

キクの花芽分化抑制における暗期中断電照の波長の影響

| | |
|-------|------------------|
| 誌名 | 園芸学研究 |
| ISSN | 13472658 |
| 著者 | 白山, 竜次 永吉, 実孝 |
| 巻/号 | 12巻2号 |
| 掲載ページ | p. 173-178 |
| 発行年月 | 2013年4月 |

訂 正

第12巻第2号 p.173-178 原著論文「キクの花芽分化抑制における暗期中断電照の波長の影響」(白山竜次・永吉実孝)の引用文献のなかで、著者名に誤りがありましたので、お詫びを申し上げるとともに、ここに訂正させていただきます。

園芸学研究 第12巻第2号

(誤)

p.178 石倉 聡・梶原真二・原田秀人. 2009. キクの電照抑制栽培に用いる白熱電球代替光源としての電球形蛍光ランプおよびLEDの光エネルギー特性と開花抑制効果. 広島総研農技セ研報. 84: 1-6.

(正)

p.178 石倉 聡・梶原真二・原田秀人・福島啓吾. 2009. キクの電照抑制栽培に用いる白熱電球代替光源としての電球形蛍光ランプおよびLEDの光エネルギー特性と開花抑制効果. 広島総研農技セ研報. 84: 1-6.

鹿児島県農業開発総合センター 白山竜次

キクの花芽分化抑制における暗期中断電照の波長の影響

白山竜次^{1*}・永吉実孝²¹ 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ケ水² 鹿児島県バイオテクノロジー研究所 893-1601 鹿児島県鹿屋市串良町細山田

Effects of Night-break Light Quality on Floral Inhibition of Chrysanthemum

Ryuji Hakuzan^{1*} and Sanetaka Nagayoshi²¹Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development Flower Section, Ibusuki, Kagoshima 891-0513²Kagoshima Biotechnology Institute, Kanoya, Kagoshima 893-1601

Abstract

Effects of the wavelength of night-break light on the inhibition of flower bud differentiation in chrysanthemum were investigated using the cultivars 'Arajin2' and 'Iwanohakusen'. Wavelengths of 516, 593, 630, 663, 684, and 705 nm of light were produced using LED lamps. Effective wavelengths for inhibition in both 'Arajin2' and 'Iwanohakusen' were 593, 630, and 663 nm, and the most effective wavelength was 630 nm in 'Arajin2' and 593 and 630 nm in 'Iwanohakusen', respectively. The effectiveness of red light or a mixture of red and far-red light as a night-break light was compared using 'Arajin2' and 'Iwanohakusen'. No difference in the inhibition of flower bud differentiation was observed in 'Arajin2', whereas the mixed light of red light and far-red light was more effective than red light to inhibit flower bud differentiation of 'Iwanohakusen'.

Key Words : far-red light, LED, phytochrome, red light

キーワード : 遠赤色光, フィトクロム, LED, 赤色光

緒言

ガーナーとアラードが植物の日長反応を発見して1世紀近くが経過している。日長を人為的に調整することによる開花調節は、多くの花き栽培で実用技術となっている(久松, 2011)。キクは短日植物で、短日中に電照による長日処理を行うことで、人為的に花芽分化を抑制し、開花時期の調整や草丈の確保を行っている。この電照栽培によりキクは周年出荷を実現しており、日長制御はキク栽培の基盤技術のひとつである。

キク電照栽培用の光源はこれまで白熱電球が中心であったが、省エネルギー対策による代替光源への移行推進の動きから、ここ数年で蛍光灯や発光ダイオード(LED)への移行が進みつつある。蛍光灯やLEDランプは、白熱電球に比較して電気エネルギー光変換効率がよく、同等の照度(明るさ)を確保する場合、消費電力が低く寿命も長い。また蛍光灯やLEDランプは蛍光体や半導体材料を変えることにより光質の変更が可能であり、特にLEDランプは様々な単

一ピーク波長の光照射が得られる点が大きな特長となっている。しかしながら現場では、光質と花芽分化抑制効果について十分な検討がなされないまま、昼光色や電球色、赤色などの光質の異なる蛍光灯や赤色光でも波長の異なるLEDランプが導入されているのが現状である。

