

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

安場 健一郎・鈴木 克己・佐々木 英和*・東出 忠桐・高市 益行

(平成 22 年 10 月 12 日受理)

Fruit Yield and Environmental Condition under Integrative Environment Control for High Yielding Production at Long-Time Culture of Tomato

Ken-ichiro Yasuba, Katsumi Suzuki, Hidekazu Sasaki*,
Tadahisa Higashide and Masuyuki Takaichi

I 緒 言

近年、わが国の施設栽培におけるトマトの収量がオランダに比べて低いことが指摘され (高倉, 2008), 品種の違いが収量に影響することが報告されている (佐々木, 2008; Higashide ら, 2009). 一般的な日本の品種とオランダの品種を、わが国の気象条件で栽培した場合にも、オランダの品種で収量が高くなることが報告されている (佐々木, 2008). また、光利用効率が高いオランダの最近の品種で、収量が高いことが示されている (Higashide ら, 2009). これらのことは、収量を高めるために適切な品種を利用することが重要であることを示している。

一方、CO₂ 施用 (Calvert, 1972; Calvert ら, 1975; 吉村ら, 1996) や補光 (Boivine ら, 1987; Fierro ら, 1994; Demers ら, 1998) などの環境制御は収量を増加させるために有効であり、オランダでは実際にこれらの技術が利用されている (鈴木, 2006). 近年、ヒートポンプや季節間の集蓄熱を利用して換気を抑制し、積極的に CO₂ を施用する半閉鎖温室での園芸生産が注目されている (deZwart, 2008). 複数の環境制御機器を利用する場合には、各機器の動作に矛盾が生じないようにす

る必要があり、センサ情報に基づいたコンピュータによる制御が必要である。しかし、わが国では温室用コンピュータの導入が進んでいないこともあり、気温を管理目標として加温と換気を行う単純な環境制御しか実施されていないのが実状である。近年、小規模な施設にも導入が容易なユビキタス環境制御システム (UECS) が開発され (Hoshi ら, 2004; 林ら, 2004), 高度な統合環境制御が可能な環境が整いつつある (安場ら, 2010)。

高温多湿地域での環境制御の課題として夏季の高温対策がある。高温期の日中は細霧の噴霧と換気の制御によって、夜間はヒートポンプによる冷房によって温室内気温を低下させることが有効であろう。一方、低温期には CO₂ 施用や湿度を適切に制御し、光合成を促進させることが必要であろう。しかし、わが国において、複合的に制御された環境条件で、オランダ品種や日本品種などを栽培し、長期間、収量や施設内環境を調査した例はない。

そこで年間における多収生産のために、高温期には細霧冷房とヒートポンプにより昇温抑制をはかり、低温期には毎日換気が開始されるまでの時間に CO₂ を施用し、その後、相対湿度 80% を管理目標として湿度制御を実施する統合環境制御を UECS 導入温室で試みた。トマトの長期多段栽培を行い、統合環境制御を実施した温室での年間収量と、環境制御が温室内環境に及ぼす影響と

を明らかにすることを目的として試験を行った。

II 材料および方法

1 栽培概要

実験は愛知県武豊町にある野菜茶業研究所武豊研究拠点で行った。2008年7月28日にトマト (*Solanum lycopersicum* L.) ‘桃太郎ヨーク’ (タキイ種苗), ‘朝日和10’ (朝日工業), ‘Dundee’ (De Ruiter) を72穴のセルトレイに播種した。播種後、閉鎖型苗生産システム (苗テラス, MKV ドリーム) で1次育苗を実施した。1次育苗期間中は16時間日長とし、8月2日までは昼/夜温=30/25°C, その後23/17°Cで管理を行った。CO₂濃度は1000 ppmで管理を行った。

8月18日に、幅75×75 mm, 高さ65 mmの2次育苗用のロックウール培地 (Delta 4G, グロダン) に移植した。細霧冷房と夜間冷房を実施した温室と遮光処理による高温抑制を行った温室で育苗した。前者の温室は南北長さ18 m, 東西長さ9 m, 軒高4 mの南北棟温室で、日中は細霧冷房により昇温抑制を行い、20~5時は設定温度を18°Cとしてヒートポンプ (FDUXP 1402 HM改, 三菱重工空調システム) による夜間冷房を行った。後者の温室は南北長さ8 m, 東西長さ3.6 m, 軒高2.4 mの温室で、2次育苗期間中は遮光カーテンを設置し、換気窓をすべて開いた状態で栽培を行った。

8月29日に、2次育苗時に細霧冷房を実施した高軒高温温室で、全体をラッピングした幅200 mm長さ900 mm高さ74 mmのロックウールスラブ (マスタースラブ 2075 A 2 W, グロダン) に定植した。1スラブ当たり4個体ずつ (株間22.5 cm) 定植した。栽培ベッドの間隔は2 mとし、温室内栽培スペースでの栽植密度は2.22 plants m²とした。地上から3.3 mに設置したワイヤから誘因紐をたらし、草丈が伸長するに伴って順次つる下ろしを実施する栽培方法をとった。栽培終了は2009年7月19日とした。

