

青色発光ダイオードによる光照射がシイタケ子実体の発生に及ぼす影響 (I)

阿部 正範・西澤 元

要 旨

青色 LED を利用した菌床シイタケ栽培技術の実用化に向けて、青色 LED の照射量と照射時期を検討した。

まず、熟成段階で菌床に照射する青色 LED の照射量を 1.25, 3.6, 10.5, 11.8, 20.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ として、各照射量の子実体発生量を測定した。その結果、子実体発生重量、M サイズ以上の発生個数共に、10.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ で最大となり、照射量は 10.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 付近が適していることが判明した。

次に、高温抑制管理栽培における青色 LED の照射時期について、熟成、高温処理、芽切りの各期間に青色 LED を照射して子実体発生量を測定した。その結果、熟成、高温処理、芽切りの 3 期間への青色 LED 照射区が、M サイズ以上の発生個数が最も多くなった。このことから、照射時期は、熟成、高温処理、芽切りの 3 期間であることが判明した。

キーワード：菌床シイタケ、青色LED、照射量、高温抑制管理栽培

1 はじめに

食用きのこの光環境については、実験室的レベルでは、ヒラタケ¹⁾やショウロとマツタケ²⁾が、商業栽培的なレベルでは、ヒラタケ³⁾やナメコ⁴⁾、エノキタケ⁵⁾、ブナシメジ^{6, 7)}が、菌糸体の生長や子実体の発生について報告されている。しかし、シイタケについては、実験室的なレベルでは報告⁸⁻¹¹⁾されているものの、商業栽培的なレベルでの報告は見あたらない。

ところで、蛍光灯や白熱電球に置き換わる光源として期待されている発光ダイオード (LED) は、①寿命が長い、②小型・軽量、③発光効率が高い、④単色光が得られる、⑤点灯方法が簡単、⑥近接照射で高照射量が得られる、⑦照射量の調節が容易、⑧様々なピーク波長のタイプがある、⑨破損時の危険が少ない、⑩防水構造が簡単、などの利点を備えている^{12, 13)}。

現在のシイタケ栽培の主流となっている菌床栽培では、照明を太陽光と蛍光灯で行う半閉鎖型の栽培舎がほとんどである。しかし、このような栽培舎では、断熱性が低いため空調コストが高くなり、栽培コストを押し上げる一因となっている。そのため今後は、断熱性の高い閉鎖型栽培舎が主流になると考えられる。しかし、閉鎖型栽培舎では光環境の制御が重要であるため、蛍光灯に比べて上述のような利点を備えている LED は、コスト削減のための有望な照明器具になりうると考え

られる。

多くのきのこでは子実体原基の形成に、青色光が有効とされている¹⁴⁻¹⁶⁾。そのため、単色光が得られる青色 LED を利用して、子実体発生量や品質が向上する照射法を検討し、その照明装置を開発することは、さらなる栽培コストの削減に繋がると考えられる。我々は、青色 LED を熟成段階のシイタケ菌床に照射すると、シイタケ子実体発生量が増加することを見出した¹⁷⁾。これは、熟成期間中の青色 LED の照射により、子実体原基の形成が促進されたためと考えられる。そのため、青色 LED を利用した栽培法の実用化に向けて、効率的な照射法の研究を進めている。今回は、青色 LED の照射量と照射時期について検討した。

照射量については、熟成期間中に照射する青色 LED の光量子を変えて子実体発生量を測定し、最適照射量の解明を行った。

また、現在の菌床シイタケ栽培では、培養終了後に 4~7 日間、袋の一部をカットして、温度 25~27℃で追培養後、温度を 15~17℃にして子実体を発生させる高温抑制管理とよばれる栽培法が主流となっている。これは、初回の集中発生を回避するために、原基数を減少させ、菌床皮膜を強くするためとされている¹⁸⁾。しかし、高温抑制管理では、追培養期間中の高温により、青色 LED 照射によって形成が促進された原基が消滅する恐れがある。そのため、高温抑制管理による

