

## 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

小林克弘<sup>1)</sup>・大川浩司<sup>2)</sup>・小川理恵<sup>2)</sup>

**摘要:** 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を調査した。慣行の栽植密度で群落内LED補光(照射時間6時~14時)を行った結果、可販果収量に明確な影響は見られなかった。群落内LED補光(照射時間6時~18時)と密植を組み合わせた結果、慣行と比較し、5.5 kg/m<sup>2</sup>の増収となった。増収による増益額は、群落内LED補光にかかる電気代を上回ったが、償却費との合計額には満たなかった。

**キーワード:** トマト、促成長期栽培、群落内LED補光、栽植密度

### 緒言

トマト促成長期栽培では厳寒期に、日射量が減少し収量が減少するため、補光が有効である<sup>1)</sup>。トマトの群落内の中下層は上層葉や周囲の葉により相互遮蔽されるため、群落上から補光するより群落内から補光する方が、効果が高いことが報告されている<sup>2)</sup>。

近年、光源には電気代が比較的安価で、波長の制御が容易なLEDが注目されており、群落内にLEDを設置し、補光を行うことで収量が増加したとの報告事例がある<sup>3-5)</sup>。

また、群落内LED補光においては、コスト面の課題が指摘されており、補光効果を最大限高めるための栽培技術の改善が求められている<sup>3)</sup>。通常、栽植密度を高めると、収穫果房数が増えるため、収量が多くなるが、一定以上に高める(密植)と、葉の相互遮蔽により、むしろマイナスとなる<sup>6)</sup>。群落内LED補光を行うと、光環境を改善できることから、高橋ら<sup>7)</sup>は、密植に対する群落内LED補光の効果が高いと考えており、低段密植栽培への効果を報告している。

しかし、愛知県のトマト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ない。そこで、促成長期栽培における群落内LED補光及び栽植密度が収量及び経済性に及ぼす影響を検討した。

### 材料及び方法

#### 1 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(試験1)

##### (1) 耕種概要及び試験区の設定

供試品種は、穂木「りんか409(サカタのタネ)」、台木「アー

ノルド(シンジェンタジャパン)」とした。穂木及び台木とも、2019年8月20日に播種、9月4日に斜め切断接ぎによる接ぎ木処理をし、9月30日に当場内の硬質フィルムハウスに定植した(株間22.5 cm、畝間180 cm、栽植密度2.5株/m<sup>2</sup>)。2020年5月27日に摘心を行い、2020年6月29日に栽培を終了した。

着果処理は、1花房で3~5花開花した時期に、4-CPA(商品名:トマトーン、石原産業(株))を15 ppmの濃度で、ハンドスプレーにより週2回散布した。1果房あたり4果を上限に摘果した。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 日<sup>-1</sup>で給液した。炭酸ガス濃度は、2019年12月4日~2020年3月24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、換気は自然換気により、設定温度27°Cで、加温は温湯暖房により設定温度12°Cで制御した。

試験区は群落内LED補光を行う補光区と、行わない慣行区の2試験区を設定した。

群落内LED補光にはLED(NEXLIGHT TUBE typeR、有限会社豊川温室、豊川市)(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はトマトの左右振り分け誘引(誘引高2.6 m)の中間に、左右のトマトに照射できるように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。0.4セット/m<sup>2</sup>となるように設置し、設置の高さはトマト地際部より高さ100 cmとした(図1)。補光は2019年10月23日から2020年4月10日までの期間、毎日6時~14時の8時間連続で照射した。

##### (2) 調査項目

各試験区を10株とし、可販果実重、可販果数、可販果収量、障害果数を調査した。

2020年1月30日(晴天)、2020年2月21日(晴天)、2020年1

本研究の一部は園芸学会令和4年度大会(2022年3月)において発表した。

<sup>1)</sup> 園芸研究部(現研究戦略部) <sup>2)</sup> 園芸研究部

月23日(雨天)のそれぞれ10時に、LED直上40 cm地点、LED直下10 cm地点の光合成有効光量子束密度を各地点3か所測定した。

## 2 トマト促成長期栽培における群落内LED補光と栽植密度が収量及び経済性に及ぼす影響(試験2)

### (1) 耕種概要及び試験区の設定

2020年8月19日に播種、2021年5月19日に栽培終了し、その他の耕種概要は、試験1と同様に行った。



図1 群落内LED補光の様子

試験区は補光2水準(有・無)と栽植密度2水準(密植(株間16 cm、畝間180 cm、栽植密度3.5株/m<sup>2</sup>)・慣行密度(株間22.5 cm、畝間180 cm、栽植密度2.5株/m<sup>2</sup>))を組み合わせた4試験区とした。

