

# 施設園芸における高温対策技術

静岡県農林技術研究所 上席研究員 今原 淳吾

## 1. はじめに 進む高温化

地球温暖化の影響もあって気温は年々上昇し、夏には災害級の猛暑日が続くようになりました。特に2023年は気象庁が記録を取り始めた125年間で最も暑い年になりました。今後も、暑すぎる夏は続くと予想されます。

このような高温下においては、農作物の生育不良が多発します。また、猛暑は、農作業中の熱中症にもつながるため、農業の高温対策は必要性を増しています。

そこで、ここでは、施設園芸における高温対策についての技術情報を紹介します。

## 2. 各種高温対策技術

これからいくつかの高温対策技術を紹介しますが、高温対策技術の基本は、「換気、遮光・遮熱、冷却」の三つに大別されます（図1）。

大別	効果	原理	機器
換気	外気と同等	外気導入	換気窓 強制換気(換気扇) 外気導入装置
遮光 遮熱		遮光・遮熱	カーテン(遮光、遮熱) 塗布剤
冷却	外気以下	気化冷却	パッド&ファン ミスト(フォグ)&ファン
		ヒートポンプ冷却	ヒートポンプ (HP)

図1 高温対策技術の基本は、「換気、遮光・遮熱、冷却」

### (1) 換気

#### ・温室構造

換気は最も基本的な高温対策技術です。温かい空気は上に集まる性質があるため、温室内では上昇気流が発生しています。背が高い温室ほど上昇気流は大きくなり、外気を多く取り入れることができるため涼しくなります。また、換気窓の面積が大きいほど、涼しくなります。

天窓がないパイプハウス等は上昇した温かい空気が抜けにくく暑くなりやすいです。台風等強風による施設被害を警戒して設置を敬遠する声も聞かれますが、パイプハウスの上部にハッチ状の天窓を後付けできる換気装置が市販化されているのでご検討ください。

#### ・強制換気

換気の中には、ここまでで紹介した自然換気の他に強制換気があります。温室内の温かい空気を大型ファンで強制的に排出することで、外気を取り入れ、温室内を涼しくする方法です（図2）。自然換気と比べて最大で2～3℃涼しくすることができます。また、光合成の結果葉周辺にできてしまうCO<sub>2</sub>が少ない空気層を強制換気は打破するため、光合成が促進されるという効果もあります。ただし、外気温よりも涼しくはできません。また、取り込んだ涼しい外気も温室内を通る間に温まってしまうので温室

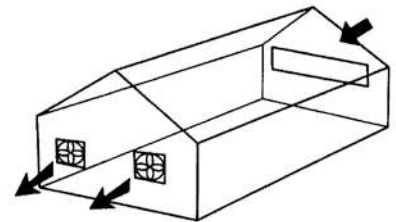


図2 強制換気

内で温度勾配ができてしまいます。そのため、吸気口から排気ファンまでの距離は20～30mが望ましく、60mが限界と言われています。

### (2) 遮光・遮熱

#### ・遮光資材

遮光資材の設置は最も手軽にできる高温対策です。遮光資材は、遮光率、色、素材、耐久性、軽量性、収束性、縮みにくさ、設置場所等を考慮して選びます。周年で使用する場合には、保温力も考慮します。

遮光率は、高すぎると、光合成が低下し、作物の品質低下や減収程度が大きくなってしまいますので注意が必要です。資材の色は、黒よりもシルバーの方がわずかだが遮熱効果があります（表1）。カーテンの張替は作物がない時期に行う大がかりな作業なので、耐久性がある資材を使用したいものです。また、軽い方が施工しやすく、フィルムの摩擦による破れなどのトラブルも減ります。カーテンを閉じたときに十分に収束しないと影が大きくなり作物が均一に栽培できないので収束性のよいカーテンを選びましょう。カーテンは設置後に縮むものがあり、縮むとパッカーやクリップが外れてしまいます。全く縮まないものを選ぶというよりは縮み率を事前に確認し、縮み分を考慮して施工しましょう。設置場所は、温

