

第3節 黄色パルス光とキクの開花反応特性

秋ギクの計画生産を目的とする電照抑制栽培では、その照明時間を連続して照明するのではなく、短時間ずつ断続的に照明する方法があり、サイクリック照明、あるいは間欠照明と呼ばれている（米村，1993）。一般に間欠照明では、短い周期にして、短時間の光を複数回与えるのが効果的であり、適切な周期は1~30分程度で、照度が十分であれば、照明時間はその10~20%程度でよいとされている（米村，1993）。石倉・村上（2006）は、赤色LEDを用いて、一般的な間欠照明よりも、さらに短い周期である秒単位で間欠照明し、秋ギクの開花に及ぼす影響を検討した結果、明暗比率が異なることによって開花抑制効果に差があることを見いだした。このことは、相対分光放射照度が異なるものの、防蛾用の黄色光による照明においても明暗比率を調節することによって、秋ギクの開花への影響を制御できる可能性を示唆している。しかし、防蛾用の黄色パルス光と短日植物である切り花ギクの開花反応との関係を検討した報告は見られない。

そこで、本節では、防蛾用照明として実績のある黄色光を放射するLEDを用い、オオタバコガおよびハスモンヨトウ成虫の飛翔行動抑制に有効（尹ら，2010；2011；2012）とされる明期20ms/暗期80msを中心とする時間構造を設定し、切り花ギクへ照射することで、発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響を明らかにしようと試みた。

第1項 黄色パルス光のデューティー比とキクの開花反応特性

本項では、防蛾用照明として実績のある黄色光を放射するLEDを用い、異なるデューティー比の黄色パルス光の照射が秋ギクの発蕾に及ぼす影響を明らかにすることで、夜間照明による影響を軽減する上で重要なパルス化の有効性を検証した。

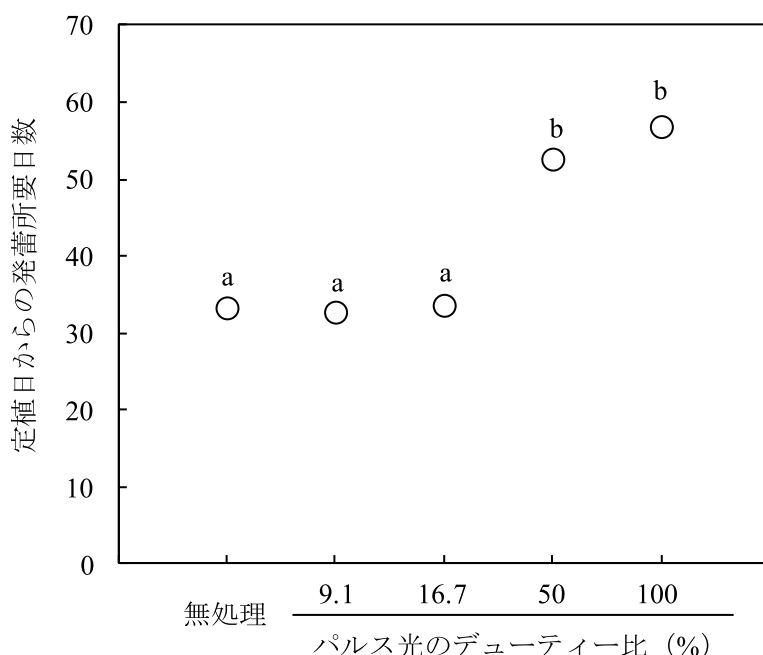
1 材料および方法

秋ギク‘神馬’を2008年11月15日に挿し芽し、12月1日に容量6.2 liter (D 15 cm × W 32 cm × H 13 cm) のプランターへ3株ずつ定植し、日最低気温が15°Cを下回らないように管理したプラスチックハウス内で無摘心栽培した。培地および施肥は第1節第1項に準じた。供試光源には、第1節第2項と同じLY-LED（第1-6図）のチップを24個実装したLEDモジュールを、短波長カットフィルタを装着した状態で用いた。LEDモジュールは、45 cm × 45 cmのパネル中央に発光面が下向きになるように固定し、キク供試個体上に設置した。LEDモジュール点灯時のキクの茎頂付近における放射照度は40 mW・m²とし、第1節第1項の方法に

準じて所定の放射照度を確保し、照射光の干渉を防止した。パルス光の時間構造については、審良ら (2009) が明期 10 ms と比較してオオタバコガ成虫の複眼への刺激力が大きいと指摘している 20 ms で固定した。パルス光のデューティー比は、異なる暗期を設定することによって、便宜的に 9.1, 16.7, 50 および 100% の 4 水準とした。なお、デューティー比 100% に設定した照射光は、パルス光ではなく連続光となる。対照として定植日以降を自然日長下で管理する無処理区を設定した。実験期間中は、無処理区を除き、定植日から 2009 年 3 月 4 日までの 93 日間、毎日 16:30~7:30 に終夜照明し、発蕾日と、定植 93 日後の開花率および立ち毛での形質を調査し、定植日から発蕾日までの日数を発蕾所要日数とした。

2 結 果

第 1-18 図に、明期 20 ms の時間構造を有する黄色パルス光を、異なるデューティー比で照射した場合の秋ギク‘神馬’の発蕾所要日数に及ぼす影響について示した。無処理区の 33.3 日と比較して、デューティー比 9.1% 区の 32.8 日および 16.7% 区の 33.7 日では有意な差が見られなかったものの、50% 区で 19.4 日、100% 区では 23.6 日大きく、有意な差が見られた。



第 1-18 図 明期 20 ms の時間構造を有する黄色パルス光による終夜照明時のデューティー比が秋ギク‘神馬’の定植日からの発蕾所要日数に及ぼす影響

図中の同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n=3$)

第 1-3 表に、定植 70 日後の発蕾率、定植 93 日後の開花率および立ち毛での形質に及ぼす影響について示した。発蕾率は、すべての区で 100%であった。開花率は、無処理区、デューティー比 9.1%区、16.7%区および 50%区において 100%に達したが、連続光にあたるデューティー比 100%区においては、56%に留まった。茎長は、無処理区の 45.4 cm と比較して、9.1%区および 16.7%区では有意な差が見られなかったが、50%区で 32 cm、100%区では 53 cm 大きく、有意な差が見られた。節数は、茎長と同様に、無処理区の 30.1 節と比較して、9.1%区および 16.7%区では有意な差が見られなかったが、50%区で 11.9 節、100%区では 16.6 節多く、有意な差が見られた。花卉の展開異常は、無処理区、9.1%区および 16.7%区において発生は見られなかったが、50%区および 100%区においては発生が見られた。

第 1-3 表 明期 20 ms の時間構造を有する黄色パルス光による
終夜照明時のデューティー比が秋ギク ‘神馬’ の発蕾
率、開花率および形質に及ぼす影響

デューティー 比 (%)	発蕾率 ^z (%)	定植93日後			花卉の 展開異常
		開花率 (%)	茎長 (cm)	節数	
無処理	100	100	45.4 a ^y	30.1 a	無
9.1	100	100	50.7 a	30.8 a	無
16.7	100	100	54.1 a	31.9 a	無
50	100	100	77.4 b	42.0 b	有
100	100	56	98.4 c	46.7 c	有

^z 定植70日後の2009年2月9日における発蕾率を示す

^y 表中の同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差がないことを示す ($n = 3$)

3 考 察

石倉・村上 (2006) は、秋ギク ‘神馬’ に対し、ピーク波長 640 nm の赤色 LED を用いて、秒単位で明期と暗期を繰り返して間欠照明を行った場合、間欠照明における明期と暗期の比率が異なると開花抑制効果に差が生じることを見いだした。具体的には、明期はすべて 1 秒とし、0 (連続光)、1、2、5 および 9 秒の異なる暗期を設定し、照明時のキク茎頂付近の放射照度は $250 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ として、定植日から 48 日間、22:00~2:00 に間欠照明を行い、発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響を検討した。その結果、暗期が 0、1 および 2

秒と比較して、暗期が 5 および 9 秒では開花抑制効果が著しく小さく、暗期の設定値が大きいほど開花への影響が小さくなることを確認している（石倉・村上，2006）。このときの暗期 0, 1, 2, 5 および 9 秒に対応するデューティー比は、順に 100, 50, 33.3, 16.7 および 10%であった。

本項においても、黄色光をパルス化して照射した場合、前述の赤色 LED 関連実験と同様に、デューティー比が小さいほど、生育への影響も小さくなった。照明時のキク茎頂付近の放射照度を $40 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ とした場合、デューティー比が 9.1 および 16.7%であれば、秋ギク‘神馬’の発蕾および形質に有意な影響を及ぼすことなく適用できることが明らかとなった。また、放射照度が $40 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ の場合、秋ギク‘神馬’に有意な影響を及ぼすことなく適用できるデューティー比の上限値は 16.7~50%に存在することが示唆され、キクに対する黄色光照射の影響を軽減するためには、少なくとも 50%より小さいデューティー比によるパルス化の有効性が検証できたと考えている。

防蛾に有効な最低照度は $1 \sim 2 \text{ lx}$ ($1.2 \sim 3.2 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 相当) 以上とされている（内田ら，1978；藪，1999）。また、最大の防蛾効果を得る観点から、防蛾を目的とする照明では、終夜照明が採用されている（島内ら，2010；八瀬，2004）。以上を踏まえて、本項では、これらの 2 つを満たす照明条件として、終夜照明下での放射照度 $40 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ を設定した。しかしながら、本項で実施したのは、特定の放射照度下でのみの検討であり、今後は、黄色光をパルス化した場合に適用できる放射照度の範囲を明らかにする必要があると考えられた。

第 2 項 黄色パルス光の放射照度とキクの開花反応特性

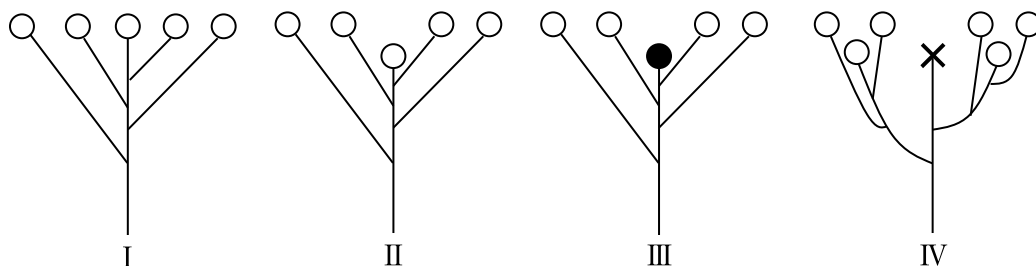
ヤガ類成虫の飛翔行動抑制に効果的とされる明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光（尹ら，2010；2011；2012）のデューティー比は 20%であり、前項で明らかにしたキクに適用できるデューティー比の範囲にあるものの、適用可能な放射照度については十分な検討がなされていない。そこで、明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光を異なる放射照度で輪ギク、小ギクおよびスプレーギクに照射し、発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響を明らかにすることで、前項では未解明であった切り花ギクに適用できる放射照度の範囲を特定しようと試みた。

1 材料および方法

共通する栽培概要および調査方法

供試した輪ギク、小ギクおよびスプレーギクにおいて、夏秋ギク型の品種は、株間 12 cm×条間 12 cm の 5 列×5 条で発根苗 25 株を地床へ定植し、なりゆきの温度管理下で無摘心栽培した。一方、秋ギク型の品種は、

容量 6.2 liter (D 15 cm×W 32 cm×H 13 cm) のプランターへ 3 株ずつ定植して、日最低気温が 15°C を下回らないように管理したプラスチックハウス内で無摘心栽培した。すべて第 1 節第 1 項と同じ肥料を用い、夏秋ギク型の品種には、25 株当たり輪ギクで 91 g、小ギクおよびスプレーギクでは 50 g を定植 7 日後に施与した。また、秋ギク型の品種には、1 プランター当たり輪ギクで 9 g、小ギクおよびスプレーギクでは 5 g を定植 7 日後に施与した。供試光源には、第 1 節第 2 項と同じ LY-LED (第 1-6 図) のチップを 24 個実装した LED モジュールを、短波長カットフィルタを装着した状態で用いた。第 1 節第 1 項に準じ、供試光源を設置し、放射照度を設定した。黄色パルス光の時間構造は、防蛾に有効とされる明期 20 ms/暗期 80 ms (尹ら, 2010 ; 2011 ; 2012) に設定した。夏秋ギク型の品種では、各区の周縁部の 16 株を除く 9 株について、秋ギク型の品種では、1 区 9 株 (3 プランター) について、発蕾日および開花日を調査し、定植日から発蕾、開花までの日数をそれぞれ発蕾所要日数および到花日数とした。加えて、開花日に地際から採花し、切り花形質を調査した。なお、花房型は、森ら (2007) の小ギクに関する報告に基づいて分類 (第 1-19 図) した。また、道園ら (2012) のスプレーギクについての報告に準じ、一次側枝数、第 4 側枝長、第 4 側枝と主茎との着生角度を調査した。花色は、目視により確認した。



第 1-19 図 花房型の模式図 (森ら (2007) の図を一部改変)

○ 開花, ● 未開花, × 発育停止

黄色パルス光の放射照度と輪ギクの開花反応

夏秋ギク型輪ギク品種の開花反応

主要な夏秋ギク型輪ギクであり、花色が白色の‘岩の白扇’を 2011 年 5 月 12 日に挿し芽し、5 月 27 日に定植した。連続光区およびパルス光区の 2 区を設け、LY-LED モジュール点灯時のキクの茎頂付近における放射照度を 0, 5, 20 および 50 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ とし、0 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ を除く処理区では、第 1 節第 1 項の方法に準じ所定の放射照度を確保しつつ、定植日から 8 月 19 日までの 87 日間、毎日 17:00~7:00 まで終夜照明した。