栽培法での青色 LED の照射に適した時期の検討をおこなった。

なお、本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「生物の光応答メカニズムの解明と省エネルギー、コスト削減利用技術の開発」により実施した。

2 方法

2.1 熟成段階での青色LEDの照射量の解明

2.1.1 供試菌及び供試培地

供試菌は、市販品種である北研 607 号と森 XR1 号のおが屑種菌を用いた。培地材料は、3 メッシュより粒度の大きい広葉樹おが屑と 20 メッシュより小さい広葉樹おが屑、及び米ぬかとふすまとした。これらの材料を乾物重量比で、5:5:1:1 に混合後、水道水を加えて含水率を 62 % に調整して培地を作成した。作成した培地は、片面に通気用フィルターを装着したポリプロピレン製培養袋（株式会社シナノポリ、ST-12P-25）に 1.0 kg 充填し、117 °C で 90 分間殺菌して放冷後、おが屑種菌を 1 培地当たり約 15 g 接種した。

2.1.2 培養及び発生

培地に種菌を接種後、温度 21 °C、湿度無調整の培養室で、北研 607 号は 101 日間もしくは 108 日間、森 XR1 号は 90 日間培養を行った。培養終了後の菌床は、培養袋から取り出し、菌床表面を水道水で水洗した後、温度 17 °C、相対湿度 85 % の発生室で 1 次発生を行った。発生室の照明は昼白色蛍光灯で、照射量は $2.7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、8 時間明 16 時間暗の条件とした。1 次発生終了後、菌床への水分供給のため、菌床を浸水させて 2 次発生に備えた。このように、子実体発生終了後の菌床への浸水を繰り返して、4 次発生までの子実体発生量を調査した。菌床の浸水時間は、1 次発生終了後が 4 時間、2 次発生終了後が 8 時間、3 次発生終了後が 24 時間とした。子実体の採取は、内皮膜が切れかかった時点で行い、子実体発生個数と重量および形質を測定した。子実体の形質は、菌傘直径 5 cm 以上を L、4 cm 以上 5 cm 未満を M、3 cm 以上 4 cm 未満を S、3 cm 未満及び奇形を O とした。子実体発生重量と形質別の発生個数については、多重比較（Holm 法）により各試験区間の有意差を検定した。

2.1.3 青色LEDの照射

青色 LED の照射条件を A、B の 2 種類設定した。

照射条件 A は、照射量別、供試菌別に 8 試験区設定した。HC 区、H1L 区、H4L 区、H10L 区は供試菌を北研 607 号、MC 区、M1L 区、M4L 区、M10L 区は森 XR1 号とした。すべての試験区とも、接種後 30 日までの菌廻し期間は暗黒で培養した。それ以降の熟成期間（北研 607 号：71 日間、森 XR1 号：60 日間）においては、H1L 区、H4L 区、H10L 区と M1L 区、M4L 区、M10L 区は青色 LED を、HC 区と MC 区は蛍光灯を 24 時間照射した。照射量については、培地上部の光子が HC 区と MC 区は $5.4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に、H1L 区と M1L 区は $1.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、H4L 区と M4L 区は $3.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、H10L 区と M10L 区は $10.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ となるように設定した。供試培地数は、各試験区 18 ~ 21 培地とした。

照射条件 B は、照射量別、供試菌別に 6 試験区設定した。照射条件 A と同様に、H10L 区と H12L 区および H20L 区は北研 607 号、M10L 区と M12L 区および M20L 区は森 XR1 号で、すべての試験区とも、接種後 30 日までの菌廻し期間は暗黒で培養し、それ以降の熟成期間は、青色 LED を 24 時間照射した。照射量は、培地上部の光子が H10L 区と M10L 区は $10.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、H12L 区と M12L 区は $11.8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、H20L 区と M20L 区は $20.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ となるように設定した。また、森 XR1 号の熟成期間は照射条件 A と同様 60 日間であるが、北研 607 号は 78 日間とした。供試培地数は、各試験区 23 ~ 24 培地とした。

照射条件 A、B とともに、青色 LED はピーク波長が 455 nm のキノコ栽培用青色 LED モジュール（（株）パナソニックライティング社）、蛍光灯は昼白色蛍光灯（パナソニック社：FL15N）を使用した。また、照射量の調整は、拡散シート（桐生株式会社）でおこなった。照射量は、ライトメーター（株式会社ライカ社 LI-250）で、培地上部の光子（光子センサー：LI-190SA）を測定した。

2.2 高温抑制管理栽培における青色LEDの照射時期の解明

2.2.1 供試菌及び供試培地

供試菌は、市販品種である北研 607 号のおが屑種菌を用いた。供試培地は、前述と同じとした。

2. 2. 2 培養及び発生

培地に種菌を接種後、温度 21 °C、湿度無調整の培養室で、110 日間培養を行った。発生操作は前述と同じとした。発生室の照明は、昼白色蛍光灯もしくは青色 LED とした。子実体発生重量と

形質別の発生個数については、多重比較 (Tukey 法) により各試験区間の有意差を検定した。

2. 2. 3 青色LEDの照射

高温抑制管理期間 (培養終了後 4 日間・27 °C) と芽切り期間 (4 日間・17 °C) に青色 LED を照射した。試験区と照射条件を図-1 に示す。照明装置は前述と同じとした。

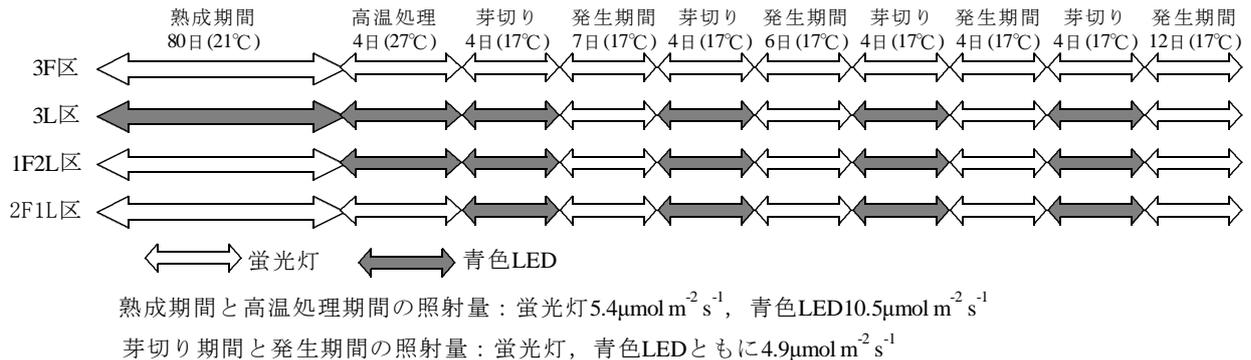


図-1 青色LEDの照射及び培養、発生条件

3 結果と考察

3. 1 熟成段階での青色LEDの照射量の解明

照射条件 A における各試験区の子実体発生重量を図-2 に、市場価値が高いとされる M サイズ以上の発生個数を図-3 に示す。

供試菌を北研 600 号とした既報 (阿部 2007) と同様、青色 LED を照射した H10L 区は、発生重量、M サイズ以上の発生個数とも蛍光灯を照射した HC 区よりも大きくなった。また、北研 607 号、森 XR1 号ともに青色 LED の照射量と子実体発生重量、M サイズ以上の発生個数は比例する傾向となり、照射量 $10.5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ が最も大きくなった。特に北研 607 号でその傾向が顕著で、平均の発生重量では、H10L 区は HC 区の 1.5 倍となった。M サイズ以上の発生個数も青色 LED 照射により増加し、森 XR1 号については、M10L 区は MC 区の 1.2 倍、北研 607 号については、H10L 区は HC 区の 1.5 倍となり、森 XR1 号については有意差が認められた。このように、熟成期間中の青色 LED 照射の影響は、品種によって異なることが示唆された。子実体発生量の増加は、熟成期間での青色 LED 照射により原基形成が促進された¹⁴⁻¹⁶⁾ ことによるものと考えられた。

