



太陽光利用型植物工場イノベ ティブグリーンハウスにおける トマト 50t 採り栽培マニュアル



I G Hプロジェクト

平成 29 年 6 月

はじめに

従来の施設野菜栽培では、管理方法を生産者の「勘」に頼ることが多く、植物の生産能力を十分に発揮出来ないことがありました。本プロジェクトでは、1年を通じて週単位で植物の生育を良好に維持するように、環境制御、栽培管理を行ってきました。そして、日本の大玉トマト品種の50t採りを第2作（平成26年）、第3作（平成27年）、第4作（平成28年）の3年連続で達成しました。50t採り技術のマニュアル化のため、要点をまとめました。

本マニュアルは、経済産業省：イノベーション拠点立地支援事業「平成22年度先端技術実証・評価設備整備費等補助金」および「豊橋市：植物工場普及促進事業費補助金」による研究成果をまとめたものです。

目 次

はじめに	1
第1章 IGHのご紹介	4
1. IGHとは	4
2. 実証栽培試験概要	5
第2章 IGHにおける管理・調査	6
1. PDCAサイクルを活用した運営	6
2. 管理 (Plan→Do)	7
(1) Plan (管理方法の決定)	7
1) 環境管理の決定	7
① 温度	7
② 湿度 (飽差)	7
③ 日射量	7
④ 炭酸ガス	8
⑤ 給液 EC・pH	8
⑥ 培地内 EC・pH	8
⑦ 給液、排液の管理	8
2) 作業管理の決定	9
① 脇芽取り	9
② 摘果	9
③ 誘引・吊り下げ	9
④ 葉かき	9
⑤ トラスサポート付け	9
(2) Do (管理の実施)	10
1) 環境管理	10
① 地上部	10
② 地下部	10
2) 作業管理	10
3. 調査 (Check→Action)	11
(1) Check (調査の実施)	11

1) 目標値の設定	11
2) 生育調査	11
① 茎伸長量	11
② 茎径	11
③ 開花花房距離	11
④ 花梗長	11
⑤ 葉数	11
⑥ 着果数	11
⑦ 開花日	11
⑧ 収穫日	11
⑨ 果実重量	11
⑩ 果実糖度	11
3) 環境調査	12
(2) Action (管理方法の調整)	12
第3章 50t 採り技術のポイント	14
1. 夏季の日射を活かした12月定植	14
2. 日射量に応じた側枝利用栽培技術・LAI管理	17
3. パッド&ファン冷却システムによる夏季の温度制御	19
4. 環境を考慮した炭酸ガス(CO ₂)施用技術	22
5. 蒸散を重視した飽差管理	23
6. トマトの生育バランスを維持する生育計測データ中心の栽培管理	24
7. ハイワイヤー周年栽培で物理的無収穫期間の削減	29
8. ヤシ殻栽培による養液管理と徹底した病害虫管理	30
9. 光合成最大化のためのハウス内の複合環境制御技術	31
第4章 ケーススタディ	33
1. 定植直後に起きやすいトラブル	33
2. 梅雨時(曇雨天時)に起きやすいトラブル	33
3. 夏に起きやすいトラブル	34
4. 秋以降に起きやすいトラブル	35
おわりに	36

第1章 IGHのご紹介

1. IGHとは

イノベーティブグリーンハウス（IGH）は、光合成環境を画期的に改善するための最先端技術、最新設備を装備した太陽光型植物工場です（図 1-1）。また、太陽光発電パネルと小型風力発電機が設置されており、発電した電力を植物工場に活用することを試みている自然エネルギー活用型の植物工場です。施設は栽培面積 1,024 m²の栽培棟のほか、空調室・機械室からなっています。平成 24 年 6 月に竣工し、同年 7 月から実証栽培試験を開始しています。実証栽培試験では光合成環境要因と栽培条件を検討し、国内初のトマト 50t 採り（トマト 10a 当たり平均収量は 20t 程度）を達成することを目的としています。

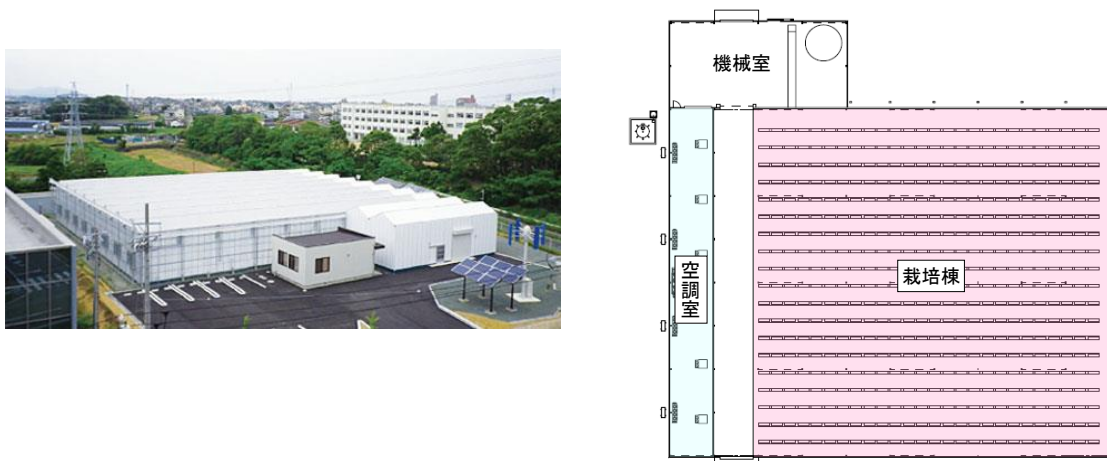


図 1-1 IGHの外観（左）と平面図（右）

表 1-1 IGHプロジェクトメンバー

管理	事業統括	(株)サイエンス・クリエイト 代表取締役専務 原田公孝
	研究統括	豊橋技術科学大学 先端農業・バイオリサーチセンター 特任教授 三枝正彦 (H24.7~H29.3) 特任准教授 山内高弘 (H29.4~)
参画企業		イノチオホールディングス(株)
		シンフォニアテクノロジー(株)
		ガステックサービス(株)
		日本オペレーター(株)
		シーアイマテックス(株) (~H29.3)

2. 実証栽培試験概要

表 1-2 実証栽培試験の概要

	第1作	第2作	第3作	第4作
品種	りんか409(穂木)／スパイク(台木)			
定植日	平成24年7月24日	平成25年12月17日	平成26年12月24日	平成27年12月24日
収穫終了日	平成25年7月10日	平成26年12月10日	平成27年12月16日	平成28年12月16日
株数	2,894株/10a (3,376本へ分枝)	3,451株/10a (4,026本へ分枝)	3,451株/10a (4,026本へ分枝)	3,451株/10a (4,026本へ分枝)
栽培方法	ハイワイヤー長期多段栽培 養液栽培(ヤシ殻培地)			
目標収量	50 t/10a			
収量(可販果)	41.5 t/10a	50.6 t/10a	50.9 t/10a	54.5 t/10a

I G Hの栽培棟には、31mの栽培ベッドが19列あり、吊り下げ方式（ハンギングガター）を採用しています。品種は（株）サカタのタネの‘りんか409’（台木：スパイク）を使用し、葉数6枚程度のトマト苗をヤシ殻培地に定植し、養液栽培を行いました（表1-2）。

定植日は、第1作目が平成24年7月24日、第2作目以降は7月から12月に定植日を変更し、第2作目：平成25年12月17日、第3作目：平成26年12月24日、第4作目：平成27年12月24日に定植しました。

株数は第1作目が10a当たり2,894株定植し（栽植密度：2.89株/m²）、日射量の増える2月初旬より順次側枝を伸長させ、仕立て本数を3,376本（1.17本/株）に増加させ、平成25年7月10日まで栽培し、可販果収量41.5t/10aを得ました。

第2作目から第4作目は、3,451株/10aの苗を定植し（栽植密度：3.45株/m²）、日射量の増加に伴って、3月より側枝を伸長させ、仕立て本数が4026本（1.17本/株）になるように分枝させました。梅雨入りすると日射量は減少するため、6月中旬に側枝増加分の茎は摘芯し、仕立て本数を3451本（1本/株）に戻す管理を行いました。

可販果収量は、第2作目：50.6t/10a、第3作目：50.9t/10a、第4作目：54.5t/10aとなり、の可販果収量を得ました。I G Hプロジェクトの目標である年間収量50t/10aを3年連続で達成することができました。

第2章 IGHにおける管理・調査

1. PDCAサイクルを活用した運営

IGHでは、予定した管理方法（P）通りに実施（D）しながら、環境・生育・収量・作業手順・効率等を評価（C）し、当初設定した管理方法を調整・最適化（A）するPDCAサイクルを1週間単位で実施しています（図2-1）。



図2-1 IGHにおける週単位PDCAサイクル管理イメージ

2. 管理 (Plan→Do)

(1) Plan (管理方法の決定)

1) 環境管理の決定

「環境管理」は、「光合成能力」を決める大きな要因であるので、しっかり管理する必要があります。特に、I G Hでは50t/10aという高い目標があるため、「光合成最大化」の管理実践に取り組んで来ました。

