単色光がエンドウの蒸散作用に およぼす影響 (第1報)*

ト 蔵 建 治*

東京大学農学部農業工学科**

I 緒 言

高等植物に対する単色光の影響は光合成・光形態形成・長日効果などにそれぞれ特異な作用があり、単色光のスペクトルおよびエネルギーの両面から研究が進み、最近ではこれらの単色光が光化学的に作用する系路も次第に明らかにされている⁽⁵⁻⁷⁾。

植物に光が照射されたとき短時間のうちに生ずる大きな生理作用は光合成および蒸散作用といわれ、気孔によるガス交換である。

光合成については単色光のスペクトルおよびエネルギーの影響については数多くの研究が行なわれているが^(4, 17)、蒸散作用に関する正確な研究は少なく⁽⁸⁾、植物体の水分収支を支配する蒸散作用と単色光の関係は無視できない。

本報告は厳密に測定し、規定されたいろいろな波長特性をもつ蛍光灯をエンドウに照射したときの蒸散量の変化を調べ、蒸散作用におよぼす光の狭い波長領域と分光エネルギーの影響について研究した。なお、今後はこれらの光がいろいろな生育時期の水分収支におよぼす影響について研究を行なう予定である。

II 実験方法および材料

1. 光源と照射装置

本実験に使用した単色光としては可視部にそれぞれ青色・緑色・赤色のスペクトルをもつ3種の蛍光灯(三菱製カラーランプ FL-40-BF, FL-40-GF および FL-40-RF)であり、比較のために波長領域の広い(4,000~7,000 Å)昼色光蛍光灯(東芝製 FL-40 D)を用いた。これらの光源の分光エネルギーを分光放射計⁽¹⁴⁾により1mの距離から測定した結果は表1と図1のごとくなり、

表 1 各蛍光灯の波長別エネルギー値

波 長 範 囲	昼 色 光 FL-40 D	青 色 光 FL-40-BF	緑 色 光 FL-40-GF	赤 色 光 FL-40-RF
3,380—4,070 Å	0.57*	0.24	0.16	0.00
4,070—4,580	4.07	2.15	0.32	0.07
4,580—4,980	3.40	2.30	0.03	0.00
4,980—5,470	2.50	0.35	3.90	0.00
5,470—5,840	3.25	0.12	0.39	0.00
5,840—6,310	1.90	0.00	0.04	0.07
6,310—7,050	0.33	0.03	0.01	3.70

* : $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{at}/1\text{m}$

図 1 各ランプの光エネルギー分布曲線

3種の単色光の波長範囲をそれぞれ青色光(4,000~

* Takeharu BOKURA: Effect of Wave-length of Light on Transpiration of Pea. I.

** Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Tokyo.

1. 空気浄化装置 2. 入口温度計エレメント 3. 攪拌用ファン 4. 拡散板
 5. チャンバー 6. 出口温度計エレメント 7. ガスメーター 8. 吸引用ブローアー
 9. 温度自記記録計 10. 素焼円筒 11. 定水位タンク 12. 貯水タンク
 13. テレバーム微圧差発信器 14. 増幅器 15. ホットメーターリレー 16. 電磁弁
 17. 微圧差記録計 18. 蛍光灯 19. タイムスイッチ 20. ビニール製の袋
 21. ランプ冷却用ブローアー 22. スイッチボックス

図 2 実験装置概略

5,000Å)・緑色光 (5,000~6,000Å)・赤色光 (6,000~7,000Å) と規定し照射エネルギーを決定した。

以上の光源を照射装置 (図 2) のランプハウスに設置して点灯本数および植物からの距離をかえて、照射エネルギーの調節を行なった。なお植物体の受ける全照射エネルギーは植物体中央部に当たる床面上 60cm の場所にゴルチンスキー型放射計において全照射エネルギーを測定した (表 2)。

一般に蛍光灯の性能は周囲の諸条件に影響され、とくにスペクトル組成は温度変化が大きいので、蛍光灯にはたえず一定温度の空気 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) が一定量、均一にあたるよう照射装置の構造には十分に注意を払った。すなわち $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の空気をダクトを通じ吹出させビニール布のフクロに掛け、拡散板 (穴あきボード) で分散させ各蛍光灯にこの空気が均一にあたるよう強制通風冷却を行なった。

2. 蒸散量の測定

植物体からの蒸散量の決定にはいろいろな方法があるが、主として空気中の水蒸気量の変化として測定する場合が多い^(1,2,10,12)。

筆者の使用した方法はニッケル抵抗測温体を用いた乾

湿球式乾球湿球差方式により、加藤氏、他の装置を基本としてチャンバーの出入口の空気中の絶対湿度の変化を正確にとらえ蒸散量を決定した。

測定器とくに湿球部にダストが付着しないように、空気取り入れ口にはグラスファイバーを使った浄化装置を用い、チャンバーの出入口には拡散板 (穴あきボード) を用い、ダクト付近の単位面積当りの穴数をかげんしてチャンバー全面に空気が均一に流れるよう考慮してある。実測によるとチャンバー内の空気の流れは約 1 cm/sec であり、空気がよどむ可能性があるのでファンで攪拌し、見かけの空気の流れを 10 cm/sec とした。ダクト内の湿球部における空気の流れは約 5 m/sec とし湿球部の誤差をなくした。