培養液は定植日 (2008年8月29日) から2008年10月20日までは大塚SA処方 (大塚化学), その後2009年3月25日まで大塚A処方, さらにその後栽培終了まで大塚SA処方とした。電気伝導度を0.8-1.6 dS m⁻¹に調整した培養液を、屋外日射量の積算値が0.8-1.0 MJ m⁻²となるごとに5分間ずつかん水を行う日射比例制御法を基本として、圧力補正式のドリッパー (PCJ-CNL, ネタフィルム) を利用して株元に点滴かん水した。

定植後の温室内の環境制御方法の概略は図-1に示し

た。栽培開始直後の日中は、朝7:30もしくは8:00までヒートポンプ冷房を実施して換気窓を閉め、1000 ppmを管理目標としてCO₂施用を実施した。その後は基本的に2分ごとに90秒細霧の噴霧を行い、換気窓の開閉は相対湿度を80%に維持する制御手法によって、温室内の昇温抑制を行った。17:30からは、病害の抑制を目的として乾燥させるため、細霧の噴霧を止めた。なお、これらの処理の詳細は別報に示した (安場, 2010)。

10月は、気温を23°C, 相対湿度を80%に維持するための低温期用の環境制御法を試行したため、日中の制御方法は日によって異なったが、8:00以前および17:30以降はそれ以前と同様の管理を行った。11月以降は基本的には日中の温室内の気温と相対湿度の目標は、それぞれ23°Cと80%として、細霧の噴霧制御と換気窓開度の調節を試みた。ただし、1日のうちで換気が始まるまでの時間は1000 ppmを管理目標としてCO₂施用を実施した。また、ヒートポンプの冷房を利用して温室内の昇温抑制を試み、換気の開始時間を遅らせた。換気開始後はCO₂施用を止めた。

夜間は10月17日までは、温室内気温の目標値を20°Cに設定して冷房をおこなった。その後、1月19日までは温室の加温目標温度を16°Cに設定して、ヒートポンプと温風暖房機によって暖房を行い、その後は18°Cに設定温度を変更した。

3月15日以降、屋外日射が0.7 kWm⁻²以上の時に、さらに、4月28日以降は0.6 kWm⁻²以上の時に遮光処理を行った。遮光は、開度が50%の時に温室全体が約50%の遮光となる一軸二層カーテンを利用し、遮光処理時のカーテン開度は5月8日までは70%、それ以降は55%に設定した。

2 環境データの測定

温室内の環境制御は、温室北から4 m西から2 m地点および温室南から4 m東から2 m地点の高さ1.5 m地点に設置した気象観測ノードの値 (気温, 湿度, CO₂) によって制御した。気温と湿度は通風筒内で測定した。

気象観測ノードの計測値は、栽培期間中の停電やデータ収集用パーソナルコンピュータの不調などの影響で欠測値が生じた。そのため、本報の気象データのとりまとめは、温室内中央部の高さ1.5 m地点に設置した、温湿度センサとCO₂濃度センサ、温室上部 (遮光カーテン上) に設置したPPFセンサをデータログ (CR 1000, キャンベル) に接続して1分ごとにデータ収集したものをを用いた。

