トマトの固形培地耕におけるダブルトラフ構造ベッドを用いた 定量施与管理法によるカリウム施用量の検討

Phandara Phanpradith^{1,2}・切岩祥和^{1*}・遠藤昌伸^{3a}・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 on Application Amount of Potassium in Limited Nutrient Supply Control of Tomatoes Grown in Substrate Culture Using Double Trough Bed

Phandara Phanpradith^{1,2}, Yoshikazu Kiriiwa^{1*}, Masanobu Endo³ 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

To investigate the suitable amount of potassium supplied to tomato plants through a limited nutrient supply control on substrate culture, tomatoes were grown until the 6th truss pinching stage in a substrate culture using a double trough bed with granulated rockwool. In the EC-based control method (control), nutrient solution was applied using a free drainage system. In the limited nutrient supply method, 250 mL of nutrient solution containing 3 levels of potassium (15, 30, 50 me K · plant⁻¹ · week⁻¹) was supplied to each plant. Results showed that there was no significant difference in the yield of the 1st to 3rd trusses. In the 4th to 6th cluster, the yield was lower in plants receiving 15 me K · plant⁻¹ · week⁻¹ treatment compared with that of controls, but there was no significant difference in plants receiving 30 and 50 me K · plant⁻¹ · week⁻¹. However, in plants receiving 30 me K · plant⁻¹ · week⁻¹ treatment, vascular browning was observed from the 2nd cluster to the 6th cluster with an incidence of 16 percent in the latter. The ratio of the total amount of potassium applied during the experiment at 15, 30 and 50 me K · plant⁻¹ · week⁻¹ treatment to that of control was 28, 56, 98%, respectively. Based on these findings, in the 6th truss of tomato grown on substrate culture considerable reduction of potassium supply caused a physiological disorder in the tomato fruit. Therefore, in the EC-based control method supply, it was necessary to increase the potassium supply from 30 me K · plant⁻¹ · week⁻¹ to 50 me K · plant⁻¹ · week⁻¹ during the early stage of the 2nd truss of fruit development.

Key Words : EC-based control method, nutrient uptake characteristics, reducing fertilizer

キーワード : 吸収特性, 濃度管理, 施肥量削減

緒 言

近年、電気伝導度を指標として施用培養液濃度を決定する濃度管理（糠谷，2002）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による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法（寺林ら，2004）、日射比例低濃度量的管理法（Maruo ら，2001）、日施用法（中野ら，2006）が提唱され、営利栽培でも導入が始まっている。Phandara ら（2010）は、ダブルトラフ構造ベッドを用いた固形培地耕で、定量施与管理法に

よるトマトの栽培が可能であることを示している。

一般的に作物の栽培で施肥される無機成分は、必須多量要素の窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムであるが、その中でも特にカリウムは吸収量が多い無機成分である（Chen・Gabelman, 1999）。湛液循環式水耕の定量施与管理法における4段階心栽培トマトの平均カリウム吸収量は、22～34 me/株/週であることが寺林ら（2004）により報告されている。また、大澤ら（2003）は、日射比例低濃度量的管理法におけるNFTでの3段階心栽培トマトのカリウム吸収量は、日射量が10 MJ/日の場合8～15 me/株/週であることを報告した。

Phandara ら（2010）は、ダブルトラフ構造ベッド（第1図；糠谷・三倉，2009）を用いた量管理法の研究で、トマトの6段階心栽培において硝酸態窒素の生育段階別施用量

2009年11月2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

を生育初期の 30 me/株/週から最大で 90 me/株/週と徐々に増やす必要があり、寺林ら (2004) が提案した 4 段階摘心栽培における 50 me/株/週よりも硝酸態窒素の必要施用量が多くなることを報告した。また、石原ら (2007) は、トマトの長段栽培において各無機成分のみかけの吸収速度が、生育ステージとともに増加することを示している。これらのことから、それぞれの多量要素についても同様に、生育ステージとともに施用量を増加させる必要があると考えられる。トマトの定量施与管理法における長段栽培でのカリウム施用量、特に固形培地耕における施用量に関する報告はないが、トマトの 12 段階摘心栽培において石原ら (2007) は、各無機成分のみかけの成分吸収速度を示し、定植から収穫開始にかけて上昇し、その後緩やかに変動するものの、摘心後に減少傾向を示すことを報告した。また、市販培養液を用いた処理では、1 作を通じた株あたりカリウム吸収量が硝酸態窒素について多いばかりでなく、成分吸収率 (吸収量/施肥量) も 96% (硝酸態窒素は 78%) と最も高いとしている。既報 (Phandara ら, 2010) において、6 段階摘心栽培トマトで園試処方 1/2 単位培養液の目標排水率をおよそ 20% として施用した濃度管理区において、平均カリウム施用量は約 55 me/株/週であった。トマトのカリウム吸収は、養液栽培で濃度管理した場合に旺盛で、果実収量の増加や品質の向上につながらない過剰なカリウムが吸収されているとも考えられる (城殿・鈴木, 2000)。

