

少量培地耕における栽植密度の違いがトマトの生育と収量に及ぼす影響

前田 健・加藤 優*・勝山 直樹**

Effects of Different Planting Densities on Tomato Growth and Yield in a Low-volume Substrate

Takeshi Maeda, Yu Kato and Naoki Katsuyama

要約：少量培地耕におけるトマトの収量向上を目的に、長期多段栽培において栽植様式を異にし、栽植密度を慣行の 2,500 株・10a⁻¹ から 3,125 株・10a⁻¹ に高めた密植栽培が生育と収量に及ぼす影響について調査した。供試品種‘りんか 409’において、慣行区と比較して密植区で 1 作を通じた株当たり可販果収量は同等となり、単位面積当たり可販果収量は栽植密度の増加により 27% 増加した。慣行区と密植区で相対光強度に差はなく、密植により単位面積当たりの葉面積 (LAI) が増加した結果、群落受光量が増加し、単位面積当たり収量が増加したと考えられた。以上より、少量培地耕の長期多段栽培において栽植密度を 3,125 株・10a⁻¹ に高めた密植栽培は収量向上に有効と考えられた。

キーワード：高収量栽培，養液栽培，葉面積指数，長期栽培，冬春トマト

緒言

岐阜県では土壌病害対策および作業姿勢改善などを目的に、高設化したベンチを用い、株当たり 1.2 L の培地で栽培するトマトの少量培地耕システム「独立ポット耕」を 2004 年に開発したり、独立ポット耕栽培システムは、2019 年までに全国で 16ha 程度導入されており、今後も新規就農者を中心に導入が進むことが期待される。本システムのベンチは丸パイプなどによる簡単な構造であり、自家施工も可能である。自家施工した場合の導入経費は他の養液栽培システムよりも比較的安価であるため、導入経費の回収にかかる年数も短いと考えられるが、これはトマトの平均単価および収量に大きく影響される。本システムを利用する生産者の経営を安定化させるには、収量性をさらに向上させることによりその費用対効果を高める必要がある。

Higashide²⁾はトマトの収量構成要素や収量に関連する形質の階層構造を示しており、新鮮果実収量を増やすには、総乾物生産を増やすことが必要であり、総乾物生産は光利用効率と面積当たりの受光量で決定される。金子ら³⁾はトマトの低段栽培において、定植時の苗ステージや栽植密度を変えても光利用効率には違いがないこと、果実新鮮重の増加には植物群落の積算受光量を増加させることが重要であることを明らかにした。また、群落受光量を増加させるには適正な単位面積当たりの葉面

積 (LAI) を確保する必要があり、LAI の増加には栽植密度の増加が有効であることを示している。

一方、冬期に日射量が少ない越冬作型の長期多段栽培では、栽植密度を増加させることは、株当たり受光量の低下につながると考えられるが、その影響について検討した報告は少ない。そこで本研究では、少量培地耕の独立ポット耕栽培での密植栽培による収量向上を目的に、岐阜県の冬春作型で多く導入されている長期多段栽培において、栽植様式を異にし、栽植密度の違いが生育と収量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1.栽培システムの概要

独立ポット耕栽培の慣行では幅 2 m に 1 ベンチ設置し、ポット間を 20 cm、2 条振り分け誘引により株間 40 cm、条間 (2 条に振り分けた株と株の距離) 60 cm、ベンチ幅 80 cm としており、10 a 当たりの栽植密度は 2,500 株である。栽植密度を高めるために 6 連の穴トレイ (兼弥産業 (株)) を用い、ポット間を 16 cm (株間 32 cm) とするベンチを考案した (第 1 図)。6 連穴トレイは慣行のトレイより幅が 12 cm 広いが、ベンチの構造においてトマトの茎を受けるための茎受けの長さを慣行と同じ 80 cm としているため、ベンチ幅は同じとなる。よって、6 連穴トレイを用いたベンチの栽植密度は 10 a 当たり 3,125 株となり、慣行と比較して 25% の増加となる。ポット間 20 cm のベンチを慣行区、ポット間 16 cm のベンチを密植区とし、8 月上旬定植、7 月中旬栽培終了の

