キクの電照栽培における最適な電照の長さおよび照射時間帯

白山竜次*・木戸君枝

鹿児島県農業開発総合センター花き部 891-0513 鹿児島県指宿市山川岡児ヶ水

Effective Night-break Timing and Duration of Optimal Inhibition of Floral Initiation in Chrysanthemum

Ryuji Hakuzan* and Kimie Kido

Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development, Flower Division, Ibusuki, Kagoshima 891-0513

Abstract

To establish an effective night-break (NB) lighting system for the commercial production of chrysanthemum, it is necessary to clarify the optimum timing and duration of lighting at night. Therefore, we determined the duration of darkness before the achievement of maximum sensitivity to NB (dusk-NBmax) and the relationship between the timing and duration of light exposure that optimized the inhibition of flowering in the chrysanthemum cultivars 'Jimba' and 'Iwano-hakusen'. The duration of dusk-NBmax was 10 h and 15–25 min and 7.5–8 h for 'Jimba' and 'Iwano-hakusen', respectively. In both cultivars, the most effective NB timing was achieved by extending the illumination by 0.5–1 h after the end of NBmax. The inhibitory effects of NB on flowering increased in proportion to the length of NB; however, further extension of NB adversely reduced its effects. The reduction in the NB effect induced by extending the duration of illumination was associated with the presence or absence of darkness before NB. On the basis of these results, we propose a practical lighting system for the optimum inhibition of flowering in chrysanthemum, whereby the most effective timing and duration of NB are 4 h after dusk and 0.5–1 h after dusk-NBmax, respectively, for each cultivar.

Key Words : autumn-flowering chrysanthemum, flowering, LED light, summer-to-autumn flowering chrysanthemum

キーワード : 秋ギク, LED 電球, 花成, 夏秋ギク

緒 言

キクは短日植物で、電照による長日処理を行うことにより、人為的に花芽分化を抑制して開花時期の調整や草丈の確保を行っている。産地では限界日長の異なる品種を用いて周年生産を可能にしており、電照栽培はキクの周年生産体系を支える基盤技術となっている。

キクにおいて花芽分化抑制効果の高い電照を行うためには、電照用光源の光質や光量、点灯する時間帯などに考慮する必要がある。しかし、既に設置された光源では、光質や光量の変更は容易ではない。そのため設置済みの光源で、より効果的な電照を行うためには、どの時間帯にどれくらいの長さで電照するかを検討することが必要になる。

キクの開花制御における電照の時間帯は、これまで暗期の中心が最も効果が高いとされてきた（船越，1989；小西ら，1990；Machin・Scopes，1978；リュンガー，1978；米村，

1993）。しかし、白山・郡山（2013）は、花芽分化抑制効果の高い電照時間帯（Night Break max 以下 NBmax と略す）は暗期の中心ではなく、暗期開始から暗期中断開始までの経過時間（Dusk-NB）が関与していることを明らかにした。さらに、白山・郡山（2014）は夏秋ギクおよび秋ギク数品種を用いて、暗期開始から効果の高い電照時間帯までの時間（Dusk-NBmax）は個々の品種の限界暗期長と連動していることを明らかにした。

しかし、白山・郡山（2013，2014）の結果は、短時間の電照実験から得られたものであり、実際に生産現場で行われている3～5時間の電照において、NBmaxを考慮しながら、どの時間帯に電照すればよいかという点についての十分な検討は行われていない。

一方、電照の効果は電照の長さで変化する、すなわち量的な反応を示すことが知られており、一般的に電照の効果は光の放射照度と照射時間の積に比例すると考えられている（樋口，1993；リュンガー，1978；佐々木ら，2013）。従って光源の照度が低く、花芽分化抑制効果に不安がある場合は、電照時間を延長することで必要な花芽分化抑制効果が得られるとされている（小西ら，1990；坂場，2011；米村，1993）。

しかし、必ずしも電照時間を延長することで電照効果が

2016年8月25日 受付. 2016年12月26日 受理.

