

電照栽培時の波長及び放射照度の違いがエラチオール・ペゴニアの開花及び生育に及ぼす影響

中島 拓・鈴木 健・柴田忠裕*¹

キーワード：エラチオール・ペゴニア，LED，花成制御，赤色光，分光分布

I 緒 言

エラチオール・ペゴニア (*Begonia* × *hiemalis* Fotsch., *B. elatior*) は1900年代始めに球根ペゴニア (*Begonia tuberhybrida* Voss) とペゴニア・ソコトラナ (*Begonia Socotorana*) を交配して育成され、日本では1964年に栽培が始まったとされる。千葉県内では1973年頃から栽培が始まり、県内各地に普及した (関・小竹, 1996)。以後、エラチオール・ペゴニアは千葉県鉢花生産における主要品目と位置づけられている。

エラチオール・ペゴニアは相対的短日植物のため、短日期の栽培では栄養生長量を十分に確保する前に生殖成長へ移行してしまい、茎葉のボリューム低下や花数の減少を招いてしまう。そのため、短日期の栽培では花芽分化を抑制し、栄養成長量を確保するための長日処理が必須である。

長日処理に用いられる光源は、現在のところ白熱灯や蛍光灯が主流となっている。一方、一般家庭用照明として普及しつつあるLED光源についても農業用途の開発が進められており、長日処理光源としての利用に注目が集まっている。

LED光源の特徴の1つとして、波長の選択性の高さが挙げられる。LED光源は特定の狭い波長域を単独で照射することや、発光素子を自由に組み合わせて分光分布を大きく変えることができる (後藤, 2008)。これに対し、白熱灯及び蛍光灯は分光分布が広域に渡り、複数の波長が混在する。また、分光分布を大きく変えることは難しい。

植物の光応答反応の1つとして、光形態形成反応が挙げられる。例えば、600~700nmの赤色光や730nm付近の遠赤色光が花成に大きく関与することは古くから知られている (Borthwick et al., 1952)。一方で、赤色光、遠赤色光以外の波長域が花成に強く影響する品目も多数報告されており (新井・大石, 2011)、花成と波長の関係は品目毎に明らかにする必要がある。

花成以外の光形態形成反応についても研究が進められて

いる。例えば、日没直後の短時間の遠赤色光の照射は花芽分化を促進させる以外に、草丈伸長を促進させることが複数の花き類で報告されている (住友ら, 2009)。

これらのことから、今後エラチオール・ペゴニアの生産現場でLED光源を利用するには、波長の違いが開花及び生育に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。

これまでにエラチオール・ペゴニアの光形態形成反応に関する報告は何点かあるものの、電照栽培時に行われる日没後の時間帯における照射についての知見は少ない。また、花き作物によっては白熱灯と分光分布の異なる光源を用いることで、電照効果が劣る事例が報告されており (久松完, 2010)、エラチオール・ペゴニア栽培においてもLED光源と従来の光源である白熱灯や蛍光灯を用いた際の開花及び生育の差異を明らかにする必要がある。

そこで、本研究ではエラチオール・ペゴニアの電照栽培における光源の波長の違いが開花及び生育に及ぼす影響を明らかにするために、以下の試験を実施した。試験1としてエラチオール・ペゴニアの開花制御に有効な波長を明らかにするため、青色光、赤色光及び遠赤色光の単波長照射が開花及び生育に及ぼす影響を調査した。また、試験2として、試験1で高い開花抑制効果の認められた波長域の光源について、千葉県内のエラチオール・ペゴニア生産現場で行われている再電照栽培の体系における放射照度の違いが開花及び生育に及ぼす影響を検討した。そして、試験3として、試験1で複数の波長域が開花抑制効果を示すことが明らかとなったため、複数の波長域が含まれる広域波長を有する光源の違いがエラチオール・ペゴニアの開花及び生育に及ぼす影響を検討した。その結果、エラチオール・ペゴニアの電照栽培時における光形態形成反応の知見が得られたので報告する。

本研究を行うにあたり、ご指導ご助言を賜った君津農業事務所の市東豊弘氏、岡山県農林水産総合センターの森義雄氏に深く感謝申し上げます。また、放射照度の測定にご協力を頂いた岡山県農林水産総合センターの藤本拓郎氏、岡修一氏、エルティールライト株式会社の青山裕一氏、神谷英一氏に深く感謝の意を表す。

受理日 2014年8月7日

*¹千葉県農業大学校

本報告の概要は、園芸学会 (2014年9月、佐賀市) において発表した。

II 材料及び方法

全ての試験は千葉県農林総合研究センター内のガラス温室で行い、品種は千葉県内で広く栽培されている「ネティア」を供試した。

1. 開花抑制に有効な波長の特定 (試験1)

