

1. 研究成果

根域制限栽培におけるトマト品種の生育・収量と果実品質

吉田裕一・松野大樹・後藤丹十郎（岡山大学大学院自然科学研究科）

高田圭太（岡山大学農学部附属農場，現在茨城大学農学部附属フィールド教育研究センター）

緒 言

トマトは世界中で最も生産量が多い野菜で，2007年の生産量は1.3億トンと見込まれており（FAO，2009），その多くがケチャップやジュースなどに加工されている。我が国の生産量はそのおおよそ0.6%で約73万トンに過ぎないが，加工用の生産量は僅かではほとんどが生食用として流通している（農林水産省，2009）。国内の生産量は1990年頃から70万トン台で推移しており，生産と消費はほぼ横ばいで安定した状態にある。その中で，可溶性固形物濃度が8%を超える高糖度トマトは，高単価で取引されており，各地でトマト栽培の収益性向上を目的として，隔離ベッドや高浸透圧培養液の供給による高糖度トマト栽培技術の開発が試みられている（石上ら，1994）。筆者らは，根域制限と日射比例給液制御を組み合わせることによって，適度なストレス状態を安定的に維持することが可能であり，尻腐れ果発生の少ない高糖度トマト生産システムの構築が可能であることを先に報告した（吉田ら，2007）。

植物体にストレスをかけて生産される高糖度トマトは，アミノ酸濃度も高く，コクのある濃厚な食味を持っている（Francoら，1999）。しかし，可溶性固形物濃度が8%を超えるような高糖度の果実は果実重が80g程度しかなく，収量は通常のトマト栽培と比較して著しく少ない。一方で，ミニトマトは一般の大玉トマトと比較して明らかに果実糖度が高く，比較的容易に可溶性固形物濃度（TSS）が8%以上の果実を生産することができる。しかし，果実重が10～15gに過ぎず，収量性と収穫・出荷労力面で大面積の栽培が困難である。近年では，果実重が30～60g程度の中玉トマトと呼ばれる品種が市販され，栽培面積が増加する傾向にある。中玉品種は果実のサイズだけでなく，果実品質も大玉品種とミニトマトの中間的な形質で，通常の栽培でもTSS

が6%以上でとなる品種が多く，高品質の果実が比較的容易に収穫可能である。

農学部附属フィールド科学センターでは，筆者らが開発したシステム（吉田ら，2007）を2000年7月に4aのガラス室に設置して実用規模に近い形で栽培に取り組んでいる。そこで，根域制限と日射比例給液を組み合わせた栽培条件に適する品種の選定を目的として，大玉品種と中玉品種の生育・収量特性について比較検討した結果について報告する。

材料および方法

実験1 半促成栽培における品種間差異

トマトの大玉3品種‘ハウス桃太郎’（タキイ種苗），‘試交42号’，‘レディファースト’（以上愛三種苗）と中玉2品種‘レッドオーレ’（カネコ種苗），‘チェルシーミニ’（サカタのタネ）を2000年2月8日にピートモス3：パーライト1（v/v）の培地に播種した。2月22日に7g・L⁻¹の苦土石灰でpH調整したピートモスを詰めたイチゴ育苗用トレイ（セル容量130mL，すくすくトレイ，丸三産業）に移植した。適宜OKF-1（1000倍液，大塚化学）を施用して育苗し，3月21日に先と同様のピートモスを用いて4号プラスチックポット（根域容量500mL）に移植した。農学部のプラスチックハウス内に条間110cm，株間25cmで高さ50cmの架台上に設置した。ポットドリッパー（Netafim，吐出量2L/hr）を用いて大塚A処方培養液（大塚化学）を日射比例制御により給液した。制御方法と培養液管理は前報（吉田，2007）と同様とし，毎週3回，供給培養液と各処理区の排水を採取し，その量とECを測定した。測定結果に基づいて‘ハウス桃太郎’の排水率10～20%を目標に給液基準日射量と1回あたりの給液量を調整した。培養液濃度は，排水EC 250～500 mS/mを目標に大塚A処方の濃度を標準濃度（N 18.6，P

