単色光メタルハライドランプおよび高圧ナトリウムランプが 植物の生育におよぼす影響¹⁾

ト 蔵 健 治*

弘前大学農学部*

昭和 44 年 12 月 9 日受付

I. 緒 言

高圧放電灯の技術が進歩したことにより、水銀放電管中に金属ハロゲン化物を添加し、金属特有のスペクトル線を効率よく発する光源が開発され、単色光としてかなり強いエネルギーが得られるようになった⁽¹⁾。植物栽培用人工光源としては 600~700m μ にピークがあればエネルギーが大きいほど乾物生産が増大すること⁽²⁾が明らかなので、これらのメタルハライドランプの他に、発光効率がとくに優れ、600m μ 付近にピークをもつ高圧ナトリウムランプをも含めて、植物の生育に対する効果

を調べた。対照として 5,000°K に近い連続スペクトルを発するメタルハライドランプを用いた。これらそれぞれの光源が乾物生産に関係する葉の形態・生理的特質に注目するだけでなく、伸長やクロロフィル以外の色素の生成についても検討を加えた。

II. 実験材料および方法

a) 人 工 光 源

本実験には Fig.1 に示すような分光エネルギー分布をもった光源を用いた。In は沃土インジウムを加えた青色単色光のインジウムメタルハライドランプ（以下 In-ランプ）であり、451.1m μ に主波長があり、植物の

Fig. 1 Relative spectral energy emission of metal halide lamps and high pressure sodium lamp

Na : High pressure sodium lamp

Sn : Yôkô lamp

In : Indium iodide lamp (blue light)

Li : Lithium iodide lamp (red light)

¹⁾ Takeharu BOKURA*: Effect of Monochromatic Metal Halide Lamps and High Pressure Sodium Lamp for Promoting Plant Growth.

* Faculty of Agriculture, University of Hirosaki, Hirosaki, Aomori-ken.

生育に影響する全波長域 (300~800m μ) の 90% 以上の光エネルギーが 400~500m μ の間に含まれている。Li は沃土リチウムを加えた桃色光のリチウムメタルハライドランプ（以下 Li-ランプ）で 600~700m μ の間に全波長域の 55% 以上の光エネルギーが含まれている

が、他に緑 (500~600 m μ)、青色光 (400~500 m μ) の部分にもかなりのエネルギー分布があり、インジウムランプほど単色光としては完全なものとはいえない。Na は高圧ナトリウムランプであり、ナトリウムがD線の発光を吸収し全波長域に広がる分子スペクトルを発光するようにしたもので、光エネルギーの大部分は 550~650 m μ の間にあり、黄白色を発する (以下 Na-ランプ)。このランプは単にナトリウムランプと呼ばれているものとは異なり、垂直に点灯するようになっている。Sn は 5,000°K に近い連続スペクトルを発するメタルハライドランプであり、一般には陽光ランプと呼ばれ (以下 Sn-ランプ)、従来の水銀ランプ等より植物の育成に対し優れていることが指摘されている⁽⁴⁾。なお、本実験に用いたランプは、ナトリウムランプが交流、200 V、400 W であるが、他の 3 種類のメタルハライドランプはいずれも交流、100 V、400 W である。これらのランプを広照形の反射笠に組合せ、栽培用床の中央 1m 上にセットした。床面における光量の分布は、ランプの直下の直径 15~20 cm とコーナーの部分を除くと全体でほぼ均一になり、この範囲の平均的な光エネルギー (380~710 m μ) は、In-ランプで 0.038 cal/cm²·min あり、以下、Li-ランプ: 0.034 cal/cm²·min, Sn-ランプ: 0.039 cal/cm²·min, Na-ランプ: 0.099 cal/cm²·min となり、高圧ナトリウムランプは他のメタルハライドランプに比べ 2.5 倍以上の光量があった。

b) 植物の栽培

先に使用した栽培用床⁽⁴⁾にキウリ、インゲン、エンドウの種子を直接播種したほかに、イネはバット (26×20×5) に播種し、1 cm に湛水したものを床面に置いた。また、カリウスは良く揃った苗をプラスチックの鉢に植えたものを用いた。室温が 25±2°C に制御された室で実験を行ない、1 日 24 時間の連続照明で栽培した。液肥をしてプラント・フードを灌水した。

