

福岡県農業総合試験場特別報告

第30号

光形態形成反応を活用した
トルコギキョウの開花調節および
切り花品質の向上に関する研究

平成22年3月

福岡県農業総合試験場

(筑紫野市大字吉木)

SPECIAL BULLETIN
OF
THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
NO.30

Studies on Regulation of Flowering and Improvement of Cut-Flower
Quality by Application of Photomorphogenic Responsiveness in *Eustoma*
grandiflorum (Raf.) Shinn.

by
Asuka Yamada

THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan

March 2010

光形態形成反応を活用した
トルコギキョウの開花調節および
切り花品質の向上に関する研究

山 田 明 日 香

2 0 1 0

*九州大学 審査学位論文

第1章 長日処理に用いる光源の光質とトルコギキョウの成長および開花

第4節 摘要

トルコギキョウ‘ネイルピーチネオ’を供試し、光質の異なる数種類の光源を用いた暗期中断が成長と開花に及ぼす影響について調査した。光源として遠赤色蛍光灯、植物育成蛍光灯、昼光色蛍光灯および白熱灯を用い、定植時の苗の茎頂部における PPFD をいずれも $5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に調整し、対照として無処理区を設けた。赤色光 (R, $660 \pm 30 \text{ nm}$) と遠赤色光 (FR, $730 \pm 30 \text{ nm}$) の比 (R:FR 比) は、それぞれの光源で 0.01, 0.43, 5.00 および 0.65 であった。定植から発蕾までの期間は、無処理区では 66 日であったのに対し、遠赤色蛍光灯を用いた暗期中断区では 46 日と最も短く、次いで白熱灯区と植物育成蛍光灯区でそれぞれ 50 日および 52 日と有意に短くなった。それに対し、昼光色蛍光灯区では発蕾までの期間が 70 日であり、無処理よりも有意に長くなった。発蕾から開花に到る期間には、光源の違いによる有意な影響が認められなかった。開花時の主茎の抽苔節数は、遠赤色蛍光灯区、白熱灯区、植物育成蛍光灯区では無処理より有意に減少したが、昼光色蛍光灯区では有意に増加した。また、節間長は、遠赤色蛍光灯区や白熱灯区では無処理より増加したが、昼光色蛍光灯区では有意に減少した。さらに、7~8 月の長日期においても、R:FR 比が 100 の赤色蛍光灯を用いた暗期中断により、無処理と比較して発蕾と開花が遅れ、節数が増加した。

‘ネイルピーチネオ’を供試し、暗期中断に用いる光源の異なる R:FR 比が成長と開花に及ぼす影響について調査した。花芽形成は光源の R:FR 比が低いと促進され、R:FR 比が高いと遅延した。発蕾の促進は、開花時における主茎の節数の減少を伴い、発蕾の遅延は節数の増加を伴った。定植から発蕾までの期間の暗期中断区と無処理との差は、照射光の R:FR 比の対数とシグモイド関数に高い精度で近似した。本実験条件での発蕾の促進と遅延との境界域の R:FR 比は約 5.3 であった。近似式より、発蕾の促進に対する R:FR 比の下限値は約 0.5、遅延に対する上限値は約 50 と推定される。

