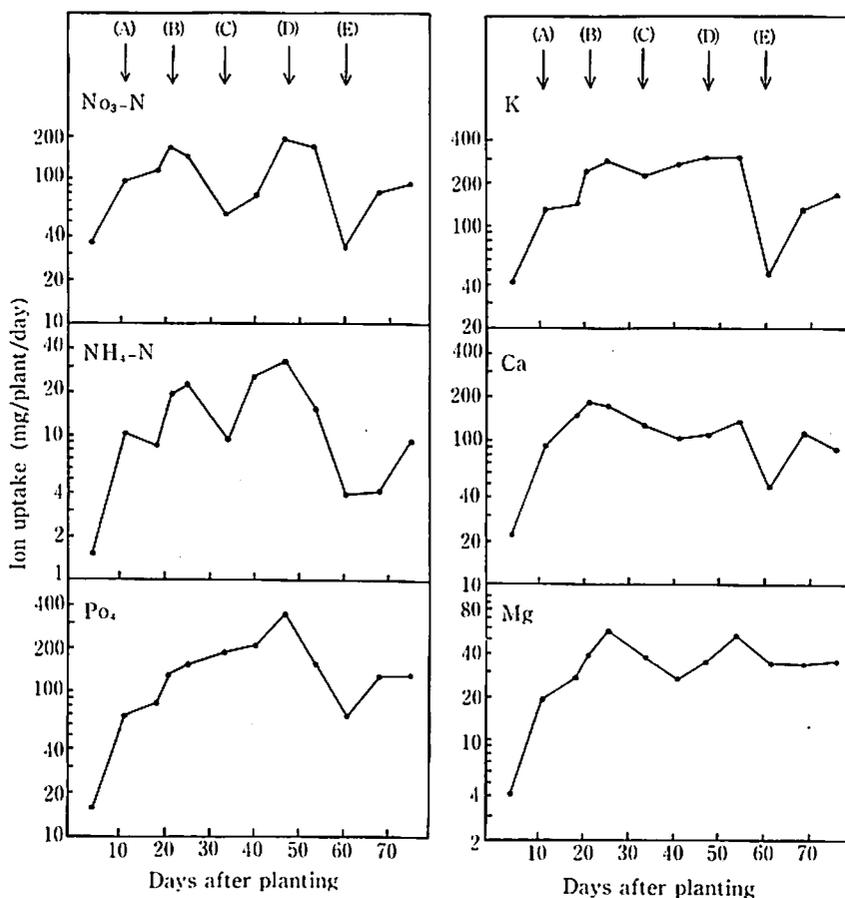


Fig. 2 Changes of ion uptake from planting stage to harvesting stage

- (A): Stage of taking root (11 days after planting)
- (B): Stage of crossing (21 days after planting)
- (C): Net manifestative stage (33 days after planting)
- (D): Developmental stage of fruit (46 days after planting)
- (E): Maturing stage of fruit (61 days after planting)

の盛んな時期では、地上部、地下部ともに著しい伸長を示すが^{4,8)}、この時期の、イオンの吸収速度は
 いずれの成分とも急激に増加していることがわかる。これを成分ごとに見ると、 NH_4 や NO_3 などのN
 吸収では、この時期に第1回目のピーク（図中（B）時点）が現れる、以後果実の着果、および玉の
 硬化が進むにつれて、漸次減少する傾向がみられる。しかし、ネット発現以後、果実の発育肥大およ
 び種実の充実が進むにつれて再びN吸収速度は増加し、果実発育の後期頃（図中（D）時点）にな
 ると第2のピークを示しているのがみられる。その後は果実成熟期（図中（E）時点）に入り吸収速度
 が急激に減少することがうかがえる。

PO₄の吸収についてみると、交配期まではN吸収と同様に急激な増加傾向がみられるが、果実の着果、肥大生長期になると増加速度はやや緩やかとなるが、果実発育最盛期にはピークとなり、それ以後は急激に低下することが認められた。

Kの吸収については、交配、主茎の摘心の時期までは他の成分と同様に急激な増加傾向を示している。しかし、それ以後はネット発現の初期(図中(C)時点)に僅か低下するが、あまり変化はみられず、果実発育後期頃(図中(D)時点)まで比較的高いレベルで推移している。さらに果実成熟期(図中(E)時点)になると、その吸収速度は急激に衰えて減少した。

