

# マイタケ菌床栽培におけるLEDの利用

Effects of LED light on fruit body yield in *Grifola frondosa*

國友幸夫・坂田春生・松本哲夫\*

## 要旨

マイタケ菌床栽培におけるLED利用を検討し、その照射条件を明らかにした。

- 1 原基形成時における青色LED照射は光量子  $4 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 程度が適していた。
- 2 子実体発生時は青色LED  $3 \sim 8 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 程度の照射で蛍光灯約  $6.3 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ に比べ、やや日数が伸びるが収量は増した。
- 3 白色LED照射では蛍光灯との差が見られなかった。
- 4 天井に設置した蛍光灯と各棚に設置したLEDでは、栽培日数、収量ともに蛍光灯のバラツキが大きかった。
- 5 青色LED照射で濃色の菌傘の割合が増した。
- 6 LEDはマイタケ菌床栽培の光源となり得ることがわかった。

キーワード：マイタケ、光、LED、菌床栽培

## I はじめに

マイタケ菌床栽培において、光は他のきのこと同様に原基の形成、充実及び子実体の生育に欠かせない。栽培現場においては光源として一般に蛍光灯が使われており、多くは作業灯を兼ね天井に設置されている。そのため、天井まで届くような栽培棚の上下、また同じ棚板でも通路に面した部分と中央部では菌床や子実体に当たる光の差は大きい。このことは子実体の原基形成や生育のそろわない一因であると考えられる。そのため、原基の充実をもって行う発生室への菌床の移動、子実体の生育を促すための作業である袋カット、さらには収穫を行うにあたり1菌床ごとに原基や子実体の状況を確認しなければならない。したがって、栽培管理作業には熟練と多くの労力が求められている。

近年、様々な場面に普及してきたLEDは、きのこ生産の場でも注目を浴びつつある。LEDは、・寿命が長い、・素子が小さい、・消費電力が少ない、・発熱が少ない、・単色光を作りやすい、・点灯方法が簡単、・光強度の調節が容易、・破損時の危険が少ないなどの特徴がある（後藤，2009）。これらの特徴は、空調室で生産される菌床栽培きのこに適したもので、菌床シイタケにおいて先行的に研究が進んでいる（阿部，2006）。また、エノキタケやブナシメジでは栽培現場において試行錯誤をしつつもLEDの導入が始まっている。ところが、本県で広く行われているような農家経営でのマイタケ菌床栽培におけるLEDの本格的導入事例はなく、照射条件等導入にあたって不明な点が多い。

LEDの特徴である光源の小ささは、その取り回しのよさから棚ごとあるいは菌床ごとに設置できる可能性があり、子実体の原基形成や生育についてのバラツキを減少させることが期待できる。その

---

\*：林業振興課

ことは栽培管理の大幅な省力化につながり、LEDが持つ特徴である長寿命と消費電力の少なさ、発熱の少なさと相まって、大幅なコスト削減が可能になると考えられる。

そのためマイタケ栽培に適したLEDの照射方法を検討したので、その成果を報告する。

なお、本研究は、農林水産省農林水産技術会議事務局委託プロジェクト研究「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」により実施した。

## II 方法

マイタケ菌床栽培には、培養、原基形成及び子実体発生の主要な工程がある。その各工程において、青色LED及び白色LEDを蛍光灯を対照とし照射し、その照射方法及び照射強度を検討し、マイタケ菌床栽培におけるLED照射方法を検討した。それぞれの栽培試験に共通する器材、栽培方法は次のとおりである。

LED：図-1に示すパナソニック（株）ルー  
ガ青色LED及び白色LED、いずれも  
約450nmがピーク波長

対照区：パナソニック（株）パルッククール白  
色蛍光灯40W

供試菌：森産業（株）マイタケ森51号

供試数：各試験区11～14菌床

培地形状：2.5kgのブロック型菌床

培地組成：ブナおが粉・ホミニーフード培地

培地全重に対しホミニーフードを乾重で10%添加、培地含水率は65%

培養条件：温度23℃、湿度65%、接種後35日間は暗黒下

発生条件：温度16℃ 湿度90%

収穫：菌傘裏の管孔が縁から2～3mm程度まで形成されたとき

調査項目：接種から原基形成までに要した日数（以下、原基形成日数）、接種から子実体収穫までに要した日数（以下、収穫日数）、子実体の1菌床当たりの収量（以下、収量）、菌傘の色（農林水産省編 日本園芸植物標準色票により調査）

光量子：ライカ社のライトメーターLI-250を用い、光量子センサーLI-190SAにより測定。なお、それぞれの栽培試験時の光量子は各項に示す。

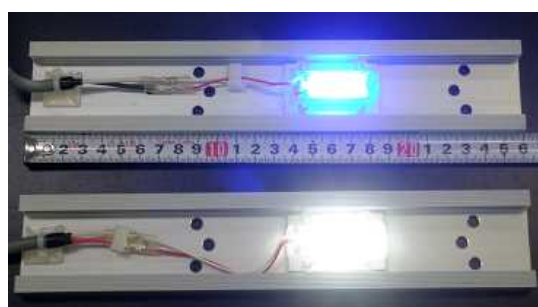


図-1 使用したLED

上が青色LED、下が白色LED

### 1 培養時における青色LED照射

マイタケ菌床栽培では培養中の照射は作業上の必要性がなければ行わないが、青色光が原基形成を促すことはわかっている（北本ら，1992）ので、表-1に示す条件で培養中に青色LEDを照射し、その影響を調査した。

表-1 培養時における青色LED照射

試験区	照射期間(培養期間35日)	光量子( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )
対照区	暗培養	—
全LED	接種～培養終了	21.6
前LED	接種～培養18日目	21.6
後LED	培養18日目～培養終了	21.6

\*原基形成時、対照区は蛍光灯(光量子 $19.4\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )を、LED照射区は培養時と同量のLED(光量子 $21.6\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )を照射。子実体発生時は蛍光灯(光量子 $5.21\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )を照射

2 原基形成時における青色LED照射  
原基形成時の照射条件を決定するため、青色LEDを用い栽培試験を2回繰り返して行った。光量子は表-2のとおりである。

表-2 原基形成時における青色LED照射時の光量子

試験区	第1回( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )	第2回( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )
対照区	8.95	8.85
青LED強	8.74	8.87
青LED中	4.03	4.00
青LED弱	2.13	2.00
青LED微	0.97	1.01