表1 遮光資材の色が温室内気温に及ぼす影響

資材の色	日平均温度(°C)		日中温度(°C)		最高温度(°C)	
	実測	差	実測	差	実測	差
白	30.3	( -0.4 )	33.9	( -0.7 )	37.0	( -0.5 )
シルバー	30.3	( -0.4 )	33.7	( -0.9 )	36.5	( -1.0 )
黒	30.7	( 基準 )	34.6	( 基準 )	37.5	( 基準 )

(出典：香西ら、植物環境工学 35(4) 2023 を一部改変)

室内よりも温室外に展張する方が高温対策になります。

光合成に必要な波長は透過しつつ、近赤外光を反射する遮熱機能を持った機能性フィルムを使用するという選択肢もあります。夏には遮熱効果がある一方で、冬も太陽熱を反射してしてしまうため暖房費が多くなってしまいうこと、内部被覆に用いた場合は通気性が悪くなってしまいうことに注意が必要です。

・遮熱材

温室内の温度を低下させる遮熱剤を温室に塗って高温対策をする方法もあります。比較的安価に実施できることから近年注目されています。遮熱剤は、光合成に必要な光を透過させ、近赤外光線を反射させる性質のものがああり、遮光率をあまり落とすことなく、日中の室温を1～2℃低下させることができます(図3)。また、遮熱剤を使用した温室では体感温度が下がり、作業がしやすくなります。

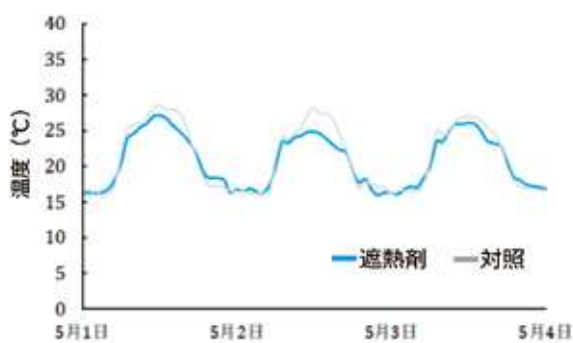


図3 遮熱剤の塗布が温室内温度に及ぼす影響

(出典：バラ光環境制御技術実証マニュアル (夏季の塗布剤散布) 静岡県 令和6年3月)

(3) 冷却

温室内を冷却する方法としては、水の気化熱を利用する細霧冷房(ミスト(フォグ) & ファン)やパッド&ファン、ヒートポンプなどがあります。細霧冷房とパッド&ファンは、水が蒸発するときに周りの熱を奪う『気化冷却』を利用した技術です。しかし、このような気化冷却

方式は、雨の日など、湿度が高く、霧が蒸発しにくい時には冷却効果が下がってしまうという問題があります。細霧冷房、パッド&ファン、ヒートポンプのいずれも外気温以下に室温を下げることができ効果は高いものの、初期投資は100万円以上と高額です。

・細霧冷房

細霧冷房はノズルから水を加圧噴射することで微細な霧を発生させ、気化冷却によって室温を下げます。細霧冷房と先に述べた強制換気を組み合わせたミスト(フォグ) & ファンにすると、冷却効果はより一層高まります。条件にもよりますが、ミスト(フォグ) & ファンを使用した温室は、使用していない温室よりも最大5℃、平均2～3℃、外気温よりも平均1～2℃涼しくできます(図4)。

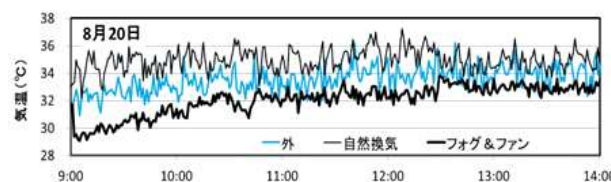


図4 細霧冷房による冷却効果

(出典：静岡県成績概要書(2012年12月))

・パッド&ファン

温室の妻面に取り付けたパッドに水を流し、気化冷却で空気を冷やし、冷やされた空気を大型の排気ファンで引き込むことによって室温を下げるのがパッド&ファンです(図5)。晴天時の空気が乾燥した条件では、パッド&ファンの利用により、室温を5℃以上低下させることができます。