照射条件 A では、青色 LED の最大照射量が培

地上部で $10.5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であったが、照射量をさらに大きくすることで、発生量がさらに増加することが考えられた。そのため、照射条件 A よりも青色 LED の照射量を強くした照射条件 B で、子実体を発生させて子実体発生量が最大となる照射量を検討した。

各試験区における子実体の発生重量を図-4 に、M サイズ以上の発生個数を図-5 に示す。

発生重量は、北研 607 号、森 XR1 号ともに H10L 区と M10L 区の $10.5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ が最も大きく、次いで H20L 区と M20L 区の $20.5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、H12L 区と M12L 区の $11.8\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ となった。H10L 区は H12L 区と、M10L 区は M12L 区と M20L 区の間で有意差が認められた。一方、H12L 区と H20L 区、M12L 区と M20L 区の間には有意差は認められなかった。H10L 区は H12L 区の 1.2 倍、M10L 区は M12L 区の 1.1 倍となり、照射条件 A と同様、北研 607 号が森 XR1 号よりも青色 LED 照射の影響を強く受けることが示唆された。M サイズ以上の発生個数も、森 XR1 号、北研 607 号ともに $10.5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ である H10L 区と M10L 区が最も多くなり、M10L 区は M20L 区と、H10L 区は H12L 区と有意差が認められた。一方、H12L 区と H20L 区、M12L 区と M20L 区の間には有意

差は認められなかった。

以上のことから、子実体発生重量と M サイズ以上の発生個数を考慮すると、熟成段階における青色 LED の照射量は、 $10.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 付近が適していることが明らかとなった。

ここで、青色 LED を菌床シイタケ栽培の照明装置に使用した場合の収支を、照射条件 A における H10L 区と HC 区について考察した。H10L 区で使用したキノコ栽培用青色 LED モジュールのコストは約 20,000 円、HC 区の蛍光灯は約 6,000 円であった。また、熟成期間 (71 日間) の電気代は、H10L 区が約 650 円、HC 区は約 790 円で

あった。そのため、栽培 1 回当たりのコストは、H10L 区が約 14,000 円高くなった。一方、シイタケの平均単価を $1,094 \text{円/kg}^{19)}$ とした場合、H10L 区 (20 菌床) の収益は約 5,880 円、HC 区 (20 菌床) は約 3,940 円となり、1 栽培当たりの H10L 区の収益は、HC 区と比べて 1,940 円の増収となる。以上のことから栽培回数が 7 回を越えると H10L 区のキノコ栽培用青色 LED モジュールにかかるコストを回収することができ、それ以降は、H10L 区が 1 菌床 (1kg) あたり 97 円の増収になると考えられた。

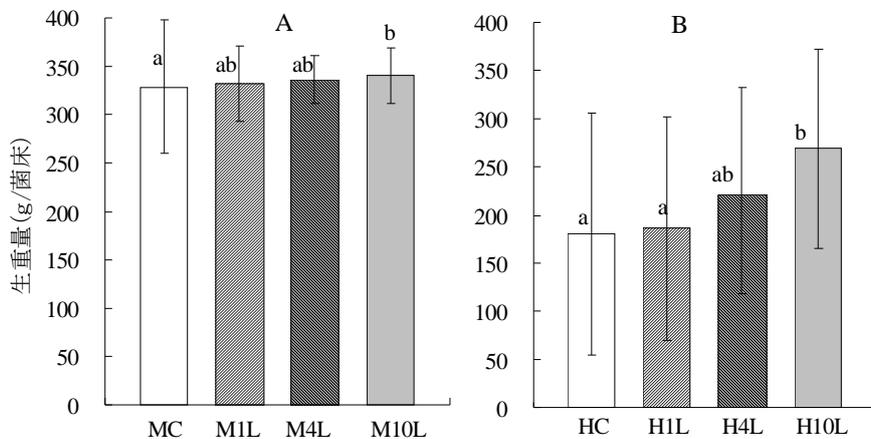


図-2 照射条件Aの子実体発生重量

A: 供試菌 森XR1号, B: 供試菌 北研607号。垂線は標準偏差を, 異なるアルファベットは有意差のあることを示す (Holmの検定)。MC: 蛍光灯 $5.4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (森XR1号), MIL: 青色LED $1.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (森XR1号), M4L: 青色LED $3.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (森XR1号), M10L: 青色LED $10.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (森XR1号), HC: 蛍光灯 $5.4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (北研607号), H1L: 青色LED $1.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (北研607号), H4L: 青色LED $1.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (北研607号), H10L: 青色LED $10.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (北研607号)

