

高輝度LEDライトによる補光処理時の光質及び照射時間帯が バラ切り花の品質・収量に及ぼす影響

犬伏加恵¹⁾・和田朋幸¹⁾・新井和俊¹⁾・二村幹雄¹⁾

摘要: 秋季から春季の本県バラ切り花栽培において、高輝度LEDライトの補光効果を調査した。午前4時から10時の6時間、株元での光合成有効光量子束密度が $80\sim 90\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となる位置から赤主体LEDライトを照射したところ、照射しない場合に比較して「サムライ08」で21%、「アヴァランチェ+」で15%増収し、収穫時期の前進が確認できた。白主体ライトと赤主体ライトを比較したところ、増収率の高い光質は品種によって異なるものの、白主体ライトでは切り花品質の低下がみられたことから、赤主体ライトの方が補光に適していると推察された。また、照射時間帯は、EOD(日没)よりもEON(明け方)で照射効果が高い傾向がみられた。

キーワード: バラ、LEDライト、補光、光質、照射時間帯

緒言

バラ切り花栽培では、光合成促進を目的とした補光の重要性が以前から知られており、十分な日射量が確保できない欧州の高緯度地域などでは高圧ナトリウムランプ等を活用した補光栽培が行われている¹⁾²⁾。近年、高圧ナトリウムランプよりも省エネルギーとなる農業用の高輝度LEDライトの開発が進んでおり、国内でも試験導入が散見されるようになった³⁾。今回、県内企業で開発された高輝度LEDライトを用い、本県のように日射量の多い地域での効果を検証することとした。特に、当該高輝度LEDライトは、波長ピークが630 nmの赤色LEDチップと450 nmの白色LEDチップの組み合わせにより白主体のものと赤主体のものがあり、この光質の違いがバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響を調査した。

また、照射時間帯について、高緯度地域の補光では夜間を除く16~18時間照射の事例が多くみられる⁴⁾が、本県は冬季でもある程度の日射量を確保できることから、短時間での利用が実用的と考えられる。県内のバラ生産温室で測定された光—光合成曲線によると、一定の光量($500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)を超えると光合成速度の上昇率が低下する⁵⁾ことがわかっている。実際に、本場の冬季でも10~14時には $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を確保できる日が多かったことから、4~10時と14~20時のそれぞれの照射時間帯が収量・品質に及ぼす影響を調査した。今回の調査結果は、本県バラ切り花栽培での高輝度LEDライトの実用性を検証するための一助とする。

材料及び方法

1 光質の異なるLEDライトがバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響

(1)栽培概要

試験は、ガラス温室(間口7.2 m×奥行13.9 m×高さ4.5 m、面積100 m²、容積350 m³)で実施した。温度制御は、日中30℃を目安に天窗、側窓を自動開閉した。飽差制御は、ミスト噴霧(グローミスト、トヨタネ(株)、豊橋市)による気化冷却を7~17時まで23℃以上、飽差 $10\ \text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上の条件で、1分間噴霧1分停止の間欠運転を行った。また、11~4月は最低室温17℃で温湯暖房を実施した。

供試品種はバラのスタンダード品種「アヴァランチェ+」及び「サムライ08」とし、「アヴァランチェ+」は2017年2月定植、「サムライ08」は2016年4月定植、片側(西側)へのみ折り曲げるアーチング方式で樹形管理した株を用いた。試験区は、高輝度LEDライト「NEXLIGHT POWER」((有)豊川温室、豊川市)のうち、白主体ライト(白色:赤色=5:2、波長ピーク450 nm、133W)と赤主体ライト(白色:赤色=2:5、波長ピーク630 nm、108W)を用いて、白主体区、赤主体区、対照区(照射なし)の3区とした。栽培方式は、プランター(幅64 cm×奥行23 cm×高さ18.5 cm)当たり5株植えの少量土壌培地耕で、供試株数は「アヴァランチェ+」が各区15株、「サムライ08」が各区10株とした。LEDライトの照射は、シュートを折り曲げて同化専用枝とした2019年10月21日から開始し、同化専用枝側上部の光合成有効光量子束密度が株元で $80\sim 90\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となる位置から、株元の斜め上から株元へ向かう角度で)4~10時に行った。培養液は愛知農総試園研バラ処方により $1.6\ \text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ で施用した。

