

<<資 料>>

トマト土耕栽培における次世代技術の実証

小林昌永*・太田友代**・小林延子*・川内亜紀*・戸井田幸夫***・山口敦*

Empirical Research of Next-gen Technology in Soil Cultivation for Tomato

Masahisa KOBAYASHI, Tomoyo OTA, Nobuko KOBAYASHI, Aki KAWAUCHI
Yukio TOIDA and Atsushi YAMAGUCHI

施設園芸分野ではオランダ等が先進国として技術開発を進めている。日本でも、それらの先進技術や栽培理論を基に施設園芸の高度化が推進され、本県にも次世代施設園芸埼玉拠点が設置された。

一方、開発された技術等が理論上は増収につながるかとされているが、欧州と日本では栽培品種及び環境条件が大きく異なり、必要となる機器等の導入コストの点からも、費用対効果が不明なまま、生産者が導入できるとは言えない。さらに、本県は国内観測史上最高気温の記録(2018年41.1℃)を有する全国有数の夏季高温地域であり、施設園芸を行う上で困難な点や工夫を要する点も多い。

そこで、本研究では県内生産者が先進技術の導入を検討する際の参考に資するべく、トマトの土耕栽培において、炭酸ガス施用、細霧処理、LED補光が生育や収量等に与える影響を調査した。

材料および方法

2017年、当センター久喜試験場内(久喜市六万部91)の非農耕地に、軒高4m、誘引高3.4mの高軒高温室を建設、内部に加須市北川辺地区の水田土壌を30cm程度客土し、栽培温室とした。

全試験共通して、栽培品種はトマト大玉品種の

麗容(棚サカタのタネ)を穂木とし、バックアタック(棚サカタのタネ)を台木とした9cmポットの接ぎ木苗(本葉6枚程度)を定植した。

初年度のみ、2本仕立の苗を条間1.8m、株間0.4mで定植し、1条振分け(誘引幅0.6m、茎間0.4m)のつる下ろし栽培を行った(1,389株/10a)。2年目以降は、条間1.8m、株間0.2mで定植し、1条振分け(誘引幅0.6m、茎間0.4m)のつる下ろし栽培を行った(2,778株/10a)。

1果房当たりの着果数は4果とした。

養液土耕栽培を行ったため、基肥の施用は行わず、毎回の灌水と同時に施肥を行った。初年度のみ、土質改善を目的としてパーク堆肥(フトール1号、高崎化成(株))を3t/10a施用した。施肥は栽培ベッド中央深さ20cmにECセンサー(Hydra ProbeII, Stevens社)を埋設し、土壌のEC値が概ね1.0~1.2mS/cmを示すように管理した。

灌液は日射比例とAIを組み合わせたシステム(ZeRo.agri, (株)ルートレック・ネットワークス)によって、土壌水分センサー(ECセンサーに同じ)の測定値(体積含水率)を指標として行った。灌水の指標は灌水システムのメーカー推奨に準拠し、栽培開始前に48時間連続で灌水を行い、土壌水分を飽和状態とした後、灌水を停止、土壌水

*次世代技術実証普及担当, **元次世代技術実証・普及センター,

***元次世代技術実証・普及センター(現農業技術研究センター副所長)

分センサー値が大きく変動しなくなった時の値を目安として栽培状況に応じて上下させた。

環境条件の他、収量（収穫日、個数、重量）、品質（外観、Brix）、生育（葉数、草丈、葉面積、茎径（生長点から15cm下の茎の短径）、開花位置（生長点からの距離）、開花日を調査した。

草勢管理は、茎径が10~12mm、開花位置が10~15cmを適正範囲として適宜行った（吉田、2016）。

（2017年）

1 炭酸ガス施用効果の実証

2017年11月16日に定植を行い、摘心は概ね第16花房の直上6枚葉を残し、2018年6月19日から行った。2018年7月5日に最後の収穫を行い、栽培終了とした（促成栽培）。

トマト群落内中央130cm高に設置した多孔質チューブから炭酸ガスを施用した施用区と、施用しない対照区で比較を行った。炭酸ガスの施用は、日中（8:00~16:00）外気の炭酸ガス濃度（400ppm程度）を下回った場合に行う設定とした（ゼロ濃度差施用）。両試験区ともに、細霧処理を適宜行った。

2 LED補光効果の実証

上記炭酸ガス施用を行う圃場にて、ベッド中央高さ70cm及び165cmの2段にLED(LED inter lighting module, Philips社)を設置したLED区と、補光を行わない対照区で比較を行った。照射時間帯は、2017年1月25日から2018年4月30日の間、日出・日没時刻に合わせて変更した。

（2018年）

3 細霧処理効果の実証

2018年8月23日に定植を行い、摘心は概ね第26花房の直上9枚葉を残して、2019年6月14日から行った。2019年7月5日に最後の収穫を行い、栽培終了とした（長期栽培）。

