ハウス内の環境を「見える化」して

イチゴの収量増加・品質向上に

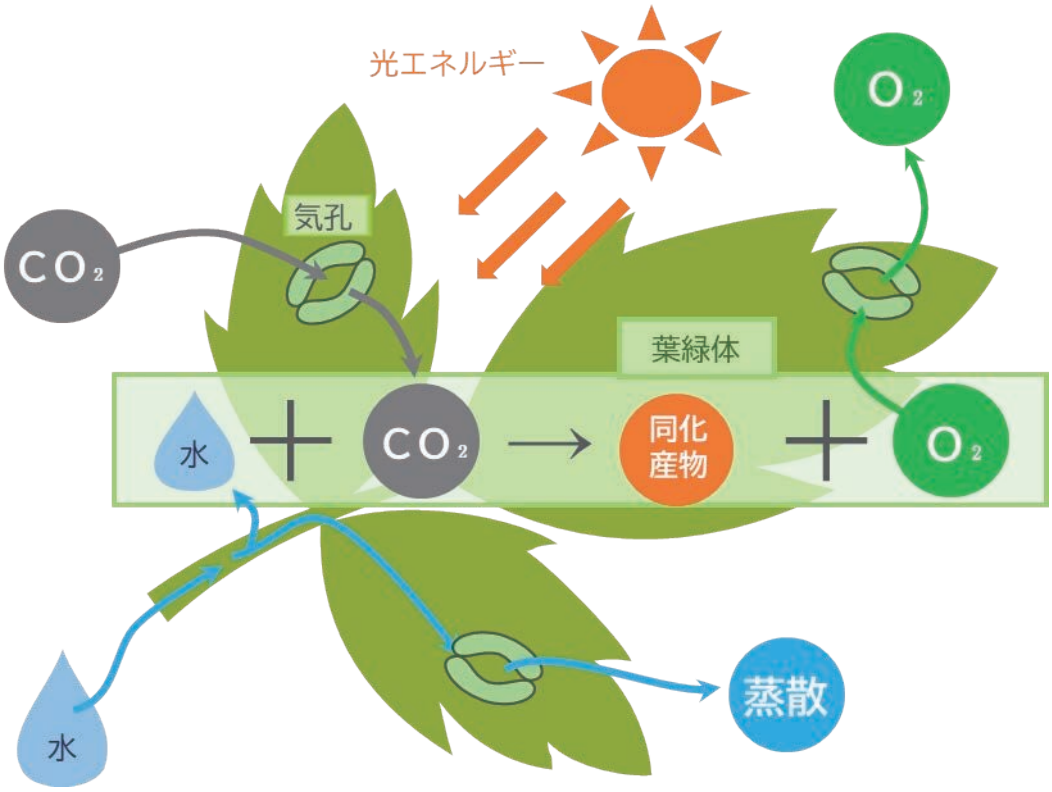
つなげませんか

かがわデータ駆動型農業技術導入推進協議会

作物の生育～光合成について

光合成とは、葉に照射される光エネルギーを色素の働きにより吸収・変換し、空気中のＣＯ₂と根から吸収される水を用いて糖などの炭水化物（同化産物）を生成する作用（同化）です。この同化産物が、植物の葉や根、果実などに送られ（転流）、生長や貯蔵に使われます。

光合成を高める＝同化産物の生産量を増やすためには、光エネルギーや同化産物の原料となる物質を滞ることなく植物へ供給することが重要となります。



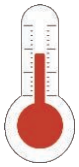
ハウス内環境の測定と改善の必要性

換気が不十分な施設栽培では、光合成が盛んに行われることでハウス内のＣＯ₂が植物に消費され、ＣＯ₂の不足が起こっている場合があります。また、光とＣＯ₂、水は十分に供給されていても、湿度が急激に低下した場合などに、ＣＯ₂の取り込み口である気孔が閉じ、植物体のＣＯ₂吸収が妨げられ、光合成量は減少します。（「飽差」の項参照）

光合成能力はハウス内の光強度、ＣＯ₂などが滞ることなく供給されることに加え、温度や湿度が好適であることでさらに高まります。環境測定機器などを導入し、それぞれの項目をリアルタイムに測定、作物の好適値に近づくよう制御することで、光合成量を増やし、作物の生育や収量を向上させることが可能となります。

測定項目と注意点

温度（℃）



・温度は光合成や糖の転流、葉や花房の出現・展開速度、呼吸など作物の全ての反応に影響します。低すぎても高すぎても良くなく、作物に適した温度帯にすることが重要です。
・夜間の温度が低すぎると、作物の生育に影響します。
・夜間の温度が高すぎると、作物の呼吸量が増加し同化産物の消耗につながります。

CO_2濃度（ppm）

・空気中に含まれるCO_2の割合のことで、作物が光合成を行い、成長に必要な養分（糖）を作るためにはCO_2（と水、光エネルギーほか）が必要です。
・CO_2濃度は光合成の速度に影響し、光や温度の条件にもよりますが、高濃度のCO_2は光合成を促進させ、逆に、濃度が低下すると光合成も低下します。
・大気中（外気）のCO_2濃度はおよそ 400ppm（空気中の 0.04%）と言われています。盛んに光合成が行われているときは、植物群落内のCO_2濃度は群落外よりも低下している場合があります。

日射量（W/㎡、MJ/㎡）

・植物が光合成を行うための光エネルギーの強さ・量です。
・日射量は光合成速度に影響し、一般的に値が大きいほど光合成量が増加します。曇雨天（低日射）が続いた場合、光合成量が低下し植物の生育に影響します。
・蒸散量は積算日射量と高い相関関係があるため、積算日射量に応じた潅水を行う必要があります。

その他の条件

湿度（%、g/㎥）

・空気中に含まれている水の量を示す指標で、相対湿度と絶対湿度があります。
・相対湿度は、空気中に含まれている水蒸気量を、含むことができる最大の水蒸気量（飽和水蒸気量）に対する割合（%）で表したものです。
・絶対湿度は、１㎥の空気中に含まれている水蒸気を質量（g/㎥）で表したものです。
・高湿度条件が続くと、病害発生のリスクが上昇します。逆に、低湿度条件は光合成の抑制や作物の萎れにつながります。

