

## 日中加温と熱交換換気の併用が促成トマトのハウス内環境、 商品果収量および品質に及ぼす影響

徳永恵美\*・水上宏二・林田達也・井手 治

促成トマト栽培における日中加温と熱交換換気の併用が、ハウス内環境と商品果収量および品質に及ぼす影響について検討した。12～3月の9～16時に暖房機設定温度を20℃とし、二酸化炭素濃度を指標として熱交換換気を行うと、日射量の少ない曇雨天日のハウス内気温が高まり、飽差が高くなった。また、ハウス内の二酸化炭素濃度が低くなりやすい曇雨天日は二酸化炭素濃度が大気並に高まった。日中加温と熱交換換気を併用した結果、処理期間中の開花間隔が短くなり収穫段位が増加するとともに1果房当たりの着果数が多くなり、収穫果数が増えた。これにより、1～2月および4月の商品果数が増え、商品果収量が合計で約1割増加した。また、4月の乱形果や空洞果が減少して上物率が高まった。

[キーワード：熱交換換気，日中加温，促成トマト，増収]

Effect of Daytime Heating and Heat Exchange Ventilation in a Greenhouse on the Yield and Quality of Tomato Fruit in Forcing Culture. TOKUNAGA Emi, Koji MIZUKAMI, Tatsuya HAYASHIDA and Osamu IDE (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 5:27-33 (2019)

In this study, we investigated the effect of combined use of daytime heating and heat exchange ventilation on the yield and quality of tomato fruit in forcing culture. The greenhouse heating temperature was set to 20°C from 9:00 AM to 4:00 PM (December to March) and heat exchange ventilation was performed by maintaining the carbon dioxide concentration above 350 ppm. The air temperature was maintained at  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ , the carbon dioxide concentration was increased to 390 ppm, and the vapor pressure deficit was increased to more than that of the control. These effects were particularly high on cloudy and rainy days. By improving the environmental conditions, the anthesis interval was shortened, the number of fruit set per fruit truss was increased, and the number of marketable fruits was increased. Therefore, the total marketable fruit yield increased to more than that of the control. In addition, the ratio of irregular and puffy fruits was decreased in April.

[Key words: daytime heating, forcing culture of tomato, heat exchanging ventilation, increase in yield]

### 緒 言

福岡県における促成トマトは、作付面積が130ha、収穫量が17,700tで全国5位の重要な品目である(農林水産省 2018)。系統共販において大半を占める土耕栽培での収量は近年13t/10a程度で推移し(福岡県園芸振興推進会議 2018)伸び悩んでいる。一方、環境制御技術の特出したオランダでは、収量が年々増加している(齊藤 2012)。今後、収量を向上させ産地を維持していくためには、本県における気象環境に応じた環境制御技術の開発が必要である。

福岡県の冬季の気象は、北西の季節風により日本海から流れてくる対流雲の影響を受けて曇天日が多く、日照時間が少ない(福岡管区气象台 2018)。このため、促成トマト栽培では日中のハウス内温度が生育の適温とされる20～25℃(青木 1997)を下回る時間帯が多くなる。温度に関しては、葉の展開や花房の出現速度は温度が高い方が促進されること(東出 2014)、明期における果房部の加温によって糖の転流と果実肥大が促進されること(北野・荒木 2001)、低温では乱形果が発生しやすいことが報告されており(鈴木 2014)、日中の低温は収量や品質低下の要因となる。一方、二酸化炭素濃度に関しては、換気が始まるまでは外気の流入がないため、特に厳寒期の

曇天日は二酸化炭素濃度が外気より低下しやすい。二酸化炭素濃度は、外気並の約400ppmから200ppmに低下すると光合成速度が半減することが報告されており(吉田 2016)、二酸化炭素濃度の低下は光合成量の減少に繋がる。また、温度が上がりにくい曇雨天日には、ハウスを閉めこむ時間が長くなり、ハウス内が多湿になりやすく、蒸散量の抑制や病害の発生も危惧される。

日中の低温対策として、9～16時にハウス内を20℃に加温する(以下、日中加温)ことで乱形果の減少や商品果数および平均果重の増加により収量が向上することが報告されているが(龍ら 2016)、二酸化炭素濃度や飽差に及ぼす影響については言及されていない。また湿度対策として、被覆資材の開閉による換気に比べ、ハウス内の熱損失を抑えた除湿換気ができる熱交換換気を相対湿度を指標として行うと、湿度が低下するとともに二酸化炭素濃度が対照より50ppm高い320ppmまで高まり、空洞果が減少することが報告されている(龍ら 2018)。しかし、ハウス内温度が低下し、1～2月の収量が減少する点に問題がある。また、長岡・高橋(1983)、木野本ら(2011)および安場ら(2011)は、温度と二酸化炭素に関する環境制御について報告しているが、冬季における日中の積極的な加温等による環境制御については検討していない。この日中加温と熱交換換気を組み合わせると、温度と二酸化

