光 刺 戟 の 二 重 性 に つ い て*

遠 藤 沖 吉

(東北大学園芸試験地)

On the duality of light stimulation. C. ENDOU.

光週期問題或は、作物学的光成長(植物生理学的生長の意味ではない)の問題を考察する上に光の刺戟に対する予備知識がなければならない。この方面の基礎的知見が乏しい爲に従来一般に良く知られている如く甲論乙駁の論議が多い。私は最近甘藷の茎葉で光を遮断した際に起る急激な変化(off-effect)を計測する方法を見出した。更に基礎的な知見を得る爲に荳科植物に於て実験を進めて見たのであるが当初は結果は思わしくなかつた。郡場博士から酵母の刺戟効果如何のテストを勧められ刺戟生理学では常型と考えられない微生物の生理学的実験を行つてみた。即ち酵母、カビ類、細菌類の多数につきいわばモデル的研究の意味で実験を進めてみたところ、土壌放線菌の2, 3のものが好適な資料を与えてくれた。それはある条件の下では青色と赤色が判然と逆反応を示し、白色光及赤色光は明瞭な off-effect を現わす。然も是が量的に計測出来たのである。又赤色自体強さにより二重の効果を生ずることがわかつた。この原理から荳科及甘藷に就いての光効果をいま一度解析してみたところ、結局葉緑系の反応や順応現象と光刺戟の効果が混るが爲に従来光効果の分析が興味を惹くに至らなかつたのではないかという結論に至つた。この off-effect の存在は受光時間の過剰に依る効果を説明する有力な資料であり又所謂光抑制及徒長機構を知る上に大切な手がかりともなろう。この研究の模様を下に略述する。

材 料 及 方 法

甘藷及荳科植物は刺戟を傳導する能力を持ち合せて居る爲光刺戟の効果を計測するには甚だ都合の良い材料ではあるが、同化作用の影響が計測上の障碍となつて居る。単色光及 off-effect の効果が規則正しく得られない。緑色植物の茎葉で比較的良好な結果を得た荳科植物、あかぎ及どくだみの場合を茲に説明する。これ等茎葉に対する光効果は葉柄の頂部に一方の銀線電極を巻き是より約 15 cm 乃至 20 cm 離れた茎に接して KCl 綿に他方の電極を巻いて鋭感電流計に導く。Actinomyces の場合には寒天培養基(肉汁+葡萄糖)上の菌体(発芽後3日~5日の下面に銀線を置き他方の電極は菌体のない部分の培養基(巾 0.5 cm 長さ 5 cm)の端に 1/50 mol の KCl 綿をつけこの下面に接触せしめ両電極間の無菌寒天は2枚の硝子で約 1 mm のギャップにあたるようにする。計測の方法は5秒乃至 10 秒毎に検流計の変化を読みとる。

結 果

先づ光刺戟の基本的な反応を明瞭に示すところの Actinomyces に就いて観察結果を解説して高等植物の場合を考察してみたい。

Actinomyces に青色光線を与えると光の強弱に関らず第1図に見られる様に赤色光線と逆の方向に電流が流れる。一般に青色の刺戟は陰性興奮を起すが赤色は陽性(荳科植物)、茲では青色に依つて起る電位の変化を陰性と約束する。

青色光線では 500 Lux 以上の強さでは時として陽性の変化が後に現われることがあるが、是は培養条件が好適でない場合に起る。(第1図A)普通の条件では青色光線では光を遮断しても赤色光線の場合の如く急激な電位変化(off-effect)は現われない。青色の場合も共に刺戟の繰り返しには一定の恢復期間を要する(3分乃至5分)(同C)。1時間以上実験を繰り返す時は30分の恢復期を要するが、Actinomyces では茎葉と異り1時間以上実験に供する時は殆んど光効果は目立たなくなる。

*昭和 25 年 4 月 9 日 第 57 回講演会に於て発表 同日受理

第1図 単色光の特異性

第2図 光の遮断効果(Actinomyces roseus)

照射時間 (秒)	65	150	250	700 (Lux)
連続 (30秒)	21.5	22.0	9.0	2.0
0.5 0.5	12.0	13.5	5.9	4.5
0.5 5.0	5.0	7.0	9.5	12.5
0.5 10.0	4.0	5.5	4.0	15.5
1.0 1.0	16.0	25.0	7.5	6.0
1.0 5.0	12.0	17.0	16.5	4.0
1.0 10.0	7.0	13.5	4.0	3.0
5.0 1.0	25.0	18.0	6.0	—
5.0 5.0	28.0	35.0	4.0	-3.0
5.0 10.0	40.0	45.0	9.0	-11.0
10.0 5.0	41.0	40.0	4.0	—
10.0 10.0	43.0	56.0	8.0	±0
10.0 10.0	35.0	—	2.0	-3.0