植物の日長反応において光情報センサーのひとつとして働くフィトクロムは、光発芽、脱黄化、避陰反応、光周性などの様々な生理反応を制御していることが知られている(Borthwickら, 1952a, 1952b)。フィトクロムは660 nmまたは730 nmにピークを示す異なる二型の吸収スペクトルを可逆的に示す色素タンパク質で、赤色光(以下、R光と記す)を吸収するPr型と遠赤色光(以下、FR光と記す)を吸収するPfr型が存在し、Pr型は生理的に不活性でPfr型が生理的な活性を示す。Pfr型はFR光の照射や暗黒条件下でPr型へと変化し、Pr型はR光によりPfr型に変化する可逆性を示すことが知られている。また短日植物の花芽分化抑制に有効な暗期中断時の波長は、概ね600~700 nmのR光とされており(Borthwickら, 1948, 1952a; Parkerら, 1946, 1950)、暗期中断処理ではR光の効果はFR光が打ち消すため、R/FR比の高い光源が花芽分化抑制効果が高いとされている(Cathey・Borthwick, 1964)。近年、ゲノム情報の明らかになったシロイヌナズナとイネでは、それぞれ5種類(phyA-E)、3種類(phyA-C)のフィトクロム分子種が存在

2012年3月13日 受付. 2012年10月23日 受理.

本研究の一部は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「今こそチャレンジ! 国産花きの周年効率安定生産システム」の構築(課題番号2007)」において行われた。

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

することが明らかになり、変異体を用いた機能解析が精力的に行われている。イネでは、暗期の中央での光中断処理によって花成ホルモンをコードする *heading date 3a* (*hd3a*) 遺伝子の発現が抑制され、この時、*phyB* が重要な役割を担っていることが示されている (Ishikawa ら, 2005)。

LED ランプは、採用する LED チップにより光質を選べるという特徴がある反面、どの波長帯の LED チップを用いれば最も効率的な電照用光源になるかという問題が新たに提起されている。LED を用いた試験 (石倉ら, 2009) では R 単色光が光中断用光源として白熱電球と同等に有効であること、花芽分化抑制効果のある黄色 LED 光をパルス照射すれば抑制効果を回避できること (石倉ら, 2010) が報告されている。しかしながら最近まで、圃場環境において単一ピーク波長の分光特性を有する LED 光源の利用が困難であったため、キクの電照における光源の波長と花芽抑制効果を詳細に調べた報告は少なく、また秋ギクと夏秋ギクを同一波長の光源を用いて比較検討した報告は見当たらない。また FR 光は R 光の作用を打ち消すとされているものの、現場では品種によっては FR 光の多い白熱電球よりも FR 光の少ない蛍光灯の方が電照の効きが劣るといった事例もあり、著者らが行った夏秋ギク ‘岩の白扇’ の電照比較試験でも R/FR 比 9.0 の 23 W 三波長型電球色蛍光灯は R/FR 比 0.7 の 75 W 白熱電球に比較して花芽抑制効果が劣った (未発表)。FR 光の花芽分化に及ぼす影響については、鈴木ら (2011)、渡辺ら (1996) の報告があるが、いずれも R 光に FR 光を加えることで、花芽分化抑制の効果が低下するような結果は得られていないなど、従来の知見とは異なった結果が生じているため、キクの花芽分化抑制に対する R 光と FR 光の関係については、試験手法も含めて再度検証する必要がある。現場では蛍光灯を中心に白熱電球代替光源の導入が進んでいるが、白熱電球に比較して波長特性が異なるために、これまで電照抑制の指標とされてきた照度が使えない、従って光源が異なると花芽分化抑制能力の評価が難しいなどの課題が生じている。電照抑制の効果を異なる光源で評価する場合は、キクの花芽分化抑制に有効な波長の応答曲線を作成することで、異種光源でも花芽分化抑制能力の検定が可能になり、キク電照用光源の開発にも寄与できると著者らは考える。そのためには、花芽分化抑制に効果が高いと言われている R 光を中心とした波長帯の応答感度と、R 光照射に及ぼす FR 光同時照射の影響について調べる必要がある。

そこで本試験ではキクの効率的な電照抑制技術開発のために、ピーク波長の異なる数種類の電球形 LED ランプを用いて、暗期中断時におけるピーク波長 516 nm の緑色光～705 nm の FR 光までの単一ピーク波長照射が花芽分化抑制効果に及ぼす影響を明らかにするとともに、644 nm の R 光照射時における 732 nm の FR 光同時照射の花芽分化抑制効果に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