群落内LED補光は試験1と同様のものを用いて、設置の高さはトマト茎頂部より80 cm下とした。補光は2020年10月23日から2021年3月31日までの期間、毎日6時～18時の12時間連続で照射した。

### (2) 調査項目

各試験区を16株とし、可販果実重、可販果数、可販果収量、障害果数を調査した。

2021年2月10日(晴天)の10時に、LED直上10 cm地点、LED直下10 cm地点の光合成有効光量子束密度を各地点5か所で測定した。

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ホームページで表示されている料金体系を参考に21.04円/kWhとした。LED本体(15000円/本)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3年間を平均し、1～3月を362円/kg、4～5月を287円/kgとした。

## 試験結果

### 1 試験1

#### (1) 光合成有効光量子束密度

LED直上40 cm地点の光合成有効光量子束密度は、測定した3日間とも、慣行区と補光区で有意な差はみられなかった。LED直下10 cm地点では、測定した3日間とも、補光区は約300  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 、慣行区は約20～60  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ で補光区が有意に高かった(表1)。

表1 群落内LED補光が光合成有効光量子束密度に及ぼす影響

試験区	1月30日(晴天)		2月21日(晴天)		1月23日(雨天)	
	LED直上40 cm	LED直下10 cm	LED直上40 cm	LED直下10 cm	LED直上40 cm	LED直下10 cm
	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
補光区	149.7	311.0	180.0	343.0	36.7	282.7
慣行区	165.0	52.7	359.7	56.7	60.3	17.3
t検定 <sup>1)</sup>	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	*

1) t検定により、\*は1%水準でそれぞれ有意差あり、n.s.は有意差なし

表2 群落内LED補光が収量に及ぼす影響

試験区	可販果実重		可販果数		可販果収量		障害果数	
	12～3月	4～6月	12～3月	4～6月	12～3月	4～6月	12～3月	4～6月
	g/個	g/個	個/m <sup>2</sup>	個/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	個/m <sup>2</sup>	個/m <sup>2</sup>
補光区	191.7	203.4	50.9	103.7	9.6	21.0	5.2	3.2
慣行区	175.3	209.0	51.6	98.3	9.1	20.5	7.7	2.7
t検定 <sup>1)</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) t検定により、n.s.は有意差なし

## (2) 収量

12～3月の可販果実重は補光区が191.7 g/個、慣行区が175.3 g/個で、補光区が重い傾向があったが、有意な差はみられなかった。また12～3月の可販果数、可販果収量及び障害果数は、補光区と慣行区で同程度であった。

4～6月の可販果実重、可販果数、可販果収量及び障害

果数は、補光区と慣行区で同程度であった(表2)。

## 2 試験2

## (1) 光合成有効光量子束密度

LED直上10 cm地点の光合成有効光量子束密度は、慣行密度区と比較して、密植区で有意に低かった。LED直下10 cm地点でも、慣行密度区と比較し密植区で有意に低かった。また、補光無区と比較し補光有区で有意に高く、最も高くなったのは、補光有×慣行密度区で300.2  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ であった(表3)。

## (2) 収量

1～3月について、可販果実重は、補光無区と比較し補光有区で有意に重く、慣行密度区と比較し密植区で有意に軽かった(表4)。最も重くなったのは、補光有×慣行密度区で186.1 g/個であった。可販果数は、補光無区と比較し補光有区で有意に多く、最も多かったのは、補光有×密植区で59.0 個/ $\text{m}^2$ であった。また可販果収量は、補光無区と比較し補光有区で有意に多く、慣行密度区と比較し密植区で有意に少なかった。最も多かったのは、補光有×慣行密度区で10.4  $\text{kg}/\text{m}^2$ であった。障害果数は、慣行密度区と比較し密植区で有意に多く、補光無区と比較し補光有区で有意に少なかった。最も多かったのは、補光無×密植区で34.1個/ $\text{m}^2$ であった。

4～5月について、可販果実重は、慣行密度区と比較し密植区で有意に軽く、最も重くなったのは、補光無×慣行密度

表3 群落内LED補光と栽植密度が光合成有効光量子束密度に及ぼす影響

		2月10日(晴天)	
補光(A)	栽植密度(B)	LED直上 10 cm $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	LED直下 10 cm $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
有	密植	49.4	159.6
無	密植	64.6	17.2
有	慣行密度	299.2	300.2
無	慣行密度	234.8	149.4
分散 分析 <sup>1)</sup>	A	n.s.	*
	B	*	*
	A×B	n.s.	n.s.

