

Effect of End-of-Day Far-Red Light Treatment on Flowering and Stem Elongation in Certain Cut Flowers

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): FR fluorescent tubes, light quality, photomorphogenesis, phytochrome, R/FR ratio 作成者: 住友, 克彦, 山形, 敦子, 島, 浩二, 岸本, 真幸, 久松, 完 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001424

原著論文

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

住友克彦・山形敦子*・島 浩二**・岸本真幸***・久松 完

（平成21年6月12日受付 平成21年10月6日受理）

Effect of End-of-Day Far-Red Light Treatment on Flowering and Stem Elongation
in Certain Cut Flowers

Katsuhiko SUMITOMO, Atsuko YAMAGATA, Koji SHIMA,
Masayuki KISHIMOTO and Tamotsu HISAMATSU

Summary

We investigated the effect of brief exposure to end-of-day far-red (EOD-FR) light on flowering and stem elongation in certain plants, using FR fluorescent tubes under greenhouse conditions. The effect varied between species. Exposure to EOD-FR light for 15 minutes promoted stem elongation in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 'Dekmona', 'Sei-elza', and 'Tourmalin', but it had no effect on stem elongation in *C. morifolium* 'Jimba'. Exposure to EOD-FR light for 30 minutes promoted extension growth in *Helianthus annuus* L. 'Sunrich Orange' and 'Summer Sunrich Pine 45', *Antirrhinum majus* L. 'Calyon White' and 'Reisen', *Matthiola incana* (L.) R. Br. 'Pink Iron', *Bupleurum* spp. 'Green Gold', and *Dianthus caryophyllus* L. 'Barbara'. Exposure to EOD-FR light for 30 minutes also promoted flowering in two cultivars each of *H. annuus* and *A. majus* and in *M. incana*, *Bupleurum* spp., and *D. caryophyllus*. However, exposure to EOD-FR light had no effect on extension growth or flowering in *Gerbera jamesonii* Bol. ex Adlam 'Orlando', *Zantedeschia* spp. 'Crystal Blush', *Cosmos bipinnatus* cv. 'Miyoshi-no-versailles', and *Rosa* Hybrid Tea Group 'Bonheur'. Furthermore, exposure to EOD-FR light for 30 minutes promoted stem elongation but delayed flowering in *Celosia argentea* L. var. *cristata* (L.) Kuntze 'Delhi Pearl'. Exposure to EOD-FR light for 30 minutes had no effect on stem elongation or delayed flowering in *Callistephus chinensis* (L.) Nees 'Selene Pink'. The effect of EOD-FR light on flowering and extension growth showed seasonal variation in *C. morifolium* 'Dekmona' and 'Sei-elza', 2 cultivars of *H. annuus*, and *C. argentea*. These results suggest that EOD-FR light can be applied to the cultivation of plants under greenhouse conditions, although the method of EOD-FR lighting must be optimized for each species.

Key Words: FR fluorescent tubes, light quality, photomorphogenesis, phytochrome, R/FR ratio

* 現秋田県農林水産技術センター農業試験場

** 和歌山県農林水産総合技術センター暖地園芸センター

*** 鳥取県農林総合研究所園芸試験場

緒言

光は植物にとって光合成を行うために不可欠なエネルギー源であるとともに、多くの植物は、光を情報として活用し、発芽、伸長成長、花芽形成などの過程を制御している。自然環境下における植物群落では、光エネルギー獲得のために生存競争が行われる。そのため、植物は周囲の他個体の存在を感知し、他の植物の陰から逃れようとする。日射は可視光領域の光をほぼ等分に含むが、植物群落内では、クロロフィルにより赤色光 (R) が吸収されるため、遠赤色光 (FR) に対する赤色光の割合 (R/FR) が減少する (長谷ら, 2001)。すなわち、日射の R/FR は、天候や季節によって多少変動するものの、1 ~ 1.15 の範囲である (石井ら, 2004) が、植物群落内の R/FR は 0.05 ~ 0.7 である (Smith, 1982)。このような植物群落内での低 R/FR 光環境がシグナルとなり、茎伸長および栄養成長から生殖成長への移行が影響を受ける。これらの応答は避陰反応と呼ばれ、R/FR 受容体であるフィトクロームにより調節を受ける (Cerdán and Chory, 2003; Franklin and Whitelam, 2005)。フィトクロームによる植物の形態形成は、暗期開始時期のフィトクロームの活性型と不活性型の平衡状態が非常に重要であると考えられており、明期終了時 (End-of-day : EOD) の短時間 FR 照射処理 (EOD-FR) によって、避陰反応と同様の伸長促進作用が見られる (Kasperbauer, 1971)。

花き生産では、これまでに、日長と温度制御による生育開花調節が行われているが、近年光質制御による生育開花調節が試みられ (腰岡, 1998)、多くの花きで低 R/FR あるいは EOD-FR による光質環境の調節によって茎伸長や開花の促進が報告されている (McMahon, 1999; McMahon and Kelly, 1999; Rajapakse et al., 1993; Runkle and Heins, 2003)。これらの研究では、R/FR を調節するためにさまざまな光源や光選択透過資材が供試され、一部の光選択透過資材は実用化され営利生産に用いられている (ヨセファ・シャハク, 2003)。近年、新しい光源の開発が急速に進展しており、栽培環境下で利用可能な FR 光源が開発され、それを利用した EOD-FR 処理も実用化に向かう可能性が大いにある。花きの生産現場では、キクの電照栽培に代表されるように、古くから生育調節に光が利用されてきた。さらに、花き栽培では温室等を利用した集約栽培が多く行われており、生産現場に新しい資材や技術を比較的導入しやすと考えられる。

一方で、花き生産には多種多様な植物種が利用されて

おり、その環境応答反応も多様であることが容易に想像される。これまでの研究では、光選択透過資材や人工光源を用いた異なる光質環境下での植物体の反応は、種によって様々であることから、EOD-FR の影響についても、植物種ごとに効果を評価することが必要である (Cerny et al., 2003; Ilias and Rajapakse, 2005; Runkle and Heins, 2001; Shillo and Halevy, 1982)。本報では、様々な種類の切り花において、FR を効率的に照射することが可能な蛍光灯を用いて EOD-FR 処理を行い、開花および茎伸長における反応を調査し、EOD-FR の作用は植物種によって大きく異なることを明らかにした。これらの結果は、花き営利生産場面において EOD-FR の利用の可能性を示し、EOD-FR による新たな生育調節技術の開発に資するものである。

