

短時間の LED 補光と CO₂ 施用がバラ切り花の 周年の収量・品質に及ぼす影響

犬伏加恵¹⁾・和田朋幸¹⁾・二村幹雄¹⁾

摘要:バラ切り花2品種「ブロッサムピンク」及び「サムライ08」を用いて、6時間のLED補光とCO₂施用の併用が収量・品質に及ぼす影響を1年以上にわたって調査した。その結果、切り花品質は無処理の対照と同等、可販階級である50 cm以上の収穫本数は「ブロッサムピンク」が34%、「サムライ08」が39%の増加となり、LED補光のみ、CO₂施用のみの処理よりも増収効果が高かった。増収分は下位階級(50 cm未満)から上位階級(70 cm以上)までほぼ均等に増加したが、「ブロッサムピンク」では夏季高温期(8月上旬～9月上旬)に70 cm未満の中位～下位階級の増加が確認された。このことから、当技術の夏季高温期の利用については品種間差も含め今後検討する必要がある。

キーワード:バラ、LED ライト、CO₂ 施用、収量、切り花品質

Effects of Supplementary LED Lights and CO₂ Application over a Relatively Short Period on the Annual Yield and Quality of Rose Cut Flowers

INUBUSHI Kae, WADA Tomoyuki and NIMURA Mikio

Abstract: The effects of supplementary lighting with LEDs in combination with carbon dioxide (CO₂) on the yield and cut flower quality of two rose cultivars ‘Blossom Pink’ and ‘Samurai08’ were studied for over a year. The cut flower quality was comparable to an untreated control, and yields of 50 cm or more, which is a sales class, increased by 34% for ‘Blossom Pink’ and 39% for ‘Samurai08.’ The effect of increasing yields was greater than those with the treatment of LED supplementation only and CO₂ application only. The increase in yield occurred fairly evenly from the lower class(less than 50 cm) to the upper class(70 cm or more), but it was confirmed that the middle to lower class of less than 70 cm increased during the high temperature period(early august ~ early september) in ‘Blossom Pink.’ Therefore, this technique should be considered during the high temperature period in summer, taking into account the difference between varieties.

Key Words: Rose, LED lights, CO₂ application, Yield, Cut flower quality

本研究は、令和2年度及び令和3年度「持続的生産強化対策事業(ジャパンフラワー強化プロジェクト推進)」のうち花き生産供給力強化協議会の支援を受けて実施した。

¹⁾園芸研究部

(2022.9.7受理)

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^{3,4)}。当場では2019年から、県内企業において開発された高輝度LEDライトの本県バラ切り花栽培での実用性を検証している。これまでに、本県のように冬季に比較的に日射量が多い地域でも、明け方6時間のLED補光により増収効果が得られることや、補光効果の高い光質、照射時間帯、照射角度などを明らかにしているが、明け方6時間のLED補光のみの利用では10%から20%の増収率に留まることが多く^{5,6)}、十分な費用対効果が得られない可能性が考えられた。

一方で、バラ切り花生産では、30年以上前からCO₂施用による増収や品質向上が知られており^{7,8)}、本県でも多くの施設で炭酸ガス発生機が導入されている。光とCO₂は光合成産物の増加に必須であるため、高圧ナトリウムランプによる補光とCO₂施用の併用については以前から多くの知見があり、70 cm以上の収穫本数の増加と茎径や新鮮重の増加などの品質向上が報告されている^{7,9)}。LEDライトによる補光とCO₂施用の併用による効果についても、生産者実証段階で18時間など長時間照射した報告は散見される^{4,10)}が、電気料金の低減が可能となる6時間など短時間での調査は報告がない。そこで今回は、明け方6時間のLED補光とCO₂施用の組合せが、収穫本数と切り花品質に及ぼす影響を調査した。

また、国内でLEDライトを試験導入した結果の多くは、冬季を基本とした4か月から6か月の短期間であり、一時的に収量が倍増する結果も得られているが^{3,4)}、バラは永年作物であり、長期的なデータが生産現場への技術導入には重要である。そのため、1年以上の期間、収量・品質を調査することにより、気温の影響も踏まえて効果を検討することとした。

材料及び方法

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、日中は25℃設定で天窓、側窓を自動開閉、11～5月は18℃設定で温湯暖房を実施した。2020年10月25日から2022年1月2日の試験期間中、ミスト噴霧(グローミスト、トヨタネ(株)、豊橋市)により飽差制御を実施し、7～17時まで23℃以上、飽差7 g・m⁻³以上の条件で、1分間噴霧1分停止の間欠運転とした。

供試品種はバラのスタンダード品種「ブロッサムピンク」及び「サムライ08」(2020年3月定植)とし、片側(西側)へのみ折り曲げるアーチング方式で樹形を管理した。試験区は、CO₂施用の有無とLED補光の有無を組み合わせて、LED+CO₂区、LED補光区、CO₂施用区、対照区(CO₂施用、LED補光ともになし)の4区とした。2020年10月25日から同化専用枝の

折り曲げと同時にLED補光及びCO₂施用を開始した。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「ブロッサムピンク」各区20株、「サムライ08」各区15株とした。LEDライトは、高輝度LEDライト「NEXLIGHT POWER」(有限会社豊川温室、豊川市)の赤主体ライト(白色:赤色=2:5、ピーク波長630 nm、108 W、照射角90°)を用いて、2プランターに1台の間隔、かつ光合成有効光量子束密度が株元で70～80 μmol・m⁻²・s⁻¹となる位置で、株の直上に設置した。照射時間は6時間(2020年10月～2021年3月、9月～12月は午前4時～10時、2021年3月～9月は午前3時～9時)とした。CO₂施用は、灯油燃焼式施用機を用い、LED照射時間帯に濃度800 ppm(25℃以上の換気時は450 ppm、35℃以上で施用停止)設定で実施した。培養液は愛知園研バラ処方により2020年10月～2021年4月、10月～12月はEC1.6～1.8 dS・m⁻¹、2021年5月～9月はEC1.3～1.4 dS・m⁻¹で管理した。給液量は1回1株あたり約32 mL、給液回数はLED照射開始1時間後から14時までの間に7～12回施用した。遮光はダイオミラー50HB-6(ダイオ化成(株)、東京)を用いて、以下の時間帯の晴天時に外部遮光を実施した。2月下旬～5月上旬及び10月上旬～下旬は11時～14時、5月中旬～7月上旬及び9月中旬～10月上旬は10時～15時、7月中旬～9月上旬は9時～16時。

