

山口県内のイチゴ・トマト生産者によるハウス管理の特徴解析と 環境制御プログラムの開発

原田 浩介・重藤 祐司・鶴山 浄真*

Characteristics Analysis of House Management by Strawberry and Tomato Growers in Yamaguchi Prefecture and Development of Environmental Control Programs

HARADA Kohsuke, SHIGEFUJI Yuji and TSURUYAMA Johshin

Abstract: We analyzed the characteristics of greenhouse management of veteran strawberry and tomato growers in Yamaguchi Prefecture, and created an environmental control program that incorporating these characteristics. By applying this program, it is possible to reproduce gradual temperature changes and CO₂ application according to the ventilation opening, thereby creating an optimal environment for photosynthesis. The program can automatically correct target values and limit ventilation openings according to solar radiation and outdoor temperatures using alarm actions. In test cultivation, the effect of increasing yields was confirmed in strawberry and winter/spring tomato cultivation. By using this program, even beginners can manage their fields as well as veteran growers can.

Keywords: Protected Horticulture, Integrated Environmental Control

キーワード：施設園芸、統合環境制御

緒 言

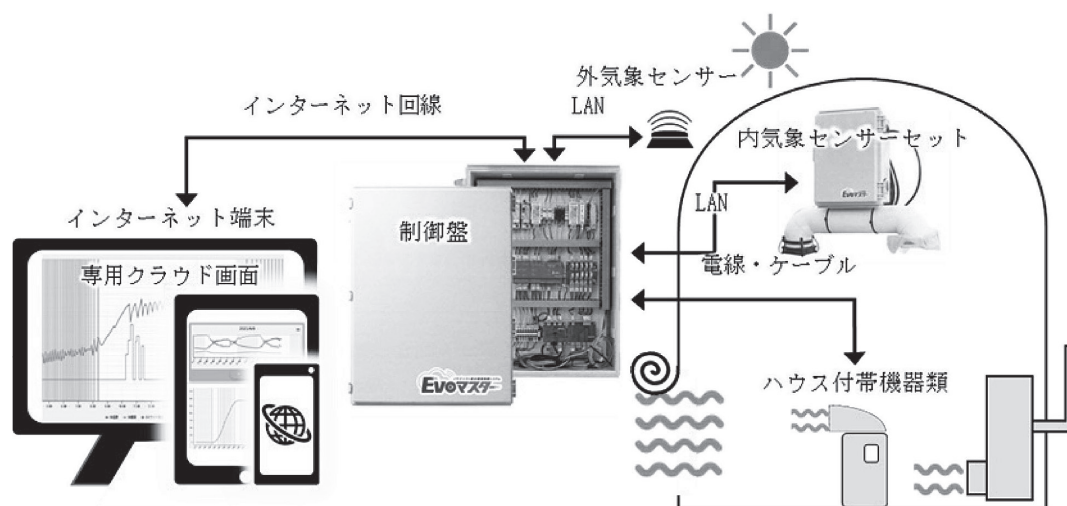
本県農業の重要品目であるイチゴ・トマト等果菜類の生産者が安定経営を実現させるには、環境制御システム等の施設設備を整え、より高い生産性を発揮する必要がある。また、新規就業者は、経営安定に向けた早期技術習得が必要不可欠であり、高単収を上げているベテラン生産者からの技術継承が求められている(梅本・山本, 2010)。

これらの課題解決に向けて、山口県農林総合技術セ

ンター(以下、センターという)は、低コストで導入可能な統合環境制御システムを県内企業(株式会社サンポリ:防府市)と共同開発し、商品名「Evo マスター」として2020年12月より販売開始した(重藤・安永, 2021)。「Evo マスター」は本県が同社と開発したイチゴ高設栽培システム「らくラック」と、隔離床栽培システム「ゆめ果菜恵」(鶴山ら, 2016)に対応し、県内向けには環境モニタリングからの段階的な導入が可能である(第1図および第1表)。

「Evo マスター」は環境制御ソフトウェアとしてア

* 現 農業振興課



第1図 「Evo マスター」機器構成の概要

第1-1表 「Evo マスター」の環境計測項目とセンサー一覧

環境計測項目	センサー
ハウス内気象	
気温	SHT-31 (センシリオン(株))
相対湿度	
飽差	
露点	
CO ₂ 濃度	IMG-CA (榎村田製作所)
土壌含水率	WD-3-WT (株A・R・P)
地温	
土壌PF値	HD-001 (株センシズ) ※
日射量	PVSS-03 (株三弘)
ハウス外気象	
気温	DS18B20 (Maxim Integrated)
感雨	AKI-1805T (アスザック(株))
風向・風速	Vantage Pro2 #6410 (Davis) ※

第1-2表 「Evo マスター」制御盤に接続する付帯機器一覧

制御方式	点数	制御項目	付帯機器
無段階制御	3	換気	天窓(左右)/側窓換気開閉装置
	2	カーテン	2層カーテン開閉装置
	2	ファン	換気扇/循環扇
ON/OFF制御	1	暖房	温風暖房機/ヒートポンプ
	1	CO ₂ 施用	燃焼式CO ₂ 発生装置/CO ₂ ガス供給バルブ
	1	電照	白熱球/蛍光灯/LEDランプ
	4	灌水	灌水装置/電磁弁
	4	予備	温湯ボイラ/ミスト設備など

ルスプラウト株式会社の「Arsprout Pi (Neuron 専用)」を採用している。このソフトウェアは自由度が高く、様々な設定が可能である反面、新規就業者等がしっかり理解して設定するためには多くの時間を要する。そこで、県内イチゴ・トマトのベテラン生産者のハウス管理の特徴を解析し、その特徴を取り入れた環境制御プログラムの作成と栽培実証に取り組んだので報告する。なお、ベテラン生産者はイチゴ促成栽培で5 t、冬春トマトの長期どり作型で20 t、高糖度栽培で10 t以上の10a 当たり収量を得ている者を選定した。ま

た、栽培実証ではベテラン生産者のハウス内環境および生育を再現するとともに、彼らと同等以上の収量を確保することを目標として取り組んだ。

本研究を実施するにあたり、ご協力を賜った生産者の皆様、山口県農業協同組合、各農林水産事務所の担当者には、実証ほの設置、環境・生育データ収集等に多大なる御協力をいただいた。この場を借りて深く感謝の意を表す。

