

1. スマートグリーンハウス導入のポイントと展開への考察

1.1 スマートグリーンハウスの基本

農研機構 野菜花き研究部門 東出 忠桐

はじめに —スマートグリーンハウスとは—

近年、異常気象が多発したり、エネルギーや各種資源が高騰したり、入手困難となったり等、予期せぬ問題が施設園芸に降りかかる。また、後継者の不在や労働力の不足から産地の存続が危ぶまれたり、物流の2024年問題が差し迫ったり等、継続中の数々の問題もある。これらの問題に対し、多くの施設園芸関係者は、経験と勘だけで対応するのは難しいと感じているところである。そこで期待されているのが、スマートグリーンハウスである。「経験と勘」を「データ(数値)と科学技術」に置き換えることで、長年かかった技術取得を短縮し、さらに高いレベルに応用できる可能性を持つ。

本事業では、スマートグリーンハウスの定義を、「各種データ(需要、環境、植物生育、作業、収量、販売等)を活用し、自動化や省力化も進め、生産性や収益性の向上を目指す施設園芸」としている。データを得るためにはセンサ等の計測設備が必要であり、必然的にこれらを備えた施設がスマートグリーンハウスとなる。センサ、その他の記録や調査から得られたデータと、生育や経営にあらわれる結果について、因果関係を解析・利用することがスマートハウスの目標となる。

(1) 活用するデータの種類

施設園芸で利用するデータには、環境データ、機器データ、生育データ、栽培管理データ、作業・労務データ、経営・経済データがあり、多種多様である。環境データとしては、温室内外の環境条件、すなわち、温度、湿度、CO₂濃度、光等があり、機器データとしては、各機器の設定・作動状況、換気窓や暖房機の設定温度、細霧稼働湿度、換気窓やカーテンの開度、暖房機のON/OFF等の作動時刻等がある。生育データとしては、葉数、着果数、伸長量、収量等があり、栽培管理データとしては農薬散布、肥料や資材の利用記録が相当する。作業・労務データとしては、作業の進捗状況、勤務開始終了時刻、作業工程(整枝、誘引、収穫等)に対して何人が何時間かかったか等がある。これらのデータは、資材費、労働コストおよびエネルギーコスト等の支出に関係し、販売量、生産物単価、売り上げのような収入に関するデータと合わせて経営・経済データとなる。

これらのデータのうち、スマートグリーンハウスにおいて最も関心が高いと思われるのが環境データである。主な環境データとしては、光、CO₂濃度、温度、湿度がある。作物の光合成に好適な環境を与えることや生育をコントロールすることが環境制御によって可能となる(Higashide, 2022)。表1に環境データを利用するための要素ごとの特徴や作物への影響を記載する。環境制御によって作物をコントロールできることは、稲作や露地栽培のような他の農業に比べ、極めて有利な点である。

表1. 環境要素ごとの生育への影響と活用のポイント(東出, 2023より作表)

要素	ポイント
光	作物の収量に直結する最も重要な要素。天候に大きく左右され、日により季節により増減が大きい。日積算日射が20MJ/m ² 以上となる晴天日もあれば、その1/10以下となる雨天日もあり、太陽光を制御することは難しい。作物にいかに多くの光を吸収させるかがポイントである。遮光カーテンによって光を制御する場合には、外部日射が一定以上の場合のみ利用し、外部日射が低下したらカーテンを開放すべきである。作物に到達する光の減少を最小限にすることが重要である。作物による光吸収を増やすには、作物の葉面積を適正(少なすぎず多すぎず)に管理することも重要である。
CO ₂	光の次に収量への影響が大きい要素。昼間の施設内では、作物による光合成によってCO ₂ が消費されるためCO ₂ 濃度は低下する。CO ₂ 施用する場合、CO ₂ 濃度をセンサで常時、計測し、設定値以下になった場合に供給して不足分を補う。冬季のように換気窓が閉まっている状態では内部のCO ₂ 濃度だけを考慮してCO ₂ 施用機を制御すればよい。一方、換気窓を利用する時期には、外部へのCO ₂ 流出を考慮する必要がある。窓開度や稼働頻度に応じて設定濃度を変更して効率的にCO ₂ を施用する。
温度	温度は、適正範囲であれば作物の収量にはあまり影響しない。トマトの場合、我が国で商業的な生産が可能な温度範囲は日平均気温で18～26℃である。温度管理としては、まず、日平均気温を目安に考え、最高気温や最低気温が多少、増減しても神経質になる必要はない。温度制御の主役は換気窓である。換気窓でコントロールできない場合に暖房機やヒートポンプによって温度制御を行う。通常、暖房機、ヒートポンプおよび保温カーテンは換気窓を閉めた状態のときのみ稼働させる。温度制御により作物の生育スピードがコントロール可能である。葉の展開を温度制御により促進させて受光量を増やせば、間接的に収量増加を狙うことができる。生育スピードのコントロールには高度な知識と技術が必要であるが、この技術を駆使すれば、栽培管理や経営の大きな武器となる。
湿度	園芸施設では、昼間は低湿度、夜間は高湿度となることが多い。昼間に低湿度となるのは、日射によって施設内の気温が外気よりも高くなりやすく、それを換気窓で調節するためである。昼間には、相対湿度が30%以下となる場合も頻繁に起こり、作物が萎れる場合もある。湿度センサにより連続的に計測を行い、設定以下になったときに細霧システムを利用することで湿度を制御することができる。最近では、飽差を目安として湿度制御を行う場合も多い。相対湿度であっても飽差であっても、作物ごとに適正範囲を理解し、その範囲になるように制御する。しかしながら、作物の生育や収量に対する湿度、飽差の影響については、十分に定量化されているとはいえない。現時点では、相対湿度や飽差をどう管理したら収量にどう反映されるかを把握することは難しく、湿度制御の効果が必ずしもみられるわけではない(東出ら、2022)。

(2) データ活用の流れ

データ活用は、まず、①データを収集してみえる化すること、次に②データどうしを比較すること、さらに可能であれば、③データとデータを紐づけること、最後に④これらを栽培管理や経営に反映すること、の4つのステップで行うのが一般的である。

①データ収集とみえる化として、環境データについては、多くのモニタリング装置や環境制御装置で自動計測され、パソコンやスマホでみえる化されている。数年もすれば大量のデータが手元に集まるが、現状では有効に利用するのは簡単でない。そこで、②データを比較して、どこに特徴があるか何かに利用できるのか等、を考える必要がある。

②データの比較では、自分の施設の環境データ等を他者のデータと比較することで、栽培管理や環境設定の違いを発見する。データの比較にはデータ共有が必要であり、自分のデータを提供し、他者のデータを閲覧する。これには、相手が必要であるため産地内や生産者間で連携する。連携の形には様々あり、生産者、営農指導員あるいは普及員がキーパーソンとなりスタディクラブを形成する場合、産地の生産者部会が県やJAや民間企業を含めて連携する場合、先進的な生産者が地域を超えてネットワークを形成する場合等がある。データの共有には、同一のモニタリング装置を利用するのが、現状では一般的である。しかし、機器間でのデータ連携が進められており、将来的には異なるメーカーの機器でもデータ共有が可能になるとみられる(農研機構, 2022)。

このようなデータ比較の目的は、③データ間の紐づけにある。気温と障害の発生との関係や、CO₂濃度と収量および生育と間の関係が紐づけられていれば、その後の栽培管理等に利用できる。環境制御データと生育データの紐づけは個々の経営レベルでは難しい点も多い。そのため、産地内や複数の生産者間で対応するのが一般的である。しかしながら、科学的に紐づけされている現象は明確でなく、試行錯誤でデータ活用がなされているのが現状である。

データ活用の最終目的は、④データを栽培管理や経営に反映することである。このとき重要なのが、データ取得から栽培管理等に反映するまでの時間である。この時間が長いと大量にデータが蓄積されるばかりで、有効活用が難しくなる。現状は、環境モニタリングはやっているものの、栽培管理や経営に活かされていないことが多い。データが貯まれば貯まるほど、整理や解析に時間がかかり、ますます活用できない、といった悪循環に陥る場合は多い。先に述べたように、現状では環境データと生育データの科学的な紐づけは不十分であり、試行的に栽培管理に反映させてみる人が多いと思われる。データをうまく素早く活用するには、まだまだ工夫が必要であると思われる。

(3) 先進事例にみるデータ活用のポイント

上記のデータ活用のステップ②～④ごとに、先進事例からみたポイントを紹介する。②データ比較を行うための枠組みとして、まず、スタディクラブがあげられる、宮崎県のラプター会は、キュウリ生産者によるスタディクラブである。会員間でデータを比較して、環境制御によるキュウリの収量向上に対し、試行錯誤で成果を上げてきたスタディクラブの先駆者である。群馬県の節なり会もキュウリのスタディクラブである。環境データや出荷量を共有、比較しつつ、LINEのアンケート機能により樹姿を見る目を養う。JA西三河きゅうり部会においても、選果機のデータを部会や個人の生産者に還元し、環境データを部会内でデータ共有して利用する。福岡県のJAみなみ筑後瀬高なす部会では、生産者部会が県、JA、民間企業と連携する。環境データを共有するあぐりログ研究会を設けるだけにとどまらず、労務管理アプリ、出荷予測、LAI計測その他の先進的な取り組みが行われている。以上は産地における取り組みであり、たくさんの生産者間でデータを比較できるメリットがある。一方、産地でなくても、データを比較検討している生産者も多い。岩手県のいわて若江農園では、社員によるきめ細やかな生育調査とPCIによる解析管理が植物管理の向上につながる。週1回、社員らと地域の普及員による勉強会を開催し、技術向上に結び付ける。また、スマートグリーンハウスAWARD2023優秀賞を受賞した高知県のせんとうふあーむは、中山間部に分散した施設でUECSによる環境制御システムによる低コスト化を図りつつ、ナスを生産する。近隣のナス生産者の分ち合ふ農園らとデータ比較を行いつつ、規模拡大を進めている。