* 現在 岐阜県飛騨農林事務所

** 現在 岐阜県農業大学校

本報告の一部は園芸学会平成 29 年度春季大会で発表した

長期多段作型において、岐阜県農業技術センター（岐阜市）のPOフィルム被覆単棟パイプハウス（面積約1.8a）で試験を実施した。

2. 耕種概要

供試品種として‘りんか409’（株）サカタのタネ）を用いた。2015年7月15日に育苗用培土（スターベッド、JA全農）を充填した50穴セルトレイに播種し、育苗用ガラス温室で育苗した。8月7日に本圃へ定植した。1ポット当たり1.2Lの培地（不二スーパー培土、不二種苗（株））を充填した不織布製ポットに本葉が2～3枚展開したセル苗を1株ずつ定植した。栽培ベンチ間の通路には光反射マルチ（タイバック1000AG、丸和バイオケミカル（株））を展張した。給液はタイマー制御による自動給液装置を用いたかけ流し式とし、晴天日の排液率が10～20%程度となるように回数を1日当たり4～40回に変更した。培養液は山崎トマト処方準じて単肥配合で作成し、生育に応じて給液のECを0.5～1.5 dS・m⁻¹に調整した。各花房にはトマトトーン®（4-CPA 0.15%、石原バイオサイエンス（株））の100倍液を週に1回散布して着果を促進した。ハウスの換気設定温度は25～28℃とし、冬期は温風暖房機により最低13℃で加温した。LPガス燃焼式のCO₂発生装置（みのるくんKCHN-35、（株）桂精機製作所）を用い、自作のCO₂濃度制御器により設定濃度400～500ppm、設定時間6～15時で10月27日から翌5月6日にCO₂施用を行った。

着果数は1果房当たり4～5果として摘果を行った。トマト生長点の高さを2.0～2.7mとし、随時つる下しを行い、収穫果房下の葉をすべて切除した。2016年5月31日に果房上2枚の葉を残し、摘心した。

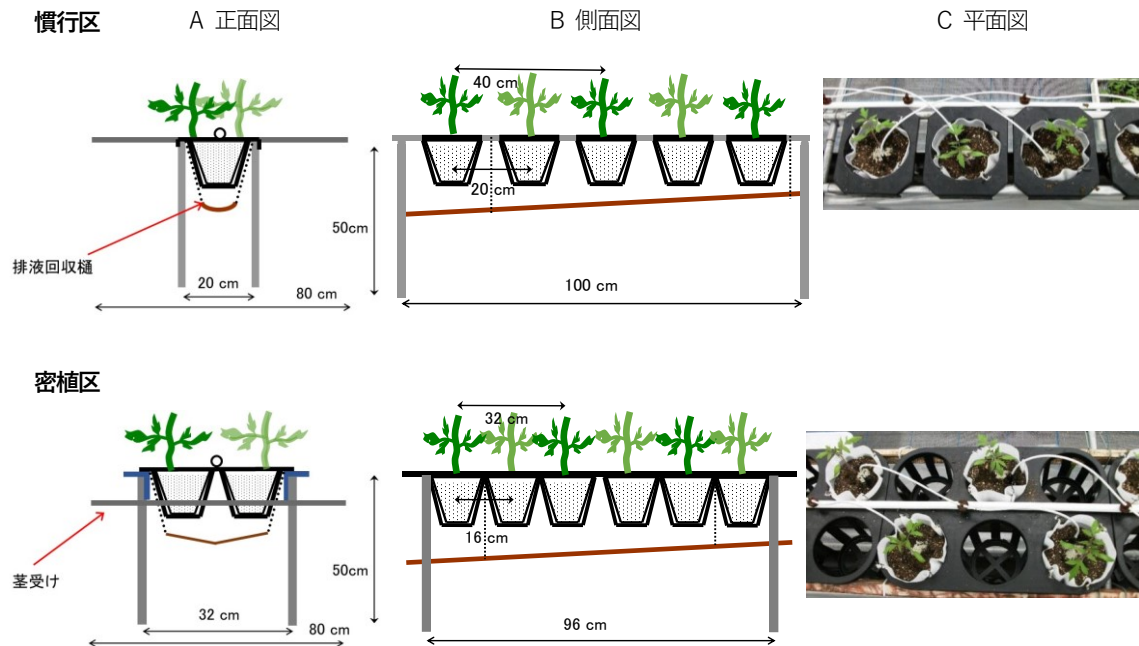
2016年においても同品種を供試し、同栽培方式により試験を実施した。2016年7月20日に播種、8月3日に定植し、2017年5月30日に摘心した。

