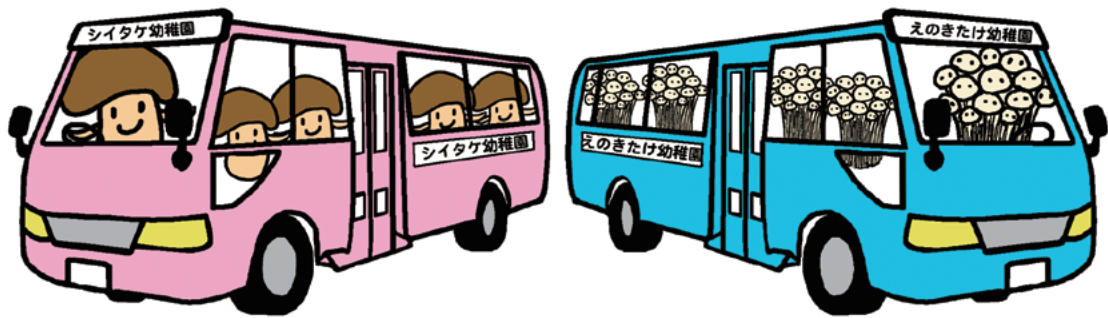


II きのこ栽培への LED の利用

きのこ栽培と LED

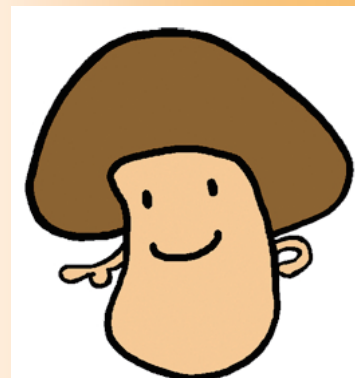
「きのこ」と一言に言っても、シイタケとエノキタケでは、キュウリとトマトぐらいの生物学的な違い・種の隔たりがあります。そのため、それぞれのきのこに特化・最適化した栽培法の確立が必要となってきます。



我々のグループでは、国内で栽培される各種きのこ品目に対し、きのこ栽培に最も有効な波長450ナノメートルの青色光を照射できるLED照明装置（写真1）を開発するとともに、それぞれのきのこの栽培特性に最適化した光照射技術を確認しました。



写真1 青色 LED 照射装置



この青色光LED照射装置を用いることにより、シイタケ及びマイタケでは、収量を増加させるとともに、より市場価値の高い製品を作出することが可能となりました。ナメコ・ブナシメジ・バイリング・アラゲキクラゲでは、栽培時の省エネルギー化を図りつつ、従来照明と同等の生産が可能であることを実証しました。エノキタケ栽培において非常に大きな問題である菌床剥離については、青色LED照射により、劇的に回避出来る事が分かりました。エリンギは特に光感受性が強く、栽培時における青色LED照射により、より市場に好まれる形状のきのこを作出できることが分かりました。

現在では、複数のLED素子を組み合わせることにより、きのこ栽培に効果的な青色光を含ませながらも、作業環境に配慮したより我々の目にも優しい白色LED装置を開発し（写真2）、実際の栽培技術への導入を行っています。この白色LED照明を用いた各種きのこの栽培においても、青色LEDの場合と同等の収量・付随効果を確保することに成功しています。

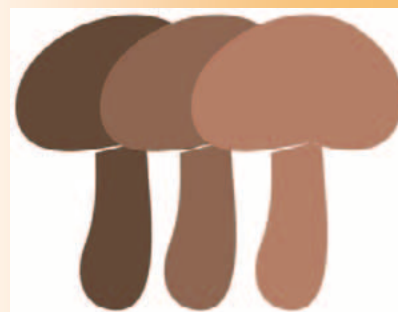


写真2 白色LED照射装置



本章では、8種類の国内主要栽培きのこ品目（シイタケ、エノキタケ、ブナシメジ、ナメコ、マイタケ、エリンギ、アラゲキクラゲ、バイリング）について、LED照明装置を用いた新たな栽培技術について詳しく解説していきます。

※青色LEDについて・・・本書で用いているLED照明の強度については、照度を目安に光の強さを決められないため、「光量子量（単位： $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）」という物理量で示しています。



菌床シイタケ

1. 青色 LED 照射による菌床シイタケの増収 —収穫量を増やすために—

菌床シイタケ栽培は、①シイタケ菌糸の培養、②シイタケの発生の 2 段階に分けることができます。菌糸を培養することで、原基というシイタケの基が菌床中に形成されます。ただし、この原基の形成には光（特に青色光）が必要です。

そこで、「①シイタケ菌糸の培養」期間に青色 LED を菌床に照射すれば、原基の形成が促され、シイタケの発生量が増加するのではないかと考えました。

ところで、菌床シイタケの培養期間は、シイタケ菌糸が伸長して培地全体に菌糸が蔓延するまでの約 30 日間の「菌まわし期間」とその後の「熟成期間」に分けることができます。

そこで、まず、菌糸が伸長する「菌まわし期間」での青色 LED の照射を検討しました。青色 LED を照射することで、菌糸の伸長するスピードが早くなれば、「菌まわし期間」の短縮が可能となり、培養期間の短縮となるからです。

ところが、青色 LED を照射すると逆に菌糸の生長が阻害されることがわかりました（図 1）。このことから、菌まわし期間での青色 LED 照射は良くないことがわかりました。

次に、熟成期間に青色 LED を照射して、シイタケの発生量を調査しました。

写真は、熟成期間に青色 LED を照射している様子です。

その結果、熟成期間に蛍光灯を照射したときと比べて、発生重量は最大で約 50%、市場価値が高いとされる M サイズ以上の発生個数も最大で 47%増加しました（図 2）。このように、シイタケの発生量を増やすには、熟成期間に青色 LED を菌床に照射すればよいことがわかりました。

それでは、青色 LED の明るさはどのくらいが適しているのでしょうか？

青色 LED の光量子量を $1.2\sim 20.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ の 6 段階としてシイタケの発生量を調査しました。

その結果、発生重量、市場価値が高いとされる M サイズ以上の発生個数ともに、 $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ がもっとも大きくなりました。このことから青色 LED の光量子量は $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 前後が最適であることがわかりました。





写真 熟成期間での青色 LED の照射

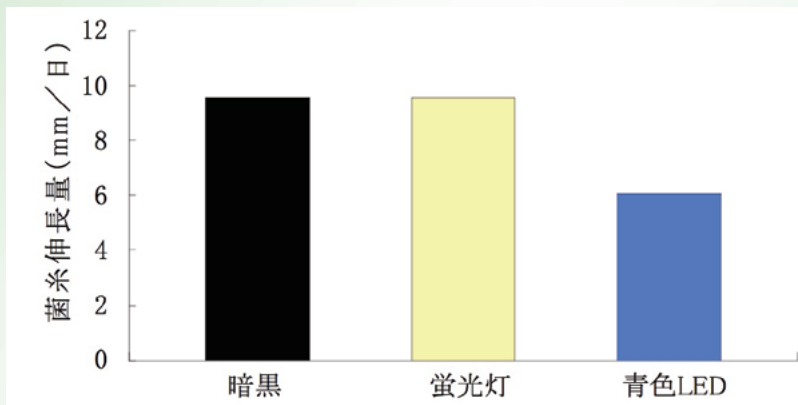


図1 光と1日あたりのシイタケ菌糸の伸長量
(青色 LED(ピーク波長 455nm)、光量子量 $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)

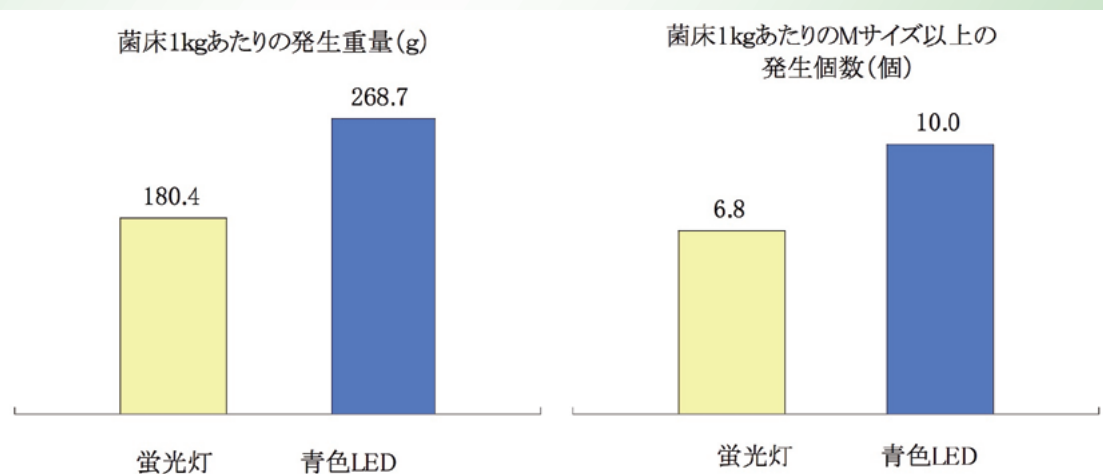


図2 青色 LED 照射とシイタケの発生量
(青色 LED(ピーク波長 455nm)、光量子量 $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)

2. 青色 LED 照射による熟成期間の短縮 —培養期間を短縮するために—

熟成期間に青色 LED を照射すると、発生量が増加することがわかりました。これは、青色 LED を菌床に照射することで、原基の形成が促進されたためと考えられます。

青色 LED の照射によって、原基の形成が促進されるのであれば、培養期間（熟成期間）の短縮もできるのではないかと考えました。

そこで、一般的な培養期間が 100～120 日とされている長期培養型の品種と、80～100 日とされている短期培養型の品種を用いて、青色 LED 照射による培養期間の短縮を検討しました。

長期培養型品種では、培養期間を 110 日（通常）と 82 日の 2 期間としました。両期間ともに菌まわし期間は 30 日間で、暗黒での培養です。110 日間培養の菌床は、菌まわし後の熟成期間に蛍光灯、82 日間培養の菌床は熟成期間に青色 LED を照射しました。

短期培養型品種では、培養期間を 90 日（通常）と 70 日の 2 期間としました。両期間ともに菌まわし期間は 30 日の暗黒培養です。90 日間培養の菌床は、菌まわし後の熟成期間に蛍光灯、70 日培養の菌床は熟成期間に青色 LED を照射しました。

