明期終了時における遠赤色光照射の光強度および照射時間が スプレーギクの茎伸長に及ぼす影響

島 浩二^{1a*}・宮前治加¹・川西孝秀^{1a}・山田 真²・石渡正紀²・住友克彦³・久松 完³

¹和歌山県農林水産総合技術センター農業試験場 640-0423 紀の川市貴志川町高尾

²パナソニック電工株式会社 571-8686 門真市大字門真

³農業・食品産業技術総合研究機構花き研究所 305-8519 つくば市藤本

Effect of the Irradiance and Duration with Far-Red Light at the End of Day (EOD-FR) on Stem Elongation of Spray Type Chrysanthemum

Kohji Shima^{1a*}, Haruka Miyamae¹, Takahide Kawanishi^{1a}, Makoto Yamada²,
Masaki Ishiwata², Katsuhiko Sumitomo³ and Tamotsu Hisamatsu³

¹Agricultural Experiment Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Kinokawa, Wakayama 640-0423

²Panasonic Electric Works Co., Ltd., Kadoma, Osaka 571-8686

³National Institute of Floricultural Science, Tsukuba, Ibaraki 305-8519

Abstract

The effect of irradiance and duration with far-red (FR) light at the end of the day (EOD-FR) on stem elongation of spray type chrysanthemum was investigated with two cultivars, ‘Sei Prince’ and ‘Remidas’ in order to reduce the growing period for cut flower production. When plants were exposed to FR light for one hour, stem elongation tended to shorten as irradiance decreased from 0.19 to 0.07 W · m⁻². In ‘Remidas’ stem length under weak irradiance (0.07 W · m⁻²) was significantly shorter than that under strong irradiance (0.19 W · m⁻²). When plants were exposed to FR light under weak irradiance (0.06 W · m⁻²), stem elongation tended to be promoted as irradiation time increased from one hour to three hours. It is considered that stem elongation can be promoted under weak FR light irradiance conditions when irradiation time increased. In ‘Sei Prince’ and ‘Remidas’, stem elongation was promoted more than 15% on comparison between plants without treatment and plants exposed to FR light with 0.03 W · m⁻², for two or three hours at the end of the day.

Key Words : flowering, photomorphogenesis, phytochrome

キーワード : フィトクローム, 開花, 光形態形成

緒 言

植物は、光を光合成におけるエネルギーとして利用するだけでなく、光形態形成のためのシグナルとして利用し、その生育制御に役立っている。これまでに、光環境が園芸植物の茎伸長に影響を及ぼすとする報告は数多くあり、その中で赤色光 (R 光) から遠赤色光 (FR 光) を介したフィトクローム反応がよく知られている。R/FR 比が小さい場合、すなわち FR 光が多く含まれる光環境では、茎伸長反応が促進される (Hisamatsu ら, 2002; Khattak ら, 2004; Li ら, 2000; McMahon ら, 1991; 村上ら, 1991; Rajapakse・Kelly,

1992; Rajapakse ら, 1993; 吉村ら, 2002)。近年キクにおいても、R/FR 比の小さい光環境に明期終了後の短時間遭遇させれば草丈が増加すること (Lund ら, 2007)、さらには明期終了時から短時間に FR 光を照射 (以下、EOD-FR) しても顕著な茎伸長促進効果が得られること (Hisamatsu ら, 2008; 清水・久松, 2007; 住友ら, 2009) が示されている。キク生産では、定植後、長日条件下において栄養成長を維持し、一定の草丈を確保した後に、短日条件下に移して開花に至らせる。上述のような EOD-FR 処理により、短日条件下での草丈伸長を促進することが可能になれば、草丈確保のために必要な栄養成長期間の短縮が図られ、施設回転率の向上につながる事が期待できる。

筆者らは、EOD-FR 処理によるスプレーギクの効率的な茎伸長促進技術の開発に着手しており、温室での栽培条件下において、明期終了時 (日没後) から短時間の FR 光を照射することで、茎伸長を容易に促進できること、また、その効果は暗期中断を行う栄養成長期よりも短日条件での