秋ギク型輪ギク品種の開花反応

主要な秋ギク型輪ギクであり、花色が白色の‘神馬’および‘精興の誠’、黄色の‘精興黄金’、赤色の‘花秀芳’の4品種を供試した。2012年8月27日に挿し芽し、9月12日に定植した。LY-LEDモジュール点灯時のキクの茎頂付近における放射照度を0, 20, 35および50 mW・m²とし、第1節第1項の方法に準じて所定の放射照度を確保しつつ、定植日から11月25日までの74日間、毎日16:30~7:30まで終夜照明した。

黄色パルス光の放射照度と小ギクの開花反応

夏秋ギク型小ギク品種の開花反応

実験には、予備実験の結果に基づき、電照による開花制御が可能な夏秋ギク型小ギクとして、花色が白色の‘白鳥’、赤色の‘やよい’および‘花秀美’の3品種を用いた。

夏秋ギク型小ギク品種については、2012年4月28日に挿し芽し、5月15日に定植した。LY-LEDモジュール点灯時のキクの茎頂付近における放射照度は、0, 20, 35および50 mW・m²とし、定植日から8月17日までの94日間、毎日18:00~6:00まで終夜照明した。

秋ギク型小ギク品種の開花反応

花色が黄色の‘金秀’および‘お吉’、赤色の‘沖の乙女’および‘沖ピンク’の4品種を用いた。2012年8月27日に挿し芽し、9月12日に定植した。LY-LEDモジュール点灯時のキクの茎頂付近における放射照度を0, 20, 35および50 mW・m²とし、定植日から11月22日までの71日間、毎日16:30~7:30まで終夜照明した。

黄色パルス光の放射照度とスプレーギクの開花反応

夏秋ギク型スプレーギク品種の開花反応

実験には、予備実験の結果に基づき、電照による開花制御が可能な夏秋ギク型スプレーギクとして、花色が黄色と赤色の覆輪である‘セイソーザ’および‘セイロカル’、淡桃色の‘ロアール’の3品種を用いた。実験方法は、前述の夏秋ギク型小ギク品種についての実験に準じて行った。

秋ギク型スプレーギク品種の開花反応

実験には、花色が白色の‘ホワイトリネカー’、桃色の‘セイローザ’および‘舞風車’、黄色の‘イエロ

ープーマ’の4品種を用いた。実験方法は、前述の秋ギク型小ギク品種についての実験に準じて行った。

2 結 果

黄色パルス光の放射照度と輪ギクの開花反応

夏秋ギク型輪ギク品種‘岩の白扇’の開花反応

発蕾所要日数は、無処理区の39.3日と比較して、連続光の $5 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区と、パルス光の5, 20 および $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、連続光の $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区で9.3日、連続光の $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区では17.4日増加し、有意な差が見られた(第1-20図)。

到花日数は、無処理区の68.7日と比較して、パルス光の $5 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、連続光の $5 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区で3.3日、連続光の $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区で19.3日、パルス光の $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区で3.9日、パルス光の $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区では5.4日増加し有意な差が見られた(第1-20図)。

定植50日後の発蕾率は、すべての区において100%であったが、定植84日後の開花率は、連続光の $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区のみ56%となり、その他の区では、すべて100%であった(第1-4表)。

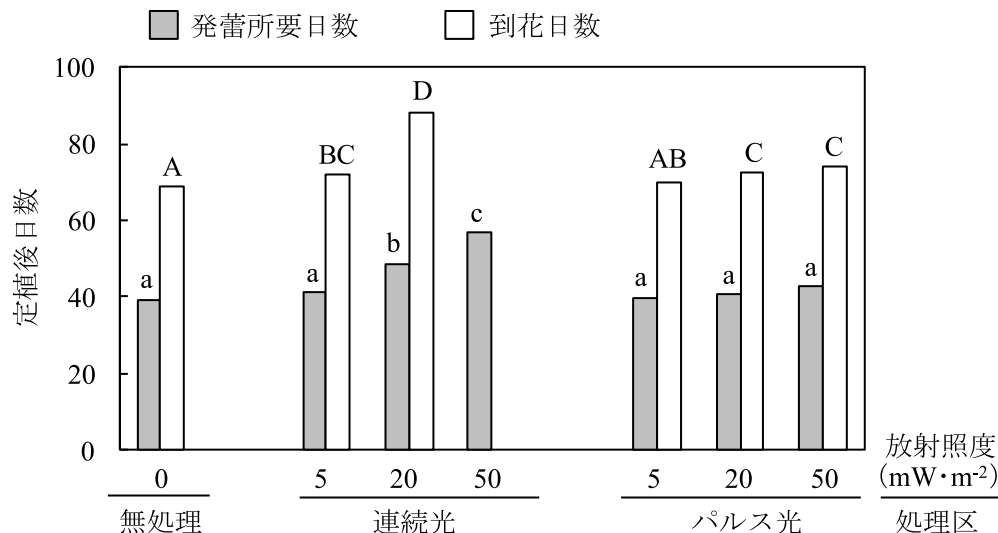
定植84日後の茎長は、無処理と比較して、連続光の5, 20 および $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られ、放射照度が大きいほど増加する傾向が見られた。また、定植84日後の茎長は、無処理と比較して、パルス光の5 および $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、パルス光の $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区との間には有意な差が見られた(第1-4表)。

定植84日後の節数は、前述の茎長と同じ結果であった(第1-4表)。

花卉の展開異常は、連続光の20 および $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区で見られたが、他区では見られなかった(第1-4表)。

秋ギク型輪ギク品種の開花反応

放射照度と発蕾所要日数との関係における品種間差を定量することを意図して回帰直線を推定した。‘神馬’、‘精興の誠’、‘精興黄金’ および ‘花秀芳’の発蕾所要日数 Y_1 (日) と茎頂付近の放射照度 X ($\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$) の関係は、一次回帰式で近似できた(第1-21図)。発蕾所要日数は、‘神馬’(第1-21図I)では、 $0 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区の22.6日と比較して、 $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、 $35 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区で1.7日、 $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区では4.3日大きく、有意な差が見られた。‘精興の誠’(第1-21図II)では、 $0 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区の24.0日と比較して、20 および $35 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、 $50 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区では2.2日大きく、有意な差が見られた。‘精興黄金’(第1-21図III)では、 $0 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区の22.8日と比較して、 $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 区で2.2



第 1-20 図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が

夏秋ギク ‘岩の白扇’ の発蕾所要日数および到花日数に及ぼす影響

図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す (n = 9)

放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す
 連続光の 50 mW・m⁻² 区における到花日数は、定植 84 日後においても未開花株があったため記載していない

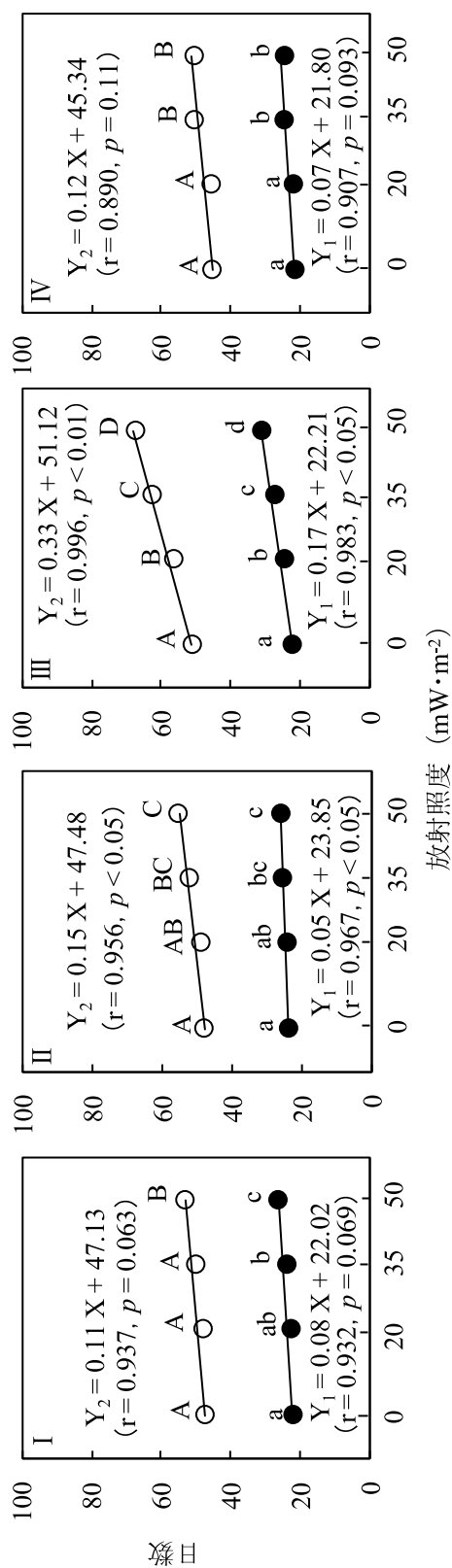
第 1-4 表 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が夏秋ギク型輪ギク ‘岩の白扇’ の切り花形質に及ぼす影響

処理区	放射照度 ^z (mW・m ⁻²)	発蕾率 ^y (%)	定植84日後			花卉の 展開異常
			開花率 (%)	茎長 (cm)	節数	
無処理	0	100	100	56.7 a ^x	31.2 a	無
連続光	5	100	100	61.8 b	31.6 ab	無
	20	100	100	76.7 c	39.7 c	有
	50	100	56	87.7 d	46.9 d	有
パルス光	5	100	100	56.8 a	31.2 a	無
	20	100	100	59.4 ab	31.2 a	無
	50	100	100	63.2 b	33.6 b	無

^z LY-LEDモジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近における放射照度を示す

^y 定植50日後の2011年7月16日における発蕾率を示す

^x 表中の同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差がないことを示す (n = 9)



第 1-21 図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型輪ギク品種の発蕾所要日数および開花日数に及ぼす影響

I ‘神馬’, II ‘精興の誠’, III ‘精興黄金’, IV ‘花秀芳’, ● 発蕾所要日数, ○ 開花日数

図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n=3$)
放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

日, $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 5.0 日, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 8.8 日大きく, 有意な差が見られた. ‘花秀芳’ (第 1-21 図IV) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 22.0 日と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが, $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 3.1 日, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 3.0 日大きく, 有意な差が見られた.

到花日数 Y_2 (日) と茎頂付近の放射照度 X ($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$) の関係は, 発蕾所要日数と同様に, 一次回帰式で近似できた (第 1-21 図). 到花日数は, ‘神馬’ (第 1-21 図 I) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 47.9 日と比較して, 20 および $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 5.8 日開花が遅延し, 有意な差が見られた. ‘精興の誠’ (第 1-21 図 II) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 48.3 日と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが, $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 4.3 日, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 7.5 日開花が遅延し, 有意な差が見られた. ‘精興黄金’ (第 1-21 図 III) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 51.6 日と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 5.3 日, $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 11.5 日, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 16.3 日開花が遅延し, 有意な差が見られた. ‘花秀芳’ (第 1-21 図 IV) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 45.9 日と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが, 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では, ともに 5.1 日開花が遅延し, 有意な差が見られた.

切り花長は, ‘神馬’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られた (第 1-5 表). ‘精興の誠’ および ‘精興黄金’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区とその他の処理区間に, それぞれ有意な差が見られた. ‘花秀芳’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった.

切り花重は, ‘神馬’ および ‘花秀芳’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-5 表). ‘精興の誠’ および ‘精興黄金’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったものの, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られ, 放射照度が大きいほど増加した.

切り花節数は, ‘神馬’, ‘精興の誠’ および ‘精興黄金’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったものの, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られ, 放射照度が大きいほど増加した (第 1-5 表). ‘花秀芳’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった.

花首長は, ‘神馬’ および ‘花秀芳’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-5 表). ‘精興の誠’ および ‘精興黄金’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったものの, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られた.

舌状花数は, ‘神馬’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-5 表). ‘精興の誠’ および ‘精興黄金’ では, 0 および $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差は見られず, ‘花秀芳’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 20 および $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが, これらの 3 品種では, 0 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差が見られた.

管状花数は, ‘神馬’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-5 表). ‘精興の誠’ では, 0 およ

第1-5表 明期 20 ms / 暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型輪ギク品種の切り花形質に及ぼす影響

品種	放射照度 ^z (mW・m ⁻²)	発蕾 所要日数	到花日数	切り花長 (cm)	切り花 節数	花卉の 展開異常
神馬	0	22.6 a ^y	47.9 a	41.7 a	29.9 a	無
	20	23.1 ab	48.4 a	44.4 a	30.4 a	無
	35	24.3 b	50.6 a	50.0 b	33.3 b	無
	50	26.9 c	53.7 b	53.0 b	34.2 b	無
精興の誠	0	24.0 a	48.3 a	32.1 a	26.0 a	無
	20	24.4 ab	49.2 ab	37.7 b	27.4 ab	無
	35	25.8 bc	52.6 bc	41.5 bc	29.0 bc	無
	50	26.2 c	55.8 c	46.5 c	30.0 c	無
精興黄金	0	22.8 a	51.6 a	40.9 a	26.7 a	無
	20	25.0 b	56.9 b	48.2 b	27.8 a	無
	35	27.8 c	63.1 c	56.3 c	30.9 b	無
	50	31.6 d	67.9 d	65.9 d	34.2 c	無
花秀芳	0	22.0 a	45.9 a	56.9 a	29.4 a	無
	20	22.4 a	46.1 a	57.3 a	29.7 a	無
	35	25.1 b	51.0 b	65.4 a	30.7 a	無
	50	25.0 b	51.0 b	63.5 a	31.1 a	無

^zLY-LEDモジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近における放射照度を示す

^y同一品種における同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により有意な差がないことを示す

(n = 3)

よび $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差は見られなかったが、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差が見られた。‘精興黄金’では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 20 、 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差が見られた。‘花秀芳’では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 20 および $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差は見られなかったが、 0 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差が見られた。