飽差（g/㎥）

・１㎥の空気中にあとどれだけの水蒸気を含むことができるかを示す値です。
・作物に適した飽差は３～６ g/㎥といわれており、値が高いと乾燥、低いと湿潤条件になります。
・飽差は葉の気孔の開閉に係る要素であり、作物の蒸散に大きく影響します。特に、日射量の増加等に伴い飽差が急激に上昇すると、気孔閉鎖の原因となり、光合成量が低下します。光合成を促進させるには、気孔を閉じさせない飽差管理が重要です。

設置場所などの注意

・センサーはできるだけハウスの中央で、ハウス内の平均的な環境条件と思われる場所に設置しましょう（中央部に暖房機やCO_2発生装置などがある場合は機器を避けて設置しましょう）。
・複数のハウスで測定する場合は、センサー設置場所、高さなどの条件を揃えるようにしましょう。
・温度センサーについては、直射日光や放射等の影響を避けて実際の気温を測定するために、センサー部に通風装置等を設置したうえで測定することが望ましいです。

図１　通風装置の例

・センサー（特に、湿度センサーやCO_2センサー）は機械ごとに誤差が生じる場合があります。また、使用により測定精度が落ちてくるため、定期的に校正（または交換）する必要があります。

＜昼寝現象とは＞

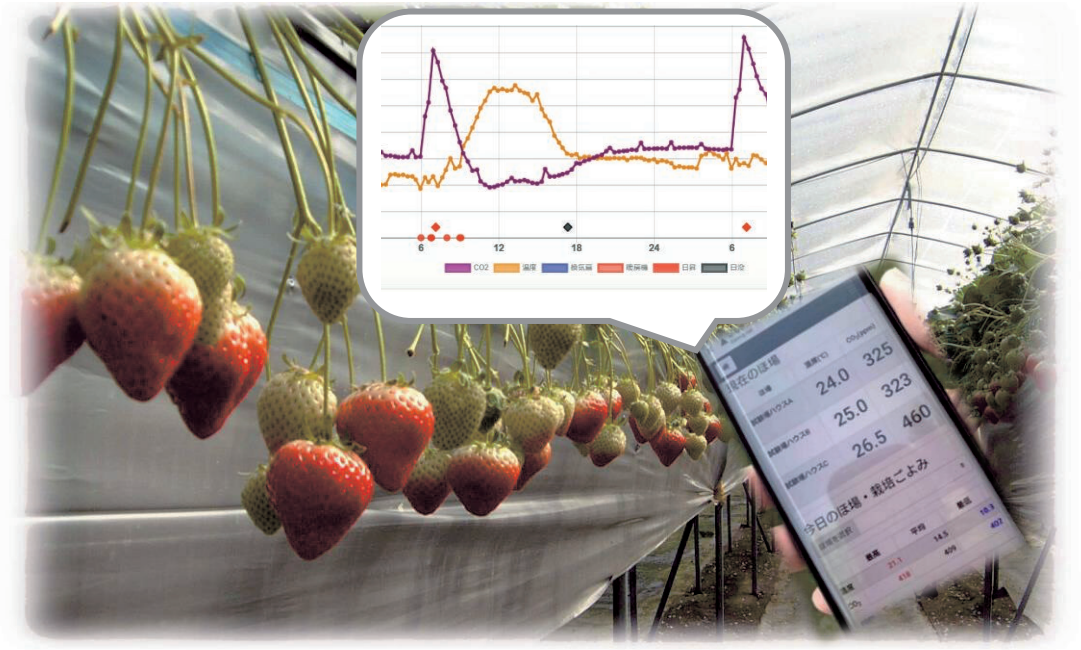
晴天時の昼間に植物の光合成速度が低下する現象のことです。

空気中の湿度の低下などにより植物の蒸散量が吸水量より多くなると、植物体内水分の減少を防ぐために気孔を閉じる現象が起こり、二酸化炭素の吸収が妨げられることや、光合成で作られた糖・デンプンの転流が十分に進まず、糖やデンプンが葉緑体に滞留して濃度が高まり、光合成を抑制することで起こるといわれています。

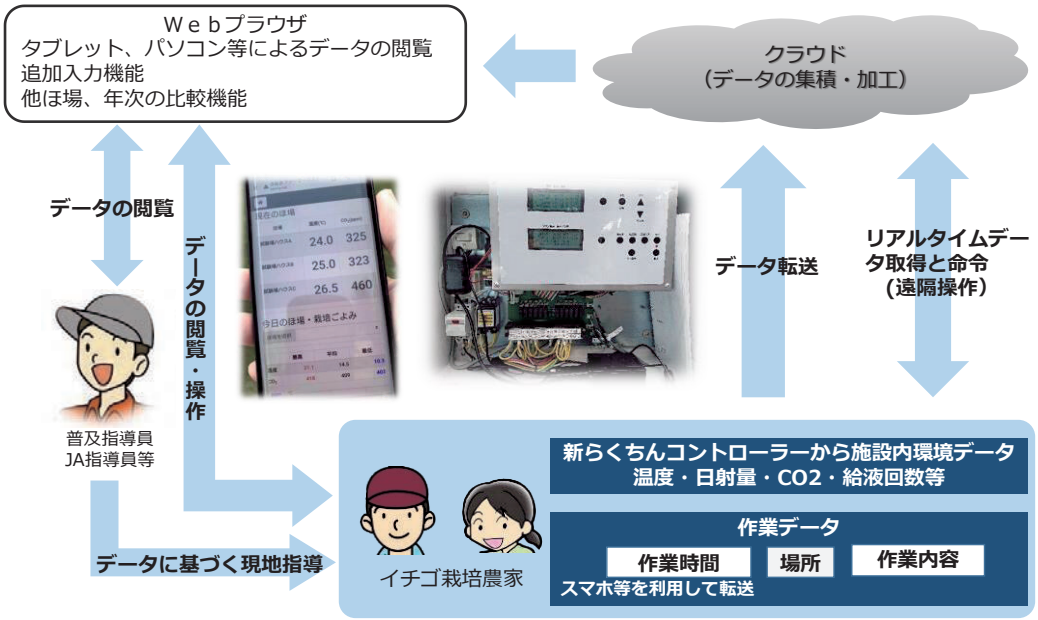
ただし、これらの要因で光合成速度が若干低下しても光合成は継続しているので「午後は光合成をしていない」かのように考えるのは間違いです。