本報告の一部は園芸学会平成28年度秋季大会で発表した。本研究の一部は農研機構生物系特定産業技術研究支援センター「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」で実施した。

* Corresponding author. E-mail: hakuzan@pref.kagoshima.lg.jp

最大化するわけではなく、Cathey・Borthwick (1970) は蛍光灯による終夜の間欠照明で花芽分化抑制効果が低下することを報告し、また終夜照明が18時間日長に比較して花芽分化抑制効果が低下するような結果が夏秋ギク‘岩の白扇’や‘フローラル優香’で得られている(白山, 未発表)。このように、電照時間の長さとは花芽分化抑制効果の関係については、未解明の部分が多い。

そこで本報では、白山・郡山(2014)が示したDusk-NBmaxの考え方に基づいて、実用的な電照時間帯と花芽分化抑制効果の関係について検討するとともに、電照の長さと花芽分化抑制効果の関係について検討を行い、キクにおける花芽分化抑制効果の高い電照方法とその考え方について明らかにしようとした。なお、本研究は長寿命で省エネ効果の高い光源として、キク電照栽培用への普及が期待されている赤色(以下R光)LEDを用いて実施した。

材料および方法

1. 共通の実験方法

実験は鹿児島県農業開発総合センター花き部(指宿市)の硬質プラスチックハウスで行った。電照用の光源は、消費電力6.5 W、ピーク波長630 nmのR光LED (AG10ASR03-62E26, (株)エルム)を実験1, 4, 5および6に、消費電力6 W、ピーク波長644 nm赤色LED (AG-R250, (株)エルム)を実験2, 3に使用した。光源の波長特性を第1図に示した。各光源の放射照度の測定は、400～1,050 nmの波長域に感度を持つプローブ(LP471RAD, Delta OHM S.r.L.)を装着した放射照度計(HD2102.2, Delta OHM S.r.L.)を用いて行った。電照時間の制御には、1分単位で設定可能なデジタル式電照タイマー(TBC231, パナソニック(株))を使用した。処理区の間は、区間での光の干渉を防ぐために、遮へい幕(ホワイトシルバー, 東罐興産(株))で仕切った。光源の畝面からの高さは、実験で異なり1.5～1.8 mの範囲で設定した。暗期時間はシェードを用いて18:00～6:00の12時間とした。供試した種苗は、採穂日

第1図 実験に供試したR光LED電球の波長特性
分光強度はピーク波長の放射照度を100とした場合の各波長ごとの割合を示す
測定機材: 英弘精機(株) 分光放射照度計, MS-720

や冷蔵期間の揃った発根苗を使用した。栽植様式は床幅90 cmの平畝に15 cm・6目ネットを用いて、外側2列に1目当たり2本植え、中央2列に植付けなし(2-2-0-0-2-2)とした。無摘心栽培とし、施肥はN:P₂O₅:K₂O=1.2:0.8:0.8 kg・a⁻¹で、全量基肥施用とした。定植後の初期生育を揃えるために、全区で9日間、通常の電照(22:00～3:00)を行ったのち、10日目から処理を開始した。温度管理は、無加温とし、昼間は25℃で換気した。

2. 秋ギク‘神馬’における花芽分化抑制効果の高い電照時間帯

1) ‘神馬’の電照における暗期開始からの経過時間と花芽分化抑制効果(実験1)

シェードを用いた18:00～6:00の暗黒条件下(12時間暗期)における電照の効果が、照射する時間帯でどのように変化するかを検討した。電照開始の時刻は19:00(暗期長(以下同じ):1時間), 21:00(3時間), 23:00(5時間), 0:00(6時間), 1:00(7時間), 2:00(8時間), 3:00(9時間), 4:00(10時間), 4:15(10時間15分), 4:30(10時間30分), 4:45(10時間45分), 5:00(11時間)および5:15(11時間15分)で、点灯時間は各10分とした。畝面におけるR光LEDの放射照度は154～167 mW・m⁻²とした。定植は2015年8月19日に行い、各区75～89株を供試した。処理は全区の発蕾が完了するまで継続した。

2) ‘神馬’におけるNBmax付近の電照の時間帯と花芽分化抑制効果(実験2)

