

発光ダイオードを利用した植物の機能強化

河邊誠一郎・松尾 清子・徳田 陽祐・中村 薫*

倉敷芸術科学大学生命科学部

*京都大学化学研究所

(2006年10月4日 受理)

はじめに

発光ダイオードは、次世代の照明として期待されている。その発光色(波長)もさまざままで、赤、橙、黄、黄緑、緑、青のダイオードの他に、紫外線発光型や大出力のパワーLEDなども最近になり開発され^{1), 2), 3)}、低価格、長寿命の性質を持つことから、植物生育をはじめ、その応用範囲も広がりつつある。一方植物は生育場所の環境を読み取り、その情報を元に適切な成長を行う成長制御機構を持っている。細胞内の光受容体が一定の光の波長に反応し、その情報を元に形態形成やホルモンバランス、光合成活性などを調整、制御している。自然界においては、植物は太陽光のさまざまな波長が混ざり合った光線をうまく読み取ることで環境(気象条件など)に適応し成長しており、太陽光に含まれる赤外～紫外域までの光を適宜選別して有効に利用している。本実験で使用した赤シソが生産する色素成分(アントシアン類)や香り成分(ペリラルデヒド、リモネン)などの成分生産や成長は太陽の光に全面依存している。これらの生育に関する報告^{4), 5), 6), 7)}は多いが、蛍光灯や太陽下でのものがほとんどである。近年、発光ダイオードを利用した研究も始まっているが、植物の生長や形態の差に関するものが中心で光合成能や色素や揮発性物質などの含有成分についての研究^{8), 9), 10), 11), 12), 13)}はまだまだ少ない。発光ダイオードは、今までの照明に比較して省エネ、長寿命の他に、限られた波長の光しか出さない特徴がある。発光ダイオードのこのような性質を利用して、どのような波長の光が、植物の形態形成や含有成分の生合成に影響をおよぼしているのかを検討した。

本研究では、自作の5種類の異なる波長を発する発光ダイオードを用いて、赤シソ苗の機能強化について検討した。

実験材料および方法

1. 実験に使用した発光ダイオード(LED)

赤発光: シャープGL5UR3K1 (660nm)、橙発光: 東芝TLOH180P (612nm)、黄発光: 東芝TLYH180P (590nm)、緑発光: 日亜化学NSPG500S (530nm)、青発光: 豊田合成E1L51-3B (475nm)を使用した。

2. 植物材料

使用した植物は、我々の研究室で色素生産実験^{14), 15)}の一環として取り組んできた赤シソを実験材料とし、種子発芽・生育させた苗を使用した。シソは主に2種類あり、赤色色素を多く持つ赤シソと香辛料として利用され特徴的な香り成分をもつ青シソがある。シソ種子は、アタリヤ園芸(生産:徳島県)の品種を購入した。種子は軽くスターラーで攪拌した後、ろ紙を敷いたシャーレで発芽させた。実験に用いたシソは発芽後2ヶ月間生育させたものを(約12cm)を使用した。

(1) 栽培基本環境条件

室 温: 恒温実験室 25℃一定とした。

用 土: 10.5号ポリポットに家庭菜園用培養土(赤玉土5:腐葉土3:鹿沼土2)を使用した。

肥 料: マグアンプ 4.5 g / 1ポット、追肥として500倍ハイポネックスを2週間に1度与えた。

光条件: 蛍光灯 5000Lux (ルクス)、日立サンライン昼白色 20形 (18W7本)を使用した。

(2) 実験

発芽後2ヶ月間、蛍光灯下で生育させた赤シソを各光環境下に移し、10日間生育させ、その変化を観察した。

各LEDパネルは、赤(660nm)、橙(612nm)、黄(590nm)、緑(530nm)、青(475nm)の5種類の波長のものを使用した。

実験中、各光環境下での背丈など外見上の変化も観察した。実験終了時に各部位(葉、茎、根)にわけ重量を測定した後、葉(100g)を90%水メタノールで成分を抽出し、蛍光灯下で生育させたものと比較した。

