

トマト栽培におけるダブルトラフ構造ベッドへの定量施与管理法の導入と 施肥量削減の検討

Phandara Phanpradith^{1,2}・切岩祥和^{1*}・遠藤昌伸^{3a}・竹内 香¹・糠谷 明¹

¹ 静岡大農学部 422-8529 静岡市駿河区大谷

² 岐阜大院連合農学研究科 501-1193 岐阜市柳戸

³ 静岡大イノベーション共同研究センター 422-8529 静岡市駿河区大谷

Investigation of Reducing the Amount of Fertilizer and Introduction of Limited Nutrient Supply Control into Substrate Culture Using a Double Trough Bed of Tomatoes

Phandara Phanpradith^{1,2}, Yoshikazu Kiriwa^{1*}, Masanobu Endo³, Kaori Takeuchi¹ and Akira Nukaya¹

¹ Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Ohya Suruga-ku, Shizuoka 422-8529

² United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, Yanagido, Gifu 501-1193

³ Innovative and Joint Research Center, Shizuoka University, Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529

Abstract

Limited nutrient supply control of tomato grown in substrate culture using a double trough bed was investigated. Two experiments were conducted to determine the effect of a reduced amount of nutrient supply. Experiment 1. Treatment with 50 me NO₃-N • plant⁻¹ • week⁻¹ was considered in the cultivation and management of limited nutrient supply control. As a result, the yield till 4th truss was not significant compared with that under an EC-based control method. However on the 5th to 6th truss, the yield was decreased. At the late growth stage of 6th truss pinching of tomato, the results showed that 50 me NO₃-N • plant⁻¹ • week⁻¹ should be increased. Experiment 2. The influence of the amount of NO₃-N applied at the 6th truss pinching tomato growth stage was investigated. In limited nutrient supply control, the blooming periods of the 2nd, 4th and 6th flower clusters were treated with increasing amounts of 50, 70, 90 me NO₃-N • plant⁻¹ • week⁻¹, respectively. Compared with that under an EC-based control, these treatments reduced the inorganic component rate by 33% (NO₃-N), 56% (NH₄-N), 53% (PO₄-P), 41% (K), 22% (Ca) and 76% Mg, respectively. These results show that it is possible to apply limited nutrient control on tomatoes grown by substrate culture using a double trough bed, resulting in the reduction of the inorganic component, particularly NO₃-N.

Key Words : EC-based control method, nutrient uptake characteristics, substrate culture

キーワード : 固形培地耕, 濃度管理, 養分吸収特性

緒 言

養液栽培においては、水耕においても固形培地耕においても電気伝導度を指標として施用培養液濃度を決定する、いわゆる濃度管理が一般的である(糠谷, 2002)。これに対して、施用する無機成分量を制御することによって植物の養分吸収を管理する、量管理法が広まりつつある。量管理法には定量施与管理(寺林ら, 2004)、日射量に合わせて一定量を日施用する日射比例低濃度量的管理(Maruoら, 2001; 大澤ら, 2003)、生育段階別の日蒸散量をベースにして施用量を決定する日施用法(中野ら, 2006)が提唱され、営利栽培でも導入を始めた生産者がみられる。

寺林ら(1991, 1992, 2004), Terabayashiら(2004)および寺林(2006)が提唱した定量施与管理法は、湛液循環式水耕において、培養液を更新せずに一定量のNO₃-Nやリン酸を1週間または2週間間隔で施用することによりトマトを栽培する方法で、果実生産量、果実品質および無機成分吸収速度などから判断して問題なく栽培できることを報告している。一般的に土耕栽培では施肥を基肥と数回の追肥に分けて行うが、湛液循環式水耕における定量施与管理法はそれを1~2週間単位に分けて施肥する方法と言える。この湛液循環式水耕において提唱された定量施与管理法は、さらに細かく1日単位で生育段階別の養分吸収特性に合わせて無機成分を施用すれば、固形培地耕への導入も可能と考えられる。

ところで、糠谷・三倉(2009)は、第1図に示すように底部に2つの溝を有し、一方の溝にて排出される培養液を貯留して再び植物体が吸収できる構造のダブルトラフ構造

2009年10月21日 受付. 2010年1月5日 受理.

* Corresponding author. E-mail: akykiri@ipc.shizuoka.ac.jp

^a現在: 新潟県農業総合研究所園芸研究センター

ベッドを開発している。このベッドは、定量施与管理により毎日一定量の無機成分を与えるように調製した培養液を施用し、曇雨天日に植物体が吸水しきれずに溝に貯留された培養液（無機成分）を晴天日に再び作物が吸水できる構造とした。このベッドを利用すると、固形培地耕においても無機成分を含んだ排液を極力系外に廃棄することなく、栽培が可能になると思われる。一方、非閉鎖系であるかけ流し栽培においては、通常20～30%の排液を栽培系外に廃棄しているため、環境汚染の源ともなり、また肥料コストを上昇させる要因ともなる（磯崎ら, 2004; 糠谷, 2001）。ダブルトラフ構造ベッドを用いた定量施与管理法では、基本的に生育段階別の養分吸収特性に合わせて培養液施用を行うので過剰施用する危険性は小さく、なおかつ前述したように栽培系外への無機成分を含んだ排液の廃棄を少なくできるので、無機成分施用量の削減やコスト削減にもつなげることが可能と思われる。