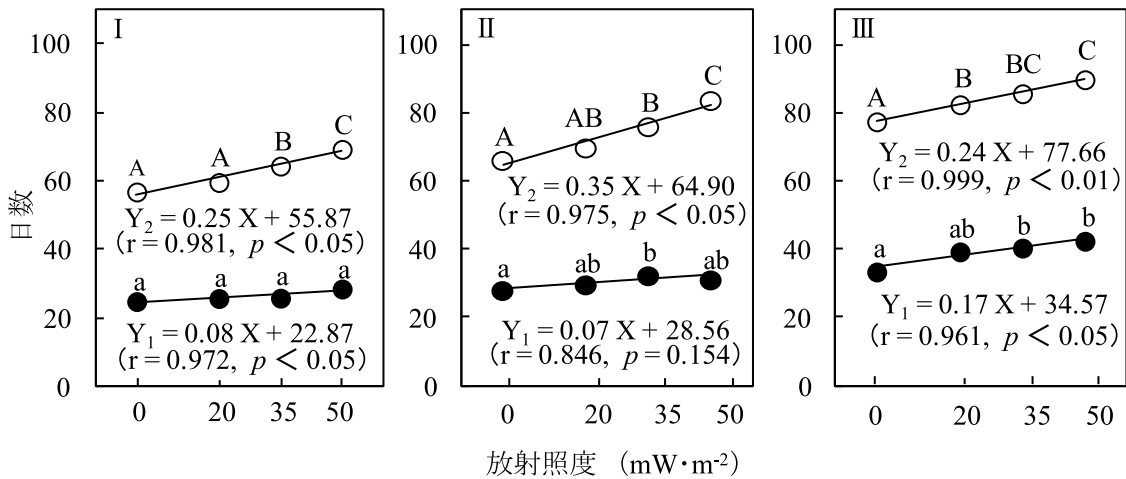
花卉の展開異常は、供試した 4 品種では、いずれの処理区においても見られなかった (第 1-5 表)。

花色は、すべての品種において、処理区間で目視により差がないようであった。

黄色パルス光の放射照度と小ギクの開花反応

夏秋ギク型小ギク品種の開花反応

放射照度と発蕾所要日数との関係における品種間差を定量することを意図して回帰直線を推定した。‘白鳥’、‘やよい’および‘花秀美’の発蕾所要日数 Y_1 (日) と茎頂付近の放射照度 X ($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$) の関係は、一次回帰式で近似できた (第 1-22 図)。しかしながら、‘白鳥’ (第 1-22 図 I) では、各処理区間に有意な差は見られなかった。‘やよい’ (第 1-22 図 II) では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、 $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 4.4 日大きかったものの、 20 、 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 3 処理区間に有意な差は見られなかった。‘花秀美’ (第 1-22 図 III) では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、 $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 7.0 日、 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 9.0 日大きく、有意な差が見られた。



第 1-22 図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が品種の夏秋ギク型小ギク品種の発蕾所要日数および到花日数に及ぼす影響

I ‘白鳥’, II ‘やよい’, III ‘花秀美’, ● 発蕾所要日数, ○ 到花日数

図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n=9$)

放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

到花日数 Y_2 (日) と茎頂付近の放射照度 X ($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$) の関係は、発蕾所要日数と同様に、一次回帰式で近似できた (第 1-22 図). なお, ‘白鳥’ (第 1-22 図 I) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差は見られず, $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 7.5 日, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 12.4 日の遅延が見られた. ‘やよい’ (第 1-22 図 II) でも, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差は見られず, $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 9.9 日, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 17.6 日の遅延が見られた. ‘花秀美’ (第 1-22 図 III) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して, $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 5.0 日, $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 8.2 日, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 12.3 日遅延し, 有意な差が見られた.

切り花長は, 放射照度が高いほど大きく, ‘白鳥’ では $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で, ‘やよい’ では 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で, ‘花秀美’ では 20, 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られた (第 1-6 表).

切り花重は, ‘やよい’ では $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られたものの, すべての品種において, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区とその他の処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-6 表).

主茎節数は, ‘白鳥’ では $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で, ‘花秀美’ では 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られ, 放射照度が高いほど大きかった (第 1-6 表). ‘やよい’ では, 0 および $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差が見られたものの, 20, 30 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 3 処理区間に有意な差は見られなかった.

一次側枝数は, ‘白鳥’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった. ‘やよい’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して, 20 および $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差は見られなかったが, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区は, 有意に小さかった (第 1-6 表). ‘花秀美’ では, 0 および $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差が見られたものの, 20, 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の 3 処理区間に有意な差は見られなかった.

総花蕾数は, ‘白鳥’ および ‘花秀美’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった. ‘やよい’ では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して 20 および $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差は見られなかったが, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では, 有意に大きかった (第 1-6 表).

花房型は, ‘白鳥’ および ‘花秀美’ では, 処理区による一定の傾向は見られなかったが, ‘やよい’ では, 放射照度が高いほど, II 型が減少し, IV 型が増加する傾向が見られた (第 1-6 表).

花色は, すべての品種において, 処理区間で目視により差がないようであった.

第 4 側枝長は, ‘白鳥’ (第 1-23 図 I) および ‘やよい’ (第 1-23 図 II) では, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して 20 および $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区に有意な差は見られなかったが, $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では, 有意に大きかった. ‘花秀美’ (第 1-23 図 III) では, 各処理区間に有意な差は見られなかった.

第 4 側枝着生角度は, すべての品種において, $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区とその他の処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-23 図 I, II, III).

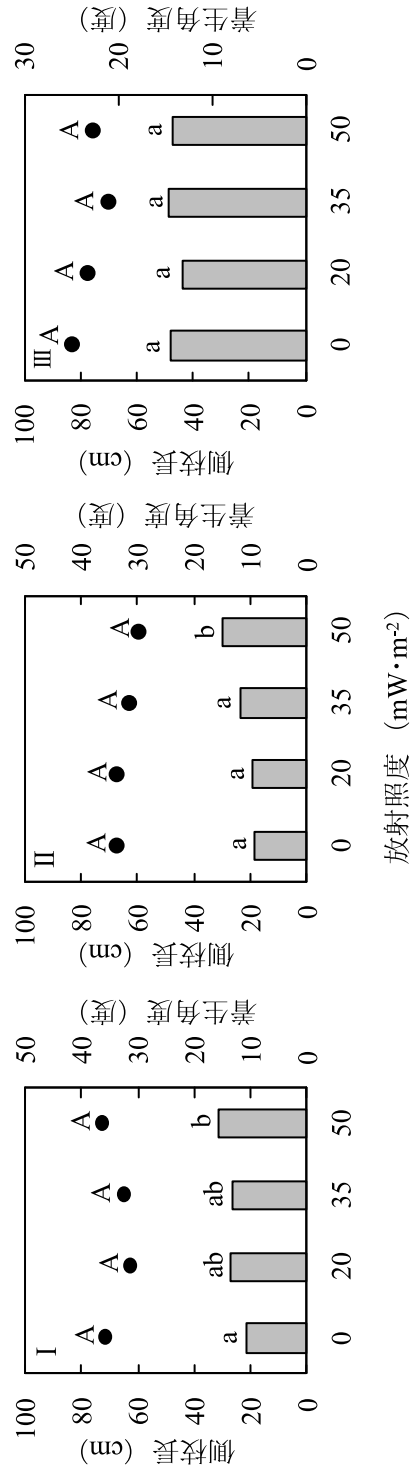
第1-6表 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の夏秋ギク型小ギク品種の切り花形質に及ぼす影響

品 種	放射照度 ^z (mW・m ⁻²)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	主茎節数	一次側枝数 (本)	総花蕾数 (個)	花房型 ^x (%)			
							I	II	III	IV
白鳥	0	76.4 a ^y	57.3 a	33.2 a	7.8 a	9.6 a	33	67	0	0
	20	81.0 a	63.4 a	33.6 a	6.4 a	10.4 a	0	100	0	0
	35	85.1 a	69.3 a	36.7 a	7.3 a	14.1 a	11	89	0	0
	50	95.4 b	70.7 a	38.2 b	7.3 a	12.9 a	11	89	0	0
やよい	0	100.7 a	72.1 ab	39.2 a	8.4 b	33.1 a	0	100	0	0
	20	105.5 a	67.9 a	39.3 a	7.7 b	32.2 a	0	89	0	11
	35	119.1 b	75.1 ab	42.6 b	7.1 ab	41.7 ab	0	56	0	44
	50	123.3 b	86.9 b	41.2 ab	5.8 a	60.4 b	0	11	0	89
花秀美	0	113.7 a	77.6 a	37.1 a	4.3 a	33.0 a	0	11	0	89
	20	121.7 b	86.3 a	43.4 ab	5.2 b	29.8 a	0	22	0	78
	35	125.7 bc	92.8 a	44.9 b	4.7 ab	28.8 a	0	33	0	67
	50	130.7 c	88.0 a	47.1 b	5.1 ab	28.3 a	0	11	0	89

^z LY-LEDモジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近における放射照度を示す

^y 同一品種における同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差がないことを示す ($n = 9$)

^x 第1-19図の花房型を示す



第1-23図 明期20 ms/暗期80 msの時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の夏秋ギク型小ギク品種の第4側枝長および第4側枝着生角度に及ぼす影響

I ‘白鳥’, II ‘やよい’, III ‘花秀美’, ■ 第4側枝長, ● 第4側枝着生角度

図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n=9$)
放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

秋ギク型小ギク品種の開花反応

秋ギク型小ギク品種についても、夏秋ギク型小ギク品種と同様に、放射照度と発蕾所要日数との関係における品種間差を定量することを意図して回帰直線を推定した。‘金秀’、‘お吉’、‘沖の乙女’および‘沖ピンク’の発蕾所要日数 Y_1 (日) と茎頂付近の放射照度 X ($mW \cdot m^{-2}$) の関係は、一次回帰式で近似できた(第 1-24 図)。「金秀」(第 1-24 図 I) および「沖ピンク」(第 1-24 図 IV) では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して、 $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で 3.6~3.8 日大きく、有意な差が見られた。「お吉」(第 1-24 図 II) では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して、 $35 mW \cdot m^{-2}$ 区で 3.9 日、 $50 mW \cdot m^{-2}$ 区では 7.0 日遅延し、有意な差が見られた。「沖の乙女」(第 1-24 図 III) では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して、 $20 mW \cdot m^{-2}$ 区で 1.8 日、 $35 mW \cdot m^{-2}$ 区で 5.0 日、 $50 mW \cdot m^{-2}$ 区では 7.0 日遅延し、有意な差が見られた。

到花日数 Y_2 (日) と茎頂付近の放射照度 X ($mW \cdot m^{-2}$) の関係は、発蕾所要日数と同様に、一次回帰式で近似できた(第 1-24 図)。 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して、「金秀」(第 1-24 図 I) では $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で 6.4 日、「お吉」(第 1-24 図 II) および「沖ピンク」(第 1-24 図 IV) では 35 および $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で 7.4~12.6 日、「沖の乙女」(第 1-24 図 III) では 20、35 および $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で 3.0~11.6 日遅延し、有意な差が見られた。

切り花長は、すべての品種において放射照度が高いほど大きく、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と 35 および $50 mW \cdot m^{-2}$ 区間に有意な差が見られた(第 1-7 表)。

切り花重は、「金秀」および「沖の乙女」では、各処理区間に有意な差は見られなかった。「お吉」および「沖ピンク」では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で有意に大きかった(第 1-7 表)。

主茎節数は、「金秀」、「お吉」および「沖ピンク」では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で有意に大きかった。「沖の乙女」では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して 35 および $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で放射照度が高いほど有意に大きかった(第 1-7 表)。

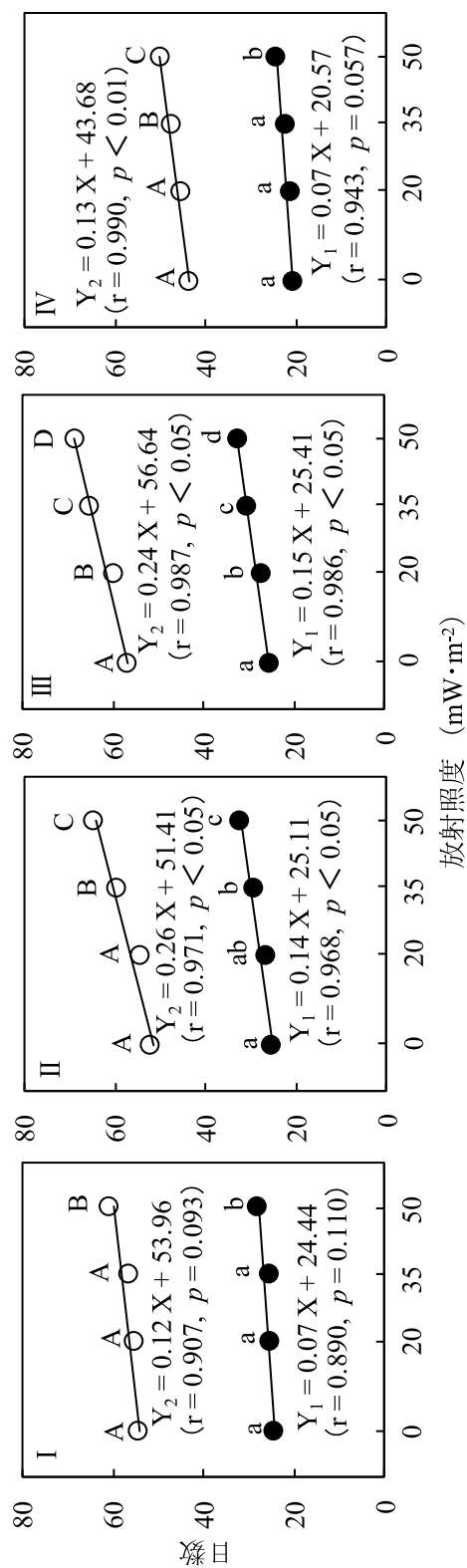
一次側枝数は、「金秀」、「お吉」および「沖ピンク」では、各処理区間に有意な差は見られなかった。「沖の乙女」では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して 35 および $50 mW \cdot m^{-2}$ 区では有意に小さかった(第 1-7 表)。

総花蕾数は、すべての品種において、各処理区間に有意な差は見られなかった(第 1-7 表)。

花房型は、「金秀」、「お吉」および「沖ピンク」では、35 および $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で、II 型の割合が増加する傾向が見られた。「沖の乙女」では、いずれの処理区においても II 型となり、処理による影響は見られなかった(第 1-7 表)。