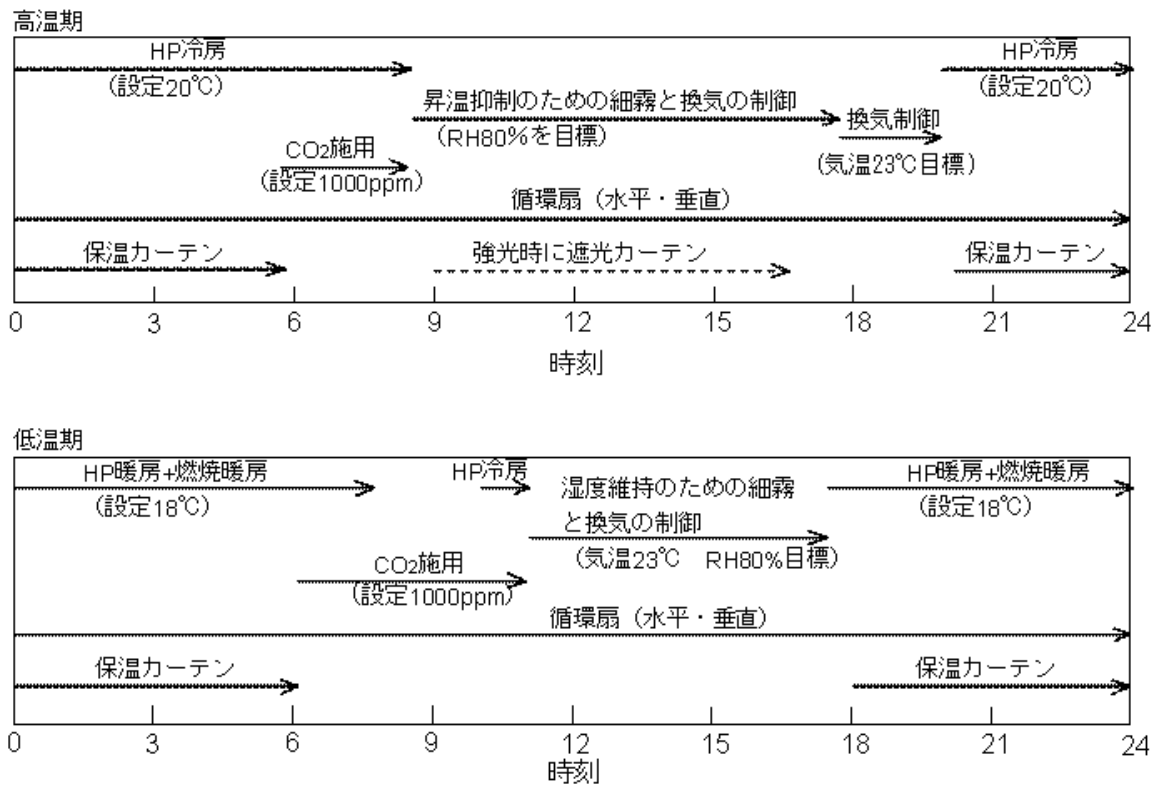


図-1 実施した温室内環境制御の概略図.

高温期の制御は定植から10月中旬まで、それ以降は低温期の管理を実施した。

また、栽培期間中、原則的に毎日、細霧噴霧処理終了後に、かん水量、廃液量、細霧噴霧量に関する流量メータ値の記録を行った。植物体の吸水量を推定するためにかん水量と廃液量の差を算出した。

3 果実、果房出現速度の調査

試験は1処理区6株 ($n=6$) とし、品種2水準（‘桃太郎ヨーク’，‘朝日和10’）×2次育苗時冷房処理2水準（冷房有り，冷房無し）×3反復を無作為化して配置した。なお、当初は‘Dundee’を含めた品種3水準の実験計画であったが、つる下ろしに伴う植物体の移動の結果、他の品種とは異なる光環境となってしまったため、分散分析などの実験計画法に係る統計処理は‘Dundee’を外した品種2水準計画として実施した。10月初旬より1週間に2回収穫を行い、果実重と収穫した果実の果房段数、障害の有無を調査した。栽培期間を通して、摘果は実施しなかった。収量は各株の収穫量を、栽培ベッドのある区画の栽植密度 ($2.22 \text{ plants m}^{-2}$) で計算し、さらに 1 m^2 あたりに換算した。また、収量は収穫した全果実収量、障害果を除く果実収量である正常果収量、軽度の障害果（裂果であれば 1 cm 程度のもの、尻ぐさ

れ果であれば直径 5 mm 程度以下で目立たないもの）を含む果実収量に分けて調査した。

栽培期間中に6回、果実の可溶性固形物含量 (Brix) を調査した。Brixの測定は2次育苗時冷房処理を実施した処理区のみで実施し、各反復で2~3果、各品種6~9果について、各果実の3カ所の果汁を絞って測定し、平均値を算出した。

また、1週間に1回、新たに開花した果房の段数を調査した。

III 結 果

栽培期間中の1日の気温の平均値は、栽培開始直後と栽培終了直前の夏季に高くなる傾向があった。日中9~15時の平均気温はほとんどの期間 30°C 以下となった (図-2)。冬季の0時から6時の平均気温はほぼ加温目標温度となり、1月19日までは約 16°C 、その後は約 18°C となった。日中の飽差は、2008年9月下旬から2009年5月下旬まで多くの日で 1 kPa 以下となったが、それ以降はしばしば 1 kPa を超え、温室内は乾燥状態となった (図-3)。温室内の日中の CO_2 濃度は低温期に