また湿球部の水供給には定水位装置を使用して長時間絶えず湿球が形成されるよう留意した。さらに湿球部からの蒸発により見かけ上蒸散量に影響を与えることが考えられるが、湿球部からの蒸発量はせいぜい 4 g/24hrs であり、植物からの蒸散量 (10 g/hr 以上) に比べると、きわめて微量であるため無視した。この方法で絶対湿度を測定する過程における誤差は温度計によるものであり、乾球温度測定および乾湿球温度差の測定精度はともに 0.1°C であり、この場合の相対誤差は約 1.5% となる。

チャンバーの大きさは $55 \times 70 \times 120 \text{ cm}$ とし気密に十分に注意を払い、隔壁天井は透明ビニール板 (波長 3,000~8,000Å における透過率約 90%) を使用し透光

表 2 チャンバー中央における各人工光源の全エネルギー測定結果

照 射 条 件		星 色 光	青 色 光	緑 色 光	赤 色 光
点灯本数	照射距離*	4,000 ~7,000Å	4,000 ~5,000	5,000 ~6,000	6,000 ~7,000
3	5 cm	0.033**	0.023	0.023	0.029
7	15	0.051	0.028	0.032	0.041
7	5	0.070	0.036	0.034	0.049

* ランプと隔壁天井の距離。

** cal/min·cm²。

性をよくし、他の壁面および床面は白色塗装することにより反射を増した。

本実験では装置を一定温度に保った室内に設置し周囲からの影響を防ぎ、空気浄化装置を通じて取り入れた新鮮空気は $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 以下の周期的変動をもっていた。また点灯により光源からの放射により、光源の種類・数により異なるが装置内の空気温度は $1 \sim 3^\circ\text{C}$ 上昇した。この程度の温度変化はこの時の蒸散作用にほとんど変化を起こさないものと考えられる。装置を設置した室内は湿度制御は実施していないが、ほぼ一定に近く通常の空気湿度 $40 \sim 80\%$ の範囲では空気の流れが一定なら蒸散量の変化は小さいので、あまり問題ではない。

3. 供試植物と実験方法

供試植物としてエンドウ（品種：仏国）を用いたが、これは人工光源のもとで充分生長する⁽¹⁰⁾ ことと、 20°C 前後での生長率が大きく着花するまで一定である⁽⁸⁾ こと、およびすでに単色光下で生育することが確かめられていることによる。なお種子の重さと生長率に相関があるので市販の種子を重量選別して用いた。

エンドウの栽培には内面ペンキ塗り木箱（ $45 \times 35 \times 15 \text{ cm}$ ）に砂を入れ、水耕液を素焼円筒を用いた自動灌水装置により灌水しながら生育させた。自動灌水装置は図2のようであり、植物の吸水により素焼円筒が負圧を生ずると定水位タンクより一定の水が送られ、もとの圧力にもどる。この時の定水位タンクに生ずる負圧を記録する一方、電磁弁の作動により定水位タンク内に貯水タンクから給液するようにできている。エンドウは前記装置に9点、1点1本植えとし、支柱により茎を直立させた。播種後40日間、自然状態で生育させたが、この頃の生長量は3cm/日であり、草丈80cm程度のものを実験に供した。なお土壌面はビニール膜にコロジオンを塗った膜で被い、植物体付近の隙間はワセリンで封じた。

以上の供試植物をいったん昼色光蛍光灯のもとで明期—16時間・暗期—8時間のサイクルで3日間処理し、所定の単色光のもとで明期—4時間・暗期—4時間のサイクルで9回のべ3日間処理した後、蒸散量を測定した。また光源を変える時は、この光に充分適応させるため4時間—4時間サイクルを3回繰返し、ブランクテストを行った後、データを取った。

以上のように植物生育・光・温度などの環境条件をできるだけ一定にした環境調節装置により本研究を実施した。

III 実験結果および考察

3種類の単色光を照射したときのエンドウ9個体についての蒸散量を測定した。蒸散量の経時変化は図3の

図3 単色光と蒸散量（エンドウ個体）

とくになる。単位波長幅の等エネルギーのもとでの変化をみると明期と暗期とでは明確な差があり、それぞれの波長が蒸散作用に影響していることがわかる。これらの単色光のエネルギーを太陽光に比較してみると、表3のようになり、本実験に使用した人工光源の光量は自然光と比較すればかなり小さい。

表3 太陽光の分光エネルギー

波 長 範 囲	太 陽 光*	人工光源と太陽光の%
4,000~5,000Å	0.19 cal/min·cm ²	12~20
5,000~6,000	0.19	12~20
6,000~7,000	0.19	13~27

*：太陽高度 30° 、 $0.3 \sim 2\mu$ におけるエネルギー $1.14 \text{ cal/min} \cdot \text{cm}^2$ の場合とする。

