

令和2年度新品種・新技術確立支援事業
令和3年度生産体制・技術確立支援事業

施設園芸における環境制御技術と その活用事例



令和4年3月
富山県農林水産部農業技術課

1 はじめに

施設園芸の先進地では、環境モニタリングに基づく栽培管理・環境制御技術が確立・普及し、トマト等の収量を飛躍的に向上させる事例が増加しています。

一方、富山県の施設園芸産地・生産者では、環境モニタリング装置の導入は極めて少なく、ハウス内環境条件の把握に基づく栽培管理・環境制御技術の確立・普及は遅れています。また、新規就農者等で、トマトやいちごの施設園芸に取り組む生産者が増加傾向にありますが、栽培経験が浅いため、収量・品質が低下することもあります。こうした中、ハウス内環境を数値化・見える化できる環境モニタリング装置を活用することで、経験の浅い生産者においても、ハウス内環境の変化に対応した栽培管理・環境制御技術を習得することで、収量・品質の早期向上につながると期待されています。

しかし、富山県は、春から夏にかけてフェーン現象等により著しい高温に見舞われる日がしばしばみられ、逆に冬季は低温寡照となる日が多いなど、太平洋側の施設園芸先進地とは、大きく気象条件が異なります。さらに、太平洋側のハウス構造は、環境変化が少ない連棟ハウスが主体となっていますが、本県は、冬季の積雪が多いことから、環境変化の大きい単棟ハウスを設置せざるを得ません。

こうした状況から、施設園芸先進地の技術をそのまま本県で活用することは難しく、本県独自の気象条件やハウス構造に対応した技術の確立が急務となっています。

そこで、本書は、環境モニタリングデータの見方や環境制御に関する事例を紹介することで、初めて環境制御技術に取り組もうとする方の早期技術習得につなげることを目的に作成しました。ご活用いただければ幸いです。

2 環境制御技術について

施設園芸における作物の生育は、露地栽培と同様な温度、土壌水分、日射量のほか、飽差（湿度）、二酸化炭素（以下、CO₂）濃度といった施設園芸特有の環境要因にも大きく影響を受けます。施設園芸では限られた空間での栽培となることから、これらの環境要因を比較的コントロールしやすいというメリットがあり、生育に最適な環境に制御することで収量や品質を大幅に向上させることが期待できます。

環境制御技術は施設内の環境を随時モニタリングし、さらにモニタリングデータに基づいて作物の生育に最適な環境を作り出し、収量と品質を向上させる技術となります。

3 主な環境制御技術

（1）温度制御技術

安定生産とエネルギーの効率的利用を図るためには、作物ごとの生育適温となるよう、温度管理することが重要です。

葉・花房の展開や果実の成熟は、温度に影響されることから、施設内温度（日平均気温）の制御によって、計画生産に向けた開花や果実成熟の制御が可能となります。

さらに作物の生理にあわせて、時間により設定温度を変えて管理する変温管理によって、光合成の促進や生育バランス※の制御も可能となります。

※樹勢の強弱や栄養・生殖生長のバランス

施設内温度の制御には、暖房装置（燃油式暖房機、ヒートポンプ等）や冷房装置（ヒートポンプ、細霧冷房装置、パッド&ファン等）を用いた積極的な方法と天窓・側窓の開閉や遮光資材の展張、内張カーテンの設置など、施設の構造や資材の特性を活用した方法があり、これらを組み合わせて管理します。

（2）土壌水分制御技術

植物は、太陽光をエネルギーとし、根から水を、葉からCO₂を取り込み、糖を合成する「光合成」により生育しています。光合成を促進させるためには必要な水分量を供給するかん水管理が必要となります。

必要なかん水量は、天候（日射、温度）や生育ステージなどの環境や作物の要因によって大きく異なることから、これらの環境要因などをみながら、目標とする生育バランスとなるよう、かん水量を調整する必要があります。

施設内は降雨による影響を受けないため、かん水量の制御が土壌水分の制御に直結します。吐出精度の高い点滴チューブやドリッパーとかん水タイマーを使用することで、施設内土壌水分の制御が可能となります。

