

ピーマン

環境制御技術マニュアル

～増収効果を得るための
導入理論から実践技術まで～



2026年3月
茨城県農業総合センター
鹿島地帯特産指導所



はじめに

茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所では、県の総合計画に基づき、「儲かる農業」の一環として、日本一の産地である鹿南地域の施設ピーマン経営における所得向上を目的に、ハウス内環境制御による増収技術の開発に取り組んでいます。

本書では、環境制御技術による増収の理論から導入方法、栽培管理までを、初めての方にもわかりやすく体系的に解説しています。

基礎的な内容を一通り解説した後、当所で開発・実証した具体的な環境制御技術を紹介しています。増収効果を高める炭酸ガス施用技術、環境制御技術に適した仕立て法である主枝2本垣根仕立て法、また、高温・強日射条件で発生する障害である日焼け果を、日射連動式遮光シートの展張により軽減する技術などについてまとめました。

あわせて、実際の試験データも掲載しており、これから環境制御技術による増収を目指される方はもちろん、導入後にさらなる増収を図りたい方にも、基礎から応用まで幅広く対応した内容となっています。

また、参考として、今後さらなる研究が期待される日射比例炭酸ガス施用技術や、硫黄粒剤によるうどんこ病対策なども盛り込んでいます。

なお、本マニュアルは新技術の追加に伴い、随時改訂していく予定です。ご利用の際は、当所のホームページ等で最新版であることを確認のうえ、ご活用ください。

2026年3月

茨城県農業総合センター
鹿島地帯特産指導所長

【目次】

1 ピーマンの光合成を知ろう →P 1

光合成を理解して収量増加のポイントをおさえましょう

2 環境制御の導入ステップ →P 3

ハウス内環境のモニタリングから始めましょう

3 環境制御を実践してみよう →P 4

(1) STEP 1 モニタリングの重要性、機器選定 →P 4

(2) STEP 2 環境制御にチャレンジ

①炭酸ガスの施用方法

- ・ 施用の4つのポイント →P 5
- ・ 炭酸ガス発生装置の導入費用 →P 9

②炭酸ガス施用の成功のポイント

- ・ 増収に必要な6つの留意点 →P10

(3) STEP 3 樹勢診断で生育を確認しよう →P14

- ・ 自分で生育調査を行い、樹勢に合わせた環境制御に取り組みましょう



4 環境制御を使ったさらなる増収技術 →P15

(1) 炭酸ガス施用 + 主枝2本垣根仕立て →P15

(2) 環境制御を使った日焼け果の発生軽減 →P17

(3) 日射比例炭酸ガス施用 + 主枝2本垣根仕立て + 日焼け果軽減 →P19

5 環境制御技術の現地実証事例（鹿行農林事務所作成） →P22

(1) 温室（促成）ピーマン →P22

(2) 春（半促成）ピーマン →P23

(3) 炭酸ガス施用している人に感想を聞きました！ →P24

6 参考

(1) 環境モニタリングの例 →P25

(2) ハウス開放時の炭酸ガス施用 →P26

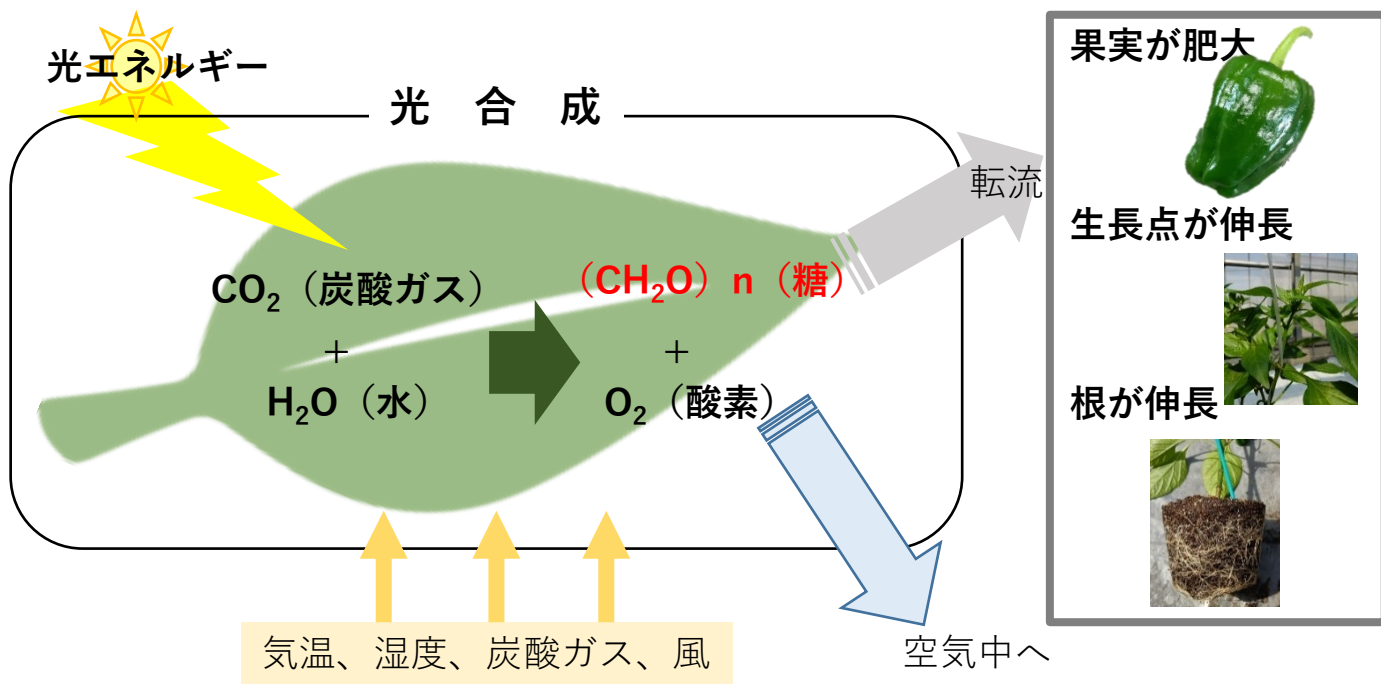
(3) 日射比例炭酸ガス施用の増収効果 →P27

(4) 硫黄粒剤によるうどんこ病の防除効果 →P29

(5) 昼間の炭酸ガス施用と夜温、収量の関係 →P30

1 ピーマンの光合成を知ろう

(1) 収量増加のポイントは、光合成量（糖を作る量）を高めること！



光合成量を高めるためには、ハウス内環境（気温、湿度、炭酸ガス濃度、日射量等）をモニタリングして、光合成に適した環境に制御する必要があります。

(2) ピーマンの光合成量は、日射量、葉温、炭酸ガス濃度の上昇に応じて高まります。

解説1 葉温別の日射量と光合成量の関係

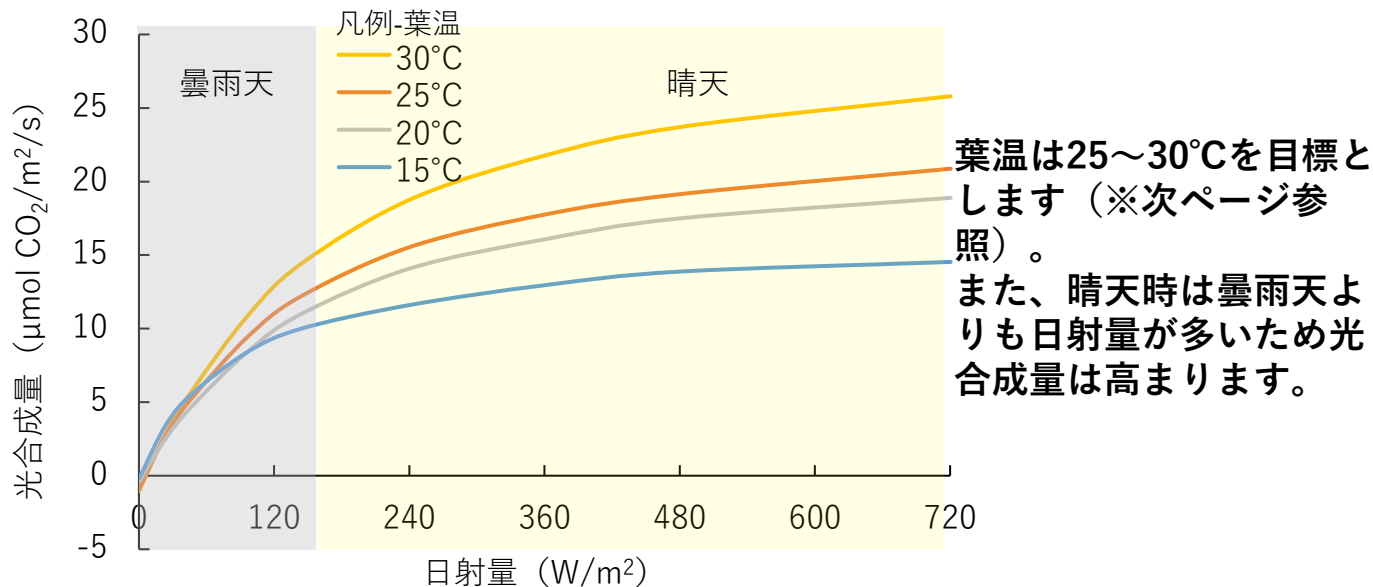


図1 炭酸ガス濃度400ppmにおける葉温と日射量-光合成曲線の関係（2021年、鹿島特産）

1 ピーマンの光合成を知ろう

解説2 葉温別の炭酸ガス濃度と光合成量の関係

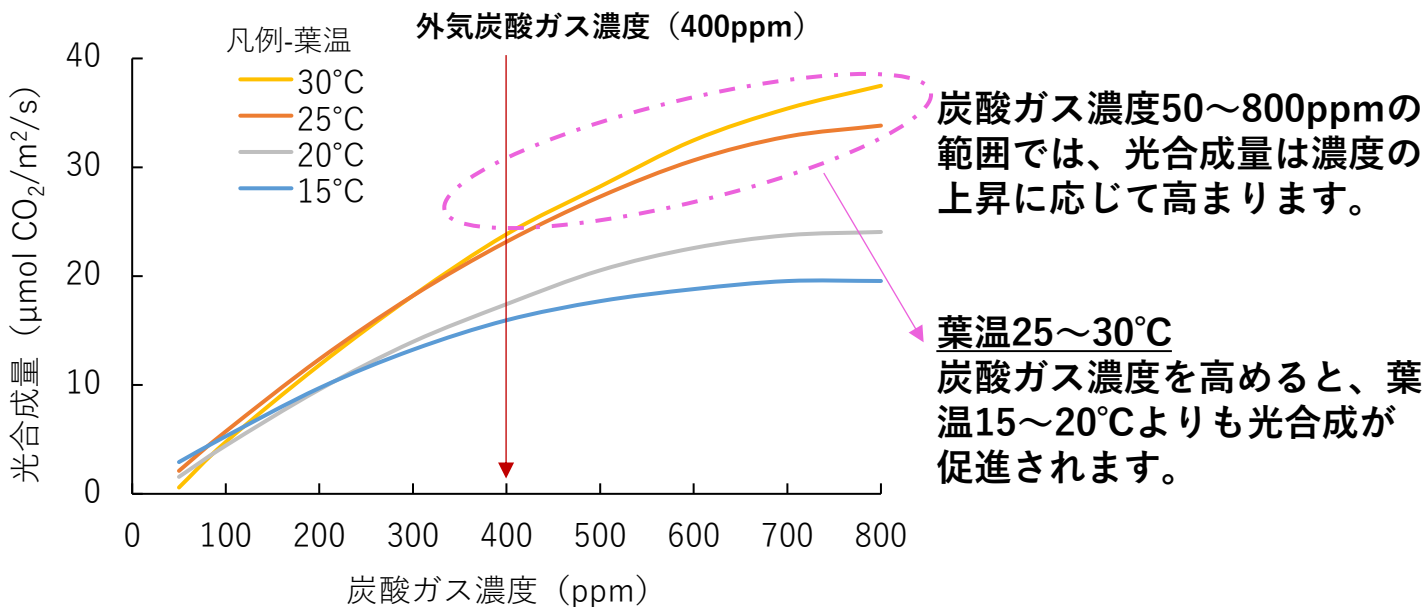


図2 晴天時 (日射量720W/m²) における葉温と炭酸ガス-光合成曲線の関係 (2021年、鹿島特産)

