茸(なめこ)における光刺激と生体電位反応(第1報) —刺激波長と生体電位との関係—

高橋直樹・平間淳司・宮本紀男・堀岡雅清*・弘田憲史**

金沢工業大学工学部 921-8501 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘 7-1

*金沢工業高等専門学校 921-8601 石川県金沢市久安2丁目270

**NBT(kk) 780-8064 高知県高知市朝倉丁390番地

Bio-Electric Potential under the Light Stimuli of *Pholiota nameko* (Part 1) —Relationship between the Bio-Electric Potential and the Light Wave Length—

Naoki TAKAHASHI, Junji HIRAMA, Toshio MIYAMOTO,

Masakiyo HORIOKA* and Norifumi HIROTA**

Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ohgigaoka, Nonoichimachi, Ishikawa 921-8501, Japan

*Kanazawa Technical College, 2-270, Hisayasu, Kanazawa, Ishikawa, 921-8601, Japan

**NBT Co., Ltd. 390 Asakurachou, Kouchi, 780-8064, Japan

Abstract

In a previous report in SHITA, we reported that the bio-electric potential of *grifora frondosa* changed under various light stimuli, that is, the bio-electric potential increased under wave lengths between 400 nm and 500 nm.

In this paper, we report a study on the relationship between the bio-electric potential and wave lengths of light stimuli for *pholiota nameko* carried out in the same way as with *grifora frondosa*.

It was found that the bio-electric potential increased under wave lengths between 400 nm and 550 nm, which is similar to the results for *grifora frondosa*.

緒 言

近年、茸が免疫増強作用や臓器疾患改善などの健康食品として注目され、茸工場での人工栽培の生産量が増加している。茸工場では生産性を高めるために、温度、湿度、空気組成、培地の成分、光照射などの至適生育環境条件の探求が重要である。しかし、従前よりこれらの諸条件は、現場の生産者の経験に頼ることが多い¹⁾ことから、我々は科学的にこれらの至適生育条件の一部について探求を行っている。すでに我々は、舞茸を用いて光刺激により生体電位が変化すること²⁾や、光刺激の波長に

よっても生体電位反応が多様に異なること³⁾、そして、光刺激波長が形態形成へ与える影響⁴⁾などを報告した。そこで今回は、人工栽培において生育には光照射が必要とされている「なめこ(*Pholiota nameko*)」を新たに実験対象として、舞茸と同様に光刺激に対する生体電位変化や、電位反応の刺激波長依存性について検討⁵⁾したので報告する。

実験方法

図1に実験システムの構成を示す。この実験システムを温度約20(°C)の簡易環境ブース内に設置して実験を行った。生体電位は微小(数mV)であり、信号電圧のS/N比の向上を計ることから、外来ノイズ除去のため

1998年12月25日受付

1999年2月23日受理

図 1 実験システムの構成

Fig. 1 Block diagram of experimental equipment

表 1 使用した干渉フィルタの波長

Table 1 Wave length(λ) of interference filters

438	540
458	559
478	630
501	677
518	

にシールドボックスに第1種接地工事を施し、さらに光ファイバ出力部分からの光刺激のみとなるようにシールドボックス全体を遮光した。

そして、シールドボックスの中に、さらに電位計測用のアクリル製計測ボックスを置き、その中に供試茸としてなめこを置いた。シールドボックス内には、温度センサと湿度センサを常設し、シールドボックス内が常に温度 20(°C)、且つ湿度 95(%)がより一定となるように、パソコンでボックス内の環境を制御した。なお、温度制御には電子式加熱・冷却素子のペルチエ素子を、湿度制御には超音波式加湿器をそれぞれ用いた。

暗箱内に設置した光刺激光源には、白色光源であるキセノンランプを使用した。キセノンランプの放射光は、可視光成分の他にも赤外線や紫外線成分を含むため、光学フィルタでこれらの成分をあらかじめ除去した。その後、ND フィルタで減光し、干渉フィルタによって刺激波長を特定した。なお、実験で使用した干渉フィルタの透過波長 λ は表 1 に示すように 9 種類とした。そして、干渉フィルタを通過した特定波長の光を集光レンズを調整して、光ファイバを介して常に光の強さ $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の約 $\phi 3 \text{cm}$ のスポット光として、なめこ上部の電極装着部分に光を照射した。なお、光の強さの設定は、後述する舞茸の光刺激に対する生体電位データ(図 6)と比較するためである。しかし、本来、光の強さを $35 \mu\text{mol}$

