光刺激による茸(舞茸)の生体電位反応(第二報) —刺激波長と生体電位との関係—

平間淳司・高橋直樹・宮本紀男・三浦宏康・田澤信二*

金沢工業大学工学部 921 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘 7-1

*岩崎電気株式会社 361 埼玉県行田市富士見町 1-20

Bio-Electric Potential under Light Stimuli of *Grifora frondosa*. (Part 2)
—Relationship between the Light Wave Length and the Bio-Electric Potential—
Junji HIRAMA, Naoki TAKAHASHI, Toshio MIYAMATO, Hiroyasu MIURA, Shinji TAZAWA*

Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ohgigaoka, Nonoichimachi, Ishikawa 921, Japan

*Iwasaki Electric Co., Ltd, 1-20 Fujimicho, Gyouda, Saitama 361, Japan

Abstract

We previously reported the bio-electric potential of *Grifora frondosa* under light stimuli.

In the present paper, we report a study of the relationship between the bio-electric potential and the wave lengths of light stimuli under constant temperature and humidity.

It was found that the bio-electric potential increases under wave lengths between 400 nm and 700 nm, that is, there is a large surge in the bio-electric potential in the blue light region.

緒 言

近年、人工栽培による茸生産が盛んに行われていることから最適成育環境条件の探求が重要である。しかし、それらは現在では現場の経験則によるところが大きく、科学的な調査はあまり行われていないのが現状である。

茸の成長には、一般に温度・光・湿度あるいはガス組成(O_2 , CO_2 など)、および培地の栄養条件などの種々の外部環境条件が関与することが知られている¹⁾。これらの諸条件での最適成育条件を確立することで、茸工場における栽培促進やランニングコストの削減などの効果を期待することが可能である。

ところで、光合成が関与していない舞茸でも、特に光刺激の種類、すなわち、波長や光量子量の違いなどにより生体電位に差異が生じることを我々は第一報としてすでに報告している^{2,3)}。このことから、舞茸の成長に起因する細胞の活性化と密接な関係があると考えられる生体電位を指標とすることで、従来、経験則により行われてきた茸工場での環境調節を工学的に探索し、茸の最適成育条件の確立ができると考えている。

そこで今回、第二報として可視域における単波長光について、短波長から長波長にわたり系統

1997年 5月19日受付

1997年 8月 1日受理

的に舞茸に照射した場合、光刺激の波長と生体電位との波長依存性を検討したので報告する。

実験方法

図1は、実験システムの構成図を示す。生体電位を計測するに際し、外来ノイズを除去するために第一種接地工事を施したシールドボックス内に供試茸として舞茸を置いた。シールドボックスを室温約20°C一定の簡易環境ブース内に設置し、さらにシールドボックス内は湿度が約95%一定となるようにパソコンで加湿制御をした。なお、供試舞茸は、発芽してから6日目のものである。

プローブ電極は、誘導電極として0.5mmφの銀製針電極表面に塩化銀膜を生成したものをを用い、正極を舞茸上部の成長していると思われる部分に、一方、負極を正極の下10mmにそれぞれ深さ約10mm刺した。また、不関電極は、0.1mmφのタングステン製針電極を用い、菌床と舞茸の境目に刺した。

生体電位は、数mVで微小であることから低ドリフト・ローノイズ型差動増幅器(増幅度約2500倍)で増幅した。そして、計測に際しては生体電位とシールドボックス内の温度と湿度情報も同時にペンレコーダで記録した。

光源にはアイショートアーク型キセノンランプ(岩崎電気(kk)製: SAX 300 W)を使用した。キセノンランプから照射した光をあらかじめ光学フィルタにより紫外域(約400nm以下)と赤外域(約750nm以上)成分をあらかじめ除去した後、干渉フィルタ(東芝硝子(kk)製)を通過させることにより照射する光を単色光にした。そして、その光を集光レンズで集光し、光ファイバを介してシールドボックス内の舞茸上部に照射した。なお、今回使用した干渉フィルタの特定波長 λ は、約400~700nmで約20nmステップの延べ10種類とした。ただし、いずれの刺激波長についても光量子量は $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 一定とした。その理由は、第一報での予備的な実験結果を踏まえ、今回設定した光量子量で計測される生体電位のS/N比は十分に確保できると考えたことによる。

図2は、光刺激の提示の時間構造を示す。舞茸に電極を刺した後、あらかじめ約6時間恒常暗状態を保ち、その後、各波長に対して90分毎に照射と暗状態を繰り返し、一回の実験につき延べ36時間(6h+3h×10種類の波長分)とした。なお、同一の個体につき3回ずつ繰り返して実験を行った。また、毎回最後の刺激波長(10種類目: 687nm)まで実験が終了する毎に、最初に

図1 実験システムの構成

Fig.1 Block diagram of experimental equipment

図2 光刺激の提示順序の時間構造

Fig.2 Timing of the light stimuli

提示した刺激波長(1種類目: 402 nm)で再度計測を行い, 最初と最後との生体電位がほぼ同一であることを確認しながら実験を行った。

結果と考察

図3は2種類の代表的な生体電位波形を示す。図の縦軸は生体電位を示し, 横軸は時間を示す。同図(a)は $\lambda=443$ nm, (b)は $\lambda=595$ nmの光刺激を与えた場合, 刺激波長の差異による生体電位の変化が対称的な場合の例を示す。すなわち, (a)は光刺激に顕著に生体電位が反応を示した場合であり, 一方, (b)では光刺激にほぼ無反応な場合である。また, 同図上部には湿度と温度の変化も示し, 計測中は設定値一定であることが分かる。