このようにして、各菌床のシイタケ発生量を調査しました。

その結果、長期培養型品種は、通常の培養期間よりも約 30 日間短縮（110 日→82 日）、短期培養型品種は 20 日間短縮（90 日→70 日）しても、発生重量は同じながら、市場価値が高いとされている M サイズ以上の発生個数が増加し、逆に、市場価値の低い S サイズや奇形の発生個数が減少しました（図 3、4）。

S サイズのシイタケはまた、パック詰め作業に手間がかかります。S サイズの発生個数が減ることは、パック詰め作業の時間短縮につながります。また、1 次発生での S サイズシイタケの集中発生を防ぐための高温抑制管理（注）が不要になると考えています。

このように、熟成期間に青色 LED を照射することで、培養期間を 20～30 日短縮できることがわかりました。

(注) 培養終了後に4~7日間、温度25~27℃の高温で追培養(高温処理)して原基数を減少させた後、温度を15~17℃にしてシイタケを発生させる栽培法。

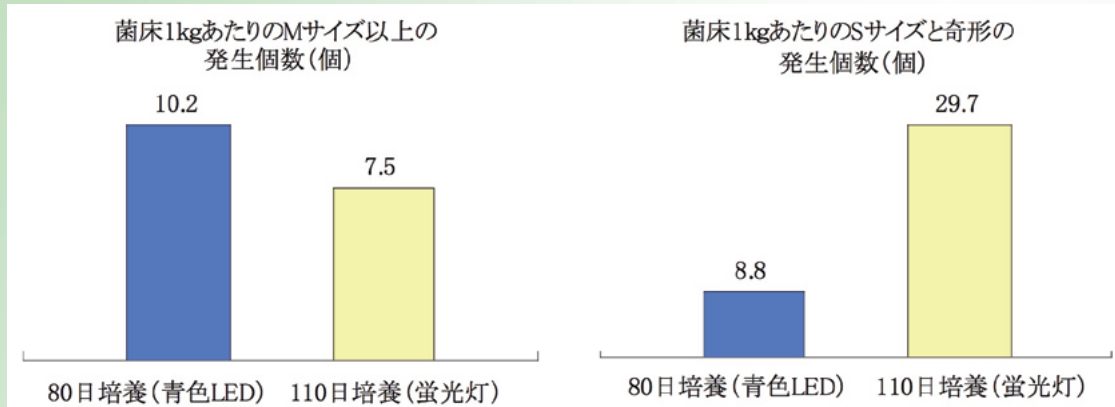


図3 長期培養型品種の培養期間別シイタケ発生量
(青色LED(ピーク波長455nm)、光量子量 $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)

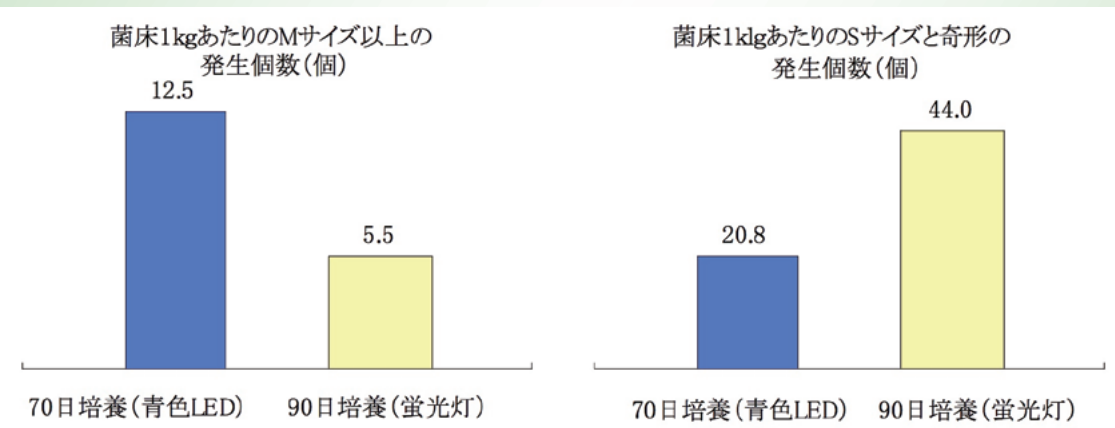


図4 短期培養型品種の培養期間別シイタケ発生量
(青色LED(ピーク波長455nm)、光量子量 $10.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)

エノキタケ

1 生育期（芽出し期）における菌床剥離軽減効果について

エノキタケはキノコが小さい時期（原基）の段階で、菌床面が一部剥げて株に残る「菌床剥離」という現象が発生することがあります（写真1）。菌かき後に蛍光灯の約半分の光量子量の青色LEDを照射すると、蛍光灯よりも顕著に菌床剥離軽減効果があることが明らかになりました（写真2）。また、照射時期は菌搔き3～5日後に2～4時間照射するのが良いとわかりました。（菌床表面の光量子量：青色LED（ピーク波長455nm） $17.4\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、蛍光灯 $30.1\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）



写真1 菌床剥離が混入した株

収穫した株に
混入した菌床剥離

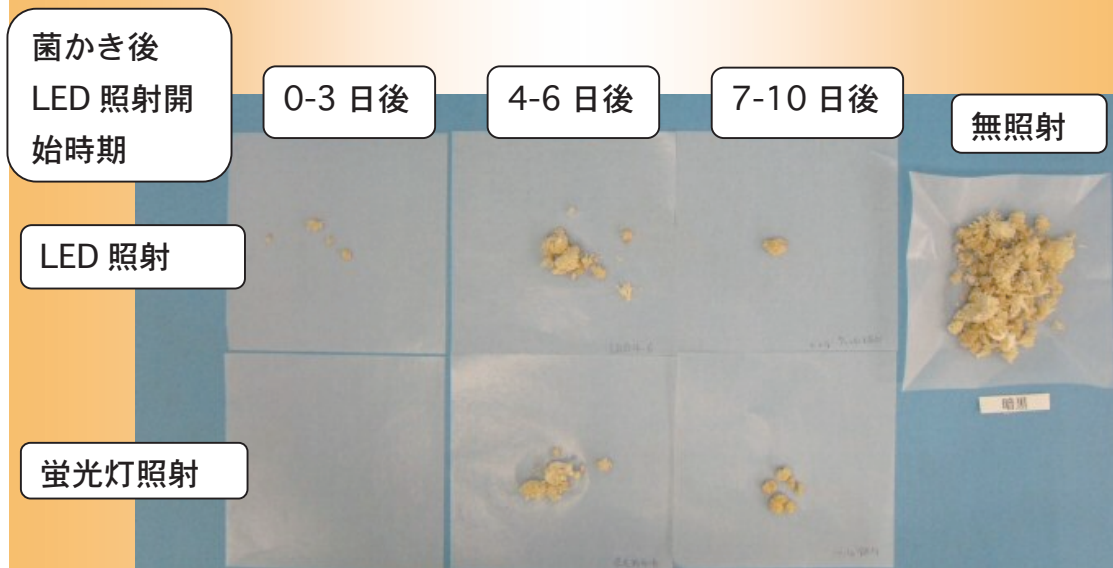


写真2 LED照射時期と菌床剥離発生量（1ビン当たり）

2 生育期（抑制期）におけるLED照射効果について

現在市販されているエノキタケは、光を当てても他のキノコと異なり着色しません。しかし、光がエノキタケの生長に影響がないわけではなく、非常に重要な役割をしています。キノコが生長し2～3cmになったときにLED光を照射すると、傘の形成を促進し、茎の長さを整え、品質（見栄え）が良くなる効果がありました。また、収量も増加しました（写真3、図1）。（菌床表面の光量子量：青色LED（ピーク波長455nm） $38.5\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 、白色LED（青色LED+黄色蛍光体 $37.7\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 、蛍光灯 $38.7\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ ）