2 調査項目

調査項目は、全収穫物について、収穫日、切り花長、切り花重を測定し、さらに切り花品質として、70 cm以上の切り花の調整重(脱葉なし)、50 cm以上の切り花の茎径、花高、節数を調査した(「サムライ08」の四番花は欠測)。また、「ブロッサムピンク」については、SPAD値と概算葉面積を調査した。SPAD値は、葉緑素計SPAD-502Plus(コニカミノルタジャパン(株)、東京)を用いて、50 cm以上の切り花の花下3～5節目の小葉で各3回測定した平均値の中間値とした。概算葉面積は、切り花上部から30～40 cmに位置する個葉(葉柄及び小葉すべて含む)の縦と横の長さを乗じたものとし、事前にImage Jで実際の葉面積と強い相関(相関係数r=0.986)があることを確認した。

試験結果

1 短時間のLED補光とCO₂施用が収穫時期・収量に及ぼす影響

(1)「ブロッサムピンク」

試験中の栽培環境について、材料及び方法に記載したとおりの設定でLED補光及びCO₂施用が実施できた。LED補光について、LEDによって補われる光は、温室内の自然光による光合成有効光量子束密度(PPFD、冬季で800 μmol・m⁻²・s⁻¹、夏季で1300 μmol・m⁻²・s⁻¹など)に比較すると、株元で+70～80 μmol・m⁻²・s⁻¹、80 cm切り花の先端で+220～240 μmol・m⁻²・s⁻¹と低い値であるため、自然光が強くなる前の明け方の時間帯に照射した(図1)。CO₂施用は、冬季に比べると夏季の方が800 ppm程度の高濃度での施用時間が短くなった(図2)。

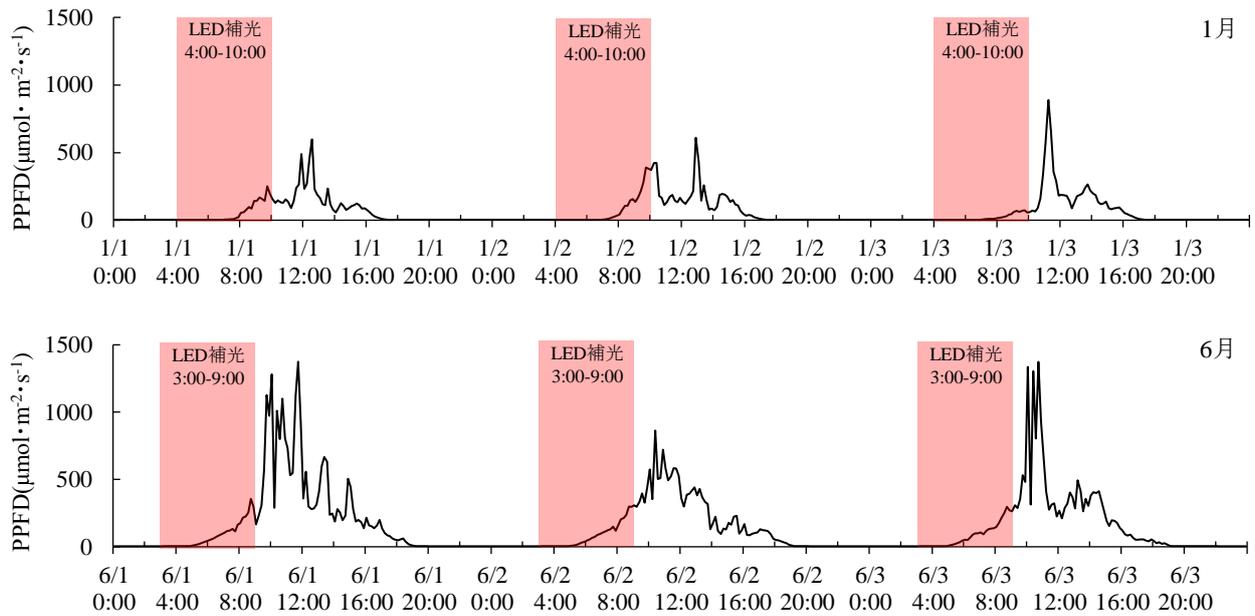


図1 温室内の光合成有効光量子束密度* (上:2021年1月、下:2021年6月、天気:1/1曇り、1/2晴れ時々曇り、1/3曇りのち雨、6/1晴れ、6/2曇り、6/3曇り) *測定した照度からの換算値($y = 0.0183x + 3.77$, $r = 0.942$)
注)LED 補光区では■網掛け部分の時間帯に株元で+70~80、80 cm切り花の先端で+220~240 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となる。

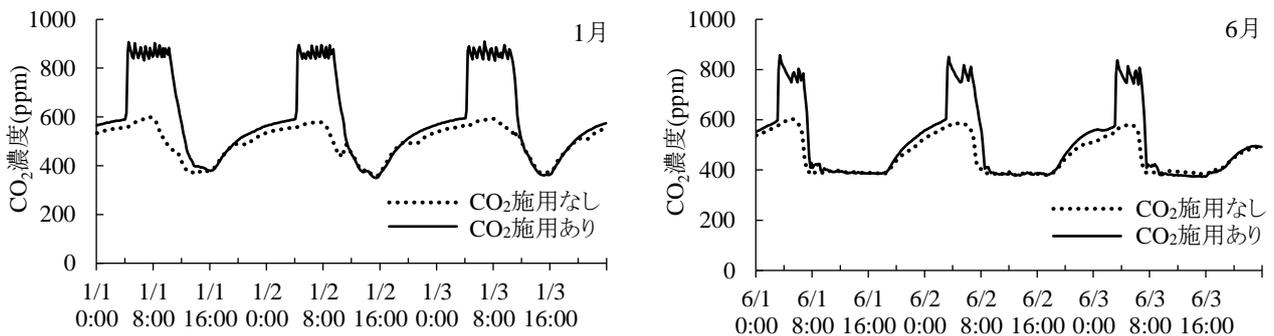


図2 温室内のCO₂濃度
(左:2021年1月、右:2021年6月、天気:1/1曇り、1/2晴れ時々曇り、1/3曇りのち雨、6/1晴れ、6/2曇り、6/3曇り)

試験を開始した2020年10月25日から2022年1月2日までの1年以上の期間のうち、8回の収穫ピークがあった(収穫ピークごとに一番花から八番花とする)。三番花から六番花まで、LED+CO₂区で対照区に比べて収穫時期が前進する傾向だったが、七番花、八番花では収穫ピークが不明瞭となり、LED補光による収穫時期の前進効果は年間を通すと明確ではなかった(図3)。

