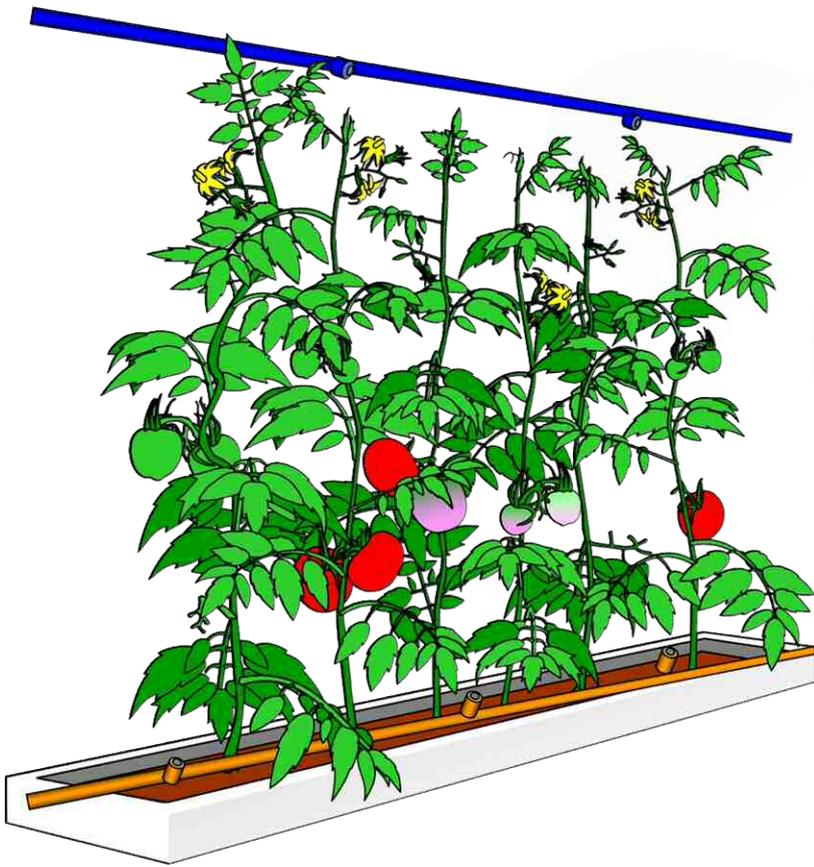


あいち型植物工場マニュアル (トマト編)



高度な環境制御により

年間**40t**/10aの

生産を実現します。



平成28年3月

愛知県農業総合試験場

はじめに

近年、「植物工場」という施設園芸のキーワードは、一般社会に広く浸透し、「高度な環境制御により計画的に周年生産できる」、「病虫害の侵入を防いで農薬使用が減らせる」、「生産物が衛生的である」など、肯定的なイメージが先行しています。

一方、実際の「植物工場」の経営面に視点を移すと、黒字経営は全体の約3割にとどまっており、多額な設備投資が負担となっている事例が少なくありません*。

こうした背景のもと、この「あいち型植物工場マニュアル」は、既存の施設を活用して実情に応じた最適な設備投資を行うことを想定し、必要な資機材、制御すべき環境、管理に必要な数値について紹介しています。

本マニュアルが、「植物工場」に興味を持ち、導入を検討しているトマト生産者の参考となり、適切な環境制御による収量増大と所得確保を通じて、安定した経営を実現する一助となれば幸いです。

* 平成 26 年度 次世代施設園芸導入加速化支援事業（全国推進事業）事業報告書
（一般社団法人日本施設園芸協会）

本マニュアルは、

平成 24～27 年度 共同研究「施設トマトの多収生産技術の開発」

愛知県農業総合試験場・JA あいち経済連・トヨハシ種苗(株)

の成果をまとめたものです。

あいち型植物工場マニュアル（トマト編）

目次

1	あいち型植物工場とは	2
2	あいち型植物工場の仕様	3
(1)	望ましい施設とは？	3
(2)	栽培管理で制御したい施設内環境	3
(3)	必要な資機材	3
ア	機器の制御と環境の計測	3
イ	制御すべき環境	4
(ア)	温度	4
(イ)	湿度	5
(ウ)	CO ₂	6
(エ)	日射	6
(オ)	養水分	7
ウ	導入モデル	8
(4)	大規模な植物工場に必要な資機材	8
3	管理ガイド	10
(1)	温度	10
(2)	湿度	11
(3)	CO ₂	13
(4)	日射	16
(5)	養水分	17
4	トマトにおける環境制御指針	18
5	実証栽培	20
6	経営モデル	24
■	変温管理について — Quick drop とは —	11
■	ミスト噴霧したときの施設内飽差	12
■	葉面積指数の推定	14
■	栽植密度について	16
■	環境制御下での養水分吸収	17
■	品種について	23
■	草勢診断と草勢管理 —あとがきにかえて—	25

1 あいち型植物工場とは

愛知県は、太平洋岸に位置し冬季の日照が多い温暖な気候を活かして、全国にさきがけて施設園芸が発展しました。暖房のある施設の設置面積は2,019ha*におよび、年数を経た施設も多数ありますが、3割以上の農家が現有施設の補改修や環境制御機器の導入に関心をもっています**。

「あいち型植物工場」は、このような特徴を生かし

- ① 太陽光利用型施設として新築されたものだけでなく、既存の温室やハウスを改修によりそのまま活用し、
- ② 光、温度、二酸化炭素 (CO₂) などの高度な環境制御機能を追加することで飛躍的な生産量の増大を目指し、
- ③ さらに、情報通信技術 (ICT) の利用による産地内の情報共有および栽培の最適化を志向します。

* ガラス室 617ha、ハウス類 1,402ha 平成 24 年愛知県調べ

** 主要作目の生産組織等へのアンケート調査 平成 27 年愛知県調べ

大玉トマト実証試験の状況



あいち型植物工場実証ハウス (JA あいち経済連営農支援センター)

2 あいち型植物工場の仕様

(1) 望ましい施設とは？

後述する環境制御や養液栽培を導入することができ、高さ3m程度のハイワイヤー誘引で長期長段栽培に取り組みやすい構造（軒高3m以上）であること。ただし、従来型のハウス（軒高3m未満）でも、このマニュアル内容を適宜活用することにより、生産性の向上が期待できます。

(2) 栽培管理で制御したい施設内環境

トマトの光合成能力を最大に発揮させるため、以下の5項目を制御の対象とします。
————— ①温度、②湿度、③CO₂、④日射、⑤養水分

(3) 必要な資機材(写真は現在入手可能な製品の例示)

ア 機器の制御と環境の計測

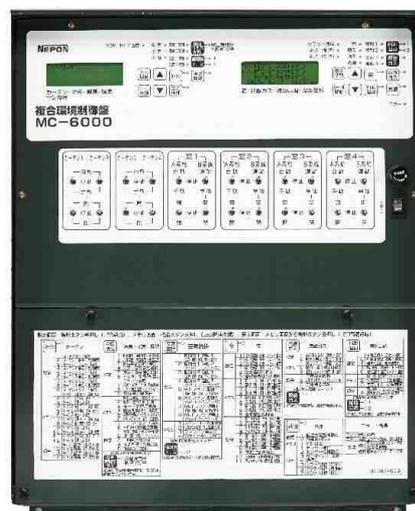
複数の環境データを随時計測し、相互のデータを関連付けて機器の動作を制御したり、施設内の異常を検知します。

・複合環境制御装置

複数の環境要因（室温、湿度、CO₂濃度、日射量等）に基づいて個々の機器を制御し、施設内をトマトの生育に最適な環境に近づけます。例えば室温と風速・風向に応じて換気窓の開度を調節したり、室温と日射量に応じて遮光カーテンの開閉を調節するなど、高度な制御が可能になります。