III. 実験結果および考察

a) 乾物生産

それぞれの光源のもとで 40 日間生育させたキウリ、インゲンの乾物生産量および光-乾物生産系に関係する要因の一部について測定した結果を Table 1 に示した。2 種の植物で共通している点は、乾物生産の面で Li、Na-ランプのものが他の 2 つのランプのものより大きいことであり、Li-ランプでは葉面積が最大になるのに対し、Na-ランプでは最小であった。また、Na-ランプで生育したキウリ、インゲンの茎は、他のランプで生育した植物よりも太く、かたい傾向があった。キウリの葉数は、Sn、Li-ランプのものは大差がないが、Na-ランプのものは葉数の分化は早い、1 枚の葉としての面積の増

Table 1 Dry weight yield of cucumber and bean

Cucumber				
	Sn	Li	In	Na
Dry weight (mg)	189	235	145	289
Leaf area (cm ²)	53.0	74.6	38.4	30.4
Number of leaf	2.4	2.8	1.8	3.2
Leaf thickness (μ)	228	253	210	220
Thickness of palisade tissue (μ)	57.5	57.9	47.7	60.0
Chlorophyll (mg/100 cm ²)	2.93	3.50	4.10	2.38
N. A. R*	1.97	2.27	2.13	4.46
Photo-N. A. R**	2.78	3.06	3.97	3.67

Bean				
	Sn	Li	In	Na
Dry weight (mg)	873	1,162	803	1,106
Leaf area (cm ²)	99.5	221.2	155.7	152.9
Chlorophyll (mg/100 cm ²)	8.17	7.13	6.95	10.37
N. A. R*	1.59	1.44	1.10	2.21
Photo-N. A. R**	2.28	1.93	1.80	0.99

* $\times 10^{-2}$ mg/cm²·day

** $\times 10^{-3}$ mg/kcal·cm²·h

加は抑制されており、逆に、In-ランプのものは葉数の分化が抑制されているため、全体としての葉面積が小さい。葉の厚さは、Li-ランプのものがとくに大きかったが、乾物生産量とは直接の関係がなく、むしろ、葉の表面にある柵状組織の厚さと相関関係がある。クロロフィル含量は In-ランプのものがとくに大きく、Na-ランプのものが最小であり、Na-ランプを除き、他の 3 つのメタルハライドランプのうちでは光-純同化量との間に深い関係があることが認められた。これは 3 種のランプの光量がほぼ等しいので、光がクロロフィルに吸収されて光合成に利用される効率が等しいことを示しているものと考えられる。しかし、Na-ランプでは、クロロフィル含量が少ないにもかかわらず、光-純同化量の値が大きいことは、他のランプより光量が 2.5 倍以上も大きいことによるものか、あるいは、550~650 m μ にピークがあることによるものかは明らかでないが、いずれにしても、光の乾物生産への利用がクロロフィルに吸収されるということ以外の作用が考えられる。これは、キウリとインゲンの乾物生産における光利用の面で、とくに異なる点と考えられる。インゲンの場合は、Na-ランプで生育したもののクロロフィル含量がとくに多かったにもかかわらず、光-純同化量の値は最低であり、他のランプの約半分であった。Fig. 2 にも示すように、発芽後 30 日目から 40 日目の乾物生産量と葉面積の増加の関係からも明らかのように、キウリにおいては、受光面積 (葉面積) の増加に対し乾物生産量は著しく増加し