具体的な環境要因としては、地上部の①温度、②湿度、③日射量、④炭酸ガス供給等があり、地下部では、⑤給液 EC・pH、⑥培地内 EC・pH、⑦給液量・排液量等があります。各データの目標値は以下のとおりです。

① 温度

気温は、作物の生育に及ぼす影響が非常に大きい環境要因です。そのため、換気や加温、冷房等による制御が基本となります。温度は周年を通して暖房設定温度と換気温度を設定して、時間毎にきめの細かい管理を行っています。

実際の暖房設定温度は、以下のグラフ（図 2-2）に示した管理を行っています。

夏季は、温度管理が難しく、このとおりには管理が困難ですが、ヒートポンプによる夜間冷房を利用して、できる限り設定温度に近づけるようにしています。

② 湿度（飽差）

湿度は、「蒸散促進」を目的とした管理が求められています。具体的には、飽差の値で管理しており、定植直後が7~9g/m³、萎れが発生しなければより高い値である、最高13g/m³で管理しています。

③ 日射量

光は、光合成増大の最大要因となります。しかし、日差しが強くなる7月下旬~9月中旬頃は、温度の上昇や強光により、落花が生じることもあるので、午前9時半~午後2時半の間に30%の遮光を行うように管理しています。しかし、日射量が850W/m²以下の場合、遮光は行いません。

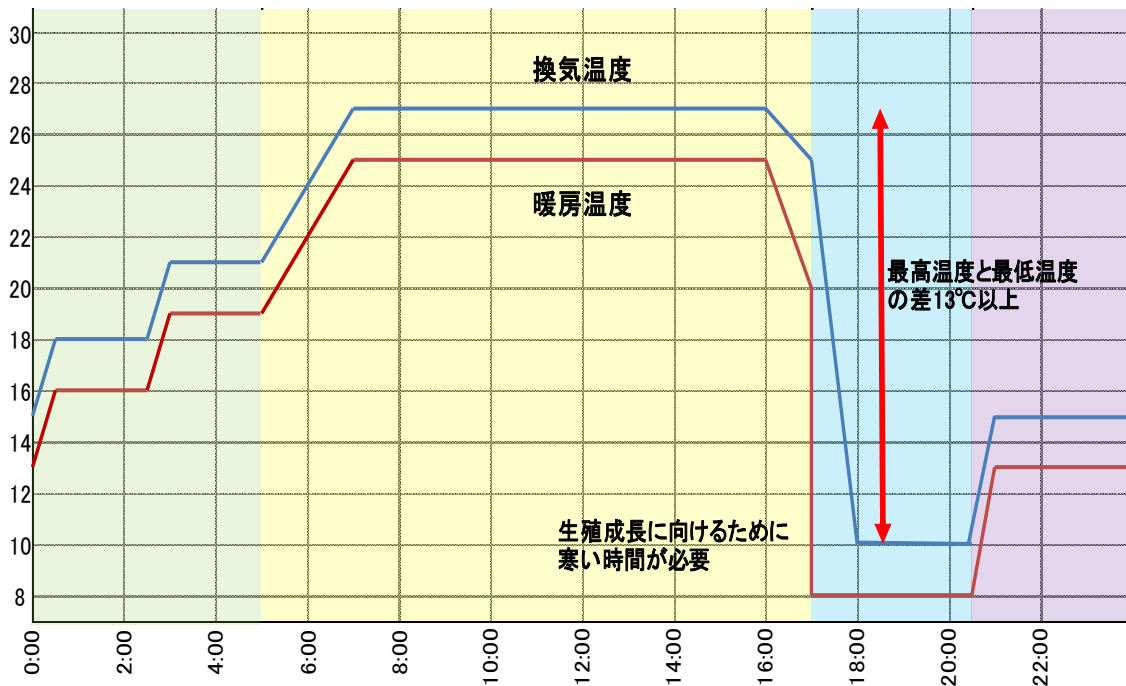


図 2-2 IGH温度管理の目標

④ 炭酸ガス

炭酸ガスは、光合成の原料となるので、不足しないように十分供給する必要があります。具体的には、400ppm 以下にならないように、日の出 2 時間後～日の入り 2 時間前の間、濃度による制御ではなくタイマー制御で生ガスを施用しています。

⑤ 給液 EC・pH 管理

給液 EC・pH の目標値は、培地内 EC・pH の目標値と計測値によって変更するため、設定していません。

⑥ 培地内 EC・pH 管理

培地内の EC・pH 状態の管理は、作物の蒸散や吸水状態を知る上で重要であり、常に把握し、コントロールする必要があります。EC は季節によって変えており、夏季が 2.0～2.5dS/m、冬季が 3.0～3.5 程度で管理しています。また、pH は周年 5.5～6.5 程度になるようにしています。

⑦ 給液、排液の管理

給液量に対する排液量の管理は、トマトの蒸散や吸収量等の状態を知る上で重要です。給液は灌水開始を日の出 2 時間後、停止を日の入り 2

時間前を基本として、積算日射量 150J/cm²毎に 100ml/株を行うように設定しています。また、培地内水分率を「培地重量センサ」で計測しており、1日の最高水分率と最低水分率の差（日水分 DIF）が 10～15%になるように管理しています。

2) 作業管理の決定

作業管理は、作業効率や生産性向上、生育コントロールのために行います。具体的には、①「腋芽取り」、②「摘果」、③「誘引、吊り下げ」、④「葉かき」、⑤トラスサポート付け（果梗折れ防止クリップ）」等があり、詳細は以下にします。また、これらの作業は、基本的に開花サイクルに合わせるため、おおよそ 7～10 日周期で行っています。

① 腋芽取り

腋芽取りが遅れると、作業時間や残渣量の増加に繋がります。また余分な消費により樹勢が低下し、生育バランスも崩れやすくなります。

② 摘果

樹勢回復に効果的なのが着果数の管理です。着果数を減らすことで、光合成産物の成長点や茎への転流量を増やし、樹勢を強くすることができます。

③ 誘引、吊り下げ

誘引作業が遅れると芽先が倒れ、誘引時に茎が折れやすくなり、作業効率の低下と受光体勢の悪化により光合成量が低下する可能性があります。作業間隔が広がることで、吊り下げ幅が大きくなり、ストレスが増加し、作業中の落果も増える可能性が高まります。

④ 葉かき

葉かきは、目標管理葉数を設定し、その枚数となるように下の葉をかいていきます。葉数は開花花房裏の葉から下の葉を数えます。作物を生殖成長に向かせるために開花花房裏の葉をかく場合もあります。なお、目標管理葉数は栽植密度や品種、環境条件によって変えています。

⑤ トラストサポート付け

果実肥大の妨げとなる果梗折れを防ぐ目的で、トラストサポート（果

梗折れ防止クリップ) を付けます。3 週間以上空けてしまうと、果梗が太くトラストサポートが付けにくくなるため、それ以上の間隔を空けないようにしています。

(2) Do (管理の実施)

Plan の段階で、予め設定した管理方法通りに実施しています。

1) 環境管理

- ① 地上部 (温度、湿度、日射、炭酸ガス等)
- ② 地下部 (給液 EC、pH、灌水、排水量等)

2) 作業管理

作業が遅れることのないように工程どおりに行っています。

作業の遅れは、生育のバランスを崩す要因となります。

3. 調査 (Check→Action)

(1) Check (調査の実施)

1) 目標値の設定

管理を行う上で必要な目安となる「開花花房距離」、「花梗長」「茎伸長量」、「茎径」等の生育量について、IGHでは、これまで計測及び管理してきた結果を基に、目標値を設定しています。1~4作目でその数値は変えてきていますが、4作目の場合「開花花房距離」8cm前後、「花梗長」2cm前後、「茎伸長量」16cm前後、「茎径」9mm前後を目安としました。

2) 生育調査

その週の生育状況を確認するために、毎週決められた日時に調査を実施しています。生育調査の計測項目は以下の通りです。

- ① 茎伸長量 1週間で伸びた茎の長さ
- ② 茎径 1週間前に成長点だった位置の茎の太さ
- ③ 開花花房距離 1番花が開花した時点の成長点から花房付け根までの長さ
- ④ 花梗長 1番花が開花した時点の開花花房の1番花の元から主茎までの長さ
- ⑤ 葉数 開花花房より下の葉の枚数
- ⑥ 着果数 果径5mm以上の果実数
- ⑦ 開花日 各花房の1番花が開花した日
- ⑧ 収穫日 各花房の1番花を収穫した日
- ⑨ 果実重量 収穫果の重さ
- ⑩ 果実糖度 収穫した果実のBrix値

IGHでは、区画当たり10株の調査を行っていますが、3~4株でも良いので、まずは、生育調査を行うことを提案したいと思います。調査を行うことで、数値が残り、過去の生育の推移が分かるようになり、客観的な判断ができるようになります。