(日本オペレーター製)



(ネボン製)

複合環境制御装置

・モニター装置

施設内の環境データを収集・蓄積し、遠隔地から携帯端末を使って監視できます。

		
<p>本体 (温湿度、CO₂センサ内臓)</p>	<p>あぐりログ BOX (温湿度、CO₂センサ内臓)</p>	<p>モニタリングセンサ (温湿度、CO₂センサ内臓) と照度センサ</p>
		
<p>パソコン画面 プロファイnder (誠和製)</p>	<p>スマートフォン画面 あぐりログ (IT 工房 Z 製)</p>	<p>パソコン・携帯端末画面 アグリネット (ネポン製)</p>

イ 制御すべき環境

(ア) 温度

室温をトマトの生育適温である昼温 25~28℃、夜温 15℃程度 (望月, 2010) に近づけます。

- ・換気窓 (天窗、側窓) : 屋外の風や施設内外の温度差を利用して空気を入れ替え、室温を外気温に近づけます。
- ・換気扇 : 強制的に空気を入れ替え、室温を外気温に近づけます。
- ・循環扇 : 施設内の空気を攪拌し、温度ムラを解消します。
- ・暖房機 : 冬期に空気を暖め、適温を保ちます。温風暖房機が一般的で、夜間に湿度を下げて病害の発生を抑える効果も期待できます。
- ・ヒートポンプ : 電気またはガスを使い、エアコンと同様の原理で加温や冷却を行います。ヒートポンプ単独の利用では、設置コストが高くなるため、燃焼式の暖房機と組み合わせるハイブリッド方式での運用が適しています。夏期の夜間には、冷房用として使うこともできます。エネルギー経費の節減などを考慮して導入を検討します。



温風暖房機(ネポン製)



循環扇(フルタ製)



ヒートポンプ(ネポン製)



側窓巻き上げ装置(日本オペレーター製)

(イ) 湿度

過度の乾燥や乾湿の急変は、気孔を閉じさせ、光合成の効率を低下させます。特に春先の天窗・側窓開放時には顕著で、トマトにとって強いストレスとなります。そこで、ミスト噴霧により湿度を補い、光合成効率の低下を防ぎます。こうした加湿は、同時に裂果の発生を減少させる効果もみられます。

- ・微粒ミスト装置：ポンプで水を加圧し、水を粒径 $30\mu\text{m}$ 程度の霧状に噴射します。この装置は、専用ノズル、ポンプ（ $3\sim 5\text{MPa}$ の加圧性能）、制御装置（温湿度を監視して噴霧を決定）、フィルタ（ノズルの目詰まり防止）等で構成されます。なお、ミスト用の原水には、上水または井戸水を利用します。



ミスト装置(トヨハシ種苗製)



湿度制御装置(トヨハシ種苗製)



ミスト制御装置(トヨハシ種苗製)



ミスト送水ユニット(トヨハシ種苗製)

(ウ) CO₂

主に冬期の施設栽培では、換気が制限され、光合成に必要な CO₂ が不足しがちです。このような条件下で CO₂ を施用すると、光合成が促進されます。トマト栽培では、1果重の増加や空洞果の減少等、収量・品質を向上させる効果が確認されています。

- ・ CO₂ 施用装置：光合成に不可欠な CO₂ を施用します。低コストな方式は「燃焼式」で、燃料は灯油またはプロパンガスを使用します。「液化 CO₂」については 9 ページ参照。
- ・ 制御装置：施設内の CO₂ 濃度や気温を監視し、設定条件に応じた CO₂ 施用を行います。



CO₂ 施用装置(灯油)
(ネポン製)



CO₂ 施用装置(LP ガス)
(バリテック新潟製)



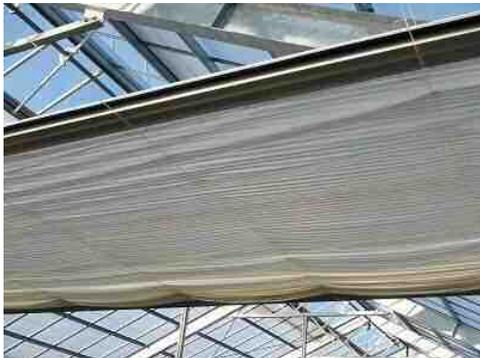
CO₂ 制御装置
(トヨハシ種苗製)

(エ) 日射

施設内に透過した日射は、植物体、床面、施設構造材等に吸収され、施設内の温度を上昇させます。強日射を軽減する遮光・遮熱は、夏期の高温対策や春先のしおれ対

策として有効です。

- ・遮光遮熱資材：被覆資材（白または銀色、遮光率 30～50%、通気性あり）や塗布剤があります。



遮光カーテン（被覆資材）



塗布剤(Mardenkro 社製)

(オ) 養水分

多収生産の実現には、植物が必要とする養水分を適切に供給しなければなりません。精密な制御には根域を隔離するとともに、液肥（養液）で肥培管理する養液栽培が適しています。トマトは果菜類の中でも養液栽培の歴史が長く、数多くの情報を利用できます。

- ・養液栽培装置：以下の資機材で構成されます。EC コントローラー、液肥混入機、液肥タンク、給液量制御装置（日射比例式または排液量検知式）、培地（圧縮ヤシ殻など有機質資材、ロックウール）等



ロックウール
(Rockwool 社製)



圧縮ヤシ殻培地
(トヨハシ種苗製)



給液ユニット(タンクと施肥・かん水制御機器) (日本オペレーター製)

ウ 導入モデル

20～50a 規模の高軒高ハウスを想定し、“過剰なコストをかけない”をコンセプトに資機材を選定しました。

施設形状		高軒高ハウス	
施設規模		20～50a 程度	
想定作型		促成長期栽培	
区分	必要な資機材		資機材の例
機器の制御	・複合環境制御装置①		 ①  ②  ②
環境の計測	・モニター装置②		
制御すべき環境	温度	・天窓、側窓③ ・換気扇④ ・循環扇⑤ ・温風暖房機⑥ ・ヒートポンプ⑦	 ③  ④   ⑤  ⑥  ⑦
	湿度	・微粒ミスト装置⑧ (専用ノズル、加圧ポンプ、制御装置、フィルタ等)	 ⑧  ⑧  ⑨
	CO ₂	・CO ₂ 施用装置⑨ (燃烧式CO ₂ 発生機、制御装置)	
	日射量	・遮光カーテン⑩	 ⑩  ⑪  ⑨
	養水分	・養液栽培装置⑪ (ECコントローラー、液肥混入機、液肥タンク、給液量制御装置、培地等)	 ⑪    ⑨

(4) 大規模な植物工場に必要な資機材

50a を超える規模の施設で、ワンランク上の精密な管理を目指す経営で検討すべき資機材についても紹介します。導入前には、費用対効果を十分にご検討ください。

・統合環境制御装置

1 台で複数の機器を連動させて制御し、施設内環境を最適化します。計測データを蓄積し、予測制御する機能も備えています。例えば燃烧式温風暖房機とヒートポンプを組み合

わせた最適なハイブリッド運転方法等により、さらに高度に施設内環境を制御することが可能になります。規模拡大により環境モニタリング・複合環境制御装置だけでは管理しきれない制御が必要なときなどに導入を検討します。



プロファーム
(デンソー/トヨハシ種苗製)



マキシマイザー
(Priva/誠和製)

・超微粒ミスト装置

粒径 $20\mu\text{m}$ 以下で、前述の微粒ミストに比べてさらに細かく揃った“霧”を発生させられるため、植物体を濡らさずに噴霧時間を長く設定できます。連続噴霧は温湿度の変化をより小さくでき、植物体を受けるストレスを一層軽減します。超微粒ミストでは、6～7MPaに加圧できる高圧ポンプを必要とします。フィルタ・制御装置については、微粒ミストと同様です。

