

新しい環境制御，草姿管理による トマト促成長期どり 10 アール 50 トンどり栽培

羽石重忠¹⁾・青莉紗子²⁾・田島嘉存³⁾・菊地 聡⁴⁾・木野本真沙江・後藤貴子⁵⁾・
高野あけみ³⁾・吉田 剛・家中達広⁶⁾・大島一則⁷⁾

摘要：栃木県に適するトマトの促成長期どり栽培法を検討した。トマト収穫量を増加させるため、新しい環境制御法、新しい草姿管理法を組み合わせた結果、トマト収穫量は $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上を確保できた。最大で 72 kg まで増収可能と予測できる。新しい栽培の概要は次のとおりである。温室内の CO_2 濃度は、大気と同程度の 400 ppm を確保する。地下 15 cm の根域部分は、 18°C 程度を目安に保温する。地面のマルチングは、従来は黒色であるが白色とし、トマト下位葉の受光量を多くする。過繁茂の時は、受光量が低下するので、上位の未展開葉の一部を取り除く。ただし、葉の光合成能力の低下を避けるため、葉を取り過ぎない。また、最低 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上を照射できる LED ランプを、下位葉近くに設置し、1 日あたり 12 時間程度を目安に照射する。茎の誘引は、畝間や条間など均等に配置する。12 月以降、日射量が増加したら、側枝を伸長させて収穫する。昼間の施設内湿度を保ち、葉の気孔開度を維持し、光合成量を促進する。温室における昼間の温度は、日平均気温が最低 15°C 以上となるよう調節し、地温低下を防止する。太陽光が増加してきたら、日平均気温を最大 $17\sim 19^\circ\text{C}$ まで上昇させる。活力ある台木を使用することも、一つの方策である。花こうが折れそうな場合、防止器具を使用する。春の黄変果の原因は、果実表面の高温と果実内の K^+ 不足とともに葉を取り過ぎることで助長されることが考えられた。

キーワード：促成栽培，長期どり，環境制御，草姿管理，多収，トマト

A New Environmental Control Method along with a Plant Posture Management for High Yield of Tomato in Forcing Long-term Cultivation

Shigetada HANEISHI, Risako AO, Yoshiari TAJIMA, Satoshi KIKUCHI, Masae KINOMOTO, Takako GOTO, Akemi TAKANO, Tuyoshi YOSHIDA, Tatuhiro IENAKA and Kazunori OSHIMA

Summary: We developed a new technology for tomato in forcing long-term cultivation which was suitable for weather conditions of Tochigi Prefecture. The technology, an environmental control method combined with a plant posture management increased up to 50 kg m^{-2} of tomato yield. The technology will allow at most 72 kg m^{-2} of yield. The technical points are as follows; 1) The CO_2 concentration in the greenhouse was kept at 400 ppm almost equivalent to that in the atmosphere. 2) Root areas of underground 15 cm was kept at about 18°C . 3) The mulching used on the ground was white in color, which allowed the lower leaves increase in light received amount, while the conventional mulching was black in color. It was necessary to remove undeveloped upper leaves at an appropriate amount because overgrown decreased light received amount. The about 12 hours-irradiation of light emitting diode (LED) with more than $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ of photon flux density located near the lower leaves also increased the amount. 4) The attracting stem was carried out to be evenly distributed in consideration of furrow and between the lines. The harvest from side branch prolonged was conducted following the increase in the amount of insolation after December. 5) The keeping of humidity in the daytime facility resulted in the maintenance of stomatal conductance, consequently the increase in photosynthetic amount. 6) The control of daytime temperature in the facility at least 15°C or more prevented the decline in soil temperature, followed by a daily mean air temperature of at most $17\sim 19^\circ\text{C}$ after the increase in the amount of sunlight. 7) The use of vigorating rootstock was one of the measures for prevention of weakening plant posture. 8) The use of preventive device was effective in preventing breakage of branch in a floral bottom. 9) Yellowing fruit, which was appeared in spring, was ascribable to hotness, and lack of potassium in the fruit. The symptom was further aggravated by excessive removing of leaves.

Key words: Forcing Cultivation, Long-term Cultivation, Arrangement of leaf branches, High Yield, Tomato

1) 現栃木県芳賀農業振興事務所, 2) 現栃木県下都賀農業振興事務所, 3) 現栃木県農政部経営技術課, 4) 現栃木県農政部農村振興課,
5) 現栃木県那須農業振興事務所, 6) 現栃木県塩谷南那須農業振興事務所, 7) 栃木県農業大学校

I 緒言

栃木県のトマト生産は、作型は促成栽培が中心である。これまでは収穫が10～15段花房の冬春どりが主体であったが、ハイワイヤー整枝法の普及により、収穫花房数は20～25段花房まで長期化している。また、この越冬型の促成作型は、従来の冬春どりよりもかなり栽培期間が長いことから、促成長期どり栽培と呼ぶ。

促成長期どり栽培は、7月頃から播種が始まり、8月頃まで育苗を行うが、大半の農家はこの育苗期間を外部に委託している。その後、苗を施設圃場に定植し、10月から翌年の7月まで概ね10ヶ月の間収穫を行っている。

近年は、施設の環境制御機器の性能が向上し、温度管理だけでなく、CO₂管理も制御できるようになった。さらに、通信技術の発展により施設外からのモニタリングや制御も可能となり、ICTの導入が進んでいる。

当初、栃木農試では促成長期どり栽培を10アールあたり収量20トン確保する技術として開発したが、15年程度経過した現在は、35トン以上を生産する農家も見られる。その一方で、農家間・地域間で収量格差が大きくなっている。

近年は企業参入により、養液栽培と環境制御を用いた高度な施設を用いたトマト生産が増加し、生産性も高い。既存トマト生産者は経営規模が小さいため、これらの企業よりもイニシャルコスト及びランニングコストが少なく、収量性の高い栽培法を構築する必要がある。

そこで、栃木県の一般的なトマト生産者が、既存の低コスト耐候性ハウスや環境制御装置を用い、ハイワイヤー整枝による促成長期どり栽培で、環境制御方法や草姿管理方法を改良し、投資コストを抑えながらも、超多収である10aあたり50トン(50kg・m⁻²)が可能となる技術的ポイントを明らかにしたので報告する。

II はじめに

トマトの1作の収量を決める要因として、①1果重が重いこと、②たくさんの果数が収穫できることが重要である。①に対しては、日射量・CO₂・水分と気温・地温・肥料等が適切な環境をつくる必要がある。また、②に対しては、収穫期間を長くする・栽植密度を限界まで高くする・日射量に合わせた草姿管理を行う必要がある。

そこで、これらに合わせ、環境制御を中心とした小課題、草姿管理を中心とした小課題に取り組み、最後にこれらの技術を組み合わせた体系の実証栽培を行った。

III 試験方法

施設は、場内の小型ガラス温室(50 m²)、中型ガラス温室、中型硬質フィルム温室(320 m²)を用いた。CO₂制御や気温・地温等の制御に関する試験は、これらが個別試験可能な小型ガラス温室(環境実験用温室)、草姿管理法に関する試験および実証試験は、気温、地温等が同一で管理できる中型ガラス温室、硬質フィルム温室を用いた。

いずれの施設も、保温・遮光はLSスクリーン2軸2層(遮光カーテン、保温カーテン)を備え、換気は天窗により制御を行った。これ以外、必要な装置(CO₂:プロパン燃焼型、地温制御:地中に電熱線、ポリパイプ配管:温水 25～30℃で循環、ミスト:スーパードライミスト、環境機器制御:環境実験温室は日本オペレーター換気王、大型温室はネボンMC6000)である。地温制御以外は、ほぼ土耕栽培の生産者と同様の施設内容である。

第1表～第3表のとおり、環境制御法に関する試験を2012年度から2017年度にかけて9課題、草姿管理法に関する試験を2014年度から2018年度にかけて8課題を実施し、栽培モデルの実証試験を2017年度から2018年度の2年間実施した。

各試験の処理目的、処理内容は第1表～第3表以降に、それぞれ追記する。

第 1 表 生産性の高い新しい環境制御法の開発（2012～2017）

果実の収量・品質など，果実生産性が高い施設内の好適環境制御条件を明らかにする。

試験番号	処理 No	環境制御の処理					試験目的やポイント
		CO ₂ 制御	地温制御	光制御	湿度制御	昼温制御	
試験 1	1	400ppm	18℃	光反射マルチ	慣行	慣行	統合環境制御の可能性
	2			慣行			
	3		慣行	低湿時加湿			
	4			光反射マルチ			
	5			慣行			
	6	慣行	慣行	慣行	慣行		
試験 2	1	800ppm	18℃	光反射マルチ	慣行	慣行	CO ₂ の供給 適切な CO ₂ 施用濃度を確保
	2	600ppm					
	3	400ppm					
	4	慣行					
	5	慣行	慣行	慣行	慣行		
試験 3	1	400ppm	23℃	光反射マルチ	慣行	慣行	水の供給 適切な地温で 根の動きを良好にする
	2		20℃				
	3		17℃				
	4	慣行	慣行	慣行	慣行		
試験 4	1	慣行	18℃	光反射マルチ早期展帳	慣行	慣行	光の供給 光反射マルチ の利用時期
	2			光反射マルチ			
	3		慣行	慣行	慣行		
試験 5	1	400ppm	18℃	光反射マルチ+LED 補光	慣行	慣行	光の供給 光反射マルチ +安価な補光 技術
	2			LED 補光			
	3			光反射マルチ			
	4	400ppm	慣行	慣行	慣行		
試験 6	1	400ppm	18℃	光反射マルチ	慣行	新変温	光合成 温度管理
	2					慣行	
試験 7	1	400ppm	18℃	光反射マルチ	低湿時ミスト	新変温	光合成 温度管理と湿度
	2				慣行		
	3					慣行	
	4	慣行	慣行	慣行	慣行		
試験 8	1	慣行	慣行	光反射マルチ	慣行	日平均 15℃	生育促進 収量と品質の バランス
	2					日平均 17℃	
	3					日平均 19℃	
	4	慣行	慣行	慣行	慣行		
試験 9	1	400ppm	18℃	光反射マルチ	飽差制御	日平均 15～17℃	安定生産 新しい環境制御
	2				慣行		

第2表 生産性の高い新しい草姿法の開発 (2014~2018)

トマトの生育と光の利用効率, 作業性を考慮した生産性の高い草姿管理を明らかにする.

試験番号	処理No	草姿管理の処理				試験目的やポイント
		摘葉・着葉	誘引配置・側枝利用	台木-地温・給液濃度	黄変果・花こう折れ対策	
試験1)	1	下部強摘葉区	慣行	慣行	慣行	茎葉の整理 摘葉・着葉等
	2	全体強摘葉区	慣行	慣行	慣行	
	3	全体弱摘葉区	慣行	慣行	慣行	
	4	慣行	慣行	慣行	慣行	
2)	1	主枝基部側枝あり	慣行	慣行	慣行	
	2	慣行	慣行	慣行	慣行	
3)	1	未展開葉1葉除去	慣行	慣行	慣行	
	2	慣行	慣行	慣行	慣行	
試験2	1	慣行	2条広区	慣行	慣行	栽植距離
	2	慣行	改良2条区	慣行	慣行	
	3	慣行	慣行	慣行	慣行	
試験3	1	慣行	側枝利用	慣行	慣行	側枝収穫利用
	2	慣行	慣行	慣行	慣行	
試験4	1	慣行	慣行	Maxifort-18℃	慣行	草勢維持① 強草勢台木と地温
	2	慣行	慣行	Maxifort-15℃	慣行	
	3	慣行	慣行	Maxifort-無処理	慣行	
	4	慣行	慣行	TTM079-18℃	慣行	
	5	慣行	慣行	TTM079-15℃	慣行	
	6	慣行	慣行	TTM079-無処理	慣行	
	7	慣行	慣行	ブロック-18℃	慣行	
	8	慣行	慣行	ブロック-15℃	慣行	
	9	慣行	慣行	ブロック-無処理	慣行	
試験5	1	慣行	慣行	給液2倍濃度	慣行	草勢維持② 給液濃度
	2	慣行	慣行	慣行	慣行	
試験6	1	慣行	慣行	慣行	フレキシブルアーチ装着	不良果防止 ① 花こう折れ対策
	2	慣行	慣行	慣行	慣行	
試験7	1	摘葉強	慣行	慣行	摘葉強	不良果防止 ② 黄変果の原因 黄変果対策
	2	摘葉弱	慣行	慣行	摘葉弱	
	3	慣行	慣行	慣行	慣行	
試験8	1	慣行	慣行	慣行	K ₂ SO ₄ 500倍液週1回	
	2	慣行	慣行	慣行	K ₂ SO ₄ 500倍液週2回	
	3	慣行	慣行	慣行	K ₂ SO ₄ 1000倍液週1回	
	4	慣行	慣行	慣行	K ₂ SO ₄ 1000倍液週2回	
	5	慣行	慣行	慣行	蒸留水週1回	
	6	慣行	慣行	慣行	慣行	

第3表 栽培モデルの実証（2017～2018）

環境制御と草姿管理の好適な組合せにより，多収栽培を実証する。

実証年次		おもな環境制御法					おもな草姿管理法				
		CO ₂ 制御	地温制御	光制御	湿度制御	昼温制御	摘葉・着葉	誘引配置	側枝利用	台木	花こう折れ
1 年次	実証区	400ppm 以上 500ppm 未満	18℃ 目標	光反射 マルチ LED 補光	放任 (慣行)	天窓のみ (慣行)	日照・草勢で 未展開葉除去	ハイワイヤー 2条広	12月以降 から側枝 伸長	ブロック (慣行)	対策なし (慣行)
	参考区		15℃ 以下 (慣行)	黒 マルチ (慣行)			生長点～収穫 花房上 (慣行)	ハイワイヤー 2条狭 (慣行)	側枝利用 なし (慣行)		対策なし (慣行)
2 年次	実証区	400ppm 以上 500ppm 未満	18℃目 標	光反射 マルチ LED 補光	飽差 制御 3～6 g/m ²	天窓・ 暖房で 新変温 15～17℃	日照・草勢で 未展開葉除去	ハイワイヤー 2条広	12月以降 から側枝 伸長	Maxifort	フレキシブル アーチ (10～11月)
	参考区		15℃ 以下 (慣行)	黒 マルチ (慣行)			生長点～収穫 花房上 (慣行)	ハイワイヤー 2条狭 (慣行)	側枝利用 なし (慣行)		ブロック (慣行)

1. 生産性の高い新しい環境制御法の開発

試験1 CO₂施用における複合環境制御が収量・品質に及ぼす影響（2012）

CO₂施用は，測定装置が低価格化し，濃度制御が容易になったが，無駄な漏えいや環境に配慮して，大気と同程度の400ppm条件下で，第4表のとおり，いくつかの環境要因を組合せ，慣行栽培（CO₂無施用，黒マルチ）と比較した。

CO₂施用は，LPG 燃焼（燃焼：秋葉工業，CO₂コントローラ：チノー製）とし，施設内CO₂濃度が400ppmを下回ると稼働する方法とした。

地温制御は，電熱線（農電ケーブル：筑波電器製）を株元地表に敷設し，深さ15cmの地温が18℃となるようサーモスタッドで管理した。光制御は，黒マルチ上に光反射マルチとして，タイベック400WP（デュポン製）を用いた。湿度制御は，加湿器（光工業製）を用い，タイマー制御で湿度50～70%となるよう適宜行った。

供試品種は，穂木：麗容（サカタ），台木：ブロック（サカタ）を用い，2012年7月18日播種，8月21日に圃場に定植した。栽植方式は，1畝2条植えて畝間200cm，株間46cmとした。施肥は，BB長期どりトマト専用肥料（8-3-8）を窒素で4.0kg・a⁻¹施用した。温度管理は，日中は28℃以下，夜間10℃以上で管理した。着果処理方法は，第3花房まではトマトトーン，以降はク

ロマルハナバチを用いた。収穫は2012年11月～2013年6月まで行った。

第4表 処理組合せ

No	処理区
1	CO ₂ - 地温 - 光
2	CO ₂ - 地温
3	CO ₂ - 湿度
4	CO ₂ - 光
5	CO ₂
6	慣行栽培

試験2 光反射マルチ+適正地温条件下におけるCO₂濃度の違いが収量・品質に及ぼす影響（2013）

光制御：光反射マルチ，地温制御：農電ケーブル敷設の好適条件下で，CO₂施用濃度を高める効果を判断するため，CO₂800ppm区，600ppm区，400ppm区，無施用区の4水準で，慣行栽培（CO₂無施用，黒マルチ）と比較した。