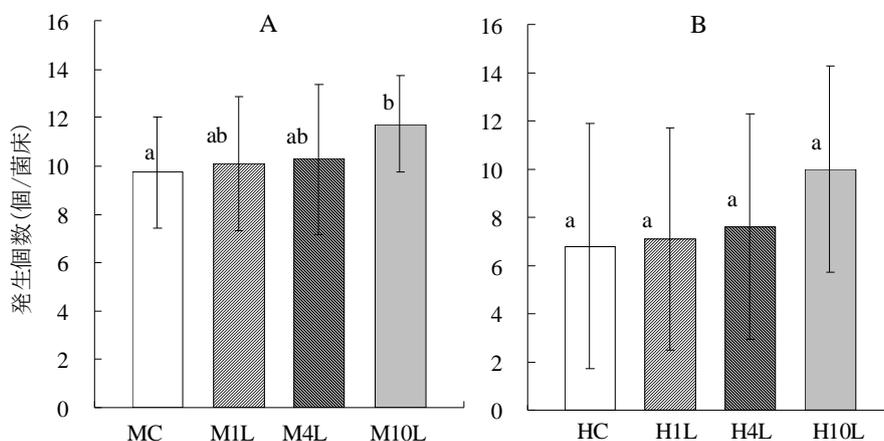


図-3 照射条件Aの子実体発生個数 (Mサイズ以上)

図の説明は図-2参照のこと

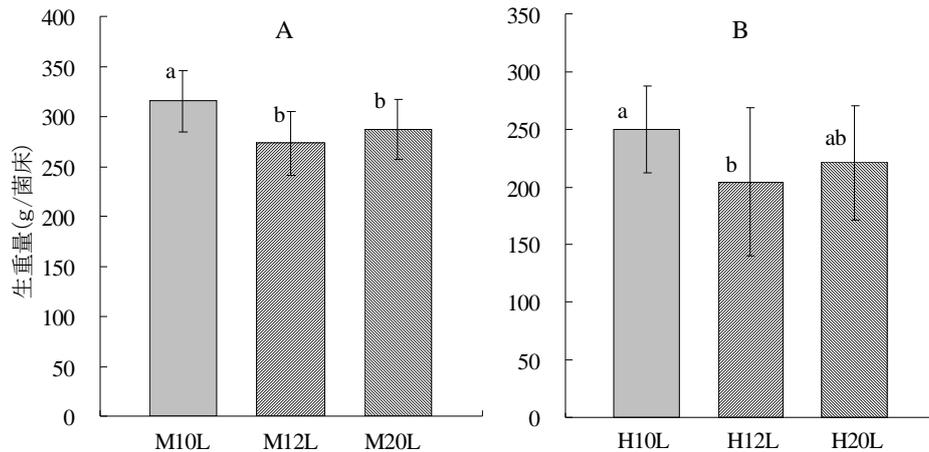


図-4 照射条件Bの子実体発生重量

A: 供試菌 森XR1号, B: 供試菌 北研607号。垂線は標準偏差を, 異なるアルファベットは有意差のあることを示す (Holmの検定)。M10L: 青色LED10.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (森XR1号), M12L: 青色LED11.8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (森XR1号), M20L: 青色LED20.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (森XR1号), H10L: 青色LED10.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (北研607号), H12L: 青色LED11.8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (北研607号), H20L: 青色LED20.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (北研607号)