花色は、すべての品種において、処理区間で目視により差がないようであった。

第 4 側枝長は、「金秀」(第 1-25 図 I) および「沖の乙女」(第 1-25 図 III) では、各処理区間に有意な差は見られなかった。「お吉」(第 1-25 図 II) では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して、 $50 mW \cdot m^{-2}$ 区で有意に大きかった。「沖ピンク」(第 1-25 図 IV) では、 $0 mW \cdot m^{-2}$ 区と比較して、35 および $50 mW \cdot m^{-2}$ 区では有意に大きかった。



第1-24 図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型小ギク品種の発蕾所要日数および到花日数に及ぼす影響

I '金秀', II 'お吉', III '沖の乙女', IV '沖ピンク', ● 発蕾所要日数, ○ 到花日数

図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n = 3$)
放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

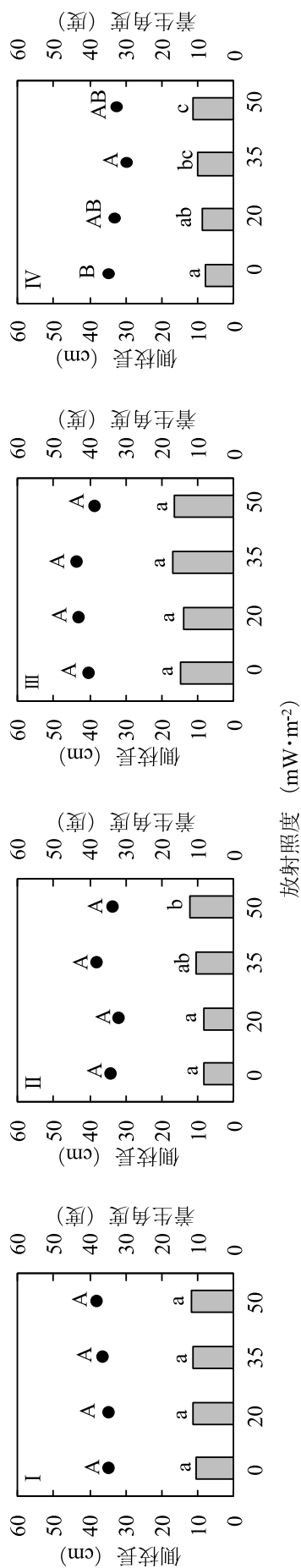
第1-7表 明期20 ms/暗期80 msの時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型小ギク品種の切り花形質に及ぼす影響

品種	放射照度 ^z (mW・m ⁻²)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	主茎節数	一次側枝数 (本)	総花蕾数 (個)	花房型 ^x (%)			
							I	II	III	IV
金秀	0	55.4 a ^y	39.3 a	30.1 a	10.8 a	16.0 a	22	78	0	0
	20	58.4 a	44.7 a	30.6 a	10.9 a	17.8 a	33	67	0	0
	35	62.2 b	47.3 a	30.7 a	10.1 a	18.3 a	0	100	0	0
	50	69.1 c	48.4 a	33.2 b	8.9 a	15.2 a	0	100	0	0
お吉	0	54.2 a	46.5 a	31.2 a	16.2 a	45.7 a	11	89	0	0
	20	58.5 ab	47.3 a	32.1 a	16.7 a	45.9 a	11	89	0	0
	35	65.8 b	55.9 ab	34.0 ab	13.3 a	43.2 a	0	100	0	0
	50	76.3 c	61.6 b	36.9 b	12.9 a	41.8 a	0	100	0	0
沖の乙女	0	67.3 a	61.8 a	29.9 a	10.7 b	26.6 a	0	100	0	0
	20	69.2 a	58.9 a	30.6 a	8.9 ab	20.7 a	0	100	0	0
	35	77.1 b	64.6 a	32.7 b	6.8 a	20.7 a	0	100	0	0
	50	77.4 b	65.8 a	35.8 c	6.1 a	19.2 a	0	100	0	0
沖ピンク	0	62.3 a	39.2 a	29.9 a	13.4 a	22.3 a	100	0	0	0
	20	66.8 ab	44.2 ab	30.1 a	12.9 a	23.8 a	100	0	0	0
	35	70.2 bc	47.1 ab	30.8 ab	11.7 a	25.7 a	56	44	0	0
	50	74.8 c	52.0 b	31.4 b	11.6 a	28.6 a	22	78	0	0

^z LY-LEDモジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近における放射照度を示す

^y 同一品種における同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差がないことを示す (n = 3)

^x 第1-19図の花房型を示す



第1-25図 明期20 ms/暗期80 msの時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型小ギク品種の第4側枝長および第4側枝着生角度に及ぼす影響

I '金秀', II 'お吉', III '沖の乙女', IV '沖ピンク', ■ 第4側枝長, ● 第4側枝着生角度

図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n=3$)
放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

第4側枝着生角度は、‘金秀’、‘お吉’および‘沖の乙女’の3品種（第1-25図I、II、III）では、各処理区間に有意な差は見られなかった。‘沖ピンク’（第1-25図IV）では、0 mW・m²区と比較して、35 mW・m²区で有意に小さかったが、20、35および50 mW・m²区間に有意な差は見られなかった。

黄色パルス光の放射照度とスプレーギクの開花反応

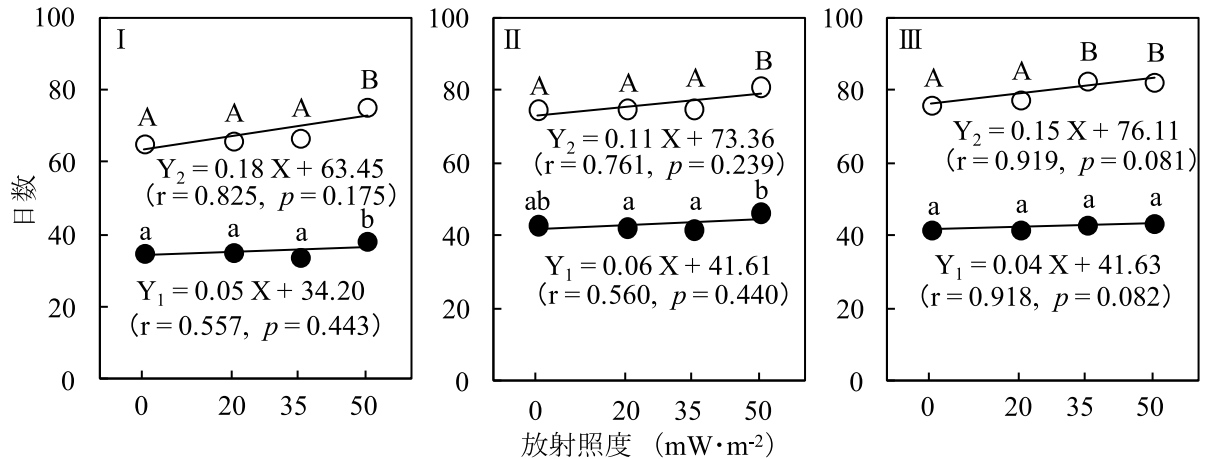
夏秋ギク型スプレーギク品種の開花反応

夏秋ギク型スプレーギク品種についても、前述の小ギク品種と同様に、放射照度と、発蕾所要日数および到花日数との関係における品種間差を定量することを意図して回帰直線を推定した。‘セイスーザ’、‘セイロカル’および‘ロアール’の発蕾所要日数 Y_1 （日）と茎頂付近の放射照度 X （mW・m²）の関係は、一次回帰式で近似できた（第1-26図）。発蕾所要日数は、‘セイスーザ’（第1-26図I）では、0 mW・m²区と比較して、20および35 mW・m²区との間に有意な差は見られなかったが、50 mW・m²区で3.3日大きく、有意な差が見られた。‘セイロカル’（第1-26図II）では、20および50 mW・m²区、35および50 mW・m²区との間に有意な差が見られたものの、いずれの区においても、0 mW・m²区との間に有意な差は見られなかった。‘ロアール’（第1-26図III）では、いずれの区においても、0 mW・m²区との間に有意な差は見られなかった。

到花日数 Y_2 （日）と茎頂付近の放射照度 X （mW・m²）の関係は、発蕾所要日数と同様に、一次回帰式で近似できた（第1-26図）。到花日数は、‘セイスーザ’（第1-26図I）では、0 mW・m²区と比較して、20および35 mW・m²区との間に有意な差は見られなかったが、50 mW・m²区で10.1日大きく、有意な差が見られた。‘セイロカル’（第1-26図II）では、0 mW・m²区と比較して、20および35 mW・m²区との間に有意な差は見られなかったが、50 mW・m²区で6.3日大きく、有意な差が見られた。‘ロアール’（第1-26図III）では、0 mW・m²区と比較して、20 mW・m²区との間に有意な差は見られなかったが、35および50 mW・m²区で6.4～6.7日大きく、有意な差が見られた。

切り花長は、‘セイスーザ’および‘セイロカル’では、0 mW・m²区と比較して、20および35 mW・m²区との間に有意な差は見られなかったが、0 mW・m²と50 mW・m²区間に有意な差が見られた（第1-8表）。‘ロアール’では、20、35および50 mW・m²区間に有意な差は見られなかったが、0 mW・m²区と比較して、すべての区で有意に大きかった（第1-8表）。

切り花重は、‘セイスーザ’では、0 mW・m²区と比較して、20および35 mW・m²区との間に有意な差は見られなかったが、50 mW・m²区との間に有意な差が見られた（第1-8表）。‘セイロカル’では、各処理区間に有意な差は見られなかった（第1-8表）。‘ロアール’では、0 mW・m²区と比較して、20 mW・m²区との間に有意な差が見られたものの、0 mW・m²区と35および50 mW・m²区間に有意な差は見られなかった（第1-8



第 1-26 図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の夏秋ギク型スプレーギク品種の発蕾所要日数および到花日数に及ぼす影響

I ‘セイスーザ’, II ‘セイロカル’, III ‘ロアール’, ● 発蕾所要日数, ○ 到花日数

図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n=9$)

放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

表).

主茎節数は, ‘セイスーザ’ および ‘セイロカル’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-8 表). ‘ロアール’ では, 0 mW·m⁻² 区と比較して, 20 および 35 mW·m⁻² 区との間に有意な差は見られなかったが, 50 mW·m⁻² 区で有意に大きかった (第 1-8 表).

一次側枝数は, ‘セイスーザ’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-8 表). ‘セイロカル’ では, 0 mW·m⁻² 区と比較して, 20 および 35 mW·m⁻² 区との間に有意な差は見られなかったが, 50 mW·m⁻² 区で有意に少なかった (第 1-8 表). ‘ロアール’ では, 0 mW·m⁻² 区と比較して, 20 mW·m⁻² 区との間に有意な差は見られなかったが, 0 mW·m⁻² 区と 35 および 50 mW·m⁻² 区間に有意な差が見られた (第 1-8 表).

総花蕾数は, ‘セイスーザ’ および ‘セイロカル’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった (第 1-8 表). ‘セイロカル’ では, 0 mW·m⁻² 区と比較して, 35 mW·m⁻² 区との間に有意な差は見られなかったが, 0 mW·m⁻² 区と 20 および 50 mW·m⁻² 区間に有意な差が見られた (第 1-8 表).

花房型は, ‘セイスーザ’ では, I 型, あるいは II 型となったが, 処理による影響は見られなかった (第 1-8 表). ‘セイロカル’ では, 放射照度が高いほど, I 型が増加する傾向が見られた. ‘ロアール’ では, 35 mW·m⁻² 区で他区と異なる割合が見られたが, 放射照度に関わらず, II 型の割合が高かった.

花色は, すべての品種において, 処理区間で目視により差がないようであった.

第 4 側枝長は, ‘セイスーザ’ (第 1-27 図 I) では, 各処理区間に有意な差は見られなかった. ‘セイロカル’ (第 1-27 図 II) では, 0 mW·m⁻² 区と比較して, 20 および 35 mW·m⁻² 区との間に有意な差は見られな

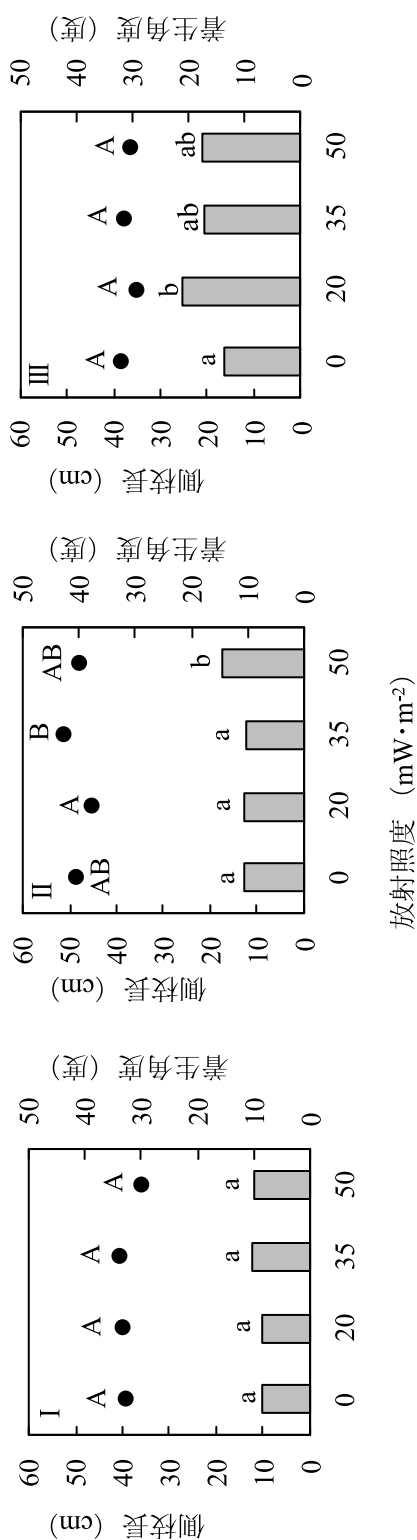
第1-8表 明期 20 ms / 暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の夏秋ギク型スプレーギク品種の切り花形質に及ぼす影響