ただし, 生体電位は同図(a)中に示すように光刺激を与えた後, 定常に達するまでの電位差を δ_{ON} , 逆に光刺激を停止した後, 定常に達するまでの電位差を δ_{OFF} として定義し, 測定の指標とした。これらの結果より以下のことが分かる。

同図(a)では光刺激に対して, δ_{ON} で1.38 mV, δ_{OFF} で1.52 mVとなり, 光刺激に反応していることが分かる。一方, 同図(b)では光刺激に対し δ の変化がほとんど観測されず, 光刺激波長の差異により δ に影響を与えることが分かる。なお, これらの結果については, 別の個体(3個体)を含めほぼ同様な実験を延べ11回行い, それらの結果において符号検定した結果, 危険率5%で有意差があり刺激波長443 nmでは生体電位が発生することが明らかとなった。

ただし, 他の刺激波長においても同図(b)に示すように生体電位にわずかな変化はあるが内因性リズムのような変化(数10分を周期とするほぼ正弦波的な緩やかな変化)も観測される場合もあったが, その際に δ の測定は内因性リズムに該当する成分(生体電位に比べて内因性リズムの電位は最大でも約1割以内)を除去して測定した。

図4は $\lambda=400\sim 700$ nmに対し計測した δ の変化, すなわち波長依存性の結果の代表例(1回目のデータ)を示す。これらの結果より以下のことが分かる。

図3 生体電位波形(代表例)

図4 生体電位の波長依存性(代表例)

Fig. 3 Waveforms of the bio-electric potential Fig. 4 Relationship between the bio-electric potential and the wave lengths of light stimuli

δ_{ON} と δ_{OFF} のいずれの場合にも δ が大きく変化する波長域は、約 400~500 nm(青色域)であり、500 nm 以上では δ の値が小さくなることから、このことから、舞茸は $\lambda=400\sim 500$ nm の光照射を行うことにより生体電位が大きく発生することから、生体内部のイオンの移動の活性化が生じたと考えられる。これらの理由を以下に述べる。

$\lambda=400\sim 500$ nm で δ が大きく現れたのは、一般の植物の葉緑体に含まれるこの波長域に光吸収特性を持つ補助色素としてカロチノイドが考えられる。本質的に茸は葉緑体を持たない。しかし、菌・藻類にもカロチノイドの存在が知られている⁴⁾。このことから、舞茸の内部にもカロチノイドのような吸収波長域をもつ光受容体のような物質が介在することにより光刺激に反応したものと推定できるので、今後舞茸の生体成分分析などで検証する予定である。また、これらの推定以外にもさらに複雑な生体電位発生メカニズムの存在も考えられるので、今後検討する予定である。

なお、2 回目と 3 回目の測定結果は、1 回目とほぼ同様に波長 400~500 nm 付近で生体電位が大きくなるような波長依存性を示したが、回数が増える毎に生体電位の値が小さくなる傾向が観測された。また、他の個体(3 個体)で延べ 11 回実験を行った結果でもこのような特性は観測され有意差(危険率 5%)があった。

ところで、今回の結果を踏まえて特に $\lambda=450$ nm の発光波長を持つ超高輝度タイプの青色発光ダイオード(LED)と従来茸工場で用いられている汎用蛍光灯とを用いて、光量子量約 $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 一定条件下で成長の様子を比較した結果、以下の予備的な知見を得た。

菌床から芽が発芽して菌傘から胞子を落とすまでの約 2 週間において、成育の顕著な差はあまり観測されなかったが、青色光源の方では全体的に褐色化する着色の促進効果がある傾向が見られた。しかしながら、これらの検証については、形態形成も含め今後の検討課題で結果がまとまり次第、編を改めて報告する予定である。

結 論

舞茸の生体電位は、波長 400~500 nm 付近の青色域の光に大きな反応を示すことが明らかになった。このような傾向は 3 個体で実験を行った結果、ほぼ同様に観測されたことから、舞茸の生体電位には光刺激の波長依存性があることが推定される。

今後、各種光刺激に対する形態形成の実験や味覚、そして生体成分分析などとの関係も検討し、今回の生体電位に波長依存性の特性を踏まえて、実際の茸工場などで特定波長で発光する光源を用いて、形態形成へ与える影響なども検討する予定である。

最後に、本研究を実施するにあたり舞茸の菌床をご提供して頂いた株式会社石川電気アグリカルチャーセンターの石川貞夫氏に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 古川久彦編: きのこ学, 共立出版株式会社, pp. 89-102(1992)
- 2) 小川・三浦・平間 他: 光刺激が茸(舞茸)の生体電位に与える影響, 日本植物工場学会平成 8 年度大会学術講演要旨集: 45-46(1996)
- 3) 小川・三浦・平間 他: 光刺激による茸(舞茸)の生体電位反応(第一報), 日本植物工場学会誌, 9 (2): 89-92(1997)
- 4) 古谷雅樹編: 光運動反応, 共立出版株式会社, pp. 112-146(1981)