そこで、湛液循環式水耕で提唱された定量施与管理法を、ダブルトラフ構造ベッドを用いた固形培地耕への導入可能性について、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を中心とする無機成分施用量をどの程度削減できるかについて検証した。本研究では濃度管理区を対照区として、実験1として6段階摘心栽培における $\text{NO}_3\text{-N}$ (50 me / 株 / 週)による定量施与管理、実験2として6段階摘心栽培における生育段階別 $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用による定量施与管理の2つの実験を行った。

材料および方法

1. 6段階摘心栽培における $\text{NO}_3\text{-N}$ (50 me / 株 / 週)による定量施与管理 (実験1)

2005年3月16日にロックウール粒状綿(66R, 日東紡)を詰めた10 cmプラスチックポットに、催芽したトマト(*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'ハウス桃太郎')を播種し、ガラス温室内で大塚ハウスA処方1/2単位培養液を施用して育苗した。4月20日に温室内のロックウール粒状綿85 Lを詰めたダブルトラフ構造ベッド(第1図, 3.5 m / 列)に、本葉約7枚の苗を7株ずつ定植した。培地は定植前に大塚ハウスA処方1単位培養液で十分に浸漬した。第

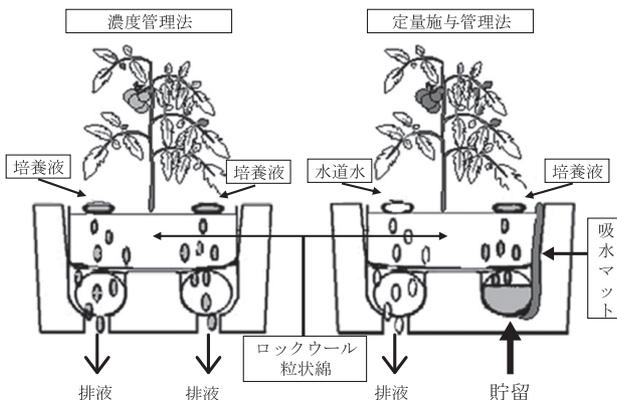
1花房開花期の5月2日に培養液施用処理を開始し、6月8日に第6果房の上位2葉を残して摘心した。なお、栽培期間中摘葉は行わなかった。果実は4果/果房となるように適宜摘果し、全果実収穫後の7月19日に実験を終了した。栽培期間中は無暖房とし、天窗の開閉温度を23°Cに設定した。なお、本研究ではすべての実験において、施用量を株当たりとして検討する意味から、株間を50 cm(おおよそ1,600～1,800株/10 aの栽植密度に相当)と広くし、十分に吸水できる条件にて実験を行った。

処理は、濃度管理区と50 me / 株 / 週の $\text{NO}_3\text{-N}$ を施用した定量施与管理区の2処理区を設け、各処理区14株(1区7株, 2反復)を供試した。ダブルトラフ構造ベッド上には2本の給液チューブを設置し(第1図)、濃度管理区では2本とも大塚ハウスA処方1/2単位培養液を、排液率30%を目標に24時間タイマーとサブタイマー制御により、毎日午前8時より午後5時の間に6回施用した。定量施与管理区では、一方のチューブでは培養液を、もう一方では水道水を供給した。培養液供給側の溝は余剰培養液を貯留し、培地が乾いた時には貯留液を吸い上げる閉鎖系構造にした。これに対して、水道水供給側の溝には排液口を設けた。これはタイマーによる給水制御では、たとえ数%でも排液が出るように管理することにより、十分な給水がなされたことが確認できるためである。栽培期間中、培養液側チューブでは天候に関わらず50 me / 株 / 週の $\text{NO}_3\text{-N}$ が施用されるように、300 ml / 株 / 日の園試処方1.5単位培養液を毎日午前8時と10時の2回に分けて施用した。その他の無機成分施用量は、 $\text{PO}_4\text{-P}$ = 12.6 (5月27日以降は16.8), $\text{NH}_4\text{-N}$ = 4.1 (同5.4), K = 25.2, Ca = 25.2, Mg = 12.6 me / 株 / 週とした。また、もう一方のチューブでは、排液20%程度を目標に天候に応じて水道水を11時30分～16時に4回供給した。給液あるいは灌水終了後に、排液口下に設置した容器内の排液量を毎日測定した。また、株当たり給液量あるいは灌水量と排液量から、吸水量と排液率を算出した。排液のECは週に3回測定した。

収穫時に、果実重量と生理障害の有無を果房ごとに記録した。生理障害果のうち尻腐れ果、裂果、空洞果、窓開き果以外を可販果とした。収穫した果実の可溶性固形物含有率は、各処理区につき果房当たり6個をデジタル糖度計(PR100, アタゴ)にて測定した。実験終了時に莖長、莖葉生体重を測定した。得られたデータは、必要に応じてt検定を行った。