環境制御技術について

「さぬきファーマーズステーション～みんなの農業記録～」を活用した環境制御



「さぬきファーマーズステーション～みんなの農業記録～」（以下、ＳＦＳという）とは、ＩＣＴを活用して温度、日射量、炭酸ガス濃度などのほ場データをリアルタイムに収集・可視化し、データ分析（過去のデータとの比較、他の生産者との比較等）や産地でのデータ共有を行うことができるシステムのことです。



ＳＦＳデータ活用のフロー図

圃場の環境データの収集・表示

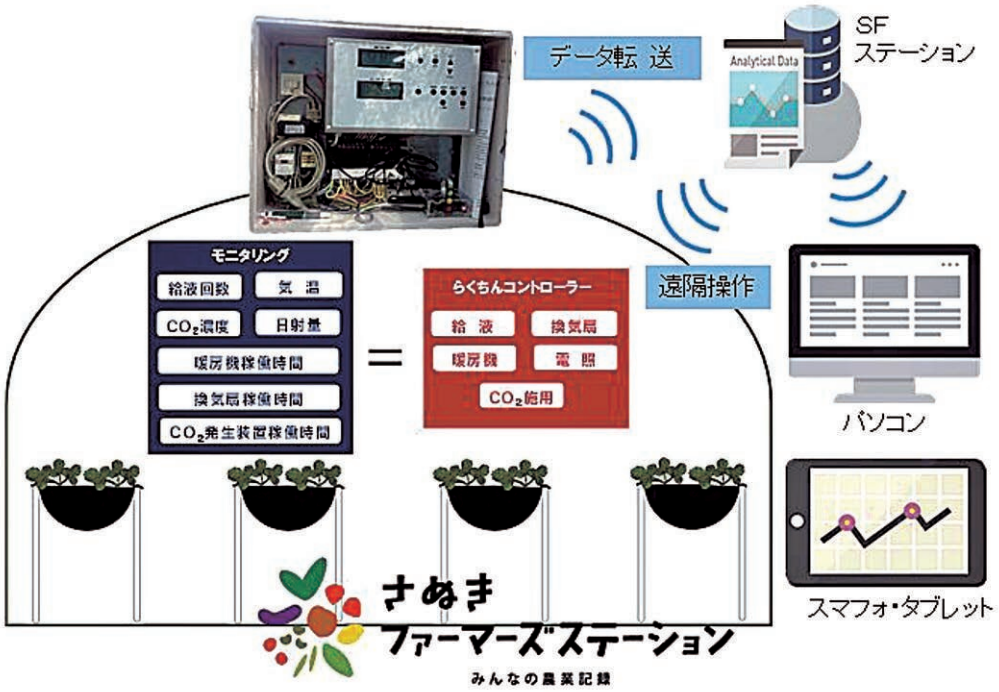
- 環境のデータをグラフ化表示
  - 温度
  - ＣＯ$_2$濃度
  - 日射量
  - 給液回数
- 環境データと施用状況との比較
  - 暖房機稼働時間
  - ＣＯ$_2$発生機稼働時間
  - 換気扇稼働時間
- データ比較
  - 過去データ
  - 他ほ場
- その他
  - 出荷量入力・表示
  - イベント表示(定植、開花など)

農作業データの収集・表示

- スマホで日々の農作業を記録
  - ① ハウス・作業を選択
  - ② 作業者を選択
  - ③ 「作業者の開始・終了」
    - ⇨ 選択した作業者の作業が開始
    - ⇨ 開始済の場合は終了
- 記録した作業をExcelで集計
- データ比較
  - 過去データ
  - 他ほ場

アクセス共有範囲

- 作物・地域ごとなどでグループを作成し、その範囲内で共有。
- 出荷データなども実装（共有範囲外ののデータ）
- アカウントを持っている人のみシステムにアクセスできる。



ＳＦＳの主な機能

1　「ＳＦＳ」から見た冬期の温度管理（１～２月）

草勢の維持と果実品質の向上が重要なポイントとなります。特に、光合成産物の不足を補うため炭酸ガス施用を行なっても、温度が低ければ出葉は遅くなります。イチゴの生育に影響するのは平均気温、特に重要なのは日中の平均気温です。

そこで、冬期の日平均気温 15℃付近の温度維持が望まれます。

表１　目標管理温度

生育ステージ	日中	夜間
生育促進期	30℃前後	12℃以上
出　蕾　期	26～27℃	10℃以上
開　花　期	26～27℃	10℃以上
果実肥大期	午前27℃、午後25℃	8℃以上
収　穫　期	午前27℃、午後25℃	8℃以上