本研究結果は、トルコギキョウの成長と開花を特定の R:FR 比を有する光源を用いた長日処理によって制御する場合の指針として活用できる。

第2章 長日処理に用いる光源の遠赤色光または赤色光の光量がトルコギキョウの開花と茎伸長に及ぼす影響

第4節 摘 要

トルコギキョウ‘ネイルピーチネオ’を供試し、冬春開花における暗期中断に用いる光源の遠赤色光量が、開花と開花時の形質に及ぼす影響について検討した。白熱灯を用い、赤色光 (R, 660 ± 30 nm) : 遠赤色光 (FR, 730 ± 30 nm) 比を一定 (0.6) とした場合の暗期中断区と無処理との発蕾日の差は、FR 光量との関係において指数関数に近似した。近似式に従うと、本実験条件における長日処理による発蕾促進の最大日数は約 20 日と推定され、この時の FR 光量の上限値は約 $2.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と推定された。初秋出し栽培における花芽形成の抑制による切り花品質の向上を目的に、‘リネーションピンクピコティ’を供試し、実用に適した電球型赤色蛍光灯 (R:FR 比 ; 8.8) を用いて R 光の PFD を 0.1, 0.2 および 0.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした夜明け前 6 時間の長日処理をおこない、対照として無処理区 (自然日長 14~15 時間) を設けた。定植から発蕾までの期間は R 光長日処理により無処理と比較して有意に長くなった。3 輪開花時の主茎の節数は、R 光量が増加すると増加した。茎長は R 光量 0.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上で無処理と比較して有意に増加した。9 月開花の作型において、R:FR 比の大きい赤色蛍光灯 (R:FR 比 ; 100) を用い、R 光量を 0.2, 1.0, 2.0, 4.0 および 8.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とし、同様の長日処理をおこなった。定植から発蕾までの期間は、R 光長日処理により短くなり、長日処理区と無処理との差は、R 光量約 3 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を頂点とする二次関数に近似した。発蕾から開花までの期間には、R 光長日処理による影響が認められなかった。いずれの R 光量においても、無処理と比較して主茎の抽苔節数および茎長が有意に増加した。‘ネイルピーチネオ’を供試し、2 月開花の作型で、9 月開花の試験と同様の赤色蛍光灯を用いた長日処理における R 光量の影響を検討した。定植から発蕾までの期間の長日処理区と無処理との差は、R 光量約 2.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を頂点とする二次関数に近似し、R 光量 0.2~4.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、無処理と比較して発蕾が遅延したが、R 光量 8.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では無処理より発蕾が促進した。発蕾から開花までの期間は、長日処理に用いる R 光量が増加するほど短くなる傾向が認められた。

第3章 トルコギキョウの冬春出し栽培における開花促進のための長日処理方法

第5節 摘 要

トルコギキョウの冬春出し栽培における白熱灯を用いた効果的な長日処理方法について検討した。10品種を供試し、10月8日にガラス温室に定植し、定植から開花まで4時間の暗期中断をおこない、対照として無処理区（自然日長 11～12.5 時間）を設けた。10品種の暗期中断区における第1花の平均開花日は無処理と比較して 22～49 日早くなり、平均で 35 日促進された。‘ネイルピーチネオ’を供試し、5 時間の暗期中断を定植から雌蕊形成期まで、雌蕊形成期から開花まで、発蕾から開花まで、花芽分化開始期から開花まで、定植から開花までの5つの発育ステージでおこなった。定植から発蕾までの期間は、無処理区の 66 日に対し、暗期中断を定植から開花までおこなった区では 50 日、定植から雌蕊形成期までおこなった区では 53 日と大幅に短縮した。雌蕊形成期以降に暗期中断を開始した区では無処理との有意な差が認められなかった。発蕾から開花までの期間は、暗期中断を定植から雌蕊形成期までおこなった区で 47 日と短くなったが、そのほかの区では無処理の 54 日と有意な差が認められなかった。暗期中断による開花促進により、第1花までの主茎の抽苔節数が減少した。5 時間の長日処理を暗期中断、夜明け前電照、日没後電照の3つの時間帯でおこなった結果、定植から発蕾までの期間は、無処理の 65 日と比較して、暗期中断と夜明け前電照でいずれも 52 日と最も短くなったが、日没後電照では 58 日と開花促進効果が劣った。以上の結果から、トルコギキョウの冬春出し栽培における開花促進には、白熱灯を用いた暗期中断または夜明け前電照を定植直後から雌蕊形成期までおこなうと効果が高いことが明らかになった。