写真 1 なめこに電極を刺した様子

Photo 1 Appearance of experiment

図 2 光刺激提示の時間構造

Fig. 2 Timing of the light stimuli

図 3 予備実験における生体電位波形

Fig. 3 Waveforms of the bio-electric potential (Pre-experimentation)

$\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ で設定すべきだが、今回は光源装置の性能上、光の強さが最大で $25 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ が限度であった。

写真 1 は、なめこに電極を刺した様子を示す。電極は約 $\phi 100 \mu\text{m}$ の銀針電極に塩化銀膜を生成したものをを用い、誘導電極の正極をなめこ子実体の先端部に、負極をその下 1mm に、不関電極を柄の部分にいずれも深さ約 3mm で刺した。そして、測定された生体電位は、差動増幅器で約 1000~2000 倍に増幅した後、パソコンとペンレコーダで同時記録した。

光刺激の提示順序を図 2 に示す。光刺激の提示順序は順序効果を取り除くため、刺激波長の提示順序は 1 クール毎にランダム化した。刺激の提示時間は、1 種類の刺激波長に対して明暗刺激のインターバルを 30 分とした。その理由を以下に述べる。

図 3 は予備的に行った光刺激に対する生体電位の応答結果を示す。縦軸は生体電位、横軸は時間を示す。光刺

激の印加と停止直後、生体電位が反応を示し約10~15分後には、ほぼ安定になっていることから、光刺激のインターバルを30分に設定した。なお、1クルルの実験時間を9時間とし、1個体で2クルルの延べ18時間連続して実験を行った。

実験に使用した供試個体は、同一条件で作製したポット型の培地を3個体とし、発芽後の子実体の背丈が約1~2cm程度のなめこを用いた。そして、実験終了後それぞれの供試個体に対し、同一の個体で再度異なる測定部位に電極を刺し直し、のべ4回の実験を行った。

結果と考察

図4は、なめこの光刺激に対する代表的な生体電位反応を示す。同図(a)は波長501(nm)の青緑域の光刺激を与えたときの生体電位反応を示し、(b)は波長677(nm)の赤色域の光刺激を与えたときの生体電位反応を示す。いずれも図示の縦軸は生体電位(0.5(mV/div))を示し、横軸は時間(5(min/div))を示す。図中上部には計測中のボックス内の温度と湿度の変化を示す。これらの結果より以下のことがわかる。

(a)の場合は光刺激のON/OFF直後に生体電位反応が鋭敏に現れている。(b)では光刺激のON/OFFに対

して、(a)に示すほど顕著な電位変化は見られず、光刺激のON時に生体電位が時間の経過に伴い、むしろゆっくりとしたトレンド成分が観測される。なお、これらの計測中において、いずれも温度と湿度は一定であることがわかる。光刺激に対する生体電位反応の大きさを比較するための指標について以下に述べる。

図3に示した予備実験の結果を参考にするならば、光刺激開始や停止直後から電位変化がほぼ安定になるまでの時間は10分程度であることがわかる。そこで、今回は光刺激開始から約10分間を目安とし、生体電位の電位差を δON 、一方、光刺激停止から約10分間までの電位差を δOFF としてそれぞれ定義した。ただし、(b)に示すような生体電位にトレンド成分を含む場合には、その成分を1次近似によって便宜的に除去した。上記の定義に基づき δ をそれぞれ測定した結果、(a)の青緑色の光では δON が2.7(mV)、 δOFF が2.8(mV)となり、光刺激のONとOFF時に発生する両者の生体電位変化はほぼ同一であった。一方、(b)の赤色の光では δON が0.6(mV)、 δOFF が0.4(mV)となり、光刺激反応に鈍感であることがわかる。このように、光刺激の波長により生体電位の δ に差異があることがわか

図4 生体電位波形の代表例

Fig. 4 Waveforms of the bio-electric potential

図5 なめこの生体電位波長依存性

Fig. 5 Relationship between the bio-electric potential and the wave length of light stimuli for *pholiota nameko*

る。

そこで、この δON と δOFF を波長毎にすべて計測した結果を図5に示す。なお、同図(a)は δON 、(b)は δOFF の結果を示す。これらの結果より以下のことがわかる。

(a)に示す δON については、生体電位は波長440(nm)から550(nm)の青色から緑色の領域で大きく反応し、600(nm)以上の赤色域では反応が小さい。なお、特に反応が大きい波長は、478(nm)と540(nm)の2種類である。一方、(b)に示す δOFF については、 δON とほぼ同様な特性曲線を示し、青色域から緑色域に顕著な生体電位反応を示す。