【葉温の目安】 薄日 (日射量170W/m²) ~晴天日の場合

葉温 = 気温 - 2°C程度

注) 葉温は葉の蒸散によって気温よりも低くなる時間帯が多いです。ただし、朝~夕まで晴天が続く場合は、午後葉温が気温よりも2°C程度高まる時間もあります。

曇雨天日 (日射量140W/m²程度以下) の場合

葉温 = 気温と同程度 または 気温より低い

(3) 光合成量の増加には、飽差管理も重要です。

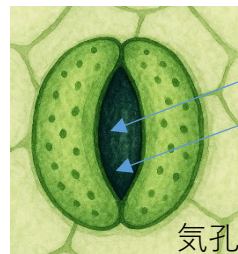
炭酸ガスの取り込み口である葉の気孔が開くには、**3~6 g/m³程度の飽差*** (気温が28°Cの場合、相対湿度75~90%程度) が適しています。光合成量を高めるには、飽差の調節が必要です。

*飽差：1 m³の空気中に、「あとどれ位の水蒸気を含むことができるか」を示す指標。

相対湿度とは異なり、気温と湿度から計算され、乾燥度合いを表します。

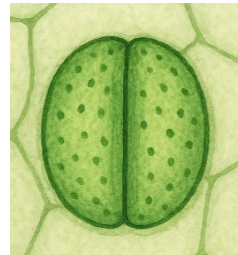
- ・飽差が大きい→乾燥している
- ・飽差が小さい→湿っている

飽差適 (3~6 g/m³)



炭酸ガスの取り込みが盛んになり、光合成が進む。

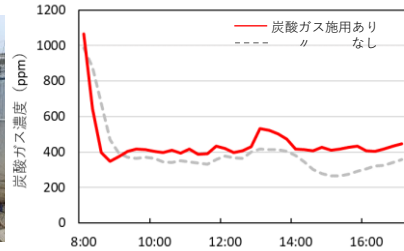
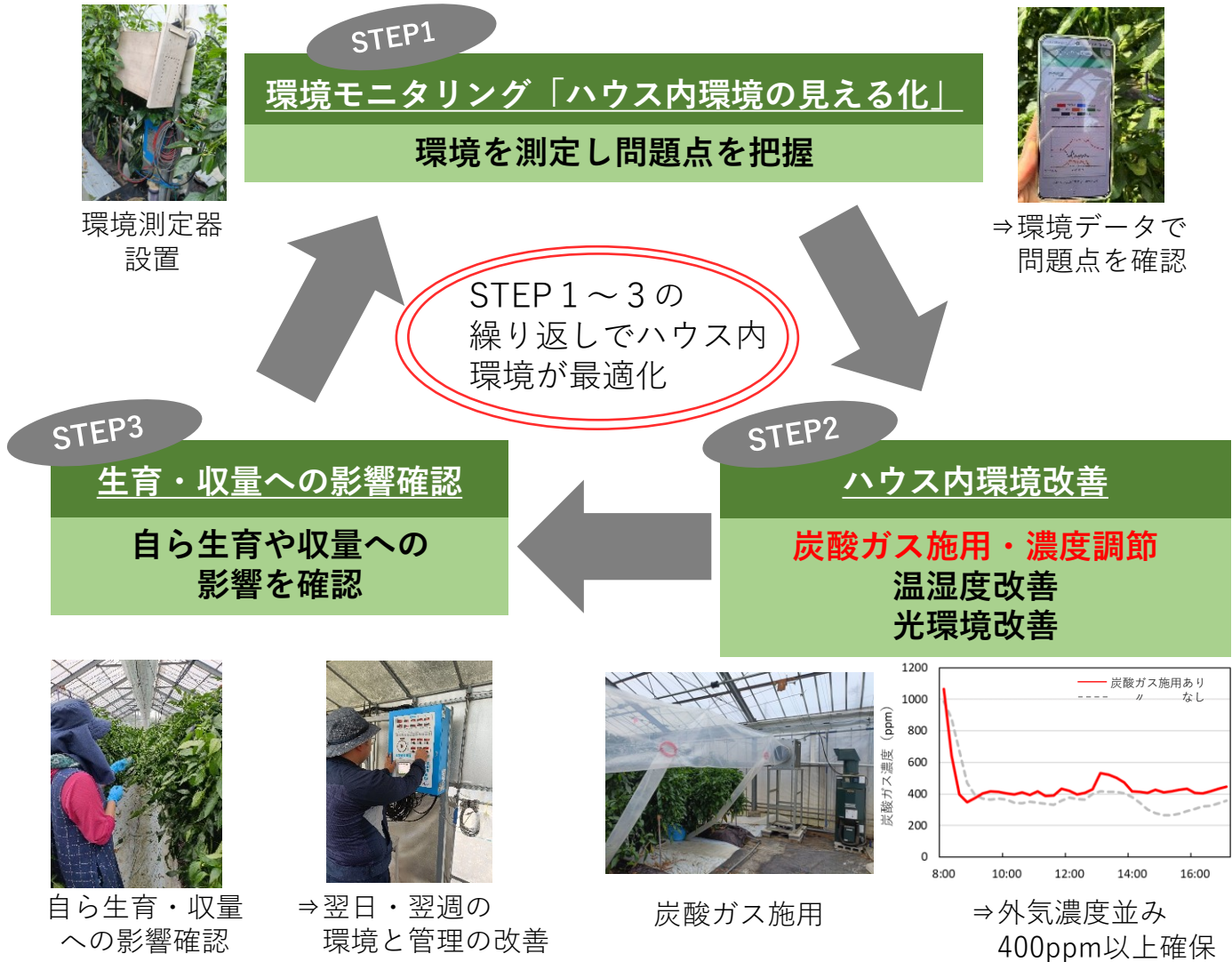
飽差不適 小さすぎor大きすぎ



多湿、乾燥で気孔が閉じて炭酸ガスが取り込めない。

2 環境制御の導入ステップ

光合成をよく理解し、最適な生育環境のイメージを持った上で、実際のハウス内環境を測定するところから始めましょう。



※環境測定器や炭酸ガス発生装置導入はコストがかかるため、事前に経営試算を行い、費用対効果を十分に検討することが大切です。

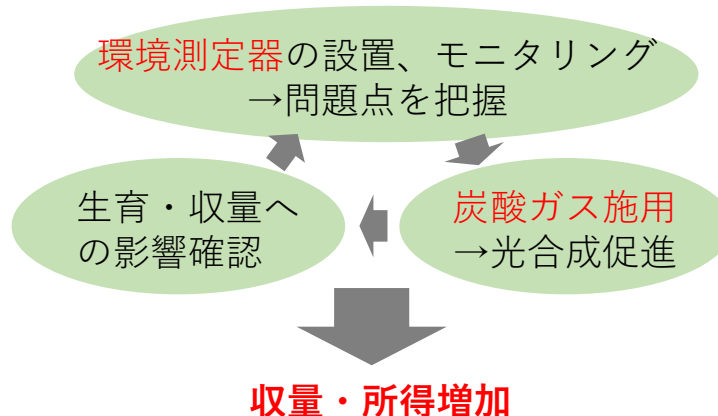
【導入事例】加温半促成ピーマン
(環境測定器と炭酸ガス発生装置を導入した場合 →P23現地実証事例)

炭酸ガス施用により

収量
20%増加

販売額に見合った機器導入により

所得
10%増加



3 環境制御を実践してみよう

(1)STEP1 モニタリングの重要性、機器選定

環境測定器の設置・モニタリングにより、光合成に適したハウス内環境になっているか確認しましょう！

留意点

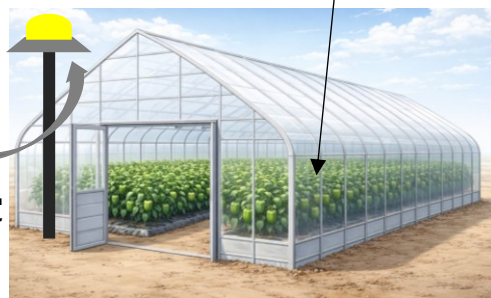
・光合成はピーマンの葉で行われるため、**葉付近の環境データのモニタリングが重要**です。

→環境測定器の**センサーは、群落（葉の多い部分）内に設置**し、気温、湿度、飽差、炭酸ガス濃度を測定しましょう。

ただし、**日射センサーは、ピーマン株やハウス骨材等による陰の影響が少ないハウス外部か群落上部に設置**します。

※適正に動作しているかを定期的に確認しましょう。

※炭酸ガス濃度センサーは校正が必要な機種があります。正確な測定のため、必要に応じて校正を行いましょう。






環境測定器

ハウスから離れた場所でも、PC、スマートフォンなどからハウス内環境をリアルタイムで確認できます（測定事例はP25）。過去のデータも保存でき、現在と比較できます。

【導入費用】

注）価格は2026年3月の参考価格。正確な価格はメーカー問い合わせのこと。

機種名	アイファームボックス	プロファインダーⅣ	アグリネット
イメージ			
参考価格	ログBOX 約35万円 通信Box 約16万円 (税込)	測定器 約20万円	約37万円（機器・通信ボックス・センサー込み）
その他・手数料他	-	メーカー会員加入料 1.2万円/年（税抜）	初回登録料5,000円 (税抜)
利用料金	1,650～3,300円/月 (税込)	2,500円/月 (税抜)	1,700円/月 (税抜)
気温/湿度（飽差）	○	○	○
炭酸ガス濃度	○	○	○（オプション）
光	○	○	○（オプション）
露点	○	○	○
土壌EC・水分	○（オプション）	○（オプション）	○（オプション）
地温	○（オプション）	○（オプション）	○（オプション）

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

①炭酸ガスの施用方法

炭酸ガス施用とは、施設内の炭酸ガス濃度を高めて光合成を促進し、作物の生育や収量を向上させる技術です。
炭酸ガスを効率的に施用するためには以下の4つの点に注意しましょう。

炭酸ガス施用4つのポイント



炭酸ガス発生装置は栽培ハウスの面積
に適合した能力の装置を設置しましょう
→P 6



炭酸ガスは株元にダクトを設置して
局所施用を行いましょよう →P 6



炭酸ガス施用はピーマンが光合成を
行う日中に行いましょよう →P 7



炭酸ガス施用濃度は天候と換気の有無
に応じて設定しましょよう →P 7

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

①炭酸ガスの施用方法



炭酸ガス発生装置は栽培ハウスの面積に適合した能力の装置を設置しましょう

- 炭酸ガス発生装置は、ハウス面積に対して能力が高すぎると点火・消火が頻繁になり、機器の故障の原因となります。
- 能力が低すぎると、炭酸ガスの供給が不十分となり、炭酸ガス濃度が設定値まで上がりません。
- 面積に適合した機種を選びましょう。

【炭酸ガス発生装置（機種：「グロウエア」）の仕様表 一部抜粋】

型 式	CG-254S1	CG-254S2	CG-554T2	CG-854T2
炭酸ガス発生量	kg/h 4.29 (2.18m ³ N/h)		8.07 (4.11m ³ N/h)	13.37 (6.81m ³ N/h)
発 熱 量	kW 17.5		32.9	54.5
供 給 面 積	m ² 530~860		1000~1700	1660~2820
燃 料	J I S 1号灯油			
燃 料 消 費 量	L/h 1.7		3.2	5.3
電 源 (50/60Hz)	AC100V×単相	AC200V×単相	AC200V×三相	AC200V×三相
消 費 電 力	W 160/185		240/280	545/705



炭酸ガスは株元にダクトを設置して局所施用を行います

局所施用のメリット

- 炭酸ガスを葉に集中的に施用できるため、ダクトを用いないハウス内全体への施用より効率的です。
- 全体施用と比べて炭酸ガスの施用量が抑えられ、燃料費の削減につながります。

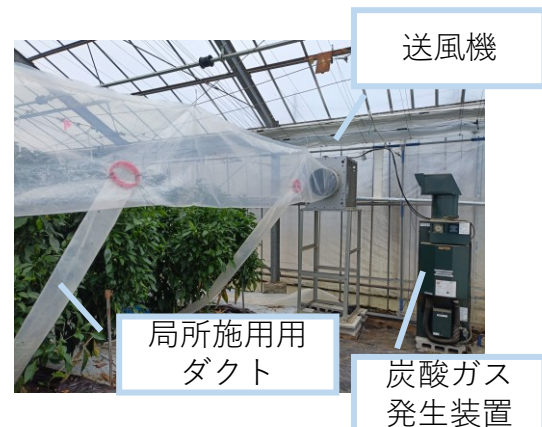
局所施用の留意点

- 株元に設置するダクトには穴あけ加工が必要です。

(例) 折径16cmの場合、
孔径1cm、間隔20cmに穴あけ

注) 局所でなく全体施用の場合は

- 循環扇を使い、ハウス内の炭酸ガス濃度のムラを小さくすることが重要です。



3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

①炭酸ガスの施用方法



炭酸ガス施用はピーマンが光合成を行う日中に行いましょう

- ・光合成はエネルギー源である太陽光がある日中に行われます。炭酸ガスは日中に施用しましょう。



炭酸ガス施用濃度は天候と換気の有無に応じて設定しましょう

- ・ハウス内の炭酸ガス濃度をモニタリングし、**外気濃度 (400ppm) より低くなった場合に炭酸ガスを施用することで光合成を促進させ、収量増加や品質安定が可能**になります。
- ・晴天時、光合成量は炭酸ガス濃度の上昇に応じて高まります (P2 図2)。炭酸ガス濃度を400ppmから600ppmに高める場合、光合成量の増加量は、曇雨天時よりも晴天時の方が大きくなります (図3)。