第4章 トルコギキョウの初秋出し栽培における花芽形成を抑制する光源を用いた長日処理による切り花品質の向上

第6節 摘 要

トルコギキョウの初秋出し栽培における切り花品質の向上を目的として、赤色光 (R, $660 \pm 30\text{nm}$) : 遠赤色光 (FR, $730 \pm 30\text{nm}$) 比の高い4種類の光源を用いた長日処理について検討した。赤色蛍光灯 (A), 赤色蛍光灯 (B), 電球型赤色蛍光灯および電球型昼光色蛍光灯の R:FR 比はそれぞれ 100.0, 62.0, 8.8 および 8.5 であった。‘ダブルピンク’の苗を7月11日に定植し、定植直後から発蕾まで上記の光源を用いて暗期中断をおこなった。平均発蕾日は無処理の8月11日と比較して2~5日遅れた。いずれの光源を用いた暗期中断処理も、無処理と比較して開花時の主茎の抽苔節数、側枝数および花蕾数が増加し、切り花長が増加した。赤色蛍光灯 (A) および電球型赤色蛍光灯を用い、トルコギキョウの3品種に対して暗期中断をおこなった。‘キングオブスノー’の暗期中断区の平均開花日は無処理と同じであったが、‘ダブルピンク’および‘ピッコローサスノー’の平均開花日は、赤色蛍光灯 (A) または電球型赤色蛍光灯で処理した場合に、無処理よりも3~6日遅れた。さらに、これらの光源により3品種とも無処理と比較して主茎の節数が増加し、茎長および切り花長が増加した。‘ダブルピンク’を供試し、実際栽培での使用に適した電球型赤色蛍光灯を用いた長日処理を夜明け前6時間、日没後6時間、暗期中断6時間および終夜電照でおこない、併せて無処理区を設けた。平均発蕾日と平均開花日は、すべての処理の中で終夜電照により最も遅れた。しかし、切り花長は、夜明け前電照においてほかの処理よりも長くなった。11品種を供試し、電球型赤色蛍光灯を用いた長日処理をおこなった結果、9品種で定植から発蕾までの期間が、無処理と比較して有意に長くなった。長日処理により、主茎の節数は10品種で有意に増加し、最大で2.4節増加した。さらに、切り花長は最大で11.3 cm増加し、9品種で切り花重が有意に増加した。長日処理により増加した節数は、無処理の到花日数と有意な相関が認められた。以上の結果から、定植直後から頂花の発蕾まで、電球型赤色蛍光灯を用いて午前0:00から明け方6:00までの長日処理をおこなうと、初秋出し栽培での切り花品質を向上させることができる。

第5章 総 括

本研究では、わが国の主要花き品目であるトルコギキョウ (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) の光応答特性を明らかにし、それらを活用した生育・開花調節および切り花品質向上のための実用的な栽培技術を開発した。

第1章では、長日処理に用いる光源の光質、とくに赤色光 (R, $660 \pm 30\text{nm}$) および遠赤色光 (FR, $730 \pm 30\text{nm}$) がトルコギキョウの成長と開花に及ぼす影響について研究をおこなった。本種は相対的長日植物であり、長日で開花が促進される。しかし、第1節の実験において、冬春出し栽培で光質の異なる数種類の光源を用いて長日処理(暗期中断)をおこなったところ、光源の種類により、無処理を対照として開花の促進と遅延が生じ、茎伸長の促進と抑制が認められた。暗期中断に用いる光源として、遠赤色蛍光灯や白熱灯など赤色光と遠赤色光の比(以降、R:FR 比とする)が小さい光源(それぞれ 0.01 および 0.43)を用いると、無処理と比較して開花が促進され、主茎の抽苔節数が減少した。R:FR 比の大きい昼光色蛍光灯 (5.0) を用いると無処理と比較して開花が遅延し、主茎の抽苔節数は増加した。また、長日処理は定植から発蕾までの日数に影響するが、発蕾から開花までの日数には影響が認められなかった。このことから、光質の異なる光源を用いた長日処理は花芽分化開始に大きく作用すると考えられる。さらに、長日処理に用いる光源の光質は、茎伸長に影響し、遠赤色蛍光灯や白熱灯など R:FR 比の小さい光源を用いると、無処理と比較して節間長が長くなり、R:FR 比の大きい昼光色蛍光灯を用いると、無処理より節間長が短くなった。

相対的長日植物である園芸品目において、R:FR 比が大きい特性をもつ光源を用いた暗期中断処理で開花の遅延が認められたことは、極めて興味深い結果である。そこで、R:FR 比が 100 の赤色蛍光灯を用い、初秋出し栽培での暗期中断の影響を調査した。その結果、高温長日条件下においても、無処理と比較して R 光長日処理による開花期の有意な遅延および主茎の花芽分化節位の上昇が認められた。これらの結果は、R:FR 比の異なる特定の光源を用いた長日処理により、トルコギキョウの成長と開花を制御できる可能性を示唆している。

第2節では、長日処理に用いる光源の R:FR 比がトルコギキョウの成長と開花に及ぼす影響をさらに詳細に調査した。遠赤色蛍光灯と赤色蛍光灯を使用し、暗期中断に用いる照射光の R:FR 比を 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 および 10.0 に調整し、同時に無処理区を設けた。その結果、暗期中断に用いる光源の R:FR 比が小さいほど開花が早くなり、R:FR 比が大きいほど開花が遅延した。無処理区の開花は光源の R:FR 比が 5.0 の場合と同等であった。定植から発蕾までの期間の暗期中断区と無処理区の差は、光源の R:FR 比の対数とシグモイド関数(ボルツマン関数)に高い精度で近似できた ($R^2 = 0.97$)。近似式より、本実験条件での発蕾日の促進と遅延の境界域の R:FR 比は約 5.3、発蕾の促進に対する R:FR 比の限界域は約 0.5、発蕾の抑制に対する限界域は約 50 と推定できる。このことから、

