

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580278

研究課題名(和文) 世界初の植物工場用の省エネ・水銀レス・低温・面光源の開発

研究課題名(英文) Development of energy saving, mercury-free, low-temperature flat-lamp for plant factory

研究代表者

島崎 一彦 (SHIMASAKI KAZUHIKO)

高知大学・教育研究部自然科学系・教授

研究者番号：20196471

研究成果の概要(和文)：

現在植物栽培用光源として多くの種類の植物育成用の光源が使用されているが、主流である HID (高輝度放電ランプ: High intensity discharge lamp) を含めいづれも、ほとんどの光源は有毒の水銀を含有しているため次世代光源としてはふさわしくない。そこで、次世代光源の一つとして開発が進められている電界電子放出型光源(FEL: field emission lamp) を地元研究機関と共同で試作し、植物育成用光源としての応用化を図った。

研究成果の概要(英文)：

There are many kinds of plant growth lamp used in crop production. Most of them include small amounts of mercury including High intensity discharge lamp (HID) lamp of this time. We developed new type of lamp (FEL: field emission lamp) for plant growth by cooperative study with researcher of local company. We successfully demonstrate the ability of new type of plant growth lamp for agricultural production.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：施設園芸、植物工場、水銀レス植物育成光源

1. 研究開始当初の背景

現在の植物生産に使用されている光源には、蛍光灯、高圧ナトリウムランプ、メタルハライドランプ、LEDなどが用いられている。その中でも現在、多くの場合蛍光

灯が用いられているが、植物に必要な赤色波長域が少なく、植物の生育にとって適切でない場合が多い。蛍光灯には水銀を含むガスがガラス管内に封入されている為、使用廃棄後の水銀の処分が問題となる。近年

環境への意識の高まりにより有害物質の使用に対する規制が法制化されてきている。こうした時流のなかで照明として広く普及している蛍光灯においては水銀含有による製造、販売、廃棄については大きく制限が加えられることが見込まれている。このため、蛍光灯／冷陰極管に代わる省エネルギーで環境負荷の少ない光源開発が世界中で行われており、その一つとしてこの問題を解決するためにLEDが植物栽培に用いられ、実用化に向けて研究が進められている。LEDは、電気の消費が少なく、電気を光に変える変換効率が高いため電気代が抑えられ、且つ長寿命である。さらに、任意の波長域の光を選択でき、植物に必要な波長の光を集中的にバランスよく照射できる。しかしながら、LED光源は他の光と光源が違い、点で発光するため照射面積は狭く、見る方向により輝度が変化するという欠点を持つ。現在、そのLEDに代わる人工光源として電界電子放出型光源(FEL: Field Emission Lamp)に関する研究が注目されている。FELの利点として、FEL内の蛍光体の種類を自由に変えて様々な波長を作り出すことができることや、紫外殺菌灯や集魚灯、さらに農作物補光灯など任意の発光光源を作成することが出来ることがある。LEDに比べて、発光効率が高く省エネルギー効果があり、光源からの発熱量が少ないという利点を持つ。また、FELは面で発光するため照射面積が広くどの方向から見ても同じ輝度を保ち、大型の平面光源でも安定した光を保つことが可能であるので農業用としての使用可能性が示唆されている。

2. 研究の目的

本研究はFEL開発に携わっている地元の研

究機関との連携により農業分野での応用化を図りたいとの動機で本研究を企画した。

3. 研究の方法

EFL光源の設計制作は高知FEL株式会社が行い発光特性の評価や、安定性、発熱などの物性を評価するとともに、研究代表者の島崎とともに植物育成用光源としての発光領域の最適化について共同で検討する。具体的には植物の発育に重要だと思われる青色、赤色および白色の光源を試作し、LEDなど他の光源と比較しながら植物育成ランプとしての応用性について検討した。

(1) 水銀レスの電界電子放出型ランプ(FEL)がリーフレタスの生長に及ぼす影響: レタス‘レッドファイヤー’種子を修正MS培地1週間育成させた後、生育のそろったものを5つずつ選び出し、同様の新しい培地に移植した。移植後、FEL(白・赤・青)、赤色LED、および冷陰極蛍光ランプ(CCFL)下で1週間生育させた。同時に $45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ のCCFLと暗黒条件も比較のために用いた。1週間後に成長量を測定した。培養条件は 25°C で24時間日長とした。