細霧処理を定植後の活着促進、夏季の昇温抑制、冬春季の湿度維持を目的として行った細霧区と、細霧を処理しない対照区で比較を行った。細霧の処理条件は表のとおりである（表1）。両試験区ともに、炭酸ガスのゼロ濃度差施用を行った。

4 LED補光効果の実証(追試)

上記細霧処理を行った圃場にて、ベッド中央高さ90cm及び180cmの2段にLED補光装置を設置したLED区と、補光を行わない対照区で比較を行った。設置の高さは前年度の栽培状況を踏まえて変更した。照射時間帯は2018年10月10日から2019年4月30日の間、日出・日没時刻に合わせて変更した。

（2019年）

5 総合実証

2019年8月21日に定植を行い、摘心は概ね第22花房の直上9枚葉を残して2020年6月9日から行った。2020年7月6日に最後の収穫を行い、栽培終了とした（長期栽培）。

過去2作を踏まえ、炭酸ガス施用と細霧処理を行うTS区と、どちらも使用しない対照区で比較を行った。細霧の処理条件は表のとおりである（表2）。

結 果

1 炭酸ガス施用効果の実証

(1) 生育調査

葉数と草丈は、対照区と施用区の間で差は見られなかった。

茎径は4月以降、施用区が対照区と比較して大きく維持された（図1-1）。

開花位置は3月下旬まで施用区が対照区と比較して短くなった（図1-2）。

開花日は、栽培期間中一部の段位にて施用区と対照区の間で差が見られたが、最終的な収穫段位に差は見られなかった。

(2) 収穫調査

総収量は対照区28.6t/10aに対し、施用区は31.0t/10aとなり、8%の増収となった（表3）。

収穫果数にほとんど差は見られなかった。

平均果重は、対照区201.2gに対し、施用区216.2gとなり、7%優れた。

糖度には判然とした差は見られなかった。

可販果率は、処理による差が判然としなかったが、対照区では春先の乱形果や花落ち部が大きい果実の発生、施用区では6月以降の日焼け果や空

洞果の発生が目立った(図1-3).

2 LED 補光効果の実証

(1) 生育調査

葉数と草丈は、対照区と LED 区の間で差は見られなかった。

茎径は、初年度の促成栽培では 2 月上旬から 3 月下旬にかけて LED 区が対照区と比較して太く維持された(図 2-1)。2 年目の長期栽培ではほぼ全期間、LED 区で対照区より太く維持された(図 2-2)。

開花位置は各年度ともに照射開始 2~3 か月は LED 区が長く維持されたが、その後に差は見られなかった(図 2-3, 2-4)。

開花日に判然とした差は見られなかった(データ略)。

(2) 収穫調査

総収量は、初年度(2017 年度)の促成栽培は対照区の 31.0t/10a に対し、LED 区は 34.1t/10a となり、10%増収となった(表 4)。2 年目(2018 年度)の長期栽培では対照区の 40.2t/10a に対し、LED 区は 43.2t/10a となり、8%増収となった。

収穫果数と平均果重は、対照区と LED 区との間で差が見られなかった。

糖度は、初年度の促成栽培ではほとんど差が見られなかった。2 年目の長期栽培では 3 月中旬から 5 月下旬まで LED 区が対照区と比較して優れた(図 2-5)。

可販果率は、初年度の促成栽培では 5 月中旬から 6 月中旬、2 年目の長期栽培では 1 月中旬から 4 月中旬にかけて LED 区が対照区と比較して優れた(図 2-6, 2-7)。

3 細霧処理効果の実証

(1) 生育調査

葉数と草丈は、対照区と細霧区の間で差は見られなかった。

茎径は栽培期間中ほぼ全期間、細霧区が対照区と比較して太く維持された(図 3-1)。

開花位置は 2 月下旬から 4 月下旬まで細霧区が対照区と比較して長くなった(図 3-2)。

開花日に判然とした差は見られなかった。

(2) 収穫調査

総収量は対照区の 36.7t/10a に対し、細霧区は 40.2t/10a となり、9%の増収となった(表 5)。

収穫果数にほとんど差は見られなかった。

平均果重は対照区の 165.3g に対し、細霧区は 184.3g となり、12%優れた。

糖度は、1 月下旬から 5 月中旬にかけて対照区が細霧区より優れた(図 3-3)。

可販果率に判然とした差は見られなかった。両試験区ともに、11 月下旬から 12 月中旬にかけて空洞果が目立った(図 3-4)。

4 総合実証

(1) 生育調査

葉数と草丈は、対照区と TS 区の間で差は見られなかった。

茎径は概ね 11 月中旬から 4 月下旬まで、TS 区が対照区と比較して太く維持された(図 4-1)。

開花位置は概ね栽培中全期間で TS 区が対照区と比較して長かった(図 4-2)。

(2) 収穫調査

総収量は対照区 30.8t/10a に対し、TS 区は 35.1t/10a となり、14%の増収となった。

収穫果数及び平均果重は、やや TS 区が優れる傾向にあったが、判然とした差は見られなかった。

糖度に判然とした差は見られなかった。

可販果率に判然とした差は見られなかった。両試験区ともに第 5 果房から第 11 果房にかけて(12 月中下旬から 3 月中旬)、空洞果の発生が目立った(図 4-3)。

