

トマト長期多段栽培における開花から収穫までの 栽培環境と収量との関係性について

小泉明嗣・山崎聡¹⁾・高田敦之

Relationship between the Cultivation Environment of Tomatoes from Flowering to Harvest and Their Yield at Long-Term Culture

Akitsu K OIZUMI, Satoshi YAMAZAKI, Atsushi TAKADA

摘 要

神奈川県におけるトマト長期多段栽培において、気温、飽差およびCO₂濃度を制御する複合環境制御区と気温のみを制御し飽差およびCO₂濃度を制御せず成り行きとする対照区を比較し、開花から収穫までのハウス内環境と収量との関係性を調査した。複合環境制御区の可販果収量は40.6 kg・m⁻²であり、対照区と比較して約15%増加した。複合環境制御区は、対照区に比べて日平均気温が高かったため、栽培終了までの花房段位が多くなった。日射量以外の環境要因が収量に及ぼす影響を評価するため、積算日射量当たりの月間収量と環境要因の関係性を評価した結果、積算日射量当たりの月間収量の試験区間差と開花から収穫までの明期平均CO₂濃度の試験区間差との相関関係が高かった。これらの結果から、換気開始温度を高めたことで花房段位が増えて収穫果実数が増加傾向であったこととCO₂施用による果実重の有意な増加が収量に影響を及ぼした可能性が示唆された。以上より、神奈川県におけるトマト長期多段栽培において、気温制御およびCO₂施用が重要であると推察できる。

キーワード：ロックウール耕、気温、飽差、CO₂、積算日射量

Summary

We studied the relationship between the cultivation environment in a greenhouse (from flowering to harvest) and the product yield of tomatoes at their long-term culture in Kanagawa prefecture. Two environmental control conditions were compared; namely, multi-variable environmental control of temperature, humidity deficit and CO₂ concentration combined versus single-variable control of air temperature but not humidity deficit and CO₂ concentration.

Under the multi-variable environmental control, a market yield of 40.6 kg・m⁻² (based on the number and weight of fruits) was obtained, which was 15% increase compared with the single-variable control. The number of flower trusses was also higher in the multi-variable environmental control group because of the higher daily average temperature.

Additionally, we evaluated the relationships between different environmental factors and the monthly yield per total integrated solar radiation. Among the environment factors studies, the average CO₂ concentration during the light period had the highest correlation coefficient with the monthly yield.

These results suggest that raising the ventilation temperature increases the number of flower trusses and hence the number of fruits, and the increase in fruit weight by CO₂ enrichment affects the yield. It was inferred that temperature control and CO₂ enrichment are the most significant environmental control measures for improving the yield of tomato at long-term culture in Kanagawa prefecture.

Key words: rockwool culture, temperature, humidity deficit, CO₂, total integrated solar radiation

¹⁾現神奈川県庁農業振興課

緒言

神奈川県施設園芸において、トマトは、栽培面積が野菜生産に利用される施設面積の33%を占め、本県の野菜生産における重要品目である(北島 2017)。近年、全国的に施設園芸での生産性向上を目指した大規模化や高度な環境制御技術の導入が進められ(農林水産省 2014)、神奈川県内のトマト生産者においても環境制御に対する関心が高くなっており(北島 2017)、神奈川県に対応した技術開発が求められている。

制御の対象となる環境要因として、光、温度、CO₂濃度や湿度などは、光合成(金子ら 2015, 岩崎ら 2017, 安ら 2019)、転流(北野ら 1998)、葉や花房展開速度、果実成熟速度(青木 1997, 龍ら 2016)などに影響するといった報告が多数存在する。環境要因はトマトの生育や収量に影響するが、1つの環境要因にしても、複数の環境制御方法や屋外環境が関わっており、適切な環境制御を行うためには、これらの関連の有無や影響の程度を把握する必要がある(林 2003)。特に、トマトの長期多段栽培では、季節によって日射条件が大きく変動するとともに、環境要因間で相互作用が生じるため、収量への有効性の検証が困難である。神奈川県のトマト生産では環境制御技術の導入が進められているものの、定量的に分析された事例が少ないため、生産者によっては環境制御の効果を得られない場合もある。栽培環境と収量との関係性を解析し、どの環境要因が収量増加に有効であったかを明らかにすることは重要である。