3. 調査項目および方法

生育調査として2015年の栽培において月に1回の頻度で、生長点から50cm下に着生している葉の長さおよび同箇所の高径（長径）を測定し、同箇所の複葉内先端小葉の葉色（SPAD値）を葉緑素計（SPAD-502、コニカミノルタ（株））で測定した。調査は各試験区において12株で実施した。栽培終了時に1株当たりの収穫果房数を各試験区において20株を調査し、茎長は各試験区において6株を測定した。

収量調査は週に2～3回行い、JA全農ぎふの選果基準により可販果と規格外果に分け、個数、重量を調査した。各試験区において1箇所当たり連続8株を反復とし、4反復で実施した。調査期間は2015年の栽培は10月13日から翌7月19日まで、2016年は9月30日から翌7月16日までとした。

2016年の栽培においてトマト個体群の光環境の測定を行った。群落上部（床面より垂直方向高さ2m）と群落下部（同50cm）に簡易光量子計（UIZ-PAR、（株）ウ



第1図 栽植密度の異なるベンチの様子

イジン)を設置した。群落上部の光量子計センサーに茎葉がかからないように、生長点をセンサーの下にずらした。また群落下部のセンサーは栽培ベンチの上に設置した。2分間隔で光合成有効光量子束密度(以下、PPFD)を測定し、相対光強度(=群落下部PPFD/群落上部PPFD,%)を求めた。PPFDの測定は、密植区は2016年12月9日、慣行区は12月10日に実施し、直達日射の影響が少ない日の出後1時間(午前6時50分から7時48分)の平均値から相対光強度を算出した。さらに両区ともに2017年2月4日から2月9日まで群落下部のPPFDを測定した。

2016年の栽培ではLAIを推定するために、月に1回の頻度で生長点から50cm下に着生している葉の幅(複葉内の最大葉幅、各試験区3株)を測定し、以下に示した樋江井ら⁴⁾の方法により、個葉の面積を推定した。

$$\ln(y) = 2.09 \ln(W) - 1.42$$

Ln: 自然対数, y: 葉面積, W: 葉幅

葉長15cm以上の株当たり着生葉数を測定し、個葉面積にそれを乗ずることによって株当たり葉面積を算出し、さらに栽植密度から群落LAIの推定を行った。

4. 統計解析

試験区間の平均値の差の検定にはt検定を用い、エクセル統計(株)社会情報サービス)で行った。

結果

1. 栽植密度の違いが生育に及ぼす影響

栽植密度の違いが月ごとの生育に及ぼす影響について第1表、収穫果房数および茎長に及ぼす影響について第2表に示した。葉長について9月は慣行区より密植区で有意に大きかった。12月および2月は密植区で有意に小さかった。他の月に有意な差は認められなかった。茎径について11月、2月および3月に慣行区より密植区で

有意に小さかった。葉色については10～12月および3～6月にかけて慣行区より密植区で有意に薄かった。栽培終了時において収穫果房数は試験区間に有意な差は認められなかった。栽培終了時の茎長についても試験区間に有意な差が認められなかった。

第2表 栽植密度の違いが収穫果房数および茎長に及ぼす影響(2015～2016年)

試験区	収穫果房数 (段)	茎長 ^y (cm)
密植	25.7	663
慣行	25.4	625
有意性 ^z	n.s.	n.s.