材料および方法

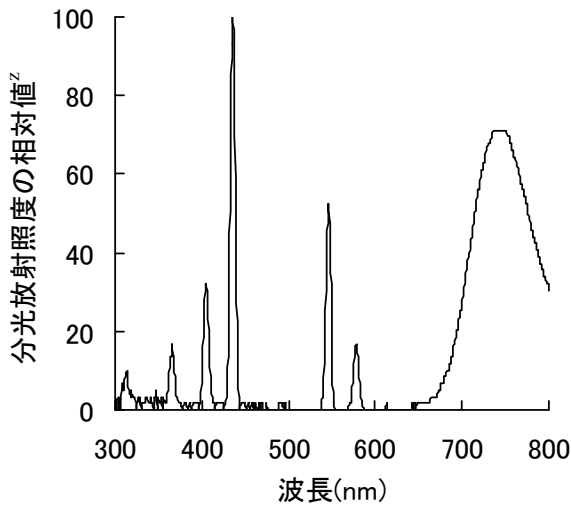
1 栽培環境および肥培管理

すべての実験は、茨城県つくば市において行われた。キク (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) の親株および短日処理開始までの実験供試株は、深夜 5 時間の暗期中断を行ったガラス室 (気温が 18°C を下回った時に加温、25°C を上回った時に換気) において管理した。ガラス室 (15°C 加温、25°C 換気) 内に設置した日長調節装置内で、短日処理を行った。日長調節装置の暗幕は、日の入り時に閉じ、日の出時に開けた。暗幕の開閉時刻は、日の出日の入り時刻に合わせて随時変更した。この実験期間中の自然日長 (日の出~日の入り) は、9.7 ~ 12.2 時間であった。キク以外の切り花類は、ガラス室 (12°C 加温、25°C 換気) 内にて実験を行った。

セルトレイ用土にはメトロミックス 360 (Sun Gro Horticulture Inc) を用いた。ポットおよびプランター用土には、クレハ園芸培土 ((株)クレハ) を用い、定植後は液肥 (くみあい尿素複合液肥 2 号 : N:P₂O₅:K₂O = 10:4:8%) を 400 倍に希釈して、1 週間に 1 回追肥として施した。

2 EOD-FR 処理

キクでは、暗幕を閉じた時刻より 15 分間 FR 蛍光灯 (FL20S FR-74 ; 東芝ライテック (株)) を用いて、EOD-FR 処理を行った。FR 蛍光灯の波長組成は、波長別光エネルギー分析装置 (LI-1800, LI-COR, 測定波長帯 300 ~ 800 nm, 波長測定幅 1 nm) で測定し、第 1 図に示した。FR 蛍光灯を点灯した 10 分後のポット地表面における



第1図 FR 蛍光灯の相対分光分布
² 分光放射照度の最大値を100として表示

FR (700 ~ 800 nm) の放射照度を、LI-1800 を用いて測定し、 $0.24 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。また、R(600 ~ 700 nm)とFRの放射照度の比 (R/FR) は0.12であった。蛍光灯の特性上、光合成有効放射(400 ~ 700 nm)もわずかに照射されるため、光量子センサー (LI-250, LI-COR) を用いて測定した結果、ポット地表面における光合成有効光量子束密度 (PPFD) は $0.19 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。対照区は無照射とした。

キク以外の切り花類では、FR 蛍光灯を用いて、日の入り時より30分間EOD-FR処理を行い、EOD-FR処理開始時間は日の入り時刻に合わせて随時変更した。対照区は自然日長とした。ヒマワリ (*Helianthus annuus* L.)、ガーベラ (*Gerbera jamesonii* Bol. Ex Adlam) およびカラー (*Zantedeschia* spp.) では、FR 蛍光灯を点灯した10分後のプランターおよびポットの地表面におけるFRの放射照度は $1.04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、R/FRは0.08、PPFDは $0.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。キンギョソウ (*Antirrhinum majus* L.)、ブプレウルム (*Bupleurum* spp.)、ストック (*Matthiola incana* (L.) R.Br.)、カーネーション (*Dianthus caryophyllus* L.)、ケイトウ (*Celosia argentea* L. var. *cristata* (L.) Kuntze)、アスター (*Callistephus chinensis* (L.) Nees)、コスモス (*Cosmos bipinnatus* Cav.) およびバラ (*Rosa* Hybrid Tea Group) では、FR 蛍光灯を点灯した10分後のプランターおよびポットの地表面におけるFRの放射照度は $0.32 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、R/FRは0.08、PPFDは $0.03 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。

3 キク

‘神馬’、‘セイエルザ’、‘デックモナ’ および ‘トゥアマリン’ の親株より、2006年9月21日に挿し穂をとり、128穴セルトレイに挿した。10月5日に9cm深型黒プラスチックポットに、発根苗を1鉢あたり1株鉢上げした。10月26日に短日処理を開始すると同時に、EOD-FR処理を開始した。栽培時期がEOD-FRの効果に及ぼす影響を調査するために、11月23日に挿し穂をとってセルトレイに挿し、12月7日に鉢上げした株を供試し、12月28日に短日処理およびEOD-FR処理を開始する再実験を行った。両実験において、各区12株を供試した。主茎の第1花の開花日を記録し、平均開花日を算出した。短日処理期間中の増加茎長を算出するために、短日処理開始時および開花時に主茎の茎長を測定した。