そこで、本研究では、神奈川県におけるトマト長期多段栽培において、気温、飽差およびCO₂濃度制御を併せた複合環境制御を行った栽培と、気温のみを制御し飽差およびCO₂濃度を制御せず成り行きにした栽培を比較し、環境条件と収量との関係性を解析した結果から得られた知見を報告する。

材料および方法

本実験は、神奈川県農業技術センター(神奈川県平塚市)内のハウス(被覆資材:フッ素フィルム、ハウス面積165 m²、軒高3.6 m、棟高4.9 m)2棟で実施した。

1. 耕種概要

実験には、神奈川県の養液栽培において導入されているトマト(*Solanum lycopersicum* L.)‘TY みそら 86’を穂木とし、‘スパイク’を台木として供試した。台木は2017年7月20日、穂木は7月21日に園芸用培養土(大柿園芸)を詰めた128穴セルトレイに播種し、8月4日に接ぎ木を行った。育苗は、接ぎ木馴化期間以外は、閉鎖型苗生産システム(三菱ケミカルアグリドリーム株式会社)内で行った。気温は、播種後3日間は30℃(明期24時間)、それ以降は明期25℃(16時間)、暗期19℃(8時間)とし、CO₂濃度は1000 ppmとした。

8月15日にロックウールブロック(グロダン社)当たり2株を移植し、ベッド間隔2 m、ロックウールブロック間隔40 cmでロックウールスラブ(グロダン社)に定植した(栽植密度2.5 株・m²)。ハウス内に栽培ベッドは4ベッド設置し、1ベッド当たり66株定植した。

地上から高さ3 mの位置に設置したワイヤーから誘引線を垂らし、各ロックウールブロックの株を左右に誘引した。生長点が誘引線付近に達した11月8日以降、伸長に応じて約11日間隔で誘引の高さ調整を行った。摘葉は、収穫段位の進行および栽培時期に応じて約8日間隔で展開葉が15~22枚程度になるように行った。3段果房までは3個/果房、4段果房以降は4個/果房になるように着果調整を行った。11月16日に開花花房の上に葉を1枚残して摘心し、開花花房直下から発生した側枝を主枝として伸ばす整枝を行った。さらに、2018年5月23日には、開花花房の上に葉を2枚残して摘心し、2018年7月6日まで栽培実験を行った。着果促進処理は、2017年8月31日からパラクロフェノキシ酢酸(石原トマトーン、石原バイオサイエンス株式会社)の100倍希釈液にジベレリン(ジベレリン協和粉末、協和発酵バイオ株式会社)を10 mg・L⁻¹になるように添加した溶液を各花房に噴霧して行い、2017年10月13日以降は、主にクロマルハナバチを用いて行った。

培養液はOATハウスSA処方(OATアグリオ株式会社)を用い、定植から3段花房開花までは0.8 dS・m⁻¹、それ以降は生育に応じて段階的に2.2 dS・m⁻¹ま

で高め、2月中旬以降は段階的に低下させ $1.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ に調整した。給液量は、排液率が 20~30% になるように調整した。

2. 環境制御方法

環境制御による影響を調査するため、ハウス内の気温、飽差および CO_2 濃度を制御する複合環境制御区と気温のみを制御し、飽差および CO_2 濃度を制御せず成り行きとする対照区を設けた。

気象環境の収集のため、気温、飽差および CO_2 濃度は環境計測装置(株式会社誠和、プロファイナダーⅢ)をトマトの生長点付近に設置し、1分間隔で計測した。日射量はハウスの棟部分に日射計(日本オペレータ株式会社、JSS-200)を設置して1分間隔で計測した(停電により11月11日に各計測値の一部欠測)。天窗、側窓、遮光・保温カーテン、暖房機、 CO_2 発生装置および細霧発生装置の制御は、市販の環境制御装置(株式会社誠和、NEXT80)を用いて行った。

栽培期間中の空調のため、換気開始温度および暖房開始温度は、表1に示したとおり設定した。 CO_2 施用を行う場合には、日中の気温を慣行より高く管理することの有効性が根岸・木野本(2012)により報告されていることから、複合環境制御区では2017年10月11日から2018年4月1日にかけて換気開始温度を対照区より高く設定した。