③データ間の紐づけの事例として、ラプター会の山ノ上農園では、光合成量のリアルタイム把握に取り組んでおり、収量との相関解析や基底温度等、難解な概念も利用して栽培改善に臨んでいる。節なり会では、環境データや出荷量の共有だけでなく、技術レベルの高い生産者を交えて、月1～2回の現地研修を実施し、互いに意見を言い合い、褒められる関係が、技術向上につながっている。JA西三河きゅうり部会では、販売面についてはJAが担っており、部会の生産者は栽培技術の向上に専念できる体制が個々の生産者の収量アップにつながる。同部会では施設園芸向けのスマート農業技術のほとんどすべての技術やサービスを試験導入しており、データ間の紐づけに取り組んでいるところである。JAみなみ筑後瀬高なす部会では、環境制御データに加え、専門書(中野ら、2020)を活用して、従来の環境制御の迷信から脱却しており、短期間で収量向上を達成している。

④データの栽培管理や経営への反映の事例として、JA西三河きゅうり部会では、選果機の画像から曲がり等を検出し、統計的データとして利用し、それぞれの生産者の品質向上につなげている。しかしながら、全国的にみれば、データの栽培管理や経営への反映には、まだまだ試行錯誤が多い。節なり会では、促成＋抑制の作型で10a当たり40tを出荷する高いレベルの生産者が複数存在する。20～30歳代の新規就農が年に2～3名あるが、就農から数年でベテランよりも高い収量を達成する就農者がいる。このことから、経験年数が短くても、**データ活用が優れていれば、短期間に技術向上が可能だ**といえる。

上記で取り上げた事例においては、いずれも**指導者の役割**が大きいのがポイントになる。指導者としては、産地内の先進的な生産者が担うことが多い(ラプター会、JA西三河きゅうり部会、JAみなみ筑後瀬高なす部会、いわて若江農園、せんとうふあーむ、分ち合ふ農園)。一方、節なり会では、近隣のベテラン生産者を指導者として招いている。また、地域の普及センターやJAの技術指導やサポートが大きいことが多いのもポイントの1つである(ラプター会、節なり会、JA西三河きゅうり部会、JAみなみ筑後瀬高なす部会、いわて若江農園)。さらに、上記事例の指導者は、いずれも、従来の経験重視の観点ではなく、**工学的な視点でデータ活用**に取り組んでいる。事例であげた指導者には、工学やICT等の異分野から施設園芸に参入しているものも多いが、生産者であっても工学的視点を持つものも多い。このような姿勢がデータ活用の成功の秘訣であると思われる。また、成功事例に共通する視点としては、**社員・従業員を尊重する視点**があげられる。データを用いた労務管理による効率化に取り組むだけでなく、コミュニケーションの充実、休暇の増加等、今後の雇用経営において重要となる取り組みが検討・実行されている。

(4) データ活用の問題点と課題

データ活用の問題点の1つに、生育データの収集がある。生育データは、**手作業によって作物を調査し、記録し、パソコン等へ入力しなければならない**。一方、現状では環境データと生育データが必ずしも紐づけされていない。このため、せっかく生育データを集めてもうまく活用できない場合も多い。経営者としては、生育調査を行うことが、手間や人件費に見合う価値があるか、を判断しなければならない。最初は期待して生育調査に励んでいたが、そのうちに調査自体をやめる場合も多い。先の事例においても、生育データの取得については、メンバー全員に理解してもらうのは難しいようである。

また、生育データの取得は手作業で行うこともあり、調査結果の**取りまとめと反映までに時間を要する**。調査から取りまとめまでに時間が空きすぎると、そのデータが何に影響したかを解明するのは難しくなる。そのうち、データが活用されなくなり、生育データの取得を止めてしまうことも多い。

このような問題点を解決するには、生育データの取得の自動化およびデータ間の紐づけの高度化が必要である。前者については、葉面積等の生育データを画像から取得する取り組みが複数取り組まれている。後者については、環境を入力すると生育をシミュレーションできる生育予測ツールが開発されており、まもなくサービス化されると思われる。これらのスマート技術が、わが国の施設園芸をますます発展させるものと期待する。

Higashide, T. 2022. Review of dry matter production and growth modelling for yield improvement of greenhouse tomatoes. Hort. J. 91:247-266. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-R019>

東出忠桐・小田 篤・安 東赫・後藤一郎・藤尾拓也・鵜生川雅己・相山幹司・山崎浩実. 2022. 環境制御下のキュウリの短期栽培における収量に対する気象要素の影響. 園学研. 21(1), 17-25.

東出忠桐. 2023. ス マートグリーンハウスの基本. 令和4年度スマートグリーンハウス展開推進事業報告書(別冊2) ス マートグリーンハウス転換の手引き 7-11. 一般社団法人日本施設園芸協会

中野明正・東出忠桐・松田 怜. 2020. エペ・フウーヴェリンク著 Tomatoes 2nd Edition トマト100トンどりの新技術と理論 ―低投入多収をめざして―. 農文協.

農研機構. 2022. 農機OpenAPI(施設園芸機器_環境データ編) (1.0.1) https://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/iam/API/yaml/spec_wg3_swagger.html

1.2 スマートグリーンハウスの販売力向上の取り組みについて

～2023年スマートグリーンハウス全国事例調査からわかったこと～

オイシックス・ラ・大地株式会社 阪下 利久

はじめに

本年度はスマートグリーンハウスのうち、とくに次世代施設園芸拠点のその後の販売力向上の取り組みについて調査することができた。スマートグリーンハウスのみで構成される次世代拠点の強みは共通しており、「高品質・周年安定供給」が可能なことで、これは小売り側のニーズに合致しているため、市場を通さず、直接取引を行っている拠点多かった。さらにスマートグリーンハウス全体を見渡すと「高付加価値商品化と有利販売化」で収益を確保するケースが目立っている。これは光熱費や人件費といったコストの増大が顕著であり、収益確保への対応策になる。さらに社会問題化した「物流2024年危機」から輸送コストの上昇および到達日数の増加が顕著となり、地域内での販売に注力するケースが多くなってきた。もはや価格に見合う高品質さを求める消費者市場と高コストな生産環境に対応するためには、規格大量生産だけで農場が成り立つ時代ではないのだ。

こうした背景の中、調査した各次世代施設園芸拠点毎（北海道、静岡、愛知、兵庫、高知）に、収益力向上に向けた販売力向上の取り組みについて報告する。

(1) 北海道拠点

北海道拠点は、稼働当初からショートケーキ用のイチゴを生産しており、単価は安定していた。冬春期に「よつぼし」をはじめとした新品種を栽培し、2作型としていた。

しかしながら、冬春作は以下の問題があった。

- ①光熱費がかさみ、生産コストに合わないこと
- ②競合産地と比較し、輸送コストがかかること

そこで北海道拠点では生産の重点を、安定したニーズがあり、単価が高く、競合産地の少ない夏秋イチゴにシフト（品種は「すずあかね」）させることにより、大きく収益力を向上させた。また選果装置を新しい機器に入れ替え、傷みを減少させつつ、効率も大きく向上させて対応した。こうした努力が顧客満足と収益力向上ひいては販売力向上につながっている。

(2) 静岡県拠点

静岡県拠点は「アメーラ」ブランドのトマトを生産しており、従来から市場の評価が高く、高単価で取引されている。元来静岡平野で生産が始まり、その後夏秋作で冷涼な長野県の高原地帯へも進出、そして周年安定供給体制を確固とするために準高原地域の小山町、すなわち次世代園芸静岡県拠点へ進出した。併設した「苗テラス」による育苗と、低段密植方式を栽培の核として導入しており、その運用技術レベルは極めて高いことレベルなのが特徴である。この拠点は新しい技術を生かしながら、類まれな栽培技術力の向上力を有しており、結果として品質の高さを維持・向上させ、高い市場評価を得ているが、これは緻密な戦略があつてのことで、一朝一夕でキャッチアップできるものではない。静岡県拠点は、農場本体のブランド力と販売力があるため、複数拠点展開による周年高品質安定供給化により、ブランド維持力を果たしているのだ。

さらに2019年から欧州市場を狙い、徹底したマーケティング戦略を立て、輸出ではなく、スペインへ生産進出を果たし、現地市場で好評を得て高単価販売を達成している。その様子は以下の書籍に詳しいのでここでは割愛するが、日本であれ、欧州であれ徹底した市場調査からスタートし、卓越した高品質な商品で現地のスタッフとともにブランドを練り上げていく様子は、全ての農業者にとって素晴らしいお手本である。



図1 アメーラトマトのブランド戦略をレポートした「世界で勝つブランドを作る」
(岩崎邦彦著、日本経済新聞出版、2021年)

(3) 愛知県拠点

愛知県拠点は農業総合支援企業・イノチオグループが運営する農場である。その背景から卓越した生産技術を有し、グローバル G.A.P.も取得するなど、流通側から見ても「選ばれるべき」優良な農場なのであったが、販売は当初から卸業者に任せる部分も多く、販売会社も設置していたものの、営業力がないため有力な販売先が見つからず、大量に在庫ロスが発生するなど、販売の苦戦が収益悪化に結びついていた。つまり、そもそも販売力がないことが問題であった。対応策としては、販売会社を生産会社である「イノチオみらい」に吸収し、生産側が販売に直接関与して、入念な市場調査と小売りとの直接的なコミュニケーションを図りながら、販売力を強化することにした。

結果として、この組織変更が功を奏し、大手スーパーA社との直接契約へ発展し、現在ではA社系列の中部地区の多くの店舗以上で販売を行うに至った。こうして、ようやく収益をプラスに転じることができた模様だ。

さらに愛知県拠点では、高付加価値化を目指し、機能性表示食品「野菜で元気GABA」ミニトマトを開発して好評を得ている。こうした努力が実り、本年度はさまざまな部門で公的な表彰を受けるに至っている有力農場へと成長を遂げている。特徴のある商品を有することは、営業面で大きなプラスであり、中でも機能性食品は現代の有力な活路のひとつである。