・液化 CO_2

燃焼式に比べて高コストになりますが、制御しやすく、温度上昇を伴いません。暖房を必要としない冬期以外で CO_2 を施用したいときに有効です。



超微粒ミスト装置
(なごミスト設計製)



高圧ポンプ
(なごミスト設計製)



液化 CO_2

3 管理ガイド

(1)温度

トマトは栄養生長と生殖生長が同時に行われるため、果実生産にはそのバランスをとることが重要な作物です。生育適温に保つことはもちろん、草勢をコントロールするためにも温度管理が行われています。さらに、環境制御技術の発達に伴って光合成や転流を促進するための変温管理（コラム参照）も導入が進んでいます。

ここでは、計画生産を可能とするための温度管理について紹介します。

トマトでは葉の展開や開花等の生育速度は温度と密接な関係があることが知られています。このため、温度（積算温度）を制御することによって、開花をコントロールすることが可能です（表1）。

表1 トマト¹⁾の開花～生育に要する積算温度(神奈川農技, 2010)

	必要積算温度	所要日数 ²⁾
開花～次花房の開花	210°C	10.5日
開花～収穫開始	1100°C	55日
収穫開始～同一花房 ³⁾ の収穫終了	420°C	21日

1) 品種はハウス桃太郎

2) 日平均20°Cの場合

3) 4果/花房の場合

【温度管理による開花コントロールの実証】

8月上旬定植、翌年6月中旬摘心の作型で主枝29段の収穫を目標として目標室温を定め、温度管理を行った結果、概ね目標通りに生産を行うことが可能でした。（表2）

表2 実証栽培における日平均室温と開花段数

	10月			11月			12月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
日平均室温(°C)	24.3	20.5	19.5	18.4	17.9	17.7	18.6	17.8	17.7
(目標平均室温)	(22.5)	(20.5)	(18.5)	(18.5)	(18.0)	(17.5)	(17.5)	(17.0)	(16.5)
開花段数	5	7.1	7.3	7.8	8.8		10.5	11.6	
(目標開花段数)	(5.8)	(6.8)	(7.8)	(8.7)	(9.6)	(10.4)	(11.2)	(12.0)	(12.9)
(日数)	1月			2月			3月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
日平均室温(°C)	17.5	17.3	17.5	17.6	17.4	18.4	17.8	18	18.4
(目標平均室温)	(16.5)	(16.5)	(16.5)	(16.5)	(17)	(17.5)	(18)	(18.5)	(19)
開花段数		14.3	15.4		16.7	18.5	19.3	20.3	
(目標開花段数)	(13.7)	(14.5)	(15.4)	(16.1)	(16.8)	(17.6)	(18.6)	(19.6)	(20.8)
(日数)	4月			5月			6月	合計	
	上	中	下	上	中	下	上		
日平均室温(°C)	18.4	18.6	18.6	19.6	20.4	21.4	22.8		
(目標平均室温)	(19)	(19)	(19.5)	(20)	(20.5)	(20.5)			
開花段数	22.6	23.9			25.8	27.7	28.8	28.8	
(目標開花段数)	(21.9)	(23)	(24.1)	(25.2)	(26.3)	(27.6)	(29.0)	(29.0)	

注)作型は、6月下旬播種、8月上旬定植、翌年6月中旬摘芯

(2)湿度

過度の乾燥状態では、植物は体内の水分を保持するため気孔を閉じます(図1)。このような水分ストレス状態を防ぐため、ミスト噴霧による加湿を行います。一方、高湿度状態は、蒸散を抑制したり、病害の発生を助長することもあります。適切な管理が必要です。

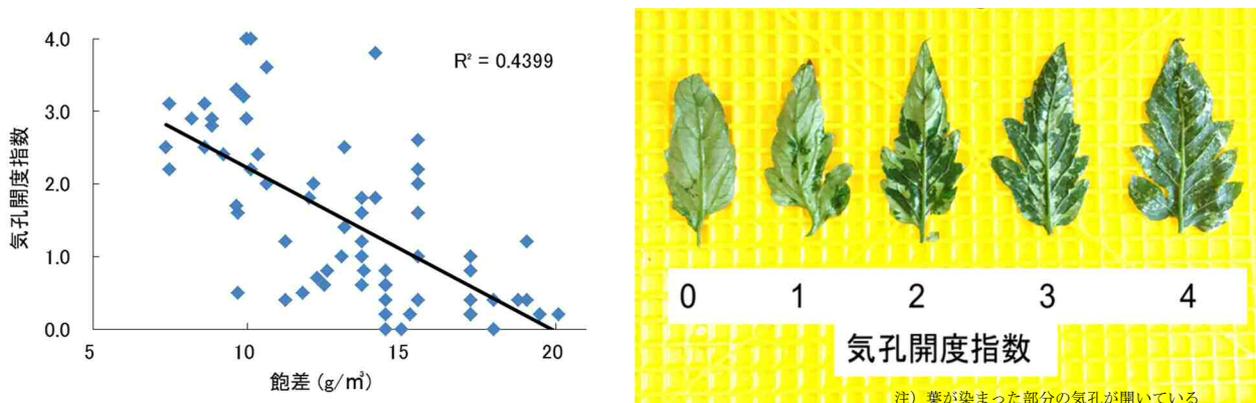


図1 飽差¹⁾と気孔開度指数²⁾の関係 (愛知農総試,2015)

- 1)コラム ■ ミスト噴霧したときの施設内飽差 P12 参照
- 2)数字が大きいほど気孔が開いていることを示す

■ 変温管理について —Quick dropとは—

環境制御技術の先進国であるオランダでは、光合成と転流を意識した変温管理が行われています。その方法は、①日の出前から徐々に室温を上げ、②日射の増加に伴い室温を上げ、日射の強い13時頃に最高室温とし、③その室温を日没まで維持し、④日没後は急激に室温を低下させる、というものです。特に特徴的な内容は④の操作で、Quick drop と言われています。これは、(1)転流は温度の高い部位に行われることから、急激に室温を下げることによって、葉温を低下させ、果実や地下部への転流を促進する。(2)急激な室温の低下により飽差を下げ、蒸散を抑制し、根圧によって果実や葉の先端に養水分を分配する。という考えに基づいて行われています。



図 変温管理のイメージ

①ミスト設置方法

- ・施設上部に設置しますが、**植物体の頂部から少なくとも高さ1 m以上の空間を確保**します。なお、遮光カーテンと併用したい場合は、カーテンの下40～50cmに設置します。
- ・ノズル数は、微粒ミストで10a当たり50～60個とします。

②ミスト噴霧方法

- ・**濡れを生じないように間欠噴霧**とします(例：噴霧30～60秒、休止30～60秒)
※施設や季節ごとに噴霧間隔の調整が必要です。
- ・噴霧量は1 m²当たり1分間に5～6 mLとします。

③制御目標

- ・日中の飽差5～8 g/m³を目安とします。
(例：室温25℃以上かつ相対湿度75%以下の条件でミスト噴霧)

■ ミスト噴霧したときの施設内飽差

飽差とは、ある温度における飽和水蒸気量と実際の水蒸気量の差(単位 g/m³)で、値が大きいほど空気が乾燥していることを表します。飽和水蒸気量は温度が高いほど多いので、空気中の水蒸気量が同じでも、高温ほど飽差が高い(乾燥している)ことになります。

