メロン NFT 水耕におけるイオン吸収と生体情報の計測

橋 本 康・福山寿雄・森本哲夫
輪竹宏昭*・山口征治**・菊池 宏**

愛媛大学農学部・*(株)東芝電気計装事業部・**(株)東芝府中工場

Measurement of Ion Uptake and Physiological Ecological
Information in Melon Plants Cultivated in NFT

Yasushi HASHIMOTO, Toshio FUKUYAMA, Tetsuo MORIMOTO,
Hiroaki WATAKE,* Seiji YAMAGUCHI** and Hiroshi KIKUCHI**

Faculty of Agriculture, Ehime University, Tarumi, Matsuyama 790, Japan

**Toshiba Corporation, Shibaura, Minatoku, Tokyo 105, Japan*

***Toshiba Corporation, Toshiba-cho 1, Fuchu, Tokyo 183, Japan*

The consumption of three sorts of ions (Ca^{2+} , K^{+} and NO_3^{-}), EC and pH were continuously measured during the growth period of Muskmelons cultivated in NFT.

The diurnal courses in the consumption of Ca^{2+} , K^{+} and NO_3^{-} fluctuated periodically. The negative consumption of ions was observed. This was notable during the night in three sorts of ions. These ion consumption was not correlative to the quantum flux density during the first half of vegetative stage but during the pollinating stage in which the ion consumption became high, it was corresponded to quantum flux density. The consumption of the water caused by the transpiration was in good coincidence with the quantum flux density in every growth stages. The EC decreased until the first half of the developmental stage of fruit but after that stage, it increased. The pH decreased in every growth stages.

The daily patterns in the consumption of Ca^{2+} was small until 15 days after planting but after that time, it increased and reached to the maximum value on 32-37 days after planting. The consumption of K^{+} was also small until 18 days after planting although it increased temporarily on 6 days. Then, it increased rapidly and attended to the maximum value on 28-37 days after planting. The consumption of NO_3^{-} increased from 6 days after planting but decreased temporarily on 16-17 and 21-25 days. Then, it increased rapidly and attended to the maximum value on 28-30 days after planting. The consumption of the water increased with the growth.

(Received May 25, 1988)

1988年5月25日受付

緒 言

環境制御を活用した施設園芸や植物工場において、水耕やロックウール耕の普及が著しい。われわれは水耕、とくに NFT のシステムにメロンを栽培し、そのシステムや制御特性と栽培植物との関係を種々検討してきた^{1,2)}。また水耕のシステム同定やその成分や濃度の制御についてもいくつかの報告があり³⁾、とくに NFT 開発の地、英国では、むだ時間の大きな時系列モデルとして検討がなされている⁴⁾。

Vol. 26, No. 3 (1988)

た^{1,2)}。また水耕のシステム同定やその成分や濃度の制御についてもいくつかの報告があり³⁾、とくに NFT 開発の地、英国では、むだ時間の大きな時系列モデルとして検討がなされている⁴⁾。

しかし NFT をはじめ水耕システムは、現在のところ EC と pH をモニタしつつ培養液を加えたり、酸やアルカリを調整してやるフィードバック制御に依存してい

(47) 129

る。この方式は植物の根のイオン吸収に起因する培養液の濃度変化を、イオンを計測せず、まったくのブラックボックスとして EC でモニタしているため、養分吸収プロセスの本質的な同定はなされておらず、したがって根本的な制御系の改善をみるに至っていない。

本研究では、イオン吸収を考慮に入れた水耕の成分・濃度の制御を実現するための前段階として、若干のイオンセンサをオンラインで用い、NFT において栽培されるメロンを供試植物とし、そのイオン吸収プロセスの生育全期にわたる計測を行ったので報告したい。

材料および方法

供試品種はマスクメロン (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud cv. Tokai R-240) を用いた。1987 年 9 月 1 日に播種し、9 月 15 日に愛媛大学附属農場のコンピュータ・グリーンハウス内の NFT ベッドへ定植した。なお NFT ベッドは幅 90 cm、長さ 8 m、傾斜 1.25% であり、栽植密度は約 4.2 株/m² である。

培養液は大塚液肥 1 号、2 号を 3:2 の割合で混合したものをを用いた。このときの培養液管理を Table 1 に示す。給液量は 4~6 l/min である。