材料および方法

1 ベテラン生産者の管理情報の収集・解析

2019年12月1日～2020年3月31日及び2020年12月1日～2021年3月31日の間、山口県内主産地における12生産者のイチゴ促成栽培と冬春トマト(9月定植の長期どり栽培および11月定植で糖度8度以上を目指す高糖度栽培)のハウス内環境データを計測した(第2表)。各ハウスに環境モニタリング装置を設置し、ハウス内気温、ハウス内日射(「プロファインダー(株式会社誠和)」はハウス外)、相対湿度・飽差、CO₂濃度、土壌水分(「プロファインダー」除く)を1～5分毎に計測し、各社のクラウドサービス等にデータを蓄積した。各生産者のハウス管理を、環境モニタリングデータおよび予測光合成速度を毎毎にまとめて特別平均値で示し、温度管理やCO₂施用のパターン、光合成速度などの特徴をまとめた。予測光合成速度については、日射強度、気温およびCO₂濃度から、個葉の光合成速度を予測するモデル数式(Farquhar, G.D. et al., 1980)により算出した。

また、1区10株を調査対象株とし、2週間毎に生育

第2-1 表 イチゴ生産者の栽培方式と施設装備および管理の特徴

生産者	地区	分類	栽培方式	施設装備				栽培品種	特徴
				温風暖房機	換気装置	CO ₂ 施用器	灌水		
A	岩国市	中山間	地床	温度制御	なし	なし	手動	かおり野	日中低めの温度管理、高精度を志向
B	柳井市	中山間	高設	温度制御	温度制御	濃度制御	タイマー	紅ほっぺ	早朝加温、積極的CO ₂ 施用、平均気温維持
C	柳井市	瀬戸内沿岸	高設	温度制御	なし	なし	日射比例	紅ほっぺ	土壌水分の一定維持、施肥制御
D	山口市	中山間	高設	温度制御	なし	タイマー制御	タイマー	かおり野	積極的CO ₂ 施用、日没に向けた高温管理、土壌水分の観察
E	下関市	日本海沿岸	高設	温度制御	温度制御	タイマー制御	日射比例	かおり野	積極的休眠制御、積極的CO ₂ 施用
F	長門市	日本海沿岸	高設	温度制御	温度制御	濃度制御	タイマー	かおり野	積極的CO ₂ 施用

※ 環境モニタリング装置は、全て「Evoマスター用センサーセット」を使用した。

第2-2 表 トマト生産者の栽培方式と施設装備および管理の特徴

生産者	地区	作型	栽培方式	施設装備				栽培品種	特徴
				温風暖房機	換気装置	CO ₂ 施用機	灌水		
G	防府市	長期どり	地床	温度制御	温度制御	濃度制御	タイマー	CF桃太郎はるか	早朝加温、やや高めの温度管理、CO ₂ 濃度施用
H	防府市	長期どり	地床	温度制御	温度制御	濃度制御	タイマー	桃太郎ピース	早朝加温、高めの温度管理、CO ₂ 濃度施用
I	下関市	高糖度	地床	温度制御	温度制御	なし	タイマー	マイロック	低めの温度管理、土壌水分の一定維持
J	下関市	高糖度	地床	温度制御	温度制御	なし	タイマー	マイロック	やや低めの温度管理、土壌水分の一定維持
a	下関市	高糖度	地床	温度制御	温度制御	なし	タイマー	マイロック	土壌水分の変動が大きい
b	下関市	高糖度	地床	温度制御	温度制御	濃度制御	タイマー	マイロック	土壌水分の変動が大きい

※ aとbは経験の浅い若手生産者 環境モニタリング装置は、GとIが「Evoマスター用センサーセット」、Hが「プロファイnder（株式会社和）」とaおよびbが「みどりボックス（株式会社セラク）」を使用

調査を行った。イチゴにおいては、出葉第3葉の葉身長、葉柄長、展開葉数を計測した。計測した出葉第3葉の葉身長及び展開葉数から、簡易的に葉面積指数を推定した。トマトにおいては、成長点から15 cm下茎径（長径）、成長点から第1~2花開花房までの長さを測定した。

2 ベテラン生産者情報を基にした環境制御プログラムの開発

収集したベテラン生産者のハウス管理の特徴を参考に、「Evo マスター」に初期設定として組み込む環境制御プログラム（以下、標準プログラムという。）を作成した。前提条件として、イチゴ高設栽培システム「らくラック」及び隔離床栽培システム「ゆめ果菜恵」を用い、「Evo マスター」で標準とされている付帯設備を装備し、標準の内外気象センサーにオプションの風向・風速計を備えるものとした。プログラムは、「Evo マスター」の環境制御ソフトウェア「Arspout Pi (Neuron 専用)」により設定を行った。

3 標準プログラムによるイチゴ・トマト栽培実証

1) イチゴ促成栽培

「らくラック」を備えた山口市大内のセンター内単棟パイプハウス（1.3a）2棟のうち、1棟を「Evo マスター」による統合環境制御ハウス、もう1棟を付帯機器を個別制御する慣行ハウスとした。両ハウスに、2020年9月4日に「かおり野」の6 cmポット子苗を定植し、「かおり野」栽培暦（山口いちご生産出荷協議会発行）に準じた管理を実施した。慣行ハウスの環境制御は、朝夕の手動側窓換気、換気扇（28℃以上で稼働）、循環扇（常時稼働）、暖房機（8℃以下で稼働）、燃焼式CO₂施用機（日射センサーで稼働）、灌水電磁弁（タイマーで1日3回3分稼働）、電照（11月から2月末まで日長延長3時間）とした。実証ハウスは、ハウス内外気象情報を基に、標準プログラムにより側窓開閉装置、換気扇、循環扇、暖房機、CO₂施用機、灌水電磁弁、電照（日長13時間維持）を制御した。また、栽培期間を通して出葉第3葉の葉長、葉身長および収量を調査した。

2) 冬春トマト

「ゆめ果菜恵」および「Evo マスター」を備えたセンター内単棟パイプハウス（1a）2棟のうち、1棟を長

第3表 高糖度トマト栽培実証における試験区

区	給液EC (mS/cm)	灌水制御方法
B-pF	1	圧力式土壌水分センサーによりpF2.0~2.3を閾値として灌水制御
B-WD3		
B-EC2	2	
B-EC4	4	液肥原液を希釈しEC1mS/cmに希釈した後、塩 (NaCl) を加えてECを調節した養液を日射比例で灌水制御
B-EC6	6	
B-EC8	8	