1) 二元配置分散分析により、\*は1%水準でそれぞれ有意差あり、n.s.は有意差なし

表4 群落内LED補光と栽植密度が収量に及ぼす影響

補光(A)	栽植密度 (B)	可販果実重		可販果数		可販果収量		障害果数	
		1～3月 g/個	4～5月 g/個	1～3月 個/ $\text{m}^2$	4～5月 個/ $\text{m}^2$	1～3月 $\text{kg}/\text{m}^2$	4～5月 $\text{kg}/\text{m}^2$	1～3月 個/ $\text{m}^2$	4～5月 個/ $\text{m}^2$
有	密植	169.7	206.5	59.0	67.7	10.0	13.9	20.6a <sup>2)</sup>	9.3a
無	密植	152.2	194.9	39.3	60.3	6.0	11.6	34.1b	14.1a
有	慣行密度	186.1	226.1	56.3	46.1	10.4	10.4	1.9c	2.3b
無	慣行密度	176.0	228.0	45.5	45.5	8.0	10.4	4.6c	1.4b
分散分析 <sup>1)</sup>	A	*	n.s.	**	n.s.	**	n.s.	**	n.s.
	B	**	**	n.s.	**	*	**	**	**
	A×B	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*

1) 二元配置分散分析により、\*は5%水準で、\*\*は1%水準でそれぞれ有意差あり、n.s.は有意差なし

2) Tukeyの多重比較検定により異なる英小文字間には、5%水準で有意差あり

表5 補光無×慣行密度区と比較した増益額

補光	栽植密度	増収量			増益額 <sup>1)</sup>			電気代	増益額- 電気代
		1～3月 $\text{kg}/\text{m}^2$	4～5月 $\text{kg}/\text{m}^2$	合計 $\text{kg}/\text{m}^2$	1～3月 $\text{円}/\text{m}^2$	4～5月 $\text{円}/\text{m}^2$	合計 $\text{円}/\text{m}^2$		
有	密植	+2.0	+3.5	+5.5	+724	+1005	+1729	911	818
無	密植	-2.0	+1.2	-0.8	-724	+344	-380	0	-380
有	慣行密度	+2.4	+0.0	+2.4	+869	+0	+869	911	-42

1) 増収量( $\text{kg}/\text{m}^2$ )×トマト価格(1～3月:362  $\text{kg}/\text{円}$ 、4～5月:287  $\text{kg}/\text{円}$ )

区で228.0 g/個であった。可販果数は、慣行密度区と比較し密植区で有意に多く、最も多かったのは、補光有×密植区で67.7個/m<sup>2</sup>であった。また可販果収量は、慣行密度区と比較し密植区で有意に多く、最も多かったのは、補光有×密植区で13.9 kg/m<sup>2</sup>であった。障害果数は、慣行密度区と比較し密植区で有意に多く、最も多かったのは、補光無×密植区で14.1個/m<sup>2</sup>であった。

### (3) 経済性

1～5月で補光無×慣行密度区と比較し、最も増収したのは補光有×密植区であり、増益額は1729円/m<sup>2</sup>であった。

また、群落内LED補光にかかった電気代は911円/m<sup>2</sup>(0.8本/m<sup>2</sup>×0.0282 kWh/本×21.04円/kWh×160日×12時間)であり、LED本体の償却費は1200円/m<sup>2</sup>(0.8本/m<sup>2</sup>×15000円/本÷10年)となり、LED補光にかかる経費は2111円/m<sup>2</sup>であった。

増益額が1729円/m<sup>2</sup>であったため、電気代911円/m<sup>2</sup>に対しては、818円/m<sup>2</sup>のプラスとなった(表5)。しかし、償却費との合計コストは2111円/m<sup>2</sup>であったため、382円/m<sup>2</sup>のマイナスとなった。