光源は青色LED (株式会社鍋清製DPDL-B-10W, ピーク波長460~470nm), 赤色LED (同社DPDL-R-9W, ピーク波長620~630nm) 及び遠赤色LED (同社DPDL-Fr-9W, ピーク波長730~740nm) を供試した。対照区として無照射区を設けた。各区の放射照度は照度・輝度・放射照度計 (DeltaOHM 社製HD2102.2, 測定プローブLP471RAD, 測定波長域400~1,050nm) を用いて測定し、鉢表面の水平面放射照度が青色LED区及び赤色LED区は1.0~1.2W/m², 遠赤色LED区は0.7~0.9W/m²の範囲となるように設置した。各区の株の配置は、生育初期は鉢同士が密着した状態とし、地上部が大きくなるに従い、上記放射照度内で適時スペーシングした。各光源の境界は16:30~9:00の間はシルバーカーテンで遮り、隣接する区への光の影響を防いだ。供試株数は1区5株, 2反復とした。

調査は開花日の草丈, 主茎長, 主茎節数, 第1花房節位, 一次側枝数及び花房数について実施した。

供試品種は2011年9月7日に挿し芽し, 10月6日に12cm径ポットに鉢上げし, 11月5日に地上部から2節残して摘芯した。挿し芽開始から摘芯までは蛍光灯 (東芝ライテック製EFD21EL-DR-T) 終夜照射下 (16:30~翌8:30, 放射照度0.4~0.8W/m², 測定波長域400~1,050nm) で管理し, 11月5日から開花までは各光源を16時間日長となるように, 日長延長で照射した。

培養土の組成は赤土:腐葉土:ピートモス:パーライト=4:3:2:1とした。肥培管理は基肥としてマグアンプK中粒 (N:P:K=6:40:6) を2g/L添加し, 追肥としてプロフェッショナルハイポネックス (N:P:K=20:20:20) の2,000倍液を1週間に1回施肥した。

施設内の換気温度は22℃とし, 加温温度は15℃とした。

2. 再電照栽培における赤色光の放射照度の違いが開花及び生育に及ぼす影響 (試験2)

供試光源は赤色LED (試験1と同じ) を用いた。対照区として無照射区を設けた。

光源は鉢表面から高さ80cmに設置した。また, 各光源直下から距離50cm内 (以下, 0~50cm区), 50cm~100cm内 (以下, 50~100cm区), 100cm~150cm内 (以下, 100~150cm区), 150~200cm内 (以下, 150~200cm区) の4区画に分け, それぞれ同一に管理した。各区画内の株の配置は試験1と同様とし, 各区画内で適時スペーシングした。照射時間は2013年11月11日から12月24日までは16:

30~20:30 (約14時間日長, 長日条件), 12月24日から2014年1月7日までは16:30~17:30 (約11時間日長, 短日条件), 1月7日から開花までは16:30~20:30 (約14時間日長, 長日条件) とした。各光源の境界は試験1と同様の方法で遮った。供試株数は1区6株, 2反復とした。

調査は各区の放射照度及び光合成有効光量子束密度 (以下, PPF) , 開花日の草丈, 主茎長, 主茎節数, 第1花房節位, 一次側枝数及び花房数について実施した。

放射照度及びPPFDは試験1と同様の機材・方法で測定した (PPFDは測定プローブLP471PARを使用) 。

供試品種は2013年9月26日に挿し芽し, 11月1日に15cm径ポットに鉢上げし, 11月11日に地上部から2節残して摘芯した。

挿し芽開始から摘芯までの光源・放射照度・日長, 培養土の組成, 肥培管理, 施設内の換気温度及び加温温度は試験1と同様に行った。

3. 再電照栽培における広域波長の光源の違いが開花及び生育に及ぼす影響 (試験3)

広域波長の光源として, 防水型LED (東芝ライテック株式会社製LDA8L-G/W/50W), 白熱灯 (同社DENS100/110V71WPSK) 及び蛍光灯 (同社EFD21EL-DR-T) を供試光源とした。対照区として赤色LED (試験1と同じ) 及び無照射区を設けた。

光源の高さ, 光源からの距離の区分, 照射時間, 株の配置及び各光源の境の遮光は試験2と同様とした。供試株数は1区6株, 2反復とした。

供試光源の分光放射照度を調査した。また, 各区の放射照度及び開花日の草丈, 主茎長, 主茎節数, 第1花房節位, 一次側枝数及び花房数について実施した。

供試光源の分光放射照度の測定はスペクトロラジオメーター (Macam Photometrics社製SR9910, 測定波長域240~800nm) を用い, 暗室内に光源を高さ100cmに設置し, 直下の水平面放射照度を測定した。

試験区の放射照度の測定, 挿し芽及び摘芯時期, 挿し芽開始から摘芯までの光源・放射照度・日長, 培養土の組成, 肥培管理, 施設内の換気温度及び加温温度は試験2と同様に行った。

III 結果

1. 開花抑制に有効な波長の特定 (試験1)

照射光の波長の違いがエラチオール・バゴニア「ネティア」の開花及び生育に及ぼす影響を第1表に示した。開花日は無照射区と青色LED区が最も早く, 次に遠赤色LED区であり, 赤色LED区が最も遅かった。草丈及び主茎節数の値は赤色LED区が最も大きく, 次に青色LED区と遠

