

半閉鎖温室におけるヒートポンプの有効活用

寒冷地でのトマト栽培における長期長時間の二酸化炭素施用の効果

Effective utilization of a heat pump in a semi-closed greenhouse

Effect of long-term long CO₂ enrichment on the growth and yield of tomato plants in cold regions

(エネルギー応用研究所 バイオ技術G 陸域生物T)

低温期昼間に換気窓を長時間閉鎖する寒冷地の半閉鎖温室において、ヒートポンプで冷房しながら二酸化炭素濃度を高める二酸化炭素施用を実施した結果、秋冬季のトマトの収量が5割以上増加する効果が得られた。このような半閉鎖温室における環境制御(半閉鎖管理)は、寒冷地の施設園芸へのヒートポンプの新しい利用方法として期待できる。

(Terrestrial Research Team, Biotechnology Group, Energy Applications Research and Development Center)

In a semi-closed greenhouse of cold regions where the ventilation windows were closed during low-temperature daytime periods, we cultivated tomato plants under high CO₂ concentration while cooling with a heat pump. As a result of this cultivation test, the tomato yield during the autumn and winter increased by more than 50%. This kind of environmental control (semi-closed management) in semi-closed greenhouses has the potential to be a new method for using heat pumps in protected horticulture of cold regions.

1 研究の背景

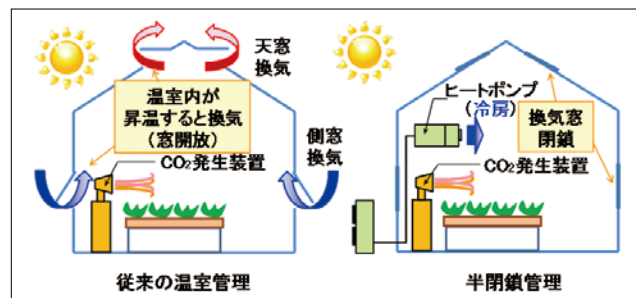
近年の石油価格の高騰により、施設園芸分野では石油燃焼式暖房機に代わる温室や植物工場の環境制御機器として、省エネルギーを実現する電気式ヒートポンプ(以下「EHP」という。)が温暖地を中心に広く活用されるようになった。ところが、寒冷地においては、EHPが不向きという既成概念から普及が遅れ、長野県では2013年度になってはじめて本格的な導入が開始したばかりで、EHPの有効利用方法の確立が課題となっている。

EHPは暖房以外に冷房(除湿)機能も持っており、多目的利用によって作物の収量増加、品質向上等を実現できる。また、寒冷地では、低温期は保温のために換気窓を長時間閉鎖する半閉鎖温室となっており、EHPを活用して温室内の栽培環境条件を改善したいというニーズが強い。一方、最近の温室環境制御の考え方として、換気窓をできる限り閉鎖して、作物の生育に好適な環境条件を長く維持する半閉鎖管理が注目されている。このような背景から、寒冷地の半閉鎖温室において、EHPを有効利用した栽培方法を検討することにした。

2 二酸化炭素施用と温室の半閉鎖管理

光合成の原料である二酸化炭素(CO₂)の濃度を大気(約380ppm)よりも高い条件で植物を栽培すると、光合成が促進され、成長が旺盛になることが知られている。施設園芸ではこのような植物の反応を利用して、作物の収量増加のために温室の換気窓を閉鎖して、温室内のCO₂濃度を高める二酸化炭素施用(以下「CO₂施用」という。)が行われる。しかし、従来のCO₂施用は、光合成に十分な光量の時間帯(昼間)に温室の換気窓を閉鎖すると、日射によって温室内部気温が上昇し、直ちに換気が必要となり、高CO₂濃度環境を長く維持できないという課題があった。近年、温室や植物工場の環境制御に冷房機能をもつEHPが利用されるよ

うになり、低温期であっても昼間は温室の換気窓をできる限り閉鎖してEHPを冷房運転することにより、CO₂施用時間を拡大できる半閉鎖管理が注目されている(第1図参照)。



第1図 低温期昼間のCO₂施用時の温室管理の違い

3 試験の概要

長野県の秋冬トマトにEHPによる昼間冷房を活用した長期長時間のCO₂施用を適用する栽培試験を実施し、トマト(品種「CF桃太郎ヨーク」)の果実収量と果実品質に及ぼす影響を調査した。

栽培試験には長野県野菜花き試験場(長野県塩尻市)構内の隣接する2棟の同型プラスチック温室(単棟三角屋根型、5.4m×18m、無遮光)において、2013年9月30日にトマト苗(同年8月30日播種)を定植(栽植密度:2.8株/m²、1区の株数:88株)し、翌年3月3日まで養液栽培を継続した(4段栽培、培養液EC:1.5~2.0 dS/m)。また、2013年10月11日以降は、2棟の温室のうち一方は半閉鎖管理のもとでCO₂発生装置とEHPを併用し、EHPを冷房運転することによって昇温抑制しながら、温室内のCO₂濃度を800ppm以上に高める処理区(冷房開始30℃、天窓開放32℃以上)とし、他方の温室は従来方法で管理(CO₂施用なし、天窓開放30℃以上、側窓閉鎖)する対照区とした。夜間については、両試験区ともに温室内部気温が10~12℃以上となるように適宜暖房した。なお、処理区の温室内の栽培試験状況を第2図に示した。



第2図 処理区の栽培試験状況(2013年10月)