ミストを噴霧すると施設内の飽差は低下し、過乾燥を防ぐことができます。

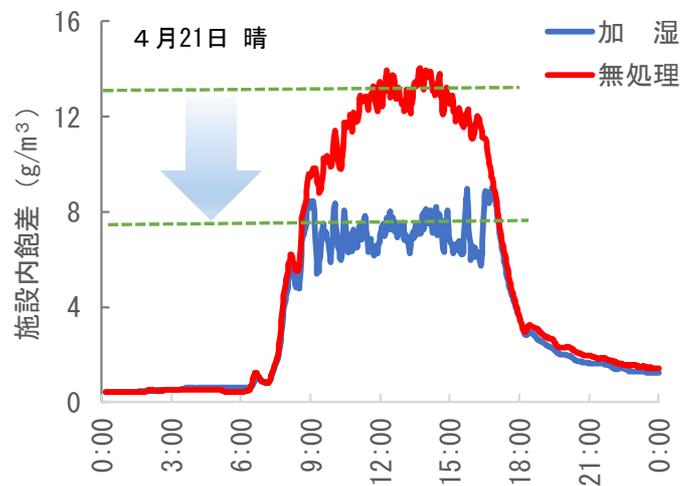


図 微粒ミスト噴霧による施設内飽差の経時変化(天窓・側窓が開いた状態)

噴霧条件：室温25℃以上かつ室内湿度75%以下で間欠噴霧

噴霧60秒⇔休止30秒、噴霧量6 mL/m²・分 (愛知農総試, 2015)

【ミスト噴霧による加湿効果】

春先に多発する萎れが軽減されます。さらに、乾湿の変化が小さくなり、裂果の発生が減少します(図2)。

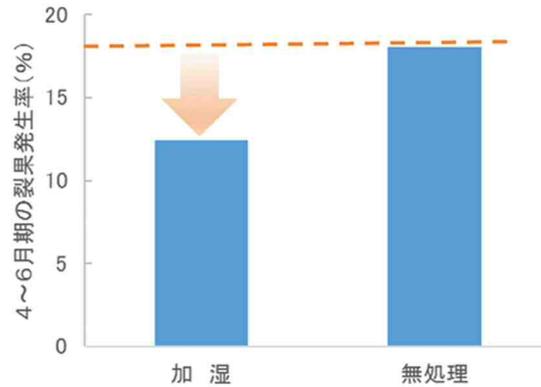


図2 ミスト噴霧がトマトの裂果発生に及ぼす影響
《噴霧条件》

室温 25℃以上・室内湿度 75%以下で間欠噴霧、噴霧量 6 mL/m²・分

(愛知農総試, 2015)

(3)CO₂

施設内 CO₂ 濃度は、施設を密閉する冬期において、日中外気より低下します(図3)。この部分を CO₂ 施用により補うことが必要となります。

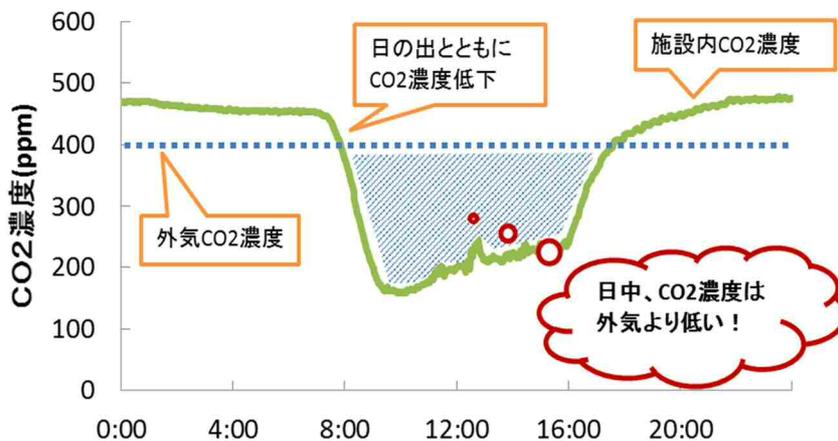


図3 冬期施設内 CO₂ 濃度の推移



ダクトで局所施用



温風暖房機で拡散させる

①施用方法

- ・ 効率的な施用を行うため、ダクト等を用いて群落内に局所施用したり、循環扇や温風暖房機を利用して均一に拡散させるなどの方法があります。

②施用期間

・施設の換気が少ない冬期～春期にかけて行います。

※夏秋期の施用も効果があると考えられますが、換気が多く施設外へのCO₂の流亡が多くなります。施設内CO₂濃度が外気より著しく低下する場合施用を検討します。

③施用時間

・施設内CO₂濃度が低下する日の出～日の入り1時間前までとします。

④施用濃度

・外気濃度より高めの500～600ppm程度とします。施設内が換気温度に達した場合は、外気と同程度の400ppmとします。

※1,000ppmでより収量が多くなる傾向が認められますが、費用対効果を考慮し施用する必要があります。

■ 葉面積指数の推定

葉はCO₂を材料として光合成により同化産物(炭水化物=植物の体や果実の内容成分)を作る重要な器官であり適切に管理する必要があります。

葉の繁茂状態は、単位床面積当たりの葉面積を表す「葉面積指数(LAI)」で評価します。トマトが太陽光を効率よく利用するには、葉面積指数3～4程度が好適とされています(東出, 2014)、正確な葉面積指数の把握は容易ではありません。そこで、非破壊による簡易な方法を以下に紹介します。摘葉の目安としたり、栽植密度・仕立方法等の検討に利用してください。

① 施設内から平均的な大きさの葉を10枚ほど選び、下表から葉面積を推定します。

表 葉長・葉幅から推定したトマトの葉面積(単位: cm²)



りんか409		葉長(cm)						
		30	35	40	45	50	55	60
葉幅 (cm)	30	271	327	384	443	504	565	628
	35	327	394	463	534	607	682	757
	40	384	463	545	628	714	801	891
	45	443	534	628	725	824	924	1,027
	50	504	607	714	824	936	1,051	1,167
	55	565	682	801	924	1,051	1,179	1,311
60	628	757	891	1,027	1,167	1,311	1,457	

(愛知農総試, 2015)

② 次式により、施設内の葉面積指数を大まかに推定できます。

$$\text{葉面積指数} = \text{平均的な1葉の葉面積 (cm}^2\text{)} \div 10,000 \times 1 \text{株当たり着葉数} \times \text{栽植株数} \\ \div \text{栽植部分の床面積 (m}^2\text{)}$$

注) 葉面積と床面積の単位を揃えることが必要です。上の式では、葉面積の単位「cm²」を「m²」に変換するため、10,000で除しています。

【CO₂施用による効果】

収量が**1果重の増加及び空洞果の減少**によって3割程度増加します(図4～6)。
特に12～3月収穫の果実において、可販果1果重が顕著に増大します。

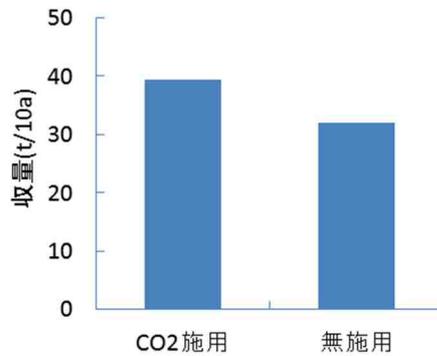


図4 CO₂施用が収量に及ぼす影響(愛知農総試,2014)
(収穫期間11月～6月、CO₂施用11月下旬～4月上旬、
CO₂濃度1,000ppm 6:00-15:00施用)