1. 光源

本試験に供試した電球形 LED ランプ (試作品, エルム) の特性を第 1 表, 第 2 表, 第 1 図 (試験 1, 2) および第 3 表, 第 2 図 (試験 3, 4) に示した。試験 1, 2 には、ピーク波長 516, 593, 630, 663, 684 および 705 nm の緑～暗赤色の 6 種類の電球形 LED ランプを用いた。試験 3 および 4 では、ピーク波長 644 nm の R 光とピーク波長 732 nm の FR 光の 2 種類を用いた。LED ランプのピーク波長は、LED チップのカタログ記載の公称ピーク値 ± 10 nm 程度の誤差がある。このため本試験では実際に使用した電球形 LED ランプで計測したピーク値を以下の結果と考察で用いた。各 LED チップの波長測定は分光放射照度計 MS-720 (ハロゲン補正済み, 英光精機) を使用した。試験 1 および 2 に供試した電球形 LED ランプの全放射束は積分球を用いて $200 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ に調整を行った。試験 3 および 4 に用いた LED 光源は全放射束の調整を行わなかったため、各光源の畦面における放射照度を測定し第 3 表に示した。放射照度の測定は放射照度計 HD2102.2 (放射照度測定プローブ LP471RAD, 測定波長域 400 ~ 1050 nm, Delta OHM) を使

第 1 表 試験 1・2 に供試した光源の特性一覧

| ピーク波長 (γ P) (公称値 nm) | ピーク波長 (γ P) (実測値 nm) | 全放射束 (mW) | スペクトル 半値全幅 (FWHM nm) | 光色 |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------|----------------------------|----|
| 530 | 516 | 201 | 37 | 緑 |
| 590 | 593 | 191 | 14 | 橙 |
| 625 | 630 | 185 | 15 | 赤 |
| 660 | 663 | 201 | 12 | 赤 |
| 680 | 684 | 218 | 24 | 暗赤 |
| 700 | 705 | 188 | 25 | 暗赤 |

第 2 表 試験 1・2 に供試した光源の放射照度 $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 時における光量子束密度

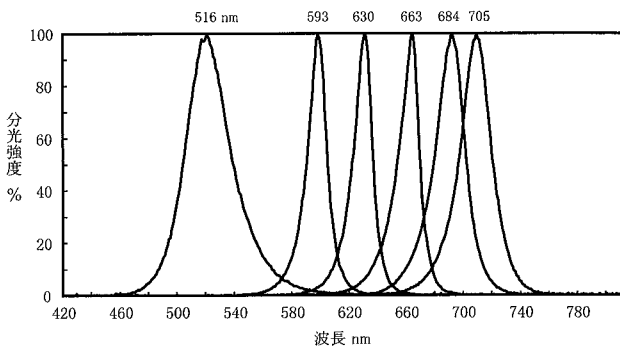
| ピーク波長 (γ P) (nm) | 光量子束密度 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) |
|--------------------------|--|
| 516 | 0.220 |
| 593 | 0.249 |
| 630 | 0.262 |
| 663 | 0.274 |
| 684 | 0.284 |
| 705 | 0.292 |

第 3 表 試験 3・4 に供試した光源の放射照度 ($\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 畦面実測値)²

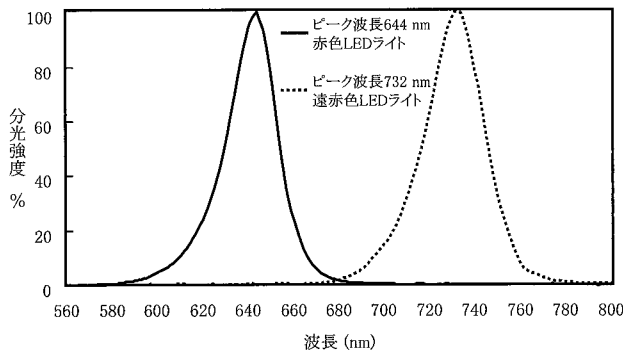
| | 644 nm LED ³ | 732 nm LED ³ |
|-------------|-------------------------|-------------------------|
| R 光照射区 | 160.9 | 0 |
| R + FR 光照射区 | 158.8 | 94.1 |

²放射照度計 HD2102.2 (Delta OHM) による測定

³分光放射照度計 MS-720 によるピーク波長実測値



第1図 試験1, 2に供試したLEDライトの波長特性



第2図 試験3, 4に供試した赤色LEDライトと遠赤色LEDライトの波長特性

用した。なお、植物の光応答は基本的には光量子反応と考えられており、照射する光量については光量子束密度で表記することが一般的であるが、本論文では測定器具の入手性や現場での利用などを考慮して放射照度で記載したが、参考までに第2表に各LEDにおける放射照度 $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ のときの光量子束密度を表示した。