\*連絡責任者(野菜部：e-tokunaga@farc.pref.fukuoka.jp)

受付 2018年8月1日；受理 2018年11月19日

化炭素濃度が改善され、除湿も可能と考えられるため、さらなる増収が期待できる。

そこで本研究では、促成トマト栽培における増収効果の高い栽培法を確立することを目的とし、日中加温と熱交換換気の併用が、ハウス内の気象環境とトマトの収量および品質に及ぼす影響について検討した。

## 材料および方法

試験は、福岡県農林業総合試験場内に設置した間口6m、奥行20m、(容積288m<sup>3</sup>)の南北向き単棟パイプハウス2棟で行った。供試品種は、台木が「がんばる根」(愛三種苗(株))、穂木が「CF桃太郎はるか」(タキイ種苗(株))を用い、定植は、2015年は10月22日、2016年は10月20日に行った。栽植様式は、畝幅105cm、株間40cmで1条植えとした。試験区として、日中加温と熱交換換気を併用して行う日中加温+熱交換換気区と、両方を行わない対照区の2区を設け、試験規模は1区8株の4反復とし、試験処理は12~3月に実施した。試験処理の日中加温は、暖房機の設定温度を9~16時が20℃、それ以外が10℃として行った。対照区は暖房機の設定温度を終日10℃とした。熱交換換気は、換気流量が500m<sup>3</sup>・h<sup>-1</sup>で、顕熱交換方式の熱交換換気装置(どくとるドライ、(株)イーズ)および制御盤(CO<sub>2</sub>当盤、トヨハシ種苗(株))を用い、9~16時にハウス内の二酸化炭素濃度が350ppm以下のときに10分間稼働させて行った。熱交換換気装置は、ハウスの北側妻面に設置し、熱交換後の給気を、ハウス中央部の地面から高さ2.5mの位置に設置したポリダクト(直径300mm、南北方向に長さ15m)でハウス内に導入した。

施肥は、基肥を施用せず、OK-F-1(OATアグリオ(株))の1,000~2,000倍希釈液を0.5~1.8L/株/日かん水と同時にやった。かん水は、ハウス内5か所にpFメータを深さ20cmで設置し、12~2月がpF2.3~2.5、3~5月がpF2.0~2.3となるように行った。着果促進処理は、トマトーン(パラクロロフェノキシ酢酸0.15%、石原バイオサイエンス(株))の100倍希釈液を各花房2.5~3花が開花した時点で花房全体に散布し、着果促進処理を行った日を開花日とした。着果数は各果房最大4果とし、4果目の着果を確認した時点で摘果した。摘果は収穫段の果実の着色がみられ始めた頃、その下の段まで行った。

ハウスの外張り被覆には厚さ0.15mmの農業用ポリオレフィン系フィルム、内張り被覆には天井部分が厚さ0.075mmの農業用塩化ビニル系フィルム、サイドには二重中空構造のポリエチレン製フィルム(サニーコート、宇部エクシモ(株))を使用した。両区とも、外張りの自動換気温度は26℃に設定し、内張りは天井部分のみを23℃を目安に手動で開閉した。

ハウス内の温度は、ハウス中央部の地面から高さ1.4mの位置に設置した強制通風筒内にサーモレコーダー(TR-52S、(株)T&D)のセンサーを2本挿入し、一方で乾球温度を、他方を濡れた親水性不織布(ジャムガード、東洋紡STC(株))で覆って湿球温度を10分間隔で記録し、飽差