(3) 使用する測定機器

i 分光光度計: クロロフィル(葉緑素)の660nm、アントシアニン(赤色色素)の525nmにおける吸光度(Abs)を測定した。

ii ガスクロマトグラフィー: FID方式でリモネン、ペリラルデヒドを測定した。

実験結果および考察

1. 各種光波長KED照射下でのシソ植物体の伸長

10日間の実験をおこない、光波長の違いによりさまざまな伸長量の差があらわれた。図1は、本実験の結果から出された値を平均値化しグラフにしたものである。伸長量が最も大きい結果が測定された光は青色LEDで11.39cmから22.6cmに11.21cmの成長をした。逆に黄色LEDでは伸長量が最も小さく11.24cmから13.3cmと1.79cmの増加にとどまっている。

伸長量は蛍光灯を 100 とする
と赤色光で 101、橙色光で 96%、
黄色光で 83、緑色光で 110、青
色光では 143 を示した。青色
LED、赤色 LED、蛍光灯、緑色
LED、橙色 LED、黄色 LED の
順で伸長増加を示した。この結
果から、青色光は伸長を促す成
長ホルモンの 1 種であるオーキ
シンが多く分泌される効果があ
り、そのほかの波長の光ではそれ
ほど目立った伸長量増加は確認で
きず、逆に黄色 LED 光では伸
長増加が大きく低下することが認
められた。

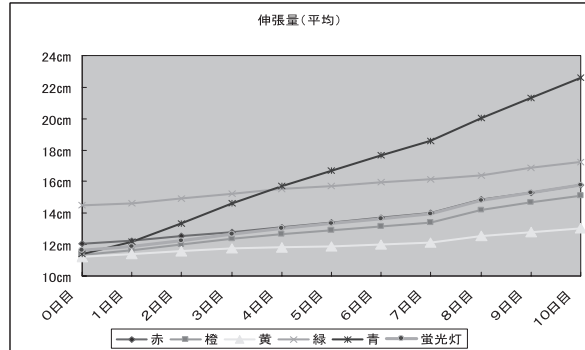


図1. 各種波長のLED光照射による赤紫蘇の伸長量

2. 照射による葉重量の変化

図2は各環境下で生育したシソの根、茎、葉の乾燥重量を計ったものである。それぞれの重量は赤LED 1,602 mg、橙LED 1,328 mg、黄LED 604 mg、緑LED 960 mg、青LED 679 mg、蛍光灯 1,347 mg であった。

図1で伸長量が大きかった青LEDでは、重量増加が小さい結果となり、物質生産があまりされていない結果となった。また赤、橙LED環境は伸長量こそ平均的な値であったが、物質生産においては茎、根に重量増加があり、特に葉はさらに充実の傾向がある。次に緑LEDは茎、根に重量増加が見られた。また蛍光灯環境の重量分布に類似していることが読み取れる。特に黄LEDは、照射後も目立った増加などは見られない。まるで成長が止まっているような印象を受ける。

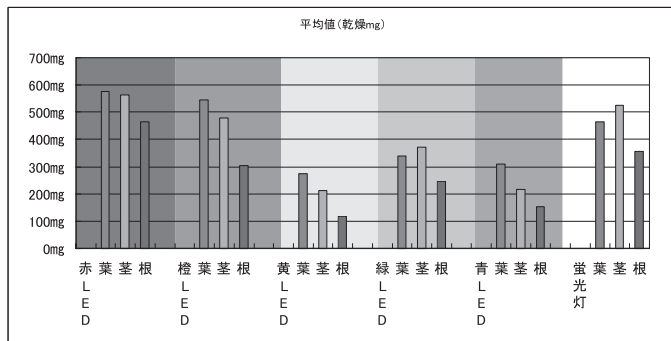


図2. 各種波長のLED照射による赤紫蘇の部位別乾燥重量

本実験で光環境の違いにより、各部位の重量が大きく変化し、異なる結果が観察された。また植物が光合成でほとんど使用されず反射している緑色光は、本実験では緑LED環境が黄LEDや青LED環境よりも重量増加が大きい結果となり予想外であった。この実験から植物は緑色領域の光波長も光合成に多少ながら利用していることがわかった。

3. 各環境の色素量

(1) アントシアン色素含有量

赤シソの光環境による色素量を測定した。赤色色素であるアントシアン色素のグラフを図3に示した。各種試料をメタノールで抽出し、250ul中のアントシアン色素を測定した。抽出液はpH3に調整した蒸留水を使用し1mlに定量した水溶液を作成した。測定は分光光度計(HITACHI U-3300)を用い、その吸光度(Abs)を測定した。図3は葉25mgあたりの含有量を表している。