また、液肥混合機を組み合わせた養液栽培とすることで、かん水と合わせた肥培管理についても制御することが可能となります。

(3) 日射量制御技術

光は光合成にとって最も重要な環境要素です。冬季に寡照となる本県では LED 等による補光で、生育・収量確保につながる事例もあります。

なお、夏季に暑熱対策として実施されることのある遮光は光合成の妨げとなることから、「遮熱シート」等の光透過量を確保しながら昇温抑制効果のある資材を利用することも有効です。

(4) 飽差（湿度）制御技術

ハウス内の温度が急激に上がり飽差が上昇する（湿度が低下する）と、作物は気孔を閉じ CO_2 の取り込み量が減少するため、光合成速度が低下します。

光合成促進による草勢維持、着果安定のため、飽差を適正な範囲に管理することが重要です。

飽差の制御には、細霧装置を用いることが有効です。細霧（小さな水の粒子）が植物体に落下する前に気化し、空気中に水蒸気として保持されることが必要であるため、細霧の平均粒子径が $10\sim 30\mu\text{m}$ と微細なものを用いるとともに、ノズルを高い位置に設置することや1回当たり噴霧時間を短く、噴霧回数を増やすなど、精緻な設定が必要です。

(5) CO_2 濃度制御技術

CO_2 は水と同様に、光合成の材料であり、葉の気孔から取り込まれます。施設内の CO_2 濃度が減少すると光合成速度が低下することから、 CO_2 濃度は400ppmを目安に管理します。

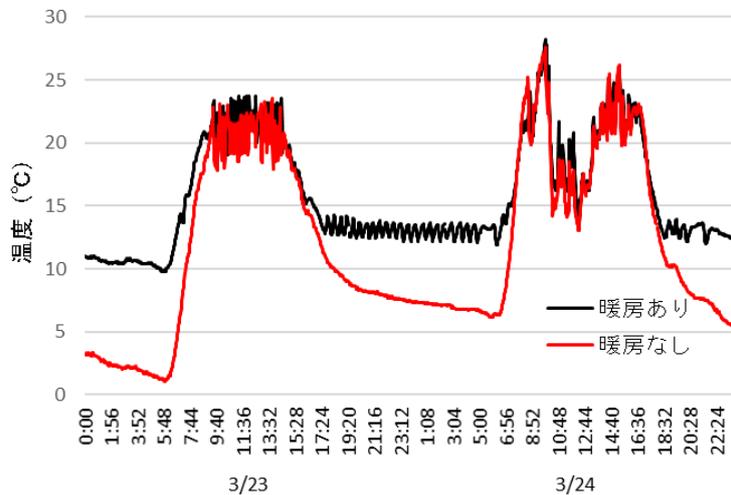
特に、気温の低い時期は換気回数が少なく、施設内の CO_2 濃度が低下しやすいことから、 CO_2 施用が効果的です。

CO_2 濃度の制御には、外気の取り込みや CO_2 発生装置の利用が効果的です。また、燃油式暖房機の稼働も有効です。

4 環境モニタリング装置の活用例と環境制御の効果

(1) 温度制御

事例1 最低夜温 (12°C) を上回っていることを確認 (トマト栽培)



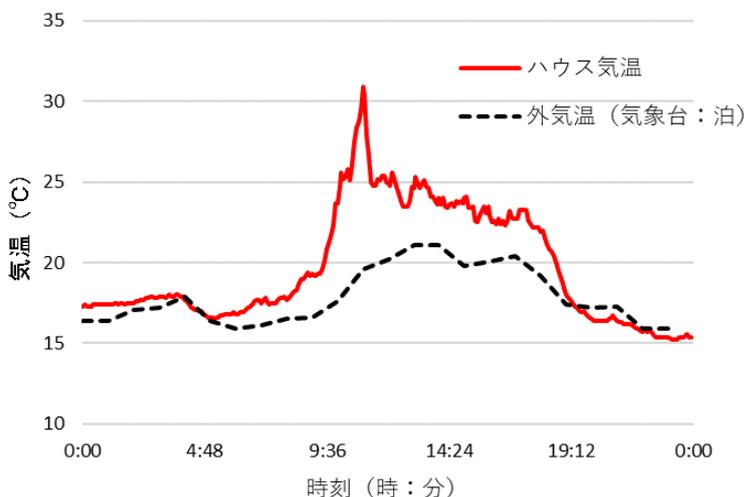
トマト栽培では、生育量の増加や低温による障害果発生防止のため、夜温が12°Cを上回っていることが理想的です。