を算出した。

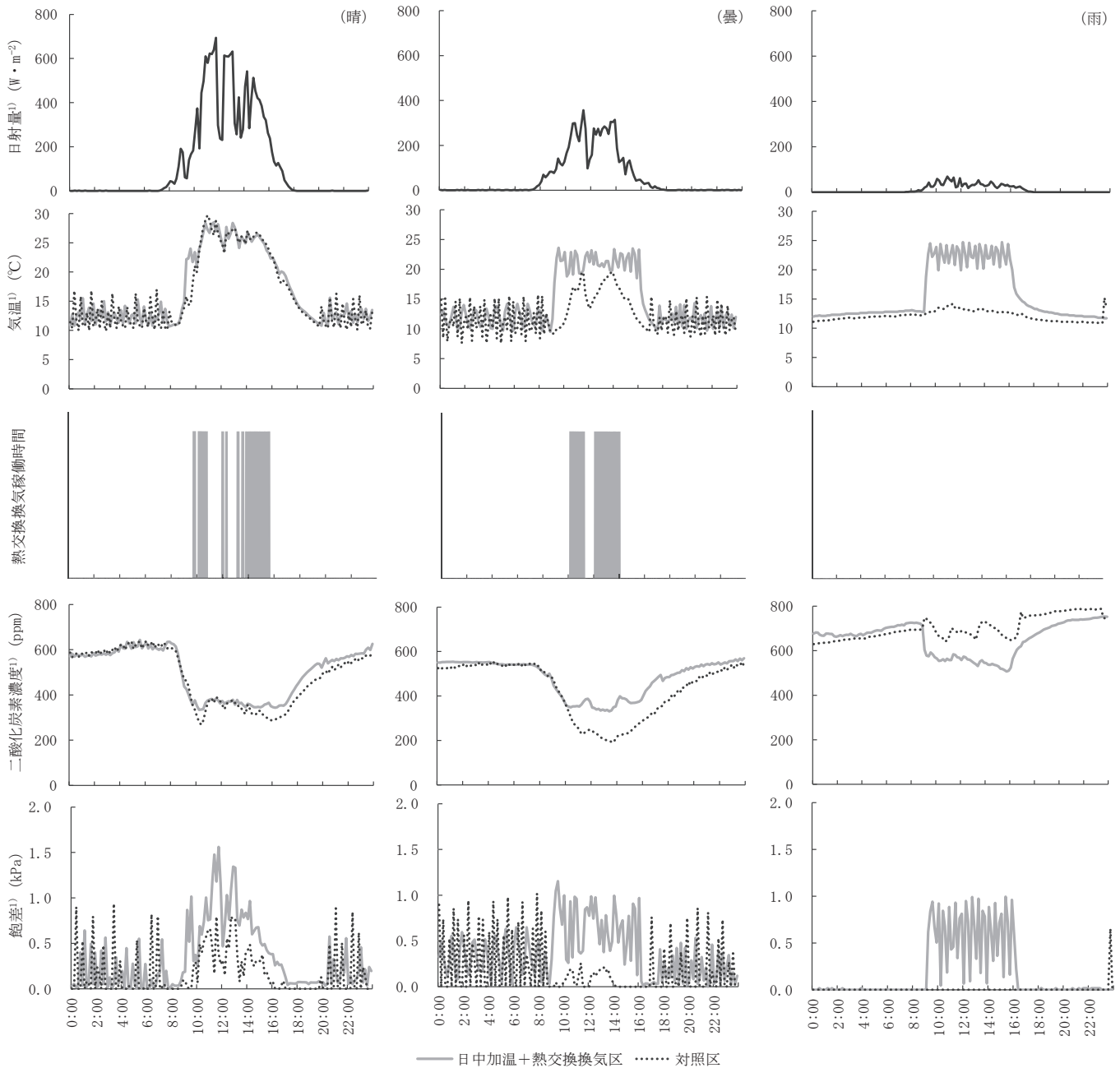
ハウス内の二酸化炭素濃度は、NDIR型CO<sub>2</sub>分析計(CO<sub>2</sub> Engine K30, SenceAir)を、ハウス中央部の地面から高さ1.9mの位置に設置して測定した。屋外の日射量は日射計(ML-020, 英弘精機(株))で測定し、観測地点が福岡における気象庁の天気概況を参考に、日積算日射量が8MJ・m<sup>-2</sup>以上を晴、3以上8MJ・m<sup>-2</sup>未満を曇、3MJ・m<sup>-2</sup>未満を雨と分類して、天候別にハウス内環境データを分析した。収量調査は各年1~5月に行い、週2~3回収穫して外観の形状から博多のトマト品位基準表に基づき商品果(上物、中物)と規格外果に分別し、それぞれについて果数、果重を測定した。上物率は、その果数を総収穫果数で除して、乱形果率および空洞果率は、中物および規格外果におけるそれぞれの果数を総収穫果数で除して算出した。試験処理を行った期間に開花した各花房の開花から直上花房の開花までに要する日数を開花間隔、開花から収穫までに要する日数を成熟日数とした。5月までに収穫した果房段位を最終収穫果房段位とした。

## 結果

### 1 ハウス内の気象環境

1月における天候別の屋外日射量、ハウス内気温、熱交換換気の稼働時間、二酸化炭素濃度、飽差の日推移を第1図に示す。

対照区の気温は、日射量の変動に応じて推移し日射量が多いほど高かった。一方、日中加温+熱交換換気区では、晴天日は14.9~28.5℃(平均25.1℃)で、対照区の13.9~29.7℃(平均24.5℃)と同様の推移を示したものの、曇雨天日は、日中加温+熱交換換気区では9時~16時にかけて概ね20℃程度に高まり、曇天日は11.6~23.6℃(平均21.0℃)、雨天日は12.8~24.7℃(平均22.3℃)で推移し、対照区はそれぞれ9.2~19.6℃(平均15.0℃)、12.2~15.2℃(平均13.1℃)で推移した。晴天、曇天日におけるハウス内の二酸化炭素濃度が350ppmを下回ると、日中加温+熱交換換気区では熱交換換気が稼働し始め、稼働時間における二酸化炭素濃度は概ね350ppmを維持した。また日射量が多い晴天日に稼働時間が長かった。二酸化炭素濃度の推移を天候別にみると、晴天日は日中加温+熱交換換気区では437~334ppm(平均365ppm)で推移したのに対し、対照区では467~269ppm(平均346ppm)で推移し、日中は両区に大きな差はみられなかったが、朝夕のサイド換気がない時間帯は対照区で300ppm以下に低下した。曇天日は対照区では471~192ppm(平均269ppm)と大気水準を大きく下回ったのに対し、日中加温+熱交換換気区では447~331ppm(平均369ppm)と概ね大気並に推移した。雨天日は日中加温+熱交換換気区の方が対照区よりも100ppm程度低く推移したが、両区とも500ppm以上で推移した。飽差は、いずれの天候においても日中加温+熱交換換気区では9時過ぎにハウス内気温が20℃程度に上昇するため、0.0~0.2kPaから0.8~0.9kPaへ一気に高まった。また、すべての天候において日中加温+熱交



