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ランプを利用した日長延長による開花促進

佐藤武義^{1,3*}・工藤則子^{1a}・森山厳典²・大川秀樹²・金山喜則³・金浜耕基³

¹ 山形県農業総合研究センター園芸試験場 991-0043 山形県寒河江市大字島宇島南 423

² 東芝ライテック株式会社 237-8510 神奈川県横須賀市船越町 1-201-1

³ 東北大学大学院農学研究科 981-8555 宮城県仙台市青葉区堤通雨宮町 1-1

Acceleration of Flowering of *Eustoma grandiflorum* in Early Winter by Day-extension Treatments with Far-red Rich Bulb-type Fluorescent Lamps

Takeyoshi Sato^{1,3*}, Noriko Kudo^{1a}, Takayoshi Moriyama²,
Hideki Ohkawa², Yoshinori Kanayama³ and Koki Kanahama³

¹Department of Horticultural Experiment Station, Yamagata General Agricultural Research Center, Sagae, Yamagata 991-0043

²Toshiba Lighting & Technology Corporation, Yokosuka, Kanagawa 237-8510

³Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Sendai, Miyagi 981-8555

Abstract

Acceleration of flowering of *Eustoma grandiflorum* in early winter by day-extension treatments with far-red rich bulb-type fluorescent lamps was investigated after culturing short-day treatment was performed from transplant to the end of August, followed by under long-day treatment after the middle of September, which is appropriated for cool area in Japan. Far-red rich bulb-type fluorescent lamps were made for trial purposes and in addition to incandescent lamps and red rich bulb-type fluorescent lamps on the market were used as light sources. As a result, far-red rich bulb-type fluorescent lamps, as well as incandescent lamps, accelerated the flowering and development of flower buds compared to red rich bulb-type fluorescent lamps or intact natural daylength. When the intensity of far-red light exceeded $0.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, lateral flowers of the second order and higher increased, thus, cut flowers volume were enhanced. Furthermore, this promotion was further accelerated by continuous lighting compared to that under 16 h and 12 h photoperiods. These findings indicated that day-extension treatments from the middle term of growth until flowering time with more than $0.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ of far-red light promoted a high production of marketable cut flowers of the *Eustoma grandiflorum* and the effect was greatest with continuous lighting in early winter during the cool area.

Key Words : croppig type, cut flower, light quality, long-day

キーワード : 長日, 切り花, 光質, 作型

緒 言

トルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) は北アメリカ大陸原産の長日植物で (大川, 1987), 園芸的には一年草として栽培されている。切り花は、水揚げと花持ちが非常に良く、多様な花色と形態を持つ品種が育成・栽培されていることから、需要が増加している。切り花の主要な出荷時期は自生地気象条件に適応した夏秋出し作型であるが、最近ではそれに加えて、秋冬出し作型および冬春出し作型への取り組みが高まっている。

秋冬出し作型では、生育前期の高温遭遇による苗のロゼット化または早期開花と切り花長の不足、生育中期以降の短日、少日照、低温による開花遅延と花数不足の問題が指摘されている (嶋本, 1996; 田中, 1996)。特に、寒冷地では秋冬期の短日、少日照によって生育が遅延し、加温しても開花が大幅に遅れる場合があるので、生産安定化を図るうえでの大きな課題となっている。秋冬期に生育を促進する方法としては、白熱電球を用いた明期延長による 16 時間日長の長日処理が暗期中断処理より優れる (佐藤ら, 2001) ことや、白熱電球や遠赤色光を多く含む直管形蛍光灯を用いた暗期中断処理が効果的である (Yamada ら, 2008) ことが報告されている。しかし、これらの処理を行っても、秋冬期に高品質の切り花を生産することができないことと、白熱電球は開花促進に作用する波長以外の光質を

2008 年 6 月 4 日 受付. 2008 年 12 月 10 日 受理.

* Corresponding author. E-mail: satotakey@pref.yamagata.jp

^a現在: 山形県村山総合支庁農業技術普及課

多く含むとともに、発光効率が低いことから、地球環境保全の観点で製造停止の傾向にある。このような背景から、トルコギキョウの秋冬出し作型に適した代替光源の開発と使用方法を早急に確立する必要がある。

短日植物であるキクの電照栽培においては白熱電球が用いられていたが、今日では省電力の観点から赤色光を多く含む電球形蛍光ランプの利用が始まっている。電球形蛍光ランプは白熱電球と同じソケットを用いることが可能であることから、温室などに設置する場合、ランプ代以外の新たな設備投資が不要であるという利点がある。一方、波長分光特性の異なる電球形蛍光ランプがトルコギキョウの開花促進と切り花品質の向上に効果があるかどうかは明らかにされていない。

近年、長日性の切り花類であるシュッコンカスミソウ (*Gypsophila paniculata* L.) (勝田ら, 2003; 山本ら, 2005)、ストック (*Matthiola incana* (L.) R. Br.) (Hisamatsu ら, 2002; 吉村ら, 2002)、トルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) (Yamada ら, 2008) では、長日処理の光質として赤色光ではなく遠赤色光を使用すると、生育・開花の促進効果が高いという報告がみられる。特定の光質を利用して秋冬期におけるトルコギキョウの開花を促進することは、切り花生産の安定化に加えて、栽培期間の短縮による施設利用率の向上や加温栽培の暖房コスト低減に繋がるので、トルコギキョウの秋冬出し作型においては新しい生産技術として有望である。