養液中のイオン濃度は Ca²⁺、K⁺、NO₃⁻ をイオン電極によるイオンメータ (東芝製, LQ 201), EC は EC 計 (東芝製, 131 E), pH は pH 計 (東芝製, 112 E) で約 70 l のタンク内の養液を測定した。光量は光量子センサ (ライカ社製, LI-185 B), 光合成速度は携帯用光合成測定装置 (ADC 社製), 蒸散速度および気孔抵抗はポロメータ (ライカ社製, LI-1600), 水ポテンシャルはサイクロメータ (ウェスコ社製, HR-33 T) で測定した。

計測するための植物葉に関しては、着果葉を中心としたその近辺の葉のなかで日のよく当たる正常な葉を選んだ。なお栄養成長期では生長に伴い下位葉 (初期測定した葉) は日が当たらなくなるので、測定時期ごとに上位の葉を選んだ。

培養液中の Ca²⁺、K⁺、NO₃⁻ のそれぞれのイオンにつ

いては、まず 30 分ごとに得られるイオン濃度 D (mg/l) とそのときの液量 V (l) とを掛け合わせてイオンのトータル量を算出し、次いで時間的に連続したそれら 2 つのディスクリートなトータル量の差分を計算し、30 分間におけるイオン消費量を求めた。

結果および考察

Fig. 1 に生育ステージにおける培養液と光量子量の日変化の計測データを示す。上から光量子量、30 分間における Ca²⁺、K⁺、NO₃⁻ の消費量 (mg/株)、消費液量 (l/株)、そして EC (mS/cm)、pH の変化量である。なお EC と pH に関しては、養液を交換したときの値を初期値とし、それからの変化量で表している。また養液の交換は 8、13、18 時の 3 回とした。(a) は定植後 18 日目 (交配前約 5 日)、(b) は定植後 29 日目 (交配後約 6 日)、(c) は定植後 44 日目 (交配後約 21 日目) である。ちなみに (a) は栄養生長の旺盛な時期、(c) は果実肥大生長の後期に相当する。いずれのデータも午前 6 時から翌朝の午前 4 時ころまでのものを示している。

1. 30 分間におけるイオンの消費量の日変化

生育ステージ (a) からみる。まず光量子量の変化に追隨して生じるであろう昼間の特性に注目しよう。各イオンの消費量は時間的に変動しているが、その変動幅は (b)、(c) に比較して非常に小さい。これはとくに Ca²⁺ と K⁺ が顕著である。このため変化の少ない夜間の特性とすら区別ができないほどである。今それぞれの昼間と夜間におけるイオン消費量の最大値を比べると、日中がそれぞれ約 5.3 mg/株/30 分、8.6 mg/株/30 分であるのに対して、夜間がそれぞれ約 3.3 mg/株/30 分、6.3 mg/株/30 分であり、昼間は夜間の約 1.3~1.6 倍大きいにすぎない。その他特筆すべきこととしては午前中 (9~10 時ごろ) で負の消費が多くみられるが、午後ではそれが少ない。またいずれのイオンについても周期的な変動がみられ、より明確な夜間においてその周期は約 2 時間 30 分ほどである。これらに対して NO₃⁻ の消費量は 8 時に

Table 1 Management of nutrient solution.

Days after planting	0	22	25	28	42
Growth of Muskmelon	Vegetative stage	Pollination	Developmental stage of fruit		Maturing stage of fruit
EC (mS/cm)		1.4-1.6		1.6-1.8	1.4-1.6
pH		5.5-6.5

Fig. 1 Diurnal courses of the quantum flux density, the consumption of ion, the consumption of nutrient solution, the EC and the pH. EX, exchange of nutrient solution.

養液を交換した時点で一時的に低下するがただちに増大し午前中(11時から12時30分)で最大となる。このときの値は約27.5 mg/株/30分であり、 Ca^{2+} や K^{+} の場合よりもかなり大きい。その後急激に低下し、午後(13時以降)では常に負の消費を示している。したがって昼間における Ca^{2+} と K^{+} の変動とは明確に異なっている。そしてこの日変化は光量子量のそれとは単純に対応していない。夜間では Ca^{2+} 、 K^{+} と同様に周期的な変動に推移している。

次に生育ステージ(b)についてみる。各イオン消費量の変動幅は昼間、夜間ともに大きくなり、昼間と夜間で変動パターンが明確に異なっている。昼間をみると Ca^{2+} の消費量は、10時30分ごろで一時的に低下して負の消費を示すが、その後増大して14~15時ごろでピークを迎え、そのときの値は約19.7 mg/株/30分である。この値は(a)の場合より約3.7倍大きい。そしてこの変動パタ