**第1図** 1月における天候別の屋外日射量，ハウス内気温，熱交換換気の稼働時間，二酸化炭素濃度，飽差の日推移  
 1) 2016年1月31日(晴:10.9MJ・m<sup>-2</sup>)，1月21日(曇:5.2MJ・m<sup>-2</sup>)，1月29日(雨:1.0MJ・m<sup>-2</sup>)に10分間隔で測定した値を時刻別に平均して示した

**第1表** 12～3月における屋外の日積算日射量および日中のハウス内気温，二酸化炭素濃度，飽差の平均値

年次	試験区	日積算日射量 (MJ・m <sup>-2</sup> )				気温 <sup>1)</sup> (°C)				二酸化炭素濃度 <sup>1)</sup> (ppm)				飽差 <sup>1)</sup> (kPa)			
		12月	1月	2月	3月 <sup>2)</sup>	12月	1月	2月	3月	12月	1月	2月	3月	12月	1月	2月	3月
2015年度	日中加温+熱交換換気区	6.6	5.5	9.5	10.8	22.0	21.5	23.7	25.2	399	398	392	404	0.5	0.6	0.8	1.1
	対照区					19.9	17.6	20.9	24.0	361	369	374	407	0.2	0.2	0.3	1.0
2016年度	日中加温+熱交換換気区	7.0	8.2	10.6	12.5	22.5	22.1	23.7	23.2	386	366	388	382	0.5	0.5	0.7	0.9
	対照区					20.8	20.7	22.1	23.1	370	325	376	372	0.3	0.4	0.6	0.8

1) 気温，二酸化炭素濃度，飽差は，各月における9～16時の平均値  
 2) 3月は1～14日までの平均値

換気区の飽差は対照区より高く推移し、晴天、曇天、雨天日がそれぞれ0.3~1.6kPa, 0.1~1.2kPa, 0.0~1.0kPaであった。

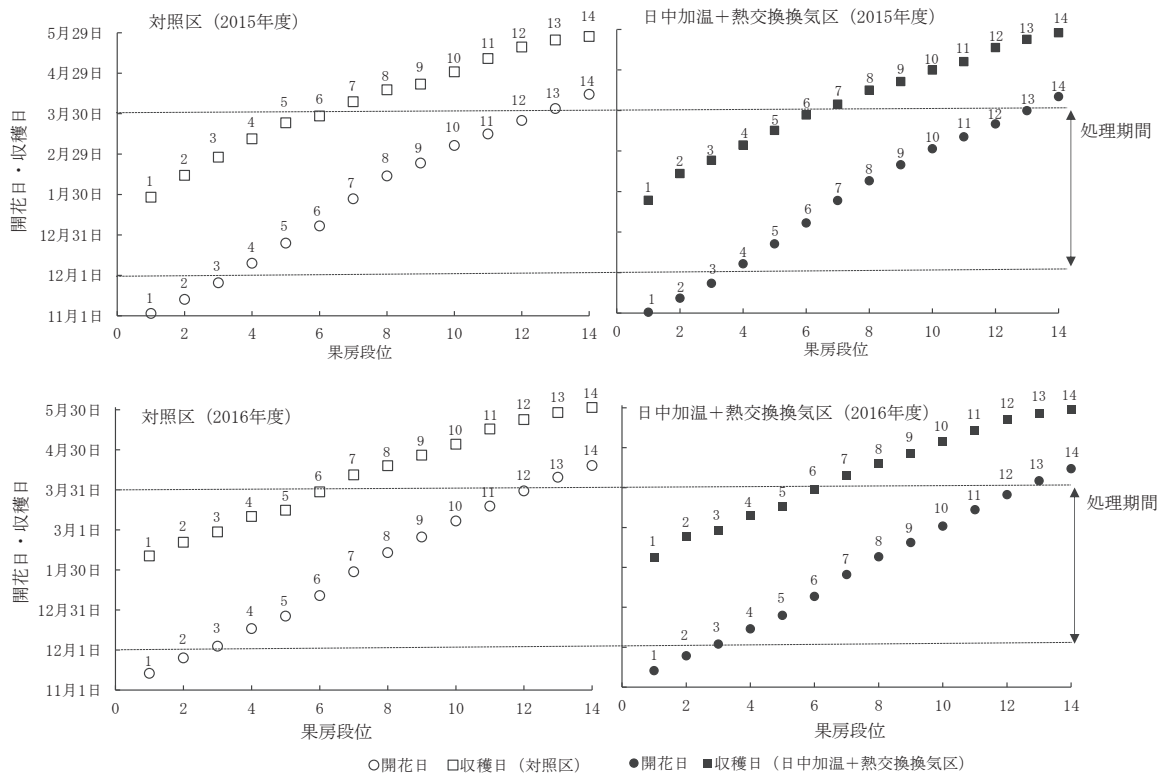
12~3月における屋外の日積算日射量および日中のハウス内気温、二酸化炭素濃度、飽差の平均値を第1表に示す。2015年度は屋外日射量が5.5~10.8MJ・m<sup>-2</sup>で、2016年度の7.0~12.5MJ・m<sup>-2</sup>に比べ67~94%と日射量の少ない厳冬年であった。12~3月の気温は、日中加温+熱交換換気区で2015年度が21.5~25.2℃と対照区の17.6~24.0℃より1.2~3.9℃高く、2016年度が22.1~23.7℃と、対照区の20.7~23.1℃より0.1~1.7℃高く、厳冬年の2015年度の方が2016年度よりも対照区に対する温度の上昇幅が大きかった。二酸化炭素濃度は2年間とも、12~2月において、日中加温+熱交換換気区が対照区より12~41ppm高く、3月は試験区間で差が小さかった。12~3月の飽差は、日中加温+熱交換換気区では2015年度