考 察

1 生育

本研究で利用した技術は、いずれもトマトの生育に適した栽培環境に近づけるためのものである。そのため、結果として草勢を旺盛にし、茎径が太く維持されたと考えられる。

一方、葉数や草丈など、温度への依存が大きい項目は今回の試験ではほとんど影響がなかった。細霧処理によって温度低下の効果が得られたため、萎れ・日焼け対策としての遮光カーテンの利用を控え、より多くの光をトマトに当てることができた。一方、遮光を控えたため、細霧処理による温

度低下効果は打ち消され、平均気温に差は生じず、葉数等に影響が出なかったと考えられた。

トマトは一般的に生育温度が高いと葉の展開速度が速くなるが、着果負担の増加などが影響し、茎径が細くなるなど草勢が衰える（東出，2018；井手ら，2007；渡邊ら，2014）。本研究では、導入した技術によって草勢維持の効果が見られたことから、通常よりも高い平均温度で収穫段位を増加させつつ、慣行栽培と同等の草勢を維持した栽培管理が可能になったと考えられた。

2 収量

収穫果数について、本試験では各果房当たり 4 果に制限して栽培を行ったため、ほとんど差が見られなかった。導入したほぼすべての技術について対照区と比較して生育が旺盛であったため、生育に対する着果負担が少なかったと考えられる。そのため、果房当たりの着果数を増やし、収量増につなげられる可能性が示唆された。

また、「生育への影響」で述べたように、慣行栽培と同程度の草勢を維持しながら、平均気温の上昇が可能であると考えられた。平均気温の上昇によって葉の展開速度を速めると、最終的な花（果）房数が増加し、収穫段数及び収量の増加につながる。本試験で検証を行った技術は平均気温の上昇と組み合わせることで、より効果的に収量増につなげられると推測される。対照的に、3 年目では 2 年目と比較して多くの期間で平均気温を低く設定して栽培を行ったため、最終的な収穫段数が少なくなり、収量が伸び悩んだと考えられた。

品質面では、実証技術を導入した区が、対照区と比較して糖度が高い時期が見られた。一般に、トマトの糖度は果実への水分供給を抑えることで上昇し、その分 1 果重は減少する（阿部ら，1994；伊藤・河合，1994）。本試験で見られた、導入区の糖度が対照区より高かった時期は、光合成能力の向上によって光合成産物（糖）が増えたものの水分供給が対照区と同程度であったため、対照区と比較して糖度が上昇したと考えられる。

逆説的に言えば、本試験で用いた技術を利用して更なる増収を目指す場合、灌水量の増加を併せて行うことが有効な手段と考えられる。

3 コスト

本試験で用いた装置は最高性能と言えるような機種ばかりであり、他の機種と比較して高価である。試験圃場が、3a の温室を 2 棟別々に管理する構造であることも影響し、機材費・工事費が割高である。

そのため、機器の減価償却費等が大きく影響し、どの導入技術についても対照区と比較して収入が減少した。技術の普及や進歩とともに、性能はそれなりで、価格を抑えた製品の開発が行われることを期待したい。

機器のコストを抑えるためには、自作の環境制御機器の利用等が手法として挙げられる。圃場や電気・通信環境にもよるが、例えば、当圃場に導入した、ポンベを利用した生ガスによる炭酸ガス施用機は 1 台 150 万円程度であったが、自作することによって 20～30 万円台から利用することが可能である。

4 労働力

本研究で導入した機器を利用することで、長期栽培においても十分に草勢を維持した状態で栽培を行うことが可能となり、収穫期間を慣行（促成栽培）と比較して 4 ヶ月程度拡大することができた。収量も県内生産者の平均が 20t 弱/10a と言われている中で、倍近くの収量が得られた。

一定以上の面積で栽培を行う場合、収量の増加及び栽培期間の延長に伴い雇用労力が多く必要となるが、長期作型にすることでほぼ周年の雇用が可能となる。毎週繰り返しの作業が多いため、継続した雇用によって被雇用者の技術が上達し、経営者は生育調査等を含む栽培管理に集中することができる。作業の効率化は、休暇の取りやすさなどにもつなげることができる。

5 導入の優先順位

経営状況を考慮する必要があるが、下記の順に導入するのが一般的と考えられる。

(1) 炭酸ガス施用

「コスト面」でも述べたように自作での導入が比較的容易かつ燃焼式の装置に関しては一般化が進んでおり、市販品の価格も比較的廉価である。施用方法に関する国内での知見も多く、導入に際

