キクの電照栽培における電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度との関係

白山竜次^{1*}・永吉実孝²・郡山啓作¹

¹ 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

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

Relation between Night-break-lighting Period and Light Irradiance Intensity to Inhibit Flower Initiation in Chrysanthemum

Ryuji Hakuzan^{1*}, Sanetaka Nagayoshi² and Keisaku Kooriyama¹

¹Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development Flower Section. Ibusuki, Kagoshima 891-0513

²Kagoshima Biotechnology Institute. Kanoya, Kagoshima 893-1601

Abstract

The relation between the night-break-lighting period and light irradiance intensity to inhibit flower initiation in chrysanthemum was investigated using ‘Iwanohakusen’ and ‘Jinba’, major summer-to-autumn and autumn flowering cultivars in Japan, respectively. Plants were subjected to night-break with different light irradiance intensities for 20 to 60 or 70 days from planting. The required light irradiance intensity to inhibit flower initiation was evaluated by the number of nodes on the main stem at flowering. The required light irradiance intensity increased as the night-break-lighting period became longer in both cultivars. In ‘Iwanohakusen’, flowering could not be prevented by night-break when the lighting period reached 60 days. On the other hand, flower initiation in ‘Jinba’ was inhibited successfully by night-break even though the lighting period reached 70 days. These results indicate that the light irradiance intensity of night-break should be higher when the lighting period is longer than a threshold, depending on cultivars.

Key Words : flowering, fluorescent lamp, summer-to-autumn flowering chrysanthemum

キーワード : 開花, 夏秋ギク, 蛍光灯

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、夏季は限界日長の長い夏秋ギク型品種（以下、夏秋ギク）、秋から春にかけては限界日長の短い秋ギク型品種（以下、秋ギク）を用いて、暗期中断による周年生産体系が確立されており、電照による日長制御はキク栽培の基盤技術のひとつとなっている（大石、2011）。

キク栽培では、切り花長を確保するために電照期間を長くすると、電照による花芽分化抑制効果が低下し、柳葉の増加や早期発蕾が発生することが知られている。Cockshull（1976）は、キクは電照による暗期中断条件下でも花芽分化を開始し、長日下における花芽分化節位を長日下花芽分化節位（LDLN）と称して、LDLNには品種間差があるとし

た。福田（1995）は秋ギク‘秀芳の力’を用いて、電照期間を45～60日とした場合、栄養成長期間が長くなるほど柳葉数が増加するため、電照期間は概ね50日以内とし、消灯前は電照時間を長くすることが望ましいとした。また夏秋ギク‘精雲’においても栄養成長期間7週以上になると電照抑制が効かなくなるとした。出口ら（2002）は夏秋ギク‘岩の白扇’を用いて、電照期間を40、45および50日の3段階に設定し、電照期間が長くなるほど柳葉の発生が増加することから、展開葉数25枚以内で消灯することにより柳葉を防止できるとした。以上のように、LDLNの品種間差や電照期間が長くなると電照による花芽分化抑制効果が低下することは報告されているが、電照期間と花芽分化抑制に必要な暗期中断の放射照度との関係について詳細に検討した報告は見当たらない。近年、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、キクの電照用光源が白熱電球から蛍光灯や発光ダイオード（LED）へ移行しつつある。そこで本試験では、近年導入が進んでいる蛍光灯を光源として、電照期間を変えることで花芽分化抑制に必要な暗期中断の放射照度がどのように変化するかを、代表的な夏秋ギク‘岩の白扇’および秋ギク‘神馬’を用いて、定量しようと試みた。

2012年8月25日 受付。2013年1月20日 受理。

本研究の一部は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において行われた。

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

材料および方法

1. 共通の試験方法

キクの電照期間と花芽分化抑制に必要な光量の変化を検証するためには、放射照度を変える方法と電照時間を変える方法がある。しかし、暗期中断は点灯する時間帯によって花芽抑制の効果が変化する可能性がある (Cathey・Borthwick, 1964) ため、本試験では放射照度を変える方法を用いた。試験は鹿児島県農業開発総合センター花き部内の硬質プラスチックハウスで行った。光源は三波長型赤色蛍光灯 (YOF-23EP, 消費電力 23 W, 寄の会) を用いた。この蛍光灯は花芽分化抑制に有効とされている赤色光を多く含む蛍光灯 (第 1 図) で、R/FR 比は 8.9 であり、キクの産地でも近年導入されているものである。光源は、‘岩の白扇’では