3) 環境調査

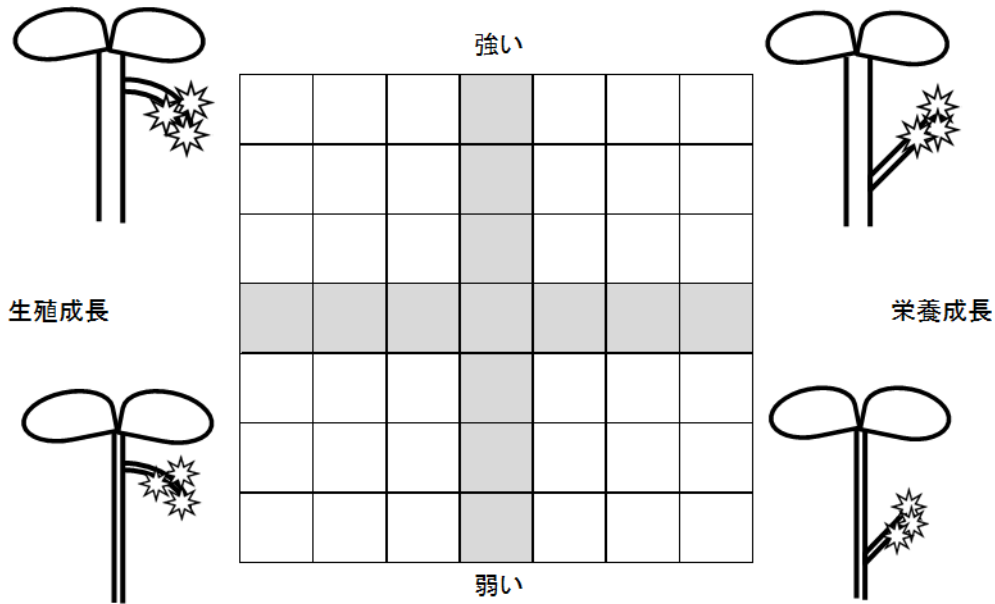
平均温湿度、収穫積算温度、積算日射量、炭酸ガス、給液 EC・pH、培地内 EC・pH、給液量、排液量等をデータ化する。

(2) Action (管理方法の調整)

生育調査結果と環境計測データをもとに、前週からどう変化したか、天気(予報)も考慮しながら、これから生育がどうなるのか、樹勢や栄養成長／生殖成長のバランス等について、スタッフ全員で検討し、管理方針を決定しています。しかし、作物状態の把握は、生育調査結果だけでは不十分で、実際に見た作物状態を加えた2つの視点で、生育バランスを判断して行います。生育調査後のミーティングにおいて、生育バランスの判断を行いますが、各人の判断が同じとは限らないため、マトリックス表(図2-3)を用いて生育バランスの見える化、共有を行い、スタッフの共通の判断となるようにしています。

この判断を元に生育バランスが崩れている場合は、理想とするポジションへ向けるための管理を考えます。例えば栄養成長／生殖成長のバランスの判断において、栄養成長寄りという判断をした場合、生殖成長へ向ける管理を話し合います。

		開花花房距離	花梗長	莖径	伸長量
目標値		cm	cm	cm	cm
現在値	○	cm	cm	cm	cm
	△	cm	cm	cm	cm
	●	cm	cm	cm	cm
	▲	cm	cm	cm	cm



位置推定の理由(バランス)

位置推定の理由(樹勢)

来週の管理

摘果

葉かき

その他

図 2-3 生育バランス判断用マトリックス表

第3章 50t 採り技術のポイント

本章では、50t 採り技術の各ポイントについて、実証栽培試験のデータを示しながら、解説していきます。

1. 夏季の日射を活かした 12 月定植

豊橋を中心とした東三河地域のトマト栽培は、夏季の高温を避けるため、8 月中旬から下旬に定植を行い、11 月から翌年 6 月末頃まで収穫する作型が一般的に行われています。一方、施設園芸先進国のオランダは、日本より日射量が少ないにもかかわらず、10a 当たり 60t を越える年間収量が得られています。オランダでは、日射量が少ない 12 月から 1 月に定植し、長日・強日射となる夏を越して、12 月まで栽培されています。

日本において、オランダと同様に 12 月に定植を行い、夏の高温を最新の環境制御技術を駆使してコントロールし、周年栽培した場合、慣行の 8 月定植と比べてどの程度収量が増加するのでしょうか？これについて、これまでに試験されたことがなく、わかっていませんでした。そこで、IGH では、第 1 作目は慣行の作型に近い 7 月定植し、第 2 作目以降は夏の長日・強日射を活かした 12 月定植の作型を実施しました。

第 1 作目（7 月定植）では、定植時に日射量が多く、収穫開始期に向けて徐々に日射が減少し、結果として収穫期間の前半は、1 年間で日射量が最も少ない時期となっています。（図 3-1）。収穫期の後半は日射量の増加に伴い、可販果収量も増加しています。

一方、12 月定植の第 2~4 作目では、収穫開始とともに日射量が増加し、可販果収量は日射量の変化とほぼ同様に増減しています（図 3-2, 3, 4）。トマトは、1600~2000 J/cm²/day の日射量が必要とも言われています。慣行の作型では、収穫期間の半分が 1500 J/cm²/day 以下の日射量で推移しましたが、12 月定植では、収穫期間の約 2/3 に相当する期間が 1500 J/cm²/day 以上に推移しました。このように、豊富な日射量を必要とするトマトでは、50t 採りのような多収を目的とした場合、夏の長日・強日射を活かした 12 月定植が重要なポイントになります。