そこで、本研究では積雪寒冷地にある山形県でのトルコギキョウの秋冬出し作型において、開花の安定化と切り花品質の向上を目的として、長日処理を行う場合の光源として、市販の赤色光を多く含む電球形蛍光ランプと白熱電球の使用に加えて、遠赤色光を多く含む電球形蛍光ランプを試作して検討することとした。なお、本研究においては、定植直後から生育前期にあたる8月下旬まで短日処理を行って花芽分化を抑制した。その後は、自然日長下で栽培した後、生育中期の9月中旬から各光源で夜間に照明した場合の開花時期と切り花品質に及ぼす影響を調べるとともに、遠赤色光を多く含む電球形蛍光ランプの最適な照射光量と照射時間について調べた。

材料および方法

1. 供試材料

材料には、トルコギキョウの中生品種‘雪てまり’ (八重咲き, タキイ種苗 (株)) と、晩生品種‘つくしの雪’ (一重咲き, (株) サカタのタネ) の2品種を供試した。両品種とも2005年4月27日に288穴セルトレイに播種し、ミスト室内で育苗した。苗は、2.5対葉期の成苗に達した6月21日から定植前日まで、白色蛍光灯で24時間照明 (約 $3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) した 10°C の冷蔵庫内に貯蔵した。基肥として溶出期間100日タイプの被覆肥料 ($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=14:12:14$) $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、粒状炭酸苦土石灰 $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、珪酸

加里 $50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ をそれぞれ全面土壌混和したガラス温室内に、7月30日に1つの処理区として幅1.0 m、長さ2.4 mの栽培ベッドを作り、各品種80株ずつ定植した。栽培ベッドの両側には55 cmの幅で通路を設けた。各栽培ベッドに株間12 cm、条間12 cmの8条植えて定植して、8月31日まで日長9時間の短日処理を行った。9月以降は、夜温が最低 15°C を保つように加温し、長日処理開始時まで自然日長下で育てた。

1つの試験区の広さは幅2.1 m×長さ3.2 mとし、周囲を厚さ0.075 mmのシルバーポリフィルムで覆い、日没30分前および翌朝の日の出30分後に開閉した。調査個体は、両品種とも1処理区当たり40株とし、群落の中央部から20株ずつ2反復として調査した。

2. 処理区の設定

1) 電照光質の影響 (実験1)

電照用の光源には、遠赤色光を多く含む遠赤色光電球形蛍光ランプ (東芝ライテック (株), 21 W, 試作品)、電照ギク栽培の長日処理用に開発された赤色光を多く含む赤色光電球形蛍光ランプ (東芝ライテック (株), 21 W, ネオボール Z, EFG21EL KIKU)、白熱電球 (東芝ライテック (株), 75 W, DENS100V75WER80K) の3種類を1灯ずつ用いた。遠赤色光電球形蛍光ランプ、赤色光電球形蛍光ランプ、白熱電球の光放射特性は既報 (金山ら, 2008) と同じである。光環境は、OPTOMETER P9710 (Gigahertz-Optik GmbH) で計測した。長日処理区としては、上記の各光源 (それぞれFR区、R区、W区と表す) で終夜照明した区と、電照をしない自然日長区 (対照区) を設けた。各光源は地上1.5 mの高さに設置し、日没の30分前から翌朝の日の出30分後まで点灯した。長日処理は、2005年9月10日から切り花の収穫時までに行った。FR、RおよびW区の栽培ベッド上30 cmの位置における水平面の波長域400～700 nmの光合成有効光量子束密度 (PPFD) は、5地点の平均値±標準誤差がそれぞれ $0.2 \pm 0.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1.3 \pm 0.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ および $2.1 \pm 0.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、遠赤色光の波長域700～780 nmの光量子束密度 (PFD) は、それぞれ $0.4 \pm 0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.1 \pm 0.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ および $1.7 \pm 0.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。R (600～700 nm) / FR (700～780 nm) 比は、それぞれ0.12、8.38および0.75であった。長日処理の開始時において、中生品種‘雪てまり’の生育は茎長が19～20 cm、節数が10～11節で、第1花の花芽はがく片形成期であった。晩生品種‘つくしの雪’の生育は茎長が16～17 cm、節数が10～11節で、第1花の花芽は未分化の段階であった。

第1花の発蕾が肉眼で認められた日、第1花および第2花が開花した日を記録し、それぞれの平均値を発蕾日、開花日として表した。定植日から第2花の開花日までの日数を到花日数として表し、第2花が開花した日を切り花適期と判定して収穫し、切り花の品質を調査した。切り花の基部から開花した花の上位にある長さ3 cm程度に肥大した花