ーンは、光量子量が10~11時にかけて一時的に低下していることから、光量子量とある程度対応しているとみられる。次に夜間をみると、(a)で述べたのと同様に周期約2時間30分ほどの変動がみられ、その最大変動幅は(a)の場合より約2.6倍大きい。他方 K^{+} は午前10~12時の間で大きな負の消費を示すが、午後ではかなり大きな正の消費を示している。この変動パターンもまた光量子量とある程度対応した関係がみられる。これらに対して NO_3^- の消費量は、9時ごろではもう最大値に達し、ほぼそのままの値を16時ごろまで持続しており、10~11時ごろで一時的に低下している光量子量の変動パターンとは対応していない。したがってこの時期も NO_3^- の日変化は Ca^{2+} 、 K^{+} のそれとは明らかに異なっている。夜間では Ca^{2+} 、 K^{+} の場合と同様に周期的な変動がみられるが、その周期は約3時間30分ほどになり Ca^{2+} 、 K^{+} の場合よりも長い。

次に生育ステージ(c)をみる。Ca²⁺の消費量は全般的に少なくなっている。しかし午前9~10時にかけての特定の時間帯における比較的大きな消費が目立つ。また日中における負の消費も(a), (b)より少ない。さらに夜間の変動をみると、その周期性はやや薄らいでいる。これに対してK⁺の消費量は全般的にかなり大きく変動し、日中(とくに午前中)における負の消費が依然顕著である。さらに夜間ではCa²⁺と同様に周期性は薄らいでいる。他方NO₃⁻は(b)と同様に日中正の消費を示すが午前11時ごろで消費量は大きく低下している。夜間はK⁺のパターンにやや近い。

以上のようにイオン消費の日変化はかなり大きく変動し、負の消費を示す時間帯が随所にみられる。負の消費に関してはとくにK⁺が顕著であり、また午前中に多い傾向がある。さらに夜間ではいずれのイオンも消費量ゼロを中心とした周期的な変動がみられるため負の消費が交互に現れる。負の消費に関しては報告もみられるが³⁾、この現象は、周期的な様相を呈していることから、根から逆にイオンを排出しているためと考えられる。しかしその原因については不明である。またCa²⁺とK⁺の変動パターンは両者とも比較的良好に似ているが、これらとNO₃⁻とは明らかに異なっている。このようにイオンの種類によって消費パターンが類似したり、あるいは大きく異なる傾向がみられる。したがって植物の選択的なイオン吸収パターンにも、いくつかの類別が可能なことを暗示している。

2. 消費液量の日変化

消費液量は、生育ステージ(a)をみると、光量子量が午前7時から10時ごろにかけて急激に大きくなるが、それに伴って増大している。そしてそのピークは12~14時でみられ、光量子量のそれとほとんど同様である。そのときの値は約120 ml/株/30分である。その後光量子量が15時ごろから低下するとともに消費液量は減少し、夜間は約10 ml/株/30分ほどの値ではほぼ一定の消費で経過している。この日変化パターンは、すでに述べたイオン消費量のそれとは明らかに異なる。さらに生育ステージ(b), (c)においても消費液量の日変化は光量子量のそれと対応しており、最大消費量はそれぞれ約170, 130 ml/株/30分である。したがって消費液量は(b)で最も大きい。イオン消費量の最大値の推移ほど3つのステージで顕著な差はみられない。また夜間の消費液量はきわめて少なく、しかもほとんど変動していない。これらはイオン消費量の変動とは明らかに異なる。培養液は量的にみればほとんどが水なので消費液量は水の消費量とみられ、水が光量子量と対応して消費されていると考えら

れる。

3. ECの日変化

ECのデータは養液を交換した時点における値を初期値とし、それからの変化量で表している。生育ステージ(a)におけるECの変動をみると、昼間では経時的に減少し、夜間でも同様である。その減少率は午後(15~18時)においてやや大きく、午前(9~12時)と夜間ではほぼ同程度である。次に生育ステージ(b)をみると、養液の交換が完了する9時から11時ごろまで減少するがその後増加し、17時ごろから再度減少している。このため減少量は(a)の場合よりも小さい。夜間の減少率もまた(a)の場合よりも小さい。次に生育ステージ(c)をみる。このステージでは傾向はまったく異なり午前、午後とも経時的に増加する。そして夜間においても減少する傾向はみられずほとんど変動しない。