CO₂施用，光反射マルチ，地温制御（最低地温15℃以上）で試験1と同じ方法で管理した。供試品種は，穂木：麗容（サカタ），台木：ブロック（サカタ）を用い，2013年7月17日播種，9月3日に圃場に定植した。栽植方式，温度管理，着果処理方法は，試験1と同様とした。施肥は，土壌診断を参考に，BB長期どりトマト専用肥料（8-3-8）を窒素で5.0kg・a⁻¹施用した。収穫は2013年11月から2014年5月まで行った。

試験3 CO₂400ppm 施用+光反射マルチ+適正地温条件下における地温の違いが収量・品質に及ぼす影響 (2014)

CO₂濃度：400ppm，光制御：光反射マルチの好適条件下で，冬季の適正な地温を判断するため，地温 23℃区，20℃区，17℃区の3水準で，慣行栽培 (CO₂無施用，黒マルチ) と比較した。

CO₂施用方法，光制御方法は，試験1と同様とした。供試品種は，穂木：麗容 (サカタ)，台木：ブロック (サカタ) を用い，2014年7月29日播種，9月1日に圃場に定植した。栽植方式，温度管理，着果処理方法は試験1と同様とし，施肥は，土壌診断を参考に，BB長期どりトマト専用肥料 (8-3-8) を窒素で 4.0kg・a⁻¹ 施用した。収穫は2014年11月から2015年5月まで行った。

試験4 適正地温条件下における光反射マルチの展帳時期が収量・品質に及ぼす影響 (2013)

光反射マルチの展帳時期を早期から行った方が良いかを判断するため，根の活着後直ちに行う早期展帳区，通常どおり収穫直前や保温開始時に行う普通展帳区の2水準について，慣行栽培 (CO₂無施用，黒マルチ) と比較した。

展帳時期は，早期展帳区で9月30日，普通展帳区，慣行区で10月21日に行った。CO₂施用は行わず，自然換気とした。光制御，地温制御，供試品種，栽植様式，施肥量，温度管理，着果処理方法，収穫時期は，試験2と同様に行った。

試験5 CO₂400ppm 施用+適正地温条件下における光制御 (LED 補光，光反射マルチ) が収量・品質に及ぼす影響 (2013)

家庭等で用いる一般的なLEDを使い，LED補光+光反射マルチ全面展帳区，LED補光のみ区，光反射マルチ全面展帳のみ区の3水準で，慣行栽培と比較した。

LEDは，家庭用の高光束タイプ (東芝ライトバー70001m) を用い，12月から栽培終了まで，7～19時に照射した。

光反射マルチを利用する区は，11月から栽培終了まで，黒マルチの上に全面展帳した。CO₂施用以外は，地温制御，供試品種，栽植様式，施肥量，温度管理，着果処理方法，収穫時期は，試験4と同様とした。

試験6 CO₂400ppm 施用+光反射マルチ+適正地温条件下における昼温変温管理法の違いが収量・品質に及ぼす影響 (2014)

オランダ型の変温管理の効果を確かめるため，CO₂濃度400ppm，光制御：光反射マルチ，地温：18℃確保の好適条件下で，施設内温度の昼温の変温管理の違いを比較した。

昼温の管理方法は，高温時は天窓換気で設定に制御することとし，曇雨天時で設定温度に達しないときは，暖房機 (ネボン灯油式) で最低15℃以上となるようにした。また，両区とも日没前に30分間強制換気を行った。

供試品種，栽培概要は，試験5同様とし，処理区は第5表のとおりである。

第5表 具体的な昼温管理

No	処理区	午前	午後
1	昼温 低→高	20～23℃	25～28℃
2	昼温 高→低：慣行	25～28℃	20～23℃

試験7 各種の環境制御技術を組み合わせた栽培モデルの検証 (2015)

これまでの試験から，収量向上性，経済性を考慮し，現地普及性が高いと考えられた方法を組合せ，慣行栽培と比較した。CO₂制御，光制御 (LED補光を除く)，地温制御，昼温制御，湿度制御いずれも，試験1～6で有効であった処理を組み合わせた。

供試品種は，穂木：麗容 (サカタ)，台木：ブロック (サカタ) を用い，2015年7月7日播種，9月17日に圃場に定植した。栽植様式，温度管理，着果処理方法は試験1と同様とした。施肥は，土壌診断の結果から，BB長期どりトマト専用肥料 (8-3-8) を，窒素で 4.0kg・a⁻¹ 施用した。収穫は2015年11月～2016年6月まで行った。

第6表 処理組合せ

No	処理 (CO ₂ 制御+光制御+地温制御+昼温制御+湿度制御)
1	環境制御×5 (400ppm+光反射マルチ+地温18℃+新しい昼温+湿度50%保持)
2	環境制御×4 (400ppm+光反射マルチ+地温18℃+新しい昼温)
3	環境制御×3 (400ppm+光反射マルチ+地温18℃)
4	慣行栽培 (CO ₂ 無施用+黒マルチ+地温無処理+慣行昼温+湿度制御なし)

試験8 好適栽培条件下における昼温管理を変えた日平均温度の違いが収量・品質に及ぼす影響 (2016)

果実数を増加させることを目標に，CO₂施用時の日中の温度管理を変え，日平均温度3処理と慣行を比較した。

供試品種は，穂木：麗容 (サカタ)，台木：マグネット (サカタ) を用い，全農とちぎ育苗センターに委託した (2016

年7月26日播種)，9月6日に圃場に定植し，栽植方式，着果処理方法は，試験1と同様とした。施肥は，土壤診断結果から，BB長期どりトマト専用肥料（8-3-8）を窒素で $3.0\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$ 施用した。収穫は2016年11月から2017年5月まで行った。

第7表 処理組合せと具体的な昼温管理

No	処理区	晴天日	曇雨天日
	日平均-CO ₂ 施用		
1	15°C-有	最高 20°C	最低 14°C
2	17°C-有	最高 24°C	最低 14°C
3	19°C-有	最高 28°C	最低 14°C
4	慣行-無	最高 25~28°C	最低 14°C

試験9 ミストや半閉鎖型管理を用いた飽差制御による湿度管理が収量・品質に及ぼす影響（2017）

飽差制御が可能な施設により，飽差を基準とした湿度（飽和気圧量との差）を変え，慣行管理と比較した。

飽差管理は，ドライミスト発生装置（スーパー工業）を用い，制御をMC-6000（ネボン）で $3\sim 6\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ となるよう行った。

供試品種は，穂木：麗容（サカタ），台木：ブロック（サカタ）を用い，ロックウール培地による養液栽培で，2017年7月27日播種，9月19日に圃場に定植した。栽植方式は，1畝2条植えで畝間180cm，株間45cmとした。培養液処方，栃木改良2号を用い，給液濃度は， $1.0\sim 1.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-2}$ ，給液量は，吸水量の1.1~1.3倍程度をかけ流した。ベットヒータを用いて地温を18°C維持した。温度管理は，夜間を最低10~12°C，日平均温度を冬季15°C以上，春季17~21°Cを目安に管理した。着果処理方法は，試験1と同様に行った。収穫は2017年11月から2018年6月まで行った。

第8表 処理区と具体的制御方法

No	処理区	制御方法
1	飽差管理 3~6 g・m ⁻³ 目標	飽差測定しながら 天窓、ミスト、昼間暖房
2	慣行管理	天窓開閉のみ 降雪時のみ昼間暖房有

2 生産性の高い新しい草姿法の開発

試験1

摘葉および着葉の強弱による草勢管理が収量に及ぼす影響（2014，2016）

1) 摘葉の部位，強さを変えた草姿管理が収量に及ぼす影響（2014）

高軒高温室を用い，摘葉程度と摘葉部位を変えた4水準に比較した。

供試品種は，穂木：麗容（サカタ），台木：ブロック（サカタ）を用い，2014年8月16日播種，9月24日に圃場に定植した。BB長期どりトマト専用肥料（8-3-8）を窒素で $2.0\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$ 施用した。温度管理，着果処理方法は，試験1と同様に行った。収穫は，2015年1月から5月まで行った。

第9表 処理内容

No	処理区	摘葉する部位	着生葉/株
1	下部強摘葉区	収穫花房2段上	12葉以下
2	全体強摘葉区	各花房間1枚	12葉以下
3	全体弱摘葉区	各花房間1枚	15葉以上
4	下部弱摘葉区（慣行）	収穫花房下	15葉以上

2) 主茎基部の側枝を残した草勢管理が収量に及ぼす影響（2014）

高軒高温室を用い，根の活性を維持する目的として，主茎基部から発生する側枝を残して同化専用枝とする方法を，慣行栽培を比較した。供試品種やその他の栽培概要は，1)と同様とした。収穫は，2015年1月から3月まで行った。

第10表 処理内容

No	処理区	側枝の草姿管理
1	主茎基部側枝あり	第1花房直下葉の側枝を残し、5枚展開まで残す
2	主茎基部側枝なし（慣行）	側枝はすべて除去する

3) 寡日照期（光量が少なく日長が短い）の未展開葉摘葉が収量に及ぼす影響（2016）

促成長期どりは，8月下旬から9月上旬に定植し，以降徐々に日射が弱まっていく。収穫が始まる11月以降は，既に第6~7花房開花となり，LAI（葉面積指数）は3~4と多くなっている。日射量の低下，株の相互遮蔽により生育，収量の妨げになっていることが考えられるため，花房間葉3枚うち1葉を未展開時に摘葉し，相互遮蔽を少なくする工夫が現地でみられるため，これら処理の生育，収量について慣行と比較した。

供試品種は，穂木：麗容（サカタ），台木：マグネット（サカタ）を用い，全農とちぎ育苗センターに委託した（2016年7月26日播種）。2次育苗後，9月6日に定植した。栽植方式，温度管理，着果処理方法は，これまでと同様，施肥は，土壤診断を参考に，BB長期どりトマト専用肥料（8-3-8）を窒素で $30\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$ 施用した。収穫は，2016年11月から2017年5月まで行った。

第11表 処理内容

No	処理区	主枝の草姿管理方法
1	未展開葉 1葉除去 (第3~8花房)	花房間3葉のうち1葉を 未展開時に除去する
2	慣行	

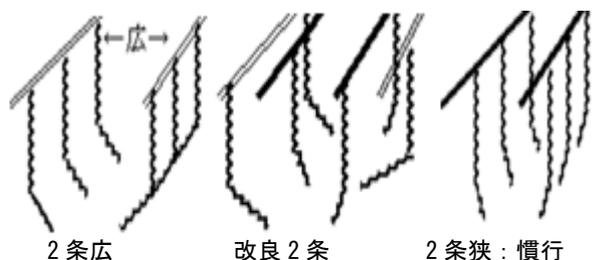
試験2 密植栽培時の誘引配置位置が収量、品質に及ぼす影響 (2015)

高軒高施設を用い、栽植密度を慣行の1.5倍程度に高めた密植栽培により、収穫果実数を増やす増収技術における適正な誘引配置を検討した。

栽培は、いずれの区も栽植密度は、317.4株・a⁻¹、供試品種は、穂木:麗容(サカタ)、台木:ブロック(サカタ)を用いた。栽培方法は、ロックウール培地による養液栽培で、2015年7月30日播種、9月4日に圃場に定植した。通常、養液栽培の様式は、1畝2条植えて畝間180cm、株間45cmであるが、今回は株間35cmで行った。その他の栽培方法は、1の試験1と同様に行った。収穫は、2015年11月から2016年5月まで行った。

第12表 処理内容

No	処理区	畝間×株間	通路×2条間
1	2条広	180cm×35cm	100cm×80cm
2	改良2条	180cm×35cm	1, 3の複合型
3	2条狭:慣行	180cm×35cm	130cm×50cm



条広区は、慣行よりも通路幅を狭く、2条間を広げた。改良2条区は、誘引用のワイヤーを2本増やし、1条がちどり状となるようにした

第1図 誘引配置の模式

試験3 日射量の増加に伴った側枝の伸長方法と、これらに着果した果実が収量・品質に及ぼす影響 (2016)

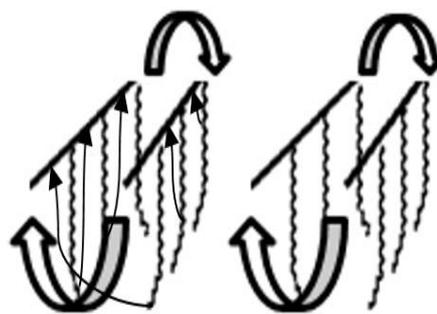
促成期よりは、1月以降は徐々に光量が多くなり、太陽の南中高度は高くなる。このため、トマト株の相互遮蔽が少なくなり、側枝を徐々に増やして収果実数を増やすことが可能である。

今回は、特に日射条件の良い2条の端から側枝を増加させた方法について検討した。

供試品種、栽植方式、施肥量、温度管理、着果方法は、1の試験1と同様に行った。収穫は、2016年11月から2017年6月まで行った。

第13表 処理内容

No	処理区	増枝部位	増枝時期
1	側枝増加	2条植えUターン部 (南側・北側)	12月以降
2	慣行	-	-



側枝増加区

慣行区

畝を跨ぐ前に1m手前位から側枝を1本残して伸長させる
→反対の畝に廻す手前から、側枝の開花、着果させる
→Uターンは、慣行と同様に行う
→これを2条畝の両サイドで12月から連続して行う

第2図 側枝伸長と側枝誘引の模式

試験4 草勢の異なる台木の利用、地温の違いが収量・品質に及ぼす影響 (2017)

着果負担や地温の低下により、冬季草勢の低下、果実肥大低下、春季の収量低下が懸念されるため、草勢の異なる台木と地温の組み合わせを検討した(第14表)。

穂木は麗容(サカタ)を用い、ロックウール培地による養液栽培で、2017年7月27日播種、9月19日ほ場に定植し、栽植方式は、1の試験1これまでと同様である。

第14表 処理組合せ、台木の特性

No	処理区		台木の特性 (種苗会社)
	台木	目標地温	
1	Maxifort	18℃	根の活力が強いと評価されているオランダ台木(トミタ)
2	Maxifort	15℃	
3	Maxifort	無処理	
4	TTM-079	18℃	草勢が強い養液差栽培用の試作台木(タキイ)
5	TTM-079	15℃	
6	TTM-079	無処理	
7	ブロック	18℃	本県で利用が多い、草勢が中程度の台木(サカタ)
8	ブロック	15℃	
9	ブロック	無処理	

試験 5 給液濃度の違いが収量，品質に及ぼす影響 (2017)

オランダの養液栽培は，給液濃度が日本より 2 倍程度高いのが一般的である。しかし，高濃度処理は，肥料コストが増加してしまうため，給液濃度の違いについて検討した。

定植給液 EC は，いずれも $1.0 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-2}$ から開始したが，徐々に給液 EC を変えて，10 月から翌年 1 月まで給液 EC を慣行の 2 倍とした。供試品種，栽培様式は，1 の試験 1 これまでと同様に行った。収穫は，2017 年 11 月から 2018 年 3 月まで行った。

第 15 表 処理区，最大給液 EC，培養液処方

No	処理区	最大給液 EC ($\text{ds} \cdot \text{m}^{-2}$)	培養液処方
1	2 倍濃度	2.0~3.0	栃木改良 2 号
2	慣行	1.0~1.5	栃木改良 2 号

第 16 表 栃木農試改良 2 号の各成分濃度

EC	pH	多量要素 ($\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$)							微量元素 (ppm)						
($\text{ds} \cdot \text{m}^{-2}$)		$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	P	K	Ca	Mg	SO_4	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn	
1.4	6.5	10.0	0.6	2.7	7.4	4.5	1.7	1.7	2.6	0.9	1.3	0.05	0.03	0.12	

試験 6 花こう折れ対策が果実肥大に及ぼす影響 (2018)

促成長期どりは，収穫始期の 10 月から 12 月の花こうが長くなりやすく，果実肥大中に花こうが曲がる・折れることが多い。そこで，花こう折れ対策器具の効果を検討した。

2018 年 9 月 21 から 10 月 1 日開花した花房を，10 月 4 日，11 月 16 日に調査した。栽培は試験 5 と同様に行った。

第 17 表 処理内容

No	処理区	取付器具 (方法)
1	花こう折れ対策あり	フレキシブルアーチ (開花後から着果初期)
2	慣行	対策なし



第 3 図 フレキシブルアーチの取付後

試験 7 摘葉程度が果実黄変果に及ぼす影響 (2018)