時期別収穫本数は、四番花以降に試験区間の差が大きくなり、CO₂施用の有無にかかわらずLED照射を実施した区での増収が認められた。夏季高温期である8月2日から9月12日までに収穫した六番花では、70 cm以上の上位階級の収穫本数は増加せず、70 cm未満の中位~下位階級の切り花が増加した(図4、70 cm以上を上位階級、50~70 cm未満を中位階級、50 cm未満を下位階級とする)。

試験期間中の階級別収穫本数は、LED+CO₂区で可販階級である50 cm以上が1プランター5株あたり139本と、対照区の104本に比べて34%増となり、CO₂施用のみ、LED補光

のみの処理よりも増収率が高かった。LED補光区は対照区に比べて14%増であったが、CO₂施用区は3%増に留まった。LED+CO₂区の増収分を階級別にみると、上位階級から下位階級まで、ほぼ均等に増加していた(図5)。

(2)「サムライ08」

収穫日は、LED+CO₂区の四番花から六番花において対照区に比べて収穫時期が前進する傾向であったが、周年では収穫時期の前進効果は判然としなかった(図6)。

時期別収穫本数は、四番花以外ではLED+CO₂区が他の区より多かった。階級別にみても各階級同程度の割合で増加する傾向であった。夏季高温期の収穫物である六番花ではLED+CO₂区でも80 cm以上の収穫本数は増えなかったが、70 cm以上の収穫本数は対照区に比べて多い傾向であった。また、秋口の収穫物である七番花ではLED+CO₂区よりLED補光区の方が70 cm以上の収穫本数が多い傾向であった(図7)。

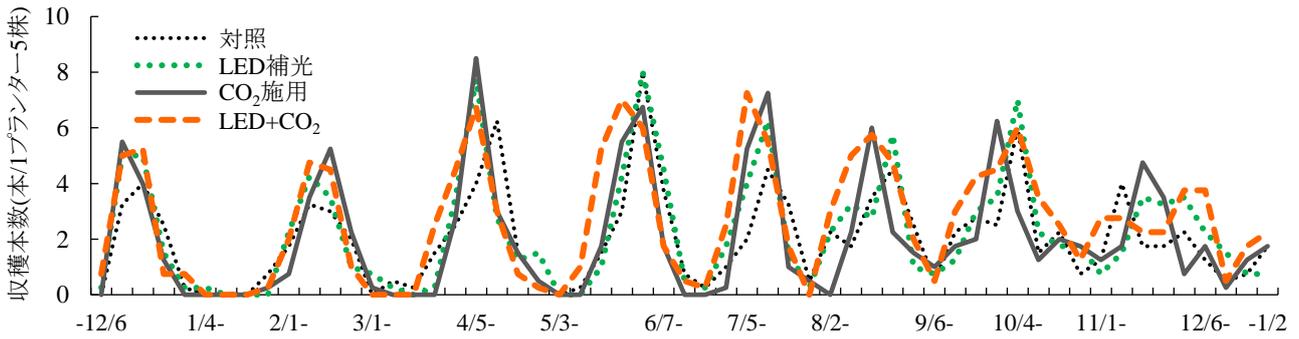


図3 LED補光とCO₂施用が「ブロッサムピンク」の収穫日に及ぼす影響
(2020年12月6日から2022年1月2日まで、1週間単位)

注) 収穫ピークごとに一番花から八番花(一番花: 12/6~1/10、二番花: 1/25~3/7、三番花: 3/8~5/2、四番花: 5/3~6/20、五番花: 6/21~8/1、六番花: 8/2~9/12、七番花: 9/13~10/31、八番花: 11/1~1/2)とした。

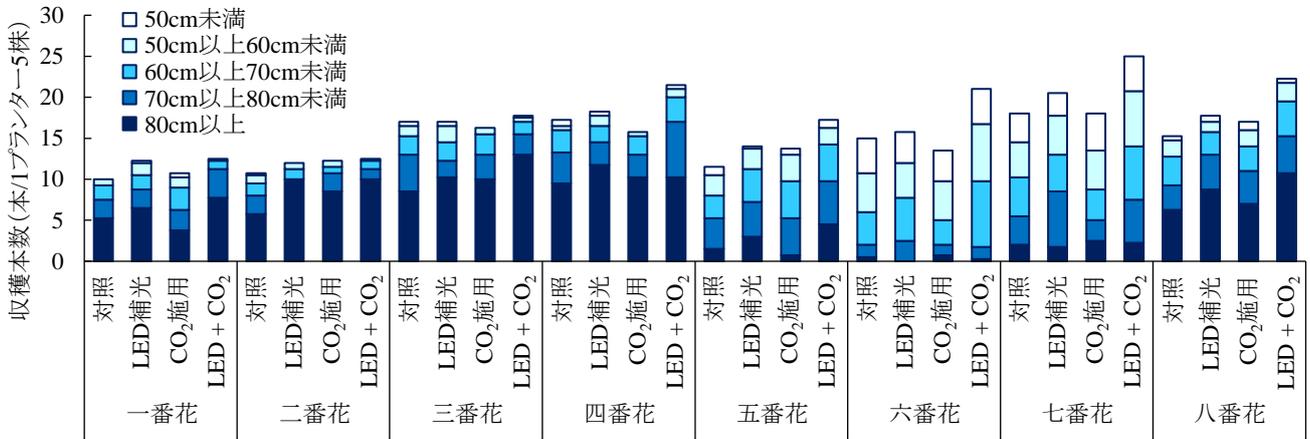


図4 LED補光とCO₂施用が「ブロッサムピンク」の時期別収穫本数に及ぼす影響

注) 五番花又は六番花で1株あたり1本(50~70 cmの枝)同化専用枝として折り曲げた。

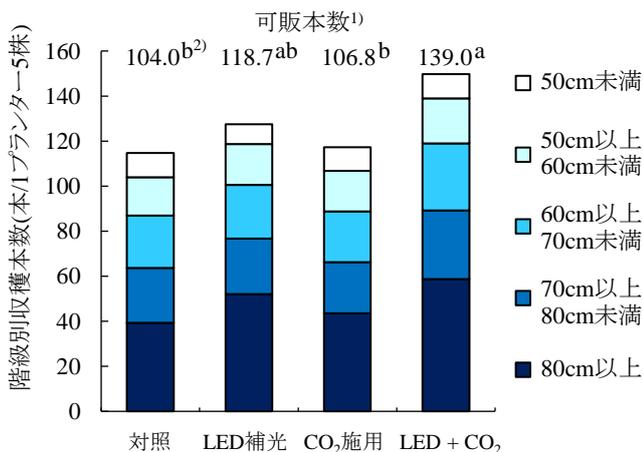


図5 LED補光とCO₂施用が「ブロッサムピンク」の階級別収穫本数に及ぼす影響

(2020年12月6日から2022年1月2日まで)