写真3 生育期（抑制期）におけるLED照射効果

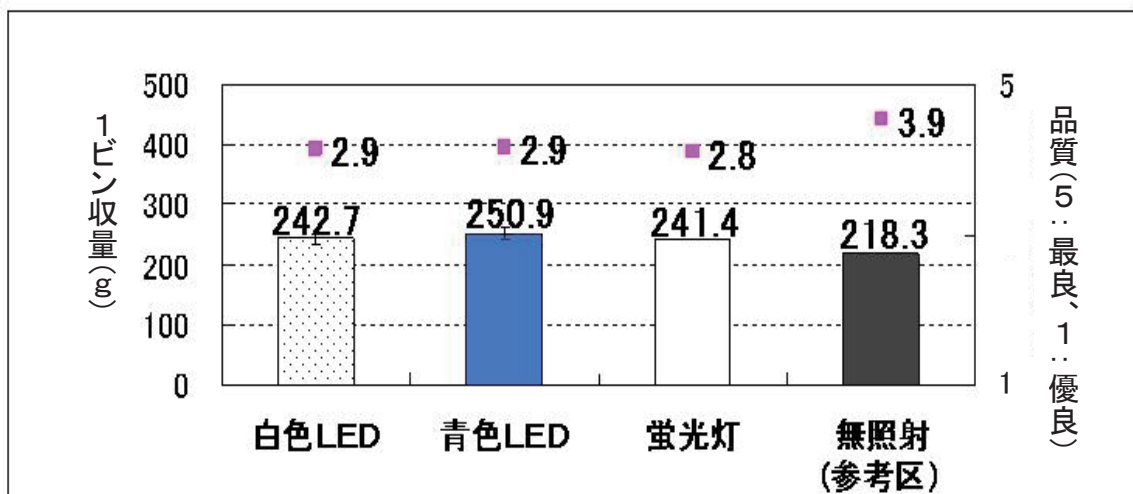


図1 生育期（抑制期）における光照射の効果

3 現地栽培施設でのLED照明の利用について

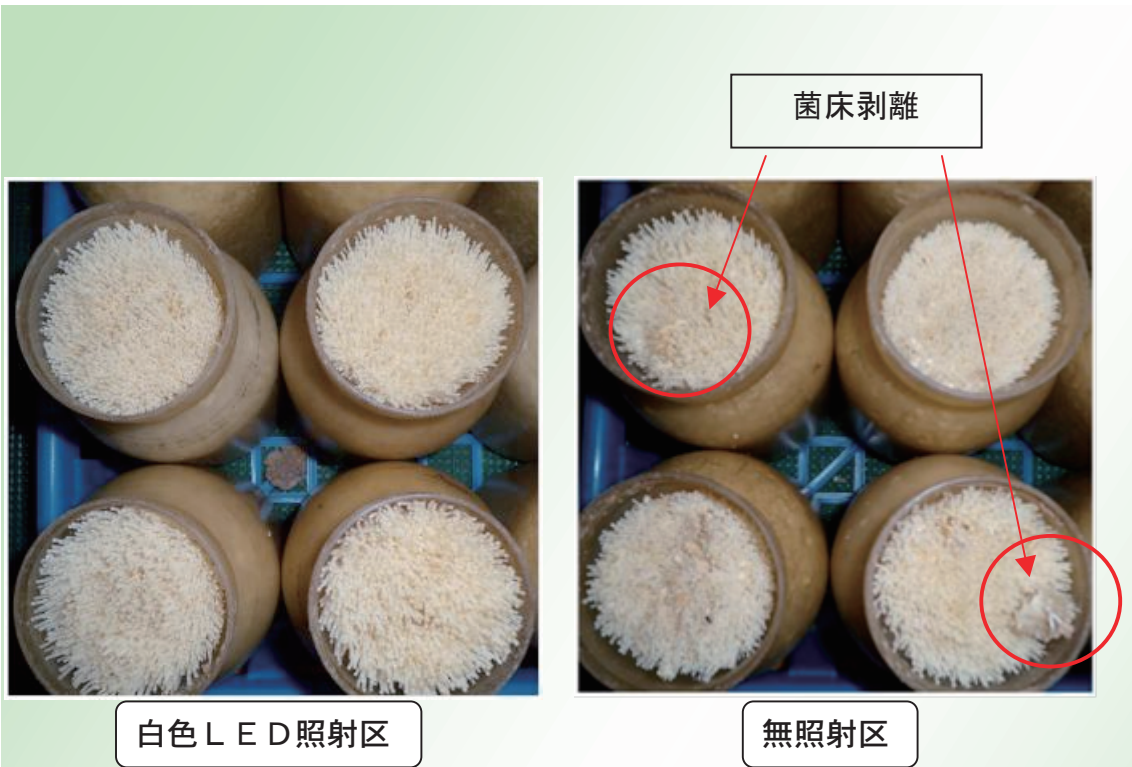
エノキタケ栽培施設では、生育を調節するための抑制機と呼ばれる移動型の照明装置が用いられます。

この装置にLED照明を装着し芽出し期に照射した結果、現地栽培施設においても菌床剥離軽減効果が実証されました（写真4、写真5、図2）。（試験時の光量子量（光源から50cm） 青色LED（ピーク波長455nm） $15.2\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、白色LED（青色LED+黄色蛍光体） $15.5\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）



写真4 抑制機（中央）に装着したLED装置による照射





※青色LED照射区も同程度の軽減効果が見られた。

写真5 LED照射の菌床剥離軽減効果
(抑制機にて12h/day 菌掻き後3~4日目)

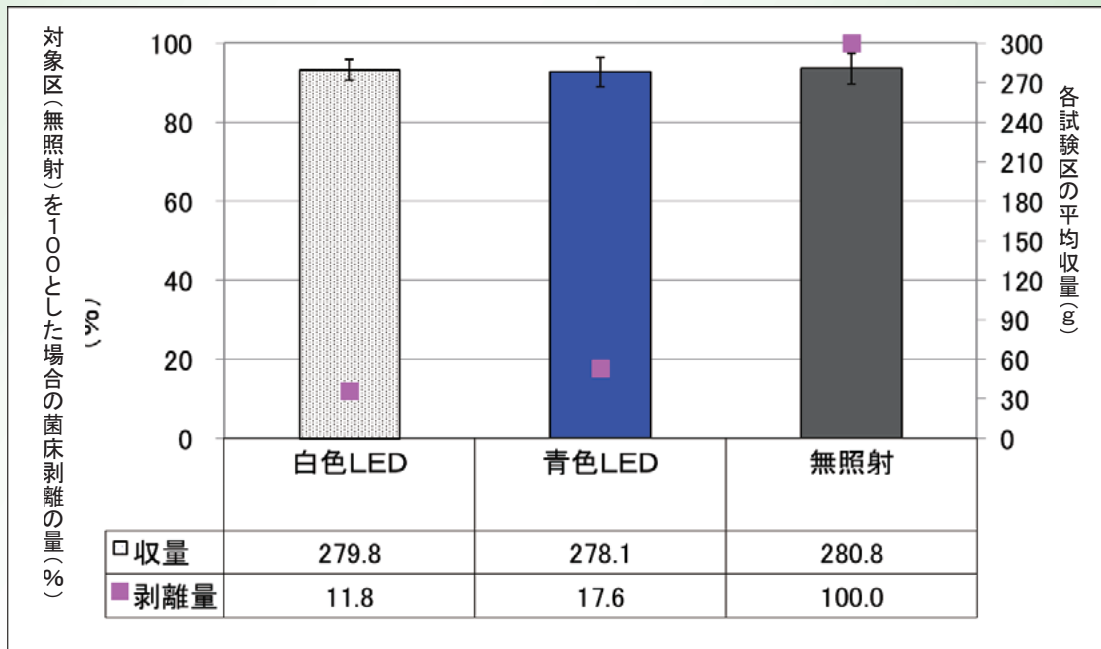


図2 抑制機によるLED照射の菌床剥離軽減効果と収量への影響

ブナシメジ

1 培養・熟成段階における LED 照射効果について

ブナシメジは、光を用いず暗黒下で培養しています。

そこで、青色 LED を培養・熟成段階に光照射し、子実体にどのような影響があるのか調べました（写真1）。その結果、菌回り完了の日安である培養 40 日目から青色 LED（ピーク波長 455nm）を当てることによって、生育日数の短縮効果がみられました。また、現地生産施設においても同様の効果が得られました。（試験時の光量子量（菌床表面）場内 $29.0 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、現地 $31.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）

方法：青色 LED 1 灯を培養 40 日目から照射開始
1 日当たり 8 時間の照射

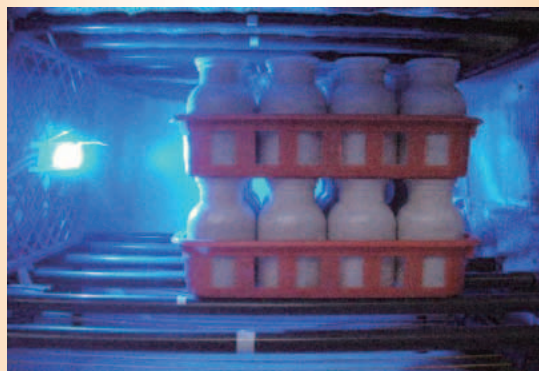


写真1 培養中の青色 LED の照射試験状況



写真2 培養中の LED 照射による生育日数の違い
(LED 照射は収穫日が 1 ~ 2 日早い)

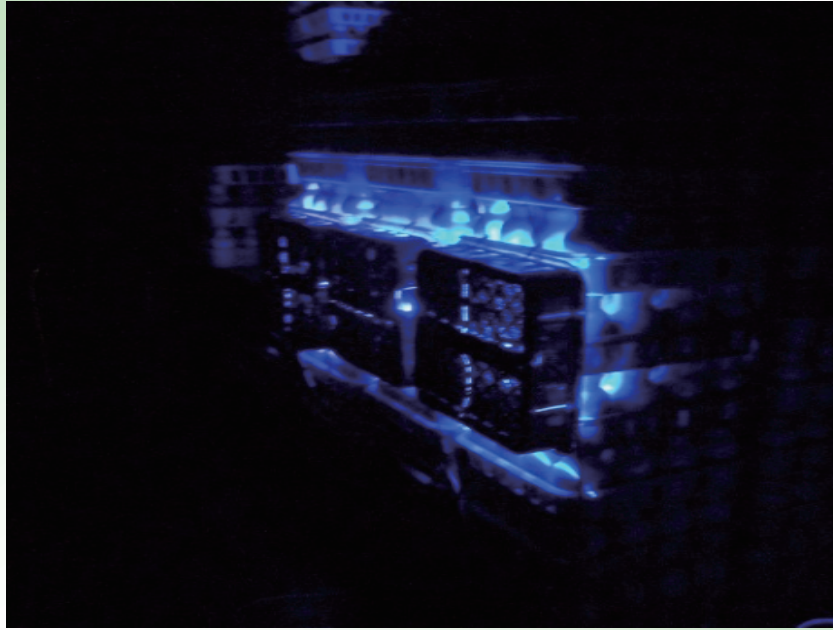


写真3 現地生産施設での青色 LED の照射試験状況



2 芽出し・生育段階における LED 照射効果について

従来、ブナシメジの芽出し・生育段階では、光照射の光源に白色の蛍光灯を使用しています。白色 LED が青色 LED と同様に利用できるか試験を実施したところ（写真4）、菌かき後 12 日目から LED 光を照射することで蛍光灯と同等の形状のきのこを収穫できることが分かりました（写真5）。また、現地生産施設においても同様の効果が確認できました（写真6）。（試験時の光量子量（菌床表面） $23.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）

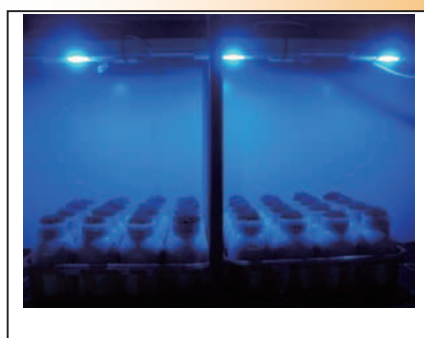


写真4 芽出し・生育段階における白色 LED と青色 LED の照射試験状況

（青色 LED（ピーク波長 455nm）、白色 LED（青色 LED+黄色蛍光体）



写真5 収穫前のきのこの形状

左：青色 LED（ピーク波長 455nm）、右：白色蛍光灯



写真6 現地生産施設における LED 照射試験状況



ナメコ

1 LED を利用した大粒ナメコ栽培技術

通常、光を照射していなかったナメコ菌床栽培の培養後期に、12日間程度青色 LED を照射することで、菌床栽培でも原木栽培に近い大粒のナメコ生産が可能になりました（写真1）。さらに培養後期に15日間照射することで、発生処理後収穫できるまでの所要日数が7日間程度短縮することが分かりました。