以上のようにECの日変化は生育ステージで変動パターンがかなり異なっている。果実肥大成長期の途中までECは日中減少するが、それ以後では増加する。一般にECは養液中の水と総イオン量の相対的な消費バランスが変化する場合に変わる。たとえば水よりもイオンの消費の増加率が大きいとECは低下するし、また逆にイオンよりも水の消費の増加率が大きいとECは上昇する。

4. pHの日変化

pHのデータもまた養液を交換した時点における値を初期値とし、それからの変化量で表している。生育ステージ(a)におけるpHの変化をみると、昼間(9~13時, 14~18時)においては経時的に減少するが、夜間においてはほとんど変わらない。生育ステージ(b)になると昼間の減少はより大きくなり、その減少量は(a)の約1.8倍である。夜間もまた昼間よりゆるやかであるが、ほぼ同程度に低下している。生育ステージ(c)になると(b)よりその減少率は小さくなり、昼間、夜間ともその傾向は同様である。

以上のようにpHの日変化はいずれのステージでも昼間減少するパターンである。一般にpHが変化する場合は養液中でのアニオン(陰イオン)とカチオン(陽イオン)の消費バランスが異なるときである。とくに図中に示される減少率が大きいときはアニオンよりカチオンのほうを選択的に多く吸収しているためと考えられる。逆にpHの変化が少ない、すなわち図中の減少率が少ないときは、全イオンをほとんど吸収してないか、アニオンとカチオンのバランスよい吸収かのいずれかと考えられる。

次に、Fig. 1の日変化において午前、午後、そして夜間で変動パターンがかなり異なっていたことから、これ

Fig. 2 The consumption of ion and water in the morning, in the afternoon and during the night.

A, Consumption in the morning; B, consumption in the afternoon; C=A+B; D, consumption during the night.

らの時間帯におけるイオン消費のトータル量を調べた。その結果を Fig. 2 に示す。Ca²⁺ と K⁺ については午前の消費量は午後より小さい。とくに K⁺ の午前中における消費量は、3つの時期とも負の値を示し、非常に小さいと考えられる。しかし午後ではかなり大きくなるため、日中では3つの時期とも正の値を示す。さらに夜間においては、Ca²⁺ の消費量は 10~14 mg/株 ほどで小さいながらも正の値を示すが、K⁺ は負の値を示している。これらに対して NO₃⁻ は逆に午後より午前のほうが消費量が多い。夜間における NO₃⁻ の消費量は負の値もみられる。このように Ca²⁺ と K⁺ の消費量は午前中非常に少ない傾向がみられる。また夜間においてはいずれのイオンも消費量が少なく、負の値を示す場合もみられる。

次に地上部での植物応答の日変化を Fig. 3 に示す。上から光合成速度、蒸散速度、膨圧である。いずれの日変化パターンも光量子量と密接に対応し、これはとくに光合成速度が顕著である。ここで養水分吸収へ直接影響を与えと考えられる蒸散速度についてみると、いずれの時期も日の出とともに増大し日没とともに減少する。そ

Fig. 3 Diurnal courses of the quantum flux density, the net CO₂ uptake, the transpiration and the turgor of the leaf.

してその3つの生育ステージにおける最大値を比べると、(a)における値がやや大きく、(c)における値がやや小さい。したがって蒸散速度の日変化のパターンはイオン消費量のそれとはまったく対応していないが、消費液量とはやや対応した傾向がみられる。この傾向は光合成速度についても同様である。

次に生育ステージによって日中のイオン消費量、EC、pH、消費液量がどのように推移していくのかを検討した。この結果を Fig. 4 に示す。この場合日中の変動量をどのように評価するかであるが、その方法として Fig. 1 の日変化データを基に、EC と pH に関しては 8:30~18:00 までの変化量の最大値を、イオン消費および消費液量に関しては上記時間帯における積算値を求めた。なおグラフ中の白丸(○印)は晴れ、もしくはくもりの日のもので、黒丸(●印)は雨の日のものである。

5. 各イオンの消費量の推移

Ca²⁺ の消費量は、定植後約 15 日まで比較的小さく、その値は約 20 mg/株 である。それ以後から増大し定植後 32~37 日にかけてピークを迎え、そのときの値は約 120 mg/株 とみられる。その後徐々に低下するが、定植後 45 日でも約 60 mg/株 の値を示している。雨の日における Ca²⁺ の消費量は約 2~7 mg/株 であり非常に少な

Fig. 4 Daily patterns of ion consumption, EC, pH, and water consumption in the day-time.