(2)調査項目

収穫時期、階級別収穫本数、切り花長、切り花重、切り花調整重、茎径、花高、節数を調査した。「アヴァランチェ+」では株元葉のSPAD値、ブラインド枝発生本数も調査した。SPAD値は、葉緑素計SPAD-502Plus(コニカミノルタジャパン(株)、東京)で測定した。

2 照射時間帯の違いがバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響

(1)栽培概要

試験2は試験1と同じ施設で行い、温度及び飽差制御、供試品種、樹形管理、栽培方式、培養液管理は試験1と同様とした。LEDライト「NEXLIGHT POWER」には赤主体を用い、シュートを折り曲げて同化専用枝とした2019年10月21日から補光を開始し、株元の光合成有効光量子束密度80~90 μmol・m⁻²・s⁻¹で行った。照射時間帯を変えて試験区を設定し、EOD区(14~20時照射)、EON区(4~10時照射)、対照区(照射なし)の3区とした。EON区は1の赤主体区と同一とし、対照区も1の対照区と同一とした。

(2)調査項目

調査項目は1と同様とした。

結果及び考察

1 光質の異なるLEDライトがバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響

(1)「アヴァランチェ+」

収穫時期については、対照区に比較して白主体区及び

赤主体区の一番花において収穫始まりが早くなり、収穫時期の前進がみられた。その傾向が二番花以降も続き、照射した2区の収穫ピークは、二番花及び三番花で1週間程度早くなった(図1)。

切り花品質は、一番花では光質による違いはみられなかったが、二番花において白主体区で切り花長が短く、切り花重及び50 cm調整重が軽く、茎径が短くなり、品質が低下した。三番花では白主体区で花高が短くなった。切り花総重量は、一番花及び二番花で照射した2区が対照区より重かったが、三番花では白主体区が対照区より軽かった(表1)。

株あたりの時期別収穫本数は、一番花及び二番花とも

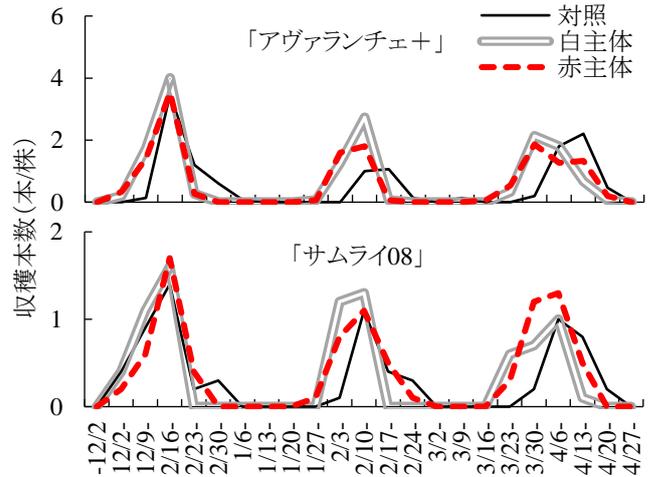
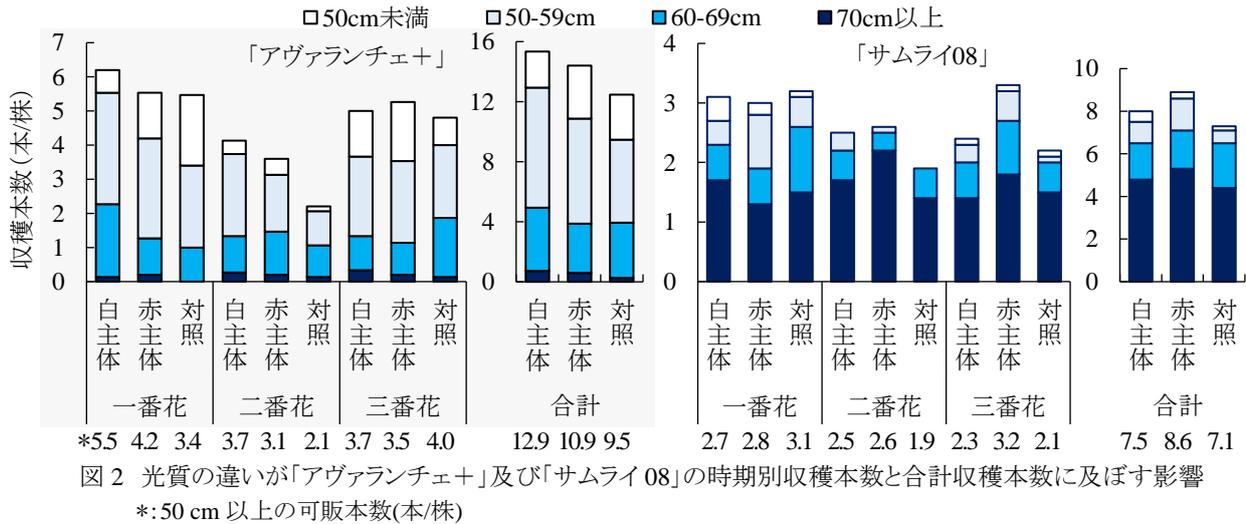