しての指導も受けやすく、優先順位は高い(熊崎ら, 2019; 高橋ら, 2012)。

(2) 温室の高軒高化

高軒高化することでトマトの誘引高を高くすることができる。誘引高が高くなると、株が地表を這う部分や葉の重なり合いが少なくなり、受光量が向上するため、確実に光合成量の増加、収量の増加につながる。本試験の3年目の栽培では、高軒高であること以外ほぼ慣行栽培と言える対照区であっても30t/10a以上の収量が得られた。

耐用年数が長いこと、後継者のいる経営体に向いている。また、循環扇や細霧発生装置などの機器を設置するスペースを確保することにもつながる。

(3) 細霧処理

遮光資材の利用頻度を減らして、受光量を増やすことができるため有用性が高い。

一方、風通しの悪い温室では温度低下の効果を得にくく、噴霧口に近い温室設備(誘引ワイヤー等)に霧が当たってできる水滴や、局所的な高湿度が、灰色かび病など病害の発生を助長するため注意が必要である。高軒高温室や風通しの良い温室への導入を推奨する。

(4) LED 補光

現状の装置の価格では収益増につなげることが非常に難しく、今回の試験で行った栽培条件では、経営が赤字になりかねない。

地理的な問題として、導入の進められている欧州は高緯度であるため日照が少なく、補光は有利に働き易いが、日本の太平洋側は冬季でも晴れることが多く、得られる恩恵が比較的少ない。

栽培面から言えば、適切な照射位置や照射時間をはじめとした基本的な知見に関して、国内の栽培品種や環境条件に基づいたものが少ない。国内品種は欧州品種よりも葉が大きく、着生形態も異なるため、誘引幅や設置間隔を検討する必要がある(Higashide T. et al, 2017; 中野ら, 2012)。実際に、当圃場でもLED補光装置との接触が原因と考えられる葉焼けが多発した(図5)。

物理的な要因も導入の障害となる。本試験で使用した製品を同様の栽培条件で使用する場合、長さ2m以上ある棒状の機器が444本/10a必要となる。養液栽培等であれば問題ないかもしれないが、

国内の多くのトマト生産を占める土耕栽培では耕耘や土壌消毒の必要があるため、栽培終了時の撤去や栽培開始時の再設置に係る作業が発生し、大きな手間がかかる。装置は高価な精密機器であり、乱雑は扱えないため、保管場所にも難儀することが予想される。柔軟性のあるロープタイプのLED装置は扱いやすいが、光量が少なく、有用性に疑問が残る商品もあるため、注意が必要である。

これらの理由から、現状では県内トマト生産者へのLED補光の導入・普及は非常に難しい。低価格・高光量・コンパクトな製品の開発や、国内品種に適した利用方法の知見が期待される。

小林ら：トマト土耕栽培における次世代技術の実証

表 1 細霧処理条件(2018～2019年)

期間	始	8月23日	8月29日	9月7日	9月12日	9月18日	2月13日
環境条件	項目	/	温度	温度	温度	温度	温度
	値		30℃以上	35℃以上	33℃以上	32℃以上	24℃以上
目的	定植後 活着促進		温度低下	温度低下	温度低下	温度低下	湿度保持

期間	始	2月20日	3月1日	3月6日	4月2日
環境条件	項目	温度	温度	温度	飽差
	値	23℃以上	21℃以上	22.5℃以上	6g/m ³ 以上
目的		湿度保持	湿度保持	湿度保持	湿度保持 温度低下

表 2 細霧処理条件 (2019～2020年)

期間	始	8月21日	8月22日	8月25日	8月26日	9月10日	11月16日	4月30日
環境条件	項目	/	飽差	飽差	温度・日射	飽差	飽差	飽差
	値		6g/m ³ 以上	6g/m ³ 以上	30℃,0.5kw	6g/m ³ 以上	6g/m ³ 以上	6g/m ³ 以上
目的	定植後 活着促進		温度低下	温度低下	温度低下	温度低下	湿度保持	湿度保持 温度低下

表 3 炭酸ガス施用に関する収量調査結果

	総収量 (t/10a)	収穫果数 (万個/10a)	可販果率 (%)	平均果重 (g/果)
対照区	28.6	14.2	80	201.2
炭酸ガス施用区	31.0	14.3	74	216.2

表 4 LED 補光に関する収量調査結果

年度		総収量 (t/10a)	収穫果数 (万個/10a)	可販果率 (%)	平均果重 (g/果)
2017	対照区	31.0	14.3	74	216.2
	LED区	34.1	14.9	82	229.4
2018 (追試)	対照区	40.2	21.7	74	184.3
	LED区	43.2	22.5	82	192.2

表 5 細霧処理に関する収量調査結果

	総収量 (t/10a)	収穫果数 (万個/10a)	可販果率 (%)	平均果重 (g/果)
対照区	36.7	22.2	77	165.3
細霧区	40.2	21.7	74	184.3