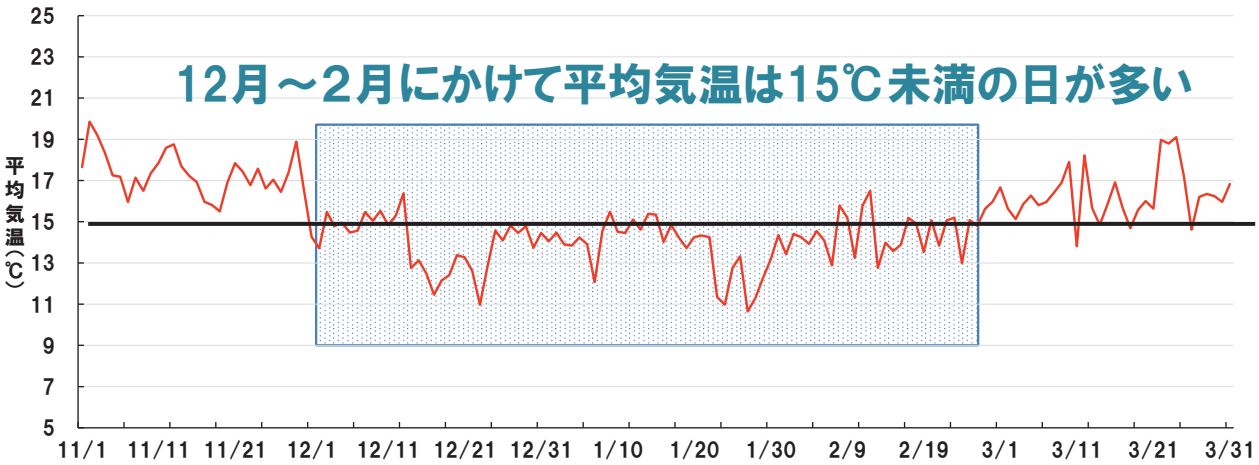


図２　ＳＦＳを導入している県内 20 ほ場の日平均気温の推移
（2022.11.1～2023.3.31）

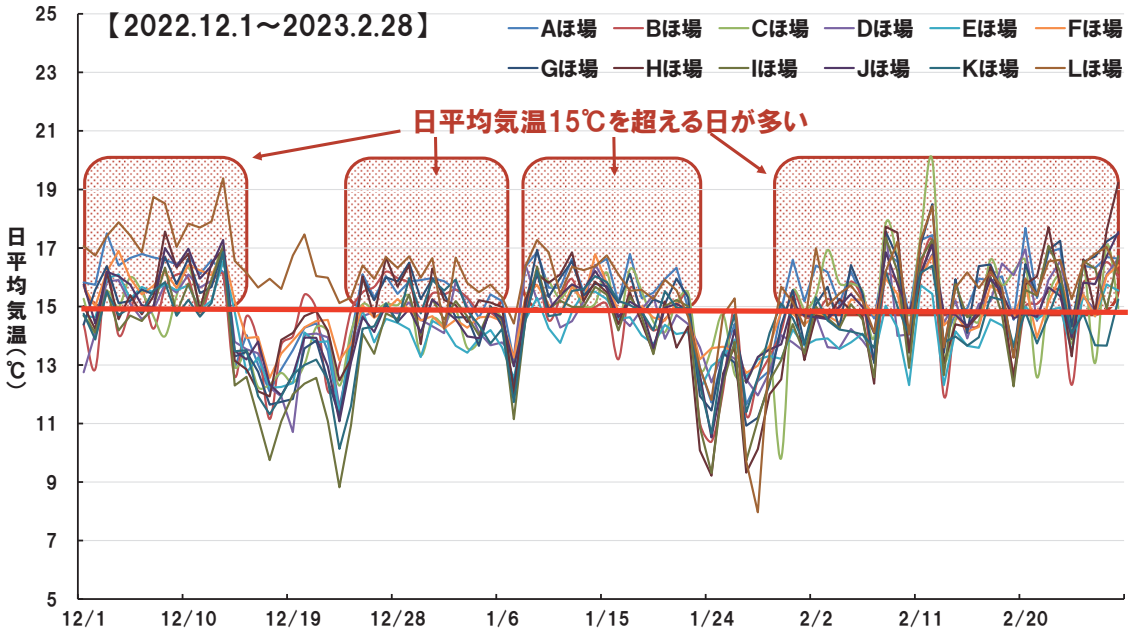


図３　冬期の高温管理ほ場における日平均気温の推移

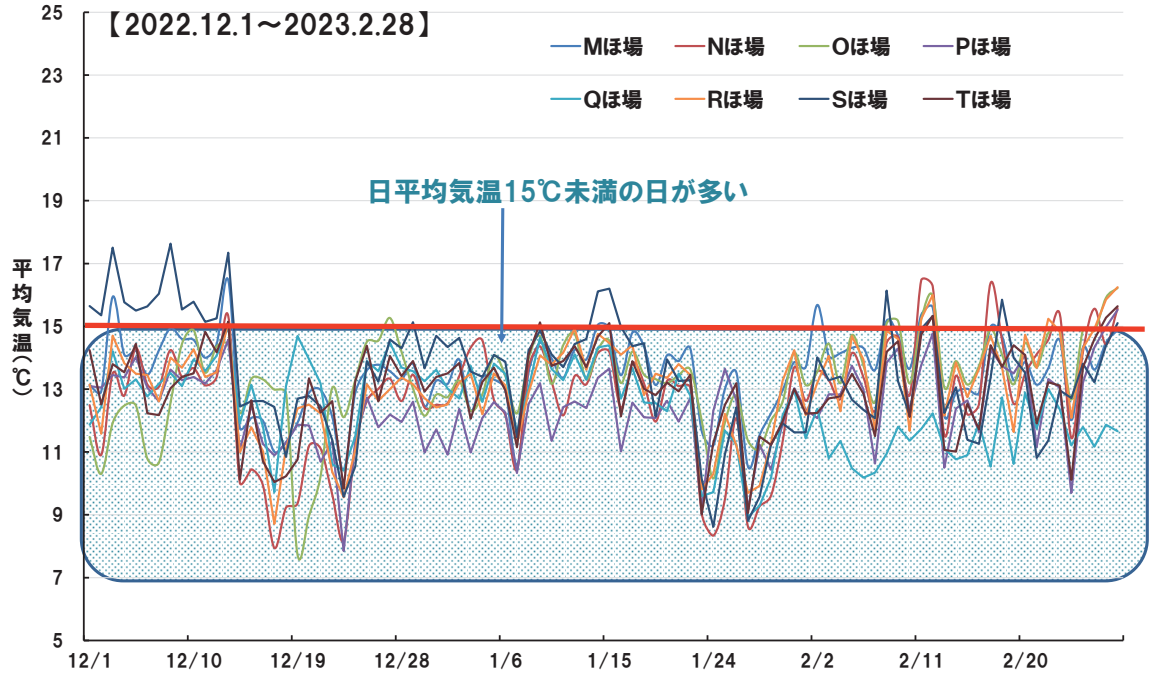


図４　冬期の低温管理ほ場における日平均気温の推移

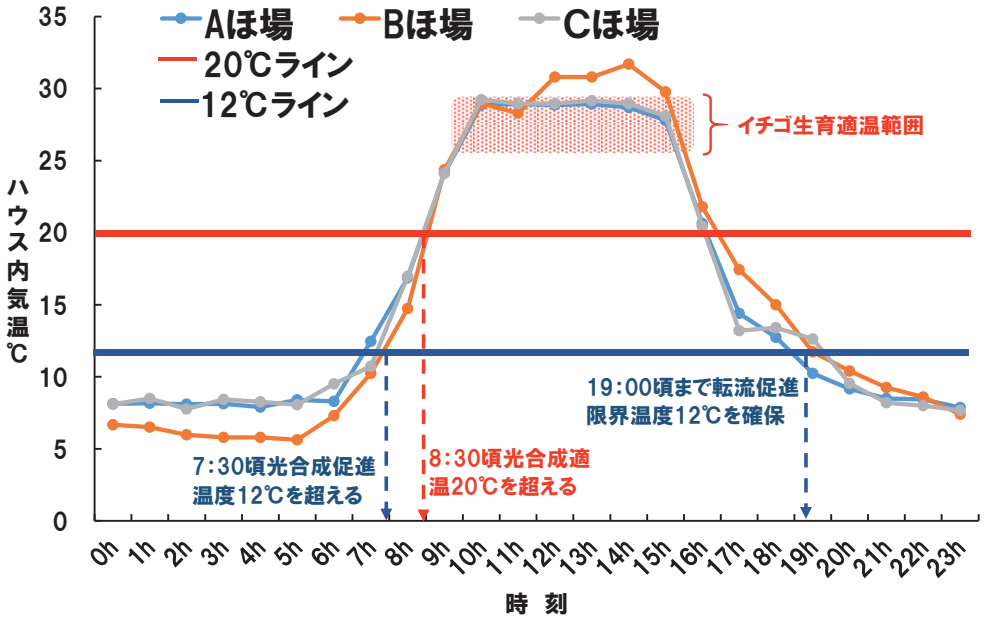


図５　高温管理ほ場の施設内温度の日変化（2021.1.14　晴天日）