図1 光質の違いが「アヴァランチェ+」と「サムライ08」の収穫時期に及ぼす影響
最初の収穫ピークを一番花、次の収穫ピークを二番花、最後の収穫ピークを三番花とする

表1 光質の違いが「アヴァランチェ+」及び「サムライ08」の切り花品質に及ぼす影響

試験区		切り花長 ¹⁾ (cm)	切り花重 (g)	調整重 ²⁾ (g)	茎径 (mm)	節数 (節)	花高 (cm)	切り花 ³⁾ 総重量(g)
ア ヴァ ラン チェ +	一番花 白主体	57.4 a ⁴⁾	22.3 a	18.8 a	4.0 a	9.3 a	4.9 a	2249.2 (93)
	(12月初旬~ 赤主体	57.5 a	23.2 a	20.0 a	4.0 a	9.8 a	5.0 a	1794.3 (83)
	1月上旬) 対照	56.6 a	23.2 a	21.1 a	4.0 a	10.0 a	4.9 a	1670.1 (82)
	二番花 白主体	57.9 b	25.7 b	20.6 b	3.9 b	9.4 a	5.1 a	1542.9 (62)
	(1月末~ 赤主体	59.6 a	28.3 a	21.5 a	4.1 ab	10.2 a	5.1 a	1462.6 (54)
	2月末) 対照	59.9 a	29.7 a	25.3 a	4.2 a	10.1 a	5.2 a	955.6 (33)
サ ム ラ イ 0 8	三番花 白主体	57.9 a	28.3 a	22.6 a	4.2 a	9.7 a	4.8 b	1934.4 (75)
	(3月末~ 赤主体	57.8 a	28.6 a	23.4 a	4.2 a	9.7 a	5.0 a	2034.7 (79)
	4月中旬) 対照	59.3 a	30.5 a	23.5 a	4.4 a	9.7 a	5.0 a	2051.4 (72)
	一番花 白主体	78.1 a	43.5 a	40.4 a	4.9 a	13.9 a	5.3 a	1154.2 (31)
	(12月初旬~ 赤主体	78.6 a	41.6 a	40.7 a	5.0 a	13.5 a	5.1 a	1019.3 (30)
	1月上旬) 対照	74.9 a	39.2 a	40.5 a	4.6 a	13.4 a	5.1 a	1179.5 (32)
サ ム ラ イ 0 8	二番花 白主体	78.0 a	38.7 a	38.4 a	4.5 a	14.2 a	5.1 ab	928.3 (25)
	(1月末~ 赤主体	81.8 a	40.6 a	37.1 a	4.6 a	13.7 a	5.1 b	1001.6 (25)
	2月末) 対照	84.9 a	50.8 a	44.3 a	4.9 a	15.5 a	5.4 a	964.6 (19)
	三番花 白主体	76.5 a	46.5 a	45.7 a	5.0 a	15.0 a	5.1 a	1025.1 (24)
	(3月下旬~ 赤主体	74.8 a	39.8 a	40.8 a	4.8 a	13.6 a	5.1 a	1207.8 (33)
	4月中旬) 対照	79.6 a	48.9 a	44.5 a	5.1 a	15.5 a	5.2 a	996.3 (21)