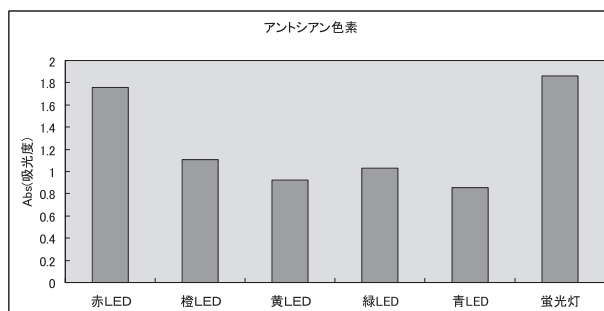


図3. 各種波長のLED光照射によるアントシアン色素の生成

各環境の平均値のグラフから、LED環境中では、赤LEDが最もアントシアン量が多く、蛍光灯に近い値となっている。一方、比較的波長の近い、橙色LED光は値が低く、赤LED光とは違った結果となった。このことから赤色光がアントシアン生成に有効に働いていると考えられる。逆に赤以外のLED光では減少傾向がみられた。特に青LED光は、赤色素の減少があり、実験中にも退色が確認されている。また橙、黄、緑のLEDでも色素が次第に薄くなってゆく傾向が観察されている。今回の実験では光環境の違いによる含有率の差が認められた。

本実験から、アントシアン色素は成熟した葉に多く蓄積する傾向が見られるが、葉が古くなりすぎると減少する傾向も見られた。

(2) クロロフィル色素含有量

赤シソの環境別の色素を測定した。光合成色素のクロロフィル色素のグラフを図4に示す。

測定はメタノール試料(1mg/90%水メタノール溶液)250ulからジエチルエーテルを用いクロロフィル色素を抽出し3mlにしたもので定量した。測定には分光光度計(HITACHI U-3300)を使用し、波長660nmでの吸光度(Abs)値を測定した。グラフは葉25mgあたりの含有量を表している。

図中で最も目に付くのは、青色LED光によるクロロフィル量の増加である。他のLED光では葉が成熟した

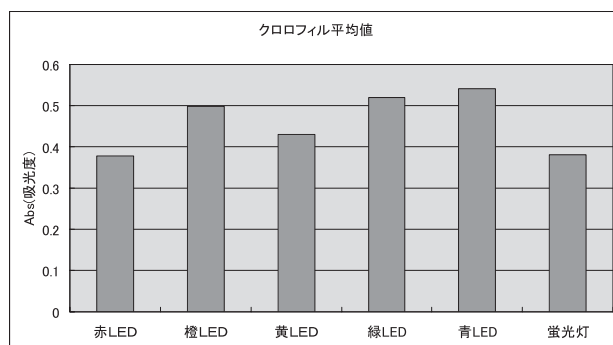


図4. 各種波長のLED光照射によるクロロフィル色素生産

頃に最もクロロフィル量が多くなり、葉が古くなりはじめた頃からしだいに減少する傾向が見られる。しかし青色 LED 光は逆に色素が蓄積され、その後半の葉では他の環境の約 2 倍近い値が出ている。各種 LED 光の中で、最も少ない値を示したものは赤色 LED 光であるが、蛍光灯と同程度の量はあった。

このデータからシソのクロロフィルは吸光度 0.38 (Abs) あたりが最も標準的な含有量ということになる。特に橙色 LED 光はクロロフィル量が多くなっており、緑色 LED 光も高い値を示している。このことから橙、緑、青色 LED の波長では必要なエネルギー確保のため光合成能力を強化する必要があったと考えられ、そのためクロロフィルを多く作った可能性も考えられる。しかし黄色 LED 光は他の光に比べ一段低い値を示している。この現象は現在検討中である。

4. 各環境の香り成分

(1) ペリラルアルデヒドの傾向

各波長の光で育てた紫蘇葉中のペリラルアルデヒド生成量を図 5 に示した。最も高い値が出たのが青色 LED 光で、365ppm。次に高い値が測定されたのは橙色 LED 光で、360ppm である。逆に含有量が最も低い値を示したのは、緑色 LED 光で、250ppm である。次に低いのは、赤色 LED 光で、295ppm となっている。蛍光灯を基準として見た場合、青色、橙色の LED 光で含有量が上昇している。また、黄色 LED 光では、減少しているものの蛍光灯光に近い数値を示している。しかし、この数値は光の種類を変える前の含有量から変化はしていないのではないかと考えられる。