図2 愛知拠点の機能性表示食品「野菜で元気GABA」ミニトマト

(4) 兵庫県拠点

兵庫県拠点は山梨を拠点にして大手流通各社へと販路をもつ、サラダボウルグループの農場である。サラダボウルは東北から九州まで7つのスマートグリーンハウスを運営している有力なグループであり、これらの農場は栽培施設や栽培技術の標準化に取り組み、またソフト面は同じ経営理念と人的評価システムおよびG.A.P.を元に画一的な運営を行っており、相互で密接に情報交換を行っている。

販売については「天然水トマト」というブランドを冠して周年安定的に全国の手スーパーで販売しており、基本的には地域内の農場が出荷を担当するが、商品が不足するときは兵庫拠点の生産物を関東で販売することもある。

つまり、形態としては食品メーカーと同様であり、流通側から見ればもっとも理想に近い農場グループが兵庫県拠点を有するサラダボウルグループと言え、棚を入れ替える必要がないのは小売りだけでなくむしろ農場にとってプラスである。なぜなら基本的に小売業の棚というのは「椅子取りゲーム」であるから、出荷物がないと、次に並んでいる他社が入ってしまうもので、この部分を理解していない生産者や関係者が多く、棚を維持しつづける仕組みがあるのは農場にとってもプラスなのである。



図3 サラダボウルの運営農場



図4 サラダボウルのブランド「天然水トマト」

(5) 高知県拠点

高知県拠点はカゴメ生鮮トマトのOEM供給を行ってきた「四万十みはら菜園」、「ベストグロウ」と、地元独立資本の「四万十とまと」の3社・3農場からなり、近隣には県の農業担い手施設や、育苗施設である「四万十あおぞらファーム」も併設している。

まず、販売強化策として、四万十みはら菜園、ベストグロウは、カゴメ1社から、四国内外スーパーや仲卸など新たな取引先を増やしている。また品種は大玉やミニトマトまでニーズの高い品種を生産し今後も取引先との信頼関係を第一に、自ら販路を開拓し、自社商品展開を行う予定であるという。

一方、「四万十とまと」は、当初自社ブランド化を目指し、付加価値の高い高糖度トマトの生産を行っていたが、現在では大手外食S社のサラダ用のトマトとパプリカを生産している。S社との取引は、食品安全面でのハードルは高いものの、単価や規格は非常に融通がきいた契約となっており、取り組むに値するものと思われる。次世代拠点の中でも宮城県拠点も大手外食L社との契約栽培であり、高品質大量生産向きのスマートグリーンハウスとの相性がよく、収益を改善するのにより事例である。



図5 高知県拠点の「KAGOME 高リコピントマト」

まとめ

次世代拠点の販売力向上の取り組みについては、以下の特徴がみられた。

- ・高糖度高品質トマト生産による自社ブランド化
- ・トマトの機能性食品化
- ・大手外食・流通とのパートナーシップ

つまるところ、次世代拠点は、その生産量の多さ、生産性の高さによって市場を占拠するのではなく、むしろ高品質生産・高付加価値化販売に活路を見出すケースが目立っている。成功した次世代拠点はここ数年で大きな経営判断を行い、これからも次世代拠点は日本農業のひとつの有力なモデルとして、地域のお手本として成長を遂げていくものと思われる。

1.3 スマートグリーンハウスにおける作業データの活用について

—株式会社いわて若江農園と絹島グラベルにおける取組—

農研機構 田口 光弘

はじめに

近年、作業データを簡易に収集する「営農管理システム」を利用する経営体が増えてきている。営農管理システムにより、作業別にどの程度時間がかかっているのかといった実態把握は以前よりも容易になった一方で、収集した作業データを経営管理の中でどのように活用したらよいのかといった意見も聞かれる。そのため、本稿では、収集した作業データを適宜集計・加工することで経営管理に活用している2つの先行事例を取り上げ、その取組内容を説明する。

第一の事例として、既存の市販されている営農管理システムでデータを収集し、それら収集したデータを独自に作成したエクセルのマクロを使って、経営判断に利用しやすいよう加工・利用している「株式会社いわて若江農園」を取り上げる。第二の事例としては、自ら営農管理システムを開発し、システムの市販も行っている「絹島グラベル」を取り上げる。

(1) 事例紹介: 株式会社いわて若江農園

1) 経営概要と作業データの収集方法

株式会社いわて若江農園(以下、若江農園)は、岩手県盛岡市で70a(鉄骨ハウス、パイプハウス)の施設でトマト(大玉、ミニ)を栽培している。創業は2009年で、現在は役員2名、社員3名、パート従業員13名で運営されている。経営主は、就農前は自動車メーカーに勤務しており、その前職時代の経験も踏まえて、作業管理を行っている。

若江農園では、当初は紙媒体や 구글 フォームで作業データを収集していたが、2017年からアプリ「畑らく日記」で作業データを収集するようになった。データの入力項目は、①日にち、②作業者名、③ハウス名、④レーン番号、⑤作業名、⑥当該作業の開始時刻、⑦備考欄(収穫量などを記載)である。現在は、従業員全員がスマートホンを所有していることから、各自スマホに当該アプリを入れてもらい、個人のスマホで入力している。なお、一日の中で作業が変わる際には、新たな作業名を選択し、アプリの「開始」ボタンのみ押す(終了は押さない)ことにしている。そして、休憩に入る時は「休憩」という作業を選択し、一日の最後に、「作業終了」という作業名を選択することで、一日の就業時間もあわせて把握可能となっている。

作業データを収集し始めた目的は、第一に、作業別・時期別の所要時間(必要人員数)を把握したいという考えからである。第二に、上記所要時間を算出する過程で、作業者別の作業速度(パフォーマンス)もあわせて把握することも目的としている。

2) 収集した作業データの活用方策

1. 作業計画の作成と作業進捗管理

若江農園では、収集した作業データを週単位(勤務日:月～土曜)で作業別に整理している。そして、そのデータをもとに、作毎の「定植時期」や「面積」に応じて、次作の必要人員数・作業時間数を週単位で計画している。これら計画された週単位の必要人員数・作業時間数に対して、作が開始されたら実際に出勤者調整を行っていくことになるが、若江農園では、毎月25日に翌月分のシフト希望が提出される。そして、出勤予定と作業量見込みをもとに、人員が不足しそうな場合には、個別にお願いして出勤日の調整を図っている。

日々の作業指示は、前日の夕方に、経営者と農場長で協議し、翌日の作業割振・指示をシステム(エクセルマクロ)上でやっている。これら日々の作業指示の記録は、人別に、エクセルのシートを分けて、自動的に記録されるようになっている。

作業進捗については、レーン単位で把握している。鉄骨ハウスでは、柱に番地を設定・記載しており、レーンの途中で作業が中断となった場合には、データ入力の⑦備考欄に番地を記載する。パイプハウスでは、番地を設定していないが、最後に作業したトマトに目印として札をかけておき、次に作業に入る人が一目で分かるようにしている。

作業が予定より遅れているか否かを一目で分かるように、システムの画面上を色で判別できるようにしている(図1)。進捗状況は、「まだ予定時期ではない」「適期」「やや遅れ」「遅れ」の4段階に分かれ、「遅れ」は赤色で表示される。ここで、遅れなどの判定は、前回の作業日から何日経過したかで判定されており、葉かきや芽かきなど主要な管理作業は時期別に作業のインターバル日数をシステム上に設定し、そのインターバル日数より3日以上経過した場合には遅れと判定される。

こうした緻密な作業計画の作成と進捗管理は、作業遅れや、余剰の人員配置を回避するために必要であり、適切な人員数で適切に作業を進めることが、収量面および費用面で重要な要素と言える。

	誘引	つる下げ	芽欠き	葉欠き	花カス	摘芯	果梗除去	摘果	除草
東棟									
中棟B区									
中棟C区									
連棟									
農協									
西棟									

図 1 システム上における作業進捗状況の表示

2. 作業者別の作業速度の把握

作業速度は、管理作業については、鉄骨ハウスとパイプハウスとで、レーンの長さが異なることから、各レーンの栽植本数を入力し、「1本当たり何秒かかったか(秒/本)」で算出している。

一方、収穫作業については、1分当たりの収穫量(kg/分)で算出している。なお、収穫については、個人別に速度を算出しておらず、例えば、3人で1時間、180kg収穫したとすると、収穫延べ時間は180分であることから、1kg/分として計算している。

こうして得られた作業速度データをもとに、作業別に目標速度を設定し、それを帳票に表示している(図2)。この目標値は、特に経験が浅い方にとっては、一つの作業目安となっている。目標値を設定している作業は主要な5作業(収穫、誘引、つる下ろし、わき芽かき、下葉かき)であり、ハウスの構造によって作業速度も変わることから、ハウス別に速度の目標値は変えている。

また、作業者別の作業速度の実績は、人事評価の指標の一つとしても使用している。若江農園では、こうした人事評価の結果は時給水準に反映させている。

収穫管理 (2023年11月)					
園場(中棟)		品種(大玉)		②目標収量 101 kg	目標作業速度 1.0 kg/分
日	収量 実績 kg (1)	収量 達成度 ○: ①>② ×: ①<②	収穫 時間 実績 (3)	作業速 度 kg/分 (1/3)	評価 ○: 目標達成 ×: 目標未達
1日(水)	8/8	×			

図2 目標作業速度が書かれた収穫管理表

(2)事例紹介: 絹島グラベル(長嶋智久氏)

1) 経営概要と作業データの収集方法

絹島グラベルは、栃木県宇都宮市で57aのハウスで、トマトを中心に栽培を行っている。創業は2006年で、代表の長嶋氏と奥様、およびパート従業員4名で運営されている。

絹島グラベルでは、これまで市販されている営農管理システムを利用していたが、費用面がネックとなり利用を中止し、その後、手書きの帳票で作業記録を収集していた。しかしながら、その記録をパソコンに入力する時間が負担となったため、長嶋氏の前職であるパソコン販売事業の経験を活かし、長嶋氏自身で営農管理システムを作成することとした。

開発に着手して約1年後に、営農管理システムASHIGARUWAREを完成させ、現在、ASHIGARUWAREは設立した合同会社ノートク・バンガードデバイスにおいて販売している。ASHIGARUWAREはWebアプリであり、データの入力項目は、作業者別に自身のIDでログインし、①ハウス名、②作業名(図3)、③当該作業の開始時刻、④作業量(kg数、コンテナ数など)を入力する。そして、当該作業が中断する際は「中断」ボタンを、完了する場合は「完了」ボタンを押す。ここで、個人別の作業量は、収穫作業においては、コンテナ数やkg数で入力し、芽かきや誘引などの管理作業は、作業した距離(メートル)やレーン数で入力する。

Laborcreate

no message!