1) 切り花長、切り花重、茎径、花高、節数は、「アヴァランチェ+」50 cm以上、「サムライ08」60 cm以上の収穫物の平均値
 2) 調整重は、「アヴァランチェ+」は50 cm以上 60 cm未満の収穫物を50 cmに、「サムライ08」は70 cm以上の収穫物を70 cmに調整した(脱葉はしない)重量の平均値
 3) 切り花総重量は、該当収穫ピークにおけるすべての収穫物の合計重量、括弧内は本数
 4) 異符号間に Scheffe の多重検定により5%水準の有意差あり



に、対照区に比較して白主体区及び赤主体区で可販階級となる50 cm以上の本数が0.8本～2.1本多かった。一方、長日条件に向かう時期に収穫した三番花の可販階級は対照区の方が照射した2区より多かった。一番花から三番花までの可販階級の合計収穫本数は、対照区に比較して白主体区が3.4本増(36%増)、赤主体区が1.4本増(15%増)となった。最も増加した階級は50～59 cmの下位階級であった(図2)。

株元の葉のSPAD値は対照区に比較して赤主体区で高かった(表2)。ブラインド枝発生本数は、二番花終了時において白主体区が赤主体区より有意に多くなった(表3)。

(2) 「サムライ08」

収穫時期では、二番花及び三番花において、対照区より白主体区及び赤主体区の収穫始まりが早くなった(図1)。

切り花品質は、二番花において赤主体区で花高が短くなったが、全体として光質による違いはみられなかった。切り花総重量は三番花で赤主体区が対照区より211.5 g重かった(表1)。

株あたりの時期別収穫本数のうち50 cm以上の本数は、一番花では対照区が赤主体区より0.3本、白主体区より0.4本多かったが、二番花及び三番花では赤主体区が対照区より、それぞれ0.7本、1.1本多かった。一番花から三番花までの50 cm以上の合計収穫本数は、対照区に比較して赤主体区が1.5本増(21%増)となったが、白主体区は0.4本増であり増収効果が少なかった(図2)。

両品種ともに、LED照射により収穫時期が前進し、可販階級である50 cm以上の収穫本数は赤主体区では15%～21%増加した(12～4月の合計)。また、「アヴァランチェ+」においてLED照射の影響により増加した収穫物は、下位階級のものが多く傾向がみられた。

光質による違いについて、「アヴァランチェ+」では白主体ライトの照射により、収穫本数が増加するものの切り花重が軽く、ブラインド発生本数も多かった。また、株元葉のSPAD値が赤主体の方が高くなったことから、光合成による同化産物の蓄積は赤主体の方が多い可能性がある。さらに「サムライ08」では赤主体の方が可販階級の収穫本数が多くなった。光の波長と植物の関係については様々な知見があり、植物種によって単色光への応答は異なるとされているが、一般的に、赤色光は光合成促進を担い、青色光は伸長抑制に働く

表2 株元葉の SPAD 値

試験区	SPAD 値
白主体	42.2 ab
赤主体	44.7 a
対照	41.9 b

2020年1月31日二番花収穫時期に測定(n=16以上)