- 1) 50 cm 以上の可販本数(1プランター5株あたり本数の平均値、4プランター供試)
- 2) 異符号間に Tukey の多重検定で5%水準の有意差あり

階級別収穫本数は、LED+CO₂区で可販階級である50 cm以上が1プランター5株あたり129.7本と、対照区に比べて39%増となった(図7)。LED+CO₂区の増収分を階級別にみると、「ブロッサムピンク」と同様に上位階級から下位階級まで、ほぼ均等に増加した(図8)。

2 短時間のLED補光とCO₂施用が切り花品質及び販売額に及ぼす影響

(1)「ブロッサムピンク」

切り花品質は、試験区間に周年を通してみられた差はなかった。切り花長を詳細にみると、二番花のLED+CO₂区が対照区より有意に長くなった一方で、LED+CO₂区とCO₂施用区と比較すると、増収率の高い四番花、六番花、七番花、八番花でLED+CO₂区の方が短い傾向がみられた。また、切り花重や70 cm調整重においても、ほとんどの場合において、試験区間に有意な差は認められなかったが、一部、五番花の切り花重におけるCO₂施用区、三番花の70 cm調整重におけるLED+CO₂区が、対照区より有意に軽かった(表1)。

1プランター5株あたりの切り花総重量では、周年でLED+CO₂区が重い傾向であった。また、CO₂施用区の切り花総重量は、全般的に対照区より軽い傾向であった。1プランター5

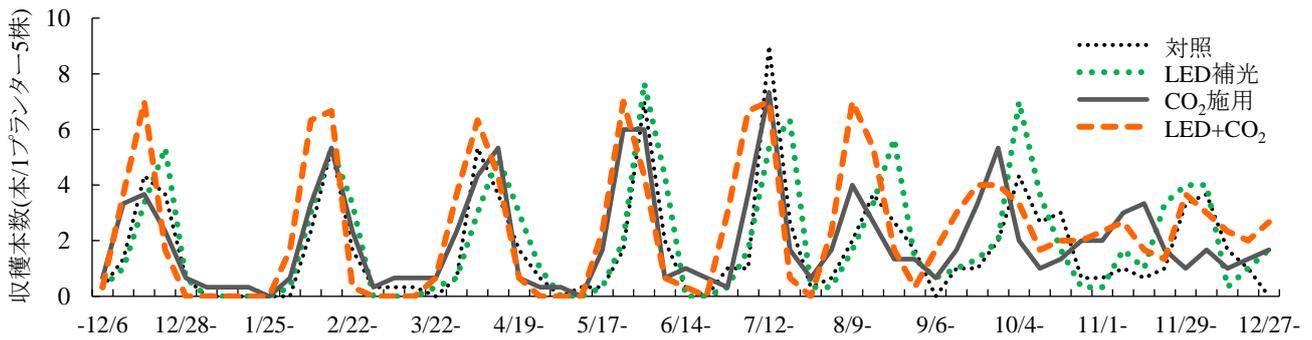


図6 LED 補光と CO₂施用が「サムライ08」の収穫日に及ぼす影響
(2020年12月6日から2022年1月2日まで、1週間単位)

注)収穫ピークごとに一番花から八番花(一番花:12/6~1/24、二番花:2/1~3/7、三番花:3/8~5/9、四番花:5/10~6/20、五番花:6/21~8/1、六番花:8/2~9/12、七番花:9/13~10/24、八番花:10/25~1/2)とした。

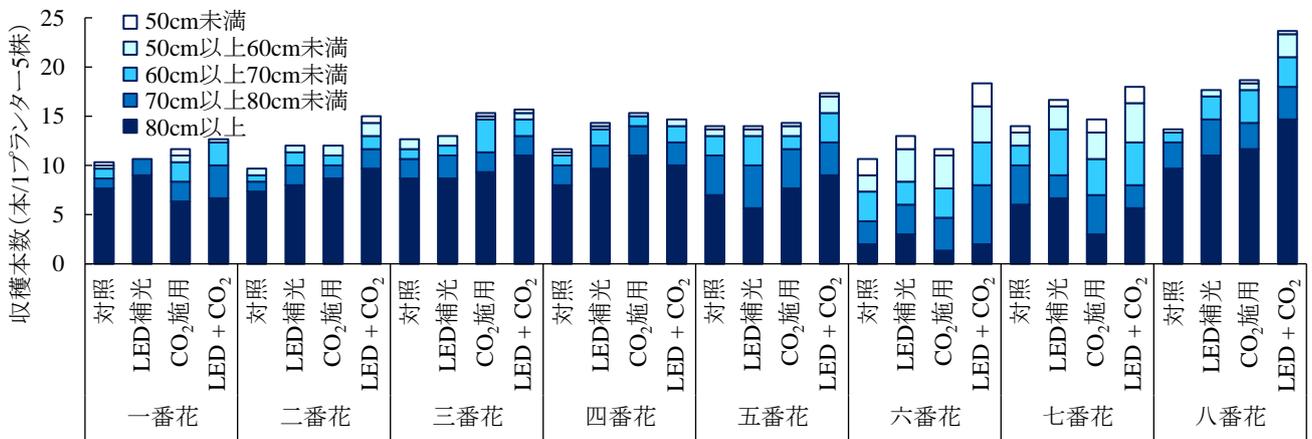


図7 LED 補光と CO₂施用が「サムライ08」の時期別収穫本数に及ぼす影響
注)五番花又は六番花で1株あたり1本(50~70 cmの枝)同化専用枝として折り曲げた。

