

阿部 正範

要旨

菌床シイタケ栽培における、発光ダイオード(LED)の照射効果について検討した。まず、青色LED(470nm)、赤色LED(625nm)、緑色LED(520nm)照射が、菌糸生長に及ぼす影響について調べた。菌糸の生長量は、青色LEDが最も少なく、赤色LED、緑色LEDは、蛍光灯と比べて生長量に差は認められなかった。このことから、菌糸が蔓延するまでの期間である種菌接種後、約30日間は、青色LEDの照射は不適であることが判明した。次にLED照射が、子実体発生に及ぼす影響について調べた。多くのキノコでは、青色光が原基形成に有効とされている。そこで、青色LEDの照射が、子実体発生に及ぼす影響について調べた。その結果、子実体の発生量は、培養期間(接種30日以降)に青色LEDを照射すると増加し、発生期間に照射すると減少した。このことから、青色LEDの照射は、培養期間が適していることが判明した。

はじめに

キノコの菌糸生長や子実体の発生は、温度¹⁻³⁾や水分^{4,7)}、光⁷⁻⁹⁾、酸素や二酸化炭素¹¹⁾などの環境因子によって左右され、制御されている。そのため、これらの環境因子を上手く利用することで、キノコの品質や収量を向上させることが可能となる。光環境については、実験室的なレベルでは、シイタケ^{7,8,12)}やヒラタケ¹³⁾、アミスギタケ¹⁴⁾が、また、商業栽培的なレベルでは、ヒラタケ¹⁵⁾やエノキタケ¹⁶⁾、ブナシメジ¹⁸⁾、ハナサナギタケ¹⁹⁾が、それぞれ、菌糸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、商業レベルにおける栽培学的な報告は、ほとんど見られない。

ところで、20世紀半ばに開発された発光ダイオード(LED)の進歩はめざましく、現在では、紫外線領域から可視領域、赤外線領域で発光するものまで製造が可能となっている。そのため、今日では様々な用途に使用され、今後、蛍光灯や電球に置き換わる光源として期待されている。LEDは、寿命が長い、小さい、消費電力が少ない、熱が出ない、単色光が得られる、点灯方法が簡単、近接照射で高光強度が得られる、光強度の調節が容易、様

々なピーク波長のタイプがある、破損時の危険が少ない、などの特徴がある²⁰⁻²¹⁾。

このような特徴を備えた、LEDは、キノコ栽培における光環境の制御として、有望であると考えられる。

そこで、LEDを使用して、光の波長がシイタケ菌糸の生長に及ぼす影響を検討した。特定の光の波長が、シイタケ菌糸の生長や子実体発生に有効なことが判明すれば、菌床シイタケ栽培の低コスト化につながる可能性がある。また、キノコの子実体原基の誘導には、青色光が有効とされている^{14,22-23)}ので、シイタケ子実体の発生に青色光が及ぼす影響についても検討した。

材料と方法

1 光の波長がシイタケ菌糸の生長に及ぼす影響

1.1 供試菌及び接種源 供試菌は、市販品種の北研600号を使用した。接種源は、PDA培地を10ml分注したシャーレ(φ95×H20mm)中央に、供試菌を接種後、25℃で14日間培養し、生長したコロニーの周辺部分を直径3mmのコルクボーラーで打ち抜いたディスクとした。

1.2 LEDの照射 本研究には、日亜化

学工業株式会社製の 3 種類の LED を使用した。すなわち、ピーク波長が 625nm の赤 (NSPR800AS)、520nm の緑 (NSPG510S)、470nm の青 (NSPB510S) である。また、15W の白色蛍光灯 (株式会社東芝、FL15S W) を対照とした。光量は、培地上部の放射照度を 0.16Wm^{-2} に設定し、1 日 8 時間の連続照射とした。

1.3 液体培地での菌糸生長量 50ml 容三角フラスコに 20ml 分注した SMY 液体培地の表面に接種源を接種後、前述の照射条件で、25、30 日間培養した。培養終了後に、生長した菌体をナイロンメッシュ (133 μm) で濾別して、24 時間、105 で乾燥後、菌体重量を求め、菌糸生長量とした。なお、供試数は、各試験区 5 培地とした。