炭酸ガス濃度別の日射量と光合成量の関係

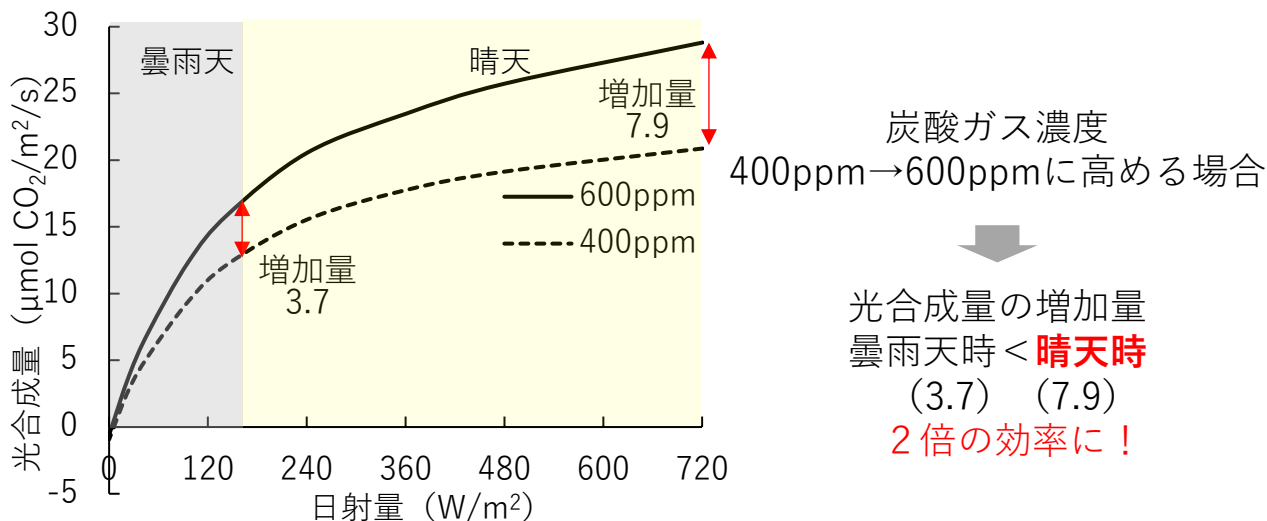


図3 葉温25°C、炭酸ガス濃度400ppmと600ppmにおける日射量と光合成量の関係 (2021年、鹿島特産)

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

①炭酸ガスの施用方法



炭酸ガス施用濃度は天候と換気の有無に応じて設定しましょう（続き）

換気時は施用した炭酸ガスのハウス外への流亡が多くなるため（P26 参考（2））、施用濃度は外気並みの400ppmとします。

炭酸ガス制御盤濃度設定値（例）（晴天時600ppm、曇雨天・換気時400ppm目標）

	下限値 (ppm)	上限値 (ppm)
晴天時 (換気なし)	580	620
曇雨天時	380	420
換気時	380	420

→促成栽培（特に厳寒期）の場合、上記の設定とすることで、常時400ppm施用と比べて1～2月収量が20%程度増加します。（P27 参考（3））

◎特に厳寒期は換気量が少なく、光合成の盛んな日中はハウス内の炭酸ガスが多く使用され、外気濃度（400ppm）より低くなりがちです。足りない炭酸ガスをしっかり補給しましょう。

※厳寒期（1～2月）に炭酸ガス濃度を外気より高める場合は葉温にも注意し、施用濃度を設定しましょう。

葉温が低い（例）8時30分頃 **気温18～20°C**
日射量140W/m²（曇雨天）以下

➡ 葉温15～20°C

➡ 炭酸ガスの高濃度施用の効果が低い

葉温が高い（例）10時30分頃 **気温26～31°C**
日射量170W/m²（薄日）～430W/m²（晴天）、

➡ 葉温25～30°C

➡ 炭酸ガスの高濃度施用の効果が高い
(葉温の目安：P2参照)

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ


①炭酸ガスの施用方法

炭酸ガス発生装置の導入費用

◆炭酸ガス発生装置本体

機種名	グロウエア	光合成促進機 ZOさん	真呼吸
イメージ			
本体 参考価格 (10a)	約36万円	約40万円 (灯油) 約57万円 (LPG) ※濃度コントローラー 内蔵	約160万円 (規模10~20a) ※オイルタンク・ダクトファン 込み
機能	8.07kg/時間	7.10kg/時間 (灯油) 5.43kg/時間 (LPG)	低温炭酸ガス局所 施用 (プロファイnder IVと連動必要)
燃料	灯油、LPG	灯油、LPG	灯油

◆炭酸ガス送風装置 (本体と連携して局所施用 に用いる)

機種名	ダクトファン
イメージ	
参考価格	約11万円
施用手段	ポリダクト他

※ダクトの価格は含みません。

※別途工事費が必要となります。

◆炭酸ガス制御盤 (炭酸ガス施用の濃度制御に必須)

機種名	CO ₂ 指南盤	CO ₂ NAVI ADVANCE
イメージ		
参考価格	約11万円	約35万円
設定濃度	200~2500ppm	0~5000ppm

※別途工事費が必要となります。

価格は2026年3月の参考価格。正確な価格はメーカー問い合わせのこと。

【留意点】

- ・ 土壌の有機物からも炭酸ガスは供給されるため、装置の導入前に炭酸ガス濃度をモニタリングし、導入の可否を検討します。
- ・ 不完全燃焼は一酸化炭素が出て危険です。定期的にメンテナンスを行いましょう。

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

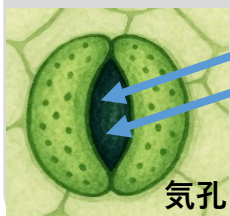
②炭酸ガス施用の成功のポイント

増収に必要な6つの留意点



光合成のエネルギー源は光！ハウスフィルムの洗淨、定期的な張替えをしましょう →P11

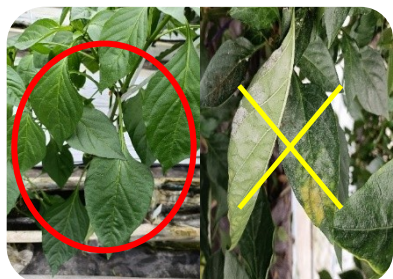
飽差 適 (3~6 g/m³)



炭酸ガスの取り込み口「気孔」が開きやすい飽差管理を行いましょう →P11



光合成量の増加に応じてかん水量と施肥量を増やしましょう →P12



病虫害対策を徹底し、健全な葉を維持しましょう →P13



夜温を確保しましょう →P13



着果負担に注意し、M果収穫を徹底しましょう →P13

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

②炭酸ガス施用の成功のポイント



光合成のエネルギー源は光！ハウスフィルムの洗淨、定期的な張替えをしましょう

- ・ピーマンは光をエネルギー源とする光合成により、糖を生産し、果実を肥大させ、生長点と根を伸長させて生長します。
- ・受光量の増加に応じて、生長量（地上部総乾物生産量）は大きくなります（下図）。
炭酸ガス施用と併せてより多くの光をハウス内へ入れることが重要です。
 （※ただし、高温時の強光は、日焼け果の発生を助長するため、必要に応じて遮光を行いましょう（P18）。）

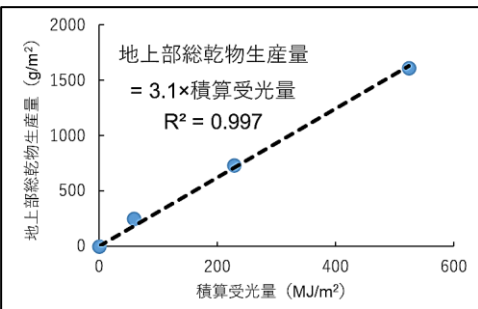


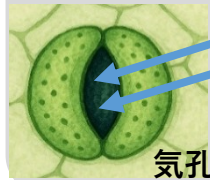
図 積算受光量と地上部総乾物生産量（生長量）の関係



フィルムが汚れている→ピーマンに届く光が少ない→光合成量低下



飽差 適 (3~6 g/m³)



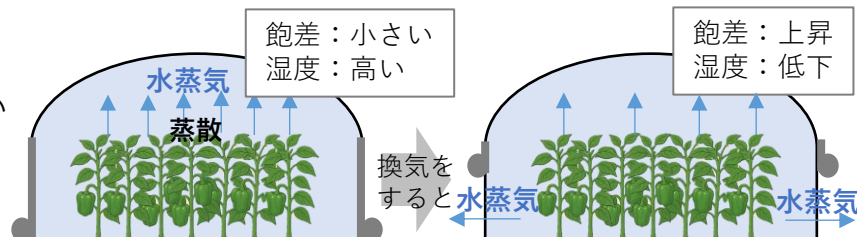
炭酸ガスの取り込み口「気孔」が開きやすい
飽差管理を行いましょう

飽差が小さい (0~2 g/m³) = 湿度が非常に高い状態！ → 病害発生リスク高

急激に飽差が上昇しないように、**徐々に換気窓を開けたり、循環扇を稼働して**水蒸気を外に出し、**少しずつ飽差を上げる**（湿度を下げる）ようにしましょう。

急激な飽差上昇はなぜ悪い？

- 気孔が閉じる
- 炭酸ガスの取り込みができない
- 防止するには、**換気時の飽差モニタリング**がポイント！



水蒸気を保持して少しずつ飽差を上げるには…

- ①側窓の換気は風下から少しずつ
- ②換気窓は一度に全開にせず、モニタリングしながら数回に分けて開けましょう。

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

②炭酸ガス施用の成功のポイント



光合成量の増加に応じてかん水量と施肥量を増やしましょう

1 土壌の乾燥に注意！十分なかん水を行いましょ！

- ・ピーマン植物体の90%以上が水です。
- ・土壌中の水分が少ない→根から吸水できない
- 蒸散を抑制するために気孔が閉じる
- 炭酸ガスの取り込みができない



炭酸ガスを施用しても
**水が不足していると
光合成量は増えません。**

2 ほ場の肥料持ちを考慮して施肥量を調整しましょう！

- ・光合成で生産された糖は、根から吸収される肥料（窒素、リン、カリウム等）とともにピーマンの生長（花の形成、果実の肥大、根や茎の伸長）の材料やエネルギーに使われます。
- 光合成量の増加に応じて、施肥量も増やす必要**があります。炭酸ガス施用時には、窒素成分で1.2倍程度の増肥が必要な場合もあります。

施肥量の管理には「養液土耕栽培技術」をご活用ください！（2006年、鹿島特産）

- ・かん水・施肥作業の省力化・施肥量の低減が可能です。
- ・少量多かん水、かん水同時施肥により必要な養水分をこまめにピーマンに与えることができ、導入前より収量が**12~15%向上**します。

※留意点：点滴チューブ目詰まり防止のために、養液土耕専用肥料を使用します。

- 土壌水分目標：pF値 1.7**（ベッド中央深さ20cm付近）
- 土壌溶液EC目標：1.0~2.0 dS/m**
- 施肥量はリアルタイム栄養診断※1を実施して適正量を施用しましょう。**

※1 ピーマンのプランター養液土耕栽培におけるリアルタイム栄養診断（2015年、鹿島特産）

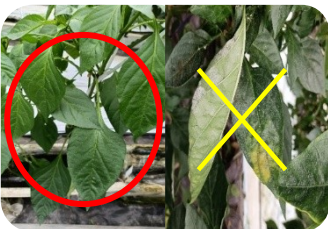


・測定にはコンパクト硝酸イオンメータ LAQUAtwinを使用
・測定方法詳細は当所または普及センターまでお問い合わせください

3 環境制御を実践してみよう

(2)STEP2 環境制御にチャレンジ

②炭酸ガス施用の成功のポイント



病虫害対策を徹底し、健全な葉を維持しましょう

光合成は葉で行われます。

→病虫害で葉が黄化したり、落葉すると、炭酸ガス施用の効果を発揮できません。

病虫害の予防と初期防除を徹底しましょう。



葉の黄化
=クロロフィル※量が減少
→**光合成量が低下**

※光を吸収する緑色の色素のこと

うどんこ病対策には硫黄粒剤※のくん煙処理がおすすめ！

ハウス内にくん煙器を設置し、「硫黄粒剤」を入れ、夜間タイマー運転でくん煙します。

(防除効果：P29 参考(4)参照)