複合環境制御区での飽差制御は、細霧発生装置(株式会社いけうち、涼霧ポンプユニット KYZ-40IK)を用いて行った。日の出2時間後から日の入り30分~3時間前にかけて、噴霧した細霧の気化の状況から、20秒噴霧、20秒停止の間欠運転を行った。2017年8月15日から8月20日までは、飽差が $6.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ を超えると細霧発生装置が稼働し、 $4.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ を下回ると停止するように設定した。8月21日以降は、 $8.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ を超えると細霧発生装置が稼働し、 $5.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ を下回ると停止するように設定した。

複合環境制御区での CO_2 施用は、2017年10月3日から灯油燃焼式の CO_2 発生装置(ダイニチ工業株式会社、光合成促進機 RA-439K)を用いて行った。日の出の1時間後から日の入りにかけてハウス内 CO_2 濃度が 500 ppm を下回ると CO_2 発生装置が稼働し、600 ppm に到達すると停止するように設定した。ただし、換気

状況に応じて設定変更するように制御し、換気窓の開度率が 30% 以上の時は、11月23日までは 300 ppm、11月24日以降は 400 ppm を下回ると稼働するように設定した。

表1 栽培期間中の換気開始温度および暖房開始温度

試験区	換気開始温度				暖房開始温度	
	8/15~10/10	10/11~3/14	3/15~4/1	4/2~7/6	10/11~11/16	11/17~7/6
複合環境制御区	25.0℃	28.0℃	25.0℃	22.0℃	13.0℃	13.5℃
対照区	25.0℃	25.0℃	23.0℃	22.0℃	13.0℃	13.5℃

3. 調査および解析方法

収穫調査は、2017年10月4日から2018年7月6日まで各試験区ベッド中央部の10株を対象に、桃熟期以降の成熟ステージの果実を収穫した。裂果、尻腐れ果、つやなし果、窓あき果、過度な空洞果・乱形果および50g未満の小果は不良果とし、可販果の集計からは除いた。

収穫される果実は開花から収穫までの環境要因の影響を受けることを考慮し、収穫果実ごとに、その果実の開花から収穫までの環境データを算出し、収量との関係を解析した。本実験では、毎週の開花花房および収穫果房段位の調査結果から、各収穫果実の開花日を推定した。推定した開花日から収穫前日までの気温、飽差、 CO_2 濃度の平均値および積算日射量を算出し、収穫月ごとに取りまとめて月ごとの平均値とした。

トマトの収量には積算受光量が大きく影響することが報告されており(東出2018)、時期別の収量には日射量が大きく影響することが考えられ、気温や飽差および CO_2 濃度による影響が遮蔽される可能性がある。そこで、日射量の影響を排除し、他の環境要因の影響を明確にするため、各収穫日の収穫果実について、推定開花日から収穫前日までの積算日射量で収量を除して積算日射量当たりの収量を算出し、各収穫日の積算日射量当たりの収量を収穫月ごとに積算した積算日射量当たりの月間収量として解析した。

それぞれの環境要因と収量との関係性を明らかにするため、各月の収量と環境要因について試験区間差を算出し、それらの相関係数を求めた。相関係数の算出にあたり、収穫日数が他の月と比べて著しく少ない7月のデータは除外した。

また、花房段位の出現速度と気温の関係を明らかに

するため、毎週調査した開花している花房部位と着果促進処理を開始した 8 月 31 日から開花花房部位調査前日までの積算気温の相関係数を求めた。

結果

図 1 に栽培期間中の各環境要因の推移を示した。日平均気温は、換気開始温度に試験区間差を設けた 10 月 11 日から 4 月 1 日にかけて複合環境制御区が対照区より高く推移し、その間の平均値は、複合環境制御区が 18.5°C、対照区が 17.9°C であり、0.6°C の差が生じた (図 1A)。

定植から 9 月 20 日までの明期の平均飽差は、複合

環境制御区が 5.8 g・m⁻³、対照区が 8.8 g・m⁻³ となり、3.0 g・m⁻³ の差が生じた (図 1B)。11 月から 2 月にかけては複合環境制御区が対照区より高く、3 月以降は複合環境制御区が対照区より低く推移した。