写真1 培養後期における青色 LED 照射日数と発生した子実体(無照射(左) 照射12日(右))

一般的に、きのこは菌糸の伸長に光を必要としません。そのため、ナメコ栽培でも、菌糸を培地に蔓延させる「培養段階」で、特に光を培地に照射することはしていません。ところが、菌床シイタケ栽培で、培養後期の青色 LED 照射が子実体収量に影響を及ぼすことが確認されたため（シイタケの項参照）、ナメコ栽培においても培養後期に青色 LED を照射して(写真2)、子実体終了への影響を調査しました。

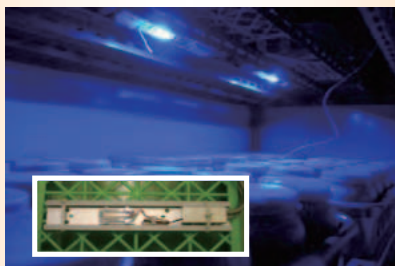


写真2 培養後期における青色 LED 照射状況と LED 装置(左下)

ナメコ栽培では従来、図1に示したように、培養期間の40～60日間、特に光を照射しない暗培養を行い、きのこの発生段階で蛍光灯を点灯してきました。

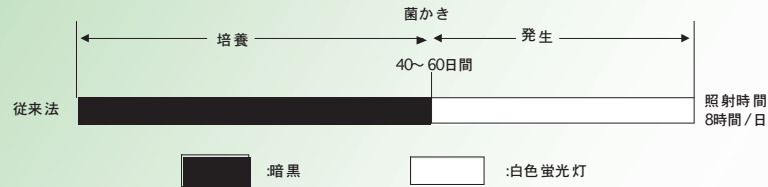
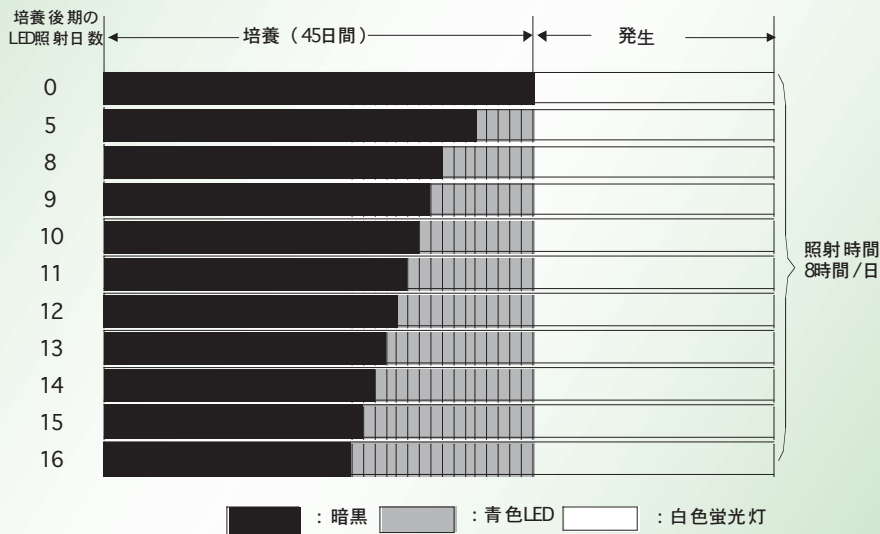


図1 ナメコ栽培における従来の照明方法

そこで、図2に示したように、培養前期・中期は従来どおり暗培養を行い、培養後期に照射日数を変化させて青色LEDを照射しました。すると青色LEDの照射日数が10日を超えると、きのこの個重が無照射よりも1.8倍～2.2倍に増加して、大粒のナメコが収穫できました（写真1、図3）。



【品種】キノックス N007、N008、N009 の3品種。【培地】ブナおが粉・ホミニーフード・大豆種皮培地（容積比 10：1：1、含水率 65%）。【容器】ポリプロピレン製 800ml ナメコ栽培用広口ビン。【培養】20℃で 46 日間行った。暗培養の後、培養後期に青色LEDを 0 日間、5 日間、8 日間、10 日間、11 日間、12 日間、13 日間、14 日間、15 日間、16 日間それぞれ培地に照射し、照射日数により 1 品種当り 10 段階の試験区を設定した（1 試験区 3 本）。【発生】14℃湿度 90%以上。【照射】パナソニック製青色LED（ピーク波長 450nm）2 台。パナソニック白色蛍光灯「クール」10W 1 台、照射方法（培養室、発生室）：栽培棚上部からビン上まで 21 cmの高さから 1 日 8 時間照射。

図2 培養後期の青色LED照射条件

さらに、発生室に移してから一番収穫が得られるまでの所要日数が、照射日数の増加に伴って、短くなる傾向が見られました(図3)。

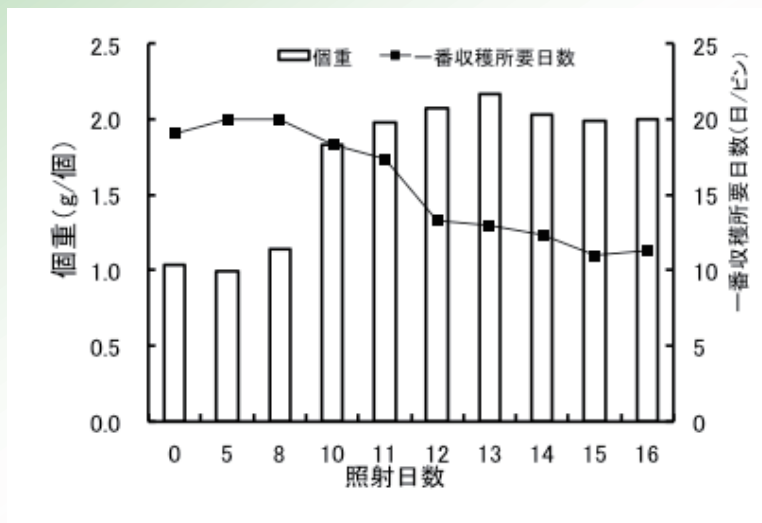
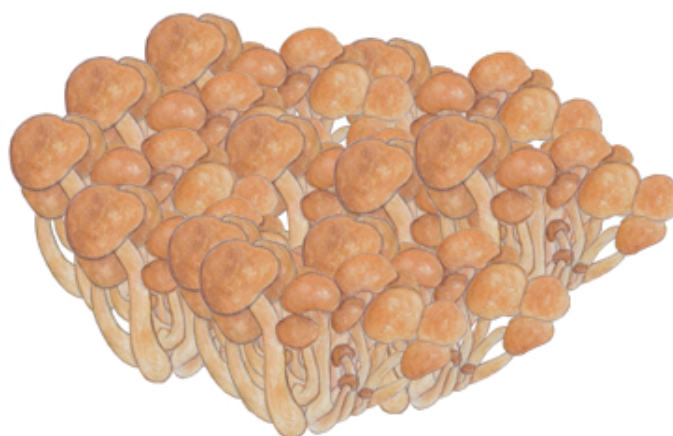


図3 培養後期の青色 LED 照射日数とナメコ栽培特性
(青色 LED:ピーク波長 455nm)



2 白色 LED による白色蛍光灯の代替

発生段階における照明として、白色蛍光灯は白色 LED で代替可能です。

生産現場で一般的に使用されている白色蛍光灯の白色 LED への代替可能性を検討するため、長野県飯山市のナメコ生産施設において現地試験を行いました。白色 LED 区と白色蛍光灯区との収量に明確な差はなく、発生段階で白色蛍光灯を白色 LED に代替可能なことが分かりました（図4）。

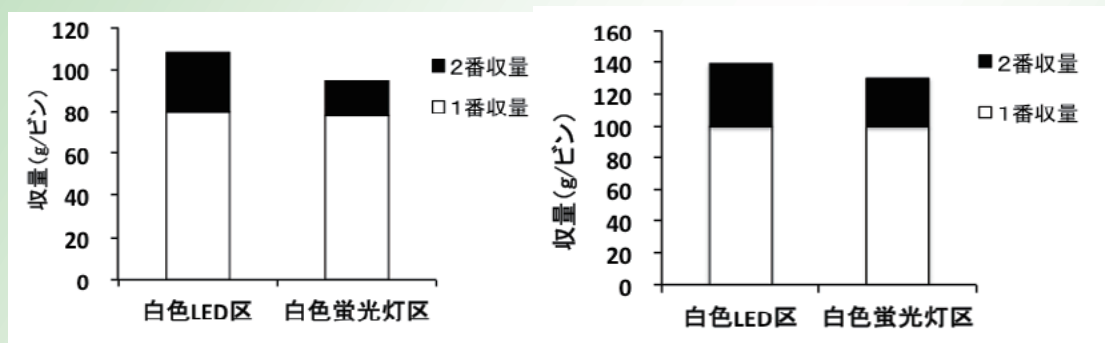


図4 現地試験による発生段階における白色 LED と白色蛍光灯の比較
(左1回目、右2回目)

主な栽培条件は、以下の通り。

【現地試験場所】飯山市ナメコ生産施設。

【種菌】キノックス N007

【培地組成】1ビン当り：広葉樹おが粉 180g、フスマ 31g、コメヌカ 16g、貝化石 4g、乾燥オカラ 4g、ヤキヌカ 1g、含水率 65%

【培養】温度 20°C、暗培養 83 日間

【発生】温度 15°C、湿度 90%以上

【白色 LED 照射条件】パナソニック社製白色 LED (=青色 LED+黄色蛍光体)、5点平均法による発生時照度 $27.6 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (菌床表面)

【白色蛍光灯照射条件】現地生産施設で使用している白色蛍光灯、5点平均法による発生時照度 $1.4 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (菌床表面)

光は子実体原基の誘導及び生長に必要な他、発生室での収穫作業にとっても重要です。青色 LED の青い光では作業性が極めて悪いいため、生産現場では白色 LED 導入の検討が不可欠です。また、LED の光はその直進性から光源直近は明るいですが、光の拡散が少ないため、人の作業には不適切な一面があります。現地試験に際して、作業可能な「明るさ」を検討したところ、白色蛍光灯のほぼ倍程度の照度確保が必要であり、LED からの光の拡散と均一な照度確保が今後の課題と考えられました。