暗期中断によるトルコギキョウの花芽形成への影響は、光源の R:FR 比が主たる要因となつて制御されていると考えられる。これは、本種の光による花成制御において、フィトクロムを介した反応が主要な働きを担っていることを示唆している。すなわち、暗期中断に用いる光源の R:FR 比に依存して、フィトクロムの光均衡が変化し、低 R:FR 比での開花促進および高 R:FR 比での開花遅延を招くものと考えられる。さらに、暗期中断に用いる照射光の R:FR 比は、本種の茎伸長に影響し、低 R:FR 比では茎伸長が促進され、高 R:FR 比では抑制されることが明らかになった。これも、フィトクロムを介した光形態形成反応と考えられる。

第 2 章では、光源の R:FR 比を一定とした場合の FR 光または R 光の光量がトルコギキョウの成長と開花に及ぼす影響について調査した。第 1 節では、白熱灯を用いて R:FR 比を一定 (0.6) とした条件下において、FR 光量を 0.5, 1.0, 2.0 および 3.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とし、発蕾、開花および開花時の形質を調査した。その結果、定植から発蕾までの期間の暗期中断区と無処理区の差は、光源の FR 光量と指数関数に高い精度 ($R^2 = 0.99$) で近似した。近似式より、本実験条件下での発蕾の促進の最大日数は約 20 日で、この場合の FR 光量の上限域は約 2.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と推定された。トルコギキョウ冬春出し栽培では品種により到花日数が大きく異なるが、長日処理に用いる白熱灯の光量を調整することでも、開花期を調節することが可能であると考えられる。

第 2 節において、花芽形成を抑制する電球型赤色蛍光灯を用い、R:FR 比が一定 (8.8) の条件下で、R 光量を 0.1, 0.2 および 0.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に設定し、夜明け前 6 時間の R 光長日処理がトルコギキョウの成長と開花に及ぼす影響について調査した。その結果、初秋出し栽培では R 光量 0.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の R 光長日処理により、無処理と比較して花芽形成が抑制され、主茎の花芽分化節位が上昇し、節数増加の効果として茎長が長くなり、切り花品質向上の効果があることが明らかになった。長日処理による花芽形成の抑制によって切り花品質を向上できたことは、園芸品目に対する日長処理方法において初めての事例として、興味深い研究結果である。さらに、本技術が、現状の生産体系において簡易に導入可能な実用的技術であることは意義深い。

第 3 節、第 4 節では、R:FR 比が 100 の赤色蛍光灯を使用し、さらに強光量の R 光による長日処理が、トルコギキョウの成長と開花に及ぼす影響について調査した。9 月開花および 2 月開花の作型で、R 光の PFD を 0.2, 1.0, 2.0, 4.0 および 8.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とし、夜明け前 6 時間の長日処理を行った。その結果、開花時の主茎の抽苔節数は、9 月開花の作型では、R 光長日処理により無処理と比較して約 1 節有意に増加したが、R 光量処理間に有意な差は認められなかった。2 月開花の作型では、R 光量 0.2~4.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、いずれの R 光量でも無処理と比較して節数が有意に増加したが、R 光量 8.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では無処理との有意な差が認められなかった。定植から発蕾までの期間の長日処理区と無処理との差は、9 月開花および 2 月開花のいずれの作型においても、R 光量 2.5~3

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を頂点とする二次関数に近似した。平均発蕾日は、R 光量 $4.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を超えると発蕾の遅延日数が減少し、さらに 2 月開花の作型の R 光量 $8.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、無処理より発蕾が促進した。従って、R 光長日処理は、低光量ではフィトクロムを介した R 光の作用として花芽形成を抑制するが、R 光量が $4.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を超えると花成の抑制を打ち消す反応を示し、低温・短日期における強 R 光長日処理では花芽形成を促進することが明らかになった。発蕾から開花までの期間は、9 月開花では R 光長日処理による影響が認められなかったが、2 月開花の作型では、R 光量が強いほど短くなる傾向が認められた。従って、強 R 光量による長日処理が、花芽形成に及ぼす影響と花芽の発達に及ぼす影響は異なると考えられる。光量あるいは作型によって R 光長日処理の影響に違いが認められたことは、トルコギキョウの光応答特性に関し、興味深い知見と考えられる。今後の生理的機構に関する研究の進展が望まれる。

