

【研究報告】

インビトロ培養におけるエキザカム実生の 生長と花成に及ぼす光質の影響

亘理ちひろ¹・森 直哉²・泊由紀子²・渡邊博之¹

要 約

植物の花成反応は多くの環境要因によって制御され、光質もその要因の一つであることが知られているが、種あるいは品種間で反応が異なることが示されている。エキザカムの花成反応においては単色光照射による影響について報告されている。しかし、混合色光照射については調査した例はない。本研究では実生苗を用いたインビトロの実験系を用いて、青色光と遠赤色光がエキザカムの花芽形成に及ぼす影響を調査した。寒天培地にエキザカムの種子を無菌播種し、4週後の芽生えを培養管に植え替えた後、12週間各種の波長のLEDを用いて光照射処理を行った。光照射処理終了後に生育調査を行ったところ、青色光照射によって花芽の分化または花芽の発達を促進して花芽数を増加させること、また、遠赤色光が栄養成長期を短縮して発蕾時期を早めることを明らかにした。

キーワード：インビトロ栽培、花成と発達、LED

緒言

形態形成は、植物の生活環において最も重要な反応の一つである。花芽分化は多くの要因によって制御されていることが知られている。植物は生長ステージやホルモン状態のような内的要因と環境条件をはじめとする外的要因の両者の調節を受けることによって、花芽形成を正確に行うことができる。花芽分化開始時期の決定については主に4つの要因（日長による光周期、低温暴露による春化反応、ジベレリンによる花芽形成の促進、成熟などによる自律的な制御）が関与することが明らかになっており（Komeda *et al.*, 2004）、これらの要因の制御は、実際にキクやイチゴの電照栽培などの生産現場で利用されてきた。しかし、植物の種や品種によってこれらの要因やその影響の強さに差があり、花成反応や開花に関する結果が異なることが知られている（雨木・渡邊, 2016）。花芽分化に至るメカニズムの解明することにより、花芽分化を人為的にコントロールが可能となるので、花き生産において収量の確保や早期開花など、栽培の効率化に役立つことが期待される。

本実験に用いたエキザカム (*Exacum affine*) はイン

ド洋ソコトラ島に自生するリンドウ科エキザカム属の植物で、葉腋に青紫色の小花を次々と着生するため、開花期間、鑑賞時期が長いので、鉢物の花き品目として注目されている。また、品種改良によって白色やピンク色の花色、八重咲き品種、葉に白または黄色の斑が入った品種が育成され、今後の需要が期待されている。花芽分化は日長に影響を受けない中性植物であるが、花芽の発達は長日条件下で促進されると言われている（瀬口, 1997）。エキザカム開花に及ぼす光質の影響は、主にLEDを用いた単色光についての報告がある。雨木ら（2000）によると、青色光では花芽形成を促進し、緑色光で葉身の生長を促進することや、赤色光、遠赤色光の照射によって発蕾は観察されなかったことが述べられている。また、アブシジン酸の添加による花芽形成の効果について単色光を用いて検討したところ、光質によってアブシジン酸の効果は異なることが示されている（堀内ら, 2006）。エキザカムの生長と光合成速度を調査した結果より、薄井ら（2007）は、エキザカムの花成誘導は光質による影響を受け、光合成速度の関与は低いことを述べている。しかし、花芽形成に対する各種光質の相互作用の影響、すなわち、赤色光、青色光、遠赤色光の相互

¹ 玉川大学大学院農学研究科 東京都町田市玉川学園6-1-1

² 玉川大学学術研究所生物機能開発研究センター 東京都町田市玉川学園6-1-1
責任著者：渡邊博之 watahiro@agr.tamagawa.ac.jp

作用の影響についてはまだ不明な部分が多い。

エキザカムはインビトロ実験系で比較的容易に生育、開花させることが可能である（雨木ら、1998、川村ら、2006）。この実験系は植物体の大きさを同一容器内に小さく保持でき、かつ一定の環境条件内で一度に多くの試験区を設けることができる。特に、植物の成長や形態形成を目的とした実験においては、短期間で再現性のある結果を得ることが可能である。よって、本研究では、インビトロ実験系を用いて、様々な光質条件を設定しエキザカムの生育、発蕾数に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

1. 供試植物

リンドウ科のエキザカム (*E. affine* cv. Dwarf Midget Blue. ((株) サカタのタネ、東京)) を用いて実験を行った。

2. 培地

培地には播種用、その後の植物体の培養用の2つを使用した。

2-1. 播種用培地

シヨ糖濃度 20 g/L、寒天濃度 8 g/L の 1/4 MS (Murashige-Skoog) 培地を pH 5.8 に調整し、オートクレーブ (121℃、20分) で滅菌した。滅菌後、クリーンベンチ内にてオートクレーブで滅菌したプラントボックス (75×75×高さ 100 mm) に培地溶液を 20 mL ずつ分注し、培養ポットの蓋と本体の境目をパラフィルムで巻いた後、暗所にて使用するまで常温で保存した。