4 ヒマワリ

‘サンリッチオレンジ’ および ‘サマーサンリッチパイン45’ を、2008年2月28日にプランター (65 cm × 22 cm, 深さ18 cm) に株間9 cm, 条間10 cmの2条植えとなるように播種し、白色蛍光灯 (PPFD $130 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 12時間日長), 25/20°C (明期/暗期) の人工気象室で管理した。子葉展開後、3月6日にガラス室にプランターを移動し、EOD-FR処理を開始し、短日期的実験とした。栽培時期がEOD-FR処理の効果に及ぼす影響を調査するために、4月24日に播種し、EOD-FR処理を5月1日より開始し、長日期的実験とした。実験期間中の日長は、短日期的では11.6 ~ 13.2時間、長日期的では13.7 ~ 14.7時間であった。両実験において、各区14株を供試した。主茎の第1花の開花日を調査し、平均開花日を算出した。処理開始4週目の茎長、開花時に主茎の茎長と葉数を測定した。

5 キンギョソウ

‘カリヨンホワイト’ および ‘麗仙’ を2007年9月7日に200穴セルトレイに播種し、白色蛍光灯 (PPFD $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 12時間日長), 24/16°C (明期/暗期) の人工気象室で管理した。10月9日にプランターに12株ずつ定植し、EOD-FR処理を行った。各区12株を供試した。主茎の第1花の開花日を調査し、平均開花日を算出した。処理開始4週目の茎長、開花時に主茎の茎長および葉数を測定した。

6 ブプレウルム

‘グリーンゴールド’ を2007年8月21日に200穴セ

ルトレイに播種し、定植までキンギョソウと同様に管理した。播種33日目の9月22日にプランターに10株ずつ定植し、EOD-FR処理を開始した。EOD-FR処理を開始する時期が茎伸長および開花に及ぼす影響を調べるために、2008年8月17日に播種し、9月18日に定植した後、自然日長下で管理し、播種49日目の10月5日にEOD-FR処理を開始する再実験を行った。両実験において、各区10株を供試した。主茎の第1花の開花日を調査し、平均開花日を算出した。EOD-FR処理開始4週目の茎長、開花時の主茎の茎長および葉数を測定した。

7 ストック

‘ピンクアイアン’を2007年9月10日に200穴セルトレイに播種し、定植までキンギョソウと同様に管理した。10月4日にプランターに10株ずつ定植し、EOD-FR処理を開始した。各区10株を供試した。主茎の第1花の開花日を調査し、平均開花日を算出した。開花時に主茎の茎長および葉数を測定した。

8 カーネーション

‘バーバラ’の発根苗を2008年2月8日にプランターに5株ずつ定植した。ガラス室にて管理し、2月19日に摘心し、EOD-FR処理を開始した。発生したシュートは、摘心4週間後に株あたり2または3本を残して除去し、プランターあたり13シュートを実験に供試した。シュートの第1花の開花日を調査し、平均開花日を算出した。EOD-FR処理開始4週目、開花時のシュートの茎長および葉数を測定した。

9 ケイトウ

‘デリーパール’を2008年5月28日に播種し、本葉1枚展開時の6月15日にプランターに12株ずつ定植し、EOD-FR処理を開始した。処理開始4週目の茎長を測定した。花冠の上部が4cmになった日を開花日とし、平均開花日を算出した。開花時に主茎の茎長と葉数を測定した。各区12株を供試した。栽培時期がEOD-FRの効果に及ぼす影響を調査するために、8月1日に播種し、8月15日に定植およびEOD-FR処理を開始する再実験を行った。

10 アスター

‘セレネピンク’を2008年5月26日に128穴セルトレイに播種し、定植までキンギョソウと同様に管理した。6月24日にプランターに10株ずつ定植し、EOD-FR処

理を開始した。主茎の第1花の開花日を調査し、平均開花日を算出した。EOD-FR処理開始4週目の茎長、開花時の主茎の茎長および葉数を測定した。栽培時期がEOD-FRの効果に及ぼす影響を調査するために、7月10日に播種し、8月10日に定植およびEOD-FR処理を開始する再実験を行った。

11 コスモス

‘ミヨシのベルサイユ’を2008年6月25日にプランターに株間10cm、条間10cmの2条植えとなるように播種した。子葉展開時の6月30日に、EOD-FR処理を開始した。主茎の第1花の開花日を記録し、平均開花日を算出した。開花時に主茎の茎長と葉数を測定した。各区12株を供試した。栽培時期がEOD-FRの効果に及ぼす影響を調査するために、8月10日に播種し、8月15日にEOD-FR処理を開始する再実験を行った。

12 ガーベラ

‘オーランド’の発根苗を2008年4月4日に21cmプラスチックポットに1鉢あたり1株定植し、7月1日に1cm以上に伸長した花茎を切除し、EOD-FR処理を開始した。8月20日から11月13日までの12週間、両区の切り花本数および花茎長を測定した。各区8株を供試した。

13 カラー

‘クリスタルブラッシュ’の球根を2008年3月11日に21cmプラスチックポットに1鉢あたり1球、深さ10cmに定植した。出芽後、4月2日よりEOD-FR処理を開始した。開花日を調査し、平均開花日を算出した。開花時の切り花長（地際から仏炎苞の先端までの長さ）を測定した。各区8株を供試した。

14 バラ

‘ボヌール’の芽接ぎ苗を、2008年2月26日に18cmプラスチックポットに1鉢あたり1株定植した。発生したシュートはハードピンチを繰り返し、株を生育させた。9月12日にポット地表面より60cmの高さですべてシュートを鉛直上向きに対して120度に折り曲げ、EOD-FR処理を開始した。折り曲げ部付近より発生したシュートの第1花の開花日、切り花長および茎長を測定した。調査は12月1日で打ち切った。各区8株を供試した。

結果

1 キク

EOD-FR 処理による茎伸長の促進効果には品種間差があり、また栽培時期によって効果が変動した。10月26日に短日処理を開始した場合、EOD-FR 処理によって‘デックモナ’では11%、‘セイエルザ’では22%、‘トゥアーマリン’では25%の大きな茎伸長の増加が認められた（第1表）. ‘神馬’において、本実験のEOD-FR 処理条件では茎伸長に有意差は見られなかった。12月28日に短日処理を開始した場合、‘トゥアーマリン’の茎伸長は、EOD-FR 処理によって6.6%増加したものの、他の品種ではEOD-FR 処理による茎伸長の促進効果は見られず、10月26日に短日処理を開始した区に比べ、EOD-FR 処理による茎伸長の促進効果は小さくなった。EOD-FR 処理が開花日に及ぼす影響は見られなかった（データ省略）。