1.4 平板培地での菌糸生長量 PDA 培地を 10ml 分注したシャーレ (ϕ 95 × H20mm) 中央に接種源を接種後、前述の照射条件で、25、7 日間培養した。接種 3 日後から 7 日後までの 4 日間に伸長したコロニーをノギスで測定し、1 日当たりの平均伸長量を求め、菌糸生長量とした。なお、供試数は、各試験区 5 培地とした。

2 青色 LED 照射が子実体発生に及ぼす影響

2.1 供試菌及び接種源 供試菌は、市販品種の北研 600 号を使用した。接種源は、20 メッシュより粒度の小さい広葉樹おが屑と米ぬかを乾物重量比で 5:1、含水率 62% に調整した培地に供試菌を接種し、21 で 60 日間培養した、おが屑種菌を用いた。

2.2 供試培地 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粉、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。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 1.0kg 充填し、117 で 90 分間殺菌して放冷後、接種源を 1 培地当たり約 15g 接種した。

2.3 培養及び発生 培地に接種源を接種後、温度 21、相対湿度 65% で 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、相対湿度 85% の発生

室で 1 次発生を行った。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、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の発生状況を調査した。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、形質を測定した。子実体の形質は、菌傘直径 5cm 以上を L、4cm 以上 5cm 未満を M、3cm 以上 4cm 未満を S、3cm 未満及び奇形を O とした。

2.2 青色 LED の照射 LED は、ピーク波長が、470nm の青色 (日亜化学工業株式会社、NSPB510S) を使用した。照射時期別に、試験区を 4 区設定した。すべての試験区とも、接種 30 日後までは、暗黒で培養した。31 日後から 90 日後までの培養期間と 91 日後以降の発生期間の 2 期間に分けて、2 期間とも青色 LED のみ照射の LL 区、2 期間とも蛍光灯のみ照射の FF 区、培養期間は青色 LED、発生期間は蛍光灯照射の LF 区、培養期間は蛍光灯、発生期間は青色 LED 照射の FL 区を設定した。各試験区とも 1 日 8 時間連続で、培地に青色 LED または、蛍光灯を照射した。光量は、培養 (発生) 棚上部の放射照度が、培養、発生期間ともに 0.16Wm^{-2} とした場合 (光量 A) と、培養期間は 0.11Wm^{-2} 、発生期間は 0.05Wm^{-2} とした場合 (光量 B) の 2 種類とした。供試数は、培養、発生ともに 0.16Wm^{-2} の光量 A が、各試験区 23 培地、培養 0.11Wm^{-2} 、発生 0.05Wm^{-2} の光量 B が、各試験区 30 培地とした。図-1 に照射条件を示す。

結果と考察

1 光の波長がシイタケ菌糸の生長に及ぼす影響 図-1 に液体培地での菌体重量、図-2 に平板培地での菌糸伸長量を示す。液体培地では、蛍光灯照射の菌体重量が 28.2mg、赤色 LED 照射が 29.5mg、緑色 LED 照射が 29.2mg となり、これら 3 区の間、有意差は認められなかった。しかし、青色 LED 照射の菌体重量は、15.3mg となり、他の試験区に対して危険率 5% で有意に低くなった。平板培地での菌糸伸長量も液体培地の菌体重量と同様な傾向となり、蛍光灯、赤色 LED、緑色 LED の伸長量に有意