2-2. 培養用培地

シヨ糖濃度 50 g/L、寒天濃度 8 g/L の 1/4 MS 培地を pH 5.8 に調整した。アルミホイルを二重にして蓋をし、湯煎で寒天を完全に溶解した。テーハー式連続分注器を用いて培養管 (IWAKI 社、φ40×130 mm) に 40 mL ずつ分注した。培地を分注した培養管にアルミホイルを二重にして栓をし、オートクレーブ (121℃、20分) で滅菌した。使用するまで暗所で保存し、作成した培地は 1 週間以内に使用した。

3. エキザカムの無菌播種

15 mL コニカルチューブに 2 mL の次亜塩素酸ナトリウム水溶液 (有効塩素濃度 5%) を滅菌水で 10 mL に希

釈し、Tween 20 を 1 滴加えて滅菌水を作成した。エキザカムの種子を 1.5 mL チューブに移し、70% エタノールに 30 秒間、滅菌水に 10 分間浸漬した。その後、滅菌水で 1 分間洗浄することを 4 回繰り返した。滅菌した種子をピンセットで前記の播種用培地に重ならないように置床した。培養ポットの蓋と本体の境目をサージカルテープで巻き、16 時間日長の昼白色蛍光灯下 ($100 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) で 28 日間培養した。

4. 培養管への植え替え

無菌播種から 4 週間後のエキザカムの芽生えから葉枚数 6 枚が展開した生育状態のものを選抜した。培養用培地の入った培養管 1 本あたりエキザカムの芽生えを 1 個体置床した。通気フィルターを貼付したアルミ栓 (2重にした 8×8 cm アルミホイルの中心部に直径 8 mm の穴をあけ、通気フィルター (ミリシール (Merck 社、孔径 0.5 μm)) を貼り付け、121℃、20 分間オートクレーブを用いて滅菌したもの) で閉栓した。

5. 異なる光質を用いた光照射処理

5-1. 青色光による影響について

玉川大学学術研究所 Future Sci Tech Lab のグロースチャンバー内に青色光 (B) (ピーク波長 444 nm)、赤色光 (R) (同 658 nm)、混合光 (RB) の LED 光区と昼白色蛍光灯区 (FL) を用意した。混合光の赤青比は 12 : 88 (R12 B88)、25 : 75 (R25 B75)、50 : 50 (R50 B50)、75 : 25 (R75 B25)、88 : 12 (R88 B12) の 5 種類の処理区を用意した。それぞれの光条件について表 1 に示した。培養管に植え替えたエキザカムを各光処理区に 16 本ずつ、84 日間静置した。各光照射処理区ともに総

表 1 青色光による影響について使用した光質条件

処理区	光強度 ($\mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
	B	R
B	100	0
R12B88	88	12
R25B75	75	25
R50B50	50	50
R75B25	25	75
R88B12	12	88
R	0	100
FL	100	

合的な光強度が培養管外で $100 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ になるように出力を調節した。温度は $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 、明暗周期16時間／8時間とした。光の当たり方を均一にするため、定期的に培養管の位置を入れ替えた。光照射処理終了後、生育調査を行った。

5-2. 遠赤色光による影響について

本実験は玉川大学学術研究所Future Sci Tech Labの植物工場実験室内で行った。培養中の CO_2 濃度は1000 ppmを下回らないように設定し、End-of-day遠赤色光(EOD-FR)照射を行った。EOD-FRとは、日没時間帯にFR光の割合が増加する自然現象を模倣した照射である。遠赤色光の照射量を最小限にし、光質の影響についての検討に有効であり、今回この照射方法を用いた。光照射処理区は赤色光(R)、混合光(RB(R:B=1:1))、赤色光+遠赤色光(R+FR)、混合光+低遠赤色光(RB+LFR)、混合光+遠赤色光(RB+FR)、赤色光+EOD遠赤色光処理(R+EOD-FR)、混合光+EOD遠赤色光処理(RB+EOD-FR)の7つのLED光照射区と昼白色蛍光灯照射光区(FL)を用意した。それぞれの光条件について表2に示した。培養管に植え替えたエキザカムを各光処理区に16本ずつ、84日間静置した。各光照射処理区の光強度はR区、RB区では培養管外で $100 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、R+FR区、RB+FR区ではR区またはRB区に $20 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 赤色光を明期期間のみ追加して照射した。RB+LFR区ではRB区に $10 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の遠赤色光を明期期間のみ追加して照射した。この光条件下でのR:FR比を計算するとR+FR区とRB+LFR区のR:FR比率は5:1、RB+FR区では5:2となる。R+