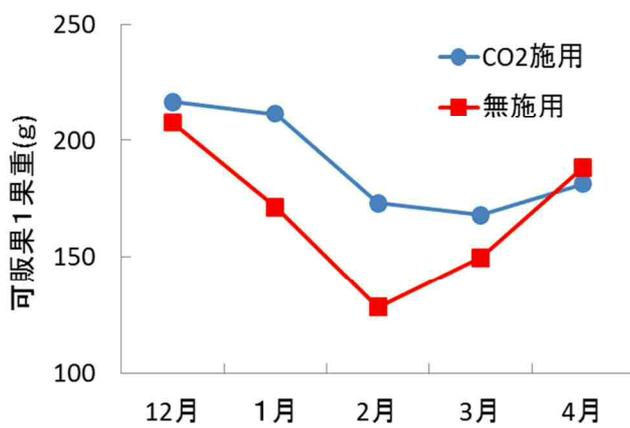


図5 CO₂施用が可販果1果重に及ぼす影響

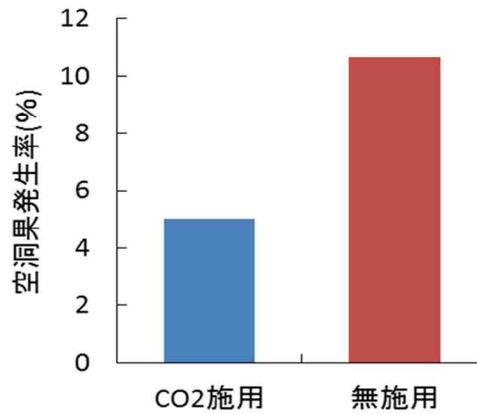


図6 CO₂施用が空洞果発生に及ぼす影響

(愛知農総試,2015) (収穫期間11月～6月、CO₂施用11月下旬～3月、
CO₂濃度500ppm 6:00-15:00施用)

(4)日射

トマトは他の野菜に比べて多くの太陽光を有効に活用できるため、基本的に遮光しません(図7)。しかし、春先や盛夏期等、しおれが発生しやすい時期には適宜遮光します。

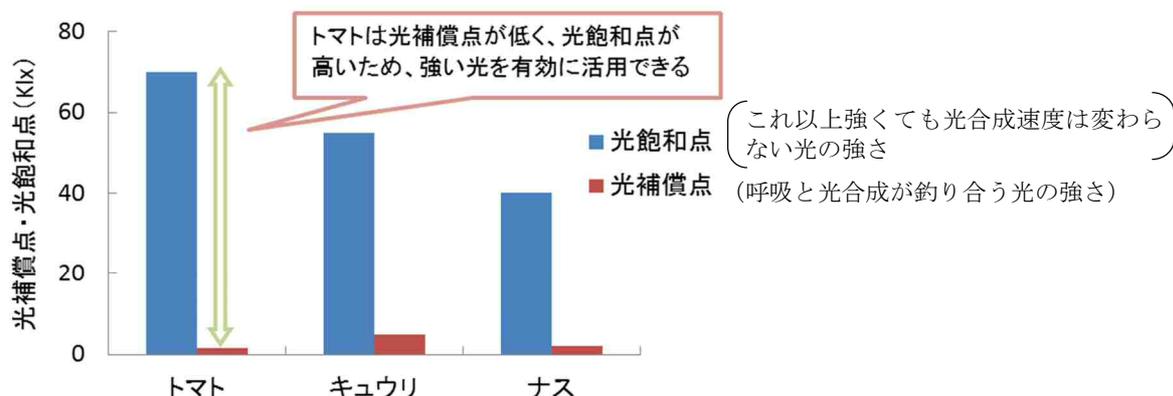


図7 各種野菜の光飽和点と光補償点 (松本正雄「蔬菜園芸学」, 1973 より作成)

■ 栽植密度について

単位面積当たりの栽植数が「栽植密度」です。栽植密度が低すぎると、それぞれの株は太陽光を十分に受け取れますが、栽植数が少ないために単位面積当たりの収量は期待できません。一方、栽植密度が高すぎると、隣接する株の葉が互いに重なって光合成能力を発揮できず、単位面積当たりの収量は伸びません。したがって、栽培品目・作型・仕立方法にそれぞれ最適な栽植密度が存在します。

以下に高軒高ハウスにおけるトマト促成長期栽培(22段摘心)で2水準の株間(∞栽植密度)を比較した試験結果を紹介します。高軒高ハウスでは、従来のハウスに比べて採光性が良好であるため、10a当たり3,000株の栽植密度でも2,400株の場合と同等の生育や果実品質がみられ、経営的に有利と判断されました。ただし高い栽植密度では、大きすぎる葉を作らないような管理を心掛けましょう。

表 異なる栽植密度がトマトの可販果収量に及ぼす影響

株間	栽植密度	平均1果重(g)	株当たり収量(kg)	10a当たり収量(t)	同左対比
18cm	3,000株/10a	173	10.4	31.1	(117)
23cm	2,400株/10a	180	11.1	26.6	(100)

注) 品種「りんか409」、定植9月10日、収穫10~6月、うね幅180cm(共通条件)

隔離床において灌水同時施肥(養液土耕)方式で管理した。

(愛知農総試, 2013)

(5)養水分

環境制御により生育が旺盛となるため、養水分の必要量も増加します。このため、排液量や排液 EC の確認を継続的に行うようにします。特に日射が増加する2月以降は注意が必要です。灌水の日射比例制御や排液率による灌水制御を行うと効果的です。

■ 環境制御下での養水分吸収

◎環境制御により、トマトの養水分吸収特性は従来とは異なってくると考えられます。

①CO₂ 施用の影響

施肥管理が同様で CO₂ 施用時間のみが異なる場合、CO₂ 施用時間が長いほど葉柄中硝酸イオン濃度が大きく低下しました(図1)。また、葉中成分含量を調べると、カリウム含量が CO₂ 施用によって著しく低下することがわかりました(図2)。これらは CO₂ 施用により果実肥大が向上することによって、果実に多く含まれる成分の要求量が増大したことが要因と考えられます。

②ミスト噴霧による加湿の影響

加湿により飽差が減少することで蒸散が抑制され、5～20%吸水量が低下しました。本試験では、加湿によって養分吸収の大きな変化は見られませんでした。加湿により葉の養分吸収が抑制される傾向にあるという報告(鈴木ら, 2014)もあることから、蒸散を意識した適度な加湿が必要です。

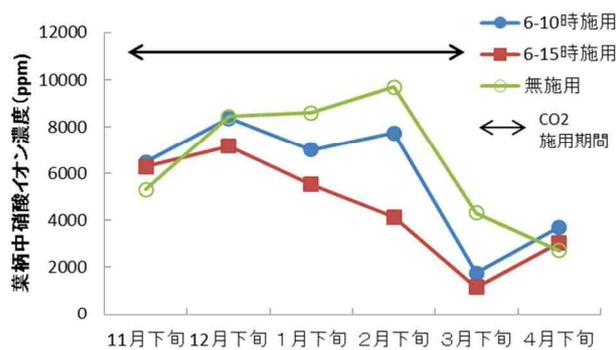


図1 異なる CO₂ 施用条件下での葉柄中硝酸イオン濃度の推移 (愛知農総試, 2015)
(CO₂ 濃度 1,000ppm、6:00-10:00 施用または 6:00-15:00 施用)

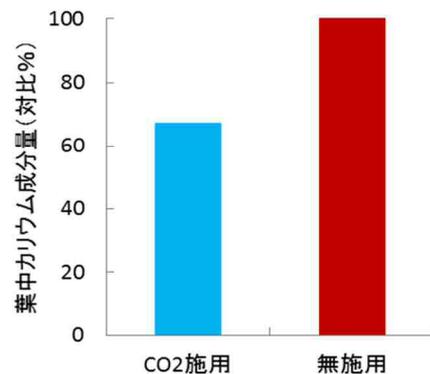


図2 CO₂ 施用が葉中カリウム含量に及ぼす影響 (愛知農総試, 2015)
(CO₂ 濃度 1,000ppm、6:00-15:00 施用、サンプル採取時期: 3月上旬、サンプル位置: 収穫花房の下葉)