第 1 図 赤色蛍光灯の波長特性

分光パワー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：英光精機製 分光放射照度計 MS-720 (ハロゲン補正済み)

2010 年 8 月 点灯 1 時間後に測定

第 2 図 光源からの水平距離と畦面の放射照度の関係

z データは ‘岩の白扇’ 電照期間 30 日区における実測値
使用機材：Delta OHM 社製放射照度計 HD2102.2, 放射照度プローブ LP471RAD

光源：23 W 三波長型赤色蛍光灯 (型式 YOF-23EP), 設置高さ：畦面から 1.5 m

2010 年 5 月 点灯 1 時間後に光源直下から 0.15 m 間隔で測定

畦面より 1.5 m の高さに、‘神馬’では 1.7 m の高さに設置した。光源から 30 cm 横に遮光シート (ホワイトシルバー, トーカン) を遮光用に設置して、‘岩の白扇’は 4 m 間隔, ‘神馬’は 3 m 間隔で、各電照期間の試験区を設けた。それぞれの区では、光源から離れることによる放射照度の低下 (第 2 図) を利用して、異なる放射照度の影響を調査した。放射照度の測定には 400 ~ 1,050 nm の波長域に感度を持つプローブ (LP471RAD, Delta OHM) を装着した放射照度計 (HD2102.2, Delta OHM) を用いた。試験区内では光源直下から 15 cm ごとに放射照度を測定し、‘岩の白扇’は 27 分割, ‘神馬’は 20 分割とした。栽植様式は床幅 90 cm の平畦に 15 cm・6 目ネットを用いて、1 目当たり 2 本植えとし中央 2 列を空けて (2-2-0-0-2-2), 同一放射照度の位置に 8 株を植付けた。栽培は無摘心で行った。電照期間として、夏秋ギク ‘岩の白扇’では無電照区, 20, 30, 40, 50 および 60 日間の 6 区を、秋ギク ‘神馬’では無電照区, 20, 30, 40, 50, 60 および 70 日間の 7 区を設置した。調査は消灯時の葉数および開花時の葉数を試験区ごとに計測した。

放射照度と展開葉数の関係は回帰を用いた統計的手法で解析可能であるが、直線回帰や曲線回帰があてはめにくい場合は、複数の直線を連続的にあてはめた折れ線回帰モデルが適用できる (大塚, 1995)。本試験では、放射照度が強くなるほど展開葉数が増加し、特定の放射照度以上では展開葉数が一定となる傾向を統計的に明らかにするため、2 本の直線による折れ線回帰分析 (濱野ら, 1987; 村元ら, 1997; 大塚・吉原, 1975; Vieth, 1989) を適用し、2 本の回帰直線の交点となる放射照度を求めた。

統計処理は、フリーソフトウェア R (ver. 2.15.1) に青木 (2009) の作成した折れ線回帰の関数式 (<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/oresen.html>) を用いて行った。

2. 夏秋ギク ‘岩の白扇’における電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度 (試験 1)

2010 年 5 月 24 日に前歴の揃った発根苗を定植した。施肥は $N : P_2O_5 : K_2O = 2.4 : 1.6 : 1.6 \text{ kg} \cdot a^{-1}$ で、電照は 5 時間 (22:00 ~ 翌 3:00) の暗期中断とした。定植直後から無電照区を除いて電照を開始し、各区の電照期間に応じて順次消灯した。温度管理は 25°C で換気を行い、暖房機による加温はしなかった。

3. 秋ギク ‘神馬’における電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度 (試験 2)

2011 年 9 月 12 日に前歴の揃った発根苗を定植した。施肥は $N : P_2O_5 : K_2O = 1.6 : 0.8 : 0.8 \text{ kg} \cdot a^{-1}$ で、電照時間は、暗期中断 2 時間 (24:00 ~ 翌 2:00) とした。定植直後から無電照区を除いて電照を開始し、各区の電照期間に応じて順次消灯した。温度管理は 25°C で換気を行い、気温が低下してからは最低夜温 17°C で加温した。

結 果

1. 夏秋ギク ‘岩の白扇’ における電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度 (試験 1)