2. 6段階摘心栽培における生育段階別 $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用による定量施与管理 (実験2)

2007年4月1日に播種し、ガラス温室内で園試処方1/2単位培養液を施用して育苗した。5月1日にビニルハウス内のロックウール粒状綿85 Lを詰めたダブルトラフ構造ベッドに、本葉約6枚の苗を1ベッド(第1図, 3.5 m / 列)当たり7株ずつ定植した。第1花房開花中の5月11日に処理を開始し、6月15日に第6果房の上位2葉を残して摘心



第1図 ダブルトラフ構造ベッドの断面図

し、全果実収穫後の7月28日に実験を終了した。その他の管理は実験1に準じて行った。

処理は、濃度管理区と生育段階によりNO₃-N施用量を増加させる2水準の定量施与管理区（定量施与管理50-70-90区、定量施与管理30-50-70区と略記）の計3処理区を設け、各処理区に14株（1区7株、2反復）を供試した。濃度管理区では、園試処方1/2単位培養液を、排液率20%程度を目標に1日6回に分けて施用した。定量施与管理区では、生育期間を第1～2花房開花期、第3～4花房開花期、第5花房開花期～実験終了時の3段階に分け、定量施与管理50-70-90区ではそれぞれの期間に50、70、90 me/株/週の、定量施与管理30-50-70区ではそれぞれ30、50、70 me/株/週のNO₃-Nが施用されるように、培養液側チューブを通して毎日8時と10時の2回、合計500 ml/株/日の修正園試処方培養液を天候に関わらず給液した。その他の無機成分施用量は、PO₄-P=15.0、NH₄-N=4.2、K=35.0、Mg=14.0 me/株/週とした。Caは、NO₃-Nを増加させるために硝酸カルシウムを用いたので、NO₃-N施用量が30、50、70、90 me/株/週のと看、それぞれ17.5、24.5、35.0、55.0 me/株/週となった。また、もう一方のチューブでは、排液20%程度を目標に天候に応じて水道水を11時30分～16時に4回供給した。

生育および収量、果実品質の調査と、株当たり給液量および給水量、排液量、排液EC、吸水量、排液率の測定を実験1と同様に行った。実験期間中に、排液中の無機成分の分析を4回（5月19日、6月1日、6月22日および7月9日）行った。実験のデータは分散分析を行い、必要に応じてシェフェの多重検定を行った。

結 果

1. 6段摘心栽培におけるNO₃-N（50 me/株/週）による定量施与管理（実験1）

栽培終了時の茎長は処理による有意差はなかったが、地上部生体重量は定量施与管理区で著しく減少した（第1表）。第1、2および4果房の果房別収量および第1～4果房の合計収量は処理による差がなかったが、第5および6果房では濃度管理区でそれぞれ652、660 g/株となったのに対し、定量施与管理区ではそれぞれ523、516 g/株となり、定量施与管理区で約20%の収量減少となった。その結果、株当たり合計収量は濃度管理区の4,264 g/株に対して、定量施

第1表 6段摘心栽培トマトのNO₃-N（50 me/株/週）施用による定量施与管理が生育に及ぼす影響（実験1）

処理区	茎長 (cm)	地上部生体重量 (g/株)		
		茎	葉	合計
濃度管理	182	591	1,554	2,145
定量施与管理	176	176	875	1,051
t検定 ²	ns	**	**	**

²nsおよび**は、それぞれt検定により有意差なしおよび1%レベルで有意差ありを示す

与管理区では3,858 g/株と有意に減少した。可販果収量は、濃度管理区の3,915 g/株に比べ、定量施与管理区では3,019 g/株と有意に減少した（第2表）。果房別の可販果収量（データ略）およびそれらの合計可販果収量は、尻腐れ果発生率が7%と低かった濃度管理区に比べ、尻腐れ果発生率が22%と高かった定量施与管理区で有意に減少した（第2表）。なお、収穫果実数は、全処理区において24果/株であった。可溶性固形物含有率は、処理間で有意差が認められなかった（第2表）。

栽培期間中の無機成分施用量をみると、濃度管理区と比較して定量施与管理区のNO₃-N、K、Ca、Mg施用比率はともに47%に、PO₄-Pは70%に、NH₄-Nは52%に減少した（第3表）。生育初期（第4花房開花期、定植後5週目ころまで）の植物体地上部の外観は処理による差がみられなかったが、その後5月下旬に定量施与管理区ではリン酸欠乏とみられる上位葉の伸張・展葉抑制による生育不良や茎径の低下が観察された。

処理開始から栽培終了時までの積算給液量（培養液+水）、吸水量、排液率は、濃度管理区ではそれぞれ156 L/株、133 L/株、14%、定量施与管理区ではそれぞれ136 L/株、115 L/株、15%であった（第4表）。栽培期間中の排液ECの経時的変化（第2図）をみると、濃度管理区では定植後から摘心時までは1.5～2 dS・m⁻¹の範囲（平均1.55 dS・m⁻¹）、摘心後から栽培終了時までは概ね1.7～