第1表 異なる波長の光源が「ネティア」の開花及び生育に及ぼす影響

光源	開花日	草丈 (cm)	主茎長 (cm)	主茎 節数 (節)	第1花房 節位 (節)	一次 側枝数 (本)	花房数 (個)
青色LED	1月14日 a	21.0 b	10.4 b	5.5 b	2.6 ab	2.4	14.2 b
赤色LED	1月27日 b	29.9 c	19.6 c	6.9 c	4.0 c	3.0	18.2 b
遠赤色LED	1月18日 ab	21.5 b	8.9 ab	5.1 b	2.8 b	2.6	14.7 b
無照射	1月9日 a	12.9 a	3.9 a	3.3 a	2.2 a	1.8	3.4 a
分散分析	**	**	**	**	**	ns	**

注1)青色LED：ピーク波長460～470nm 赤色LED：ピーク波長620～630nm

遠赤色LED：ピーク波長730～740nm

2)**：1%水準で有意 ns：有意差なし

3)異なる英文字間で5%水準の有意差あり (Tukey法)

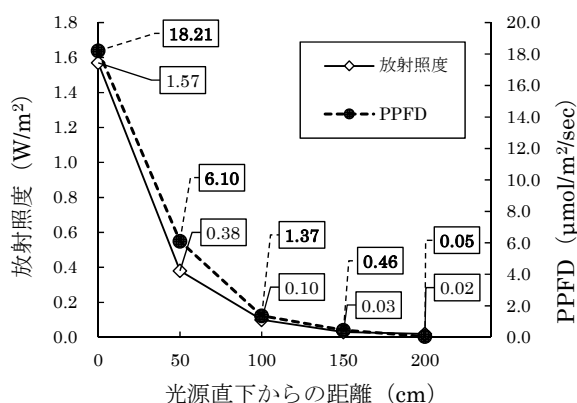
第2表 赤色LEDからの距離がエラチオール・ペゴニア「ネティア」の開花及び生育に及ぼす影響

光源	光源から の距離 (cm)	開花日	草丈 (cm)	主茎長 (cm)	主茎 節数 (節)	第1花房 節位 (節)	一次 側枝数 (本)	花房数 (個)
赤色LED	0～50	2月7日 b	21.9 d	13.7 b	8.2 d	4.1 b	3.5 c	12.9 c
	50～100	2月7日 b	19.6 c	12.7 b	7.3 cd	4.1 b	3.3 bc	12.5 c
	100～150	2月10日 b	19.6 c	11.6 b	7.0 bc	4.0 b	2.9 bc	10.5 bc
	150～200	2月5日 b	17.4 b	10.8 b	6.3 b	3.7 b	2.5 b	8.0 b
無照射	-	1月20日 a	11.5 a	3.6 a	4.4 a	2.4 a	0.9 a	3.8 a
分散分析		**	**	**	**	**	**	**

注1) 赤色LED：ピーク波長620～630nm

2) **：1%水準で有意

3)異なる英文字間で5%水準の有意差あり (Tukey法)

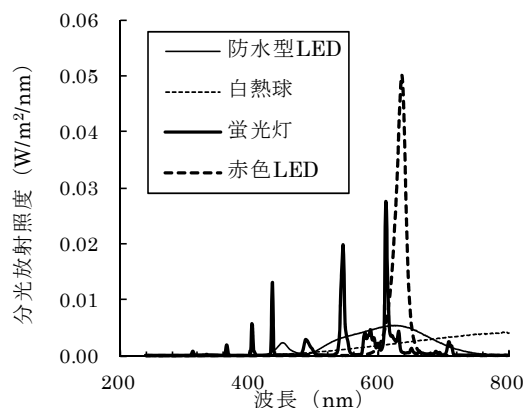


第1図 光源直下からの距離と放射照度及びPPFDの関係 (赤色LED)

注1)光源は鉢表面から高さ80cmに設置し、水平面放射照度を測定

2)放射照度の測定波長域は400～1,050nm

赤色LED区が同程度であり、無照射区が最も小さかった。主茎長は赤色LED区、青色LED区、遠赤色LED区、無照射区の順に長かった。第1花房節位は赤色LED区、遠赤色LED区、青色LED区、無照射区の順に高節位だった。一次側枝数は処理の違いによる差は無かった。LED照射し



第2図 供試光源の分光放射照度

注1)光源は高さ100cmに設置し、直下の水平面放射照度を測定

2)放射照度の測定波長域は240～800nm

た区の花房数は、波長の違いに関わらず、無照射区に比べ有意に増加した。

2. 再電照栽培における赤色光の放射照度の違いが開花及び生育に及ぼす影響 (試験2)

赤色LEDの光源直下からの距離と放射照度 (測定波長域400 - 1,050nm) 及びPPFDの推移の関係を第1図に示した。光源直下の放射照度は1.57W/m²であったが、光源からの距離が離れるほど低下し、光源直下からの距離200c