シェードを用いた18:00～6:00の暗黒条件下(12時間暗期)における中夜～後夜半の時間帯の異なる1～3時間の電照が‘神馬’の花芽分化までの展開葉数にどのような影響を及ぼすかを調査した。白山・郡山(2014)の暗期中断時間を40分とした実験では、‘神馬’のDusk-NBmaxは9～10.5時間とされており、暗期開始時刻を18:00とした場合、3:00～4:30と想定される。そこで、電照時間帯を23:00～2:00(暗期長(以下同じ):5時間), 0:00～3:00(6時間), 1:00～4:00(7時間), 2:00～5:00(8時間)および3:00～6:00(9時間)の5区(以上、3時間電照)に、4:00～6:00(暗期長10時間, 2時間電照)および5:00～6:00(暗期長11時間, 1時間電照)を加えて7区とした。‘神馬’は電照に対する感度が高く、通常の電照方法では処理期間中に発蕾しない可能性が想定されたため、光量の低いLED(畝面におけるR光LEDの放射照度は41～44 mW・m⁻²)を使用し、さらに定植26日目からすべての区を1日おきの隔日電照に切り替えた。定植は2015年8月17日に行い、各区78～80株を供試した。処理は調査終了時(定植69日後)まで継続した。

3) ‘神馬’における電照時間の長さと花芽分化抑制効果(実験3)

シェードを用いた18:00～6:00の暗黒条件下(12時間暗期)における電照の長さが‘神馬’の花芽分化までの展開葉数にどのような影響を及ぼすかを調査した。暗期開始

10時間後の4:00を電照の終了時刻として、電照時間帯を3:00～4:00（電照時間（以下同じ）：1時間）、2:00～4:00（2時間）、1:00～4:00（3時間）、0:00～4:00（4時間）、22:00～4:00（6時間）、20:00～4:00（8時間）および18:00～4:00（10時間）の7区を設置した。実験2と同様に‘神馬’は電照に対する感度が高く、処理期間中に発蓄しない可能性が考えられるため、畝面におけるR光LEDの放射照度は $40\sim45\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ として、定植26日目からすべての区を1日おきの隔日電照に切り替えた。定植は2015年8月17日に行い、各区76～82株を供試した。処理は調査終了時（定植69日）まで継続した。

3. 夏秋ギク‘岩の白扇’における花芽分化抑制効果の高い電照時間帯

1) ‘岩の白扇’の電照における暗期開始からの経過時間と花芽分化抑制効果（実験4）

シェードを用いた18:00～6:00の暗黒条件下（12時間暗期）における電照の効果が、照射する時間帯でどのように変化するかを検討した。電照開始の時間は19:00（暗期長（以下同じ）：1時間）、20:00（2時間）、21:00（3時間）、22:00（4時間）、23:00（5時間）、0:00（6時間）、0:30（6時間30分）、1:00（7時間）、1:30（7時間30分）、2:00（8時間）、2:30（8時間30分）、3:00（9時間）、3:30（9時間30分）および4:00（10時間）で、点灯時間は各30分とした。畝面におけるR光LEDの放射照度は $231\sim272\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ とした。定植は2016年4月26日に行い、各区75～80株を供試した。処理は全区の発蓄が完了するまで継続した。

2) ‘岩の白扇’におけるNBmax付近の効果の高い時間帯（実験5）

‘神馬’と同様にシェードを用いた18:00～6:00の暗黒条件下（12時間暗期）における中夜～後夜半の時間帯の異なる3時間電照が‘岩の白扇’の花芽分化までの展開葉数にどのような影響を及ぼすかを調査した。白山・郡山（2014）の暗期中断時間を1時間とした実験では、‘岩の白扇’のDusk-NBmaxは6.5～8.5時間とされており、暗期開始を18:00とした場合、0:30～2:30と想定される。そこで、電照時間帯を22:00～1:00（暗期長（以下同じ）：4時間）、23:00～2:00（5時間）、0:00～3:00（6時間）、1:00～4:00（7時間）、2:00～5:00（8時間）および3:00～6:00（9時間）の6区を設置した。畝面におけるR光LEDの放射照度は $190\sim201\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ とした。定植は2015年5月11日に行い、各区82～85株を供試した。処理は全区が発蓄するまで継続した。