マイタケ

1 LEDの照射方法がわかりました

まず、原基形成時の青色LED照射条件を調べました。照射方法は表1のとおりです。

表1 原基形成時における青色LED
(ピーク波長 455nm) 照射

試験区	光量子量 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	光源距離 (cm)
対照区	8.95	114
LED強	8.74	38
LED中	4.03	38
LED弱	2.13	38
LED微	0.97	38

* 対照区は蛍光灯を原基形成時に照射

原基形成や子実体収穫までの日数には差が見られませんでした。収量では図1に示すようにLED中区の青色LED $4 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ が最も多くなりました。

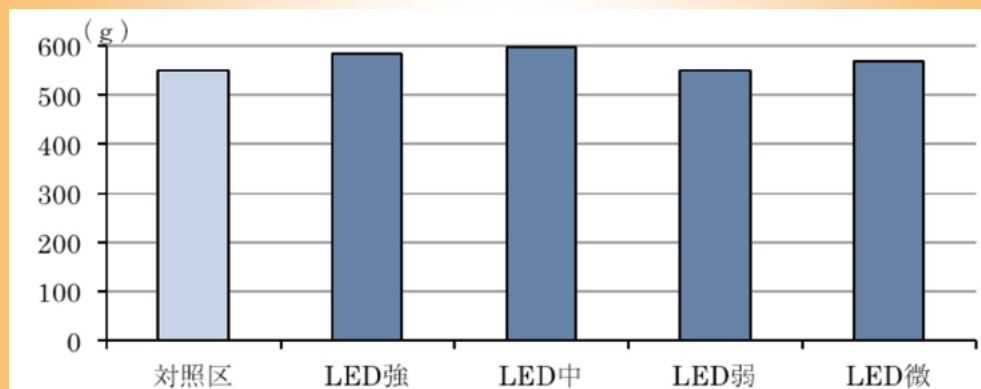


図1 原基形成時における青色LED照射による収量
(青色LED:ピーク波長 455nm)

同様に白色LEDを原基形成時に照射してみると、栽培日数、収量ともに蛍光灯と差がありませんでした。これまでの蛍光灯に替えて、原基形成にLEDを利用できることがわかりました。

ただ、LEDは光の直進性が強く、直下が明るくなります。そのため、光が拡散するようにする、または菌床ごとに1個のLEDを割り当てるなど各菌床に均等に光を照射する工夫が必要です。

子実体の生育にも光は必要です。その条件を青色LEDにより表2のように設定し調べました。

表2 子実体生育時における
青色LED(ピーク波長 455nm)照射

試験区	光量子量 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	光源距離 (cm)
対照区	6.28	150
LED 強	7.84	78
LED 中	6.17	78
LED 弱	4.22	78
LED 微	2.99	78

* 対照区は蛍光灯を原基形成時に照射

子実体収穫に要する日数を見ると、どの照射方法でもはっきりした違いはありませんでした。収量にもはっきりした差は見られませんが、全体的に見ると図2のようにLED照射でやや多くなるようでした。

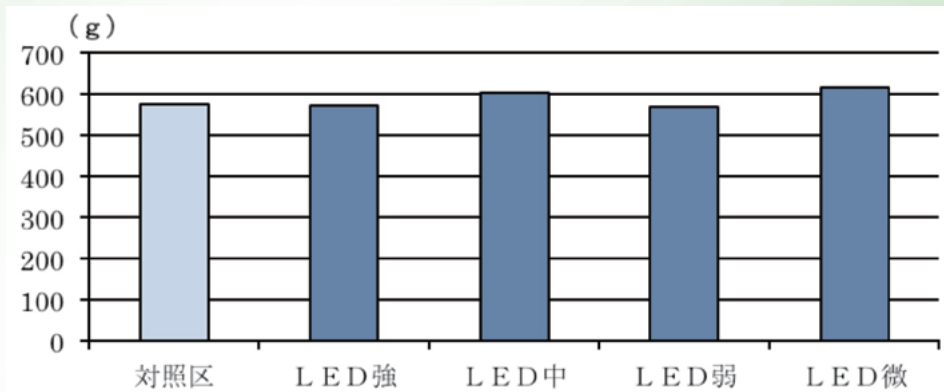


図2 子実体形成時における青色LED照射による収量
(青色LED:ピーク波長 455nm)



2 青色LEDの照射で色が濃くなります

子実体の色は青色LEDを強めに照射したときに図3、写真1のように暗褐色の割合が多く、黄茶色の割合が少なく、全体的に濃色に仕上がる傾向がありました。

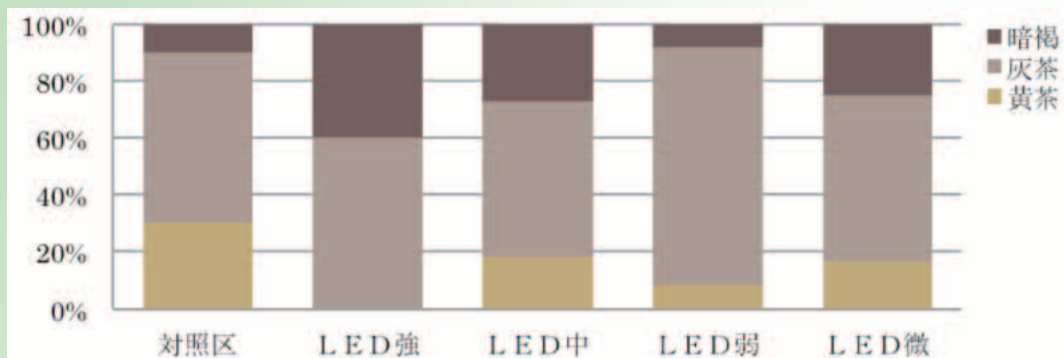
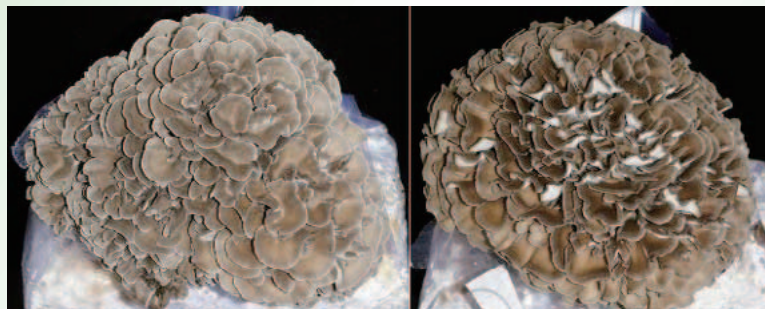


図3 子実体生育時における青色LED照射による傘の色
(青色LED:ピーク波長 455nm)



蛍光灯照射(対照区) 青色LED照射(LED強)

写真1 青色LEDによる子実体の色の違い

(青色LED:ピーク波長 455nm)

子実体生育時の青色LED照射は、蛍光灯に比べ、やや収量が増えることがわかりました。また、蛍光灯と同様の光量子量であればより濃色の子実体が収穫できます。

白色LEDの照射では、蛍光灯と比べ栽培日数、収量ともにはっきりした差は見られませんでした。

これらのことから、LED照射によるマイタケ栽培は蛍光灯と同様にできることがわかりました。ただ、生育段階でのLED利用の場合も、原基形成時と同様に、それぞれのきのこに均一に光を照射する工夫が必要です。

3 LEDで栽培のバラツキを減らせます

これまでマイタケ栽培における光条件は、蛍光灯を念頭に、原基形成時で明るさがある程度以上、子実体生育時で文字が読める程度あればよいと言われてきました。そのため、それぞれの菌床に当たる光にバラツキがあっても注意を向けていないことが多くあり、このことが原基形成、子実体生育のバラツキを大きくしている原因ではないかと考えました。そこで、栽培期間を通じて、天井に設置した蛍光灯と各棚板に設置したLEDとで栽培を行い、栽培日数及び収量などの同調性を比較しました。

栽培試験を行った栽培室は天井に蛍光灯が設置されており、栽培棚は4段です。蛍光灯区は天井のみの照明とし、LEDは棚ごとに同じ光量子量で各菌床に照射できるように設置しました。その結果を図4、図5に示しましたが、原基形成日数、栽培日数ともに蛍光灯区では棚の上下によるバラツキが大きいことわかりました。青色及び白色LED区においてもバラツキは見られましたが、蛍光灯に比べて小さく、栽培日数に与える光照射の影響は大きいことわかりました。また、蛍光灯、青色LED及び白色LEDそれぞれに照明装置で上段から最下段までの全体の平均栽培日数を見ると、はっきりとした差はありませんでしたが、バラツキは青色LED<白色LED<蛍光灯の順で大きくなっていました。

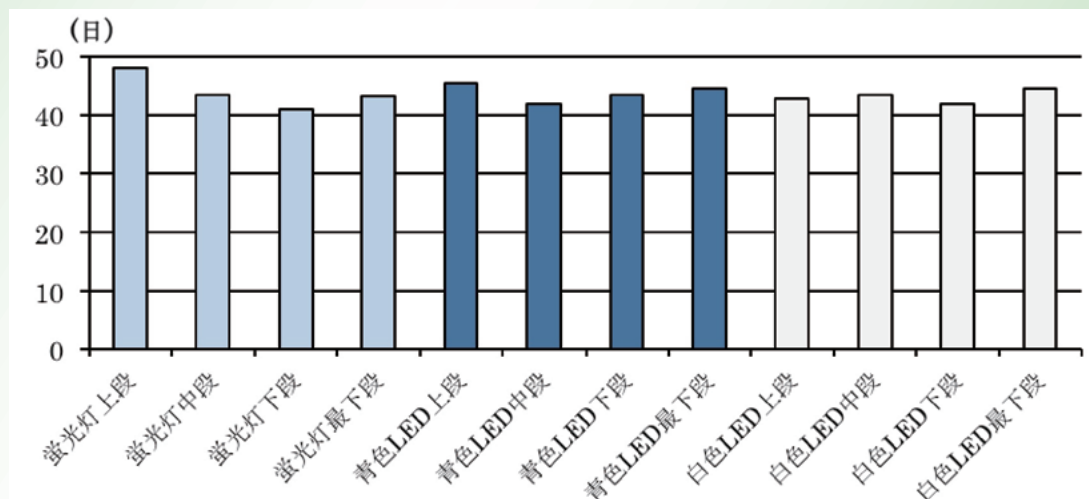


図4 原基形成日数

(青色LED:ピーク波長455nm、白色LED:青色LED+黄色蛍光体)