第1表 断続照明の効果(電位変化の大きさ)

如き感を与える。この現象は莖葉に対する光効果の場合良く見られる事である。これは光効果を解析する上に甚だ重要な事である(第4図)。又赤色光線に依つて持続しつゝある反応は青色に依つて容易に中断したり抑制することが出来るが、緑色では困難である(第1図)。黄色では勿論不可能である。(この現象は光抑制の基本機作を表現するものではないかと思われる。)

上述した現象を基礎として多細胞緑色組織の光効果を考察する事は、モデル実験として意味もあり又現象の解析に種々役立つ事ではあるが、一般生理現象の一環として見做すにはどうしても色々な条件との関係が必要である。実際のこの細菌の生育条件と光効果の関係をみると甚だ面白い事が見出された。その最も著しいことは温度条件である。この細菌は 35°C を超えると発育不良となり生理的にも活動を停止する。25°C~30°C に於て好適な発育を行う。光刺激も 30°C 以上の環境では青色光線に対して陰性を、赤色に対しては反応が顕著で

赤色光線が強い場合に初め陰性に現われ、た電位変化は1分乃至2分後に徐々に陽性に変化することが多い。1000 Lux 前後では最初から陰性に反応を現わす場合が多い。200 Lux 以上の光では青色と赤色は陽性陰性の中間に反応が現われ両者の特異性が失われる。(第1図E)

赤色光線は 50 Lux 前後で陽性の反応が現われ 200 Lux 以上ではその効果が目立たなくなる(第2図)。光が強いと前述の如く陰性陽性いづれとも判断のつかない場合

が多いが、どちらかと云えば陽性に転移する場合が多い(第1図I)。然し培養条件に依つては、常に陽性の反応のみ現われ、斯る場合は光を遮断した場合の効果が顕著である(第2図A, B及C)。この off-effect はある程度迄照射時間の長さに比例して持続時間が長くなり、その曲線は昇降を続けて現位置には還らない場合がある。弱光線で5秒乃至10秒程度の照射では完全に可逆的である。250 Lux をこえると単一の刺激ではこの off-effect は現われにくい(第2図及第1表)。

断続照明に依つてこの陽性の効果が現われ易い事は上記の事実から当然予定されるが、事実断続的の刺激では可成り強い刺激(700 Lux~1000 Lux)で現われ全色光でも容易にこの種の効果を出す事が出来る(第1表及第3図)。

65 Lux の弱光では各照明時間は5秒以上を要し光の強さを増すと次第に照明時間を短縮することが出来る。700 Lux では1秒以上の照明時間では効果がない。恰も強さ×時間量が或る程度一定の値に近づくごとく観がある。この様な現象は緑色光線に於ても現われるが青色光線では現われ難い。培養条件に依つては青色光線でも時として斯様な現象を起す場合も見られた。

茲に興味あることは、赤色光線を重ねて刺激した後青色光線(50 Lux 乃至 100 Lux)を加えると赤色同様の陰性を現わす事である。青色が赤色を代用して居るかの

はない。これに反して $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ のもとで 30 時間から 40 時間培養のものが最も陽性反応及 off-effect を生じ易い。72 時間以上では漸時この効果がうすれるのは細菌の形態や生長過程にも依るのであろう。更に重要な事は一旦 20°C 以下に 1 日間置いたものは刺戟時の温度 30°C で非常に著しい陽性波を起す事である。而もこの陽性波は 1 分間の照射で 3 分乃至 5 分間持続することもある。 30°C 恒温培養のものは反応は弱い。

5 日間培養のもので已に赤色効果(陰性)が現われなくなつた菌体にペプトン液或は葡萄糖液を微量添加すればこの赤色効果が現われる。但し青色光線による反応は現われない。 $1/100 \text{ mol}$ の KCl に依つて青色赤色共に無力となる。勿論斯様な液の添加には対照実験を重ねた。