い。

K⁺の消費量は定植後6, 7日で一時的にやや増大するが、定植後約18日までは比較的小さいとみられ、ここまでの平均的な消費量は約30 mg/株である。しかしそれ以後から急速に増大し、定植後28日から37日にかけてピークを迎え、そのときの値は約310 mg/株とみられる。その後低下するが、定植後42日でも約80 mg/株ほどの消費量を示している。雨の日におけるK⁺の消費量はばらつきが大きく負値もみられ、消費量は少ないとみられる。

NO₃⁻の消費量はCa²⁺やK⁺の場合と比べかなり変動している。それは定植後6, 7日目から増加する傾向がみられ、定植後16~17日目で一時的にやや低下するものの、その後急速に増大する。さらに交配期で一時的に低下した後急速に増大し、定植後28~30日(交配後5~7日)にかけてピークを迎える。そのときの値は約580 mg/株であり、この値はCa²⁺やK⁺の場合と比べ約2~6倍大きい。その後低下するがその時期はCa²⁺やK⁺の場合よりも早く、定植後32日ではすでに180 mg/株と低下する。しかし定植後35日, 51日目では約350, 250 mg/株と増大している。交配期までの増加はCa²⁺, K⁺とはほぼ同様であるが、定植後約51日目で増加するパターンはCa²⁺, K⁺ではみられない。このNO₃⁻が定植後51日目(交配後約28日目)でやや増大するのは、この時期メロンのネットが発生する時期、および果実内に種子が形成される時期に当たるので、ネットおよび種子の形成は窒素含量と関連しているとの報告もあることから⁶⁾、これらとなんらかの関係があると考えられる。

以上のように各イオンの消費量は定植後16~18日目までは比較的少ないが、それ以後から急速に増大し、定植後30~37日(交配後7~14日)の間でピークを迎えるパターンが得られる。養分吸収が増大する時期に関しては定植後より増大するとの指摘もある⁷⁾。しかしこの実験では前述したようにK⁺とNO₃⁻の消費量が定植後約5日ほどからやや増加する傾向がみられるが、K⁺は定植後8~18日、NO₃⁻は定植後13~18日にかけてかなり低下しているため、これらのイオン消費量は定植後約18日までは比較的少ないとみられる。定植後5日ほどまで消費量が少ないのは、根の活着がまだ十分でないためと考えられる。なお定植後6~18日における地上部での葉や茎の栄養生長は非常に良好であったことから植物は正常に生長していたと考えられる。またマスクメロンのイオン消費量が最大となる時期に関しては、すでに報告もあり^{6,7)}、本実験とそれに記されている時期とは一致する。

6. 消費液量, EC, pHの推移

消費液量は定植後約6日目ほどから徐々に増大し、交配直後にピークを迎える。そのときの値は約1 l/株である。その後ただちにやや低下するが、定植後33~37日(交配後10~14日)で再度増大し、そのときの最大値は約0.8 l/株である。その後また低下するが、定植後45日でも約0.5 l/株ほどの消費量を示すことから、イオン消費量ほどの低下はみられない。このように、消費液量は定植後より生育に伴って増加する傾向を示し、途中低下することなく交配直後にピークを迎えるパターンが得ら