2. 単波長光源の花芽分化抑制能力の検討

1) 夏秋輪ギク‘岩の白扇’における波長と抑制効果(試験1)

夏秋系白輪ギク‘岩の白扇’を供試した。試験は単棟のビニルハウスを用い、畦面の放射照度は予備試験の結果より、光質による花芽分化抑制効果の差が現れると考えられた $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ に設定した。定植は2010年4月23日に行い、定植後から6月20日(栄養成長期間; 58日間)まで暗期中断5時間(22:00~3:00)電照をピーク波長の異なる6種類の電球形LEDランプを用いて行った。成長につれて成長点付近の光量が高くなるため、成長点付近の放射照度を5月21日に $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 、6月2日に $70 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ になるように光源の設置高さを変えて調整した。電照は各区の発蕾を確認してから消灯した。栽植様式は床幅90cmに15cm・6目ネットを用いて、一目当たり2本植えとし中央2列を空けて(2-2-0-0-2-2)定植した。施肥は基肥 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=24:16:16 \text{ (kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}\text{)}$ であった。調査は光源直下付近の20株について、区全体の50%発蕾日と各個体の展開葉数を調査した。

2) 秋輪ギク‘新神2’における波長と抑制効果(試験2)

‘新神2’は秋輪ギク‘神馬’を由来として突然変異手法を用いて育成された品種である(永吉ら, 2010)。供試種苗の母株栽培はビニルハウスで電球形蛍光灯による暗期中断4時間電照で行った。また育苗はガラスハウスで電球形蛍光灯による暗期中断5時間電照で行った。試験は硬質プラスチックハウスを用いた。定植は2010年9月6日に行い、定植後~10月27日(栄養成長期間; 51日間)まで暗期中断5時間(22:00~3:00)電照を行った。なお、植付け後10日間は、苗の活着むらなどの影響を考慮して、すべての区で白熱電球による電照を行い、11日目からそれぞれ6種類の電球形LEDランプに付け替えて処理を開始した。光量は畦面の放射照度が $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ になるように、各光源の高さを調整し、その後の調整は行わなかった。電照は各区の発蕾を確認してから消灯した。栽植様式は試験1と同様とした。調査は光源直下付近の30株について、区全体の50%発蕾日と各個体の展開葉数を調査した。

3. R光およびFR光の組み合わせによる花芽分化抑制能力の検討

1) 夏秋輪ギク‘岩の白扇’における比較試験(試験3)

試験はガラスハウスを用いた。育苗および栽植様式は試験1と同様とした。定植は2010年5月21日に行い、定植後~7月10日(栄養成長期間; 50日間)まで2種類の電球形LEDランプにより暗期中断5時間(22:00~3:00)電照を行った。本試験で使用した644nm赤色電球形LEDランプはキク電照栽培用に開発されたもので、畦面における放射照度は概ね $160 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ で、本試験用に試作した732nmFR電球形LEDランプの畦面における放射照度は $94 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ であった(第3表)。調査は電照直下の40株について、消灯時および開花時の草丈と展開葉数を調査した。

2) 秋輪ギク‘新神2’における比較試験(試験4)

試験はガラスハウスを用いた。育苗および栽植様式は試験2と同様とした。定植は2010年9月22日に行い、定植後~11月9日(栄養成長期間; 47日間)まで2種類の電球形LEDランプにより暗期中断5時間(22:00~3:00)電照を行った。暗期中断の光量については試験3と同等であった。調査は電照直下の22株を選び、消灯時および開花時の草丈と展開葉数を調査した。

結 果

1. 単波長光源の花芽分化抑制能力の検討

1) 夏秋輪ギク‘岩の白扇’における波長と抑制効果(試験1)

暗期中断光源の波長の違いによる花芽分化抑制効果は発蕾日と開花時の展開葉数で判定した。すべての区で電照期間中に発蕾が認められた。発蕾日は、無処理区と516, 684および705nm区がほぼ同等で最も早く、次いで663, 593および630nm区の順であった。展開葉数は無処理区と516, 684および705nm区が32枚と最も少なく、次いで663nm区が36枚、593, 630nm区で約40枚と最も多