第4表 光源の違いが光源直下から50cm内のエラチオール・ペゴニア「ネティア」の開花及び生育に及ぼす影響

光源	開花日	草丈 (cm)	主茎長 (cm)	主茎 節数 (節)	第1花房 節位 (節)	一次 側枝数 (本)	花房数 (個)
防水型LED	2月 9日 b	20.2 bc	11.7 bc	7.3 b	4.1 b	3.0 b	10.8 b
白熱灯	2月 7日 b	17.8 b	9.9 b	6.8 b	3.9 b	2.9 b	9.2 b
蛍光灯	2月 8日 b	19.2 bc	11.6 bc	7.3 b	3.9 b	3.0 b	9.8 b
赤色LED	2月 7日 b	21.9 c	13.7 c	8.2 b	4.1 b	3.5 b	12.9 c
無照射	1月20日 a	11.5 a	3.6 a	4.4 a	2.4 a	0.9 a	3.8 a
分散分析	**	**	**	**	**	**	**

注1) 各光源は鉢表面から高さ80cmに設置し、供試株は光源直下から50cm内で管理した

2) 赤色LED：ピーク波長620～630nm 防水型LED：630nm付近をピークに波長分布は広域

3) **: 1%水準で有意

4) 異なる英文字間で5%水準の有意差あり (Tukey法)

第3表 供試光源中の460～470nm, 620～630nm及び730～740nmの放射照度

光源	放射照度 (W/m ²)		
	460～470nm	620～630nm	730～740nm
防水型LED	0.01	0.06	0.01
白熱球	0.00	0.02	0.04
蛍光灯	0.00	0.03	0.00
赤色LED	0.00	0.26	0.00

注1) 光源は高さ100cmに設置し、直下の水平面放射照度を測定

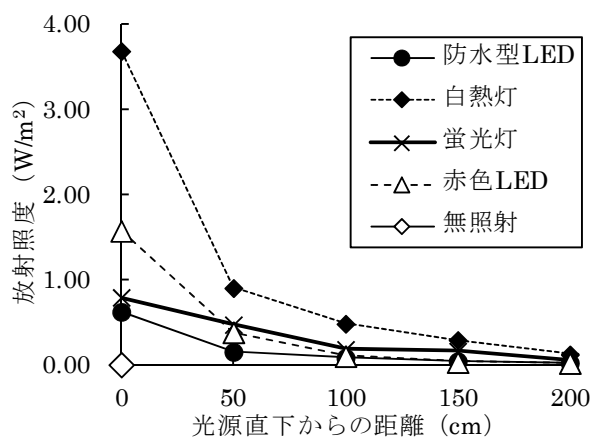
mでは0.02W/m²と光源直下の約1/80だった。PPFDも光源からの距離が離れるほど低下し、光源直下は18.21μmol/m²/secであり、最も離れた距離200cmでは0.05μmol/m²/secだった。

開花及び生育を第2表に示した。光源からの距離の違いによる開花日の差は無く、いずれも無照射区に比べ有意に遅かった。また、光源からの距離の違いによる第1花房節位にも差が無く、いずれも無照射区に比べ高節位だった。

一方、光源からの距離が近いほど、草丈は長く、主茎節数、1次側枝数及び花房数は多い傾向がみられた。

3. 再電照栽培における広域波長の光源の違いが開花及び生育に及ぼす影響 (試験3)

各光源の分光放射照度 (測定波長域240～800nm) を第2図に示した。防水型LEDは630nm付近にピークがあるが、460～730nmにかけて広い波長域を示した。白熱灯は400nm付近から放射照度が徐々に高まり、長波長域ほど放射照度が高かった。蛍光灯は440nm, 545nm及び615nm付近の放射照度が特に高く、他の波長域の分光放射照度は低かった。赤色LEDの放射照度は620～630nm付近のみに集中しており、他の波長域はほとんど含まれていなかった。



第3図 栽培時における光源直下からの距離と400～1,050nmの放射照度との関係 (防水型LED, 白熱灯, 蛍光灯及び赤色LED)

注1) 光源は鉢表面から高さ80cmに設置し水平面放射照度を測定

各光源の試験1で供試した青色LED (460～470nm), 赤色LED (620～630nm) 及び遠赤色LED (730～740nm) の波長域に該当する放射照度を第3表に示した。各光源に青色LEDの波長域はほとんど含まれていなかった。一方、赤色LEDの波長域は各光源とも含まれていた。この波長域の放射照度は赤色LEDが最も高く、次に防水型LEDであり、白熱灯と蛍光灯は同等で最も低かった。遠赤色LEDの波長域は白熱灯のみに含まれていた。白熱灯のこの波長域の放射照度は赤色LEDの波長域に該当する放射照度より高かった。

各光源の光源直下からの距離と放射照度 (測定波長域400～1,050nm) の推移の関係を第3図に示した。供試した光源の直下の放射照度 (400～1,050nm, 光源直下) は白熱灯, 赤色LED, 蛍光灯, 防水型LEDの順に高かった。各光源とも直下からの距離が離れるに従い放射照度は低