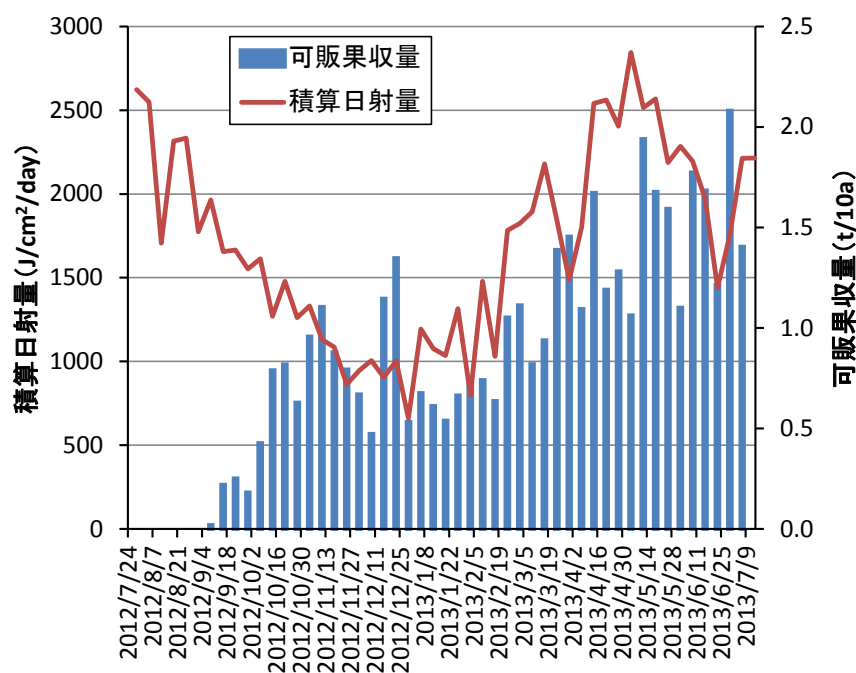


図 3-1 第 1 作目（平成 24 年 7 月定植）における週毎の屋外積算日射量と可販果収量の推移

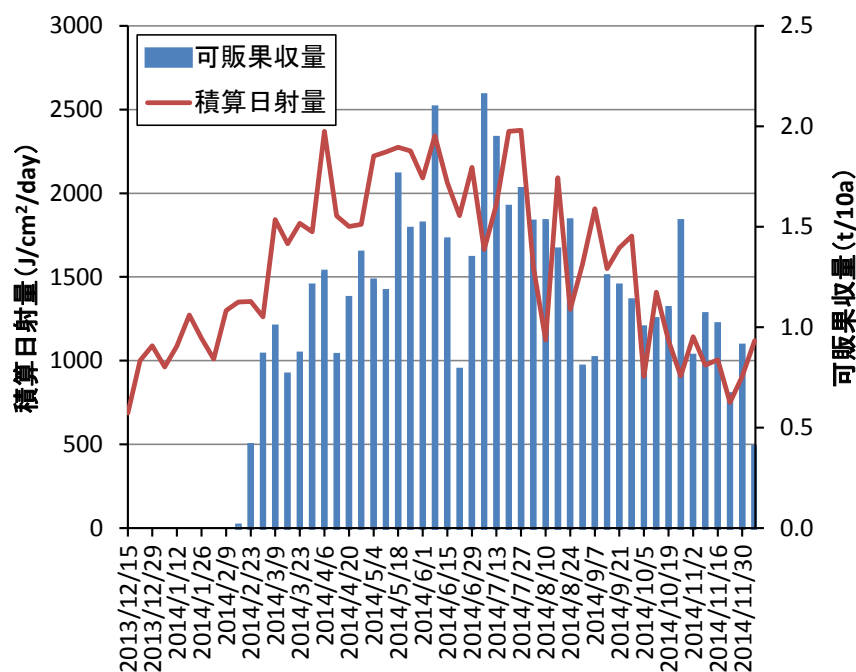


図 3-2 第 2 作目（平成 25 年 12 月定植）における週毎の屋外積算日射量と可販果収量の推移

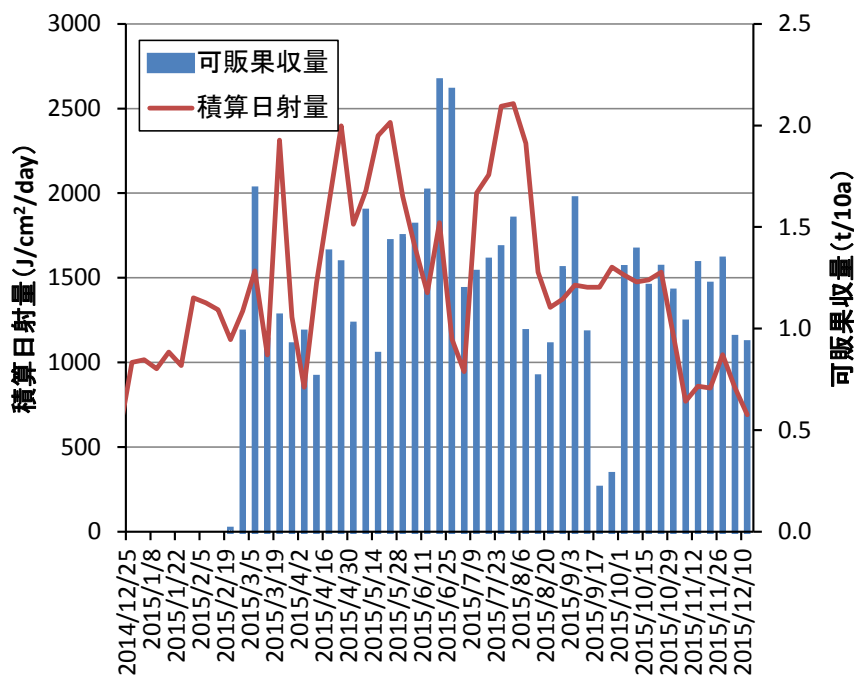


図 3-3 第 3 作目（平成 26 年 12 月定植）における週毎の屋外積算日射量と可販果収量の推移

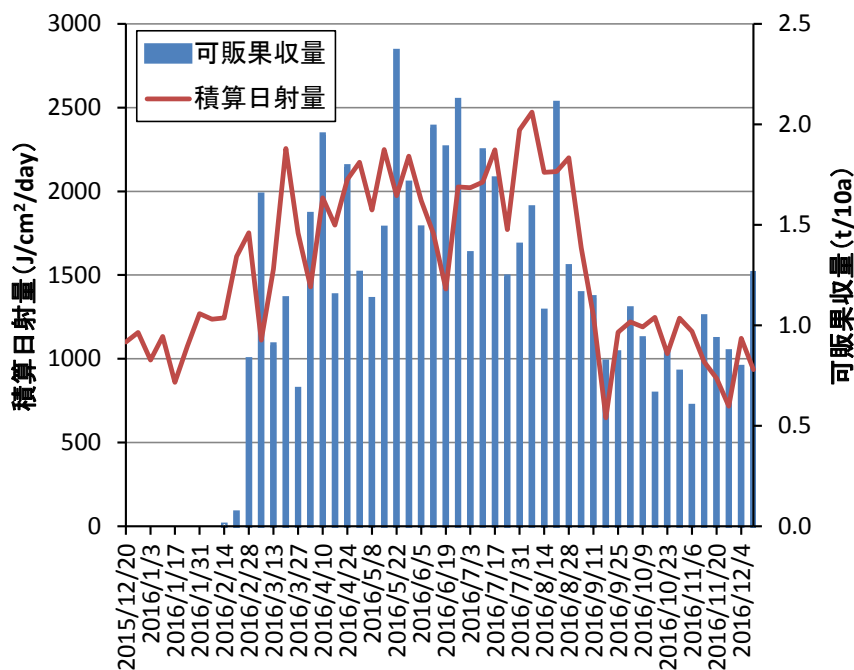


図 3-4 第 4 作目（平成 27 年 12 月定植）における週毎の屋外積算日射量と可販果収量の推移

2. 日射量に応じた側枝利用栽培技術・LAI 管理

前項で、トマトの収量と日射量との間に一定の関係があること、夏季の日射を有効活用することの重要性が示されました。しかし、ハウス内に入ってきた光を植物が受け取らなければ、光合成に利用されません。そこで、光を受け取る側の植物体を管理することで受光量を調節する必要があります。

葉面積を増やせば、受光量を増やすことができますが、葉が多くなりすぎると葉と葉が重なりあって、光の利用効率が悪くなります。受光量の観点から植物体を管理する場合は、葉数だけでなく、葉面積指数（LAI）で管理することが望ましいとされています。LAI とは、ほ場面積（床面積）に対する葉面積の割合で、値が大きくなるほど、葉が重なり度合いが大きいことを示します。

最適な LAI は 3~4 程度とされていますが、日射量や草勢のバランスによって変化させます。実際の栽培管理では、主枝当たりもしくは床面積当たりの葉数を調節します。具体的には、摘葉（下葉もしくは成長点に近い上位葉の除去）、側枝利用によって調節します。側枝利用には受光量を増やすことができることに加えて、枝数が増えることにより、面積当たり着果数が増えて収量増加が期待でき、多収栽培には欠かせない栽培技術となります。



図 3-5 側枝伸長利用の例。矢印が伸長させた側枝

I G H の第 2 作目以降、定植時の栽植本数を 3451 株/10a とし、日射量の増加に伴って、3 月より側枝を伸長させ（図 3-5）、仕立て本数を 4026 本/10a まで増

加させました（図 3-6）。夏至を過ぎると、日射量は減少するため、6 月中旬に側枝増加分の茎は摘芯し、枝密度を 3451 本/10a に戻す管理を行いました。また、日射量や草勢のバランスをみながら、葉数管理（主枝当たり 8 枚～13 枚）を行った結果、LAI は栽培期間の前半は 3～4（葉数：8～11 枚/主枝）、後半は 4～5（葉数：10～13 枚/主枝）を推移しました。

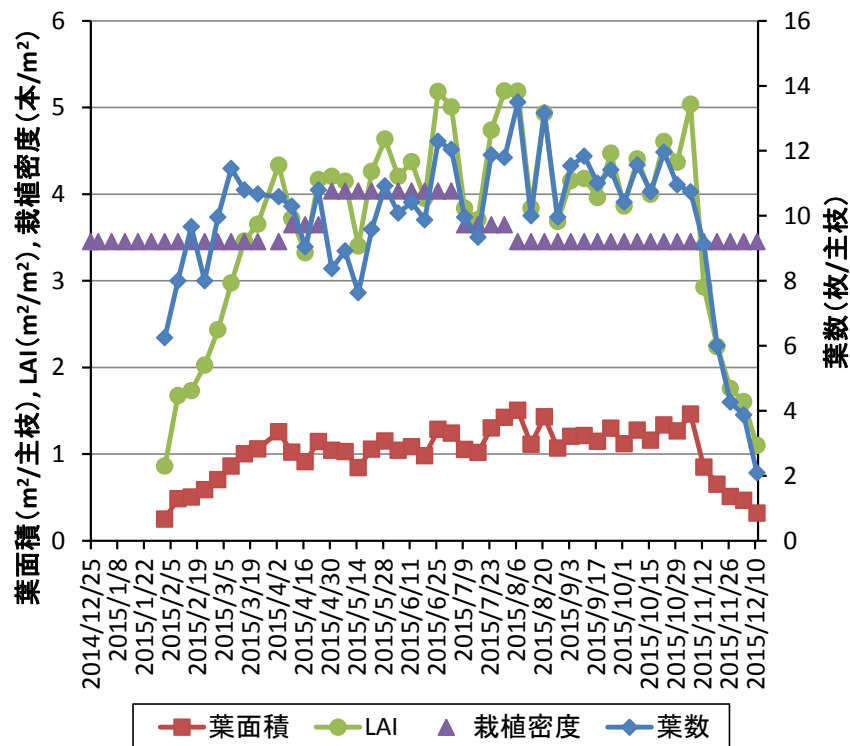


図 3-6 第 3 作目（平成 26 年 12 月定植）における葉数，葉面積，LAI および栽植密度の推移

3. パッド&ファン冷却システムによる夏季の温度制御

豊橋市の夏は、外気温が 35℃を超え、ハウス内では 40℃近くになることがあります。35℃を超える環境では、生育障害を誘発し、呼吸による消耗も激しくなるため、夏季に収穫を続けるとトマトの生育・収量が低減します。そこで、I G Hでは、気化熱を利用するパッド&ファン冷却システムを導入し、夏季の豊富な日射量下の温度制御を試みました。図 3-7 に外気温が 30℃を超えた真夏日のハウス内外の環境管理状況を示しました。