※ 液肥原液は全てタンクミックス AB (株)OAT アグリオ) 標準液を使用
使用した土壌水分センサーは第1-1 表を参照

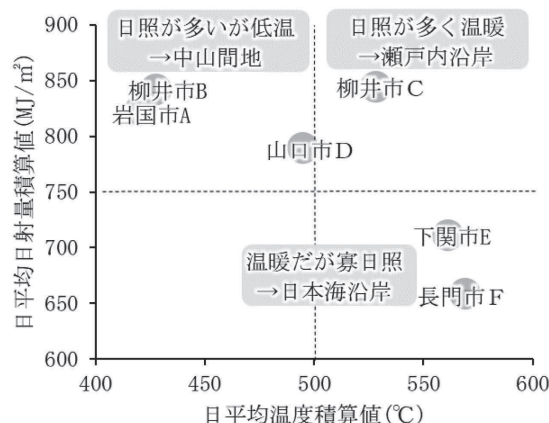
期どり作型実証ハウス (以下、ハウス A)、1 棟を高糖度栽培実証ハウス (以下、ハウス B) とした。ハウス A は、2021 年 9 月 13 日に「CF 桃太郎はるか」(台木「グリーンフォース」) の 10.5 cmポット苗を定植し、ハウス B は、2021 年 11 月 15 日に「マイロック」(台木「グリーンフォース」) の 10.5 cmポット苗を定植した。全て 1 本仕立てとし 2 m の高さで吊り下げ誘引を行い、冬春トマトの通常管理を行った。環境制御はハウス内外気象情報を基に、標準プログラムにより側窓開閉装置、換気扇、循環扇、暖房機、CO₂ 施用機、灌水電磁弁、細霧冷房装置 (ハウス A のみ) を制御した。なおハウス B には複数の試験区を設置し、灌水制御方法の違いによる生育・収量への影響を調査した (第 3 表)。また、栽培期間を通して成長点から 15 cm 下茎径 (長径)、成長点から 1~2 花開花房までの長さ、収量および糖度 (高糖度栽培のみ) を調査した。

結果

1 イチゴのベテラン生産者の栽培管理の特徴

各生産者の立地について、冬期 12 月から 2 月までの日射量と平均温度から、多日照温暖の「瀬戸内沿岸」、多日照低温の「中山間地」、寡日照温暖の「日本海沿岸」の 3 つに分類した (第 2 図)。

得られた環境モニタリングデータのうち、1 月上旬のデータおよび予測光合成速度を第 3 図に示す。「中山間地」の生産者 A は、夜温は高いものの早朝の気温と CO₂ 濃度が低いことが影響し、一旦予測光合成速度が下がっていた。一方で「中山間地」の生産者 B は環境制御機器によって、夜明け前からの段階的早朝加温、日中の高めの気温維持及び積極的 CO₂ 施用によって予測光合成速度が高く維持されていた。「瀬戸内沿岸」の生産者 C は、自動換気装置や CO₂ 施用機を装備しておらず、日中の低い温度管理と低 CO₂ 濃度の影響で、

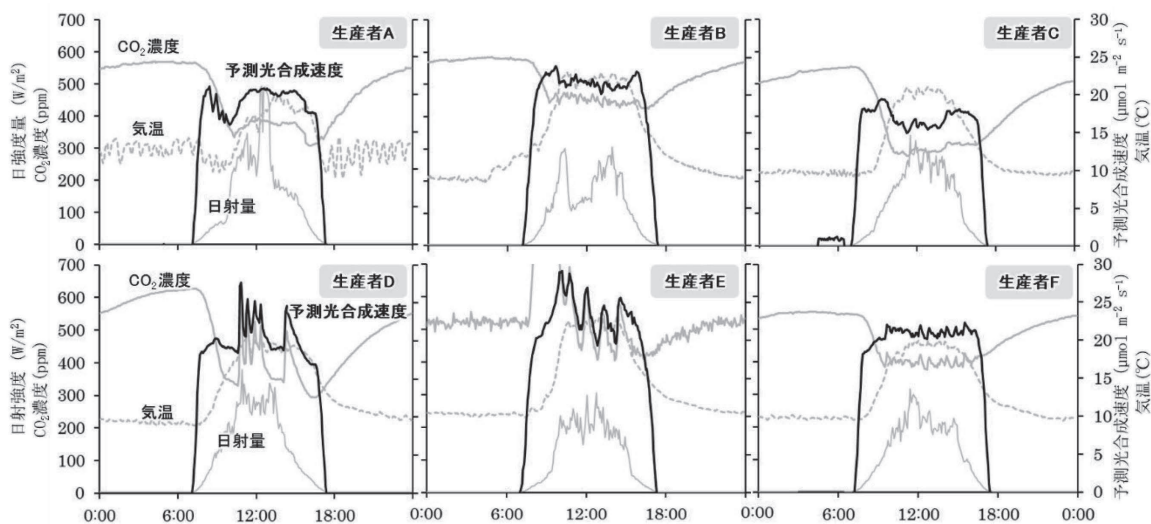


第2図 イチゴ生産者の立地と地域の気候特性

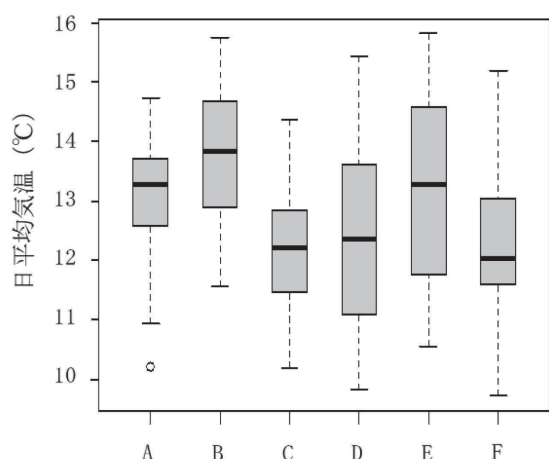
日射量が多い地域にも関わらず予測光合成速度は低く推移していた。「中山間地」の生産者 D は午後日没までの気温維持が実施されているものの、タイマー制御の CO₂ 施用と連動する形で予測光合成速度が乱高下した。「日本海沿岸」の生産者 E および F は寡日照地域にも関わらず、早朝加温を兼ねた積極的 CO₂ 施用、日中の高めの温度管理と積極的 CO₂ 施用によって、予測光合成速度が高く維持されていた。

自動制御によって日平均気温維持を意識していた生産者 B および生産者 E は、1 月のハウス内日平均気温が 13.5~14.0°C と比較的高かった。食味を重視し高糖度を志向する生産者 A は、日中低めの温度管理でありながら夜温を高めに維持していたことから、ハウス内日平均気温は 13°C 程度と比較的高かった (第 4 図)。