蕾を商品花蕾として、その先端部までの長さを切花長、切り花の新鮮重を切花重とした。また、80 cm 以上の切り花は、商品花蕾の先端から 80 cm で切り戻し、80 cm 未満の切り花は、そのまま商品花蕾のついていない側枝と小さな花蕾を取り除いて、下葉 20 cm を摘葉した後の切花重を商品調整重として表した。切り花の基部から第 1 花までの着花節位までを節数とした。切り花の商品花数は、第 1 花を除いた開花輪数と商品花蕾数の合計値とした。

2) 遠赤色光の照射光量の影響 (実験 2)

遠赤色光電球形蛍光ランプ (東芝ライテック (株), 21 W, 試作品) を供試し、実験 1 と同じ広さで設けた各試験区に遠赤色光電球形蛍光ランプを 1, 2 および 4 灯設置して終夜照明した区 (それぞれ 1FR, 2FR および 4FR 区と表す) と、電照をしない自然日長区の 4 つの処理区を設けた。長日処理は 2005 年 9 月 10 日から切り花の収穫時まで行った。1FR, 2FR および 4FR 区の栽培ベッド上 30 cm の位置における水平面の波長域 400 ~ 700 nm の PPFD は、5 地点の平均値が、それぞれ $0.2 \pm 0.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.3 \pm 0.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ および $0.6 \pm 0.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、遠赤色光の波長域 700 ~ 780 nm の光量子束密度 (PFD) は、それぞれ $0.4 \pm 0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.7 \pm 0.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ および $1.4 \pm 0.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。長日処理の開始時において、中生品種 ‘雪てまり’ の生育は茎長が 18 ~ 19 cm, 節数が 10 ~ 11 節で、第 1 花の花芽はがく片形成期であった。晩生品種 ‘つくしの雪’ の生育は茎長が 16 ~ 17 cm, 節数が 10 ~ 11 節で、第 1 花の花芽は未分化の段階であった。切り花は実験 1 と同様に採取した。

3) 遠赤色光による長日処理時間の影響 (実験 3)

遠赤色光電球形蛍光ランプ (東芝ライテック (株), 21 W, 試作品) を供試し、各試験区に遠赤色光電球形蛍光ランプを 2 灯設置して終夜照明した 24 時間日長区と、自然日長と合わせて午前 4 時から午後 8 時までが明期となるように日出前と日没後に照明した 16 時間日長区、自然日長と合わせて 12 時間日長とした区 (それぞれ 24 h, 16 h および 12 h

区と表す) と、電照をしない自然日長区の 4 つの処理区を設けた。長日処理は、24 h および 16 h 区は 9 月 10 日から、12 h 区は 10 月 10 日から切り花収穫時まで行った。9 月 10 日において、中生品種 ‘雪てまり’ の生育は茎長が 18 ~ 19 cm, 節数が 10 ~ 11 節, 第 1 花の花芽はがく片形成期の段階であった。晩生品種 ‘つくしの雪’ の生育は茎長が 15 ~ 17 cm, 節数が 10 ~ 11 節で、第 1 花の花芽は未分化の段階であった。10 月 10 日において、中生品種 ‘雪てまり’ の生育は茎長が 60 ~ 68 cm, 節数が 14 ~ 15 節で、第 1 花の花芽は発蕾し胚珠形成期であった。晩生品種 ‘つくしの雪’ の生育は茎長が 55 ~ 59 cm, 節数が 16 ~ 17 節で、第 1 花の花芽は雄ずい形成期であった。切り花は実験 1 と同様に採取した。

結 果

1. 電照光質の影響 (実験 1)

発蕾日は、‘雪てまり’ では定植 8 週後の 9 月 24 日, ‘つくしの雪’ では定植 10 週後の 10 月 5 日となり、両品種において FR, R および W 区は、自然日長区との差が認められなかった (データ略)。

第 1 花の開花は、‘雪てまり’ では定植 12 週後の 10 月 22 日頃から始まり (第 1 図 A), ‘つくしの雪’ では定植 14 週後の 11 月 5 日頃から始まった (第 1 図 B)。第 1 花の開花株率が 50% に達した時期は、‘雪てまり’ では W 区が定植 13 週後の 10 月 29 日と最も早く、次いで FR 区が定植 14 週後の 11 月 5 日と早く、R および自然日長区が定植 15 週後の 11 月 12 日と遅かった。‘つくしの雪’ では、W 区が定植 14.5 週後の 11 月 8 日と最も早く、次いで FR 区が定植 15.5 週後の 11 月 15 日と早く、R および自然日長区は定植 16 週後の 11 月 19 日と遅かった。第 1 花の開花株率が 100% に達した時期は、‘雪てまり’ では W 区が定植 16 週後と最も早く、次いで FR および自然日長区が定植 17 週後と早く、R 区は定植 18 週後と遅かった。‘つくしの雪’ では W 区が定植 16 週後と最も早く、次いで FR 区が定植 17 週後と早

第 1 図 中生品種 ‘雪てまり’ (A) と晩生品種 (B) ‘つくしの雪’ の第 1 花の開花株率に及ぼす光質の影響
図中の縦線は SE を示す

^a シェッフエの多重比較法で同一英小文字間には 5% 水準で有意差がないことを示す

第1表 開花と切り花品質に及ぼす電照光質の影響 (実験1)