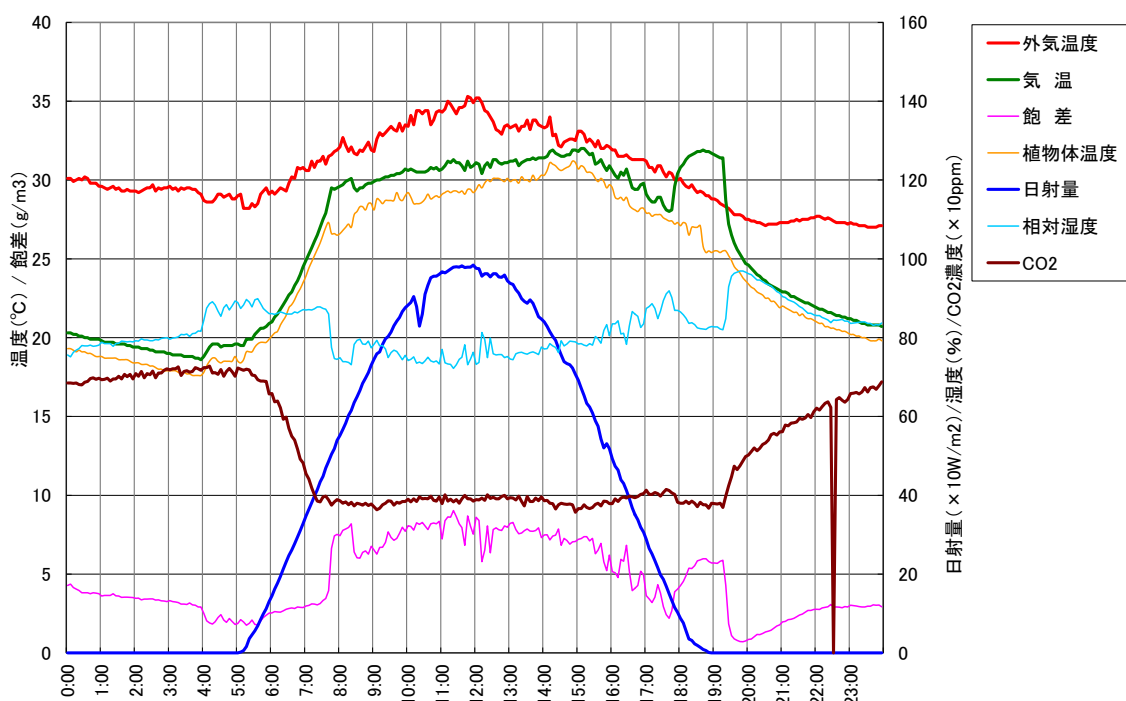


図 3-7 真夏日（2014年7月25日）のハウス内環境の変化

これを見ると外気温が 35℃前後になっても、ハウス内はパッド&ファン冷却システムの効果で 30℃前後に制御することができます。

しかし、パッド&ファンを利用するにあたって注意点があります。パッド&ファンは、水が気化するときに周囲の熱を奪う、気化熱利用の仕組みを活用しています。そのため、パッド&ファンで冷房すると、ハウス内の気温が低下するとともに、相対湿度が上がってしまいます。高湿度条件では、蒸散が抑えられることがあります。通常、葉から蒸散がしっかり行われていると、気化熱に

より葉温（植物体温度）は、室温より 2~3℃低くなります。しかし、高湿度条件により蒸散が抑えられると、葉温が室温とほぼ同じ温度になってしまうことがあります。I GHでは、パッドへの給水を半分程度に制限し、湿度上昇を抑える管理も試みましたが、給水制限により気化冷却効果が少なくなり、室温は上昇することもあります。湿度上昇は抑えることができ、結果として、蒸散が促進され、葉温を気温より低くなりました。パッド&ファンの利用時には、気温と湿度だけでなく、葉温も見ながら、蒸散を意識することが重要です。

【植物生理に合わせた温度管理】

植物は、CO₂と水を原料にして、光をエネルギーに変えて光合成を行います。光合成で作られた糖（同化産物）の一部は、呼吸によって植物体維持のために消費されます。残りの糖は、果実、成長点、根等に転流され、細胞分裂によって、新しい葉や花芽といった器官をつくり、細胞伸長によって大きくなるために利用されます。これらの植物生理に温度は影響を及ぼします。トマトの温度管理は、葉や花芽の発生、糖の転流と分配、果実の着色、呼吸を制御し、植物の生育バランスを制御するために行います。

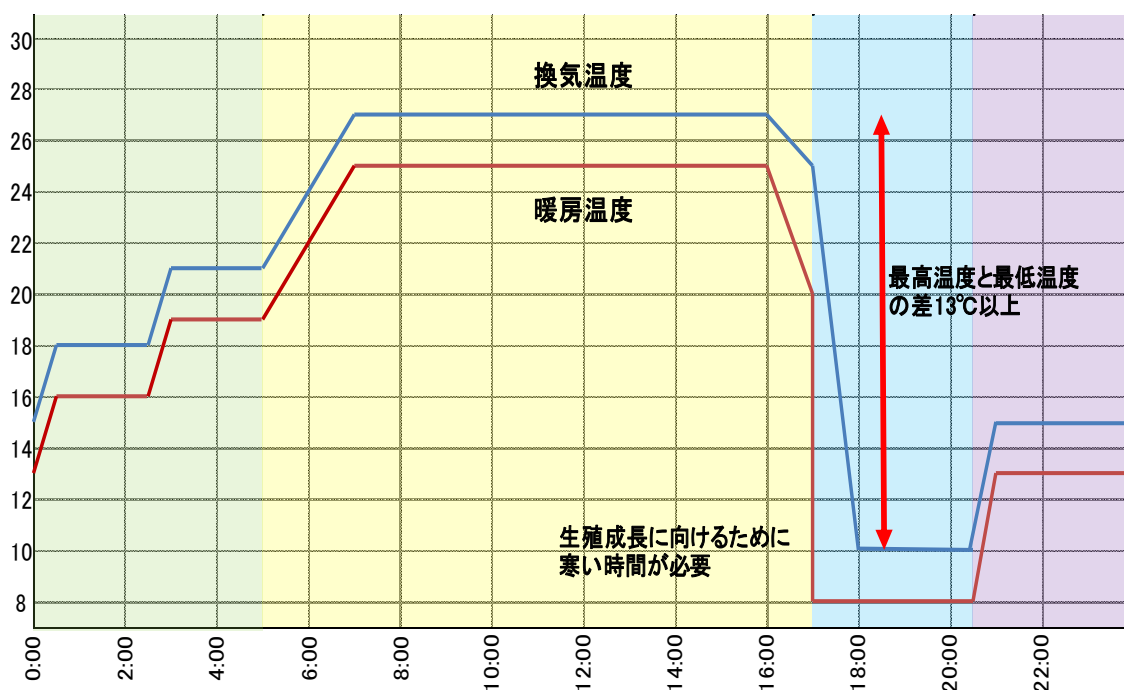


図 3-8 植物生理に合わせた変温管理のイメージ

図 3-8 に光合成と転流・分配を意識した変温管理のイメージを示しました。日の出前から徐々に上げて、日の出時刻には光合成適温 17℃以上にします。午前中は日射量に比例して徐々に上げて、午後の温度は午前より高く維持します。植物は、葉で光合成しながら、同時に成長点、果実、根に同化産物を転流しています。転流の適温は光合成適温より高く、同化産物は温度の高い部位に転流しやすい性質があると言われます。午後の温度を高くすることによって、葉に蓄積した同化産物の転流を促します。日の入前後の夕方には、温度を急激に降下させます。この温度低下により葉温も下がりますが、果実や根圏の温度は高いまま維持されます。同化産物は温度の高い部位に転流しやすいため、果実や根に同化産物の分配を促すことができます。

4. 環境を考慮した炭酸ガス (CO₂) 施用技術

図 3-9 は IGH で測定した CO₂-光合成曲線です。炭酸ガス濃度が 800ppm までは濃度が高くなると、光合成速度も増加します。IGH では、光合成に必要な日射量が確保できる時間帯である、日の出 2 時間後から日の入り 2 時間前に炭酸ガス施用します。炭酸ガス濃度は、パッド&ファンが稼働せずハウスを密閉状態にできるときは 600ppm、外気導入時には 400ppm 設定します。パッド&ファンの稼働時も 400ppm を下回らないように連続施用し管理します。