1.7, K 8.6, Ca 4.1, Mg 1.5 mM, 微量元素を含む) から 1/2 濃度まで適宜低下させた (第 1 図)。

各果房の 1 番花が開花した日を記録し、腋芽は適宜取り除いた。大玉の 3 品種は各果房 5 花となるように摘花したが、中玉品種については果数制限を行わなかった。乱形果が多発する‘レディファースト’については、各花房の 1 番花を開花前に摘除した。いずれの品種も第 5 果房まではトマトーン 100 倍液を散布したが、第 6 果房からは散布しなかった。大玉品種は 3 花開花時に、中玉品種は 3 花開花時と 8 花開花時の 2 回散布処理した。尻腐れ果は発生が確認された時点で記録して除去し、成熟した果実を正常果、窓空き果 (チャック果を含む)、ビタービット (果実頂部に直径 2～5 mm の淡褐色斑点が発生した果実) に分別して収穫し、その数と重量を記録した。

各品種 4 個体の第 1, 3, 5 果房から 1 果ずつ採取して冷凍保存し、解凍後、果汁の可溶性固形物濃度を測定した。果汁 2 g と脱塩水 8 g を混合し、10000rpm で 15 分間遠心分離し、上澄み液を 0.45 μ m のメンブラン

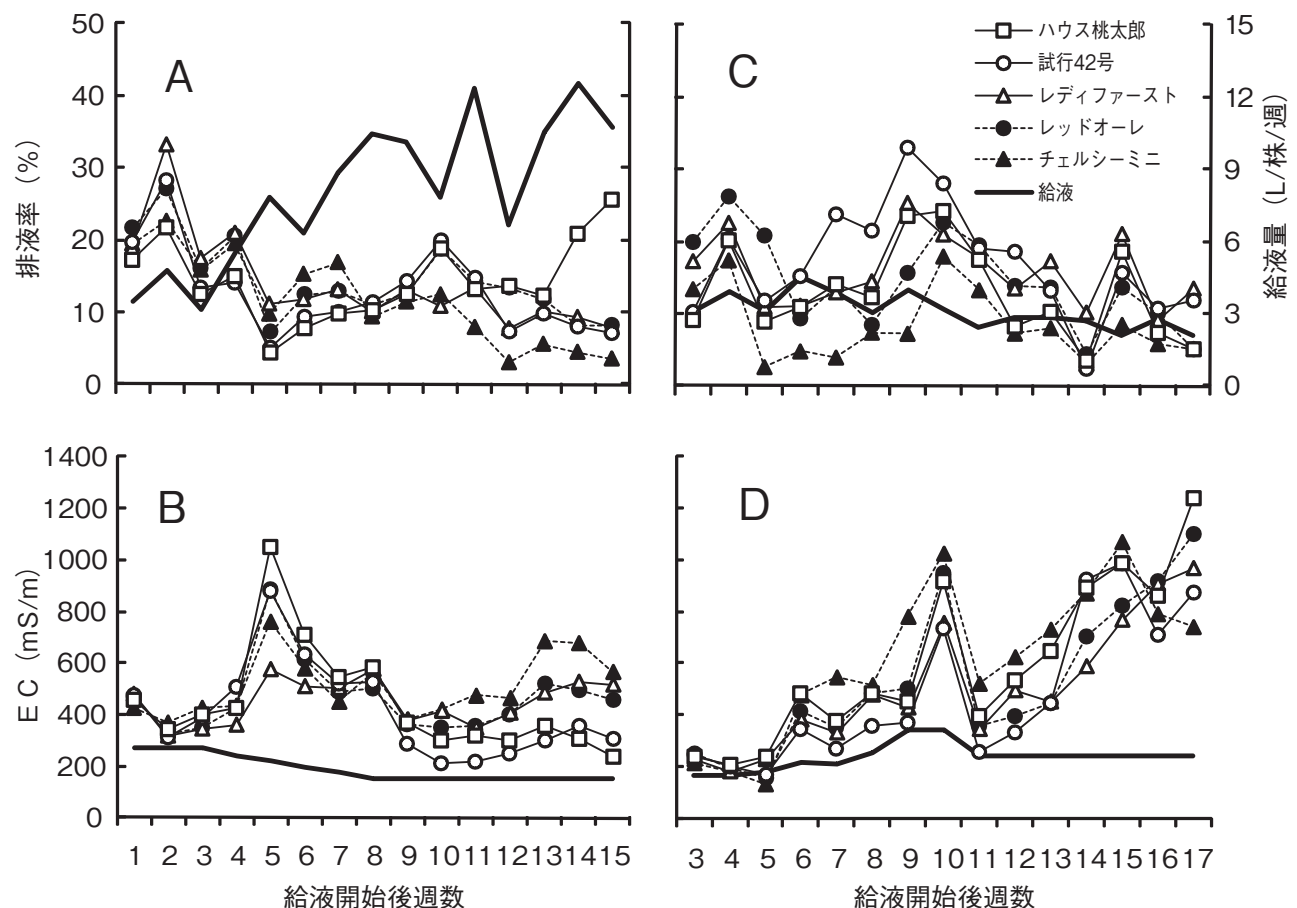
フィルターでろ過した。HPLC を用いて有機酸 (クエン酸, リンゴ酸; カラム SHIMADZU SCR-102) と糖 (スクロース, フルクトース, グルコース; カラム Shodex KS-801) を分離定量した。