Caの吸収をみると、交配期までは他のイオン吸収と同様に急激に上昇するが、その後は緩やかな減少傾向を示す。また果実発育後期頃になると僅かながら増加するが、果実成熟期を境に急速な低下がみられた。

Mgについては、前記NH₄の吸収パターンによく類似した傾向がみられた。すなわち交配期になると第1回目のピークを迎えるが、ネット発現初期にやや低くなり、果実発育後期頃になると再びピークが現れる。更に果実成熟期に入るとやや減少する傾向がみられ、生育に伴う養分吸収速度の変動は、他の成分に比してその幅は小さいことがわかった。

3. 生育ステージにおけるpHの日変化

Fig. 3は各生育ステージ(A)、(B)、(C)、(D)時点における培養液中のpHの日変化を示したものである。活着時期におけるpH値の変動はほぼ6.5前後で安定しており、あまり変化は認められない図(A)。しかし、生育が進み発育の旺盛な交配、主茎の摘心時期になると非常にダイナミックな変動をしているのがみられる図(B)。すなわち午前9時に培養液の調整を行うと、日中のpHは大きく低下し、16時頃にその値は最も低くなっている。そして日没とともに上昇するが、夜半になると前日の調整時のレベルまで回復している。ネットの発現初期になると、日中緩やかに低下する傾向を示している。この時期には17時にも培養液の調整を行っているが、夜間はほとんど変化がなく、ほぼ一定の値を維持している図(C)。果実発育後期では、日中に大きく低下し、その後も低下したままの状態翌朝まで経過しているのがみられた図(D)。

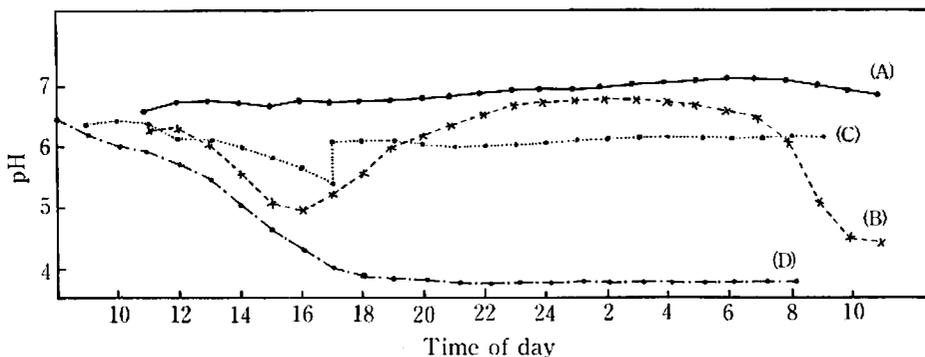


Fig. 3 Diurnal changes of pH in the stages of (A), (B), (C), and (D) shown in Fig. 2.

以上はそれぞれ各生育ステージを異にした pH の変動についてみたものである。一般に培養液中の pH 値はそのトータル成分の濃度バランスを示す目安ともなるが、生育時期などの違いによって養分吸収は異なると考えられるため、どの成分の変動によって pH 値が影響をうけているのかはわからない。そこで、各種イオンの吸収速度の日変化について明らかにすることが重要であると考えた。

4. 生育ステージにおけるイオン吸収の日変化

Fig. 4 の (a) は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{PO}_4\text{-P}$ の、(b) は K、Ca、Mg の吸収速度の日変化についてみたものである。(A)、(B)、(C)、(D)、はそれぞれの生育時期を表す。図より $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、K の日変化の変動は活着期 (A)、ネット発現初期 (C) では小さいが、交配期 (B)、果実発育後期 (D) ではそれがかなり大きくなっていることがわかる。すなわちこれらの成分をみると、(A)、(C) のステージでは経時的にあまり吸収されていないが、(B)、(D) のステージにおいては日中にかかなり激しい吸収がみられ、濃度は急激に低下して、夜間の吸収速度は停滞気味となる。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の (A)、(B) のステージに限ってみると培養液調整後数時間のうちに吸収され、なくなってしまうことがわかる。Ca と Mg については、各生育ステージでかなり複雑な日変化を示していることがうかがえる。特に (B) のステージにおいてはその変化が著しく、また両者とも (A) ステージでの日変化は小さいが、その後のステージではいずれも大きな日変化を示している。