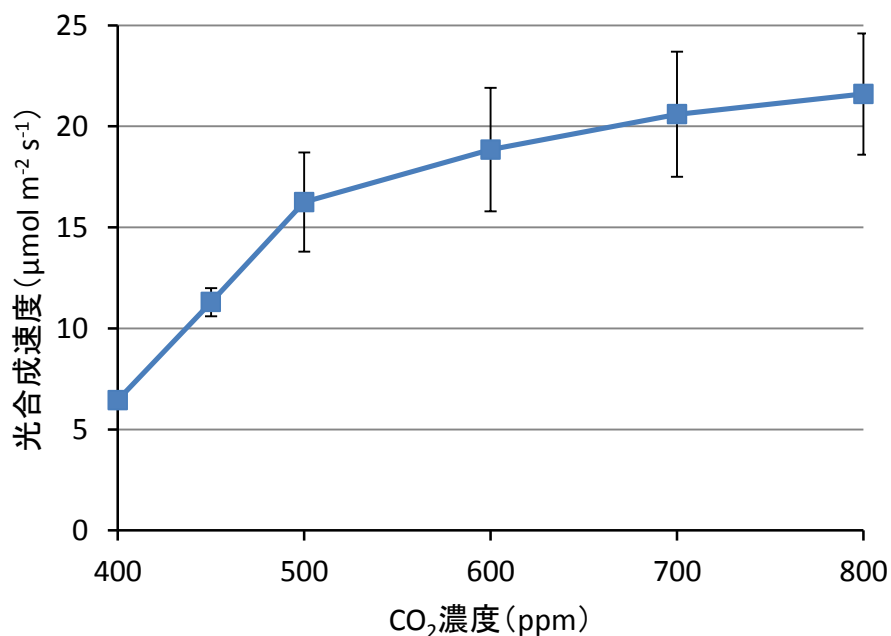


図 3-9 CO₂-光合成曲線 (2014 年 5 月 29 日測定). 測定時の光合成有効光量子束密度 : 1000μmol m⁻² s⁻¹

5. 蒸散を重視した飽差管理

湿度の単位として相対湿度(%)が用いられることが多いですが、施設栽培での湿度環境の評価をするときは、不十分とされています。最近では、飽差という指標で評価されるようになってきています。飽差は空気の飽和水蒸気量と空気中に含まれている水蒸気量との差であり、空気中にとどのくらい水蒸気が含まれる余地があるかを示しています。この飽差が植物の気孔の開閉や蒸散に影響することが知られています。

表 3-1 異なる温度・湿度下での飽差(単位: g/m³) (引用元: Green Q 社セミナー資料)

相対湿度 %	温度 °C																		
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
40	6.4	6.8	7.2	7.7	8.2	8.7	9.2	9.8	10.4	11.0	11.7	12.4	13.1	13.8	14.6	15.5	16.3	17.3	18.2
45	5.9	6.2	6.6	7.1	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.1	10.7	11.3	12.0	12.7	13.4	14.2	15.0	15.8	16.7
50	5.3	5.7	6.0	6.4	6.8	7.2	7.7	8.2	8.7	9.2	9.7	10.3	10.9	11.5	12.2	12.9	13.6	14.4	15.2
55	4.8	5.1	5.4	5.8	6.1	6.5	6.9	7.3	7.8	8.3	8.7	9.3	9.8	10.4	11.0	11.6	12.3	12.9	13.7
60	4.3	4.5	4.8	5.1	5.5	5.8	6.2	6.5	6.9	7.3	7.8	8.2	8.7	9.2	9.8	10.3	10.9	11.5	12.1
65	3.7	4.0	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.1	6.4	6.8	7.2	7.6	8.1	8.5	9.0	9.5	10.1	10.6
70	3.2	3.4	3.6	3.9	4.1	4.3	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.2	6.5	6.9	7.3	7.7	8.2	8.6	9.1
75	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.6	4.1	4.3	4.6	4.9	5.1	5.4	5.8	6.1	6.4	6.8	7.2	7.6
80	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.4	4.6	4.9	5.2	5.4	5.8	6.1
85	1.6	1.7	1.6	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.6
90	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.0
95	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5
99	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

蒸散極めて激しい
 蒸散が多い
 蒸散が少ない
 蒸散が激しい
 蒸散は適正
 蒸散極めて少ない

表 3-1 は、異なる温度・湿度下での飽差を示したもので、計測しているハウス内の気温と相対湿度から飽差を把握することができます。光合成の促進には、飽差 3~6 g/m³ 程度が最適とされています。例えば、気温 25°C のときは、最適飽差にするためには、相対湿度を 75~85% に管理しなければなりません。しかし、長期間にわたって高湿度条件で管理すると、葉の蒸散量が減少し、根の養水分の吸収能力が低下することがあります。実際の栽培では、光合成の最適飽差 3~6 g/m³ より高く管理します。IGH では、飽差 7~9 g/m³ 前後(しおれが発生しなければ 13g/m³) で管理しています。飽差管理で重要なことは、急激な飽差の変化が起きないように管理することです。急激な飽差上昇(湿度低下)は、蒸散量の異常な増加につながるため、気孔が一瞬で閉まってしまいます。一度閉じた気孔は数時間開かず、これがしおれる原因になります。特に、曇天から晴天に変化するときは、しおれやすく、注意が必要です。

6. トマトの生育バランスを維持する生育計測データ中心の栽培管理

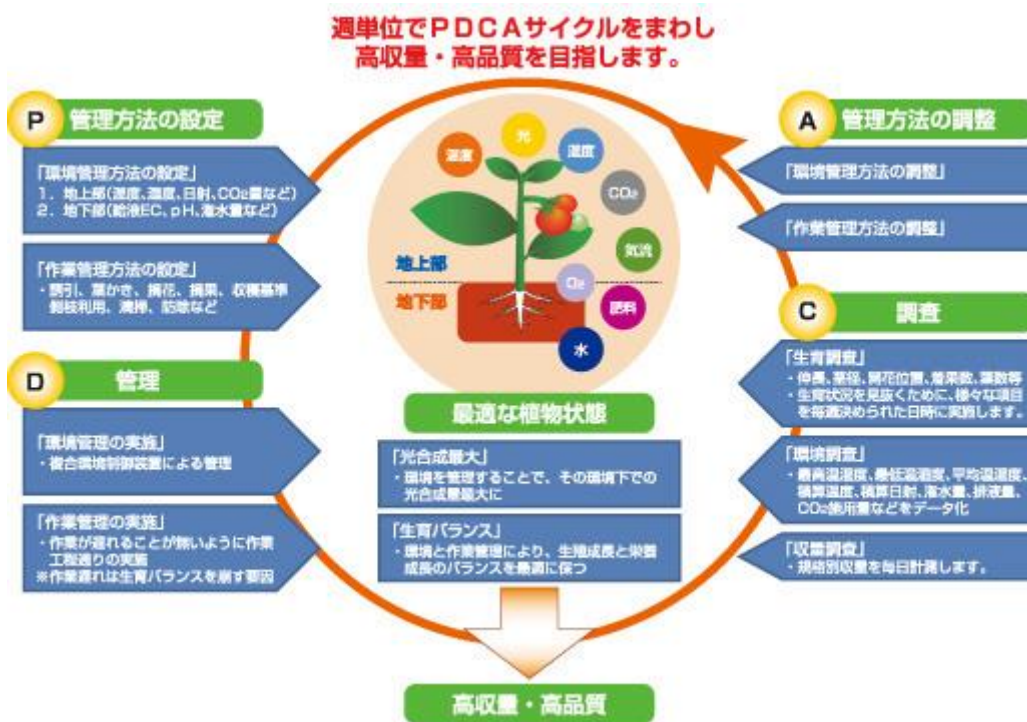


図 3-10 栽培管理の PDCA サイクル

I GHにおいて、3年連続で50t採りを達成できた大きな要因の一つとして、徹底した栽培管理があげられます。設定した管理方法(P)に従って管理を実施(D)、環境、生育、収量を計測(C)し、この結果を評価し、はじめに設定した管理方法を調整(A)します。このPDCAサイクルを週単位で実施し、管理方法を改善することをI GHでは行ってきました(図3-10)。

管理方法を最適化するためには、この中でも、生育調査とその計測データの評価が重要です。生育調査は、植物の状態を把握することであり、栽培する上で最も重要です。

果実を収穫するトマト等の果菜類では、果実以外の茎、葉や根の成長(栄養成長)と、花芽や果実の成長(生殖成長)が同時並行して起こっています。これらの生育バランスをとり、草勢を維持していくことがポイントになります。

トマトの生育の良否を判断するときは、栄養成長・生殖成長の生育バランス

と、草勢の強・弱を区別して考えることが重要です。これらを客観的かつ定量的に判断するために、IGHでは、以下の項目について週1回調査しています。

- ・「茎伸長量」：1週間で伸びた茎の長さ
- ・「茎径」：1週間前に成長点だった位置の茎の太さ
- ・「開花花房距離」：1番花が開花した時点の成長点から花房付け根までの長さ
- ・「花梗長」：一番花が開花した時点の開花花房の茎の付け根から花房の先端までの長さ
- ・「着果数」：果径5 mm以上の果実数

この他に「開花日」（各花房1番花が開花した日）「収穫日」、「果実重量」、「果実糖度」等も調査しています。

図3-11に第2作から第4作の茎径、茎伸長量、開花花房距離、花梗長および着果数の計測結果を示しました。これらの生育調査と環境計測データを総合して、現時点の草勢の強弱や栄養成長・生殖成長の生育バランスを判断します。