そこで、固形培地耕における 6 段階摘心栽培トマトで定量施与管理法を行う場合、異なるカリウム施用量が生育、収量に影響するか検討するために、3 段階のカリウム施用量 (15, 30 および 50 me/株/週) を設定し、ダブルトラフ構造ベッドを用いた定量施与管理によりトマトを栽培した。

材料および方法

2006 年 4 月 19 日に本葉 7 枚のトマト苗 ‘ハウス桃太郎’ を、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栽培ベッドに 1 ベッド (第 1 図, 横幅 26 × 深さ 11 × 長さ 350 cm/列) 当たり 7 株ずつ定植した。ビニルハウスの換気設定温度は 23°C とし、無暖房で栽培した。

第 1 図 ダブルトラフ構造ベッドの断面図

処理開始は第 1 花房開花期の 4 月 29 日とした。株は 1 本仕立てとし、6 月 8 日に第 6 花房の上位 2 節で摘心し、第 6 果房の収穫終了時である 2006 年 7 月 25 日まで栽培した。果実は 4 果/果房となるように摘果した。

処理は、濃度管理区とカリウム施用量を 15, 30 および 50 me/株/週の 3 水準とした定量施与管理区 (それぞれ定量施与管理・15 区, 定量施与管理・30 区, 定量施与管理・50 区と略記) の計 4 処理区を設け、各処理区 14 株 (1 ベッド 7 株, 2 反復) を供試した。ダブルトラフ構造の栽培ベッド上には 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 1/2 単位園試処方培養液を排水率 20% を目標に 1 日 6 回に分けて施用し、慣行的な掛け流し栽培を行った。定量施与管理区では、培養液側チューブで天候に関わらず所定のカリウムが施用されるように、250 mL/株の修正園試処方培養液を毎日 8 および 10 時の 2 回に分けて施用した。カリウム以外の無機成分施用量は、 $\text{NO}_3\text{-N} = 60$ (第 4 花房開花期の 5 月 29 日以後は 100), $\text{PO}_4\text{-P} = 17.5$, $\text{NH}_4\text{-N} = 5.6$, $\text{Ca} = 35.0$, $\text{Mg} = 7.0$ me/株/週とした。また、もう一方のチューブでは排水率 10% 以下を目標に、天候に応じて水道水を 11 時 30 分～16 時にかけて 4 回供給した。排水は容器に収集し、毎日の給水終了後に株当たり培養液施用量および灌水量、排水量、EC を測定し、吸水量、排水率を算出した。摘心するまで週に 1 回茎長を測定し、栽培終了時には、茎長、茎葉の生体重および SPAD 値 (SPAD-502, コニカミノルタ) を測定した。赤く着色した果実を毎日収穫し、果実重量、果実品質および生理障害の有無を記録した。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。栽培終了時に各処理区の葉身を株ごとに株全体から満遍なく採取し、80°C で通風乾燥後に粉碎し、無機分析の測定に供試した。分析は Nukaya ら (1977) の方法で行った。得られた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

栽培期間中の茎長は、処理開始から第 4 花房開花期 (5 月 25 日) までは処理による有意な差はなかったが、第 5 花房開花期 (6 月 1 日) には濃度管理区の 160 cm に対して、定量施与管理・15 区でのみ 152 cm と有意に減少した。また、第 6 花房開花期 (6 月 8 日) でも同様に、濃度管理区、定量施与管理・30 区、定量施与管理・50 区では有意差がなかったが、定量施与管理・15 区でのみ有意に減少した (第 1 表)。実験終了時の茎葉生体重は、濃度管理区に比べて定量施与管理区のいずれの処理区でも有意に減少した。SPAD 値は、茎長と同じ傾向を示した (第 1 表)。また、定量施与管理・15 区では第 3 果房収穫期以降に、定量施与管理・30 区では第 6 果房収穫期に葉部でカリウム欠乏症状が観察された。