第 3 章では、冬季の低温・短日期における長日処理がトルコギキョウの成長と開花に及ぼす影響について調査し、冬春出し栽培における効果的な長日処理方法を開発した。第 1 節において、10 品種を供試し、白熱灯を用いた暗期中断をおこない、同時に無処理区を設けた。その結果、暗期中断区の第 1 花の平均開花日は無処理と比較して 22~49 日、平均で 35 日早くなった。このことから、開花促進の程度に品種間差はあるが、冬春出し栽培における白熱灯を用いた暗期中断は開花促進に有効であることが明らかになった。

第 2 節では、開花促進に対する処理効果が高い発育ステージを明らかにするため、5 時間の暗期中断を定植から雌蕊形成期まで、雌蕊形成期から開花まで、発蕾から開花まで、花芽分化開始から開花まで、および定植から開花までの 5 つの発育ステージに分けておこなった。暗期中断を定植から開花まで、および定植から雌蕊形成期までおこなった区では、定植から発蕾までの期間が無処理と比較して大幅に短縮した。雌蕊形成期以降に暗期中断を開始した区では、発蕾日に無処理との有意な差が認められなかった。このことから、定植から雌蕊形成期までの暗期中断が冬春出し栽培における開花促進に効果が高いことが明らかになった。実際栽培では、雌蕊形成期の判別が困難なため、定植から頂花の発蕾まで暗期中断をおこなうことが有効と考えられる。

第 3 節では冬春出し栽培における長日処理の時間帯が成長と開花および開花時の形質に与える影響について検討した。5 時間の長日処理を暗期中断、夜明け前電照、日没後電照の 3 つの時間帯でおこなった結果、無処理と比較して暗期中断および夜明け前電照で開花促進効果が高く、それらに比べて日没後電照の開花促進効果は劣った。これは、シロイヌナズナにおける光周期経路の CO 遺伝子の発現機構に即した結果と考えられる。

これらの結果から、トルコギキョウの冬春出し栽培では、白熱灯など R:FR 比が小さい (R:FR 比<1.0) 光源を使用し、光源の FR 光量を約 $2.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とし、定植から頂花の発蕾まで 5 時間程度の暗期中断または夜明け前電照をおこなうと開花促進効果が高いことが明らかになった。

第4章では、高温・長日期における R:FR 比の大きい光源を用いた長日処理方法がトルコギキョウの成長と開花および切り花品質に及ぼす影響について研究し、初秋出し栽培における R 光長日処理による品質向上技術を開発した。第1節において、4種の R:FR 比の大きい光源を用いて暗期中断をおこなった結果、いずれの光源を用いた場合においても、無処理と比較して開花時の主茎の節数、側枝数、花蕾数および切り花長の増加が認められた。施設園芸で普及している白熱灯用電照設備が利用できることから、電球型赤色蛍光灯 (R:FR 比 8.8) が実用に適していると考えられる。

第3節では、電球型赤色光を用いた長日処理の時間帯が開花と切り花品質に及ぼす影響について調査した。長日処理を夜明け前6時間、日没後6時間、暗期中断6時間、および終夜電照でおこない、同時に無処理区を設けた。平均発蕾日、平均開花日は終夜電照で最も遅れたが、切り花長は夜明け前電照により最も長くなった。

また、第4節では、11品種を供試し、初秋出し栽培における電球型赤色蛍光灯 (R 光量 $0.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) を用いた夜明け前6時間の長日処理をおこない、同時に無処理区を設けた。長日処理により主茎の節数は10品種で有意に増加し、切り花長は最大で11cm増加し、9品種で切り花重の有意な増加が認められた。長日処理により増加した節数は無処理の到花日数と有意な相関が認められ、到花日数の長い中晩生品種の方が R 光長日処理による花芽形成の抑制効果が大きいことが明らかになった。

以上の結果から、トルコギキョウの初秋出し栽培では、電球型赤色蛍光灯など R:FR 比の大きい光源を用い、R 光量 $0.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上で、定植から頂花の発蕾まで夜明け前6時間の長日処理をおこなうと、切り花品質向上の効果があることが明らかになった。本技術は、省力的な品質向上技術として活用が期待される。

本研究で明らかにしたトルコギキョウの光応答特性は、シロイヌナズナを用いた研究で解明されつつある光周期および光質による花成制御機構に即した反応を示している。シロイヌナズナにおける花成経路統合遺伝子と考えられる FT 遺伝子の発現を制御する CO 遺伝子の発現や CO タンパク質の安定性に対するフィトクロムやクリプトクロムの作用機構に対して、本研究結果は矛盾していない。