最初から入力をやりなおす

作業を選んでください

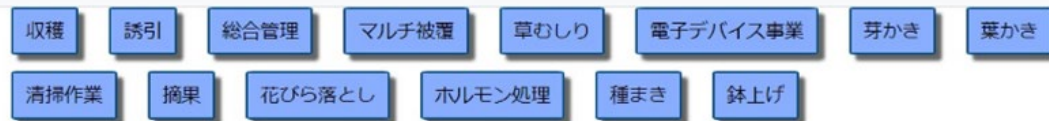


図 3 ASHIGARUWARE における作業名入力ページ

2) 収集した作業データの活用方策

1. 作業進捗管理

絹島グラベルでは、収穫、芽かき、ホルモン処理などの作業は、前回いつ作業したかという過去の記録をもとにこれら作業の次の作業日を決めている。また、従業員が急に欠勤した時は、その従業員が昨日行っていた作業の進捗状況をASHIGARUWAREで確認できるので、もし担当作業が完全に終わっていなかった場合には、作業の続きを本日やるか否かをまずは検討している。

なお、絹島グラベルは、ハウスが2か所に別れていて、第1圃場と第2圃場のそれぞれにリーダー（パート従業員）を配置している。各エリアにおける日々の作業内容は、それぞれのリーダーがASHIGARUWAREでの作業記録をもとに決めており、作業内容の決定の際に困ったことがあれば、長嶋代表も交えて検討している。

2. 作業者別の作業速度の把握

絹島グラベルでも、作業速度については、農場としての目標値を設定している。そして、ASHIGARUWAREでは、ログインすると、最初にログインユーザーの収穫速度に関する目標達成率が表示されるようになっている。このような表示形式にしたのは、目標達成率は「自分に自信を持てる」情報であり、働きがいに繋がる情報だからである。なお、こうした個人別の作業速度や目標達成率は、現時点では人事評価には連動させていない。

3. ハウス別の品種・栽培方法の検討

絹島グラベルでは、ハウスごとに異なる品種を栽培しており、収穫に要した時間および収穫量、さらに収穫以外の作業時間をハウス間で比較することは、次作の品種選定において有効な検討材料となっている。

検討の仕方としては、ハウス別に作業別の時間内訳を見る(図4)。その際に、他のハウスに比べて、特定の作業が多いハウスにおいては、なぜ時間を要しているのかをパート従業員も交えて検討している。基本的に、収穫以外の時間が多いハウスについては、なぜそのような事態になってい

るのかを突き詰めるようにし、収穫以外の時間が多くなってしまうような品種や栽培方法は、次作では基本的には変更するようにしている。

エリア別労務データ 集計期間 11月01日 - 06月30日



図 4 ASHIGARUWARE におけるハウス別の作業時間比較

おわりに

以上、本稿では、2つの事例での作業データの収集方法およびその活用方策について、具体的な取組内容を見てきた。2事例ともに、収集している作業データの内容は、作業者、作業名、作業しているハウス名、作業の開始・終了時刻、作業量であり、これらのデータを集計・加工して、時期別・作業別に必要な作業時間数や作業者別の作業速度を把握し、精度の高い作業計画（および要員配置計画）の作成や作業進捗管理、作業速度の底上げ、人事評価などに活用していることが明らかになった。

施設園芸は、現時点では基本的にすべての作業は人力が主であり、雇用労働力を過不足なく配置することが作業遅れ回避のためにも、人件費抑制のためにも重要である。そのためには、作業データをきちんと収集し、どの時期のどのような作業に時間を要しているのか、また自社農場の従業員の作業速度は平均的にどの程度か、また全体的にどの程度速度のばらつきがあるのかを把握することが必要である。データの収集・集計が容易な営農管理システムにより、これらの事項の把握は以前より容易になっており、経営管理の中で営農管理システムを活用する経営体が今後増えていくことが期待される。

1.4 スマートグリーンハウスにおける高温対策

東海大学名誉教授 林 真紀夫

はじめに

この数年、生産現場において、高温期の高温対策(暑熱対策)が喫緊の課題になっている。昨今の猛暑による異常高温や、換気窓への防虫ネット設置に伴う換気量低下によって、室温が40℃を超えることも珍しくなくなっている。こうなると、作物の栽培適温を大幅に超えることになり、収量・品質の低下や、病害虫の発生を招く。さらに、作業者にとっても過酷な労働環境を強いることになり、パート従業員に頼る生産施設では、雇用確保にも影響する。このため、高温期の栽培作型では、高温対策が必須事項になっている。現地調査での高温対策技術動向を含め、概説する。

(1) 高温対策手段の分類

表1に高温対策手段の分類を示す。昼間と夜間で対策手段が異なる。昼間は換気を高めることが基本である。より積極的な手段をとるなら遮光、さらには冷房(蒸発冷却法)を利用する。日射負荷の大きい昼間のヒートポンプ冷房は、コスト的に無理があるが、夜間は可能となる。

表1 夏期の高温対策手段

対象	大分類	中分類	小分類	昼間	夜間
地上	換気	窓換気(自然換気)	換気促進 開口面積増大・一屋根開放型 天窓位置(棟高)を高く	○	○
		換気扇換気(強制換気)	排気式、吹込式(外気導入)	○	○
	遮光	外部遮光	遮光資材、近赤外線カット資材	○	-
		内部遮光	遮光資材、近赤外線カット資材	○	-
		塗布剤	近赤外線カット塗布剤(遮熱剤) 遮光剤	○	-
	冷房	蒸発冷却法	細霧冷房	○	△
			パッド&ファン冷房	○	△
		ヒートポンプ	外気冷熱源、地下水冷熱源	△	○
		地下水利用	熱交換冷房、屋根流水	△	○
根圏	冷却	ヒートポンプチラー	培地冷却、養液冷却	○	○
		地下水利用			

高温対策手段の大半は、温室構造や設備による対策となるため、建設時の対応になる。このため、建設時に対策手段を決定し、組み込んでおく必要がある。設備導入にあたっては、投資を必要とするので、投資効果の見きわめが必要となる。建設後の追加改修は、栽培への影響や経費増につながるので、設計段階で十分に検討することが肝要である。ハウスの設備改修をとまなわない対処法としては、遮光塗布剤(遮熱剤)利用や、カーテン張替え時の遮光資材の種類変更くらいで、選択肢は少ない。

(2) 換気改善技術

我が国における園芸施設では、窓換気(自然換気)が全体の約8割強で、換気扇換気(強制換気)は2割弱である。窓換気の割合が多いのは、運転コストがかからず、大型施設でも利用し易いなどの利点があるためといえる。他方、換気量が屋外風速や内外気温差に左右されるというマイナス面もある。

図1に示したように、換気率がある数値以下になると、温室内外気温差は急激に増加するので、それ以上の換気率を得ることが望ましい。ここで、換気率とは換気の多少を表わす指標であり、単位時間・単位床面積あたりの換気量(単位は、 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)のことである。換気回数(=換気量/温室容積、単位は h^{-1})を用いることもある。

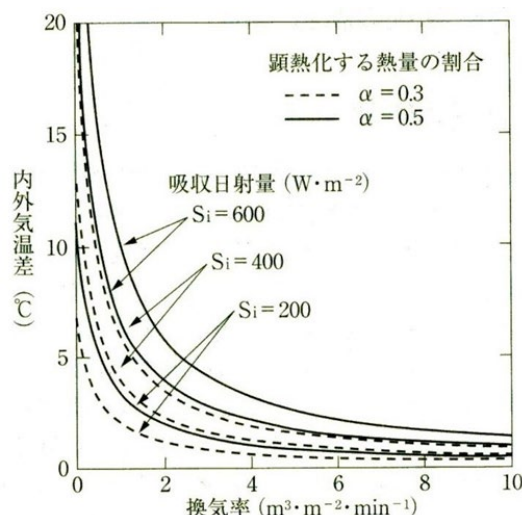


図1 換気率と温室内外気温差の関係(岡田、1986)

Si: 温室内吸収日射量、 α : 顕熱化する熱量割合

1) 換気窓面積比の増大

換気率が無限大になれば、室温は外気温まで低下する。自然換気での換気率を増大するためには、換気窓面積比(窓開口面積/床面積)を高めることが第一である。両屋根型温室では天窗の開口幅(開口面積)を広める、フィルム巻上式の丸屋根型ハウスでは谷部や側壁の巻上幅を広める、などである。ただし、窓面積比を高めることは、建設費の増加にもつながるが、長期的視野に立って判断すべきである。

図2は、1期工事の建設ハウスで高温化が課題となったため、2期工事の建設ハウスでは換気窓幅を広げた事例である。

図3は、側窓を設けたフェンロー温室の事例である。通常、1haを超える大型フェンロー温室では、側窓を付けていない。流入外気が温室中央部まで届かないなどの理由によると思われる。しかし、この事例では、近くの河川(北上川)方向からの風があり、側窓による昇温抑制効果が認められるとのことである。日本の気象条件は、フェンロー温室発祥地のオランダとは異なることから、日本の気象条件に対応した設計上の改善が望まれる。大型フェンロー温室における側窓設置の効果がどの程度あるのか、環境計測に基づく検証がなされるとよい。