3) ‘岩の白扇’における電照時間の長さとは花芽分化抑制効果（実験6）

‘神馬’と同様にシェードを用いた18:00～6:00の暗黒条件下（12時間暗期）における電照の長さが‘岩の白扇’の花芽分化までの展開葉数にどのような影響を及ぼすかを調査した。2:00を電照の終了時刻として、電照時間帯を

1:00～2:00（電照時間（以下同じ）：1時間）、0:00～2:00（2時間）、23:00～2:00（3時間）、22:00～2:00（4時間）、21:00～2:00（5時間）、20:00～2:00（6時間）、19:00～2:00（7時間）および18:00～2:00（8時間）とする8区を設けた。畝面におけるR光LEDの放射照度は $194\sim229\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ とした。定植は2015年5月11日に行い、各区74～85株を供試した。処理は全区が発蓄するまで継続した。

結 果

キクにおいて発蓄率および花芽分化までの展開葉数は花成反応の指標として用いられている（Thomas・Vince-Prue, 1997）。本報告では様々な電照処理で得られた発蓄率や展開葉数の差異を電照効果の指標として扱った。

1. 秋ギク‘神馬’における花芽分化抑制効果の高い電照時間帯

1) ‘神馬’の電照における暗期開始からの経過時間と花芽分化抑制効果（実験1）

第2図に‘神馬’の電照における暗期開始からの経過時間と展開葉数との関係について示した。暗期開始1～7時間区では展開葉数に差が認められなかったが、暗期開始8時間から展開葉数が有意に増加し、暗期開始後10時間15分区で最も展開葉数が多くなった。その後は、急激に展開葉数が減少した。

2) ‘神馬’におけるNBmax付近の電照の時間帯と花芽分化抑制効果（実験2）

第3図に中夜～後夜半の時間帯の異なる1～3時間電照と‘神馬’の花芽分化までの展開葉数および発蓄率について示した。2:00～5:00（暗期長8時間）区および3:00～

第2図 ‘神馬’の電照における暗期開始からの経過時間と展開葉数との関係

電照時間10分、供試光源 R光LED畝面放射照度 $154\sim167\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$

暗期は18:00～6:00の12時間

^z 図中の縦線は標準誤差を示す (n=75～89)

^y 図中のマーカーの幅は電照の長さを示す (10分)

^x 図中の異なる英文字はTukey-Kramerの多重検定で有意差があることを示す (1%)

^w () 内は実際の時刻を表す

第3図 ‘神馬’における時間帯の異なる電照が花芽分化までの展開葉数に及ぼす影響

^z 図中のバーは標準誤差を示す (n=78~80)

^y 図中の異なる英文字は Tukey-Kramer の多重検定で有意差があることを示す (1%)

^x 2:00~5:00 区および 3:00~6:00 区は全個体発蕾しなかったため定植 69 日目の発蕾率を調査した

第4図 ‘神馬’における NBmax 付近を終了時刻とした電照の長さが花芽分化までの展開葉数に及ぼす影響

^z 図中のバーは標準誤差を示す (n=76~82)

^y 3:00~4:00 区以外は全個体発蕾しなかったため定植 69 日目の発蕾率を調査した

^x 図中の異なる英文字は比率の多重比較 (Tukey 法) で有意差があることを示す (5%)

6:00 (9 時間) 区では調査終了時 (定植 69 日後) までに発蕾しない個体があったため、その時点での発蕾率を示した。23:00~2:00 (暗期長 5 時間) 区は展開葉数が少なかったが、電照の開始時刻が遅くなるにつれて展開葉数が増加した。2:00~5:00 (暗期長 8 時間) 区は発蕾率 15%、3:00~6:00 (9 時間) 区は発蕾率 88% であった。4:00~6:00 (暗期長 10 時間) 区以降は、再び展開葉数は減少傾向に転じた。

3) ‘神馬’における電照時間の長さと花芽分化抑制効果 (実験 3)