2 ヒマワリ

EOD-FR 処理が茎伸長および開花に及ぼす影響は、実験を開始した時期によって変動した。短日期では、EOD-FR 処理によって、処理4週目の茎長が、‘サンリッチオレンジ’では無処理と比較して13%、‘サマーサンリッチパイナップル 45’では17%、それぞれ増加したが、播種から開花までの日数および開花時の茎長および葉数には、差は見られなかった（第2表、第2図）。長日期では、処理4週目の茎長は無処理区とEOD-FR 区間に差が見られなかった。播種から開花までの日数および葉数は、

第1表 EOD-FR処理がキクの短日処理後の増加茎長 (cm) に及ぼす影響

処理	品種			
	神馬	デックモナ	セイエルザ	トゥアーマリン
10月26日短日処理開始				
無処理	37.8±1.1 ^z (14.8±0.6) ^y	47.0±1.1 (22.2±0.5)	45.1±1.2 (19.3±0.6)	44.3±0.8 (17.0±0.6)
EOD-FR	40.3±1.5 (14.9±0.5)	52.1±1.2 (21.6±0.6)	55.0±1.1 (18.8±0.5)	55.5±1.2 (17.5±0.6)
有意差 ^x	ns	**	**	**
12月28日短日処理開始				
無処理	36.8±1.2 (14.8±0.7)	53.2±1.3 (23.7±0.6)	46.9±1.2 (13.7±0.5)	49.7±1.3 (17.5±0.6)
EOD-FR	38.3±1.0 (14.6±0.6)	56.0±1.5 (23.7±0.6)	48.3±1.2 (14.0±0.6)	53.0±0.5 (17.9±0.5)
有意差	ns	ns	ns	*

^z値は平均値±標準誤差 (n=12)

^y括弧内の値は短日処理開始時の茎長を示す

^x*, **は同じ短日処理開始日の同品種内において分散分析により、それぞれ5%、1%水準で有意、nsは有意差がないことを示す

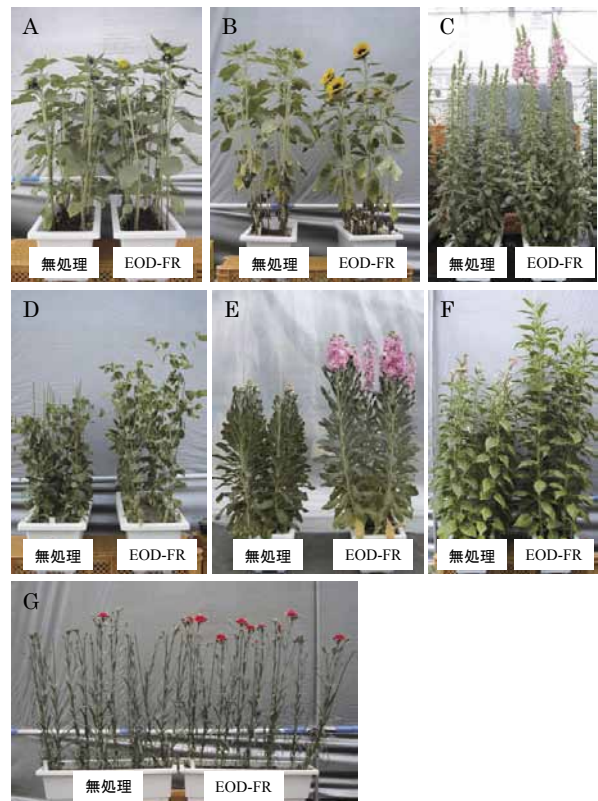
EOD-FR 処理によって‘サンリッチオレンジ’では3.7日、‘サマーサンリッチパイナップル 45’では2.6日減少し、開花が促進された。‘サンリッチオレンジ’の開花時の茎長はEOD-FR 処理によって12%減少した。

3 キンギョソウ

EOD-FR 処理によって、開花までの日数が、無処理区と比較して‘カリヨンホワイト’では7.4日、‘麗仙’では9.5日減少した。‘麗仙’では開花時の葉数も減少した（第2表、第2図）。処理4週目の茎長は、EOD-FR 処理区では無処理区に比べ、‘カリヨンホワイト’では23%、‘麗仙’では18%増加したが、開花までの日数が減少したため、両品種ともに開花時の茎長には、無処理区と差が見られなかった。

4 ブプレウルム

播種33日目よりEOD-FR 処理を行った場合、処理4



第2図 EOD-FR 処理が各種切り花類の生育開花に及ぼす影響 (A)ヒマワリ ‘サンリッチオレンジ’、3月6日播種（短日期）、播種46日後撮影。(B)ヒマワリ ‘サンリッチオレンジ’、5月1日播種（長日期）、播種45日後撮影。(C)キンギョソウ ‘麗仙’、播種137日後撮影 (D)ブプレウルム ‘グリーンゴールド’、2007年9月22日播種、EOD-FR 処理は播種33日後より行った、播種68日後撮影。(E)ストック ‘ピンクアイアン’、播種119日後撮影。(F)ケイトウ ‘デリーパール’、播種68日後撮影。(G)カーネーション ‘バーバラ’、定植116日後撮影。