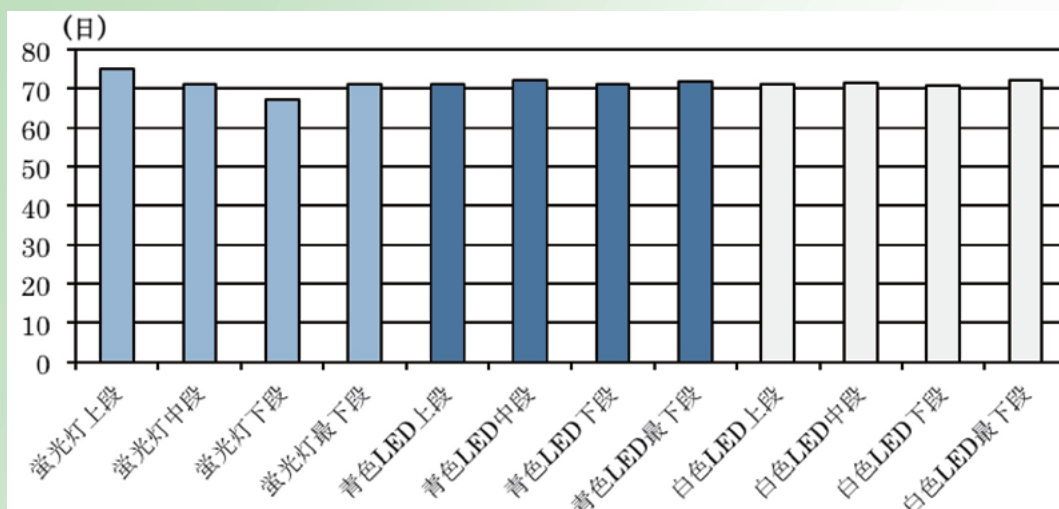


図5 収穫日数

(青色LED:ピーク波長 455nm、白色LED:青色LED+黄色蛍光体)

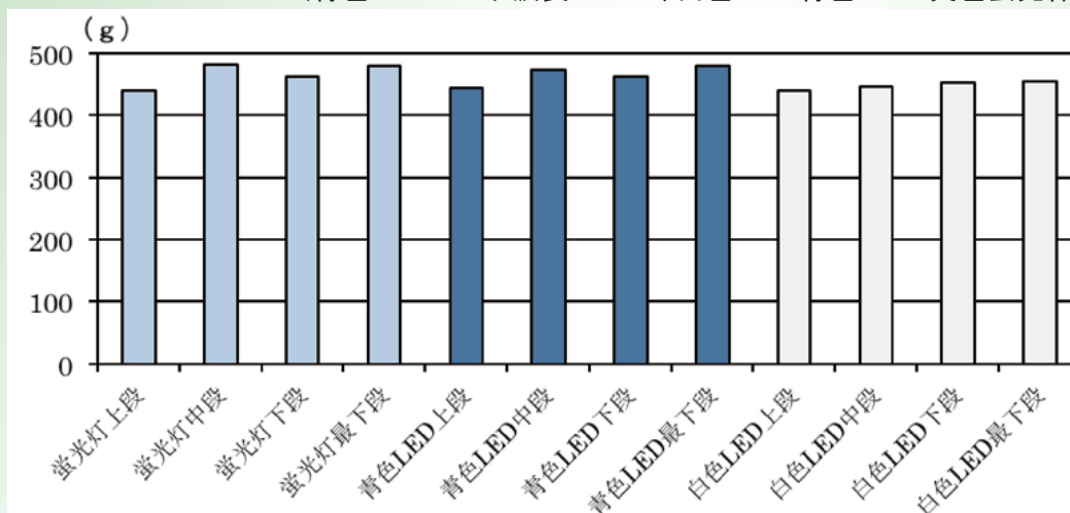


図6 収量

(青色LED:ピーク波長 455nm、白色LED:青色LED+黄色蛍光体)

照明装置及び棚ごとの収量(図6)を見ると、栽培日数同様に蛍光灯照射でバラツキが大きく、LEDでは青色LEDで棚ごとのバラツキが目立つものの蛍光灯に比べると小さいことがわかりました。日数同様に照明装置ごとに全体のバラツキを見ると、青色LED<白色LED<蛍光灯の順に大きくなっていました。

おわりに

このように、青色LED及び白色LEDをマイタケ栽培に利用することは可能であり、これまで普通に使われてきた蛍光灯と比べたとき、栽培日数及び収量に差がないことがわかりました。子実体の色において、青色LED照射で明らかに濃色の子実体が増すこともわかりました。青色LEDは作業性がとても悪く、原基形成の確認も青色LED下では判別が難しいほどです。その問題を除けば青色LEDがマイタケ栽培に適していると考えられました。実際の栽培現場では、白色LEDを中心に設置し、一部青色LEDにする、または両方設置し、作業時間以外は青色LEDを点灯する等の工夫が必要です。

また、LEDの特性で照射された光の直進性が高く、今回多くの場合4菌床に1灯の割合でLEDを設置しましたが、マイタケは子実体が大きいため、光が均等に照射できず、一つの子実体でも傘色に濃淡が見られることがありました。したがって、栽培に係る多くの菌床に、また、子実体全体に均一に光が照射できるLEDの照明装置の開発と、設置方法の検討が今後の課題であると考えられました。



アラゲキクラゲ

原木栽培等で簡易に栽培されることの多いアラゲキクラゲですが、菌床栽培も見られるようになってきました。そこで、菌床栽培において青色LEDの照射を行い、その効果を調べました。

照射方法は、子実体発生時に蛍光灯を対照区として、青色LEDを2段階の強度で照射しました。光量子量は表1のとおりです。

表1 発生時における青色LED
(ピーク波長 455nm)照射

照射光源	光量子 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	光源距離 (cm)
蛍光灯	4.33	187
青色LED強	6.21	73
青色LED弱	1.17	73

子実体の発生処理開始から2ヵ月間照射を行い、その間の収量を積み上げ、100菌床あたりに換算して図1に示しました。蛍光灯と比較し、青色LED強区はほぼ同等の収量を上げることができました。青色LED弱区では、蛍光灯や青色LED強に比べ明らかに収量が少なくなることがわかりました。子実体の色や形はどの照射方法でも違いは見られませんでした。

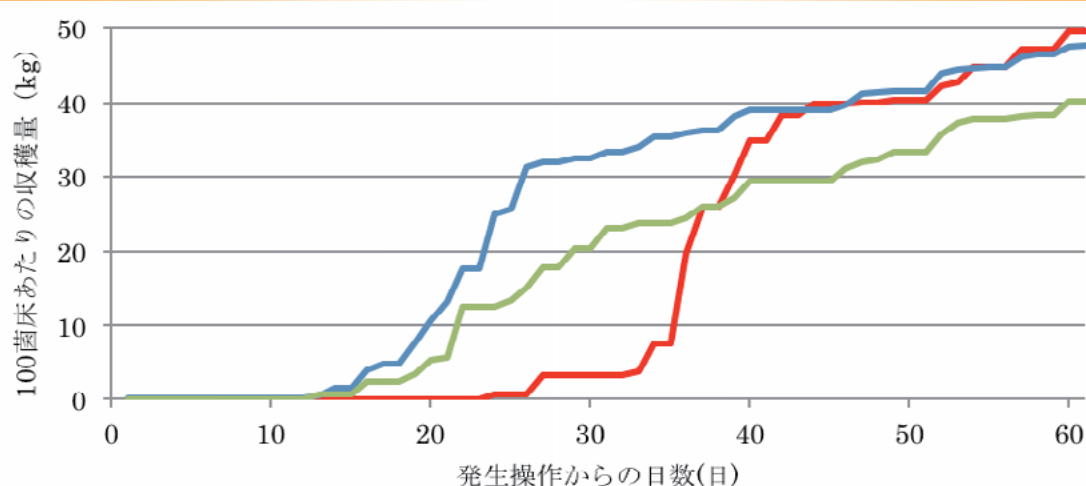


図1 アラゲキクラゲの収量

— 蛍光灯 — 青色LED強 — 青色LED弱

エリンギ

青色LED照射できのこの形を自在にコントロールできる！？

エリンギは、きのこの柄の独特の食味や食感が好まれるため、傘が小さく、柄が太くて長いきのこが広く流通し、エリンギの商品イメージとなっています。この形態を実現するためには、通常は1つのビンから数本の大型の子実体を発生させる栽培が行われてきました。光の波長や照射時間を調整することによって1ビンから発生するきのこの数や形態をコントロールできれば、販売先や用途に応じた形態のエリンギを生産することができ、品質や生産性の向上につながると考えられます。そこで、エリンギ栽培において、各工程の光照射条件が菌糸体成長、きのこの収量や形にどのように影響を及ぼすかを調べました。

1. 培養段階における光の影響

寒天培地上の菌糸成長に対しては、青色光は他の波長（色）と比較して、成長抑制の作用を示します（図1）。しかし、栽培においては、培養段階の前期、中期、後期に光を照射しても、その後のきのこの発生量や栽培日数、きのこの形態には影響を及ぼさないことがわかりました（図2）。

2. きのこの形態に及ぼす光波長（色）の影響

試験管培養によって小さなきのこを形成させ、きのこの発生段階に及ぼす光波長（色）の影響を調べました。赤、黄では暗黒下での発生と同様に、きのこの芽が出来てから傘の形成が遅れ、柄が長く傘の小さなきのこを形成しました。これに対し、青色光と蛍光灯では、きのこの芽ができた直後から傘が柄とともに成長し、柄が短く傘の大きなきのこを形成しました（図3）。これは、通常のビン栽培においても同様の傾向が見られました。



3. きのこの形態におよぼす青色光強度の影響

試験管培養によって、青色 LED（ピーク波長 455nm）を用いてきのこの発生段階に及ぼす光強度の影響（弱： $0.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ～強： $30.73 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ （菌床表面））を調べました。光が強いほど傘の直径が大きく、傘表面の色が濃くなり、柄が短くなりました。また、光が弱くなると傘の直径が小さく、傘表面の色が薄くなり、柄が長くなりました（図4、図5）。通常のビン栽培においても同様の傾向が見られました。また、白色 LED（青色 LED+黄色蛍光体）においても同様の傾向が見られました。