表2 遠赤色光の影響について使用した光質条件

処理区	光強度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
	B	R	FR
RB	50	0	0
RB+FR	50	12	20
RB+LFR	50	25	10
RB+EOD-FR	50	50	(20)
R	0	75	0
R+FR	0	88	20
R+EOD-FR	0	100	(20)
FL		100	

EOD-FR照射時の光強度は括弧書きで示す。

EOD-FR区、RB+EOD-FR区のEOD-FR処理については $20 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光強度で明期終了後、遠赤色光を15分間照射した。温度は $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 、明暗周期16時間／8時間とした。光の当たり方を均一にするために定期的に培養管の位置を入れ替え、光照射処理終了後、生育調査を行った。

6. 植物体の生育調査

光照射の処理後、乾燥重量、主茎長、発蕾数、側枝数とした。発蕾数は3 mm以上のもの、開花数は花器が完全展開している株について測定した。なお、茎頂部が褐色化して成長が止まった、いわゆる「芯枯れ」現象を起こして褐変化している個体は調査対象からは除いた。

7. 統計解析

統計解析はJMP12 (SAS Institute Japan) を用いて行った。複数の試験区間でTukey-KramerのHSD検定を用いて5%の有意水準で評価した。

結果および考察

1. 青色光による影響について

各光照射処理を行ったエキザカムの様子を図1に示した。播種56日後の植物体について、撮影によって外部調査を行った結果、B区において主茎の伸長および開花数の増加が認められた。

1-1. 総発蕾数

光照射処理終了後における、測定した開花数と発蕾数を図2に示した。全ての光処理区で発蕾と開花が認められたが、中でもB区で総発蕾数が最も多くなった。混合光照射区においては、青色光の割合が多いR12 B88処理区で総発蕾数が多い傾向が認められた。



図1 播種後56日の光照射処理後の植物体

左から右へ：FL、B、R12B88、R25B75、R50B50、R75B25、R88B12 およびRの処理区。

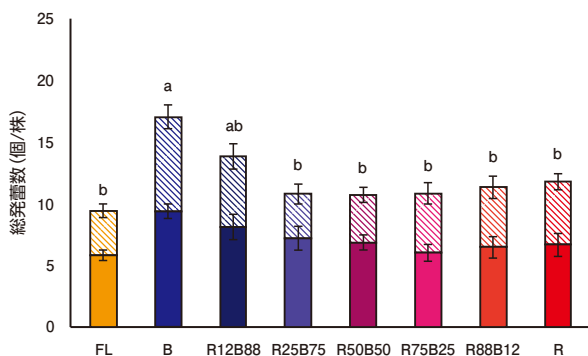


図2 各光照射後の総発蕾数

各棒グラフの上部の斜線部分は開花数、下部は発蕾数を示す。左からFL、B、R12B88、R25B75、R50B50、R75B25、R88B12およびRの処理区の結果である。総発蕾数（開花数+発蕾数）においてTukey-Kramer検定を行った。Tukey-Kramer検定：異なる英字間は有意差を示す ($p < 0.05$)。

1-2. 発蕾所要日数

光照射処理期間中に発蕾が確認できるまでの播種からの日数を測定した結果を図3に示した。最も早く発蕾が認められたのはB区であった。混合光照射区間では有意な差は認められなかったことから、混合光の赤青比が異なることによる発蕾所要日数への影響は見られなかった。

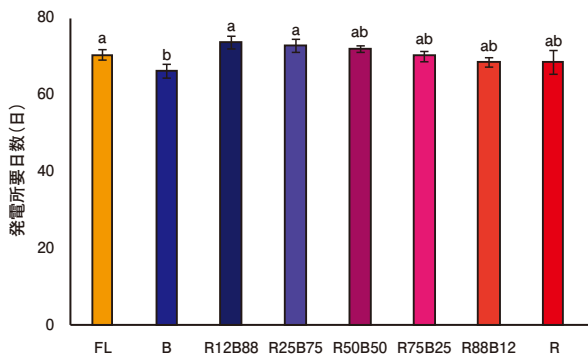


図3 各光照射時の発蕾所要日数

左からFL、B、R12B88、R25B75、R50B50、R75B25、R88B12およびRの処理区の結果である。Tukey-Kramer検定：異なる英字間は有意差を示す ($p < 0.05$)。

1-3. 主茎長

光照射処理終了後に測定した主茎長を図4に示した。B区で顕著に高い値、R88 B12の処理区で最も低い値となった。青色光を多く含む処理区で節間が伸長する傾向が示された。