が0.5~1.1kPa、2016年度が1.5~0.9kPaと、対照区に比べ0.1~0.5kPa高かった。

2 商品果収量および品質

果房段位別の開花日および収穫日の推移を第2図に示す。処理期間中に開花した花房は、2015年度は日中加温+熱交換換気区で4~13段果房、対照区で4~12段果房であり日中加温+熱交換換気区の方が1果房多かった。2016年度は両区とも3~12段果房であった。また、処理を行った期間に収穫した果房は、両年とも両区において1~6段果房であった。

日中加温と熱交換換気の併用が開花間隔、成熟日数、最終収穫果房段位、収穫果数および商品果数に及ぼす影響を第2表に示す。開花間隔は、日中加温+熱交換換気区では2015年度が12.7日、2016年度が12.1日で、対照区よりそれぞれ0.6日および0.4日短かった。処理期間中



第2図 果房段位別の開花日および収穫日の推移

第2表 日中加温と熱交換換気の併用が開花間隔、成熟日数、最終収穫果房段位、収穫果数および商品果数に及ぼす影響

年次	試験区	開花間隔 (日)	成熟日数 (日)	最終収穫果房段位 (段)	収穫果数 (個/株)					商品果数 (個/株)				
					1~2月	3月	4月	5月	合計	1~2月	3月	4月	5月	合計
2015年度	日中加温+熱交換換気区	12.7	86.4 a	15.0	11.8	10.6	14.4	14.6	51.5	11.5	10.4	14.3	14.1	50.4
	対照区	13.3	89.2 a	14.0	9.6	10.4	13.8	13.6	47.3	9.2	10.0	13.3	12.6	45.0
2016年度	日中加温+熱交換換気区	12.1	84.7 b	14.3	10.4	11.4	12.5	13.3	47.7	10.2	10.9	12.3	13.0	46.5
	対照区	12.5	83.6 b	13.8	9.1	11.7	10.9	13.8	45.5	8.9	11.0	10.8	13.5	44.2
分散分析 <sup>1)</sup>	年次	**	**	**	*	**	**	ns	ns	ns	*	**	ns	**
	処理方法	**	ns	*	**	ns	**	ns	**	**	ns	**	ns	**
	交互作用	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1) 二元配置分散分析により\*\*は 1%, \*は 5%水準で有意差あり, nsは有意差なし

に収穫した段における成熟日数は処理方法による有意な差は認められなかった。最終収穫果房段位は日中加温+熱交換換気区では2015年度が15段、2016年度が14.3段で、対照区よりそれぞれ1.0段および0.5段多かった。収穫果数および商品果率は、1~2月、4月および合計において日中加温+熱交換換気区が対照区より有意に多かった。

1~2月における果房当たり着果数、商品果率および成熟日数を第3表に示す。平均収穫日が1~2月であった1~3段果房における着果数は、日中加温+熱交換換気区では両年とも3.6果で、対照区より2015年が0.2果、2016年が0.3果多かった。商品果率および成熟日数は処理方法による有意な差は認められなかった。

日中加温と熱交換換気の併用が上物率、乱形果率および空洞果率に及ぼす影響を第4表に示す。上物率は、日中加温+熱交換換気区において2015年度が68.0%、2016年度が75.6%で、対照区よりそれぞれ12.5ポイントおよび3.6ポイント高かった。乱形果率は、日中加温+熱交