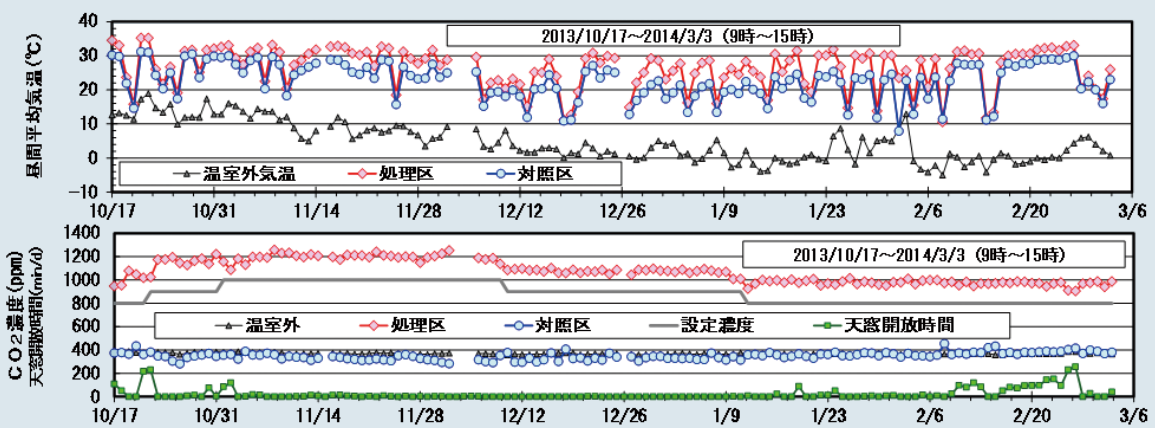
4 試験結果

(1) 栽培環境条件

CO₂施用開始後の2013年10月中旬以降の栽培環境条件を第3図に示した。対照区の昼間の平均CO₂濃度は全試験期間を通じて約350ppmとなったのに対して、処理区は910~1260ppmの高濃度環境を維持できた。ただし、昼間平均気温は、天窓開放条件の違いから処理区の方が対照区よりも約4℃高い値となった。また、11月上旬から2月上旬までの期間の処理区はEHPのみで冷房可能で、天窓はほとんど開放しなかった。

(2) 果実収量と品質

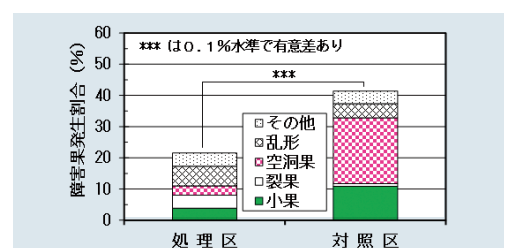
栽培期間全体の総果実収量および可販果収量(1果重100g以上の正常果と軽微な障害果)を第1表に示した。両試験区を比較すると、総果実収量の個数には有意差がないのに対し、処理区の1果重、正常果率および可販果率は対照区に比べて増加し、特に可販果収量に顕著な増収効果(55%増加)が認められた。

第3図 CO₂施用期間中の栽培環境条件の経時変化第1表 トマトの果実収量に対する半閉鎖管理(CO₂施用)の影響

試験区	総果実収量			可販果収量 ^{※1}				
	個数(個/株)	重量(g/株)	1果重(g)	個数(個/株)	重量(g/株)	1果重(g)	正常果率(%)	可販果率(%)
処理区	19.9	4,385	221	18.5	4,157	225	78.3	93.2
対照区	18.7	3,245	174	14.9	2,763	185	59.5	80.2
有意差 ^{※2}	ns	***	***	**	***	***	***	***

※1:1果重が100g以上の正常果の収量を示す。

※2:***, ** はそれぞれ0.1%水準、1%水準で有意差あり、ns は有意差なしを示す。

第4図 障害果発生割合に対する半閉鎖管理(CO₂施用)の影響

障害果発生割合に対する半閉鎖管理(CO₂施用)の影響を第4図に示した。発生割合は41%から21%に減少し、特に、小果と空洞果の減少が顕著となった。なお、糖度と酸度については、一般に果実肥大(1果重の増加、小果の割合減少)とトレードオフの関係にあるものの、本試験では食味上問題となる低下は認められなかった。

(3) まとめ

本試験では、約3か月間にわたって昼間の換気がほとんど不要となり、温室内の高CO₂濃度環境を維持できたことから、半閉鎖管理は寒冷地に適した栽培方法と考えられた。また、長期長時間のCO₂施用の効果として、果実肥大に伴う増収が認められた。この効果は、高CO₂環境でトマト株の総光合成量が増加し、果実へ分配される光合成産物が増加したものと推定できる。

5 今後の展開

今回の栽培試験に適用した半閉鎖管理は、CO₂濃度のみを制御し、他の環境要因はほぼ成り行きとした。今後は作物により好適な栽培条件を実現するため、湿度制御(加湿、除湿)との併用効果を検証したい。また、過剰施用としない適量のCO₂施用条件を解明し、EHPとCO₂発生装置等を活用した半閉鎖管理の経済性を評価する予定である。最終的には、低温期のみならず、夜間冷房と早朝CO₂施用を組み合わせた高温期の半閉鎖管理も検討し、EHPを有効活用した寒冷地に適したトマトの周年生産技術を開発する予定である。



執筆/守谷栄樹