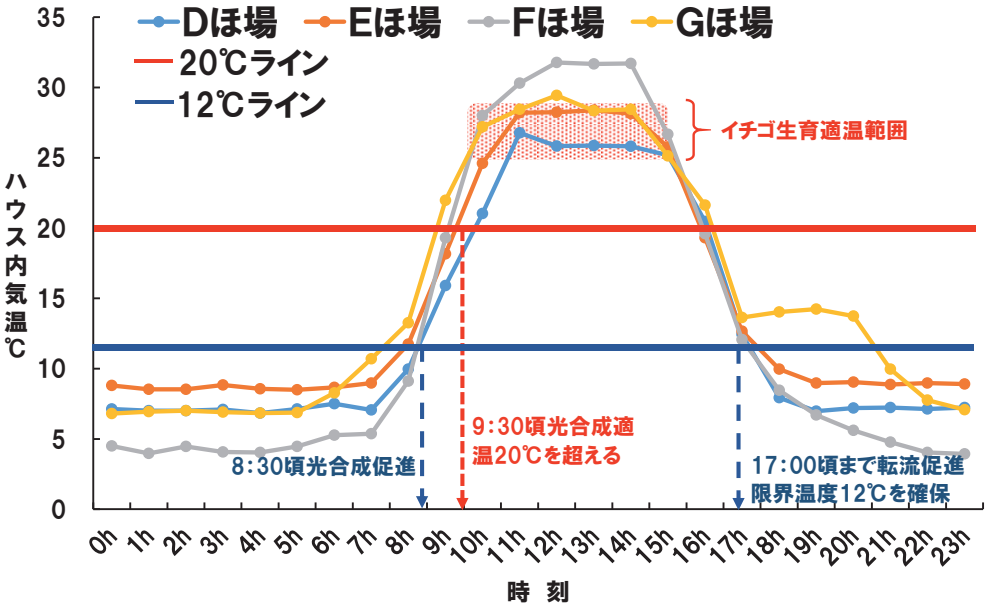


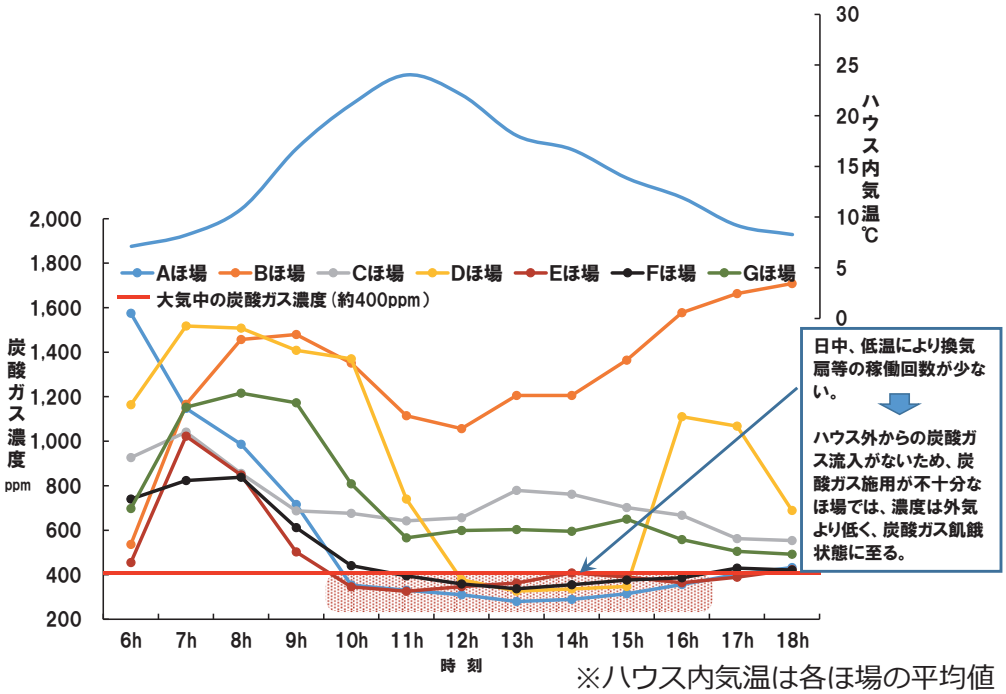
図６　低温管理ほ場の施設内温度の日変化（2021.1.14　晴天日）

光合成促進のための温度管理ポイントは、

○　日の出時に 12℃程度になるよう早朝加温します。
○　早朝の結露を防ぐためには１時間あたり２℃上昇程度に抑えます。
○　適温（25～28℃）に正午頃到達するよう午前中は緩やかに温度上昇させます。
○　光合成産物の転流促進のため午後は日没まで 25℃程度を維持します。
○　日没時急激に温度を下げることは問題ありません。
○　日没後３時間程度転流促進のため 12℃程度を維持します。