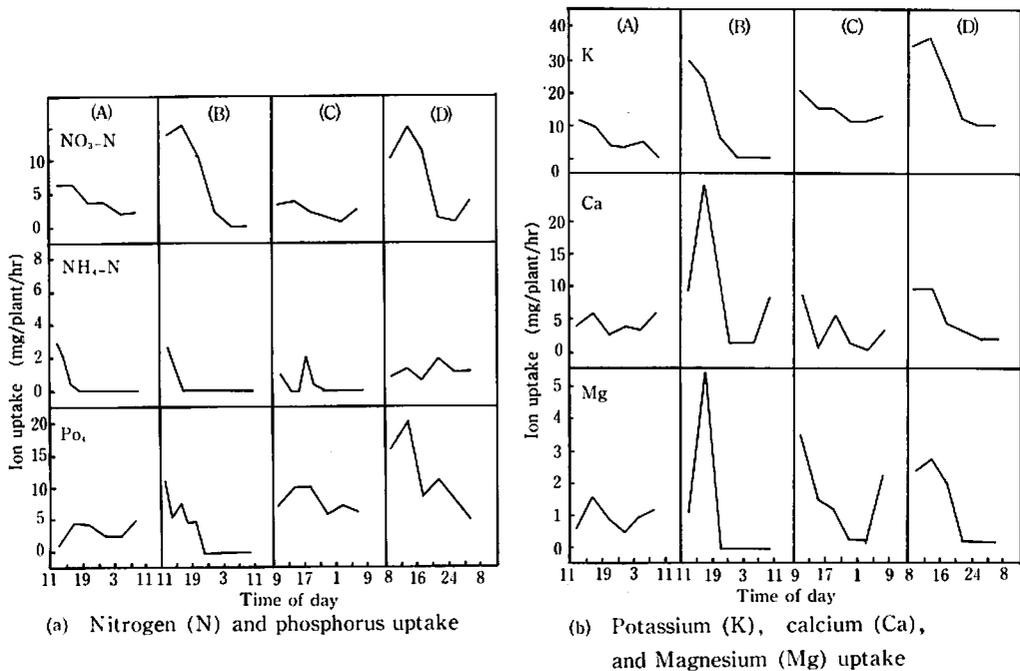


Fig. 4 Diurnal changes of ion uptake in the stages of (A), (B), (c) and (D) shown in Fig. 2.

以上のように、今回の実験では5要素のイオン吸収の日変化の動向を短期的にとらえて検討した。その結果、各生育ステージにより養分の吸収速度も日変化の度合いもかなり異なっていることが明らか

になった。とりわけ交配期と果実発育後期においては、その吸収割合が最も顕著であることがわかった。

摘 要

最近注目を集めるようになったNFT水耕システムを用いて、マスクメロンの養分吸収について検討した。

- 1) 養分吸収速度は交配時および主茎の摘心期頃に急速に高まり、その後一時低下するが、果実発育後期になると再び上昇することを認めた。
- 2) pH の変化は交配期と果実発育後期において、日中著しく低下する現象がみられた。
- 3) 生育ステージに伴う養分吸収速度の日変化は、活着期とネット発現期において小さく、交配期と果実発育後期において大きくなる傾向を示した。
- 4) 以上のことから、交配期、主茎の摘心時期においては、養分濃度を一時的に制限して、できるだけ上位葉の伸長抑制をはかることが栽培管理上重要なポイントであると考えた。