異符号間に Scheffe の多重検定で5%水準の有意差あり

表3 光質の違いによるブラインド枝発生本数(本/株)

試験区	照射開始 2週間後	一番花 終了時	二番花 終了時
白主体	1.9 a	7.7 a	8.3 a
赤主体	1.5 a	7.6 a	5.2 b
対照	1.1 a	9.9 a	6.7 ab

異符号間に Scheffe の多重検定で5%水準の有意差あり

ことが多い⁶⁾。また、バラの組織培養における知見として、青色LEDの照射により花芽形成が促進され、開花時期が早まるといった報告もある⁷⁾。今回の結果においては、青色光の割合が多い白主体ライトでは発生するシュート数が増加し、品種によってはシュートが密集しすぎる上に、光合成促進を担う赤色光の割合が低いいため、個々のシュートの重量が軽くなった可能性がある。以上の結果から、今回使用した高輝度LEDライトの場合、赤主体ライトの方がバラの補光に適切であったと考えられる。

2 照射時間帯の違いがバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響

(1) 「アヴァランチェ+」

収穫時期は、対照区に比較してEON区において一番花では収穫始まりが早くなり、二番花では収穫ピークが1週間程度、三番花では2週間程度早くなった。EOD区はEON区と対照区の間であった(図3)。

切り花品質については、LED照射による影響も照射時間帯による影響もみられなかったが、切り花総重量は、二番花のEON区が対照区より507 g重いなど、一番花及び二番花において照射した2区が対照区より重かった(データ略)。

株あたりの時期別収穫本数は、一番花及び二番花とも

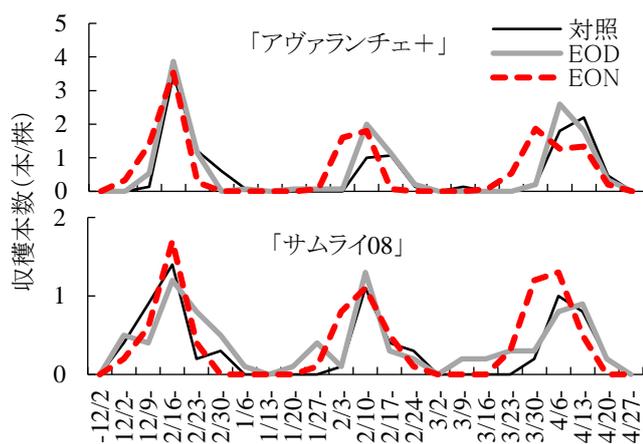


図3 照射時間帯の違いが「アヴァランチェ+」及び「サムライ08」の収穫時期に及ぼす影響

に、対照区に比較してEOD区及びEON区で可販階級となる50 cm以上の本数が増加したが、照射時間帯による差は見られなかった(データ略)。一番花から三番花までの50 cm以上の合計収穫本数は、対照区に比較してLED照射を実施した2区において、1.2~1.4本増(13~15%増)となった(図4)。

株元葉のSPAD値は、対照区に比較してEON区及びEOD区で6%高かった(データ略)。ブライント枝発生本数は、対照区との差はみられなかった(データ略)。

(2) 「サムライ08」

収穫時期は、二番花及び三番花において、対照区よりEON区の方が収穫始まりが早くなった(図3)。

切り花品質については、二番花においてEON区で花高が0.3 cm短くなったものの、全体として照射時間帯による影響はみられなかった。切り花総重量は、三番花のEON区が対照区より211.5 g重いなど、二番花及び三番花において照射した2区が対照区より重かった(データ略)。

株あたりの時期別収穫本数は、一番花ではEON区で60 cm以上の本数が少ないが、二番花及び三番花では、対照区に比較して照射した2区で増加し、特に三番花の50 cm以上の本数はEOD区で0.8本、EON区で1.1本増加した(データ略)。一番花から三番花までの50 cm以上の合計収穫本数は、対照区に比較してEOD区で1.3本増(18%増)、EON区で1.5本増(21%増)となった(図4)。