Fig. 2 Relation between leaf area and dry weight of cucumber and bean

ている。インゲンにおいては、その傾向がかなり小さくなるとはいえ同様であり、Na-ランプに生理的に特有な反応を起こさせる作用があると考えられる。この反応が、葉における光の吸収とか、CO₂の拡散速度などの要因以外に、CO₂固定の複雑な機構⁽⁵⁾に関係があるものと推察されるが、充分な検討はなされていない。いずれにしろ、Na-ランプのもとで生育したキュウリの個体当りのクロロフィル含量(クロロフィル含量 mg/cm²×葉面積 cm²)が少ないにもかかわらず個体の乾物生産が大きいのは、この特有の作用によるもので、光-純同化率が大きいのは、この作用の結果をも含めた見掛けの値である。インゲンにおいてはこの作用の影響は小さく、光-純同化量の値も小さいので、この場合、光効率が悪いが、ランプからの光量が大きいことが乾物生産量を大きな値にしているものと考えられる。3種類のメタルハライドランプでエネルギーレベルがほぼ等しいので、乾物生産では可視部全域にわたって連続スペクトルを発するSn-ランプよりも、赤色部にピークをもつLi-ランプのほうが優れていた。これは単色光蛍光灯を用いた実験結果⁽⁶⁾と良く一致しており、Li-ランプは赤色部だけでなく青色部にもかなりのエネルギーがあることから、青色光と赤色光を合わせもった光源であり、植物栽培用人工

光源として優れている点である。植物育成用蛍光灯は一般照明用蛍光灯と比べスペクトル分布の点で優れていたが、発光量が少なく、植物栽培専用の人工光源として問題が残されており⁽²⁾、リチウムを用いたメタルハライドランプも発光量は良いとはいえないが、スペクトル分布の点で植物育成用蛍光灯より546mμを主体とした緑色部(500~600mμ)のエネルギーが相対的に少ないことが乾物生産をより高めているものと考えられる。

b) 伸 長

各種光源のもとで15日間生育させた、わい性エンドウの第3~6節間について、光が節間伸長におよぼす影響について検討した(Table 2)。Sn-ランプでは節間伸

Table 2 Effect of monochromatic light on elongation of internode in dwarf pea

	Sn	Li	In	Na
Internode-3rd	1.3(cm)	1.1	1.3	1.0
4th	1.1	1.0	1.2	1.0
5th	1.5	1.2	1.5	1.3
6th	1.7	1.5	1.6	1.2
Total leaf area	17.8(cm ²)	15.5	15.4	14.5

長、葉面積の増加ともに優れていたが、Na-ランプで生育したものは節間伸長、葉面積ともに最小の値であった。青色光(In-ランプ)と赤色光(Li-ランプ)が節間伸長におよぼす差異は小さく、わずかに青色光で伸長が大きいだけであった。これは以前にカラーランプ(三菱製)を用いて行なった実験結果⁽⁷⁾とかなり異なる結果である。これは、赤色カラーランプとLi-ランプでは、前者の方が赤色として純粋であり、後者のように青、緑色部にエネルギー分布がかなり認められる不純な赤色(桃色光)などのランプの光質の差異によるものか、あるいは、カラーランプを用いた実験と本実験では、光量の値が2倍以上異なることによるものかは今後興味ある問題と考えられる。

また、日本のイネ5品種と外国のイネ1品種をそれぞれの光源のもとで生育させ、第2葉鞘の伸長におよぼす影響を調べた(Table 3)。その結果、Sn-ランプのものが最大の値を示し、In-ランプのものが最小であり、Na-

Table 3 Effect of monochromatic light on elongation in rice plants

	Sn	Li	In	Na
Rikuu No. 132	5.9(cm)	6.3	4.3	5.6
Norin No. 17	5.1	5.2	3.5	5.0
// No. 24	6.1	6.0	4.3	5.8
Tonewase	5.1	4.7	3.6	4.4
Kinmaze	4.7	4.5	3.4	3.7
Kaladumai	7.5	6.8	5.8	7.2

length of 2nd leaf sheath

ランプでは品種によりかなり差異がある。エンドウの節間伸長の場合と同様に、以前にカラードランプを用いて行なった実験⁽⁸⁾と比較するため、青色光 (In-ランプ)

Fig. 3 Relation between blue and red light on elongation of the 2nd leaf sheath in rice plants

(132: Rikuu No. 132, 17: Norin No. 17, 24: Norin No. 24, T: Tonewase, Ki: Kinmase, Ka: Kaladumai)

Fig. 4 The absorption spectra of solution extracted metanol-hydrochloric acid in coleus leaves.