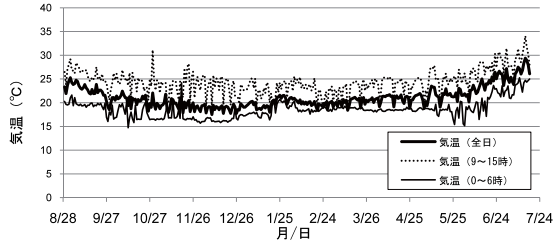


図-2 トマトの長期多段栽培期間中の温室内気温の推移

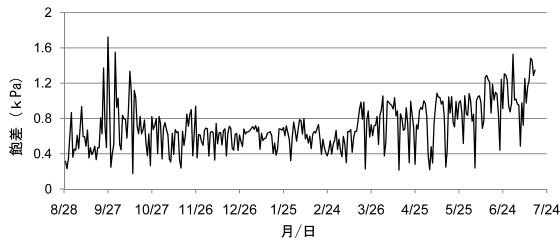


図-3 トマトの長期多段栽培期間中の昼間の温室内飽差の推移
値は9時から15時の平均値で示した。

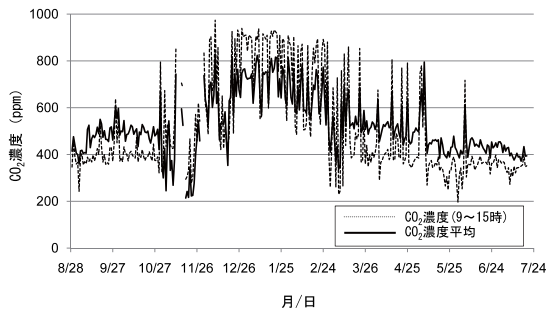


図-4 トマトの長期多段栽培期間中の温室内 CO₂ 濃度の推移

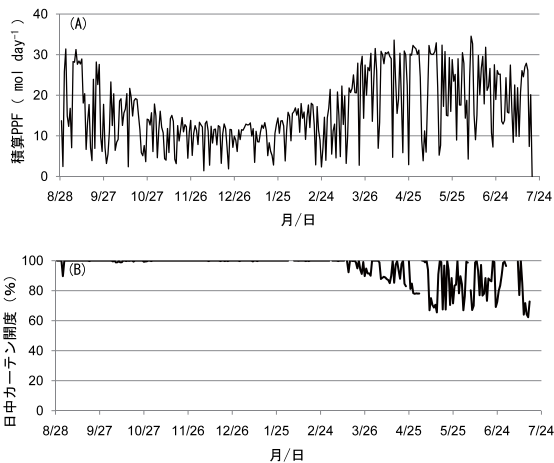


図-5 トマトの長期多段栽培期間中の温室内の積算PPF (A) とカーテン開度 (B) の変化

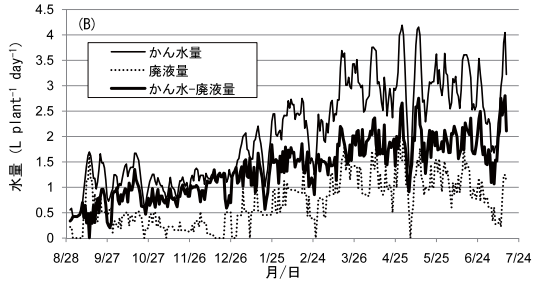
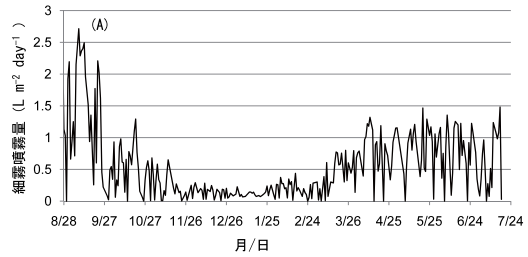


図-6 トマトの長期多段栽培期間中の細霧噴霧量 (A) かん水量および排水量 (B) の推移
グラフ (B) のデータは5日移動平均値で示した。

は日平均の濃度より高く、高温期には低くなった。12月中旬から2月上旬の日中のCO₂濃度は800~900 ppmとなった(図-4)。温室内の(遮光カーテン上)光合成有効光量子束密度と遮光カーテンの開度は図-5のように推移した。高温多日照となった栽培後期には植物体のしおれを軽減する目的で遮光カーテンを閉める時間が長くなったため、カーテン開度が低くなった。

夏季には1 L m² day⁻¹程度の細霧の噴霧量があり、湿度調節を実施した冬期間でも0.3 L m² day⁻¹程度の噴霧量があった(図-6 (A))。かん水量と廃液量の差は、定植直後から徐々に増加する傾向が見られ最終的に2 L plant⁻¹ day⁻¹程度となった(図-6 (B))。

以下、品種比較に関するデータを示すが、光条件が好適であった‘Dundee’のデータは単に品種の効果ではなく、品種+光条件の複合した効果である。

2次育苗時は、遮光を行った温室と、日中の細霧冷房および夜間のヒートポンプ冷房で冷却を行った温室の2か所で栽培した。しかし、収量に対してこれらの環境の違いは有意水準5%レベルで影響がなかった(表-1)。
‘朝日和10’の方が‘桃太郎ヨーク’より収量が高くなった。‘朝日和10’では、軽度の障害果を含む果実収量で約40 kg m²となった。全果実に対する正常果の比率は‘朝日和10’で85%、‘桃太郎ヨーク’で81%程度となった。‘Dundee’では全収量は50 kg m²近くとなった(表-2)。月別収量は低温で日射の少ない時期に低く

表-1 統合環境制御を実施した温室でのトマトの果実収量（‘Dundee’以外）

品種	2次育苗時処理 ^z	全果実	正常果実	軽度の障害果を含む果実
平均 (kg m ⁻²)				
朝日和10	遮光	44.5	37.6	41.5
	冷房	41.9	35.8	39.2
桃太郎ヨーク	遮光	34.4	27.9	31.3
	冷房	33.8	27.8	31.4
分散分析 ^y				
品種		***	***	***
2次育苗処理		ns	ns	ns
交互作用		ns	ns	ns

z: 遮光処理および日中細霧冷房, 夜間ヒートポンプ冷房の処理

y: ***, nsはそれぞれF検定により有意水準0.1%で有意差あり, 5%レベルで有意差なし.

表-2 統合環境制御を実施した温室でのトマトの果実収量（‘Dundee’）

2次育苗時処理 ^z	全果実	正常果実	軽度の障害果を含む果実
平均 (kg m ⁻²)			
遮光	49.0	44.1	45.9
冷房	44.9	42.0	43.2

z: 遮光処理および日中細霧冷房, 夜間ヒートポンプ冷房の処理

なる傾向があった(図-7 (A)).

重度の障害果を除いた果房あたりの収穫果実重は30段目付近の果房までは‘Dundee’と‘朝日和10’ではほとんど500g以上となり, しばしば400g以下となった‘桃太郎ヨーク’より大きくなる傾向があった(図-8 (A)). 1果房あたりの収穫果実数も‘桃太郎ヨーク’ではしばしば3個以下となったのに対し, 他の品種ではおよそ4個程度で推移した(図-8 (B)).