第2表 EOD-FR処理が各種切り花類の開花および茎長に及ぼす影響

処理開始日	処理	処理4週目の茎長 (cm)	開花時の茎長 (cm)	処理開始から開花 までの日数(日)	葉数 (枚)
ヒマワリ 'サンリッチオレンジ' (n = 14)					
3月6日	無処理	20.6 ± 0.9 ^z	56.8 ± 1.5	43.7 ± 3.2	11.4 ± 1.8
(短日期)	EOD-FR	23.6 ± 1.0 * ^y	55.1 ± 1.4ns	43.2 ± 0.3ns	11.8 ± 0.3ns
5月1日	無処理	22.4 ± 0.4	78.8 ± 1.8	50.3 ± 0.5	18.6 ± 0.5
(長日期)	EOD-FR	22.2 ± 0.7ns	69.3 ± 1.7 **	46.6 ± 0.4 **	16.1 ± 0.5 **
ヒマワリ 'サマーサンリッチパイン 45' (n = 14)					
3月6日	無処理	15.5 ± 0.6	46.3 ± 1.4	43.5 ± 0.5	12.2 ± 0.3
(短日期)	EOD-FR	18.1 ± 0.9 *	49.4 ± 1.4ns	43.1 ± 0.2ns	12.3 ± 0.3ns
5月1日	無処理	20.2 ± 1.0	59.4 ± 1.7	43.2 ± 0.3	15.4 ± 0.2
(長日期)	EOD-FR	20.8 ± 0.5ns	59.1 ± 1.7ns	40.6 ± 0.4 **	13.9 ± 0.5 **
キンギョソウ 'カリヨンホワイト' (n = 12)					
10月9日	無処理	13.2 ± 0.6	83.3 ± 1.5	86.7 ± 2.1	35.4 ± 1.0
	EOD-FR	16.3 ± 0.5 **	87.0 ± 2.4ns	79.3 ± 1.1 **	32.2 ± 1.3ns
キンギョソウ '麗仙' (n = 12)					
10月9日	無処理	14.7 ± 0.5	85.9 ± 0.9	87.7 ± 1.3	43.7 ± 0.9
	EOD-FR	17.4 ± 0.4 **	88.2 ± 2.1ns	78.2 ± 1.3 **	35.8 ± 1.0 **
ブプレウラム 'グリーンゴールド' (n = 10)					
2007年9月22日	無処理	3.8 ± 0.2	41.4 ± 1.6	83.3 ± 2.0	22.5 ± 0.7
(播種33日後処理)	EOD-FR	7.4 ± 0.6 **	35.4 ± 3.1ns	69.5 ± 1.1 **	17.0 ± 0.6 **
2008年10月5日	無処理	27.1 ± 3.0	46.1 ± 1.9	60.5 ± 2.3	33.6 ± 0.7
(播種49日後処理)	EOD-FR	43.4 ± 4.1 **	65.7 ± 2.7 **	58.6 ± 2.1ns	32.6 ± 1.1ns
ストック 'ピンクアイアン' (n = 10)					
10月4日	無処理	6.6 ± 0.3	56.8 ± 1.3	103.1 ± 1.9	72.6 ± 0.9
	EOD-FR	8.8 ± 0.2 **	66.9 ± 1.4 **	86.8 ± 1.7 **	64.4 ± 1.9 **
カーネーション 'バーバラ' (n = 13)					
2月19日	無処理	14.0 ± 0.6	65.2 ± 0.9	126.1 ± 1.8	17.3 ± 0.3
	EOD-FR	15.8 ± 0.3 *	65.3 ± 1.2ns	118.2 ± 0.9 **	16.5 ± 0.3ns
ケイトウ 'デリーパール' (n = 12)					
6月15日	無処理	15.9 ± 0.5	79.9 ± 2.1	86.6 ± 1.7	47.1 ± 1.3
	EOD-FR	21.7 ± 0.6 **	108.5 ± 2.9 **	93.9 ± 1.2 **	43.8 ± 0.6 *
8月15日	無処理	21.8 ± 0.4	41.3 ± 0.8	58.9 ± 2.4	29.3 ± 0.6
	EOD-FR	25.5 ± 0.7 **	53.2 ± 1.5 **	62.9 ± 1.7ns	27.5 ± 0.4 *
アスター 'セレネピンク' (n = 10)					
6月24日	無処理	12.9 ± 0.2	56.0 ± 1.4	75.7 ± 0.7	38.6 ± 0.9
	EOD-FR	12.7 ± 0.4ns	52.7 ± 0.9ns	78.2 ± 0.6 *	37.6 ± 0.8ns
8月10日	無処理	14.8 ± 0.7	35.1 ± 1.2	59.2 ± 0.9	40.0 ± 1.0
	EOD-FR	14.8 ± 0.5ns	37.5 ± 1.1ns	62.5 ± 1.2 *	40.6 ± 0.9ns
コスモス 'ミヨシのベルサイユ' (n = 12)					
6月30日	無処理	—	100.4 ± 3.0	44.5 ± 1.7	11.7 ± 0.2
	EOD-FR	—	108.5 ± 5.1ns	45.3 ± 1.5ns	11.6 ± 0.4ns
8月15日	無処理	—	63.3 ± 3.1	35.1 ± 0.4	6.0 ± 0.2
	EOD-FR	—	68.1 ± 2.4ns	35.3 ± 0.5ns	6.6 ± 0.2ns

^z 値は平均値±標準誤差

^y 同一品種・カラム内で t 検定により, *, **はそれぞれ無処理区に対して 5%, 1%水準で有意, nsは有意差がないことを示す

第3表 EOD-FR処理がガーベラ‘オーランド’の花茎長および株あたり切り花本数に及ぼす影響

処理	花茎長 (cm)	切り花本数 (本/株)
無処理	60.0±0.4 ^z	19.3±0.8 ^y
EOD-FR	59.4±0.5	20.0±1.1
有意差 ^x	ns	ns

^z値は平均値±標準誤差 (n=154,160)

^y値は平均値±標準誤差 (n=8)

^xnsはt検定により有意差がないことを示す

第4表 EOD-FR処理がカラー‘クリスタルブラッシュ’の開花、切り花長および株あたり切り花本数に及ぼす影響

処理	定植から開花まで の日数(日)	切り花長 (cm)	切り花本数 (本/株)
無処理	69.6 ± 1.1 ^z	34.8 ± 1.4 ^z	3.1 ± 0.6 ^y
EOD-FR	69.0 ± 1.0	35.0 ± 1.9	3.0 ± 0.6
有意差 ^x	ns ^x	ns	ns

^z値は平均値±標準誤差 (n=24, 25)

^y値は平均値±標準誤差 (n=8)