第4図に 4:00 を終了時刻とした電照の長さと ‘神馬’の花芽分化までの展開葉数および発蕾率について示した。電照時間 3:00~4:00 (1 時間) 以外の区は調査終了時 (定植 69 日後) までに発蕾しない個体があったため、その時点での発蕾率を示した。3:00~4:00 (電照時間 1 時間) 区は全個体発蕾したが、2:00~4:00 (2 時間) 区以降は、電照時間が長くなるにつれて発蕾率が低下し、22:00~4:00 (6 時間) で発蕾率が最も低くなった。20:00~4:00 (8 時間) 以降は、電照時間が長くなるにつれて発蕾率が高くなった。

2. 夏秋ギク ‘岩の白扇’における花芽分化抑制効果の高い電照時間帯

1) ‘岩の白扇’の電照における暗期開始からの経過時間と花芽分化抑制効果 (実験 4)

第5図に ‘岩の白扇’の電照における暗期開始からの経過時間と展開葉数との関係について示した。暗期開始 1~

第5図 ‘岩の白扇’の電照における暗期開始からの経過時間と展開葉数との関係

電照時間 30 分, 供試光源 R 光 LED 面放射照度 231~272 mW・m⁻²

暗期は 18:00~6:00 の 12 時間

^z 図中の縦線は標準誤差を示す (n=75~80)

^y 図中のマーカーの幅は電照の長さを示す (30 分)

^x 図中の異なる英文字は Tukey-Kramer の多重検定で有意差があることを示す (1%)

^w () 内は実際の時刻を表す

4 時間区では展開葉数に差が認められなかったが、暗期開始 5 時間から展開葉数が増加し、暗期開始 7 時間 30 分区で最も展開葉数が多くなった。全区間で比較の展開葉数が多かったのは、暗期開始 6~8 時間 30 分であった。暗期開始 9 時間以降は、展開葉数が減少した。

第6図 ‘岩の白扇’における3時間の時間帯の異なる電照が花芽分化までの展開葉数に及ぼす影響

^z 図中のバーは標準誤差を示す (n=82~85)

^y 図中の異なる英文字は Tukey-Kramer の多重検定で有意差があることを示す (1%)

第7図 ‘岩の白扇’におけるNBmax 付近を終了時刻とした電照の長さが花芽分化までの展開葉数に及ぼす影響

^z 図中のバーは標準誤差を示す (n=74~85)

^y 図中の異なる英文字は Tukey-Kramer の多重検定で有意差があることを示す (1%)

2) ‘岩の白扇’におけるNBmax 付近の効果の高い時間帯 (実験5)

第6図に中夜～後夜半の時間帯の異なる3時間電照と‘岩の白扇’の花芽分化までの展開葉数との関係について示した。22:00～1:00 (暗期長4時間) 区は展開葉数が少なかったが、電照の開始時刻が遅くなるにつれて展開葉数が増加し、0:00～3:00 (6時間) 区で最も多くなった。その後、再び展開葉数は減少傾向に転じた。

3) ‘岩の白扇’における電照時間の長さと花芽分化抑制効果 (実験6)

第7図に2:00を電照の終了時刻とした電照の長さと‘岩の白扇’の花芽分化までの展開葉数の関係について示した。1:00～2:00 (電照時間1時間) 区は展開葉数が少なかったが、電照時間が長くなるにつれて展開葉数が増加し、23:00～2:00 (3時間)、22:00～2:00 (4時間)、21:00～2:00 (5時間) および20:00～2:00 (6時間) で最も多くなった。しかし、19:00～2:00 (7時間) からは急激に減少した。

考 察

実験1の結果から‘神馬’の暗期開始から効果の高い電照時間帯までの時間 (Dusk-NBmax) は、電照時間10分を加えると10時間15分～25分 (第2図) と考えられる。白山・郡山 (2014) の電照時間を40分とした実験において、‘神馬’のDusk-NBmaxは9～10.5時間とされている。本実験の結果は、白山・郡山 (2014) の結果と矛盾せず、本実験によりDusk-NBmaxの範囲をより絞り込むことができ