第3図に各電照期間における放射照度と開花時展開葉数の分布を示した。2本の直線による折れ線回帰によって花芽分化抑制の閾値と推定された放射照度 (以後、閾値と記す) は、電照期間 20, 30, 40 および 50 日区で各々 45, 57, 75 および 124 $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$ で、閾値より強い放射照度では開花時展開葉数が変化しないのに対し、それより弱い放射照度では開花時展開葉数が放射照度に比例して増加した。電照期間 60 日区では 50 日区までと異なり、閾値より強い放射照度でも開花時展開葉数が増加する傾向がみられ、他区と同様な閾値が推定できなかった。第1表に光源直下付近の放射照度 180 ~ 261 $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$ の範囲内の 40 株における各電照期間の消灯時葉数、消灯後増加葉数および開花時展開葉数について示した。また第3図に示した花芽分化抑制

第1表 夏秋ギク ‘岩の白扇’ における電照期間と光源直下の展開葉数との関係および葉数が減少する放射照度の閾値²

電照期間	消灯時葉数	消灯後増加葉数	開花時展開葉数	閾値の放射照度 ³
無電照	—	—	29.8 a ^x	—
20 日	14.7 a ^x	22.2 a ^x	36.8 b	45.0
30 日	19.1 b	20.2 a	39.3 c	56.8
40 日	23.7 c	21.7 a	45.4 d	74.5
50 日	29.3 d	21.0 a	50.2 e	124.3
60 日	35.6 e	17.4 b	53.0 f	261< ^w

² 光源直下付近の放射照度 180 ~ 261 $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$ の範囲内の 40 株を対象とした

³ 放射照度は 2 直線の折れ線回帰による交点の値を花芽分化抑制の閾値とした

^x 異なるアルファベット文字間は Tukey-kramer の多重検定により 1% 水準で有意差あり

^w ‘261<’ は、有効な閾値が得られず、閾値がこの放射照度以上である可能性を示す

第3図 電照期間と暗期中断電照の放射照度が夏秋ギク ‘岩の白扇’ の開花までの展開葉数に及ぼす影響
図中の○および●は二本の直線による折れ線回帰分析により得られた直線 A, B の成分を示す

第4図 電照期間と暗期中断電照の放射照度が秋ギク‘神馬’の開花までの展開葉数に及ぼす影響
図中の○および●は二本の直線による折れ線回帰分析により得られた直線A, Bの成分を示す

放射照度の推定閾値を各区ごとに示した。消灯時葉数および開花時展開葉数は、電照期間が長くなるにつれて有意に増加した。消灯後増加葉数は電照期間 20～50 日区には差がなく、60 日区では有意に少なかった。

2. 秋ギク‘神馬’における電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度 (試験2)

第4図に各電照期間における放射照度と開花時展開葉数の分布を示した。花芽分化抑制効果が低下する放射照度の閾値の推定については、‘岩の白扇’と同様に2本の直線による折れ線回帰分析を用いた。電照期間 40, 50, 60 および 70 日区の閾値は、各々 66, 80, 98 および 111 mW·m⁻² と推定された。しかし、電照期間 20 日区と 30 日区では、放射照度によって開花時展開葉数が増加するような直線が有意に推定できず、他区と同様の閾値が得られなかった。第2表に光源直下付近の放射照度 110～192 mW·m⁻² の範囲内の 40 株における消灯時葉数、消灯後増加葉数および開花時展開葉数について示した。また第4図に示した花芽分化抑制放射照度の推定閾値を各区ごとに示した。消灯時葉数

第2表 秋ギク‘神馬’における電照期間と光源直下の展開葉数との関係および葉数が減少する放射照度の閾値^z

電照期間	消灯時葉数	消灯後増加葉数	開花時展開葉数	閾値の放射照度 ^y
無電照	—	—	25.5 a ^x	—
20 日	15.2 a ^x	19.2 a ^x	34.4 b	<30.2 ^w
30 日	22.4 b	18.9 a	41.3 c	<34.7 ^w
40 日	28.5 c	19.0 a	47.5 d	66.1
50 日	36.9 d	18.7 a	55.6 e	79.8
60 日	40.8 e	19.0 a	59.8 f	97.5
70 日	47.4 f	18.7 a	66.1 g	110.5

^z 光源直下付近の放射照度 110～192 mW·m⁻² の範囲内の 40 株を対象とした

^y 放射照度は2直線の折れ線回帰による交点の値を花芽分化抑制の閾値とした

^x 異なるアルファベット文字間は Tukey-kramer の多重検定により 1% 水準で有意差あり

^w 20 日区の ‘<30.2’ および 30 日区の ‘<34.7’ は、有効な閾値が得られず、閾値がこの放射照度以下である可能性を示す

および開花時展開葉数は、電照期間が長くなるにつれて有意に増加した。消灯後増加葉数は概ね 18 ～ 20 枚前後で電照期間 20 ～ 70 日では有意な差は認められなかった。