^xnsはt検定により有意差がないことを示す

第5表 EOD-FR処理がバラ‘ボヌール’の開花、茎長および株あたり切り花本数に及ぼす影響

処理	処理開始から開花 までの日数(日)	開花時の茎長 (cm)	葉数 (枚)	切り花本数 (本/株)
無処理	51.8±1.1 ^z	57.9±3.1 ^z	14.8±0.7 ^z	4.1±0.5 ^y
EOD-FR	53.0±1.1	60.3±3.2	14.8±0.5	3.8±0.4
有意差 ^x	ns ^x	ns	ns	ns

^z値は平均値±標準誤差 (n=30,33)

^y値は平均値±標準誤差 (n=8)

^xnsはt検定により有意差がないことを示す

週目の茎長は、無処理区とくらべ、約2倍に増加した(第2表)。処理開始から開花までの日数は、EOD-FR処理によって、無処理区と比較して13.8日減少し、また葉数は5.5枚減少し、開花が促進された(第2図)。EOD-FR処理によって処理4週目の茎長は増加したものの、開花が早まり、また葉数も減少したため、開花時の茎長には無処理区と有意差は見られなかった。

播種49日目よりEOD-FR処理を行った場合、EOD-FR処理4週目の茎長は、無処理区に対して60%増加し、また開花時の茎長も43%増加し、茎伸長が大きく促進された(第2表)。一方、葉数は、EOD-FR処理によって影響を受けず、開花までの日数にも有意差は見られなかった。

5 ストック

EOD-FR処理によって開花および茎伸長が促進された。EOD-FR区では無処理区に比べ、開花時の茎長が18%増加し、開花までの日数は16.3日減少し、また葉

第6表 EOD-FR処理が切り花類の開花および茎伸長に及ぼす影響

		茎伸長	
		促進	効果なし ^z
開花	促進	ヒマワリ2品種 ^y キンギョソウ2品種 ストック ブレイブルム カーネーション	
	効果なし ^z	キク(‘デックモナ’ ^y ‘セイエルザ’ ^y ‘トゥアーマリン’)	キク(‘神馬’) コスモス ガーベラ カラー バラ
	抑制	ケイトウ ^y	アスター

^z本実験のEOD-FR処理条件では効果がみられなかった

^y処理時期によって効果が変動した

数は8.2枚減少した(第2表、第2図)。

6 カーネーション

EOD-FR処理によって、処理4週目の茎長は13%増加したが、開花時の茎長には有意差が見られなかった(第2表)。また、摘心から開花までの日数は7.9日減少し、EOD-FR処理による開花促進効果が見られたが、葉数への影響は見られなかった(第2図)。

7 ケイトウ

6月15日にEOD-FR処理を開始した場合、EOD-FR区では、茎伸長が促進され、処理4週目の茎長は、無処理区に比べ36%増加した。EOD-FR区では、無処理区と比較して、葉数は3.3枚減少したものの、開花(花冠の上部が4cmになった日)は7日遅延した(第2表、第2図)。8月15日にEOD-FR処理を開始した場合、処理4週目の茎長は17%、開花時の茎長は29%増加したが、開花までの日数には影響が見られなかった。

8 アスター

6月24日および8月26日にEOD-FR処理を開始した場合、それぞれ2.5日および3.3日開花が遅延した(第2表)。一方、茎伸長および葉数への影響は見られなかった。

9 コスモス、ガーベラ、カラー、バラ

これらの植物では、開花、茎や花茎の伸長および株あたり切り花本数におけるEOD-FR処理の影響は見られなかった(第2～5表)。

考 察

これまで、スプレーギクにおいて、温室の栽培環境下でFR蛍光灯を用いたEOD-FR処理によって、開花は影響を受けないが、茎伸長の促進効果が得られることが明らかにされている(島ら, 2009b)。本実験におけるキクの結果も同様であった。ここでは、さらに多くの植物種において、EOD-FR処理による伸長生長あるいは開花の促進効果が見いだされ、温室の栽培環境下でのEOD-FR処理による生育調節の有用性が示された。これまでの光選択透過性フィルムを用いた低R/FR処理に関する研究(Cerny et al., 2003; Runkle and Heins, 2001)と同様に、EOD-FR処理に対する伸長生長および開花における反応は、植物種によって様々であった(第6表)。EOD-FR処理時の光合成有効放射はごくわずかであり、また、キク以外におけるEOD-FR処理時間(日没時より30分間)は、日没後の薄明時間とほぼ同じであったことから、EOD-FR処理による光合成および日長への影響はほとんどないと考えられた。本実験で供試した長日植物のうち、キンギョソウ、ブプレウラム、ストック、カーネーションではEOD-FR処理によって開花が促進された。一方で、短日植物であるキク、ヒマワリ、コスモス、ケイトウでは、様々な反応を示した。

低R/FRやEOD-FRによって伸長成長の促進が見られる際には、植物体内でのジベレリン生合成遺伝子の発現、活性型ジベレリン含有量、または活性型ジベレリンへの応答性が増加する(Downs et al., 1957; Garcia-Martinez and Gil, 2002; Hisamatsu et al., 2002, 2005, 2008; Maki et al., 2002; Reed et al., 1996; Xu et al., 1997)。ジベレリンは、多くの植物において伸長成長と花成の促進作用を示す(小柴・神谷, 2002; Pharis and King, 1985)ことから、本実験において見られたEOD-FR処理による茎伸長および開花の促進にも、ジベレリンが関与していると考えられる。一方で、アサガオ(*Ipomoea nil*)やフクシア(*Fuchsia hybrida*)では、過剰のジベレリンによって開花が抑制される事例が報告されている(King et al., 1987, 2000)。例えばフクシアでは、ジベレリンによる開花抑制はスクロースの競合によって説明されている。すなわち、フクシアではスクロースは開花を促進する因子であるが、ジベレリン処理によって茎伸長が促進され、茎と茎頂分裂組織の間でスクロースの競合が生じ、茎頂分裂組織におけるスクロースが減少する結果、開花が抑制される(King and Ben-Tal., 2001)。本実験においてケイトウ‘デリーパー