2010 年 8 月 12 日 受付。2010 年 11 月 17 日 受理。

本研究は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において行われた。

* Corresponding author. E-mail: shima_k0006@pref.wakayama.lg.jp

^a現在: 和歌山県農林水産総合技術センター農業試験場暖地園芸センター 644-0024 和歌山県御坊市塩屋町南塩屋

生殖成長期において高いことを明らかにした(島ら, 2009)。しかしながら, 施設栽培条件下において茎伸長の促進に有効な FR 光の光強度に関する知見は少なく, より効率的な照射方法を明らかにするには, 光強度および照射時間を含めた処理方法を検討する必要がある。特に, 実際の施設栽培環境において EOD-FR 処理を実施するためには, 顕著な茎伸長の促進効果が得られる光強度の下限値を推察することが望まれる。そこで本研究では, 光強度ならびに照射時間がスプレーギクの茎伸長に及ぼす影響を調査し, これらの効率的な照射方法の検討を行った。

材料および方法

各実験とも, 材料にはスプレーギク ‘セイプリンス’ および ‘レミダス’ を用いた。砂上げ育苗を行った発根苗をプランター(長さ 65 cm × 幅 25 cm × 深さ 18 cm)に 10 本ずつ定植し, 無摘心栽培とした。1 処理区当たり 20 株を供試した。培地にはピートモス: パーライト: 鹿沼土: マサ土を 5:3:1:1 の体積比で混合したものをを用い, プランター当たり 10 L を充填した。肥料として, N:P₂O₅:K₂O を 14:12:14 の割合で含んだ緩効性の被覆複合肥料を, 株当たり 1.5 g 与えた。定植後, EOD-FR 処理開始までは 3 波長型蛍光灯(EFD25EL/22, 松下電工)による深夜 4 時間(22:00 ~ 2:00)の暗期中断を行い, その後, EOD-FR 処理を開始した。EOD-FR 処理時の光源には, フィルタにより 600 nm 以下の光をカットした松下電工株式会社製の試作遠赤色光蛍光灯(第 1 図, R: 600~700 nm, FR: 700~800 nm の R/FR 比は放射照度で 0.06)を用いた。また, 照射時間の制御には, 年間の日の出および日の入時刻がプログラミングされ, それらの時刻に応じて自動的に on/off の制御を行うタイムスイッチ(TB445101, 松下電工)を用いた。光強度の設定時には, 放射照度測定センサ(LP471RAD, デルタオーム)およびデータロガー(HD2102.2, デルタオーム)を用いて放射照度を測定し, その調整を行った。栽培は, 日最低気温を 16°C 以上に維持したガラス温室内で行った。

1. EOD-FR 処理時の光強度が茎伸長に及ぼす影響(実験 1)

2007 年 11 月 13 日に挿し芽し, その発根苗を 11 月 27 日にプランターへ定植した。12 月 28 日に暗期中断を打ち切るとともに, EOD-FR 処理を開始した。光照射時間を日の入り時刻から 1 時間とし, 照射時の光強度をプランター上部で① 0.07 W・m⁻², ② 0.13 W・m⁻², ③ 0.19 W・m⁻² となるように設定した。また, 併せて FR 光照射を行わない④無処理区を設けた。EOD-FR 処理は 4 週間とし, 処理終了後の草丈および節数について調査した。

2. EOD-FR 処理時の照射時間が茎伸長に及ぼす影響(実験 2)

2008 年 9 月 18 日に挿し芽し, 10 月 2 日に定植した。10 月 24 日に暗期中断を打ち切るとともに, EOD-FR 処理を開始した。照射時の光強度を 0.06 W・m⁻² とし, 照射時間を日の入り時刻から① 1 時間, ② 3 時間, ③ 5 時間とする区

第 1 図 本実験に用いた遠赤色光光源の分光放射特性
エネルギーの最大値を 1.0 として表示

ならびに④無処理区を設けた。EOD-FR 処理は 4 週間とし, 処理終了後の草丈および節数について調査した。

3. EOD-FR 処理時の照射時間と光強度が茎伸長に及ぼす影響(実験 3)

2008 年 12 月 15 日に挿し芽し, 12 月 29 日に定植した。2009 年 1 月 29 日に暗期中断を打ち切るとともに, FR 光照射を開始した。照射時の光強度を 0.03 W・m⁻² とし, 照射時間を① 1 時間, ② 2 時間, ③ 3 時間, ④ 4 時間とする区ならびに⑤光強度を 0.19 W・m⁻² とし, 照射時間を 1 時間とする区を設定した。また, ⑥無処理区を併せて設けた。EOD-FR 処理は開花に至るまで実施し, 処理 4 週間後の茎の伸長量, 開花日ならびに切り花の形質について調査を行った。施肥は基肥の他に, 追肥として 2 月 9 日, 2 月 19 日および 3 月 2 日に窒素濃度で 300 ppm とした液肥を灌水代わりに与えた。