れる

EC は、定植後 3 日ほどからしだいに減少量が大きくなり、それは定植後 28 日目（交配後約 5 日）まで続いている。その後減少量は急速に小さくなり、定植後 31 日ほどからは逆に増加している。このように EC は交配直後まで徐々に減少していくが、交配後果実が肥大していく段階において増加する傾向を示す⁷⁾。交配直後まで EC が減少していく原因は、その時期がイオンの消費量が増大する時期と一致するため、水よりもイオンの吸収量の増大のほうが大きいと考えられる。なぜなら各イオン消費量の増大が約 6~10 倍であるのに対し、水の消費量（消費液量）のそれは約 4 倍である。また交配後 EC が増加するのは、これはあくまで 1 つの要因にすぎないが、養液中のイオンよりも水の消費のほうが大きいと考えられる。すなわちこの時期の水の消費をみると、交配期で一時的に低下するもののその後再度上昇し定植後 37 日（交配後 14 日目）では約 0.8 l/株 となり、この値は交配期の最大消費量とあまり変わらない。またかなり低下した定植後 42 日でも約 0.5 l/株 であり、最大消費量（1 l/株）と比べ約 1/2 の低下にすぎない。したがってこの時期の水の消費量はかなり大きいと考えられる。しかしイオンの消費量は定植後 39 日からかなり低下し、その低下の度合は最大値と比べ、 Ca^{2+} が約 1/3、 K^{+} が約 1/4、 NO_3^{-} が約 1/6 となり、水の場合よりもかなり大きい。そして含有割合の最も多い NO_3^{-} が最も低下していることがわかる。したがって EC が増加したのは、水に対して養液中で各イオン、とくに NO_3^{-} が多く残ることがかなり影響していると考えられる。

pH は、定植後 5、18、27~29、36~37 日目ほどで大きく減少し、その度合は 27~29 日（交配後 4~6 日）と 36~37 日目（交配後 13~14 日）のものがかなり大きい。すなわち交配期以後は比較的減少量が大きく、かなり変動している。これ以外の日では pH の減少は少なく、とくに交配期において最も少ない。pH が減少する原因は、その 1 つにアニオンよりカチオンの吸収が大きい場合が考えられる。たとえば pH が大きく減少する定植後 27~29 日での各イオン消費量をみると、 K^{+} の消費はほぼ最大であるが、 NO_3^{-} の消費はかなり低下している。したがってこのことが pH の大きな減少に影響を与えていると考えられる。

次に地上部での光合成速度、蒸散速度、そして膨圧の推移を Fig. 5 に示す。なおこれら植物応答の日変化の評価としては、いずれの応答も光量子量の影響を強く受けるので、それぞれの日変化の積算値を光量子量の積算で割った比率を求めた。図より光合成と蒸散は両者とも定

Fig. 5 Ratio of the summation of plant responses to the summation of quantum flux density.

SQF, Summation of quantum flux density; SNC, summation of net CO_2 uptake; STR, summation of transpiration; ST, summation of turgor.

植後 29 日のものがやや高い傾向にあるが、生育ステージによる顕著な差はみられない。これらに対して膨圧は生育ステージにより顕著な差がみられる。たとえば定植後 29 日のものが最も高く、定植後 44 日目でも定植後 18 日目の値よりもやや高い。Fig. 4 より定植後 29 日では消費液量が一時的に低下する段階であるが、膨圧は 3 つのステージにおいて最大である。光合成量および蒸散量が生育ステージであまり変わらないのは、栄養成長期におけるこれらの測定が光量子量（日が当たる箇所）、葉の色・形などを同一条件とするため計測時期ごとに上位の新しい葉を選んで行ったことによるのかもしれない。このように地下部での消費液量およびイオン消費量は生育ステージによって大きく変動していたが、光合成速度や蒸散速度などの地上部での植物応答は生育ステージによる違いはあまり顕著でない。

次に、Fig. 1 より夜間でもイオン消費量はかなり変動していたことから、夜間（18:00~4:00）におけるイオン消費量の推移も調べた。その結果を Fig. 6 に示す。

Ca^{2+} は生育ステージにより消費量はほとんど変わらず約 20 mg/株 ほどの一定値を示している。これに対して K^{+} はある程度生長に伴った消費パターンがみられ、定植後 30~35 日にかけて最大となり、このときの値は

Fig. 6 Daily patterns of ion consumption and water during the night.

約 80 mg/株である。この変動パターンは Fig. 4 の日中におけるものとよく似ている。一方 NO_3^- もまた生長に伴った消費パターンがみられる。その変動は K^+ の場合よりも大きく、最大値は約 310 mg/本である。したがって夜間でもかなりの消費量がみられる。この変動パターンもまた日中における場合とある程度対応している。これらに対して消費量は全般的に非常に少ない。しかし詳細にみるとイオン消費ほどではないが生長に対応した消費パターンがみられる。また黒丸で示す雨の日ではいずれのイオン消費量も晴れの日の場合より少ない。

以上のように夜間をみると、水の消費量は非常に少ないが、イオンの消費はある程度みられる。これはとくに K^+ と NO_3^- が顕著であり、夜間でも生長に伴い昼間とある程度対応した消費パターンがみられる。またいずれのイオンも雨の日では消費量が非常に少ないことから、夜間におけるイオン消費量は昼間の影響を受けていると考えられる。