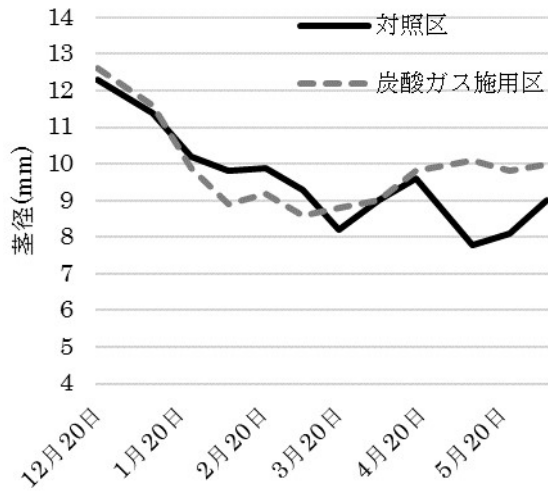


図 1-1 炭酸ガス施用区と対照区の茎径

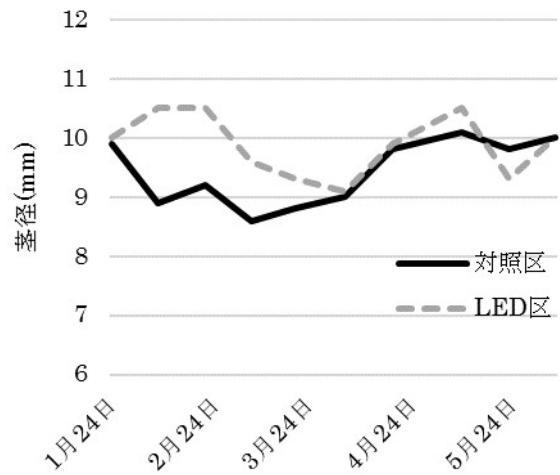


図 2-1 LED 区と対照区の茎径 (1年目)

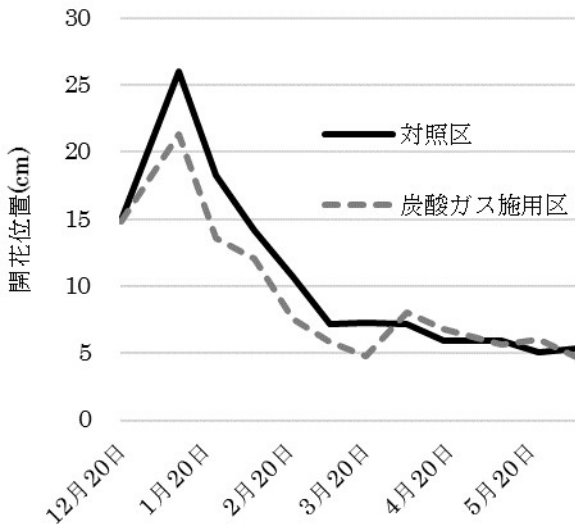


図 1-2 炭酸ガス施用区と対照区の開花位置

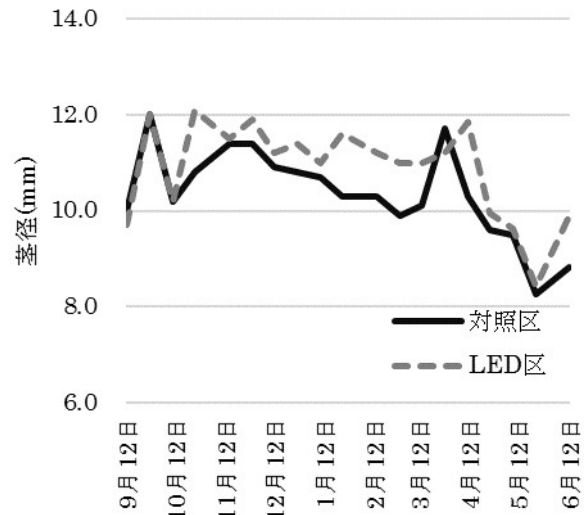


図 2-2 LED 区と対照区の茎径 (2年目)