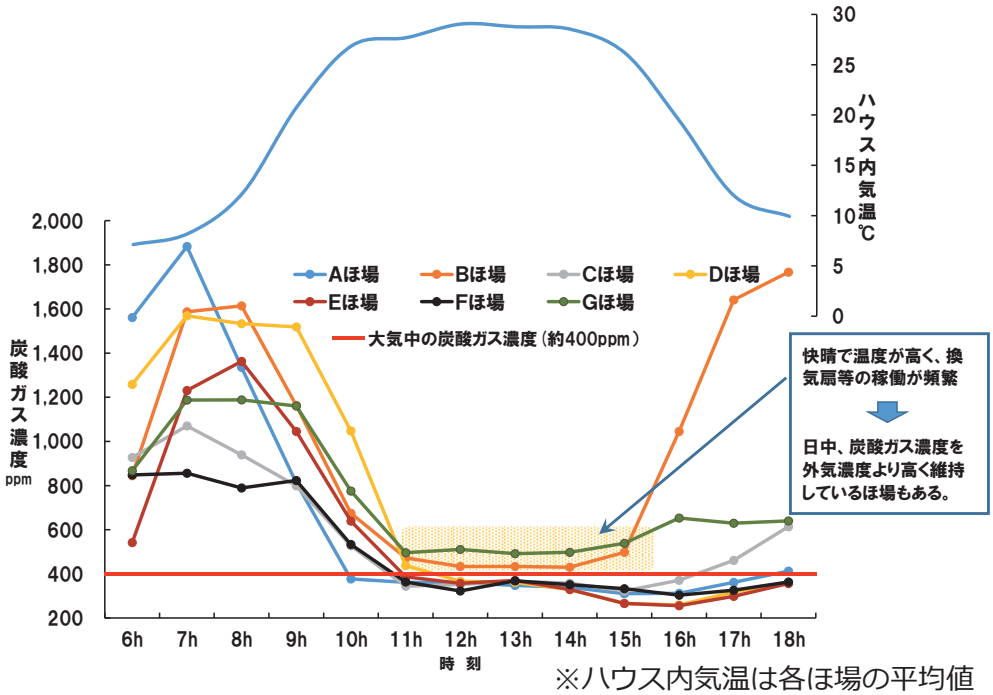
2　「ＳＦＳ」から見た炭酸ガス施用

光合成に十分な量の二酸化炭素が植物に供給されない環境では、光合成速度が低下して収量や品質が低下します。特に密閉状態のハウス内では、日の出とともにイチゴが光合成を始め、二酸化炭素濃度が下がるため、光合成速度が低下してしまいます。



※ハウス内気温は各ほ場の平均値

図７　換気回数が少ない晴天日の炭酸ガス濃度の推移（2021.1.8）



※ハウス内気温は各ほ場の平均値

図８　換気回数が多い快晴日の炭酸ガス濃度の推移（2021.1.20）

一般に、高設栽培の厳寒期のハウス内では、炭酸ガスの不足傾向（外気濃度 400ppm 未満）が強く、光合成速度の低下により同化産物が減少し、収量・品質低下を招きます。

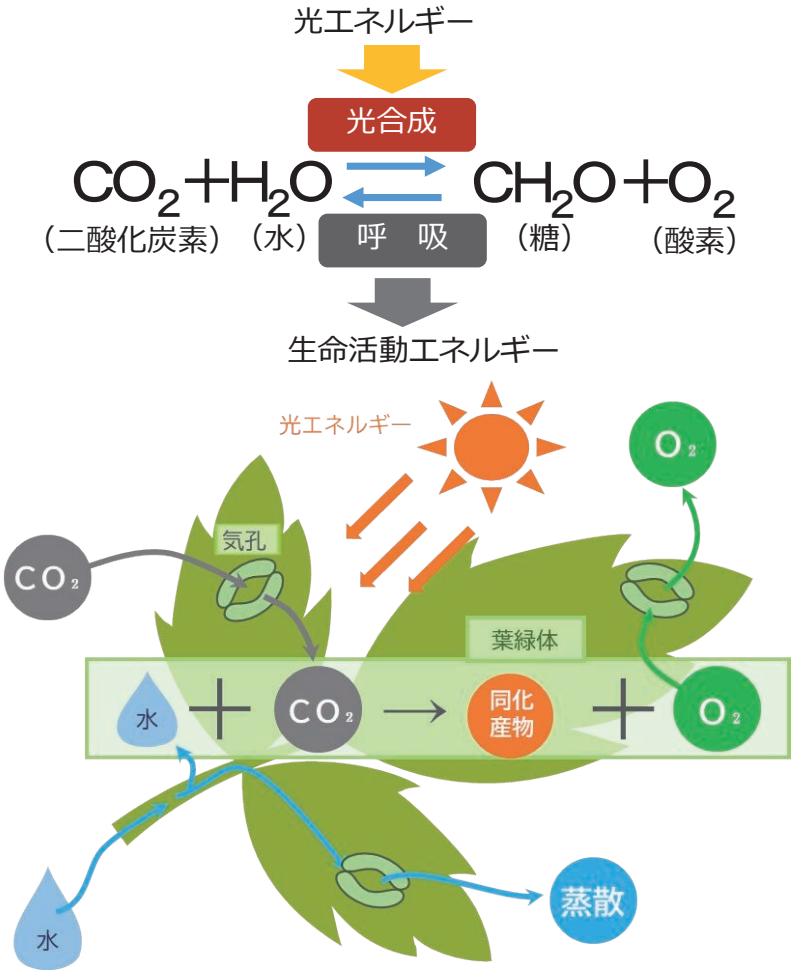
光合成促進のための炭酸ガス施用ポイントは、

○　光合成を促進させるためには、日中 600～700ppm を、換気が頻繁に行われる環境でも外気濃度以上の 400ppm～500ppm 程度を確保することがポイントです。