^z t検定により、n.s.は有意差なしを示す(収穫果房数 n=20, 茎長 n=6)

^y 栽培終了時における茎長

2. 栽植密度の違いが収量に及ぼす影響

栽植密度の違いが株当たり総収量に及ぼす影響について第2図、株当たり可販果収量に及ぼす影響について第3図に示した。株当たり総収量は、慣行区より密植区で12月に有意に少なかったが、7月は有意に多かった。1作を通じた株当たり総収量の合計では、試験区間に有意な差は認められなかった。株当たり可販果収量は総収量と同様であった。果実外観品質において上物率(AおよびB品の構成比率)は慣行区で67.1%、密植区で67.3%と大差なかった。

栽植密度の違いが可販果1果重に及ぼす影響を第4図、果実サイズ別構成比率に及ぼす影響を第5図に示した。

第1表 栽植密度の違いが生育に及ぼす影響(2015～2016年)

試験区	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	
葉長 ^z (cm)	密植	23.6	35.6	40.8	44.9	41.4	41.1	38.1	36.5	40.7	39.4	39.1
	慣行	24.9	33.7	42.3	45.8	43.5	40.3	40.6	38.1	39.4	37.7	37.4
	有意性 ^w	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
茎径 ^y (mm)	密植	8.7	8.4	10.1	9.9	8.8	11.7	11.0	10.1	9.0	9.5	10.3
	慣行	9.1	8.2	10.1	11.6	9.4	11.0	12.1	11.7	9.2	10.7	9.4
	有意性	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.
葉色 ^x (SPAD値)	密植	47.8	48.7	48.5	42.8	38.0	44.4	45.5	50.0	50.1	56.0	59.9
	慣行	47.8	49.0	50.5	45.4	39.9	44.5	46.9	52.3	55.7	60.8	62.2
	有意性	n.s.	n.s.	*	*	*	n.s.	n.s.	*	**	**	*

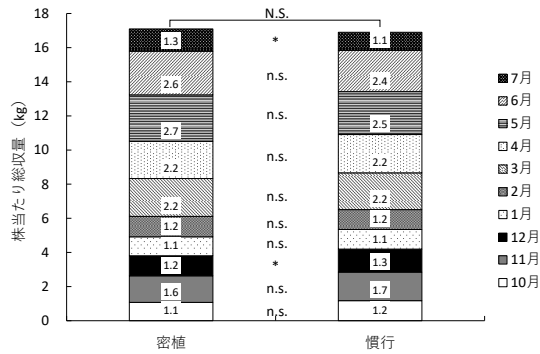
^z 生長点から50cm下箇所に着生した複葉の基部から先端までの長さ、6月は摘心位置から50cm下箇所

^y 生長点から50cm下箇所の長径、6月は摘心位置から50cm下箇所

^x 生長点から50cm下箇所に着生した複葉の先端3小葉で測定、6月は摘心位置から50cm下箇所

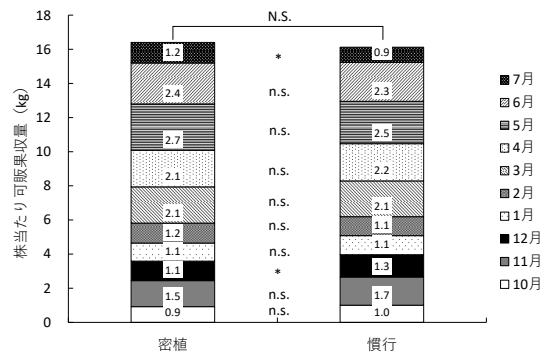
^w t検定により*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意差あり、n.s.は有意差なしを示す(n=12)

少量培地耕における栽植密度の違いがトマトの生育と収量に及ぼす影響



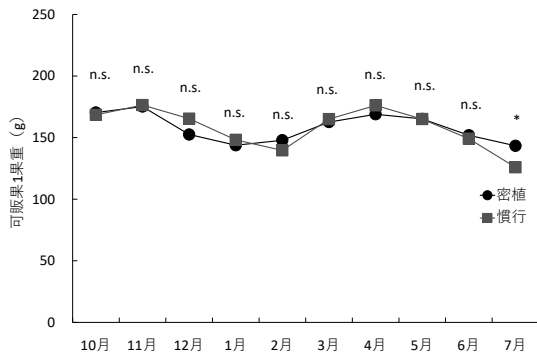
第2図 栽植密度の違いが株当たり総収量に及ぼす影響 (2015~2016年)

t検定により*は5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なしを示す (n=4)
符号の大文字は合計収量, 小文字は月別収量の比較を示す