4. 光照射時期がきのこの形態に及ぼす影響

きのこの生育段階において、白色 LED（青色 LED+黄色蛍光体）と青色 LED（ピーク波長 455nm）を用いて、光の強さと光照射時期がきのこの形態に及ぼす影響を調べました。きのこの芽ができてから成熟するまで弱い光（白色：約 $0.17 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、青色：約 $0.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ （菌床表面））を照射すると、柄が長く傘の小さなきのこができました。きのこが小さな時期から大きくなるまで強い光（白色：約 $8.94 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、青色：約 $7.98 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）を照射すると、柄がある程度伸びた後、傘の成長が促進されるため、柄が長く傘の大きなきのこができました。さらに、きのこの芽ができてから大きくなるまで強い光を照射すると、柄の伸長が抑制され、傘の成長が促進されるため、柄が短く傘の小さなきのこができました。これらの傾向は、白色光と青色光で共通して見られましたが、傘の成長促進と柄の伸長抑制は青色光においてより顕著に見られました。また、発生タイプの異なる品種間で（株採りタイプ、1本採りタイプ）、光照射が子実体形態に及ぼす影響は共通していました。

以上の結果から、エリンギの発生段階において、青色 LED を用いて、光強度と光照射時期を変えることで、きのこの柄の長さや傘の大きさを調整し、生産目的に合った形態を持つエリンギを栽培できることが明らかとなりました。

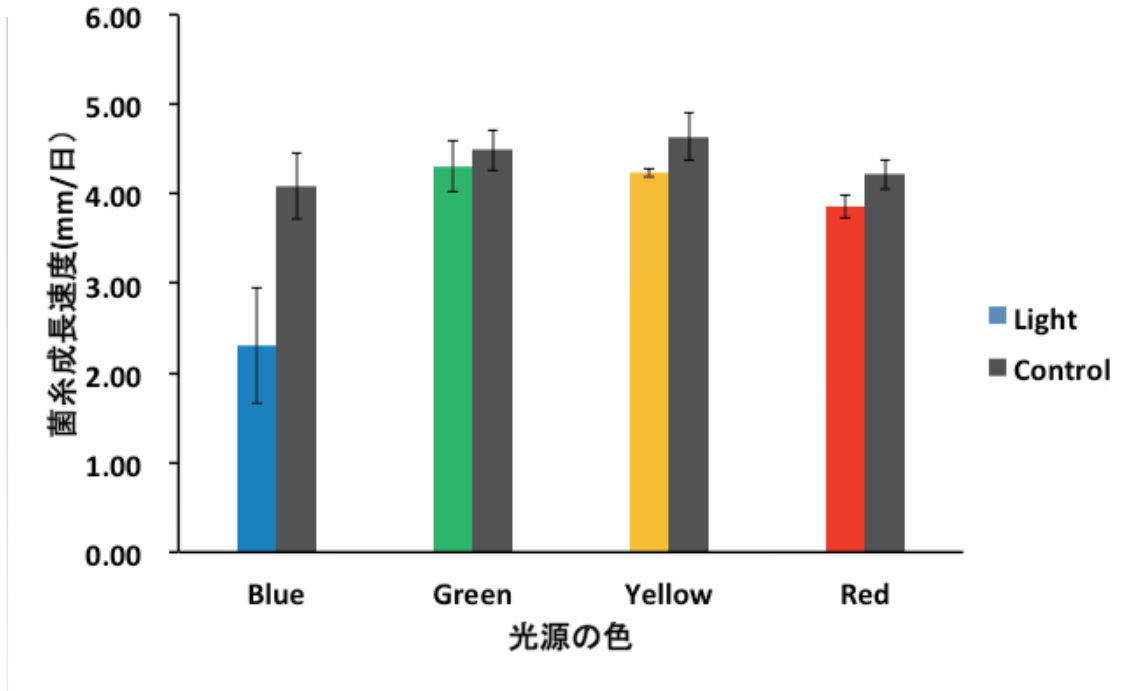


図1 寒天培地上の菌糸成長におよぼす光の影響

5日間光を連続照射し、菌糸伸長距離を測定。コントロール（暗黒）はその各色の実験ごとに測定。

光波長（ピーク）：赤（631nm）、黄（597nm）、緑（517nm）、青（455nm）、蛍光灯（3波長タイプ）



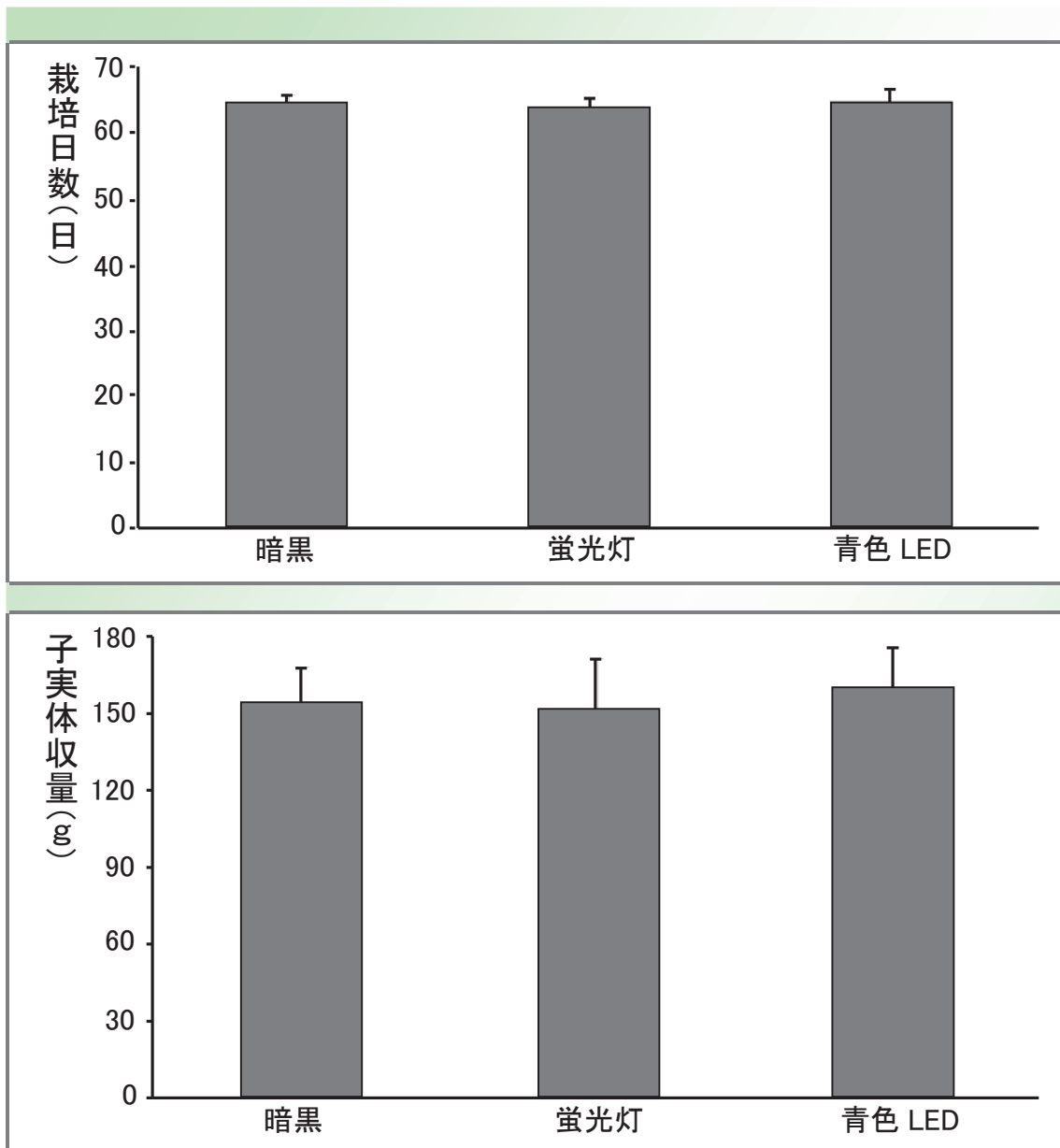


図2 培養工程における光照射の影響

ビン栽培において、培養30日から光を連続照射（光強度約 $10.5\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、菌床表面）した後、きのこを同一条件で発生させました。



図3 きのこの形に及ぼす光波長（色）の影響

約20gの培地を入れた試験管用い暗黒条件で40日間培養した後、発生室（温度約15℃、湿度約95%）に移動し、原基形成を確認後それぞれの光を連続照射しました。

光波長（ピーク）：赤（631nm）、黄（597nm）、緑（517nm）、青（455nm）、蛍光灯（3波長タイプ）

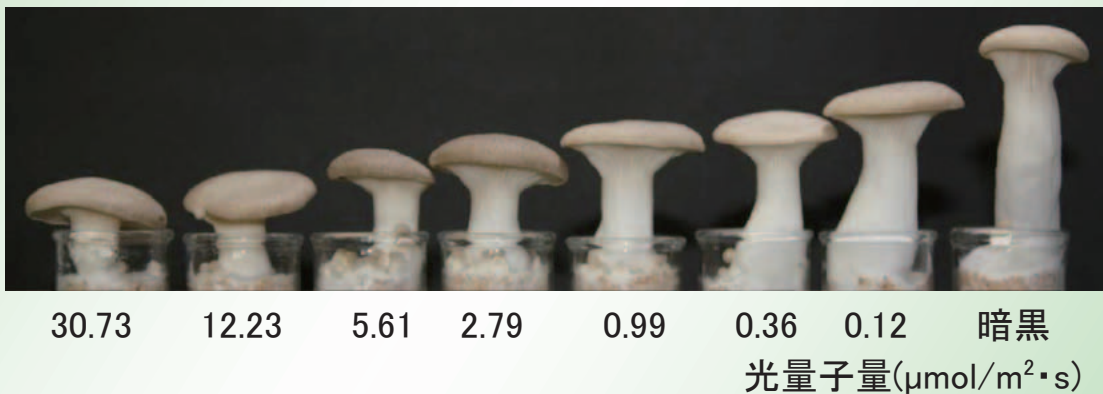


図4 きのこの形態におよぼす光強度の影響

約20gの培地を入れた試験管用い暗黒条件で40日間培養した後、発生室（温度約15℃、湿度約95%）に移動し、原基形成を確認後、青色LED（ピーク波長455nm）を用いて、それぞれの強さの光（菌床表面）を20分間隔で点灯消灯を繰り返しました。