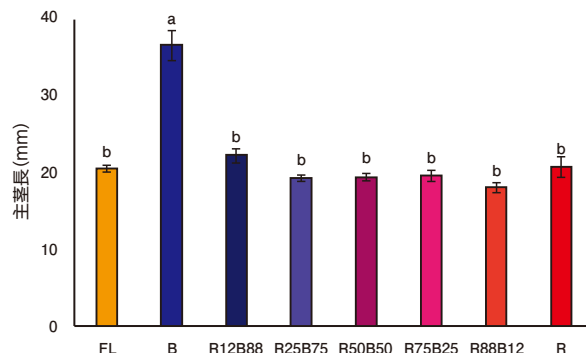


図4 各光照射後の主茎長

左からFL、B、R12B88、R25B75、R50B50、R75B25、R88B12およびRの処理区の結果である。Tukey-Kramer検定：異なる英字間は有意差を示す ($p < 0.05$)。

1-4. 側枝数

光照射処理終了後測定した側枝数を図5に示した。R88 B12区で最も高く、B区で最も低い総側枝数が示された。赤色光の光強度が高くなるに伴って側枝数が増加する傾向もしくは、青色光によって側枝の形成が強く抑えられる傾向が示された。

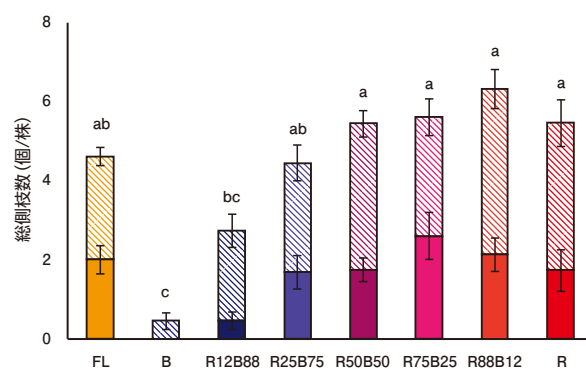


図5 各光照射後の総側枝数

各棒グラフの上部の斜線部分は花芽がある側枝数、下部は花芽のない側枝数である。左からFL、B、R12B88、R25B75、R50B50、R75B25、R8 B12およびRの処理区の結果である。総側枝数（花芽のある側枝+花芽のない側枝）においてTukey-Kramer検定を行った。Tukey-Kramer検定：異なる英字間は有意差を示す ($p < 0.05$)。

1-5. 乾物重量

光照射処理終了後の植物体の乾物重量を図6に示した。B区では地上部乾物重量が高いが、地下部乾物重量は低くなること示された。これは青色光によって主茎が伸長したことによる影響であると考えられた。混合光

照射区については赤青比による影響の明確な傾向は認められなかった。

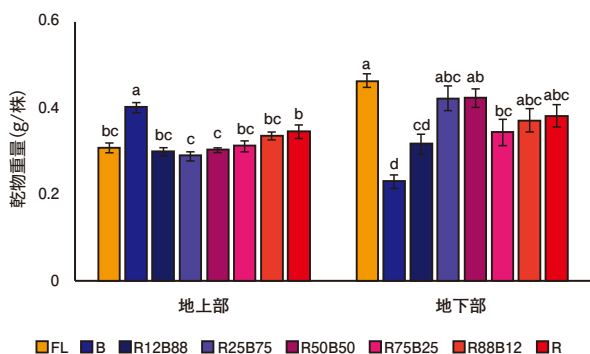


図6 各光照射後の乾物重量

左からFL、B、R12B88、R25B75、R50B50、R75B25、R88B12およびRの処理区の結果である。Tukey-Kramer検定：異なる英字間には有意差を示す ($p < 0.05$)。

2. 遠赤色光による影響について

遠赤色光は花芽形成や生育に影響を与えることが知られている。本実験では混合光または赤色光に遠赤色光を追加して光照射を行った。また、遠赤色光の照射強度や時間によって影響の強さが異なるため、混合光に追加して照射する遠赤色光の光強度が異なるRB+FR区とRB+LFR区およびEOD-FR処理を行ったRB+EOD-FR区とR+EOD-FR区を設定した。R/FR比はRB+LFR区とR+FR区が5:1になるよう調整した。また、RB+FR区とR+FR区で追加する遠赤色光が同じ光強度になるように設定した。その結果、RB+FR区とR+FR区のR/FR比はそれぞれ5:2と5:1になった。