品種	処理区	開花日 ^z (月日)	到花日数 ^y (日)	切花長 ^x (cm)	切花重 (g)	商品調整重 ^w (g)	商品花数 ^v (個)
雪てまり (中生品種)	自然日長	12.12	135c ^u	87.8b	88.3b	41.2a	1.5b
	FR	11.26	119b	95.5c	79.2b	43.7a	3.2c
	R	12.17	140d	76.0a	63.6a	36.5a	1.2a
	W	11.21	114a	95.1c	84.1b	51.6b	4.8d
つくしの雪 (晩生品種)	自然日長	12.19	142c	89.3a	80.7b	47.5a	2.7a
	FR	12.13	136b	95.6b	84.2b	50.0a	4.2b
	R	12.23	146d	86.5a	69.5a	45.6a	2.9a
	W	12. 4	127a	103.6c	81.7b	50.9a	5.6c

^z商品切り花として収穫適期となる第2花の開花日^y定植日から第2花の開花日までの日数^x基部から長さ3 cm程度に肥大した商品花蕾の先端部までの長さ^w80 cm以上の切り花は商品花蕾の先端から80 cmで切り戻し、80 cm未満の切り花はそのまま商品花蕾のついていない側枝と小さな花蕾を取り除き下葉20 cmを摘葉した後の切花重^v第1花を除いた開花輪数 + 商品花蕾数の合計値^uシェッフェの多重比較法で同一英小文字間には5%水準で有意差がないことを示す

く、Rおよび自然日長区は定植18週後と遅かった。到花日数は、‘雪てまり’ではW区が114日(11月21日)、FR区が119日(11月26日)と短く、自然日長区は135日(12月12日)、R区は140日(12月17日)と長かった(第1表)。^z‘つくしの雪’ではW区が127日(12月4日)、FR区が136日(12月13日)と短く、自然日長区は142日(12月19日)、R区は146日(12月23日)と長かった。

切花長は、‘雪てまり’ではFRおよびW区が95.1~95.5 cmと長く、次いで自然日長区が87.8 cmで、R区は76.0 cmと短かった(第1表)。^z‘つくしの雪’ではW区が103.6 cmと最も長く、次いでFR区が95.6 cmと長く、自然日長区とR区は86.5~89.3 cmと短かった。切花重は、‘雪てまり’では自然日長、FRおよびW区が79.2~88.3 gと重く、R区は63.6 gと軽かった(第1表)。^z‘つくしの雪’では自然日長、FRおよびW区が80.7~84.2 gと重く、R区は69.5 gと軽かった。商品調整重は、‘雪てまり’ではW区が51.6 gと重く、FRおよび自然日長およびR区は36.5~43.7 gと軽

かった(第1表)。^z‘つくしの雪’では45.6~50.9 gとなり、光質処理区の差は認められなかった。節数は、‘雪てまり’では14.1~14.5節、‘つくしの雪’では16.1~16.7節で、光質処理区の差は認められなかった(データ略)。商品花数は、‘雪てまり’ではW区が4.8個と最も多く、次いでFR区が3.2個と多く、自然日長区は1.5個、R区は1.2個と少なかった(第1表)。^z‘つくしの雪’ではW区が5.6個と最も多く、次いでFR区が4.2個と多く、自然日長およびR区は2.7~2.9個と少なかった。

2. 遠赤色光の照射光量の影響 (実験2)

発蕾日は、‘雪てまり’では定植8週後の9月24日、‘つくしの雪’では定植10週後の10月5日となり、両品種において、1FR、2FR、4FRおよび自然日長区の間で差が認められなかった(データ略)。

第1花の開花は、‘雪てまり’では定植12週後の10月22日頃から始まり(第2図A)、‘つくしの雪’では定植14週後の11月5日頃から始まった(第2図B)。第1花の開

第2図 中生品種‘雪てまり’ (A) と晩生品種 (B) ‘つくしの雪’ の第1花の開花株率に及ぼす遠赤色光の照射光量の影響
図中の縦線はSEを示す

^zシェッフェの多重比較法で同一英小文字間には5%水準で有意差がないことを示す

第2表 開花と切り花品質に及ぼす遠赤色光の照射光量の影響 (実験2)

品種	処理区	開花日 ^z (月日)	到花日数 ^y (日)	切花長 ^x (cm)	切花重 (g)	商品調整重 ^w (g)	商品花数 ^v (個)
雪てまり (中生品種)	自然日長	12.12	135b ^u	87.8a	88.3b	41.2a	1.5a
	1FR	11.26	119a	95.5b	79.2a	43.7a	3.2b
	2FR	11.24	117a	95.0b	81.6a	48.1a	4.5c
	4FR	11.24	117a	95.8b	80.6a	46.6a	4.1c
つくしの雪 (晩生品種)	自然日長	12.19	142b	89.3a	80.7b	47.5a	2.7a
	1FR	12.13	136a	95.6b	84.2b	50.0a	4.2b
	2FR	12.11	134a	97.8b	70.1a	45.6a	5.1c
	4FR	12.11	134a	104.2c	77.8ab	44.8a	5.3c