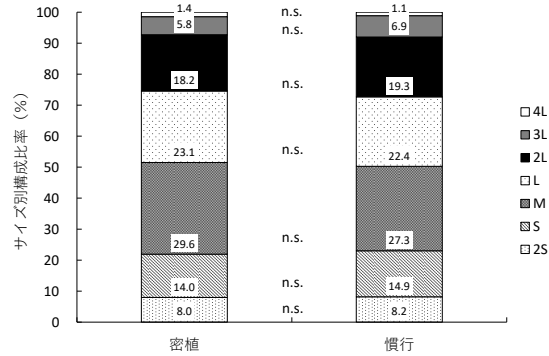
第3図 栽植密度の違いが株当たり可販果収量に及ぼす影響 (2015~2016年)

t検定により*は5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なしを示す (n=4)
符号の大文字は合計収量, 小文字は月別収量の比較を示す



第4図 栽植密度の違いが可販果1果重に及ぼす影響 (2015~2016年)

t検定により*は5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なしを示す (n=4)



第5図 栽植密度の違いが果実サイズ別構成比率に及ぼす影響 (2015~2016年)

アークサイン変換後, t検定により n.s.は有意差なしを示す (n=4)
階級は, 4L: ≥ 300 g, 3L: 230~299 g, 2L: 180~229 g, L: 150~179 g, M: 120~149 g, S: 100~119 g, 2S: 80~99 g とした

可販果1果重は慣行区より密植区で7月は大きく, 他の月は試験区間に差は認められなかった. 果実サイズ別構成比率は試験区間に有意な差は認められなかった. 1作を通じた平均可販果1果重は両区ともに159gで差はなかった (データ略).

3. 栽植密度の違いが光環境に及ぼす影響

相対光強度は慣行区の16.1%に対し, 密植区で23.4%となり, 密植区でやや大きかった (第3表). 2017年2月4日~9日までの群落下部PPFDの平均値は, 慣行区の $36.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に対し, 密植区で $39.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となり, 試験区間で大差なかった.

4. 栽植密度の違いがLAIに及ぼす影響

推定LAIは慣行区で1.1~3.5, 密植区で1.4~4.5となり, 栽培期間を通じて慣行区より密植区で大きく推移した (第6図).

第3表 栽植密度の違いによる相対光強度の比較 (2016年)

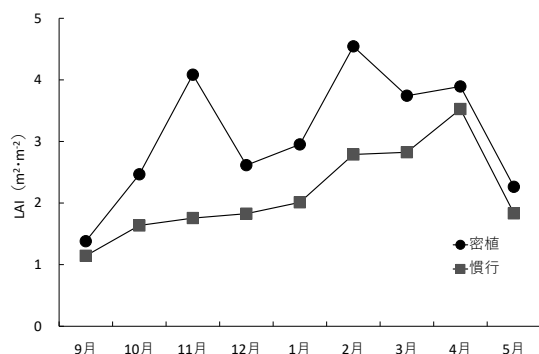
試験区	群落上部PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	群落下部PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	相対光強度 ^z (%)
密植	23.1	5.4	23.4
慣行	22.1	3.6	16.1

^z 群落下部PPFD/群落上部PPFD×100

密植区は2016年12月9日, 慣行区は12月10日に測定
午前6時50分から7時48分の平均値

考察

少量培地耕における独立ポット耕栽培の長期多段栽培において栽植様式を異にし, 栽植密度の違いが生育と収量に及ぼす影響について調査した. その結果, 栽植密



第6図 栽植密度の違いがLAIに及ぼす影響 (2016～2017年)

度を高めても株当たりの収量は同等となり、株当たりの光環境について慣行区と差がなかったと推察された。この要因について以下の2点が考えられる。

まず、密植区において株の受光態勢が改善されたことである。収穫果房数は試験区間に有意な差は認められず、栽植密度の影響はみられなかった(第1表)。茎長について2015年栽培では、試験区間に有意な差は認められなかったが、結果として密植区で40cm弱長く、両区で収穫果房数に差がなかったため、密植区では節間(果房間長)が長くなったと考えられた。2016年栽培では慣行区で607cm、密植区で664cmとなり、試験区間に有意な差が認められ(p<0.05)、収穫果房数は差が認められなかった(データ略)。このことから節間が詰まる品種‘りんか409’⁹⁾において、栽植密度を高めることによって節間が長くなり採光性が高まると考えられた。また、水稻やダイズでは密植になるにしたがって、葉柄の傾斜角度が大きくなり小葉が直立的になる⁹⁾。トマトにおいても同様になることが推察され、本試験において密植区で受光態勢が改善されたと考えられた。