第5表 光源及び光源からの距離の違いがエラチオール・ペゴニア「ネティア」の開花及び生育に及ぼす影響

光源	光源からの距離 (cm)	開花日	草丈 (cm)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	第1花房節位 (節)	一次側枝数 (本)	花房数 (個)
防水型LED	0-50	2月9日 b	20.2 b	11.7 b	7.3 b	4.1 b	3.0 b	10.8 b
	50-100	2月8日 b	19.5 b	11.6 b	7.0 b	3.9 b	3.2 b	10.8 b
	100-150	2月11日 b	18.8 b	10.8 b	6.8 b	4.1 b	3.1 b	9.8 b
	150-200	2月7日 b	17.2 b	9.4 b	6.8 b	3.7 b	2.3 b	7.8 b
無照射	-	1月20日 a	11.5 a	3.6 a	4.4 a	2.4 a	0.9 a	3.8 a
分散分析		**	**	**	**	**	**	**
白熱灯	0-50	2月7日 b	17.8 b	9.9 c	6.8 c	3.9 b	2.9 c	9.2 b
	50-100	2月9日 b	17.4 b	9.4 c	7.0 c	3.9 b	2.8 bc	10.0 b
	100-150	2月10日 b	17.1 b	9.4 bc	6.8 c	4.0 b	2.6 bc	8.7 b
	150-200	2月8日 b	16.6 b	8.3 b	5.8 b	3.4 b	2.1 b	7.7 b
無照射	-	1月20日 a	11.5 a	3.6 a	4.4 a	2.4 a	0.9 a	3.8 a
分散分析		**	**	**	**	**	**	**
蛍光灯	0-50	2月8日 b	19.2 b	11.6 c	7.3 b	3.9 b	3.0 bc	9.8 b
	50-100	2月11日 b	19.1 b	10.9 bc	7.3 b	3.7 b	3.0 bc	10.2 b
	100-150	2月9日 b	19.3 b	10.9 bc	7.3 b	3.8 b	3.2 c	10.8 b
	150-200	2月6日 b	17.7 b	9.0 b	6.4 b	3.4 b	2.2 b	8.1 b
無照射	-	1月20日 a	11.5 a	3.6 a	4.4 a	2.4 a	0.9 a	3.8 a
分散分析		**	**	**	**	**	**	**
赤色LED	0-50	2月7日 b	21.9 d	13.7 b	8.2 d	4.1 b	3.5 c	12.9 c
	50-100	2月7日 b	19.6 c	12.7 b	7.3 cd	4.1 b	3.3 bc	12.5 c
	100-150	2月10日 b	19.6 c	11.6 b	7.0 bc	4.0 b	2.9 bc	10.5 bc
	150-200	2月5日 b	17.4 b	10.8 b	6.3 b	3.7 b	2.5 b	8.0 b
無照射	-	1月20日 a	11.5 a	3.6 a	4.4 a	2.4 a	0.9 a	3.8 a
分散分析		**	**	**	**	**	**	**

注1) 赤色LED：ピーク波長620～630nm 防水型LED：630nm付近をピークに波長分布は広域

2) **：1%水準で有意

3) 異なる英文字間で5%水準の有意差あり (Tukey法)

下し、光源から最も遠い200cm地点では、白熱灯は0.12W/m²、他の光源は0.02～0.04W/m²と、防水型LED及び白熱灯は直下の1/30程度、蛍光灯で1/20程度だった。また、無照射区の放射照度は0.00W/m²だった。

各光源の0～50cm区の開花及び生育を第4表に示した。開花日及び第1花房節位は光源の違いによる差は無く、いずれも無照射区に比べ第1花房節位が高節位となり、開花日は遅かった。一方で、草丈及び主茎長は赤色LED区が最も長く、次に防水型LED及び蛍光灯区が同等であり、白熱灯、無照射区の順に短かった。主茎節数及び一次側枝数は光源の違いによる差は無く、無照射区に比べ多かった。

花房数は赤色LED区が最も多く、次いで防水型LED区、白熱灯区及び蛍光灯区が同程度であり、無照射区に比べ有意に多かった。

各光源の光源からの距離と開花時の生育の関係を第5表に示した。いずれの光源においても開花日及び第1花房節位に差は無く、無照射区に比べ開花日は遅く、第1花房節位は高節位だった。光源毎に光源からの距離と生育を比較すると、光源の種類によって特徴が認められた。すなわち、防水型LED区は、草丈、主茎長、主茎節数、一次側枝数、花房数は光源からの距離が離れるに従い値が小さくなる傾向が見られるものの、無照射区以外との有意な差は

無かった。白熱灯区は、草丈及び花房数の値は光源からの距離の違いによる有意な差は無く、いずれも無照射区に比べ大きかった。主茎長は光源からの距離によって差が認められ、0～50cm区及び50～100cm区が最も長く、それ以外の区は100～150cm区、150～200cm区、無照射区の順に長かった。主茎節数も同様に0～50cm区、50～100cm区及び100～150cm区の3区が最も多く、次に150～200cm区であり、無照射区が最も少なかった。また、一次側枝数は0～50cm区が最も多く、次に50～100cm区及び100～150cm区が同等であり、その次に150～200cm区であり、無照射区が最も少なかった。蛍光灯区は、草丈、主茎節数及び花房数の値は光源からの距離の違いによる有意な差は無く、いずれも無照射区に比べ大きかった。主茎長は光源からの距離によって差が認められ、0～50cm区で最も長く、光源からの距離が離れるほど短かった。一次側枝数は0～50cm区、50～100cm区及び100～150cm区の3区が同等で最も多く、次に150～200cm区であり、無照射区が最も少なかった。