\*対照区は原基形成時に蛍光灯を照射。子実体発生時は蛍光灯(光量子 $5.21\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )を照射

3 原基形成時における白色LED照射  
作業性の高い白色LEDについても、照射条件を決定するため、栽培試験を2回繰り返して行った。光量子は表-3のとおりである。

表-3 原基形成時における白色LED照射時の光量子

試験区	第1回( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )	第2回( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )
対照区	8.64	8.58
白LED強	8.74	8.77
白LED中	4.32	4.55
白LED弱	2.18	2.18
白LED微	1.06	1.04

\*対照区は原基形成時に蛍光灯を照射。子実体発生時は蛍光灯(光量子 $5.79\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )を照射

4 子実体発生時における青色LED照射  
子実体発生時の青色LED照射について、照射条件を決定するため蛍光灯を対照区とし、栽培試験を2回繰り返した。光量子は表-4のとおりである。

表-4 子実体発生時における青色LED照射時の光量子

試験区	第1回及び第2回( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )
対照区	6.28
青LED強	7.84
青LED中	6.17
青LED弱	4.22
青LED微	2.99

\*原基形成時は蛍光灯(光量子 $7.73\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )を照射

5 子実体発生時における白色LED照射  
子実体発生時の白色LED照射について、照射条件を決定するため蛍光灯を対照区とし、栽培試験を2回繰り返した。光量子は表-5のとおりである。

表-5 子実体発生時における白色LED照射時の光量子

試験区	第1回及び第2回( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )
対照区	3.61
白LED強	7.24
白LED中	3.59
白LED弱	1.74
白LED微	0.97

\*原基形成時は蛍光灯(光量子 $3.27\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )を照射

## 6 LED照射が栽培日数のバラツキに与える影響

蛍光灯、青色LED及び白色LEDを用い、原基形成及び子実体発生バラツキを栽培棚の上下で

調査した。当林業試験場培養室及び発生室の栽培棚は4段で、備え付けの照明は天井に設置された蛍光灯である。したがって、棚によって光源からの距離が異なり光量子も異なる。各棚に培地がおかれていればなおさらである。そこで、その場合の原基形成のバラツキ、及び各棚に青色LED及び白色LEDを設置し光量子をそろえた場合の原基形成及び子実体発生のバラツキを検討した。各棚の光量子を表-6に示す。

表-6 各区の光量子 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )

試験区	培養	発生
蛍光灯上段	9.81	12.65
蛍光灯中段	3.47	2.27
蛍光灯下段	1.94	1.41
蛍光灯最下段	1.33	0.63
-----		
青色LED上段	3.98	5.97
青色LED中段	3.96	5.96
青色LED下段	4.04	5.81
青色LED最下段	4.04	5.53
-----		
白色LED上段	4.01	5.99
白色LED中段	4.10	5.92
白色LED下段	3.96	5.85
白色LED最下段	4.00	6.07

### III 結果及び考察

#### 1 培養時における青色LED照射

培養時における青色LED照射時の原基形成日数を図-2に示す。対照区に比べ、全LED及び前LEDでは原基形成日数に差は見られなかったが、培養後半に青色LEDを照射した後LEDでは2週間近く日数が伸び、有意差も認められた。

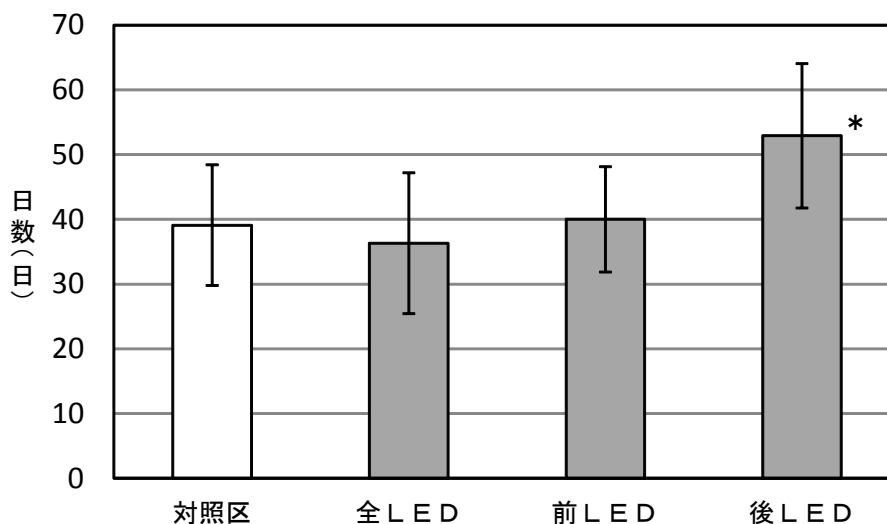


図-2 培養時における青色LED照射による原基形成日数

注：図中の範囲バーは標準偏差を示し、\*は対照区に対し危険率5%で有意差があることを示す。以下同じ

同様に収穫日数を図-3に示す。収穫日数においても対照区に比べ、全LED及び前LEDでは日数に差は見られなかったが、培養後半に青色LEDを照射した後LEDでは約10日伸び、有意差も認められた。

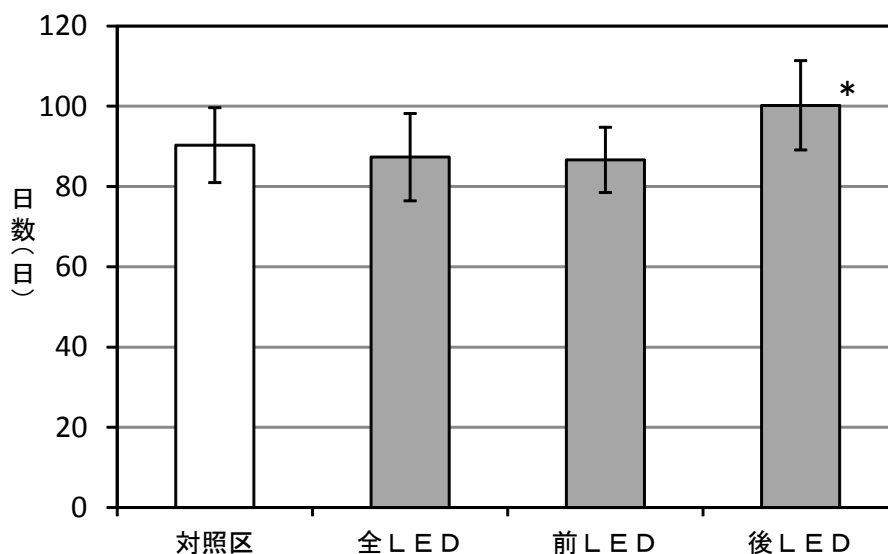


図-3 培養時における青色LED照射による収穫日数

収量を図-4に示す。収量においては対照区に比べ、全LED及び前LEDでは差が見られなかったものの、全LEDでは標準偏差が大きく、収量がばらついていたことがわかる。また後LEDでは明らかに収量が減り、対照区との間に有意差が見られた。