次に Fig. 4 のデータを基に光量子量と各イオン消費量、消費量の関係をみたものを Fig. 7 に示す。なお各消費量は光量子量との関連性をみているので、日中 (8:30~18:00) での値を用いた。また計算に用いたデータはいずれも定植後 18 日目から 51 日目のものである。なお定植後 17 日までのデータを用いないのは、それまでのイオン消費量が非常に少ないため相関係数の値がかな

Fig. 7 Relation between the quantum flux density and the ion consumption and relation between the quantum flux density and the water consumption.

り低くなったからである。また図中には相関係数 (r) の値と回帰直線を示す。

光量子量と消費量との相関は $r=0.91$ であることから非常に高い。したがって水は光量子量によく対応して吸収されると考えられる。この結果は Fig. 1 の消費量の日変化によく現れている。すなわち消費量は光量子量と対応して変動していた。また光量子量と Ca^{2+} との相関も $r=0.69$ であることから比較的高い。しかし NO_3^- との相関は $r=0.50$ であることから低い。これらの結果もまた Fig. 1 の各イオン消費量の日変化によく現れている。たとえば定植後 29 日目では、 Ca^{2+} は光量子量とある程度対応していたが、 NO_3^- はそれとあまり対応していなかった。

次に消費量と各イオン消費量との関係を Fig. 8 に示す。消費量と Ca^{2+} との相関は $r=0.73$ と比較的高いが、 NO_3^- との相関は $r=0.52$ と低い。したがって Ca^{2+} は比較的水とともによく吸収されていると考えられる。

次に各イオンどうしでの消費量の関係を Fig. 9 に示す。このデータもまた定植後 18 日から 51 日目までのものを用いた。 K^+ と Ca^{2+} との消費量の相関係数が $r=0.73$ と比較的高い。しかし K^+ (もしくは Ca^{2+}) と NO_3^- との相関係数は $r=0.56$ と比較的低い。

次に pH の値にどのイオンがよく影響を与えているのかをみるため、日中における pH の変化量と各イオン消費量との相関を調べた。それを Fig. 10 に示す。しかし図中に示す相関係数の値からわかるように、pH とここで

Fig. 8 Relation between the water consumption and the ion consumption.

Fig. 9 Relation between the consumption of K^+ and the consumption of Ca^{2+} and relation between the consumption of K^+ and the consumption of NO_3^- .

Fig. 10 Relation between the pH and the consumption of ion.

Fig. 11 Relation between the EC and the consumption of ion.

示したイオン消費量との関連性はいずれも相関が低い。

次に EC との関連をみた。それを Fig. 11 に示す。なおデータは定植後 9 から 26 日目のものを用いた。なお定植後 26 日以降のデータを用いないのは、EC の値がそれ以降から日中上昇するためであり、それ以降のデータを用いると相関係数がかなり低くなったためである。図より Ca^{2+} との相関が最も高い。他のイオンにおいてもある程度高いとみられる。これらの値は pH の場合と比べればいずれも比較的高い。

文 献

- 1) 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**: 9-20.
- 2) 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**: 67-69.
- 3) MORIMOTO, T., T. FUKUYAMA, and Y. HASHIMOTO. 1985. Identification and control of hydroponic system in greenhouses, Proc. 7th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation. 1689-1693, Pergamon Press, Oxford.
- 4) YOUNG, P., A. BEHZADI, and A. CHOTAI. 1985. The modelling and control of nutrient film systems. In "Computer Applications in Agricultural Environments," University of Nottingham School of Agriculture.
- 5) ANDRE, M., D. MASSIMINO, and A. DAGUENET. 1978. Daily patterns under the life cycle of a maize crop. II. Mineral nutrition, root respiration and root excretion. *Physiol. Plant.* **44**: 197-204.
- 6) 籠橋 悟・狩野広美・影山美葵陽. 1981. 養分吸収制限が秋作及び春作における温室メロンの生育及び果実に及ぼす影響について. 園学雑 **50**: 306-316.
- 7) 籠橋 悟・狩野広美・影山美葵陽. 1978. 温室メロンの栄養生理に関する研究 (第 1 報). 養液栽培における温室メロンの養分吸収の特徴. 園学雑 **47**: 203-208.