第3表 実験1における栽培期間中の積算無機成分施用量 (me/株)

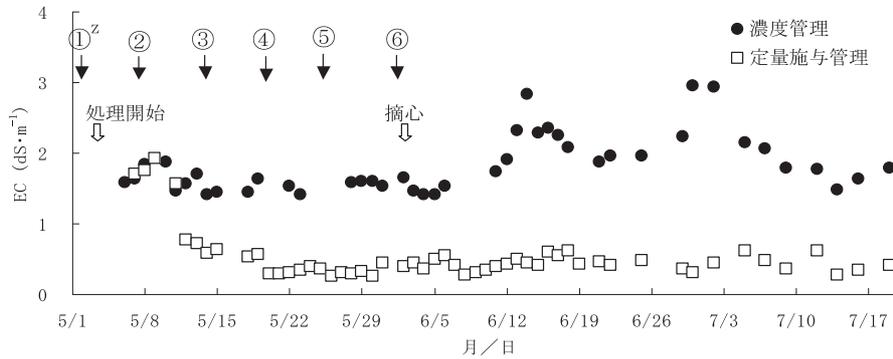
処理区	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
濃度管理	1,246	94	311	618	618	311
定量施与管理	583	49	218	292	292	146

第2表 6段摘心栽培トマトのNO₃-N（50 me/株/週）施用による定量施与管理が収量および品質に及ぼす影響（実験1）

処理区	収量 (g/株)						可販果収量 (g/株)	SSC (%) ²	尻腐れ果発生率 (%)	
	第1果房	第2果房	第3果房	第4果房	第5果房	第6果房				合計
濃度管理	750	705	871	627	652	660	4,264	3,915	5.4	7
定量施与管理	796	757	697	570	523	516	3,858	3,019	5.1	22
t検定 ²	ns	ns	**	ns	**	**	**	**	ns	**

²可溶性固形物含有率 (%)

²nsおよび**は、それぞれt検定により有意差なしおよび1%レベルで有意差ありを示す



第2図 栽培期間中の排液 EC の推移 (実験1)
 丸囲み数字は各花房の開花日を示す

第4表 栽培期間中の給排水量および吸水量 (実験1)

処理区	積算給水量 (L/株)		吸水量 (L/株)	排液量 (L/株)	排液率 (%)
	培養液	水			
濃度管理	156	—	133	22	14
定量施与管理	30	106	115	21	15

2.5 dS・m⁻¹ の範囲 (平均 1.98 dS・m⁻¹) で推移したのに対して、定量施与管理区では定植直後の 10 日間ほどは 1.5 ~ 2 dS・m⁻¹ 前後の高い値を示したが、処理開始から摘心時までは平均で 0.67 dS・m⁻¹、摘心後から栽培終了時までには 0.44 dS・m⁻¹ と低い値で推移した。

2. 6 段階摘心栽培における生育段階別 NO₃-N 施用による定量施与管理 (実験2)

栽培終了時の茎長は処理による有意差はなかったが、地上部生体重量は定量施与管理区で有意に減少した (第5表)。第1果房から第6果房の合計収量は、定量施与管理 50-70-90 区では 3,864 g/株となり濃度管理区 (4,219 g/株) と有意な差がなかったが、定量施与管理 30-50-70 区では 3,611 g/株となり、濃度管理区に対して有意に減少した。果房別に収量をみると、定量施与管理の2処理区間には第3果房までは差がみられなかったが、第4果房以降では定量施与管理 30-50-70 区で減少する傾向がみられた。収穫果実数は全処理区において 24 果/株であった。なお、尻腐れ果は若干発生したが摘果によりすべて摘除し、その後には発生がみられなかった。また、放射状裂果が 3 ~ 5% 程度

第5表 6段階摘心栽培トマトにおける異なる生育段階別 NO₃-N 施用量による定量施与管理が生育に及ぼす影響 (実験2)

処理区	茎長 (cm)	地上部生体重量 (g/株)		
		茎	葉	合計
濃度管理	171 a ^z	506 a	1,218 a	1,725 a
定量施与管理 50-70-90 ^y	168 a	452 b	885 b	1,337 b
定量施与管理 30-50-70 ^x	170 a	415 c	744 b	1,159 b

^z 縦列の数値は、文字が異なる場合 Scheffe の多重検定 (5%) により有意差があることを示す
^y 第1 ~ 2 花房開花期, 第3 ~ 4 花房開花期, 第5 花房開花期 ~ 栽培終了時にそれぞれ NO₃-N 50, 70, 90 me/株/週を施用
^x 第1 ~ 2 花房開花期, 第3 ~ 4 花房開花期, 第5 花房開花期 ~ 栽培終了時にそれぞれ NO₃-N 30, 50, 70 me/株/週を施用