図-1 青色LEDの照射条件

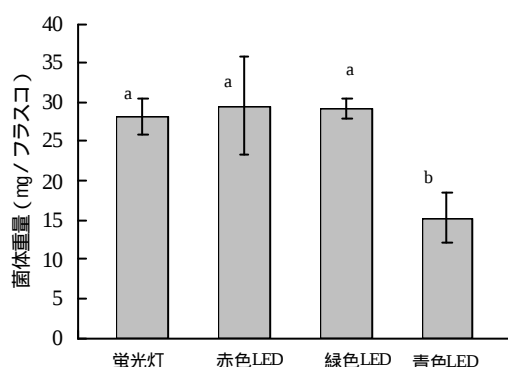
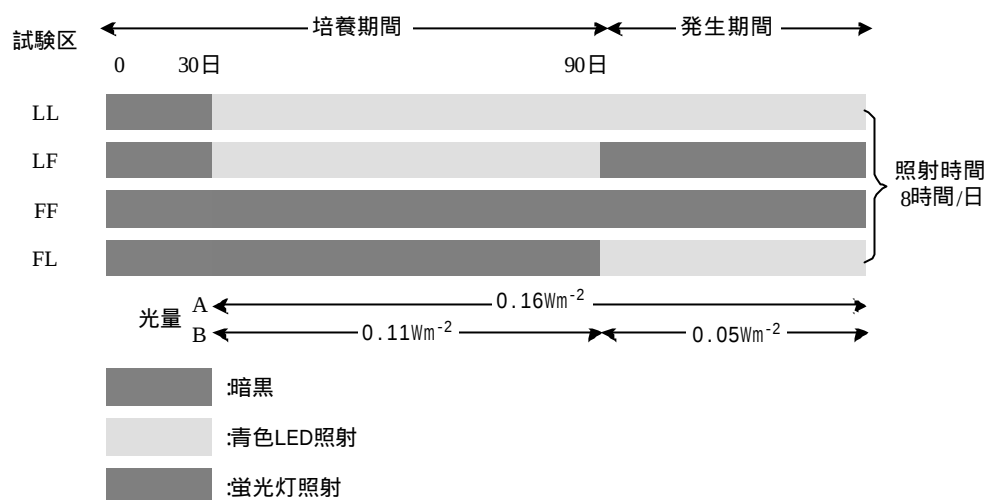


図-2 液体培地での菌糸生長量

異なるアルファベットは、危険率5%で有意差があることを、
垂線は標準偏差を示す(n=5)

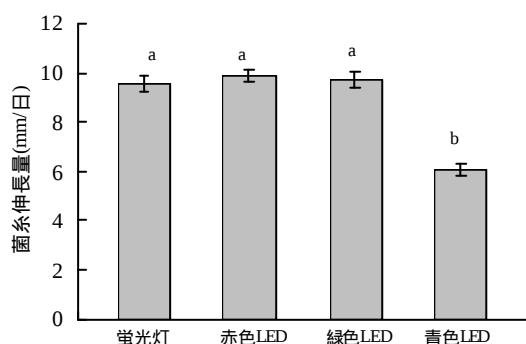


図-3 寒天培地での菌糸生長量

異なるアルファベットは、危険率5%で有意差があることを、
垂線は標準偏差を示す(n=5)

な差は認められなかったが、青色LEDを照射すると危険率5%で、他の試験区より有意に低くなった。ヒラタケでも同様に、青色光により菌糸生長が阻害されるとの報告¹³⁾がある。しかし、ハナサナギタケでは、逆に青色光により菌体重量が増加すると報告¹⁹⁾されている。光の波長が菌糸生長に及ぼす影響は、キノコの種類により異

なことが考えられる。シイタケについては、菌糸の生長は、赤色、緑色LEDの照射により促進されず、逆に青色LED照射により阻害されることが明らかとなった。このことから、菌床シイタケ栽培においては、菌糸が培地全体に蔓延するまでの期間である接種後、約30日間は、LED照射は適していないことが分かった。そのため、子実体発生試験では、接種後30日間は、暗黒で培養することとした。

2 青色LED照射が子実体発生に及ぼす影響 光量を培養、発生期間ともに 0.16Wm^{-2} とした場合(光量A)の1菌床当たりのシイタケ子実体の発生状況を表-1に示す。4次発生までの子実体発生重量は、培養期間に青色LED、発生期間は蛍光灯を照射したLF区が217.4gと最も多くなり、次いで、培養、発生期間とも蛍光灯照射のFF区、培養は蛍光灯、発生期間は青色LED照射のFL区、培養、発生期間とも青色LED照射のLL区となった。LF区とFF区の発生重量は、危険率1%でLF区が有意に大きくなった。これは、2次発生での発生量が、FF区よりもLF区の方が多くなったためである。1次発生では、発生個数はLF区が9.1個、FF区が9.0個と、ほぼ同じであったのに対し、2次発生では、LF区が1.7個、FF区が0.8個とLF区の発生個数が多くなった。子実体原基の形成、誘導には、近紫外-青が有効な光質とされている^{14,22-23)}。このことから、LF区は、培養中の青色LED照射により、多数形成された子実体原基が、1次発生ですべて子実体とならずに、2次発生で子実体に成長したために、LF区の2

