

循環キャピラリー養液栽培システムを用いた高糖度トマト生産におけるNO₃-N供給量による成育制御

誌名	植物環境工学
ISSN	18802028
巻/号	254
掲載ページ	p. 183-194
発行年月	2013年12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



循環キャピラリー養液栽培システムを用いた高糖度 トマト生産における NO₃-N 供給量による成育制御

大石直記¹・守谷栄樹²

¹ 静岡県農林技術研究所 438-0803 磐田市富丘 678-1

² 中部電力(株)エネルギー応用研究所 459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1

Growth Control by NO₃-N Supply in Production of High Soluble Solids Tomato in a Recirculating Capillary Hydroponic System

Naoki OHISHI¹ and Hideki MORIYA²

¹ Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry, Iwata, Shizuoka 438-0803, Japan

² Energy Applications R&D Center, Chubu Electric Power Co., Inc. Nagoya, Aichi 459-8522, Japan

Abstract

We investigated how the supply of NO₃-N to triple-truss tomatoes grown for high soluble solids content (SSC) in a recirculating capillary hydroponic system affected growth, fruit yield, and SSC. Although decreasing the NO₃-N supply decreased the top fresh weight, top dry weight, leaf area, and fruit weight, SSC remained steady at > 9 % (Exp.1). Although leaf area was smaller in the S-M treatment (with a small amount of NO₃-N until flowering of the second truss then a medium amount) than in M-M (with a medium amount of NO₃-N before and after), the harvested fruits weight was almost equal, and SSC was > 10 % (Exp. 2). However, leaf area index (LAI) in S-L (with a small amount of NO₃-N then a large amount) was smaller than that in M-M, relative light intensity in S-L was greater than that in M-M and fruit weight (SSC > 8 %) in S-L was greater than that in M-M at a planting density > 5.7 m⁻² (Exp. 3). At LAI > 2.5, the increase in fruit weight per unit area tended to slow, although fruit weight per unit area in S-L was greater than that in the other treatments.

These results suggest that changing of the NO₃-N supply during the production of high SSC tomato improved fruit weight per unit area at high plant density.

Keywords: basic nutrient solution, electrical conductivity, leaf area index, soluble solids content, stress nutrient solution

緒 言

近年のトマト生産では、付加価値の向上を目指して水分ストレスを積極的に付与する高糖度トマトの養液栽培が増加している¹⁾。この栽培法ではトマトの果実糖度を上昇させるため、NaClなどの塩類を添加あるいは増量することによってEC (Electric Conductivity) を高めた高濃度培養液が用いら

2013年 2月 4日受付

2013年 8月 30日受理

Corresponding author: Naoki Ohishi

(naoki1.ohishi@gmail.com)

れる^{2,3)}。前報⁴⁾では高濃度培養液を構成する成分のうち、水分ストレスを付与するために増量添加した成分、言い換えると培養液を循環させた場合に残存しやすい成分 (Mg, Ca など) とそれ以外で植物育成に必要な肥料成分 ($\text{NO}_3\text{-N}$, P, K, 微量元素) とを分け、それぞれをストレス培養液および基本培養液として別系統で給液し、余剰排液はストレス培養液として循環再利用する循環キャピラリー栽培システム (以下, RCSと呼ぶ) を提案し、高糖度トマト生産が可能であることを明らかにした。

最近の養液栽培では、養分吸収量と植物体の育成量との関係に基づき、養分吸収濃度ではなく養分吸収量で培養液を管理する量管理法が注目されている⁵⁾。慣行の培養液管理法では、養分吸収濃度を基準に設計された培養液処方を用いてその濃度を調節しながら栽培を行うが、根域に多量の肥料成分が存在するため実際栽培では培養液濃度のみによる養分吸収量の制御は困難とされる⁶⁾。これに対し、量管理法では根域に対する肥料成分の分施とその供給量の調節によって養分吸収量の制御が可能となり、葉面積等の栄養成長を抑制できることや収量や品質を低下させずに肥料施用量を削減できることが明らかにされている^{7,8)}。

一方、高糖度トマト栽培では果実糖度の上昇を最優先として植物体に強い水分ストレスを付与するための培養液管理 (高 EC 設定, 給液量の削減) が行われるが、栽培過程における植物体の水分ストレスは日射量や湿度などの気象環境によって時々刻々変動するため、過度な水分ストレスが生じると栄養成長が抑制され着果数の減少や小玉化による著しい減収が生じ、水分ストレスが小さいと果実糖度が上昇しないことから、安定的な育成制御法が求められている¹⁾。RCSを用いた高糖度トマト生産においても、ストレス培養液の EC を高めることによって果実糖度は上昇するが⁴⁾、同時に栄養成長や収穫果重が著しく減少してしまう可能性がある。したがって、果実糖度を有利販売可能なレベルまで上昇させた上で適度な栄養成長を確保し多収化を図るために、培養液の量管理法における育成制御機能の適用が有効と考えられる。特に RCS では、基本培養液の給液によって $\text{NO}_3\text{-N}$ 等の肥料成分を根域に直接供給できることから、その肥料成分の供給量とトマトの栄養成長や収穫果重との関係が解明できれば、ストレス培養液における EC 管理と組み合わせることによって、高糖度トマトの多収生産に寄与することが期待される。

本研究では、RCS を用いた高糖度トマト生産において適切な栄養成長に基づき多収化を可能とする育成制御法を開発するため、培養液の量管理の考え方に基づき RCS の基本培養液における $\text{NO}_3\text{-N}$ の供給量およびその栽培途中における変更がトマトの育成、収量および果実糖度に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

試験 1 $\text{NO}_3\text{-N}$ 供給量が高糖度トマトの育成、収量および果実糖度に及ぼす影響

静岡県農業試験場 (現農林技術研究所, 静岡県磐田市) 内のスリークォータ型ガラス温室を用いて、2006年1月1日にトマト品種‘桃太郎ヨーク’を200穴セルトレイ (培地: ロックウール細粒綿) に播種し、出芽までは水、出芽後は大塚ハウス A 処方 $1/2$ 単位 ($\text{EC} 1.4 \text{ dS m}^{-1}$) を適宜給液して育苗した。3葉期の2月1日に同試験場内のフェンロー型ガラス温室 (約 300 m^2) に設置された3基の RCS (栽培ベッド長さ: 2.8 m (南北畝), 遮根バッグ: 2 (東列, 西列), タンク: $200 \text{ L} \times 2$, ポンプ吐出能力: 10 L min^{-1} (50 W) $\times 2$) に各24株を定植した (株間 22.5 cm , 条間 30 cm の2条植え, ベッド幅 30 cm , ベッド間隔 (中心) 155 cm , 栽植密度 5.7 Plant m^{-2})。摘心は3段果房上の2葉を残して行い、天窗および側窓は 25°C で開閉し、最低夜温は 12°C で管理した。