4 トマトにおける環境制御指針

■品種
 穂木「りんか409」
 台木「がんばる根3号」

■栽植密度
 株間18cm うね幅180cm
 3,000株/10a

		7月	8月	9月
管理目標	最高室温	—	27～30℃	27～30℃
	最低室温	—	—	—
	平均室温	—	—	—
	日中の湿度	—	—	—
	日中の飽差	—	—	—
栽培管理		育苗	定植	誘引

環境制御装置	項目	7月	8月	9月
CO ₂ 施用 ¹⁾	時刻	—	—	—
	設定濃度	—	—	—
ミスト噴霧 ³⁾	設定温度	—	25℃以上	25℃以上
	設定湿度	—	75%以下	75%以下
	噴霧方法	—	60秒噴霧30秒休止	60秒噴霧30秒休止
遮光	遮光率	—	30～50%	30～50%
	遮光時間	—	9～15時(晴天時)	9～15時(晴天時)
施肥管理	給液EC	—	0.6 dS/m	1.0 dS/m

		1月	2月	3月
管理目標	最高室温	27℃	27℃	27℃
	最低室温	13℃	13℃	13℃
	平均室温	17～16℃	17～18℃	18～19℃
	日中の湿度	75～80%	75～80%	75～80%
	日中の飽差	5～8g/m ³	5～8g/m ³	5～8g/m ³
栽培管理		収穫	収穫	収穫

環境制御装置	項目	1月	2月	3月
CO ₂ 施用 ¹⁾	時刻	7～15時	7～15時	6～15時
	設定濃度	500～600ppm (換気時 ²⁾ 400ppm)	500～600ppm (換気時 ²⁾ 400ppm)	500～600ppm (換気時 ²⁾ 400ppm)
ミスト噴霧 ³⁾	設定温度	25℃以上	25℃以上	25℃以上
	設定湿度	75%以下	75%以下	75%以下
	噴霧方法	30秒噴霧60秒休止	30秒噴霧60秒休止	60秒噴霧60秒休止
遮光	遮光率	—	—	—
	遮光時間	—	—	—
施肥管理	給液EC	2.0 dS/m	2.0 dS/m	2.0 dS/m

【注意事項】

- 1) 局所施用が効果的です。施用位置は畝面からの高さを0.5mとします。
- 2) 換気温度は27℃とし、換気時は外気と同程度の濃度で施用します。



10月	11月	12月
27°C	27°C	27°C
13°C	13°C	13°C
23~19°C	19~18°C	18~17°C
75~80%	75~80%	75~80%
5~8g/m ³	5~8g/m ³	5~8g/m ³
収穫	収穫	収穫

10月	11月	12月
—	6~15時	7~15時
—	500~600ppm (換気時 ²)400ppm)	500~600ppm (換気時 ²)400ppm)
25°C以上	25°C以上	25°C以上
75%以下	75%以下	75%以下
60秒噴霧60秒休止	30秒噴霧60秒休止	30秒噴霧60秒休止
—	—	—
—	—	—
1.5 dS/m	2.0 dS/m	2.0 dS/m



4月	5月	6月	7月
27°C	27°C	27°C	27~30°C
13°C	13°C	—	—
19~20°C	20~21°C	—	—
75~80%	75~80%	75~80%	75~80%
5~8g/m ³	5~8g/m ³	5~8g/m ³	5~8g/m ³
収穫	収穫	収穫・摘心	収穫

4月	5月	6月	7月
6~15時	—	—	—
500~600ppm (換気時 ²)400ppm)	—	—	—
25°C以上	25°C以上	25°C以上	25°C以上
75%以下	75%以下	75%以下	75%以下
60秒噴霧60秒休止	60秒噴霧30秒休止	60秒噴霧30秒休止	60秒噴霧30秒休止
30~50%	30~50%	30~50%	30~50%
適宜	適宜	適宜	適宜
1.5 dsS/m	1.0 dS/m	0.5 dS/m	0.0 dS/m

3) 微粒ミスト使用：毎分100 mL噴霧できるノズルを100 m²当たり5~6個設置し、圧力5 MPaで間欠噴霧します。高湿度状態が長時間続くと、病害が多発したり、蒸散が抑制されることがあります。曇雨天が続くときは、夜間に温風暖房機を稼働させて湿度調節してください。

5 実証栽培

平成 24 年度から平成 27 年度上期までの 3 年半、豊橋市杉山町にある JA あいち経済連営農支援センター内の高軒高ハウスでの実証展示に取り組み、収量 40 t /10 a を達成しました。ここでは平成 25 年度の実証栽培事例を紹介します。

(1) 栽培概要

1) 施設 高軒高ハウス 間口 8 m×奥行 36m (栽培室 33m) ×軒高 4.8m×2 連棟
576 m² (栽培室 528 m²) エフクリーン 梨地

2) 栽培様式 ロックウール耕 (粒状綿・発泡連続ベッド)

3) 供試品種 穂木：‘りんか 409’ ((株) サカタのタネ)
台木：‘がんばる根 3 号’ (愛三種苗 (株))

4) 耕種概要

は 種：2013 年 6 月 27 日、 定 植：2013 年 8 月 8 日

栽植密度：2,900 株/10a ベッド間隔 180 cm 株間 16 cm

収穫期間：2013 年 10 月 7 日～2014 年 7 月 24 日、 摘 芯：2014 年 6 月 2 日

施 肥：オリジナル処方 (EC 制御、かけ流し方式)

肥料成分濃度 (me/l)

	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	SO ₄
生育初期	11	0.5	4	7	6	2.8	3.97
収 穫 期	17.4	1	4.5	9.5	8.4	3.4	3.4

5) 室内環境制御設定

表1 環境制御の方法

環境制御	利用機器	制御盤	稼働条件		
			温度	湿度	炭酸ガス濃度
湿度	グローミスト	しつど当盤	25℃以上	65%~75%以下	—
炭酸ガス	グローエア (灯油式)	CO ₂ 当盤	開度0%(全閉)	—	600ppm
			開度10%~20%	—	400ppm
			開度30%以上	—	なし

注1 湿度65~75%を目安に時期により調節。

温度25℃以下又は湿度60%~70%以上になるまで稼働。

注2 炭酸ガスは、設定値到達後5分間施用。

注3 ミストと炭酸ガスの稼働時間は、日の出から日の入り2時間前まで。

注4 換気(暖房)の設定温度は、早朝から段階的に上げ、果実結露を防止。

(2) 結果概要

給液量は排水量を参考に、回数と量を設定しました。定植から 10 月 20 日まではタイマー制御で行い、それ以降は給液量の 40%~50%を日射制御で行いました (図 1)。給液 EC は定植時 0.6dS/m からスタートし、収穫開始時期に 1.5 dS/m 程度まで上げ、冬期には 2.0dS/m 前後を維持し、4 月から徐々に下げ始め、7 月 10 日に給液を停止し給水のみとしました (図 2)。

温度管理は目標平均室温を参考に、開花段数の進み具合と草勢を観察しながら平均室温を調整しました。その結果、ほぼ目標どおりに開花段数をすすめることができ、最終開花段数は目標の 29 段に近い 28.8 段でした (P10. 管理ガイド表 2 参照)。

10 a あたり収量は 41,045 kg で、目標である 40 t を達成できました (図 3)。しかし、①奇形果やスジ果、4、5 月の軟果発生などにより可販果率が 90%と少し低く可販果重は 36.5

tであったこと、②1果重は平均 126.6 g と軽く、S、M階級発生率が 80%と小玉傾向であったこと、③糖度については、厳寒期に Brix 糖度 5%を下回る等、課題が残りました。

平成 26 年度作では、排液率をより適正に保ったり、飽差を低くし過ぎないように取組を行うことで可販果率を向上することができました。図 4 に生育状況、図 5 に温湿度・CO₂の管理事例を示しました。平成 27 年度作では、糖度を高めたり、玉伸びを促進させるための給液管理等、実証試験に取り組んでいます。