次に、密植区でポットの配置を変えたことによって群落下部へ散乱光が入りやすい環境になったことである。両区ともに条間を60cmとしたが、密植区で用いたトレイ(ポット受け)は慣行のトレイより幅が12cm広く、密植区ではポットを千鳥で配置した。これによって群落下部へ散乱光が入りやすい環境に改善されたと考えられた。2016年の栽培で相対光強度および群落下部のPPFDを調べた結果、慣行区と密植区で大きな差はみられなかった(第3表)。熊崎ら⁷⁾は、本試験と同じ‘りんか409’を用いてハイワイヤー栽培(栽植密度は約1,700株・10a⁻¹)で12月の群落内の光強度を調べ、群落下部(地上高60cm)のPPFDは47μmol・m⁻²・s⁻¹であったことを報告している。本試験と栽植密度および測定時

期は異なるが、本試験で測定した群落下部のPPFDが慣行区で36.1μmol・m⁻²・s⁻¹、密植区で39.7μmol・m⁻²・s⁻¹という結果は熊崎らの結果と大差なく、概ね妥当な値と考えられた。前述した株の受光態勢の改善と併せて、密植区では慣行区より株間が狭くてもPPFDが低下しなかったと推察される。また、株当たり総収穫果数について慣行区で109個、密植区で110個と大差なかったため(データ略)、密植区において近接する植物体との光競合は、慣行区と大きな違いがなかったと考えられた。

LAIについては、2016年栽培において葉幅および着生葉数から推定した結果、栽培期間を通じて密植区で大きい値で推移した(第6図)。細井⁸⁾は、作物体の高さ2m程度のトマト個体群で抑制および促成栽培の場合、最大収量を得る好適なLAIは4弱としている。本試験の慣行区では4月にLAIが3.5であったが、他の月は3以下とLAIが小さい傾向であったのに対し、密植区では3以上の期間が長かった。このことから密植区では好適なLAIに近づいたと考えられた。収量について単位面積(10a)当たりで換算すると、密植区では総収量、可販果収量ともに慣行区を上回った(第4表)。可販果収量では、2015年栽培で27%、2016年栽培で18%増加した。密植区では栽植密度を高めたことによりLAIが増加し(第6図)、それにより群落受光量が増加し、単位面積当たり収量が増加したと考えられた。このことは、越冬作型の長期多段栽培においても金子ら³⁾の報告を支持する結果と考えられた。

第4表 栽植密度の違いによる単位面積当たり収量の比較

栽培年	試験区	総収量 (t・10a ⁻¹)	可販果収量 (t・10a ⁻¹)
2015年	密植	53.4	51.3
	慣行	42.2	40.3
2016年	密植	50.6	46.7
	慣行	42.6	39.7

10a当たりの栽植密度を密植区で3,125株、慣行区で2,500株として算出した

栽植密度の増加による単位面積当たりの収量の増加については古くから多くの報告があり⁹⁻¹⁴⁾、これらの報告では、栽植密度の増加により株当たり収量、着果数および果実重量は減少するとしている。本試験では12月に1果重の減少による株当たり収量の減少は認められたが、他の月にその傾向は認められなかった。よって、本試験で考案した密植区の栽植様式により、栽植密度が増加し、その増加に応じて単位面積当たり収量は増加すると考えられる。

ベンチ資材, 栽培資材, 給液システム関連一式の費用について10a当たりで試算したところ, 密植区で約2,980千円, 慣行区では2,839千円となり, 密植ベンチの導入費用は慣行ベンチと大差なかった(データ略)。これまでは独立ポット耕栽培を導入する際に, 施設の間口の幅により設置できるベンチ数が限られ, 栽植株数が標準としている2,500株・10a¹より少なくなってしまう事例もあった。今後は密植ベンチを採用することにより栽植株数の確保が可能となる。なお, 本試験は小規模の単棟パイプハウスで実施しているため, 実際の生産者の施設とは光環境が異なると考えられる。本試験では日射量の少ない低温期に密植区でやや生育が劣る傾向がみられ, 12月の収量が減少した。実際の導入にあたっては施設の光環境に注意を要する。