同一果房で比較した開花日は, ‘桃太郎ヨーク’と‘Dundee’より‘朝日和10’で遅くなる傾向があった(図-9 (A)). 重度の障害果を除いた果実の収穫日の平均は, 栽培初期に‘Dundee’で遅くなる傾向があったが, その後は‘桃太郎ヨーク’, ‘Dundee’, ‘朝日和10’の順となった(図-9 (B)). 各果房の開花日から収穫までの日数は‘Dundee’で長かった(図-9 (C)). 各品種での各果房の開花日から収穫日までの積算温度の平均値は‘桃太郎ヨーク’, ‘朝日和10’, ‘Dundee’でそれぞれ1158°C, 1113°C, 1460°Cとなった.

果実のBrixはいずれの収穫日においても‘Dundee’では4%以下となり, ‘桃太郎ヨーク’では4%以上となっ

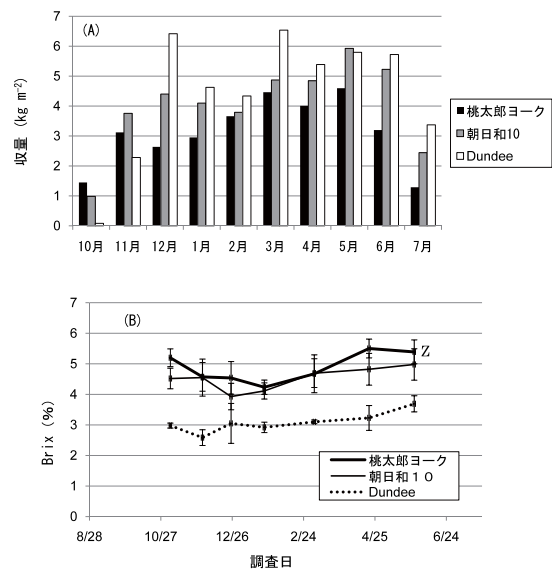


図-7 トマトの長期多段栽培での月別収量 (A) と Brix (B) の推移

収量は2009年7月19日まで調査を行い, 重度の障害果を除いた果実収量で示した. ‘Dundee’は他の2品種に比べて光環境が良い状態での結果を示している. Z: 標準偏差