ル’では、EOD-FR処理によって茎伸長が大きく増加した。また、葉数が減少したことから花芽分化の開始は促進された一方で、開花日(花冠の上部が4 cmになった日)が遅延した(第2表)ことから花冠の発達抑制された。これは、EOD-FR処理によってジベレリンが増加し、伸長成長が強く促進され、その結果フクシアと同様に、茎と花冠の間でスクロースの競合が起こり、花冠の発達が抑制されたのかもしれない。

キクやペチュニアでは、EOD-FR処理を行う前の明期が低R/FRの時には、EOD-FRによる茎伸長の促進効果が小さくなることが示されている(Ilias and Rajapakse, 2005; Rajapakse et al., 1993)。キク‘神馬’について、明期の光源に白色蛍光灯(R/FR = 12.5)を利用した人工気象室内で、発光ダイオード(LED)を用いてEOD-FR処理を行った場合、大幅な茎伸長の促進効果が見られた(Hisamatsu et al., 2008)。一方、本実験では、ガラス室において自然光環境下でEOD-FR処理を行った。自然光のR/FRは、1~1.15の範囲であり(石井ら, 2004)、Hisamatsu et al. (2008)の実験で用いられた白色蛍光灯に比べて、EOD-FR処理を行う前の明期の光環境が低R/FRであったために、EOD-FR処理によって茎伸長に有意差は見られなかったと推察される(第1表)。また、キクでは、EOD-FR処理によって茎伸長の促進効果が得られる放射照度には、品種間差が見られる(島ら, 2009a)ことから、本実験でのFRの放射照度が‘神馬’には不十分であったことも考えられる。高照度でFRを照射する、あるいはFRの照射時間を長くすることによって、茎伸長の促進効果が得られる可能性がある。

バラについても、明期の光源に白色蛍光灯を利用した人工気象室内で、白熱灯を光源として赤および青色光除去フィルターを用いてEOD-FR処理を行った場合、茎伸長の促進効果が報告されている(Maas and Bakx, 1995)が、本実験ではEOD-FR処理に反応しなかった(第5表)。コスモスは、光選択透過性フィルムによる低FR下では茎長が減少した(Cerny et al., 2003)ことから、茎伸長においてフィトクロームが影響を及ぼすものと考えられる。しかし、本実験ではEOD-FR処理による茎長への影響は見られなかった(第2表)。バラ‘ボヌール’およびコスモス‘ミヨシのベルサイユ’では、キク‘神馬’の場合と同様の原因があるものと推察される。

キク‘デックモナ’、‘セイエルザ’、ヒマワリ2品種およびケイトウ‘デリーパール’では、栽培時期によってEOD-FR処理の効果が変動した(第1, 2表)。EOD-FR処理の効果は、生育時の日長・光強度・温度環境によっ

て大きく影響を受ける（Downs et al., 1957; Hisamatsu et al., 2008; 島ら, 2009b）。キクでは長日（14時間日長）条件下では、短日（9時間日長）条件下に比較して、EOD-FR処理による茎伸長の促進効果が小さくなり、逆に花芽分化の促進効果が顕著となる（Hisamatsu et al., 2008）。ヒマワリ2品種では、長日期においてEOD-FR処理によって伸長成長（処理4週目の茎長）の促進効果が見られなくなったものの、花芽分化が促進された。ヒマワリ2品種において異なる日長条件下でのEOD-FR処理に対する反応は、キクと同様であると推察される。

ブプレウラム‘グリーンゴールド’では、播種33日目にEOD-FR処理を開始すると、茎の伸長成長（処理4週目の茎長）の促進効果が見られたものの、開花が促進され節数が減少し、生育期間が短くなったことによって、開花時の茎長は無処理区と変わらなかった（第2表）。しかし、播種49日目にEOD-FR処理を開始すると、開花や節数に影響を及ぼすことなく、開花時の茎長の増加効果が得られた。EOD-FR処理によって茎の伸長成長が促進されたが、開花時の茎長が無処理区と変わらなかったヒマワリ、キンギョソウ、カーネーションでも、EOD-FR処理開始のタイミングを調節することで、開花時の茎長を増加させることが可能であると考えられる。また、キンギョソウやストックでは、EOD-FR処理によって花穂が伸長し、小花の間に隙間が見られた（データ省略）。このような間伸びした形状の花穂は、品質が悪いと判断される場合があるため、花穂が過度に伸長してしまわないように、EOD-FR処理を適宜中止する必要があると考えられた。

花き生産において、開花と伸長成長の調節は重要であり、植物成長調節物質によって、それらの調節が行われている。しかし、品目ごとに登録薬剤が決められており、多数の品目を扱う花き生産では、使用可能な薬剤が限定されるため、環境制御による生育開花調節技術の開発が重要である。本実験では、温室栽培環境下において、EOD-FR処理が多くの植物の開花や伸長成長の促進に有効であることが示された。さらに、EOD-FR処理による生育調節は、適宜処理を中止することによって効果を調整することが可能であり、植物成長調節物質による生育調節に比較して、効果の調整が容易であるといった利点もある。本実験の結果より、今後、営利栽培においてEOD-FR反応を利用するためには、最適な処理方法と処理効果を安定させる栽培環境条件を、植物種および品種ごとに明らかにしていく必要がある。処理方法としては、照射強度、照射時間、処理期間および処理ステージが課

題であり、栽培環境条件としては、温度、日長および栽培施設環境が課題となるものと考えられる。

摘要

遠赤色光（FR）を効率的に照射することが可能な蛍光灯を用い、数種花きにおいて明期終了時の短時間FR照射処理（EOD-FR）を行い、開花反応および伸長成長を調査した。EOD-FR処理に対する開花および伸長成長における反応は、植物種によって様々であった。EOD-FR処理によって、キクでは3品種において伸長成長が促進されたが、‘神馬’では変わらず、反応には品種間差が見られた。ヒマワリ2品種、キンギョソウ2品種、ストック‘ピンクアイアン’、ブプレウラム‘グリーンゴールド’およびカーネーション‘バーバラ’では、伸長成長および開花が促進された。ガーベラ‘オーランド’、カラー‘クリスタルブラッシュ’、コスモス‘ミヨシのベルサイユ’およびバラ‘ボヌール’において、本実験のEOD-FR処理条件では、伸長成長および開花における影響は見られなかった。ケイトウ‘デリーパール’では、EOD-FR処理によって茎伸長が促進されたものの、開花は遅延した。また、アスター‘セレネピンク’では、茎伸長は影響を受けず、開花が遅延した。キク‘デックモナ’および‘セイエルザ’、ヒマワリ2品種およびケイトウ‘デリーパール’では、栽培時期によってEOD-FR処理による伸長成長または開花の促進効果が変動した。以上のことから、営利栽培においてEOD-FR処理を実際に利用するためには、EOD-FR処理の方法および効果については、品目ごとに詳細に検討する必要があるものの、花き営利栽培の場面でのEOD-FR処理の利用の可能性が示された。