IV 考 察

試験1の結果から、供試した光源はいずれも開花抑制効果が認められた。光源の波長別にみると、赤色LED区、遠赤色LED区、青色LED区、無照射区の順に第1花房の節位が上位となり、開花日が遅くなる傾向がみられた。また、草丈や節数等の値はこれらの順に大きくなる傾向がみられた。

開花日の遅い区ほど第1花房の節位が上位であることから、供試した光源の波長はいずれも花芽分化を抑制した。その中でも、最も花芽分化抑制に高い効果を示す波長は620～630nmの赤色光であった。

また、赤色光が草丈や主茎節数等の生育に最も効果的に影響を及ぼすが、赤色光以外の波長域の光も生育に影響を及ぼすと考えられた。

電照栽培における波長の違いがエラチオール・ペゴニアの開花に及ぼす影響はいくつか報告されている(小泉, 2002, 松古, 2012)。これらの報告においても、エラチオール・ペゴニアの開花抑制効果が最も高い光は赤色光の波長域であるとされており、本試験の結果と一致した。

千葉県内のエラチオール・ペゴニア生産現場では生育初期に長日条件として栄養成長量を確保し、その後、短日条件で花芽分化を誘導し、再度電照により長日条件とする再電照栽培が行われている。この栽培方法は短日条件で一斉に花芽分化が誘導され、開花揃いが向上するとされている。

試験2では試験1で明らかとなった開花抑制効果の高い赤色光を再電照栽培時に用いて、光源からの距離、すなわ

ち放射照度の違いが開花及び生育に及ぼす影響を調査した。

その結果、光源からの距離が離れるほど放射照度(400～1,050nm)は低下したが、開花日及び第1花房の節位に差は無く、光照射した全ての区で無照射区より開花日が遅く、第1花房節位が高節位であった。このことから、本試験の放射照度の範囲では放射照度の高低に関わらず、始めの長日条件下では均一に花芽分化が抑制されており、短日条件で一斉に花芽分化が誘導されたと考えられた。そのため、エラチオール・ペゴニアの花芽分化は、本試験の生育ステージまでは、赤色光で0.2～0.3W/m²と低い放射照度でも抑制されると考えられた。

一方で、草丈、主茎長、主茎節数、一次側枝数及び花房数(以下、主要形質)の値は放射照度が最も高い光源直下で最も高く、光源からの距離が離れるに従って低下する傾向がみられた。このことから、赤色光は花芽分化以外の生育にも影響し、その効果は放射照度の高低の影響を受けると考えられた。

Fjeld et al. (1993) はエラチオール・ペゴニアを全暗条件で7日間処理した後、PPFDは等しいが波長の異なる光源を7日間照射(PPFD: 45µmol/m²/sec, 16時間日長)する処理を3回繰り返すと、照射光源の違いにより開花や生育が変化することを報告している。赤色光(ピーク波長660nm)照射区は白色光(ピーク波長580nm)照射区に比べ草丈が短くなる一方で、葉枚数や花蕾数が増加することを報告しており、その原因は赤色光が白色光に比べ光合成効率が高いこと、赤色光による光形態形成反応として分枝や節間伸長に影響を及ぼすこと、エラチオール・ペゴニアの花蕾発達にはエチレンが大きく関与しており、赤色光が他の光色に比べACCからエチレンへの合成を阻害する効果が高いことの3点が複合的に作用したためと考察している。

Fjeld et al.の結果と本試験の結果を比較すると、節数(葉枚数)や花房数への効果は一致しており、類似した光応答反応が起こった可能性が推察された。しかし、草丈に対する効果は一致しなかった。これは、照射方法や照射時間が異なるためと推察された。

一方で、小泉(2002)はエラチオール・ペゴニアの光補償点は2,000～2,500lxと報告しており、PPFDに変換すると37～46µmol/m²/secと推測される(Thimijan・Heins, 1983)。試験2で供試した赤色LEDはPPFDの最も高い0～50cm区でも6.1～18.2µmol/m²/secであり、光補償点を大きく下回ると考えられた。そのため、赤色光照射区の主要形質の値が無照射区の値よりも大きくなった原因として、光合成により直接同化産物の増加が起こった可能性は低いと考えられた。

また、Fjeld et.al.は上記の試験において、赤色光及び白色光を4日間終日照射（両光源のPPFDは26~28 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ ）処理し、その後の1週間で電球色の光源（PPFD：12~14 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ ，16時間日長）下で同一に管理した場合において、赤色光照射区は白色光照射区に比べ花蕾数が30%以上増加することも報告している。このことから、PPFDの値が低くとも、波長の違いは生育に影響を及ぼすと推察された。

これらのことから、試験2で放射照度の違いが主要形質の値に影響を及ぼした原因は光形態形成反応が放射照度の高低によって変化したことの影響が大きいと考えられた。

試験1の結果から、エラチオール・ペゴニアの開花抑制には赤色光が最も高い効果を示すが、青色光や遠赤色光も抑制効果を示し、赤色光以外の波長域も生育に影響を及ぼす可能性が示唆された。また、生産現場で慣行の光源として用いられている白熱灯や蛍光灯は波長域が広く、複数の波長が含まれる。そこで、試験3では白熱灯や蛍光灯に加え、波長域の広いLED光源を用い、再電照栽培時に複数の波長を含む、広域波長を有する光源の違いがエラチオール・ペゴニアの開花及び生育に及ぼす影響を調査した。