た。そこで、実験2において、暗期長を5～11時間とする1～3時間の電照の効果を比較した結果、Dusk-NBmaxを含む暗期長8時間の3時間電照で最も高い花芽分化抑制効果が得られた (第3図)。一方、‘岩の白扇’のDusk-NBmaxは、電照時間30分を加えると7.5～8時間 (第5図) と考えられる。白山・郡山 (2014) の電照時間を1時間とした実験において、‘岩の白扇’のDusk-NBmaxは6.5～8.5時間とされている。本実験の結果は、白山・郡山 (2014) の結果と矛盾せず、本実験によりDusk-NBmaxの範囲をより絞り込むことができた。そこで、実験5において、暗期長を4～9時間とする3時間の電照の効果を比較した。その結果、Dusk-NBmaxを含む暗期長6時間の電照区で最も高い花芽分化抑制効果が得られた (第6図)。このように‘神馬’、‘岩の白扇’ともにDusk-NBmax付近を含み、Dusk-NBmaxに対して前1.5～2時間、後ろ0.5～1時間を電照時間帯とした場合の効果が高かった。このことから、効果の高いDusk-NBmax付近の電照方法については、Dusk-NBmaxよりやや後の時間を含んで、前の方に延長する電照方法の効果が高いと考えられた。Dusk-NBmaxが異なる両品種で、効果の高い電照時間帯に同じような傾向が得られたことは、品種によって異なる限界暗期が電照の効果的な時間帯を判断する指標となり得ること (白山・郡山, 2013) を裏付けている。

次に‘神馬’において、Dusk-NBmax付近を終了時刻とする電照時間の長さと花芽分化抑制効果を比較した結果、電照6時間までは効果が高くなったが、8および10時間では花芽分化抑制効果が明確に低下した (第4図)。一方、

第8図 18時を暗期開始とした場合の夏秋ギク‘岩の白扇’および秋ギク‘神馬’における電照効果の高い時間帯の推定

^z NBmax は最も電照効果の高い時間帯

^y 図中央の灰色と白抜き部分の範囲が最も効果が高い電照時間帯を示す

^x 図中央の白抜き部分は慣行の4時間電照の場合の効果が最も高い電照時間帯を示す

^w 限界暗期長は白山・郡山 (2014) の結果より推定

‘岩の白扇’の Dusk-NBmax 付近を終了時刻とする電照時間の長さや花芽分化抑制効果を比較した結果、3～6時間の電照で効果はピークに達し、それ以上は効果が低下するなど‘神馬’と同じような傾向を示した (第7図)。なお、実験2における1:00～4:00区と実験3における1:00～4:00区では同一日植付けで同一処理時間であるにもかかわらず、電照の効果に差が生じた。両区における電照の放射照度に差がないことや実験2と3をハウスの南北に分けて試験区を設置したことなどから、両区の差には実験2と3における施設内の環境条件の違いなどが影響を及ぼした可能性が考えられる。

電照の時間については、これまで電照する時間が長いほど花芽分化抑制効果が高くなると考えられており、電照の光量が不足する場合は電照時間を長くすることで効果を補う方法が提案されてきた。しかし、本実験結果から、ある一定時間以上電照時間を長くすると逆に花芽分化抑制効果が低下する現象が認められた。電照時間は長い方が効果が高いとされる従来の考え方には、効果が最大になる限界の長さがあり、それ以上の時間ではむしろ効果が低下することが明らかとなった。

長時間電照による花芽分化抑制効果の低下の理由を考える場合、電照時間の影響よりも、明期終了から電照開始までの暗期の長さが電照効果に関与している可能性が考えられる。すなわち、実験3および6において長時間電照の花芽分化抑制効果が低下したのは、電照の長さの影響よりも、長時間電照により明期終了から電照開始までの暗期の長さが短くなったことに起因する可能性が考えられる。Cathey・Borthwick (1970) は、蛍光灯による間欠電照を終夜実施するとキクの花芽分化抑制効果が低下することを確認したうえで、暗期開始から4時間の暗期時間を確保することにより、その後の電照の効果が高くなることを報告している。これらの結果は、キクの効果的な電照には、暗期開始後に一定時間の連続した暗期が必要であることを示している。