結 果

1. EOD-FR 処理時の光強度が茎伸長に及ぼす影響(実験 1)

EOD-FR 処理期間中の茎の伸長量を第 2 図に示した。‘セイプリンス’ および ‘レミダス’ とも, EOD-FR 処理を行ったすべての区において, 無処理区と比較して有意に伸長量が増加した。‘セイプリンス’ では, EOD-FR 処理を実施した場合の光強度にかかわらず茎伸長量は同等となり, 処理区間に有意な差は認められなかった。一方, ‘レミダス’ では, EOD-FR 処理時の光強度が弱くなるにつれて茎伸長量は小さくなる傾向にあり, 0.07 W・m⁻² 区における茎伸長量は 0.19 W・m⁻² 区の 86% となり, 有意に小さくなった。また, 処理終了時の節数は, 0.07 W・m⁻² 区, 0.13 W・m⁻² 区, 0.19 W・m⁻² 区, 無処理区の順に, ‘セイプリンス’ では 38.5, 37.1, 37.1, 37.6, ‘レミダス’ では 37.4, 36.6, 37.8, 36.5 であり, 両品種とも処理区間に有意差は認められなかった。

2. EOD-FR 処理時の照射時間が茎伸長に及ぼす影響(実験 2)

EOD-FR 処理期間中の茎の伸長量を第 3 図に示した。両品種とも, EOD-FR 処理を行ったすべての区において, 無処理区と比較して有意に伸長量が増加した。‘セイプリンス’ では, EOD-FR 処理を実施したすべての区の茎伸長量は同等となり, 処理区間に有意な差は認められなかった。

第2図 EOD-FR 処理時の光強度がスプレーギクの茎伸長に及ぼす影響 (実験1)

照射時間は1時間

^z 同一品種内の同じアルファベット文字間には, Tukey の検定により 5% レベルで有意差なし

第3図 EOD-FR 処理時の照射時間がスプレーギクの茎伸長に及ぼす影響 (実験2)

放射照度は $0.06 W \cdot m^{-2}$ ^z 同一品種内の同じアルファベット文字間には, Tukey の検定により 5% レベルで有意差なし

第4図 EOD-FR 処理時の照射時間と光強度がスプレーギクの茎伸長に及ぼす影響 (実験3)

^z 同一品種内の同じアルファベット文字間には, Tukey の検定により 5% レベルで有意差なし

一方, 'レミダス' では, 照射時間を3または5時間とした時の茎伸長量は, 1時間の伸長量よりも大きくなった。また, 処理終了時の節数は, 1時間区, 3時間区, 5時間区, 無処理区において, 'セイプリンス' ではそれぞれ 35.0, 35.0, 34.5, 35.4, 'レミダス' では 37.0, 36.4, 36.6, 36.3 となり, 両品種とも処理区間に有意差は認められなかった。

3. EOD-FR 処理時の照射時間と光強度が茎伸長に及ぼす影響 (実験3)

EOD-FR 処理4週間後の茎の伸長量を第4図に示した。

光強度が $0.03 W \cdot m^{-2}$ の場合, 両品種とも照射時間が長くなるにつれて茎伸長は促進される傾向にあり, 2時間以上のFR照射を実施することで, 1時間照射の時よりも茎伸長量は有意に大きくなった。'セイプリンス' では, 光強度を $0.03 W \cdot m^{-2}$ とし, 2時間以上のFR照射を行った時の茎伸長量は, 光強度を $0.19 W \cdot m^{-2}$ として1時間の照射を実施した時のものと同等となった。また, 'レミダス' では, 強度を $0.03 W \cdot m^{-2}$ とし, 3時間以上のFR照射を行った時の茎伸長量が, 光強度 $0.19 W \cdot m^{-2}$ で1時間の照射を行った