発生したが、いずれも軽微であったため、収穫果はすべて可販果収量とした。可溶性固形物含有率は、処理間で差が認められなかった (第6表)。いずれの処理区でも、栽培期間中に植物体に欠乏症状などの目視による生理障害は観察されず、実験終了時まで健全に生育した。

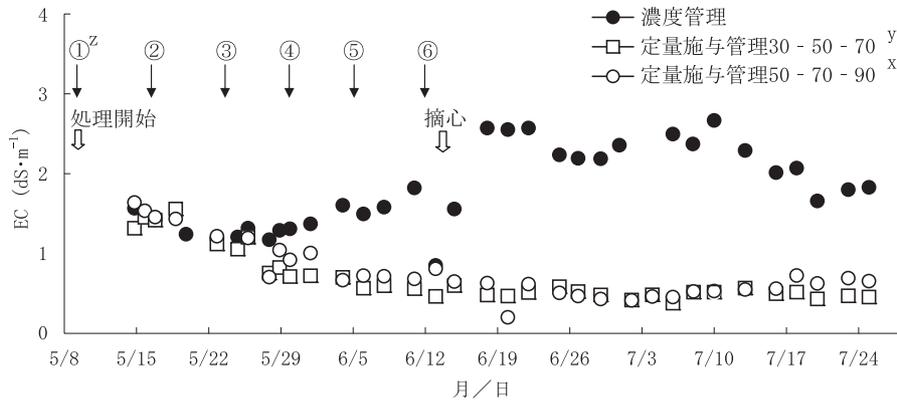
栽培期間中の無機成分施用量をみると、濃度管理区の NO₃-N 施用量は 1,237 me/株であったのに対し、定量施与管理 50-70-90 区では 824 me/株、定量施与管理 30-50-70 区では 611 me/株と、それぞれ濃度管理区の 67%、50% に減少した。Ca 施用量は濃度管理区の 618 me/株に対して、定量施与管理 50-70-90 区では 480 me/株、定量施与管理 30-50-70 区では 305 me/株と、定量施与管理区では硝酸カルシウムで NO₃-N を増施したにもかかわらず、濃度

第6表 6段階摘心栽培トマトにおける生育段階別 NO₃-N 施用量による定量施与管理が収量と可溶性固形物含量率に及ぼす影響 (実験2)

処理区	収量 (g/株)						合計	SSC (%) ^z
	第1果房	第2果房	第3果房	第4果房	第5果房	第6果房		
濃度管理	782 a ^w	667 a	749 a	727 a	662 a	632 a	4,219 a	5.9 a
定量施与管理 50-70-90 ^y	693 b	653 a	653 ab	645 b	653 a	567 b	3,864 ab	5.9 a
定量施与管理 30-50-70 ^x	709 b	652 a	554 b	591 c	542 b	562 b	3,611 b	5.6 a

^z 第2表参照

^{w,y,x} 第5表参照



第3図 栽培期間中の排水 EC の推移 (実験2)

^z丸囲み数字は各花房の開花日を示す

^y第1～2花房開花期, 第3～4花房開花期, 第5花房開花期～栽培終了時にそれぞれ NO₃-N 30, 50, 70 me/株・週を施用

^x第1～2花房開花期, 第3～4花房開花期, 第5花房開花期～栽培終了時にそれぞれ NO₃-N 50, 70, 90 me/株・週を施用

第7表 実験2における栽培期間中の積算無機成分施用量 (me/株)

処理区	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
濃度管理	1,237	100	309	618	618	309
定量施与管理 50-70-90	824	44	145	364	480	73
定量施与管理 30-50-70	611	43	144	359	305	72

管理区と比較するとそれぞれ 78%, 49%に減少した. 定量施与管理区の NH₄-N, PO₄-P, K, Mg 施用量比率は, 濃度管理区に比較してそれぞれ 44%, 47%, 59%, 24%に減少した (第7表).

第8表 栽培期間中の給排水量および吸水量 (実験2)

処理区	積算給水量 (L/株)		吸水量 (L/株)	排水量 (L/株)	排水率 (%)
	培養液 水				
	培養液	水			
濃度管理	157	—	131	26	17
定量施与管理 50-70-90	37	116	122	30	20
定量施与管理 30-50-70	36	114	112	38	26

処理開始から栽培終了時までの積算給水量 (培養液+水), 吸水量, 排水率は, 濃度管理区ではそれぞれ 157 L/株, 131 L/株, 17%, 定量施与管理 50-70-90 区ではそれぞれ 153 L/株, 122 L/株, 20%, 定量施与管理 30-50-70 区ではそれぞれ 150 L/株, 112 L/株, 26%であった (第8表). 栽培期間中の排水 EC の経時の変化をみると, 濃度管理区では定植後から摘心時まではおおよそ 1～2 dS·m⁻¹ の範囲で, 摘心後から栽培終了時までではおおよそ 1.5～2.5 dS·m⁻¹ の範囲で推移した. これに対して定量施与管理区では定植後の3週間は 1～1.5 dS·m⁻¹ 前後 (平均で 1.22 dS·m⁻¹) と高い値を示したが, その後は栽培終了時まで 0.5 dS·