第4表 暗期中断照明の波長が、夏秋輪ギク‘岩の白扇’の花芽分化抑制に及ぼす影響

| ピーク波長 (γP) (実測値 nm) | 発蕾日 (月/日) | 展開葉数 (枚) |
|------------------------|--------------|---------------------|
| 無電照 | 5/26 | 31.2 a ² |
| 516 | 5/26 | 32.3 a |
| 593 | 6/ 7 | 39.4 c |
| 630 | 6/ 7 | 40.8 c |
| 663 | 6/ 4 | 36.3 b |
| 684 | 5/26 | 32.2 a |
| 705 | 5/25 | 31.6 a |

²異なる文字間については、Tukey-kramer 法により 5%水準で有意差あり

第5表 暗期中断照明の波長が、秋輪ギク‘新神2’の花芽分化抑制に及ぼす影響

| ピーク波長 (γP) (実測値 nm) | 発蕾日 (月/日) | 展開葉数 (枚) |
|------------------------|--------------|---------------------|
| 無電照 | 10/ 5 | 38.6 a ² |
| 516 | 10/ 6 | 40.4 a |
| 593 | 10/11 | 49.2 c |
| 630 | 10/26 | 60.2 e |
| 663 | 10/17 | 52.5 d |
| 684 | 10/ 7 | 43.5 b |
| 705 | 10/ 7 | 42.9 b |

²異なる文字間については、Tukey-kramer 法により 5%水準で有意差あり

第6表 R光とR+FR光の照射が、夏秋輪ギク‘岩の白扇’の花芽分化抑制に及ぼす影響

| | 葉数 (枚) | | 草丈 (cm) | |
|------------------|--------|------|---------|------|
| | 消灯時 | 収穫時 | 消灯前 | 収穫時 |
| R光照射区 | 29.7 | 37.4 | 67.2 | 91.0 |
| R+FR光照射区 | 29.5 | 43.2 | 68.1 | 99.6 |
| t検定 ² | ns | * | ns | * |

²*はt検定による5%水準で有意差あり、nsは5%水準で有意差なし

第7表 R光とR+FR光の照射が、秋輪ギク‘新神2’の花芽分化抑制に及ぼす影響

| | 葉数 (枚) | | 草丈 (cm) | |
|------------------|--------|------|---------|-------|
| | 消灯時 | 収穫時 | 消灯前 | 収穫時 |
| R光照射区 | 45.7 | 67.6 | 75.4 | 113.2 |
| R+FR光照射区 | 45.0 | 67.4 | 73.6 | 112.0 |
| t検定 ² | ns | ns | ns | ns |

²nsはt検定による5%水準で有意差なし

くなった(第4表)。夏秋輪ギク‘岩の白扇’において最も花芽分化抑制効果が高い波長は593および630 nm区であった。663 nm区は593, 630 nm区に対して明らかに抑制効果が劣った。516, 684および705 nmの波長は抑制効果が認められなかった。

2) 秋輪ギク‘新神2’における波長と抑制効果(試験2)

暗期中断光源の波長の違いによる花芽分化抑制効果は発蕾日と開花時の展開葉数で判定した。すべての区で電照期間中に発蕾が認められた。発蕾日は無処理区と516 nm区がほぼ同等で最も早く、684と705 nm区、593, 663, 630 nm区の順であった。展開葉数は無処理区が39枚と最も少なく、以下各処理区の花芽分化の遅れに伴い葉数は増加し、630 nm区で約60枚と最も多くなった(第5表)。以上の結果より秋輪ギク‘新神2’において最も花芽分化抑制効果が高い波長は630 nmであった。これよりわずかに波長の短い593 nm区およびわずかに長い663 nmは630 nmに対して明らかに抑制効果が劣った。さらに684および705 nmの波長でもわずかに抑制効果が認められた。

2. R光およびFR光の組み合わせによる花芽分化抑制能力の検討(試験3, 4)

花芽分化抑制効果をR光644 nm単照射区とR光644 nm+FR光732 nmの混合光照射区と比較したが、‘岩の白扇’では収穫時の葉数や草丈は、R光644 nm単照射区に比べR光644 nm+FR光732 nmの混合光照射区で有意に開花時の展開葉数が多く、草丈が高かった(第6表)。一方、‘新神2’においては双方の展開葉数や草丈に有意な差は認められなかった(第7表)。以上の結果よりR光にFR光を組み合わせさせた影響は、秋ギク‘新神2’では認められなかったが、夏秋ギク‘岩の白扇’ではFR光を添加した方が花芽分化抑制効果が高いことが明らかとなった。