高い電照効果を得るために、電照前に一定時間の暗期が必要である要因については明らかでない。Cathey・Borthwick

(1970) は、フィトクロムの活性型である Pfr に着目し、効果的な電照には、明期終了時に存在する Pfr の量がその後低下し、電照により再び増加することが必要であるとしている。しかしなぜ暗期開始後の Pfr の低下が暗期中断のレスポンスに関与しているかは言及していない。短日植物の暗期中断による花成抑制には、フィトクロム分子種のひとつである phyB が関与していると考えられている (Ishikawa ら, 2005; 長谷, 2001)。暗期開始時において phyB は暗反転 (dark reversion) により Pfr から Pr に変化するが、Pfr がある閾値まで低下した時点で、植物は暗期と認識し、ある種の時間を測定する反応過程 (時計機構) が進行し始める (瀧本, 1998) と考えられている。キクにおいて暗期開始時の Pfr がある閾値まで低下する時間は明らかでないが、トウモロコシを使った実験では Pfr の半減期は2時間 (古谷, 1976) であるとされている。これらの知見を本実験の結果と照らし合わせると、フィトクロムの暗反転による明期から暗期への転換信号の発信およびそれに伴う時計機構の開始を、明期終了後の早い時間帯における電照が妨げることが、レスポンス低下の一因である可能性が示唆される。そのため、暗期開始後の暗期時間が短い場合は、十分な (ここでは4時間) 暗期を確保した場合に比較して、暗期中断の効果が低下すると考えられる。一方、キクの日長反応における開花制御には開花促進物質 (フロリゲン) および開花抑制物質 (アンチフロリゲン) が大きく関わっており、両物質のバランスにより開花が制御されることが知られている (Higuchi ら, 2013; Oda ら, 2012)。本実験で得られた電照効果の高い時間と時間帯、中でも暗期中断前に一定の暗期が必要という推論と、これらの遺伝子の発現量の関係についての解析が望まれる。また、実験3、6での暗期をなしにした明期延長の場合でも、電照の効果が低下していることから、暗期の必要性については、電照の光量と電照による概日リズムの位相変化などを含めたさらなる研究が望まれる。

本実験から得られた知見をもとに推定された、夏秋ギクおよび秋ギクにおける実用的な効果の高い電照時間帯の構成を第8図に示した。電照が有効なのは、暗期開始から

Dusk-NBmax + 0.5 ~ 1 時間程度までの時間帯である。そのうち暗期開始から概ね 4 時間を暗黒として、暗期開始 4 時間後から Dusk-NBmax + 0.5 ~ 1 時間程度までを電照による明期として構成することで、概ね実用的で効果の高い花芽分化抑制効果が得られると考えられる。

本研究は現在キク電照用光源として普及しつつある蛍光灯や LED 電球を想定して、R 光による電照の開花制御技術を検討した。一般的な蛍光灯（昼光色、昼白色、電球色）や赤色蛍光灯および白色 LED は、FR 光をほとんど含んでいないため、本実験で供試した R 光 LED による実験結果とほぼ同等の結果が得られることが想定される。一方、白熱電球などの R 光と FR 光を含む光源の場合は、R 光と異なる反応を生じることが知られている (Thomas・Vince-Prue, 1997) ため、本試験の結果と異なる反応を示す可能性が考えられる。

これまでキクの生産現場では、電照の効果が不十分な場合に、電照時間を延長することで、電照の効果を高められるとしてきた。しかし、電照時間を延長することにより、暗期開始から電照開始までの時間が短くなると、逆に電照の効果が低下することに十分注意する必要がある。

摘 要

キクにおける効果的な電照栽培技術を確立するためには、どの時間帯にどれぐらいの長さで光照射を行えば最も効果が高いかについて明らかにする必要がある。そこで、暗期開始から効果の高い電照時間帯までの時間 (Dusk-NBmax)、電照時間帯および電照の長さとは花芽分化抑制効果の関係を秋ギク ‘神馬’ および夏秋ギク ‘岩の白扇’ を用いて検討した。‘神馬’ および ‘岩の白扇’ の Dusk-NBmax は、それぞれ 10 時間 15 ~ 25 分および 7.5 ~ 8 時間であった。電照の時間帯は、両品種ともに、Dusk-NBmax の 0.5 ~ 1 時間後を終点として前に延長する方法が効果が高かった。電照の長さは、両品種ともに、電照時間を長くすると効果が高くなったが、一定時間以上長くすると逆に効果が低下した。長時間電照による効果の低下については、明期終了から電照開始までの暗期の有無が関与している可能性が考えられた。以上の結果をふまえて、実用的に花芽分化抑制効果の高い電照時間帯は、秋ギク ‘神馬’ および夏秋ギク ‘岩の白扇’ とともに概ね暗期開始 4 時間後から、品種固有の Dusk-NBmax + 0.5 ~ 1 時間までの範囲であることを提示した。