^z商品切り花として収穫適期となる第2花の開花日^y定植日から第2花の開花日までの日数^x基部から長さ3 cm程度に肥大した商品花蕾の先端部までの長さ^w80 cm以上の切り花は商品花蕾の先端から80 cmで切り戻し、80 cm未満の切り花はそのまま商品花蕾のついていない側枝と小さな花蕾を取り除き下葉20 cmを摘葉した後の切花重^v第1花を除いた開花輪数 + 商品花蕾数の合計値^uシェッフェの多重比較法で同一英小文字間には5%水準で有意差がないことを示す

花株率が50%に達した時期は、‘雪てまり’では1FR、2FRおよび4FR区が定植14週後の11月5日と早く、自然日長区は定植15週後の11月12日と遅かった。‘つくしの雪’では2FRおよび4FR区が定植15.5週後の11月15日と早く、1FRおよび自然日長区は定植16週後の11月19日と遅かった。第1花の開花株率が100%に達した時期は、‘雪てまり’では4FR区が定植16週後と早く、2FR、1FRおよび自然日長区は定植17週後と遅かった。‘つくしの雪’では1FR、2FRおよび4FR区が定植17週後と早く、自然日長区は定植18週後と遅かった。到花日数は、‘雪てまり’では1FR、2FRおよび4FR区が117～119日(11月24～26日)と短く、自然日長区は135日(12月12日)と長かった(第2表)。「つくしの雪」では1FR、2FRおよび4FR区が134～136日(12月11～13日)と短く、自然日長区は142日(12月19日)と長かった。

切花長は、‘雪てまり’では1FR、2FRおよび4FR区が95.0～95.8 cmと長く、自然日長区は87.8 cmと短かった(第2表)。「つくしの雪」では4FR区が104.2 cmと最も長くなり、次いで1FRおよび2FR区が95.6～97.8 cmと長く、自然日長区は89.3 cmと短かった。切花重は、‘雪てまり’では1FR、2FRおよび4FR区が79.2 g～81.6 gと軽く、自然日長区は88.3 gと重かった(第2表)。「つくしの雪」では2FR区が70.1 gと軽く、4FR区が77.8 gとなり、1FRおよび自然日長区は80.7～84.2 gと重かった。

商品調整重は、‘雪てまり’では41.2～48.1 g、「つくしの雪」では44.8～50.0 gで、照射光量による差は認められなかった(第2表)。節数は、‘雪てまり’では14.1～14.7節、「つくしの雪」では16.1節で、照射光量による差は認められなかった(データ略)。商品花数は、‘雪てまり’では2FR区と4FR区が4.1～4.5個と多く、次いで1FR区が3.2個と多く、自然日長区は1.5個と少なかった(第2表)。「つくしの雪」では2FRおよび4FR区が5.1～5.3個と多く、

次いで1FR区が4.2個と多く、自然日長区は2.7個と少なかった。

3. 遠赤色光による長日処理時間の影響 (実験3)

発蕾日は、‘雪てまり’では定植8週後の9月24日、「つくしの雪」では定植10週後の10月5日となり、両品種において、12 h、16 h、24 hおよび自然日長区の差が認められなかった(データ略)。

第1花の開花は、‘雪てまり’では定植12週後の10月22日頃から始まり(第3図A)、「つくしの雪」では定植14週後の11月5日頃から始まった(第3図B)。第1花の開花株率が50%に達した時期は、‘雪てまり’では24 h区が定植14週後の11月5日、16 hおよび12 h区が11月8日と早く、自然日長区は定植15週後の11月12日と遅かった。「つくしの雪」では24 h区が定植15.5週後の11月15日と早く、次いで16 h区、12 h区の順に早く、自然日長区は定植16週後の11月19日と遅かった。第1花の開花株率が100%に達した時期は、‘雪てまり’では24 h区が定植16週後と早く、16 h、12 hおよび自然日長区は定植17週後と遅かった。「つくしの雪」では24 h、16 hおよび12 h区が定植17週後と早く、自然日長区は定植18週後と遅かった。到花日数は、‘雪てまり’では24 h区が117日(11月24日)と最も短く、次いで16 h区が127日(12月4日)と短く、12 hおよび自然日長区は132～135日(12月9～12日)と長かった(第3表)。「つくしの雪」では24 h区が134日(12月11日)と最も短く、次いで16 h区が136日(12月13日)と短く、12 h区は138日(12月15日)、自然日長区は142日(12月19日)と長かった。切花長は、‘雪てまり’では16 hおよび24 h区が92.9～95.0 cmと長く、自然日長および12 h区は87.5～87.8 cmと短かった(第3表)。「つくしの雪」では24 h区が97.8 cmと長く、次いで16 h区が94.6 cmで、自然日長区と12 h区は88.0～89.3 cmと短かった。切花重は、‘雪てまり’では12 h、16 hおよび24 h区