第9表 排水の EC および無機成分濃度の経時の変化 (実験2)

処理区	EC (dS·m ⁻¹)	NO ₃ -N (me·L ⁻¹)	PO ₄ -P (me·L ⁻¹)	K (me·L ⁻¹)	Ca (me·L ⁻¹)
<u>5/17 (第2花房開花期)</u>					
濃度管理	1.5	1.0	0.4	2.1	0.9
定量施与管理 50-70-90	1.4	0.3	0.0	0.3	0.2
定量施与管理 30-50-70	1.4	0.4	0.0	0.4	0.2
<u>6/1 (第4花房開花期)</u>					
濃度管理	1.4	0.8	0.2	0.4	0.1
定量施与管理 50-70-90	1.0	0.4	0.0	0.4	0.2
定量施与管理 30-50-70	0.7	0.3	0.0	0.1	0.1
<u>6/22 (第1～2果房収穫期)</u>					
濃度管理	2.6	14.1	0.1	1.0	4.1
定量施与管理 50-70-90	0.6	0.9	0.0	0.2	0.2
定量施与管理 30-50-70	0.5	0.5	0.0	0.1	0.1
<u>7/9 (第3～4果房収穫期)</u>					
濃度管理	2.4	12.9	0.1	1.3	6.2
定量施与管理 50-70-90	0.5	0.3	0.0	0.4	0.9
定量施与管理 30-50-70	0.5	0.3	0.0	0.4	0.7

m^{-1} 前後の低い値で推移した (第3図)。

排液中の無機成分濃度をみると、濃度管理区では定量施与管理区よりも常に高い値を示した。濃度管理区の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、5月17日 (第2花房開花期) および6月1日 (第4花房開花期) の生育前半には $1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下であったが、6月22日および7月9日の摘心後の果実収穫段階では、 $13 \sim 14 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ と高い値を示した。これに対して定量施与管理区では、栽培期間を通してほとんど $0.5 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下であった。K, Ca も $\text{NO}_3\text{-N}$ と類似した傾向を示し、定量施与管理区では $1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下であった。定量施与管理区の $\text{PO}_4\text{-P}$ は、栽培期間中ほとんど検出されなかった (第9表)。

考 察

寺林ら (2004) が湛液循環式水耕において提唱した定量施与管理を、ダブルトラフ構造ベッド (第1図) を用いた固形培地耕においても適用可能性について検証してきた。我々は本試験に先立つ予備試験において、市販培養液 (大塚ハウス A 処方) を用いて週当たり窒素を $52 \text{ me} / \text{株}$ 、その他の無機成分を窒素に比例した濃度で施用し、トマトを栽培した。その結果、4段階摘心栽培では株当たりの果実収量は濃度管理区と定量施与管理区で同等となり、固形培地耕における定量施与管理による栽培が可能であることを明らかにした (竹内ら, 2005)。

これを受けて実験1では摘心段数を増やした場合の $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量を確認するために、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量を $50 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$ としたまま6段階摘心によりトマトを栽培した。その結果、第4段までは濃度管理区と同等の収量が得られたものの、第5～6段では収量が低下したため、6段階摘心栽培では生育後半に $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量を $50 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$ 以上に増加させる必要性が示唆された。逆に生育初期 (第1～2花房開花期まで) の排液 EC は、 $1.5 \sim 2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ と高く推移したことから、この生育初期に $\text{NO}_3\text{-N}$ を $50 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$ で施用するのは過剰である可能性も示唆された。寺林ら (2004) および中野ら (2006) の報告から、第1～2花房開花期の $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収量を算出すると、 $30 \sim 50 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$ であると推定される。また、これまでの長段栽培における量管理に関する報告では、中野ら (2006) が湛液水耕における日施用法において夏季に最大で $130 \text{ mg} / \text{株} / \text{日}$ ($65 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$) であることを、石原ら (2007) がかけ流し養液栽培システムにおけるみかけの吸収速度が $6 \sim 9 \text{ me} / \text{株} / \text{日}$ ($42 \sim 63 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$) であることを報告している。

そこで、実験2では生育段階が進むにつれて $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量を増加させる2水準の定量施与管理 (定量施与管理 50-70-90 区および定量施与管理 30-50-70 区) により、生育および収量と $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量を比較した。その結果、定量施与管理 50-70-90 区の収量は、濃度管理区と有意差がみられなかった。しかし、定量施与管理 30-50-70 区では、第1および第2果房の合計収量 ($1,346 \text{ g} / \text{株}$) は濃度管理区 ($1,449 \text{ g} / \text{株}$) と有意差がなかったのに対し、第6果房までの合計