【長所】

・ **極めて省力的** ・ **予防効果が高い**

【注意点】

・ 硫黄を飛散させるため、**循環扇が必要**。

・ PO劣化がやや早まる。

・ 硫黄のくん煙状況を定期的に確認する。



※農薬登録確認日：2026年2月25日



夜温を確保しましょう

冬季の夜温は収量に大きな影響を及ぼします (P30 参考(5))。

昼間のハウス内環境制御に加え、夜温を適切に把握・調節することが安定した収量確保につながります。



着果負担に注意し、M果収穫を徹底しましょう

環境制御により光合成量増加→着果数が増加

炭酸ガス導入前と同じ管理をしていると、収穫が遅れ・・・

→**着果負担が増加、樹勢低下→落花(果)が増加**

炭酸ガス施用の増収効果を発揮できません。**3日に1回は収穫を行いましょう。**

3 環境制御を実践してみよう

(3)STEP3 樹勢診断で生育を確認しよう

日々の樹勢診断と収量・環境データより、栽培管理の検証・改善を繰り返し（P3、STEP1～3参照）、増収を目指しましょう！

樹勢診断と栽培管理

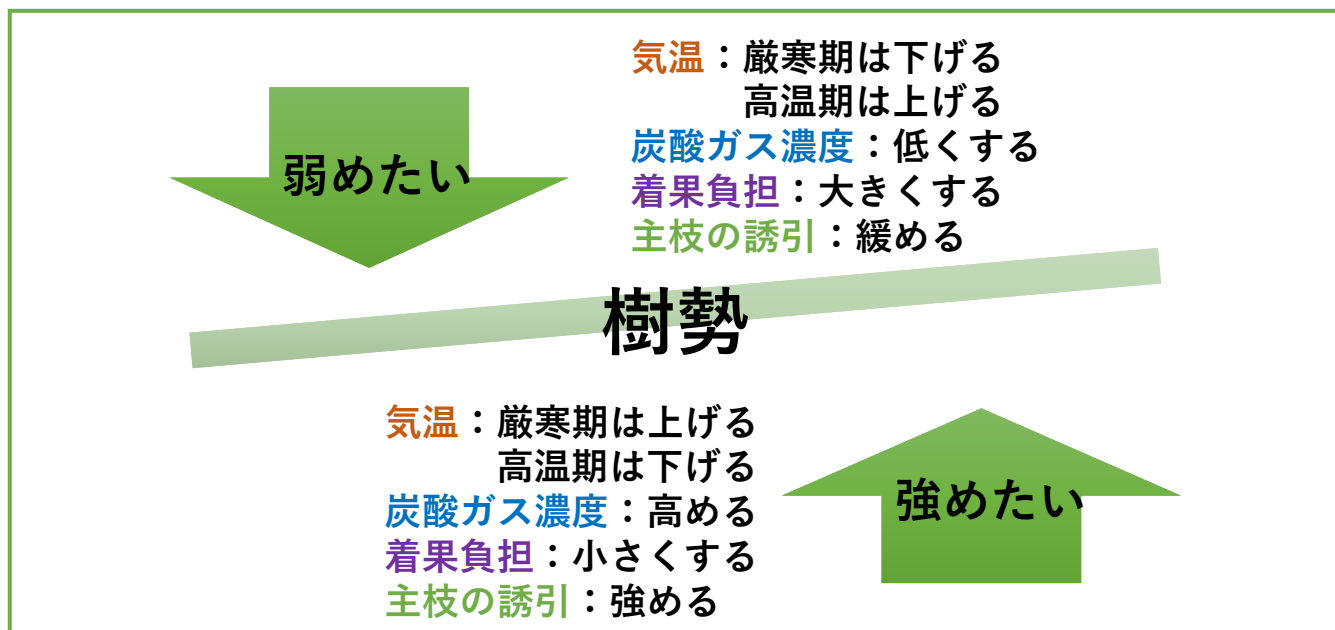
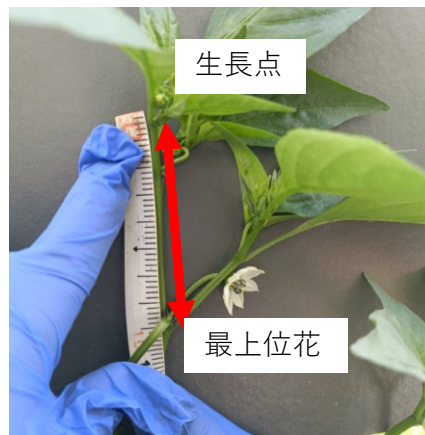
①生長点付近の茎径の太さ

- ・ 茎径が太いほど→樹勢が**強い**
- ・ // 細いほど→ // **弱い**



②生長点から最上位開花節までの長さ

- ・ 距離が長いほど→樹勢が**強い**
- ・ // 短いほど→ // **弱い**



③果実品質

症状	主な要因	対策
 奇形果	高温	遮光等の昇温抑制対策を検討



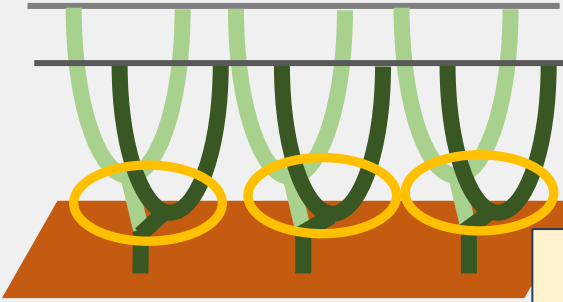
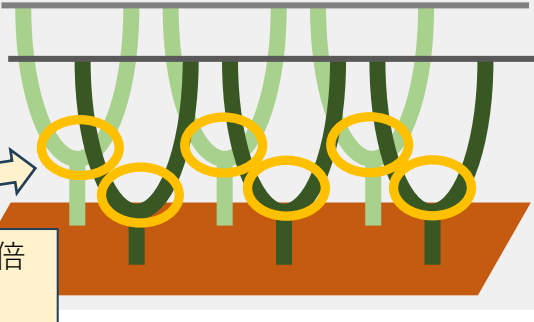
症状	主な要因	対策
 石果	低温 着果過多	加温、換気温度の調節、収穫間隔を短くする

4 環境制御を使ったさらなる増収技術 (1)炭酸ガス施用+主枝2本垣根仕立て

当所では、炭酸ガス施用下における主枝2本垣根仕立ての増収効果を明らかにしました。

「主枝2本垣根仕立て」とは

慣行よりも高密度（促成で2倍、加温半促成で2.25倍）の栽植密度とし、2条植えて各株から2本の主枝を伸ばし、畝方向に平行に垣根のように仕立てる栽培方法です。

	(慣行) 主枝4本V字仕立て (4本V字)	主枝2本垣根仕立て (2本垣根)
定植時		
誘引方法		

2本垣根の整枝管理のポイント

【生育初期】

- ・側枝を3～4節で摘心し、着果過多による樹勢低下を防ぎます。摘心により根や生長点への光合成産物(糖)の転流不足を防止します。

【生育中期以降】

- ・主枝は地際から120cm程度の高さで摘心し、2～3節下から伸びてくる側枝を新たな主枝として誘引します。作型にもよりますが、主枝摘心は2～4回程度行い、誘引ひもの最上部に生長点が達するまでに、多くの主枝節数を確保することが高収量のポイントです。
- ・側枝は3～4節で捻枝（枝を軽くねじる）または摘心します。
- ・収穫を終えた側枝は、随時、2節程度まで切り戻して光が群落内に届くようにして、2次側枝（ふき戻し）の発生を促します。

※実践した生産者の声

- ・2本垣根では、ベッド内側のふところ枝が少なく、側枝は光の当たる通路側に多く発生しました。→4本V字に比べ、**整枝作業が容易になりました!**

4 環境制御を使ったさらなる増収技術 (1)炭酸ガス施用+主枝2本垣根仕立て

加温半促成栽培での主枝2本垣根仕立ての増収効果

試験方法

品種：みおぎ

試験ハウス：所内フッ素系硬質フィルムハウス 間口8.1m×長さ24m×高さ4.5m

試験区の構成

試験年度 試験期間	試験区	栽植様式	栽植 密度 (株/m ²)
2022年 1月7日- 6月24日	2本垣根	畝間140cm、株間40cm、2条植え	3.57
	4本V字	〃、株間45cm、1条植え	1.59
2024年 2023年12月25日- 2024年6月28日	2本垣根	畝間150cm、株間40cm、2条植え	3.33
	4本V字	〃、株間45cm、1条植え	1.48

炭酸ガス：施用期間 2022年：3月30日～6月23日（8時～16時）

2024年：1月4日～6月27日（〃）

施用濃度：400ppm（2か年共通）

可販品収量

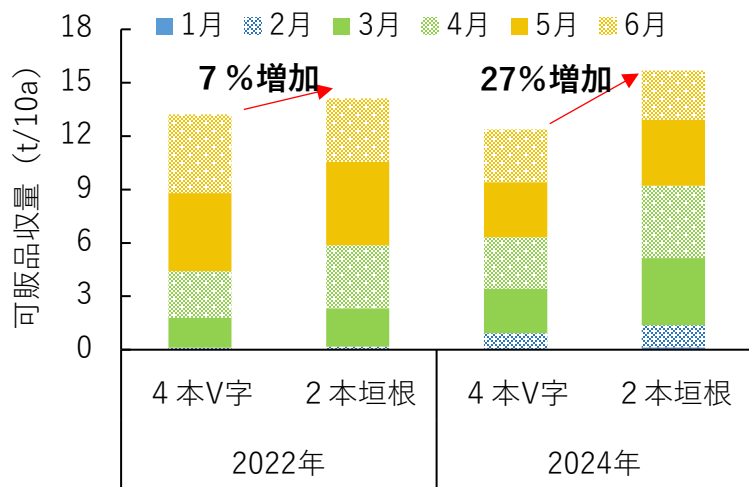


図 月別の可販品収量

※試験規模：2022年は2本垣根が1区2.8m²（10株）、4本V字が1区2.52m²（4株）、2024年は2本垣根が1区3m²（10株）、4本V字が1区3.375m²（5株）。3反復（2か年共通）

栽培終了時の主枝生育

主枝長と主枝節数は、仕立て法による大きな差はありませんでした（2022年データ略）。

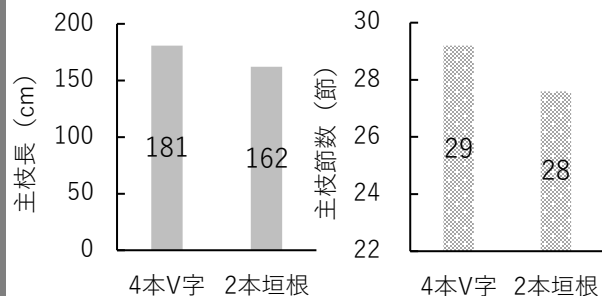


図 主枝長および主枝節数（2024年）

※数値は5株の平均値。

経済性評価（2024年）

2本垣根は1～4月の可販品収量が増加し、**所得（=売上-経費）は1,465千円/10a（68%）増加**しました（データ略）。

まとめ

- 2本垣根により、①販売単価の高い1～4月の収量が増加し、
- ②総収量（27%）、所得（68%）も増加しました。

➡ 炭酸ガス施用下の**2本垣根で高収量が実現**しました！

4 環境制御を使ったさらなる増収技術 (2)環境制御を使った日焼け果の発生軽減

ピーマン品種「みおぎ」で日焼け果が発生しやすい条件（果実表面温度、土壌水分条件）を明らかにし、その発生軽減技術を開発しました。

日焼け果の発生を助長する条件

①果実表面温度が40℃以上に高まったとき

表 果実表面温度と光量の変化による日焼け果の発生数

光量 (PPFD : μmol/m ² /s)	果実表面温度 (°C) ¹⁾			
	39	40	41	42
低 (281)	-	0	0	1
中 (613)	0	0	1	1
高 (1,115)	0	1	3	1