ところで、舞茸の生体電位反応の波長依存性についても、なめことほぼ同様な特性を示していた。ちなみに、舞茸の生体電位の波長依存性を図6に示す³⁾。図5と図6とを比較すると以下のことがわかる。

舞茸の場合、波長域が400(nm)から500(nm)の青色域で生体電位が大きく、それ以上の波長域になるに従い生体電位は次第に小さくなり、赤色域では殆ど電位反応が見られなくなっていた。しかし、なめこの場合には舞茸に比べて生体電位反応の大きく現れる波長域が約50(nm)ほど長波長域にまで及んでおり、青色域の他に緑色域においても生体電位反応が観測される。このことから、なめこと舞茸とは、光受容体の特徴が異なるものと推定されるが、詳細は今後検討する予定である。光受容体は、一般に菌類や藻類には光吸収特性を示す補助色素としてのフラボノイドやカロチノイドなどの成分の存在が知られている^{6,7)}。しかしながら、現在、なめこに関して光受容色素成分の特定にまでは至っていないことから、今後成分分析を実施し検証する予定である。

また、図4(b)に示したように、光刺激波長に依らず

図6 舞茸の生体電位波長依存性

Fig. 6 Relationship between the bio-electric potential and the wave length of light stimuli for *grifora frondosa*

トレンド成分を伴いながら生体電位反応が観測された例については、なめこでは今回計測した4例と予備実験などを含めると11例中6例存在した。舞茸の場合でも同様な現象が観測されたが、いずれもトレンド成分の発生は不規則ではあるものの、このような現象はきのこ特有で一種のサーカディアンリズムに起因しているとも推察される。しかしながら、現在のところトレンド成分の発生規序は不明であることから、これらの解明についても今後検討する予定である。

今回の実験結果より、なめこの生体電位反応は光刺激の波長域が青色域から緑色域で大となる傾向がある。しかしながら生体電位と成育との対応関係、すなわち、光刺激波長が形態形成に与える影響については不明であることから、これらに関しても今後検討する予定である。

結 論

なめこを供試個体とし、光を照射した場合に対して生体内部に発生する生体電位を針電極を用いて測定し、生体電位反応の挙動を検討した。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 光刺激の波長により生体電位反応は多様に異なり、特に青色域から緑色域に渡り大きく反応する傾向を示すような波長依存性の存在がある。また、光刺激反応を大きく示す波長域においては、刺激のON時やOFF時の電位変化幅には特記すべき差は観測されない。
- (2) なめこの生体電位の光刺激反応は、舞茸の生体電位の波長依存性とは少し異なっている。すなわち、舞茸は青色域の光に対して生体電位が大であるのに対し、なめこでは青色域から緑色域に渡る光に対しても生体電位が大である。

なお、今回得られた生体電位の波長依存性の特性結果を踏まえて、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を検討する予定である。

最後に、本研究を実施するにあたり、菌床をご提供下さった(kk)日本農林種菌と石川なめこ組合会長 石田稔氏に感謝します。

引用文献

- 1) 庄司 當：新特産シリーズマイタケ栽培から加工・売り方まで、農山漁村文化協会，pp.1-168 (1996)

- 2) 小川智行, 三浦宏康, 平間淳司, 宮本紀男, 弘田憲史: 光刺激による茸(舞茸)の生体電位反応(第1報), 植物工場学会誌, 9(2): 89-92(1997)
- 3) 平間淳司, 高橋直樹, 宮本紀男, 三浦宏康, 田澤信二: 光刺激による茸(舞茸)の生体電位反応(第2報)―刺激波長と生体電位との関係―, 植物工場学会誌, 9(4): 278-281(1997)
- 4) 藤井 武, 長森 誠, 太田幸裕, 大坂昇平, 高橋直樹, 平間淳司: 各種光刺激が舞茸の形態形成に与える影響, 平成10年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集 B-31, p. 128(1998)
- 5) 高橋直樹, 平間淳司, 宮本紀男, 堀岡雅清, 弘田憲史: なめこの光刺激に対する生体電位反応と波長依存性, 日本植物工場学会平成10年度大会学術講演要旨集, pp. 86-87(1998)
- 6) 新免輝男: 現代植物生理学 4 環境応答, 朝倉書店, pp. 35-50(1993)
- 7) 菅原龍幸: キノコの科学, 朝倉書店, pp. 91-99(1997)