考 察

光周性花成のためにはR光、特に630~660 nm付近の波長が効果が高いと報告されており(Borthwicら, 1948, 1952a; Parkerら, 1946, 1950)、キクの電照抑制栽培においてもR光が最も効果的であると考えられてきた(小西ら, 1990)。本試験ではピーク波長516 nmの緑色光~ピーク波長705 nmのFR光まで6種類の電球形LEDランプ光源を供試し、秋ギクと夏秋ギクの花芽分化抑制効果の検証を行った。その結果、ピーク波長593, 630および663 nmが無電照および他の波長と比べて、有意に花芽分化抑制効果が高かった。効果のあった波長のうち‘新神2’では630 nmが、‘岩の白扇’では593~630 nmが最も効果が高かった。663 nmについては両品種ともに効果がやや低下する傾向にあった。

フィトクロムを介した光情報伝達と暗期中断時の波長との関係を考える場合、フィトクロムの波長ごとの光化学変換効率とPr型とPfr型の光平衡状態(Pfr/Pr+Pfr)を考慮する必要がある。フィトクロムのPr型とPfr型は、それぞれ光吸収スペクトルに応じた光化学変換作用スペクトルを示す。Pr型からPfr型への光化学変換効率率は、660 nm付近の波長域が最も高く、さらにこの波長域ではPr型とPfr型の光吸収スペクトルの重なりが小さくPfr/Pr+Pfrの値も大きいと見積られる(Sagerら, 1988)ため、660 nm付近

が最も花芽分化抑制効果の高い波長域と推察される。しかし、本試験の結果では、660 nm よりも 630 nm 付近で花芽分化抑制効果が高かった (第 4 表, 第 5 表)。同様の結果は他のキク品種を用いても観察されている (大石ら, 2010; 住友ら, 2011)。この要因としてフィトクロムと光の吸収スペクトルが重なり合うクロロフィルの影響が考えられる。Ohtani・Kumagai (1980) は、暗黒下で育成したクロロフィルを含まない短日性アオウキクサを用いて、FR 照射による花成抑制の解除に及ぼす 612 nm および 660 nm の R 光の影響を緑色植物と比較して調べた結果、黄化植物では 660 nm 付近の光照射の効果が最も高いのに対して、緑色植物では 660 nm よりも短波長の 612 nm に効果がシフトすることが示され、短日性アオウキクサの花成誘導に関わるフィトクロム反応がクロロフィルなどの色素により遮蔽されることを明らかにした。インゲンマメの胚軸伸長抑制試験においても同様にフィトクロム反応がクロロフィルの影響を受けることが示されている (Jose・Schafer, 1978)。これらのことより、キクの暗期中断時の波長と花芽分化抑制効果の関係を考える場合、フィトクロムの波長ごとの光化学変換効率と Pr 型と Pfr 型との光平衡状態に加え、生体内に共存するクロロフィルなどの色素の影響を考慮する必要があるといえる。

本試験での照射光量ではピーク波長 516 nm の光に対する花芽分化抑制効果は著しく低かった (第 4, 5 表)。飽和光量のもとでは、ピーク波長 510 nm 付近～680 nm 付近の単色光下での $P_{fr}/Pr + P_{fr}$ の値は 0.7 以上の比較的高い値を示すが、450 nm～550 nm 付近の光では Pr 型から Pfr 型への光化学変換効率が著しく低い (Sager ら, 1988; Stutte, 2009) ため、本試験での照射光量では花芽分化抑制効果が十分でなかったと推察される。

暗期中断電照による花芽分化抑制効果を検討する場合、気温や日照条件などの環境要因についても考慮する必要がある。生産現場で秋ギクを栽培する場合に、光量不足による電照効果が問題になるのは、季咲きに近い花芽分化に適した温度や日照条件での作型であり、3 月出しのような低温・寡日照条件では電照効果の問題が発生しにくいことが知られている。本研究に着手する際の子備検討において、‘新神 2’ 3 月出しの最低夜温 10°C 条件下では、ピーク波長 516 nm の光照射 (畝面での放射照度 $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$) でも花芽分化抑制効果がみられた (データ省略)。これらのことから、その効果は低いものの暗期中断による花成抑制に有効な波長域は緑色光 (ピーク波長 516 nm) 付近からはじまっている可能性が考えられる。