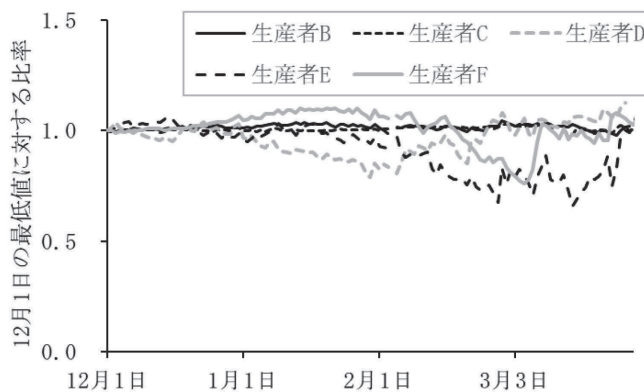
高設栽培の生産者における栽培期間中の土壌含水率日最低値の推移を第 5 図に示す。計測に用いた土壌含水率センサーは設置方法や土質により値が異なり、絶対値としての比較が難しいため、各生産者のハウス内環境測定を開始した 12 月 1 日の値を基準として比較を行った。日射比例制御を行う生産者 B と C は、土壌含水率の変動が少なく一定に維持されていた。タイマー制御を行う生産者 D と F は期間中にやや変動が見ら



第3図 イチゴ生産者のハウス内気象から予測した光合成速度 (2020年1月上旬)



第4図 各イチゴ生産者のハウス内日平均気温の分布 (2020年1月)



第5図 イチゴ生産者の土壌水分日最低値の推移 (2019年12月～2020年3月)

※ 自動灌水制御の生産者

12月1日を基準として比率を示す

れるが、設定の見直しにより、生産者Dは2月下旬から、生産者Fは3月上旬から一定に維持された。生産者Eは日射比例制御を行ってはいるものの、2月以降は乾燥傾向となった。

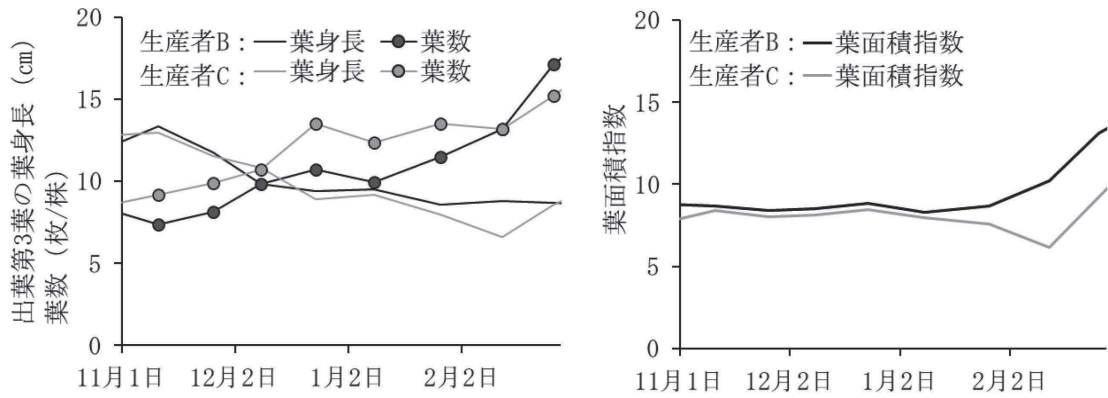
生産者BとCにおける2019年11月～2020年2月の出葉第3葉の葉身長及び葉数と、それらを基に推定した葉面積指数の推移を第6図に示す。生産者BおよびCは、いずれも11月から2月にかけて葉身長は短くなり葉数は増加した。それに伴い、11月から1月の葉面積指数は概ね一定に維持されていた。

2 トマトのベテラン生産者の栽培管理の特徴

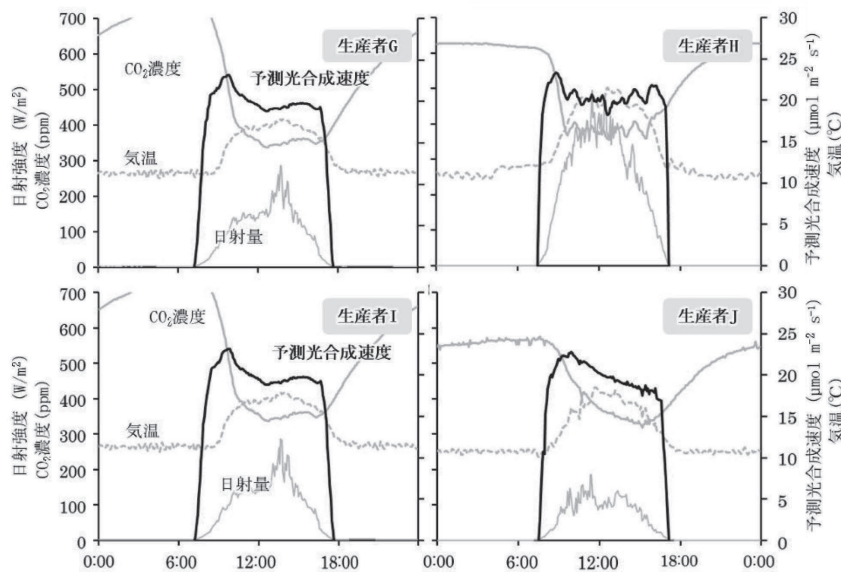
得られた環境モニタリングデータのうち、ベテラン生産者の1月上旬のデータおよび予測光合成速度を第

7図に示した。トマト長期どり作型の生産者GとHは、日中の気温が高く、CO₂濃度を400 ppm程度を維持し、日射量が多いことも影響して、予測光合成速度は比較的高く推移した。一方、高糖度栽培の生産者IとJは、いずれもCO₂施用機を装備しておらず、日中の低CO₂濃度と低い気温、日射量が少ないことが影響し、予測光合成速度は比較的低く推移した。ただし、生産者IとJは早朝加温を実施していないが、日中温度を低く管理しており、日中の温度変化は緩やかに推移していた。

長期どり作型の生産者GとHは1月の日平均気温を14～15°C前後に管理しているのに対し、高糖度栽培の生産者IとJは13～14°C前後に管理していた。特に、生産者Hは高めの15°C前後、生産者Iは、低めの13°C



第6図 イチゴ生産者における出葉第3葉の葉身長と葉数の推移（左）および葉面積指数の推移（右）
 ※2019年11月～2020年2月 品種：‘紅ほっぺ’