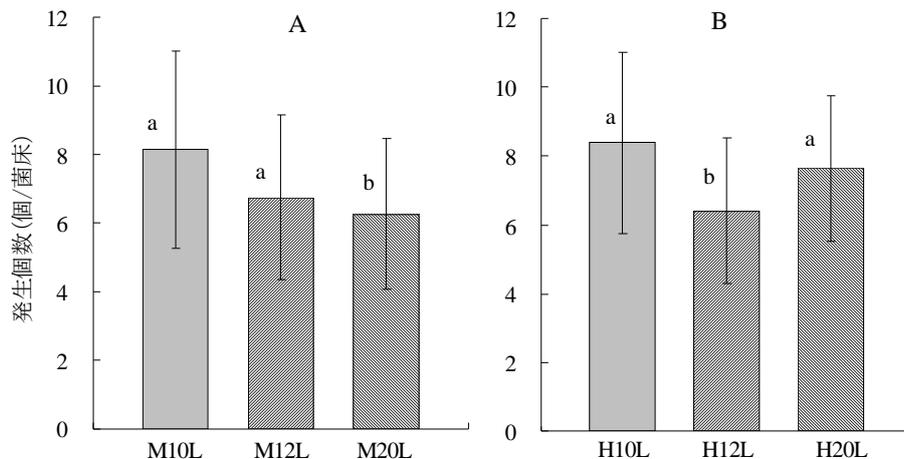


図-5 照射条件Bの子実体個発生数 (M以上)

図の説明は図-4参照のこと

3. 2 高温抑制管理栽培における青色LEDの照射時期の解明

試験区別の子実体発生量を図-6 に, 市場価値が高いとされる M サイズ以上の発生個数を図-7 に示す。発生重量は, 各試験区間で有意差は認められなかった。しかし, M サイズ以上の発生個数は, 熟成, 高温, 発生期間の全期間に蛍光灯照射した 3F 区が 9.3 個だったのに比べて, 熟成, 高温, 芽切りの全期間に青色 LED を照射した 3L 区は 11.9 個, 熟成期間に蛍光灯, 高温と芽切り期間に青色 LED を照射した 1F2L 区が 10.8 個,

熟成と高温期間に蛍光灯, 芽切り期間に青色 LED を照射した 2F1L 区が 10.7 個と多くなった。特に 3L 区は 3F 区に対して有意差が認められた。以上のことから高温処理をおこなう栽培法においても, 青色 LED 照射による増収効果があり, 照射時期は, 熟成と高温処理期間及び芽切り期間であることが分かった。

5. おわりに

青色 LED を利用した菌床シイタケの栽培法について, 照射の基本条件である照射量と照射時期

が明らかとなった。今後は、発生段階での青色LEDの照射効果や青色LED照射による培養期間の短縮効果の解明を進めるとともに、生産現場で

の実証試験をおこない、青色LEDを利用した菌床シイタケ栽培のマニュアルを作成する予定である。

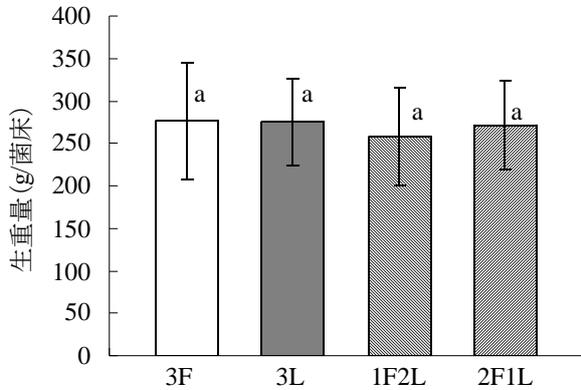


図-6 高温処理での青色LEDの影響(生重量)