明期の日平均 CO₂ 濃度は、11 月中旬から 2 月下旬にかけて複合環境制御区では 500 ppm 以上で推移したのに対し、対照区では数日を除いて 400 ppm 未満で推移し 300 ppm を下回る日もみられた (図 1C)。3 月下旬以降、複合環境制御区の CO₂ 濃度が 500 ppm 未満になる日が増える一方、対照区は 400 ppm 前後で推移した。

積算日射量は、定植直後から 12 月下旬にかけて低下し、その後 6 月にかけて増加した (図 1D)。

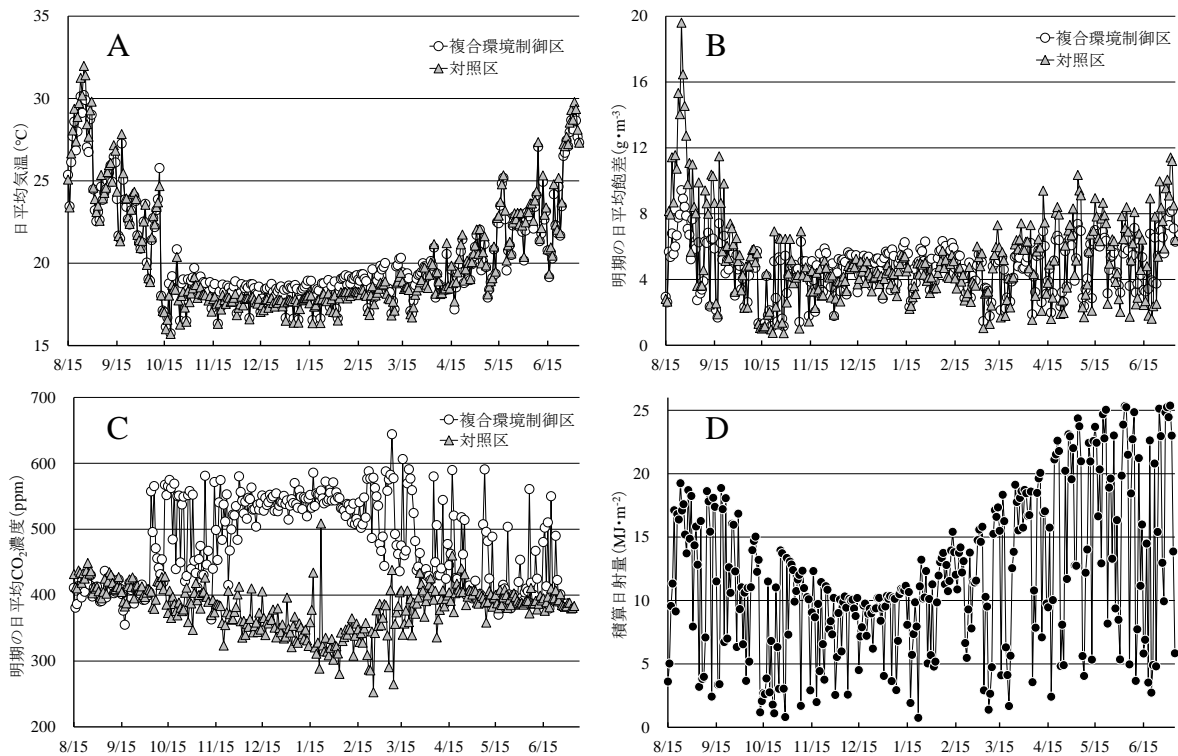


図 1 栽培期間中の気温、飽差、CO₂ 濃度および積算日射量の推移
A：日平均気温、B：明期の日平均飽差、C：明期の日平均 CO₂ 濃度、D：積算日射量

表 2 複合環境制御が摘心時の花房部位および収量に及ぼす影響^z

試験区	摘心部位 ^y (段)	総収量		平均	可販果収量		可販果率	階級別可販果収量(重量%) ^x							
		(個/株)	(kg・m ²)	収獲果実数 (個/果房)	(個/株)	(g/個)	(kg・m ²)	(重量%)	3L	2L	L	M	S	2S	3S
複合環境制御区	27.2	84.5	42.7	3.1	80.8	201	40.6	94.9	4.8	14.8	39.9	25.4	11.5	3.6	0.0
対照区	26.0	81.6	37.4	3.1	77.0	183	35.3	94.2	1.4	13.4	35.2	29.0	14.9	5.8	0.3
有意性 ^w	**	ns	**	ns	ns	**	**	ns	*	ns	ns	ns	*	**	*