促成長期どりは，収穫後半の高温期に果実肩部が赤く着色しない，黄変果の発生が課題となっている。この着色

不良部位は，正常部位よりもカリウム含有量が低く，赤色を生じるリコペン含有量が低いという知見がある。

一方，生産現場では，トマトの茎長が長くなり，葉かき作業を多めに行うことが多くっており，着生葉から着果花房にカリウムの移行が不足していると考えられたため，春の摘葉程度について検討を行った。

供試品種，栽培様式は，試験 6 と同様に行った。調査は，5 月に 4 回行ない，収穫果実のカリウムは原子吸光光度計で測定した。

第 18 表 処理内容

No	処理区	摘葉部位
1	強摘葉	収穫花房上の 3 花房まで除去
2	弱摘葉	収穫花房下の 1 花房まで除去
3	中摘葉 (慣行)	収穫花房上の 1 花房まで除去

試験 8 カリウム葉面散布が果実黄変果に及ぼす影響 (2018)

果実肩部が赤く着色しない黄変果の発生が課題となっているが，この着色不良部位は，正常部位よりもカリウム含有量が低く，赤色を生じるリコペン含有量が低いという鈴木ら (2013) の知見から，カリウム資材の葉面散布を検討した。

供試品種，栽培様式は，試験 6 と同様に行った。処理は，2 月 18 日から収穫調査終了時まで行った。調査は，5 月に 4 回行った。

第 19 表 処理内容

No	処理区	散布剤
1	500 倍液 週 1 回	硫酸カリウム水溶液
2	500 倍液 週 2 回	硫酸カリウム水溶液
3	1000 倍液 週 1 回	硫酸カリウム水溶液
4	1000 倍液 週 2 回	硫酸カリウム水溶液
5	対照区	蒸留水
6	慣行区	—

3. 栽培モデルの実証

環境制御と草姿管理の組合せ : 1 年次 (2017)

これまでの，試験結果をもとに，10 アールあたり 50 トンを指すため，養液栽培で実証試験を行った。

CO_2 施用により 400ppm 条件下で，慣行区に準じて参考区を設け，実証試験を行った (第 20 表)。光反射マルチは，作業の実用性を考慮し，足元が滑りにくいルンルンシート白ピカを用いた。

供試品種は、穂木：麗容（サカタ）、台木：ブロック（サカタ）を用い、ロックウール培地による養液栽培で、2017年7月27日播種、9月19日に圃場に定植した。栽植方式は慣行栽植密度で培養液処方栃木農試改良2号を季節・天候・生育量によりEC0.6~1.4、給液量0.2~1.50株⁻¹、廃液率20~30%を目安に給液し、施設内の気温を冬季に日平均15~17℃、マルハナバチ交配を主体に栽培し、収穫は2017年11月から2018年6月まで行った。

第 20 表 1 年次実証試験の処理内容

No	処理区	CO ₂ (ppm)	マルチ	補光	地中加温 (℃)	条間	側枝どり
1	実証区	400	光反射	有	18	広	有
2	参考区	400	黒	無	15	狭	無

環境制御と草姿管理の組合せ：2 年次（2018）

これまでの、昨年度の栽培モデルの実証試験の結果に基づき、さらに、飽差管理と台木品種を加えた処理で10アールあたり50トンを目指した試験を行った。

CO₂施用、光反射マルチ、LED補光、条間、側枝どりは、1年次と同様とし、飽差管理は、ドライミスト発生装置（スーパー工業）を用い、制御をMC-6000（ネボン）で行った。供試品種は、穂木：麗容（サカタ）、台木は、実証区：Maxifort（トミタ）、参考区：ブロック（サカタ）を用いた。栽植方法は、これまでの試験に準じた。栽培は、2018年8月28日に定植、栽植方式、培養液処方、温度管理、着果方法は、1年次実証試験と同様とした。収穫は2018年10月から2019年6月まで行った。

第 21 表 2 年次実証試験の処理内容

No	処理区	CO ₂ (ppm)	目標飽差	マルチ	補光	地中加温 (℃)	条間	側枝どり	台木
1	実証区	400	3-6	光反射	有	18	広	有	強
2	参考区	400	3-6	黒	無	15	狭	無	弱

IV 結果

1 生産性の高い新しい環境制御法の開発

試験 1 CO₂施用における複合環境制御が収量・品質に及ぼす影響（2012）

CO₂施用は、第4図のとおり、400ppmを下回ると施用を開始し、500ppmになると施用を停止し、予定どおりの施用ができた。1月25、26日では、CO₂を施用しない場合は、日射量が増加すると、250ppm程度まで低下した。1

月27日は、CO₂をすべての施設で施用し、同一条件であることを示した。

光反射マルチと慣行の黒マルチの展帳は、第5図、第6図のとおり。日射熱量を測定し、地面から部位別に反射率をみると、光反射マルチは、地面近くからGL100cm程度まで日射の反射率が高かった（第7図）。

最低地温は、第8図のとおり、地中加温するとマルチの違いによる差はみられず、冬季18~20℃を維持した。地中加温なしの場合、黒マルチは14℃、光反射マルチは12℃程度まで低下した。

施設内の日平均温度は3月までほぼ15℃、2月下旬以降は日射の増加に伴い、徐々に上昇した（第9図）。

収量は、第22表のとおり、1果重と果数に優れたCO₂-地温-光区が最も高く、次いでCO₂処理+1環境要因を加えた3区、CO₂処理のみは慣行よりわずかに高かった。糖度は光処理を行ったCO₂-光区、CO₂-地温-光区の2区が高かった。果実の外観品質割合は、第23表のとおり、CO₂-地温-光区は、健全が82%と多く、空どう・その他・非販果が少ないため、最も優れた。慣行区は、その他・空どうが多いため、健全が68%と少なかった。外観品質別の収量は、CO₂-地温-光区は慣行区よりも健全果の収量が多く、空どう果、その他、非販果が少なかった。月別1果重は第11図、月別糖度は第12図のように推移した。各花房下の茎径は、CO₂-地温-光区で安定して太く、2月から5月に一時的に糖度が高まったCO₂-光区では、第9~第13花房付近で細く、草勢が弱まった。

以上から、日中に終日CO₂施用をすると収量が高まり、その他の環境制御を上手に組み合わせることによって、大きな増収が可能であることが明らかとなった。

試験 2 光反射マルチ+適正地温条件下におけるCO₂濃度の違いが収量・品質に及ぼす影響（2013）

試験1の結果から、大気と同程度のCO₂:400ppm施用により日中の換気閉鎖時には250ppmまで低下したCO₂濃度を大気と同程度まで安定させ、その他の環境要因を上手に組み合わせることにより、収量が大きく上がることが分かったが、CO₂施用濃度の上限程度を、収量やLPG使用量の点でから調査した。

株あたり収量は、CO₂濃度が高い区ほど優れた。CO₂無施用の場合、光反射マルチは慣行の黒マルチより優れた。1果重は、CO₂濃度が高い800ppm、600ppm区が特に優れ、果数、糖度は、いずれの区も慣行区より優れた（第24表）。

健全果の割合はCO₂濃度が高い処理区ほど高く、空どうの割合は無施用区、慣行区が高かった（第25表）。

健全果の収量は，CO₂ 施用濃度が高い区ほど多かった。空どう・その他・非販果は CO₂ 施用がない無施用区，慣行区で多かった（第 14 図）。

株あたり LPG 使用量は，400ppm 区では約 0.25 m³，600ppm 区で約 0.65 m³，800ppm 区で約 1.10 m³であった（第 15 図）。

月別 LPG 使用量は，3 月まで 400ppm 区は毎月 0.05 m³程度であったが，600ppm 区は 0.06～0.20 m³，800ppm 区は 0.13～0.37 m³と使用量が増加した。使用量を 400ppm に同一とした 4 月は，各区とも同等であった。なお，株あたり LPG 使用料金は，400ppm 区で毎月 30～40 円，600ppm 区で 40～120 円，800ppm 区で 80～230 円と推定された（第 16 図）。

以上から，CO₂ 施用は 600～800ppm で増収可能であることが明らかとなった。しかし，農家では，換気装置と CO₂ 施用装置が連動できる施設がほとんどないことから，CO₂:400ppm 施用を基本に試験を進める。また，いずれの区も，慣行（黒マルチ栽培）よりも，増収し，光反射マルチの有効性が再確認された。

試験 3 CO₂400ppm 施用＋光反射マルチ＋適正地温条件下における地温の違いが収量・品質に及ぼす影響（2014）

試験 1 の結果から，地温については，光反射マルチを展開すると，黒マルチよりもさらに地温が低下することが課題であり，光反射マルチ利用時の適正な地温を明らかにしようとした。

株あたり収量は，地温 20℃区で優れ，次いで地温 23℃区が優れた。地温 17℃区は，無処理区よりもやや優れたが，他の 2 区より劣った。1 果重は，無処理に比べ，地温 20℃区，地温 23℃区，地温 17℃区の順に優れた。果数は，いずれの区も慣行区よりやや多かったが，糖度はやや低かった（第 26 表）。

健全果の割合は，地温を保持した各区とも，無処理区よりやや高く，その他の変形果は，無処理区で多かった（第 27 表）。

健全果の収量は，地温 20℃区が最も優れ，次いで 23℃区，17℃区で優れ，無処理区は大きく下回った（第 17 図）。

以上から，CO₂:400ppm 施用，光反射マルチ展帳時の栽培で，地温が低下する冬季は，地中 15cm あたりを，最低 18℃維持を目標に管理すると良いことが明らかとなった。今後，低コストで地温を確保する方法が必要である。

試験 4 適正地温条件下における光反射マルチの展帳時期が収量・品質に及ぼす影響（2013）

促成長期どり栽培は，黒マルチ展帳時で保温開始，収穫開始となる 10 月から 11 月に行うが，光反射マルチ展帳の時期を変えて調査した。

株あたり収量は，光反射マルチを展開した 2 区が，慣行の黒マルチを展開した慣行区より優れた。地温を維持した条件下（ただし，CO₂ 施用なし）では，光反射マルチは有効であるが，展張の差異では，1 果重，果数，糖度に差は認められなかった（第 28 表）。

果実の品質割合も光反射マルチを展開した 2 区は大差無かった（第 29 表）。健全果の収量は，やや早期展帳区でやや優れたが，大差はなかったが，慣行と差がみられた（第 18 図）。

以上から，黒マルチは，通常，高温時期に展帳しないが，光反射マルチは，光が弱くなる 10 月までに早期に展帳しても問題がないことが明らかとなった。

試験 5 CO₂400ppm 施用＋適正地温条件下における光制御（LED 補光，光反射マルチ）が収量・品質に及ぼす影響（2013）

光反射マルチ展帳は，日射を利用した技術であるため，日射量の少ない冬季は，さらに光が必要である。消費電力が省力，耐久性は蛍光灯や白熱球よりも長く，比較的インシヤルコストが低い家庭用 LED は，人工光源として可能性があり，さらなる増収を目指し検討した。

LED の設置は第 19 図のとおり行った。LED 光源は，光量子束密度で，光源から 50cm で 40.2～59.2PPFD を確保した。トマトの下位葉への受光改善が可能である（第 30 表）。

株あたり収量は，LED＋光反射マルチ区が優れ，次いで LED のみ区，光反射マルチのみ区が良好であった。1 果重も，同様の傾向であった。果数は，いずれの区も慣行区よりやや多く，糖度は高かった（第 31 表）。

健全果の割合は，LED＋光反射マルチ区が高く，次いで LED のみ区，タイベックのみ区の順であった。空どうや非販果の割合は，反対に LED＋光反射マルチ区，LED のみ区，タイベックのみ区は少なかった（第 32 表）。

健全果の収量は，LED＋光反射マルチ区が最も優れ，空どう果等が少なかった（第 20 図）。

以上から，地表近くから市販の LED（7,000 lm タイプ）を用いると更に増収可能となることが明らかとなった。しかし，現地普及においては，耐水性，耐候性が強い農業用に使える商品が必要である。

試験 6 CO₂400ppm 施用+光反射マルチ+適正地温条件下における昼温変温管理法の違いが収量・品質に及ぼす影響 (2014)

施設内の湿度は、換気後急速に低下するが、オランダ型の変温管理を行うことで、午後の施設内の湿度は、昼温低→高区で湿度が高く、慣行区は午後大きく天窓を開けるため湿度が低かった。CO₂施用条件下で、ほぼ1日の平均気温を同一とすると、午前、午後の管理を変えた昼温管理法の違いでは、1果重、果数は同程度で、収量は変わらなかった。糖度も同程度であった(第33表)。健全果の割合は慣行区がやや多く、空どう果が少なかったが、大きな差ではなかった(第34表)。収量が2区とも同様であるため、外観品質別収量も同様であった(第21図)。

試験 7 各種の環境制御技術を組み合わせた栽培モデルの検証 (2015)

これまでの試験結果から、有望な環境制御の組み合わせ、再度検討を行った。株あたり収量は、環境制御の組合せが多い区ほど、慣行区より優れた。1果重、果数は、いずれも慣行区より優れた。糖度は、慣行区が優れた(第35表)。

果実の品質割合は、環境制御の組合せが多い区で、非販果割合が慣行区より大きく減ったが、反面、空どう割合が増加した(第36表)。健全果の収量は、環境制御の組合せが多い区ほど多く、慣行区より優れた(第22図)。

試験 8 好適栽培条件における昼温管理を変えた日平均温度の違いが収量・品質に及ぼす影響 (2016)

好適な環境条件のもと、昼温を高めに、日平均温度を高くすることで、生育促進と収量を高めることができないかを試験したが、日平均温度が低い区で1果重が優れたが、果数は劣った。一方、日平均温度が高い区で果数が優れたが、1果重は劣った。総合的に、慣行栽培と大きく差がみられなかったが、CO₂施用では17℃以下の管理で1果重が増加し、17℃以上の管理で果数が増加した(第37表)。

時期別の果実数でみると、19℃区で果実数は多いが、寡日照高温で経過したため、3月頃一時果数は低下した。4月以降は、再度果数は他区より多かった(第23図)。1果重は、19℃区が他区より劣り、1月以降100g程度であることが課題である(第24図)。糖度は、15℃区で安定して高かった。4月以降、17℃区、19℃区は、15℃区より大幅に低下した(第25図)。

各花房の開花日は、5~13花房にかけて高温区ほど早く、収穫日は1~9花房の収穫が早くなった(第38表)。成熟日数は5~9花房で差が大きく、平均成熟日数は、15℃-

有区で86.3日、19℃-有区で73.4日と12.4日の差があった(第39表)。

花房下の茎径は、高温区ほど細くなり、19℃-有区で13花房以降10mm以下となった(第40表)。このため、高温管理を行う場合で後半の草勢維持が必要である。

試験 9 ミストや半閉鎖型管理を用いた飽差制御による湿度管理が収量・品質に及ぼす影響 (2017)

飽差制御による湿度管理すると、1果重がやや重く、糖度がやや高かったが、果数が少ないため収量は慣行区と大差なかった(第41表)。外観品質別収量でみると、飽差管理区で健全果がやや多かった(第26図)。

2 生産性の高い新しい草姿法の開発

試験 1 摘葉および着葉の強弱による草勢管理が収量に及ぼす影響

1) 摘葉の部位、強さを変えた草姿管理が収量に及ぼす影響 (2014)

摘葉の部位、強さによる冬季の株あたり収量は、摘葉場所が変わっても強摘葉した区で少なく、弱摘葉区で多かった。1果重に大きな差はなかったが、果実数は弱摘葉区で多かった(第43表)。

2) 主茎基部の側枝を残した草勢管理が収量に及ぼす影響 (2014)

主径基部の側枝葉を残した場合の初期収量を調査すると、株あたり収量に差がなかった。主径基部側枝あり区でやや大きかったが、果数はやや少なかった(第44表)。

3) 寡日照期(光量が少なく日長が短い)の未展開葉摘葉が収量に及ぼす影響 (2016)

寡日照期の未展開葉の摘葉は、株あたり収量に大きな差はなかった。1果重は未展開葉1葉除去区が慣行区よりやや大きかった(第45表)。

試験 2 密植栽培時の誘引配置位置が収量、品質に及ぼす影響 (2015)

株あたり収量は、2条広区が多く、次いで改良2条区が多かった。1果重も同様の傾向で、果数は2条広区、改良2条区で、慣行区よりもやや多かった(第46表)。

果実の外観品質割合は、2区とも慣行区より健全果がやや高かったが、大きな差は無かった(第47表)。

株あたり外観品質別収量は、2区とも慣行区より健全果収量が優れた(第27図)。

試験 3 日射量の増加に伴った側枝の伸長方法と、これらに着果した果実が収量・品質に及ぼす影響 (2016)