各栽培ベッドにおける基本培養液の育成段階に応じた給液量の変更によって、計3種類の $\text{NO}_3\text{-N}$ 供給パターンを設定した。すなわち、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 供給量は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 4 me L^{-1} , 8 me L^{-1} , 12 me L^{-1} の基本培養液を作成し、各栽培ベッドへの給液量は同一として、それぞれ極少供給区 (SS 区), 少供給区 (S 区), 中供給区 (M 区) を設けた。なお、栽培ベッド内の東列および西列の遮根バッグを反復とみなした (1区12株2反復)。いずれの処理区とも育成段階に応じた基本培養液の給液量を同時に変更した。基本培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の調整は、 KNO_3 と KCl の添加割合を変えることによって行い、さらに同量の KH_2PO_4 , 微量元素 (大塚ハウス5号) を添加して作成した ($\text{NO}_3\text{-N}$ 4 me L^{-1} : P 4.0 me L^{-1} , K 12.2 me L^{-1} , $\text{NO}_3\text{-N}$ 8.0 me L^{-1} : P 4.0 me L^{-1} , K 12.8 me L^{-1} , $\text{NO}_3\text{-N}$ 12.0 me L^{-1} : P 4.0 me L^{-1} , K 13.3 me L^{-1} , 全区: Mn 0.77 ppm , Fe 2.85 ppm , EC 1.8 dS m^{-1})。給液管理はタイムスイッチを用いて行い、給液回数は毎日8時から12時の時間帯で育成段階に応じて0~3回 (1回の給液量: $25 \sim 75 \text{ mL plant}^{-1}$) の範囲で変更した。いずれの処理区とも収穫期後半の5月13日以降の基本培養液の給液は行わなかった。

ストレス培養液は $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ および NaCl を所定量添加した 6 dS m^{-1} の培養液 (Ca 23.3 me L^{-1} , Mg 11.7 me L^{-1} , Na 23.3 me L^{-1}) をタンクに液量が 100 L (4.2 L plant^{-1}) となるように作成した。また、栽培ベッド内の給液樋への供給はタイムスイッチを用いて毎日6時から17時に行い、定植から3月30日までの供給量は1回当たり 1 L plant^{-1} で供給回数は1日当たり10回、それ以降は1回

当たり 2 L plant⁻¹ で供給回数は 1 日当たり 23 回とした。循環するストレス培養液中には、栽培ベッドから排出された基本培養液の余剰肥料成分も混入するため⁴⁾、栽培中におけるストレス培養液（タンク内）の EC および NO₃-N 濃度を、それぞれ電気伝導率計（CM-21P, 東亜ディーケーケー製）、RQ フレックス（Merck 製）により約 1 週間おきに測定した。この時、ストレス培養液の EC が 6.5 dS m⁻¹ 以上に上昇していたら水を補給し、6 dS m⁻¹ まで EC を低下させた。また、EC 調節後のストレス培養液が 50 L 以下に減少した場合には、培養液を補給し 100 L に調節した。

葉面積が最大となる第 1 果房収穫開始期の 5 月 2 日に、各区の計 6 株（1 区 3 株 × 2 反復）の植物体をサンプリングし、着生果実を除く地上部生体重、地上部乾物重（80 °C で 3 日間乾燥）、地上部乾物率（乾物重 / 生体重 × 100）を測定した。また、各区 2 株を供試して求めた全葉位の葉生体重と葉面積の実測値との直線回帰式（R²=0.98 ~ 0.99）をそれぞれ用いて株当たり葉面積を求め、葉面積指数（LAI）および比葉重（SLW: 葉乾物重 / 葉面積）を算出した。

収穫調査は、上記の植物体サンプリングの影響が少ない各區別位置の 6 株（1 区 3 株 × 2 反復）について、着色した収穫果実の果数および重量を 5 月 8 日から 6 月 9 日までの 3 ~ 4 日おきに測定した。また、果実糖度は、各果房の収穫調査時に平均的な果実を 3 個ずつ計 18 個（3 個 × 3 果房 × 2 反復）を選び、酸糖分析装置（NH-1000, 堀場製作所製）によって測定した。

試験 2 第 2 花房開花期前後の NO₃-N 供給量の変更がトマトの成育、収量および果実糖度に及ぼす影響

試験 1 と同様の RCS (4 基) を用い 2006 年 11 月 14 日播種、12 月 15 日定植でトマト‘桃太郎ヨーク’を栽培した。栽培条件、摘心位置、温度管理は試験 1 と同様であった。

各栽培ベッドにおける基本培養液の給液量は各区とも同量として、NO₃-N 供給量を成育段階に応じた給液量の変更と第 2 花房開花期前後の NO₃-N 濃度の変更とを組み合わせで調節し、計 4 種類の NO₃-N 供給パターンを設定した。すなわち、栽培期間（12 月 15 日 ~ 5 月 14 日）を通じて NO₃-N 濃度 6 me L⁻¹ および 12 me L⁻¹ の基本培養液を給液する S-S 区および M-M 区と、第 2 花房開花期（1 月 25 日）からそれぞれ 12 me L⁻¹ および 6 me L⁻¹ に変更する S-M 区、M-S 区を設けた。なお、処理区の設定（規模および反復）は試験 1 と同様であった。6 me L⁻¹ および 12 me L⁻¹ の基本培養液の調製は試験 1 に準じて行った（NO₃-N 6.0 me L⁻¹: P 4.0 me L⁻¹, K 12.6 me L⁻¹, NO₃-N 12.0 me L⁻¹: P 4.0 me L⁻¹, K 12.8 me L⁻¹, 全区: Mn 0.77 ppm, Fe 2.85 ppm, EC 約 1.8 dS m⁻¹）。給液はタイムスイッチを用いて毎日 8 時から 12 時の時間帯で行い、成育段階に応じて 1 日

当たりの給液回数を 0 ~ 3 回（1 回の給液量: 84 mL plant⁻¹）の範囲で適宜変更した。いずれの処理区とも収穫期後半の 4 月 17 日以降の基本培養液の給液は行わなかった。

また、ストレス培養液は、CaCl₂·2H₂O, MgSO₄·7H₂O を所定量添加することにより EC 4 dS m⁻¹ の培養液を作成した（Ca 13.2, Mg 29.5 me L⁻¹）。ストレス培養液の給液種への供給条件、栽培中の EC や NO₃-N 濃度の分析方法および調整方法は、試験 1 に準じて行った。

基本培養液における NO₃-N 濃度変更前の 1 月 25 日および葉面積が最大となる第 1 果房収穫開始期の 3 月 23 日に、各区計 6 株（1 区 3 株 × 2 反復）における全葉位の葉の縦長および横長を測定し、各区 1 株の計 4 株を供試して求めた葉の（縦長 × 横長）値と葉面積の実測値との回帰式（R²=0.97）を用いて、株当たり葉面積および LAI を算出した。収穫調査は 3 月 23 日から 5 月 14 日までとし、試験 1 と同様に収穫果実の果数、果重および糖度を調査した。

試験 3 異なる栽植密度下における第 2 花房開花期前後の NO₃-N 供給量の変更がトマトの成育、収量および果実糖度に及ぼす影響

2 基の RCS（栽培ベッド長さ: 9 m（南北畝）、遮根バッグ: 2（東列、西列）、タンク: 200 L × 2、ポンプ吐出能力: 10 L min⁻¹（50 W）× 2）を用いて、2009 年 11 月 20 日播種、12 月 22 日定植でトマト‘桃太郎ヨーク’を栽培した。摘心位置および温度管理は試験 1 と同様であった。