## 考察

高山ら<sup>8)</sup>は、トマト群落における内側の中層(茎頂部より40～79 cm下)、下層(茎頂部より80～120 cm下)の光飽和点は、それぞれ500および200 μmol/m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>程度であると報告している。

試験1においては、群落内LED補光をすることで、LED直下の光合成量子束密度を、光飽和点近くの300 μmol/m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>程度にすることができた。そのため12～3月間では、群落内の光環境が改善されたと考えられた。

しかし、可販果収量に明確な差はみられなかった。補光による収量増加を報告している高橋ら<sup>3)</sup>や彦坂ら<sup>4)</sup>の試験では、LEDの照射時間をそれぞれ6時～16時、6時～18時としている。試験1においては、6時～14時までの照射となっており、照射時間が足りないことが、可販果収量に明確な差がみられなかった原因だと考えられた。

そこで試験2では、照射時間を6時～18時まで延長し、さらに効率的な照射方法として、密植と群落内LED補光の組み合わせを検討した。

慣行密度区では試験1と同様に、群落内LED補光をすることで、LED直下の光合成量子束密度を300 μmol/m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>程度にすることができた。また、密植区においては、無補光では20 μmol/m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>程度に対して、群落内LED補光をすることで、160 μmol/m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>程度にすることができ、1～3月間では、群落内の光環境が改善されたと考えられた。

可販果収量においても、補光無区と比較し補光有区で有意に高くなっており、照射時間は6時～18時が適していると考えられた。

しかし、密植した場合、群落内LED補光を行っても、障害果数の発生数が慣行密度区よりも増加した。栽植密度については、さらに検討する必要がある。

また、4～5月においては、LED補光をしていないが日射量が増加する時期であるため、密植でも十分な日射量に達し、密植区で増収したと考えられた。

以上のことから、栽植密度については再検討の余地があるものの、群落内LED補光(6時～18時照射)と密植を組み合わせることで、増収できることを明らかにした。

さらに経済性に関し、群落内LED補光と密植を組み合わせることで、電気代を上回る収益が得られることを明らかにした。農業分野においては、施設整備への支援策が整備されており、これらを活用すれば、LED本体価格を抑えて導入でき、償却費込みのコスト以上の収益を生む可能性がある。またLED本体価格は、低価格化が進んでおり<sup>9)</sup>、今後、さらに効率的な照射方法を検討すれば、LED補光は収益性を高める有効な技術となることは可能だと考えられる。

## 引用文献

1. André Gosselin, Hui-lian Xu and Mohammed Dafiri. Effects of Supplemental Lighting and Fruit Thinning on Fruit Yield and Source-Sink Relations of Greenhouse Tomato Plants. 園芸学会雑誌. 65(3), 595-601(1996)
2. Grimstad SO. Supplementary lighting of early tomatoes after planting out in glass and acrylic greenhouses. Sci.Hortic. 33(3), 189-196(1987)
3. 高橋正明, 酒井博幸. LEDによる群落内補光がトマトの生育及び収量に及ぼす影響. 園芸学会. 別(2), 221(2014)
4. 彦坂昌子, 栃木菜穂美, 後藤英司. 日射量が異なるトマト群落内LED補光が果実収量と乾物分配に及ぼす影響. 園芸学会. 別(1), 136(2015)
5. 磯山陽介, 西村浩志, 北出晋太郎, 加藤秀起, 磯崎真英. トマト少量培地耕におけるLED樹間補光が生育と培養液吸収量に及ぼす影響. 園芸学会. 別(2), 215(2018)
6. 東出忠桐. 環境制御. 農業技術大系野菜編第2巻. トマト. 農文協. 東京. p.基560の7(2015)
7. 高橋正明, 酒井博幸, 日向真理子. トマト低段密植栽培の各作型における群落内LED補光による増収効果の変化. 園芸学会. 別(1), 335(2016)
8. 高山弘太郎, 仁科弘重, 久枝和昇, 末岐剛, 原田聡. 太陽光利用型植物工場のトマト群落内における光合成機能の空間分布の解析. 植物環境工学. 22(4), 175-180(2010)
9. 経済産業省商務情報政策局情報通信機器課. LED照明産業を取り巻く現状. [https://www.meti.go.jp/committee/summary/0004296/pdf/001\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/committee/summary/0004296/pdf/001_05_00.pdf). (2021.5.27参照)