第1表 EOD-FR 処理時の照射時間と光強度がスプレーギクの開花および切り花の形質に及ぼす影響 (実験3)

品種	照射時間	光強度	到花日数 ^z (日)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	節数 (節)	茎径 ^y (mm)	花序数 ^x	舌状花数 ^w	管状花数 ^w
セイプリンス										
	無処理		49 a ^v	83.5 c	71.3 a	41.3 a	5.2 a	11.1 a	19.2 a	150.0 a
	1 時間	0.03 W・m ⁻²	49 a	88.8 b	67.4 a	41.0 a	5.0 a	10.4 a	19.7 a	155.9 a
	2 時間	0.03 W・m ⁻²	49 a	93.9 a	68.1 a	40.3 a	5.1 a	9.8 a	19.0 a	150.1 a
	3 時間	0.03 W・m ⁻²	49 a	98.2 a	67.5 a	41.4 a	5.1 a	10.1 a	19.3 a	151.0 a
	4 時間	0.03 W・m ⁻²	48 a	95.2 a	66.2 a	41.1 a	5.0 a	10.3 a	18.8 a	153.6 a
	1 時間	0.19 W・m ⁻²	50 a	96.6 a	70.7 a	41.0 a	5.1 a	10.3 a	19.5 a	157.6 a
レミダス										
	無処理		53 a	98.8 c	73.1 a	39.5 a	5.2 a	11.6 a	22.3 a	246.1 a
	1 時間	0.03 W・m ⁻²	52 a	103.3 b	75.4 a	39.8 a	5.3 a	12.8 a	21.6 a	245.8 a
	2 時間	0.03 W・m ⁻²	51 a	104.3 b	76.0 a	39.8 a	5.3 a	13.4 a	22.3 a	242.8 a
	3 時間	0.03 W・m ⁻²	52 a	108.3 a	73.9 a	39.5 a	5.0 a	11.8 a	23.0 a	262.7 b
	4 時間	0.03 W・m ⁻²	52 a	107.9 a	74.5 a	40.4 a	5.0 a	12.1 a	23.0 a	241.3 a
	1 時間	0.19 W・m ⁻²	52 a	109.4 a	77.4 a	39.1 a	5.2 a	11.6 a	22.1 a	251.4 a

^z暗期中断打ち切り日からの日数^y下位から 25 ～ 26 節目の間^x切り花時の舌状花に着色が認められた花序の数^w上位 3 花序における平均値^v同一品種内の同じアルファベット文字間には、Tukey の検定により 5% レベルで有意差なし

ものと同等となった。

切り花長は、光強度が 0.03 W・m⁻² の場合には、照射時間が長くなるにつれて長くなる傾向にあり、‘セイプリンス’では 2 時間以上の FR 照射、‘レミダス’では 3 時間以上の FR 照射を行った時に、光強度を 0.19 W・m⁻² として 1 時間の照射を実施した時の切り花長と同等となった (第 1 表)。また、両品種とも切り花重、節数および茎径は、処理にかかわらず同等であった。到花日数は各区とも同様であり、FR 光照射による開花の遅れは観察されなかった。また、舌状花数は両品種とも各区同等であった。管状花数は、‘セイプリンス’では各区とも同等であり、‘レミダス’では光強度 0.03 W・m⁻² で 3 時間照射を行った場合を除いて、処理区間に差は認められなかった。また、花序数は両品種とも処理にかかわらず同等であった。

考 察

これまでに、FR 光照射と植物の応答反応との関係は多くの植物において調査されており、FR 光照射がキクの茎伸長を促進するとの報告も多い (Hisamatsu ら, 2008; 清水・久松, 2007; 住友ら, 2009)。しかしながら、これらの報告で処理された光強度は、地表面で 0.24 W・m⁻² あるいは植物体生長点付近で 10 W・m⁻² と高いものであり、実際の生産現場において、このレベルの光強度の FR 光を照射することは困難であると判断される。また、これまでに茎伸長に有効な光強度を明らかにしようとした報告は見あたらない。そこで、本研究では、光強度および照射時間に関する効率的な照射方法について検討を行った。