実験 2 抑制栽培における品種間差異

実験 1 と同様に 5 品種を 2000 年 7 月 27 日に播種した。発芽後は OKF-1 (1000 倍液) を適宜与えた。8 月 14 日に 600mL のピートモスを入れた 12cm 黒ポリポットに移植した。9 月 8 日に各品種 5 個体ずつフィールド科学センターガラス室内の点滴給液装置に条間 110cm, 株間 25cm で配置した。

培養液は大塚 A 処方を用い、1/2 濃度で給液を開始し、排液 EC350～500mS/m を目標に標準濃度まで適宜濃度を上昇させた (第 1 図)。給液量は実験 1 と同様に‘ハウス桃太郎’の排液率 10～20% を目標に適宜調節した。

トマトーンによる単為結果処理は各品種第 4 果房まで行った。第 5 果房から 3 葉展開したところで



第 1 図 ハウス半促成栽培(実験 1)とガラス室抑制栽培(実験 2)における給液量・排液率(A 半促成, C 抑制)と給・排液 EC(B 半促成, D 抑制)の変化. それぞれ太実線は給液量の実測値と給液した培養液 EC の設定値

摘心した。その他の管理は、実験1と同様とした。果汁中糖・有機酸の分析は第1, 3果房についてのみ行った。

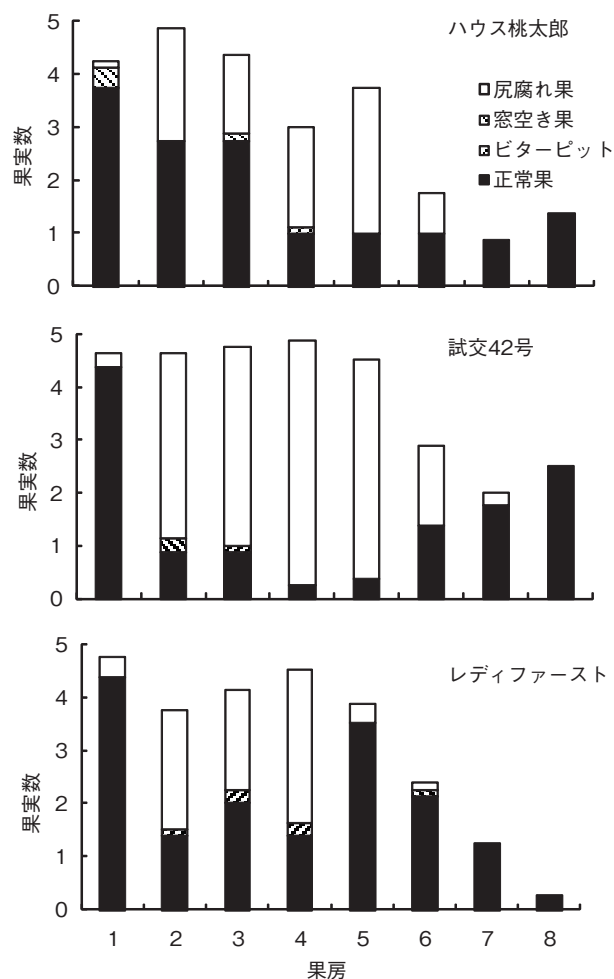
結 果

排液率と排液EC

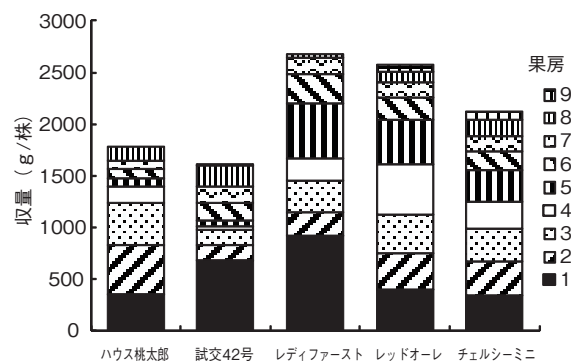
葉面積の増加やハウスのサイド換気開始などによって日射量あたりの吸水量が徐々に増加する半促成栽培の実験1では、給液量を適宜増加させるこ