これらのことから、マイタケ菌床栽培における培養時の青色LED照射は、培養全期間照射した場合に収量のバラツキが大きくなり、培養後期の照射では収穫日数が明らかに伸び、収量も減少することがわかり、悪影響を及ぼすことがわかった。

これまでも、培養中には作業時以外光を照射することはなかったので、LEDについても同様に作業上必要な照明を設置すればよいと考えられた。

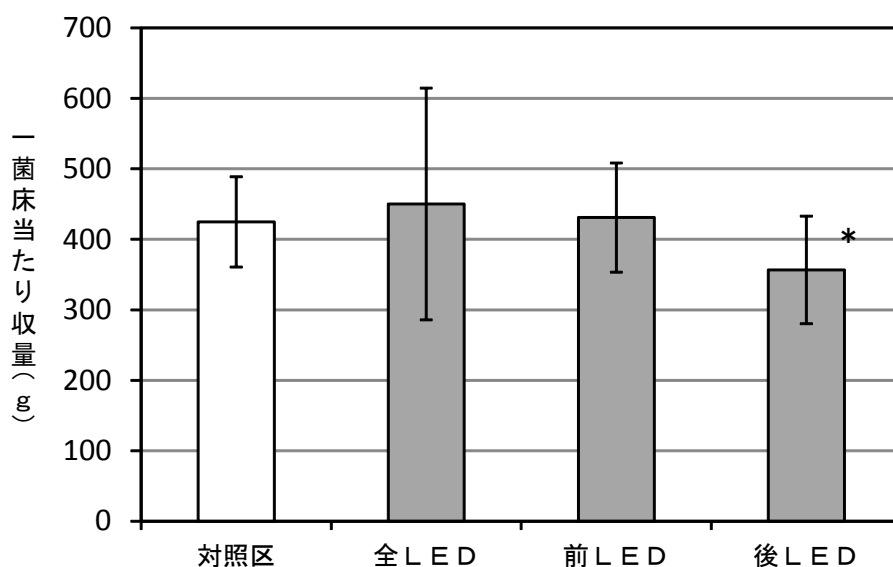


図-4 培養時における青色LED照射による収量

## 2 原基形成時における青色LED照射

原基形成時における青色LED照射による原基形成日数を図-5に示す。第1回の栽培試験では蛍光灯照射の対照区に対して全試験区とも有意差が認められなかった。第2回では青色LED照射を照射した区のうち青LED強以外は対照区に比べ有意に短かった。

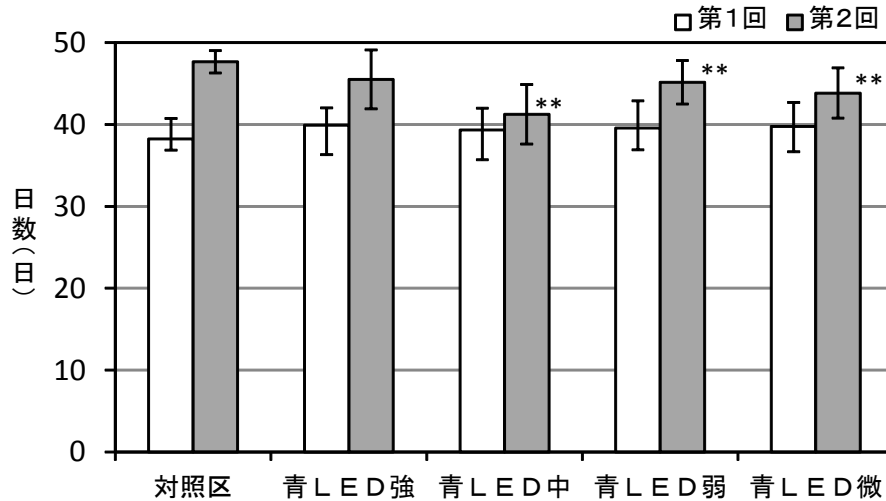


図-5 原基形成時における青色LED照射による原基形成日数

注：\*\*は対照区に対し危険率1%で有意差があることを示す。以下同じ

同様に収穫日数を図-6に示す。第1回では蛍光灯照射の対照区に対して全試験区とも有意差が認められなかったが、第2回では原基形成日数同様に青LED強区以外は対照区に比べ有意に短かった。

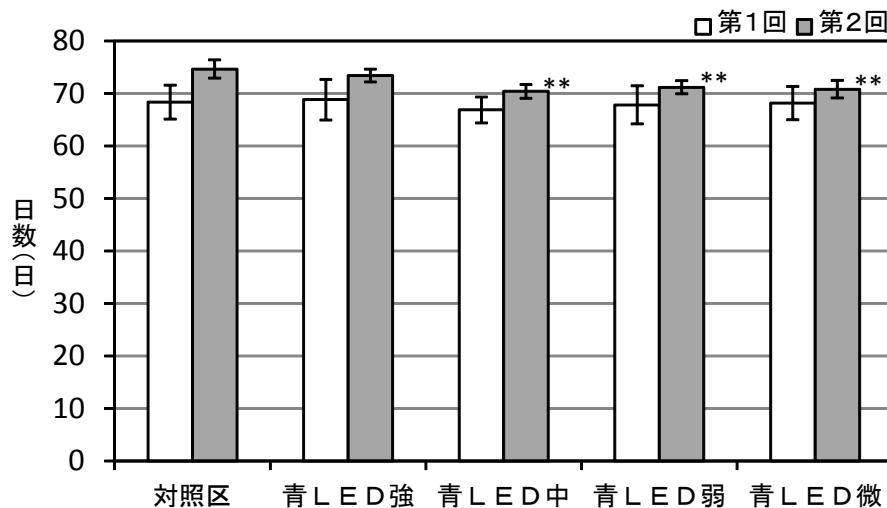


図-6 原基形成時における青色LED照射による収穫日数

収量を図-7に示す。第1回はLED中が最多となり、対照区に対し有意差が認められた。第2回はどの区の間にも差が見られなかった。

青LED中が、第1回では収穫日数において有意差は見られなかったものの最も早く、収量においては対照区に対し有意差があり、最も多かった。また、第2回では収穫日数において最も早く、収量