実験 1 において、FR 光の照射時間が 1 時間の場合、光強度が弱くなるにつれて茎の伸長程度が小さくなる傾向が認

められ、‘レミダス’では 0.07 W・m⁻² における茎伸長量は 0.19 W・m⁻² のものよりも有意に小さくなり、‘セイプリンス’でも 0.07 W・m⁻² の伸長量は小さくなる傾向にあった。FR 光強度と茎の伸長程度の関係について、吉村ら (2006) はストックにおいて、光強度が弱くなると節間長が短くなったことを報告している。また、同様の反応を岸本ら (2009) もトルコギキョウにおいて報告しており、本実験の結果と一致した。一方、実験 2 においては、0.06 W・m⁻² の弱い光強度でも、照射時間が長くなると茎の伸長程度が大きくなる傾向が認められ、‘レミダス’では照射時間が 3 時間の場合には 1 時間の場合よりも伸長量は増加した。佐藤ら (2009) は、照射時間が長くなると茎の伸長が促進されることをトルコギキョウにおいて報告している。これらのことから、光強度が弱くても照射時間を長くすることにより、茎伸長量を確保できるものと考えられた。現段階では、FR 光源は高価であることから、EOD-FR 処理の生産現場への導入を図るためには、できるだけ少ない光源数での処理が可能であることが望ましく、より弱い光強度における照射方法の検討が必要と考えられる。そこで、実験 3 において、顕著な茎伸長の促進効果が得られる光強度の下限値を推察するため、光強度および照射時間の関係から効率的な処理方法の検討を行った。その結果、0.03 W・m⁻² の弱い光強度においても、照射時間を 2 ～ 3 時間とすることで十分な茎伸長を確保できた。

キクの茎伸長に関しては、EOD-FR 処理による促進効果 (清水・久松, 2007) ならびにこの効果におけるフィトクロームとジベレリンの関与 (Hisamatsu ら, 2008) が報告されている。これらのことから、本実験で認められたスプレーギクの草丈の伸長促進についても、フィトクロームを介し

た伸長反応に基づいた現象であると推察される。EOD-FR 処理による伸長促進は、フィトクローム分子種のうち、光の明暗に左右されず安定的に存在する phyB タイプを介した反応であり、典型的な R/FR 可逆反応を示す (Hisamatsu ら, 2005)。フィトクローム反応は、その反応に必要な光量によって区別され、超低光量反応、低光量反応、高照射反応の3つに分かれる。このうち、低光量反応は典型的な R/FR 可逆反応を示すことから、EOD-FR 処理による茎伸長は低光量反応に相当すると考えられており、この反応では相反則が成り立つ (篠村, 2001)。すなわち、反応程度は、光強度と照射時間の2つの要因によって決定され、光受容体で捕獲した光エネルギーの総量と相関がみられる。本研究においても、強い光 ($0.19 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) のもとでは短時間 (1 時間) の照射によっても十分な伸長効果が認められ、弱い光 ($0.03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) のもとではより長い時間 (2 ~ 3 時間) の照射が必要であった。このことから、本研究における光強度と照射時間の関係も、相反則に属するものと推察される。一方、実験 1 の‘セイプリンス’において、光強度が一定以上に強くなった場合や、実験 2 において照射時間が 3 時間から 5 時間に長くなった場合、あるいは実験 3 において照射時間が 3 時間から 4 時間に長くなった場合には、茎の伸長量に差は認められなかった。また、筆者らは別の実験において、光強度 $0.19 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の FR 光を 1 時間以上照射しても茎伸長量に差がないことを観察している (データ略)。フィトクロームは、上述のように光可逆性を示し、R/FR 比の光環境条件に応じて R 光吸収型 (Pr 型) と FR 光吸収型 (Pfr 型) の2つの吸収タイプによる光平衡状態が保たれる。光変換を飽和させる量の FR 光が照射されると、Pfr 型のほとんどは Pr 型に変換された状態で光平衡状態に達し、Pr 型と Pfr 型の割合は 97% と 3% になるとされている (Silverthorne, 2004)。このため、本研究においても、一定以上に FR 光の光強度が強くなった場合や照射時間が長くなった場合には、フィトクロームは Pr 型が大部分を占有する光平衡状態に達し、それ以降の茎伸長の促進作用は得られなかったものと推察される。