照射時間帯については、両品種ともに、EOD(14~20 時)と EON (4~10 時)で違いはあまりなかったが、EON の方がEOD より早く収穫できる傾向がみられた。これは、一定の光強度下での光合成促進の効果は主に照射時間の長さに影響を受けているものの、明け方に照射することで、照射していない日中の光合成にもプラスの影響を及ぼしている可能性が考えられる。一方で、一方向からの長期間の補光処理に対するバラの反応は、太陽光の季節変化(明期の時間、照度、角度)に伴って異なる可能性があり、今後さまざまな条件での検証が重要となる。また、照射時間の長さについても、今回6時間でも増収等の効果があることがわかったが、費用対効果がより高い照射時間の長さを調査する必要がある。

以上の結果から、本県のような日射量の比較的多い地域においても、バラ切り花栽培における LED 補光は増収及び

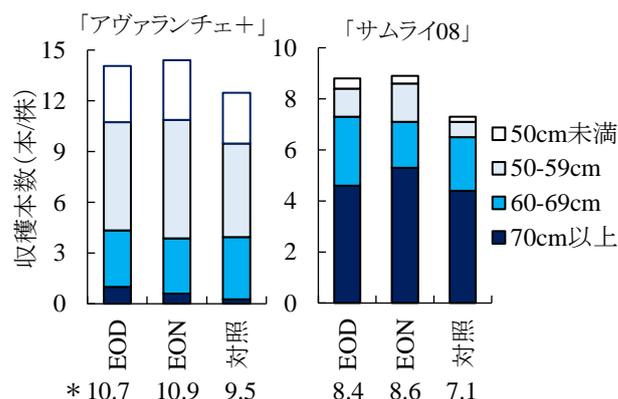


図4 照射時間帯の違いが「アヴァランチェ+」及び「サムライ08」の合計収穫本数に及ぼす影響
*:50 cm 以上の可販本数(本/株)

収穫時期の前進の効果があることがわかった。白主体ライトと赤主体ライトを比較したところ、増収率の高い光質は品種によって異なるものの、白主体ライトでは切り花品質の低下がみられたことから、赤主体ライトの方が補光に適していると考えられる。また、照射時間帯は、EOD(日没)よりも EON(明け方)で照射効果が高いと推察される。一方で、今回の照射条件では、LED 補光により最も増加した階級が下位階級となる品種もあったことから、今後は、より高品質な収穫物が増えるよう、光以外の環境要素との組み合わせ効果などを検討する必要がある。さらに、寡日照期以外の活用や実用化に向けた経済性の検証についても今後検討を進めたい。

引用文献

1. David Katzin, Leo F.M. Marcelis and Simon van Mourik. Energy savings in greenhouses by transition from high-pressure sodium to LED lighting. Applied Energy. 281 (2021)116019
2. T. Ouzounis, H. Giday, K.H. Kjaer and C.-O. Ottosen. LED or HPS in ornamentals? A case study in roses and campanulas. Eur.J.Hortic.Sci. 83(3), 166-172 (2018)
3. いばらきの花振興協議会. バラ切花の生産性向上に向けたLED補光マニュアル. (2019). <https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/sansin/kaju/documents/01baraledmanual.pdf> (2021.8.31参照)
4. 佐々木厚. 高圧ナトリウムランプの効果と利用. 農業技術大系. 花卉編3. 293-294 (2000)
5. 熊崎忠, 山内高弘, 杉山千織, 三枝正彦. バラ施設栽培における個葉光合成速度による炭酸ガス施用効果の評価. 園学研10別2, 249 (2011)
6. 後藤英司. アグリフォトニクスⅡ—LEDを中心とした植物工場の最新動向—. シーエムシー出版. 東京. p.72-81, 184-190 (2019)
7. 森 康裕, 高辻正基, 原田順二. 種々の波長のLEDとLD光がバラの生育と開花に及ぼす影響. レーザー研究 33(8), 537-541 (2005)