第3図 中生品種‘雪てまり’(A)と晩生品種(B)‘つくしの雪’の第1花の開花株率に及ぼす日長時間の影響
図中の縦線はSEを示す

^z シェッフェの多重比較法で同一英小文字間には5%水準で有意差がないことを示す

第3表 開花と切り花品質に及ぼす日長の影響 (実験3)

品種	処理区	開花日 ^z (月日)	到花日数 ^y (日)	切花長 ^x (cm)	切花重 (g)	商品調整重 ^w (g)	商品花数 ^v (個)
雪てまり (中生品種)	自然日長	12.12	135c ^u	87.8a	88.3b	41.2a	1.5a
	12 h	12. 9	132c	87.5a	82.5a	45.0a	2.9b
	16 h	12. 4	127b	92.9b	83.0a	44.9a	3.3c
	24 h	11.24	117a	95.0b	81.6a	48.1a	4.5d
つくしの雪 (晩生品種)	自然日長	12.19	142c	89.3a	80.7b	47.5a	2.7a
	12 h	12.15	138b	88.0a	80.4b	52.1a	4.0b
	16 h	12.13	136ab	94.6b	76.7ab	48.8a	4.4c
	24 h	12.11	134a	97.8c	70.1a	45.6a	5.1d

^z 商品切り花として収穫適期となる第2花の開花日

^y 定植日から第2花の開花日までの日数

^x 基部から長さ3 cm程度に肥大した商品花蕾の先端部までの長さ

^w 80 cm以上の切り花は商品花蕾の先端から80 cmで切り戻し、80 cm未満の切り花はそのまま商品花蕾のついていない側枝と小さな花蕾を取り除き下葉20 cmを摘葉した後の切花重

^v 第1花を除いた開花輪数 + 商品花蕾数の合計値

^u シェッフェの多重比較法で同一英小文字間には5%水準で有意差がないことを示す

が81.6～83.0 gと軽く、自然日長区は88.3 gと重かった(第3表)。「つくしの雪」では24 h区が70.1 gと最も軽く、次いで16 h区が76.7 gと軽く、自然日長区と12 h区は80.4～80.7 gと重かった。商品調整重は、「雪てまり」では41.2～48.1 g、「つくしの雪」では45.6～52.1 gで、長日処理時間による差は認められなかった(第3表)。節数は、「雪てまり」では14.1～14.7節、「つくしの雪」では16.1～16.3節で、長日処理時間による差は認められなかった(データ略)。商品花数は、「雪てまり」では24 h区が4.5個と最も多く、次いで16 h区が3.3個、12 h区が2.9個と多く、自然日長区は1.5個と少なかった(第3表)。「つくしの雪」では、24 h区が5.1個と最も多く、次いで16 h区が4.4個、12 h区が4.0個と多く、自然日長区は2.7個と少なかった(第3表)。

考 察

実験1において、トルコギキョウはR/FR比の小さい遠赤色光電球形蛍光灯と白熱電球で開花が促進され、R/

FR比の大きい赤色光電球形蛍光灯では開花が抑制されることが示された(第1表、第1図)。遠赤色が長日性植物の開花を促進するという現象は、遺伝子解析のモデル植物として利用されているシロイヌナズナで知られている(Bagnall, 1993; Komeda, 2004; Mockler ら, 2003)。シロイヌナズナの晩生系 ecotype Eifel, ecotype Innsbruck, ecotype Pitztal において、白色直管形蛍光灯の単独処理区と、白色直管形蛍光灯に遠赤色光を多く含む白熱電球を組み合わせた処理区を設けて16時間日長の長日処理を行った結果、白色直管形蛍光灯に白熱電球を組み合わせた処理区で開花が促進されることが報告されている(Bagnall, 1993)。また、トルコギキョウにおいて、晩生品種「つくしの雪」に白色直管形蛍光灯あるいは白熱電球で16時間日長の長日処理を行った結果、開花は白熱電球の処理区で促進されることが報告されている(佐藤ら, 2001)。

暖地におけるトルコギキョウの秋冬出し作型では、早生品種「ネイルピーチネオ」にR/FR比の小さい遠赤色直管形蛍光灯、白熱電球、植物用直管形蛍光灯、R/FR比の大きい