品 種	放射照度 ^z (mW・m ⁻²)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	主茎節数	一次側枝数 (本)	総花蕾数 (個)	花房型 ^x (%)			
							I	II	III	IV
セイソーザ	0	100.0 a ^y	73.3 a	30.6 a	11.7 a	23.1 a	22	78	0	0
	20	99.0 a	69.8 a	31.1 a	11.3 a	22.1 a	56	44	0	0
	35	99.8 a	74.3 a	30.4 a	11.1 a	25.1 a	44	56	0	0
	50	111.2 b	86.6 b	31.1 a	12.2 a	26.6 a	33	67	0	0
セイロカル	0	130.3 a	87.1 a	41.0 a	9.7 b	13.2 a	67	33	0	0
	20	126.5 a	78.6 a	41.3 a	9.0 b	12.6 a	67	33	0	0
	35	133.1 a	94.8 a	41.7 a	10.0 ab	13.1 a	89	11	0	0
	50	149.2 b	95.9 a	43.9 a	8.4 a	11.3 a	100	0	0	0
ロアール	0	129.7 a	66.9 a	44.0 a	6.0 b	16.8 a	0	100	0	0
	20	140.0 b	91.6 b	44.7 ab	5.3 ab	22.7 b	0	100	0	0
	35	139.0 b	74.3 a	45.2 ab	5.1 a	20.3 ab	11	89	0	0
	50	139.8 b	78.4 a	47.0 b	5.2 a	23.1 b	0	100	0	0

^z LY-LEDモジュールを一時的に連続点灯させたときのギク茎頂付近における放射照度を示す

^y 同一品種における同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差がないことを示す (n = 9)

^x 第1-19図の花房型を示す



第1-27 図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の夏秋ギク型スプレーギク品種の第4側枝長および第4側枝着生角度に及ぼす影響

I ‘セイローガル’, II ‘セイスターザ’, III ‘ロアール’, ■ 第4側枝長, ● 第4側枝着生角度
 図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す (n=9)
 放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

ったが、 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で有意に大きかった。‘ロアール’（第 1-27 図Ⅲ）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差が見られた。

第 4 側枝着生角度は、‘セイスーザ’および‘ロアール’の 2 品種（第 1-27 図 I, Ⅲ）では、各処理区間に有意な差は見られなかった。‘セイロカル’（第 1-27 図Ⅱ）では、 $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ と $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差が見られたが、いずれの区においても、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかった。

秋ギク型スプレーギク品種の開花反応

秋ギク型スプレーギク品種についても、前述の夏秋ギク型スプレーギク品種と同様に、放射照度と、発蕾所要日数および到花日数との関係における品種間差を定量することを意図して回帰直線を推定した。‘ホワイトリネカー’、‘セイローザ’、‘イエロープーマ’および‘舞風車’の発蕾所要日数 Y_1 （日）と茎頂付近の放射照度 X ($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$) の関係は、一次回帰式で近似できた（第 1-28 図）。発蕾所要日数は、‘ホワイトリネカー’（第 1-28 図 I）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、 $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、 $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 4.6 日、 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 11.3 日大きく、有意な差が見られた。‘セイローザ’（第 1-28 図Ⅱ）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、 $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 7.3 日、 $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 14.8 日、 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 17.8 日大きく、有意な差が見られた。‘イエロープーマ’（第 1-28 図Ⅲ）では、各処理区間に有意な差は見られなかった。‘舞風車’（第 1-28 図Ⅳ）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、 $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 6.2 日、 $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 10.4 日、 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 7.9 日大きく、有意な差が見られた。

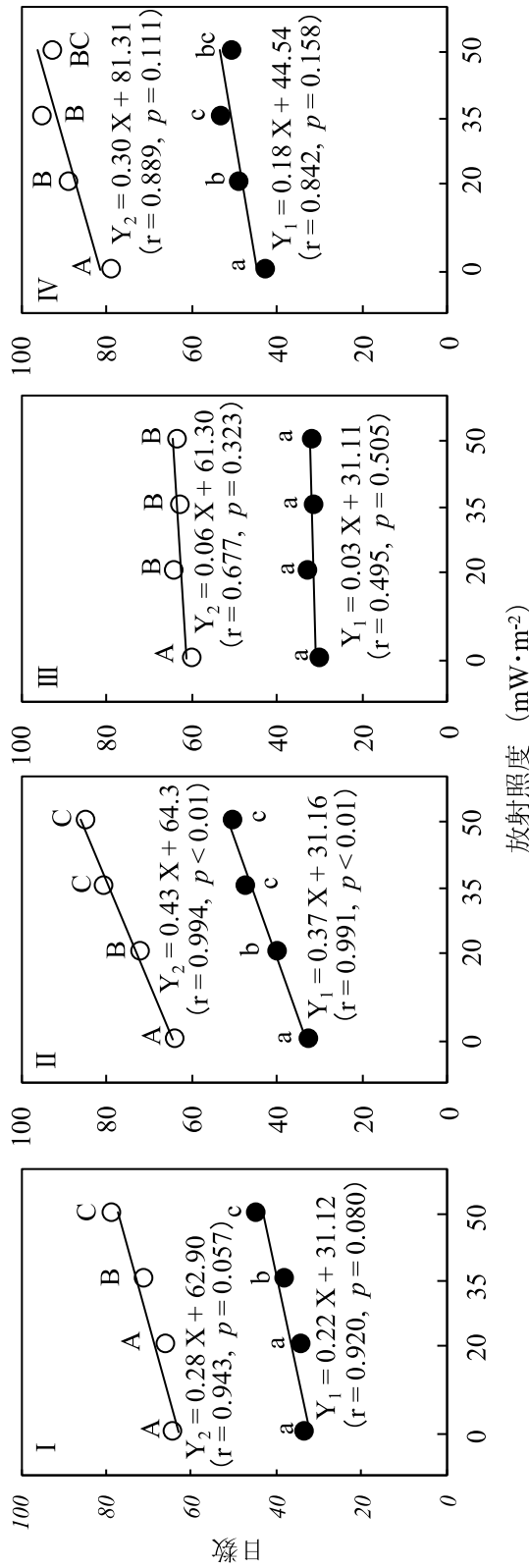
到花日数は、‘ホワイトリネカー’（第 1-28 図 I）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、 $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差は見られなかったが、 $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 6.7 日、 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 14.3 日大きく、有意な差が見られた。

‘セイローザ’（第 1-28 図Ⅱ）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、 $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 8.1 日、 $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 16.7 日、 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区では 20.9 日大きく、有意な差が見られた。‘イエロープーマ’（第 1-28 図Ⅲ）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、20, 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 2.8~4.2 日大きく、有意な差が見られた。‘舞風車’（第 1-28 図Ⅳ）では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と比較して、20, 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区で 10.0~16.2 日大きく、有意な差が見られた。

切り花長は、すべての品種において放射照度が高いほど大きく、‘ホワイトリネカー’では $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に、‘セイローザ’および‘舞風車’では $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 20, 35 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に、‘イエロープーマ’では $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に、それぞれ有意な差が見られた（第 1-9 表）。

切り花重は、‘ホワイトリネカー’および‘セイローザ’では、放射照度が高いほど大きかった（第 1-9 表）。

‘ホワイトリネカー’では $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に、‘セイローザ’では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 35 および



第1-28図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型スプレーギク品種の発蕾所要日数および到花日数に及ぼす影響

I ‘ホワイトリネカー’, II ‘セイローザ’, III ‘イエローブーマ’, IV ‘舞風車’, ● 発蕾所要日数, ○ 到花日数
 図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す ($n = 3$)
 放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

第1-9表 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型スプレーギク品種の切り花形質に及ぼす影響

品 種	放射照度 ^z (mW・m ⁻²)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)	主茎節数	一次側枝数 (本)	総花蕾数 (個)	花房型 ^x (%)			
							I	II	III	IV
ホワイト リネカー	0	56.6 a ^y	35.4 a	28.1 a	9.8 b	10.8 b	56	44	0	0
	20	70.7 ab	44.6 ab	30.4 ab	9.4 b	10.4 b	33	67	0	0
	35	79.9 b	48.0 ab	32.6 b	7.3 a	8.3 a	0	100	0	0
	50	97.6 c	56.5 b	38.3 c	6.9 a	8.0 a	0	100	0	0
セイローザ	0	61.9 a	44.8 a	26.8 a	8.7 a	9.8 a	33	67	0	0
	20	79.5 b	57.6 ab	31.3 b	8.9 a	10.3 a	0	100	0	0
	35	92.9 bc	66.1 b	34.7 c	8.9 a	9.9 a	0	100	0	0
	50	98.8 c	70.3 b	37.1 c	7.9 a	9.8 a	0	100	0	0
イエロー プーマ	0	26.7 a	20.9 a	23.6 a	12.2 a	14.6 a	78	22	0	0
	20	30.2 ab	23.8 a	24.0 ab	15.0 a	17.2 a	100	0	0	0
	35	31.7 ab	24.5 a	24.2 ab	14.9 a	17.4 a	100	0	0	0
	50	34.7 b	29.3 a	25.1 a	16.6 a	21.2 a	67	33	0	0
舞風車	0	56.4 a	42.9 a	26.9 a	5.9 a	10.9 a	11	89	0	0
	20	76.1 b	54.8 b	30.6 b	5.2 a	11.0 a	0	100	0	0
	35	86.9 b	62.1 b	34.2 c	4.8 a	10.6 a	0	100	0	0
	50	82.3 b	56.7 b	33.1 c	5.3 a	10.0 a	0	100	0	0

^z LY-LEDモジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近における放射照度を示す

^y 同一品種における同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差がないことを示す (n=3)

^x 第1-19図の花房型を示す

50 mW・m⁻² 区間に, ‘舞風車’ では 0 mW・m⁻² 区と 20, 35 および 50 mW・m⁻² 区間に, それぞれ有意な差が見られた. ‘イエロープーマ’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった.

主茎節数は, ‘ホワイトトリネカー’ および ‘セイローザ’ では, 放射照度が高いほど大きかった (第 1-9 表). ‘ホワイトトリネカー’ では, 0 mW・m⁻² 区と 35 および 50 mW・m⁻² 区間に, ‘セイローザ’ および ‘舞風車’ では, 0 mW・m⁻² 区と 20, 35 および 50 mW・m⁻² 区間に, それぞれ有意な差が見られた. ‘イエロープーマ’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった.

一次側枝数および総花蕾数は, ‘ホワイトトリネカー’ では, 放射照度が高いほど減少する傾向にあり, 0 mW・m⁻² 区と 35 および 50 mW・m⁻² 区間に有意な差が見られた (第 1-9 表). ‘セイローザ’, ‘イエロープーマ’ および ‘舞風車’ では, 各処理区間に有意な差は見られなかった.

花房型は, ‘ホワイトトリネカー’ では, 35 および 50 mW・m⁻² 区において, ‘セイローザ’ および ‘舞風車’ では, 20, 35 および 50 mW・m⁻² 区において, すべての花房が II 型となり, 0 mW・m⁻² 区と比較して II 型の割合が増加した (第 1-9 表).

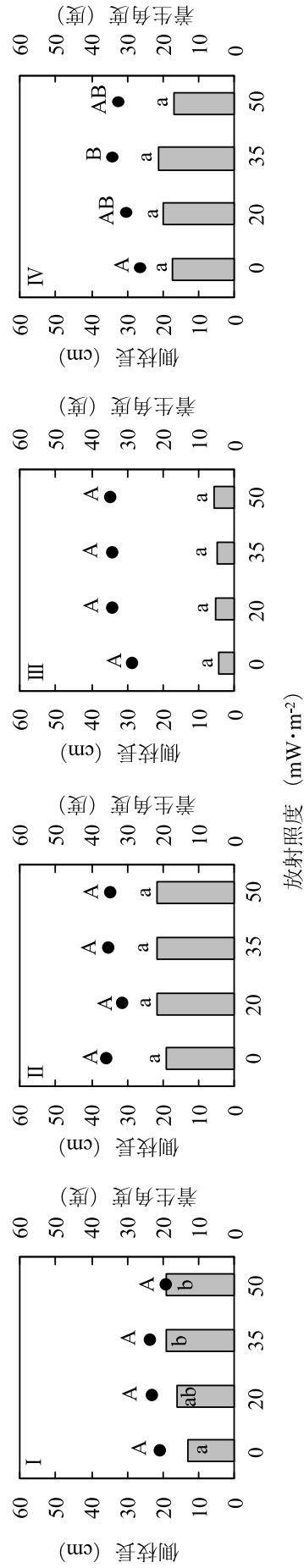
花色は, すべての品種において, 処理区間で目視により差がないようであった.

第 4 側枝長は, ‘ホワイトトリネカー’ (第 1-29 図 I) では, 0 mW・m⁻² 区と比較して, 20 mW・m⁻² 区との間に有意な差は見られなかったが, 35 および 50 mW・m⁻² 区で 6.3~6.5 cm 増加し, 有意な差が見られた. ‘セイローザ’, ‘イエロープーマ’ および ‘舞風車’ の 3 品種 (第 1-29 図 II, III, IV) では, 各処理区間に有意な差は見られなかった.

第 4 側枝着生角度は, ‘ホワイトトリネカー’, ‘セイローザ’ および ‘イエロープーマ’ の 3 品種 (第 1-29 図 I, II, III) では, 各処理区間に有意な差は見られなかった. ‘舞風車’ では, 0 mW・m⁻² 区と比較して, 35 mW・m⁻² 区で 7.7 度増加し, 有意な差が見られた.