モニタリングデータから分かること

- ① 暖房機未導入の場合、暖房機の必要性が分かる。
- ② 暖房機所有者は、暖房機が正常に稼働しているか確認できる。

図 加温による最低夜温の維持 (富山市、2022年)

事例2 外気温が低いため、ハウス内気温の上昇に気づくのが遅れた (トマト栽培)



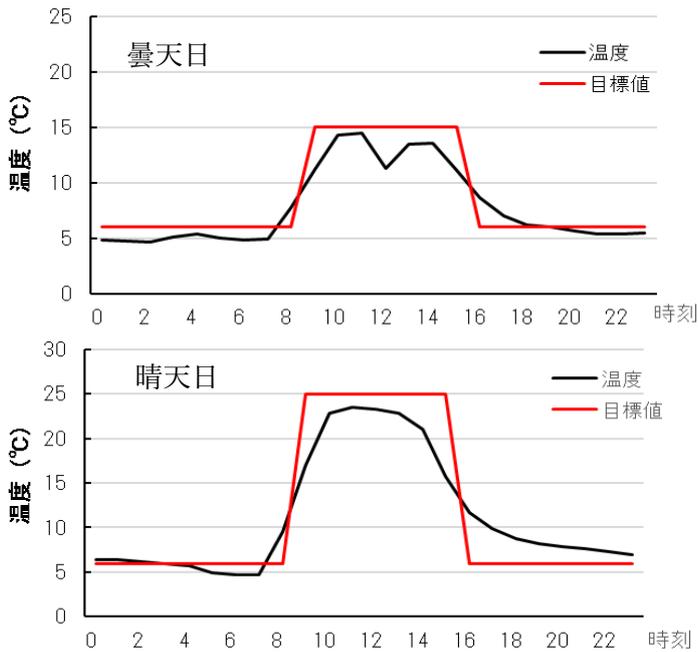
急激な温度上昇は、葉焼けや花粉稔性の低下、飽差の上昇に伴う光合成速度の低下、水分吸収阻害など多くの障害につながるため、避けなければいけません。

モニタリングデータから分かること

- ① 施設内温度は日射により急激に上昇することがある。
- ② スマートフォン等の端末から、遠隔地からでもハウス内温度が分かる。
→スマートフォン等で、こまめに気温を確認する。
→天窓や側窓の自動開閉化により、省力化が可能

図 換気の遅れが施設内気温に与える影響 (入善町、2021年5月23日)

事例3 目標とする温度に近づける管理（いちご栽培）



いちご管理温度は、夜温を 5℃以上、日中の温度を曇天時は 15℃、晴天時は 25℃付近で維持することが目標となります。

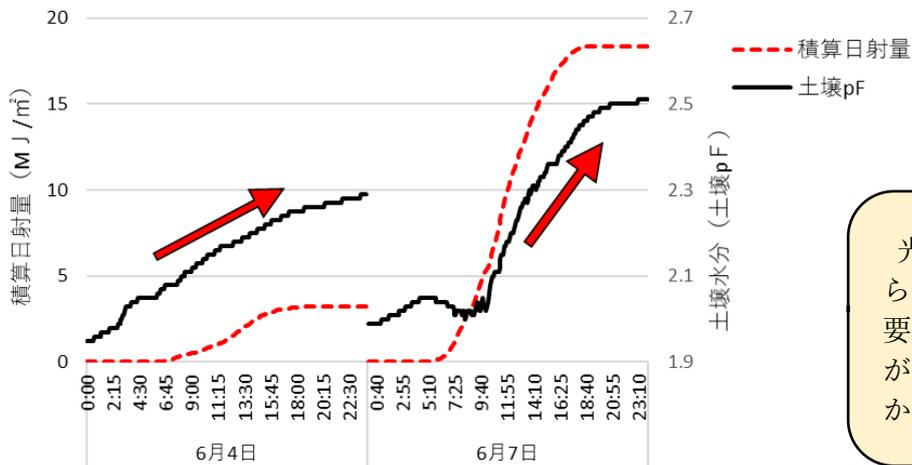
モニタリングデータから分かること

- ① 暖房機により最低温度が確保されている。
- ② 晴天時の換気程度により、適温が維持されている。
→暖房機の必要性や側窓等の自動開閉装置の有効性
→天候に応じた管理が必要