日射量の増加に伴って、通常取り除く側枝を伸長させ、主枝と同様に収穫を行うと、株あたり収量は、徐々に高まった。ただし、1果重は慣行区が重く、果数は側枝増加区で多かった (第 48 表)。

果実の外観品質割合は、側枝増加区で健全果割合がやや優れた (第 49 表)。

株あたり外観品質別収量は、側枝増加区で健全果収量が多く、空どう、その他、非販果が少なかった (第 28 図)。

試験 4 草勢の異なる台木の利用、地温の違いが収量、品質に及ぼす影響 (2017)

草勢が異なる台木 3 品種と地温 3 水準を組み合わせ、地温 18°C 目標区は、18~20°C を維持し、15°C 区は、施設内気温と同等温度を維持した。しかし、無加温区は、14°C 以下に低下した (第 29 図)。

茎径は、草勢が強い Maxifort 区、TTM-079 区で地温の差に大きな影響はなかったが、草勢が中程度のブロック区は、地温の差によって大きな差がみられ、特に無加温では大きく低下した (第 30 図)。

株あたり収量は、茎径が安定して優れた Maxifort 区、TTM-079 区で優れた。標準台木のブロック区は、地温の低下により収量が低下した (第 50 表)。

1果重は、Maxifort の全区、TTM-079 の全区、ブロック 18°C 区で 200g 以上であったが、ブロック 15°C、ブロック無処理は小さかった。糖度は、Maxifort 区、TTM-079 区で概ね 4.0 程度、ブロック区で 4.5 程度であった。

果実の外観品質割合は、Maxifort の全区、TTM-079 の全区、ブロック 18°C 区でほぼ同程度であったが、ブロック 15°C 区、ブロック無処理区で、空どう果割合が少なく、健全果割合が増加した (第 51 表)。

ブロック無処理区 (慣行) が 10kg 程度であるが、他品種は 2 割以上収量が高かった (第 31 図)。

試験 5 給液濃度の違いが収量、品質に及ぼす影響 (2018)

給液濃度を高めた栽培により、草勢が維持されるかどうか検討した。2倍濃度区は、9月下旬以降 2.5dS・m⁻² で給液したが、10月中旬以降の排液が 3.0 dS・m⁻² 程度と高く推移した。慣行区は 1.5 dS・m⁻² で給液し、排液は 1.0 dS・m⁻² 程度であった (第 32 図)。

茎径は、2倍濃度区でわずかに太かったが、大差はなく 14mm 程度で維持した (第 33 図)。

月別の 1果重は、慣行区で優れ、糖度も安定した。2倍濃度区は、2月以降 1果重が小さく、糖度が高くなった。そのため、収量は、慣行区よりも下回った (第 34 図)。株あたり収量は、慣行区で多く、2倍濃度区は少なかった。2倍濃度区は、果数は増加したが、1果重が低下し、糖度が上昇した (第 52 表)。

今回、草勢が中程度の台木:ブロックを用いたが、草勢の強い台木を用いれば、収量の改善が示唆された。

試験 6 花こう折れ対策が果実肥大に及ぼす影響 (2018)

フレキシブルアーチ装着区は、糖度は慣行と同程度であったが、1花房重が重かった (第 53 表)。花こう折れの発生割合は、装着区で大きく減り、花こうの太さは、慣行よりもやや太かった。作業性は、1個装着するのに 6.64 秒、10a の施設で 1花房ずつ装着すると、6.64 秒×2,400 株と仮定すると 4.42 時間である。

また、装着区の花房は、慣行区で折れない花房と同程度の 1果重、糖度であった (第 35, 第 36 図)。

試験 7 摘葉程度が果実黄変果に及ぼす影響 (2018)

黄変果は果実カリウム濃度が少ない可能性があり、摘葉作業の違いによる、黄変果の発生程度を見極めるため、この試験を行ったが、摘葉程度と収穫果実の様子は第 37 図、第 38 図のとおりである。黄変果の発生程度は、弱摘葉区で低く、強摘葉区で高かった (第 39 図)。

おもに発生する障害果 (黄変果・裂果・尻腐れ果) の割合は、弱摘葉区で黄変果が少なかったが、反面尻腐れ果が多かった。裂果については、各区とも同等の割合であった (第 40 図)。

1果重は、強摘葉区で優れたが、糖度は劣った。ただし、酸度はやや低かったため、糖酸比はやや高まった (第 55 表)。

果実への K の移行を調べるため、乾物果実中のカチオン濃度を調査した。弱摘葉区で K 濃度が高く、強摘葉区で Ca 濃度が高かった。このため、K/Ca 比では、弱摘葉区で高く、強摘葉区で低かった (第 41 図)。

各部位の温度を第 56 表に示した。果実温は、午前・午後とも強摘葉区が施設温度よりも高く、弱摘葉区は、室温と同様の温度で推移した。

試験 8 カリウム葉面散布が果実黄変果に及ぼす影響 (2018)

黄変果の発生低減化を目的に、硫酸カリウムの葉面散布の効果を検討したが、黄変果の発生程度割合は、いずれの葉面散布区とも慣行区より甚大程度が少なく、黄変果

程度がやや低下したものの、処理間に大きな差はなく、効果もわずかであった（第 42 図，第 43 図）。

3. 栽培モデルの実証

環境制御と草姿管理の組合せ：1 年次（2017）

これまでの研究結果をもとに、10 a あたり収量 50 t（株あたり 20.1kg）を目指した実証栽培を 2 カ年行った。1 年次の全期間収量は、参考区が 34 t（株あたり 13.7kg）であったのに対し、有効な環境を組み合わせた実証区は、44 t（株あたり 17.7kg）で、参考区の 1.29 倍の収量を得た（第 44 図）。

収穫 4 週毎の期間別でみると、収量は、2 月収穫頃まで実証区でやや優れる程度であったが、3 月以降は大きく優れるようになった（第 44 図）。これは、果数が 2 月までは両区とも同等であったが、3 月以降は実証区で優れたことが大きい（第 45 図）。しかし、安定的に 50 t を越えるには、春先の草勢維持が必要である。また、収穫初期の花こう折れや、5 月以降に黄変果が多くなるので、これらの対策も重要である。

環境制御と草姿管理の組合せ：2 年次（2018）

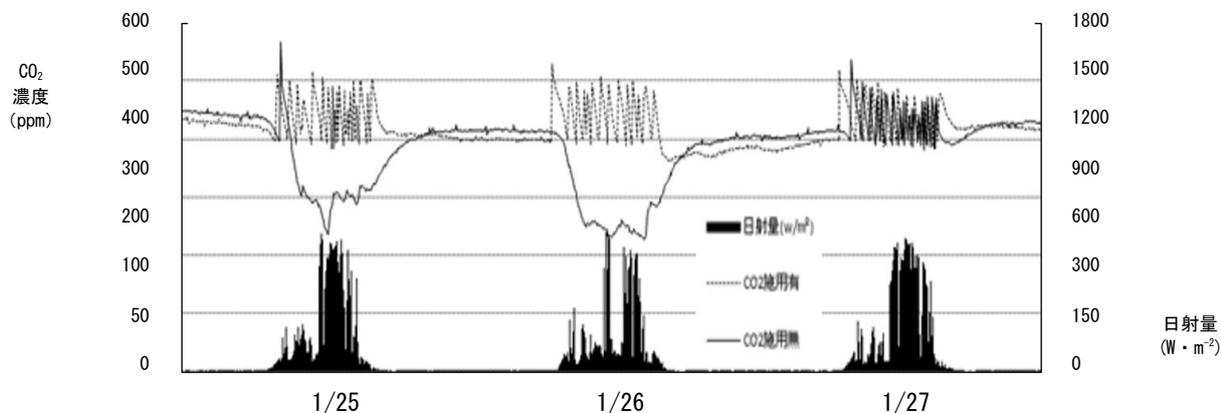
2 年次の全期間収量は、参考区が 38 t（株あたり 14.0kg）で、1 年次の参考区（34 t）と大差なかったが、実証区が 54 t（株あたり 21.6kg）で、1 年次の実証区（44 t）を大きく上回った。これは、参考区の 1.54 倍の収量であった（第 46 図）。

収穫 4 週毎の期間別でみると、収量は、常時実証区でやや優れ、特に 4 月以降の収量が大きく優れた。

これは、実証区の 1 果重が、3 月以降上昇し、果数も大きく優れたためである（第 47 図）。

なお、実証 2 年間の栽培中の施設内気象について、CO₂ 濃度は、2 年間とも 10 月～4 月まで日平均で 400～450ppm を維持した。施設内の日平均温度は、実証 1 年目の 12 月～2 月で 14～15℃としたが、2 年目では 16℃以上維持し、4 月以降は同等であった。積算日射量は、定植から収穫前までは 2 年間に相違が多かったが、11 月以降から収穫終了時までは大きな差がなかった（第 48 図）。

(試験 1)



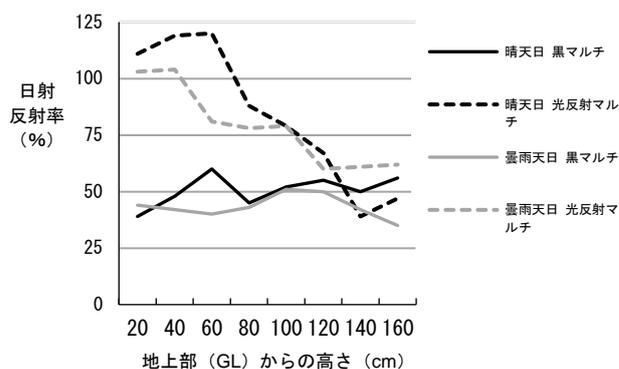
第 4 図 CO₂ 施用の有無と日射量 (1/27 は 2 施設とも CO₂ 施用を行った)



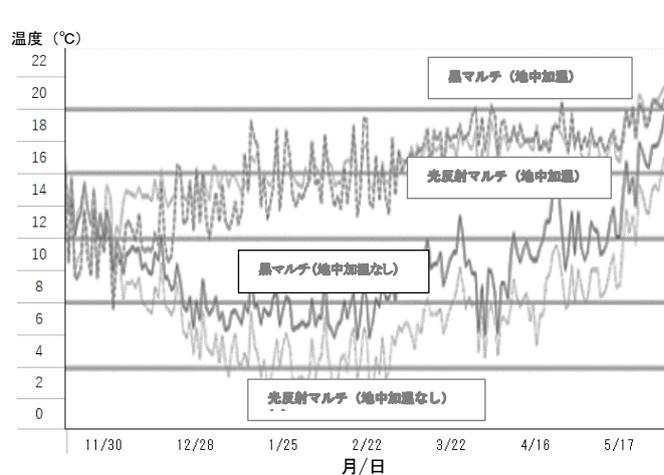
第 5 図 光反射マルチ



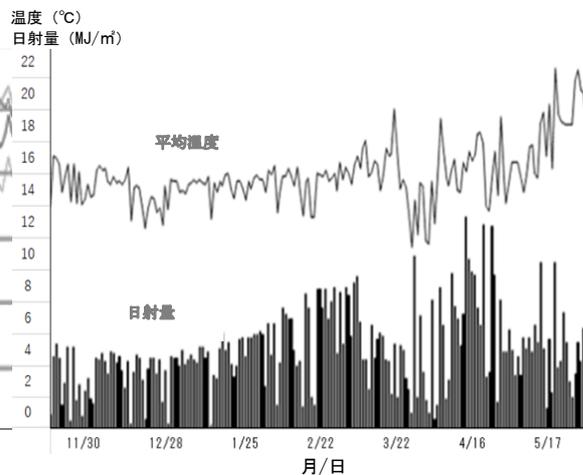
第 6 図 黒マルチ



第 7 図 マルチの日射反射率



第 8 図 施設内地温の推移 (地表から 15cm)



第 9 図 施設内の日平均気温および日積算日射量の推移

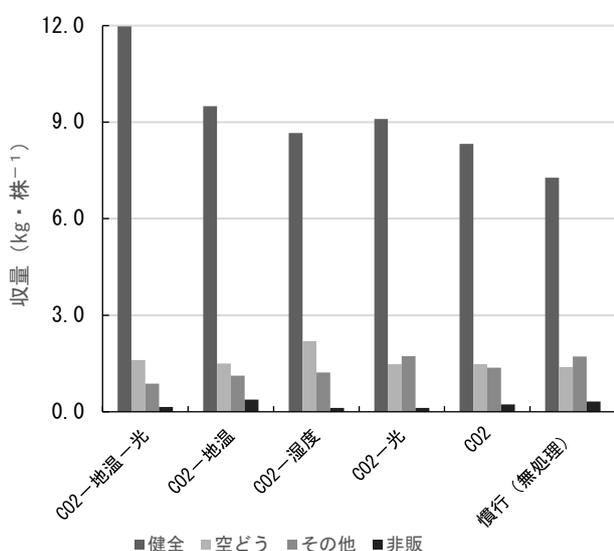
第22表 収量, 1果重, 果数, 糖度

処理区	株あたり 収量(kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
CO ₂ -地温-光	14.6	171	86	5.9
CO ₂ -地温	12.5	151	83	5.6
CO ₂ -湿度	12.2	154	79	5.5
CO ₂ -光	12.3	153	80	6.1
CO ₂	11.4	138	83	5.7
慣行(無処理)	10.7	126	85	5.7

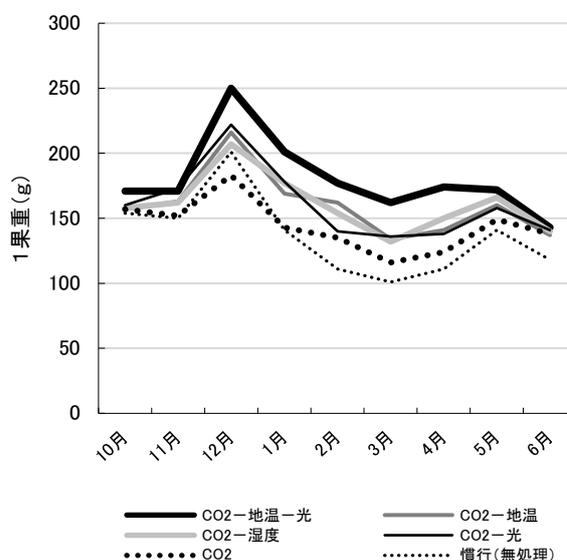
第23表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販売
CO ₂ -地温-光	82	11	6	1
CO ₂ -地温	76	12	9	3
CO ₂ -湿度	71	18	10	1
CO ₂ -光	74	12	14	1
CO ₂	73	13	12	2
慣行(無処理)	68	13	16	3

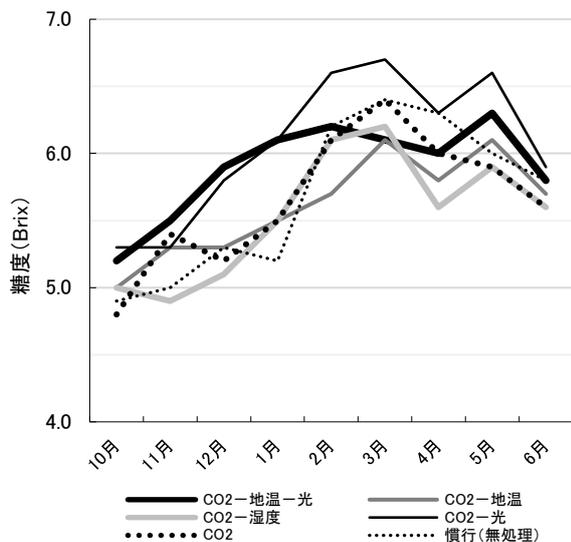
図7 外観品質別の収量(kg・株⁻¹)



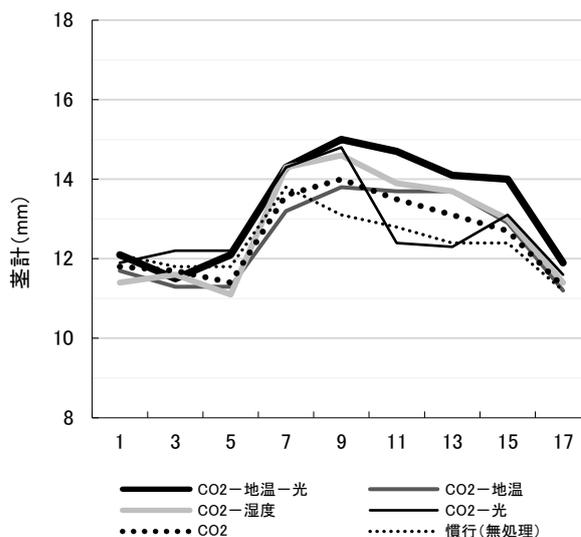
第10図 株あたり外観品質別の収量(kg)