収量は有意に減少した。中野ら (2006) や石原ら (2007) の報告によれば、6段階摘心栽培での $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量は本実験で設定した $70 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$ で十分と考えられるが、本実験の結果からは生育後半には $90 \text{ me} / \text{株} / \text{週}$ の施用が必要と判断された。この必要量の違いは、栽植密度や光条件の違いによる植物の蒸散量の差が影響したとも考えられる。無機成分の吸収は蒸散に伴う吸水により支配され、吸水の増加により無機成分吸収量も増える (池田, 2010)。本実験ではトマト各株の受光量を優先し、中野ら (2006) や石原ら (2007) より低い栽植密度 (株間 50 cm , $1.7 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$) で栽培したため、受光量の増加とそれに伴う蒸散量の増加が $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収を増加させたとも考えられる。また、中野ら (2006) および石原ら (2007) の実験では、それぞれ湛液水耕および培養液貯留槽を備えた栽培システムで実験を行ったため、固形培地耕で栽培した本実験と比較して無機成分利用効率が高く、施用量が少なくなったとも考えられる。

本実験における $\text{NO}_3\text{-N}$ の栽培系外への排出 (第9表) は、後述するように栽培期間を通してほぼ数%以内と考えられるため、定量施与管理 30-50-70 区と定量施与管理 50-70-90 区の収量差は $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量の差によるものではなく、他の無機成分の不足による可能性も考えられる。しかし、本実験ではその点を説明するデータが不足しているため、今後固形培地耕における定量施与管理による最適 $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量を検証し、中野ら (2006) や石原ら (2007) の報告との差異が生じた原因を明らかにする必要がある。

定量施与管理における無機成分の施用量削減効果を実験2でみると、濃度管理区に対する定量施与管理 50-70-90 区の削減率は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が 33%, $\text{NH}_4\text{-N}$ が 56%, $\text{PO}_4\text{-P}$ が 53%, K が 41%, Ca が 22%, Mg が 76% となり、定量施与管理により $\text{NO}_3\text{-N}$ を始めとする無機成分施用量を削減できることが明らかになった。

本実験における濃度管理区の排液 EC は、栽培期間を通して $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 前後の高い値で推移した。この排液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、摘心前までは新葉の展開に伴う養分吸収が多いため (和久井ら, 2004), $1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の比較的低い濃度で推移した (第9表) が、摘心後の果実収穫段階では $10 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上であった。濃度管理区における排液量は摘心前に $11 \text{ L} / \text{株}$ 、摘心後に $15 \text{ L} / \text{株}$ であり、第9表のデータから摘心前の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を $1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 、摘心後は $12 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ と仮定すると、摘心前、摘心後に廃棄された $\text{NO}_3\text{-N}$ はそれぞれ約 $11,180 \text{ me} / \text{株}$ と推定される。これは $\text{NO}_3\text{-N}$ の全施用量 $1,237 \text{ me} / \text{株}$ の 15% 以上に相当する。これに対して、定量施与管理 50-70-90 区の排液 ($30 \text{ L} / \text{株}$) 中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は栽培期間中概ね $0.5 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ で推移し、栽培期間中に廃棄された $\text{NO}_3\text{-N}$ はわずか $15 \text{ me} / \text{株}$ で、全施用量 $824 \text{ me} / \text{株}$ に対しては 2% 程度と推定される。同様に、その他の無機成分の廃棄量を推定すると、濃度管理区では $\text{PO}_4\text{-P}$ 3%, K 5%, Ca 13%, Mg 70% であったのに対し、定量施与管理 50-70-90 区では $\text{PO}_4\text{-P}$ 0%, K 3%, Ca 3%, Mg 52%

となった。以上の結果、定量施与管理による $\text{NO}_3\text{-N}$ を始めとする無機成分の施用量削減効果は大きく、また栽培系外への排出を極力低く抑制できる可能性が示された。

一般的に固形培地耕におけるかけ流し栽培では、通常20～30%の排水を栽培系外に廃棄するので、これが環境汚染源ともなり、また肥料コストを上昇させる要因ともなる(磯崎ら, 2004; 糠谷, 2001)。栽培系外への無機成分の廃棄および肥料コストの削減のためには、循環式システムが推奨され(石原ら, 2007; 磯崎ら, 2004; Nakanoら, 2010)、オランダなどではすでに実用化されている(糠谷, 2001)。しかしながら、循環式システムを導入するためには定期的な無機成分分析や病害防除のための殺菌装置の導入など、技術的あるいは経済的な観点から解決すべき課題が多く、日本での固形培地耕によるトマト栽培への導入は進んでいないのが現状である。これに対して、ダブルトラフ構造ベッドを用いた定量施与管理による栽培では、前述したように施肥量を削減できるとともに、栽培系外に廃棄する無機成分を限りなくゼロに近づけることが可能で、今後完全閉鎖型循環式栽培システムに代わる栽培方法として期待される。なお、本報では排水中の無機成分をすべて計測しなかったため、今後栽培期間中の無機成分廃棄量を正確に算出し、またこれら廃棄量をゼロとする技術開発も必要である。