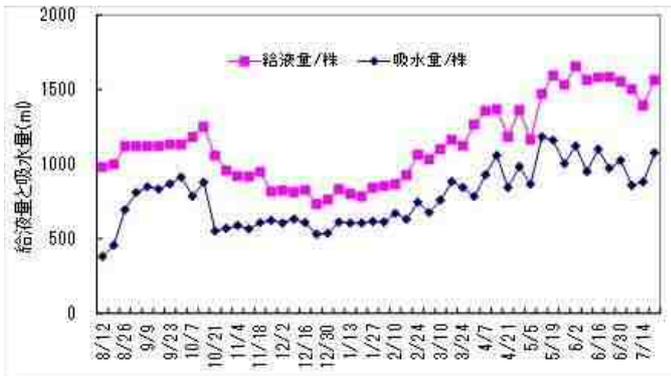


図 1 給液量と給水量の推移

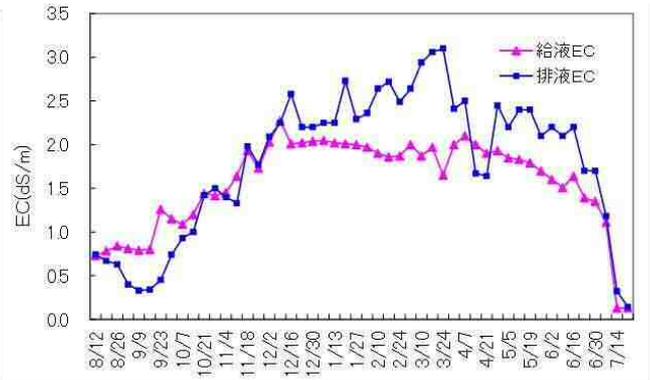


図 2 給液ECと排液ECの推移

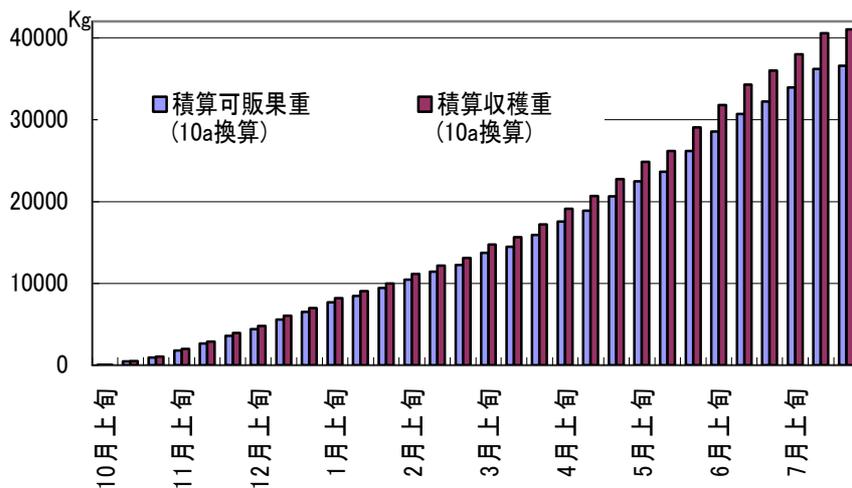


図 3 平成 25 年度作の収量



着果状況（3月下旬）

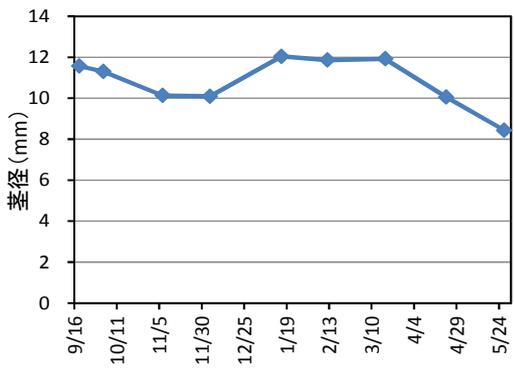
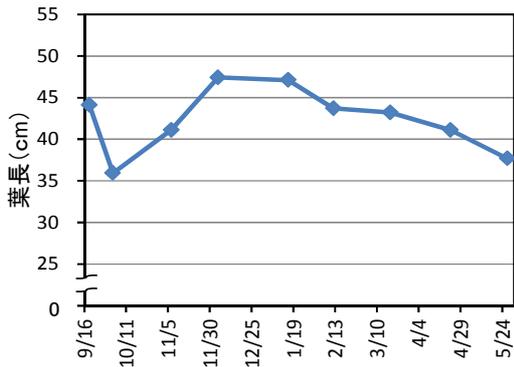
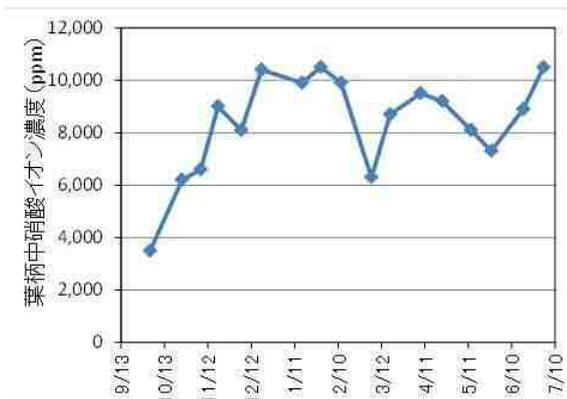


図4 生育データ (上: 葉柄中硝酸イオン濃度、中: 葉長、下: 茎径)