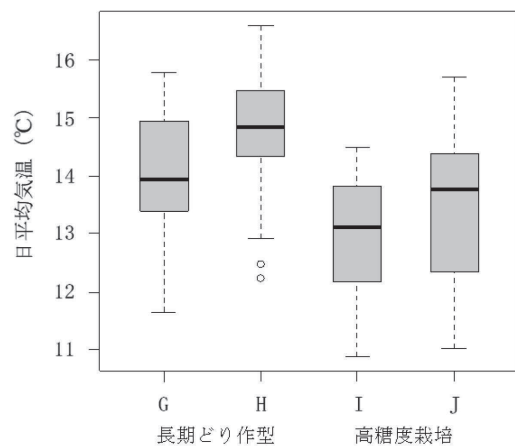


第7図 トマト生産者のハウス内気象から予測した光合成速度（2021年1月上旬）
 上段が長期どり作型、下段が高糖度栽培の生産者

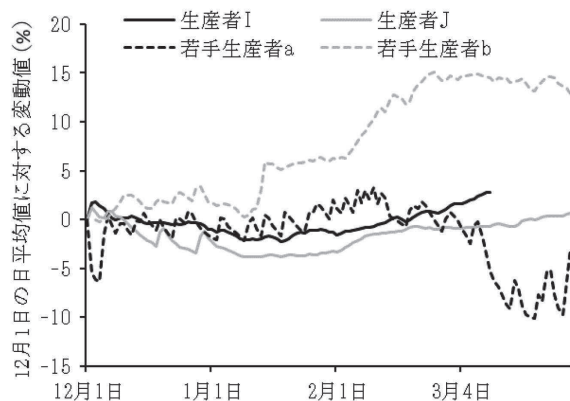
前後に維持していた（第8図）。

土壌水分は、いずれの生産者もタイマー制御で対応していた。高糖度栽培の生産者における栽培期間中の土壌含水率日平均値の推移を第9図に示す。イチゴと同様に、12月1日の値を基準として比較を行った。ベテラン生産者のIとJは栽培期間中の日平均土壌含水率の変動が5%以内と少ない一方で、経験の浅い若手生産者aとbは時期によって10～15%の変動が見られた。

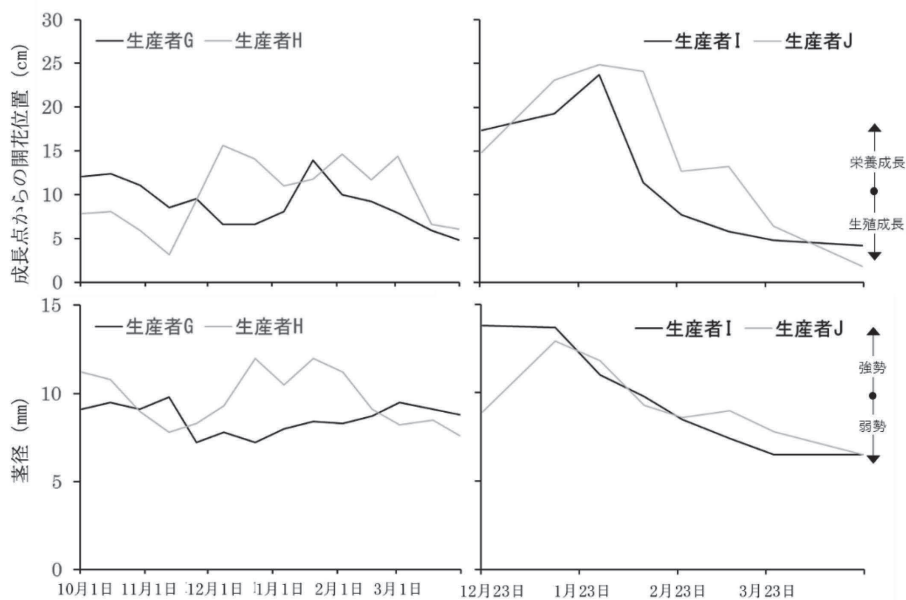
ベテラン生産者における2020年11月～2021年4月の茎径および成長点からの開花位置の推移を第10図に示す。長期どり栽培では、期間を通じて概ね一定の草姿を維持していたのに対し、高糖度栽培では初期は極強勢・栄養成長に寄りに、収穫期以降は弱勢・生殖成長に偏った生育に管理していた。



第8図 トマト生産者のハウス内日平均気温の分布（2021年1月）



第9 図 高糖度トマト生産者における土壌水分日
 平均値の推移
 (2020年12月～2021年3月)
 12月1日を基準として差を示す



第10 図 トマト生産者の生育推移 (2020年10月～2021年4月)
 *左が長期どり作型、右が高糖度栽培の生産者
 茎径は成長点から15cm下の長径
 開花位置は成長点から1～2花開花した果房までの長さを計測

3 ベテラン生産者の情報を基にした「Evo マスター」標準プログラムの開発

ベテラン生産者のハウス管理情報や近年の環境制御の考え方(齊藤, 2015)を参考に、プログラムに取り入れた栽培管理の特徴などを第4表に示す。気温制御に関する温風暖房機、換気装置、内張開閉装置の制御は、緩やかな気温推移の再現を目指し、早朝加温を行うとともに内外気象に応じて動作することとした(第

5表)。換気装置は、日射量や外気温、風向・風速を基にした警報動作により目標値の補正や換気開度の制限等を行う(第6表)とともに、換気開度と連動したCO₂濃度施用により、無駄のない効率的なCO₂施用を可能とした(第7表)。また、液肥灌水装置は日射比例制御を基本として、生育ステージに応じて設定値を変更していくこととした(第11図)。

第4表 標準プログラムに取り入れたベテラン生産者の管理の特徴など

No.	標準プログラムの特徴	イチゴ	トマト	
			長期どり	高糖度
1	夜明け前からの段階的早朝加温	○	○	○
2	穏やかな気温推移	○	○	○
3	日没に向けた高めの気温維持	○	○	
4	冬期の日平均気温を14℃付近に管理	○		
5	〃 高めに 〃		○	
6	〃 低めに 〃			○
7	日射量に応じた昼温調節	○	○	
8	日中のCO ₂ 濃度の維持	○	○	○
9	日射比例制御による土壤水分の一定管理	○	○	○
10	休眠抑制のための電照動作	○		