本研究成果は、トルコギキョウの開花調節ならびに品質向上技術として、実際栽培に大いに活用できる。図5-1に本研究成果に基づいた福岡県における高品質周年安定生産のモデル体系を示す。福岡県のトルコギキョウ生産では、開花遅延や品質低下により1月から3月の生産量が極めて少なかったが、R:FR 比の小さい白熱灯などを用いた長日処理により開花を促進し、冬から春に生産することが可能となった。また、9～10月出し栽培では、切り花のボリューム不足が問題であったが、R:FR 比の大きい光源を用いた長日処理により花芽形成を抑制し、茎長を長くすることで切り花品質を向上させることが可能となった。本研究が、本県のトルコギキョウ生産の向上・活性化に貢献すること、ならびに施設園芸における環境制御の研究開発および園芸作物における光応答特性の解明に活用され

ることを期待する.

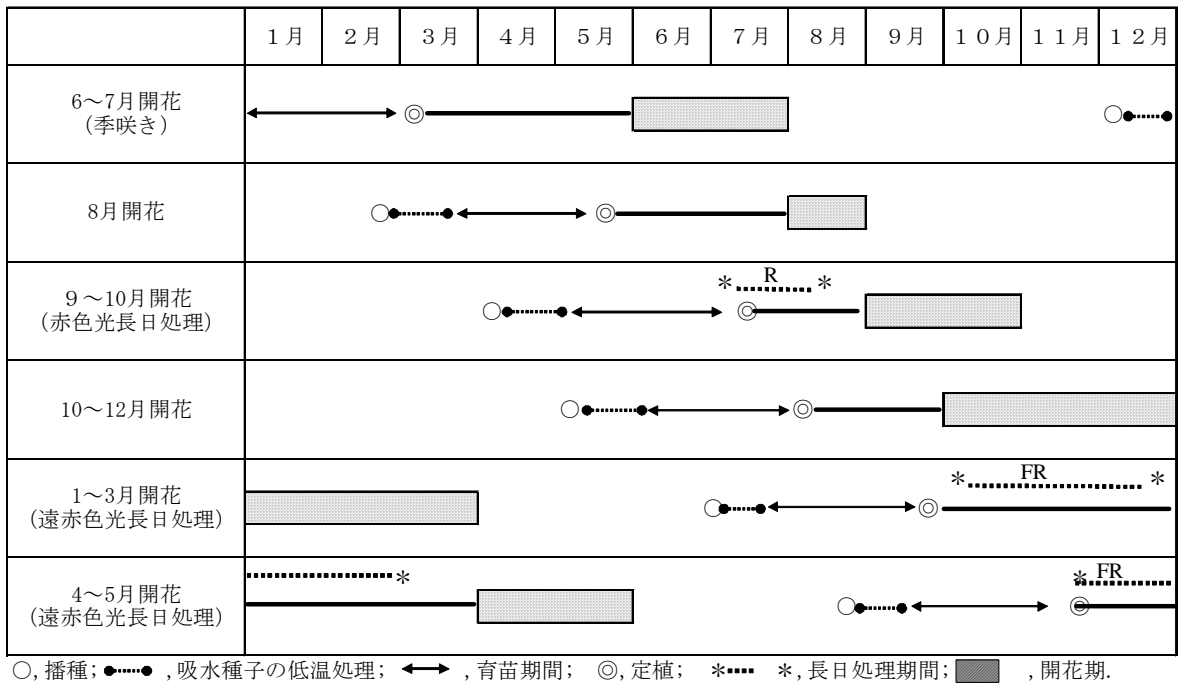


図 5-1. 福岡県におけるトルコギキョウの周年生産モデル

吸水種子の低温処理は 10℃暗黒条件, 育苗は昼温/夜温を 25/15℃とする.

Studies on Regulation of Flowering and Improvement of Cut-Flower Quality by Application of Photomorphogenic Responsiveness in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.