1) 各処理10果使用。数値は試験開始8時間後の日焼け果数。"- "は調査未実施。



光量と温度を設定した人工気象器内で果実の表面温度を測定

②高温時に土壌が乾燥したとき

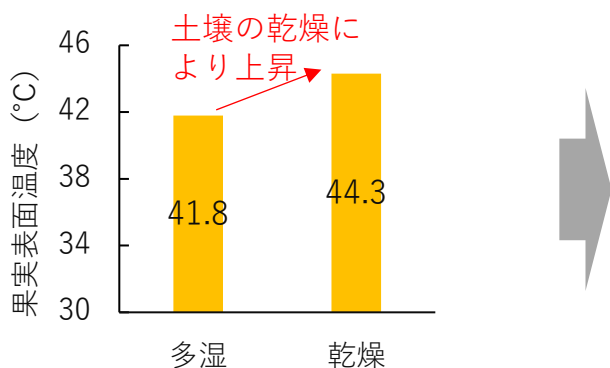


表 土壌水分条件による日焼け果発生の違い

	日焼け果数	正常果数
多湿	2	8
乾燥	4	6

※左図の条件で、16時に日焼け果数を調査。

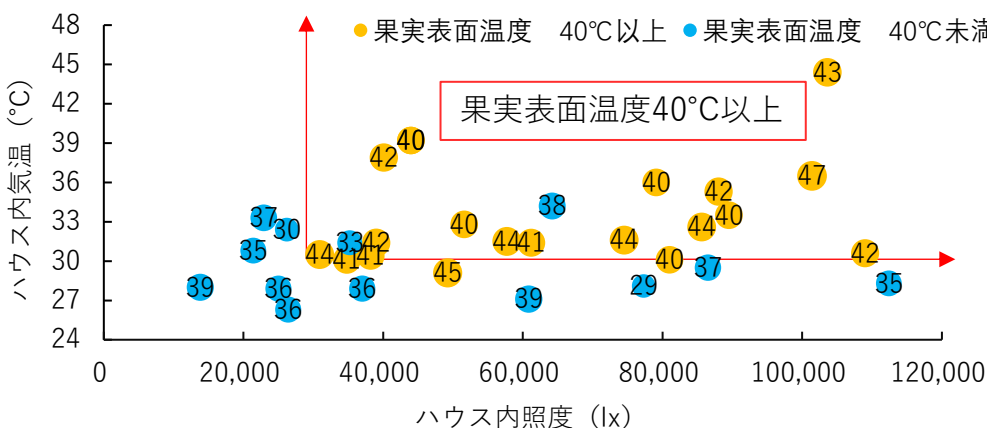
図 土壌水分条件による果実表面温度の差異

※試験条件：土壌水分は多湿が71%、乾燥が48%。6月晴天時の11時に果実表面温度を調査（5果/区）、11時のハウス内照度は75,960lx、ハウス内気温は41.6℃。

土壌の乾燥により日焼け果の発生数が増加します。

→光合成にも影響するため、かん水不足に注意しましょう。

※果実表面温度が40℃以上に高まるハウス内照度と気温の目安



ハウス内照度30,000lx（日射量258W/m²）以上、気温30℃以上で果実表面温度が40℃に達する傾向

図 ハウス内照度、気温と果実表面温度の関係

4 環境制御を使ったさらなる増収技術 (2)環境制御を使った日焼け果の発生軽減

日焼け果発生軽減技術

ハウス遮光により光量が減少すると果実表面温度が低下し、日焼け果の発生が軽減します。高温による日焼け果対策として使用しましょう。

検討1 【遮光による日焼け果の発生軽減効果】

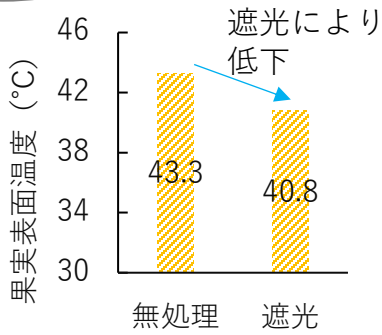


図 遮光が果実表面温度に及ぼす影響

※試験にはピーマンのポット株を供試。
2023年6月8日11時に果実表面温度を調査。
遮光は遮光率35%の資材によりポット株全体を覆うように行った。11時30分の遮光区のハウス内気温は40.8°C、照度は9,720lx、無処理区の気温は45.1°C、照度は94,570lx。

表 遮光による日焼け果の発生軽減効果

	日焼け果数	正常果数
無処理	6	4
遮光	2	8

※ 2023年6月8日16時に日焼け果数を調査。

・遮光により日焼け果の発生が減少しますが、光合成には光が必要です。

→曇雨天時はカーテンを開けて光を確保する必要があります。

検討2

【日射量に応じた遮光カーテン開閉による日焼け果の発生軽減】

〈試験条件〉

試験区	曇雨天	晴天
	照度16,200lx以下 (日射量140W/m ² 以下)	照度16,200lx以上 (日射量140W/m ² 以上)
無処理	遮光カーテン開	遮光カーテン開
遮光	// 開	// 閉

遮光期間：2024年5月1日～7月31日 処理時間：10時～16時
遮光カーテン：ピーナスラッセル 遮光率35% (小泉製麻(株)製)



日射量により遮光カーテンを自動で開閉

〈結果〉

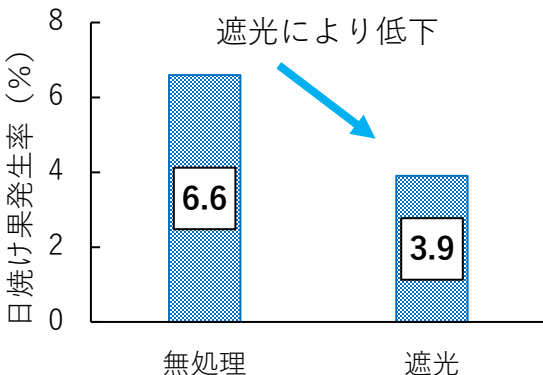


図 遮光カーテン開閉による日焼け果の発生軽減効果

遮光カーテンの自動開閉により、省力的に日焼け果の発生を抑えることができます。

▲総収量は遮光によりやや低下(本試験では7%低下)するため、日焼け果軽減効果と収量への影響を踏まえて導入することが重要です。

4 環境制御を使ったさらなる増収技術

(3) 日射比例炭酸ガス施用＋主枝2本垣根仕立て＋日焼け果軽減

当所で開発した日射比例炭酸ガス施用（P27）、主枝2本垣根仕立て（P15）、日射量に応じた遮光カーテン開閉（P18）を組み合わせた実証区の収量と所得を対照区と比較しました。

試験方法

作型：2025年促成（定植：2024年9月26日、収穫終了：2025年7月15日）
 品種：みおぎ
 試験ハウス：所内フッ素系硬質フィルムハウス

試験区の構成

試験区	炭酸ガス	仕立て法	遮光カーテン開閉
実証区	2024年10月1日～2025年4月30日 日射比例施用 ¹⁾ 2025年5月1日～7月14日 400ppm施用	2本垣根 ²⁾	あり ³⁾ 2025年5月20日～7月15日
対照区	2024年10月1日～2025年7月14日 400ppm施用	4本V字 ⁴⁾	なし

- 1) 曇雨天時は400ppm、晴天時は600ppm施用（換気が行われている時間帯は400ppm施用）
- 2) 畝間180cm・株間60cm・条間20cm・2条植え・1.8株/m²
- 3) 遮光時間帯：10時～15時 曇雨天時は遮光カーテンを開状態、晴天時は遮光カーテンを閉状態
遮光カーテン：ピーナスラッセル 遮光率35%
- 4) 畝間180cm・株間60cm・1条植え・0.9株/m²

ハウス内環境

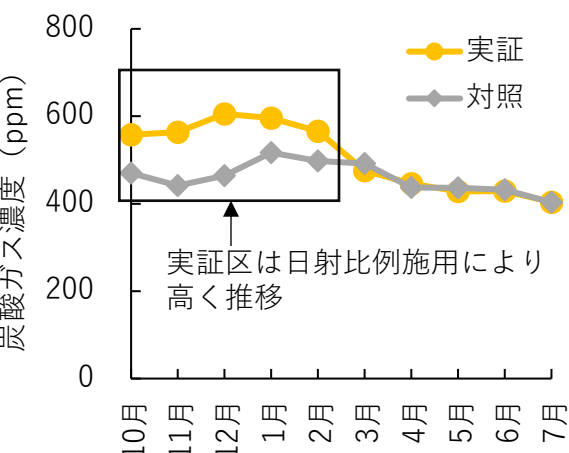


図 1 昼間（8～16時）のハウス内炭酸ガス濃度の月別平均値

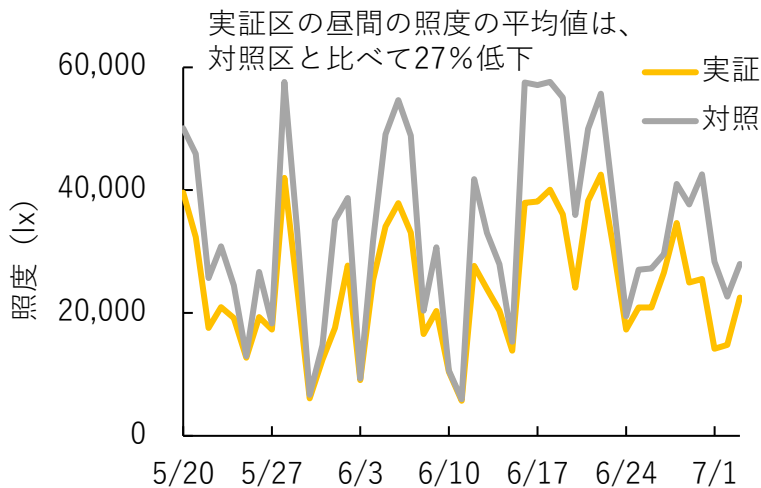


図 2 昼間（8～16時）のハウス内照度の日別平均値 ※期間：2025年5月20日～7月3日

4 環境制御を使ったさらなる増収技術

(3) 日射比例炭酸ガス施用＋主枝2本垣根仕立て＋日焼け果軽減

可販品収量

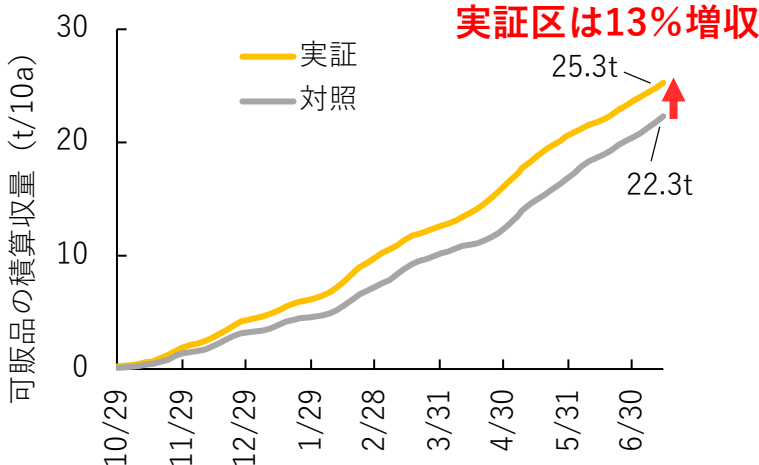


図 可販品の積算収量 (10/29～7/15)

※試験規模：1区5.4m² (実証 2本垣根：10株、対照 4本V字：5株)、4反復

果実品質

◎日焼け果の発生率 (6～7月)
対照3.6%に対し、実証は3.0%

◎A品率 (10/29～7/15)

- ・対照区：75.4%
 - ・実証区：68.5%
- 低下傾向



3月以降、
両区ともに増加

白果は葉数の多い実証区でより多い傾向
→摘葉や整枝により果実に光が当たるよう
管理する必要があります。

実証区における所得向上効果

表 月別および合計の可販品収量と売上

		10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	合計
実証	可販品収量 (t/10a)	0.2	1.7	2.3	2.0	3.5	2.6	3.3	4.9	2.7	2.0	25.3
	売上 ¹⁾ (千円/10a)	154	958	1,339	1,365	2,671	1,795	1,889	2,500	1,181	783	14,634
対照	可販品収量 (t/10a)	0.1	1.3	1.8	1.5	2.6	2.7	2.1	4.8	3.4	2.2	22.3
	売上 (千円/10a)	69	731	1,034	988	1,958	1,860	1,197	2,445	1,468	843	12,591

実証区で増加

16%増

1) 販売単価 (円/kg) 10月：671、11月：575、12月：575、1月：674、2月：759、3月：680、4月：579、5月：514、6月：437、7月：385 (鹿南地域 2022～2025年平均単価)

表 物財費内訳

	物財費内訳 (千円/10a) ¹⁾										合計 (千円/10a)	
	種苗費 ²⁾	肥料費 ³⁾	農薬費 ⁴⁾	諸材料費	光熱動力費		通信費 ⁶⁾	減価償却費		公課諸負担		修繕費
					灯油代 ⁵⁾	その他		環境制御装置一式 ⁷⁾	その他			
実証	241	494	374	309	217	1,339	36	578	707	30	193	4,518
対照	120				248							4,428