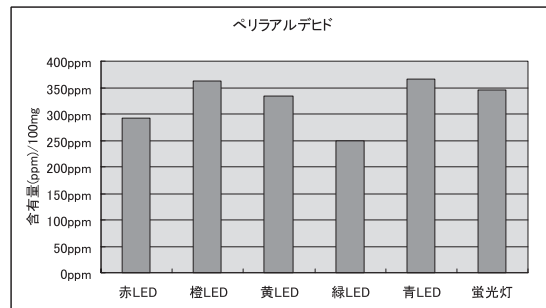


図 5. 各種波長の LED 光照射によるペリラルアルデヒドの生成

(2) リモネンの傾向

各波長の LED 照射での紫蘇葉中のリモネン生成量を図 6 に示した。赤色 LED 光の照射で、大きな影響があることが認められた。赤色 LED 光が、リモネンの生合成能力を上昇させるようで、大きな伸びを示している。他の LED 光では、リモネン含有量は蛍光灯、橙色、黄色、

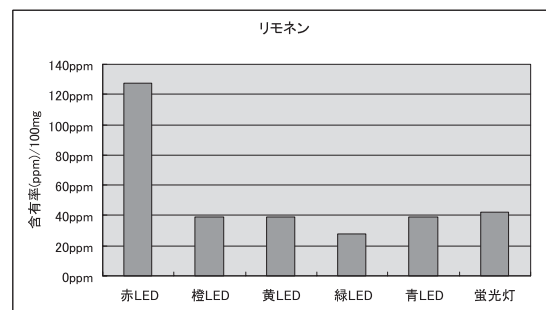


図 6. 各種波長の LED 光照射によるリモネンの生成

青色光で、ほぼ一定、約 40ppm の濃度を維持しており、赤シソではリモネン含有量に上限があるのかもしれない。ペリラアルデヒドでは高い値を示した橙色、青色 LED 光は、リモネンでは、他の LED と同じ程度の値を示して、リモネン生産にはほとんど影響が認められなかった。また緑色 LED 光ではリモネン含有量の減少が認められた。

5. 各種LED光照射がシソ植物体の生育におよぼす影響

各種 LED 照射シソ植物の生育を蛍光灯照射した場合のものと比較し、表 1 に纏めた。

さらに実際の生育状態を写真 1 および写真 2 に示した。表は蛍光灯照射した植物体を基準としている。短い期間でも光照射の効果が現れることが確認できた。

写真 1 は、青色 LED 照射後の赤シソ、写真 2 は、赤色 LED 照射後の赤シソである。照射 LED 光波長の違いがこのような形態の差を示した。青色波長では、葉は光の方向に大きく伸ばし、整った形の姿となっている。赤色波長では、背丈はあまり伸びないが、がちりとした形態を示し、葉は垂れ下がり、縮れが多くなっている。

表 1. 各種波長の LED 光照射による紫蘇葉生育におよぼす影響

	葉のサイズ	葉の縮れ	葉の固さ	葉茎の長さ	茎の太さ	外見の色素
赤 LED	大きい	非常に大きい	比較的柔らかい	長い	太い	赤紫
橙 LED	中程度	比較的大きい	柔らかい	長い	太い	赤紫
黄 LED	小さい	少ない	柔らかい	中程度	柔らかい	緑赤
緑 LED	中程度	少ない	中程度	中程度	中程度	緑赤
青 LED	小さい	小さい	柔らかい	中程度	非常に柔らかい	緑まだら赤
蛍光灯	中程度	中程度	中程度	中程度	中程度	赤紫