※葉の測定位置は、開花果房から2段下の果房直近。茎径は開花果房から2段下の果房直下。

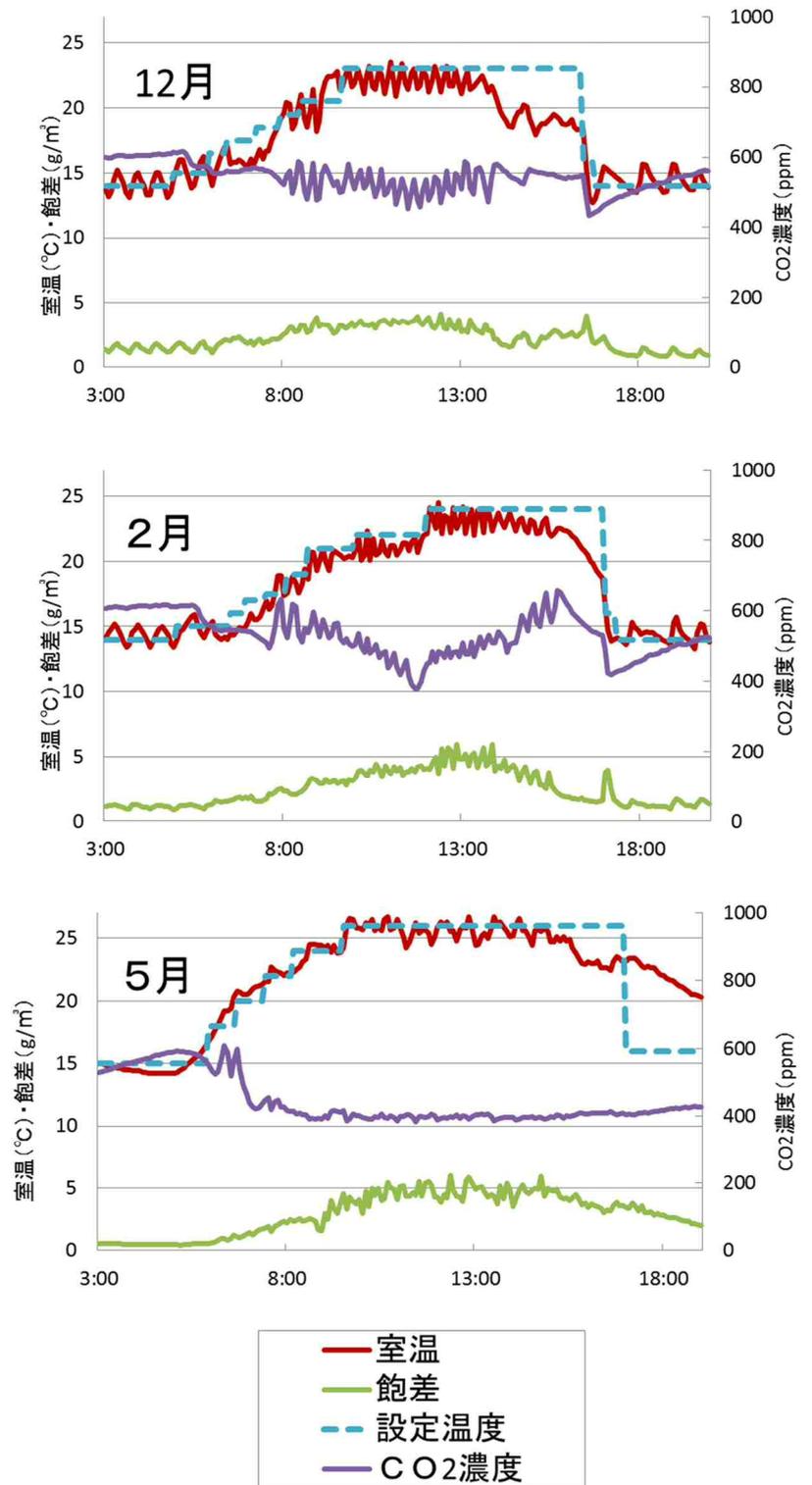


図5 実証ほ場での温湿度・CO₂管理事例

■ 品種について

あいち型植物工場では、収穫期間を長く確保するため、長期長段栽培を前提にしています。この作型に好適な品種には、①成り疲れしにくい、②過繁茂になりにくい、③節間が伸びすぎない等の特性が求められます。このマニュアルでは一例として、県内にも多く栽培されている品種「りんか409」（サカタのタネ）を使用しました。

しかし、こうした品種を自根のまま長期長段栽培に使用すると、春先の肥料や水の急激な要求量の増加に根の吸収能力が追い付かないことがあります。そこで、環境制御による高収量生産を目指すうえでは、台木に接ぎ木することによって吸肥力や吸水力を高める必要があります。ただし、初期の草勢が強くなり過ぎることがあるため、穂木と台木に合わせた養液管理などの栽培管理がより重要となります。

実証試験では台木「がんばる根3号」と「スパイク23」を比較し、わずかに「がんばる根3号」の収量が上回りました（図参照）。

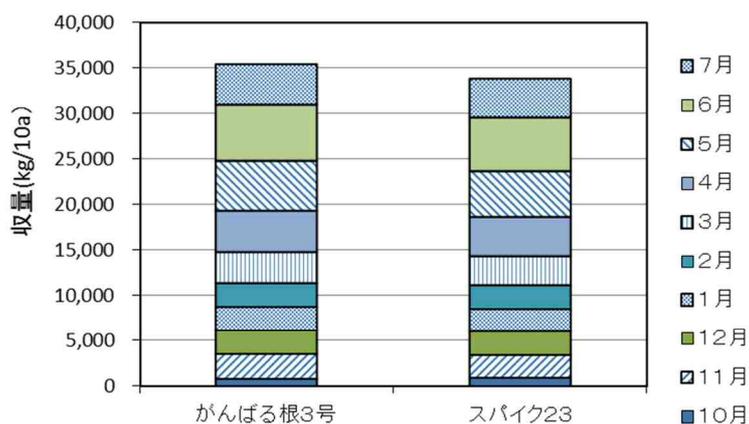


図 台木の違いが収量に与える影響

注) 穂木は「りんか409」

6 経営モデル

愛知県内で現在多数を占める30a以下の施設を想定し、あいち型植物工場としてリニューアル(改築)した場合の経営モデルを組み立てました。さまざまな条件や目標にあわせて種苗費や出荷経費などの費目・費用を適宜調節してください。

モデルの前提 { 太陽光利用型植物工場の導入
高軒高ハウスでのハイワイヤー誘引
養液栽培システム、環境制御技術の導入
共同選果・出荷場の利用

	合計	長期栽培
経営規模(a)	30	30
単収(kg/10a)	40,000	40,000
単価(円/kg)	350	350
粗収益(千円)①	42,000	42,000

経営費

(単位:千円)

費目	経営合計	内訳(10aあたり)	
		長期栽培	備考
種苗費	1,305	435	2900株/10a×150円
肥料費	771	257	
農薬費	264	88	
農具費	165	55	
動力光熱費	3,540	1,180	重油85円/L×12kL、灯油、電気
その他生産資材費	2,574	858	
減価償却費	7,313	2,438	
修繕費	960	320	
雇用労賃	2,952	984	雇用2人 1800時間/人
地代・賃貸料	150	50	
利子割引料	540	180	
農業共済・保険料	195	65	
荷造り・運賃・手数料	12,456	4,152	選果手数料等を含む
福利厚生費	150	50	
研究費	60	20	
水利費・土地改良費	75	25	
租税公課	384	128	
その他企画管理費	180	60	
合計②	34,034	11,345	
農業所得(①-②)	7,967		
農業所得率(%)	19		

主要施設・機械装備

区分	台数・規模	単価	取得価格	耐用年数	年償却額	修繕費
		千円	千円	年	千円	千円
高軒高硬質フィルムハウス	30a	15,000	45,000	15	3,000	585
作業場	50m ²	30	1,500	15	100	12
トラック	1台	2,000	2,000	5	400	45
軽トラック	1台	650	650	4	163	15
暖房機	3台	1,000	3,000	7	429	90
高所作業車	2台	500	1,000	7	143	21
養液栽培装置	3式	4,500	13,500	7	1,929	135
微粒ミスト装置	3式	2,000	6,000	7	857	30
CO ₂ 施用装置	3台	350	1,050	7	150	12
複合環境制御装置	1式	1,000	1,000	7	143	15
合計			74,700		7,313	960

■ 草勢診断と草勢管理 ーあとがきにかえてー

トマト栽培では、栄養生長と生殖生長のバランスを保つことが重要です。たとえば草勢が旺盛になりすぎると栄養生長に傾きやすく、開花や結実に障害がおきます。生育状況を観察し、今後どのような管理を行っていくかを常に考える必要があります。

環境モニタリング・制御機器を導入することによって、施設内環境を数字として記録・制御できるようになりますが、機器が自動で草勢管理をやってくれるわけではありません。生産者あるいは産地が自らの販売戦略に沿った管理ノウハウを蓄積して草勢を含めた総合的な制御を実現する必要があります。環境モニタリングや ICT（情報通信技術）はノウハウの蓄積や共有に大きな力を発揮します。

◎草勢診断・管理の一例

葉や茎、開花状況等から草勢を診断します(表 1)。生育段階に応じて、表 2 の管理等を組み合わせ、栄養生長と生殖生長のバランスを整えます。表中の記述は一例です。時期・環境・目標とする品質などにより産地ごとハウスごとに異なります。

表 1 草勢診断の目安

項目\草勢	強い	⇔	弱い
芽の先端～開花花房の距離	長い	⇔	短い
茎径	太い	⇔	細い
若葉の様子	内側に巻き込む	⇔	立ち気味になる

表 2 栄養生長及び生殖生長に傾けるための管理項目

項目\生育	栄養生長	⇔	生殖生長
温度	高めに変更	⇔	低めに変更
養水分	多めに	⇔	控える
着果数	減らす	⇔	多くする又は摘果を遅めに