栽植密度は、試験 1 と同様な通路幅で栽培ベッドの株間を 30 cm, 22.5 cm, 18 cm, 15 cm に変えることにより、4.3 Plant m⁻²（4.3p, 1 区 12 株）、5.7 Plant m⁻²（5.7p, 1 区 24 株）、7.2 Plant m⁻²（7.2p, 1 区 20 株）、8.6 Plant m⁻²（8.6p, 1 区 24 株）に設定した。

両栽培ベッドにおける基本培養液の給液は同量として、NO₃-N 供給量は第 2 花房開花期前後で NO₃-N 濃度を変えることによって 2 種類の NO₃-N 供給パターンを設定した。すなわち、一方の栽培ベッドは 12 月 22 日から 4 月 8 日まで NO₃-N 濃度 20 me L⁻¹ の基本培養液（NO₃-N 20.0 me L⁻¹, P 6.0 me L⁻¹, K 22.4 me L⁻¹, Mn 0.77 ppm, Fe 2.85 ppm, EC 3.4 dS m⁻¹）を給液する M-M 区とし、他方の栽培ベッドは定植から第 2 花房開花期の 2 月 7 日まで NO₃-N 濃度を 10 me L⁻¹（NO₃-N 10.0 me L⁻¹, P 3.0 me L⁻¹, K 11.2 me L⁻¹, Mn 0.77 ppm, Fe 2.85 ppm, EC 2.0 dS m⁻¹）とし、2 月 8 日から 4 月 8 日までを 40 me L⁻¹（NO₃-N 40.0 me L⁻¹, P 6.0 me L⁻¹, K 42.4 me L⁻¹, Mn 0.77 ppm, Fe 2.85 ppm, EC 6.5 dS m⁻¹）に増加させる S-L 区とした。両区とも収穫期後半の 4 月 9 日以降は NO₃-N 濃度 10 me L⁻¹ で給液し、4 月 28 日以降の基本培養液の給液は行わなかった。

基本培養液の給液制御は、葉面積と受光量に応じて給液回数を自動調節できる散乱光センサ式給液制御システム⁹⁾を用いた。散乱光センサは、M-M区における4.3pのベッド上面とその直上1.5 mに1個ずつの計2個設置し、両区の給液回数を制御した(1日当たりの給液回数:0~8回,1回の給液量:23.8 mL plant⁻¹)。また、ストレス培養液は試験2と同じ処方を用い、給液樋への供給条件、培養液の分析方法とその調整方法は試験1に準じて行った。

葉面積が最大となる第1果房収穫開始前の3月18日に各区群落内の平均的な6株について、試験2と同様な方法で株当たり葉面積を求め、LAIを算出した。また、収穫開始前の3月24日(雨天日)に光量子センサ(LI-250A, LI-COR製)を用いて、各処理区の群落上および群落内(栽培ベッド面)のPPFDを各処理区内の3カ所で測定し、群落内外の相対光量(RLI:群落内のPPFD/群落上のPPFD×100)を求めた。収穫調査は4月1日から5月10日までの3~4日おきに、各処理区における群落内部の平均的な6株について、収穫果実の果数および重量を調査した。また、果実糖度は、各果房の収穫調査時に平均的な果実3個ずつ計9個(3個×3果房)を選び、デジタル糖度計(PR-1, ATAGO製)によって測定した。

結 果

試験1 NO₃-N供給量が高精度トマトの育成、収量および果実糖度に及ぼす影響

栽培期間における基本培養液の給液による毎日のNO₃-N供給量および積算NO₃-N供給量をFig. 1に示す。M区に

おけるNO₃-N供給量は、定植直後の0.3 me plant⁻¹day⁻¹から葉面積がほぼ最大に達する4月2日まで段階的に2.7 me plant⁻¹day⁻¹まで増加させ、第1果房の収穫が始まった5月13日以降の供給は停止した。また、S区の最大NO₃-N供給量は1.8 me plant⁻¹day⁻¹、SS区は0.9 me plant⁻¹day⁻¹で、M区と同様な供給パターンであった。栽培期間中の積算NO₃-N供給量は、基本培養液のNO₃-N濃度に応じてM区が185 me plant⁻¹、S区が123 me plant⁻¹、SS区が62 me plant⁻¹であった。なお、吸収されなかった基本培養液由来の肥料成分が再循環するストレス培養液中のNO₃-N濃度は、M区、S区、SS区がそれぞれ約5~6 me L⁻¹、2~3 me L⁻¹、1 me L⁻¹で推移した(結果省略)。ただし、基本培養液の給液を停止した5月13日以降はいずれも1 me L⁻¹以下まで低下した。

葉面積最大期(5月2日)における地上部の生体重、乾物重、乾物率、葉面積およびSLWをTable 1に示す。株当たりの地上部生体重および葉面積はM区、S区、SS区の順で大きく、地上部乾物重はM区が他区より大きかった。一方、乾物率およびSLWはSS区が他区より大きかった。なお、株当たりの葉数はいずれも15葉であり、処理区における葉面積の違いは各葉位の葉面積が減少したためであった(結果省略)。

果房別の収穫果数、収穫果重、平均果重および果実糖度をTable 2に示す。本試験では、いずれの処理区でも尻腐れ果や裂果等の生理障害の発生率は1%程度であった。全果房の収穫果数はM区およびS区がSS区より多かったが、これは3段果房の収穫果数が異なったためだった。一方、収穫果重はM区およびS区がSS区より多く、全ての果房で

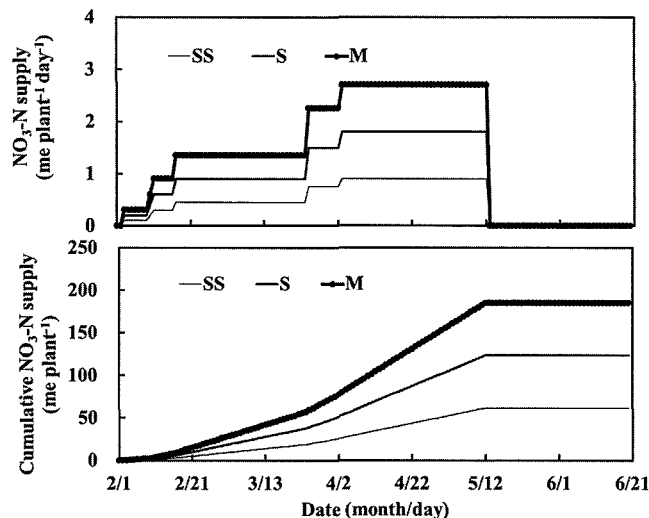


Fig. 1 Daily and cumulative NO₃-N supply to the tomatoes (Exp. 1).

Table 1 Effects of NO₃-N supply (Fig. 1) on top fresh weight, top dry weight, percentage of dry weight, leaf area, and specific leaf weight (SLW) of triple-truss tomato at harvest (Exp. 1).