Summary

Night break treatments were applied to *Eustoma grandiflorum* 'Nail Peach Neo' using various light sources to investigate growth and flowering responses. Seedlings were grown in a greenhouse, and night-break treatments were applied using far-red fluorescent lamps, plant-growth fluorescent lamps, daylight-type fluorescent lamps or incandescent lamps. The red:far-red (R, 660 ± 30 nm; FR, 730 ± 30 nm) ratio of the light sources was 0.01, 0.43, 5.00, and 0.65, respectively. Controls were grown without night-break treatments. Photosynthetic photon flux density (PPFD) at the top of the plants was adjusted to $5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ under each light source. The time from planting to flower budding was 46 days in plants grown under far-red light fluorescent lamps, and 66 days in control plants. Compared with control plants, the time to reach flower budding was also reduced in plants grown under incandescent lamps and plant-growth fluorescent lamps, but was delayed by 4 days in plants grown under daylight-type fluorescent lamps. The different light sources had little or no effect on the time to flowering after flower budding. Compared with controls, plants grown under far-red fluorescent lamps, incandescent lamps and plant-growth fluorescent lamps had fewer nodes on the main stem at anthesis of the first floret, while those grown under daylight-type fluorescent lamps had more nodes. Plants grown under far-red fluorescent lamps and incandescent lamps had longer internode length, whereas internode length was shorter in plants grown under daylight-type fluorescent lamps. Moreover, plants grown under red fluorescent lamps with a R:FR ratio of 100 showed delayed flower budding and flowering, and more nodes as compared with the controls, regardless of the long day lengths in July and August.

To investigate growth and flowering responses, 'Nail Peach Neo' was subjected to night-break treatments using light sources with different R:FR ratios or FR light intensities. Flower bud initiation and induction were promoted by night-break treatments using light sources with low R:FR ratios, but were delayed by light sources with high R:FR ratios. Compared with controls, plants with promoted flower bud formation had fewer nodes on the main stem at anthesis of the first floret, whereas plants with delayed flower bud formation had more nodes. The difference between the date of flower budding in plants receiving a night-break treatment and that of the control was accurately approximated by the sigmoid function of the logarithms of the R:FR ratio. The threshold R:FR ratio

demarcating the promotion and delay of date of flower budding was approximately 5.3 under these experimental conditions. The critical R:FR ratios to promote or delay flower budding are estimated at approximately 0.5 and 50.0, respectively. In addition, the time from planting to flower budding was approximated with an exponential function of FR light intensity. The maximum acceleration of date of flower budding by long-day treatment would be 20 days, and the critical FR light intensity would be $2.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. These results indicate that growth and flowering of *E. grandiflorum* can be regulated by long-day treatments using light sources with different R:FR ratios or FR light intensities.

To investigate flowering responses, a 6-h pre-dawn long-day treatment was applied to *E. grandiflorum* ‘Renation Pink Pikoty’. Controlling the flowering time can result in improved cut flower qualities for early autumn shipments. A long-day treatment was applied to seedlings using bulb-type red-light fluorescent lamps with photon flux density (PFD) of red-light (660 ± 30 nm) of 0.1, 0.2, or $0.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Control plants were grown under ambient day conditions of 14–15 h without a long-day treatment. Compared with controls, the plants receiving long-day treatments took longer to reach the flower budding stage. However, there was no significant difference in planting to budding time among plants receiving different red-light integrals. Plants that received the long-day treatment with the highest red-light intensity showed the greatest increase in the number of nodes on the main stem at anthesis of the first floret. Compared with controls, plants receiving long-day treatments with red-light intensities above $0.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ had significantly longer stems.

Effects of various red-light intensities on flowering and flowering characteristics of *E. grandiflorum* were investigated. At two different times during the year (September or February flowering), plants were grown under long-day treatment using red-light fluorescent lamps (R:FR ratio; 100) with different red-light regimes. Seedlings received a 6 h pre-dawn long-day treatment with red-light (660 ± 30 nm) intensity of 0.2, 1.0, 2.0, 4.0 or $8.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Control plants were grown under ambient daylight conditions without long-day treatment. Compared with controls, long-day treatments using red-light fluorescent lamps increased the number of nodes on the main stem. In plants flowering in September, there were no significant differences among the red-light regimes. In plants flowering in February, long-day treatments with red-light integrals between 0.2 and $4.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ increased the number of nodes compared with the control. However, there was no significant difference between the number of nodes under long-day treatment with red-light at $8.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and those of the control. Regardless of whether plants flowered in September or February, the difference between the date of flower budding in

plants under long-day treatments and that of the control was approximated by a quadratic function with high coefficient of determination ($R^2 = 0.870$ and 0.997 , respectively). The delay of flower budding induced by long-day treatments with red-light integrals from 0.2 to 4.0 was reversed when the red-light integral exceeded $4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Furthermore, in plants flowering in February, the long-day treatment a red-light integral of $8.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ accelerated the time to anthesis of the first floret compared with the control. In addition, the time from flower budding to flowering was decreased by long day treatment with higher red-light integrals in plants flowering in February. These results indicate that red and far-red light have different dose-response effects on flower bud formation.