分光エネルギーと蒸散速度の関係は図4のように、ある照射エネルギー以下では短い波長での蒸散速度は大きくなっている。たとえば光エネルギーが $0.03 \text{ cal/min} \cdot \text{cm}^2$ における蒸散速度は青色光がもっとも大きく 23.8 g/hr 、緑色光 20.6 g/hr 、赤色光 15.0 g/hr の順となっている。また光エネルギーがこれよりやや大きいとき ($0.035 \text{ cal/min} \cdot \text{cm}^2$) には青・緑色光がほぼ等しくなり、赤色光に対し30%以上大きくなる。

図 4 各単色光を照射した場合のエンドウの蒸散速度とその光の強さとの関係

以上の結果から考察するとそれぞれの波長の光が熱エネルギーに交換されるばかりでなく、何らかの特別な生理作用の結果が蒸散速度に変化を与えるものと考えられる。これを葉の吸収スペクトルについて考察すると、葉は葉緑体の吸収帯とよく似ており^(11,13)、青と赤の部分に強い吸収帯があるにもかかわらず、赤の光では蒸散速度が小さく、緑色光のように葉に強い吸収帯のないところでも蒸散速度が大きいことがわかる。したがって蒸散作用は葉における光の吸収とは直接的には関係がないように思われる。しかしこのスペクトル別の蒸散速度の差異が植物の生理現象に、いかに影響するかについて検討することは、蒸散作用の生理的意義が確立されていないことから、現在のところ困難である。

一方、 $4,000\sim 7,000\text{\AA}$ の昼色光ではエネルギーが $0.05\text{cal/min}\cdot\text{cal}$ 以上になると蒸散速度が大きくなるが、それ以下のところでは非常に小さい。これを単色光と比較すると等エネルギーでは蒸散速度が小さいことがわかる。DUNN and WENT⁽⁴⁾ は単色光が昼色光より乾物生産が大きいことを報告しており、これらの結果からみても単色光が植物の種々な生理作用におよぼす影響は重要であり、特定のスペクトルがとくに強く植物を刺激することがわかる。

この研究では単色光を照射したが、その時間が比較的短時間（4時間）であるので、長期間植物がこれらの光のもとにおかれた場合、蒸散作用にどのような変化が起こるかを他の生理的・形態的变化とを合わせて各生育時

期別にこれらのスペクトルに対する反応を研究する必要がある。

IV 結 言

光の波長領域・分光エネルギーと厳密に規定した光を照射してエンドウの蒸散作用を調べると、青・緑・赤色光の順になり、とくに赤は前二者に比べ小さい。これらの光は $0.03\text{cal/min}\cdot\text{cm}^2$ の小さいエネルギーでも充分蒸散作用に影響をおよぼすことがわかる。

葉における葉緑体の反応とは無関係に単色光は蒸散作用に影響する。

単色光と等エネルギーのもとでは昼色光の蒸散速度は非常に小さい。このことから特定の波長幅の光が、とくに強く植物を刺激することがわかる。

しかし、これらの単色光と蒸散作用の差異が植物の他の生理現象にいかに影響するかを検討することは今のところ困難である。

指導と校閲を賜った東京大学農学部・杉二郎教授、立花一雄助教授、香川大学農学部・井上裕雄助教授に深甚の謝意を表する。また分光エネルギーの測定にあたり指導を賜った日本専売公社中央研究所・田中純生研究員に感謝の意を表する。

文 献

- (1) ANDERSSON, N. E. and HER, C. H. 1954 *Physiol. Plantarum* 7: 753—767.
- (2) BRASTAD, W. A. and BORCHARD, T. 1953 *Rev. Sci. Instr.* 24: 1143.
- (3) DENMAN, H. L. and LONG, I. 1959 *J. Sci. Instr.* 26: 77—79.
- (4) DUNN, S. and WENT, F. W. 1959 *Lloydia* 22: 302—304.
- (5) FRANK, B. S. 1964 *Ann. Rev. Plant Physiol.* 14: 293—329.
- (6) 福田育二郎 1964 植物生理 4: 28—38.
- (7) HENDRICKS, S. B. and BORTHWICK, H. A. 4: 28—38. *Environmental Control of Plant Growth*. (EVANS, L. T., Ed.) Academic Press.
- (8) HIGHKIN, H. R. 1956 *Plant Physiol.* 31: 399—403.
- (9) IWANOF, M. A. and THINMA, M. F. 植物と水、マキシモフ著：野口弥吉監修 (1959).
- (10) KAMIYAMA, K. 1951 *Geophysical Magazine* 23: 59—62.
- (11) KASANAGA, H. and MONSI, M. 1954 *Jap. J. Bot.* 14: 286—288.
- (12) 加藤一郎 1960 日作紀 28: 286—288.
- (13) 西崎友一郎 1964 植物生理 4: 2—8.
- (14) 杉二郎ら 1962 日本専売公社中央研究所研究報告 104: 14—29.
- (15) VAADIA, Y., RANET, F. C. and HAGAM, R. M. 1963 *Ann. Rev. Plant Physiol.* 14: 265—292.
- (16) VEEN, R. V. and MEIJER, G. 1959 *Light and Plant Growth*: 108—116. Philips Technical Library.
- (17) VINCE, D. Hort. Sci. 31: 16—24.