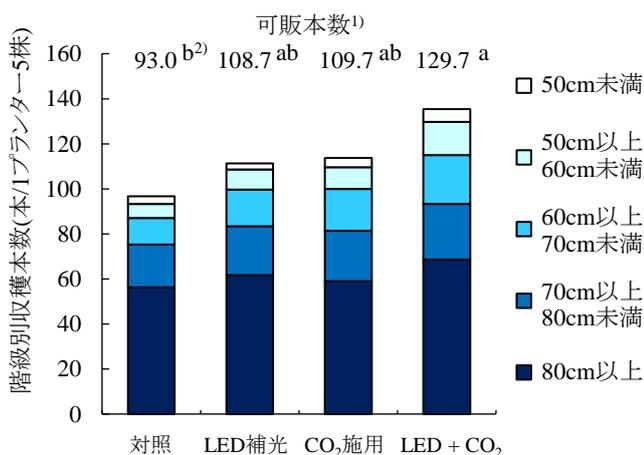


図8 LED 補光と CO₂施用が「サムライ08」の階級別収穫本数に及ぼす影響
(2020年12月6日から2022年1月2日まで)

- 1) 50 cm 以上の可販本数(1プランター5株あたり本数の平均値、4プランター供試)
- 2) 異符号間に Tukey の多重検定で5%水準の有意差あり

株あたりの推定販売額の試算では、LED+CO₂区が高い傾向がみられ、合計で対照区より3484円高かった。五番花、八番花の推定販売額はLED+CO₂区が対照区より1.5倍以上高くなり、上位階級の収穫本数が対照区より明確に増えた時期に販売額が増加する傾向であった(表1)。

概算葉面積は、日射量が増大する2月から4月の収穫物にあたる二番花及び三番花で広く、高温の影響で到花日数が短くなる6月から10月の収穫物にあたる五番花から七番花で狭かった。季節による変動は大きいですが、試験区間のCO₂施用の有無、LED補光の有無に注目すると、ほぼ同程度の面積だったと言える。一方で、SPAD値は、LED補光を実施した区が実施しなかった区より有意に高く(葉の緑色が濃く)となり、特に夏季高温期の収穫物にあたる六番花ではLED補光を実施した区は数値を維持していたのに対し、実施しなかった区は有意に低い値となった(葉の緑色が薄くなった)(図9、10)。

(2)「サムライ08」

切り花品質は、「ブロッサムピンク」と同様に試験区間に周年通してみられた差はなく、試験区、時期を問わず同等の品質であった。また、1プランター5株あたりの切り花総重量では、

表1 LED補光とCO₂施用が「ブロッサムピンク」の切り花品質および推定販売額に及ぼす影響

	試験区	切り花長 ¹⁾	切り花重	70cm調整重 ²⁾	茎径	節数	花高	切り花総重量 ³⁾	推定販売額 ⁴⁾
		(cm)	(g)	(g)	(mm)	(節)	(mm)	(g)	(円)
一番花	対照	80.0 a ⁵⁾	55.4 a	50.5 a	5.7 a	14.9 a	50.9 a	554.1 a	1242
	LED補光	78.4 a	52.9 a	50.6 a	5.3 a	14.8 a	49.9 a	640.2 a	1403
	CO ₂ 施用	75.8 a	51.2 a	51.6 a	5.2 a	13.9 a	48.7 a	539.2 a	1170
	LED+CO ₂	84.5 a	55.6 a	50.4 a	5.6 a	14.9 a	48.9 a	694.5 a	1508
二番花	対照	81.9 b	58.0 a	52.1 a	5.5 a	15.9 a	51.6 a	613.6 a	1189
	LED補光	90.1 ab	62.1 a	52.3 a	5.6 a	16.4 a	51.5 a	745.7 a	1430
	CO ₂ 施用	86.9 ab	58.2 a	49.1 a	5.5 a	16.2 a	50.3 a	712.5 a	1439
	LED+CO ₂	93.7 a	63.2 a	48.6 a	5.7 a	16.8 a	50.3 a	790.1 a	1488
三番花	対照	81.3 a	58.0 a	51.8 a	5.8 a	15.8 a	49.3 a	970.9 a	1848
	LED補光	82.0 a	52.8 a	49.1 ab	5.7 a	15.2 a	49.4 a	879.4 a	1817
	CO ₂ 施用	81.8 a	55.0 a	50.0 ab	5.8 a	15.1 a	47.3 a	893.5 a	1809
	LED+CO ₂	87.1 a	53.2 a	45.9 b	5.7 a	15.9 a	47.6 a	935.8 a	2093
四番花	対照	81.4 a	53.6 a	47.1 a	6.0 a	15.4 a	49.9 a	902.9 ab	1515
	LED補光	81.6 a	49.0 a	43.8 a	5.6 a	15.9 a	44.5 bc	884.5 ab	1623
	CO ₂ 施用	82.6 a	47.9 a	42.7 a	5.7 a	15.1 a	43.0 c	754.8 b	1467
	LED+CO ₂	79.6 a	47.9 a	43.8 a	5.6 a	14.9 a	44.8 b	1017.6 a	1874
五番花	対照	68.1 a	35.0 a	39.2 a	5.5 a	14.7 a	34.2 a	386.7 ab	691
	LED補光	70.4 a	31.1 ab	35.1 a	5.2 a	14.3 a	33.9 a	429.5 ab	963
	CO ₂ 施用	66.6 a	27.0 b	32.2 a	5.0 a	14.1 a	31.7 b	361.1 b	836
	LED+CO ₂	71.9 a	32.8 ab	34.6 a	5.2 a	14.9 a	34.5 a	549.1 a	1188
六番花	対照	61.6 a	32.8 a	45.0 a	5.7 ab	14.0 a	33.2 a	425.5 ab	648
	LED補光	63.3 a	33.2 a	43.0 a	5.9 a	13.5 a	33.7 a	462.6 ab	734
	CO ₂ 施用	62.7 a	29.4 a	39.1 a	5.4 b	13.1 a	33.7 a	348.4 b	603
	LED+CO ₂	60.4 a	28.6 a	40.2 a	5.5 ab	13.2 a	33.8 a	549.6 a	960
七番花	対照	66.4 a	36.7 a	44.3 a	5.4 a	13.9 a	41.2 a	594.0 a	1190
	LED補光	67.9 a	35.9 a	39.4 a	5.5 a	13.3 a	41.8 a	670.9 a	1503
	CO ₂ 施用	66.8 a	34.6 a	42.8 a	5.2 a	13.5 a	41.0 a	538.8 a	1088
	LED+CO ₂	65.9 a	33.7 a	42.2 a	5.2 a	13.4 a	40.6 a	767.5 a	1668
八番花	対照	73.9 a	45.6 a	47.1 a	5.2 a	14.6 a	47.1 ab	688.7 b	1897
	LED補光	78.5 a	47.3 a	46.1 a	5.2 a	14.6 a	47.9 a	836.7 ab	2341
	CO ₂ 施用	76.7 a	43.0 a	43.0 a	4.9 a	14.5 a	45.7 b	706.5 ab	2125
	LED+CO ₂	76.6 a	44.1 a	43.7 a	5.2 a	13.8 a	46.3 ab	957.3 a	2925
合計	対照							5136 ab	10220
	LED補光							5550 ab	11814
	CO ₂ 施用							4855 b	10537
	LED+CO ₂							6262 a	13704