い昼光色直管形蛍光灯を用いて、定植直後から暗期中断処理を行った報告がある (Yamada ら, 2008). その結果として、定植から第1花の発蕾までの日数は、R/FR 比の大きい昼光色直管形蛍光灯や自然日長と比較して、R/FR 比の小さい遠赤色直管形蛍光灯が最も短く、次いで白熱電球と植物用直管形蛍光灯で短くなり、第1花の発蕾から開花までの日数には差がなかった。また、第1花の着花節位は R/FR 比の大きい昼光色直管形蛍光灯や自然日長と比較して、R/FR 比の小さい遠赤色直管形蛍光灯が最も低く、次いで白熱電球と植物用直管形蛍光灯で低くなったことから、花芽分化が R/FR 比の小さい遠赤色直管形蛍光灯、白熱電球、植物用直管形蛍光灯で促進されたとしている。この点について本実験結果をみると、‘雪てまり’と‘つくしの雪’とも、光質処理間に定植から第1花の発蕾までの日数と節数には差はなかったが、開花までの日数には差があり、発蕾から開花までの日数も光質による影響を受け、これらの点は Yamada ら (2008) の報告と異なっている。本実験では、定植直後から約1か月間の短日処理により花芽分化を抑制した後、長日処理を開始したが、‘雪てまり’では長日処理開始時点で、‘つくしの雪’では長日処理開始1週間後に第1花がく片形成期に達しており (データ略)、長日処理開始時にすでに花芽分化節位が決定していたこと、気温の高い時期であったために花芽発達が急速に進んだことが、発蕾までの日数に差が認められなかった原因であると推察される。発蕾から開花までの日数については、トルコギキョウでは発蕾期以降の開花促進は温度の要因による (大川, 2003) と報告されていること、ストック (吉村ら, 2002) やゴデチア (Halevy・Weisis, 1991) では、栽培期間の温度が低いほど R/FR 比の小さい光源による開花促進効果が大きいと報告されていることから、今後、R/FR 比の小さい光源の長日処理によって、花芽分化開始後または発蕾期以降のどの段階まで開花が促進されるのか検討する必要がある。さらに、第2花の定植から開花までの日数は処理間の差が大きかった (第1表)。第2花は、‘雪てまり’では長日処理開始時点で、‘つくしの雪’では長日処理開始1週間後に、すべての区において成長点肥大期に達していた (データ略)。従って、実用的な切り花生産においては、第2花以降も連続的に開花することが重要であることから、今後、第2花以降においても、処理開始から花芽分化までの日数、分化から発蕾までの日数、発蕾から開花までの日数に光質が影響するかどうか調べる必要がある。

次に、切り花品質については、光質処理区間の差が大きかった。R/FR 比の小さい遠赤色光電球形蛍光灯ランプ区と白熱電球区では、R/FR 比の大きい赤色光電球形蛍光灯ランプ区と自然日長区に比較し、二出集散花序において側枝の花蕾の発達が進んだ結果、商品花数が多くなって、切り花長も長くなり、切り花品質の向上効果が認められた (第1表)。

実験2では、遠赤色光電球形蛍光灯ランプの照射光量が2FR以上で第2花および第2花の腋芽から発生する側枝の花蕾

の発達と開花が促進され、商品花数が多くなって、切り花品質が向上した (第2表)。一方、到花日数には照射光量区間の差は認められなかった (第2図, 第2表)。遠赤色光の照射光量が多いほど抽苔までの日数が減少する現象はシロイヌナズナで知られている (Eskins, 1992)。シュッコンカスミソウ (勝田ら, 2003; 山本ら, 2005)、ストック (吉村ら, 2006) でも、遠赤色光の照射光量が多くなると開花が促進されると報告されているが、本実験結果は、照射光量区間の差が、腋芽から発生する側枝の花蕾の発達、開花に認められる点で異なる。

トルコギキョウでは、長日条件と光合成を促進するような強い光が花芽分化と発達を促進し、その後の成長も促進することが示されている (Islam ら, 2005)。一方、本実験においては、光合成に影響を及ぼさない波長の遠赤色光を多く含む遠赤色光電球形蛍光灯ランプの照射によって、開花が促進され、また、側枝の花蕾の発達が進んだ結果、商品花数が多くなって、切り花品質の向上効果が認められた。特に、秋冬出し作型では、切り花品質の要素のうちで商品花数をできるだけ多く確保することが重要である。このような観点で、21 W の遠赤色光電球形蛍光灯ランプを 6.7 m² 当たり2灯ないし4灯設置すると、中生品種‘雪てまり’と晩生品種‘つくしの雪’とも、商品花数が4個以上となったので、本実験で供試した光源は実用性があると認められた。電照開始時における遠赤色光の照射光量は、21 W の遠赤色光電球形蛍光灯ランプを 6.7 m² 当たり2灯設置した場合、0.7 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であったことから、今後、発光ダイオードなどの単色光で行う際の照射光量の目安になるものと推察された。

実験3では、遠赤色光電球形蛍光灯ランプを使用して長日処理を行うと、照射時間が長いほどトルコギキョウの開花が促進されることが示された (第3表, 第3図)。トルコギキョウは、定植後に長日条件で栽培すると、開花は促進されるものの (Islam ら, 2005; 大川, 2003)、冬期および夏期の定植時期とも側枝数と着蕾数が減少すると報告されている (Zaccai・Edri, 2002)。この点について本実験結果をみると、中生品種‘雪てまり’と晩生品種‘つくしの雪’とも、長日処理によって商品花数を確保できたことは Zaccai・Edri (2002) の報告と異なっている。その原因として、本実験では、定植時から約1か月間の短日処理を行って、早期の花芽分化を抑制して栄養成長量の1つの指標と言える葉数を確保したことに加えて、その後に遠赤色光電球形蛍光灯ランプを使用して長日処理を行って、花芽の発達を促進したことが影響したと推察される。

以上のことから、寒冷地におけるトルコギキョウの秋冬出し作型では、遠赤色光を多く含む遠赤色光電球形蛍光灯ランプを使用して終夜照明などの長日処理を行うと開花が促進され、商品花数が多くなり、切り花品質が向上することが示された。国内では、多種類の長日性切り花類が生産されているものの、遠赤色光の照射による栽培実験を行った