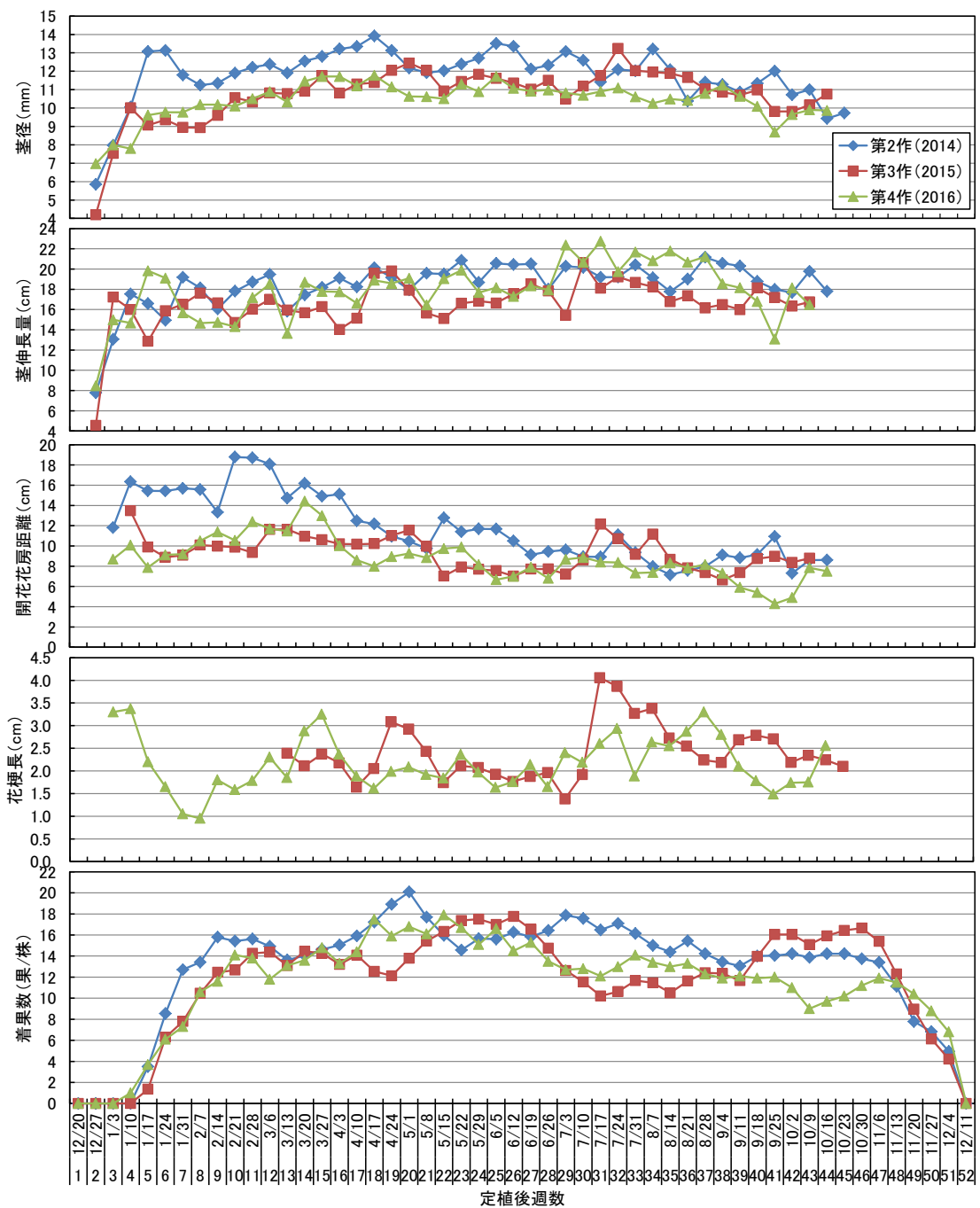


図 3-11 第 2 作から第 4 作の茎径、茎伸長量、開花花房距離、花梗長および着果数の推移

【草勢の強弱の判断と制御】

表 3-2 に草勢の強弱の判断の例を示しました。なかでも茎径は、草勢の強弱を表す客観的な指標の一つです。茎径が太い＝草勢が強い、茎径が細い＝草勢

が弱いと判断します。一般に草勢が強すぎると果実の肥大や果実品質が低下するといわれています。一方、草勢が弱すぎると、長期間栽培する場合は、着果数や果実の肥大にも影響します。図 3-11 の茎径の推移をみると、I G Hでは第 2 作目が 12~14 mm、第 3、4 作目は 10~12 mm で推移しており、草勢がコントロールできていることが分かります。誘引等の作業のしやすさを考慮すると、茎径は 10mm 前後で管理したほうがよいでしょう。

表 3-2 草勢の強弱の判断の例

草勢が強い	草勢が弱い
<ul style="list-style-type: none"> ・茎径が太く、伸長量が長い ・葉色が濃く、葉長や小葉が大きくなる ・脇芽が出やすく、大きくなりやすい ・葉先がねじれる 	<ul style="list-style-type: none"> ・茎径が細く、茎伸長量が短い ・葉色が薄く、葉長や小葉が小さくなる

草勢の制御では、平均温度、培地水分、摘葉を以下のようにします。

草勢を強めたいとき：

- ・平均気温を低くする
- ・培地水分を多めに管理する
- ・摘葉を控え、葉数を多めに管理する

草勢を弱めたいとき：

- ・平均気温を高くする
- ・培地水分を少なめに管理する
- ・摘葉し、葉数を少なくする

【生育バランスの判断と制御】

表 3-3 に生殖成長・栄養成長の判断の例を示しました。花の色や花梗の形状等は、日々の観察が重要になりますが、観察者の主観となりますので、判断基準にズレが生じます。一方、開花花房距離と花梗長は、客観的に数値で比較できます。花梗長は、I G Hでも第 3 作目から計測し始めた項目で、基準値はまだ決まっていませんが、図 13 の花梗長をみると、1.5~2.5 cm を推移しています。これより短いときは生殖成長、長いときは栄養成長に偏っていると判断

すればよいでしょう。また、開花花房距離について、吉田（2016）の著書「トマトの長段多段どり栽培－生育診断と温度・環境制御」によると、適正な生育バランスの目安は10～15 cmとしています。すなわち、開花花房距離が10 cm以下では生殖成長、15 cm以上では栄養成長に偏っているということになります。

表 3-3 生殖成長・栄養成長の判断の例

生殖成長	栄養成長
<ul style="list-style-type: none"> ・開花花房距離が短い ・花梗長が短い ・花色が濃い ・連続花房、芯止まりが多い ・花梗と茎の角度が鈍角で、花梗がアーチ状のカーブを描く ・着果が速い(揃いが良い) ・開花から収穫までの日数が短い ・葉は小さく短い ・花房当たりの花数が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・開花花房距離が長い ・花梗長が長い ・花色が薄い ・花房先に葉が発生する ・花梗と茎の角度が鋭角で、まっすぐ上に向く ・着果が遅い ・開花から収穫までの日数が長い ・葉が大きく長い ・花房当たりの花数が少ない

栄養成長・生殖成長の制御は、以下のようにします。

生殖成長へ傾けたいとき：

- ・ 温度の日較差を大きくする
- ・ 夕方の温度を急激に降下させる（クイックドロップ）
- ・ 摘葉を積極的に実施する
- ・ 摘果は控え、着果を多くする
- ・ 培地の水分量は乾き気味に管理し、夜間、特に水分を少なくする

栄養成長へ傾けたいとき：

- ・ 温度の日較差を小さくする
- ・ 夕方の温度をゆっくり降下させる
- ・ 摘葉を控え、葉を多く残す
- ・ 摘果し、着果を少なくする
- ・ 培地の水分量は湿り気味に管理する

8. ヤシ殻栽培による養液管理と徹底した病害虫管理

I G Hの栽培棟の入り口には、エアカーテンを設置し、病害虫の持ち込みを防止し、黄化葉巻病、灰色かび病等トマトの重要病害を徹底的に防除しています。また、培地にヤシ殻培地を用いて隔離栽培をすることにより、土壤病害の発生を防ぎ、万が一培地へ病害虫が入った場合でもすぐに交換することで被害の拡大を防ぐようにしています。

ヤシ殻培地は保水・排水性のバランスが取れた安定した培地で、I G Hでは、Van der knaap 社のユーロプラスを採用しています。ユーロプラスはココヤシの繊維にチップをほどよくブレンドすることで、空隙率が向上し、乾き気味の水分管理にも対応しているものです。

地上部の環境制御によりトマトの生育が旺盛になると、それに応じた給液管理、培地内環境の把握が必要になります。培地内の pH と EC を毎日計測し、培地内環境を把握するようにしましょう。pH は 5.5~6.5、EC は 2~4 dS/m（夏は高め、冬は低め）を目標に管理します。培地内 EC が上がれば、給液 EC を下げ、逆に培地内 EC が下がれば、給液 EC を上げる管理をします。培地内環境を安定させることにより、根傷みが少なく根張りの良い状態を維持するようにします。

9. 光合成最大化のためのハウス内の複合環境制御技術

光合成は、光、CO₂、温度、湿度、気流、養水分等の環境要因の影響を受けます。光合成最大化のためには、これらの環境を調節する設備機器があり、設備機器を制御するシステムが必要になります。