さて次に茎葉の場合を上記の現象を標準のひな型として説明して行こう。甘藷の場合(太白) 10 時間以上 12 時間暗室に置いたものでは($15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$) 上記赤色効果(陽性)が現われるが、光の強さは 50 Lux 以下でも起るがさほど顕著ではない(第 5 図)。赤色も青色も同様の反応を示す事が多く同一照度では赤色の方がはるかに効果が多く断続照明の効果は起らない。又 off-effect の反応は赤色光線に依つて見られるが放線状菌の場合と同様弱光か又は短時間の照射を必要とする。明るい場所に置いたものでは赤色の陰性反応が起り難い。少くとも 2 時間以上の暗順応が必要である。受光量の少いどころだみでは 150 Lux 以下の赤色光線では全く放線状菌と同様に off の反応を示し、ただ赤色の反応が良く現われる。この発現条件は不明である。大豆、小豆及おじぎ草では $2000 \text{ Lux} \sim 3000 \text{ Lux}$ 程度の光に順応せしめた場合に

(1 週間~2 週間)赤色効果が良く現われる(第 6 図)。

茲に問題となるのは、緑色光線の場合であるが甘藷の場合は赤色と同程度の強さでも (700 Lux) 青色より弱い反応を示し $150 \text{ Lux} \sim 200 \text{ Lux}$ では殆んどその効果は認められない。然るに 150 Lux 以下では微弱ではあるが陽性の反応を現わし、断続照明に依つて放線状菌と等しく可成り顕著な陽性波を生ずる場合が見られ、殊にあかぎでは是が甚だしかつた。又非常に特異な現象は緑色に依つて数回 (30 秒照射で 3 分間おきに加えた後、赤色光を加えると赤色光の効果が極めてはつきり現われることである。この反応は 2, 3 回続くのみで消滅する。これは土壌菌に就いて青色光線が赤色により刺戟の後に逆反応即赤色反応を与えたと全く相似の現象であつて、重要な意義を持つものである(第 4 図)。

以上の結果は陰陽両反応が決定的に規則正しい反応を常に示すとは限らないが更に暗順応期間を種々変えて刺戟を与えて見るとこの現象がはつきりする。萱科の場合を例にとると(小豆及おじぎ草) 5 分間の暗順応で

第 3 図 断続照明の効果

第 4 図 光刺戟の二重性(陽性色の挿入に依り陰性色が陽性に転換せる例を示せるもの)

第 5 図 光の遮断効果(甘藷)

第 6 図 光の遮断効果

第7図 光刺激の二重性 (Actinomyces Roseus)

は最初陰性に反応が現われ後陽性に転ずる事が常である(第6図A, B及D)。刺激間隔を5分から10分に延長すると陰性反応が減じ陽性が増す同C。更に20分間に暗過程を延長すると陰性を現わさず陽性のみが長く続きその変化は顕著である(同F及G)。

甘藷苗を2週間短日処理(8:16)したものと等日処理(12:12)した場合を比較してみたが、青色光線と赤色光線の反応に差異が見られず微弱な陽性波が短日処理のものによく現われた。温度及乾濕條件に依る変異の方が受光條件に依る差異よりも著しいので、尙精密な実験の必要が感じられた。本研究は他の作物を用いて尙詳しい実験を重ねて見たい。ただ第7図に示した如く単色光に依り二重の作用が互に相殺し合い抑制を行つて居り又赤色その他の一つの色でも強弱に依つて相殺が行われ種々の曲線を組合せると理論的な曲線に近い色々の相殺曲線が得られることは事実である。

Résumé

The questions of photoperiodism and light inhibition have provoked much discussion among physiologists.

In order to dispose of these vexed problem of long standing, we must grasp firmly the conception of light effects.

In this paper we made an effort to treat this tangled question from an entirely new angle, and to investigate the phenomena from the electro-physiological side.

The results obtained were the following:

1. Studying the light effects upon actinomyces it was found that the specific effects of wave-length were obtained at different intensities.
2. Irradiation with short wave light caused negative electromotive force while red light produced the potential change of opposite sign. With regard to the so-called excitement, the blue light has the most sensitive property.
3. As seen from figures presented above, actinomyces showed also significant responses after cessation of red light at low intensities of light. The color reactions are not independent, but exert some influence on each other.
4. We found that this off-effects were produced by release from counter-action motivated by long and short wave light with varying its intensities. This finding may be valuable contribution the crop physiology.
5. Analogous phenomena were observed among several plants. Which may probably conceal some of multiple excitements. Such complex phenomena of light inhibition in the crop may be also interpreted in terms of certain interaction taking place in the tissues stimulated by light.

From our results we could enter upon the theoretical phases of the problem of light stimulation. As yet we have done no more than touch this subject.