考 察

キクの電照栽培に関する報告は多数見受けられるが、電照期間と花芽分化抑制に必要な光量の関係について詳細に検討した報告は少なく、電照期間が長くなるにつれて、花芽分化抑制に必要な暗期中断の放射照度がどのように変化するかは明らかではなかった。本試験の結果から、キクの電照期間が長くなるにつれて、花芽分化抑制に必要な暗期中断の放射照度の閾値が高くなること、また閾値の変化は品種によって異なることが示された。

夏秋ギク‘岩の白扇’の場合、電照期間 20 日区でも放射照度 $45 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下では、花芽分化の抑制が不十分であり、電照期間が長くなるにつれて花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値も高くなった。電照抑制効果が十分であれば、消灯後増加葉数は‘岩の白扇’の場合 20 枚前後であり、電照期間 60 日区は、電照直下の放射照度 $261 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ でも十分な花芽分化抑制効果は得られず、電照期間中に花芽分化したものと考えられた。従って電照期間 60 日区の花芽分化抑制に必要な放射照度は光源直下の $261 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上か、または本試験環境下では 60 日以前に LDLN に達していたと推察された。一方、秋ギク‘神馬’の場合、電照期間 20 日区、30 日区では、試験区の最低放射照度でも十分な花芽分化抑制効果が得られ、また第 2 表に示すように無電照区に対して開花時展開葉数の有意な差が認められることから、閾値となる放射照度は電照期間 20 日区では $30 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 、30 日区では $35 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ より低いと推察された。電照期間 40 日区以降は電照期間が長くなるにつれて花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が段階的に高くなる傾向にあったが、電照期間 70 日区でも放射照度 $111 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上では十分な花芽分化抑制効果が得られることが示された。このように、両品種ともに電照期間が長くなるにつれて、花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が段階的に高くなったが、‘岩の白扇’は電照期間が長くなるにつれて急激に花芽分化抑制に必要な放射照度閾値が高くなるのに対し

て、‘神馬’は比較的緩やかであった。現場では電照期間中の早期発蕾が‘岩の白扇’で問題になっており、その原因については、このような電照期間と閾値の変化の品種間差異が一因である可能性が考えられる。

本試験で行った花芽分化抑制に必要な放射照度を光源からの距離による放射照度の変化で推定する手法については、植物の成長とともに、光源と成長点の距離が変化すること、1 点の光源からの照射のため、光源に対する水平距離の違いにより、植物体の受光角度が変化することなど、いくつか考慮すべき点がある。キクの花芽分化抑制に必要な暗期中断の光量は、気温、日射量などの外的要因で変化することが知られている (Cockshull, 1979)。本試験は定植日を揃えて段階的に消灯しているため、試験期間中の気象変動が花芽分化抑制に必要な放射照度に影響を与えた可能性についても考慮すべきである。第 3 表に両品種の各電照期間における消灯前後 10 日間の平均昼夜温を示した。キクの花芽分化には昼温よりも夜温の影響が大きいとされており、品種にもよるが夜温は 25°C 以上、昼温は 30°C 以上で開花遅延を起こすとされている (西尾, 1995)。¹ ‘岩の白扇’では、電照期間の長い試験区ほど消灯前後の気温が高くなり、花芽分化適温から離れていく傾向にあった。このことは、電照期間の長い試験区での閾値の上昇を過小に評価している可能性が残る。花芽分化に最適な温度条件下では、花芽分化を抑制できる放射照度の閾値は、本実験よりもさらに高い可能性がある。一方、‘神馬’では、電照期間 20 ～ 70 日区を通じて昼温、夜温ともに花芽分化適温内にあることから、花芽分化を抑制できる放射照度の閾値に対する気温の影響は少ないと考えられる。

本試験は光源として赤色光を特異的に多く含む 3 波長型蛍光灯を使用した。これまでキクの電照栽培に用いられる光源は白熱電球が主体で、これまでの電照栽培に関する知見も白熱電球によるものが多い (福田, 1995; 出口ら, 2002)。光源が異なると発せられる光の分光放射特性も異なるため、遠赤色光を多く含む白熱灯や赤色光の割合の少ない昼光色蛍光灯などとは花芽分化抑制の閾値と推定された放射照度の値が異なることに留意すべきである。