表 - 1 青色LED照射^{a)}が子実体発生に及ぼす影響 (1)

試験区	子実体収量と 発生個数	1次発生	2次発生	3次発生	4次発生	合計
LL	収量(g/菌床)	58.0±38.0	14.9±18.8	30.5±18.9	40.2±23.4	143.6±69.0
	子実体発生個数(/菌床)	4.4±4.4	1.0±1.5	2.3±2.9	2.2±1.6	9.9±7.9
	Mサイズ以上(/菌床)	2.9±2.4	0.7±0.9	1.5±1.0	1.6±1.1	6.7±3.8
LF	収量(g/菌床)	90.8±41.6	24.5±27.3	50.3±30.5	51.8±22.3	217.4±72.9
	子実体発生個数(/菌床)	9.1±6.1	1.7±1.9	3.1±2.3	2.8±2.0	17.0±9.3
	Mサイズ以上(/菌床)	3.7±2.1	1.2±1.4	2.0±1.5	2.2±1.4	9.1±3.9
FF	収量(g/菌床)	87.7±51.1	9.4±9.4	50.0±38.7	42.0±26.5	189.1±100.4
	子実体発生個数(/菌床)	8.9±7.3	0.7±1.1	4.0±4.3	2.6±1.7	16.0±11.0
	Mサイズ以上(/菌床)	3.3±2.1	0.5±0.8	1.7±1.5	1.5±1.1	7.0±3.7
FL	収量(g/菌床)	72.5±35.2	8.9±12.2	36.5±23.5	39.1±21.4	157.0±65.1
	子実体発生個数(/菌床)	8.5±6.1	0.8±1.4	3.4±2.9	2.4±1.7	15.0±9.6
	Mサイズ以上(/菌床)	3.1±1.9	0.4±0.7	1.7±1.2	1.9±1.1	7.1±3.4

a) 光量 0.16Wm⁻²表 - 2 青色LED照射^{a)}が子実体発生に及ぼす影響 (2)

試験区	子実体収量と 発生個数	1次発生	2次発生	3次発生	4次発生	合計
LL	収量(g/菌床)	113.9±17.2	57.7±14.5	53.1±13.2	29.8±10.9	254.4±18.1
	子実体発生個数(/菌床)	25.8±4.2	15.8±3.5	8.0±2.6	4.6±1.9	54.2±7.0
	Mサイズ以上(/菌床)	4.6±1.8	0.6±0.9	1.8±1.2	0.9±0.8	7.8±2.6
LF	収量(g/菌床)	147.3±26.3	68.1±19.0	34.5±13.7	38.0±11.6	288.0±21.2
	子実体発生個数(/菌床)	25.1±5.5	14.0±5.2	5.5±2.7	6.0±2.7	50.7±9.3
	Mサイズ以上(/菌床)	4.2±1.6	1.7±1.2	1.2±1.0	1.0±0.7	8.0±2.5
FF	収量(g/菌床)	129.4±26.6	62.3±19.0	39.7±13.1	32.7±11.8	264.1±22.4
	子実体発生個数(/菌床)	22.3±5.8	11.8±4.0	6.0±2.2	4.8±2.2	44.9±7.3
	Mサイズ以上(/菌床)	3.1±1.3	1.0±1.3	1.0±0.7	0.9±1.0	6.0±2.2
FL	収量(g/菌床)	109.4±16.7	68.7±22.8	50.0±17.3	28.0±15.4	256.2±26.1
	子実体発生個数(/菌床)	23.1±4.2	17.3±5.6	6.6±3.0	3.8±2.2	50.8±6.2
	Mサイズ以上(/菌床)	3.4±1.3	0.8±1.0	1.6±1.1	0.9±0.9	6.5±2.4