とによってほぼ目標どおりに‘ハウス桃太郎’の排液率を調節することができた。抑制栽培の実験2でも生育初期には葉面積の増大によって日射量あたりの吸水量が増加した。しかし、10月以降は保温開始や外気温・日射量の低下による換気頻度の減少などの影響で日射量あたりの吸水量は生育が進むにしたがって低下する傾向にあり、排液率は半促成栽培より高めに推移した。

排液のEC値についても、実験1では草勢が旺盛で生育後半の排液率が10%未満で推移した‘チェルシーミニ’を除いてほぼ目標とした範囲で経過した。実験2では、排液のECは生育が進むにしたがって上昇する傾向にあった。また、他の品種と比較して草勢が旺盛であった‘チェルシーミニ’は、実験1と同様に排液率が低く推移し、排液ECは他の品種より高く経過する傾向にあった。



第2図 半促成栽培における果実形質の品種間差異



第3図 半促成栽培における果房別正常果収量の品種間差異(実験1)

収量と果実品質

半促成栽培の大玉品種では、前報と同様に尻腐れ果が多発した(第2図)。第1果房についてはほとんどが正常果であったが、‘試交42号’では第2果房から第5果房まで75%以上が尻腐れ果であった。しかし、ホルモン処理を行わなかった第6～8果房ではいずれの品種も着果率が低下し、果実肥大も劣ったが、尻腐れ果発生率は低くなった。着果した果実全体での尻腐れ果発生率は、‘試交42号’が59%であったのに対して、‘ハウス桃太郎’では38%、‘レディファースト’では31%と品種間に差が認められた。抑制栽培では大玉品種においても尻腐れ果発生は認められず、中玉品種ではいずれの作型においても尻腐れ果は発生しなかった。

半促成栽培における正常果収量は、大玉品種の中では‘レディファースト’が他の2品種より有意に多かった、収穫果数については有意な差は認められなかったが、平均果実重は‘レディファースト’が約40g大きかった。‘レッドオーレ’と‘チェルシーミニ’の平均果実重はそれぞれ33gと21gでカタログ上の値より20%程度小さかった。尻腐れ果が発生せず、ほとんどが正常果であったため、収量については‘レディファースト’よりわずかに少ないだけであった(第1表)。抑制栽培においては、‘試交42号’を除いた4品種の収量が半促成栽培より少な

第1表 半促成栽培と抑制栽培における収量構成の品種間差異

品 種	半促成栽培（実験1）			抑制栽培（実験2）		
	正常果数	正常果収量 (g/株)	平均果実重 (g)	正常果数	正常果収量 (g/株)	平均果実重 (g)
ハウス桃太郎	14.5 a	1777 a	122.6	14.8 ab	1490 ab	100.7
試交42号	12.4 a	1604 a	129.4	12.6 a	1680 b	133.4
レディファースト	16.3 a	2678 b	164.3	9.8 a	1321 ab	134.8
レッドオーレ	77.9 b	2572 b	33.0	19.6 b	817 a	41.7
チェルシーミニ	101.8 c	2127 ab	20.9	47.4 c	1125 ab	23.7

^a異なる文字間に5%水準で有意な差があることを示す（Tukey's HSD test）

第2表 半促成栽培と抑制栽培における果汁中可溶性固形物（TSS）、糖、有機酸濃度の品種間差異

品 種	半促成栽培（実験1）			抑制栽培（実験2）		
	TSS (%)	全糖 (mg・mL ⁻¹)	有機酸 (mg・mL ⁻¹)	TSS (%)	全糖 (mg・mL ⁻¹)	有機酸 (mg・mL ⁻¹)
ハウス桃太郎	5.8 ab	53.7 ab ^a	5.49 a	4.3 a	32.1 a	5.5 a
試交42号	5.2 a	48.8 a	6.68 ab	4.0 a	31.1 a	5.1 a
レディファースト	5.7 ab	52.4 ab	7.88 b	4.3 a	35.1 a	6.9 ab
レッドオーレ	6.4 b	59.1 b	6.75 ab	5.8 b	47.2 b	6.6 ab
チェルシーミニ	6.0 ab	55.7 ab	5.60 a	5.2 ab	46.0 b	7.7 b