各光源の放射照度が最も高い0~50cm区の放射照度及び主要形質の値を比較した。放射照度（400~1,050nm，光源直下）は白熱灯，赤色LED，蛍光灯，防水型LEDの順に高く，赤色光の波長域（620~630nm，光源直下）の放射照度は赤色LED，防水型LED，白熱灯及び蛍光灯の順に高かった。これに対し，主要形質の値は赤色LED区が最も大きく，次に防水型LED区と蛍光灯区が同等であり，白熱灯区が最も小さかった。このことから，異なる光源間で比較すると，620~630nmの波長域の放射照度が高いほど主要形質の値が大きくなる訳ではなく，主要形質の値の増減は620~630nmの波長域以外の放射照度の影響も受けると考えられた。

一方，同一光源内で放射照度の高低と開花及び主要形質の値への影響をみると，いずれの放射照度においても花芽分化の抑制は同等に認められた。また，試験2と同様に放射照度が高いほど主要形質の値が高くなる傾向がみられた。このことから，赤色光のみの単波長照射と同様に，広域波長の光源でも弱光で花芽分化を抑制できると考えられた。

Mortensen（1990）はエラチオール・ペゴニアの明期（PPFD：25.1 \pm 7.6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$ ，10時間日長）の照射光に含まれる分光分布を変化させ，400~500nmの波長域の割合を自然光に比べ5%程度とした光では，自然光とほぼ同等の波長域の光や600~800nmの波長域の割合を14~55%程度とした光に比べ，乾物重が重く，草丈が長く，

花蕾数が多くなると報告しており，この原因は照射光に含まれる特定の波長域が減少したためや赤色光と遠赤色光の比率（以下，R/Fr比）の違いによるものであると考察している。

光形態形成反応と植物体内中のエチレン合成の両反応がそれぞれR/Fr比の影響を受けることは様々な植物で報告されている（King and Bagnall，1994，吉村ら，2002，Kurepin et.al.，2006）。また，エラチオール・ペゴニアでも葉や花弁中のエチレン含有量は赤色光と遠赤色光の影響を受けることが報告されている（Rudnicki et. al.，1993）。これらのことから，エラチオール・ペゴニアの形態形成やエチレン合成はR/Fr比の影響を受けると推察される。

試験3で供試した防水型LED，白熱灯，蛍光灯及び赤色LEDの4光源の内，R/Fr比が小さい光源は白熱灯のみであった。また，R/Fr比が高く，他の波長域の影響を受けない光源は赤色LEDのみであった。両光源の主要形質を比較（0~50cm区）すると，白熱灯区は赤色LED区に比べ有意に草丈及び主茎長が短く，花房数が少なかった。このことから，白熱灯区と赤色LED区の主要形質の値の違いはR/Fr比の影響を受けているためと考えられた。

一方で，防水型LED区及び蛍光灯は赤色LED区と同様にR/Fr比が高いが，主要形質の値は白熱灯区と明確な差が無かった。

松古（2012）はエラチオール・ペゴニアの開花抑制効果は660nmをピーク波長とする光源と試験1で供試した630nmをピーク波長とする光源とでは同等であることを報告している。このことから，エラチオール・ペゴニアの主要形質に影響を及ぼす波長域は本試験で検討した波長域以外にもあると考えられた。

そのため，防水型LED区及び蛍光灯区の主要形質の値が白熱灯区と赤色LED区の値ほど明確な差がなかった原因は，460~470nm，620~630nm及び730~740nm以外の防水型LEDや蛍光灯に含まれる波長域の影響の可能性が考えられた。

また，防水型LED区及び蛍光灯区の620~630nmの波長域の放射照度は赤色LED区の放射照度に比べ大きく下回ることから，この波長域の放射照度の低下により主要形質の値が低下したため，赤色LED区及び白熱灯区と明確な差が無くなった可能性も考えられた。しかし，本試験では620~630nmの波長域の放射照度とR/Fr比の交互作用が主要形質の値に及ぼす影響については検討しておらず，明確な理由は判然としなかった。

本試験の結果から，エラチオール・ペゴニアの電照栽培では，広域波長の光源を用いると含まれる複数の波長が複合的に草丈等の草姿に影響する可能性があると考えられ

た。従来の光源である白熱灯や蛍光灯は製造会社が異なっても分光分布に大きな違いは無かったが、LED光源は製造会社が異なると分光分布が異なる可能性がある。そのため、生産現場でLED光源を利用する際は製造会社が提供する分光分布データ等により赤色光の有無及び割合を確認する必要がある。