換気区が対照区に比べて4月では2か年とも、5月および合計では2015年度のみ低かった。空洞果率は、日中加温+熱交換換気区が4月および合計で対照区よりも低く、4月においては、2015年度が7.2%、2016年度が7.2%で対照区よりそれぞれ10.5および12.3ポイント低かった。

日中加温と熱交換換気の併用が商品果の平均果重および商品果収量に及ぼす影響を第5表に示す。平均果重は、2016年度の1~2月において日中加温+熱交換換気区が対照区よりも重かった。日中加温+熱交換換気区における商品果収量は、対照区と比べて1~2月、4月および合計で有意に多く、1~2月では対照区より27%、合計では2015年が11%、2016年が13%増加した。

### 考察

本試験では、ハウス内の気温および二酸化炭素濃度の改善による増収を目的として、12~3月の9~16時にハウス内を20℃に加温する日中加温と二酸化炭素濃度を指標とした熱交換換気の併用が促成トマト栽培のハウス内環境と収量および品質に及ぼす影響について検討した。

龍ら(2016)は日中加温処理を1~2月に行うことで、ハウス内平均気温が対照区よりも1.3~4.6℃高く、晴天および曇天日においてはそれぞれ1.2℃および3.8℃高く改善されたことを報告している。本試験においては、12~3月に処理を行い、月別では日中加温+熱交換換気区が対照区よりも0.1~3.9℃高く、特に日射量の少なかった2015年度は12月および3月においてもハウス内気温が高まった。また、1月の晴天、曇天、雨天日においてそれぞれ対照区よりも平均で0.6、6.0、9.2℃高まった。

日中のハウス内環境は天候の影響が大きく、日射量が多い晴天日は気温が高まり換気が行われるため、また、日射量が少ない雨天日は光合成がほとんど行われなため二酸化炭素濃度の低下が小さかった。一方、日射量はあるものの温度が上がりにくい曇天日は二酸化炭素濃度が低

**第3表 1~2月における果房当たり着果数、商品果率および成熟日数**

年次	試験区	着果数 <sup>2)</sup> (個/果房)	商品果率 <sup>3)</sup> (%)	成熟日数 (日)
2015年度	日中加温+ 熱交換換気区	3.6	97.4	88.7
	対照区	3.4	95.5	90.5
2016年度	日中加温+ 熱交換換気区	3.6	98.1	86.8
	対照区	3.3	98.4	86.5
分散分析 <sup>1)</sup>	年次	ns	**	**
	処理方法	*	ns	ns
	交互作用	ns	ns	ns

- 1) 二元配置分散分析により\*\*は1%、\*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし
- 2) 平均収穫日が1~2月であった1~3段果房における1果房当たりの着果数を平均して示した
- 3) 商品果率はアークサイン変換後に統計処理を行った

**第4表 日中加温と熱交換換気の併用が上物率、乱形果率および空洞果率に及ぼす影響**

年次	試験区	上物率 <sup>1)</sup> (%)	乱形果率 <sup>1)</sup> (%)					空洞果率 <sup>1)</sup> (%)							
			1~2月	3月	4月	5月	合計	1~2月	3月	4月	5月	合計			
2015年度	日中加温+ 熱交換換気区	68.0	1.8	4.7	0.9	3.0	b	2.5	b	30.7	51.8	7.2	8.3	ab	22.1
	対照区	55.5	2.0	4.8	5.4	9.6	a	5.8	a	33.2	60.5	17.7	13.8	a	29.1
2016年度	日中加温+ 熱交換換気区	75.6	7.2	5.5	3.0	2.1	b	4.4	a	0.8	33.5	7.2	5.7	b	11.6
	対照区	72.0	6.6	5.6	4.4	2.3	b	4.5	a	0.7	39.3	19.5	5.0	b	16.5
分散分析 <sup>2)</sup>	年次	**	**	ns	ns	**	ns	**	**	**	**	ns	**	**	
	処理方法	**	ns	ns	*	**	**	ns	ns	**	ns	**	ns	*	
	交互作用	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	

- 1) 上物率、乱形果率、空洞果率はアークサイン変換後に統計処理を行った
- 2) 二元配置分散分析により\*\*は1%、\*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし
- 3) Tukeyの多重検定により、異英文字間には5%水準で有意差あり

第5表 日中加温と熱交換換気の併用が商品果の平均果重および商品果収量に及ぼす影響

年次	試験区	平均果重 (g/個)					商品果収量 (t・10a <sup>-1</sup> )				
		1~2月	3月	4月	5月	合計	1~2月	3月	4月	5月	合計
2015年度	日中加温+ 熱交換換気区	190 b <sup>2)</sup>	169	174	184	177	5.2	4.2	5.9	6.2	21.5
	対照区	187 b	175	168	194	180	4.1	4.2	5.3	5.8	19.3
2016年度	日中加温+ 熱交換換気区	211 a	197	172	172	187	5.1	5.1	5.1	5.3	20.6
	対照区	191 b	183	164	162	174	4.0	4.8	4.2	5.2	18.2
分散分析 <sup>1)</sup>	年次	**	**	ns	**	ns	ns	**	**	**	*
	処理方法	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	**
	交互作用	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns

1) 二元配置分散分析により\*\*は 1%, \*は 5%水準で有意差あり, ns は有意差なし

2) Tukey の多重検定により, 異英文字間には 5%水準で有意差あり

下する。さらに, 光合成速度は同じ日射量の場合, 10~20℃程度の範囲では温度が高いほど速いため (吉田 2014), 日中加温を行うと曇天日にはさらなる二酸化炭素濃度の低下が予想される。日中加温と熱交換換気を併用した本試験では, 1月の曇天日の二酸化炭素濃度の日推移をみると, 対照区が 200ppm 以下まで低下したのに対し, 熱交換換気により 350ppm 程度で推移したことから, 日中加温を行っても熱交換換気を併用することで曇天日においても外気並の二酸化炭素濃度を維持できたと考えられた。このように, 二酸化炭素を指標とした熱交換換気により, ハウス内の二酸化炭素濃度を外気並に維持でき, その効果は特に曇天日に顕著に現れた。

厳寒期は換気しない時間が長く飽差が低くなりやすいため, 病害予防および生育促進の観点から湿度を下げて飽差を高める必要がある。本試験における 1月の飽差は, いずれの天候においても対照区に比べ日中加温+熱交換換気区の方が高く推移した。日中加温+熱交換換気区における天候別の日中の暖房時間は, ハウス内温度が上がりにくい曇雨天日に長く稼働し, 熱交換換気の稼働時間は晴天日が最も長かった。晴天日は熱交換換気によって湿度の低い外気を流入させることで, 雨天日は暖房によってハウス内気温が高まり空気中に含むことのできる水蒸気量が増加することで飽差が高まったものと考えられ, 日中加温と熱交換換気を併用することによってどの天候においても飽差が高まった。ただし, 9時から 20℃に加温する方法では, 一気に飽差が上昇し, 気孔が閉じやすくなることから (斉藤 2014), この点については検討の余地がある。以上のことから, 日中加温と熱交換換気を併用すると, 温度, 二酸化炭素濃度が同時に改善され, 飽差が高まるのが明らかとなった。

12~3月に日中加温と熱交換換気を併用した本試験では, 1~2月, 4月および 1~5月の合計で収穫果数が増えたことで商品果数が増加し, 商品果収量が 1割増加した。花房出現速度は, 17~23℃の範囲で温度と正の相関関係にあり (Heuvelink 2012), 気温が高いほど開花間隔が早まると考えられる。本試験の日中加温+熱交換換気区

では, 日中の気温が対照区よりも高かったことで処理期間に開花した段の開花間隔が 0.5 日程度短くなり, 最終収穫果房段位が 0.7 段程度進んだ。また, 着果は主に同化産物の影響を受けるとされる (Heuvelink 2012)。日中加温+熱交換換気区は光合成量が増加したと推察され, 処理開始前から初期に開花し 1~2月に収穫した 1~3段果房においては, 1果房当たりの着果数が増加した。これらのことから, 日中加温と熱交換換気を併用することで, 花房出現速度が速まり収穫できる果房数が増えるとともに果房当たりの着果数が増えて商品果収量が増加することが明らかとなった。

果実品質に関して, 日中加温+熱交換換気区においては, 乱形果や空洞果が 4月に対照区と比べて減少した。乱形果は, 花芽分化の時期に低温に遭遇することで発生が増える (鈴木 2014)。4月に収穫した 7~10段 (2015年度) および 7~9段 (2016年度) 果房の花芽分化時期は 12~1月と考えられ, この時期は 2か年とも試験区間の昼温に 1.4~3.9℃の差があったため, 温度条件が改善され乱形果が減少したと考えられた。一方, 5月の乱形果の発生は 2か年の試験で結果が異なった。その理由としては, 5月に収穫した 11~14段 (2015年度) および 10~14段 (2016年度) 果房の花芽分化時期と思われる 2~3月は, 2015年度が 1.2~2.8℃の差があり乱形果が減少したのに対し 2016年度が 0.1~1.6℃と差が小さく, 特に 3月は試験区間でほとんど差がなかったためと考えられた。これらのことから気象条件によって効果に差はあるが, 併用によって昼温が高まり乱形果の発生を低減できることが示唆された。また, 1~2月の発生率には年次間差がみられ, 2016年度が高かった。これは, 育苗期間である 2016年 9~10月の日射量が少なく, 気温が高かったために, 第1段花房下葉数が多くなり第1段花房の節位が高くなった。このため, 2016年度の第1段花房の開花時期が 11月中旬と, 2015年度の 11月上旬よりも遅くなったために, 開花前に低温に遭遇する期間が長くなったことが要因と推察され, 試験処理による影響ではないと考えられる。