においては有意差が見られなかったことから、原基形成時における青色LED照射は青LED中すなわち光量子  $4 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  前後が最適であると考えられた。

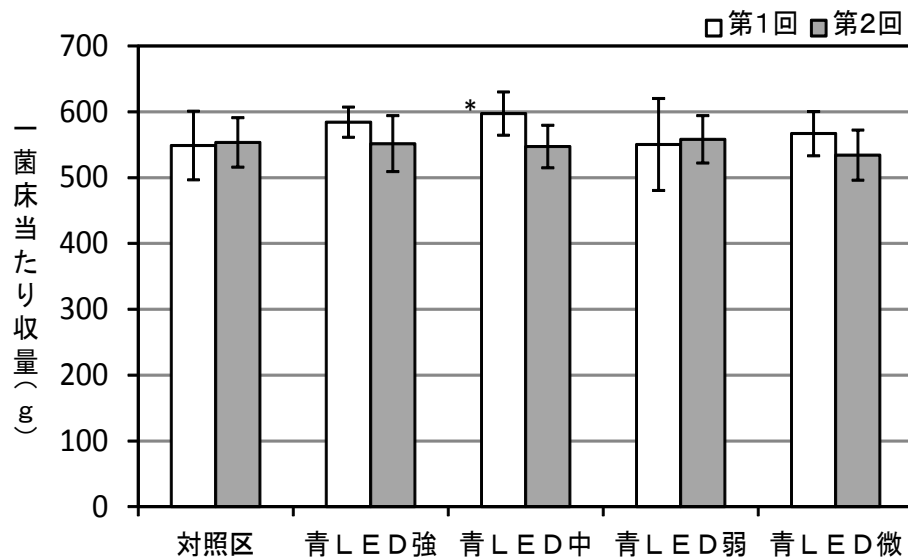


図-7 原基形成時における青色LED照射による収量

### 3 原基形成時における白色LED照射

原基形成時における白色LED照射による原基形成日数を図-8に示す。第1回では原基形成に要する日数は白色LED照射による方が蛍光灯照射の対照区に比べ光量子量に関係なく有意に少なかった。第2回では反対に白色LED照射により日数が伸びる傾向が見られ、白LED微では対照区に対し有意差があった。

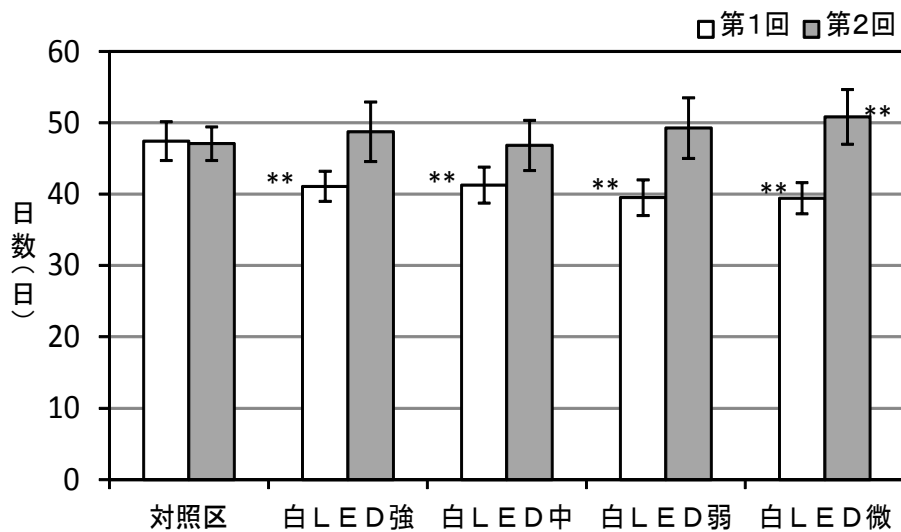


図-8 原基形成時における白色LED照射による原基形成日数

同様に収穫日数を図-9に示す。第1回、第2回とも原基形成と同様の傾向を示した。

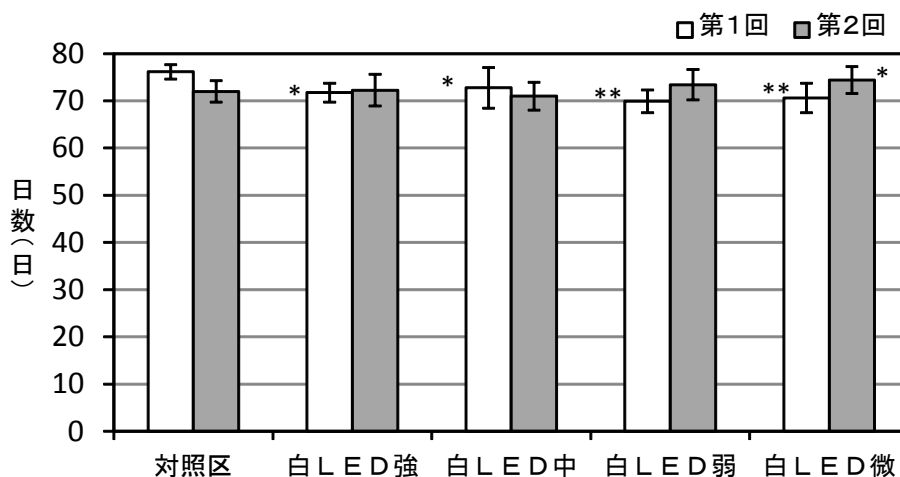


図-9 原基形成時における白色LED照射による収穫日数

収量を図-10に示す。第1回では対照区に比べ白LED中、白LED弱、白LED微で収量が多かったが、有意差は見られなかった。第2回でも対照区との間に有意差は見られなかった。また、照射条件により子実体形状にも違いは見られなかった。