各光照射処理を行ったエキザカムの様子を図7に示した。播種56日後の様子を培養管外から撮影した。遠赤色光の照射を行うことで主茎が伸長する傾向が観察された。RB、RB+FR、RB+LFR、RB+EOD-FRの処理区において他の処理区に比べ、開花数が多くなる傾向が認められた。



図7 播種後56日の光照射後の植物体

左から右へ：FL、RB、RB+FR、RB+LFR、RB+EOD-FR、R、R+FRおよびR+EOD-FRの処理区。

2-1. 総発蕾数

光照射処理終了後、測定した開花数と発蕾数を図8に示した。全ての処理区で発蕾と開花が確認された。赤青混合光、赤色光に関わらず、遠赤色光照射を追加することで総発蕾数が増加することが示された。増加の割合は赤色光に遠赤色光照射を添加した処理区で大きくなる傾向が示された。

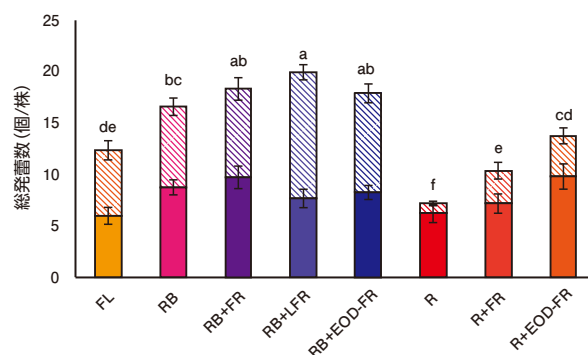


図8 各光照射後の総発蕾数

各棒グラフの上部の斜線部分は開花数、下部は発蕾数を示す。左からFL、RB、RB+FR、RB+LFR、RB+EOD-FR、R、R+FRおよびR+EOD-FRの処理区の結果である。総発蕾数(開花数+発蕾数)においてTukey-Kramer検定を行った。Tukey-Kramer検定：異なる英字間には有意差を示す ($p < 0.05$)。

2-2. 発蕾所要日数

光照射処理期間中に発蕾が確認できるまでの播種後の日数を図9に示した。遠赤色光を照射することによって発蕾所要日数が有意に短くなることが示された。また、EOD-FR処理によっても他の遠赤色光照射と同様の影響を及ぼすことが示された。

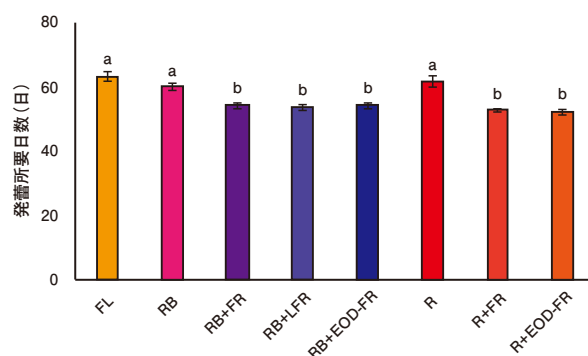


図9 各光照射時の発蕾所要日数

左からFL、RB、RB+FR、RB+LFR、RB+EOD-FR、R、R+FRおよびR+EOD-FRの処理区の結果である。Tukey-Kramer検定：異なる英字間には有意差を示す ($p < 0.05$)。

2-3. 主茎長

光照射処理終了後に測定した主茎長を図10に示した。遠赤色光照射によって主茎長が有意に伸長することが示された。RB+EOD-FR区に比べ、RB+FR区は主茎の伸長が促進される傾向が認められた。遠赤色光の光強度が高まること、照射時間が長くなることで主茎の伸長が促進されると考えられる。

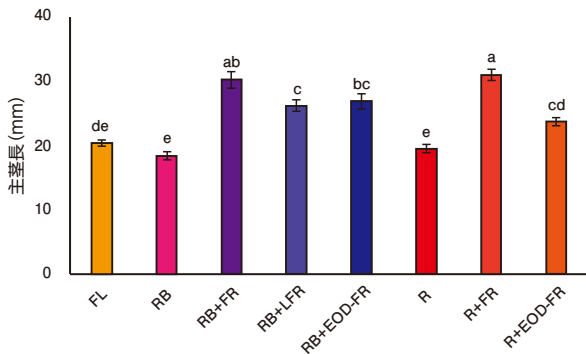


図10 各光照射後の主茎長

左からFL、RB、RB+FR、RB+LFR、RB+EOD-FR、R、R+FRおよびR+EOD-FRの処理区の結果である。Tukey-Kramer検定：異なる英字間は有意差を示す ($p < 0.05$)。

2-4. 側枝数

光照射処理終了後測定した側枝数を図11に示した。遠赤色光を照射することで、側枝数が減少する傾向が示された。EOD-FR処理は遠赤色光照射に比べ、側枝数の減少が小さい傾向が示された。これによって、遠赤色光