1) 切り花長、切り花重、茎径、節数、花高は50 cm以上の収穫枝の平均値

2) 70 cm調整重は70 cm以上の収穫枝を70 cmに調整した重さ(脱葉なし)の平均値

3) 切り花総重量は、1プランター5株あたりの切り花重の合計の平均値

4) 推定販売額は、1プランター5株あたりの試算額。2020年12月～2021年12月までの東京都中央卸売市場大田市場のバラ(スタンダード)の週ごとの平均価格で算出。平均価格を60 cmの単価とし、70 cm、80 cmは+20円、50 cmは-20円と設定。

5) 同列の異符号間に Scheffe 又は Tukey の多重検定で5%水準の有意差あり

階級別収穫本数の増加の影響を受け、LED+CO₂区が対照区より重い傾向であり、合計で1226 g重かった。「ブロッサムピンク」ではCO₂施用区の切り花総重量が対照区より軽い傾向であったが、「サムライ08」ではその傾向は確認されなかった。1プランター5株あたりの推定販売額の試算においても、

LED+CO₂区が対照区より高い傾向であり、合計で3396円高かった。六番花、八番花の推定販売額はLED+CO₂区が対照区より1.5倍以上高くなり、これは、「ブロッサムピンク」と同様、上位階級の収穫本数が対照区より明確に増えた時期であった(表2)。

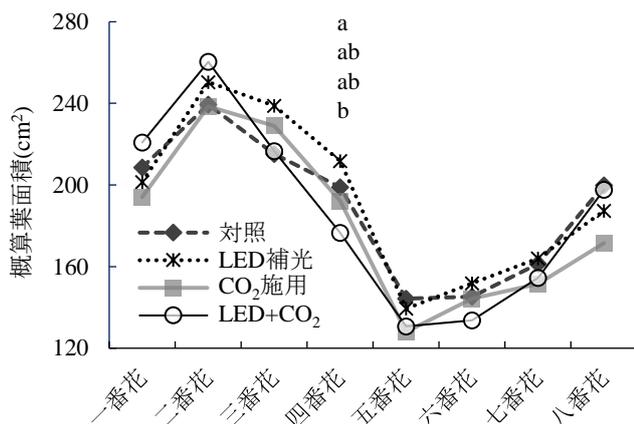


図9 LED補光・CO₂施用と概算葉面積*

*切り花上部から30~40 cmに位置する個葉(葉柄及び小葉すべてを含む)の縦と横の長さを乗じたもの(5枚葉のみ)
注)2020年12月4日から2021年12月6日までの各試験区の50 cm以上収穫物で測定。異符号間に Scheffe の多重検定で5%水準の有意差あり、無印は有意差なし。

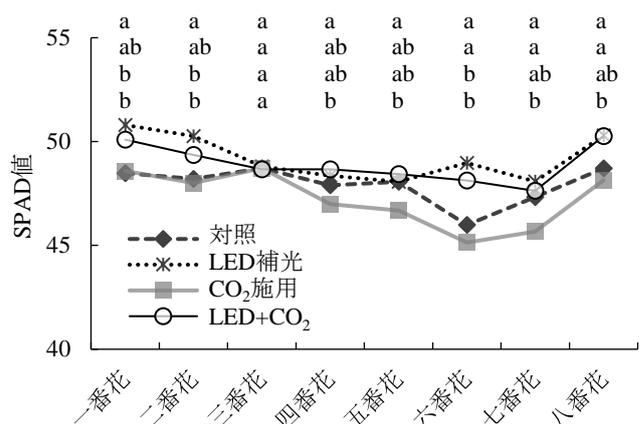


図10 LED補光・CO₂施用と収穫枝の葉のSPAD値

注)2020年12月4日から2021年12月6日までの各試験区の50 cm以上収穫物における、花下3節目、4節目、5節目の葉の中央値平均。同列の異符号間に Scheffe の多重検定で5%水準の有意差あり。

考察

1 短時間のLED補光とCO₂施用が収穫時期・収量に及ぼす影響

今回の調査結果から、6時間という短時間でもLED補光とCO₂施用を併用すると、3割以上の増収が期待でき、LED補光のみ、CO₂施用のみの処理よりも増収効果が高いことが明らかとなった。バラでは、収穫枝の開花前後から次の収穫枝が伸長し始めるまで根やクラウンが、収穫直後には採花母枝(収穫枝が発生する枝)が強いシンクとなり、次の萌芽のために光合成産物を蓄えていると考えられている¹¹⁾。このことを考慮すると、LED補光とCO₂施用の併用による増収効果は、長期間のLED補光とCO₂施用により対照より多くの光合成産物が株に蓄積されたことで萌芽数が増え、結果的に収穫本数が増えたことが要因と推察される。

また、既報⁹⁾において、「サムライ08」及び「アヴァランチュエ+」を用いてLED補光のみを6時間実施した際、6か月の調査では収穫時期が前進する効果があると報告した。しかし、本報のように長期間の継続照射の場合、収穫をし続けることでピークが不明瞭となり、収穫時期の前進効果は明確ではなかった。したがって、LED補光による増収効果は、収穫時期が前進することよりも、長期間の補光処理により光合成産物が株に蓄積される影響の方が大きかったと考えられる。

LED補光とCO₂施用の併用は効果的であるが、「ブロッサムピンク」では、夏季高温期の収穫物である六番花で中位~下位階級の本数が増加し、中位階級では推定販売額があまり増えないことから、この時期の処理方法には課題が残った。夏季は一般的に、切り花長が短くなり、品質が低下しやすく、推定販売額も低下する時期であるため、本試験の結果のみから判断すると、品種によっては夏季のLED補光は不要と考えられる。しかし、根やクラウン、採花母枝に蓄えられ

た光合成産物が次の萌芽の際に利用されるならば、夏季高温期に収穫した切り花が短かったとしてもこの時期のLED補光に意味がないと言い切れるものではない。今後、夏季高温期のLED補光が秋の収穫物に及ぼす影響について、品種間差も含め検討する必要がある。