事例は少ない。すべての長日性切り花類が遠赤色光で開花が促進されるかどうかは不明なことから、今後、調べるとともに、栽培温度との関係をさらに検討して、秋冬期における栽培期間の短縮や電照コストの低減による生産の効率化に繋げる必要がある。

摘 要

定植直後から8月末までの短日処理と生育中期の9月中旬以降の長日処理を組み合わせ、寒冷地に適した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ランプを利用した日長延長による開花促進の影響を検討した。光源として、市販の白熱電球と赤色光を多く含む電球形蛍光ランプに加えて、遠赤色光を多く含む電球形蛍光ランプを試作して用いた。その結果、遠赤色光を多く含む電球形蛍光ランプを使用すると、白熱電球を使用した場合と同様に、赤色光を多く含む電球形蛍光ランプを使用した場合や自然日長と比較して、開花と花蕾の発達が促進され、商品花数が多くなって、切り花品質が向上した。遠赤色光の照射光量が $0.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上では、第2花および第2花の腋芽から発生する側枝の花蕾の発達と開花が促進された。また、12時間日長や16時間日長と比較して終夜照明により開花は促進され、商品花数が多くなった。これらのことから、寒冷地におけるトルコギキョウの秋冬出し作型においては、生育中期から $0.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の遠赤色光を多く含む光源を用いて、日長延長による長日処理を行うと、商品性の高い切り花生産が可能であること、その効果は終夜照明においてもっとも大きいことが示された。

引用文献

- Bagnall, D. J. 1993. Light quality and vernalization interact in controlling late flowering in *Arabidopsis* ecotypes and mutants. *Ann. Bot.* 71: 75–83.
- Eskins, K. 1992. Light-quality effects on *Arabidopsis* development: Red, blue and far-red regulation of flowering and morphology. *Physiol. Plant.* 86: 439–444.
- Halevy, A. H. and D. Weisis. 1991. Flowering control of recently introduced F_1 -hybrid cultivars of *Godetia*. *Sci. Hortic.* 46: 295–299.
- Hisamatsu, T., N. Oyama-Okubo, K. Ichimura, S. Esaki, R. Oi and M. Koshioka. 2002. Interactions of far-red light modification with temperature on shoot extension and flowering in stock (*Matthiola incana* (L.) R. Br.). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 77: 1–8.
- Islam, N., G. G. Patil and H. R. Gislerød. 2005. Effect of photoperiod and light integral on flowering and growth of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Sci. Hortic.* 103: 441–451.
- 金山喜則・大川秀樹・森山厳興・佐藤武義・金浜耕基. 2008. 遠赤色光によるシュッコンカスミソウの開花促進. p. 118–125. アグリフォトニクス. シーエムシー出版. 東京.
- 勝田敬子・森山厳興・西山 学・金山喜則・金浜耕基. 2003. 遠赤色光蛍光ランプによるシュッコンカスミソウの開花促進方法. *園学雑.* 72 (別2): 453.
- Komeda, Y. 2004. Genetic regulation of time to flower in *Arabidopsis thaliana*. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 55: 521–535.
- Mockler, T., H. Yang, X. Yu, D. Parikh, Y. Cheng, S. Dolan and C. Lin. 2003. Regulation of photoperiodic flowering by *Arabidopsis* photoreceptors. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100: 2140–2145.
- 大川 清. 1987. トルコギキョウの自生地における生育状況. *園学要旨.* 昭62春: 456–457.
- 大川 清. 2003. 開花調節の基礎技術. p. 132–144. 大川清編著. 実践花き園芸技術—トルコギキョウ. 誠文堂新光社. 東京.
- 佐藤武義・西村林太郎・小野恵二. 2001. トルコギキョウの短日における長日処理と電照光源の光質が開花、切り花品質に及ぼす影響. *園学雑.* 70 (別2): 341.
- 嶋本久二. 1996. 産地における生産の現状と問題点. 2) 暖地. p. 37–42. 平成9年度野菜・花き並びに茶業課題別研究会資料. 農水省野菜・茶業試験場.
- 田中和人. 1996. 産地における生産の現状と問題点. 1) 寒地. p. 28–36. 平成9年度野菜・花き並びに茶業課題別研究会資料. 農水省野菜・茶業試験場.
- Yamada, A., T. Tanigawa, T. Suyama, T. Matsuno and T. Kunitake. 2008. Night break treatment using different light sources promote or delays growth and flowering of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 77: 69–74.
- 山本健志・持地勝博・森山厳興・勝田敬子・金山喜則・金浜耕基. 2005. 遠赤色発光ダイオードがシュッコンカスミソウの開花に及ぼす影響. *園学雑.* 74 (別2): 532.
- 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／遠赤色光比の影響. *園学雑.* 71: 575–582.
- 吉村正久・佐々木 厚・森山厳興・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: 273–301.
- Zaccari, M. and N. Edri. 2002. Floral transition in *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*). *Sci. Hortic.* 95: 333–340.