Yield and Root Activity in Tomatoes Grown in a Low-truss Nutrient Film Technique under High-yielding Conditions

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中野, 明正, 金子, 壮, 安場, 健一郎, 東出, 忠桐, 鈴木, 克己, 木村, 哲, 田村, 奨悟 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001767

野菜茶業研究所研究報告　12：75～80（2013）

多収環境におけるNFT低段栽培トマトの収量と根系の比較解析

中野　明正・金子　壮・安場　健一郎・東出　忠桐
鈴木　克己＊・木村　哲＊＊・田村　奨悟＊＊

（平成24年10月24日受理）

Yield and Root Activity in Tomatoes Grown in a Low-truss Nutrient Film Technique under High-yielding Conditions

Akimasa Nakano, So Kaneko, Ken-ichiro Yasuba, Tadahisa Higashide,
Katsumi Suzuki, Satoru Kimura and Shogo Tamura

Ⅰ　緒　　言

トマトの多収をもたらす条件として，多くの生理生態的な要因が関与していると考えられ，それらを解明して日本品種の多収化に結び付けることが求められている（斉藤，2012）．長期多段のロックウール栽培では，ユビキタス環境制御システム（UECS）により，40kg m^{-2}の多収性が達成されている（安場ら，2011）が，低段密植栽培および多くの品種を供試した多収条件下での検討はなされていない．

本研究では，まず，育成中の品種も含めて，日本のトマト品種を中心に16品種のトマトについて，多収環境（作物の多収のために温度に加えて湿度やCO_2濃度などを管理した環境，以下多収環境という）において，養液栽培（NFT低段栽培）した場合の，品種間差を明らかにすることを試みた．具体的には，NFTによる低段密植栽培で，多収環境として，UECSにより，温湿度管理を行うとともに，CO_2制御などにより高度な環境制御を行った場合を，慣行の環境管理の生産量と比較することにより，トマトの多収性を評価した．

また，地下部（根系）は養水分吸収など生育に重要な役割を担っているとともに，シンクとしても一定の機能があり（Heuvelink ら，2005），果実の生産性にも影響を与えているが，通常のロックウール栽培では，採取や観察が困難なこともあり（中野ら，2007a），根系に関する比較情報は少ない．本研究で対象としたNFTは根系の採取が比較的容易であり，地上部との比較も可能となるため，多収機構の解明に資する情報が得られると考え，併せて評価した．また，オランダ品種と日本品種において，根の活性指標のひとつとされる出液速度と収量との高い正の相関を示す結果が，長段のロックウール栽培では得られているので（中野ら，2007b），NFT栽培の低段栽培においても同様の関係があるのかにも着目した．

Ⅱ　材料および方法

1　栽培条件

実験は，モデルハウス型植物工場実証・展示・研修事業を実施中の農研機構植物工場つくば実証拠点（茨城県つくば市）で行った．施設は軒高5.1 m，面積約2,500 m^{2}のフェンロー型ハウスであり，ハウス屋根の被覆資材は散光性フッ素系フィルム（Fクリーン GR ナシジ，AGC グリーンテック）であった．使用した品種は日本品種を中心に育成中の品種およびオランダ品種を含め16品種，‘桃太郎ヨーク’，‘CF桃太郎ヨーク’，‘CF

〒305-8666　茨城県つくば市観音台3-1-1
野菜生産技術研究領域
＊野菜研究調整監
＊＊タキイ種苗株式会社　茨城研究農場

桃太郎 J’，‘CF 桃太郎はるか’，‘No.53’，‘No.147’，‘No.82’（以上タキイ種苗），‘麗容’（サカタのタネ），‘スーパー優美’，‘冠美’（以上丸種），‘耐病竜福（金子種苗）’，‘AEGEAN’（Enza Zaden 社），‘系統 PF14’，‘系統 PF15’，‘系統 PF16’，‘ハウストップ’（以上タキイ種苗）であった．これらの品種を 2011 年 9 月 21 日に播種，同年 10 月 14 日に定植した．上記実証拠点内の栽培室（9m × 18m）に 7 列の NFT 方式の養液栽培ベッド（東海物産㈱）を設置し，7 列の内，内側の 4 列を試験に用い，端はガード植物として扱った．栽培ベッド上面の高さは床面より約 58cm であり（底面の高さは約 45cm），誘引ワイヤは床面より 205cm に設置した．栽培は株間 15cm，2 条振りわけで行い，条間は 100cm であった（5.13 株・m^{-2}）．摘心は第 3 果房上 2 葉を残して行い（低段密植栽培），受粉はトマトトーンによるホルモン処理で行った．栽培室の環境制御にはユビキタス環境制御システム（ステラグリーン㈱社製）を用い，天窓の換気設定温度は 25℃とした．遮光スクリーン（LS スクリーン，誠和。㈱社製）は，定植 40 日後までは屋外日射が 0.8 $kW{\cdot}m^{-2}$ 以上の場合に，定植 41 日以降は 1.2 $kW{\cdot}m^{-2}$ 以上で稼働させた．