- 1) 諸材料費、光熱動力費 その他、減価償却費 その他、公課諸負担、修繕費は2024年本県経営指標より引用。
- 2) 130円/苗とした (2024年本県経営指標)。
- 3) 4) 当所での実際の使用量をもとに算出。
- 5) 灯油単価122円/Lとして算出 (経済産業省資源エネルギー庁、2022～2025年、10～7月の平均単価)。
灯油使用量：実証区が1,775L/10a、対照区が2,025L/10a
- 6) 環境モニタリングに係る通信費。月額3,000円、利用期間12か月として算出。
- 7) 統合環境制御盤、炭酸ガス発生装置、ダクトファン、オイルタンク、設置工事費の合計 (導入コスト：4,044千円/10a)。
カーテンは既存のPOフィルム (遮光率約30%、現地調査結果) を使用することとして経費には含まなかった。
減価償却期間は7年とした。

4 環境制御を使ったさらなる増収技術

(3)日射比例炭酸ガス施用＋主枝2本垣根仕立て＋日焼け果軽減

実証区における所得向上効果

表 経済性評価

	売上合計 (千円/10a)	経営費 (千円/10a)				所得 ⁴⁾ (千円/10a)	所得率 ⁵⁾ (%)
		物財費 ¹⁾	雇用労働費 ²⁾	出荷経費 ³⁾	合計		
実証	14,634	4,518	434	3,033	7,985	6,649	45
対照	12,591	4,428	340	2,676	7,444	5,147	41

29%増

1) 物財費内訳はP20のとおり。

2) 対照・4本V字を基準として増加した収量分の収穫作業は雇用でまかなうこととし、1kgあたりの収穫時間を1.78分(所内調査)、時給を1,074円(2025年本県最低賃金)として雇用労働費を算出し、2024年本県経営指標の労働費(340千円)に加算した。自家労賃は含まない。

3) 出荷経費は120円/kgとした(2024年本県経営指標)。

4) 所得 = 売上合計 - 経営費

5) 所得率 = 所得 / 売上合計 × 100 (%)

実証区では収量が13%、売上が16%増加し、所得は29%増加

➡ 実証区の有益性が示されました

5 環境制御技術の現地実証事例 (1) 温室(促成)ピーマン

鹿行農林事務所作成

時期	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
栽培管理	定植 ●											収穫

現地事例

取組結果 (神栖市内 1か所)

▶ 取り組みの特徴・ポイント

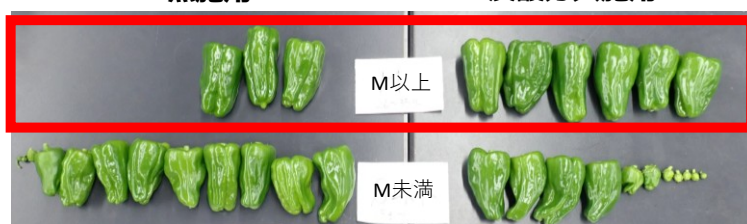
- ☞ 炭酸ガスは、10月から栽培終了まで施用機械の設定を濃度800ppmとし、7時～16時の時間帯で施用した。
- ☞ 炭酸ガス施用により果実の肥大速度が速まるため、最低でも4日に1回以上の収穫頻度とした。

① 収量は25%増収 (≒4.2t/10a増収)

試験区	促成栽培収量 (t/10a)
炭酸ガス施用	21.4
無施用	17.2

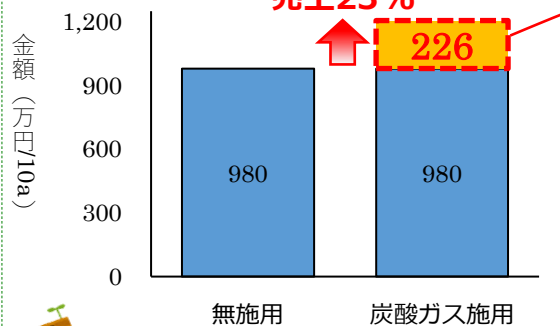
+25%

② 炭酸ガス施用により果実肥大が早くなり増収した



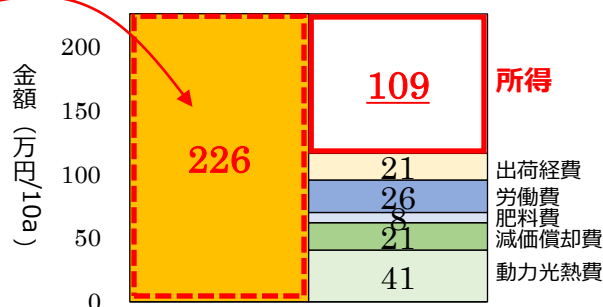
炭酸ガス施用の有無が果実肥大に及ぼす影響 (11/18開花、12/16調査)

③ 売上注1)は226万円/10a増加 売上23%



炭酸ガス施用による売上金額の変化

④ 所得は109万円/10a増加



炭酸ガス施用により増加した売上・経費・利益

当地域の目標

炭酸ガス施用装置導入後は、導入前と比べて1.5t/10a以上の増収を目標にしましょう！

施用装置導入後 (目安)

- ☞ 売上が促成1作当たり約88万円/10a以上増加すると、所得の増加が見込めます。
 - ☞ 収量で換算すると、10a当たり約1.5t注2)です。
- 所得の増分 > 経費の増分

炭酸ガス施用装置導入後に増加する経費 (目安)

出荷経費注3)	収量増加に伴う出荷経費	8万円
労働費注4)	収量増加に伴う収穫・整枝作業	10万円
肥料費	草勢が強くなることによる肥料費の増加	8万円
減価償却費	購入価格150万円を減価償却期間(7年)で1年あたり	21万円
動力光熱費	炭酸ガス施用した際の灯油代・電気代	41万円

88万円 /10a

注1) 東京都中央卸売市場茨城県産各月のピーマン平均単価(2020.10~2025.7(8,9月除く))、注2) 582円/kgとして算出、注3) 波崎青販部会諸手数料参考、注4) 労働費1,200円/hで計算、注3)及び注4)は収量により変動。

5 環境制御技術の現地実証事例 (2)春(半促成)ピーマン

鹿行農林事務所作成

時期	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
栽培管理	定植 ●			収穫					

現地事例

取組結果 (神栖市内10か所)

▶取り組みの特徴・ポイント

- ☞ 施用濃度は、栽培開始時から600~1,000ppmの範囲内に設定し、換気量が増加するに従い徐々に大気と同程度の400ppm程度まで低下させ、400ppmを下回らないように調整した。
- ☞ 生長及び果実肥大速度が上がるため、整枝管理や収穫間隔を慣行(無施用)よりも短縮した。また、必要な肥料成分が増えるため、窒素施肥量は慣行対比1.2~1.5倍とした。

① 収量は、最小で**5%**、最大で**40%**増収した。

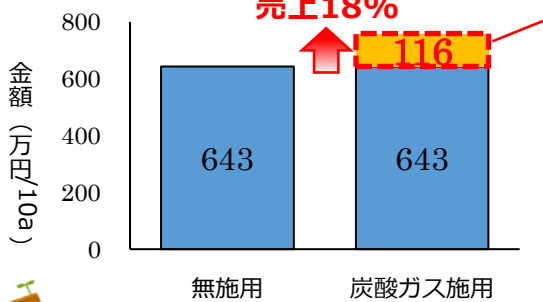
② 平均で**18%**増収(≒約**2t/10a**増収)した。

半促成栽培収量 (t/10a)

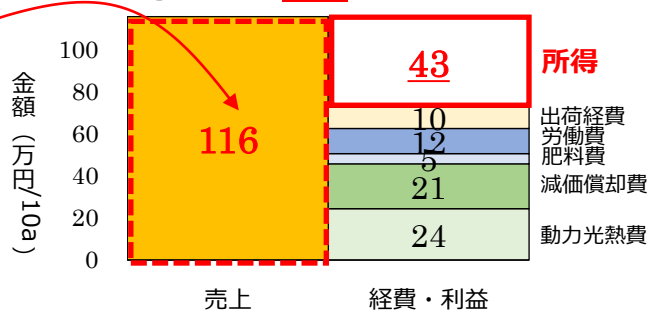
試験区	半促成栽培収量 (t/10a)										平均
	A氏	B氏	C氏	D氏	E氏	F氏	G氏	H氏	I氏	J氏	
炭酸ガス施用	11.8	15.3	12.3	12.6	9.8	15.9	17.1	12.6	11.5	11.6	13.1
無施用	9.5	10.9	11.3	12.0	8.2	13.9	12.8	12.0	10.6	9.7	11.1
対無施用比 (%)	124	140	109	105	120	114	134	105	108	120	118

③ 売上^{注1)}は**116万円/10a**増加

売上18%



④ 所得は**43万円/10a**増加



当地域の目標

炭酸ガス施用装置導入後は、導入前と比べて**1t/10a以上の増収**を目標にしましょう!

施用装置導入後 (目安)

☞ 売上が春1作当たり、約**63万円/10a**以上増加すると、**所得の増加**が見込めます。

☞ 収量で換算すると、10a当たり約**1t**^{注2)}です。

所得の増分 > 経費の増分

炭酸ガス施用装置導入後に増加する経費 (目安)

出荷経費 ^{注3)}	収量増加に伴う出荷経費	6万円
労働費 ^{注4)}	収量増加に伴う収穫・整枝作業	7万円
肥料費	草勢が強くなることによる肥料費の増加	5万円
減価償却費	購入価格150万円を減価償却期間(7年)で1年あたり	21万円
動力光熱費	炭酸ガス施用した際の灯油代・電気代	24万円

63万円
/10a

注1) 東京都中央卸売市場茨城県産各月のピーマン平均単価(2021.2~2025.6(1及び7~12月除く))、注2) 580円/kgとして算出、注3) 波崎青販部会諸手数料参考、注4) 労働費1,200円/hで計算、注3)及び注4) 収量により変動。

5 環境制御技術の現地実証事例 (3)炭酸ガス施用している人に感想を聞きました！

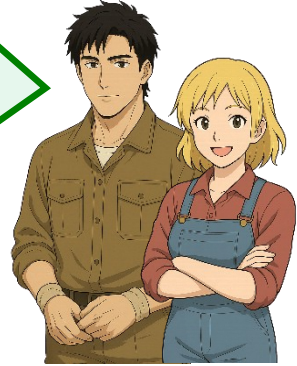
(鹿行農林事務所作成)



炭酸ガス施用すると、ピーマンの実がふくらむのが早くなるんだよ。だから、収穫の間隔を3～4日に短くして、株に負担がかからないようにして、収量を伸ばしているよ。俺は、新しくハウスを建てるよりもお金がかからないから、全ハウスに炭酸ガス施用するつもりだよ。

炭酸ガス施用をすると収量が増えるけど、その分、作業量も増えるんだ。だから、普段から管理を遅らせない人や、人手のやりくりができる人なら、無理なく取り入れられる技術だと思うよ。

春・秋の年2作型なら、年間18 t /10a以上の収量がとれるくらいの技術がないと、増収効果は出にくいと思うよ。



炭酸ガス施用をしたけれど、作業が間に合わず収穫は週1回くらいになっちゃった。これだと芯止まりになって、着果も不安定になるし、病気も出やすかった。収穫や整枝を優先したら薬剤散布が後回しになって、最後はうどんこ病だらけに。次は人手をしっかりと確保して計画通り進めたいね。