引 用 文 献

- 1) 福山寿雄・仙頭照康・橋本 康・柳下紀久次 (1981) 愛媛大学農場のコンピュータ栽培について (第1報) CACP(Computer Aided Protected Cultivation)における園芸作物の栽培 園芸学会昭和56年度春季大会講演要旨 286—287.
- 2) 福山寿雄・森本哲夫・橋本 康・船田 周 (1984) 施設栽培における最適調節への生体情動的アプローチ (1) 日本生物環境調節学会第22回大会講演要旨 6—7.
- 3) 福山寿雄・藤田政利・岡田秋盛・松浦貞幸 (1985) NFTシステムによるマスクメロン栽培 (第1報) 交配期前後における培養液のEC、pHおよびK、Ca、Mgの変動 園芸学会昭和60年度秋季大会講演要旨 286—287.
- 4) 福山寿雄・森本哲夫・橋本 康・船田 周 (1986) メロンの施設栽培における根系の環境調節 生物環境調節 24 (1), 9—20.
- 5) 福山寿雄・森本哲夫・橋本 康・船田 周 (1986) 養液栽培におけるメロンの生体情報と気孔の観察 日本生物環境調節学会第24回大会講演要旨 54—55
- 6) 森本哲夫・福山寿雄・橋本 康 (1987) NFTにおける間欠給液がメロンの生長に及ぼす影響 生物環境調節 25 (2) 67—69.
- 7) 福山寿雄・森本哲夫・橋本 康 (1987) ロックウール栽培における給液量の違いがメロンの生長に及ぼす影響 日本生物環境調節学会第25回大会講演要旨 68—69.
- 8) 森本哲夫・福山寿雄・橋本 康 (1987) メロンの栽培におけるNFT間欠給液の効果 日本生物環境調節学会第25回大会講演要旨 70—71.
- 9) M. Andre, D. Massimino and A. Dagueneat (1987) Daily patterns under the life cycle of a

- maize crop II. Mineral nutrition, root respiration and root excretion. *Physiol. Plant.* 44 : 197—204.
- 10) Y. Hashimoto, B. R. Strain, T. Morimoto and T. Fukuyama (1984) Identification of plant responses in energy conservative greenhouses. *Acta Horticulturae* 148 : 287—295.
 - 11) T. Morimoto, Y. Hashimoto and T. Fukuyama (1985) Identification and control of hydroponic system in greenhouse. *Proc. 7th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation. Vol. 2* : 1689—1693.
 - 12) Y. Hashimoto, T. Morimoto and T. Fukuyama (1985) Some speaking plant approach to the synthesis of control system in the greenhouse. *Acta Horticulturae* 174 : 219—226.
 - 13) T. Morimoto, T. Fukuyama, Y. Yi and Y. Hashimoto (1988) Identification of physiological dynamics in hydroponic. *IFAC Symposium on identification and system parameter estimation, Beijing, China. (in press)*
 - 14) 津野幸人・福山寿雄 (1970) 作物栽培の自動化に関する研究 (1) 自動栽培装置の開発ときゅうりの栽培 日本生物環境調節学会第8回大会講演要旨 10—11.
 - 15) 鈴木英次郎 (1970) 第6章 果実の発育に関する生理, 「温室メロン栽培の基礎」85—114; 第7章 栽培管理の実際「温室メロン栽培の基礎」115—134 誠文堂新光社 東京
 - 16) 竈橋 悟・狩野広美・影山美葵陽 (1979) 温室メロンの栄養生理に関する研究 第1報 養液栽培における夏系7号の養分吸収特性 園学雑 47 : 203—208
 - 17) 位田藤久太郎 (1982) 水耕栽培に関する諸問題(5)—水耕のpH管理— 農及園 57 : 327—331.
 - 18) 山崎肯哉 (1982) 培養液中の溶存酸素と根の酸素要求, 「養液栽培全書編」55—60 博文社 東京
 - 19) 並木隆和・西 新也・沢井勝治・高嶋四郎 (1972) そ菜水耕栽培の実用化に関する研究 II 生育段階別のカリ濃度が露地メロンの養分吸収と生育におよぼす影響 京都府立大学農学部付属農場, 農場報告 第5号 1—7.

Dynamic Aspects of Ion Uptake by Melon Plants under a NFT Cultivation System

Summary

In order to establish a NFT (Nutrient Film Technique) system for muskmelon cultivation, behaviors of nutrient uptake were examined.

1. Rate of nutrient uptake changed with an advancement of the plant growth. Especially the first sharp increase of the rate appeared at anthesis stage and the second at pinching stage. Thereafter the rate declined temporarily and recovered at the latter stage of fruit development.

2. Diurnal changes of the solution pH were observed. There was a great decrease during the day at the anthesis stage and also at the latter half of the fruit development.

3. Diurnal changes of nutrient absorption were small during the stage of taking root and also at the net manifestation stage while at the anthesis stage as well as at stages of rapid fruit growth the changes were great.

4. When nutrient supply was limited both at the anthesis and pinching stages, development of the upper leaves was depressed. This may contribute to get fruit with high sugar content.