第11図 月別1果重(g)の推移



第12図 月別糖度(Brix)の推移



第13図 各花房下の茎径(mm)

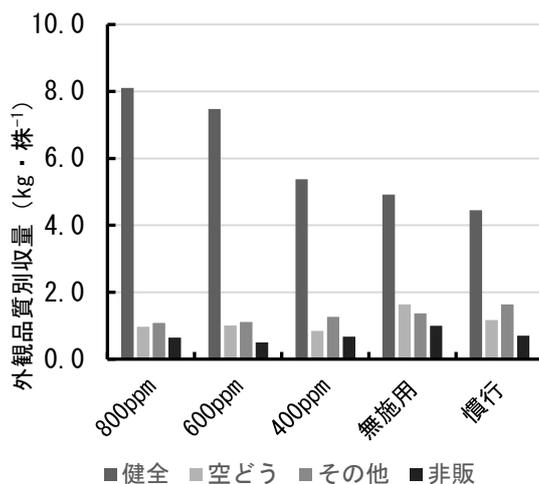
(試験 2)

第 24 表 収量，1 果重，果数，糖度

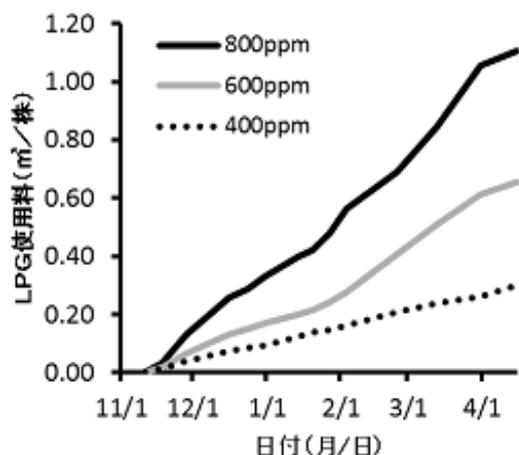
処理区	株あたり 収量 (kg)	1 果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
CO ₂ -800ppm	10.8	155	73	6.0
CO ₂ -600ppm	10.1	153	70	6.0
CO ₂ -400ppm	8.4	140	67	6.4
CO ₂ -無施用	9.1	147	70	6.1
慣行 (黒マルチ)	7.8	133	63	5.8

第 25 表 果実の外観品質割合 (%)

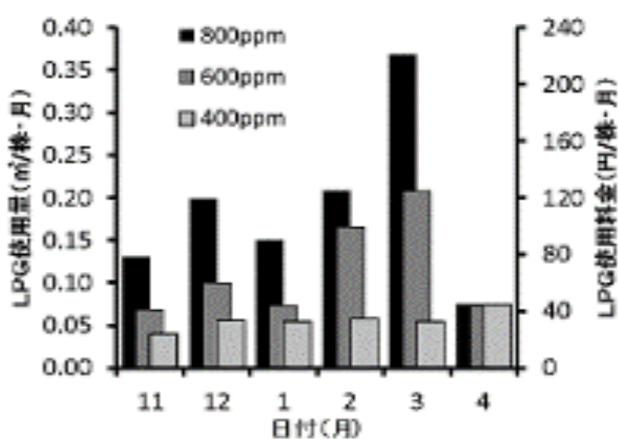
処理区	健全	空どう	その他	非販果
CO ₂ -800ppm	75	9	10	6
CO ₂ -600ppm	74	10	11	5
CO ₂ -400ppm	64	10	15	8
CO ₂ -無施用	54	18	15	11
慣行 (黒マルチ)	57	15	21	9



第 14 図 株あたり外観品質別収量



第 15 図 LPG 使用量の推移



第 16 図 LPG 月別使用量，料金

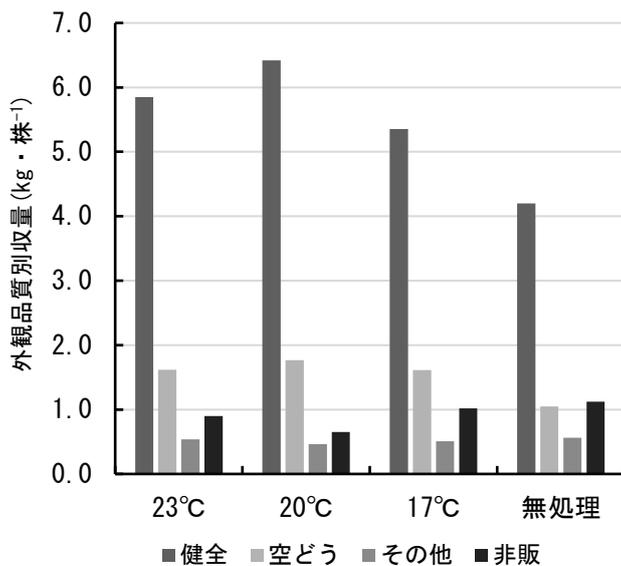
(試験 3)

第 26 表 収量，1 果重，果数，糖度

処理区	株あたり 収量 (kg)	1 果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
地温 23°C	9.0	135	67	5.6
地温 20°C	9.3	144	65	5.6
地温 17°C	8.5	128	66	6.1
無処理	7.0	119	59	6.6

第 27 表 果実の外観品質割合 (%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
地温 23°C	65	18	16	0
地温 20°C	69	19	12	0
地温 17°C	63	19	18	0
無処理	60	15	23	0



第17図 株あたり外観品質別収量

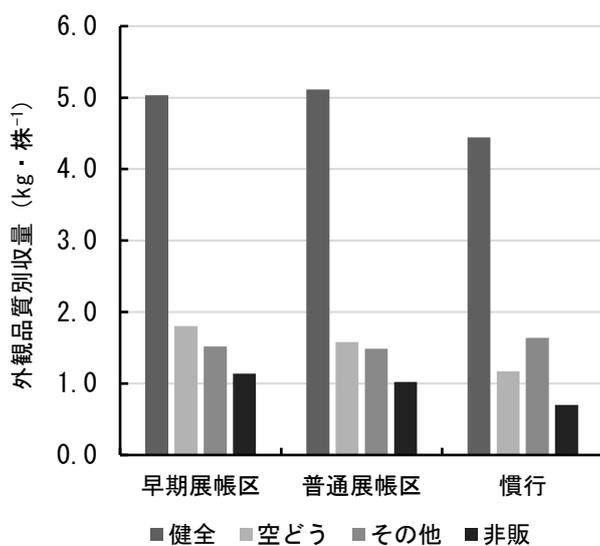
(試験4)

第28表 収量, 1果重, 果数, 糖度

処理区	株あたり 収量(kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
早期展帳区	9.5	149	71	6.0
普通展帳区	9.3	151	68	6.0
慣行	7.8	133	63	5.8

第29表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
早期展帳区	53	19	16	12
普通展帳区	55	17	16	11
慣行	57	15	21	9



第18図 株あたり外観品質別収量 (kg・株⁻¹)

(試験5)

第30表 使用したLEDの補光能力

光量子束密度 (PPFD, μmolm^{-2})	
LEDあり ^{注)}	49.7±9.5
LEDなし	3.7±3.3

注) 測定は，下位葉の高さで，概ねLED光源から50cmの距離で，センサーを下向きで測定した。使用LEDは，東芝ライトバー7000lmタイプ。



第19図 LED補光の有無(左・右)，マルチの種類(手前・奥)

第31表 収量，1果重，果数，糖度

処理区	株あたり 収量(kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
LED+光反射	9.6	159	65	5.5
LED	9.2	151	66	5.2
光反射マルチ	8.6	145	64	5.3
慣行(黒マルチ)	7.7	136	62	5.0

第32表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
LED+光反射	68	19	6	6
LED	64	23	5	7
光反射マルチ	62	24	6	8
慣行(黒マルチ)	49	33	6	12

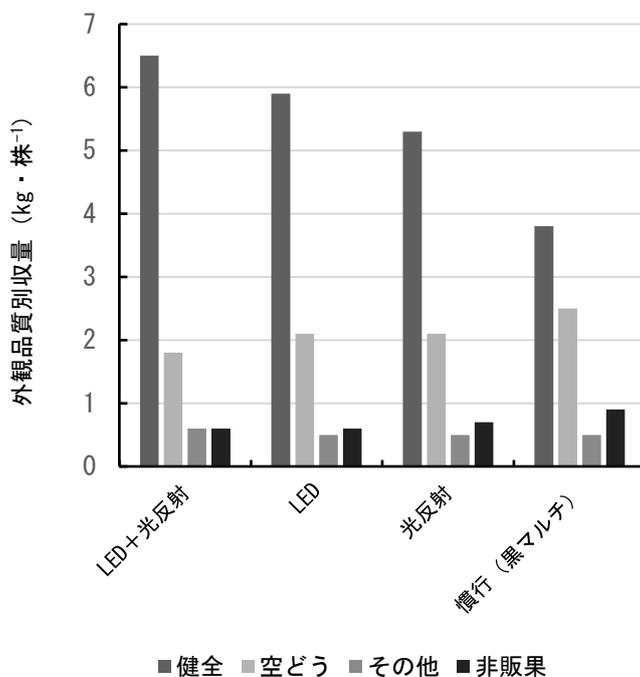


図20 株あたり外観品質別収量(kg)

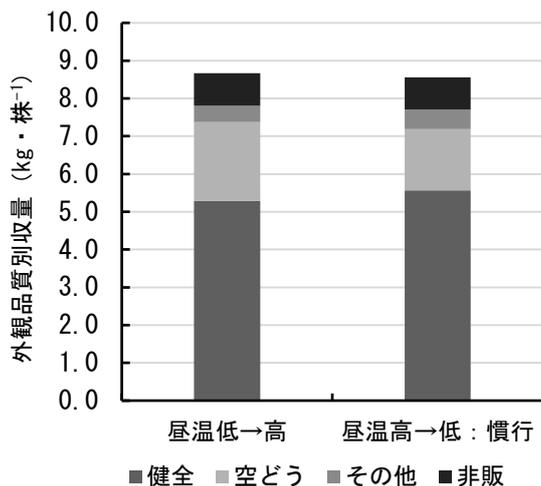
(試験6)

第33表 収量, 1果重, 果数, 糖度

処理区	株あたり 収量(kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
低→高	8.7	135	64	5.4
高→低(慣行)	8.6	135	63	5.8

第34表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
低→高	61	24	5	10
高→低(慣行)	65	19	6	10



第21図 株あたり外観品質別収量

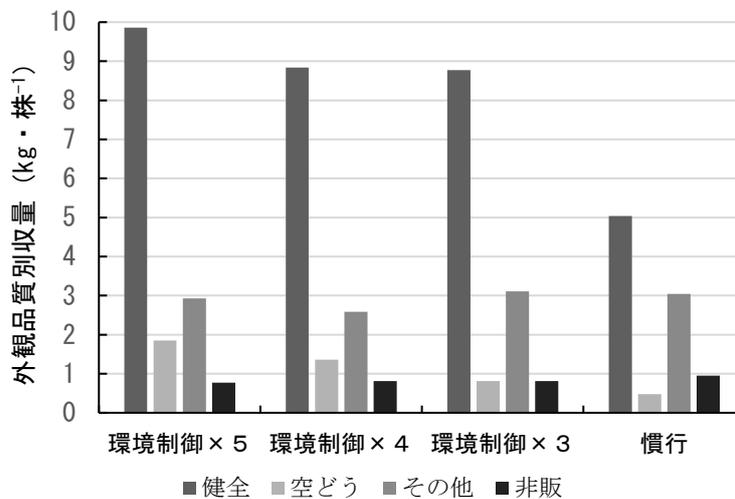
(試験7)

第35表 収量, 1果重, 果数, 糖度

処理区	株あたり 収量(kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
環境制御×5	15.4	162	95	5.2
環境制御×4	13.6	147	93	5.6
環境制御×3	13.5	152	89	5.5
慣行	9.5	114	83	6.0

第36表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
環境制御×5	40	36	13	6
環境制御×4	41	34	13	6
環境制御×3	46	25	14	10
慣行	37	21	13	22

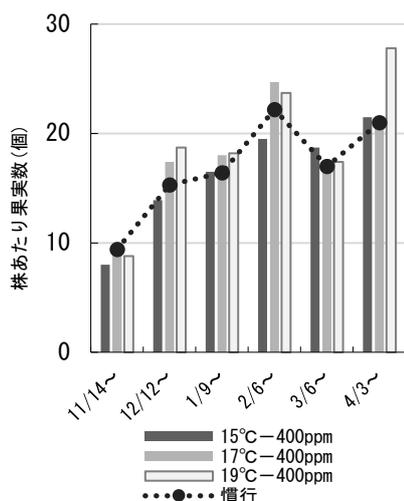


第22図 株あたり外観品質別収量

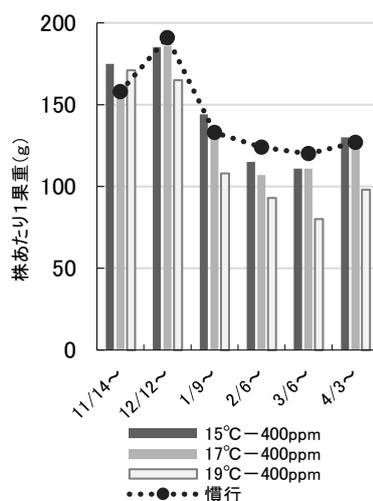
(試験8)

第37表 収量，1果重，果数，糖度

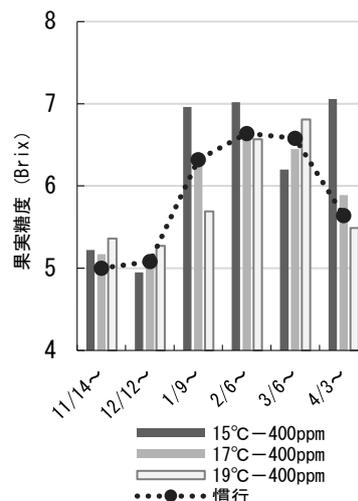
処理区	株あたり収量	1果重	果数	糖度
日平均温度-CO2	(kg)	(g)	(個)	(Brix)
15℃-有	12.0	123	98	6.2
17℃-有	13.0	119	109	5.9
19℃-有	11.4	99	115	5.9
慣行-無	12.6	124	101	5.9



第23図 時期別果実数の推移



第24図 時期別1果重の推移



第25図 時期別糖度の推移

第38表 各花房開花日，収穫日の推移

処理区	開花日 (月/日)					収穫日 (月/日)				
	1	5	9	13	17	1	5	9	13	17
15℃-有	9/15	10/31	12/27	3/03	-	11/18	1/04	3/26	-	-
17℃-有	9/15	11/01	12/26	2/18	4/04	11/19	12/29	3/17	4/25	-
19℃-有	9/16	11/03	12/25	2/16	4/05	11/14	12/26	3/13	4/24	-
慣行-無	9/15	11/03	1/04	3/04	-	11/19	1/03	3/28	-	-

第39表 各花房成熟日数の推移

処理区	成熟日数(日)				
	1	5	9	13	平均
15℃-有	64	95	89	-	86.3
17℃-有	65	83	81	66	76.3
19℃-有	59	82	78	67	73.4
慣行-無	65	90	83	-	81.5

第40表 各花房下茎径の推移

処理区	各花房下茎径(mm)					
	1	5	9	13	17	平均
15℃-有	11.3	13.8	10.3	10.8	-	11.6
17℃-有	11.1	13.8	13.4	11.8	9.8	11.5
19℃-有	10.8	13.4	10.2	9.5	9.2	10.8
慣行-無	11.3	14.0	11.3	11.9	-	12.2

(試験9)

第41表 収量, 1果重, 果数, 糖度

処理区	株あたり 収量 (kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
飽差管理(3-6)	14.0	210	66.9	4.54
慣行	14.0	198	70.8	4.30

第42表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
飽差管理(3-6)	80.6	6.4	6.8	6.1
慣行	76.2	8.6	7.9	5.9