○　晴天日は、日射を最大限に活用するため、日の出時から、高炭酸ガス濃度を維持するため炭酸ガスを施用します。日中換気が開始されると、イチゴ群落内の濃度は外気より低くなるため、外気濃度 400ppm を下回らないようにします。

→　換気扇と炭酸ガス発生装置との連動が可能な「らくちん栽培」では、炭酸ガス発生装置のインターバルや、換気扇制御温度を活用して日中、無駄のない炭酸ガス施用を行い、日没前まで濃度が維持できるようにしてください。

○　曇雨天日など、ハウス内温度が上昇せずに換気回数が少ない、あるいは全くない環境時も、炭酸ガス発生装置を稼働させ、濃度 400ppm を維持できるよう努めます。



地下部の環境制御

ＥＣ、排液率、ｐＨ、を理解し、数値化しましょう!!
地上部の管理と同じで、数値化することによりイチゴの育ちやすい環境や養液中の肥料や塩分の量を知るために役立ちます。

１　ＥＣ

○　ＥＣとは電気伝導率（Electric Conductivity）の略で、液体に含まれるおよその肥料分を表す言葉です。本来、電気の流れやすさを表しますが、農業分野では肥料や塩分濃度の指標となります。

○　肥料や塩分が少ないとＥＣの値は低く、逆に多いとその分ＥＣ値は高くなります。

○　ＥＣは、溶けている塩分（硝酸態窒素NO_3^-、カルシウムCa_2^+など）の量を示し、特定の成分量は把握することはできません。しかし硝酸体窒素（NO_3-N）含量の目安になります。

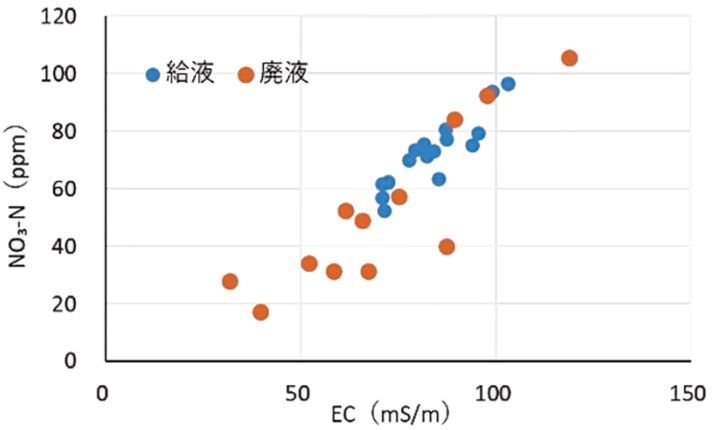


図９　イチゴ養液栽培での給廃液の
ＥＣとNO_3-Nの関係

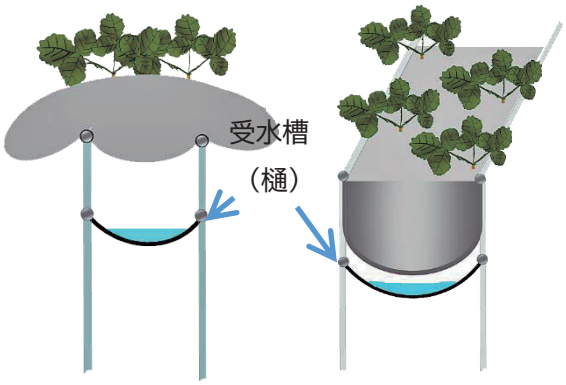
単位
dS/m(デシ・ジーメンス・パー・メートル)= mS/cm（ミリ・ジーメンス・パー・センチメートル）
※例えば、0.5dS/m=0.5mS/㎝＝50mS/m

２　排液率

○　排液率とは、排液量を給液量で除した値、つまり「排液率＝排液量÷給液量×100」のことです。例えば、100ℓ給液したときの排液が 30ℓの場合、排液率は 30％（30ℓ÷100ℓ×100）となります。

排液率を把握する手順は以下のとおりです。
①　給液量を算出（1 日当たりの給液　回数、給液分数、チューブ吐出量から試算）
②　排液を回収（ハンモック方式ベット長５ｍ、バッグ方式５袋からの排液回収）
③　排液量を測定

○　排液は、肥料の利用効率、環境負荷の点からは少ない方が望ましいです。しかし、排液量が少なすぎると、生育ムラの恐れ（場所による培地内水分やイチゴの吸水ムラ）や 培地内の溶液バランスの崩れにつ　ながります。逆に排液量が多すぎると、肥料分の浪費や保水性の高い培地では過湿となり酸素不足となる危険性もあります。



→目標とする排液率は培地内の培養液を更新する意味も含めて、10～30％が適正と考えられます。

３　ＥＣと排液率

○　培養液の濃度が同じであっても、給液回数や排液率によってイチゴが受け取る肥料分は変わります。

○　排液の濃度は、排液率に大きく影響されます。 排液率が低い場合は排液量が少なく肥料成分は濃縮され濃度が高くなります。一方、排液率が高い場合は培養液濃度に近くなります。つまり、ＥＣ値や肥料濃度、量が分からなければ生育に適した施肥量は把握できません。