以上のことからキク栽培では、電照期間の長さにより電照抑制効果が変わることが示された。そのため草丈を確保するために電照期間を長くする場合は、放射照度を強くする、または 1 日の電照時間を長くするなどの対策をとる必要がある。一方、慣行よりも電照期間を短くする場合、放射照度を低くすることも可能な場合があると考えられる。

摘 要

夏秋ギク‘岩の白扇’および秋ギク‘神馬’を用いて、電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度との関係について試験を行った。電照期間は定植から 20 ～ 60 日までの 5 区 (‘神馬’は 70 日までの 6 区) を設置し、各区における光源からの距離と光量減衰を利用して放射照度ごとに展開

第 3 表 各品種における消灯前後の施設内気温の概要²

電照期間	‘岩の白扇’		‘神馬’	
	昼温 (°C)	夜温 (°C) ³	昼温 (°C)	夜温 (°C) ⁴
20 日	26.7	22.1	26.3	21.4
30 日	27.2	23.9	25.7	20.3
40 日	28.4	24.6	23.8	17.3
50 日	30.6	25.1	24.6	19.7
60 日	32.8	25.9	22.4	17.7
70 日			22.1	17.9

² 消灯前後 10 日間の施設内気温

³ 昼温は 6:00 ～ 18:00、夜温は 19:00 ～ 5:00 における平均気温

⁴ 昼温は 7:00 ～ 18:00、夜温は 19:00 ～ 6:00 における平均気温

葉数の調査を行った。展開葉数が増加から一定値へと変化する放射照度の閾値の推定は、2本の直線による折れ線回帰分析を用いた。‘岩の白扇’では、電照期間が長くなるにつれて、花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が高くなったが、電照期間50日以降は閾値が急激に高くなり、電照直下付近の放射照度 $180 \sim 261 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ でも、電照中から花芽分化が開始された。一方、‘神馬’も電照期間が長くなるにつれて、花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が高くなったが、その程度は緩やかで、電照期間70日でも $110 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上の放射照度で十分に花芽分化が抑制された。以上のことから、キクでは電照期間が長くなると花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が高くなることが明らかとなった。その程度には品種間差があり、‘神馬’に比較して‘岩の白扇’で顕著であった。

引用文献

- 青木繁伸. 2009. 二本の直線による折れ線回帰. Rによる統計処理. <<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/>> .
- Cathey, H. M. and H. A. Borthwick. 1964. Significance of Dark Reversion of Phytochrome in Flowering of *Chrysanthemum morifolium*. Bot. Gaz. 125: 232–236.
- Cockshull, K. E. 1976. Flower and leaf initiation by *Chrysanthemum morifolium* Ramat in long days. J. Hort. Sci. 51: 441–450.
- Cockshull, K. E. 1979. Effects of Irradiance and Temperature on Flowering of *Chrysanthemum morifolium* Ramat in Continuous Light. Ann. Bot. 44: 451–460.
- 出口 浩・松尾崇宏・北村信弘. 2002. 無側枝性夏秋ギク「岩の白扇」の6～8月開花における栽培安定技術. 長崎総農林試研報. 28: 1–17.
- 福田正夫. 1995. 周年生産の技術大系. p. 341–350. 農業技術体系 花卉 第6巻 キク. 農文協. 東京.
- 濱野周泰・古賀 正・青木司光. 1987. 北沢清造園樹木における無給水日数と生存率ならびに土壌水分の関連について. 造園雑誌. 50: 155–160.
- 村元隆行・藤村 忍・門脇基二・石橋 晃. 1997. 比内地鶏（ロードアイランドレッド×比内鶏）のリジン要求量. 日本畜産學會報. 68: 459–465.
- 西尾穰一. 1995. 発育相とそれを支配する要因, 調節技術. p. 139–149. 農業技術体系 花卉 第6巻 キク. 農文協. 東京.
- 大石一史. 2011. キクの生育相. p. 76–85. 大石一史編著. キクをつくりこなす. 農文協. 東京.
- 大塚雅雄. 1995. 作物品種の生態的特性解析への折れ線回帰モデルの適用. 育学雑. 45: 135–138.
- 大塚雅雄・吉原雅彦. 1975. 1ないし2の折曲点をもつ折れ線モデルのあてはめ. 応用統計学. 5: 29–39.
- Vieth E. 1989. Fitting piecewise linear regression functions to biological responses. J. Appl. Physiol. 67: 390–396.