キクでは、FR 光を長時間照射すると花成が抑制されること (Cathey・Borthwick, 1964; 吉村・金浜, 2000) が報告されている。また、島ら (2009) も、FR 光を深夜に照射した場合には花序数が減少する傾向を観察している。このように、照射時間が長くなると開花に悪影響を及ぼすことも懸念される。しかしながら、実験 3 において実施した切り花調査の結果、FR 光を 3 ~ 4 時間照射した場合においても開花遅延や花序数の減少傾向は認められなかった。林ら (2008) は、ヒマワリにおいて EOD-FR 処理を行った場合には、舌状花および管状花が減少することを報告しているが、本実験で EOD-FR 処理を行った場合の舌状花数や管状花数は無処理と同等以上であり、品質の低下は認められなかった。また、EOD-FR 処理を行った切り花の切り花重、節数および茎径は、無処理のものと同等であり、切り花品

質に悪影響を及ぼすことはなかった。これらのことから、本研究で実施した EOD-FR 処理の範囲内では、切り花長以外の切り花品質や開花に影響を及ぼさず、効率的に茎伸長を促進できるものと考えられた。

以上の結果から、スプレーギクの EOD-FR 処理において、光強度が弱い場合にも 3 時間程度まで照射時間を長くすることで、十分な茎伸長量を確保できることが明らかとなった。これにより、少ない光源数のもとでも EOD-FR 処理が可能になることが示唆され、光源設置時に必要なイニシャルコストの低減につながることが期待できる。本研究において使用した FR 光源ならびに環境条件下では、‘セイプリンス’で $0.03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ で日没後 2 時間、同様に‘レミダス’で 3 時間の照射において十分な伸長効果が認められた。なお、本 FR 光源における放射照度を光量子束密度に換算した場合、 $0.03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の放射照度は約 $0.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の光量子束密度に相当する。スプレーギクの EOD-FR 処理において、これらの光強度および照射時間が効率的な茎伸長効果を得られる目安となると考えられるが、品種による EOD-FR 処理に対する反応の違いが存在することが推察されることから、今後、より多くの品種で本研究において得られた処理方法の適応性を検証する必要がある。

摘 要

スプレーギク生産における栽培期間の短縮を図るため、明期終了時の遠赤色光照射 (EOD-FR) における光強度および照射時間が茎伸長促進に及ぼす影響を‘セイプリンス’および‘レミダス’を用いて調査した。照射時間を 1 時間、光強度を $0.07 \sim 0.19 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ とした場合、光強度が弱くなるにつれて茎伸長量が劣る傾向にあり、‘レミダス’では $0.07 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の茎伸長量は $0.19 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ よりも有意に小さくなった。一方、光強度が $0.06 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の場合にも、照射時間を 1 時間から 3 時間に延長すると茎伸長量が増加し、光強度が弱い場合にも照射時間を長くすることで、十分なスプレーギクの茎伸長量を確保できることが確認された。ただし、照射時間が 3 時間と 5 時間の場合の茎伸長量に差は認められなかった。スプレーギクの茎伸長促進のための効率的な EOD-FR 処理方法として、‘セイプリンス’では $0.03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ で 2 時間、同様に‘レミダス’では 3 時間の FR 光を照射することで、無処理と比較して 15% 以上の茎伸長の促進が認められた。

引用文献

- Cathey, H. M. and H. A. Borthwick. 1964. Significance of dark reversion of phytochrome in flowering of *Chrysanthemum morifolium*. Bot. Gaz. 125: 232–236.
- 林 孝洋・西川久仁子・矢澤 進. 2008. 明期終了時の赤色・遠赤色蛍光灯補光がヒマワリの開花と花序の構成に及ぼす影響. 園学研. 7 (別 1): 223.
- Hisamatsu, T., N. Oyama-Okubo, K. Ichimura, S. Esaki, R. Oi