本研究での多収環境とは，細霧冷房，ヒートポンプ冷房および CO_2 施用を実施する環境のことであり，慣行区ではこれらの制御を行わなかった．

細霧冷房システム（有光工業㈱社製）は，設定気温 23℃以上で相対湿度 80％以下の場合に噴霧時間を 60 秒，噴霧周期を 120 秒として稼働した．夜間（20：00 ～ 7：00）はヒートポンプで気温 23℃を目標に室内を冷却した．CO_2 濃度は，午前 10 時まで生ガスを導入することにより付加し，2011 年 11 月までは 650μmol・mol^{-1} を目標に，それ以降は 550μmol・mol^{-1} を目標に制御した．屋外および屋内の気温，湿度および日射などの気象データはユビキタス環境制御システムで測定した．

2　収量調査

果実の収穫は 2012 年 3 月 2 日から 4 月 16 日にかけて，おおむね 1 週間に 2 回，15 ～ 21 株を品種毎に実施し，障害果（空洞果，乱形果，裂果，尻腐れ果，チャック果，窓開き果）を除いた秀品果を株当たり収量とした．

3　根系の評価

根の活性を示す指標のひとつである出液速度については，地上部を切断後にその切り口から出てくる導管液量を測定した（森田・阿部，1999）．収穫終了直後の株を用いて 2012 年 4 月 17 日 10：00 から順次株元から約 10cm 部分で茎を切断し，切り口を脱脂綿で覆い，それをビニール袋で覆い，輪ゴムにより固定した．1 時間後に脱脂綿を回収し重量を測定した．出液速度は桃太郎系（桃太郎の名前が入っている品種）で低く，オランダ品種の‘AEGEANE’で高かったため，特徴のあったこれらの根（‘桃太郎ヨーク’と‘AEGEANE’）に絞ってその根量を調査した．実験に使用した NFT 栽培システムは，ベッドの短軸方向に 15cm の不織布（保水シート）部分と，7.5cm（深さ 5cm）の養液溜の構造となっている．そこで，保水シート上の根（気中根）と養液中の根（水中根）に分けて採取し重量を測定した．

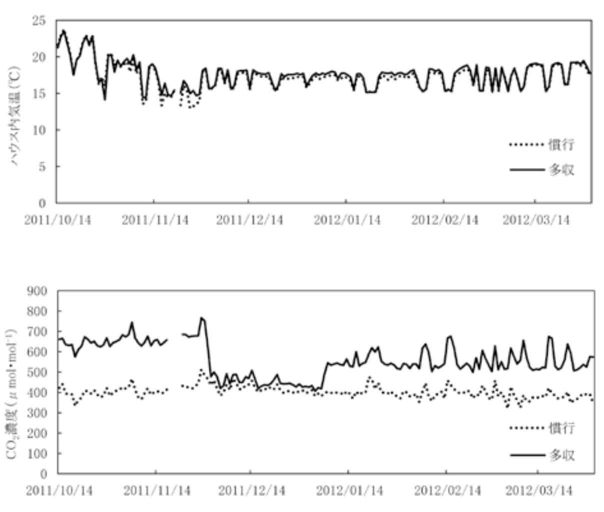
4　導管液の分析

上記で得られた導管液については，‘桃太郎ヨーク’および‘AEGEANE’について，分析に充分な量を得られた多収環境のサンプルのみを分析した．導管液は希釈して ICP 発光分光分析装置（iCAP6300Duo, Thermo Fisher Scientific 社製）により，K，P，Ca，Mg，S，Fe，Mn，Zn，Na を測定した．

Ⅲ　結　　果

1　地上部環境の差異

ハウス内平均温度は．慣行ハウスで 17.3℃，多収ハウスで 17.6 であり（図－ 1 上），大きな差はなかった．一方 CO_2 濃度は，慣行ハウスは平均で 402μmol・mol^{-1}