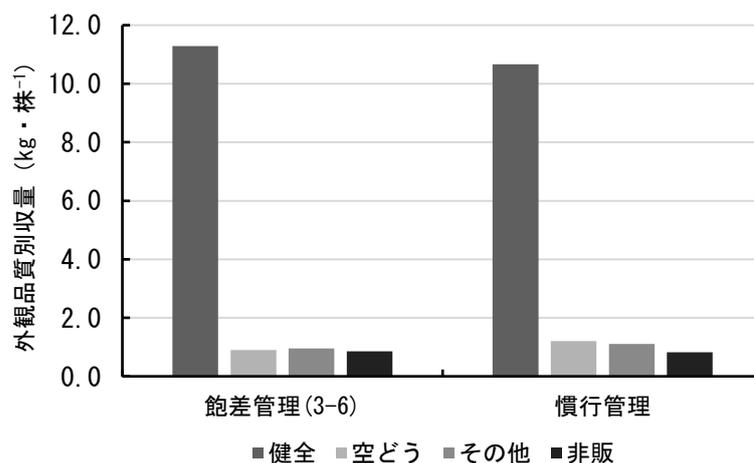


図26 株あたり外観品質別収量 (kg)

2 生産性の高い新しい草姿法の開発

(試験1-1)

第43表 摘葉の部位, 強さによる冬季収量, 1果重, 果数 (2014)

処理区	株あたり収量 (kg)	1果重 (g)	果数 (個)
下部強摘葉区	3.83	119	32.2
全体強摘葉区	3.91	122	32.0
全体弱摘葉区	4.10	121	34.0
下部弱摘葉区: 慣行	4.09	121	33.8

(試験1-2)

第44表 主径基部の側枝葉を残した場合の初期収量, 1果重, 果数 (2014)

処理区	株あたり収量 (kg)	1果重 (g)	果数 (個)
主径基部側枝あり	0.92	121	7.6
慣行	0.92	112	8.3

(試験1-3)

第45表 寡日照期 (光量が少なく日長が短い) の未展開葉の摘葉が収量, 1果重, 果数に及ぼす影響 (2016)

処理区	株あたり収量 (kg)	1果重 (g)	果数 (個)
未展開葉1葉除去	11.8	155	76.2
慣行	11.6	149	78.0

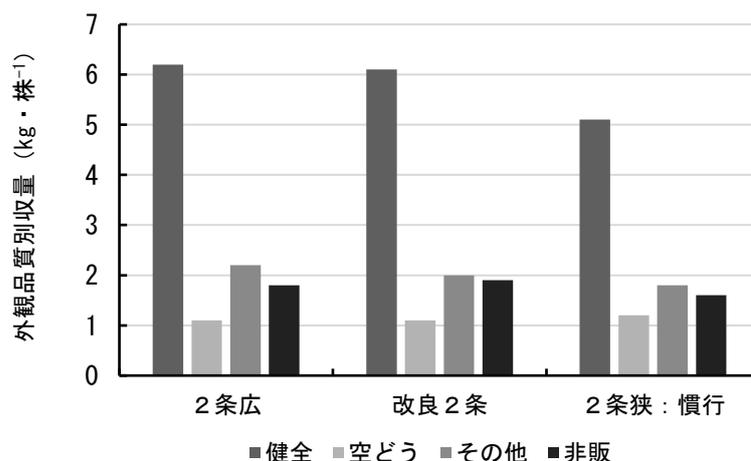
(試験2)

第46表 収量，1果重，果数，糖度

処理区	株あたり 収量(kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
2条広	11.4	158	72.1	4.99
改良2条	11.1	154	72.2	5.06
2条狭：慣行	9.9	141	70.3	4.95

第47表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
2条広	54	10	19	16
改良2条	55	10	18	17
2条狭：慣行	52	12	18	16



第27図 株あたり外観品質別収量

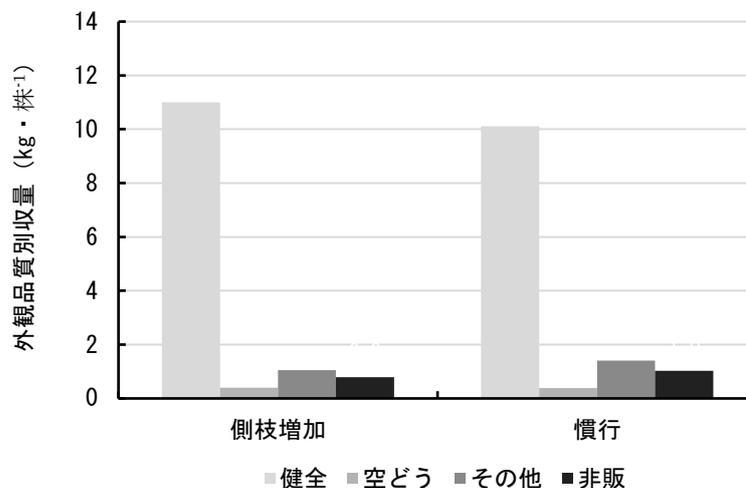
(試験3)

第48表 収量，1果重，果数，糖度

処理区	株あたり 収量(kg)	1果重 (g)	果数 (個)
側枝増加	13.1	150	87.4
慣行	12.8	174	73.5

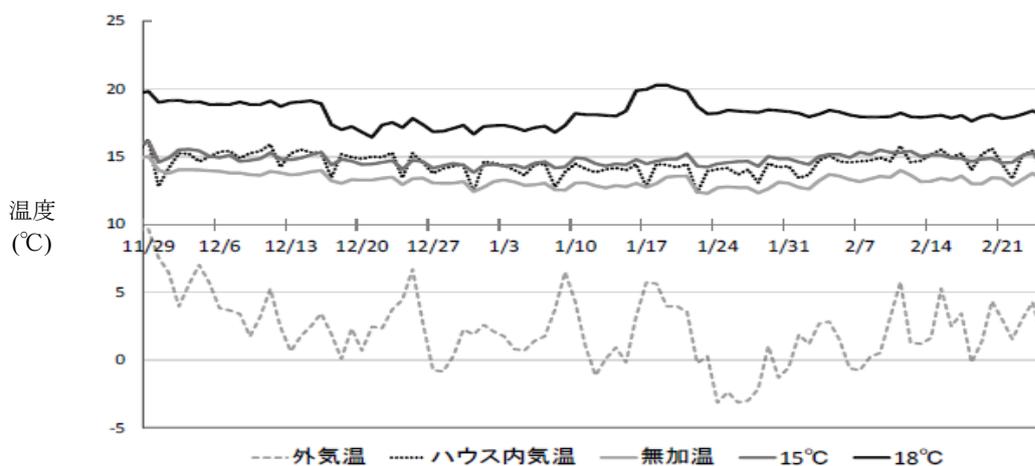
第49表 果実の外観品質割合(%)

処理区	健全	空どう	その他	非販果
側枝増加	84	3	8	6
慣行	79	3	11	8



第28図 株あたり外観品質別収量

(試験4)



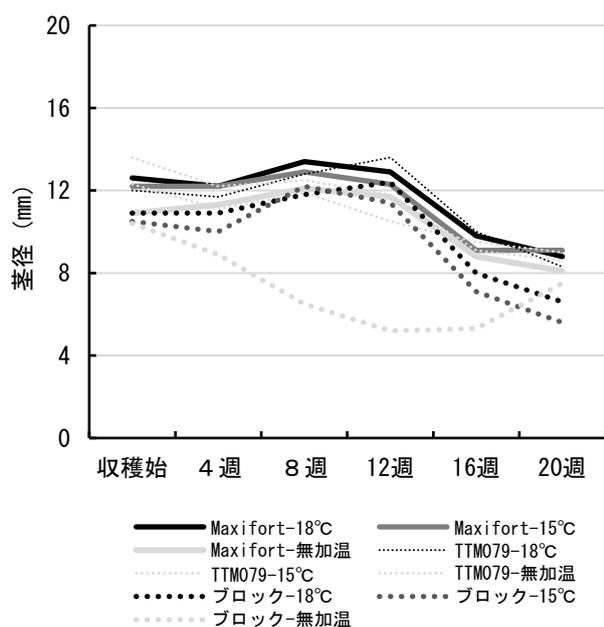
第29図 外気温、ハウス内気温、各処理区の地温の推移

第50表 収量, 1果重, 果数, 糖度

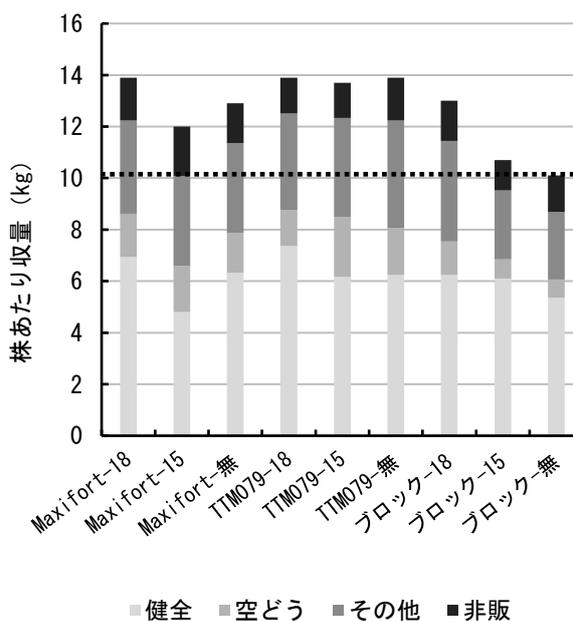
処理区	株あたり	1果重	果数	糖度	
台木品種	地温	収量(kg)	(g)	(個)	(Brix)
Maxifort	18°C	13.9	226	61.7	4.03
	15°C	12.0	217	55.1	3.88
	無処理	12.9	223	57.8	4.25
TTM-079	18°C	13.9	210	66.1	4.23
	15°C	13.7	223	61.4	4.10
	無処理	13.9	214	60.2	4.02
ブロック	18°C	13.0	221	58.8	4.45
	15°C	10.7	188	57.1	4.55
	無処理	10.1	174	58.3	4.98

第51表 果実の外観品質割合 (%)

処理区	健全	空どう	その他	非販売	
台木品種	地温				
Maxifort	18°C	50	12	26	12
	15°C	40	15	29	16
	無処理	49	12	27	12
TTM-079	18°C	53	10	27	10
	15°C	45	17	28	10
	無処理	45	13	30	12
ブロック	18°C	48	10	30	12
	15°C	57	7	25	11
	無処理	53	7	26	14

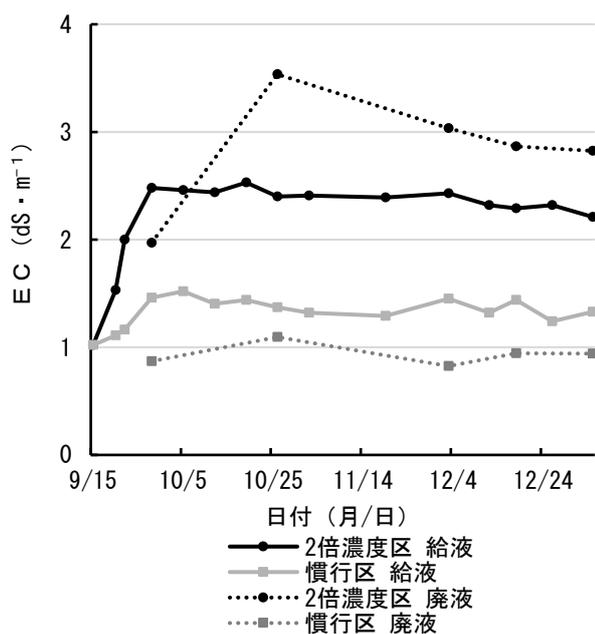


第30図 収穫花房下の茎径 (mm)

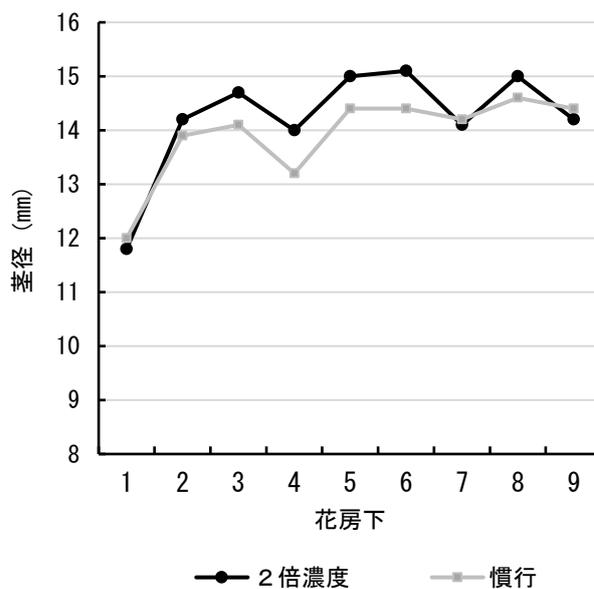


第31図 株あたり外観品質別収量 (kg)

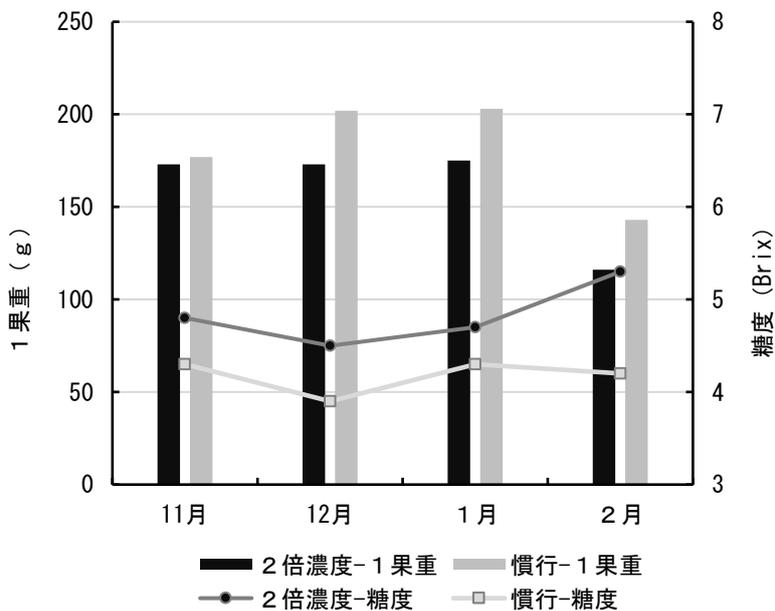
(試験5)



第 32 図 給液・排液のEC濃度の推移



第 33 図 各花房下の茎径の推移



第 34 図 1果重，糖度の月別推移

第 52 表 収量，1果重，果数，糖度

処理区	株あたり収量 (kg)	1果重 (g)	果数 (個)	糖度 (Brix)
2倍濃度	6.06	159	38.1	4.8
慣行	6.61	181	36.5	4.2

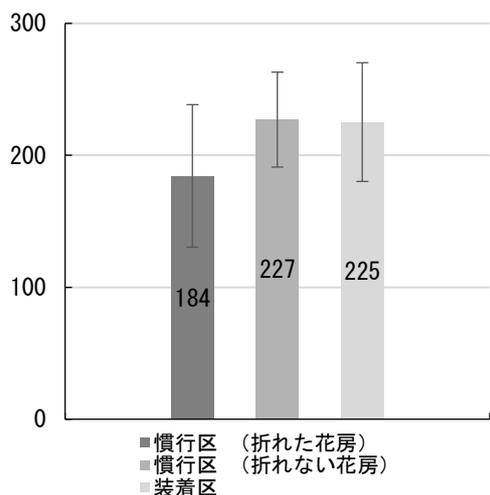
(試験6)

第53表 収量, 1果重, 果数, 糖度

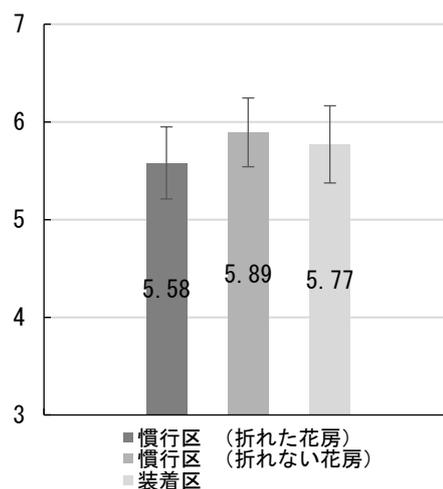
処理区	1花房重	1果重	果数	糖度
	(g)	(g)		
フレキシブルアーチ栽培	784	163	4.8	5.77
慣行	670	167	4.0	5.78

第54表 花こう折れの発生割合, 太さ, 作業性

処理区	発生数/調査数 (割合%)	花こうの太さ (mm)		作業性 (秒/個)
		主茎近	花房近	
		フレキシブルアーチ栽培	1/16 (6)	
慣行	10/27 (37)	6.58	6.17	-