また、「ブロッサムピンク」ではCO₂施用区は3%の増収に留まり、一般的なCO₂施用より増収率が低かった¹²⁾。これは、CO₂施用をLED照射時間帯に合わせるため、日の出の約3時間前から6時間までの短時間施用であったこと、暗黒下でCO₂施用を実施しても取り込めない可能性があること、「ブロッサムピンク」がCO₂施用の効果の出にくい品種である可能性があることなどが考えられる。ただし、上述のような特殊な試験条件であったため、本試験からはCO₂単独施用の効果の有無は言及できない。

2 短時間のLED補光とCO₂施用が切り花品質及び販売額に及ぼす影響

切り花品質は、「ブロッサムピンク」「サムライ08」ともに試験区間に周年を通してみられた差はなく、対照区と同等の品質であった。ただし、「ブロッサムピンク」の三番花の70cm調整重において、LED+CO₂区が対照区より有意に軽かった。これは、日射量が増大する3月8日から5月2日までに収穫した三番花において、増収したLED+CO₂区では給液量が不足していた可能性が考えられる(表1)。LED+CO₂区の切り花総重量において、「ブロッサムピンク」「サムライ08」ともに対照区より有意に重い又は重い傾向にあり、切り花本数の増加とともに切り花総重量も増加したことを考慮すると、LED補光下における施肥については、増収が期待できる本数に応じて給液量を増やすことが妥当と考えられ、今後検討が必要である。

また、「ブロッサムピンク」では、五番花の切り花重にみられるようにCO₂施用区が対照区より軽い傾向であった。これは、四番花、五番花で花高が有意に短く、花が小さく軽かったこ

表2 LED補光とCO₂施用が「サムライ08」の切り花品質および推定販売額に及ぼす影響

	試験区	切り花長 ¹⁾	切り花重	70cm調整重 ²⁾	茎径	節数	花高	切り花総重量 ³⁾	推定販売額 ⁴⁾
		(cm)	(g)	(g)	(mm)	(節)	(mm)	(g)	(円)
一番花	対照	90.2 ab ⁵⁾	57.1 a	46.4 a	4.9 a	16.0 b	48.8 a	586.9 a	1330
	LED補光	95.3 a	62.1 a	47.1 a	5.1 a	16.4 b	49.6 a	662.3 a	1502
	CO ₂ 施用	81.6 b	50.8 a	47.2 a	5.2 a	19.2 a	51.0 a	594.6 a	1316
	LED+CO ₂	82.7 b	50.4 a	45.5 a	5.3 a	17.4 ab	50.1 a	638.5 a	1539
二番花	対照	91.1 a	58.0 a	46.5 a	4.8 a	16.8 a	47.4 a	564.8 a	1131
	LED補光	92.1 a	55.6 a	45.2 a	5.0 a	16.8 a	49.7 a	667.6 a	1396
	CO ₂ 施用	85.8 a	50.5 a	42.5 a	5.2 a	17.7 a	50.0 a	583.8 a	1398
	LED+CO ₂	87.8 a	47.8 a	40.0 a	5.4 a	17.7 a	50.1 a	697.2 a	1667
三番花	対照	91.0 a	56.6 a	45.1 a	5.1 a	16.5 a	47.1 a	712.7 a	1380
	LED補光	92.3 a	61.7 a	48.8 a	5.4 a	16.8 a	48.7 a	802.2 a	1375
	CO ₂ 施用	87.2 a	52.2 a	44.7 a	5.6 a	17.0 a	49.9 a	813.2 a	1725
	LED+CO ₂	91.6 a	49.9 a	41.0 a	5.5 a	16.8 a	49.2 a	773.0 a	1775
四番花	対照	93.7 a	62.2 a	—	—	—	—	720.3 a	1096
	LED補光	88.4 a	52.4 a	—	—	—	—	746.0 a	1329
	CO ₂ 施用	89.9 a	52.7 a	—	—	—	—	786.4 a	1398
	LED+CO ₂	89.7 a	60.3 a	—	—	—	—	884.2 a	1315
五番花	対照	81.5 a	37.4 a	32.3 a	5.0 a	16.3 a	40.8 a	515.2 a	1057
	LED補光	78.2 a	36.1 a	34.5 a	5.2 a	16.1 a	39.7 a	499.2 a	996
	CO ₂ 施用	80.6 a	35.5 a	31.5 a	5.1 a	16.5 a	40.0 a	502.9 a	1090
	LED+CO ₂	81.4 a	38.8 a	36.5 a	5.3 a	16.9 a	40.4 a	664.9 a	1304
六番花	対照	69.7 a	28.2 a	30.5 a	4.9 a	14.5 a	40.9 a	277.4 a	642
	LED補光	68.5 a	29.6 a	35.4 a	4.7 a	14.4 a	39.6 a	362.8 a	847
	CO ₂ 施用	66.9 a	26.0 a	30.5 a	5.1 a	14.9 a	40.4 a	294.1 a	703
	LED+CO ₂	67.5 a	29.0 a	33.5 a	5.0 a	14.3 a	39.5 a	497.5 a	1066
七番花	対照	77.6 a	35.7 a	34.6 a	4.9 a	14.3 a	43.8 a	486.5 a	1199
	LED補光	75.1 a	34.6 a	37.3 a	4.8 a	14.5 a	43.0 a	561.8 a	1367
	CO ₂ 施用	69.9 a	29.8 a	33.3 a	4.9 a	14.8 a	44.9 a	413.0 a	1140
	LED+CO ₂	71.1 a	33.3 a	39.9 a	5.1 a	15.4 a	44.7 a	568.7 a	1385
八番花	対照	88.0 a	44.1 a	37.6 a	5.1 a	15.8 a	47.7 a	715.4 b	1968
	LED補光	86.3 a	43.5 a	38.6 a	5.1 a	16.9 a	47.5 a	768.8 a	2464
	CO ₂ 施用	87.8 a	45.6 a	39.8 a	5.0 a	16.7 a	47.7 a	840.8 a	2449
	LED+CO ₂	84.7 a	45.9 a	41.6 a	5.2 a	16.9 a	48.0 a	1080.4 a	3148
合計	対照							4579 b	9802
	LED補光							5071 ab	11276
	CO ₂ 施用							4829 ab	11220
	LED+CO ₂							5805 a	13198