I GHでは、温風暖房機、ヒートポンプ、熱回収型除湿換気システム、CO₂供給装置、パッド&ファン、ミスト、外部遮光、循環型養液システム等が導入されています（図 3-13）。これらの設備機器を一括制御するのが、複合環境制御システム「iSii（イージー）」です。iSiiは、拡張性に優れたハードウェアであり、制御に必要な屋外気象センサ、屋内気温・湿度・CO₂センサの他に、植物体温度センサ、培地重量センサといった植物の状態をリアルタイムで計測できるセンサも増設することができます。環境制御システムを使いこなすことができれば、より良い光合成環境を創出することができます。

複合環境制御は施設を管理する上で、非常に便利なツールですが、注意しなければならない点もあります。複合環境制御では環境の計測の結果がすべての機器の動作に反映されます。そのため、計測するセンサが生命線となります。センサの精度低下や故障は、間違った管理につながります。また、複合環境制御の設定は多岐にわたり、設定の間違いをしてしまう恐れがあります。設定ミスに気付かない場合、正常な管理が実施できないばかりか、生育に重大な影響を与えてしまう場合があります。設定を変更したら、正しく制御できているか、確認する必要があります。

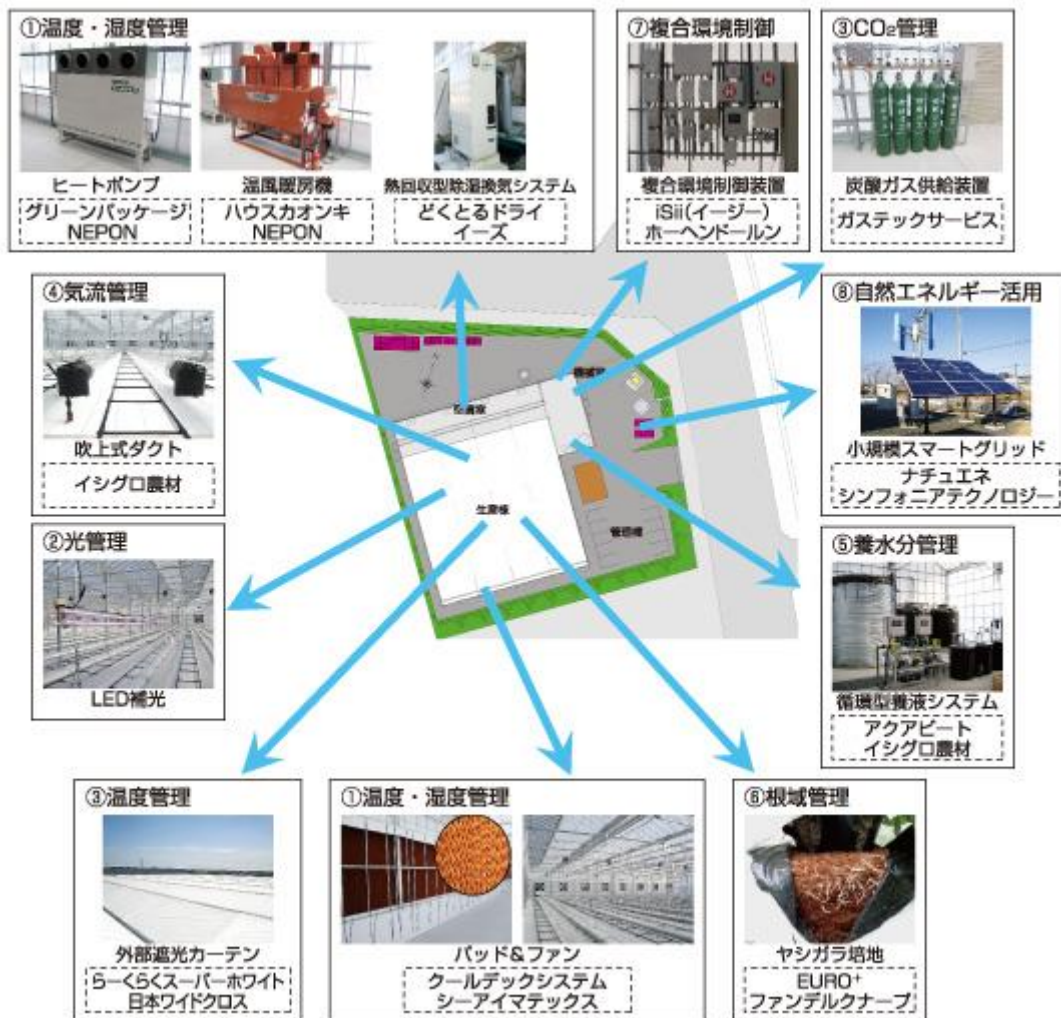


図 3-13 IGHの設備機器

第4章 ケーススタディ

1. 定植直後に起きやすいトラブル

○萎れの発生

原因 定植直後のまだ根が少ない状態で、葉からの蒸散量が多すぎるとき。

対策 ミストによる加湿、遮光による蒸散速度を抑える管理。

実例 IGH は 12 月定植で、ハウスを閉めきっており、換気回数が少なかつたため、湿度の低下はあまり起きませんでした。

2. 梅雨時（曇雨天時）に起きやすいトラブル

○温度を下げた管理よるかび病の発生

原因 樹勢低下を抑えるための低温管理による相対湿度の上昇。

高湿度条件が続くことよるかびの発生増。

IGH で発生した病気

・灰色かび病

Botrytis cinerea Fr. によって起こされます。高湿度の条件が長く続かなくても、比較的冷涼な気候で発生します。温度が高くなると病勢は衰えるものの発生し続けます。

・アルタナリア茎枯病

Alternaria alternata Fr. (Keissler) 菌の感染によって発病します。空中、土中もしくは枯死植物体上でも確認される菌であり、特に多湿条件で発生しやすくなります。

対策 定期的な農薬散布、相対湿度を下げる、もしくは蒸散を促進する環境管理。

実例 曇天時に積極的に暖房機を使用して、除湿を行いました。相対湿度を下げることで、蒸散を促進し、代謝を活発化させます。また、暖房機を使って相対湿度が下がらない場合は、雨天でもファンによる強制換

気を行い、空気の流れを作ることで、高湿度条件でも蒸散を促進させる管理を行っています。



図 4-1 アルタナリア茎枯病に感染したと思われるトマトの茎の様子

3. 夏に起きやすいトラブル

○収量・樹勢の低下

原因 35℃を超える環境下での、花粉稔性低下、着果率低下、奇形果発生、生育障害誘発。

温度の上昇により呼吸による糖の消耗が激化。

対策 遮光やパッド&ファンによる温度上昇の抑制。

実例 梅雨入り前に茎径の目標値を上げ、樹勢やや強めにする管理を行っています。ハウス内温度 30℃以上になるとき、水による気化熱を利用するパッド&ファン冷却システムを稼働させています。また、梅雨明けから9月半ばまでの期間は9時半～14時半の間30%の遮光を行っています（850W/m²以下では遮光しない）。

4. 秋以降に起きやすいトラブル

○病気の発病（灰色かび病、アルタナリア茎枯病）

原因 夏の高温期を乗り越えた際の根痛みによる樹勢の低下。

対策 病気の早期発見と発病株からの感染拡大防止の管理。

実例 病気を蔓延させないために、週1回圃場のすべての株の茎を確認する茎チェックを行っています。病気の疑いがある株は直ちに株元から切断し、ハウス外へ撤去することを徹底して行っています。

おわりに

I G Hにおいて、3年連続して50t/10a採りを達成できた要因についてここまで解説してきました。栽培環境を徹底的に管理し、生育バランスを良好に維持することは重要ですが、それと同等に労務管理が重要です。トマトの日常的な管理作業として、「誘引吊り下げ」、「腋芽取り」、「摘果」、「葉かき等」の作業があります。どの作業をいつ、どの順番で行うかを、作業ごとに必要な時間を把握し、適切に組み合わせ、作業に遅れが生じないように管理します。仮に、作業に遅れが発生した場合、生育バランスを崩す原因になり、結果として収量にも影響を及ぼします。徹底した労務管理は、50t/10a採りを達成できた要因の一つとも言えます。

施設園芸における設備の高度化が進んでいますが、設備を導入すれば収量が必ずしも増えるということではありません。機器の性能や特性を理解すること、植物の状態を的確に判断する技術が重要になってきます。日頃からの植物を観察し、生育調査や環境データと照らし合わせていくことが、植物の状態にあった理想的な環境制御に不可欠と考えています。このI G Hプロジェクトの成果を、生産圃場で少しでも活用していただければ幸いです。

**太陽光利用型植物工場イノベーティブグリーンハウスに
おけるトマト 50t 採り栽培マニュアル**

2017 年 8 月 18 日 第一版発行

発 行 者 IGHプロジェクト

発 行 所 IGHプロジェクト事務局

〒441-8113

愛知県豊橋市西幸町字浜池 333 番地の 9

((株)サイエンス・クリエイト内)

TEL0532(44)1111 FAX 0532(44)1122