(2) 水銀レスの電界電子放出型ランプ(FEL)がシンビジウムのPLBの生長と器官形成に及ぼす影響: *Cymbidium Walz* ‘Idol’のPLBを一個ずつに切り離し、修正MS培地に置床し、FEL(白・赤・青)、赤色LED、および冷陰極蛍光ランプ(CCFL)下で6週間生育させランプ照射の効果を検討した。培養条件は 25°C で24時間日長とした。

(3) ブルースターの落蕾および落花防止に及ぼすランプの影響調査

ブルースター‘ホッピーブルー’の鉢植え株を供試した。2010年10月16日から2010年11月16日の31日間 25°C 3時間照明条件で、1処理区につき2個体とし、5処理区10個体を完全閉鎖型の室内で栽培した。処理区

として、光量を $30 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に調節した FEL (赤)、LED (赤波長 660nm、赤波長 660nm+720nm、白、青) の 5 処理区を設け、花蕾のブラスチング数と葉、分枝の茎頂部の枯死数を調査した。ブラスチングの計測の基準として、ブラスチングの症状が発生しているもので自然落下、指で触れた衝撃で落下するものとした。調査の初日に花蕾、葉、分枝の茎頂部の総数を計測し、百分率で表したもので、ブラスチング・落蕾のない割合を正常蕾率、葉の萎れ・落葉のない割合を正常葉率、茎頂部の分枝の萎れのない割合を正常な分枝の茎頂部率とした。FEL 光源、LED (赤) は高知 FEL 株式会社が開発した漏斗型 FEL、ランプ型 LED 光源を使用し、LED (白) は Iris Ohyama 製 4.8W100V を 2 個、LED (青) は Jefcom 製 1.0W100V を 10 個使用した。

4. 研究成果

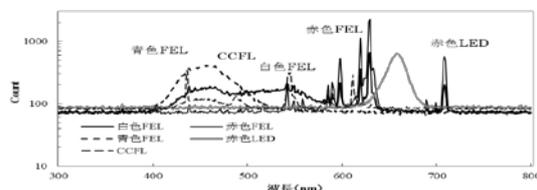
(1) 水銀レスの電界電子放出型ランプ (FEL) がリーフレタスの生長に及ぼす影響

FEL および LED や CCFL 光源の各波長分布特性を第 1 図に示した。白色 FEL の特徴としては CCFL 蛍光灯と比較して広いバンドパターンを占めている点にある。また、FEL 光源の写真を第 1 図に示した。

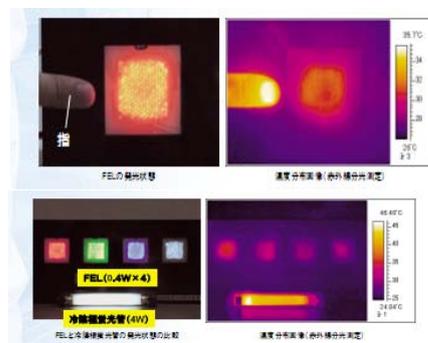
FEL 光源がレタス ‘レッドファイヤー’ の生育に及ぼす影響を第 1 表に示した。反射材としてアルミを被覆することで $8 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の各種 FEL 光源下のレタスの成長は $45 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の CCFL とほぼ同程度の成長を示した。暗黒条件で著しく抑制された以外は、葉数には処理間差はみられなかった。葉の大きさは、白色および赤色の FEL でもっとも優れ、 $8 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の CCFL よりも大きくなり、CCFL ($45 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) と同程度であった。しかしながら、CCFL ($45 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) と比べると $8 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の場合、SPAD 値はいずれ

の光源でも減少した。地上部の新鮮重は赤色 LED でもっとも増加したものの、白色および赤色 FEL との間には統計学的な差はみられなかった。

以上のことから、FEL はレタスの栽培において既存の蛍光灯に代わる省エネ型ランプとして利用できる可能性が示唆された。本研究では、FEL から得られる光強度は $8 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と非常に弱かったが、同じ光強度の CCFL と比べてレタスの成長は白色および赤色 FEL で同程度かやや向上した。CCFL もまた発熱しにくい蛍光灯であるといわれているが、FEL の方が放熱が少ない分 (第 2 図)、さらに高い省エネ効果が見込まれる。現在までに高出力で大型の FEL も開発されつつあり、今後高照度の FEL を用いたさらなる研究が必要である。また蛍光色素の種類や配合により波長分布特性を検討することでさらに植物の生長を向上できると期待される。