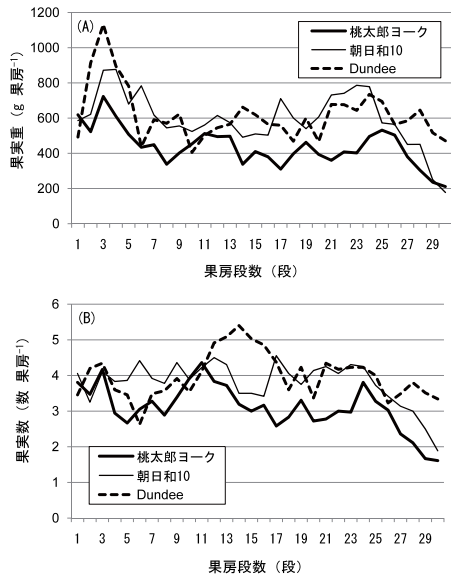


図-8 トマトの長期多段栽培での各収穫果房別の果実重量 (A) と果実数 (B) の推移

重度の障害果を除いた果実に関して示した。30 段目まで示した。'Dundee'は他の2品種に比べて光環境が良い状態での結果を示している。

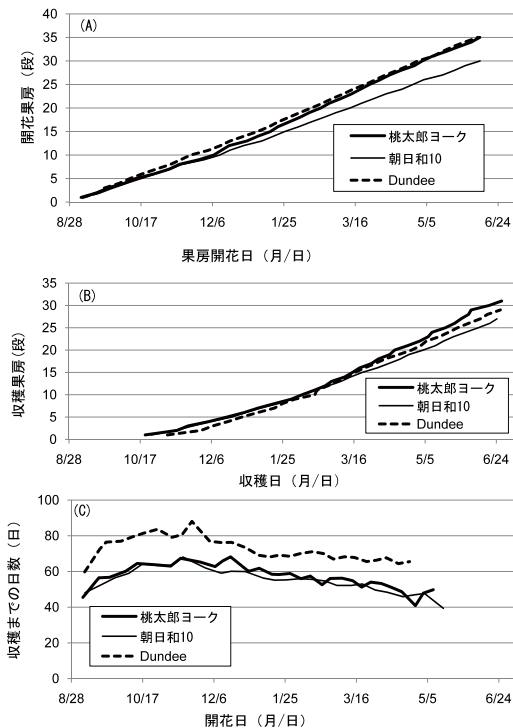


図-9 トマトの長期多段栽培での各果房の開花日 (A)、収穫日 (B) 及び開花日から収穫日までの日数 (C) の推移

'Dundee'は他の2品種に比べて光環境が良い状態での結果を示している。

た (図-7 (B)). '朝日和10' の Brix は'Dundee'より高く推移した。

IV 考 察

1 統合環境制御が気温に及ぼす影響

栽培開始直後の高温期の日中は、細霧の噴霧と換気の制御によって温室内の昇温抑制を行った結果、気温はほぼ30℃以下となった (図-2)。換気の日標値を気温ではなく相対湿度とすることで、細霧噴霧温室で効率的に気温を低下できることを示したが (安場, 2010)、換気と細霧の協調制御の実施により温室内の気温が低下したと考えられる。気温を25~48℃まで変化させて光合成の測定を行い、25℃程度で光合成速度が最大になったと報告されている (鳥生ら, 1982)。また、トマトを昼/夜温=30/20℃ (12時間日長) と34/20℃ (10時間日長) で栽培したところ、果房に4-クロルフェノキシ酢酸 (4-CPA) を処理した場合の着果した果実の割合は、前者が100%、後者が39.8%、4-CPAの代わりに水を処理した場合にはそれぞれ42.9%と0%であったと報告されている (Sasaki, 2005)。本試験での高温期の日中の気温は、着果ホルモン処理による効果を安定的にする程度で、光合成の適温よりは高いと考えられる。

高温期の夜間に、ヒートポンプによる冷房を実施した結果、夜温は20℃以下となった (図-2)。Adamsら (2001) は、気温を14, 18, 22, 26℃一定とした温室で果実の肥大速度や結果数などを調査したが、26℃では果房当たりの結果数が減少し、果実重も小さくなるとしている。わが国の高温期には夜間においても、屋外の気温が25℃以上となるのが稀ではなく、高温による果実重の減少を抑制する意味でヒートポンプ冷房の効果が期待できる。

本試験では夜温の加温目標値は、16℃に設定したのち18℃に変更した。Khayatら (1985) は、夜温を18℃と12℃に設定して栽培を行ったところ 'Moneymaker' では12℃で収量が低下したが 'Cherry 35070 E Danmark' では差がなかったとしている。Hurdら (1985) は、11, 13, 16℃で夜温を管理した結果、収穫開始から4週および10週間の収量は16℃で高かったとしている。Adamsら (2001) は14℃一定で栽培した場合に単為結果が増加し、商品果収量が低くなったと報告している。本試験では、'桃太郎ヨーク' で着果数が低下したため、夜温の設定温度を途中より高めたが、着果数の顕著な増加はみられなかった。湿度調節やCO₂施

用を実施した環境での夜温の設定はわが国の品種では不明な点が多く、検討が必要である。

2 統合環境制御が湿度と CO₂ 濃度に及ぼす影響

低温期の日中は細霧噴霧で湿度を制御した結果、温室内の飽差を 1 kPa 以下に保つことができた (図-3)。湿度を高めることは光合成を促進する効果があることが報告され (矢吹ら, 1970), トマトでは 75% 程度の相対湿度が果実の乾物の分配に適しているという報告 (須藤ら, 1975) や, 品種によっては春期に高湿度条件下で商品果の割合が増加するという報告 (Lipton, 1970) がある。一方, Holder ら (1990) は, 飽差が 0.3 kPa 以下の高湿度で管理すると, 葉の小型化とカルシウム欠乏が発生し収量が低下することを指摘している。本試験で湿度制御を実施した冬期間の飽差は 0.5 kPa 程度であり葉の小型化などの症状は見られなかった。しかし, 5 月初旬以降はしばしば植物体のしおれが観測された。この時期にはかん水量と廃液量の差が増加し (図-6 (B)), 植物体の蒸散が盛んになったと推察される。また, 飽差も 1 kPa を超える日もあったため (図-3), 植物体が水分ストレスを受けたものと推察される。3 月までは全果実重に対する正常果の果実重は 90% を超えていたのに対し, その後, 比率が低下したことから, 水ストレスが果実品質の悪化の一因である可能性も考えられる。また, 栽培環境の CO₂ を高めることで気孔開度が減少し, 植物体内の水保持量が高まり, 塩ストレスが軽減されることが指摘されている (Li ら, 1999)。本試験では高温期の日中の換気を行っている期間は CO₂ 施用を実施していないが, CO₂ 濃度制御で植物体の水保持量を制御できれば, CO₂ 施用のさらなる積極的利用により水ストレスを軽減できる可能性が考えられる。

低温期における日中の温室内の CO₂ 濃度は高温期より高くなった (図-4)。高温期には環境制御に利用した CO₂ センサの不調で, 目標値より低く管理されたこともその一因であるが, 高温期の日中には換気窓を閉じた状態とする時間が短く CO₂ 施用時間が短くなったことが主な原因であると考えられる。低温期の日中は CO₂ 施用未実施の場合, CO₂ 飢餓状態となることが指摘され (伊東, 1970), CO₂ 施用により収量は増加することが報告されている (Calvert, 1972; 吉村ら, 1996; 長岡ら, 1979)。本試験では, ヒートポンプ冷房を利用して換気を抑制し CO₂ 施用の延長をはかった。今後は, 果実収量を高める目的だけでなく, ランニングコストも考慮した制御を検討する必要性が考えられた。