果房別の収量は、第 1～3 果房では処理による差はなかった。しかし、第 4, 5, 6 果房の収量は濃度管理区ではそれ

第1表 定量施与管理における異なるカリウム施用量がトマトの生育に及ぼす影響

処理区	茎長（cm）		地上部生体重（g／株）			SPAD 値	
	第 5 花房 開花期	第 6 花房開花期		茎	葉		合計
		摘心前	摘心後				
濃度管理	160 a ²	182 a	172 a	557 a	1,278 a	1,835 a	57 a
定量施与管理・15	152 b	168 b	163 b	360 b	705 b	1,065 b	48 b
定量施与管理・30	156 ab	176 ab	168 ab	467 b	916 b	1,384 b	51 ab
定量施与管理・50	157 ab	181 ab	172 ab	477 b	952 b	1,429 b	56 ab

² 文字が異なる場合、縦列の数値は Scheffe の多重検定 (5%水準) により有意差があることを示す

第2表 定量施与管理におけるカリウム施用量の違いが総収量と品質に及ぼす影響

処理区名	総収量 (g/株)							SSC ^y (%)	尻腐れ果 (%)
	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	721 a ²	841 a	796 a	760 a	775 a	686 a	4,580 a	5.3 a	0.9 a
定量施与管理・15	793 a	839 a	648 a	510 b	591 b	557 b	3,939 b	5.0 a	1.0 a
定量施与管理・30	754 a	843 a	798 a	706 ab	627 ab	669 ab	4,396 ab	5.3 a	0.9 a
定量施与管理・50	726 a	799 a	766 a	705 ab	700 ab	648 ab	4,345 ab	5.4 a	0.9 a

² 文字が異なる場合、縦列の数値は Scheffe の多重検定 (5%水準) により有意差があることを示す

^y 可溶性固形物含有率の全果房平均値 (%)

第3表 定量施与管理における異なるカリウム施用量がすじ腐れ果発生率 (%) に及ぼす影響

処理区名	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	0	0	0	2	0	4	1
定量施与管理・15	2	9	39	43	36	38	28
定量施与管理・30	0	4	11	9	9	16	8
定量施与管理・50	0	0	0	0	2	5	1

第4表 栽培期間中の培養液施用量、灌水量、吸水量、排液量および排液 EC

処理区名	培養液施用量 (L/株)	灌水量 (L/株)	吸水量 (L/株)	排液量 (L/株)	排液率 (%)	排液 EC (dS・m ⁻¹)	
						摘心前 ^z	摘心後 ^y
濃度管理	164	—	126	38	23	0.81	1.57
定量施与管理・15	23	95	98	20	17	0.49	1.16
定量施与管理・30	23	109	110	22	17	0.48	1.02
定量施与管理・50	23	106	112	17	13	0.50	1.07

^z 処理開始から摘心時までの平均値

^y 摘心時から栽培終了までの平均値

第5表 栽培期間中の積算無機成分施用量 (me/株)

処理区	NO ₃ -N	P	K	NH ₄ -N	Ca	Mg
濃度管理	1,306	327	653	106	653	327
定量施与管理・15	1,132	231	185	74	642	93
定量施与管理・30	1,123	229	367	73	637	92
定量施与管理・50	1,118	229	642	73	634	92

ぞれ 760, 775, 686 g/株となったのに対して、定量施与管理・15 区ではそれぞれ 510 (濃度管理区の 67%), 591 (同 76%), 557 (同 81%) g/株となり、いずれも有意に減少した。定量施与管理・30 区、定量施与管理・50 区の第 4 と 5 果房の収量は、いずれも有意差はなかった (第 2 表)。総収量は、濃度管理区の 4,580 g/株に対して、定量施与管理・15 区、定量施与管理・30 区、定量施与管理・50 区で

はそれぞれ、3,939 (濃度管理区の 86%), 4,396 (同 96%), 4,345 (同 95%) g/株となり、濃度管理区に比べて定量施与管理・15 区でのみ有意に減少した (第 2 表)。可溶性固形物含有率は 5.0 ~ 5.4%, 尻腐れ果は各処理区とも 1%程度で、処理による有意差がなかった (第 2 表)。すじ腐れ果の発生は、濃度管理区と定量施与管理・50 区では収穫前半には確認できず、収穫後半になると第 5 および 6 果房でとも