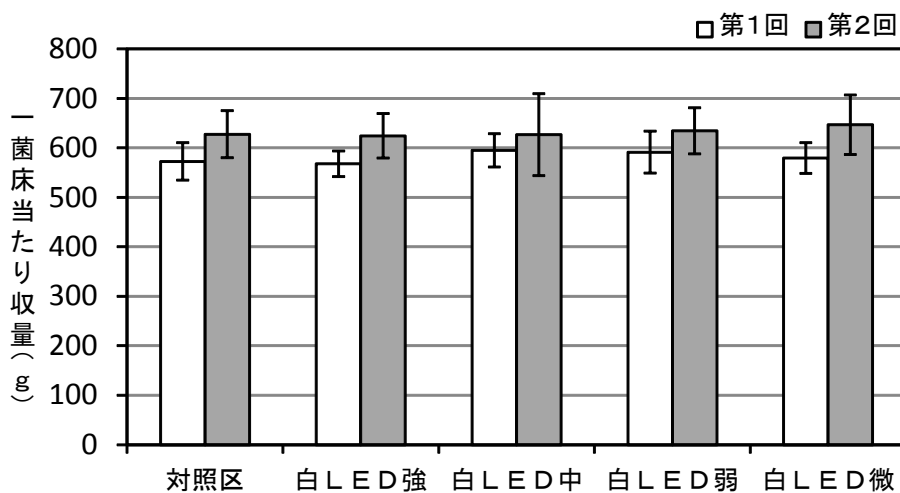


図-10 原基形成時における白色LED照射による収量

第1回及び第2回の結果をみると、白色LED照射による影響よりも、栽培時期やわずかな栽培温度、湿度の違いが要因となっていることがうかがえる。白色LED照射により栽培日数及び収量に差が生じたとは言えず、対照区とした蛍光灯と同様に白色LEDが原基形成に利用できると考えられた。

#### 4 子実体発生時における青色LED照射

いずれの区も原基形成は第1回が46.0日、第2回が42.9日であった。原基形成後、所定の光照射に



より子実体発生を促し、収穫日数及び収量を調査した。

子実体発生時における青色LED照射による収穫日数を図-11に示す。第1回では青色LED照射した各区とも明らかに日数が伸び、有意差が見られた。第2回でもやや伸びる傾向が見られ、青LED中では有意差が見られた。

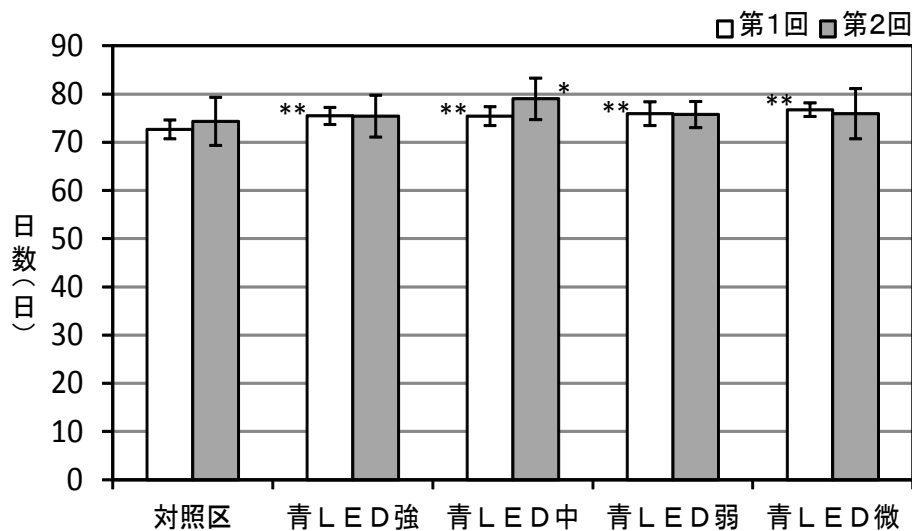


図-11 子実体発生時における青色LED照射による収穫日数

同様に図-12に収量を示す。第1回では対照区である蛍光灯照射に比べ、青色LED照射で収量が増し、青LED強以外では有意差が見られた。第2回では有意差は見られなかったものの青色LED照射で収量が増す傾向が見られた。

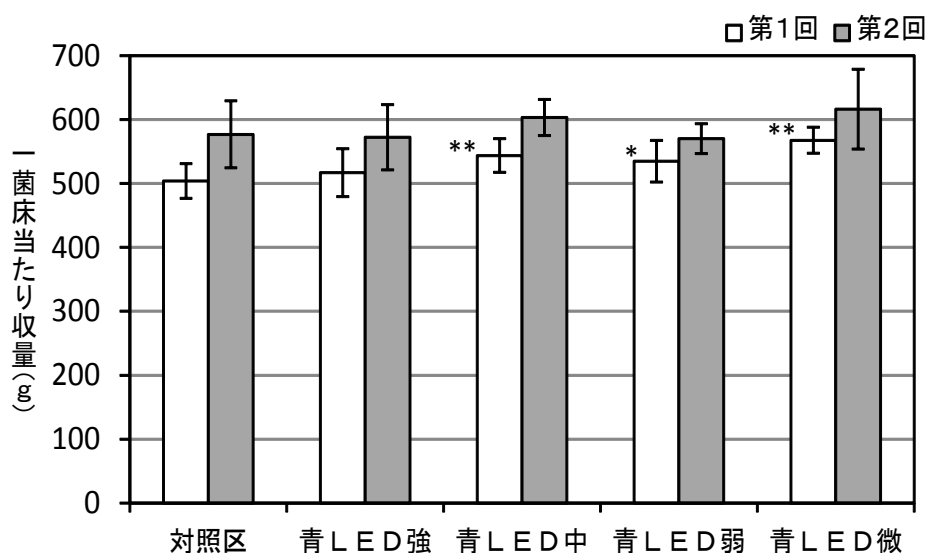


図-12 子実体発生時における青色LED照射による収量

子実体発生時の青色LED照射では蛍光灯照射に比べ、やや収穫に要する日数が伸びるものの収量が増すことがわかった。

### 5 子実体発生時における白色LED照射

いずれの区も原基形成は第1回が47.4日、第2回が47.8日であった。原基形成後、所定の光照射により子実体発生を促し、収穫日数及び収量を調査した。

子実体発生時における白色LED照射による収穫日数を図-13に示す。収穫日数において2回とも白色LEDの光量子が減るにつれ日数が伸びる傾向が見られ、特に第1回では白LED中以降有意差が見られた。第2回では有意差が見られなかった。