第35図 慣行区 (折れた花房, 折れない花房)、装着区が1果重に及ぼす影響



第36図 慣行区 (折れた花房, 折れない花房)、装着区が糖度に及ぼす影響

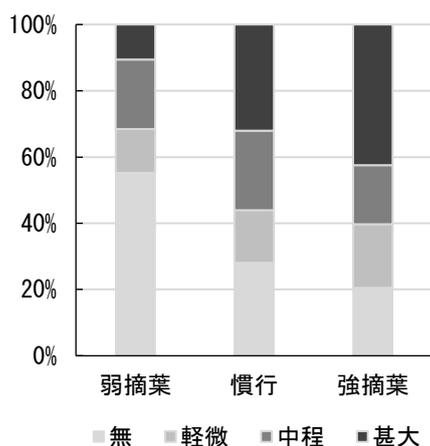
(試験7)



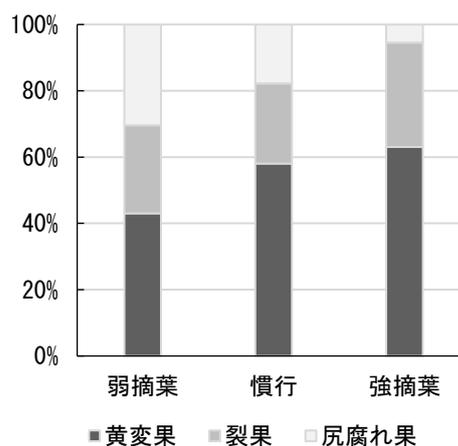
第37図 摘葉程度 (強摘葉, 慣行, 弱摘葉の順)



第38図 収穫果実 (強摘葉, 慣行, 弱摘葉の順)



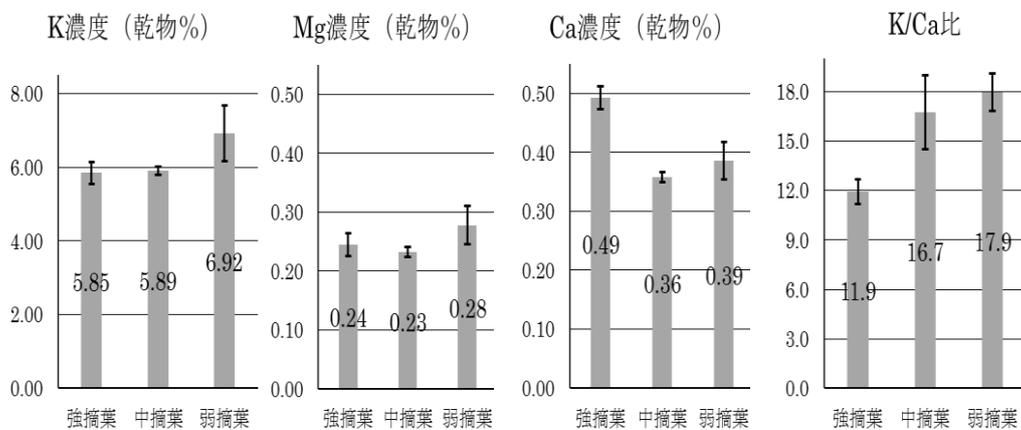
第 39 図 黄変果の発生程度



第 40 図 障害果の割合

第 55 表 1 果重，糖度，酸度，糖酸比

処理区	1 果重 (g)	糖度 (Brix)	酸度 (%)	糖酸比 (Brix/%)
強摘葉	181	4.65	0.57	8.16
慣行 (中摘葉)	167	4.95	0.62	7.98
弱摘葉	161	5.05	0.67	7.53

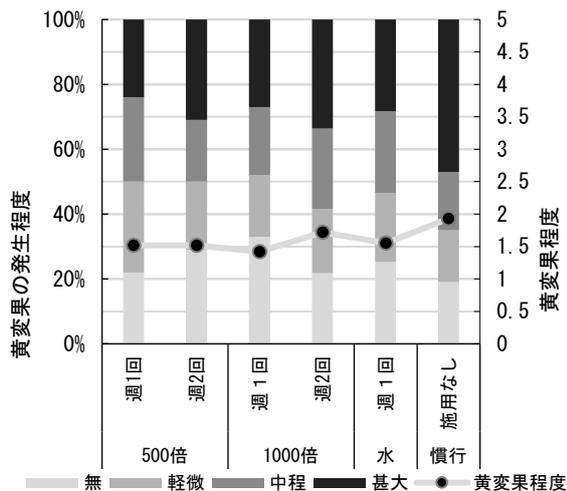


第 41 図 果実中の K 濃度, Mg 濃度, Ca 濃度, K/Ca 比

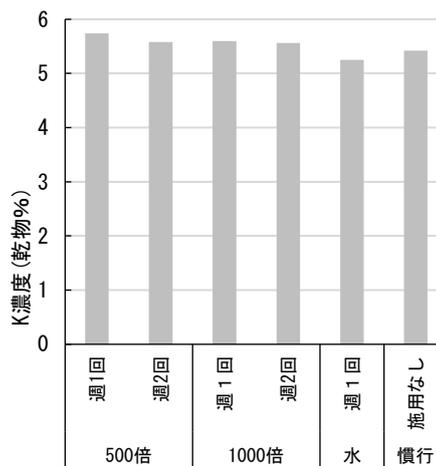
第 56 表 処理期間中の果実の温度，葉の温度，ハウス内温度

各部位の温度 (°C)		時刻		
		9:30	10:00	13:00
果実温 (表面)	強摘葉区	25.6	26.5	30.4
	慣行区	21.7	20.9	28.2
	弱摘葉区	20.7	19.6	27.7
葉温 (上下の中位葉)		21.4	24.7	26.2
ハウス内気温	換気温度	(20.0)	(20→23)	(23.0)
	実際の気温	21.1	21.7	27.2

(試験8)



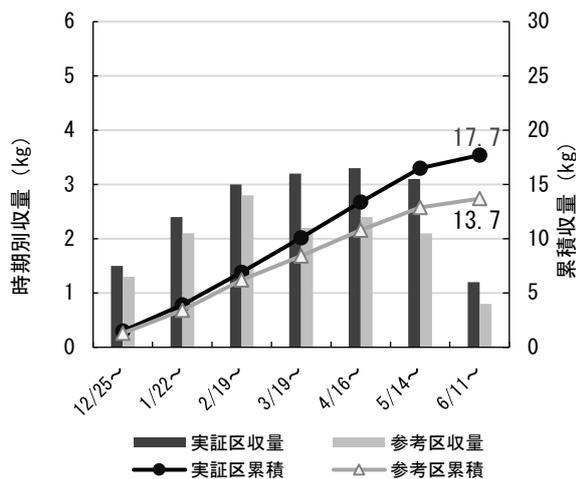
第42図 黄変果の発生程度割合
(黄変果程度：無0～甚大3で算出)



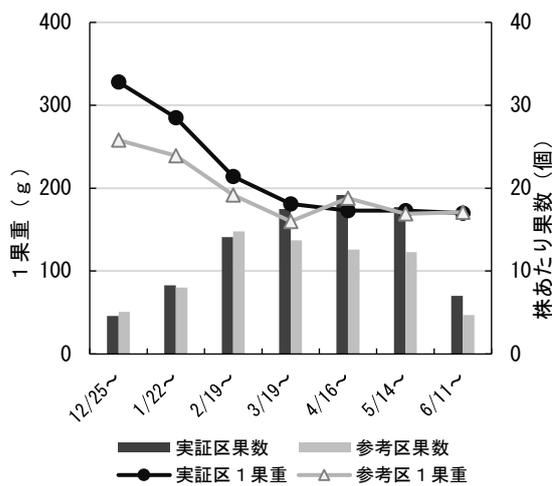
第43図 果実中のK濃度

3. 栽培モデルの実証

1年次

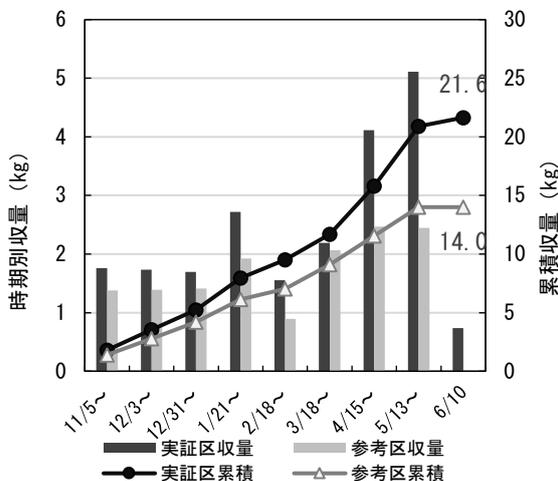


第44図 株あたりの期間別収量と累積収量の推移

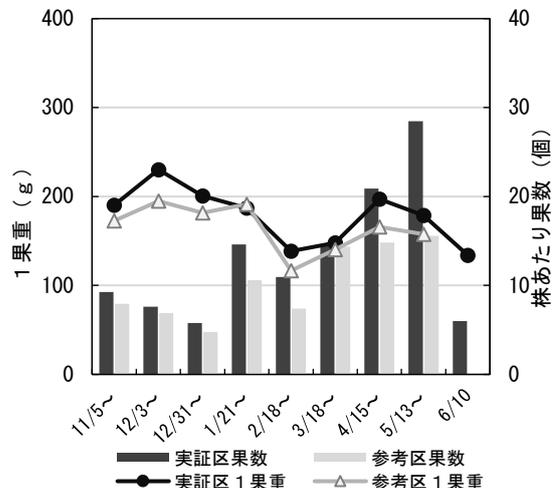


第45図 1果重, 株あたり果数の推移

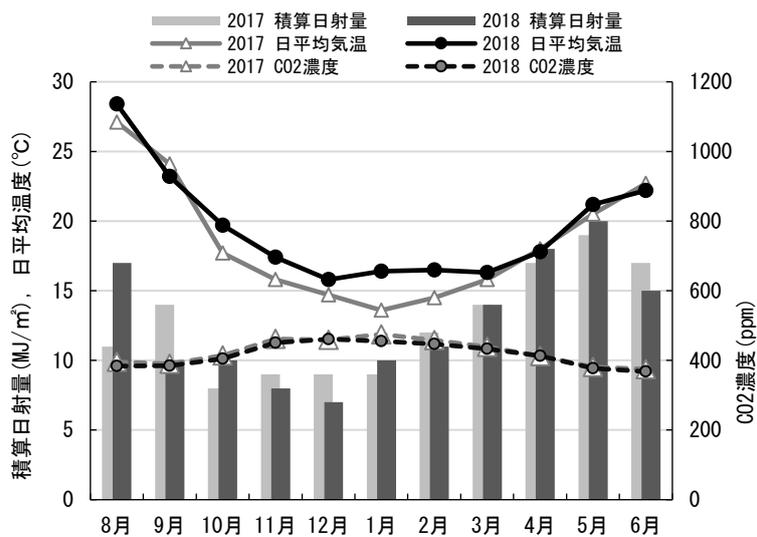
2年次



第46図 株あたりの期間別収量と累積収量の推移



第47図 1果重, 株あたり果数の推移

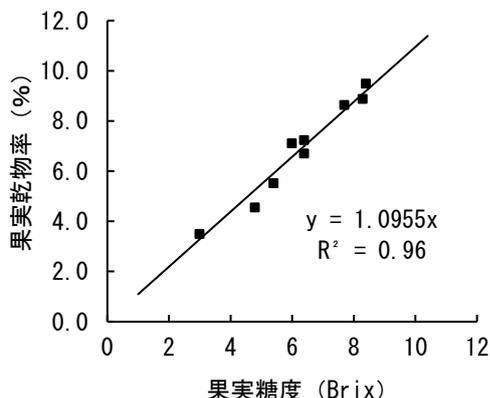


第 48 図 実証栽培 2 年間に於ける施設内気象の推移

V 考察

まず、トマト生産性の考え方を述べる。基本的に、トマトの収量は、1作あたり1果重×果数で決定される。しかし、トマトは水分量によって果実糖度が大きく異なり、土壌水分と果実糖度には負の相関が認められる(栃木・川里, 1989)。このことから、圃場や栽培年次の違いによって、収量だけでトマトの生産性を考えていくことが課題となる。糖度が大きく異なるトマトを供試し、果実の乾物率と糖度の関係を調査した結果、第49図のとおり、果実の乾物率は、糖度との相関が非常に高い。

このことから、収量比較だけでなく、「収量×糖度」を「生産力」という形で表現すれば、光合成産物の生産力を示すことが可能と考えられたため、対照となる慣行区や参考区を100%に、収量だけでなく生産力という表現で、第57表～第59表にこれまでの結果を示し、考察する。



第49図 トマト果実の乾物率と糖度の関係

第57表 生産性の高い新しい環境制御法の開発

試験番号	処理No	収量(果数×1果重)			生産力(収量×糖度)		
		収量	1果重	果数	生産力	収量	糖度
1	1	136	136	101	122	136	90
	2	117	120	98	116	117	99
	3	114	122	94	112	114	98
	4	115	121	95	123	115	107
	5	107	109	98	106	107	99
	6	100	100	100	100	100	100
2	1	138	117	116	142	138	103
	2	129	115	111	133	129	103
	3	108	105	108	119	108	110
	4	117	110	111	123	117	105
	5	100	100	100	100	100	100
3	1	128	113	113	109	128	85
	2	132	121	110	111	132	84
	3	121	108	112	113	121	93
	4	100	100	100	100	100	100
4	1	122	112	113	126	122	103
	2	119	113	108	123	119	103
	3	100	100	100	100	100	100

5	1	123	117	106	137	123	111
	2	119	111	107	125	119	105
	3	111	107	104	119	111	107
	4	100	100	100	100	100	100
6	1	101	100	101	93	101	92
	2	100	100	100	100	100	100
7	1	162	142	144	143	162	88
	2	143	129	112	133	143	93
	3	142	133	107	131	142	92
	4	100	100	100	100	100	100
8	1	98	100	96	104	98	106
	2	103	96	107	104	103	101
	3	91	80	113	90	91	99
	4	100	100	100	100	100	100
9	1	100	106	95	105	100	105
	2	100	100	100	100	100	100

第58表 生産性の高い新しい草姿法の開発

試験番号	処理No	収量(果数×1果重)			生産力(収量×糖度)		
		収量	1果重	果数	生産力	収量	糖度
1-1	1	94	98	95	91	94	97
	2	96	101	95	—	96	—
	3	100	100	101	—	100	—
	4	100	100	100	100	100	100
1-2	1	100	108	92	—	100	—
	2	100	100	100	—	100	—
1-3	1	102	104	98	—	102	—
	2	100	100	100	—	100	—
2	1	115	112	103	113	115	98
	2	112	109	103	111	112	99
	3	100	100	100	100	100	100
3	1	102	86	119	—	102	—
	2	100	100	100	100	100	100
4	1	138	130	106	110	138	80
	2	119	125	95	93	119	78
	3	127	128	99	107	127	84
	4	138	121	113	116	138	84
	5	136	128	105	112	136	82
	6	138	123	103	110	138	80
	7	129	127	101	114	129	88
	8	106	108	98	95	106	90
	9	100	100	100	100	100	100
5	1	92	88	104	106	92	115
	2	100	100	100	100	100	100
6	1	117	98	120	117	117	100
	2	100	100	100	100	100	100
7	1	—	108	—	102	108	94
	2	—	96	—	98	96	102
	3	—	100	—	100	100	100
8	1	—	—	—	—	—	106
	2	—	—	—	—	—	110
	3	—	—	—	—	—	108
	4	—	—	—	—	—	102
	5	—	—	—	—	—	110
	6	—	—	—	—	—	100

第 59 表 栽培モデルの実証

年次	区名	収量(果数×1果重)			生産力(収量×糖度)		
		収量	1果重	果数	生産力	収量	糖度
1	実証区	127	121	105	123	127	97
	参考区	100	100	100	100	100	100
2	実証区	152	111	137	134	152	88
	参考区	100	100	100	100	100	100

(網掛け)：各試験の対照区・参考区を 100%で算出。

1 生産性の高い新しい環境制御法の開発

試験 1 では，環境制御の組合せを行い，収量・生産力の増加を試みたところ，慣行栽培に対し，収量 36%，生産力 23%の増加となった。促成長期どり栽培で，冬季の CO₂ 濃度を大気と同程度の 400ppm で確保した場合，地温 18℃程度確保，光反射マルチシートによりトマトの下部葉の受光量を従来よりも増加させると，光合成が円滑に行われ，1果重が増加し，収量が増加することを確認した。