収量を左右する制限要因

下図は、ピーマンの収量を左右する要因の模式図です。
樽の水量がピーマンの収量、それぞれの板は収量を左右する要因です。

炭酸ガスが制限要因

炭酸ガスを施用すれば増収する



労働力や病害虫が制限要因

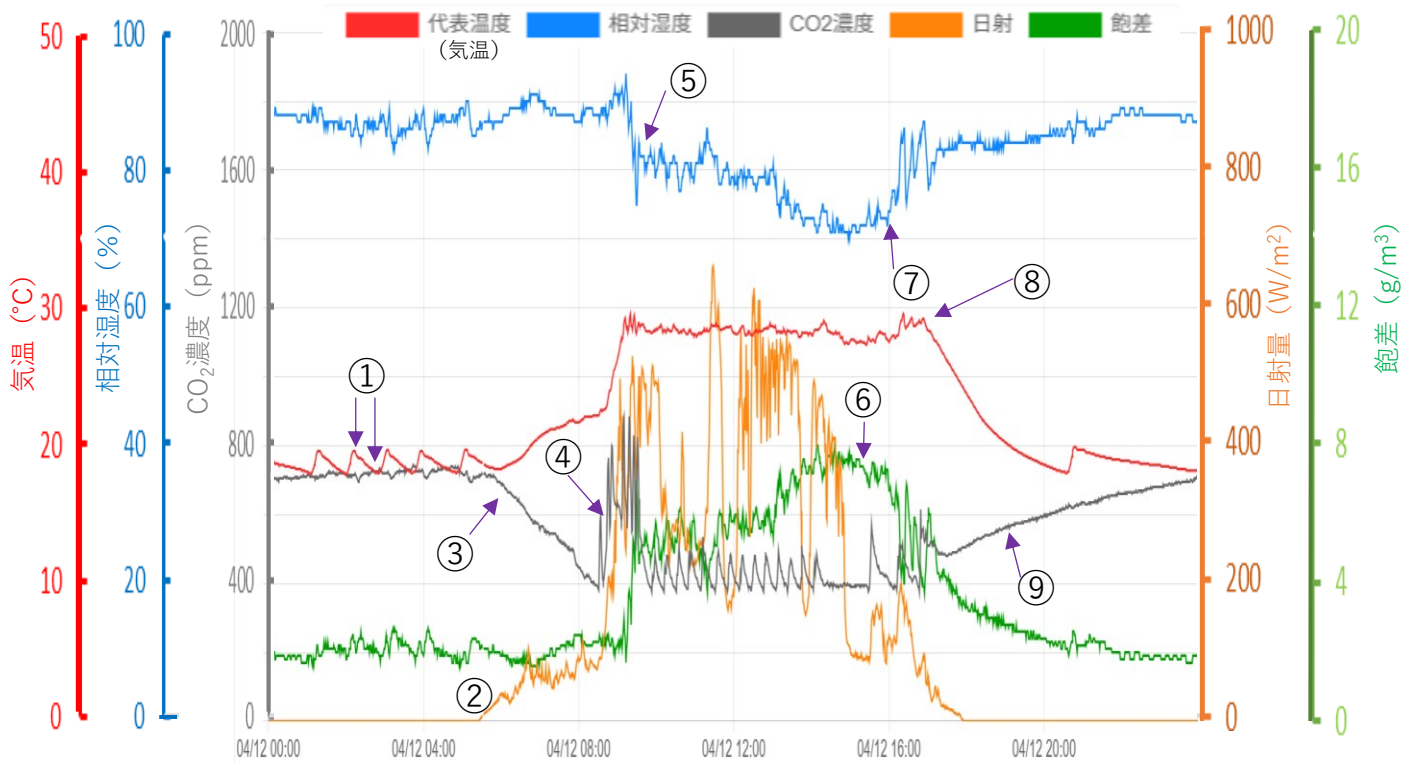
炭酸ガスを施用しても増収しない



労働力不足や**病害虫被害等**でお困りの場合、炭酸ガスを導入しても増収しない場合があります。



6 参考(1)環境モニタリングの例



測定日：2025年4月12日

測定場所：所内フッ素系硬質フィルムハウス（促成作型）

日射量はハウス内群落上部、その他項目は群落内部



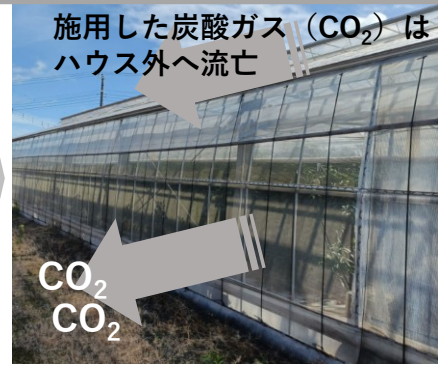
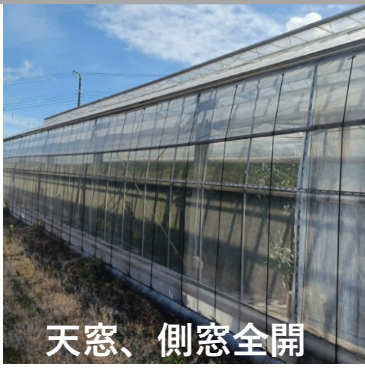
【データから読み取れること】

- ① **気温**：加温機のオン・オフ（気温が波形になる）
- ② **日射量**：日の出後、ハウス骨材の影響により山谷が大きい
- ③ **CO₂濃度**：日の出後に光合成が始まり約30分で低下
- ④ **CO₂濃度**：炭酸ガス発生装置は、換気前までは晴天時600ppm施用設定、換気後は400ppm設定で稼働
- ⑤ **相対湿度**：換気により低下
- ⑥ **飽差**：⑤の換気により急激に上昇、その後、飽差は午後約8 g/m³まで上昇（午前と午後で気温は大きな差はないが、相対湿度が午後は低下したことが原因）
- ⑦ **相対湿度**：換気窓の閉め始めと同時に上昇
- ⑧ **気温**：日射量の低下に伴い気温も低下
- ⑨ **CO₂濃度**：呼吸により増加

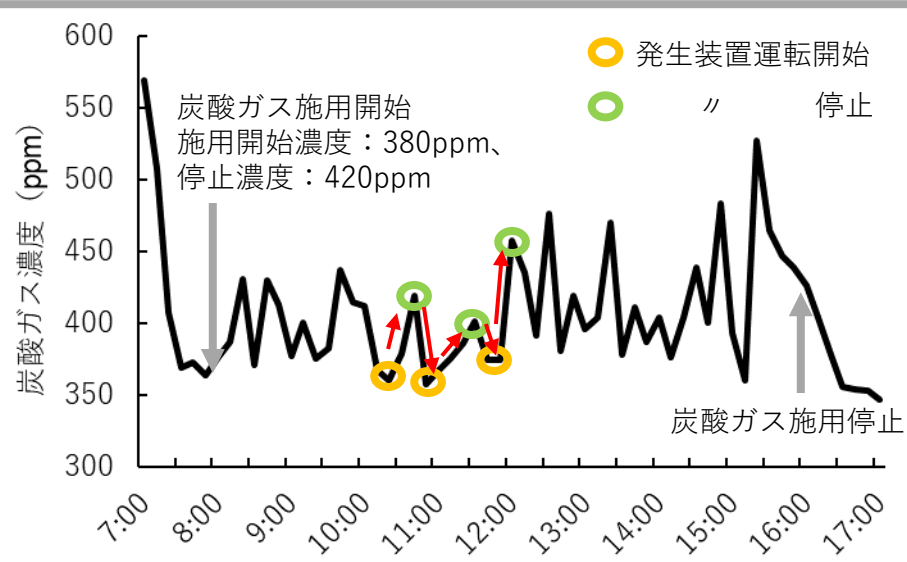
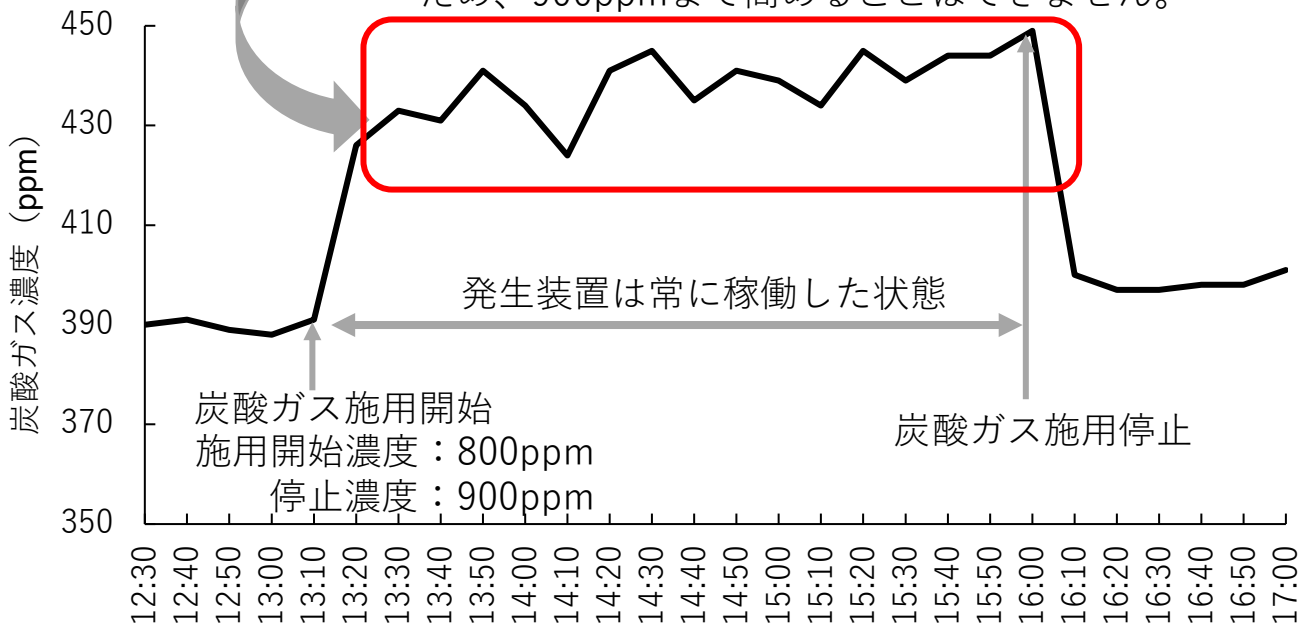
骨材やカーテン収束部の見直しにより日射量を確保する工夫が必要

換気窓の開け方で飽差を急に上げない、またミスト噴霧による飽差制御を検討

6 参考(2)ハウス開放時の炭酸ガス施用



ハウス開放時、炭酸ガス濃度を900ppmに高めようとしても、施用した炭酸ガスはハウス外に流亡するため、900ppmまで高めることはできません。



ハウス開放時は、炭酸ガス濃度設定値を外気と同程度の400ppmに

施用した炭酸ガスのハウス外への流亡が少なくなり、また、発生装置も常時稼働しないため、灯油使用量を抑えることができます。

6 参考(3)日射比例炭酸ガス施用の増収効果

試験方法

作型：2025年促成（定植：2024年9月26日、収穫開始：2024年10月31日）
 ※プランターを利用したピーマンの養液土耕栽培により実施
 品種：みおぎ
 試験ハウス：所内フッ素系硬質フィルムハウス

炭酸ガス施用条件

試験区	曇雨天	晴天
日射比例	400ppm	600ppm (換気時は400ppm)
対照	400ppm	400ppm

- ・施用期間
2024年10月1日～
2025年4月30日
- ・施用時間帯
8～16時

ハウス内環境（2024年10月1日～2025年4月30日）

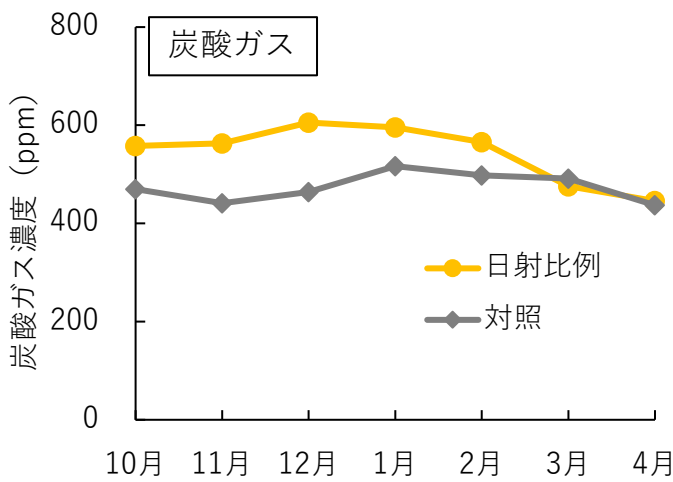


図1 ハウス内炭酸ガス濃度の月別平均値
(昼間8～16時)