3 考 察

白熱電球を光源とする電照に対し, キクが示す開花反応は品種によって異なる (岡田, 1963) が, 「白熱電球で 50 lx (360 mW・m⁻² 相当)」は, 電照抑制栽培のための 1 つの基準 (木村, 1974; 米村, 1993) とされている. 一方, 防蛾に有効な最低照度は 1~2 lx (1.2~3.2 mW・m⁻² 相当) 以上とされ (内田ら, 1978; 藪, 1999), 本項で設定した放射照度 5, 20, 35 および 50 mW・m⁻² は, 防蛾に有効とされる下限値より大きいものの, キクの電照抑制栽培の基準とされる放射照度の 1~14% にすぎない. しかし, 質的にみた場合, 供試した LY-LED から放射される光は, 白熱電球と比較して, 単位放射照度当たりの開花抑制作用が強い (石倉ら, 2009; 2011). また, 量的にみた場合, 白熱電球による電照は通常 4~5 時間の暗期中断で行われているのに対して, 防蛾用



第1-29図 明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光の放射照度が数種の秋ギク型スプレーギク品種の第4側枝長および第4側枝着生角度に及ぼす影響

I ‘ホワイトリネカー’, II ‘セイローザ’, III ‘イエローブーマ’, IV ‘舞風車’, ● 第4側枝長, ● 第4側枝着生角度
 図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5%水準で有意な差がないことを示す (n = 3)
 放射照度は LY-LED モジュールを一時的に連続点灯させたときのキク茎頂付近の値を示す

照明では、最大の防蛾効果を得る観点から終夜照明が採用されている（島内ら，2010；八瀬，2004）．このように、黄色光による終夜照明は、キクの開花に対し、質的にも量的にも影響が大きい照明条件と考えられる．これを踏まえて、本項では、デューティー比 20%に相当し、防蛾に有効とされる明期 20 ms／暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光（石倉ら，2012b；尹ら，2012）を、夏秋ギク型および秋ギク型の輪ギク、小ギクおよびスプレーギクに照射する場合、開花遅延や切り花形質の低下を起こすことなく適用できる放射照度の範囲を、合計 19 品種を供試して検討した．なお、キクの発蕾を完全に抑制できる照度が品種によって異なる（岡田，1963）ことを考慮して、供試品種は、電照により開花制御が可能であること、または、それぞれ発蕾を抑制できる照度が異なっていると証明された品種であることを基準に選定した．

黄色パルス光の放射照度と輪ギクの開花反応

第 3 節第 1 項では、LY-LED を用い、放射照度を $40 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ として与えた連続光下では、無処理区 ($0 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$) と比較して‘神馬’の発蕾日が 23.6 日遅延することを明らかにした．さらに、同条件で与えた連続光下における定植 93 日後の開花率は 56%に留まり、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ 区の開花率 100%と比較して、開花日が著しく遅延することを確認している．本項においても、放射照度 $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ の連続光下では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ 区と比較して、夏秋ギク型輪ギク‘岩の白扇’（第 1-20 図）の発蕾日が 17.4 日遅延し、同じ放射照度の連続光下における定植 84 日後の開花率は 56%となり、無処理区の開花率 100%と比較して、開花日が著しく遅延することが明らかとなった（第 1-4 表）．秋ギク型輪ギクの供試品種においては、連続光の処理区を設けなかったが、これらの品種においても連続光下においては、‘岩の白扇’と同様に開花が遅延すると推察された．

一方、デューティー比 20%の黄色パルス光下では、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ 区と比較して、5、20 および $50 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ において、‘岩の白扇’の発蕾所要日数に有意な影響を及ぼさなかった．また、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ 区と比較して、秋ギク型輪ギク‘神馬’，‘精興の誠’および‘花秀芳’の 3 品種（第 1-21 図 I，II，IV）においては、 $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ において、発蕾所要日数に有意な影響を及ぼさなかった．‘精興黄金’（第 1-21 図 III）においてのみ、0 および $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ 区間に有意な差がみられたが、その差は 2.2 日であった．到花日数については、 $0 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ 区と比較して、‘岩の白扇’（第 1-20 図）で $5 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ ，‘神馬’（第 1-21 図 I）で $35 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ ，‘精興の誠’（第 1-21 図 II）および‘花秀芳’（第 1-21 図 IV）では $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ において有意な影響を及ぼさなかった．‘精興黄金’（第 1-21 図 III）においてのみ、0 および $20 \text{ mW}\cdot\text{m}^2$ 区間に有意な差がみられたが、その差は 5.3 日であった．

川田・船越（1988）は、キクでは花卉の着色期まで日長が開花期に影響を及ぼすことを指摘している．計画的な開花抑制を目的とする通常の電照ギク栽培では、発蕾期以降が限界日長を超える日長となるように電照することはない．一方、黄色光による防蛾効果は、終夜照明下で最大となる（島内ら，2010；八瀬，2004）

ことが示唆・指摘されている。従って、防蛾には、発蕾期以降も終夜照明する必要がある、長い日長とならざるをえない。‘岩の白扇’（第 1-20 図）の 20 および 50 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区において、発蕾所要日数では 0 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差がみられなかったが、到花日数には有意な差がみられた。これらの結果は終夜照明が発蕾期以降も継続されたことにより、花蕾の発達が抑制されたためと推察された。しかしながら、‘神馬’（第 1-21 図 I）の 35 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区において、発蕾所要日数では 0 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差が見られたが、到花日数には有意な差が見られなかった。これは、切り花ギクの有する黄色パルス光に対する感受性が、発蕾期までと、発蕾期から花弁の着色期までとは異なっており、また、品種によっても異なるためと考えられた。発蕾までの黄色パルス光に対するギクの感受性は、発蕾所要日数 Y_1 と茎頂付近の放射照度 X の関係を示す近似式の傾きの大小から推定できると考えた。秋ギク型輪ギク品種では、近似式の傾きが 0.17 と最も大きい‘精興黄金’（第 1-21 図 III）が最も敏感で、次いで 0.08 の‘神馬’（第 1-21 図 I）および 0.07 の‘花秀芳’（第 1-21 図 IV）がほぼ同等でそれに続き、0.05 の‘精興の誠’（第 1-21 図 II）が最も鈍感であると推察された。ところが、発蕾所要日数と同様に、到花日数 Y_2 と茎頂付近の放射照度 X の関係を示す近似式の傾きから感受性を推定した場合、秋ギク型輪ギク品種では、‘精興黄金’（第 1-21 図 III）が最も敏感で、次いで‘精興の誠’（第 1-21 図 II）が続き、‘花秀芳’（第 1-21 図 IV）および‘神馬’（第 1-21 図 I）がほぼ同等でそれに続き、開花までの感受性が発蕾までのそれと異なる結果となった。このことから、黄色パルス光の放射照度に対する開花反応は、発蕾までの感受性だけでなく、発蕾から開花までの感受性によっても大きく影響されることが示唆された。夏秋ギク型および秋ギク型輪ギク品種の切り花形質のうち、切り花長は‘精興の誠’および‘精興黄金’を除き、また、切り花重、切り花節数、花首長、舌状花数および管状花数ではすべての品種において、0 および 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差はないことが示された（第 1-4 および 1-5 表）。‘精興の誠’および‘精興黄金’では、切り花長において両区間に有意な差がみられたが、その差は 6~7 cm であった。

黄色パルス光の放射照度と小ギクの開花反応

小ギクにおいても、連続光の処理区を設けなかったが、連続光下においては、前述の‘岩の白扇’と同様に開花が遅延すると推察された。デューティー比 20%の黄色パルス光下における夏秋ギク型小ギク品種の発蕾所要日数は、供試した 3 品種（第 1-22 図）で、茎頂付近の放射照度 0 および 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差がなかった。到花日数は、‘花秀美’（第 1-22 図 III）においてのみ、0 および 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差がみられたが、その差は 5.0 日であった。一方、秋ギク型小ギク品種の発蕾所要日数および到花日数は、‘沖の乙女’を除く 3 品種（第 1-24 図 I, II, IV）では、夏秋ギク型小ギク品種と同様に、茎頂付近の放射照度が 0 および 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差はなかった。‘沖の乙女’（第 1-24 図 III）のみ、0 および 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区間に有意な差がみられ、その差は発蕾所要日数で 1.8 日、到花日数で 3.0 日であった。

‘白鳥’（第 1-22 図 I）の 35 および 50 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区，‘花秀美’（第 1-22 図 III）の 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区および‘沖ピンク’（第 1-24 図 IV）の 35 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区において，発蕾所要日数では 0 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差がみられなかったが，到花日数には有意な差がみられた。これらの結果は，前述の輪ギクの場合と同様に，終夜照明が発蕾期以降も継続されたことにより，花蕾の発達が抑制されたためと推察された。

発蕾までの黄色パルス光に対するキクの感受性は，前述の輪ギクの場合と同様に，発蕾所要日数 Y_1 と茎頂付近の放射照度 X の関係を示す近似式の傾きの大小から推定できると考えた。夏秋ギク型小ギク品種では，近似式の傾きが 0.17 と最も大きい‘花秀美’（第 1-22 図 III）が最も敏感で，次いで 0.08 の‘白鳥’（第 1-22 図 I）および 0.07 の‘やよい’（第 1-22 図 II）がほぼ同等でそれに続くことと推察された。同様に，秋ギク型小ギク品種では，0.15 の‘沖の乙女’（第 1-24 図 III）が最も敏感で，次いで 0.14 の‘お吉’（第 1-24 図 II）となり，0.07 の‘沖ピンク’（第 1-24 図 IV）および‘金秀’（第 1-24 図 I）がほぼ同等でそれに続くことと推察された。ところが，発蕾所要日数と同様に，到花日数 Y_2 と茎頂付近の放射照度 X の関係を示す近似式の傾きから感受性を推定した場合，夏秋ギク型小ギク品種では，‘やよい’（第 1-22 図 II）が最も敏感で，次いで‘白鳥’（第 1-22 図 I）および‘花秀美’（第 1-22 図 III）がほぼ同等でそれに続いた。秋ギク型小ギク品種では，‘お吉’（第 1-24 図 II）が最も敏感で，次いで‘沖の乙女’（第 1-24 図 III）となり，‘沖ピンク’（第 1-24 図 IV）および‘金秀’（第 1-24 図 I）がほぼ同等でそれに続き，開花までの感受性が発蕾までのそれと異なる結果となった。このことから，黄色パルス光の放射照度に対する小ギクの開花反応は，前述の輪ギクと同様に，発蕾までの感受性だけでなく，発蕾から開花までの感受性によっても大きく影響されることが示唆された。

夏秋ギク型および秋ギク型小ギク品種の切り花形質のうち，切り花長は‘花秀美’を除き，また，切り花重，主茎節数および総花蕾数ではすべての品種において，0 および 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区との間に有意な差はないことが示された（第 1-6 および 1-7 表）。唯一，‘花秀美’では，切り花長において両区間に有意な差がみられた。

井水・本林（2001）は，長日条件下で小ギクの花房型が乱れることを指摘している。本項においても，夏秋ギク型小ギク品種では，特に‘やよい’において，放射照度が大きいほど，IV型で示される花房型の割合が増加し，切り花形質の低下傾向がみられた（第 1-6 表）。一方，秋ギク型小ギク品種の‘金秀’，‘お吉’および‘沖ピンク’では，放射照度が大きいほど，I型の割合が減少し，II型の割合が増加する傾向がみられたが，0 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区と 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 区の間には，大きな差はみられなかった（第 1-7 表）。このため，放射照度は最大でも 20 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ に抑える必要があると考えられた。甲斐ら（1995）は，スプレーギクの切り花品質を評価するうえで，花柄長，花柄と主茎の成す角度である花柄角が重要な特徴量であることを報告している。

これに基づき，道園ら（2012）は，一次側枝数，第 4 側枝長および第 4 側枝着生角度を切り花品質の評価指標として用いている。本研究でもこれらを実験指標として用いた。一次側枝数は，‘花秀美’を除き，また，第 4 側枝長および第 4 側枝着生角度は，いずれの夏秋ギク型および秋ギク型小ギク品種においても，0 およ

び $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区との間に有意な差はなかった (第 1-6 および 1-7 表, 第 1-23 および 1-25 図). 唯一, ‘花秀美’ では一次側枝数において両区間に有意な差がみられたが, 総花蕾数においては有意な差がみられなかった. このことから, 一次側枝数の 0.9 本の増加は, 切り花形質に影響を及ぼさないと考えられた.

黄色パルス光の放射照度とスプレーギクの開花反応

スプレーギクにおいても, 連続光の処理区を設けなかったが, 連続光下においては, 前述の ‘岩の白扇’ と同様に開花が遅延すると推察された. デューティー比 20% の黄色パルス光下における夏秋ギク型スプレーギク品種の発蕾所要日数は, 供試した 3 品種 (第 1-26 図) で, 茎頂付近の放射照度 0 および $35 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区間に有意な差がなかった. 到花日数は, ‘ロアール’ (第 1-26 図 III) においてのみ, 0 および $35 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区間に有意な差がみられたが, その差は 6.7 日であった. 一方, 秋ギク型スプレーギク品種の発蕾所要日数は, ‘ホワイトトリネカー’ (第 1-28 図 I) および ‘イエロープーマ’ (第 1-28 図 III) では, 夏秋ギク型小ギク品種と同様に, 茎頂付近の放射照度が 0 および $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区間に有意な差はなかった. ‘セイローザ’ (第 1-28 図 II) および ‘舞風車’ (第 1-28 図 IV) では, 0 および $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区間に有意な差がみられ, その差は 6.2~7.3 日であった. 到花日数は, ‘ホワイトトリネカー’ (第 1-28 図 I) のみ, 茎頂付近の放射照度が 0 および $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区間に有意な差はなかった. ‘セイローザ’, ‘イエロープーマ’ および ‘舞風車’ の 3 品種 (第 1-28 図 II, III, IV) では, 0 および $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区間に有意な差がみられ, その差は 4.2~10.0 日であった.

‘イエロープーマ’ (第 1-28 図 III) の $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区において, 発蕾所要日数では $0 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 区との間に有意な差がみられなかったが, 到花日数には有意な差がみられた. これらの結果は, 前述の輪ギクおよび小ギクの場合と同様に, 終夜照明が発蕾期以降も継続されたことにより, 花蕾の発達が抑制されたためと推察された.