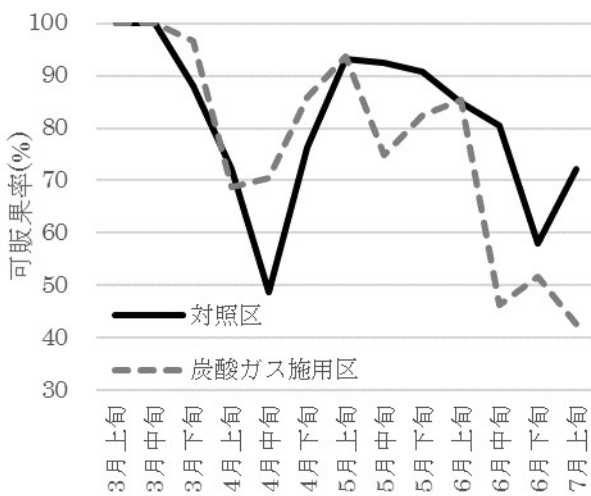


図 1-3 炭酸ガス施用区と対照区の可販果率

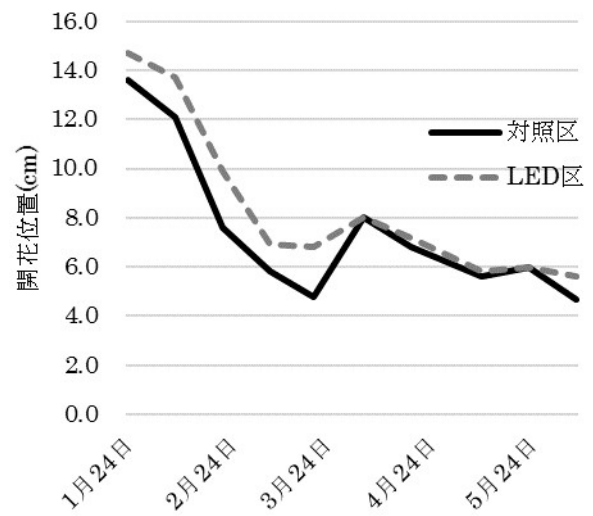


図 2-3 LED 区と対照区の開花位置 (1年目)

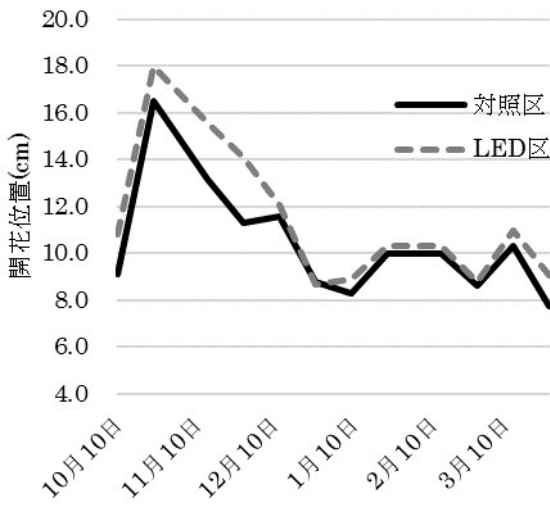


図 2-4 LED 区と対照区の開花位置 (2 年目)

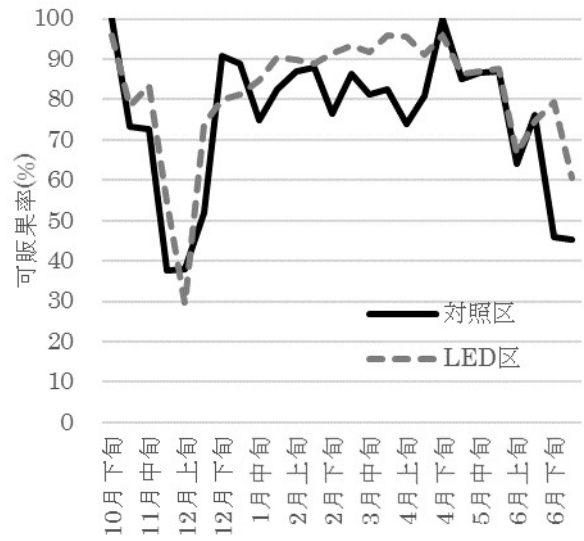


図 2-7 LED 区と対照区の可販果率 (2 年目)

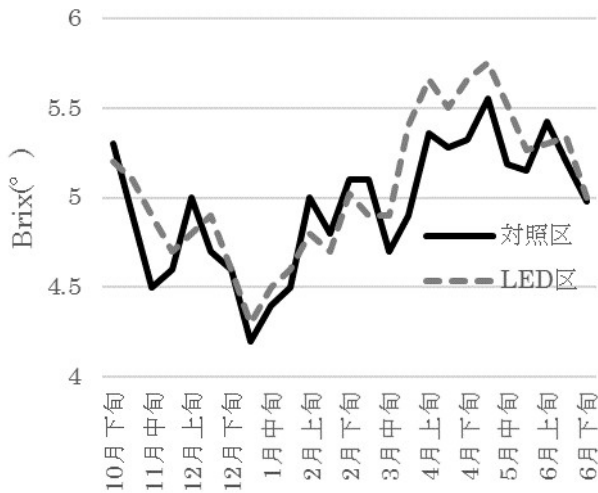


図 2-5 LED 区と対照区の糖度 (2 年目)