図 天候に応じたいちご温度管理の違い（入善町、2022 年 1/28（上図）、1/25（下図））

(2) 日射量による土壌水分制御

事例4 日射量の多少によって、トマトの吸水状況が分かる（トマト栽培）



光合成で利用される水は根から吸収されます。水分量が必要より少ないと光合成速度が制限されるため、不足なくかん水する必要があります。

図 土耕栽培における日射量と土壌 pF の推移（富山市、2021 年）

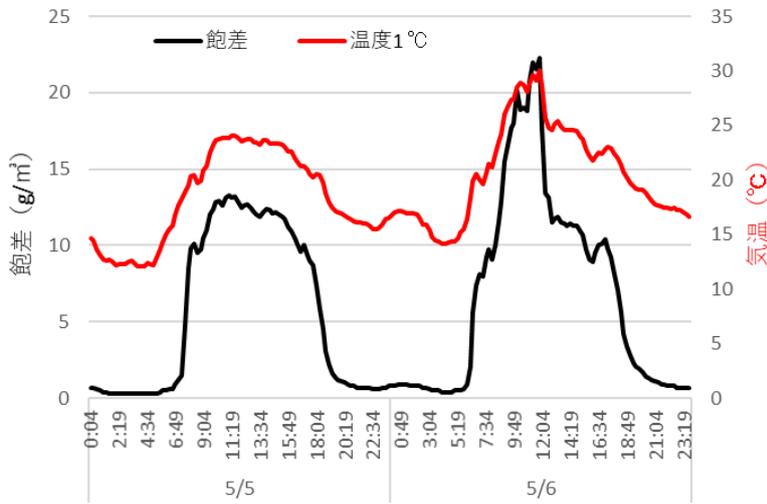
モニタリングデータから分かること

- ① 日射量の多少によって、光合成速度の違いが土壌中の水分利用量の差として現れた。

6月4日：曇雨天日（＝日射量が少ない日）は土壌 pF の数値の上がり方が緩慢
6月7日：晴天日（＝日射量が多い日）は土壌 pF の数値が急激に上昇
- ② （特に晴天時の）かん水量が不足しないよう、かん水量を調整する。
- ③ 曇雨天時に無駄なかん水をしていることがある。
→日射比例式かん水装置で省力化が可能

(3) 飽差（湿度）制御

事例5 5月は飽差が高くなりやすい（トマト栽培）



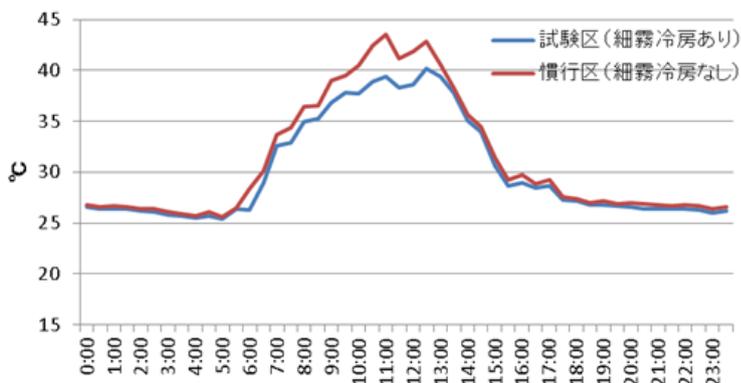
十分に光合成させるためには、飽差を3～6 g/m³で維持することが効果的とされます。（トマトの場合）

図 施設内の気温と飽差の推移（入善町、2018年）

モニタリングデータから分かること

- ① 気温が高くなりやすく、特に昼夜温差が大きい時期は、飽差が目標値より大幅に高くなることがある。
→細霧装置の導入により改善できる。

事例6 細霧冷房による昇温抑制（トマト栽培）



トマト栽培では、30°Cを超えると着果・果実肥大の悪化や、生育の停滞などの障害が発生するほか、ひどい場合は枯死に至ることもあるため、極力30°C以上の高温とならないように管理しましょう。