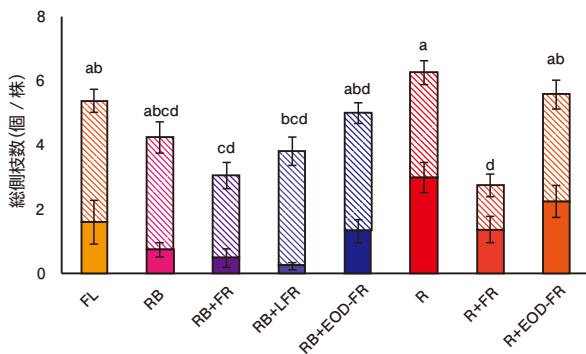


図11 各光照射後の総側枝数

各棒グラフの上部の斜線部分は花芽がある側枝数、下部は花芽のない側枝数である。左からFL、RB、RB+FR、RB+LFR、RB+EOD-FR、R、R+FRおよびR+EOD-FRの処理区の結果である。総側枝数(花芽のある側枝+花芽のない側枝)においてTukey-Kramer検定を行った。Tukey-Kramer検定：異なる英字間は有意差を示す ($p < 0.05$)。

の照射強度や照射時間によって側枝形成を抑制する効果が異なることが示された。

2-5. 乾物重量

光照射処理終了後の植物体の乾物重量を図12に示した。単色光照射区に比べ、遠赤色光照射区では乾物重量が増加する傾向が見られた。主茎が伸長したことによって重量が増加した可能性が示された。

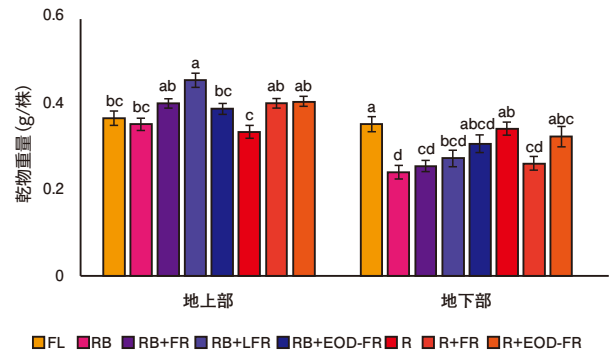


図12 各光照射後の乾物重量

左からFL、RB、RB+FR、RB+LFR、RB+EOD-FR、R、R+FRおよびR+EOD-FRの処理区の結果である。Tukey-Kramer検定：異なる英字間は有意差を示す ($p < 0.05$)。

3. 花芽形成に対する光質の影響

本実験では異なる光質の光を照射することでエキザカムの生育と開花に及ぼす影響について検討を行った。図2、図8のどちらの結果においても、総発蕾数は青色光照射によって増加した。シロイヌナズナでは、花成誘導にFlowering Locus T (*FT*) と呼ばれるタンパク質の発現遺伝子が関与し、それは葉から茎頂に転流されていることが明らかになっている。このFTタンパク質の遺伝子 (*FT*) は葉で発現し、師部を通して茎頂に運ばれると考えられている。その際には、光質の影響を受け、主にフィトクロムとクリプトクロムが関与することが示されている (Guo *et al.*, 1998)。Young (2016) によれば、フィトクロム系の光受容体の1つである phyA (phytochrome A) は遠赤色光を受容し、CO (CONSTANS) タンパク質を安定化させ、また、phyB (phytochrome B) は明期半ばにCOタンパク質を不安定化させることでFT遺伝子の発現を調節すると述べられている。クリプトクロム系の光受容体 cry2 (cryptochrome 2) はCOタンパク質を不安定化させる遺伝子を抑制することで、結果的にFT遺伝子の発現を促進することが分かっており (Guo *et al.*, 1998)、エキザカムにおいてもシロイヌナズナと同

様な遺伝子の発現過程があると予想される。混合光に含まれる赤色光により phyB が CO タンパク質を不安定化させたため、青色光に比べて総発蕾数が減少した可能性がある (図2)。

また、光形態形成が起こる光強度には一定の閾値があると考えられる。本実験の結果ではエキザカムにおいて赤色光の光強度が $12 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を下回る場合、花芽形成反応の抑制が緩和されることにより、青色光の割合が多い処理区において花芽形成が促進された可能性が示された (図2)。

図9の結果から、遠赤色光照射によって発蕾所要日数が短くなることが示された。これは図8で示された遠赤色光による総発蕾数の増加が、栄養成長から生殖成長期への移相が早まったことによる結果として表れた可能性を示している。すなわち、図8における総発蕾数の増加の理由は、生殖成長のタイミングが早まったことで、光照射処理終了まで生殖成長期間が長期化することにより総発蕾数も増加したと考えられるが、さらに生殖成長期についても遠赤色光照射を続けることにより、PHYA、PHYB のフィトクロム系の働きによる花芽分化が重なった可能性もある。このことより、総発蕾数が増加した可能性の2つが考えられた。