摘 要

湛液循環式水耕で提唱された定量施与管理法を、ダブルトラフ構造ベッドを用いた固形培地耕のトマト栽培に導入可能か、またその場合 $\text{NO}_3\text{-N}$ を中心とする無機成分施用量を削減できるかを検証するため、2つの実験を行った。定量施与管理区ではロックウール粒状綿を詰めたダブルトラフ構造ベッド上に2本のチューブを配し、片方のチューブで所定濃度の培養液を毎日一定量施用し、もう一方のチューブでは水のみを与えた。濃度管理区では、一定濃度の培養液を施用する掛け流し栽培を行った。実験1では50 me/株/週の $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用して6段階心栽培における定量施与管理を検討した結果、第5～6段では収量が低下したため、6段階心栽培では生育後半に $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用量を50 me/株/週以上に増加させる必要性が示唆された。実験2では第1～2花房開花期、第3～4花房開花期、第5花房開花期～実験終了時にそれぞれ50, 70, 90 me/株/週および30, 50, 70 me/株/週の $\text{NO}_3\text{-N}$ を施用した2処理区において、6段階心栽培における生育段階別 $\text{NO}_3\text{-N}$ 施用による定量施与管理を検討した。その結果、定量施与管理50-70-90区の収量は濃度管理区と同等であり、無機成分施用量削減率は $\text{NO}_3\text{-N}$ 33%, $\text{NH}_4\text{-N}$ 56%, $\text{PO}_4\text{-P}$ 53%, K 41%, Ca 22%, Mg 76%となった。これらの結果から、固形培地耕でもダブルトラフ構造ベッドを用いることにより、定量施与管理が可能であり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を中心とする無機成分施用量を削減できることが明らかになった。

引用文献

- 池田英男. 2010. 低コスト植物工場のための栽培管理・労務管理・販売戦略. p. 96-106. 低コスト植物工場確立・普及推進委員会編著. 植物工場を始めるには(低コスト植物工場マニュアル). (社)日本施設園芸協会. 東京.
- 石原良行・人見秀康・八巻良和. 2007. 閉鎖型養液栽培用に開発された培養液組成がトマトの成分吸収濃度に及ぼす影響. 園学研. 6: 391-397.
- 磯崎真英・小西信幸・黒木 誠・野村保明・田中一久. 2004. 培養液の廃棄を削減する余剰液再利用ロックウールシステムにおけるトマトの生育および培養液成分濃度の推移. 園学雑. 73: 354-363.
- Maruo, T., H. Hoshi, M. Hohjo, Y. Shinohara and T. Ito. 2001. Quantitative nutrient management at low concentration condition in NFT spinach culture. *Acta Hort.* 584: 133-140.
- Nakano, Y., H. Sasaki, A. Nakano, K. Suzuki and M. Takaichi. 2010. Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 79: 47-55.
- 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行. 2006. トマト水耕栽培の無機成分の日施用法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.
- 糠谷 明. 2001. 培養液管理と環境. p. 59-67. 農業技術大系野菜編・第12巻 共通技術. 農文協. 東京.
- 糠谷 明. 2002. ロックウール栽培. p. 90-115. (社)日本施設園芸協会編. 養液栽培の新マニュアル. 誠文堂新光社. 東京.
- 糠谷 明・三倉直己. 2009. 果菜類の栽培方法およびその装置. 特許第4310785号.
- 大澤奈都子・高橋理恵・丸尾 達・篠原 温. 2003. トマトの低密度密植 NFT 栽培における培養液の日射比例低濃度定量施与管理区法に関する研究. 園学雑. 72 (別1): 236.
- 竹内 香・遠藤昌伸・切岩祥和・糠谷 明. 2005. トマトの養液栽培におけるダブルトラフ構造ベッドを用いた量的管理法の研究. (第1報)硝酸態窒素濃度を基準とした量的管理法の検証. 園学雑. 74 (別2): 407.
- 寺林 敏. 養液栽培での養分の量的管理技術. 2006. p. 養液栽培96の73の2-7. 農文協編. 農業技術大系野菜編. 第12巻. 農文協. 東京.
- 寺林 敏・浅香智孝・戸祭 章・伊達修一・藤日幸擴. 2004. トマト水耕栽培における硝酸態窒素およびリンの定量施与が養分吸収および果実生産に及ぼす影響. 園学研. 3: 195-200.
- 寺林 敏・北川恵理子・繁森孝夫・並木隆和. 1992. 硝酸態窒素およびリン吸収量を制限した培養液管理によるトマト水耕栽培. 園学雑. 61 (別2): 302-303.
- Terabayashi, S., I. Muramatsu, S. Tokutani, M. Ando, E. Kitagawa,

- T. Shigemori, S. Date and Y. Fujime. 2004. Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stages and fruit weight of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown hydroponically. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 73: 324–329.
- 寺林 敏・村松 功・徳谷清司・安藤正明・並木隆和. 1991. 水耕トマトの栽培期間中の平均養分吸収量と果実生産量との関係. 園学雑. 60 (別1): 304–305.
- 和久井 賢・P. Weerakkody・遠藤昌伸・切岩祥和・糠谷明. 2004. 電気伝導度を指標とするトマトの養分吸収濃度. 園学雑. 73 (別2): 388.