第5表 気温制御プログラムの概要

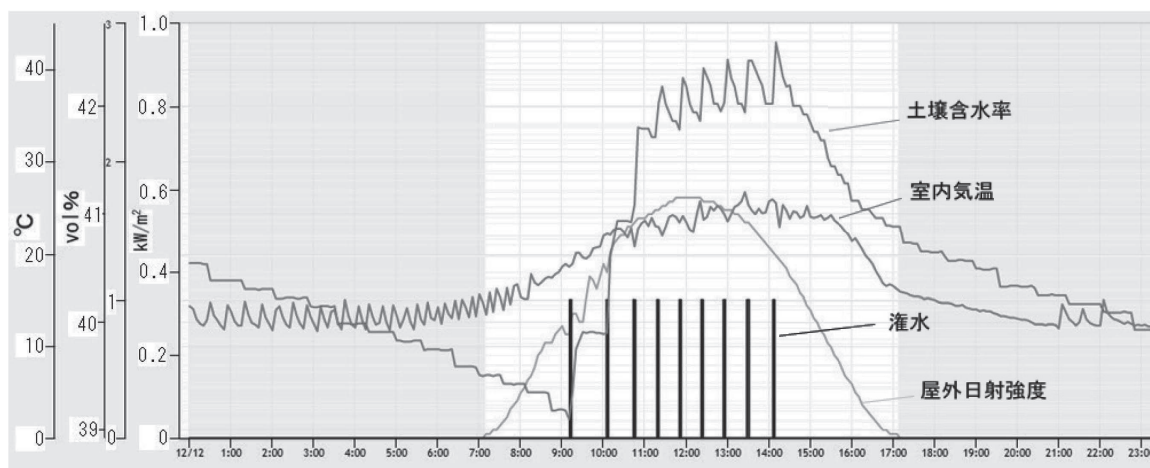
ハウス内機器	動作設定の考え方（冬期）
温風暖房機	<ul style="list-style-type: none"> ・夜間最低気温の維持 ・緩やかな早朝加温 ・曇雨天時の昼温確保
天窓（谷）換気・側窓換気装置	<ul style="list-style-type: none"> ・温度制御は天窓（谷）換気中心 ・強風・降雨時は閉動作優先 ・早朝加温後、午前中は緩やかに温度上昇 ・午後は日射量に応じて目標温度を調整 ・風向、風速、外気温に応じて換気量を制限し、温湿度の急激な変化を抑制
内張開閉装置	<ul style="list-style-type: none"> ・動作時の温湿度の急激な変化を抑制 ・夜間、外気温が高い場合は少し開け、暖房機による除湿を期待

第6表 外気象と連動した換気装置の警報動作

No.	警報	条件	動作
1	強風警報	風速12 m以上	天窓・側窓を全閉
2	降雨警報	降雨（感雨30秒以上）	天窓を全閉
3	準強風警報	風速 8 m以上	天窓・側窓を制限（最大20%）
4	風向警報	風向・風速1 m以上、外気温15℃以下	風上側の天窓の開度を制限（最大20%）
5	低温警報1	外気温 5℃以下	天窓の開度を制限（最大20%）
6	低温警報2	外気温10℃以下	天窓の開度を制限（最大40%）
7	風警報	風速 3 m以上、外気温15℃以下	天窓の開度を制限（最大50%）
8	低温警報3	外気温15℃以下	天窓の開度を制限（最大60%）
9	日射警報1	南中1時間後に外部日射量7 MJ/m ² 以上	目標値を上方修正（～+4℃）
10	日射警報2	南中時に外部日射5 MJ/m ² 以上	目標値を上方修正（～+2℃）

第7表 CO₂発生機の動作プログラム

時間帯	連動対象	目標値・条件	動作
日の出1時間後～ 日の入1時間前	CO ₂ 濃度	400 ppm以下	断続的にON (ON: 15分、OFF: 15分) ※ON時間は施設により要調整
日の出2時間後～ 日の入2時間前	換気装置	全閉	目標値を500～700 ppmに 上方修正



第11図 屋外日射量に連動した液肥灌水装置の動作状況
(長期どりトマト、2022年12月)

4 標準プログラムによるイチゴ・トマト栽培実証

1) イチゴ促成栽培

試験ハウスにおける可販収量を第8表に示す。10a当たり収量は慣行ハウス6.2tに対して、環境制御ハウスでは6.8tの高単収を得た。時期別の収量を比較すると、年内から1月における環境制御ハウスの収量が慣行ハウスに比べて有意に高く、約1.4倍となった。

の高単収を得た。高糖度栽培のハウスBにおいては、土壌水分センサーで灌水制御した区(B-pF、B-WD3)が15~16tに対し、塩(NaCl)を添加して日射比例で給液した区(B-EC2~8)は、4~15tとなり、給液ECを高めるほど収量は低下した。収穫物のBrix糖度は、土壌水分センサー制御区が6%程度に対し、塩(NaCl)を

第8表 イチゴ試験ハウスにおける可販収量(2020年)

試験ハウス	可販果収量 kg/株	可販果収量 ^Y t/10a	可販果 個/株	可販果 平均1果重 g/個	年内~1月			2~5月		
					可販果収量 t/10a	可販果 個/株	可販果 平均1果重 g/株	可販果収量 t/10a	可販果 個/株	可販果 平均1果重 g/株
環境制御	977 ^W	6.8	54.0	18.1	1.7	10.7	23.1	5.1	43.3	16.9
慣行	891	6.2	55.1	16.2	1.2	10.2	17.1	5.0	45.0	16.0
t-検定	n. s.	—	n. s.	**	*	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.

^Z 可販果は1果重が5g以上で、形状よく障害のないもの。収穫期間2020年11月13日~2021年5月31日。1区10株を調査対象とした4反復の平均値。

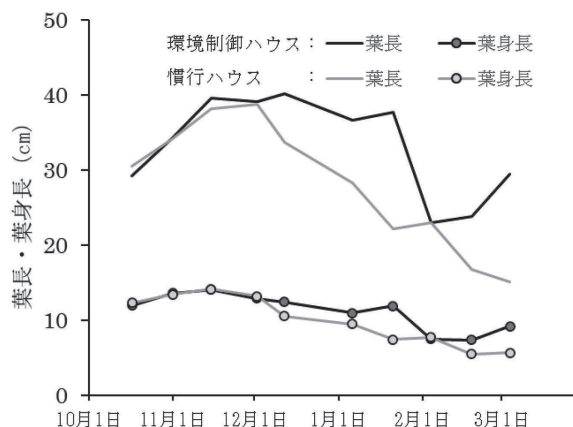
^Y 10aあたり栽植密度7,000株で算出

^W *は5%水準、**は1%水準で有意差あり、n. s.は5%水準で有意差なし(n=4)

同期間において収穫果数に差は見られず、平均1果重に有意差が見られた。一方で、2月から5月の収量には有意差は見られなかった。試験ハウスの生育推移を第12図に示す。慣行ハウスでは、11月中旬から12月上旬の葉長38cm、葉身長14cmをピークとして徐々に小さくなり、3月上旬には葉長15cm、葉身長5cmまで小さくなった。環境制御ハウスでは、1月下旬までは葉長35cm、葉身長10cm以上を維持したものの、2月に急激に小さくなった後、3月に回復傾向となった。