EOD-FR 処理と明期の遠赤色光照射処理は総発蕾数と発蕾所要日数の結果で同様な傾向を示した (図8、図9)。栄養成長期の短縮や総発蕾数の増加には、R/FR に対して可逆性が見られる II 型のフィトクロムの応答が強く関わっている。図8において、遠赤色光の照射を行った処理区と遠赤色光照射処理を行わない処理区において、総発蕾数が青色光の有無に強く影響されることが示された。このことは、遠赤色光照射の他に青色光照射が総発蕾数の増加に効果があることを示していると考えられる。

総発蕾数の増加は花芽の分化または発達が促進することで起こると考えられる。青色光受容体であるクリプトクロムはシロイヌナズナにおいて花芽形成の抑制作用を抑えることにより、花芽形成を促進することが報告されている (Cerdan and Chory, 2003)。また、エキザカムを用いた既往研究より植物ホルモンであるジベレリンが花芽の発達を促進することが示されている (鈴木, 2004)。本実験の結果では、青色光照射が花芽の分化、発達のどちらに強く関わるのかを明らかにすることはできなかった。今後、花芽の分化と発達を分離して影響を検討する実験系が必要であると考えられる。

4. 生育に対する光質の影響

異なる光質の光照射によってエキザカムの形態変化も確認された。図5の結果より、異なる赤色光と青色光の比率は総側枝数へ強い影響を与えた。側枝数は赤色光照射によって増加したか、もしくは、青色光照射により減少した可能性が考えられる。また、図11の結果から遠赤色光の照射によって側枝数が減少する傾向が観察された。これらの結果より、側枝数は赤色光照射によって増加、遠赤色光や青色光の照射によって減少することが示された。

シロイヌナズナにおいて分枝の形成は R : FR 比によって変化することが報告されている (Finlayson *et al.*, 2010)。また、青色光は FR 吸収型フィトクロムを活性化することも知られている。エキザカムの側枝数においてもシロイヌナズナと同様にフィトクロム反応の影響を受けている可能性が高い。

主茎の伸長においては青単色光照射および追加的な遠赤色光照射によって伸長することが示された (図4、図10)。これらの反応はこれまで報告されているシロイヌナズナでの結果と同様である。遠赤色光や青色光が増加することにより、避陰反応のような典型的なフィトクロム反応がエキザカムにおいても表現型として表れたと考えられる。

乾物重量について、青色光の単色光照射で地下部乾物重量が減少した (図6)。根の発達にも光質が影響する可能性が示された。しかし、本実験で用いた培地は光透過性があり、根に光が当たる実験条件であったため、今後、地上部への光照射による根への影響を検討する場合には、根に光が当たらない実験条件を設定する必要がある。図6や図12において地上部乾物重量が処理区間で有意な差があることが示されたが、光質との関連性を見出すことはできなかった。光質の変化によってエキザカムに複数の形態形成の変化が複合的に起こったことから、それぞれの条件下での乾物重量には光質による一定の傾向が見いだせなかった可能性が考えられる。

結論

エキザカムにおいて光質が植物体の生長と発蕾数と発蕾所要日数の短縮に影響を及ぼすことが示された。青色光照射によって総発蕾数が増加した。これは青色光が花成に関与すると考えられるが、花芽分化か花芽の発達のどちらか、またはその両方に関わるのかは本研究で得られた結果から明らかにすることができなかった。今後、

青色光が花芽分化または花芽の発達のどの段階に影響を及ぼすのかわらかにするためには、遺伝子レベルでの解析が必要になると考えられる。

また、遠赤色光照射によって栄養成長期を短縮し、開花時期を早めることが示された。EOD-FR処理を行うことで遠赤色光の照射量を最小限にした結果においても、明期の遠赤色光照射処理と同様の結果が示された。また、混合光中の青色光が含まれることによって総発蕾数が増加することが示され、遠赤色光の他に青色光照射によっても総発蕾数の増加に効果があることが示された。

光質がエキザカムの形態に与える影響について、側枝数は赤色光の照射で増加し、青色光、遠赤色光の照射で減少した。主茎は青単色光と遠赤色光の照射によって伸長した。側枝形成や主茎の伸長についてフィトクロム系が関与する可能性が高いことが確認できた。これらの結果は、エキザカムにおいて光質は形態形成に強く影響を与えることを示している。