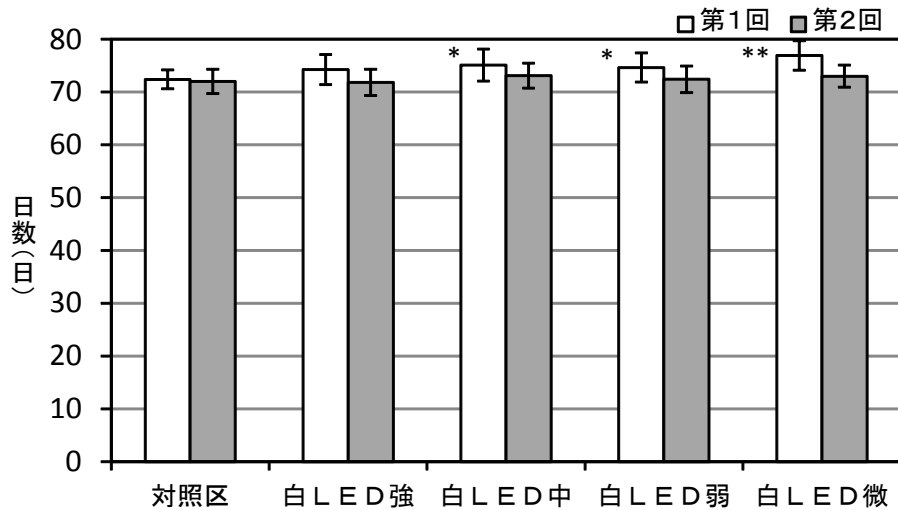


図-13 子実体発生時における白色LED照射による収穫日数

図-14に子実体発生時における白色LED照射による収量を示す。収量ではそれぞれに白色LEDの光量子により有意差が見られたが、はっきりとした傾向は認められなかった。白LED強では第1回、第2回とも収量が有意に少なかったため、そこまでの光量子は必要ないと考えられた。

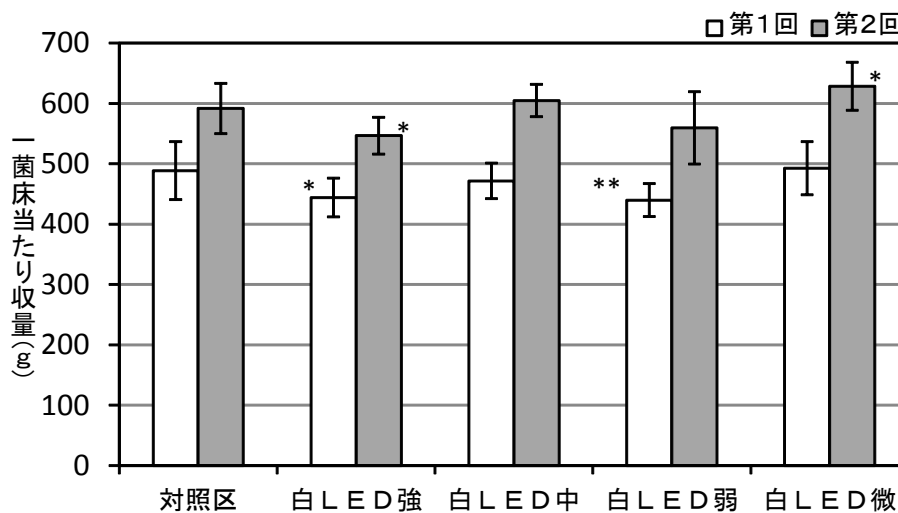


図-14 子実体発生時における白色LED照射による収量

白色LEDの照射について、前述の原基形成時に照射した結果とあわせて考えると、それぞれに差

は見られるもののそれが白色LED照射による影響か別の要因によるものか明確ではない。したがって、原基形成及び子実体発生時のどちらに白色LEDを利用しても蛍光灯と同様の栽培が可能であると考えられた。

## 6 LED照射が栽培日数のバラツキに与える影響

LED照射が栽培日数のバラツキに与える影響による原基形成日数を図-15に示す。蛍光灯照射では上段が最も原基形成に日数を要し、中段以降に比べ有意差が見られた。また、下段の日数が短かったが、上段以外の棚とは有意差は見られなかった。青色LED照射では上段の日数が最も長く、最も短かった中段との間に有意差が見られた。しかし、全体的には蛍光灯照射よりもバラツキが小さかった。白色LED照射では各棚間に有意差は見られなかった。照明器具ごとに4段の棚全体を比較すると、どの照明器具間にも有意差は見られなかった。また、照明器具ごとの標準偏差を見ると蛍光灯照射>青色LED照射>白色LED照射の順で大きかったが、青色LED照射と白色LED照射の差は蛍光灯照射に比べ小さかった。