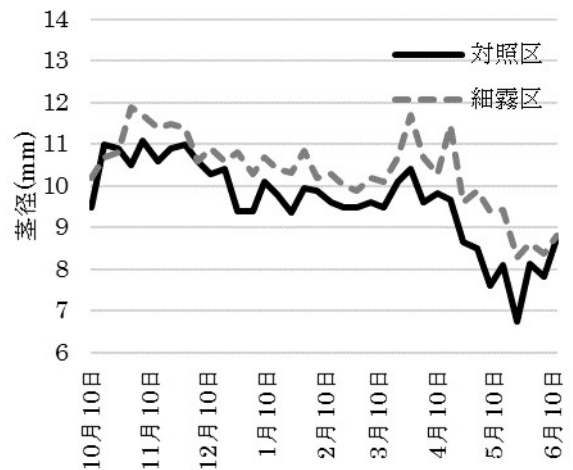


図 3-1 細霧区と対照区の茎径

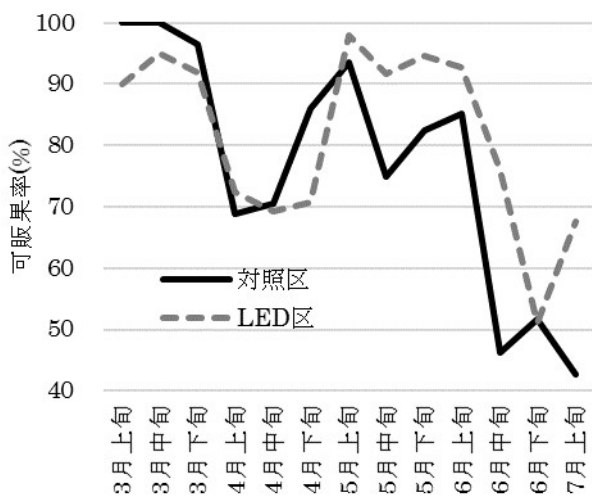


図 2-6 LED 区と対照区の可販果率 (1 年目)