発蕾までの黄色パルス光に対するキクの感受性は, 前述の輪ギクおよび小ギクの場合と同様に, 発蕾所要日数 Y_1 と茎頂付近の放射照度 X の関係を示す近似式の傾きの大小から推定できると考えた. しかし, 夏秋ギク型スプレーギク品種では, 供試した 3 品種の発蕾所要日数に関する近似式の傾きが 0.04~0.06 の範囲にあり, ほぼ同等と推察された. 同様に, 秋ギク型スプレーギク品種では, 0.37 の ‘セイローザ’ (第 1-28 図 II) が最も敏感で, 次いで 0.22 の ‘ホワイトトリネカー’ (第 1-28 図 I) となり, 0.18 の ‘舞風車’ (第 1-28 図 IV) が続き, 0.03 の ‘イエロープーマ’ (第 1-28 図 III) が最も鈍感であると推察された. ところが, 発蕾所要日数と同様に, 到花日数 Y_2 と茎頂付近の放射照度 X の関係を示す近似式の傾きから感受性を推定した場合, 夏秋ギク型スプレーギク品種では, ‘セイローザ’ (第 1-28 図 I) が最も敏感で, 次いで ‘ロアール’ (第 1-28 図 III) が続き, ‘セイロカル’ (第 1-28 図 II) が最も鈍感であると推察された. 秋ギク型小ギク品種では, ‘セイローザ’ (第 1-28 図 II) が最も敏感で, 次いで ‘舞風車’ (第 1-28 図 III) および ‘ホワイトトリネカー’ (第

1-28 図 I) がほぼ同等で続き, ‘イエローブーマ’ (第 1-28 図IV) が最も鈍感であると推察され, 開花までの感受性が発蕾までのそれと多少異なる結果となった. このことから, 黄色パルス光の放射照度に対するスプレーギクの開花反応は, 前述の輪ギクおよび小ギクと同様に, 発蕾までの感受性だけでなく, 発蕾から開花までの感受性によっても影響されることが示唆された.

夏秋ギク型および秋ギク型スプレーギク品種の切り花形質のうち, 切り花長は ‘ロアール’, ‘セイローザ’ および ‘舞風車’ において, 切り花重は ‘ロアール’ および ‘舞風車’ において, 主茎節数は ‘セイローザ’ および ‘舞風車’ において, 総花蕾数は ‘ロアール’ において, 0 および 20 mW・m² 区との間に有意な差が見られ, その差は, 切り花長で 10.3~17.6 cm, 切り花重で 24.7 g, 主茎節数で 3.7~4.5 節, 総花蕾数で 5.9 個であった (第 1-8 および 1-9 表).

井水・本林 (2001) が小ギクにおいて指摘している長日条件下での花房型の乱れは, 本項でのスプレーギクにおいても発生した. 秋ギク型スプレーギク品種 ‘ホワイトリネカー’, ‘セイローザ’ および ‘舞風車’ において, 黄色パルス光の放射照度が 20, 35 および 50 mW・m² の場合, II 型で示される花房型の割合が増加し, 切り花形質の低下傾向が見られた (第 1-9 表). しかしながら, 夏秋ギク型スプレーギク品種 ‘セイロカル’ においては, 黄色パルス光の放射照度が高いほど, I 型で示される花房型の割合が増加し, 切り花形質の向上傾向が見られ (第 1-8 表), 秋ギク型スプレーギクの結果や, 小ギクに関する知見 (井水・本林, 2001) と異なった. 黄色パルス光下において, このような花房型の改善効果が見られた理由については, 今後, 詳細に検討する必要がある. スプレーギクについても, 前述の小ギクと同様に, 一次側枝数, 第 4 側枝長および第 4 側枝着生角度を切り花品質の評価指標として用いていた. 一次側枝数については, すべての品種において, 0 および 20 mW・m² 区との間に有意な差はないことが示された (第 1-8 および 1-9 表). また, 第 4 側枝長および第 4 側枝着生角度は, ‘ロアール’ を除くすべての夏秋ギク型および秋ギク型スプレーギク品種において, 0 および 20 mW・m² 区との間に有意な差はなかった (第 1-27 および 1-29 図). 唯一, ‘ロアール’ では第 4 側枝着生角度および総花蕾数において両区間に有意な差がみられたことから, 黄色パルス光を利用する場合, 特に注意が必要な品種の 1 つと考えられた.

黄色パルス光下で共通する輪ギク, 小ギクおよびスプレーギクの開花反応

開発中の防蛾照明技術の導入が想定される生産者圃場における露地ギク季咲き栽培では, 夏秋ギク型, および秋ギク型輪ギク品種を問わず, 同一作型内の開花日で 1 週間程度, 切り花長で十数 cm 程度の差が発生しうることをこれまでに確認している. 従って, 照射照度 20 mW・m² 区において見られた到花日数で 5 日前後, 切り花長で 10 cm 前後の増加は, 厳密な開花制御を必要とする物日出荷などでは考慮すべき点も残されているが, 営利栽培上の問題とはならない範囲にあると考えられた. しかしながら, 20 mW・m² 区において,

到花日数で 8.1~10 日、切り花長で 17.6~19.7 cm の増加が見られた秋ギク型スプレーギク品種の‘セイローザ’および‘舞風車’については、黄色パルス光の照射にあたって、特に注意が必要な品種であると考えられた。また、これらの結果は、プランター栽培、加温栽培、あるいは無摘心栽培により得られたものである。このため、より普遍的な結論を導き出すためには、地床栽培、なりゆきの温度管理下の季咲き栽培、摘心栽培など、実際の栽培に即した条件下においても再検証する必要があると考えている。

キクの花色の発現に関与する主な色素は、カロチノイドとアントシアニンの 2 種類であり（服部，1991）、バラやイチゴではアントシアニンの発現に紫外光が強く関与している（赤松ら，2004；東尾ら，2009）とされている。黄色光とキクの花色発現に関する知見は見あたらないが、本研究で設定したいずれの放射照度においても、花色への影響は視認できなかった。これは、本研究で用いた LY-LED が 400 nm 以下の紫外光を放射していないためであろう。

本実験により、LED の有する優れた応答速度に着目した黄色パルス光を用いることで、連続光では著しく開花が遅延してしまう放射照度であっても営利生産へ十分に適用でき、前項では未解明であった放射照度の上限値が明らかとなった。到花日数および切り花形質に有意な影響を及ぼすことなく適用できる放射照度の上限値は、‘岩の白扇’で 5~20 mW・m²、‘神馬’で 20~35 mW・m²、‘精興の誠’で 0~20 mW・m²、‘精興黄金’で 0~20 mW・m²、‘花秀芳’で 20~35 mW・m²、‘白鳥’で 20~35 mW・m²、‘やよい’で 20~35 mW・m²、‘花秀美’で 0~20 mW・m²、‘金秀’で 20~35 mW・m²、‘お吉’で 20~35 mW・m²、‘沖の乙女’で 0~20 mW・m²、‘沖ピンク’で 20~35 mW・m²、‘セイソーザ’で 35~50 mW・m²、‘セイロカル’で 35~50 mW・m²、‘ロアール’で 0~20 mW・m²、‘ホワイトリネカー’で 20~35 mW・m²、‘セイローザ’で 0~20 mW・m²、‘イエロープーマ’で 0~20 mW・m²、‘舞風車’では 0~20 mW・m² の範囲に存在すると考えられた。圃場内に一定程度の放射照度の差があっても、開花遅延させることなく適用できることは、防蛾用の LED 光源装置の実用化にあたって、配光性などの諸性能を決定する上で有益な知見であると考えている。加えて、1 つの LED モジュール（光源）の出力を一定程度高めた照明設計が可能となる。その結果、連続光を適用する場合と比較して、単位面積当たりが必要となる光源数を少なく設定できるので、導入コストの低減と、設置作業の軽減に大きく貢献できるものと考えている。

本実験は、キクの茎頂付近が所定の放射照度となるよう 1 週間ごとに光源の高さを調整して、開花遅延させることなく適用できる上限値を求めた。実際栽培では、省力化の観点から、光源を手動で動かすことで放射照度を調整しなくても利用できることが望ましい。このため、固定光源を前提として、技術開発を進める必要がある。LED には調光が容易であるという特性があるが、本研究で得られた知見に基づいて適切に照明設計することで、放射照度をキクの成長に合わせて調整することなく利用できる防蛾用の LED 光源装置の開発は十分に可能であると考えている。例えば、計算では、現有の電照用防水ソケットケーブル（E26 対応）

を用いて、地面からの高さと同光源同士の間隔を一定とする固定光源として圃場導入した場合、キクの草丈に関わらず茎頂付近で下限 $1 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ 、上限 $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^2$ の範囲の放射照度を確保できる見込みは高い。今後、そのような LED 光源装置を試作して現地実験を行い、実際の放射照度の分布や開花、切り花形質に及ぼす影響を詳細に検証する必要がある。

以上のことから、第 1 章第 2 節で明らかにしたヤガ類が照射光を点滅光として視認可能な放射照度と比較して、短日植物である切り花ギクへ適用できる放射照度の上限値は小さいことから、実際の栽培での防蛾照明技術における放射照度の範囲は、キクに適用できる上限値以下に設定すればよいことが示された。また、本技術の適用にあたっては、品種の選択に注意を払う必要があることが示唆された。今後は、照明に対する感受性が敏感な品種を中心に、より多くの品種を供試するとともに、作型の影響にも考慮しつつ、実用的に適用可能な照射方法を開発する必要がある。

第 3 項 黄色パルス光の点灯方式とキクの開花反応特性

同期・非同期させた黄色パルス光に対する適用性

照射光を特定のデューティー比でパルス化する場合、種々の半導体を用いて設計・製作された電子回路を活用する必要がある。一般的な半導体には、最大 5% 程度の製品誤差があることが知られている。小型である半導体の特徴を活かし、LED ランプの筐体内にパルス化のための電子回路を組み込むことで、外付けの電子回路を利用する場合と比較して、デザイン性や取り回し性能に優れた製品化が実現できる。しかし、LED ランプの点滅のタイミングは、電子回路に内蔵された半導体の製品誤差の影響を受けるので、複数の LED ランプを特別な対策を講じることなく点灯させた場合、時間的に完全に連関した点滅とはならない。本項では、複数の LED ランプを、時間的に連関させて点灯する場合を「同期」、連関させない場合を「非同期」と定義する。

一方、前項までは、同期点灯を前提として検討しており、非同期点灯させた黄色パルス光の照射が切り花ギクへ及ぼす影響については未解明であった。そこで、LED ランプの製品化に向けた基礎的知見を得るために、キクの開花特性の観点から、同期、あるいは非同期点灯させた黄色パルス光の照射が、切り花ギクの発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響を調査した。

PWM 周波数への適用性

「防蛾と開花抑制の 2 つを単一の光源で実現する」という観点から、LY-LED を光源として用い、第 1 節第 3 項において、秋ギクを電照抑制栽培する場合に、白熱電球と同等の開花抑制作用を得るために必要となる

放射照度を明らかにした。さらに、LY-LED を光源として用い、第 3 節第 2 項において、ヤガ類成虫の飛行行動抑制に効果的とされる明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光 (尹ら, 2010; 2011; 2012) について、合計 19 品種を供試し、切り花ギクに有意な影響を及ぼすことなく適用できる放射照度の範囲を特定した。その結果、白熱電球と同等の開花抑制作用を得るために必要となる放射照度は、切り花ギクに有意な影響を及ぼすことなく適用できる放射照度と比較して、最大で数十倍大きいことが示唆された。

ところで、一般照明用の白色 LED 光源の中には、PWM 制御による調光機能を有する上位機種が、すでに市販されており、当該機能によって、効率的、かつ容易な調光 (明るさの調節) が可能となっている。キク栽培においても、同様な調光技術を用いることで、必要に応じて放射照度の調節が可能となると考えられる。しかし、LY-LED を用いた PWM 点灯下のキクの開花反応については未解明である。

そこで、キクの成長に応じた効率的な調光管理を実現するとともに、キクの防蛾と開花抑制の 2 つを単一の光源で実現する上で重要となる基礎的知見を得るため、LY-LED を用いた PWM 点灯下での放射照度が秋ギク ‘神馬’ の発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響を検討した。

1 材料および方法

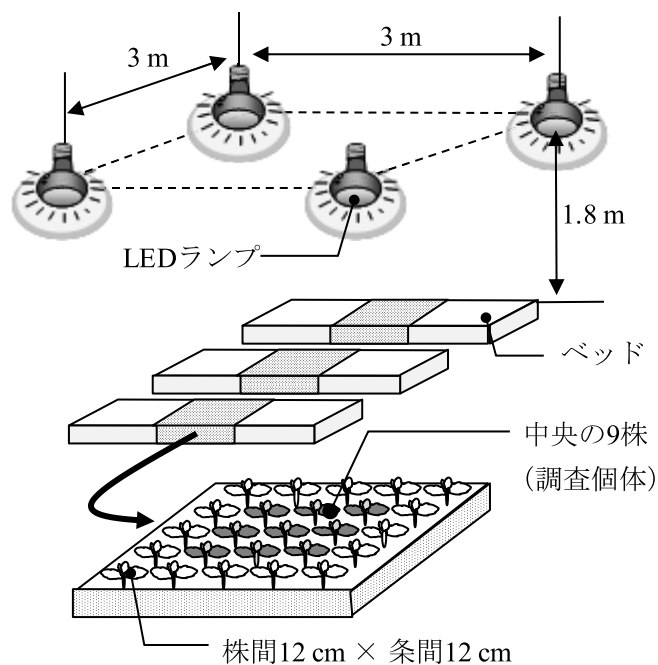
同期・非同期させた黄色パルス光に対する適用性

秋ギク ‘神馬’ を 2010 年 7 月 12 日に挿し芽し、7 月 30 日に株間 12 cm × 条間 12 cm の 5 列 × 5 条で、沖積土：ピートモスを容量比で 3 : 1 の割合に混合した培地で客土した幅 1 m × 耕土深 30 cm のベッドへ定植して無摘心栽培した。実験期間中は、なりゆきの温度管理とした。LY-LED (第 1-6 図) と同様な相対分光放射照度を有する黄色蛍光 LED を 6 個実装した LED ランプ (第 1-30 図) を試作し、光源として供試した。当該 LED ランプは、筐体内に専用の電子回路を内蔵しており、既存の防水ソケットケーブル (口金 E26) に装填し通電することで明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光を放射できる。また、当該 LED ランプは、1 灯を高さ 1.8 m に吊り下げて点灯すれば、直下から半径 3 m 以内の地面において、防蛾に有効とされる照度の下限値である 1~2 lx (内田ら, 1978; 藪, 1999, 1.2~3.2 mW・m⁻²相当) を上回る放射照度 2.6~9.1 mW・m⁻²を確保できる配光性能を有する。また、第 3 節第 2 項で得られた「主要な秋ギク型輪ギクである ‘神馬’ に有意な影響を及ぼすことなく適用できる放射照度の上限値は 20~35 mW・m⁻²の範囲に存在する」という知見に基づき、LED ランプ直下の地面からの高さが 1 m の位置においても、放射照度が 35 mW・m⁻²を大きく超えないように製作した。さらに、複数個を設置する場合は、地面からの設置高が 1.8 m で、ランプ間隔を 6 m とすることで、前述の防蛾有効照度の下限値を確保できる。本実験では、設置基準と比較して、より厳しい条件下での検討を意図して、ベッドの地表面からの高さが約 1.8 m の位置に 3 m の間隔とし、定