図－ 1　ハウス内の気象環境の差異
上図：日平均気温，下図：日平均 CO_2 濃度

なのに対して，多収ハウスは 559μmol・mol^{-1} であり約 1.4 倍の濃度であった（図－１下）．多収ハウスの CO_2 濃度は日平均では 559μmol・mol^{-1} であったが，1 日の間では午前中の 6：00〜10：00 までに CO_2 施用されていた（データ省略）．光環境についてハウスの光透過率は，慣行ハウスが 55.3％に対して，多収ハウスは 53.6％であった．南と北で光環境の違いもある程度予想されたが，大きな差違は認められなかった（データ省略）．

2　収量の評価

全品種について慣行ハウスに比べ多収ハウスでは収量が増加する傾向があり，全品種平均で 40％程度の収量増加が認められた（図－ 2）．特に，今回実施した環境制御において，収量増加率が高い品種はオランダ品種の‘AEGEAN’であり，慣行の 3.0 倍であった．

3　根系の環境および品種間差異

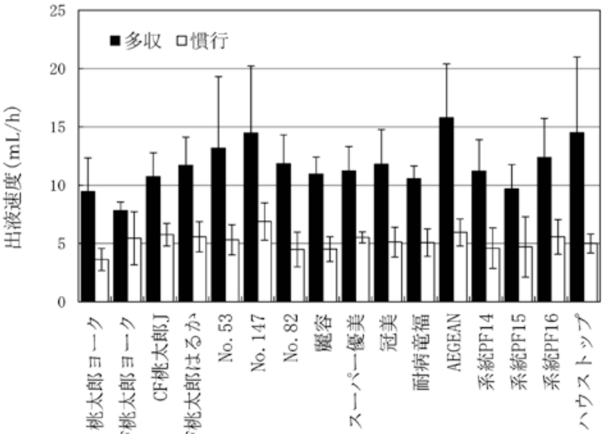
図－ 3 に示すように，出液速度は慣行ハウスでは，最低は‘桃太郎ヨーク’の 3.6mL/h，最高は，‘No.147’の 6.9 mL/h であり，16 品種全体では 5.2 ± 0.7mL/h（平均値±標準偏差，以下同様）であった．一方，多収環境では最低は‘CF 桃太郎ヨーク’の 7.8mL/h，最高は‘AEGEAN’の 15.8mL/h であり，16 品種全体では 11.7 ± 2.0mL/h であった．株当たりの根の活性は，多収環境ではその平均値は慣行の 2.3 倍となり，品種間のばらつきも大きくなった．

株あたりの根量については，桃太郎ヨークと AEGEAN の 2 品種について測定した．水中根は多収環境と慣行環境において顕著な差異は認められなかった．一方で，気中根は‘AEGEAN’の方が‘桃太郎ヨーク’に比べ多くなった．‘桃太郎ヨーク’は多収環境では慣行に比べ特に気中根が増加したが，‘AEGEAN’についてはそのような差異は明確ではなかった（図－ 4）．

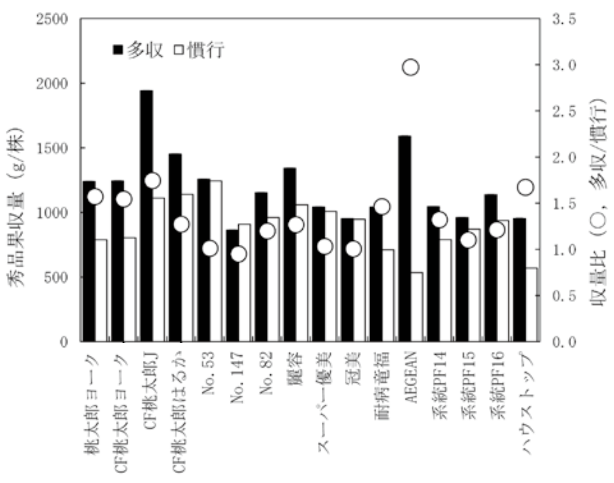
Ⅳ　考　察

1　CO_2 と多収性の関係

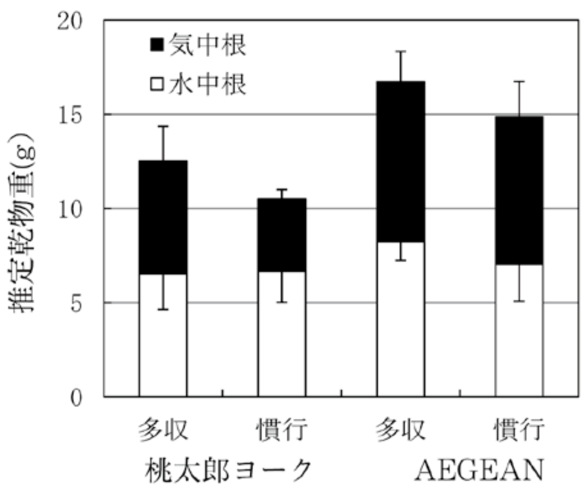
CO_2 施用効果に対する低段（2 段）トマト（‘桃太郎 8’）を評価した結果によると（鈴木ら，2009），総収量