写真 1 青 LED 光照射下でのシソの生育



写真 2 赤 LED 光照射下でのシソの生育

結論

シソの含有成分量の増加には赤色、橙色のLED光が最も有効であった。アントシアニン類赤色素生産については赤色：660nmのLED光が特に有効であることも明らかになった。660nmの波長の光は、揮発性物質生産、色素生産ともに有効に働き、植物工場で色素生産を目的とした植物栽培をする場合、重要性が高いことが判明した。シソの香りの主成分である、ペリラルデヒドについては、橙色：612nmの波長の光が有効であることが確認されたが、赤色660nmの波長の光は、他の波長のLEDと同様にペリラルデヒドの増加にはあまり効果はなかった。しかし、もうひとつのシソ匂い成分であるリモネンに関しては、赤色660nm光が特異的に生産量を増やす効果があることがわかった。このことから、少なくとも赤色、橙色の波長の光は、植物の含有成分生産にプラスの効果があることが分かった。つまり、特定の波長の光を適宜照射することによって、植物体内の特定の成分の生産を促進することが可能であると結論される。しかし、複数の波長の光を同時に当てた場合や、今回用いた波長以外の照明での影響については、今後さらに詳細な検討を行う必要がある。

本実験の結果から、省エネルギー人工光である発光ダイオードは、植物栽培を安価で効率的に行えることが期待された。発光ダイオード：LED光の種類（波長特性）を上手に選択し、適宜利用することによって、植物の成長促進だけでなく、その形態、含有成分の生産に、特異的・効率的に影響を与えられることが分かった。人工栽培にとって重要な、周年栽培、エネルギー効率、時間的短縮、含有成分の充実（味・香り・色など）に、今後、この発光ダイオードが大きな役割を果たすものと考えられた。

参考文献

- 1) 稲美辰夫：電気回路のしくみ 18-29, (2003)
- 2) 井上誠一：身近な電子回路 (2003)
- 3) 片岡昭雄：電気基礎1、1-100 (1996)
- 4) 田村幸一、富 裕考：日本食品化学15,239-243 (1998)
- 5) 河邊誠一郎：両備理園学術報告書 7-13 (1995)
- 6) 河邊誠一郎：倉敷芸術科学大学紀要 1, 117-127 (1996)
- 7) 河邊誠一郎、伊藤雅浩、岡 豊司、村上一郎：倉敷芸術科学大学紀要 3, 105-112 (1998)
- 8) 旭 正：分子生物科学12 117-135 (1989)
- 9) 小関良宏：バイオサイエンスとインダストリー、51,17-21 (1993)
- 10) 河邊誠一郎：両備理園学術報告書 110-116 (2000)
- 11) Miyazawa M., Okuno S.: The Chemical Times 5,2-7 (2005)
- 12) Kawabe S., Fujiwara H., Murakami K., Hosomi K.: Biosci. Biotech. Biochem. 57, 657-658 (1993)
- 13) 河邊誠一郎、渡邊明美、渡瀬佳子、村上公一、細見和雄：植物組織培養、10,184-187 (1993)
- 14) Nakajima, N., Isihara, K., Kawabe, S., Furuya, T.: J. Biosci. Bioeng., 90, 347-439 (2000)
- 15) 河邊誠一郎、西村太地、江口剛史：倉敷芸術科学大学紀要 8, 115-122 (2003)

Effect of light emitting diode (LED) irradiation on *Perilla frutescens var. crispata*

Seiichirou KAWABE, Kiyoko MATSUO, Yosuke TOKUDA,
Kaoru NAKAMURA*

*College of Life Science, Kurashiki University of Science and the Arts
2640 Nishinoura, Turajima-cho, Kurashiki, Okayama 712-8505 Japan*

**Institute for Chemical Research, Kyoto University
Uji, Kyoto 611-0011 Japan*

(Received October 4, 2006)

The plant is photosynthesized in response to light. In a nature, the plant uses the sunrays with which various wavelength mingled. Until now, as artificial light, a fluorescent light is mainly used. Light emitting diode (LED) with various wavelength characteristics has been developed in recent years, and research using this has also started. However, it is mostly for the growth and the research on ingredient composition are few. The effect on the plant growth and a component was experimented, using the diode of these various wavelength. Regarding of Siso (*Perilla frutescens var. crispata*) plant, red LED (660nm) was effective for increasing volatile and pigment ingredient. The prominent effect was seen especially about production of anthocyan. About production of perillaaldehyde, the orange LED (612nm) was effective among scent ingredients. Concerning perillaaldehyde, like LED of other wavelength, red LED was not effective, however the effect is seen about production of limonene. Among the LED with various wavelength, red LED (660nm) and orange LED(612nm) has been founded to be effect in the plant growth and the increase in a quantitative formula.