z: 調査は、2017 年 10 月 4 日から 2018 年 7 月 6 日に行った。 y: 2018 年 5 月 23 日の摘心時の開花花房部位 x: 階級 3L ≥ 380 g > 2L ≥ 280 g > L ≥ 200 g > M ≥ 150 g > S ≥ 110 g > 2S ≥ 60 g > 3S ≥ 50 g w: t 検定により、*、**はそれぞれ 5 および 1% 水準で有意な差が認められ、ns は有意な差が認められないことを示す。可販果率および階級別可販果収量はアークサイン変換後に検定を行った。

表3 月間収量および積算日射量当たりの月間収量

収穫月	月間収量 (kg・m ²)			積算日射量当たりの月間収量 (g・m ⁻² ・MJ ⁻¹)		
	複合環境制御区	対照区	差	複合環境制御区	対照区	差
10月	1.84	1.72	0.12	3.74	3.47	0.27
11月	2.50	2.04	0.46	5.44	4.31	1.13
12月	3.27	3.00	0.27	6.79	5.94	0.84
1月	3.86	3.04	0.82	7.00	5.23	1.77
2月	3.29	2.05	1.24	5.53	3.39	2.15
3月	5.53	4.49	1.04	8.44	6.86	1.58
4月	5.66	5.11	0.55	7.76	7.11	0.65
5月	6.73	7.38	-0.65	8.35	9.31	-0.96
6月	8.04	7.24	0.81	10.09	9.38	0.71
7月	2.01	1.39	0.62	2.71	1.96	0.75

明期の換気窓の平均開度は、12月から2月にかけて複合環境制御区では天窓が8.5%、側窓が1.0%であり、対照区では天窓が11.0%、側窓が1.5%であった（データ省略）。複合環境制御区の4月と7月の天窓の平均開度は、それぞれ51.6%と83.5%であった（データ省略）。

表2に摘心時の花房段位および収量を示した。摘心時（定植後281日）の花房段位は、複合環境制御区は27.2段で、対照区の26.0段より多かった。果房当たり収穫果実数はいずれの試験区も3.1個/果房で同等であった。総収量は、複合環境制御区は42.7 kg・m²、対照区は37.4 kg・m²であり、複合環境制御区が対照区より約14%多かった。可販果収量は、複合環境制御区は40.6 kg・m²、対照区は35.3 kg・m²であり、複合環境制御区が対照区より約15%多かった。果実重は対照区の183 g/個に対し、複合環境制御区で201 g/個と重かった。

表3に月間収量および積算日射量当たりの月間収量を示した。月間収量は、5月を除いて複合環境制御区が対照区を上回り、1月から3月にかけて試験区間差が大きい月が続いた。一方、積算日射量当たりの月間収量は、5月を除いて複合環境制御区が対照区を上回り、その差は0.27~2.15 g・m⁻²・MJ⁻¹であった。

表4に推定開花日から収穫前日までの環境条件を示した。推定開花日から収穫前日までの平均気温は、11月から4月に収穫した果実では、複合環境制御区が対照区より0.2~0.7℃高かった。推定開花日から収穫前日までの明期平均飽差は、12月から3月に収穫した果実では、複合環境制御区が対照区より0.3~0.6 g・m⁻³高く、他の月は複合環境制御区が0.2~1.3 g・m⁻³低かった。推定開花日から収穫前日までの明期平均CO₂濃度は、すべての月で複合環境制御区が対照区より高く、特に12月から4月にかけて複合環境制御区が対照区より125~197 ppm高かった。