で生育したイネの第2葉鞘の長さを縦軸に、赤色光 (Li-ランプ) のものを横軸にとると、日本のイネの5品種については、 $y = 0.7x \pm 0.05$ の範囲にあり (Fig. 3), 先の報告とまったく同様な結果が得られた。これは、イネの伸長反応が赤色カラードランプと異なり、Li-ランプに、青・緑色部に輝線のあることや、光エネルギーが大きくなったこととは無関係であることを示しており、エンドウの節間伸長とイネの葉鞘の伸長とは、光反応系に大きな差異があることはこの点からも察せられる。

c) 色素の生成

カリウスを 30 日間、各光源のもとで生育させたが、Sn-ランプのものの生育がとくに良く、In, Li-ランプのものは大差がなかった。しかし、Na-ランプのものは草丈が低く葉に凹凸が多かった。これらの葉をメタノール・塩酸で抽出し、スペクトルグラフによりクロロフィル以外の色素について検討してみた (Fig. 4)。カリウスの赤・紫色の美しい色彩は、アントチアン系の色素であることが知られており、530 mμ のピークについてみると、赤色の葉におけるこの色素含量は、 $In > Li > Na > Sn$ であったが、葉に紫色の模様のあるものでは、 $Sn > Na > Li$

$> In$ と、逆にアントチアン系の色素は少なくなっていた。それぞれのスペクトル分布をもった光源により植物を栽培すると、アントチアン系の色素含量が異なることは明らかにされたが、それぞれのスペクトルがどのような反応系に関与するかを明らかにすることはできなかった。さらに、これら4種類の光源でカリウスを栽培した場合、とくに顕著にあらわれるものは、290 と 320 mμ 付近にピークをもつ色素であり、3種類のメタルハイドランプで生育したものより、Na-ランプで生育した植物体にこの色素が非常に高濃度で含まれている。とくに赤い葉のカリウスの場合には、その傾向が一段と明確であり、他のメタルハイドランプのものより約 30% 多く生成されているが、アントチアン系の色素や、その他クロロフィル含量などとは直接、関係がなさそうである。

この 290 と 320 mμ 付近にピークをもつ物質が何であり、生理的にどのような意味をもつものであるかについては現在なお検討中であり、この物質が、Na-ランプで植物を栽培した場合、カリウス以外の植物についても同様な傾向があるかは、今後、研究を続けたい。

実験を行なうにあたり御協力をいただいた東京芝浦電気株式会社照明研究所の笠原、白石、河本氏、および同社中央研究所の杉山氏に感謝の意を表します。また、クロロフィル、色素の測定を行なうに

あたり御援助いただいた弘前大学農学部、福重助教授に感謝の意を表します。

Summary

Plants were grown under the illumination of Yôkô lamp, Indium iodide lamp, Lithium iodide lamp, or High-pressure sodium lamp. Cucumber and bean plants gave maximum dry matter accumulation under the illumination of Li- or Na-lamp. Yôkô lamp stimulated the growth of internode and leaf area in rice and dwarf pea and Na-lamp retarded their growth. Coleus plants grown under Yôkô lamp gave maximum elongation and formation of anthocyanins, but less formation of pigments having absorption maximum at 530 m μ . Sodium lamp inhibited the elongation of stem and formation of anthocyanins in Coleus plants.

(Received December 9, 1969)

文 献

- (1) 野村誠夫 1968 メタルハライドランプ. 照明学会雑誌 52 (11): 29—34.
- (2) ト蔵建治 1968 植物育成用蛍光灯に関する試験. 生物環境調節 5 (2): 29—33.
- (3) 水野秀夫 1968 ナトリウムランプ. 照明学会雑誌 52 (11): 35—40.
- (4) ト蔵建治 1968 高圧放電灯が植物の生育におよぼす影響. 生物環境調節 6 (1): 29—33.
- (5) Wareing, P. F, *et al.* 1968 Rate-limiting processes in photosynthesis at saturating light intensities. *Nature* 220: 453—457.
- (6) Dunn, S. and Went, F. W. 1959 Influence of fluorescent light quality on growth and photosynthesis of tomato. *Lloydia* 24 (4): 302—324.
- (7) ト蔵建治 1965 単色光がエンドウの蒸散作用におよぼす影響 (第2報). 生物環境調節 3 (3): 25—29.
- (8) ト蔵建治 1967 イネの葉の伸長に関する光反応系について. 植物学雑誌 80: 272—278.