^a異なる文字間に5%水準で有意な差があることを示す（Tukey's HSD test）

かった。‘レディファースト’と‘チェルシーミニ’では約2分の1、‘レッドオーレ’ではわずかに約3分の1であった。抑制栽培の実験2では、第5果房上で摘心したため収穫果房数が少ないこともあったが、半促成栽培と比較して着果が不安定で収穫果実数が少なくなった。ただし、‘レッドオーレ’と‘チェルシーミニ’の平均果実重は、半促成栽培よりも大きくなった。

果汁中の可溶性固形物と全糖濃度は、いずれの作型においても‘レッドオーレ’が最も高く、ついで‘チェルシーミニ’で、‘試交42号’が最も低かった（第2表）。また、抑制栽培の果実の糖濃度が半促成栽培より明らかに低く、大玉品種では半促成の約60%にまで低下したが、中玉品種では80%程度にとどまった。全有機酸濃度については、作型によって異なり、一定の傾向を見いだすことができなかった。

考 察

トマトやメロン・ミカンなど様々な植物で、植物体の吸水を抑制し、水ストレスを加えることによ

て果実糖度が高まることが知られている。フルーツトマトと呼ばれるような高糖度トマトは市場で高単価が得られるため、近年栽培面積が増加しているが、可溶性固形物濃度が8%を超える高糖度トマト生産を目標として養水分管理を行うと、過度の水ストレスの結果として尻腐れ果の多発を招くことが多い（Saure, 2001）。本実験においても、根域容量500mLとして排液率20%程度で給液すると半促成栽培では大玉品種で尻腐れ果が多発した。ただし、前報（吉田ら, 2007）のとおりに、根域を250mLにまで制限してより強い水ストレス下におき、排液率が10%以下となるように日射比例による給液量を絞り込むことによって、尻腐れ果の発生は軽減した上で高糖度のトマト果実を生産することが可能である。

‘ハウス桃太郎’を基準として品種を比較すると、‘試交42号’は抑制栽培での着果性と果実肥大が優れ、もっとも多収であったが、半促成栽培では尻腐れ果が多発し、収量性ももっとも低かった。‘レディファースト’は、半促成栽培で尻腐れ果発生率が低く、もっとも多収であったが抑制栽培における収量

は大玉品種の中でもっとも低かった。通常果実重が150g以上に肥大する大玉系品種を用い、高塩類濃度や灌水制限によって水ストレスを与えて生産された高糖度トマトは、果実重が60～80g程度にしか達しない(石上ら, 1994)。一方、果実が100g以上に成長するような条件下では、通常可溶性固形物濃度は6%程度までしか上昇しない。したがって、高糖度と多収を両立させることは困難であるといえる。しかし、‘レディファースト’については、第5, 6果房の着果率、正常果率がともに高く、上位果房の収量が他の2品種と比較して高かった。前報(吉田ら, 2007)において、‘ハウス桃太郎’ではより小さな根域で給液量を制限して栽培することによって、高品質の果実が得られていることから、大玉トマトの高糖度果実生産には‘ハウス桃太郎’より適している可能性が高いと考えられ、今後検討する必要がある。

一方、中玉トマトは、本実験では比較的給液量が多かったため、得られた果実の品質が十分とはいえなかったが、半促成栽培の水ストレス条件下においても尻腐れ果の発生は認められなかった。抑制栽培では、十分な収量が得られなかったが、半促成栽培での収量性は高かった。本実験でも示されたように、近年栽培面積が増加している中玉トマトは、同じ条件下で栽培すると大玉系品種より可溶性固形物濃度が高い。果実は30～50gと小さいが、極端な水ストレス下で生産される高糖度トマトと比較した場合、その差はあまり大きくない。着果数が多いため収穫調整の労力負担は大きくなるが、軽度のストレス条件下で栽培しても高い糖度の果実が得られることから、経済栽培として生産する場合には、無理なストレス条件下で生産された大玉品種の高糖度トマトより、高い収益性が確保できる可能性が高いと考えられた。特に‘レッドオーレ’については大玉品種より明らかに糖濃度の高い果実が得られたことから、本実験で供試した品種の中ではポットを用いた根域制限栽培にもっとも適した品種であると考えられる。