本研究で得られた結果は、LEDの青色光や遠赤色光を用いて栽培を行うことにより、エキザカムの花き生産において出荷時期のコントロールに活用することができると考えられる。また、インビトロの条件下での培養実験を通して、光質によるエキザカムの花成に対する影響について明確な結果を得ることができた。今後、遺伝子発現などの検討も含め、インビトロでの実験系は、エキザカムの花成に関するメカニズムを生理学的に明らかにすることに貢献できる可能性があると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京農業大学農学部雨木若慶教授には、エキザカムのインビトロ培養について多くの助言をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- 雨木若慶・吉村奈岐・樋口春三 (1998) *Exacum affine* のインビトロ開花に及ぼす換気回数、糖濃度の影響, 園芸学研究 67 別 2, 425.
- 雨木若慶・渡邊博之・樋口春三・田中道男 (2000) インビトロにおける各種発光ダイオード (LED) 照射下でのエキザカム実生の生長と開花, 園芸学研究 69 (別 1), 341.
- 雨木若慶・渡邊博之 (2016) 異なる日長条件下での花成反応に及ぼす光質の影響, 園芸学研究 15 (別 2), 446.
- Cerdan PD. and Chory J. (2003) Regulation of flowering time by light quality., *Nature* 423 (6942), 881-885.
- Finlayson SA., Krishnareddy SR., Kebrom TH. and Casal JJ. (2010) Phytochrome Regulation of Branching in Arabidopsis., *Plant Physiology* 152 (4), 1914-1927.
- Guo HW, Yang WY, Mockler TC. and Lin CT. (1998) Regulations of flowering time by Arabidopsis photoreceptors., *Science* 279 (5355), 1360-1363.
- 堀内真麻・雨木若慶 (2006) インビトロにおけるエキザカムの生長・開花に及ぼす ABA と光質の影響, 園芸学研究 75 (1), 396.
- 川村泰司・吉原均・新居宏延 (2006) 様々な培養容器でのエキザカムのインビトロにおける生長・開花, 徳島県立農林水産総合技術センター農業研究所試験研究報告 3, 25-29.
- Komeda Y. (2004) Genetic regulation of time to flower in *Arabidopsis thaliana*., *Annual Review of Plant Biology* 55, 521-535.
- 瀬口房子 (1997) *Exacum affine* の生長と開花に及ぼす日長と光量の影響及び品種間差, 東京農業大学卒業論文, 104-105.
- 薄井邦仁・秋間和広・雨木若慶 (2007) 青および赤色 LED 照射下で培養したエキザカム実生の生長・開花と光合成速度, 園芸学研究 6 (別 1), 494.
- Young H. S. (2016) The Effect of Fluctuations in Photoperiod and Ambient Temperature on the Timing of Flowering: Time to Move on Natural Environmental Conditions., *Molecules and Cells* 39 (10), 715-721.

Effect of Light Quality on the Growth and Flowering in Seedlings of *Exacum affine* by Using *In Vitro* Culture

Chihiro Watari¹, Naoya Mori², Yukiko Tomari², Hiroyuki Watanabe¹

Abstract

It is well known that its physiological reaction by light quality differs among plant species or cultivars. Plant growth and flowering are affected by light condition, especially in light quality. The previous reports suggested that the response of monochromatic light by LEDs by using *Exacum* seedlings had been examined, however, the influence of polychromatic light had not been, yet. We investigated the effects of fluorescent light (FL) or several LED lights on the growth and flowering in seedlings of *Exacum affine* 'Dwarf Mizzet Blue' by using in vitro culture. Some of the LED lights used in experiments. They were red (R, peak wavelength 658 nm), blue (B, 444 nm), far red (FR, 730 nm) and end-of-day far-red (EOD-FR) respectively. The irradiation time of far red light for EOD-FR was 15 minutes after the end of the light period. In these results, the flower bud formation was observed under all light treatments and the number of days for flower bud formation was significantly decreased by containing FR light than FL or other light treatments significantly. The number of flower buds and flower setting were increased by light containing B and FR lights treatments than by the other lights. On the other hand, R light gradually promoted lateral shoot formation from main stems in proportion to light intensity. In our results suggested that the flower bud formation of *Exacum* was suppressed by R light. Additional B light may act as a flower bud-differentiation or development after its initiation.

Keywords: Exacum, flower bud formation, in vitro culture, LED, morphogenesis

¹ Graduate school of agriculture, Tamagawa University, 6-1-1 Tamagawa-gakuen, Machida, Tokyo 194-8610, Japan

² Biosystem & Biofunction Research Center, Tamagawa University Research Institute, 6-1-1 Tamagawa-gakuen, Machida, Tokyo 194-8610, Japan