NO ₃ -N Supply	Top fresh wt. (g plant ⁻¹)	Top dry wt. (g plant ⁻¹)	Percentage of dry wt. (%)	Leaf area (cm ² plant ⁻¹)	SLW (mg cm ⁻²)
SS	130 c	27.2 b	21.0 a	1717 c	9.6 a
S	188 b	32.1 b	17.1 b	3176 b	6.1 b
M	246 a	37.8 a	15.4 b	4139 a	5.9 b

Numbers within a column followed by the same letter are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$, $n = 6$).

Table 2 Effects of NO₃-N supply (Fig. 1) on number of fruits by truss, fruit weight by truss, average fruit weight, and soluble solids content (SSC) of triple-truss tomato (Exp. 1).

NO ₃ -N supply	Number of fruit (plant ⁻¹)				Fruit weight (g plant ⁻¹)				Average fruit weight (g)	SSC (%)
	1st truss	2nd truss	3rd truss	total	1st truss	2nd truss	3rd truss	total		
SS	3.7	3.2	1.8 b	8.7 b	290 b	175 b	92 b	557 b	62 c	9.3
S	4.2	4.0	3.3 a	11.5 a	368 ab	280 ab	213 a	862 a	74 b	9.4
M	3.8	3.8	3.7 a	11.3 a	397 a	305 a	225 a	927 a	81 a	9.5

Numbers within a column followed by the same letter are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$; $n = 6$ for number of fruits, fruit weight, and average fruit weight; $n = 9$ for SSC).

Table 3 Effects of change of NO₃-N supply (Fig. 2) on number of fruits by truss, fruit weight by truss, average fruit weight, and soluble solids content (SSC) of triple-truss tomato (Exp. 2).

NO ₃ -N supply	Number of fruit (plant ⁻¹)				Fruit weight (g plant ⁻¹)				Average fruit weight (g)	SSC (%)
	1st truss	2nd truss	3rd truss	total	1st truss	2nd truss	3rd truss	total		
S-S	3.8	2.8	2.3 b	9.0 b	315	228	152 b	695 c	76 b	10.4 c
S-M	3.5	3.3	3.7 a	10.5 a	360	278	270 a	908 a	87 a	10.5 b
M-M	3.6	3.4	3.7 a	10.7 a	343	294	277 a	914 a	86 a	11.2 a
M-S	4.0	3.3	3.2 a	10.5 a	342	240	205 a	787 b	75 b	10.7 b

Numbers within a column followed by the same letter are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$; $n = 6$ for number of fruits, fruit weight, and average fruit weight; $n = 9$ for SSC).

M 区が SS 区より多かった。また、平均果重は M 区、S 区、SS 区の順で大きかった。一方、果実糖度はいずれも 9% 以上で処理による有意差はみられなかった。

試験 2 第 2 花房開花期前後の NO₃-N 供給量の変更が トマトの成育、収量および果実糖度に及ぼす影響

栽培期間における毎日の NO₃-N 供給量および積算 NO₃-N 供給量の変化を Fig. 2 に示す。M-M 区および S-S 区の定植時における NO₃-N 供給量は、それぞれ 1.0 me plant⁻¹ day⁻¹、0.5 me plant⁻¹ day⁻¹ で、2 月 2 日までにそれぞれ 3.0 me plant⁻¹ day⁻¹、1.5 me plant⁻¹ day⁻¹ まで段階的に増加させ、収穫期以降徐々に減少するパターンを示した。一方、M-S 区の NO₃-N 供給量は第 2 花房開花期までは M-M 区と同じであったが、それ以降は 1.5 me plant⁻¹ day⁻¹ に減少し、収穫期にかけて段階的に減少した。さらに、S-M 区の NO₃-N 供給量は、第 2 花房開花期までは S-S 区と同

じであったが、葉面積最大期に 3.0 me plant⁻¹ day⁻¹ まで増加させ、収穫期以降は徐々に減少した。いずれの区でも 4 月 17 日以降は基本培養液の給液を停止した。定植から第 2 花房開花期における積算 NO₃-N 供給量は S-S 区および S-M 区が 25 me plant⁻¹、M-M 区および M-S 区が 50 me plant⁻¹ であった。また、全栽培期間における積算 NO₃-N 供給量は S-S 区、S-M 区、M-M 区、M-S 区がそれぞれ 111, 203, 221, 130 me plant⁻¹ であった。なお、ストレス培養液中の NO₃-N 濃度は、基本培養液の NO₃-N 供給量の変更処理開始前で S-S 区、S-M 区が 1 me L⁻¹、M-M 区、M-S 区が 3 ~ 5 me L⁻¹ であったが、NO₃-N 濃度変更後の第 2 花房開花期以降は M-M 区、S-M 区がそれぞれ 12 ~ 14 me L⁻¹、8 ~ 10 me L⁻¹ まで上昇したのに対し、S-S 区、M-S 区は 1 ~ 2 me L⁻¹ の低レベルで推移した (結果省略)。

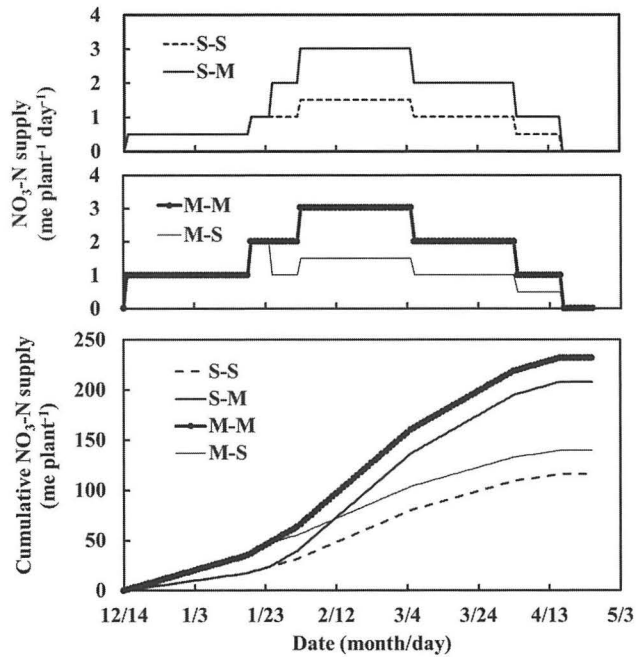


Fig. 2 Daily and cumulative $\text{NO}_3\text{-N}$ supply to the tomatoes (Exp. 2).

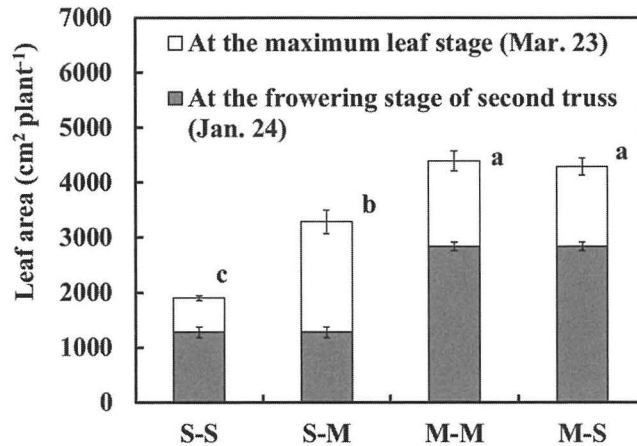


Fig. 3 Effects of change of the $\text{NO}_3\text{-N}$ supply (Fig. 2) on leaf area of triple-truss tomato (Exp. 2). Whiskers represent SEM ($n=6$). Bars labeled with the same letters are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$).