短日植物の花成反応においては波長 600～700 nm の R 光の暗期中断による花成抑制効果が、波長 735 nm 付近の FR 光により打ち消されることが知られている (Cathey・Borthwick, 1964)。それゆえ FR 光を多く含む光源、例えば白熱電球よりも FR 光の割合が少ない白色系の蛍光灯や LED ランプが、キクなどの短日植物の電照用光源として有効であ

るとされてきた (Cathey・Borthwick, 1964; Accati-Garibaldi ら, 1977; 佐々木ら, 2006; 石倉ら, 2009)。一方、渡辺ら (1996) は、秋ギク ‘秀芳の力’ を用いて、白熱電球と R 光 LED と FR 光 LED を組み合わせた光源を比較し、FR 光を多量に含む光源でも花芽分化抑制効果に差がないことを報告している。鈴木ら (2011) は人工気象室で主明期に蛍光灯を使用して、暗期中断における光質の作用を調査した結果、‘岩の白扇’ の花芽分化が白熱電球または R 光 LED と FR 光 LED の組み合わせで強く抑制されていることを報告している。本試験で対象とした 2 品種のうち、秋輪ギク ‘新神 2’ は、R 光に FR 光を加えても、花芽分化抑制効果に差は認められなかった (第 7 表) が、夏秋輪ギク ‘岩の白扇’ は R 光に FR 光を加えることで、明らかに花芽分化抑制効果が高まった (第 6 表)。これらの結果をみると、キクの花芽分化抑制に及ぼす FR 光の影響については、従来言われているような、FR 光が R 光の花芽分化抑制効果を低下させる場合と、‘秀芳の力’ (渡辺ら, 1996) や ‘新神 2’ などのように FR 光が R 光の花芽分化抑制効果に影響しない場合、そして ‘岩の白扇’ のような FR 光が R 光の花芽分化抑制効果を高める場合に類別される可能性が考えられる。‘岩の白扇’ で R 光に FR 光を加えることによる花芽分化抑制効果が高まる原因については明らかではない。イネの暗期中断による花芽分化抑制では、phyB が重要な役割を担うことが示されている (Ishikawa ら, 2005)。キクの暗期中断による花芽分化抑制についても R/FR 可逆反応がみられる (Cathey・Borthwick, 1964)。この R/FR 可逆反応は、phyB を介した低光量反応の特徴のひとつ (長谷, 2001) であると考えられており、キクの花芽分化抑制についても phyB を介した低光量反応が関与していると推察される。しかし、R 光に FR 光を加えることで効果が高くなることは、R/FR 可逆反応が特徴である低光量反応では説明がつかない。キク栽培では、一般的に暗期中断電照時間は 2～5 時間であり、本試験でも 5 時間と長時間の電照を行っていることから、‘岩の白扇’ の事例のように FR 光が R 光の花芽分化抑制効果を高める場合、phyA が重要な役割を担う FR 光による高照射反応 (HIR-FR) が関与している可能性もあるが、詳細な機構の解明については今後の課題である。

現在、白熱電球の代替光源として LED が注目されており、本試験の結果をもとに電照効果の高い波長域の LED チップを使用した光源の普及が望まれる。電照による花芽分化抑制については、波長以外にも電照の時間帯や品種間差、さらに気温、日射量などの環境要因も考慮する必要がある。それらの要因も併せて解明していくことで、効率的な電照栽培につながると考えている。

摘 要

秋輪ギク ‘新神 2’ および夏秋輪ギク ‘岩の白扇’ を用いて、花芽分化抑制における光源の波長と抑制効果について検証を行った。光源は電球形 LED ランプを用いて、光源

ピーク波長実測値 516, 593, 630, 663, 684 および 705 nm の 6 種類を供試した。その結果, ‘新神2’ および ‘岩の白扇’ とともにピーク波長 593, 630 および 663 nm が抑制効果が認められ, 最も抑制効果が高かったのは ‘新神2’ では 630 nm, ‘岩の白扇’ では, 593 および 630 nm であった。

また ‘新神2’ および ‘岩の白扇’ を用いて, 暗期中断光源を R 光単照射と R 光 + FR 光の混合光とで花芽分化抑制効果を比較したところ, ‘新神2’ では R 単色光と R 光 + FR 光の混合光に花芽分化抑制効果の差は認められなかったが, ‘岩の白扇’ では R 単色光よりも R 光 + FR 光の混合光が抑制効果が高かった。