表4 推定開花日から収穫前日までの平均気温、明期平均飽差および明期平均CO₂濃度

収穫月	平均気温 (°C)			明期平均飽差 (g・m ⁻³)			明期平均CO ₂ 濃度 (ppm)		
	複合環境制御区	対照区	差	複合環境制御区	対照区	差	複合環境制御区	対照区	差
10月	22.8	23.0	-0.2	4.6	5.9	-1.3	434	406	27
11月	19.8	19.6	0.2	3.8	4.1	-0.3	476	395	81
12月	18.4	17.9	0.4	4.0	3.7	0.3	506	379	126
1月	18.2	17.6	0.6	4.6	4.1	0.5	530	362	168
2月	18.3	17.6	0.6	4.8	4.2	0.6	542	345	197
3月	18.6	17.9	0.7	4.6	4.2	0.4	536	344	192
4月	19.0	18.6	0.4	4.4	4.6	-0.2	499	374	125
5月	19.7	19.8	-0.1	4.8	5.4	-0.6	452	397	55
6月	21.7	22.0	-0.3	5.1	5.6	-0.5	425	394	31

z: 無相関検定により*は5%水準で有意であることを示す。

着果促進処理開始日である 2017 年 8 月 31 日以降の積算気温と開花花房段位にいずれの試験区も有意な正の相関関係が認められた (図 2) .

図 3 に積算日射量と月間収量との関係を示した. 複合環境制御区および対照区いずれも積算日射量と月間収量に有意な正の相関関係が認められた.

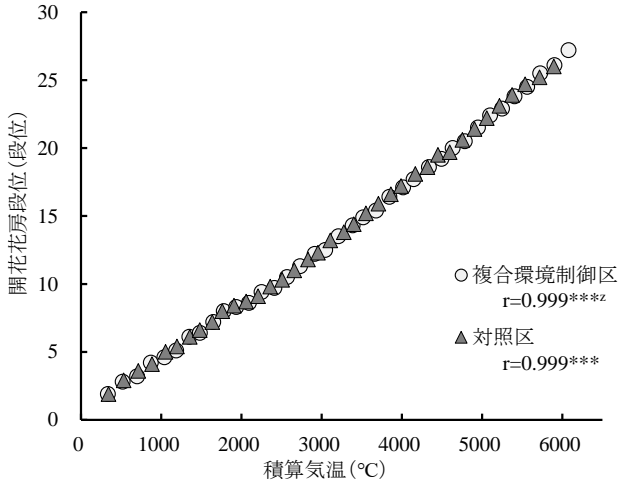


図 2 着果促進処理開始日以降の積算気温と開花花房段位の関係

z: 無相関検定により****は 0.1%水準で有意であることを示す.

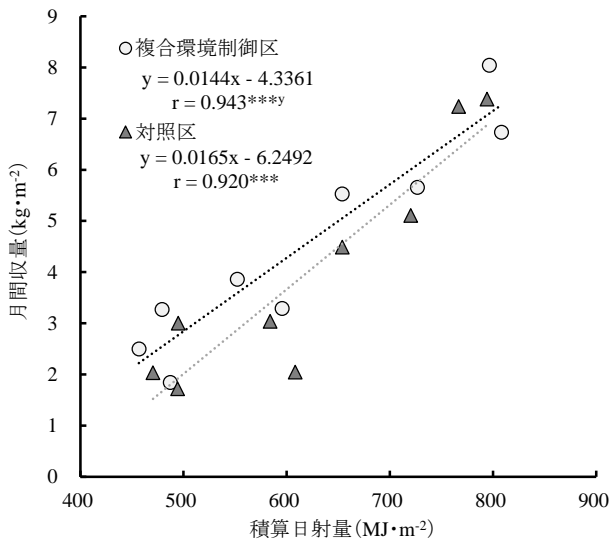


図 3 積算日射量と月間収量との関係

z: 月間収量の対象となる収穫果実について推定開花日から収穫前日までの積算日射量を求め, 収穫月ごとに算出した平均値
y: *無相関検定により****は 0.1%水準で有意であることを示す.

月間収量と各環境要因の試験区間差の相関関係は, いずれの環境要因も有意な相関関係は認められなかった (表 5) . 一方, 積算日射量当たりの月間収量と各環境要因の試験区間差の相関関係は, いずれの環境要因も有意な正の相関関係が認められ, 明期平均 CO₂ 濃度差と積算日射量当たりの月間収量差との相関係数が 0.764 となり, 最も大きかった (表 5, 図 4) .