$\text{NO}_3\text{-N}$ 供給量の変更処理開始時（第 2 花房開花期, 1 月 25 日）および変更後（葉面積最大期, 3 月 23 日）の株当たり葉面積を Fig. 3 に示す。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度変更時の葉面積は, M-M 区および M-S 区が S-S 区および S-M 区より大きかったが, 変更後の葉面積は M-M 区および M-S 区が他区より大きく, 次いで S-M 区の順で, S-S 区が最も小さかった。なお, 株当たりの葉数はいずれも 16 葉であり, 処理

区における葉面積の違いは各葉位の葉面積が減少したためであった（結果省略）。

果房別の収穫果数, 収穫果重, 平均果重および果実糖度を Table 3 に示す。本試験では, いずれの処理区でも尻腐れ果や裂果等の生理障害の発生率は 1% 程度であった。全果房の収穫果数は S-S 区が他区に比べて少なく, これは 3 段果房の果数が減少したためであった。また, 収穫果重は

S-M 区および M-M 区が最も大きく、次いで M-S 区の順で、S-S 区が最も小さかった。果房別収穫果重をみると3段果房のみで S-S 区が他区より小さかった。また、平均果重は S-M 区および M-M 区が S-S 区および M-S 区より大きかった。果実糖度はいずれも 10% 以上であったが、M-M 区が 11.2% で最も高く、次いで S-M 区および M-S 区の順で、S-S 区が最も低かった。

試験 3 異なる栽植密度下における第 2 花房開花期前後の NO₃-N 供給量の変更がトマトの成育、収量および果実糖度に及ぼす影響

栽培期間における毎日の NO₃-N 供給量および積算 NO₃-N 供給量の変化を Fig. 4 に示す。M-M 区の NO₃-N 供給量は自動給液制御に基づき定植後次第に増加し、第 2 花房開花期以降の晴天日で 3.0 ~ 3.8 me plant⁻¹ day⁻¹ まで増加した。それ以降の NO₃-N 供給量はやや減少し、2.5 ~ 3.0 me plant⁻¹ day⁻¹ で推移した。さらに、収穫開始期の 4 月 1 日からは自動給液制御の設定を変更し NO₃-N 供給量を減少させ、4 月 28 日以降の基本培養液の給液は停止した。一方、S-L 区の NO₃-N 供給量は第 2 花房開花期までは M-M 区の 1/2 量である 1.5 ~ 1.9 me plant⁻¹ day⁻¹ まで増加し、それ以降は M-M 区の 2 倍量の 6.0 ~ 7.6 me plant⁻¹ day⁻¹ で推移した。4 月 1 日以降の NO₃-N 供給量は設定変更によって M-M 区と同様となった。積算 NO₃-N 供給量は、NO₃-N 濃度変更後の 2 月 25 日までは M-M 区が S-L 区よ

り多かったが、それ以降は S-L 区が M-M 区を上回った。全期間の積算 NO₃-N 供給量は、M-M 区、S-L 区がそれぞれ 248, 342 me plant⁻¹ であった。なお、ストレス培養液中の NO₃-N 濃度は NO₃-N 変更前の S-L 区で 3 me L⁻¹、M-M 区で 6 me L⁻¹ であったが、NO₃-N 変更後に S-L 区が最高 40 me L⁻¹ まで上昇したのに対し、M-M 区は最高 20 me L⁻¹ までの上昇にとどまった (結果省略)。

葉面積最大期 (3 月 18 日) の草丈、葉面積、LAI、トマト群落内の相対光量 (RLI) に及ぼす影響を Table 4 に示す。草丈は栽植密度の増加に伴って増加する傾向がみられ、8.6p の草丈は S-L 区は M-M 区より大きかった。株当たり葉面積は栽植密度の増加に伴って減少傾向を示し、いずれの栽植密度でも S-L 区は M-M 区より小さかった。なお、株当たりの平均葉数は 15.0 葉であり、処理区における葉面積の違いは各葉位の葉面積が減少したためであった (結果省略)。一方、LAI は栽植密度の増加に伴って増加傾向を示し、いずれの栽植密度でも S-L 区は M-M 区より小さかった。また、RLI は栽植密度が高いほど低下する傾向がみられ、いずれの栽植密度でも S-L 区が M-M 区より大きかった。

収穫果数、収穫果重、面積当たり収量、平均果重、果実糖度を Table 5 に示す。本試験では、両処理区とも尻腐れ果や裂果等の生理障害の発生率が 1% 程度であった。収穫果数はいずれの栽植密度でも NO₃-N 供給量による差はみられ

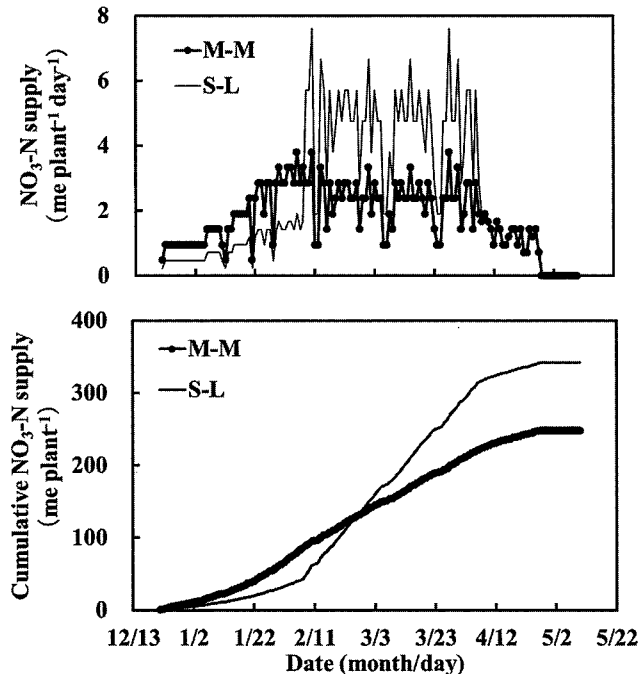


Fig. 4 Daily and cumulative NO₃-N supply to the tomatoes (Exp. 3).

Table 4 Effects of change of NO₃-N supply (Fig. 4) at different plant densities on plant height, leaf area, leaf area index (LAI), and relative light intensity (RLI) at the maximum leaf stage of triple-truss tomato (Exp. 3).

Plant density (plant m ⁻²)	Treatment		Plant height(cm)	Leaf area (cm ² plant ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	RLI (%)
	NO ₃ -N Supply					
4.3	M-M		107	7524 **	3.2 **	17.5
	S-L		101	4015	1.7	29.4 **
5.7	M-M		115	7028 **	4.0 **	7.3
	S-L		112	4899	2.8	22.3 **
7.2	M-M		117	6477 **	4.7 **	3.7
	S-L		113	4945	3.6	12.7 **
8.6	M-M		122 *	5859 **	5.0 **	4.6
	S-L		114	4605	4.0	13.3 **

Asterisks indicate significant differences between NO₃-N supplies: **P* < 0.05, ***P* < 0.01 (t-test; n = 6 for plant height, leaf area, and LAI; n = 3 for RLI).