パッド周辺の冷えた空気も、排気ファンに到達するまでに温まってしまい温室内で温度差が出来てしまうため、パッドから排気ファンまでの距離は50m程度が限界と言われています。夏季晴天時における温室内の相対湿度は50%程度まで低下しますが、パッド&ファンを利用すると70%程度に上がります。

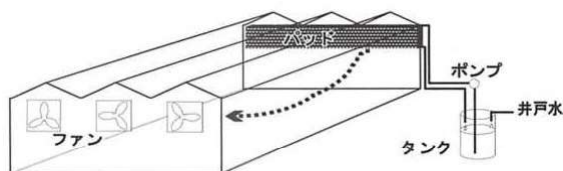


図5 パッド&ファン温室のシステム

### ・ヒートポンプ冷房

ヒートポンプ冷房は、気化冷却方式と違い、天候に左右されることなく安定して温室を冷やすことができます。日中は太陽の熱が強すぎるのでヒートポンプは通常夜間のみ使用します。夜間冷房中は、温室の窓やカーテンを閉める必要があります。このようにして、ヒートポンプによる夏季夜間冷房を行った温室では、温室内の温度が低下し除湿もされます（図6）。夜間冷房によってトマトでは明らかに裂果防止効果があります。ランニングコストは、冷房設定温度や電力会社との契約条件にもよりますが、R6年時点において夏季7～9月の3カ月間の利用で25万円程度/10aが目安です。ヒートポンプは冬季の暖房にも使用でき、重油暖房に比べて省エネ効果があり暖房費を削減できるというメリットもあります。

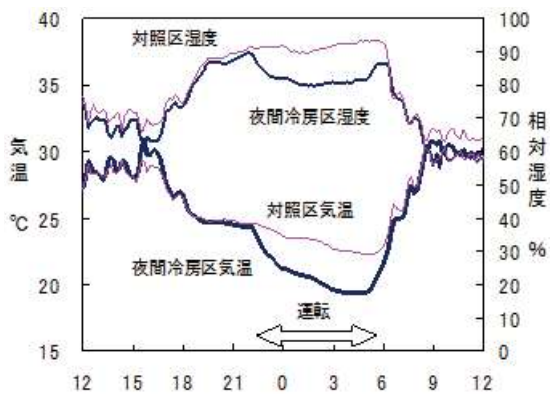


図6 夜間冷房時の温室内温湿度  
(2007年7月30～7月31日)

### ・局所冷却

植物の一部を部分的に冷やすことで高温対策をする例もあります。例えば、イチゴでは20℃の冷水を通したチューブにクラウン部分を当てることで、花芽分化を促進し、単価が高い早い時期から収穫が可能となります（図7）。冷水は、ヒートポンプを利用して作る方法と、地下水を利用する方法があります。



図7 イチゴ 局所冷却の様子

## 3. おわりに

1つの対策だけで高温下で生じる問題を克服することは難しいため、複数の技術を組み合わせて、総合的に高温対策を実施することが重要であると考えます。今回紹介した高温対策技術を組み合わせることで、少しでも高温抑制につながり生産性が上がることを願っています。

### 【参考文献】

- ・施設園芸における高温対策技術集 静岡県農林技術研究所 令和6年8月
- ・温室の昇温を抑制できる新しい強制換気システム 静岡県経済産業部 あたらしい農業技術 No.430 2005年
- ・遮光資材の違いが高温期のミニトマト栽培における温室環境および収量に及ぼす影響 香西ら、植物環境工学 35(4) 2023
- ・パッドアンドファンによる温室の冷房 静岡県農林水産部研究調整室 あたらしい農業技術No.335 平成11年度
- ・バラ光環境制御技術実証マニュアル（夏季の塗布剤散布）静岡県 令和6年3月
- ・平成31年度次世代施設園芸地域展開促進事業報告書（別冊2）大規模施設園芸・植物工場 導入・改善の手引き 日本施設園芸協会 令和2年3月
- ・ヒートポンプの夜間冷房除湿によるバラの日持ち向上 静岡県成果情報 2007年
- ・イチゴ‘きらび香’の年内収量を増加する超促成作型の開発 静岡県成果情報 2023年