→給液とともに排液のＥＣ値や量を測定し、イチゴの生育に適した値になっているよう確認しましょう。

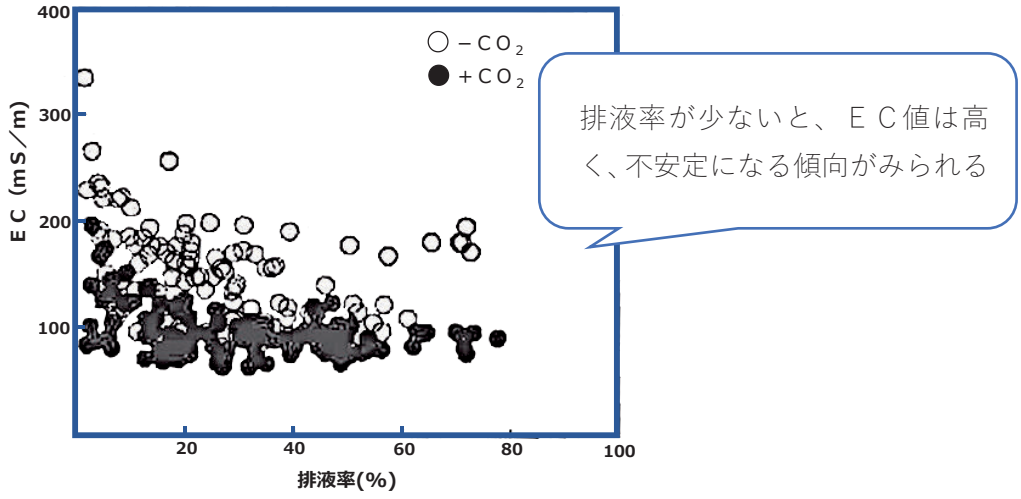


図 11　排液率と排液ＥＣ

出典：香川型イチゴピート栽培システム‘らくちん’の開発（第６報）排液 EC と排液中養分濃度の関係に対する培養液組成と CO_2施用の影響

○　給液ＥＣ＜排液ＥＣ（給液ＥＣより排液ＥＣが高い）場合

排液率が 10%以下の場合は給液量を多くする。
排液率が 30%以上の場合は給液ＥＣを低くする。
ＥＣ値で 10mS/m（0.1 dS/m）程度低い培養液を給液して様子を見る。
水のみの給液はしない。

○　給液ＥＣ＞排液ＥＣ（排液ＥＣが低すぎる）場合

排液ＥＣと給液ＥＣの差が大きい時は給液ＥＣを高くする。急激なＥＣ値の増加を避け、1 日当たり 10mS/m（0.1dS/m）程度で少しずつ上げるようにする。

4　ｐＨ

○　ｐＨ（ピーエッチ、ペーハー）とは、溶液中の水素イオン（H^+）濃度を示す指標のことです。

※　酸性、アルカリ性の程度を 0～14 の値で表す。
多くの作物や植物はｐＨ5.5～7.0 程度を好むが、適正なｐＨ値はそれぞれ異なる。

○　イチゴ栽培における最適なｐＨ5.5～6.5 です。
○　養液のｐＨ値が必要以上に酸性 or アルカリ性に傾くと「肥料成分を吸収しにくくなる」「根が傷む」などの原因になります。
○　土壌での栽培に比べ水耕栽培では養液のｐＨ値が変化しやすいため、ｐＨ計で数値を管理することで作物や植物にとって育ちやすい環境を保つことができます。
○　重炭酸イオン（HCO_3^-）が多く、ｐＨの高い井戸水を原水に使用する場合は注意が必要です。
○　らくちん栽培（培養液かけ流し方式の固形培地耕）では、排液のｐＨは、栽培期間中ほぼ 7.0 を超える値で推移しています。
○　イチゴの養分吸収にとって好適なｐＨは、5.5～6.5 です。排液のｐＨを常に好適範囲に管理できれば最良ですが、実際には、使用する原水の水質・培地の特性・培養液組成などにより、好適範囲に収まりません。
→極端な数値にならなければ、あえてｐＨを調節する必要はありません。

環境・生育データに合わせた環境制御

イチゴを理想的な生育に保つためには、ハウス内環境制御や栽培管理により、光合成を最大化するだけでなく、イチゴの生育を最適に保つことが重要となります。

イチゴの葉身長、葉幅、葉柄長、出葉数、開花株率等を定期的に調査し、イチゴの生育状況の「見える化」により、目標とする生育に近づける栽培管理を行うことができます。

1　調査について

1）ハウス内の設置場所

○　調査区は、ハウスサイドの栽培槽及び栽培槽の端を除いた生育の中庸な場所に設置します。

また、ハウスが連棟の場合、2つの棟を選定し、それぞれの棟1カ所ずつに調査区を設置します。

2）調査株数

○　生育中庸な連続した8株※の2カ所

合計16株　※　2条植えの左右4株ずつ

3）葉位

○　葉柄がクラウン中央部から1㎝以上露出している葉を「新生第1葉」とし、葉序の外側に向かって第2葉、第3葉・・・と判断します。

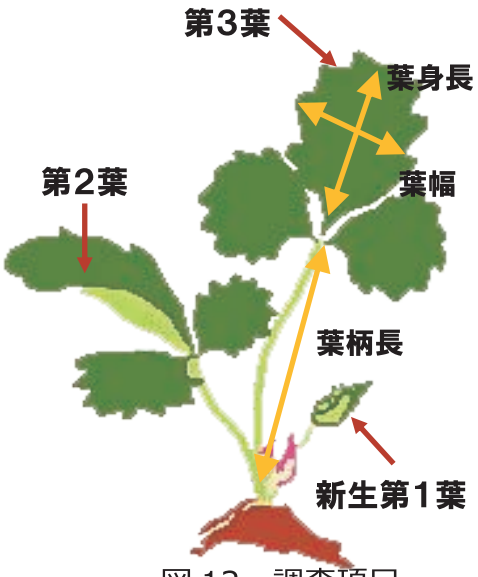


図12　調査項目

2　生育調査項目

項　目	調査基準	調査	単位	調査最少桁
葉身長	・第3葉の中心小葉を計測 ・葉身の長軸を、葉を伸ばした状態で定規により計測	測定	cm	0.1
葉　幅	・新生第3葉の中心小葉を計測 ・葉身長に垂直な短軸の長さ。葉を伸ばした状態で，定規により計測	測定	cm	0.1
葉柄長	・新生第3葉の葉柄を計測 ・葉耳から小葉着生点までの長さを，定規により計測	測定	cm	0.1
出葉数	基準に従い、新生葉1枚目を決定する(調査株数 ハンモック方式16 株、ピートバッグ方式16 株)。 ・新生第3葉にマーク(マジックまたはカラータイ)する。なお、3週間に1回程度マークを更新する ・原則1週間隔で調査(+7、+14・・・・)を実施し、葉枚数が例えば0 から1 葉増加したら1、もう1 葉増加したら2と記入する ・芽数は原則2芽以内の管理とし、メインの芽(大きい方等)を決めて調査株とする	測定	枚	1
開花株率	・第1果房以降、各果房の頂花開花株数を調査 ・調査日ごと開花を認めた株数を、調査対象の全株数で除して株率を求める	測定	%	0.1

令和３年度～５年度

データ駆動型農業の実践・展開支援事業

（データ駆動型農業の実践体制づくり支援）