Table 5 Effects of change of NO₃-N supply (Fig. 4) at different plant densities on number of fruits, fruit weight, average fruit weight, and soluble solids content (SSC) of triple-truss tomato (Exp. 3).

Plant density (plant m ⁻²)	Treatment		Number of fruit (plant ⁻¹)	Fruit weight		Average fruit weight(g)	SSC (%)
	NO ₃ -N Supply			(g plant ⁻¹)	(kg m ⁻¹)		
4.3	M-M		12.0	1196	5.1	100	9.3
	S-L		11.0	1251	5.4	114	9.7
5.7	M-M		10.8	975	5.6	91	8.5
	S-L		11.0	1161 *	6.6 *	102 *	8.4
7.2	M-M		10.7	852	6.1	80	8.3
	S-L		11.0	975 *	7.0 *	89	8.2
8.6	M-M		10.7	712	6.1	67	8.2
	S-L		10.8	866 *	7.4 *	81 *	8.2

Asterisks indicate significant differences between NO₃-N supplies: **P* < 0.05 (t-test; n = 6 for number of fruits, fruit weight, and average fruit weight; n = 9 for SSC).

なかった。一方、株当たり収穫果重は栽植密度の増加に伴って減少する傾向がみられ、4.3pを除きS-L区がM-M区より多かった。また、面積当たり収量は栽植密度の増加に伴って増加する傾向がみられ、4.3pを除きS-L区がM-M区より多かった。平均果重は収穫果重と同様に栽植密度の増加によって減少する傾向がみられ、4.3pおよび7.2pではNO₃-N供給量による差はみられなかったものの、5.7pおよび8.6pではS-L区がM-M区より大きかった。果実糖度は、4.3pではNO₃-N供給量に関わらず9.3~9.7%で、5.7p以上の8.2~8.5%より高い傾向がみられたが、いずれの栽植密度でもM-M区とS-L区との差はみられなかった。

考 察

トマトの養液栽培における現状の量管理法では、過不足の

少ない肥料成分の供給を目指して、成育段階別の養分吸収量を基準とした培養液管理が行われている^{7,8)}。トマト3段階心栽培における養分吸収量は、定植後における栄養成長の増大とともに増加し、葉面積最大期をピークとして徐々に減少する山型のパターンをとる¹⁰⁾。そこで、本試験ではこの成育段階別の養分吸収パターンをベースに、RCSにおける基本培養液の給液量およびNO₃-N濃度を変え、異なるNO₃-N供給量におけるトマトの成育、収量、果実糖度を比較した。また、試験2, 3では葉面積最大期をピークとしたNO₃-N供給パターンに加えて、第2花房開花期後にNO₃-N供給量を減らす処理(M-S区)や第2花房開花期までNO₃-N供給量を制限しその後大幅に増加させる処理(S-L区)といった、通常少量管理法では行われていないNO₃-N供給量の変更の影響についても検討した。

その結果、NO₃-N供給量が少ないほど地上部乾物重、

葉面積、収穫果重、平均果重が減少した (Table 1, 2)。栽培時の N 供給量が少ないと、トマトでは葉色の黄化、葉長、収量、平均果重の減少や葉の乾物率の上昇が生ずる¹¹⁾。また、N 供給量の減少による葉の光合成速度の低下は、葉身の N 濃度の減少や糖含量の増加と密接な関係があり、トマトの果実肥大速度の低下より早期に起こるとされる¹²⁾。栽培過程を通じて NO₃-N 供給量が少ない試験 1 の SS 区および試験 2 の S-S 区では、これらの報告と同様に葉面積、収穫果数および収穫果重の顕著な減少や地上部乾物率の上昇が生じたことや、基本培養液由来の余剰な肥料成分が再循環するストレス培養液中の NO₃-N 濃度が極めて低レベルであったことから、NO₃-N 吸収量の大幅な抑制によって植物体内が N 欠乏状態であったと推察された。一般的にトマトの栄養成長や収穫果重は、葉の光合成に基づくスクロースの供給量によって左右されることから¹³⁾、N 欠乏に伴う葉身の光合成速度の低下によって栄養成長や収穫果重が著しく抑制されたと考えられた。

また、トマトの果実糖度に及ぼす影響について、試験 1, 3 では NO₃-N 供給量の影響はみられなかったが (Table 2, Table 5)、試験 2 では栽培期間を通じて NO₃-N 供給量が充分であった M-M 区の果実糖度は他区より高かった (Table 3)。トマトにおける果実糖度の上昇は、植物体に付与される水分ストレスの程度¹³⁾や果実へのスクロースの供給量¹⁴⁾と密接に関係する。したがって、本試験では後者に関わる要因、すなわち NO₃-N 供給量に起因する光合成速度の低下が、果実糖度の低下に関与していると考えられた。ただし、本試験における果実糖度はいずれも高糖度トマトとして有利販売が可能な 8%¹⁵⁾以上に上昇しており、販売上の問題は無いものと考えられた。

さらに、試験 1~3 における NO₃-N 供給量およびこれに起因する栄養成長や収穫果重の大小に関わらず果実糖度が上昇したことは、RCS における果実糖度が主にストレス培養液の EC の影響を受けることを示唆している。

RCS では、NO₃-N を含む基本培養液を直接根域に給液するため、各成育段階における NO₃-N 供給量の変更は、その吸収量の変化を通じて植物体の栄養成長や収穫果重等に影響する可能性がある。NO₃-N 供給量の変更が葉面積に及ぼす影響について、第 2 花房開花期までの NO₃-N 供給量が少なく、それ以降に NO₃-N 供給量を M-M 区並み (S-M 区)、あるいはそれ以上 (S-L 区) に増加させても、株当たり葉面積は M-M 区に及ばなかった (Fig. 3, Table 4)。反対に第 2 花房開花期まで M-M 区並みの NO₃-N を供給した後に減少させても (M-S 区)、株当たり葉面積は減少しなかった。これまで、トマトの栽培過程における NO₃-N 供給量と葉面積との間に密接な関係があることは知られてい

るが^{16,17)}、本試験のように栽培途中における NO₃-N 供給量の変更が葉面積に及ぼす影響をみた事例はみあたらない。本試験の結果、第 2 花房開花期前後の NO₃-N 供給量と葉面積との間には密接な関係があり、特に第 2 花房開花期前の NO₃-N 供給量によって最大葉面積を制御できる可能性が示唆された。