V 摘要

エラチオール・ベゴニア「ネティア」の電照栽培における波長、放射照度及び光源の違いが開花及び生育に及ぼす影響を調査した。

1. 460~470nm, 620~630nm及び730~740nmの波長を長日条件(明期16時間/暗期8時間)で照射すると、全ての波長で花芽分化が抑制され、草丈及び主茎長が長くなり、主茎節数が増加した。最も効果の高かった波長は620~630nmだった。
2. 620~630nmの波長を用いて再電照栽培(長日条件:明期14時間/暗期10時間-短日条件:明期11時間/暗期13時間-長日条件:明期14時間/暗期10時間)を行うと、光源からの距離すなわち放射照度の値に関わらず、第1花房の花芽分化が抑制された。一方、放射照度が高いほど草丈及び主茎長が長くなり、主茎節数、1次側枝数及び花房数が増加した。
3. 分光分布が広域な光源で再電照栽培(長日条件:明期14時間/暗期10時間-短日条件:明期11時間/暗期13時間-長日条件:明期14時間/暗期10時間)を行うと、分光分布が異なる光源間では放射照度の高低と草丈、主茎長及び花房数の値の増減に一定の傾向は見られなかった。一方、分光分布が同じであれば光源からの距離が近いほど、すなわち放射照度が高くなるにつれて草丈及び主茎長が長くなり、主茎の節数、1次側枝数及び花房数が増加した。

VI 引用文献

新井聡・大石一史(2011)夜間の各種単波長のLED照明が数種の鉢物の生育に及ぼす影響。愛知農総試研報 43:42-53.

Borthwick, H.A., S.B.Hendricks, M.W.Parker, E.H.Toole, V.K.Toole (1952) A reversible photoreaction controlling seed germination. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 38:662-666.

Fjeld, T., R. M. Rudnicki, R. Moe (1993) Effects of light quality on flower and bud development in *Begonia* × *hiemalis* Fotsch. Gartenbauwissenschaft 8(4):

154-157.

後藤英司(2008)アグリフォトニクス(後藤英司編). pp.1-16. シーエムシー出版. 東京.

久松完(2010). 人工光源の農林水産分野への応用(後藤英司編). pp.92-97. 農業電化協会. 東京.

King, R. W., D. J. Bagnall (1994) International Lighting in Controlled Environments Workshop (T.W. Tibbitts). pp.103-109. Uni. of Wisconsin. USA.

小泉力(2002)花卉園芸大百科12 宿根草(農山漁村文化協会編). pp.441-453. 農文協. 東京.

Kurepin, Leonid V., Linda J. Walton, David M. Reid, Richard P. Pharis, C. C. Chinnappa (2006) Growth and ethylene evolution by shade and sun ecotypes of *Stellaria longipes* in response to varied light quality and irradiance. Plant Cell Environ 29:647-652.

松古浩樹(2012)単波長照射によるLEDが鉢花の開花調節に及ぼす影響. 園学研11(別1):439.

Mortensen, Leiv. M. (1990) Effects of temperature and light quality on growth and flowering of *Begonia* × *hiemalis* Fotsch. and *Campanula isophylla* Moretti. Scientia Horticulturae 44:309-314.

Rudnickil, R. M., T. Fjeld, R. Moe (1993) Effect of light quality on ethylene formation in leaf and petal discs of *Begonia* × *hiemalis* Fotsch cv. Schwabenland Red. Plant Growth Regul 13: 281-286.

関栄一・小竹寿子(1996)花き栽培標準技術体系-エラチオール・ベゴニア. 37pp. 千葉県・千葉県農林技術会議. 千葉.

住友克彦・山形敦子・島浩二・岸本真幸・久松完(2009)数種切り花類の開花および茎伸長に及ぼす明期終了時の短時間遠赤色光照射(EOD-Fr)の影響. 花き研報9:1-11.

Thimijan, Richard W., Royal D. Heins (1983) Photometric, Radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for inter-conversion. Hort Science 18(6):818-822.

吉村正久・西山学・金浜耕基(2002)ストックの主枝の生長と開花に及ぼす赤色光または遠赤色光と赤色光/遠赤色光比の影響. 園学雑 71(4):575-582.

Effects of light wavelength and irradiance on growth and flowering of *Begonia* × *hiemalis* in night-break treatment

Taku NAKAJIMA, Takeshi SUZUKI, Tadahiro SHIBATA

Key words: Elatior Begonia, LED bulb, flowering regulation, red light, spectrum

Summary

We examined the effects of light wavelength and irradiance on the growth and flowering of *Begonia* × *hiemalis* 'Netja' under night-break treatment.

1. Long-day treatments (16L8D) with light with wavelengths of 460 to 470 nm, 620 to 630 nm, and 730 to 740 nm effectively inhibited flower bud differentiation, with 620 to 630 nm being the most effective.
2. Interrupted short-day treatment (14L10D–11L13D–14L10D) with light with wavelengths of 620 to 630 nm at different distances from the plants had equivalent effects in inhibiting first flower bud differentiation, regardless of the distance. However, plant height, stem length, number of joints, the number of offshoots, and number of flower trusses were increased by the light irradiance.
3. With interrupted short-day treatment (14L10D–11L13D–14L10D) using light of different wide spectra, the influence of irradiance on plant height, stem length, and number of flower trusses was unclear. However, using light of the same wide spectrum increased the plant height, stem length, number of joints, number of offshoots, and number of flower trusses with increasing irradiance.