2) 冬春トマト

試験ハウスの可販収量および糖度を第9表に示す。長期どり作型のハウスAにおける10a当たり収量は、前年の同作型における収量23tに対して、38t以上



第12図 イチゴ試験ハウスの生育推移
(2020年10月~2021年3月)

第9表 トマト試験ハウスにおける可販収量および糖度 (2021年)

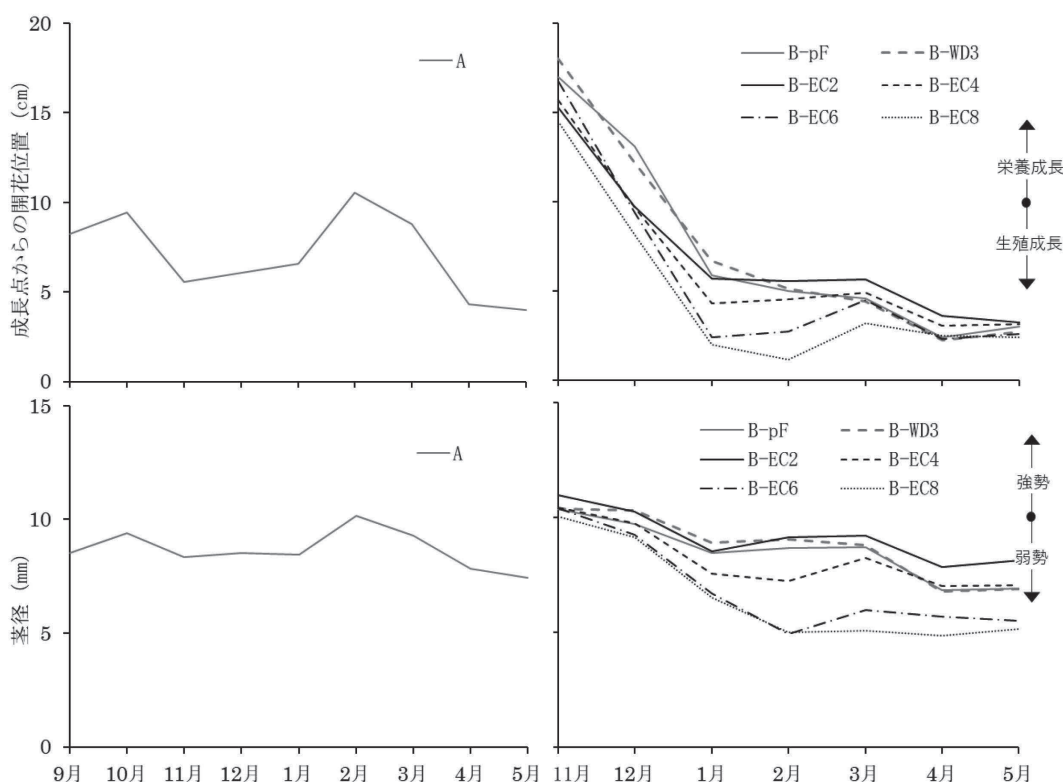
試験区	可販果収量 ^Z kg/株	可販果収量 ^Y t/10a	規格別重量割合 %				可販果 個/株	可販果 平均1果重 g/個	平均Brix 糖度 %
			可販果	尻ぐされ	裂果・裂皮	その他規格外 ^X			
A	13.1	38.7 a ^V	92.4	0.3	2.0	5.3	82.3	158.9	—
B-pF	3.7	16.6 b	70.9	10.5	11.6	7.1	32.0	116.5	6.6 a ^V
B-WD3	3.5	15.4 b	66.3	7.7	16.4	9.7	29.8	116.3	6.6 a
B-EC2	3.4	15.2 b	66.1	13.6	16.2	4.1	31.9	107.3	6.9 a
B-EC4	2.3	10.4 c	68.0	12.3	2.1	17.5	29.3	79.8	9.2 b
B-EC6	1.3	5.9 c	54.3	8.9	1.5	35.2	17.5	75.6	10.1 c
B-EC8	1.0	4.6 d	47.9	5.9	2.3	43.9	13.5	76.1	10.5 c

^Z 可販果は1果重が長期どり栽培が60~280g, 高糖度栽培が60~250gで, 形状よく障害のないもの。収穫期間は長期どり栽培が2021年11月10日~2022年7月4日, 高糖度栽培が2022年2月21日~7月8日

^Y m²あたり栽植密度(長期どり栽培が2.96株, 高糖度栽培が4.95株)で算出

^X 尻ぐされや裂果・裂皮以外の障害果や可販果の1果重範囲外の果実

^V 異なる英文字間にTukey法により5%水準で有意差あり (n=8)



第13図 トマト試験ハウスの生育推移 (2021年9月~2022年5月)

左が長期どり作型、右が高糖度栽培の試験ハウス

茎径は成長点から15 cm下の長径、開花位置は成長点から1~2花

開花した果房までの長さを計測

添加して日射比例で給液した区は6~10%となり、ECを高めるほど糖度は上昇した。試験ハウスの生育推移を第13図に示す。ハウスAでは、11~1月はやや弱勢、生殖成長寄りで推移した後、2月に一旦やや強勢、栄養成長寄りに傾き、3月以降は徐々に弱勢、生殖成長

に向かって推移した。ハウスBでは、全体的に初期はやや強勢、栄養成長寄りに、1月以降は弱勢、生殖成長寄りに推移した。土壤水分センサー制御区が比較的強勢、栄養成長寄りで推移したのに対し、給液に塩(NaCl)を加えてEC調節した区は、ECが高くなるほ

ど弱勢、生殖成長寄りの生育となった。

考 察

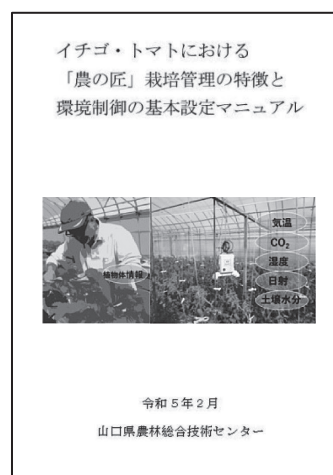
生産者の1月上旬のデータおよび予測光合成速度から、イチゴでは、夜明け前からの段階的早朝加温、午後日没までの気温維持、早朝加温を兼ねた積極的CO₂施用が、光合成促進に有効であることが示唆された。トマトでは、夜明け前からの段階的早朝加温、午後日没までの気温維持、日中のCO₂濃度維持が、光合成促進に有効であることが示唆された。また、イチゴとトマト共通して、食味重視、高糖度を目指す生産者は、日中は低温管理していた。熊倉・宍戸(1994)は、イチゴ「盛岡16号」において平均気温が低いほど、または、平均気温が同一であれば昼温が低く昼夜温差が小さいほど、成熟日数が長く、糖度が高くなることを報告している。高糖度を志向するイチゴ生産者Aの温度管理は、この報告とよく合致するものであった。