NO₃-N 供給量の変更が収穫果重に及ぼす影響について、試験 2 では全成育段階で NO₃-N 供給量が少ない S-S 区では特に 3 段果房の収穫果重が減少したが、第 2 花房開花期以降の NO₃-N 供給量を M-M 区並みに増加させた S-M 区では M-M 区と同等の収穫果重が得られた (Table 3)。しかし、第 2 花房開花期まで M-M 区並みの NO₃-N を供給しても、それ以降の NO₃-N 供給量が少なく (M-S 区)、やはり 3 段果房の収穫果重が減少し、全収穫果重は M-M 区に及ばなかった。これらの NO₃-N 供給パターンによる収穫果重の相違から、3 段摘心栽培における第 2 花房開花期前後の NO₃-N 供給量と収穫果重との間には密接な関係があり、収穫果重には第 2 花房開花期後の NO₃-N 供給量、言い換えると葉面積が最大となり果実肥大が盛んになる成育段階での NO₃-N 供給量が寄与していると考えられた。

さらに、試験 3 では S-L 区の株当たり収穫果重および面積当たり収量は、5.7p 以上の高栽植密度下で M-M 区より大きかった (Table 5)。山下ら¹⁸⁾は、トマトの 3 段摘心栽培では栽植密度の増加に伴って平均果重が減少するため、冬春作では 6.7 Plant m⁻² 以上に栽植密度を高めても面積当たり収量は増加しないことを報告している。この高栽植密度下で面積当たり収量の増加が鈍化する現象は、葉の相互遮蔽の深刻化が株当たり受光量の減少と光合成の減少をもたらす、面積当たり収穫果数の増加と平均果重の減少が相殺されるためと解釈することができる¹⁶⁾。本試験では、NO₃-N 供給量が収穫果数に及ぼす影響は一部の処理区を除きみられなかったが、S-L 区では第 2 花房開花期までの NO₃-N 供給量の制限によって葉がコンパクト化し、RLI が大きく群落内に光が入りやすい葉層構造が形成され、上記のとおり高栽植密度下における株当たり収穫果重の過度な減少が軽減され、面積当たり収量の増加に結びついたものと考えられた。さらに、試験 2 のとおり平均果重や収穫果重は主に第 2 花房開花期以降の NO₃-N 供給量の影響を大きく受けることから、この成育段階における NO₃-N 供給量が S-L 区で多いことも収穫果重の増加に寄与した可能性がある。この点については、今後成育段階別の NO₃-N 供給量の増加と収穫果重との関係を植物体の N 含量や葉の光合成速度と関連させて詳細に検討する必要がある。

本試験における NO₃-N 供給量の変更による増収効果と成育制御手段としての適用性や再現性を検証するため、試

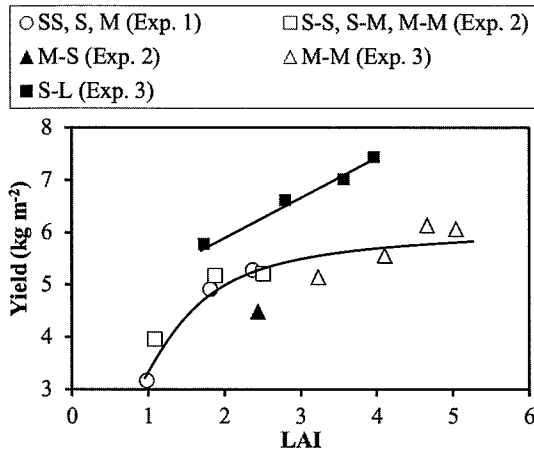


Fig. 5 Relationship between leaf area index (LAI) and yield per unit area of triple-truss tomato (Exp. 1-3).

験1～3におけるLAIと面積当たり収量との関係をFig. 5に示す。本試験では、3カ年にわたり異なるNO₃-N供給量でトマトを3段階摘心栽培した結果、面積当たり収量はLAIの増加に伴って増加する一貫した傾向がみられ、制御手段として再現性が高いことがうかがわれた。しかし、植物体のNO₃-N吸収パターン¹⁰⁾に準じて葉面積最大期をピークとしてNO₃-Nを供給した処理区(試験1:SS区, S区, M区, 試験2:S-S区, S-M区, M-M区, 試験3:M-M区)、言い換えると過不足の少ない肥料成分の供給を目的に定植後の栄養成長に比例してNO₃-N供給量を増加させた処理区では、LAIが概ね2.5以上になるとそれ以下に比べて面積当たり収量の伸びが鈍化する傾向がみられた。植物群落内における光の減衰モデル¹⁹⁾によると、LAI 3の植物群落の光吸収率は90%程度に達するため、LAIがそれ以上増加しても群落全体の乾物生産量に大幅な増加は見込めないとされる。実際のトマト生産でも、異なるNO₃-N供給条件で育成させた多段水耕栽培ではLAI 3～5以上になると葉の相互遮蔽が深刻化し、収量の増加が鈍化することが報告されている¹⁶⁾。したがって、本試験でもLAIが2.5以上になると葉の相互遮蔽によって株当たり収穫果重が大幅に減少し、LAIに対する面積当たり収量の増加が鈍化したと推察された。一方、第2花房開花期まで充分なNO₃-Nを供給し、それ以降のNO₃-N供給量を減少させた試験2のM-S区のプロットは、上記の関係の下方に位置した。M-S区では、第2花房開花期までの充分なNO₃-N供給量によって葉面積は確保されたが、それ以降のNO₃-N供給量の減少によってLAIに対する面積当たり収量が減少したと考えられた。

これに対し、試験3のS-L区では異なる栽植密度下におけるLAIと面積当たり収量との間に他区とは異なる直線的な

関係がみられ、面積当たり収量が多い傾向を示した。すなわち、S-L区では第2花房開花期までのNO₃-N供給量の制限によって葉がコンパクト化し、受光体勢が改善され、LAI当たりの収穫果数および平均果重が大きくなり、LAIに対する面積当たり収量が増加したことを示唆している。水稲²⁰⁾やトマト²¹⁾では、植物群落の受光体勢の指標である吸光係数が小さいことが多収品種の有する生態的特性の一つとされ、乾物生産や収量の増加に寄与している。また、吸光係数が小さい多収性水稲品種の乾物増加速度は、慣行の栽植密度では対照品種より大きい、間引き処理を行うとその差がみられなくなることから²²⁾、乾物生産に対する受光体勢の有利性はLAIが大きい条件下で発揮されることが示唆される。これらのことから、本試験において第2花房開花期までNO₃-Nの供給を制限し、それ以降の育成段階で大幅に増加させるNO₃-N供給量の変更は、高栽植密度下における収穫果重の増加に寄与した可能性があると考えられた。NO₃-N等を用いたこれまでの量管理法では、過度な栄養成長を防ぐことによって肥料消費量を削減できるとした報告は多いが^{7,8)}、本試験のように培養液の量管理法による生育制御と栽植密度の増加を組み合わせると多収化の可能性を示した報告はみあたらない。今後、NO₃-N供給量の変更による収穫果重の増加機構について、密植下の受光体勢の改善と果実肥大期のNO₃-N供給量の増加が群落光合成の増加や果実肥大の促進に及ぼす影響の解析がさらに必要と思われる。