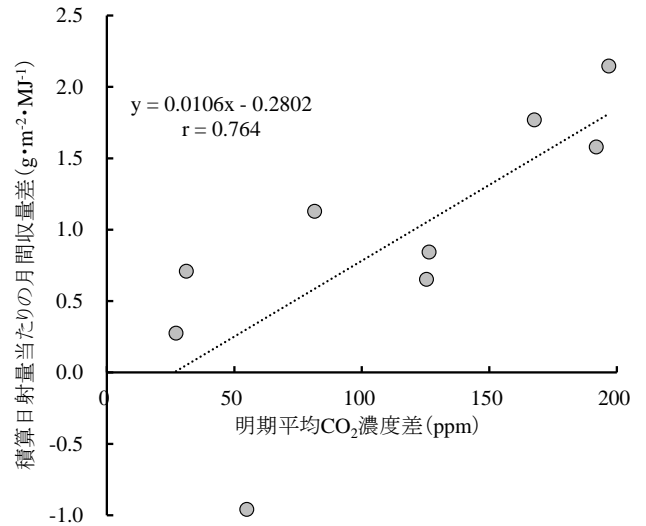


図 4 果実生育期間中の明期平均 CO₂ 濃度差と積算日射量当たりの月間収量差との関係

考 察

神奈川県 of トマト長期多段栽培において, 気温, 飽差および CO₂ 濃度を併せた複合環境制御を行ったところ, 対照区より可販果収量が約 15%増加し, この収量増加は, 収穫果実数および果実重の増加によるものと考えられた. はじめに収穫果実数について, トマトでは, 葉の展開および花房の出現速度は, 主に気温の影響によるとされている (東出 2018) . 本実験でも, 着果促進処理開始日以降の積算気温と開花花房段位に有意な正の相関関係が認められ, 同様の結果であった. 複合環境制御区では, 10 月から 3 月にかけて換気開始温度を対照区より高く設定したことで日平均気温が高く推移し, 花房の出現速度が速まることで花房段位が

表 5 月間収量と果実生育期間中の各環境要因の試験区間差の相関係数

試験区間差	各環境要因の試験区間差		
	平均気温	明期平均飽差	明期平均CO ₂ 濃度
月間収量	0.552	0.635	0.655
積算日射量当たりの月間収量	0.702 * ^z	0.741 *	0.764 *

z: 無相関検定により*は 5%水準で有意であることを示す.

増加し、収穫果実数が増加したと考えられた。

次に果実重について、トマトの収量には積算受光量が大きく影響することが報告されており(東出 2018)、本実験においても、積算日射量と月間収量に有意な正の相関関係が認められた。その一方、日射量以外の気温、飽差およびCO₂濃度については、月間収量の試験区間差と各環境要因の試験区間差に有意な相関関係は認められなかった。そこで、積算日射量の影響を排除するため、月間収量を積算日射量当たりの月間収量に変換したところ、積算日射量当たりの月間収量の試験区間差と気温、飽差およびCO₂濃度の試験区間差に有意な正の相関関係が認められた。すなわち、気温、飽差およびCO₂濃度の影響に対して、日射量の影響が相対的に大きいと、相関関係が見えなくなったものと考えられる。

積算日射量当たりの月間収量の試験区間差と各環境要因の試験区間差との相関関係の中では、明期平均CO₂濃度との相関係数が最も高かった。図4に示した明期平均CO₂濃度の試験区間差と積算日射量当たりの月間収量差との関係式から推定すると、明期のハウス内平均CO₂濃度を100ppm上昇させることで、1.06g・MJ⁻¹・m²の収量増加が期待できると考えられる。すなわち、月間日射量が300MJ・m²であった場合、明期のハウス内平均CO₂濃度を100ppm上昇させると、月間で0.32t・10a⁻¹が増収されることが考えられる。本実験において明期平均CO₂濃度の試験区間差は、特に12月から4月にかけて大きかった。快晴日の施設内のCO₂濃度低下を引き起こす主要因は、換気速度と葉面積密度であることが報告されている(伊東 1970)。この期間の換気窓の平均開度は低いことから、対照区では屋外からのCO₂供給量が光合成に伴うCO₂吸収量を下回ることでCO₂濃度が400ppm以下に低下したが、複合環境制御区ではCO₂施用によりCO₂濃度を高く維持できたと考えられた。本実験の様なトマトの長期多段栽培では、高いCO₂濃度を長期間維持できたことで光利用効率の向上(東出 2014)や果実重増加の効果(森岡・久富 1973, 川島ら 1993)が有効に作用したと考えられた。これらのことから、本実験における果実重の増加は、CO₂施用に伴い光利用効率が向上し、光合成産物の増加によるものと考えられた。