謝 辞 本原稿を投稿するに当たり、ご助言、ご指導いただいた香川大学農学部深井誠一教授に感謝申し上げます。

引用文献

Cathey, H. M. and H. A. Borthwick. 1970. Photoreactions controlling flowering of *Chrysanthemum morifolium* (Ramat. and Hemfl.) illuminated with fluorescent lamps. *Plant Physiol.* 45: 235–239.

船越圭市. 1989. 開花調節技術. p. 28–38. 船越圭市編著. 切り花栽培の新技術. 改訂キク上巻. 誠文堂新光社. 東京.

古谷雅樹. 1976. フィトクロム. p. 144–174. 岩波書店. 東京.

白山竜次・郡山啓作. 2013. キクの電照栽培における暗期中断電照時間帯が花芽分化抑制に及ぼす影響. 園学研. 12: 427–432.

白山竜次・郡山啓作. 2014. キクにおける限界日長と花芽分化抑制に効果の高い暗期中断の時間帯との関係. 園学研. 13: 357–363.

樋口春三. 1993. 光周性. p. 23–27. 農業技術大系花卉編 1. 生長・開花とその調節. 農文協. 東京.

Higuchi, Y., T. Narumi, A. Oda, Y. Nakano, K. Sumitomo, S. Fukai and T. Hisamatsu. 2013. The gated induction system of a systemic floral inhibitor, antiflorigen, determines obligate short-day flowering in chrysanthemums. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110: 17137–17142.

Ishikawa, R., S. Tamaki, S. Yokoi, N. Inagaki, T. Shinomura, M. Takano and K. Shimamoto. 2005. Suppression of the floral activator *Hd3a* is the principal cause of the night break effect in rice. *Plant Cell* 17: 3326–3336.

小西国義・今西英雄・五井正憲. 1990. 花卉の開花調節. p. 21–31. 養賢堂. 東京.

Machin, B. and N. Scopes. 1978. *Chrysanthemums year-round growing*. p. 15–16. Blandford Press, Dorset.

長谷あきら. 2001. フィトクロム研究がたどってきた道. p. 24–38. 和田正三・徳富 哲・長谷あきら・長谷部光泰編. 細胞工学シリーズ 16 「植物の光センシング」. 秀潤社. 東京.

Oda, A., T. Narumi, T. Li, T. Kando, Y. Higuchi, K. Sumitomo, S. Fukai and T. Hisamatsu. 2012. *CsFTL3*, a chrysanthemum *FLOWERING LOCUS T*-like gene, is a key regulator of photoperiodic flowering in chrysanthemums. *J. Exp. Bot.* 63: 1461–1477.

リュンガー ワルター. 1978. 園芸植物の開花生理と栽培 (浅平 端・中村英司訳). p. 48–50. 誠文堂新光社. 東京.

坂場 功. 2011. 日長管理による開花調節. p. 126–132. 大石一史編著. キクをつくりこなす. 農文協. 東京.

佐々木 厚・吉村正久・鈴木誠一・森山厳典・金浜耕基. 2013. 赤色電球形蛍光灯による暗期中断時間と光強度がスプレーギクの開花と花房の形状に及ぼす影響. 園学研. 12: 187–194.

瀧本 敦. 1998. 花を咲かせるものは何か—花成ホルモンを求めて. p. 162–196. 中央公論社. 東京.

Thomas, B. and D. Vince-Prue. 1997. *Photoperiodism in plants*, 2nd ed. p. 15–18. California Academic Press, San Diego.

米村浩次. 1993. 日長反応と日長による制御. p. 147–154. 農業技術大系花卉編 1. 生長・開花とその調節. 農文協. 東京.