第 1-30 図 試作した明期 20 ms/暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光を放射できる LED ランプ

LED ランプの管体内に専用の電子回路を内蔵し、通電することで所定の時間構造を有する黄色パルス光を放射できる



第 1-31 図 供試光源の配置と処理の模式図

植した植物体を取り囲むように1区当たり4個配置した(第1-31図)。4個のLEDランプの点滅を時間的に連関させた同期区と、連関させない非同期区を設けた。また、定植日以降を自然日長下で管理する無処理区を設けた。同期および非同期区では、定植日から10月24日までの86日間、毎日17:00~7:00まで終夜照明した。その他の条件および調査方法は、第3節第2項に準じた。

PWM周波数への適用性

秋ギク‘神馬’を2012年9月15日に挿し芽し、10月1日に株間7.5cm×条間45cmの2条で地床へ定植して、日最低気温が15℃を下回らないように管理したプラスチックハウス内で無摘心栽培した。供試光源には、第1節第2項と同じLY-LEDを実装したモジュールを、短波長カットフィルタを装着しない状態で用いた(第1-6図)。処理区には、デューティ比を50%とし、専用の周波数制御装置を用いてパルス幅変調周波数(PWM周波数)を1kHzとして照射するLY-LED・1kHz区と、通常連続光を照射するLY-LED・連続区を設けた。対照として、白熱電球(K-RD100V75W、パナソニック社製)を光源とする白熱電球区を設けた。定植日から11月10日までの40日間、16:30~7:30に供試光源による終夜照明を毎日行い、その後は自然日長下で管理した。その他の条件および調査方法は、第1節第3項に準じた。

2 結 果

同期・非同期させた黄色パルス光に対する適用性

同期区および非同期区における調査個体上の放射照度は、畝面からの高さが1mの位置で9~16mW・m²であることを確認した(データ省略)。

定植日からの発蕾所要日数は、無処理区と比較して、同期区で3日、非同期区で4日増加し、有意な差が見られた(第1-10表)。

定植日からの到花日数は、無処理区と比較して、同期区で2日、非同期区で3日増加し、有意な差が見られた(第1-10表)。

切り花長は、無処理区および同期区と比較して、非同期区で6~9cm増加し、有意な差が見られた(第1-10表)。

切り花重および切り花節数は、各処理区間に有意な差がみられなかった(第1-10表)。

花首長は、無処理区と同期区および非同期区間に有意な差は見られなかった(第1-10表)。

舌状花数は、無処理区と比較して、同期区で30個、非同期区では34個減少し、有意な差が見られた(第1-10表)。

第 1-10 表 同期あるいは非同期させた LED ランプによる黄色パルス光が秋ギク ‘神馬’ の発蕾所要日数、
到花日数および切り花形質に及ぼす影響

点灯方式	発蕾所要 日数 ^z	到花 日数 ^y	切り花				管状花数 (個)	舌状花数 (個)	花首長 (cm)	花卉の 展開異常
			長 (cm)	重 (g)	節数 (節)	節数 (節)				
無処理	53 ^x	80 ^a	115 ^a	129 ^a	73 ^a	73 ^a	249 ^b	2.8 ^{ab}	90 ^a	無
同期	56 ^b	82 ^b	118 ^a	129 ^a	75 ^a	75 ^a	219 ^a	2.5 ^a	109 ^b	無
非同期	57 ^c	83 ^c	124 ^b	130 ^a	76 ^a	76 ^a	215 ^a	2.9 ^b	117 ^b	無

^z 定植から発蕾までの日数を示す

^y 定植から開花までの日数を示す

^x 表中の同一カラム内の同一英小文字間にはTukeyのHSD検定により5%水準で有意な差がないことを示す (n=3)

管状花数は、無処理区と比較して、同期区で 19 個、非同期区では 27 個増加し、有意な差が見られた（第 1-10 表）。

花卉の展開異常は、いずれの区でも見られなかった（第 1-10 表）。

PWM 周波数への適用性

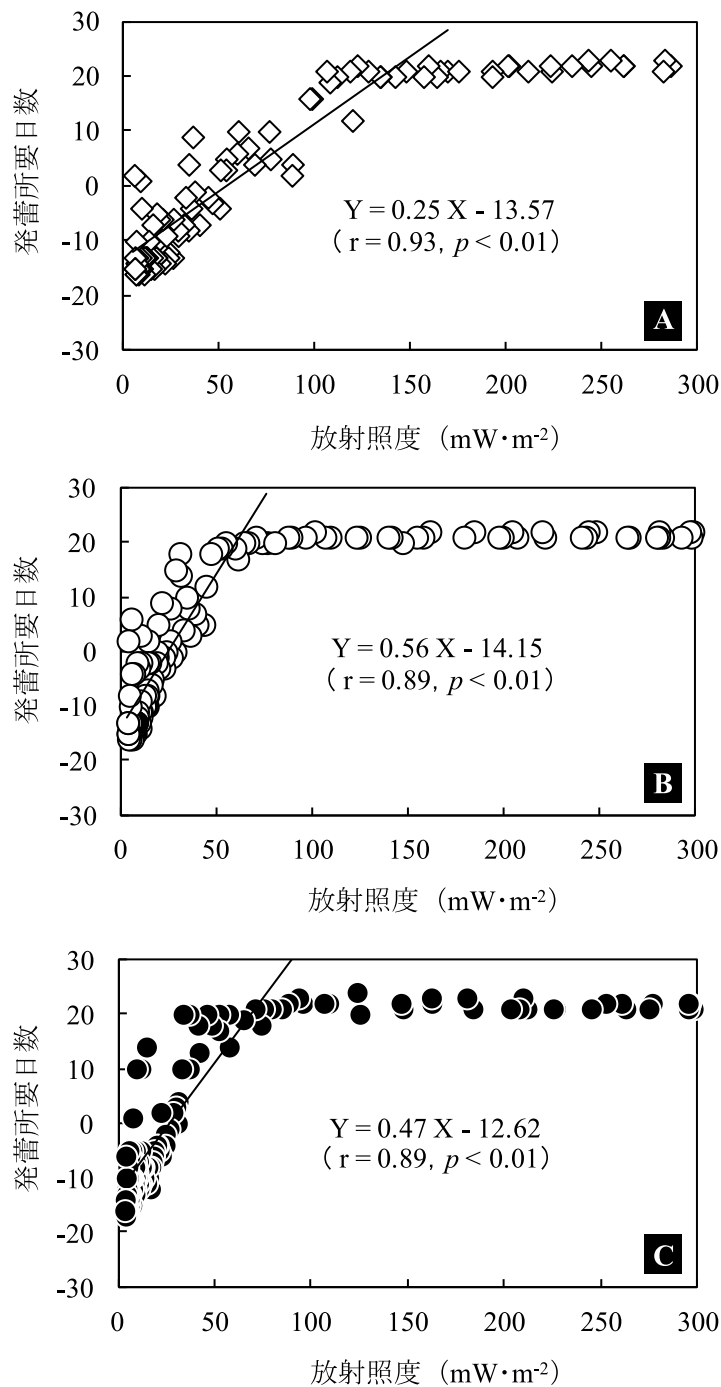
終夜照明を終了した 11 月 10 日からの発蕾所要日数は、すべての処理区において、ある放射照度域では放射照度が大きいほど増加し、その範囲を超えるとほぼ一定の 22 日となった（第 1-32 図）。放射照度が大きいほど発蕾所要日数が増加する放射照度域において、放射照度と発蕾所要日数との関係を定量することを意図して回帰直線を推定した。白熱電球区の発蕾所要日数：Y（日）と畝面における放射照度：X（ $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ ）との関係は一次回帰式で近似でき、Y=22 日となる X の下限値は $143 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ であった（第 1-32 図 A）。同様に、LY-LED・連続光区では、放射照度が $4\sim 64 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ において、一次回帰式で近似でき、Y=22 日となる X の下限値は $64 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ であった（第 1-32 図 B）。同様に、LY-LED・1 kHz 区では、放射照度が $3\sim 73 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ において、一次回帰式で近似でき、Y=22 日となる X の下限値は $73 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ であった（第 1-32 図 C）。なお、これら 3 つの一次回帰式は、それぞれの相関係数 r が最大となることを前提に算出した。

3 考 察

同期・非同期させた黄色パルス光に対する適用性

パルス化のための電子回路を内蔵した LED ランプを同期点灯させるためには、電力供給用のケーブルとは別に、同期のための信号ケーブル、あるいは同期のための無線信号の受信機などが必要となり、製品としてのイニシャルコストは上昇する。このため、同期と非同期とがキクに及ぼす影響が同じであれば、非同期の選択が適切であると考えられる。

秋ギク型輪ギク‘神馬’については、第 3 節第 2 項において、到花日数および切り花形質に有意な影響を及ぼすことなく適用できる放射照度の上限値は、放射照度 $20\sim 35 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ の範囲に存在することが示唆された。しかし、本項の結果は、それとは異なった。畝面からの高さが 1 m の位置の放射照度が $9\sim 16 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ であっても、同期区および非同期区において、発蕾所要日数で 3~4 日、到花日数で 2~3 日遅延し、無処理区との間に有意な差が見られた。第 3 節第 2 項および本項で供試した LY-LED モジュールは、相対分光放射照度が同じであったが、LY-LED モジュール個数は第 3 節第 2 項で 1 個、本項では 4 個であった。キクは、上位葉 7 枚程度で日長に感応する（船越，1989）とされている。このため、供試植物体の上方の 1 点からの照射であった第 3 節第 2 項と比較して、供試植物体の周囲を取り囲むように四方から照射した本項が、日長感



第 1-32 図 LY-LED を用いたデューティー比 50% の PWM 周波数 1 kHz による終夜照明時の放射照度が秋ギク ‘神馬’ の発蕾所要日数に及ぼす影響

A 白熱電球区, B LY-LED・連続光区, C LY-LED・1 kHz 区

発蕾所要日数は夜間照明終了日の 11 月 10 日から発蕾日までの日数を示し, 11 月 10 日より前に発蕾した場合はマイナス値で示す

応部位とされている上位葉 7 枚が受けた受光量の合計が大きかった可能性があり、このことが本項の同期区および非同期区において有意な影響が現れた原因の 1 つと考えられた。

しかしながら、同期区および非同期区との間において見られた発蕾所要日数および到花日数での 1 日、切り花長での 6 cm の差は、許容範囲であり、厳密な開花制御を必要とする物日出荷などでは考慮すべき点も残されているが、営利栽培上の問題はないと考えられた。

以上のように、同期と非同期とがキクに及ぼす影響に大きな違いはないことが明らかとなり、イニシャルコスト低減の観点から、非同期の選択が適切であることが示唆された。

PWM 周波数への適用性

石倉ら (2012a) は、放射照度 $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ で照射したデューティー比 50% の黄色パルス光について、PWM 周波数が 1~100 kHz の範囲であれば、秋ギク‘神馬’の発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響は、同じ放射照度で照射した連続光と同じであることを確認している。しかし、放射照度 $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ では、白熱電球と同等の開花抑制作用が得られなかったことから、本項では、改めて $20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ より高放射照度域における PWM 点灯下におけるキクの開花への影響を検討するとともに、白熱電球と同等の開花抑制作用を得るために必要となる放射照度を検討した。その結果、終夜照明を前提とする秋ギク‘神馬’の電照抑制栽培において、十分な発蕾抑制効果が得られる放射照度の下限値は、LY-LED・連続光区が概ね 60 mW m^{-2} 、LY-LED・1 kHz 区が概ね $70 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ であることが明らかとなった。これにより、連続光による終夜照明と同様に、デューティー比 50% の PWM 周波数 1 kHz による終夜照明は、一定以上の放射照度を確保することで、電照抑制栽培へ適用可能であることが示され、キクの成長に合わせた調光管理実現の可能性が示唆された。

一般照明用の白色 LED 光源の中には、効率的、かつ容易な調光技術として PWM 制御による調光機能が搭載されている上位機種が、すでに市販されていることは前述したとおりである。市販されているすべての機種について調査したわけではないが、デューティー比が 50% で PWM 周波数が 1 kHz に設定されている機種が少なからず存在している。本項において、デューティー比 50% の PWM 周波数 1 kHz による調光技術がキク栽培へ適用できることが示されたことで、開発技術を具現化する LED ランプの製品化にあたっては、先行する一般照明用の白色 LED 光源で採用されている各種部品および技術の共通化や量産効果により、「適正な価格の商品」を利用者に提供できる可能性が高まったと考えている。なお、LY-LED・連続光区と LY-LED・1 kHz 区での下限値に、約 $10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ の差がみられた原因については、誤差とも考えられるが、今後、詳細に検討する必要がある。