図2 多連棟温室の巻き上げ式換気窓の開口幅の違い

左写真は1期工事ハウスで巻上げ窓1段。右写真は2期工事ハウスで巻上げ窓2段。
(次世代施設園芸北海道拠点)



図3 周壁に巻上げ式換気窓を取り付けた高軒高フェンロー温室(軒高7m)

頭上に細霧ノズルを設置しており、噴霧中(デ・リーフデ大川:宮城県)

2) 高軒高化の効果

近年の新設ハウスでは、高軒高化が進んでいる。高軒高化により、天窓位置が高くなるほど、換気が促進されるので、高温抑制効果も大きい。特に、屋外風速が小さいときに(風力換気よりも温度差換気が卓越したとき)、天窓高さの影響が顕著になる。また、高軒高化により、天井部付近の高温化構造材の影響も軽減すると考えられる。

3) 防虫ネットの影響

近年、ウィルス媒介害虫(例えば、トマト黄化葉巻ウィルスを媒介するシルバーリーフコナジラミなど)や食害性害虫などの侵入を防ぐために、目合の細かな防虫ネット(目合0.4mm前後)の利用が増えている。これが換気を低下させ、高温化の一因になっている。対策としては、窓面積の増加、窓面積に対する展張防虫ネット面積の増加(通気抵抗を減らす)などである。また、害虫用忌避剤を練り込んだ防虫ネットも市販されている。

高軒高ハウスでは、害虫侵入リスクよりも高温対策を優先し、天窓に防虫ネットを設置しない事例も見られる(図4参照)。防虫ネットを設置しないことによる害虫侵入リスクは、ハウス周辺の害虫生息密度が関係する。害虫生息密度を下げるために、定期的にハウス周辺の雑草刈取りを行なっている事例がある。



図4 天窓への防虫ネット設置の有無

左写真は防虫ネットなし(次世代施設園芸兵庫県拠点)、右写真は蛇腹式防虫ネット(次世代施設園芸大分県拠点)。防虫ネットを付けないが、防鳥ネットを付けている拠点もある。

4) 外気導入の促進

最近、高温対策目的で、ファンを利用した外気導入促進の事例を見かける。窓換気だけでは不十分と判断した場合の追加策である。従来の換気扇換気(強制換気方式)は、吹出し方式が一般的であるが、これとは逆に、ファンにより外気を室内に押し込む方式である。外気導入時の室内空気は天窓などの換気窓から排気される。押し込み式とするのは、気流のショートカットを避け、ハウス中央部まで送風させるためである。

窓換気と換気扇換気の併用型であり、窓換気だけでは不十分な時間帯に、外気導入ファンを運転し、換気促進を図る。自然換気温室での追加策として取り入れることができるので、今後の利用拡大が見込まれる。

吹出し方式に比べた外気導入方式の利点として、以下が挙げられる。①高温となる時間帯に、窓換気に追加して利用が出来る。②従来の吹出しファン方式では、吸気口からファンに向かう温度勾配が生じるが、温度勾配を小さくできる。③送風ダクトを使えば、大型ハウスでも利用できる。④また、ダクト利用により、作物近傍に直接外気を送風することができる。

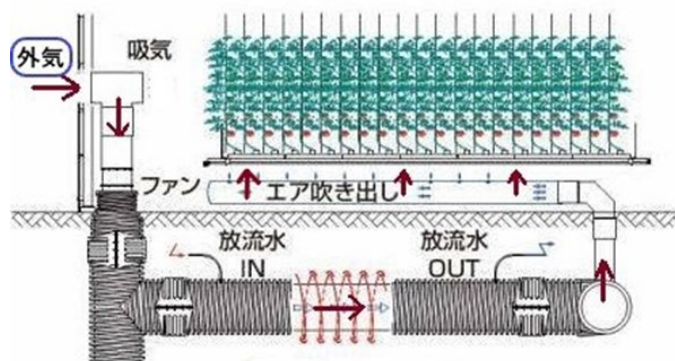
図5(a)は、下水処理場の放水熱を補助暖房に利用するための熱交換装置を、妻部吸気口のダンパーの切り替えで、高温時の外気導入に利用している事例である。外気導入と作物の蒸散による気化冷却により、室温が外気温よりも、最大2℃程度低下するとのことで、顕著な昇温抑制効果が見られる。

図5(b)は、建設後の高温対策の手段として、外気導入を取り入れて、試験している事例である。妻面開閉戸の内側にファンを設置し、さらにベッド下のダクトファンでハウス中央方向に送風している。昇温抑制効果が見られるとのことで、他のハウスにも導入拡大するとのことである。

図5(c)は、ハウス妻面内側に小部屋を設け、その中に設置した温風暖房機の送風機能を利用して、外気導入を促進する方法である。ハウス建設時に装置を設置している。小部屋を設けること

で、暖房時と外気導入時の空気流路を変えることが出来るようになっている。配風には、暖房用ポリダクトをそのまま利用する。

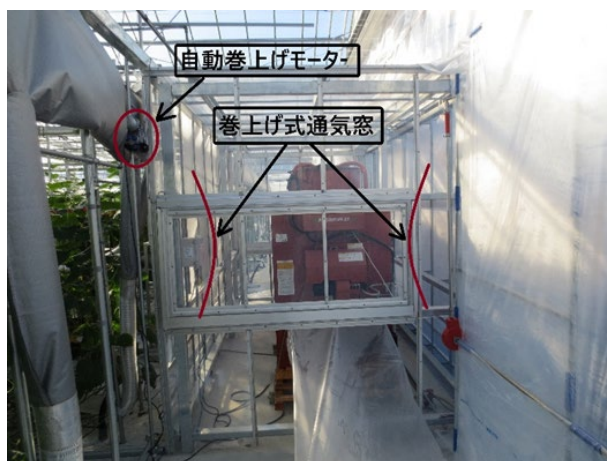
外気導入による高温抑制効果がどの程度あるか、いまのところ実測に基づく確認が不十分であるので、今後の検証を期待する。



(a) 下水処理場放流水を熱交換し補助暖房に利用するシステムを、高温期の外気導入装置として利用(次世代施設園芸愛知県拠点、イノチオみらい(株)パンフレット図に加筆)



(b) 外気導入効果を試験中。左写真の妻面内に設置したファンで外気導入を促進し、右写真のダクトファンで温室中央方向へ送風(次世代施設園芸埼玉県拠点)



(c) 温風暖房機の送風機能を利用した外気導入方式(佐賀県)。高温時には暖房機右側の換気窓を開け外気導入し、暖房機のファンでダクトを介して外気を温室内へ送風

図5 外気導入を促進するために利用されているさまざまな装置の事例

(3)遮光技術

換気と併用する高温対策として、遮光技術が多用される。遮光カーテンの利用が一般的であるが、最近では遮熱剤(遮光剤)の利用も増えている。遮光により室内への入射エネルギーが小さくなれば、その分、室温上昇は抑えられる。

1)内部遮光と外部遮光

遮光は、内部遮光と外部遮光の2つに大別できる。内部遮光に比べ、外部遮光の方が高温抑制効果は大きいことはいうまでもない。しかし、強風・降雨による装置の破損や故障のリスクが増すことから、一部の小型温室を除いて、内部遮光の利用が大半となる。

内部遮光カーテンは、保温カーテンとの兼用が一般的で、1層遮光カーテン、あるいは2種類の遮光率資材を組み合わせた2層遮光カーテンの利用がある。遮光時に遮光カーテンを全閉にすると、換気が抑制され高温化するため、通気用に数10cm以上の開口部を設けるのが一般的である(図6)。



図6 編込遮光資材(アルミ箔および透明割繊維の編込み)を利用した内部遮光カーテン
換気されるように、全閉にしないで数十cm幅のカーテン開部を残す

通常は、遮光によって室温を外気温以下にすることは難しい。ただし、遮光率が高く、温室内での蒸発散量が比較的多く、換気量が多い条件であれば、室温を外気温なみ、あるいはそれよりも若干低めにすることができる。

2)遮光カーテン資材

次世代施設園芸導入加速化支援事業(平成25年～平成28年)による次世代施設園芸拠点(以下、拠点)が、全国10か所に整備されている。10拠点のうち、北海道拠点が3層カーテン(1層が遮光カーテン、2層が保温カーテン)、残り9拠点が2層カーテンを設置している。カーテン資材として、大半の拠点が、1層に遮光保温兼用のアルミ編込資材(アルミ箔および透明割繊維の編込み)を採用している。この資材は、アルミ光沢面を上に向けて展張するので、日射の反射がある。このため、資材温度上昇が抑えられ、それにより遮光資材から栽培空間への放熱(対流、再放射)が抑えられる。遮光率が同じであれば、着色寒冷紗よりは、高温抑制効果が多少勝るとみてよい。

フェンロー温室利用の拠点の多くは、もう1層にアルミ編込資材よりも遮光率の低い半透明編込み資材(保温兼用)を選択し、日射量や室温に応じて組み合わせ利用出来るようにしている。

3) 遮光塗布剤(遮熱剤)

外張資材への遮光塗布剤の利用は、既存設備において、後付けで出来る数少ない対処方法であるため、最近の猛暑対策として、利用が増えている(図7)。

次世代施設園芸拠点10か所のいずれも、栽培開始初年度は遮光塗布剤を利用していなかった。しかし、その後利用が増え、現在では、7拠点が後述の遮熱剤を利用するに至っている。