に1%程度発生した。これに対し、定量施与管理・15区では第1果房収穫果実、定量施与管理・30区では第2果房収穫果実からすじ腐れ果の発生が観察され、最終的な発生率は定量施与管理・15区では28%、定量施与管理・30区では8%であった(第3表)。

栽培期間中の培養液施用量+灌水量、吸水量、排液率はそれぞれ、濃度管理区では164 L/株、126 L/株、23%、定量施与管理・15区では118 L/株、98 L/株、17%、定量施与管理・30区では132 L/株、110 L/株、17%、定量施与管理・50区では129 L/株、112 L/株、13%であった。また、栽培期間中における排液のECをみると、濃度管理区では摘心前は $0.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、摘心後は $1.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ であったのに対して、定量施与管理区では摘心前が $0.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、摘心後が $1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ であり、ともに摘心後に増加した(第4表)。

栽培期間中のカリウム積算施用量は、濃度管理区が $653 \text{ me}/\text{株}$ に対して、定量施与管理・15区、定量施与管理・30区、定量施与管理・50区ではそれぞれ185、367および $642 \text{ me}/\text{株}$ であり、濃度管理区の約28、56および98%であった。また、定量施与管理区におけるカリウム以外の積算施用量は、濃度管理区に比較して硝酸態窒素は約86%、リンは70%、アンモニア態窒素は約69%、カルシウムは約98%、マグネシウムは約28%であった(第5表)。栽培終了時の葉身中カリウム含有率は、濃度管理区(4.5%)>定量施与管理・50区(3.6%)>定量施与管理・30区(2.7%)>定量施与管理・15区(1.2%)と、カリウム施用量が減少するにつれて減少する傾向を示した(データ略)。

考 察

本実験の結果、6段階心栽培における定量施与管理法において15および $30 \text{ me}/\text{株}/\text{週}$ のカリウムを施用した場合、葉身部や果実でカリウム欠乏症状が観察された。第3果房までの収量は濃度管理区と同等であったが、第3果房果実ですじ腐れ果が発生したり、第4果房以降の収量が濃度管理区に比べて有意に減少したりしたことから、本システムでの定量施与管理における6段階心栽培では、15および $30 \text{ me}/\text{株}/\text{週}$ での施用量では欠乏することが示された。トマトのすじ腐れ果はカリウムの欠乏により発生することが知られており(渡辺, 2002)、カリウム施用量の不足を判断する指標となる。また、定量施与管理・15区ですじ腐れ果が発生したのと同時期に、葉身においてもカリウム欠乏症が観察された。定量施与管理・30区では第2果房収穫果においてもすじ腐れ果が発生していたが、葉部でのカリウム欠乏症が確認されたのは第6果房収穫期であった。濃度管理区と定量施与管理・50区においては、第5および6果房においてすじ腐れ果が全収穫果実の1%で観察された。すじ腐れ果は、冬の日照不足や夏の強光条件によっても引き起こされることから、これらの処理区での発生は、必ずしもカリウム欠乏によるものではない可能性もあるが、その