- 1) 切り花長、切り花重、茎径、節数、花高は50 cm以上の収穫枝の平均値、四番花は一部データ欠測
- 2) 70 cm調整重は70 cm以上の収穫枝を70 cmに調整した重さ(脱葉なし)の平均値、四番花は欠測
- 3) 切り花総重量は、1プランター5株あたりの切り花重の合計の平均値
- 4) 推定販売額は、1プランター5株あたりの試算額。2020年12月～2021年12月までの東京都中央卸売市場大田市場のバラ(スタンダード)の週ごとの平均価格で算出。平均価格を60 cmの単価とし、70 cm、80 cmは+20円、50 cmは-20円と設定。
- 5) 同列の異符号間に Scheffe 又は Tukey の多重検定で5%水準の有意差あり

となどが影響していると推測される。四番花、五番花の生育は、18℃設定の暖房が終了し、25℃設定で換気する時期にあたる。本試験では、CO₂施用の時間を3月～9月は午前3時～9時、濃度を25℃以上で450 ppm、25℃未満では800 ppmと高濃度にしてきたことから、CO₂施用区では、バラにとって

は若干高めの日夜温度となる25℃換気条件で暗黒下の時間帯にも高濃度CO₂施用が実施されていた。CO₂施用の処理方法について、本試験ではLED補光との併用効果を純粋に調査するために、時間や施用条件を上述のように設定したが、実際の生産現場では暗黒下でCO₂施用される株が多く発生

しないように変更するとよいと考える。また、この結果は夜間のCO₂濃度と温度管理が生育や品質に影響を及ぼす可能性を示唆しており、今後詳細な検討が必要である。なお、「サムライ08」ではCO₂施用区でも切り花品質に有意な違いはみられず、CO₂施用に対する反応の品種間差が影響している可能性が示唆された。

概算葉面積とSPAD値について1年を通して調査したところ、概算葉面積は季節による変動は大きい、試験区間のCO₂施用の有無、LED補光の有無に注目すると、ほぼ同程度であったのに対し、SPAD値は季節による変動は小さいが、LED補光により有意に高い値となった。群落の光合成速度等を測定していないため推測しかできないが、6時間という短時間の処理でも、CO₂施用とLED補光により光合成産物が増加し、葉面積には影響しないものの、葉色の濃さに影響していたと考えられる。CO₂施用による増収効果は品種間差が大きいことが知られている¹³⁾が、以上の結果から、CO₂施用のみでは効果が小さかった品種でも、LED補光を併用することで光合成産物の蓄積量が増加し、増収につながる事が期待される。

3 ランニングコストと経済性における課題

本試験における技術導入の経済性を考察するため、ランニングコストを算出した。試験期間中のLED補光に要した電気料金は1プランター5株あたり14か月で2021円(中部電力(株)「低圧季節別時間帯別電力契約」により算出)、CO₂施用の燃料費は、1プランター5株あたり14か月で154.7円(100 m²温室90プランター設置、1 Lあたり69.6円の場合)、合計2175.7円であった。表1,2に示したとおり、試験期間中のLED+CO₂区と対照区の推定販売額の差額は「ブロッサムピンク」で3484円、「サムライ08」で3396円であったことから、電気料金と燃料費を上回る試算となった。本試験では、試験区内の株に均等に補光することを重視して2プランターに1台という密度の高い設置方法であったが、ランニングコストに関してはLED+CO₂区で収支が向上することがわかった。ただし、電気料金、燃料費だけでなく切り花の単価も近年大きく変動しており、それに伴い試算結果は変わると思われる。さらに、高輝度LEDライトのイニシャルコストは現在まだ高額であるため、1台で補光できる株数や、LEDライトの光を有効活用できる栽植密度や設置位置など、検討すべき項目は多くある。今後、高輝度LEDライトが光を制御できるアイテムの一つとして実用化できるよう、より効率的、効果的な利用方法を検討していく必要がある。

以上の1年以上の長期間における結果から、バラ切り花における短時間のLED補光とCO₂施用の併用は、本県のように冬季に比較的日射量の多い地域においても、対照と同等の品質で3割以上の増収が期待できることが明らかとなった。ただし、調査全期間の合計では各階級はほぼ均等に増収したが、夏季高温期については品種間差が認められたため、当技術の夏季高温期の利用については品種間差も含め今後検討する必要性があることが示唆された。

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. バラ切り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> (2022.10.11参照)
4. さいたまの花普及促進協議会. ばら切り花の生産性向上に向けたLED補光マニュアル.(2020)
http://park10.wakwak.com/~sai-hana29/033innovation/r02/manual/R02_B8.pdf (2022.10.11参照)
5. 犬伏加恵, 和田朋幸, 新井和俊, 二村幹雄. 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. *愛知農総試研報*. 53, 199-202(2021)
6. 犬伏加恵, 和田朋幸, 二村幹雄. バラ切り花栽培におけるLED補光の照射位置が収量及び切り花品質に及ぼす影響. *園学研*. 20(別2), 383(2021)
7. 林 勇編著. 切り花栽培の新技術. バラ上巻. 誠文堂新光社. 東京. p.86-97(1990)
8. 田中千恵, 林 勇, 水野信義, 山崎和雄, 山田尚雄. 神奈川県における温室バラの炭酸ガス施用に関する研究. *神奈川県園芸試験場研究報告*. 41, 7-17(1991)
9. Aung Htay Naing, Su Min Jeon, Jun Seong Park and Chang Kil Kim. Combined effects of supplementary light and CO₂ on rose growth and the production of good quality cut flowers. *Canadian Journal of Plant Science*. 96(3), 503-510(2016)
10. さいたまの花普及促進協議会. ばら切り花の生産性向上に向けたLED補光・循環扇活用マニュアル. (2018)
<http://park10.wakwak.com/~sai-hana29/033innovation/h29/h29manualbara.pdf> (2022.10.11参照)
11. Chisato Isobe, Shinji Kajihara, Yoshiyuki Tanaka, Ken-ichiro Yasuba, Yuichi Yoshida, Katsuhiko Inamoto, Gen Ishioka, Motoaki Doi, Tanjuro Goto. Effects of Harvest Shoot Stage on Partitioning of Photosynthates Originating from Bent Shoots in the Modified Arching Technique of Cut Rose Production. *The Horticulture Journal* 89(3), 278-283(2020)
12. 貫井秀樹, 外岡 慎, 本間義之. バラにおける換気抑制条件下での炭酸ガス施用の効果. *静岡県農林技術研究所研究報告*. 12, 1-8(2019)
13. 二村幹雄, 津田千織, 朝倉芳則, 大野真奈美, 奥村義秀, 平野哲司. CO₂の効率的施用によるバラ切り花の生産性向上. *園学研*. 12(別1), 513(2013)