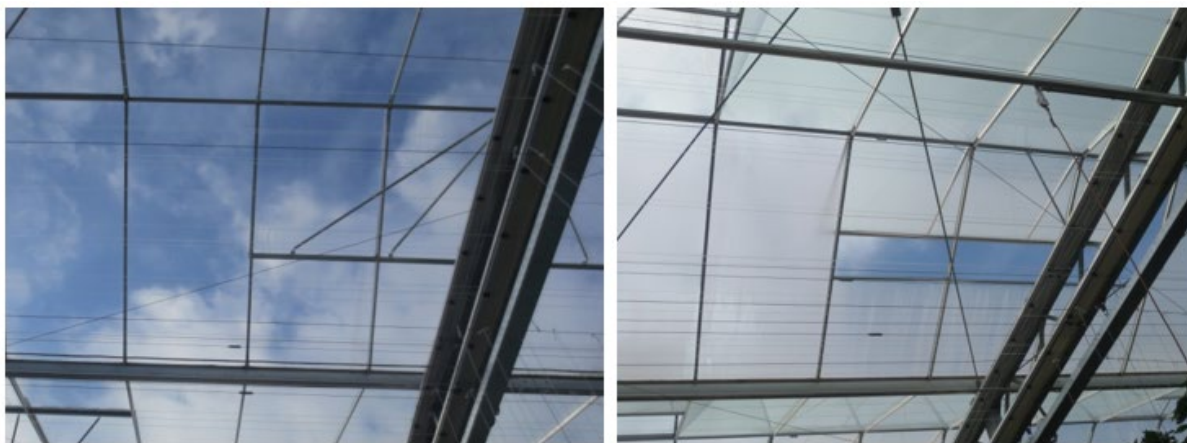


図7 遮熱剤塗布前(左)と塗布後(右)の違い

塗布剤により梨地化し、散光性も増す(次世代施設園芸宮城県拠点)

遮光塗布剤には、日射の全波長帯にわたり光を吸収・反射するタイプと、近赤外部の反射率(または吸収率)を高めたタイプがある。前者は一般に遮光剤と呼ばれ、後者は遮熱剤と呼ばれている。後者は、近赤外線カット資材と同様の効果(作物の生育に必要な波長帯の光を透過し、不要な近赤外線を部分吸収または反射)がある。現状で利用されている遮光塗布剤の多くは、オランダなどからの輸入品である。

通常、吹付塗布作業は、梅雨前後の高温期に入る時期に行う。高温問題がより差し迫り、吹付時期を早める動きもみられる。遮光度合いは、塗布量によって調節する。降雨により徐々に剥離するが、銘柄や降雨量により剥離度合いは異なる。剥離が進みすぎた年には、二度塗りを検討している拠点もある。

また、秋口において剥離度合いが少なく、冬季の透過光量低下が懸念される場合は、専用除去剤(剥離剤)で洗浄除去する。降雨予報の前に除去剤を塗布し、雨を利用して洗浄する場合もある。

塗布や洗浄は屋根上での高所作業になることから、専門業者に依頼するが多い。毎年作業が必要で、コスト面と塗布作業不足の課題がある。塗布作業には、手散布のほかに、ラジコンヘリも利用されている。

4) 散光性資材(梨地資材)

次世代施設園芸拠点において、7拠点がフッ素系硬質フィルムを外張り資材に用いている。その大半で光を散乱させる散光性(梨地)資材を採用している。散光度合いや紫外線カットの有無の違いがある数種類が販売されている。

散光性資材は、直射光と構造材の影による光の強弱を均等化し、作物への照射日射の均一化を図ることができる。そのため、高温期(強日射時)の葉焼けや日焼け果などの防止につながる。また、被覆面で多方向へ散乱されることから、作物下位部への照射光量が増すとされている。ただし、外側への散乱もあるはずで、透明資材に比べると、光透過率は若干低下すると思われる。

前述の遮光塗布剤も、塗布面の散乱光比率を増加させる(図7右写真参照)。散乱光比率を高めることを主目的とした遮光塗布剤も販売されている。

(4)冷房技術

室温を外気温以下にするには、冷房に頼らざるを得ない。昼間の冷房だけでなく、最近では、ヒートポンプによる夜間冷房が注目される。

冷房装置類の導入総面積は、全施設面積の2%程度と推定される。設備投資が必要であり、利用率が高いとはいえない。しかし、冷房装置を不可欠な環境制御装置と位置づけ、冷房利用を前提とした栽培作型を取り入れている生産者もいる。

1)冷房方法と普及状況

現在利用されている冷房方式は、表1で示した通り、①水の気化冷却を利用した蒸発冷却法、②ヒートポンプ(エアコン)利用、③地下水利用の3つに大別できる。

高温問題は、昼間の方がより大きい。現状で、経済的かつ汎用的な昼間の冷房法となると、水の気化冷却(加湿冷却)を利用した蒸発冷却法のみである。細霧冷房とパッド&ファン冷房の2方式がある。いずれも、1970年ごろには出現しており、原理は新しいものではない。細霧冷房方式の普及面積は1000ha程度、パッド&ファン冷房の普及面積は100ha程度と推定され、我が国においては、前者の利用が圧倒的に多い。

昼間冷房へのヒートポンプ利用は、経済的観点から一般栽培では無理があり、コチョウランの花芽誘導目的など、ごく一部に限られる。他方、昼間に比べ夜間の冷房負荷は一桁小さくなることから、バラなどの花き温室や果菜類の夏越し作型の一部で、ヒートポンプによる夜間冷房が行われている。地下水利用は、日射負荷の大きい昼間は難しく、夜間冷房にごく一部で利用されている。

2)細霧冷房

1. 細霧システム

細霧の代わりにミストとよばれることもある。いくつかのタイプがあるが、現在多用されているのは、図8左写真に示すように、細霧ノズルを頭上に固定配置し、冷房中は窓を開放して細霧噴霧する自然換気型細霧システムである。噴霧には動力ポンプを用いる。噴霧水圧が1~4MPa程度の相対的に低圧のシステムと、4~7MPa程度の高圧のシステムがある。後者の方が細霧粒径は小さくなるが、設備経費は高めとなる。細霧システムの多くは、冷房・加湿制御のほかに、薬剤散布・葉面散布にも利用できる多目的(複数目的)利用システムである。

この他に、送風ファンに細霧発生ノズルを取り付けた簡易な細霧装置(図8右写真)も利用されている。ただし、通常の設置台数での細霧噴霧量は、細霧ノズル頭上配置タイプに比べると少ない。



図8 細霧冷房装置による細霧噴霧中の様子

左:頭上設置細霧ノズルからの細霧噴霧(次世代施設園芸埼玉県拠点)

右:循環扇に細霧発生ノズルを取り付けた装置(次世代施設園芸北海道拠点)

2. 利用の適否

細霧冷房は万能ではないので、その特性を理解し、特性に合った条件で利用することが肝要である。細霧冷房では、降温と相対湿度上昇が表裏一体の関係にある。室温低下の限界は室内湿球温度である。細霧冷房運転支援ソフトウェアが公開されており(「細霧冷房運転支援ソフトウェア」でインターネット検索)、これを利用すれば、作出可能な気温および相対湿度の範囲を知ることができる。

細霧冷房は作物からの蒸散が少なく、室内が乾燥かつ高温の条件では、室温低下と加湿の両方が達成できる。このことは、後述のパッド&ファン冷房に関しても同様である。

他方、作物が繁茂して蒸散量が多い、または温室の換気量が少ない、あるいはその両方で、温室内が高湿度条件にある場合には、室温低下はわずかで、作物への細霧付着が増加する。作物の連続する濡れは病害の原因となる。夜間は温室内外とも高湿度条件にあるため通常利用されない。

3. 運転方法

冷房(降温)を主目的とする利用と、湿度管理を主目的とする利用がある。冷房利用では、強光時に遮光カーテンを併用することもある。この場合、換気が必要なので、遮光カーテンを全閉にしない。

多く普及している細霧システムでは、断続的に細霧噴霧を行うことによって噴霧量を調整している。運転制御方法は一律ではなく、生産者によって異なる。通常は、室温と相対湿度(または飽差)を組み合わせた制御が基本となる。例えば、昼間の運転時間帯を設定し、室温が設定値以上(例えば27℃以上)かつ相対湿度が70%以下でON、相対湿度85%でOFFというような運転方法がとられる。

細霧冷房による高相対湿度(飽差低下)は、蒸散量を低下させる、作物への細霧付着があるなどの理由で、噴霧量を少なめにしている事例もある。利用経験の浅い利用者は、作物の成育状態を観察しつつ、試行錯誤で運転方法の改善を図っていくことが多い。

4. 利用状況と設置コスト

次世代施設園芸10拠点中、7拠点が細霧システムを装備している。うち、1拠点は、建設数年後に追加設置している。国内では、トマト、ナス、イチゴなどの果菜類や花き類など多品目で利用されている。冷房のみならず、湿度制御目的で周年利用している事例も多い。

現在、多用されている細霧システムの価格は、10a当たり100～200万円程度である。細霧粒径や飛散距離、ボタ落ちの多少など、システムによって性能が異なるので、導入に当たっては、価格面だけでなく性能にも注意を払う必要がある。

3)パッド&ファン冷房

呼び名のとおり、パッドとファン(排気用ファン)を組み合わせた冷房方式である。図9に示すように、温室壁部に取り付けたパッド(通気孔をもつセルロース成形資材)に水を滴下して、パッド全体を濡しておく。パッドを外気が通過するときに気化冷却され室内に入り、パッドと反対の壁面のファンによって排気される。我が国での利用面積は少ないが、海外では細霧冷房以上に利用されている。