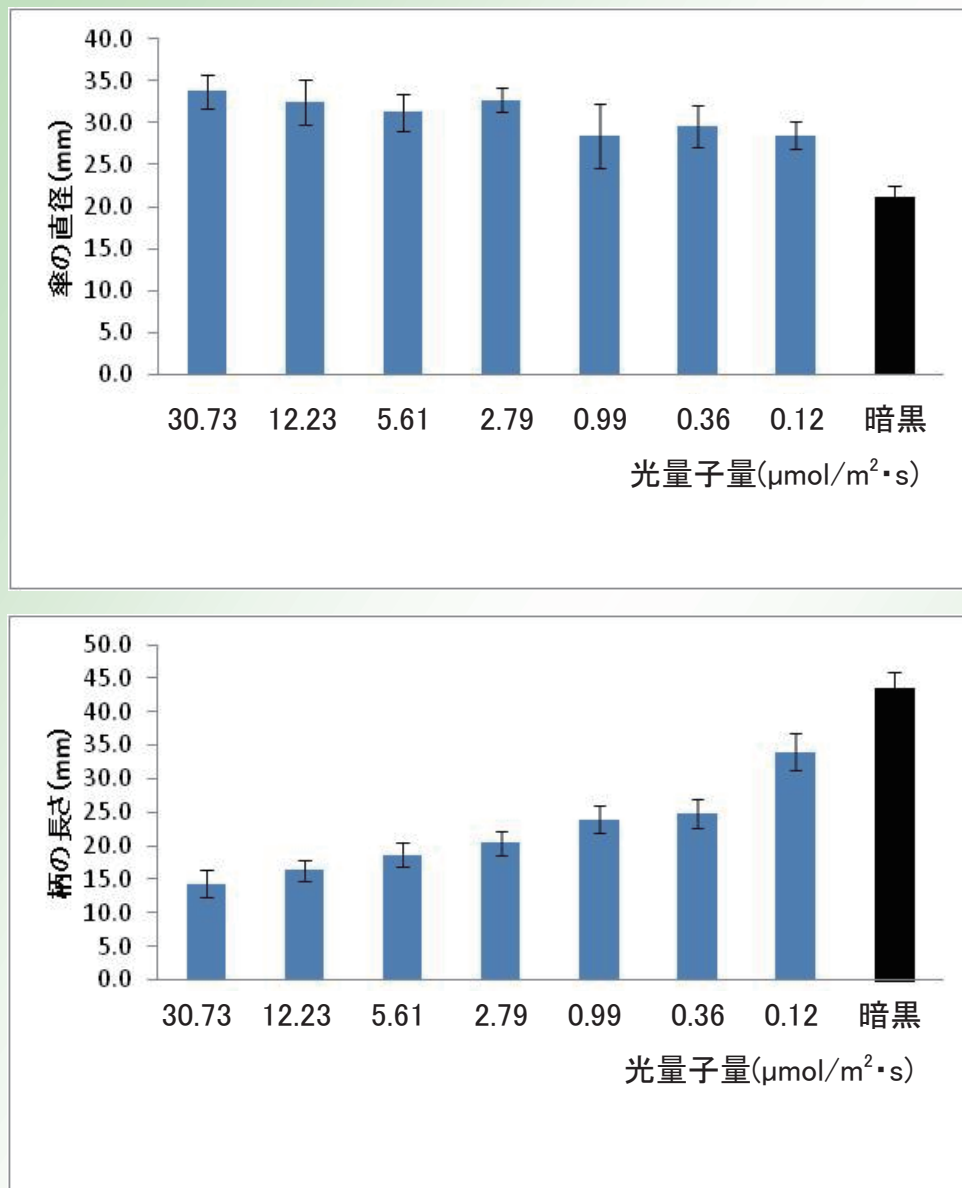


図5 きのこの形態に及ぼす青色LED（ピーク波長455nm）の光強度の影響(傘の直径と柄の長さ)

図4に示すきのこの測定値。各条件12本のきのこの菌床表面にて測定。



図6 きのこの形態に及ぼす光強度と光照射時期の影響
暗黒下で40日間培養後、発生処理し、子実体の芽ができた後、白色LED（青色LED+黄色蛍光体）と青色LED（ピーク波長455nm）の光強度を弱（白色： $0.17\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、青色： $0.15\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）、強1（白色： $8.94\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、青色： $7.98\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）及び強2（白色： $4.50\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、青色： $5.33\pm 1.54\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）として、20分間隔で点灯消灯を繰り返しました。きのこの生育中期から収穫までの光照射パターンを、a) 弱→弱、b) 弱→強1、c) 強1→強1、d) 強2→強2の4通りとしました。

バイリング

1 生育期におけるLED照射の効果について

(1)照射開始時期について

バイリングは、光を照射して育てるきのこですが、LEDを用いて光を生育のどの段階から照射するのが良いか調べました。

その結果、きのこが生長し傘が2cm前後になったとき（菌掻き後13～14日）からLEDを照射すると、傘の形成を促進し、柄の長さを整え、収量と品質が良くなりました（写真1）。



写真1 青色LED（ピーク波長455nm）の照射時期と子実体の形状
（菌かき後、照射開始までの日数 左から 9、10、11、12、13、14、15、16、無照射）

(2)光の種類と照射効果

現地栽培施設においてバイリングに傘径2cmの時期から白色LEDと青色LEDを生育時に照射した結果、きのこの生育と収量、品質において同程度の効果を実証されました（写真2）。（試験時の光量子量 白色LED（青色LED+黄色蛍光体） $31.0\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 青色LED（ピーク波長450nm） $30.5\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ）

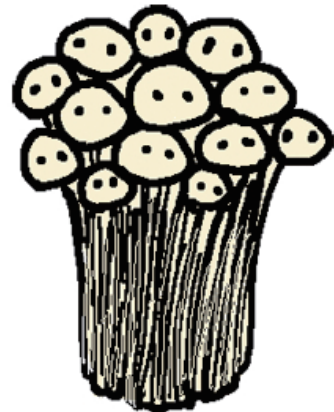


写真2 生育期の光照射ときのこの生育
（左 白色LED、右 青色LED）

<おわりに>

本稿の成果はここ数年にわたり、日本きのこ学会をはじめとする多くの国内外の学会や新聞誌面等で公表されています。また、日本特用林産振興会情報誌である「特産情報」誌において、各キノコに特化した栽培技術に関する連載を予定しています。発刊予定である「改訂・最新きのこ栽培技術」(株)プランツワールド)並びに、より詳細な解説として本マニュアル「LEDを利用したきのこ栽培」を配布し、技術の普及を目指しています。

本マニュアルは、農林水産省委託プロジェクト「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」における課題「キノコの光応答メカニズムの解明及び高度利用技術の開発(平成21~25年度)」において、(独)森林総合研究所が中核機関として、徳島県立農林水産総合技術支援センター、長野県野菜花き試験場、長野県林業総合センター、群馬県林業試験場、奈良県森林技術センター、(公財)岩手県生物工学研究センター、東京工業大学大学院生命理工学研究科、岡山大学理学部、と共同で行った研究成果です。

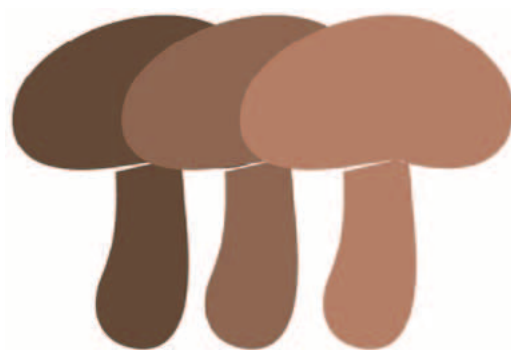


著者（あいうえお順）

阿部 正範	徳島県立農林水産総合技術支援センター	農産園芸研究課上席研究員
伊藤 将視	長野県野菜花き試験場	菌茸部 主任研究員（～平成22年度）
小島 靖	奈良県森林技術センター	主任研究員（～平成24年度）
風間 宏	長野県野菜花き試験場	菌茸部 技師（平成23年度～）
片桐 一弘	長野県林業総合センター	特産部 研究員（平成24年度～）
金子 真也	東京工業大学	大学院生命理工学研究科 助教
鎌田 堯	岡山大学	理学部 教授（平成22年度～23年度）
河合 昌孝	奈良県森林技術センター	総括研究員（平成25年度）
國友 幸夫	群馬県林業試験場	きのこ係 主任研究員兼きのこ係長
小山 智行	長野県野菜花き試験場	菌茸部 主任研究員
坂田 春生	群馬県林業試験場	きのこ係 独立研究員（平成23年度～）
坂本 裕一	（公財）岩手生物工学研究センター	主任研究員（平成22年度～）
佐野 広明	（独）森林総合研究所	きのこ・微生物研究領域 特別研究員
砂川 政英	（独）森林総合研究所	きのこ・微生物研究領域 主任研究員
鈴木 大	長野県野菜花き試験場	菌茸部 技師（平成23年度～）
角田 光利	（独）森林総合研究所	きのこ・微生物研究領域長（～平成22年度）
中村 公義	長野県野菜花き試験場	菌茸部長
中村 雅哉	（独）森林総合研究所	きのこ・微生物研究領域 チーム長
西澤 元	徳島県立農林水産総合技術支援センター	主任研究員（～平成23年度）
古川 仁	長野県林業総合センター	特産部 主任研究員（平成23年度～）
増野 和彦	長野県林業総合センター	特産部長
松本 哲夫	群馬県林業試験場	きのこ係 独立研究員（～平成22年度）
宮崎 和弘	（独）森林総合研究所九州支所	主任研究員
宮崎 安将	（独）森林総合研究所	きのこ・微生物研究領域 主任研究員

イラスト

浅野さとみ 東京工業大学大学院 生命理工学研究科 産学官連携技術員





独立行政法人 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

編集・発行 きのこ・微生物研究領域
発行日 2014(平成26)年 2月28日
お問い合わせ先 編集刊行係
電話 029-829-8135
e-mail: kanko@ffpri.affrc.go.jp

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。