ベテラン生産者のハウス・植物体管理には次のようないくつかの合理的な理由があると考えられた。穏やかな温度推移やCO₂濃度の維持(第4表のNo.1、2、8)は、気孔開度の維持や作物の光合成促進に有効である(斉藤、2015)。イチゴの日平均気温の維持(第4表のNo.4)は、冬期に半休眠状態を維持し、連続した花成誘導に有効である(施山、2012)。長期どりトマトの高めの日平均気温の維持(第4表のNo.5)は、冬期の発育促進や収量確保に有効で、高糖度トマトの低めの日平均気温の維持(第4表のNo.6)は成熟期間の延長による果実品質の向上に有効である(岩崎ら、2019)。高糖度トマトの土壌水分の一定維持は、根域を安定的に低水分状態に置くことで水ストレスをかけながら栽培する方式において、果実品質の向上と収量の安定化に有効である(細川、2008)。イチゴと長期どりトマトで見られた葉面積や草勢などを一定に維持する植物体管理は収量の安定化に有効で、高糖度トマトの植物体管理は生育初期にストレスに耐えられる樹体形成に有効だと考えられた。ただし、高糖度トマト生産者の植物体管理については、極強勢・栄養成長寄りの状態から、一気に樹勢を弱めていく作り方であり、センター内の「ゆめ果菜恵」では再現が困難であったことから、誰もが実施可能な栽培技術ではないと考えられた。

センター内での標準プログラムによる栽培実証では、イチゴ促成栽培、冬春トマト(長期どり作型)に

おいて、収量増加効果が確認された。イチゴ促成栽培においては、年内から1月において増収効果が確認されたことから、CO₂施用等の環境制御技術がハウスを閉め切る時間が長い冬場において特に効果を発揮することが再確認された。また、ベテラン生産者の植物体管理に近い生育推移が再現できたことも、収量増加の一因だと考えられた。イチゴの葉の大小には、光合成の大小や着果負担、日長や気温による休眠程度などが影響する(安藤・小川、2020・藤目・山崎、1988)。イチゴ促成栽培における環境制御ハウスでは、慣行ハウスと比較して葉長および葉身長の大きさを保つことができたことは、日長制御(日長13時間維持)による休眠制御の効果も大きいと考えられた。ただし、環境制御ハウスにおいても1月下旬から2月に葉長が急激に小さくなったことから、この年の栽培においては1月から2月に更に日長を長くする必要があったと考えられる。高糖度トマトにおいては、土壌水分制御では高糖度トマトの目安となるBrix糖度8%以上が達成できず、塩を添加して給液をEC4以上とした区において安定して糖度8%以上の収穫果実を得た。収量と糖度の関係から、EC4程度とした給液を用いることで、Brix糖度8%以上の果実を安定して得ることができると考えられた。

県内イチゴ・トマトのベテラン生産者のハウス管理情報を参考として、環境制御プログラムの構築、実証



第14図 当センターHPで公開したマニュアル
<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachment/140401.pdf>



を行った。イチゴとトマトで共通する特徴が多く、設定温度や灌水量、電照の有無に違いはあるものの、制御プログラムの考え方は概ね同じ内容となった。本研究で得られた知見と作物・季節毎の設定例はマニュアルにまとめ、センターHP上で公開している(第14図、山口県農林総合技術センター、2023)。「Evo マスター」の初期設定は冬期の設定値になっているため、作物の生育ステージや季節に合わせて設定値を調節することが必要である。また、各ほ場の特性や定期的な生育調査により生育状況を把握しながら、ベテラン生産者の生育を目標として設定値を見直すことで、ベテラン生産者と同等の収量確保ができると考えられる。

摘 要

県内イチゴ・トマトのベテラン生産者のハウス管理の特徴を解析し、その特徴を取り入れた環境制御プログラムを作成した。本プログラムを適用することで、緩やかな気温推移や換気開度に応じたCO₂施用が再現可能であり、光合成に最適な環境を作り出すことができる。また警報動作により、日射量や外気温に応じた目標値の補正や換気開度の制限等を自動で変更できる。センター内の栽培実証では、促成イチゴ栽培および冬春トマトにおいて、収量増加効果が確認された。本プログラムを活用することで、初心者でもベテラン生産者並みの管理ができる可能性がある。

引用文献

- 安藤(小島) 寛子・小川理恵. 2020. イチゴの葉面積を推定する回帰モデルの作成. 愛知農総試研報. 52 : 49-56
- 藤目幸擴・山崎昇. 1988. イチゴの休眠誘導と打破に及ぼす前処理. 日長並びに温度の影響. 園学雑. 56 : 444-451
- G. D. Farquhar, S. von Caemmerer and J. A. Berry. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* volume 149. 78-90
- 細川卓也. 2008. 有機質培地を用いた養液栽培における高糖度トマトの生理生態反応の解析並びに栽培管理技術の確立. 高知農技セ特研報. 7 : 1-63.
- 岩崎泰永・山根陽弘・伊藤瑞穂・後藤千彩音・松本浩一・高市益行. 2019. 寒冷地における低段密植栽

- 培を活用した高糖度トマトの生産実証. 農研機構研究報告 野菜花き研究部門. 3 : 41-51.
- 熊倉裕史・宍戸良洋. 1994. イチゴの果実肥大に及ぼす温度の影響. 園学雑. 62 : 827-832
- 斉藤章. 2015. ハウスの環境制御ガイドブック. 農山漁村文化協会. 東京
- 施山紀男. 2012. 世界の中の日本のイチゴ. 農業および園芸. 87 : 1179-1198.
- 重藤祐司・安永 真. 2021. 園芸作物のスマート農業技術開発の取り組み. 令和2年度山口県農林総合技術センター成果発表要旨 : 12-14.
<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachment/44595.pdf>
- 鶴山浄真・刀禰茂弘・宇佐川恵・茗荷谷紀文・鹿島英一郎. 2016. トマト簡易隔離床栽培システムの開発とこれを用いた2作型での生産実証. 園学研. 15(別2) : 531.
- 梅本雅・山本淳子. 2010. 農作業ナレッジの継承に向けた課題と方法. 農業経営研究. 48 (1) : 37-42.