第 1 図. 白色・赤色・青色 FEL と赤色 LED の波長分布特性



第 2 図. FEL の外観と CCFL と比較し熱特性

第1表 レタス'レッドファイヤー'の生長に及ぼす白色、赤色および青色FELの影響

処理区	葉数	最大葉長 (mm)	葉身長 (mm)	葉幅長 (mm)	SPAD値	新鮮重 (mg)	地上部 (mg)	地下部 (mg)
FEL白	5.4 b [*]	51.5 bc	32.8 c	11.9 b	10.8 ab	140.6 ab	112.2 ab	28.4 a
FEL赤	5.0 b	60.2 c	32.1 c	9.2 ab	12.1 b	137.6 ab	109.2 ab	28.4 a
FEL青	4.2 ab	50.4 bc	29.9 bc	11.1 b	10.0 ab	101.8 ab	76.0 a	25.8 a
LED赤	4.6 b	59.7 c	27.6 bc	11.0 b	10.8 ab	147.2 b	120.8 b	26.4 a
CCFL(8)	4.4 ab	57.1 c	23.5 b	7.9 ab	8.9 a	112.8 ab	91.2 ab	21.6 a
CCFL(45)	4.8 b	41.0 b	33.8 c	10.8 b	15.7 c	128.0 ab	93.0 ab	35.0 a
暗黒	3.6 a	22.4 a	15.6 a	6.2 a	16.8 c	98.4 a	76.2 a	22.2 a

*異なるアルファベット間にはTukeyの多重検定5%レベルで有意であることを示す

(2) 水銀レスの電界電子放出型ランプ (FEL) がシンビジウムの PLB の生長と器官形成に及ぼす影響

シンビジウム (品種: Walz Idol) のプロトコーム様球体 (PLB) を一個ずつに切り離し、修正 MS 培地に置床に、FEL、LED および CCFL ランプ照射下に6週間置いた後の成長および器官形成の様相を第2表に示した。

第2表 各種光源がC. Walz 'Idol'のPLB新鮮重、PLB数、色および器官形成率に及ぼす影響

光源	新鮮重 (mg)	地上部新鮮重 (mg)	PLB数	PLBの器官形成率(%)		
				色	根	シュート+根
白色FEL	218.7 a [*]	218.7 a	7.7 a	1.4 b	60	70
赤色FEL	124.1 b	116.1 ab	5.4 a	1.7 ab	29	43
赤色LED	193.3 ab	160.3 ab	5.1 a	2.4 a	43	57
CCFL	111.7 b	107.3 b	8.1 a	1.1 b	29	29
FL20蛍光灯	136.1 ab	123.5 ab	7.6 a	1.0 b	30	50

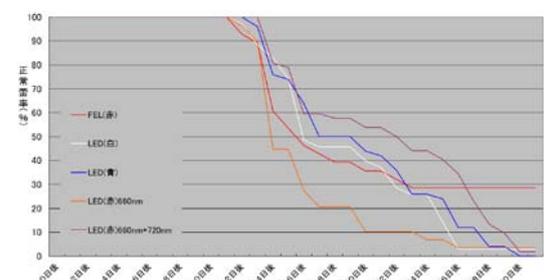
*異なるアルファベット間には5%レベルで有意差あり

培養体の新鮮重および PLB からのシュート形成は白色 FEL 照射区で有意に促進された。

この効果は赤色 LED、白色蛍光灯、CCFL よりも著しく大きく、ラン栽培での利用の有効性が示された。

(3) ブルースターの落花・落蕾防止効果
ブルースターの光照射処理後の正常花率を第3図、赤色 FEL の照射状況を第4図、青色 LED の照射状況を第5図に示した。ブルースターの正常蓄率に及ぼすランプの影響については第6図に示した。正常蓄率は FEL (赤) が他の処理区と比べ高い値が見られた。正常葉率では FEL (赤) と他の処理区との差はわずかであった。正常な茎頂部率では FEL (赤)、LED (赤波長 660nm) が高い値を示し、他の処理区と大きく差が開いた。LED における色調の違いでは、正常蓄率、正常葉率の差はわずかであったが、正常な茎頂部率では赤色が他の色調に比べ高い値を示した。LED (赤) における短波長のみと短波長と長波長の混合の違いは正常蓄率、正常葉率の差はわずかで