3 統合環境制御実施温室でのトマトの果実収量および品質

月別収量は日照の少ない時期に低くなる傾向にあり, 温室内の CO₂ 施用や湿度制御は, 収量の低下を完全に抑制することはできなかったと考えられた (図-7)。全収量, 重度の障害果を除いた収量, 障害のない果実収量とも '朝日和 10' では '桃太郎ヨーク' を上回った (表-1)。'桃太郎ヨーク' に比べて, '朝日和 10' は果房の出現速度が遅く (図-9 (A)), 収穫果房数も少なくなる傾向があったが (図-9 (B)), 1 果房あたりの収穫果実数や 1 果重が大きくなる傾向があった (図-8 (A) (B))。重度の障害果を除いた果実重が 100 g 以上となった果房の数は '朝日和 10' では '桃太郎ヨーク' に比べて 12% 少なかったものの, 1 果房あたりの果実数では 29%, 1 果重では 13% 多くなり, このことが収量の増加に関与したと考えられる。一方, 開花から収穫までの日数や (図-9 (C)), 開花から収穫までの積算温度にはこれら 2 品種で顕著な差は見られなかった。

本試験では湿度調節や CO₂ 施用などを組み合わせたときに, 特に国産の品種での着果へ及ぼす影響を懸念して, 摘果はあえて行わなかった。そのため, 障害のない果実収量に小果を含めて計算をした。ただ, '朝日和 10' では約 40 kg m⁻² の収量となったが, 100 g 及び 80 g 以下の果実を除き可販果収量を算出しても 37.5, 38.9 kg m⁻² となり現時点でのわが国の収量としては高レベルであろう。また, 次の栽培のための準備期間を 2 週間みても後 1 カ月は栽培を延長できると考えられ, 1 作の収量としてはさらに高くすることが可能である。以上より, わが国の気象条件においても適切な品種を使用し, CO₂ 施用, 湿度制御, 細霧やヒートポンプを用いた高温対策を実施することで, 40 kg m⁻² 程度の収量を実現することが可能であると考えられた。

'Dundee' は光環境が他品種より良い条件でのデータを示した。光環境が良いため光合成に好適な条件であると考えられるが, Brix は他品種より低くなる傾向があり, 高品質な果実を得ることは難しいと考えられた。収量は 49 kg m⁻² となったが, 品種間の比較をするためには他品種と同様の光環境で試験を実施する必要がある。

統合環境制御を実施する最も大きなメリットは, 多数の環境制御機器を導入した場合に, 複数の機器を動作させたときの矛盾を極力排除できることであると考えられる。高温期に細霧の噴霧と換気を同時に制御したことで気温を下げる手法や, 換気が開始してから CO₂ 施用を止める制御などは, 投入した資源に対して効率の良い環

環境制御であると考えられる。今後は、複数の統合環境制御下でトマトを栽培し、生育をより詳細に調査し、統合環境制御を高度化していく必要があると考えられた。

V 摘 要

CO₂施用および細霧による昇温抑制と湿度制御実施温室での温室内環境とトマトの収量の推移を明らかにすることを試みた。2008年7月28日にトマト‘桃太郎ヨーク’、‘朝日和10’、‘Dundee’を播種し、8月29日に軒高4mの温室に定植した。2009年7月19日まで栽培を行った。1日のうち最初に換気が始まるまでは、ヒートポンプ冷房を利用して換気抑制を行い、CO₂を1000ppmまで施用した。栽培開始直後の高温期には日中、細霧の噴霧により昇温抑制を行い、夜間はヒートポンプ冷房を実施した。10月以降の換気開始後には、気温23℃相対湿度80%を目標として、細霧噴霧と換気窓の開閉の制御を行った。その結果、温室内の飽差は2009年の5月以前はほぼ1kPa以下となり、高湿度条件を保つことが可能であった。日中の気温は栽培終了直前までは20℃～25℃となった。温室内のCO₂濃度は、低温期には、800～900ppmを維持できる日が多かったが、高温期には400ppm以下となった。‘朝日和10’の重度の障害果を除く収量は40kg m⁻²となった。わが国の気象環境条件においても、多収性品種を用いてCO₂施用や湿度制御、高温期の昇温抑制を実施していくことで、高収量を実現可能であると考えられた。