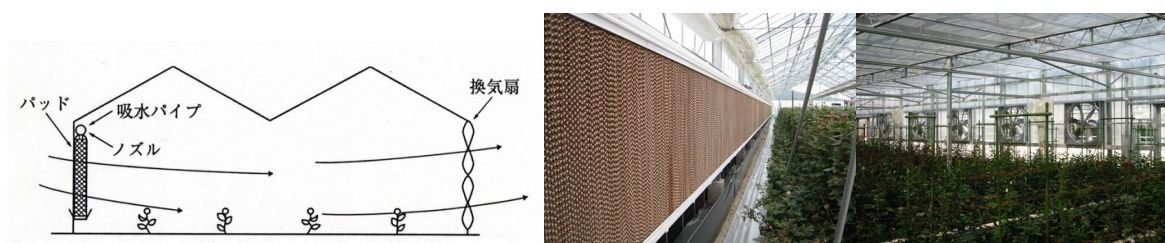


図9 パッド&ファン冷房方式
写真左がパッド、右が排気ファン

4)ヒートポンプ冷房

1. 夜間冷房(夜冷)利用

ヒートポンプによる昼間の冷房は、日射負荷が大きいために、コショウランの花芽誘導などへの利用を除けば過剰投資となり、経済的に見合わない。ただし、特殊な事例として、次世代施設園芸富山県拠点では、廃棄物燃焼発電で得られる電力を利用し、ヒートポンプによる昼夜の冷房を、トマトおよび花卉栽培で行っている。

他方、夜間は昼間に比べると冷房負荷が一桁小さくなるので、ヒートポンプによる夜間冷房(以下、夜冷)が、収益増につながる場合も多い。

現在多く採用されているハイブリッド方式(ヒートポンプと燃油暖房機を併用した暖房方式)のヒートポンプ設置能力(10a当たりの冷房能力60kW程度の場合)で、夜冷時の室温を外気温よりも2～4℃(カーテン利用時)程度低くすることが可能である。ヒートポンプの冷房運転では、除湿も同時に行われる。

夜冷による栽培試験から、低段密植栽培でのトマトの裂果防止効果があるとの報告(大石ら、2011)や、花き類の品質向上や収量増加の効果あるとの報告など、プラスの効果を示した報告が相当数ある。

現地調査ハウスにおいても、ミニトマトやパプリカの夏越し栽培でヒートポンプ冷房を利用している事例が見られる(図10)。ミニトマトの事例では、夜冷により成育へのプラス効果(樹勢旺盛や葉面積増など)がみられ、葉面積を大きく維持できることにより、日中の蒸散が促進され、昼間の昇温抑制にもつながるとのことである。夏越し栽培での夜冷は、高温期の成育・収量低下を小さくする効果があるが、経費を伴うことから、投資効果が見込まれるかが、夜冷するか否かの判断につながる。



図10 ミニトマト夏越し栽培でのヒートポンプ利用

夏越し栽培での夜間冷房と、冬期の暖房に利用(次世代施設園芸愛知県拠点)

高温対策技術の一つとして、今後利用拡大がなされると推測するが、このところの電気料金の値上がり、利用拡大を阻んでいる。今後の利用普及は、電気料金の動向に左右されるところが大きい。

運転コストを削減するために、一晩中ではなく、夜間の一部時間のみ冷房することも試みられており、収益に結び付く効果的な運転法についての検討が、今後必要である。

2. 培地冷却

ヒートポンプには、冷温水を生成することができるタイプ(ヒートポンプチャラー)がある。これを利用して、夏期には、冷水による培地冷却(図11)やイチゴのクラウン冷却を行い、高温時の品質維持や収量確保に努めている事例がある。また、冬期には同じ装置で、温水による培地加温(図11)やクラウン加温を行い、増収につなげている。



図11 ヒートポンプによる四季なりイチゴ栽培の培地冷却の事例

冬期は一季なりイチゴの培地加温を行い、夏期は四季なりイチゴの培地冷却を行う(次世代施設園芸北海道拠点)。写真左:冷温水生成ヒートポンプ(左側)と貯水タンク(右側)、写真中:培地加温冷却用パイプ(培地を入れる前)、写真右:加温冷却用パイプを設置してある栽培ベッド。

(5) 作業対策

ハウスの高温対策だけでは限界があり、夏期日中の作業者の負担は大きい。熱中症などの危険もある。現地調査では、以下のような熱中症対策をとっている事例がある。

- ・送風ファンや保冷剤を利用したファン付空調ジャケットの着用(図12)。最近、利用者が増えている。
- ・一定時間ごとに短時間の休憩をはさむ。また、こまめな水分補給を促す。
- ・冷蔵庫に保冷剤を用意しておき、首元などを冷やす。
- ・早朝出勤により、午後の高温時間帯を休業にするなど。



図12 送風ファン付ジャケットを着用した暑さ対策

図13のような、熱中症防止の注意書きを作業場や休憩室に掲示し、注意喚起している事例もある。

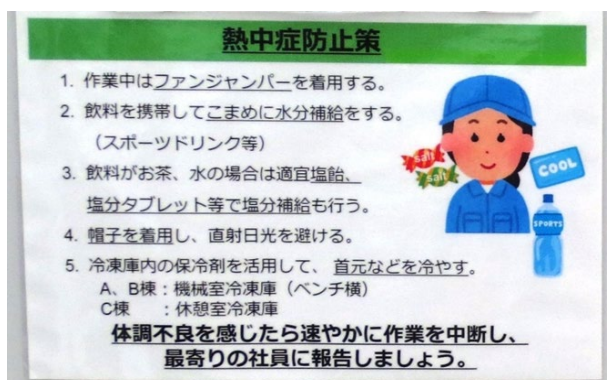


図13 作業場などに掲示してある熱中症防止対策の注意書き事例

おわりに

上記の通り、高温対策技術はいろいろあり、栽培形態にあった方式を採用することになる。その多くはハウス構造や設備の対応となることから、建設前の設計段階で十分に検討することが重要

である。高温対策に関しては、今後もハード面とソフト面での工夫や改善が求められる。(本稿は、文献1、2を部分引用している。)

引用文献

- 1) 日本施設園芸協会(2020)、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(令和2年3月)、31-38.
- 2) 林 真紀夫(2011)、栽培施設における高温対策技術の現状と展望、施設園芸総合セミナーテキスト、日本施設園芸協会、6-13.
- 3) 日本施設園芸協会(2015)、施設園芸・植物工場ハンドブック、569pp

1.5 スマートグリーンハウスの展開推進における産地の体制づくり

株式会社三菱総合研究所 水野 友美

はじめに

スマートグリーンハウスでは、施設園芸においてロボット・AI・IoT等の先端技術を活用し、生産性の飛躍的向上と大幅な省力化を実現することを目指している。そのための方法として、環境データと生育データに基づく低コストで最適な環境制御技術の確立により生産性を向上させ、各作業の自動化により生産・出荷作業の大幅な省力化を実現し、作業データ、収量予測等に基づく最適な作業計画の策定と人員配置により労働生産性を向上させることが求められる。

今回実施した事例調査先は、それぞれの地域の状況、圃場環境に沿ったデータの取得とその分析結果の活用による生産性向上を実現しているが、これらの取り組みの展開推進においては、新技術の実装に向けた面的な産地の体制づくりが重要となる。そこで、節なり会、JA西三河きゅうり部会、JAみなみ筑後瀬高ナス部会の取り組みのポイントを整理した。

(1) 節なり会：自由闊達な議論によるモチベーションの向上

群馬県の節なり会は、平成30年に設立されたキュウリ生産者の勉強会組織で、JA等の組織からは独立した運営を行っている。会のメンバーは農業者の後継者や新規就農者も多く、県内外からの30代の若手生産者が中心となっており、有料会員16名、無料会員（LINEでの情報共有がメイン）約90名から成る。

一つ目のポイントは、節なり会では、昨今の資材の高騰、夏の高温等環境の変化、親世代の引退や働き方改革等による雇用型経営への移行など、施設園芸を取り巻く多くの問題意識や危機感を共有し、自由闊達な議論ができるよう、意見交換の場では心理的安全性を重視した運営を行っていることである。

これは、生産者は個人事業主でそれぞれの目標があることを前提にしたもので、互いのやり方を尊重しつつ、遠慮なく助言しあえる組織を目指した姿勢であり、会の代表も2年ごとの交代制であり、属人化しないことで思考を固めず、新たな取り組みにチャレンジし続ける土壌を作ることが重視されている。

勉強会では技術レベルの高い生産者を交えた月に2回の現地研修に加え、他産地への視察を行っている。二つ目のポイントは、現地研修においてトラブルが発生しているハウスも巡回し、他の生産者から忌憚なく、客観的な意見を聴く場になっているが、工夫や良い取り組みについては積極的に褒め合うことを心掛けていることである。

このような取り組みによって、経験の浅い生産者も新たな取り組みに対するモチベーションを向上することができ、参加者の技術が底上げされ、会の存在感も高まっている。

三つ目のポイントは、継続的な群馬県館林地区農業指導センターの普及指導員の協力である。館林地区農業指導センターでは、節なり会の運営整備やクラウドを活用したデータ共有等を支援している。令和2年度は、普及指導員向けの「環境制御技術ガイドライン」を作成し、普及指導員のスキルアップに活用した。また、「次世代につなぐ営農体系確立支援」を活用した技術コンサルタント派遣による技術力強化など、JA、市町とも協力した産地支援も行っており、節なり会の会員も参加した。

普及指導員が自らの知識も更新しながら、先進農業者や専門家、市町、JA等をコーディネートし、節なり会の取り組みを側面から継続的かつ細やかに支援してきたことで、環境制御技術の理解促進、導入推進につながっている。