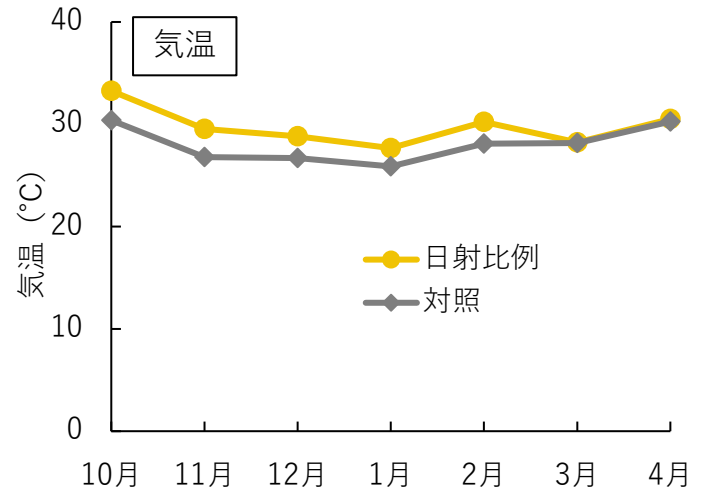
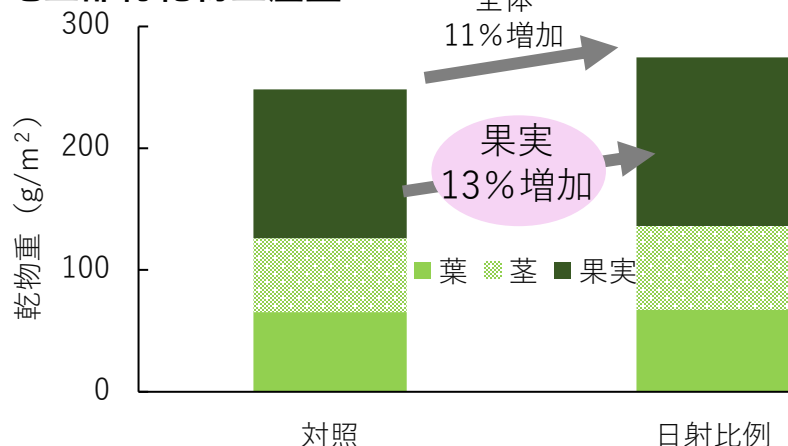


図2 ハウス内気温の月別平均値
(昼間8～16時)

- ・炭酸ガス濃度：10～2月は、日射比例区が対照区と比べて高く推移しました（図1）。ハウスの換気時間が多くなる3月以降は、両区の差は小さくなりました。
- ・昼間の気温：10～2月の月別の平均値は、日射比例区が対照区と比べて2～3℃程度高く推移しました（図2）。
 ←炭酸ガス発生装置運転時の温風の影響が推測されます。
- ・夜間（16～8時）の気温：両区同等で推移しました（データ略）。
- ・日射量：11月は日射比例区が対照区と比べて約28%低下しました（データ略）。
 ←太陽の位置が低い時期のため隣接する樹木等の影で日射比例区の光が遮られた可能性が考えられました。
 その他の月は両区同等で推移しました。

6 参考(3)日射比例炭酸ガス施用の増収効果

地上部総乾物生産量

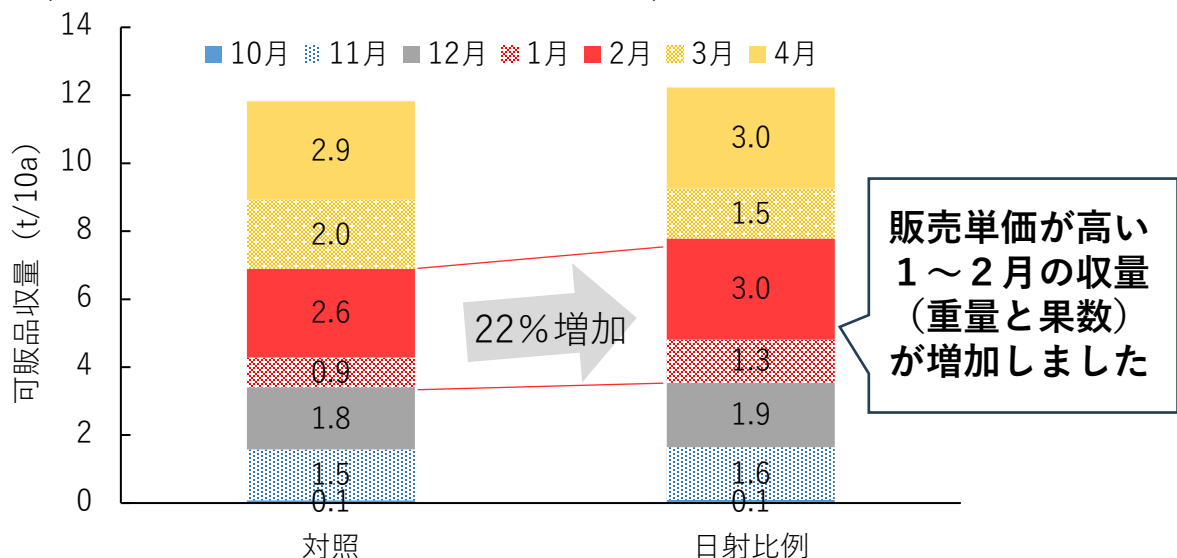


- ・ 定植後67日の地上部総乾物生産量は、日射比例区が対照区と比べて増加（11%）しました。
- ・ 定植後144日は日射比例区が増加する傾向を示しました（データ略）。
- ・ 定植後216日（試験終了時）は両区同等の値でした（データ略）。

図 定植後67日の地上部の部位別乾物生産量

※調査株数：8株/区

可販品収量（2024年10月31日～2025年4月30日） ※試験規模：1区5.4m²、4反復



販売単価が高い
1～2月の収量
(重量と果数)
が増加しました

図 月別の可販品収量

◎炭酸ガス濃度（10～2月） 対照 < 日射比例

◎可販品収量（1～2月） 対照 < 日射比例

▲総収量は両区で同等

▲3月の日射比例区の収量は対照区と比べて低下する傾向

（要因）日射比例区：1～2月の着果負担で樹勢が低下 → 落花・落果の発生

➡ 収穫頻度を上げることで改善できると推察されます

【経済性評価】

日射比例区では販売単価が高い1～2月の収量が増加し、所得は205千円/10a増加しました。

6 参考(4)硫黄粒剤によるうどんこ病の防除効果

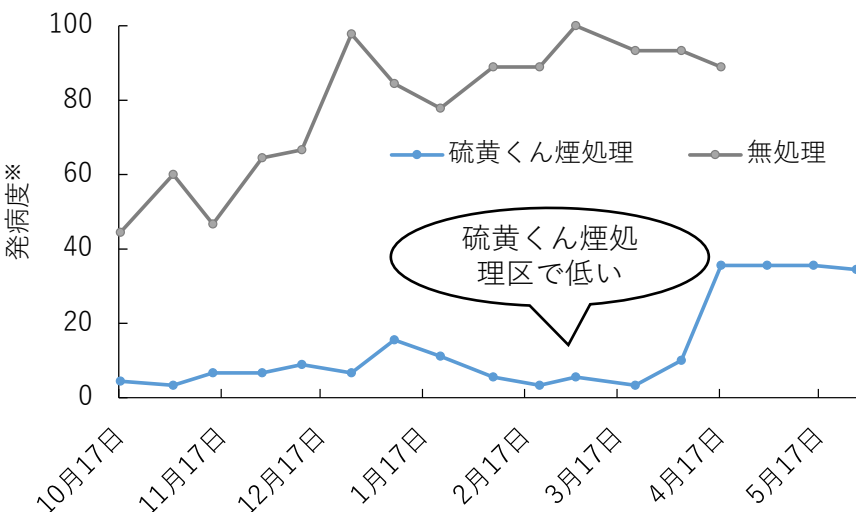
試験方法

作型：促成栽培（2012年10月～2013年5月）
 試験ハウス：神栖市内生産者ほ場（循環扇のある大型ハウス）

試験区の構成

試験区	硫黄くん煙	殺菌剤
硫黄くん煙処理	夜間6時間使用	4回（5剤）
無処理	無処理	6回（9剤）

硫黄粒剤※によるうどんこ病の防除効果



※発病度 = $(\sum (\text{程度別発病株数} \times \text{指数}) / \text{調査株数} \times 3) \times 100$

発病度が低い→防除効果が高い

- 指数
- 0：無発病
 - 1：発生初期
(発病葉が数枚)
 - 2：中発生
(発病葉20～30%程度)
 - 3：多発生
(発病葉50%以上)



硫黄くん煙処理区



無処理区

うどんこ病により、葉の黄化や落葉が発生

※農薬登録確認日：2026年2月25日 農薬の使用にあたっては、必ず最新の登録内容およびラベル表示事項を確認し、適正に使用してください。

6 参考(5) 昼間の炭酸ガス施用と夜温、収量の関係

試験方法

作型：2024年加温半促成（定植：2023年12月25日、収穫開始：2024年1月26日）
 品種：みおぎ
 試験ハウス：所内フッ素系硬質フィルムハウス

炭酸ガス施用条件

試験区	夜温	曇雨天	晴天
日射比例	やや低め	400ppm	600ppm (換気時は400ppm)
対照	通常	400ppm	400ppm

- ・施用期間
2023年12月26日～
2024年4月30日
- ・施用時間帯
8～16時

ハウス内環境

(2023年12月26日～2024年2月29日)

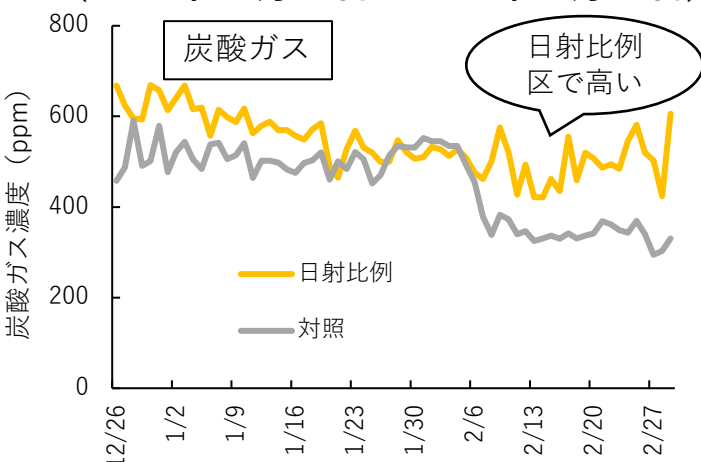


図 昼間（8～16時）のハウス内炭酸ガス濃度の日別平均値

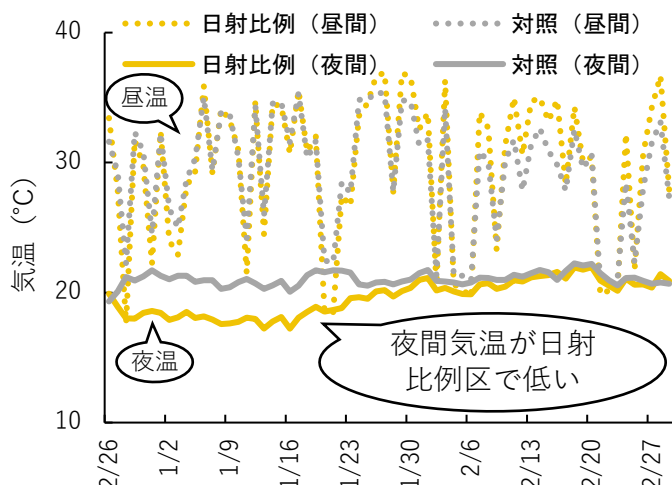


図 昼間（8～16時）および夜間（16～8時）のハウス内気温の日別平均値

積算収量 (2024年1月26日～2月26日)

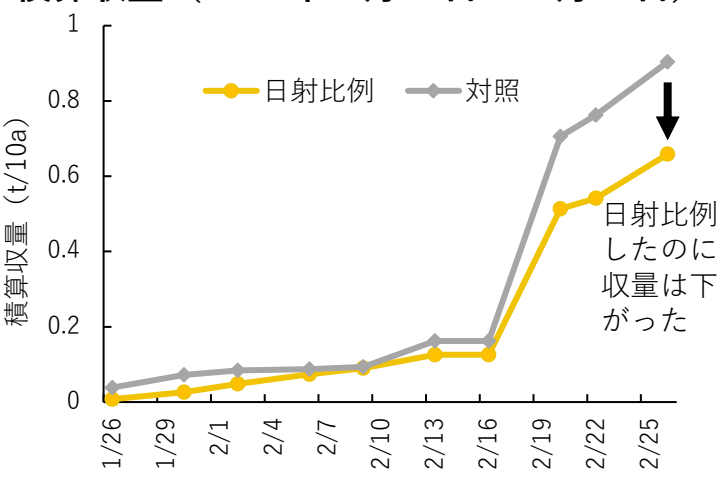


図 積算収量の推移
 ※試験規模：1区3.375m²、5反復

【まとめ】

- ◎定植後から2月までのハウス内環境
 - ・炭酸ガス濃度 対照 < 日射比例
 - ・昼間の気温 対照 ≒ 日射比例
 - ・夜間の気温 対照 > 日射比例
(夜間平均：対照 21.0℃
日射比例19.6℃)
- ◎積算収量
対照 > 日射比例

➡ 昼間の環境制御に加えて、
夜温の把握・調節も重要です！

問い合わせ先

茨城県農業総合センター
鹿島地帯特産指導所

〒314-0133 茨城県神栖市息栖2815

TEL：0299-92-3637

FAX：0299-93-1340