- and M. Koshioka. 2002. Interactions of red and far-red light modification with temperature on shoot extension and flowering in stock (*Matthiola incana* (L.) R. Br.). J. Hort. Sci. Biotech. 77: 1–8.
- Hisamatsu, T., K. Sumitomo and H. Shimizu. 2008. End-of-day far-red treatment enhances responsiveness to gibberellin and promotes stem extension in chrysanthemum. J. Hort. Sci. Biotech. 83: 695–700.
- Hisamatsu, T., R. W. King, C. A. Helliwell and M. Koshioka. 2005. The involvement of gibberellin 20-oxidase genes in phytochrome-regulated petiole elongation of *Arabidopsis*. Plant Physiol. 138: 1106–1116.
- Khattak, A. M., S. Pearson and C. B. Johnson. 2004. The effects of far red spectral filters and plant density on the growth and development of chrysanthemums. Sci. Hortic. 102: 335–341.
- 岸本真幸・前田香那子・加藤正浩・山田 真・石渡正紀・住友克彦・久松 完. 2009. 短時間遠赤色光照射の照射時間帯と光強度がトルコギキョウの生育に及ぼす影響. 園学研. 8 (別2): 337.
- Li, S., N. C. Rajapakse, R. E. Young and R. Oi. 2000. Growth responses of chrysanthemum and bell pepper transplants to photosensitive plastic films. Sci. Hortic. 84: 215–225.
- Lund, J. B., T. J. Blom and J. M. Aaslyng. 2007. End of day lighting with different red/far-red ratios using light-emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum* × *morifolium* Ramat. 'Coral Charm'. HortScience. 42: 1609–1611.
- McMahon, M. J., J. W. Kelly and D. R. Decoteau. 1991. Growth of *Dendranthema* × *grandiflorum* (Ramat.) Kitamura under various spectral filters. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 950–954.
- 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1991. 遠赤色光付加照射によるヒマワリ幼植物の伸長成長制御. 生環調. 29: 73–79.
- Rajapakse, N. C. and J. W. Kelly. 1992. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 481–485.
- Rajapakse, N. C., M. J. McMahon and J. W. Kelly. 1993. End of day far-red light reverses height reduction of chrysanthemum induced by CuSO₄ spectral filters. Sci. Hortic. 53: 249–259.
- 佐藤武義・工藤則子・森山巖興・大川秀樹・金山喜則・金浜耕基. 2009. トルコギキョウの秋冬出し作型における遠赤色光電球形蛍光灯を利用した日長延長による開花促進. 園学研. 8: 327–334.
- 篠村和子. 2001. フィトクロムファミリーとその生理機能分担. p. 39–45. 和田正三・徳富 哲・長谷あきら・長谷部光泰編著. 細胞工学別冊植物細胞工学シリーズ. 16 植物の光センシング—光情報の受容とシグナル伝達—. 秀潤社. 東京.
- 島 浩二・川西孝秀・山田 真・石渡正紀・住友克彦・久松 完. 2009. 明期終了時の短時間遠赤色光照射が冬季におけるスプレーギクの茎伸長に及ぼす影響. 園学研. 8: 335–340.
- 清水 浩・久松 完. 2007. 画像計測システムを用いた明期終了時の短時間遠赤色光照射によるキクの伸長成長解析. 植物環境工学. 19: 203–207.
- Silverthorne, J. 2004. フィトクロムと光による植物の発生制御. p. 381–408. Taiz, L.・E. Zeiger編. 植物生理学第3版. 培風館. 東京.
- 住友克彦・山形敦子・島 浩二・岸本真幸・久松 完. 2009. 数種切り花類の開花および茎伸長に及ぼす明期終了時の短時間遠赤色光照射 (EOD-FR) の影響. 花き研報. 9: 1–11.
- 吉村正久・金浜耕基. 2000. 赤色光／遠赤色光光量子束比が切り花品質と開花に及ぼす影響. 園学雑. 69 (別1): 136.
- 吉村正久・西山 学・金浜耕基. 2002. ストックの主枝の生長と開花に及ぼす赤色光または遠赤色光と赤色光／遠赤色光の影響. 園学雑. 71: 575–582.
- 吉村正久・佐々木 厚・森山巖興・柴原雄右・勝田敬子・金浜耕基. 2006. ストックの開花に及ぼす夜間照射用各種光源の種類と光量の影響. 園学研. 5: 297–301.