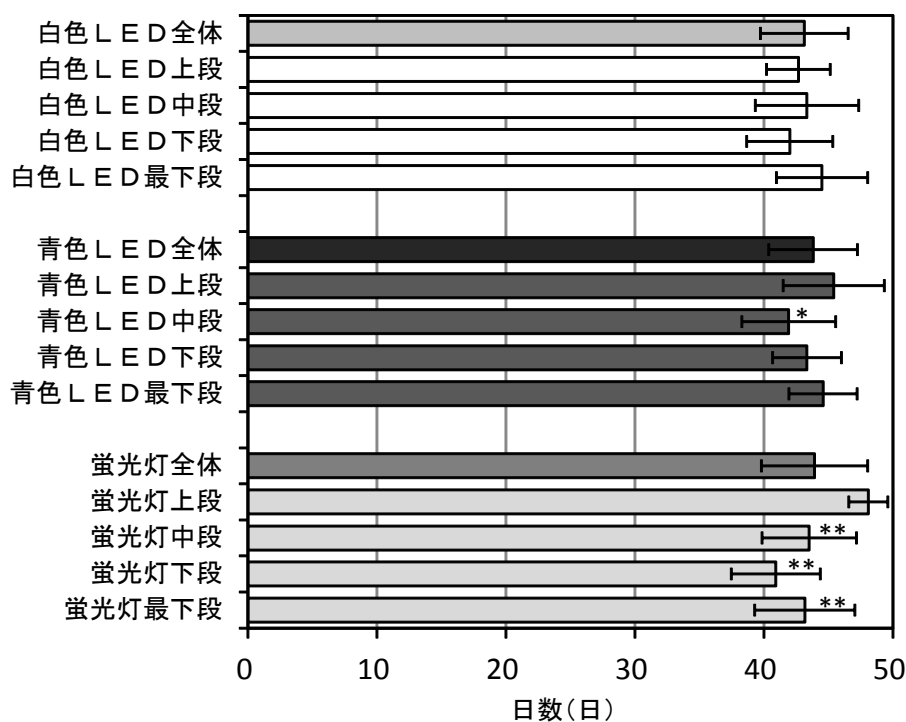


図-15 LED照射が栽培日数のバラツキに与える影響による原基形成日数

注：有意差は各照明器具の上段に対するもの。以下同じ

同様に図-16に収穫日数を示す。蛍光灯照射では上段に比べ中段、下段で日数が短く、有意差が見られた。青色LED照射及び白色LED照射では棚間に有意差は見られなかった。照明器具ごとに全体を比較すると、どの照明器具間にも有意差は見られなかった。また、照明器具ごとの標準偏差を見ると蛍光灯照射>白色LED照射>青色LED照射の順で大きかった。

図-17に収量を示す。青色LED最下段が上段に比べ多く有意差が見られたが、他の区では有意差は見られなかった。照明器具ごとに全体を比較すると、どの照明器具間にも有意差は見られなかった。また、照明器具ごとの標準偏差を見ると蛍光灯照射>白色LED照射>青色LED照射の順で大きかった。

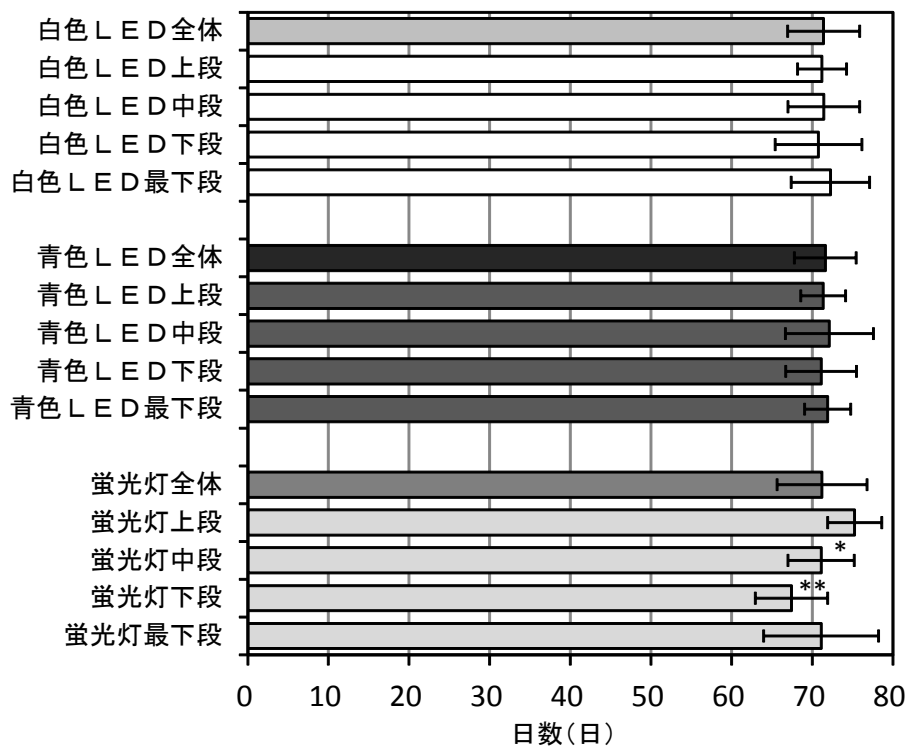


図-16 LED照射が栽培日数のバラツキに与える影響による収穫日数

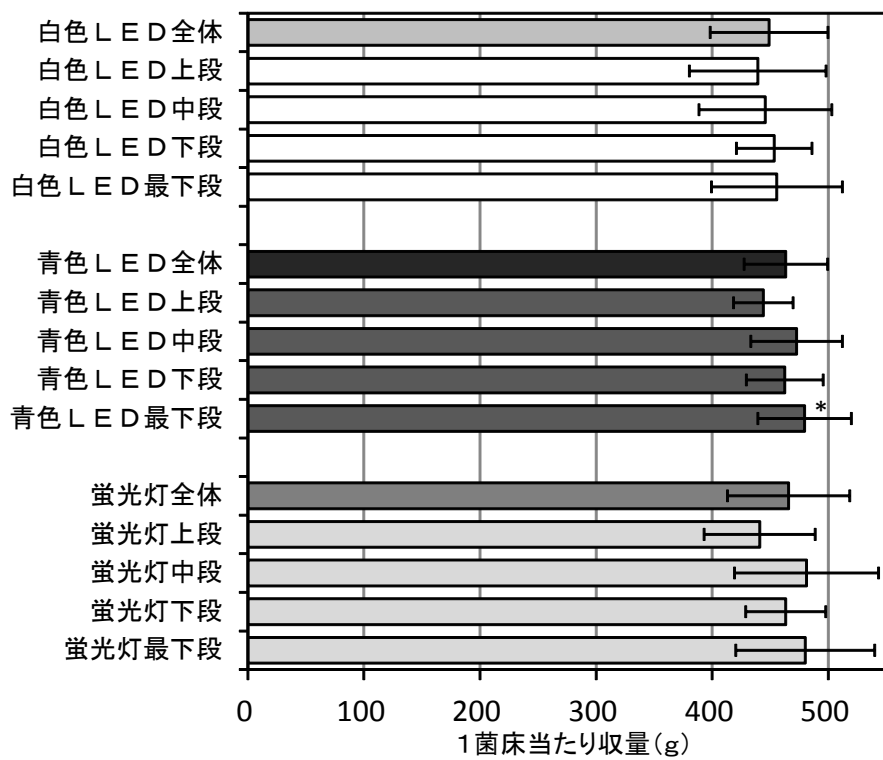


図-17 LED照射が栽培日数のバラツキに与える影響による収量

このときの照明器具ごとの菌傘色を図-18、蛍光灯照射と青色LED照射時の子実体を図-19に示す。青色LED照射で暗褐色の比率が26%と最も高く、また灰茶色は51%であった。蛍光灯照射では暗褐色は見られず、灰茶色が33%、黄茶色が67%で最も明るい菌傘色であった。一般にマイタケは濃色が好まれるので、青色LED照射は消費者の嗜好にもあう子実体が生産できることがわかった。