図－ 3　異なる環境における NFT 栽培トマトの出液速度の品種間差違
縦棒は標準偏差を示す（n=4）.



図－ 2　異なる環境における NFT 栽培トマト収量の品種間差違
■：多収制御，□：慣行制御



図－ 4　多収環境におけるトマトの気中根および水中根の分布
縦棒は標準偏差を示す（n=4）.

で 44%，可販果収量で 20%の収量増加が示されている．またこの増収は平均果重の増加に起因するものと考察されている．この結果は，液化 CO_2 方式により，施用期間が 3 月 15 日～ 5 月 15 日の 10 時～ 17 時の間で，CO_2 の施用上限が 1000μmol/mol（800 ～ 1000μmol/mol で推移）という条件の結果である．今回の結果では，平均濃度 559μmol/mol という条件であり，鈴木ら（2009）の条件よりは低いが，桃太郎系統の収量増加効果としては，‘桃太郎ヨーク’，‘CF 桃太郎ヨーク’，‘CF 桃太郎 J’，‘CF 桃太郎はるか’において，それぞれ，57%，55%，75%，27%（平均で 54%）の増収効果が得られている．CO_2 施用の増収への効果は大きいと考えられるが，鈴木らの報告での，可販果収量の増加が 20%と比較すると，今回はそれ以上の増収があるため，湿度制御などとの相乗効果による増収の可能性（単純に差引すると 34%の寄与）も考えられた．今後，これらの寄与要因について具体的に明らかにする必要がある．

2　収量の品種間差違と多収環境への反応性

今回の栽培期間は約 6 ヶ月であり，栽植密度 5.13 株・m^{-2} で，1 年間で 2 作実施し，同様の収量が得られたと仮定すると，慣行栽培で 5.5 ～ 11.7kg・m^{-2}，平均で 9.2kg・m^{-2} の収量が得られ，多収環境では 8.9 ～ 19.9kg・m^{-2}，平均で 12.3kg・m^{-2} の収量が得られると推定された．今回の結果は秀品のみの生産量であり，また，さらに適切な環境制御の導入を実施することにより収量は増加すると考えられるが，オランダなどでは長段では 100kg・m^{-2} に迫る事例もあり，その差は，はなはだ大きい．品種の選定も含めてさらに増収できるような栽培法を開発する必要がある．

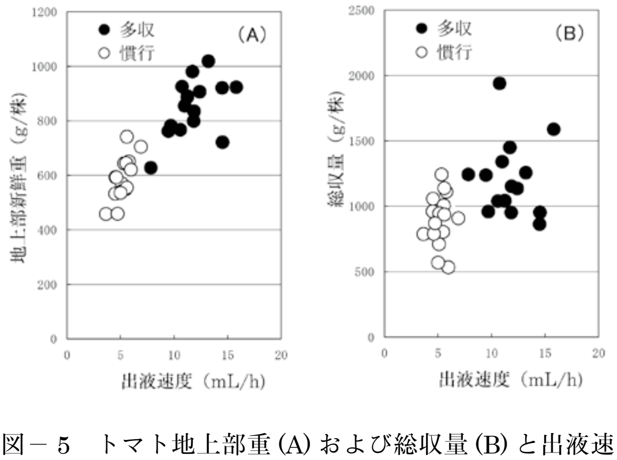
オランダ品種は果実成熟期間が長いため，長段栽培に向くとされるが，今回実施した, NFT 低段栽培においても多収性を示し，CO_2 施用などの環境制御に反応して収量の増加率が高かった．一方，慣行環境では多収の特性が出にくかった．具体的には，多収と慣行の収量比（多収 / 慣行）を計算したところ，桃太郎系品種が 1.5，オランダ品種以外の他の非桃太郎系品種が 1.3 であったのに対し，AEGEAN は 3.0 であった．オランダ品種は CO_2 施肥などの多収環境制御に対して収量を増加させる性質があると考えられ，環境制御の違いに対する収量増加に着目した評価が重要であることが示された．