植物の養分吸収は、高炭酸ガス濃度条件下で促進されることが知られている。炭酸ガス施与条件下で養液栽培されるイチゴでは、日射量が少なくなる低温期ほど炭酸ガス濃度が高く維持されるため、見かけの養分吸収濃度は高くなる(伊谷ら, 1998)。トマトについても炭酸ガス濃度が養分吸収に大きな影

響を及ぼし、炭酸ガス施与条件下では見かけの養分吸収濃度(n/w)が高くなることが明らかにされている(吉田・伊谷, 1994)。本実験の抑制栽培(実験2)では生育後半に排液ECの著しい上昇が認められたが(第1図)、実験を実施したガラス室には炭酸ガス施与を行うことができなかった。保温開始後には炭酸ガス飢餓によって光合成が抑制されたため、養分吸収量が少なくなり、生育後半の排液ECが上昇したものと考えられる。

本実験において、抑制栽培では半促成栽培より収穫果房数が少なく、大玉品種で尻腐れ果が発生しなかったこともあり、‘ハウス桃太郎’と‘試交42号’の収量については作型による差はわずかであった。しかし、‘レディファースト’と中玉の2品種では抑制栽培の収量が半促成栽培の30～50%に過ぎなかった。また、いずれの品種においても抑制栽培では半促成栽培より明らかに果実品質が劣った。イチゴ(伊谷ら, 1999)とトマト(Islamら, 1996)の果実品質は、炭酸ガス施用によって著しく向上することから、抑制栽培においても栽培環境を改善することによって大幅な生産性の向上が期待される。秋・冬季を経過するハウス抑制栽培や促成栽培においては太陽高度が低く、不足気味に経過する日射をトマトが十分に利用できるよう、炭酸ガス施肥装置を導入して光合成を促進することが重要と考えられる。今後は、炭酸ガス施用条件下における検討を進め、好適品種を選定する必要がある。

引用文献

- 1) FAO, 2009, FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>)
- 2) Franco, J. A., P. J. Pérez-Saura, J. A. Fernández, M. Parra and A. L. García, 1999, Effect of two irrigation rates on yield, incidence of blossom-end rot, mineral content and free amino acid levels in tomato cultivated under drip irrigation using saline water. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 74, 430-435
- 3) 石上 清, 堀内正美, 中畠輝子, 松浦英之, 1994, 根域を制限した循環式養液栽培装置による高糖度トマト生産. *静岡農試研報*, 38, 61-72
- 4) Islam, M. S., Matsui, T. and Yoshida, Y., 1996, Influence of preharvest elevated CO₂ on the

- storage life and composition of ripened tomatoes. ASEAN Food J., 11, 19-25
- 5) 伊谷慈博, 吉田裕一, 藤目幸擴, 1998, NFT栽培におけるイチゴの養水分吸収に及ぼすCO₂施用の影響, 生物環境調節, 36, 145-150
- 6) 伊谷慈博, 原 圭美, ワサナ ナ ファン, 藤目幸擴, 吉田裕一, 1999, ピートバッグ栽培におけるイチゴの収量, 果実品質と養水分吸収に及ぼすCO₂施用と栽植密度の影響, 生物環境調節, 37, 171-177
- 7) 農林水産省, 2009, 平成19年産野菜生産出荷統計平成19年産トマトの作付面積, 収穫量及び出荷量 (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/toukeidb/GH07010201Forward.do>)
- 8) Saure, M. C., 2001, Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – a calcium- or a stress-related disorder? Sci. Hortic., 90, 193-208
- 9) 吉田裕一, 伊谷慈博, 1994, NFTトマトの養水分吸収に対するCO₂施肥の影響, 園芸学会中四国支部平成6年度大会発表要旨, 32
- 10) 吉田裕一, 松野太樹, 新開 礼, 後藤丹十郎, 2007, 根域容量と日射比例給液制御による給液量がトマトの生育・収量と果実品質に及ぼす影響, 岡山大学農学部学術報告, 96, 37-42