An effective method for long-day treatments using incandescent lamps for winter and spring shipments of *E. grandiflorum* was examined. Ten *Eustoma* cultivars were planted in a greenhouse. One-half of the plants received a 4-h night-break treatment from immediately after planting until flowering, while the others were grown under ambient day length of 10–12 h (control). The mean flowering date of each cultivar receiving a night-break treatment was 35 days (range: 22–49 days) earlier than that of the controls. ‘Nail Peach Neo’ received a 5-h night-break treatment five developmental stages: from planting to pistil formation, pistil formation to flowering, flower budding to flowering, flower bud initiation to flowering, and planting to flowering. In plants receiving night-break treatments from planting to flowering and from planting to pistil formation, the times from planting to flower budding were 50 days and 53 days respectively, compared with 66 days in the control. However, plants that received night-break treatments only after pistil formation showed same time to flower budding as that of the controls. In plants receiving night-break treatments from planting to pistil formation, the time from flower budding to flowering of plants was 47 days, but there was no significant difference in this time period between the other treatments and the controls (54 days). As the time to flowering of treated plants decreased, the number of nodes on the main stem at anthesis of the first floret decreased. Plants receiving 5-h illumination during the night were further divided into three treatments: night-break, pre-dawn lighting, and end-of-day lighting. Plants receiving both night-break and pre-dawn lighting treatments showed a planting to flower budding time of 52 days, compared with 58 days in plants receiving end-of-day lighting, and 65 days in control plans. These results indicated that night-break or pre-dawn lighting using incandescent lamps should be applied to *Eustoma* plants from planting to pistil formation to promote flowering for winter and spring shipments.

To improve cut flower quality for early-autumn shipment, long-day treatments were

applied to *E. grandiflorum* using four types of light sources with high R:FR ratios. Red-light fluorescent lamps, color fluorescent lamps (R-type), bulb-type red-light fluorescent lamps and bulb-type daylight fluorescent lamps had R:FR ratios of 62.0, 100.0, 8.8, and 8.5, respectively. Control plants were grown under ambient daylight. Compared with the control, flower budding of 'Double Pink', seedlings planted on July 11 and receiving night-break treatments from planting to budding using these four light sources was delayed by 2–5 days. Compared with the control, plants receiving night-break treatments supplied by any of the light sources had more nodes on the main stem, more lateral branches, and longer cut flower length at anthesis of the first floret. Three cultivars received night-break treatments supplied by color fluorescent lamps (R-type) and bulb-type red-light fluorescent lamps. Although these two light sources did not delay the flowering of 'King of Snow' compared with the control, the mean flowering date of 'Double Pink' and 'Piccolosa Snow' under both light sources was 3–6 days later than that of control plants. Plants grown under these light sources had more nodes on the main stem, and longer stem and cut flower lengths compared with each cultivar's respective control. To determine the most practical method, bulb-type red-light fluorescent lamps were used for four long-day treatments to 'Double Pink': a 6-h pre-dawn light treatment, a 6-h end-of-day light treatment, an all-night light treatment, and 6-h night-break treatment. The all-night light treatment delayed flowering more than the other treatments. The longest cut flower length of the plants at the anthesis of the first floret was in the pre-dawn light treatment. These results indicate that the most effective method to improve cut flower quality for early autumn shipments of *Eustoma* cultivars is a long-day treatment from 0:00 to 6:00 using bulb-type red-light fluorescent lamps, which should be applied from just after planting until flower budding.

Eleven *Eustoma* cultivars were subjected to long-day treatments using bulb-type red-light fluorescent lamps. The times from planting to flower budding in plants receiving long-day treatments were longer in nine cultivars, compared with the controls. In ten cultivars, plant receiving long-day treatment had greater number of nodes on the main stem at anthesis of the first floret (maximum 2.4 nodes). At harvest (at anthesis of the third floret), seven cultivars had longer cut flower length (maximum increase of 11.3 cm), and nine cultivars showed increased cut flower weight, compared with controls. The increase in the number of nodes on the main stem under long-day treatment was significantly correlated with the days to flowering in the controls.

In this study, the effects of long-day treatments with different light qualities or light intensities of light sources on flowering and flowering characteristics of *E. grandiflorum*

were investigated. These results have helped to develop practical techniques to regulate flowering and to improve cut flower quality in *Eustoma* cultivars. This will have practical applications in the development of technology to control growth and flowering of horticultural crops via manipulation of environmental conditions. Future research should be aimed at clarifying the physiological mechanisms underlying the responses of crops to different light conditions.