要因についてはさらに詳細な検討が必要である。

本実験の終了時に葉身中カリウム含有率を測定し、すじ腐れ果発生の要因について検討したところ、その含有率は、濃度管理区(4.5%)>定量施与管理・50区(3.6%)>定量施与管理・30区(2.7%)>定量施与管理・15区(1.2%)であった。Francisco・Marcelis(2004)は、1、3、7日間のカリウム供給停止により、葉身中カリウム含有率は対照区の約4%からそれぞれ約3、2、1%に減少することを報告した。本実験の濃度管理区における葉身中カリウム含有率4.5%は、Bishnu・Wiesman(2004)およびFrancisco・Marcelis(2004)の報告のように、カリウムが不足なく供給された状況における含有率であると推察され、その積算施用量は $653 \text{ me}/\text{株}$ であったが、定量施与管理・50区での積算施用量が $642 \text{ me}/\text{株}$ とその差はわずか $11 \text{ me}/\text{株}$ であったにも関わらず、カリウム含有率は3.6%に低下し、6段階心栽培における定量施与管理では欠乏気味となった可能性もある。Francisco・Marcelis(2004)の報告のように、たった1日のカリウム欠如の処理により、葉身中カリウム含有率が1%も低下することから、わずかな施用量低下の影響がカリウムでは顕著に現れやすい可能性もあるため、カリウムの施用量の削減を目的として定量施与管理を行う場合には、その適正な施用量を十分に検討する必要がある。本実験の結果は、6段階心トマトの定量施与管理法における適正なカリウム施用量を、すじ腐れ果の発生率が濃度管理区と同等の $50 \text{ me}/\text{株}/\text{週}$ とすることが、収量、品質の低下を回避するために必要であることを示し、その積算施用量の削減率はわずか2%にすぎなかった。定量施与管理法の特徴の一つは、濃度管理に比べ無機成分施用量を削減できることにあり、既報において硝酸態窒素の施用量を65%程度に削減しても収量は低下しなかった(Phandaraら, 2010)。本実験で収量や品質のいずれに関しても濃度管理区と有意差がなかった定量施与管理・50区における各無機成分積算施用量は、濃度管理区に比較してカリウム、カルシウムはほとんど削減効果がなかったが、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン、マグネシウムの施用割合は、それぞれ86、69、70、28%となり、これら成分の大幅な削減効果が得られた。Francisco・Marcelis(2004)の報告のようにカリウムの過度な削減は、葉身中カリウム含有率の低下を招き、生育や収量に悪影響を及ぼす危険性もある。従って、作物の養分吸収特性をさらに理解し、最高収量が得られる養分吸収パターンを明らかにしたうえで定量施与管理法における生育段階別施用量を決定するためにも、今後栽培試験を行っていく必要がある。

摘 要

固形培地耕におけるトマトの定量施与管理法によるカリウムの施用量を検討するため、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た栽培システムにて、トマトを6段階心栽培した。濃度管理区

では、園試処方 1/2 単位培養液で掛け流し栽培を行った。定量施与管理区では、一方のチューブでは所定の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。定量施与管理区では 3 水準 (15, 30 および 50 me / 株 / 週) のカリウム施用区を設け、定量施与管理・15, 定量施与管理・30, 定量施与管理・50 区と略記した。その結果、収量は第 1～3 果房では処理による差はみられなかった。第 4～6 果房の収量は、濃度管理区に比べて定量施与管理・15 区では有意に減少したが、定量施与管理・30 区、定量施与管理・50 区では有意差がなかった。しかし、定量施与管理・30 区ではすじ腐れ果が第 2 果房から発生し、第 6 果房の発生率は 16% にも達した。栽培期間中の積算カリウム施用量は、濃度管理区の 653 me / 株に対して、定量施与管理・15, 定量施与管理・30, 定量施与管理・50 区ではそれぞれ濃度管理区の 28, 56, 98% であった。以上の結果より、固形培地耕での 6 段階心栽培においては、カリウムの施用量の著しい削減は果実の生理障害を引き起こすため、濃度管理区と同等の施用量を必要とし、第 2 果房の果実発達期である比較的早い時期に 30 me / 株 / 週～50 me / 株 / 週に施用量をあげる管理が必要と結論された。

引用文献

- Bishnu, P. C. and Z. Wiesman. 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. *Scientia Hort.* 99: 279–288.
- Chen, J. and W. H. Gabelman. 1999. Potassium transport rate from root to shoot unrelated to potassium-use efficiency in tomato grown under low-potassium. *J. Plant Nutr.* 22: 621–631.
- Francisco, M. del A. and L. F. M. Marcelis. 2004. Regulation of K uptake, water uptake, and growth of tomato during K starvation and recovery. *Scientia Hort.* 100: 83–101.
- 石原良行・人見秀康・八巻良和. 2007. 閉鎖系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.
- 城殿和利・鈴木茂敏. 2000. 水耕栽培で育てられたトマトにおけるカリウム吸収量制限が成長、収量および品質におよぼす影響. *園学雑.* 69 (別2): 168.
- 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.
- 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. 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.
- Nukaya, A., M. Masui and A. Ishida. 1977. Salt tolerance of green soybeans. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 46: 18–25.
- 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. トマトの低段密植NFT栽培における培養液の日射比例低濃度量的管理法に関する研究. *園学雑.* 72 (別1): 236.
- Phandara P. ・切岩祥和・遠藤昌伸・竹内 香・糠谷 明. 2010. 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. *園学研.* 9: 441–448.
- 寺林 敏・浅香智孝・戸祭 章・伊達修一・藤目幸廣. 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.
- 渡辺和彦. 2002. 原色野菜の要素欠乏・過剰症. p. 63–67. 農文協. 東京.