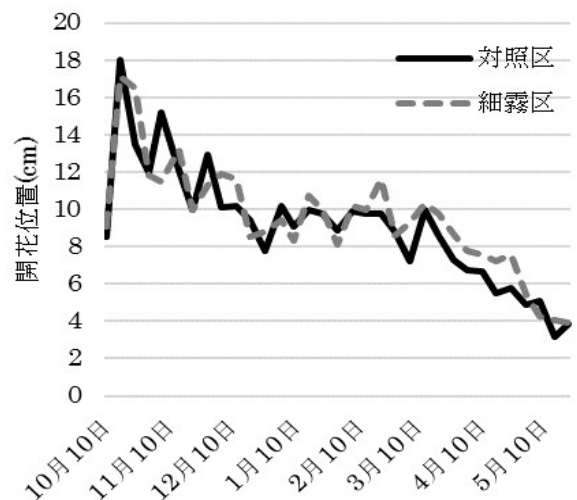


図 3-2 細霧区と対照区の開花位置

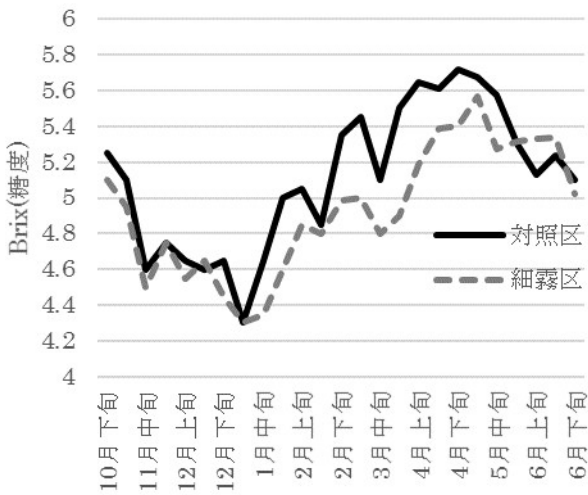


図 3-3 細霧区と対照区の糖度

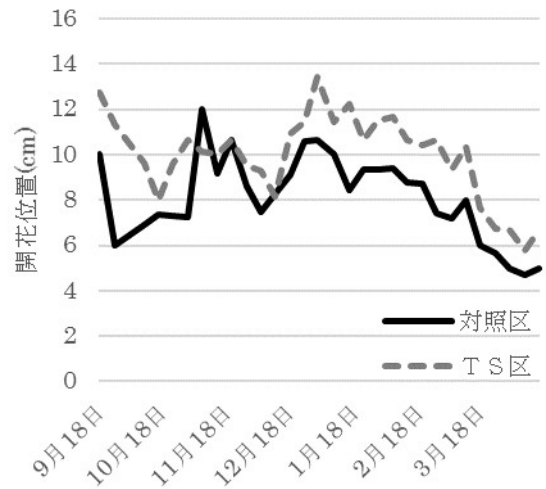


図 4-2 TS区と対照区の開花位置

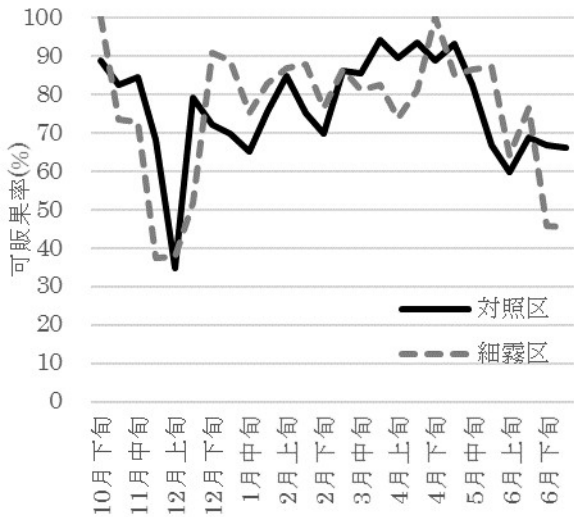


図 3-4 細霧区と対照区の可販果率

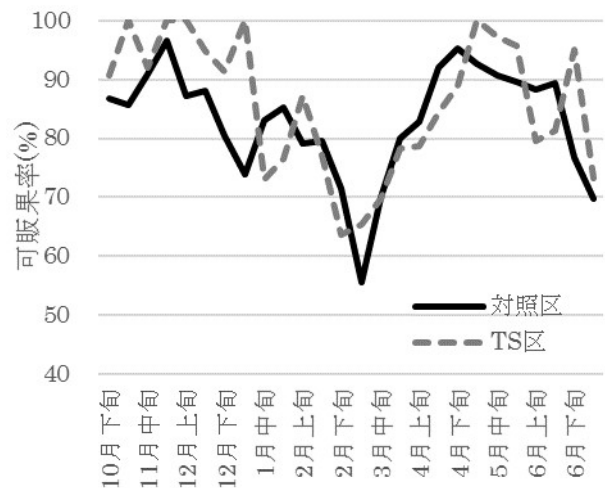


図 4-3 TS区と対照区の可販果率

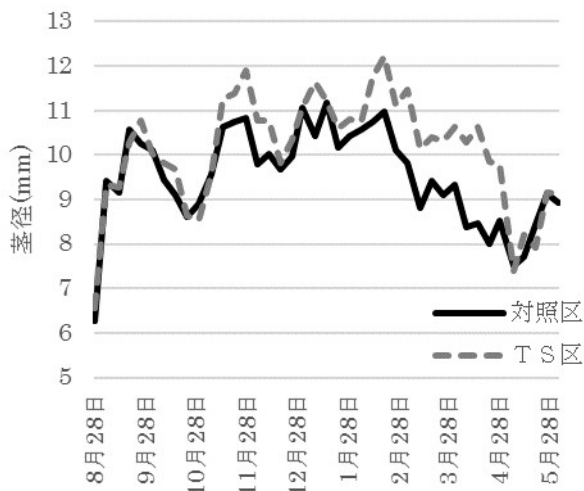


図 4-1 TS区と対照区の莖径



図 5 LED との接触が原因と見られる白化。回復はしない。

引用文献

- 阿部晴夫・飯塚浩・茂木正道（1994）：簡易な根域水分制御システムの開発．群馬農業研究．D園芸 8, 11-26.
- Higashide T., Mochizuki Y., Saito T., Kawasaki Y., Ahn D., Ohyama A（2017）：Differential Influences of Leaf Tip Trimming on Light Interception and Dry Matter Production in Tomato Dutch Cultivar Gourmet and Japanese Cultivar Momotaro York. HortScience, volume 52 : issue 5, 686-691.
- 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．園芸学研究 17(2), 133-146.
- 井手治・森山友幸・龍勝利・奥幸一郎（2007）：高温期の施設栽培における外気導入式強制換気法がトマトの生育，収量およびリコペン含量に及ぼす影響．福岡農総試研報 26, 51-55.
- 伊藤裕朗・河合伸二（1994）：トマト及びミニトマトの土壌水分管理と果実品質．愛知農総試研報 26, 191-199.
- 熊崎忠・東海林孝幸・池内裕弥・大月裕介・三浦慎一（2019）：ハイワイヤー栽培のトマトにおける光強度，CO₂濃度，葉面積および光合成速度の計測による適切なCO₂施用位置の考察．生物と気象 19, 66-70.
- 中野明正・安場健一郎・東出忠桐（2012）：オランダと日本トマト品種の形態的特徴と多収性との関連．農業および園芸 87(10), 993-997.
- 高橋太郎・石神靖弘・後藤英司・新堀健二・後藤格士（2012）：換気窓開放時の大規模温室でのCO₂施用がトマトの生長および収量に及ぼす影響．植物環境工学 24(2), 110-115.
- 渡邊圭太・中西幸太郎・光川嘉則・櫻井基生（2014）：簡易設置型パッドアンドファン冷房が高温期のハウス内温度，飽差並びにトマトの生育，収量に及ぼす影響．兵庫農技セ研報（農業） 62, 14-18.
- 吉田剛（2016）：トマトの長期多段どり栽培生育診断と温度・環境制御．49-63, 農文協，東京.