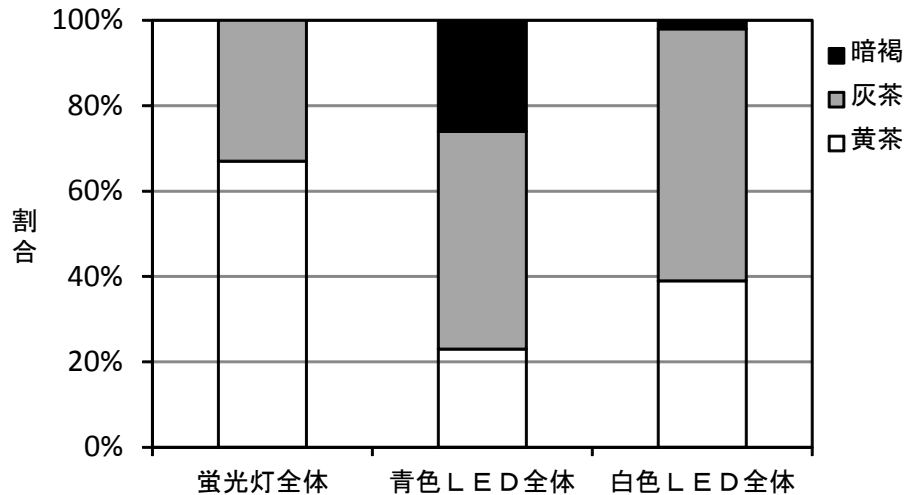


図-18 LED照射が栽培日数のバラツキに与える影響による菌傘色



図-19 子実体

## 7 総合考察

マイタケなど担子菌の光形態形成には、近紫外線から青色領域の光が有効（北本ら，1992）とされているため、本研究では共同研究機関共通で約450nmの波長を持つ青色LED、パナソニック（株）製ルーガが研究のはじめから使われた。しかし、青色LED点灯下では色の変化を識別しづらく、原基形成がはっきりわからず明らかに作業に支障のあることがわかった。また、青色LED点灯下で作業をしたとき、短時間でも目に不調を感じたことや、最近では青色光が人体に障害を及ぼす可能性（藤澤，2013）も指摘されていることから、青色LEDと同時に白色LEDについても照射条件を検討した。しかしながら、使用した白色LEDも青色LED同様のピーク波長を持つことから、人体への影響について、今後慎重に考えていかねばならないと考えられる。

マイタケ菌床栽培において一般に光は菌糸伸長には必要なく、培養中はなるべく暗く（川島，1998）管理をするように言われている。しかし、青色光が原基形成に有効であることから、菌糸伸長中からの照射が原基形成、さらには子実体発生に良い影響を与える可能性も否定できなかった。そのため、菌糸伸長中の照射を検討したが良好な結果を得ることはできなかった。

原基形成においては、原基の形成及び充実を図ることが良質の子実体発生につながることから光照射は欠かせない（川島，2001）。そこで、青色LEDにより適切な光量子を検討した。その結果、 $4 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ が適していることがわかった。同様に白色LEDについても検討したが、白色LEDでははっきりした違いは認められず、対照区とした蛍光灯の12~25%ほどの光量子、すなわち $1 \sim 2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ でもほぼ同等の収量を得られることがわかった。

子実体発生時は光照射は欠かせない。そこで原基形成時と同様にLEDの光量子を4段階に調整し、栽培を試みた。青色LEDでは蛍光灯照射に比べ、やや日数が伸びるものの、収量も増すことがわかった。そのとき、強い光量子は必要なく、蛍光灯と同様かそれ以下で十分であった。白色LEDについても同様であった。

そこで、全栽培期間を通じてLED照射を行い、当初の目的であった栽培におけるバラツキの減少について検討した。対照区とした蛍光灯は天井灯であり、各LEDは棚ごとになるべくすべての菌床に均等に照射できるように設置した。その結果、従来の蛍光灯照射に見られるようなバラツキを減少できることが明らかになった。また、特に青色LEDにより、菌傘色が濃くなることも確認できた。マイタケでは濃い色が一般に好まれることから、青色LED照射は品質の向上にもつながると考えられる。しかし、前述したように青色光に人体に障害をもたらす可能性があるので注意が求められる。

また、LEDが発する光は拡散せず、LED光源の前面に多く照射される。そのため、本研究で用いたLEDを既存の栽培棚に設置した場合、菌床や子実体に光が均等に照射されず、子実体に色むらが見られることがあった。このことも今後の課題であると考えられた。

本研究では、マイタケ菌床栽培の栽培工程中におけるLEDの照射条件を決めることができた。今後、各菌床及び子実体にいかに均一の光を照射するかが課題と考えられる。そのためには、LED装置の開発だけではなく、栽培棚とのセットで考えていくことも必要であろう。また、理想的な照射条件でなくとも、LED導入の初期投資が抑えられることから、現在それぞれの生産者が使っている栽培棚に設置できるような照明装置及び設置方法の開発も必要と考えられる。

#### IV おわりに

マイタケ菌床栽培におけるLED導入に当たりその栽培現場での照射条件を検討し、明らかにすることができた。今後、生産者が自分の栽培施設に導入するに当たりここで解明した照射条件にあった照明装置の導入が望ましい。そのため、本研究結果について広く普及し、マイタケ菌床栽培の経営安定化に役立てたい。

#### 引用文献

- 阿部正範（2006），発光ダイオード光源を利用した菌床シイタケ栽培：徳島森研報N0. 5， 4-9  
藤澤榮（2013），LED使用には国際電気標準会議（IEC）評価結果データ確認を：特産情報2013年3月号，50-51  
後藤英司（2009），農林水産業におけるLEDの利用と展望：農林水産研究ジャーナル32（10），5-

- 川島祐介 (1998), マイタケ (サルノコシカケ科) (林業技術ハンドブック : 林野庁監修, 1969pp, 全国林業改良普及協会, 東京), 1800-1805
- 川島祐介 (2001), マイタケ (キノコ栽培全科 : 大森清寿, 小出博志編, 258pp, 農山漁村文化協会, 東京), 97-109
- 北本豊, 鈴木彰 (1992), 生理 (きのこ学 : 古川久彦編, 450pp, 共立出版株式会社, 東京), 91