3　多収と根系との関係

出液速度は，長段栽培トマトの出液速度が 20mL/h 前後であることからすると（中野ら，2007b），NFT 低段栽培では低く，慣行ハウスで 5.2mL/h，多収ハウスでも 11.7mL/h であった．この値は長段栽培に比べ低いとはいえ，比較的段数の低い（4 段収穫）土耕栽培の出液速度 0.1 ～ 2.2mL/h（中野ら，2001）に比べて高かった．出液速度は，根の周囲の水ポテンシャルにも影響され，土耕栽培では水ポテンシャルの低さが出液を低下させたと考察されている．養液栽培においては培養液の濃度が高くなりすぎなければ，水ポテンシャルへの影響は小さいため出液量の低下は招かないと考えられるため，養液栽培での差は，主に根の性質に依存していると考えらえる．したがって，長段と低段の差違は，根量を含めた根の性質によるものと考えられた．

導管液を押し出す圧力は，根系内で形成される濃度勾配および通導抵抗に依存しているが（平沢，1998），同化産物による呼吸がその勾配を形成するためには重要である．図－ 5（A）に示すように，多収環境と慣行環境では，それぞれ地上部の新鮮重と出液速度それぞれ異なる集団となり有意な差が認められるが，双方ほぼ直線的な関係が認められた．これは，地上部の大きさが根量と比例し，地上部からバランスを採って同化産物が供給されることから考えると，妥当な結果である．今回の実験における多収ハウス内の植物体の 1 株当たりの出液速度の速さが高い値を示したのは，1 株当たりの根量の多さや地上部からの同化産物の転流量の多さなどにより，1 株当たりの根系としての活性が高かったためと考えられた．

また，出液速度が異なる‘桃太郎ヨーク’と‘AEGEAN’の導管液の濃度が大きく異ならないことか



図－ 5　トマト地上部重 (A) および総収量 (B) と出液速度との関係
●：多収制御，○：慣行制御

表－１　トマトの導管液の品種間差（mmol/L,n=4）

		K	P	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Na
桃太郎ヨーク		23.7	1.9	9.2	5.2	2.2	0.0117	0.0171	0.0303	3.4
AEGEAN		18.5	2.3	10.7	4.2	3.0	0.0150	0.0184	0.0354	3.2
分散分析	0.01＞	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	0.05＞	ns	ns	ns	＊	＊	ns	ns	＊	ns

＊：分散分析により有意差あり，ns:分散分析により有意差なし

ら（表－ 1），導管液の浸透圧を高める寄与が大きいと考えられる K などのイオンの輸送能力が出液速度が高い品種において特異的に高いという性質はなかった．出液速度が高いことは，根量と根の呼吸活性を合わせた，根系としての能力が高いことに依存すると考えられた．今回の実験系では１株ごとの根系を分けることができなかったので，厳密には言えないが，多収環境においては，‘桃太郎ヨーク’に比べ‘AEGEAN’では根量が 34％多く（慣行区では 41％多かった），この増加量を単位根重あたりの出液速度として計算すると，多収環境の‘桃太郎ヨーク’が 0.76mL/h/gDW であるのに対し，‘AEGEAN’では 0.94mL/h/gDW となり，25％多かった（慣行区では 41％多かった）．根の活性を示す出液速度の増加は，相対的な根量の増加だけではなく，単位根重さ当たりの活性の高まりにも起因すると考えられる．

低段栽培においては，おおむね，出液速度の多さは地上部の生育の旺盛さと関係すると考えらえるが，TR 比をとった場合，多収環境では‘桃太郎ヨーク’の方が‘AEGEAN’に比べ 10％高く（慣行では 5％高かった），これは，相対的に‘AEGEAN’の方が少ない地上部で根の活性を維持していることを示していた．つまり，多収品種は同化産物の根系への移動が速やかに行われ，根量の増加や，出液速度を高めるための濃度勾配の維持に使われているものと推察された．このようなオランダ品種における良好な転流は前報（中野ら，2012）でも示唆されている．

根系の活性は，第一義的には葉面積や光合成速度により規定される同化産物により決まると考えられるが，根への同化産物の転流も重要であることが示唆された．しかし，出液速度の多寡に影響する諸要因については未解明の部分が大きく，根の量およびその活性と多収性の関係については今後詳細に検討する必要がある．