空洞果は冬季の低日照で果実数に比べて光合成量が低下した場合(鈴木 2014)、葉の受光量が減少し光合成機能が低下すること(高尾・田中 1984)で発生が増えることが報告されている。4月に収穫した7~10段果房が開花して生育する1月末から2月は日射量が少ない時期にあたり、光合成量が低下していたと考えられ、さらに1~2段果房の収穫時期と重なり、トマトの植物体に最も多くの果実が着果していたため、果実数に対して光合成量が少なかった可能性がある。対照区における同時期の二酸化炭素濃度は日中加温+熱交換換気区よりも低く、光合成量が低下したと推察される。一方、熱交換換気により二酸化炭素が供給され、350ppm程度を維持した日中加温+熱交換換気区では光合成が促進され、空洞果が減少したと考えられた。また、1~3月の発生率には年次間差がみられ、2015年度が多かった。本試験の1~3月に収穫した1~6段果房の生育期間である12~3月の日射量は、2015年度は2016年度より1~3割少なかったために、発生率が高かったと考えられる。このように、日中加温と熱交換換気を併用することにより低温に起因する乱形果および、光合成量の低下で発生する空洞果の両方を4~5月に減少させることができると考えられた。

以上のように、日中加温と二酸化炭素濃度を指標とした熱交換換気を併用することで、ハウス内気温が高まり、二酸化炭素濃度が大気並に維持できた。これにより、開花間隔が短くなり収穫段位が増加するとともに、1果房当たりの着果数が多くなることで、商品果収量が約1割増加することが明らかとなった。また、低温に起因する乱形果や光合成量の低下に起因する空洞果の発生が減少して上物率が高まり、品質が向上することが明らかとなった。

本試験では、日中の加温温度を天候に関係なく一律20℃に設定し、二酸化炭素は大気からの供給とした。今後は、さらなる増収や燃油コスト削減を図るため、日射量に応じた加温方法や、二酸化炭素の積極的な施用について検討が必要と考える。

## 引用文献

- 青木宏史(1997)本圃での生育と栽培. 農業技術体系野菜編 2 トマト. 基礎編. 農文協, 東京, p. 421-425.
- 福岡管区気象台(2018)農業に役立つ気象情報の利用の手引き. 福岡管区気象台, 福岡, p. 4.
- 福岡県園芸振興推進会議(2018)冬春トマト生産販売振興対策会議参考資料, p. 3.
- Heuvelink E(2012)発育過程. トマトオランダの多収技術と理論(エペ・フューヴェリンク編著, 中野明正・池田英男他監訳). 農文協, 東京, p. 61-92.
- 東出忠桐(2014)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. トマト. 基礎編. 農文協, 東京, p. 560の4-560の17.
- 木野本真沙江・根岸直人・吉田 剛(2011)CO<sub>2</sub>施用と温度管理がトマトの生育に及ぼす影響. 園学研 10 別 1: 110.
- 北野雅治・荒木卓哉(2001)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(第2報). 生物環境調節 39: 43-51.
- 長岡正昭・高橋和彦(1983)複合環境制御下におけるトマトの生育・収量. 野菜試験場報告 A. 11: 45-56.
- 農林水産省(2018)平成 29 年産指定野菜(春野菜, 夏秋野菜等)の作付面積, 収穫量及び出荷量. 大臣官房統計部, 東京,  
[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou\\_yasai/index.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html)(2018年7月23日閲覧)
- 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.
- 龍 勝利・井手 治・徳永恵美・森山友幸(2018)熱交換器を用いた除湿換気が寡日照地域における促成トマトの収量・品質に及ぼす影響. 園学研 17: 415-422.
- 斉藤 章(2012)オランダの最新のトマト生産と本書の意義. トマトオランダの多収技術と理論(エペ・フューヴェリンク編著, 中野明正・池田英男他監訳). 農文協, 東京, p. 3-20.
- 斉藤 章(2014)オランダに学んだ環境制御の取り入れ方. 農業技術体系野菜編 2. トマト. 基礎編. 農文協, 東京, p. 560の32-560の53.
- 鈴木克己(2014)生理障害の原因と対策. 農業技術体系野菜編 2. トマト. 基礎編. 農文協, 東京, p. 527-538の4.
- 高尾宗明・田中幸孝(1984)施設トマトの空洞果防止に関する研究. 第2報本圃の生育環境並びに摘葉, 摘果が空洞果の発生に及ぼす影響. 福岡農総試研報 B-4:31-36.
- 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. 野菜茶業研究所研究報告 10: 85-93.
- 吉田 剛(2014)トマトの土耕長期どり作型における多収化技術. 農業および園芸 89(11): 1093-1104.
- 吉田 剛(2016)トマトの長期多段どり栽培. 農文協, 東京, p. 1-171.