本実験では、積算日射量当たりの月間収量の試験区間差と明期平均飽差の試験区間差に有意な正の相関関係が認められた。しかしながら、明期平均飽差は、複合環境制御区が3.8~5.1g・m⁻³、対照区が3.7~5.9g・m⁻³と両区の差は小さく、この相関関係は、複合環境制御区で、気温上昇やCO₂施用に伴い収量が増加したことによるものと考えられた。このことから、本実験では飽差制御による収量への有効性は明らかにならなかったが、Higashideら(2015)は、トマトにおいてCO₂施用と細霧の併用は、CO₂施用と細霧を行わない場合よりも光利用効率が増加し、収量増加に有効であると報告しており、神奈川県トマト長期多段栽培においても引き続き検討が必要と考えられた。

以上のことから、換気開始温度を高めることに伴う花房段位および果実数の増加、CO₂施用に伴う果実重の増加により15%の増収効果があり、40.6kg・m⁻²の可販果収量が得られることが明らかとなった。これは安場ら(2011)により統合環境制御下で得られた約40kg・m⁻²の収量と同等であり、気温制御およびCO₂施用が多収栽培に有効な技術であることが示唆された。

引用文献

- 安東赫・原田正志・岩崎泰永・東出忠桐. 2019. 未熟葉の摘葉処理がトマトの生育および乾物分配に及ぼす影響. 野菜花き研報. 3: 9-18.
- 青木宏史. 1997. トマト基礎編 温度管理と生育, 収量. 農業技術体系野菜編. 2: 405-408.
- 林真紀夫. 2003. 施設内環境の特性と制御. p. 102-104. 社団法人日本施設園芸協会編. 五訂版施設園芸ハンドブック. 社団法人日本施設園芸協会. 東京.
- 東出忠桐. 2014. トマト基礎編 環境制御から見たトマトの生理・生態的特性. 農業技術体系野菜編. 2: 560の4-560の17.
- 東出忠桐. 2018. 施設トマトの収量増加を目的とした受光と物質生産の関係の利用. 園学研. 17: 133-146.
- Higashide, T., K. Yasuba, T. Kuroyanagi and A. Nakano. 2015. Decreasing or non-decreasing allocation of dry matter to fruits in Japanese tomato cultivars in spite of the increase in total dry matter of

- plants by CO₂ elevation and fogging. Hort. J. 84 : 111-121.
- 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 : 185-192.
- 岩崎泰永・梅田大樹・鈴木真実. 2017. CO₂濃度, 気温および湿度制御が異なる環境管理様式がトマトの乾物生産および分配に及ぼす影響. 野菜花き研報. 1 : 73-78.
- 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 : 163-170.
- 川島信彦・山本英雄・黒住徹・谷川賢剛・田中良宏. 1993. 施設内における CO₂ 施用に関する研究 (第4報) 果菜類の生育に対する効果. 奈良農試研報. 24 : 25-30.
- 北島晶子. 2017. 施設園芸における ICT 導入条件の解明～神奈川県施設トマト栽培を事例として～. 野菜情報. 162 : 36-46.
- 北野雅治・荒木卓哉・江口弘美. 1998. トマトにおける果実生長および光合成産物の転流の動態に対する環境作用 I. 光照射および昼夜温の影響. 生物環境調節. 36 : 159-167.
- 森岡和之・久富時男. 1973. 良品, 多収のための環境管理基準の設定に関する研究 (第1報). 奈良農試験報. 5 : 12-17.
- 根岸直人・木野本真沙江. 2012. 二酸化炭素施用と温度管理によるトマト高品質多収生産技術の確立. 栃木県農業試験場研究成果集. 30 : 19-20.
- 農林水産省. 2014. 次世代施設園芸の全国展開.
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/NextGenerationHorticulture/pdf/siryu4.pdf>
- 龍勝利・井手治・森山友幸. 2016. 冬季における日中の加温が促成トマトの収量に及ぼす影響. 園学研. 15 : 297-303.
- 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. 野菜茶研報. 10 : 85-93.