根の活性が高い品種（オランダ品種）は低い品種（日本品種）に比べて，収量が高いので，根の活性が，間接的には収量性に関係していることは示唆されている（中野ら，2007b）．長段栽培では出液速度と収量との高い正の相関関係が認められたが（中野ら，2007b），今回の短期の低段栽培ではその関係が認められにくかった（図－5（B））．これらの結果は，長期栽培においては根の活性が維持されることが果実肥大等に対しても重要となり，収量への寄与率が高まる可能性を示唆している．一方で，短期栽培では，根の活性の品種間差以上に，CO_2 施用や湿度制御など，地上部の環境制御を実施し，同化産物を増やすこと，確実に着果させること等の方の優先順位が高いと考えられた．

Ⅴ　摘　　要

NFT 養液栽培において，多収環境（CO_2 施用および細霧冷房）で管理すると慣行栽培に比べて，16 品種の平均で収量が 40％向上した．年間収量に換算すると，今回調査した品種の内，最高の収量を示した‘CF 桃太郎 J’でも 20kg・m^{-2} であり，オランダなどで報告されている収量に到達するには，CO_2 施用期間の延長および，湿度制御の適切な導入が必須である．

多収環境では根系の活性が高く維持されていたが，NFT 低段栽培においては品種間の収量と出液速度との相関は低く，比較的短期の栽培では相対的に根の寄与率は低くなると推察され，多収環境に保つことによって地上部の同化産物を増やすこと等の方がより重要だと考えられる．

引用文献

1）Heuvelink,E.and M.Dorais（2005）: Crop Growth and Yield. TOMATOES,85-144.CABI Publishing,UK.
2）平沢正（1998）：根の受動的吸水と能動的吸水 . 根の事典，350

－ 352. 朝倉書店，東京.
3）森田茂紀・阿部淳（1999）：出液速度の測定・評価方法．根の研究，8(4)，117-119.
4）中野明正・上原洋一・山内章（2001）；養液土耕法による根圏ストレス軽減がトマトの尻腐れ果発生を抑制する．日本土壌肥料學雜誌，72(3)，385-393.
5）中野明正・中野有加・佐々木英和・河崎靖・鈴木克己・高市益行（2007a）：根の評価ロックウール栽培におけるトマトの根重の推定．根の研究，16(3)，119-122.
6）中野明正・佐々木英和・中野有加・鈴木克己・河崎靖・川嶋浩樹・安場健一郎・黒崎秀仁・大森弘美・坂上修・高市益行（2007b）：オランダおよび日本品種トマトの収量，品質および出液速度の差異．園芸学会雑誌，別冊，76(2)，274.
7）中野明正・松田怜・淨閑正史・鈴木克己・安東赫・高市益行（2012）：トマトの摘果に伴う茎からの不定根発生とデンプン蓄積の品種差異．根の研究，21（2），39-43.
8）斉藤章（2012）：オランダの栽培システムと統合制御 トマト農業技術体系野菜編第 2 巻，追録 35 号，基 615-624．農文協，東京.
9）鈴木隆志・野村康弘・嶋津光鑑・田中逸夫（2009）：夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果の発生に及ぼす着果制限，果房被覆および二酸化炭素施用の影響．園芸学研究，8(1)，27-33.
10）安場健一郎・鈴木克己・佐々木英和・東出忠桐・高市益行（2011）：トマト長期多段栽培における多収のための統合環境制御下での温室環境と収量の推移．野菜茶研研報，10，85-93.

Yield and Root Activity in Tomatoes Grown in a Low-truss Nutrient Film Technique under High-yielding Conditions

Akimasa Nakano, So Kaneko, Ken-ichiro Yasuba, Tadahisa Higashide,
Katsumi Suzuki, Satoru Kimura and Shogo Tamura

Summary

The average yield of 16 tomato cultivars was 40% greater under high-yielding conditions (including extension of CO_2 enrichment and appropriate humidity control) than under conventional NFT conditions. The highest-yielding cultivar was CF Momotaro J, which gave 20 kg m^{-2} under year-round cultivation. High-yielding environmental controls must be introduced into Japan to give the high tomato yields seen as in the Netherlands. Under low-truss nutrient film technique (short-term cultivation), root activity was significantly higher under high-yielding conditions than that under conventional conditions, but the correlation between yield and bleeding rate on each cultivars was not so high. These results suggest that the contribution of root activity to yield in short-term cultivation was lower than in long-term cultivation on the previous report. Therefore, this suggests that an increase in the amount of matter assimilated is the primary factor associated with high yield in short-term cultivation.

Accepted; October 24, 2012
Vegetable Production Technology Division
3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8666 Japan