本研究により, 少量培地耕システム「独立ポット耕」の収量向上の1つの方法として, 栽植密度を高めることの有効性を示すことができたが, 栽植株数増加による管理作業の増加, すなわち労働時間の増加は, 昨今の労働力不足の状況下では大きな問題となる。今後はICTなどを活用して, 栽培管理の簡素化および省力化につながる技術開発を行っていく必要がある。

引用文献

- 1) 安田翔青・越川兼行・勝山直樹. 2008. トマトの独立ポット耕栽培システムの開発. 岐阜農技セ研報. 9: 11-16.
- 2) Higashide, T. 2013. Greenhouse Tomato Yield and Solar radiation. In T. Higashide (ed.), Tomatoes: Cultivation, Varieties and Nutrition. p. 3-18. Nova Science Publishers. New York.
- 3) 金子 壮・東出忠桐・安場健一郎・大森弘美・中野明正. 2015. 収量構成要素の解析からみたトマト低段栽培における定植時の苗ステージと栽植密度. 園学研. 14(2): 163-170.
- 4) 樋江井清隆・伊藤 緑・番 喜宏・恒川靖弘. 2018. 非破壊によりトマトの個葉面積を推定する回帰モデルの構築及び検証. 愛知農総試研報. 50: 19-26.
- 5) 榎本慎也. 2015. トマト大事典. p. 229. 農文協. 東京.
- 6) 平井 正・大杉 立. 2016. 作物生産生理学の基礎. p. 47-48. 農文協. 東京.
- 7) 熊崎 忠・東海林孝幸・池内裕弥・大月裕介・三浦慎一. 2019. ハイワイヤー栽培のトマトにおける光

強度, CO₂濃度, 葉面積および光合成速度の計測による適切なCO₂施用位置の考察. 生物と気象. 19: 66-70.

- 8) 細井徳夫. 2001. 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. 野茶試報. 16: 329-349.
- 9) 岩城英夫・野本宣夫. 1957. 植物群落における物質生産の研究, とくに栽植密度と耐蔭性の問題について. 生物科学. 9. 34-43.
- 10) 小田鬼八. 1942. 蔬菜の栽植密度について [2]. 農及園. 17. 73-76.
- 11) 瀬古竜雄・中静悞・佐々木正三郎・田中康彦. 1968. トマト栽植密度に関する研究(第1報). 露地栽培における栽植密度. 新潟園試報. 3. 1-50.
- 12) 岡迫義孝・吉原安行. 1969. トマトの密植栽培に関する研究(第2報) 半促成栽培について. 園芸学会昭44秋季大会研発表. 396.
- 13) 久富時男, 藤本幸平. 1978. トマトの1段密植栽培に関する研究(第1報)は種期別の生育, 収量について. 園学雑. 46. 487-494.
- 14) 田中征勝・小餅昭二. 1982. ハウス促成トマトの生育と果実生産におよぼす栽植密度と摘心段位の影響. 北海道農試研報. 135. 83-99.

Abstract

With the aim of improving the fresh fruit yield of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) grown in a low-volume substrate, we investigated the effects of two different planting systems on growth and yield. A conventional plot for culturing 2,500 plants a⁻¹ and a high-density planting plot for culturing 3,125 plants a⁻¹ were investigated in this study. No significant difference was observed in the yield of saleable fruit per plant, and as the number of plants increased, the yield of saleable fruit per unit area increased by 27%. No difference was observed in relative light intensity between the high-density planting plot and conventional plot. Furthermore, it was considered that as a result of the increase in leaf area index due to dense planting, the amount of light received by the canopy and yield per unit area increased. Consequently, high planting density can be considered effective for yield improvement of tomatoes grown in a low-volume substrate during long-term cultivation.

Key Words: high-yielding production, hydroponic culture, leaf area index, long-term cultivation, winter-spring tomato cropping