高糖度トマト生産における生育制御手段について、斎藤ら²³⁾は2段階摘心NFT栽培における塩ストレス処理によって葉面積が小さく草姿がコンパクトになるため、高栽植密度下における高糖度トマト生産が可能としている。同様にRCSにおいても、ストレス培養液のECによって葉面積等の栄養成長の制御は可能だが⁴⁾、高ECや給液量の削減が栄養成長や収穫果重に及ぼす影響は気象環境によって変動しやすいこと²⁴⁾、果実糖度の上昇と栄養成長や収穫果重とは反比例すること^{1,3)}から、制御手段としての適用性および再現性に問題がある。これに対し、NO₃-N供給量の変更は、葉面積や平均果重等を果実糖度の上昇とは独立して制御することができ、本試験のとおり生育制御の再現性が高いことから、果実糖度と収量の両立、あるいは糖度目標に応じた多収化を目指すための制御手段として有用と考えられた。ただし、NO₃-N供給量の変更が葉面積等の栄養成長や収穫果重に及ぼす影響は、その変更のタイミングや変更前後のNO₃-N供給量によって異なることが予想されるため、NO₃-N供給量の変更条件による植物体のN含量、葉身の光合成の動態、栄養成長や収穫果重に対する影響の評価と解析をさらに進め、NO₃-N供給量の変更条件を最適化する必要がある。

摘 要

培養液の循環再利用が可能な循環キャピラリー栽培システム (RCS) を用いた高糖度トマトの 3 段階心養液栽培において、基本培養液の給液による NO₃-N 供給量が成育、収量および果実糖度に及ぼす影響を検討した。

栽培期間における NO₃-N 供給量が少ないほどトマトの地上部生体重量、地上部乾物重、葉面積および収穫果重は減少したが、果実糖度は 9 % 以上で差はみられなかった (試験 1)。第 2 花房開花期まで少ない NO₃-N 供給量で、その後に増加させた S-M 区の葉面積は、栽培期間を通じて十分な NO₃-N を供給した M-M 区に比べて小さいが、果実糖度は 10 % 以上に上昇し、同等の収穫果重が得られた (試験 2)。さらに、第 2 花房開花期まで NO₃-N 供給量を M-M 区の 1/2 量としその後 2 倍量に増やした S-L 区の葉面積は M-M 区に比べて小さく、LAI が小さく群落内の相対光量 (RLI) が大きい特徴がみられた。S-L 区および M-M 区の果実糖度は 8 % 以上で差が無かったが、S-L 区の収穫果重は 5.7 Plant m⁻² 以上の栽植密度で M-M 区より多かった (試験 3)。試験 1～3 を通じて、面積当たり収量は LAI が 2.5 以上になると増加が鈍化する傾向がみられたが、S-L 区 (試験 3) の面積当たり収量は LAI が大きい条件下で大きい傾向がみられた。

以上から、RCS を用いた高糖度トマト生産における基本培養液に基づく NO₃-N 供給量の変更は、高栽植密度下で面積当たり収量を増加できる成育制御法として有効である。

引用文献

- 高市益行. 水分・塩類ストレス制御による高糖度トマトの栽培技術. 農林水産技術研究ジャーナル. 28(5): 15-18. 2005
- Romero-Aranda R., Soria T., Cuartero J. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci.* 160: 265-272. 2001.
- 岡野邦夫, 中野有加, 渡邊慎一, 池田敬. 果実発育期の塩類ストレスによる一段養液栽培トマトの果実品質の制御. 生環調 40: 375-382. 2002.
- 大石直記, 守谷栄樹. 高濃度培養液を利用した高糖度生産に適した循環キャピラリー栽培システムの開発. 植環工 20: 165-175. 2008.
- 寺林 敏. トマト養液栽培における培養液養分の量的管理. ハイドロポニクス. 20: 65-67. 2007.
- 丸尾 達. 日射比例制御を用いた培養液の量的管理の概念. ハイドロポニクス. 20: 68-70. 2007.
- 中野有加, 渡邊慎一, 川嶋浩樹, 高市益行. トマト水耕栽培の無機成分の日施用における施用量が収量、品質および無機成分吸収量に及ぼす影響. 園学雑 75: 421-429. 2006.
- Phandara P., 切岩祥和, 遠藤昌伸, 竹内 香, 糠谷明. トマト栽培におけるダブルトラフ構造ベッドへの定量化と管理法の導入と施肥量削減の検討. 園学研 9: 441-448. 2010.
- 大石直記. 作物群落の散乱光量差を指標にした給液制御による高糖度トマトの養液栽培. 園学研 6 (別 2): 284. 2007.
- Terabayashi S., Muramatsu I., Tokutani S., Ando M., Kitagawa E., Shigemori T., Date S., Fujime Y. Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stage and fruit weight of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown hydroponically. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 73: 324-329. 2004.
- 門馬信二. 環境と品種特性の相互作用. 農業技術体系野菜編. 農文協, 東京. 2: 171-173(追録第 22 号). 2006.
- 金井俊輔. トマトの物質生産に及ぼす環境ストレスの影響とその生体情報に基づく栄養生理学的解析. 広島大学大学院生物圏科学研究科学学位論文. 広島. 72-99. 2009.
- 藤田耕之輔. ソース・シンク関係と植物生産. 現代植物生理学 5, 物質の貯蔵と輸送. 朝倉書店, 東京, p145-165. 1991.
- 日笠裕治, 今田成雄. トマトの¹⁴C-光合成産物の挙動に及ぼす培地窒素濃度の影響. 土肥雑 4: 377-384. 1993.
- 佐藤紀夫. 主要野菜の高品質基準と栽培技術. 野・果実・花きの高品質化ハンドブック. 日本施設園芸協会編. 養賢堂, 東京, p25-28. 1995.
- 細井徳夫. 養液耕による施設栽培長段トマト個体群の収量に好適な葉面積指数に関する研究. 野茶研報 16: 329-349. 2001.
- Matsuda R., Suzuki K., Nakano Y., Sasaki H., Takaichi M. Nutrient supply and fruit yields in tomato rockwool hydroponics under daily quantitative nutrient management: analysis and evaluation based on leaf area index. *J. Agric. Meteorol.* 67: 117-126. 2011.
- 山下文秋, 青柳光昭, 林悟朗. ロックウールトマトの低段密植栽培による周年生産. (第 1 報) 播種, 摘心位置及び栽植密度がトマトの生産特性に及ぼす影響. 愛知農総試研報 24: 115-122. 1992.
- Monsi, M. and T. Saeki. On the factor light in plant communities and its importance for matter production. *Ann. Bot.* 95: 549-567. 2005. (Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 14: 22-52).
- 斎藤邦行, 下田博之, 石原邦. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第 6 報 新・旧品種の比較を通じて. 日作紀 62: 509-517. 1993.

- 21) Higashide, T. and E. Heuvelink. Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 134: 460–465. 2009.
- 22) 斎藤邦行, 下田博之, 石原邦. 水稲多収品種の乾物生産特性 第1報 密陽23号と日本晴れの受光体勢の比較. *日作紀* 59: 130–139. 1990.
- 23) 斎藤岳士, 福田直也, 西村繁夫. 塩ストレス, 栽植密度ならびに果房直下の側枝が NFT 栽培トマトの収量および糖度に及ぼす影響. *園学研* 5: 415–419. 2006.
- 24) 大石直記. トマトの養液栽培における水分ストレスに応じた給液制御システムの開発 (2) 茎径変化を利用した給液制御. *生環調* 40: 91–98. 2002.