引用文献

- Adams, S. R., K. E. Cockshull and C. R. J. Cave. (2001): Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* **88**, 869-877.
- Boivine, C., A. Gosselin and M. J. Trudel. (1987): Effect of supplementary lighting on transplant growth and yield of greenhouse tomato. *Hortscience* **22**, 1266-1268.
- Calvert A. (1972): Effect of day and night temperatures and carbon dioxide enrichment on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* **47**, 231-247.
- Calvert A. and G. Slack. (1975): Effects of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. I. Responses to controlled concentrations. *J. Hort. Sci.* **50**, 61-71.
- Demers, D. A., M. Dorais, C. H. Wien, A. Gosselin. (1998): Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Sci. Hortic.* **74**, 295-306.
- deZwart H. F. (2008): Overall energy analysis of (semi) closed greenhouses. *Acta Hort.* **801**, 811-817.
- Fierro, A., N. Tremblay, A. Gosselin. (1994): Supplemental carbon dioxide and light improved tomato and pepper seedling growth and yield. *Hortscience* **29**, 152-154.
- 林泰正・星岳彦・高市益行・山口浩明・相原祐輔 (2004): 施設におけるユビキタス環境制御システムの提案. 農及園. **70**, 845-853.
- Higashide, T. and E., Heuvelink. (2009): Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* **134**, 460-465.
- Holder, R., K. E. Cockshull. (1990): Effects of humidity on the growth and yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* **65**, 31-39.
- Hoshi, T., Y. Hayashi and H. Uchino. (2004): Development of a decentralized, autonomous greenhouse environmental controlling system in a ubiquitous computing and internet environment. *Proc. Of 2004 AFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture.* 490-495.
- Hurd, R. G. and C. J. Graves. (1985): Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* **60**, 359-371.
- 伊東正 (1970): そ菜栽培における作物群落内の炭酸ガス濃度低下. 園学雑. **39**, 87-94.
- Khayat, E. D. Ravad and N. Nieslin. (1985): The effects of various night temperature regimes on the vegetative growth and fruit production of tomato plants. *Scientia Hort.* **27**, 9-13.
- Li, J. H., M. Sagi, J. Gale, M. Volokita and A. Novoplansky. (1999): Response of tomato plants to saline water as affected by carbon dioxide supplementation. 1. Growth, yield and fruit quality. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* **74**, 232-237.
- Lipton, W. J. (1970): Growth of tomato plants and fruit production in high humidity and at high temperature. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* **95**, 674-680.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫・花田俊雄・吉岡宏 (1979): 光の強さ・液温・CO₂濃度が施設トマトの生育・収量に及ぼす影響. 野菜試報. **A6**, 105-122.
- 須藤憲一・安藤隆夫 (1975): ピーマン、トマトの蒸散及び体内水分状態に及ぼす空気湿度、土壌水分及び土壌塩類濃度の影響. 野菜試報. **A2**, 49-63.
- 佐々木英和 (2008): 日本型トマト多収生産に向けた研究開発のマイルストーン[10]. 多収生産技術の確立に向けた日本品種とオランダ品種の栽培生理特性と収量性の研究. 農及園. **83**, 1229-1233.
- Sasaki, H., T. Yano and A. Yamasaki. (2005): Reduction of high temperature inhibition in tomato fruit set by plant growth regulators. *JARQ.* **39**, 135-138.
- 鈴木克己 (2006): 高軒高施設を利用したトマト生産. 野菜茶業研究集報. **3**, 73-77.
- 高倉直 (2008): オランダ施設園芸の長期戦略[3] 収量100kg/m²をめざして. 農及園. **83**, 1253-1256.
- 鳥生誠二・高橋和彦・金文秀 (1982): 果菜の光合成作用におよぼす高温の影響. 愛媛農試研報. **22**, 17-22.
- 矢吹万寿・宮川秀夫 (1970): 風速と光合成に関する研究 (第2報) 風速と光合成の関係. 農業気象. **26**, 137-141.
- 安場健一郎 (2010): 水の潜熱を利用した根圏および地上部冷却による施設生産における作物生育環境の改善に関する研究. 野茶研報. **9**, 211-270.
- 安場健一郎・黒崎秀仁・高市益行・大森弘美・川嶋浩樹・

- 星岳彦 (2010)：エンタルピー調節と細霧の噴霧を利用した
温室内気温および湿度の同時制御システムの開発. 植物環
境工学. 22, 29-35.
- 27) 吉村昭信・角山正吉・山本英雄 (1996)：促成ミニトマト
栽培における CO₂ 施用の効果. 奈良農試研報. 28, 7-14.

Fruit Yield and Environmental Condition under Integrative Environment Control for High Yielding Production at Long-Time Culture of Tomato

Ken-ichiro Yasuba, Katsumi Suzuki, Hidekazu Sasaki*,
Tadahisa Higashide and Masuyuki Takaichi

Summary

We tried to research yield of tomato and environment condition under controlling environment for increasing yield at long-time cultivation in Japan. Seeds of three tomato cultivars, 'Momotaro York', 'Asabiyori 10' and 'Dundee' were sown on July 28, 2008, and seedlings were planted at 2.2 plants m⁻² in a rockwool system with high wire layering in greenhouse on August 29. Plants were grown until July 19, 2009. Cooling with a heat pump was conducted until the start time of opening ventilation windows everyday, and CO₂ was treated for keeping the level of 1000 ppm on the same time. Treatment of CO₂ was stopped after the start time of opening windows, and both a fogging device and a window opening and closing device were controlled for cooling air during daytime in warm season. A heat pump was used for decreasing night air temperature. From October, the control of fogging and window angles was conducted in order to keep both air temperature 23 °C and relative humidity 80 %. The aim level of heating during night time was 16 or 18 °C. In result, vapor deficit was below about 1 kPa on daytime until May 2009. Air temperature was kept from 20 to 25 °C with the exception of period at the last moment of cultivation. CO₂ concentration was maintained at the level of about 800 ppm during cold season, but it was below 400 ppm during high temperature season. Yield of fruits except heavily damaged fruits of 'Asabiyori 10' was 40 kg m⁻² until July 19, 2009. It was thought that the treatment of increasing CO₂ concentration, controlling humidity and cooling air with fogging and heat pump was effective of increasing yield with high-yielding cultivar at the long-time cultivation in Japan.

Accepted; October 12, 2010

Advanced Greenhouse Production Research Team
40-1 Minaminakane, Taketoyo, Aichi, 470-2351 Japan