垂線は標準偏差を、異なるアルファベットは有意差のあることを示す(Tukeyの検定)。
3F, 3L, 1F2L, 2F1L: 図-1参照のこと

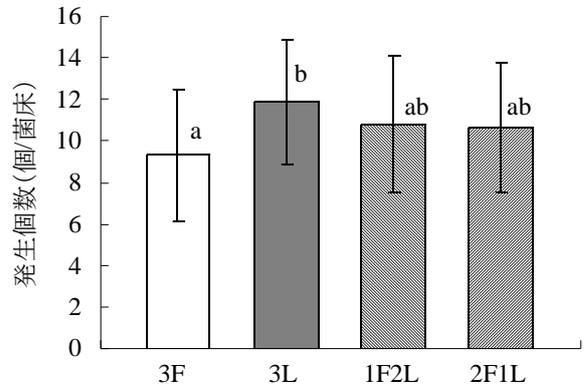


図-7 高温処理での青色LED照射の影響(Mサイズ以上の発生個数)

図の説明は図-6参照のこと

引用文献

- 1) 金範基・馬替由美 (1998) : 光に対するヒラタケ栄養菌糸の応答, 日本応用きのこ学会第2回大会講演要旨集. 97.
- 2) 石井孝昭 (2003) : 光照射による微生物の成長制御およびその培養法, 公開特許公報, 特開2003 - 274930.
- 3) 稲富聡・難波謙二・小平律子・岡崎光雄 (2000) : ヒラタケ栽培における子実体の発生と生長におよぼす光の影響, 日本応用きのこ学会誌, 8, 183 - 189.
- 4) 稲富聡・山中勝次 (1996) : ナメコの栽培工程における光照射が子実体発生に及ぼす影響, きのこの科学, 3, 5 - 10.
- 5) 稲富聡・難波謙二・小平律子・岡崎光雄 (2001) : エノキタケ着色品種「ナカノ株」での各栽培工程における光照射の子実体発生に及ぼす影響, 日本応用きのこ学会誌, 9, 21 - 26.
- 6) 稲富聡・難波謙二・小平律子・下坂誠・岡崎光雄 (2002) : プナシメジ栽培における子実体発生と生長におよぼす光の影響, 日本応用きのこ学会誌, 10, 135 - 140.
- 7) Namba, K., Inatomi, S., Mori, K., Shimosaka, M., Okazaki, M. (2002) : Effects of LED lights on fruit-body production in *Hypsizygus marmoreus*, Mushroom Sci. Biotechnol., 10, 141-146.

- 8) Ishikawa, H. (1967) : Physiological and Ecological Studies on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. J. Agric. Lab., 8, 1-57.
- 9) Matsumoto, T. and Kitamoto, Y. (1987) : Induction of fruit-body formation by water-flooding treatment in sawdust cultures by *Lentinus edodes*, Mycol. Soc. Japan, 28, 437-443.
- 10) Mohamed, A. B., Meguro, S., Kawachi, S. (1992) : The Effects of Light on Primordium and Fruit Body Formation of *Lentinus edodes* in Liquid Medium I, Mokuzaigakkaishi, 38, 600-604.
- 11) Mohamed, A. B., Meguro, S., Kawachi, S. (1992) : The Effects of Light on Primordium and Fruit Body Formation of *Lentinus edodes* in Liquid Medium II, Mokuzaigakkaishi, 38, 876-879.
- 12) 内田浩二・田澤信二 (2004) : LEDの農林水産分野への応用(3), 農業電化 57(12), 11 - 17.
- 13) LED照明推進協議会 (2006) : LED光源の特長, LED照明ハンドブック, pp.28 - 41, オーム社, 東京.
- 14) 北本豊 (2003) : 担子菌の光形態形成および代謝制御に関する研究, 日菌報 20, 253 - 263.
- 15) 北本豊・鈴木彰 (1992) : 生理, きのこ学(古川久彦編), pp.79 - 115, 共立出版, 東京.
- 16) 鈴木彰 (2005) : 環境条件の制御による食用きのこ生産の現状と展望, 農林水産研究ジャー

ナル, 28, 31 – 35.

- 17) 阿部正範 (2007) : 発光ダイオード照射がシイタケ菌糸の生長と子実体収量に及ぼす影響, 日本きのこ学会誌, 15, 103 – 108.
- 18) きのこ年鑑編集部 (2009) : 2009 年度版きのこ年鑑, pp.145 – 155, プランツワールド, 東京.