図 間欠ミスト散布による昇温抑制効果（魚津市、8月15日）

モニタリングデータから分かること

- ① 細霧冷房により、高温時のハウス内気温を4～5°C低下させる。
→細霧冷房装置等の導入

(4) CO₂制御

事例7 日射量の多少により、CO₂濃度の減少程度が異なる(いちご栽培)

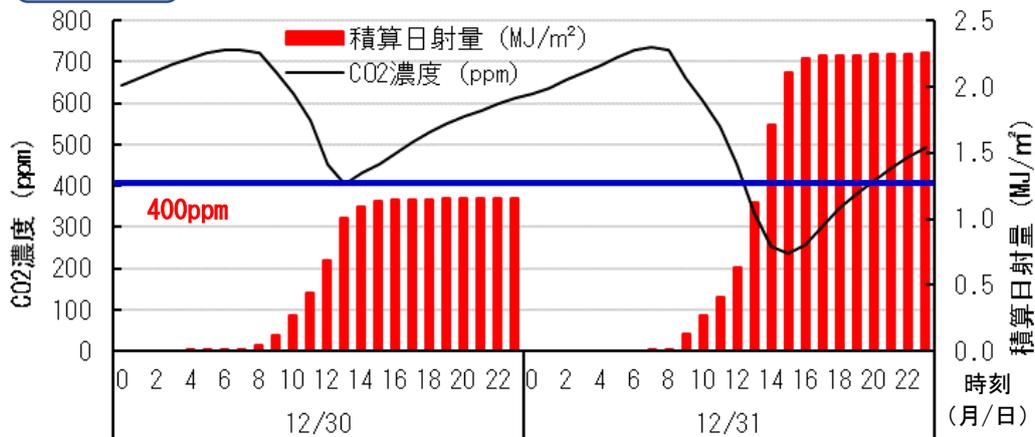


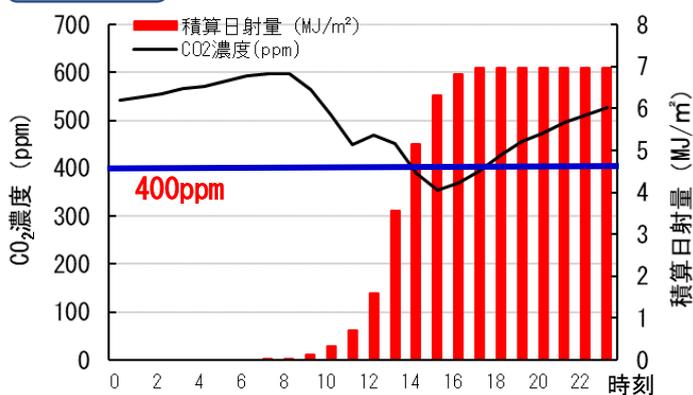
図 CO₂無施用の場合のハウス内CO₂濃度と日射量 (高岡市、2020年)

CO₂濃度が低下すると光合成速度が制限されるため、大気と同程度の400ppm以上を維持することが重要です。また、光等の条件が十分な場合、CO₂濃度が高い(1000ppmが上限)ほど光合成は促進されます。

モニタリングデータから分かること

- ① ハウスを密閉管理する時期でCO₂無施用の場合、ハウス内のCO₂濃度は光合成が盛んになる日中に減少し、ハウスを閉め切った状態では400ppmを下回る(=光合成速度が低下)。→CO₂発生装置(あるいは燃油式暖房機)の利用で改善できる。
- ② 曇天時(積算日射量が1.2MJ/m²未満)の場合、400ppm以上を維持できるが、晴天時に積算日射量が1.2~1.3MJ/m²を超える(正午)頃から急激に低下する。→天候に応じたCO₂管理が必要

事例8 CO₂濃度の適正化(いちご栽培)



いちご栽培では、光合成が盛んになる正午前後のCO₂濃度を高める(500ppm)ことで、増収が期待できます。

図 CO₂施用した場合のハウス内CO₂濃度と日射量 (入善町、2022年1月27日)

モニタリングデータから分かること

- ① 日射量の多い日でもCO₂発生装置を利用することで、CO₂濃度を400ppm程度で維持できる。=光合成がしっかりと行われていたと推察できる。