引用文献

- Accati-Garibaldi, E., A. M. Kofranek and R. M. Sachs. 1977. Relative efficiency of fluorescent and incandescent lamps in inhibition flower induction in *Chrysanthemum morifolium* ‘Albaltross’. *Acta Hort.* 68: 51–58.
- Borthwick, H. A., S. B. Hendricks and M. W. Parker. 1948. Action spectrum for photoperiodic control of floral initiation of a long-day plant, wintex barley (*Hordeum vulgare*). *Botan. Gaz.* 110: 103–118.
- Borthwick, H. A., S. B. Hendricks and M. W. Parker. 1952a. The reaction controlling floral initiation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 38: 929–934.
- Borthwick, H. A., S. B. Hendricks, M. W. Parker, E. H. Tool and V. K. Toole. 1952b. Reversible photoreaction controlling seed germination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 38: 662–663.
- Cathey, H. M. and H. A. Borthwick. 1964. Significance of dark reversion of phytochrome in flowering of *Chrysanthemum morifolium*. *Botan. Gaz.* 125: 232–236.
- 久松 完. 2011. 電照を用いた花き類の開花調節技術. 農耕と園芸. 66(2): 52–58.
- 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.
- 石倉 聡・梶原真二・原田秀人. 2009. キクの電照抑制栽培に用いる白熱電球代替光源としての電球形蛍光ランプおよびLEDの光エネルギー特性と開花抑制効果. 広島総研農技セ研報. 84: 1–6.
- 石倉 聡・平間淳司・野村昌史・山下真一・東浦 優・岩井豊通・二井清友・山中正仁. 2010. 黄色LEDパルス光を用いた秋ギクの害虫防除光源装置の開発—開花の遅延を回避できる光照射技術—. *植物環境工学.* 22: 167–174.
- Jose, A. M. and E. Schafer. 1978. Distorted phytochrome action spectra in green plants. *Planta* 138: 25–28.
- 小西国義・今西英雄・五井正憲. 1990. 花卉の開花調節 p. 53. 養賢堂. 東京.
- 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.
- 永吉実孝・上野敬一郎・今給黎征郎・郡山啓作・吉水竜次・南 公宗・田中見佳・田中 昭・長谷純宏・田中 淳. 2010. 品種登録 キク 品種名「新神2」 品種登録番号 第19096号.
- 大石一史・新井 聡・犬伏加恵・中村恵章. 2010. キクの花芽分化抑制に有効なLEDの波長, および花芽分化抑制効果に及ぼす影響. *園学研.* 9 (別2): 545.
- Ohtani, T. and T. Kumagai. 1980. Spectral sensitivity of the flowering response in green and etiolated *Lemna paucicostata* T-101. *Plant Cell Physiol.* 21: 1335–1338.
- Parker, M. W., S. B. Hendricks and H. A. Borthwick. 1950. Action spectrum for the photoperiodic control of floral initiation of the long-day plant *Hyoscyamus niger*. *Botan. Gaz.* 111: 242–252.
- Parker, M. W., S. B. Hendricks, H. A. Borthwick and N. J. Scully. 1946. Action spectrum for the photoperiodic control of floral initiation of short-day plants. *Botan. Gaz.* 108: 1–26.
- Sager, J. C., W. O. Smith, J. L. Edwards and K. L. Cyr. 1988. The use of spectral data to determine photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 31: 1882–1889.
- 佐々木 厚・遠藤柳子・森山敏典. 2006. 秋ギク型スプレーギク栽培における電球色電球形蛍光ランプの利用と経済性. 宮城農園総研研報. 76: 52–61.
- Stutte, G. W. 2009. Light-emitting diodes for manipulating the phytochrome apparatus. *HortScience* 44: 231–234.
- 住友克彦・樋口洋平・小田 篤・宮前治加・山田 真・石渡正紀・久松 完. 2011. 暗期中断によるキクの花成および FT 様遺伝子発現抑制における分光感度. *園学研.* 10 (別2): 251.
- 鈴木健太・廖 易・庄 得鳳・福井博一・嶋津光鑑. 2011. 開花時期の異なるキク 2 品種 (‘神馬’・‘岩の白扇’) の花芽分化および成長に対する暗期中断処理時の光質の影響. 日本生物環境工学会. 2011. 札幌大会講演要旨: 106–107.
- 渡辺博之・河合成典・吉野 徹・田中史宏. 1996. LEDを光源とした植物栽培. (第5報) 秋ギク電照栽培における遠赤色光の添加効果. *園学雑.* 65 (別2): 568–569.