謝辞

本実験を行うにあたり、キリンアグリバイオ株式会社および有限会社精興園には、キク品種を提供して頂いた。また、花き研究所研究支援チームから多大なるご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表す。本研究は農林水産省「新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業」の助成により実施された。関係各位に御礼申し上げます。

引用文献

- Cerdán, P. D. and J. Chory. 2003. Regulation of flowering time by light quality. *Nature* 423: 881-885.
- Cerny, A., J. E. Faust, D. R. Layne and N. C. Rajapakse. 2003. Influence of photoselective films and growing season on stem growth and flowering of six plant species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128: 486-491.
- Downs, R. J., S. B. Hendricks and H. A. Borthwick. 1957. Photoreversible control of elongation of Pinto beans and other plants under normal conditions of growth. *Bot. Gaz.* 18: 199-208.
- Franklin, A. K. and G. C. Whitelam. 2005. Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Ann. Bot.* 96: 169-175.
- Garcia-Martinez, J. L. and J. Gil. 2002. Light regulation of gibberellin biosynthesis and mode of action. *J. Plant Growth Regul.* 20: 354-368.
- 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., 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.
- Hisamatsu, T., K. Sumitomo and H. Shimizu. 2008. End-of-day far-red treatment enhances responsiveness to gibberellins and promotes stem extension in chrysanthemum. *J. Hort. Sci. Biotech.* 83: 695-700.
- Ilias, I. F. and N. Rajapakse. 2005. The effects of end-of-the-day red and far-red light on growth and flowering of *Petunia hybrida* 'Countdown Burgundy' grown under photoselective films. *HortScience* 40: 131-133.
- 石井征重・山崎敬亮・大場和彦・長谷川利拡・比屋根真一・田中逸夫. 2004. 札幌、岐阜および那覇における昼光の分光光量子束の季節変化特性. *生環調.* 42: 147-154.
- Kasperbauer, M. J. 1971. Spectral distribution of light in a tobacco canopy and effects of end-of-day light quality on growth and development. *Plant Physiol.* 52: 440-442.
- King, R. W., R. P. Pharis and L. N. Mander. 1987. Gibberellins in relation to growth and flowering in *Pharbitis nil* Chois. *Plant Physiol.* 84: 1126-1131.
- King, R. W., H. Seto and R. M. Sachs. 2000. Response to gibberellin structural variants shows that ability to inhibit flowering correlates with effectiveness for promoting stem elongation of some plant species. *J. Plant Growth Regul.* 19: 437-444.
- King, R. W. and Y. Ben-Tal. 2001. A florigenic effect of sucrose in *Fuchsia hybrida* is blocked by gibberellin-induced assimilate competition. *Plant Physiol.* 125: 488-496.
- 小柴共一・神谷勇治. 2002. 新しい植物ホルモンの科学. p. 54-73. 講談社サイエンティフィク. 東京.
- 腰岡政二. 1998. 環境制御による花きの生育調節. *農及園.* 73: 283-288.
- Maas, F. M. and E. J. Bakx. 1995. Effects of light on growth and flowering of *Rosa hybrids* 'Mercedes'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 571-576.
- Maki, S. L., S. Rajapakse, R. E. Ballard and N. C. Rajapakse. 2002. Role of gibberellins in chrysanthemum growth under far red light-deficient greenhouse environments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127: 639-643.
- McMahon, M. J. 1999. Development of chrysanthemum meristems grown under far-red absorbing filters and long or short photoperiods. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124: 483-487.
- McMahon, M. J. and J. W. Kelly. 1999. CuSO₄ filters influence flowering of Chrysanthemum cv. Spears. *Sci. Hort.* 79: 207-215.
- 長谷あきら・徳富 哲・和田正三. 2001. 図解植物の光情報受容体. p.8-20. 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—光情報の需要とシグナル伝達—. 秀潤社. 東京.
- Pharis, R.P. and R.W. King. 1985. Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 36: 517-568.
- 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. Hort.* 53: 249-259.
- Reed, J. W., K. R. Foster, P. M. Morgan and J. Chory. 1996. Phytochrome B affects responsiveness to gibberellins in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 112: 337-342.
- Runkle, E. S. and R. D. Heins. 2001. Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126: 275-282.
- Runkle, E. S. and R. D. Heins. 2003. Photocontrol of flowering and extension growth in the long-day plant pansy. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128: 479-485.

- Shillo, R. and A. H. Halevy. 1982. Interaction of photoperiod and temperature in flowering-control of *Gypsophila paniculata* L. *Sci. Hort.* 16: 385-393.
- 島 浩二・川西孝秀・山田 真・石渡正紀・住友克彦・久松 完.
2009a. 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スプレーギクの茎伸長に及ぼす影響. *園学研.* 8 (別 1) : 424.
- 島 浩二・川西孝秀・山田 真・石渡正紀・住友克彦・久松 完.
2009b. 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.
- Smith, H. 1982. Light quality, photoperception and plant strategy. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33: 481-518.
- Xu, Y. L., D. A. Gage and J. A. D. Zeevaart. 1997. Gibberelins and stem growth in *Arabidopsis thaliana* (Effect of photoperiod on expression of the GA4 and GA5 loci). *Plant Physiol.* 114: 1471-1476.
- ヨセファ・シャハク. 2003. 資機材利用の最前線 21 カラー遮光ネットの効用. *農耕と園芸.* 58(10): 26-29.