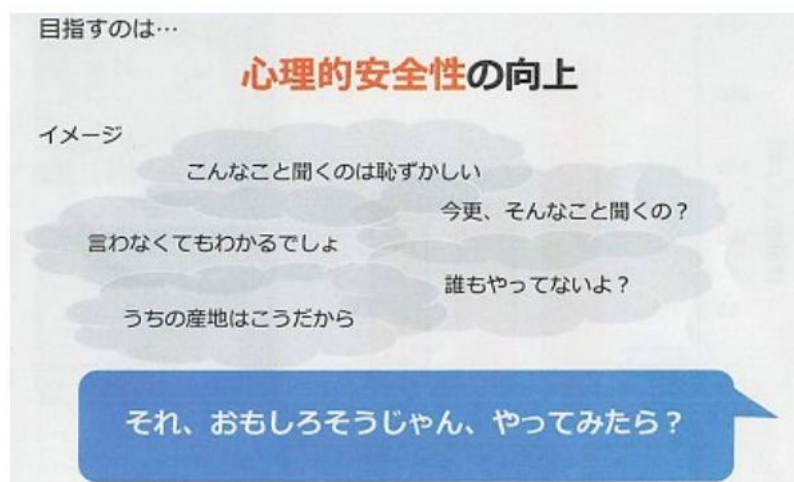


図1 節なり会での議論における留意事項一例：心理的安全性
出所）節なり会提供資料

(2) JA西三河きゅうり部会：積極的な生産者が牽引する産地力強化

JA西三河きゅうり部会は、愛知県による「あいち型植物工場推進事業」や愛知県経済連による支援などにより、環境制御機器、環境モニタリング機器の導入と活用が進んできた。きっかけは平成17年。部会員の高齢化が進み、共同選果機の老朽化などの周辺環境も影響し、産地としての衰退を感じていた部会では、選果機の更新を機に組織改革を実行することにした。

詳細は、令和4年度の事業報告書（別冊2）に記載されているが、それまでの支部制度から「栽培」、「選果」、「販売」の3つの委員会を設け、それぞれ委員長、副委員長が部会員から任命され、部会長及び副部会長を加えた計8名によって、重要課題を継続的に検討することになった。

現在、愛知県西尾市のきゅうり生産者 40名で構成され、栽培面積計 11.5ha、生産者1戸あたりの平均栽培面積は29aである。出荷量は約3,000トン、販売金額は約9億5千万円である。

令和3年からは、農林水産省の「データ駆動型農業の実践体制づくり支援事業」に採択された。この事業は、データに基づき栽培技術・経営の最適化を図る「データ駆動型農業」の実践を促進するため、産地としての取組体制の構築、データ収集、分析機器の活用、新規就農者の技術習得等を支援するもので、部会では愛知県及び県の農業総合試験場のほか、西尾市、JAあいち経済連、JA西三河、データ取得・分析・活用に係る民間事業者から成る、西尾きゅうり産地内連携型データ駆動施設園芸推進コンソーシアムを組成し、確実にデータを活用したスマートグリーンハウスの展開推進に取り組んでいる。

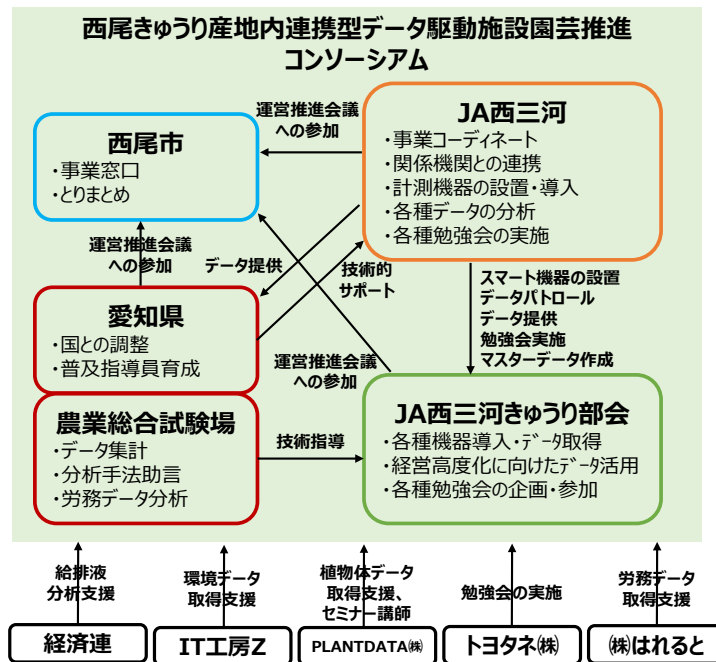


図2 西尾きゅうり産地内連携型データ駆動施設園芸推進コンソーシアムの体制図
出所) JA西三河きゅうり部会提供資料より筆者作成

JA西三河きゅうり部会では、令和元年からスマート農業プロジェクトに取り組み、1生産者で実証していたものを令和3年度からは7生産者に拡大した。このような取り組みの中心ににいるのは、30代から40代の若手生産者である。この取り組みのポイントとしては、実際に収量が上がリ、生産効率が上がった(労働時間の削減)生産者が、数字を見ることの重要さを勉強会等で伝え、一人ずつ収益が向上し、経営規模を拡大することで、強い産地として維持を図ろうとしている点にある。

また、二つ目のポイントとしては、支援事業を複数活用し、現在のコンソーシアムの体制が出来上がっていることである。このコンソーシアムによって、必要なデータの取得、その適切な分析、その結果を踏まえた当該地での環境制御等、データ駆動型の栽培手法が確立しつつある。

その背景には、長年にわたる委員会ごとでの課題の整理、解決方策の検討結果の共有、専門家や民間企業等を巻き込んだ新しい手法の試行等、明確な目標設定とそのための柔軟な検討体制を構築してきたという経緯もある。

今後も部会全体にデータ駆動型施設園芸を進めようとする際には、実際に導入する生産者を拡大することが課題であるが、まずは既に導入している生産者のほ場を見ながら勉強会を実施し、そこに参加する人に働きかけることだとしている。また、その結果は部会内に公平に共有し、経営の安定化に役立てることに力点を置いている。

(3) JAみなみ筑後瀬高なす部会「あぐりログ研究会」:産地一体の段階的なデータ活用

JAみなみ筑後瀬高なす部会の管内である福岡県南部のみやま市、瀬高町、高田町、山川町は、古くからあるナスの産地で、部会員数 195名、生産面積48ha、販売金額27億円(令和元年)の規模がある。

なす部会では、ナスの収量向上のための環境制御技術の確立を目的として、平成29年から福岡県農林業総合試験場筑後分場においてあぐりログ研究会の活動が始まった。これは、環境測定装置などのハードウェアの導入とその運用方法を自主的に学ぶもので、従来の行政やJAからの指導

にもとづく技術導入ではなく、生産者が中心となり、試験場研究員、普及指導員JA営農指導員等、指導機関や研究機関と情報共有をするフレキシブルな運営を目指す会であった。当初4名件だった参加者数は、昨年度67名にまで増えている。

会では、環境計測機器によるデータ活用を行うため、各メーカーへの問い合わせを行い、生産者が低価格で補助事業を用いずに導入可能であり、かつ互いにデータ共有が可能な「あぐりログ」((株)IT工房Z製)」の導入を決めた。愛知県など多くの施設園芸産地で活用されている機器であり、それぞれの地域でデータ活用の勉強会も立ち上がっている。

あぐりログ研究会の一つ目のポイントは、データ活用に関する設備導入を段階的に進めてきたことにある。自ら複数のメーカーに問合せ、必要最低限の機能があり、かつ安価に導入できるものを選ぶことで、参加する生産者の導入負担を抑えた。それと同時に、参加する生産者同士と試験場との相互のデータ比較と分析を行うための機能を段階的に増やし、ハウス内のCO₂濃度や日射量の分析結果は普及センターがグラフ化を行いLINEグループ(あぐりログ研究会、JA、普及センター、筑後分場)で共有するなど、それぞれに必要な機能がカスタマイズされた仕組みになっている。現在も研究機関、事業者の協力を得ながら病害虫リスク管理、市場状況に即した生産量予測、経営管理アプリなどの開発、実証が進められており、データ活用の多面化が進んでいる。

二つ目のポイントは、スキルアップに関する取り組みが支援機関側でも進められてきたことである。福岡県では、主要園芸作物6品目(イチゴ、ナス、トマト、キュウリ、ブドウ、キク類)について、先進生産者のハウス内環境を測定し、データを蓄積するとともに生育状況と栽培管理の実態を把握、分析している。その結果をもとに、平成30年度には「匠の技」実践マニュアルを作成し、新規就農者や既存生産者へのノウハウの展開を図っている。

この取り組みにより、先進生産者の技術が可視化され、産地としての生育及び環境データの活用による収量増につながっている。

JAみなみ筑後瀬高なす部会では、生産者数は減少しているが、生産面積は維持されており、これらの取り組みにより生産者あたりの栽培面積の拡大、結果としての産地の維持につながっている。



図3 福岡県の「匠の技」実践マニュアル

出所)福岡県「ICTを活用した園芸作物の生産性向上対策」

https://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/hukyu/h_zirei/r01/attach/pdf/index-28.pdf

(令和6年2月1日閲覧)

まとめ

今回見た産地では、活発な議論が可能な信頼関係の構築、産地内外の専門家や先駆者の知恵や支援を積極的に巻き込む力、データ取得やその活用、検証をいとわず経営者として収益や効率の上げ方を追求する姿勢など、共通する事項が見受けられた。家族経営+ α （パート雇用）の規模が平均的な生産者の姿であったが、若手が中心となってデータを活用する生産者を増やし、産地としての強化に真摯に取り組んでいる。

このようなスマートグリーンハウスの展開推進においては、センサや機器の導入支援やデータの取得方法の標準化等、生産者のデータ取得へのハードルを下げると同時に、その結果を適切に分析でき、それを生産者の動きにフィードバックできる専門家の存在が不可欠である。今回で言えば、群馬県東部農業事務所館林地区農業指導センター、愛知県農業総合試験場、福岡県農林業総合試験場等がそれに当たる。

また、生産者同士が産地としての課題を把握していても、その早期解決に向けた危機感を共有しているかどうかポイントになるだろう。勉強会等を通じ、産地としての危機感や新たな解決手法の検討、有効・無効だった検証結果等を共有し、改善を続けている今回の各産地の取り組みは、生産者やその支援者の危機感により生まれたものであるが、いずれは消費者を含む市場側にも危機感を持って支援体制側に入ってもらうような動きとなることが期待される。