試験 2 では，地温 18℃確保，光反射マルチシート利用により下部葉受光量確保の条件下で，CO₂濃度を変えてみたところ，慣行栽培に対し，CO₂濃度が高いほど，生産力(収量×糖度)が増加することを実証した。生産力を上げるためには，CO₂施用濃度を高めることが良いが，一方，施設外への無駄な CO₂放出は，環境面や燃料コスト面で無駄が多い。このため，既存の環境制御システムでは，大気と同程度の CO₂濃度 400ppm で栽培した方が良いと思われた。試験 3 以降は，CO₂施用濃度 400ppm で行った。

試験 3 では，CO₂施用 400ppm，光反射マルチシート利用条件下で，適切な地温を明らかとするため，3水準の地温で試験し，冬季の地温は，概ね 18～20℃目標の設定が慣行栽培より 1果重，果実数ともに優れ，収量が増加した。しかし，糖度はやや低かったため，生産力は収量ほど高くなかった。トマトの生体情報調査(木野本ら，2010)では，地温維持により，根から地上部への水の供給が高まることを示しており，今回の収量と糖度の関係に一致する。

試験 4 では，CO₂施用なし，地温 18℃条件下で，光反射マルチシートの利用時期を変えてみたところ，いずれも慣行栽培より収量性が高く，生産性も良かった。しかしながら，展帳時期の違いによる差は，ほとんど認められなかったため，トマトの茎葉が繁茂し，光が弱くなる 10～11月までに実施すれば良い。

試験 5 では，トマト下部葉の受光量を高めるため，CO₂施用 400ppm，地温 18℃条件下で，光反射マルチシートと下部葉への家庭用 LED を下方から補光したところ，収量は，慣行栽培よりも光反射マルチシート単独利用で 11%，LED 単独利用で 19%，光反射マルチシート+LED の複合利

用で 23%の増加となった。生産性では，いずれの区も黒マルチ区より糖度が高く，優れた。

試験 6 では，昼温管理を従来の午前高温型から午後高温型に変えて試験したが，慣行栽培と収量に差がなかった。糖度はやや落ち，生産性としてはやや低下した。ただし，一般的には収穫初期の 11月までは果実の結露による裂果が多い。果実結露を弱めるために，午前をやや低めとし午後も高めとすれば，裂果の減少によって非販果を少なくできることが示唆される。

試験 7 では，試験 1～6 の結果から，新しい環境制御の複合化によって，収量は慣行の 62%増，生産力で 43%増まで可能となった。

試験 8 では，1作でみると，日中の日平均温度が高いほど，収穫果数が増加するが，1果重が減少し，糖度が下がった。時期別でみると，まだ収量が少ない低段の花房(年内収穫の約 4～5 段目までの花房)では，果実の生育期の日射が多いため日中の日平均温度を 19℃以上に高め，日射が少ない 11～1月までは，日中の日平均温度を最低 15℃程度(約 12～13 段目までの花房の開花まで)，徐々に日射の増加に合わせて日中の日平均温度を高めていくと，草勢が安定し，果実数，1果重，糖度が安定した生産が可能と示唆された。

試験 9 では，CO₂400ppm，地温 18℃，光反射マルチ，冬季から春季の日中の日平均を 15～17℃で組み合わせる条件下で，飽差 3～6gm⁻³を目標に管理を行うと，1果重の増加，糖度の増加がみられた。ただし，果数がやや減少したため，収量は変わらなかったが，糖度がやや高かったため，生産性はやや向上したと推察する。

栃木県内のトマト土耕栽培において，南部地域では冬季の晴天が多く，日中の施設内温度維持が可能で，地下水温は約 16℃で地温も確保しやすい，一方，中部や北部では，午後の曇天が多く，夜間も低温となり，地下水温は中部で 14～15℃，北部で 13～14℃となり，施設内の地温も低下する。これにより，トマトは北部地域で草勢弱く，収量も低い結果となっている。

一方，栃木県内のトマト養液栽培は，冬季の培地温を 18～20℃を目標に，コスト面から実際の夜間を 16～18℃程度とする農家が多い。土耕栽培と養液栽培が混在している芳賀地域では，土耕栽培と養液栽培の地温差によって大きな収量差が見られる。

現地では，光反射マルチの利用で，地域間に収量に大きな差が見られた。南部地域では収量は増加したが，県中北地域では増加しない事例もみられる。むしろ，高糖度で小玉化する場合もある。光反射マルチを行う場合，必ず地温を確認し，地温確保の対策も併せて行う必要がある。養液

栽培により培地温が 15°C と 18°C の導管流速を調査 (木野本ら, 2007) では, 晴天日, 曇雨天日とも 18°C が 15°C よりも 2 倍程度の導管流速となっていることを明らかにしている. また, 冬季の低温期における根域の局所的な加温が, 根の生育促進が起り, 出液速度の増加や, 養分吸収と地上部への移動が促進され, 地上部の生育促進と果実収量の増加の有効性を確認しており (河崎ら, 2016), 本課題の考えと一致する.

また, ハイワイヤー整枝栽培では, 草勢が最大となった頃の下葉の受光量はトマト株先端よりも 60%以下に低下し, さらに密植栽培では株あたり収量・品質が低下することを明らかで, 下葉の受光量増加が, 収量や品質の鍵となっている (羽石ら, 2005).

葉の光合成速度は, 葉の位置により変化し, 下位葉が低く, 下位葉の光合成能力の維持が必要であると報告している (吉田ら, 2008).

光反射マルチシートを用い, 太陽光を反射させる方法, 家庭用 LED で補光を行えば, 比較的安価に光合成を促進し, 増収できることが明らかとなったが, 防水性や耐久性など農業用でも使えるような工夫が必要である.

施設内の CO₂ について, 低温期の日中は CO₂ 未施用の場合, CO₂ 飢餓状態となることを指摘し, CO₂ 施用により収量が増加することを報告している (伊東, 1970). 一方, 統合環境制御下での温室環境と収量の推移では, 冬季は施設内が CO₂ 濃度 800~900ppm を維持できる日が多かったが, 高温期になると 400ppm 以下となっていることを報告している (安場ら, 2011). また, チャンバー内の CO₂ 濃度が 800ppm 以上では葉の光合成速度の上昇は停止し, 葉内 CO₂ 濃度が 600ppm で光合成速度の上昇は停止することを明らかにしている (吉田ら, 2008). 現在の農家施設では, 天窓閉鎖時 (密閉時) は CO₂ 施用: 600~800ppm 以上でも良いが, CO₂ 制御は単独での利用が多いので, 現在は外気 CO₂ 同程度の 400ppm で, 今後, 制御装置が高度化し, 更に生産性を高めたい場合, 600~800ppm 程度が良い.

温度管理, 湿度 (飽差) 管理についても, 複合環境制御に組み入れ, ミストと午後高温により, 増収が図られた. 冬季は午前後半から午後前半にかけて室温が上がり, 外気との入れ替えにより湿度は低下する. 相対湿度 Rh が 40~80% で気孔コンダクタンスが最大となり, 光合成速度も上昇することを報告しており (吉田ら, 2008), 今回の湿度 (飽差) 管理と収量の増加の関係に一致する. また, 葉温と施設内温度の関係は概ね一致し, CO₂ 濃度が 400ppm 程度は, 室温 20~25°C で光合成速度が最大となることを報告している (木野本ら, 2012).

今回, 新しい環境制御法を組み合わせることで, 慣行栽培より, 単純な収量増加でみると 1.62 倍, 果実糖度と収量を加味した生産性でみると 1.43 倍の増加が証明された. 現在, 栃木県中北部地域の最大収量は 25kgm⁻² 程度であり, 適切に環境制御を組み合わせれば, 40 kgm⁻² を越える収量が可能と思われる.

2 生産性の高い新しい草姿法の開発

試験 1 では, 摘葉・着葉について検討したが, 1) は摘葉の量と部位を組み合わせたが, いずれも強摘葉は, 収量が慣行栽培より 4~5% 減少し, 生産性は 9% 減少した. 強摘葉は, L 以上の大果が多いが, 反面 2S 以下や非販果も多く, 平均 1 果重は慣行栽培と同等であったが, 糖度はやや低下した. 弱光期の摘葉で株あたりのトマトのソース能力が低下し, 光合成量も低下する. 摘葉は, 密植状態等, 下位葉の光合成能力が落ちやすい場合だけ行うのが良い. 2) では, 主径基部の側枝を残し, 低段花房の収量増加を図ろうとした. 1 果重の増加はみられたが, 側枝の発育に光合成産物が使われたのか, 果実数はやや少なくなり, 低段の収量は慣行と差はなかった. 3) では, 未展開葉 1 葉除去を試みたが, 1 果重が 8% 上昇した. しかし, 1) と同様に, 果実数が減少したため, 収量は慣行栽培と同程度であった.

試験 2 では, 果数を増加されるため, 密植栽培条件での誘引配置を検討し, 株間・条間間を出来るだけ均等とすることが, 収量・生産力ともに 11~15% 増加した.

試験 3 では, 日射量の増加に伴い, 側枝を伸長させることにより, 果数は 19% 増加した. この試験では, 1 果重が 14% 低下したため, 収量は 2% 増加にとどまった. しかし, 1 果重を増やす工夫を組合せれば, 生産性の増加が期待される.

試験 4 では, 台木の違いによって収量・生産力がどのようになるか, 地温を 3 水準組み合わせで比較した. 強草勢台木は, 低温でも比較的安定したが, 草勢が中程度の台木は, 地温を確保することが必要である. 台木品種: ブロックで, 培地温 15°C, 18°C で導管流速が日中の晴天・雨天に関わらず, 18°C が 15°C の 2 倍程度高まることを示している (木野本ら, 2007). これまで, 強草勢台木を使いことは現地では一般的では無かったが, 中北部地域では強草勢台木を利用することも一つの方策と考えられた.

試験 5 では, 給液濃度を変えて試験したが, 台木: ブロックによる慣行栽培では, 排液 EC が上昇し, 生産性を高められなかった. しかし, 強草勢台木を用いて, 草勢を維持し, 排液 EC 値が極端に上がらない管理を行なうことにより, 増収が期待できる.

試験 6 では，収穫初期の 10～11 月に花こう折れが多発することから，フレキシブルアーチの生産性を評価した。1 花房重が低下せず，花こう折れが大きく低下し，栽培初期の生産性が 17% 増加した。

試験 7 では，摘葉程度による果実温度，果実のカリウム濃度，カリウム/カルシウムの濃度比を調査し，これらの吸収の差により，黄変果と尻腐れ果の発生や果実肥大に大きな影響があることを確認した。トマト黄変果部位のリコペン含量は低く，カリウム施用量の影響によって差が見られることを報告している（鈴木ら，2012）。

暖候期では，果実のリコピンは果実表面の高温だけでなく，摘葉程度によって果実周囲の葉から果実に移行しやすいカリウムイオンの移行が不足し，さらに移行しにくいカルシウムイオンとのバランスが崩れると，黄変果をさらに助長すると考えられる。

試験 8 では，試験 7 の対策として硫酸カリウムの葉面散布について試験した。硫酸カリウムを葉面散布すると慣行栽培よりも黄変果はやや減少したが，濃度や回数による効果は不明であった。この原因として，この試験では摘葉程度を慣行としたため，効果が判然としなかったと考えられ，葉面散布の効果を明らかにするためには，強摘葉状態での追試が必要である。

これらの試験結果を踏まえ，誘引配置の改良，日射量増加に伴い側枝を利用した収穫，強草勢台木を用いて適正地温とすることに，草姿管理の改良によって，慣行栽培に対し，最大で 1.6 倍まで増収できると推察された。

3 栽培モデルの実証

生産性の高い新しい環境制御法の開発で，慣行栽培よりも最大で 1.62 倍，生産性の高い新しい草姿管理法の開発で，慣行栽培よりも最大で 1.38 倍の収量が得られた。これらを組み合わせると安定的に増収が図られると考え，2017 年度，2018 年度の 2 カ年で，新しい環境制御法と新しい草姿法を組み合わせの実証試験を行った。

1 年次は，CO₂ 条件を同一として行い，株あたり累積収量は 17.7kg (44.0kg・m⁻²)，参考区の 1.29 倍であった。

2 年次は，CO₂ 条件，飽差条件を同一として行い，株あたり累積収量は 21.6kg (53.7kg・m⁻²)，参考区の 1.54 倍であった。また，2 年次の収量を m² あたりで示すと，実証区で 52.3kg，参考区で 34.4kg であり，目標とする 10a あたり 50 t を達成した。

FORECAST.ETS 関数により，2 年次のデータから促成長期どり 7 月上旬収穫までの収量予測では，実証区は m² あたり最大で 72kg・m⁻²，最小でも 52kg・m⁻² となった。

以上から，こうした新しい環境制御法，草姿管理法とこれらの複合栽培により，1 果重の増加，果数の増量・加速化により，本県の促成長期どり栽培の収量は，10 月下旬から 7 月上旬収穫で，最大 72 kgm⁻² まで増収が可能と思われる，さらに，コンパクトで草姿が良く，多収性の高い品種となり，作型を夏越しが可能な通年栽培が開発できれば，年間 100・kgm⁻² 以上の収量が期待できる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり，齋藤芳彦氏，湯田利夫氏，上野栄一氏，浅川利子氏，高野浩氏，鈴木和吉氏，高崎恭子氏並びに栃木県農業試験場野菜研究室のパート職員の皆様には，試験圃場の管理および調査において多大なるご尽力をいただきました。心からお礼を申し上げます。

引用文献

- 羽石重忠・石原良行 (2005) トマト促成栽培におけるハイワイヤー整枝法の特長。栃木農試研報 No55 : 15-26
- 東出忠桐 (2018) 施設トマトの収量増加を目的とした受光と物質生産の関係の利用。園学研 (Hort. Res (Japan)) 17 (2) : 133-146
- 河崎靖 (2016) トマトの周年安定生産を目的とした局所温度制御システムの開発に関する研究。農研機構研究報告野菜花き研究部門第 1 号 : 35-72 (2017)
- 木野本真沙江・大森雅子・吉田剛 (2007) トマトの生体情報と環境要因の解明 (1) トマトの生体情報と環境要因との関連性解明① トマトの適正な生体情報測定部位の解明。2008 年度栃木県農業試験場野菜試験成績書 : 103-110
- 木野本真沙江・吉田剛・松本佳浩 (2009) トマトの生体情報と環境要因との関連性解明 (1) トマトの生体情報と環境要因との関連性解明① 環境要因の違いが生体情報に及ぼす影響の解明。2010 年度栃木県農業試験場野菜試験成績書 : 101-105
- 木野本真沙江・根岸直人・菊地聡・吉田剛 (2010) トマトの生体情報と環境要因との関連性解明 (1) トマトの生体情報と環境要因との関連性解明① 環境要因の違いが生体情報に及ぼす影響の解明。2011 年度栃木県農業試験場野菜試験成績書 : 89-91
- 木野本真沙江・菊地聡・根岸直人・吉田剛 (2011) 高度環境制御によるトマトの生育に適する環境要因の解明 (1) 生体情報調査・解析によるトマト生育に適する環境要因の解明① CO₂ 施用が光合成速度に及ぼす影

響アCO₂濃度および温度が光合成速度に及ぼす影響.

2012年度栃木県農業試験場野菜試験成績書：13-14

岡田健二郎・鈴木克美・切岩祥和(2018) トマトの着色不良果の発生抑制のためのカリウム施用期間の検討.

園学研 17 別 1, '18 [野菜]: 193

SHP 関東地域農業研究・普及協議会(2010) 低段・多段組合せ栽培によるトマトの周年多収生産技術マニュアル

鈴木克美・佐々木秀和・永田雅靖(2013) トマト着色不良の発生要因と対策方法に関する研究. 野菜茶業研究所研究報告 12: 81-88

高田裕介・前島勇治・神山和則(農研機構 農業環境変動研究センター) 日本土壌インベントリー: 栃木県土壌情報の検索

玉越賢太郎・位田晴久(2015) 環境制御栽培の長期多段採りトマトにおける生育や収量及ぼす根量の影響. 植物環境工学 (J. SHITA) 28 (2): 104-112. 2016

栃木博美・川里宏(1989) トマトの促成栽培における土壌水分が果実品質に及ぼす影響. 栃木農試研報 No36: 15-24

安場健一郎・鈴木克美・佐々木秀和・東出忠桐・高市益之(2011) トマト長期多段栽培における多収のための統合環境制御下での温室環境と収量の推移. 野菜茶業研究所研究報告 10: 85-93

吉田剛・松本佳浩(2008) トマトの生体情報と環境要因の解明(1) トマトの生体情報と環境要因との関連性解明⑤ トマトの適正な生体情報測定部位の解明. 2009年度栃木県農業試験場野菜試験成績書: 85-88