あったが、正常な茎頂部率では短波長のみが高い値を示した。以上のことからブルースターにおいて FEL は LED に比べプラスチングの抑制効果が高く、LED においては赤色、短波長が茎頂部の分枝の枯死の抑制効果が高いと考えられる。正常葉への影響は FEL、LED と色調、波長の違いは少ないと考えられる。このことから、短波長赤色 FEL を使用することによる秋から冬季の光量の低下を補う補光の効率的なプラスチング抑制の可能性が示唆された。



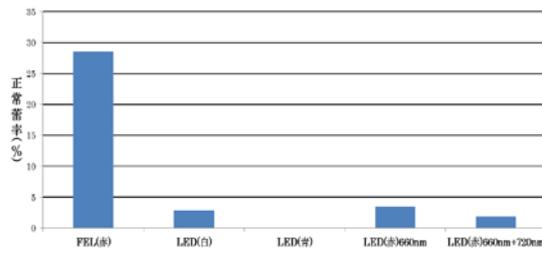
第3図. 種々のFEL、LEDランプがブルースターの正常蓄率(%)に及ぼす影響



第4図. 赤色 FEL 照射試験



第5図. 青色 LED 照射試験



第6図. ブルースターの正常蓄率に及ぼすランプの影響

本研究においては開発中のランプの輝度が低く植物工場による生産の実証試験には至らなかったが、レタス、ランの栽培試験、切り花の生理障害の抑制試験の結果から完全閉鎖環境において新規に開発した次世代ランプFELは植物の成長や生理障害回避のために必要な光をLEDや白色蛍光灯と比べて効率的に照射できることが確認できた。現在、さらに高輝度の直管型FELを作成中であり、新規の試作品が完成すれば屋外試験も可能である。この試作品完成後は植物工場による栽培の目的のみならず園芸作物生産全般に活用可能なランプとしての機能を実証する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. Kazutoshi Hamada, Kazuhiko Shimasaki, Yasuyo Nishimura, Hideki Sasaoka and Kazuhito Nishimura. Applicability of A Newly Developed Field Emission Lamp for Proliferation of Cymbidium PLB In Vitro. Acta Horticulturae. (In Press) (査読有)

[学会発表] (計 5 件)

1. 浜田和俊、島崎一彦、西村安代、笹岡秀紀、西村一仁. 水銀レスの電界電子放出

型ランプ (FEL) がシンビジウムのPLBの増殖と器官形成に及ぼす影響. 日本生物環境工学会, 福岡市. 2009年9月5日

2. 浜田和俊、島崎一彦、西村安代、笹岡秀紀、西村一仁. 水銀レスの電界電子放出型ランプ (FEL) がリーフレタスの生長に及ぼす影響. 日本生物環境工学会, 福岡市. 2009年9月5日

3. Kazutoshi Hamada, Kazuhiko Shimasaki, Hidei Sasaoka and Kazuhito Nishimura. Applicability of A Newly Developed Field Emission Lamp for Proliferation of Cymbidium PLB In Vitro. 6th International Symposium Light in Horticulture. つくば市. 2009年11月15日~19日

4. Kazutoshi Hamada, Kazuhiko Shimasaki, Yasuyo Nishimura, Haruka Oyama-Egawa, Katsuhira Yoshida. Effects of Red, Blue and Yellow Fluorescent Films on Proliferation and Organogenesis in Cymbidium and Phalaenopsis PLB in Vitro. 6th International symposium on Light in Horticulture. つくば市. 2009年11月15日~19日

5. 大岡昌洋, 笹岡秀紀, 島崎一彦. 植物育成用FELの評価. 第24回ダイヤモンドシンポジウム. 東京. 2009年11月17日~19日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島崎 一彦 (SHIMASAKI KAZUHIKO)
高知大学・教育研究部自然科学系・教授
研究者番号：20196471

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし