

トマト促成長期栽培における群落内LED補光の

補光時間及び品種間差異の評価

犬飼瑠伽¹⁾・小林克弘²⁾・山田健太郎³⁾・大川浩司⁴⁾・田中哲司⁵⁾

摘要: トマトの促成長期栽培における収益性の向上を目指して、トマトの群落内LED補光において補光時間及び品種間差が収量と経済性に及ぼす影響を調査した。補光時間は12時間補光において費用対効果が一番高かった。品種は節間長が長い「麗旬」では補光効果がなく、節間長が短い「りんか409」で補光効果が高かった。しかし、増収による増益額は、電気代及び償却費の合計額より少なかった。

キーワード: トマト、促成長期栽培、群落内LED補光、補光時間、品種間差、節間長

緒言

トマトの生産性向上には光環境が重要な要素であり、光量が1%増加すると収量が0.7～1%増加すると報告されている¹⁾。日射量が低下する厳寒期に光を補うことができれば増収が見込まれる²⁾。蛍光灯における補光において補光位置は群落上より群落内で効果が高いことが報告されている³⁾が、促成長期栽培において、群落内LED補光の効果を検討した報告は少ない。小林らは、密植したトマト群落内でLED補光を行った結果、慣行と比較し単位面積あたりの収量が向上した。しかし、LED導入費用が利益を上回る状態であった⁴⁾ため、費用対効果の高い補光方法の確立が求められている。

小林らは、6時から14時にかけて照射した場合、明確な補光効果はみられなかったが、6時から18時にかけて照射した場合は増収効果がみられた。このことから補光時間を長くすると増収効果を高める可能性が考えられる。しかし、促成長期栽培においてどの程度まで補光時間を長くすることが最も費用対効果が高くなるか検証されていない。そこで、経済性に優れる補光時間を検討した。また、トマトは品種によって節間長に差があるなど、生育特性が異なるが、品種間で補光効果が変化するか調査されていないため、異なる生育特性を持つ品種を用いて補光効果に差があるか試験した。

材料及び方法

1 トマト群落内における群落内LED補光時間が生育・収量に及ぼす影響(試験1)

(1) 耕種概要及び試験区の設定

試験は愛知県長久手市内の高軒高ハウスで行った。

供試品種は穂木「りんか[®]409」(株式会社サカタのタネ、横浜)(以下、「りんか409」)、台木「影武者[®]」(タキイ種苗株式会社、京都)とした。穂木は2021年8月10日に播種、台木は8月17日に播種、9月2日に接ぎ木処理をし、9月28日に定植した。定植は隔離ベッドに株間18.5 cm、畝間180 cmで行った。誘引は左右振り分け誘引とした。収穫は、2021年12月30日から2022年6月24日まで行った。栽培方式は養液土耕栽培とし、培養液は園試処方にOATハウス5号を1000 Lあたり50 g加え、窒素換算で20 mg～100 mg・株⁻¹・日⁻¹で給液した。炭酸ガス濃度は、2021年12月3日～2022年3月20日まで換気条件下で400 ppm、無換気条件下で500 ppmを目標に制御した。温度管理は、換気設定温度28℃(自然換気)、加温設定温度10℃(温湯暖房)を目標に制御した。

群落内LED補光にはLED(NEXLIGHT TUBE typeR、有限会社豊川温室、豊川)(本体価格:15000円/本、消費電力:28.2 W、赤色(660 nm)チップと白色チップ(6000 K)が4:1で配置)を用いた。LEDは左右振り分け誘引の中間に、2本を1セットとして、それぞれ左右に45 度ずつ角度をつけて下向きに照射した。40セット/a を高さは地際上140 cmに設置した。

試験区は、8時間補光区(補光時刻8時～16時)、12時間補光区(補光時刻6時～18時)、16時間補光区(補光時刻4時～20時)、無補光区(補光なし)の4試験区とした。補光は2021年10月21日から2022年3月31日まで行った。

(2) 調査項目

¹⁾園芸研究部(現知多農林水産事務所) ²⁾園芸研究部(現東三河農業研究所) ³⁾園芸研究部 ⁴⁾園芸研究部(現新城設楽農林水産事務所) ⁵⁾園芸研究部(現山間農業研究所)

各試験区を16株とし、可販果果数、可販果収量、規格外果数を調査した。

光合成有効光量子束密度(PPFD)は、放射照度計(HD 2302.0, senseca、イタリア)及びPARプローブを用い、地表と水平方向に上に向けて測定した。測定は、補光期間中である2021年1月21日(晴天)11時30分から12時30分に行った。小林ら⁴⁾の方法に基づきLED直上10 cm、LED直下10 cm地点を各試験区3か所測定した。

経済性を評価する指標として、電気料金は中部電力株式会社の料金体系を2024年6月13日に参照し、21.2 円/kWhとした。LED本体の償却期間は10年とした。トマトの市場買取価格は名古屋市中央卸売市場の2019年から2023年までの月別平均単価である11月440円/kg、12月343円/kg、1月272円/kg、2月317円/kg、3月350円/kg、4月327円/kg、5月247円/kg、6月251円/kgとした⁵⁾。

2 群落内補光による品種間差異の検討(試験2)

(1) 耕種概要及び試験区の設定

供試品種は、愛知県の主要品種のうち、株式会社サカタのタネの種苗カタログで節間長が極短の「りんか409」(株式会社サカタのタネ、横浜)及び、中とされる「麗句」(株式会社サカタのタネ、横浜)を用いた。台木は「アーノルド」(シンジェンタ、スイス)とした。「りんか409」及び「麗句」は2023年7月24日に播種、「アーノルド」は7月25日に播種、8月13日に接ぎ木処理をし、8月29日に定植した。収穫は11月17日から2024年5月31日までの期間行った。その他の栽培管理は、試験1と同様に行った。試験区は補光2水準(有・無)と品種2水準(「りんか409」・「麗句」)を組み合わせた4試験区とした。

群落内LED補光は試験1と同様とした。補光は2023年10月20日から2024年3月29日までの期間、毎日6時～18時の12時間照射とした。

(2) 調査項目

各試験区を4株3反復とし、可販果果数、可販果収量、規格外果数を調査した。「農林水産植物種類別審査基準(トマト種)」に準じて第1果房直下の節から第4果房直下の節までの平均節間長(以下、節間長)を2023年12月5日に調査した。

PPFDの測定は、補光期間中である2023年12月13日(晴天) 11時～12時に行った。株の間の中心におけるLED設置地点の水平に当たる位置(以下、LED設置地点)、LED直下20 cmを試験区3か所で測定した。

経済性を評価する指標は試験1と同様とした。

試験結果

1 トマト群落内における群落内LED補光時間が生育・収量に及ぼす影響(試験1)

(1) PPFD

LED直下10 cmのPPFDは、無補光区に比べ全ての補光区で有意に高かった(表1)。LED直上10 cmでは試験区間で差はみられなかった。

(2) 収量

可販果果数及び可販果収量は、無補光区が有意に少なかった。可販果収量は、無補光区と比べ8時間補光区で24%、12時間補光区で27%、16時間補光区で28%多く、16時間補光区が最も多かった(表2)。

規格外果数は、無補光区が有意に多かった。

(3) 経済性

最も推定販売額が増えたのは16時間補光区で、無補光区と比較して151千円/a増額した(表3)。1 a当たりの導入費は120千円 (80本/a×15000円/本÷10年)、1 a及び稼働期間を通じた補光1時間当たりの電気代は76.5円 (消費電力28.2W/本×電気料金0.0212円/Wh×設置数80本/a×稼働日数160日)であった。推定販売額から群落内LED補光費用を引いた差額は12時間補光区で473千円/aと最大であった。しかし、無補光区の販売額は547千円/aであったため、無補光区に比べて12時間補光区では74千円/aの減益であった。

2 群落内補光による品種間差異の検討(試験2)

(1) 節間長

節間長は、「りんか409」と比較して「麗句」で有意に長かった(表4)。

(2) PPFD

PPFDは、無補光区と比較して補光区で両品種ともに、LED設置地点及びLED直下20 cmで有意に高かった(表5)。LED直下40 cm、LED直下60 cm、LED直下80 cmも調査を行ったが、両品種ともに無補光区と補光区間に差はみられなかった(データ省略)。2024年2月14日も調査したが、同様の傾向であった(データ省略)。

表1 群落内LED補光時間がPPFDに及ぼす影響

試験区	LED 点灯	LED 直上 10 cm	LED 直下 10 cm
		$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
8 時間補光区	有	155 a ¹⁾	180 b
12 時間補光区	有	162 a	177 b
16 時間補光区	有	186 a	172 b
無補光区	無	164 a	98 a

1) 同じ列の異なる英文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)

2) 2022年1月21日11時30分～12時30分に調査

3) 施設外PPFDは1660 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

表2 群落内LED補光時間が収量に及ぼす影響

試験区	可販果		規格外果
	果数	収量	果数
	個/m ²	kg/m ²	個/m ²
8 時間補光区	125 b ¹⁾	23.3 b	35 a
12 時間補光区	128 b	23.9 b	38 a
16 時間補光区	133 b	24.1 b	43 a
無補光区	105 a	18.8 a	57 b

1) 同じ列の異なる英文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)

表3 群落内LED補光時間が収益に及ぼす影響

試験区	推定販売額 (A)	群落内 LED 補光費用 (B)		収益 (A)－(B)	無補光区との 差額
		導入費	電気代		
	千円/a	千円/a	千円/a	千円/a	千円/a
8 時間補光区	644	120	61	463	-84
12 時間補光区	685	120	92	473	-74
16 時間補光区	698	120	122	456	-91
無補光区	547	0	0	547	0

1) 推定販売額は、月ごとの平均市場価格と可販果収量を乗算して集計

2) 導入費はLEDを1200千円/aで想定し、10年償却とした

3) 電気費は、補光時間と電気料金を乗算して集計、電気料金は21.2円/kWh

4) 無補光区との差額は各品種における補光有から補光無の収益を引いた額

表4 供試品種の節間長

供試品種	節間長 ¹⁾
	cm
りんか 409	7.8
麗旬	10.4

1) t検定により5%水準で有意差あり

2) 2023年12月5日に調査した

表6 異なる生育特性を持つ品種における群落内補光が収量に及ぼす影響

供試品種	補光	可販果		規格外 果数
		果数	収量	
		個/m ²	kg/m ²	個/m ²
りんか409	有	128.1	24.2	48.5
	無	111.4	20.6	66.1
	t検定 ¹⁾	*	*	n.s.
麗旬	有	128.9	24.5	30.3
	無	126.4	24.5	31.5
	t検定 ¹⁾	n.s.	n.s.	n.s.

1) t検定 *:5%水準で有意差あり、n.s.有意差なし

表5 異なる生育特性を持つ品種における群落内補光がPPFDに及ぼす影響

供試品種	補光	LED 設置地点 μmol・m ⁻² ・s ⁻¹	LED直下 20 cm μmol・m ⁻² ・s ⁻¹
りんか409	有	87	41
	無	29	19
	t検定 ¹⁾	*	*
麗旬	有	100	48
	無	28	20
	t検定 ¹⁾	*	*

1) t検定 *:5%水準で有意差あり、n.s.有意差なし

2) 2023年12月13日11時～12時に調査

3) 施設外PPFDは1423 μmol・m⁻²・s⁻¹

(3) 収量

「りんか409」の可販果果数及び可販果収量は、無補光区と比較して補光区で有意に多かった(表6)。「麗旬」の可販果果数及び可販果収量は、無補光区と補光区間で差はみられなかった。規格外果数は、「りんか409」において無補光区と比較して補光区で減少する傾向がみられたものの、両品種において有意な差はみられなかった。

(4) 経済性

推定販売額は、無補光区に比べて補光区で、「りんか409」では135千円/a増額、「麗旬」では1千円/aとわずかに増額した(表7)。

推定販売額とLED補光費用の差額は、無補光区に比べて補光区で「りんか409」では72円/a減益、「麗旬」では206千円/a減益あった。

考察

試験1において、LEDが点灯している試験区でLED直下のPPFDの増加が確認された。トマトの光合成速度はPPFDが400 μmol・m⁻²・s⁻¹までは高いほど速くなることが報告されており⁶⁾、本試験におけるPPFDの増加は収量に影響を与えたと思われる。LEDの補光時間が長くなるにつれて収量の増加傾向がみられたものの、照射時間による顕著な差はみられなかった。浜本ら²⁾の報告では、温室内平均気温が早朝の時間帯の補光より4～9℃程度高い午前中の補光で増収効果がより高かったとしている。本試験では、16時間補光区の補光時間帯の平均気温が12時間補光区で1.6℃高いだけであり補光による増収効果が小さく、補光費用が抑えられた12時間補光区において費用対効果が高くなったと思われる。

表7 異なる生育特性を持つ品種における群落内補光が収益に及ぼす影響

供試品種	補光	推定販売額(A)	群落内 LED 補光費用		収益 (A)－(B)	無補光区との 差額
			(B)			
			導入費	電気代		
		千円/a	千円/a	千円/a	千円/a	千円/a
りんか 409	有	824	120	87	617	-72
	無	689	0	0	689	0
麗旬	有	829	120	87	622	-206
	無	828	0	0	828	0

- 1) 推定販売額は、月ごとの平均市場価格と可販果収量を乗算して集計
- 2) 導入費はLEDを1200千円/aで想定し、10年償却とした
- 3) 電気費は、補光時間と電気料金を乗算して集計、電気料金は21.2円/kWh
- 4) 無補光区との差額は各品種における補光有から補光無の収益を引いた額

試験2では、PPFDが「りんか409」及び「麗旬」とともに、無補光区と比較して補光区でLED設置地点及びLED直下20 cmで有意に高かった。PPFDの増加は、光合成速度を向上させることで収量の増加につながる可能性があるが、「麗旬」では収量増加効果はみられなかった。このことは、「麗旬」は「りんか409」と比較して節間が長く、葉の間隔が空いていることが一因である可能性がある。すなわち、「りんか409」ではLEDの照射範囲に入る葉が多く、補光効果が高かったと思われる。ただし、節間長以外の要因も関与している可能性があるため、他の品種でもさらなる検討が必要である。

試験1及び試験2を通して、より効果の高い補光方法を検討したが、最も効果の高い組み合わせであった「りんか409」への12時間補光においても、無補光区に比べて71千円/a減益と増加するコストに見合う収益増は見込めず、現時点では導入は困難と考えられた。

しかし、補助事業の活用やLED価格の低下により導入コストが抑えられる場合には、群落内LED補光は収益性を高める有効な技術となり得ると考えられる。

1. L.F.M. Marcelis, A.G.M. Broekhuijsen, E.M.F.M. Nijs and M.G.M. Raaphorst. Quantification of the Growth Response to Light Quantity of Greenhouse Grown Crops. *Acta Horticulturae*. 711, 97–103(2006)
2. 浜本浩, 星岳彦, 尾島一史, 山崎敬亮. 3段取りトマト栽培における群落内補光の時間帯が収量に及ぼす効果と補光の経済性. *植物環境工学*. 22(2), 95-99(2010)
3. Grimstad SO. Supplementary lighting of early tomatoes after planting out in glass and acrylic greenhouses. *Sci.Hortic*. 33(3), 189-196(1987)
4. 小林克弘, 大川浩司, 小川理恵. トマト促成長期栽培における群落内LED補光が収量及び経済性に及ぼす影響. *愛知農総試研報*. 54, 127-130(2022)
5. 名古屋市. 令和5年名古屋市中央卸売市場取扱高 青果の取扱数量と平均単価 2023(令和5)年. https://www.city.nagoya.jp/keizai/cmsfiles/contents/0000171/171179/2023e05_sei_suryotanka.pdf(2024.6.13参照)
6. 川口岳芳, 上藤満宏, 伊藤栄治, 越智資泰, 木場剛志, 堀野克己, 日高功太, 尾崎行生. 日射強度に応じた遮光が夏秋栽培トマトの生育,収量および果実品質に及ぼす影響. *園芸学研究*. 20(4), 477-486(2021)

引用文献