a) 光量: 培養 0.11Wm⁻²、発生 0.05Wm⁻²

次発生での発生個数が多くなり、その結果、発生量が増加したと考えられた。また、市場価値が高いとされる M サイズ以上の発生個数も LF 区が多くなったことから、青色 LED の照射は、大型の子実体となる原基の形成を促進させることが示唆された。LL 区は、培養期間に青色 LED を照射したにもかかわらず、発生量は最も少なかった。これは、発生期間での青色 LED の光量が多いために、子実体の形成が阻害されたと思われる。培養期間での青色 LED の光量が、少ない場合の原基形成の促進効果を検討するために、光量を培養期間は 0.11Wm⁻²、発生期間は 0.05Wm⁻²、と少なくした光量 B で、子実体発生試験を実施した。その結果を表-2 に示す。子実体発生重量は、LF 区が最も多く、次いで、FF 区、FL 区、LL 区となり、光量を 0.16Wm⁻² とした光量 A と

同じ結果となった。このことから、発生期間での青色 LED の照射は、子実体の形成を阻害することが考えられた。そこで、1 次発生と 2 次発生を発生期間の前半、3 次発生と 4 次発生を発生期間の後半と 2 つに分けて、前半と後半で子実体の発生状況を比較した。発生期間での光量が、0.16Wm⁻² の場合は、発生前半、後半を通して、発生期間に青色 LED を照射した試験区である LL 区、FL 区よりも、発生期間に蛍光灯を照射した LF 区、FF 区の発生量が多くなった。しかし、発生期間の光量を 0.05Wm⁻² と少なくすると、発生期間後半の発生量は、蛍光灯照射の LF 区、FF 区と青色 LED 照射の LL 区、FL 区で大きな差は生じなかった。これは、発生期間の青色 LED の光量を少なくしたことで、青色 LED 照射による子実体形成の阻害が弱まったために、こ

のような結果になったと思われた。ただし、光量を少なくしても、蛍光灯照射よりも発生量が、増加することは無かった。

以上のことから、青色 LED は、培養期間に照射すると原基形成が促進されて、子実体発生量が増加すること、また、発生期間に照射すると子実体の形成が阻害されて、発生量が減少することが判明した。また、培養期間の青色 LED の光量は、 0.11Wm^{-2} 以上で、増収効果が認められることも分かった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、発光ダイオード (LED) を提供して頂きました、日亜化学工業株式会社、LED の特性についてご助言を頂きました、日亜化学工業株式会社 第二部門技師長 清水義則 氏に謝意を表します。

引用文献

- 1) 鈴木彰：同担子菌類の子実体原基形成に關与する環境要因、日菌報、20、253-263 (1979)
- 2) 時本景亮・小松光雄：シイタケの菌糸生長および子実体原基におよぼす温度の影響、日菌報、23、385-390 (1982)
- 3) 阿部正範・飯田繁・大賀祥治：シイタケ子実体発生に及ぼす培養温度の影響、日本応用きのこ学会誌、10、129-134 (2002)
- 4) Ohga S.: Effect of water potential on fruit body formation of *Lentinula edodes* in sawdust-based substrate, J. Wood Sci., 45, 337-342 (1999)
- 5) Ohga S., Kato Y., Nakaya M.: Water Potential in Relation to Culture Maturity in Sawdust-Based Substrate of *Lentinula edodes*, Mushroom Sci. Biotechnol., 6, 65-69 (1998)
- 6) Koo C., Kim S. J., Cho N. S., Min D. S., Ohga S.: Effect of moisture content for mycelial growth and primordial formation of *Lentinula edodes* in a sawdust-based substrate, Mushroom Sci. Biotechnol., 7, 169-174 (1999)
- 7) Matsumoto T., Kitamoto Y.: Induction of fruit-body formation by water-flooding treatment in sawdust cultures of *Lentinus edodes*, Trans. Mycol. Soc. Japan, 28, 437-443 (1987)
- 8) Mohamed A. B., Meguro S., Kawachi S.: The Effects of Light on Primordium and Fruit Body Formation of *Lentinus edodes* in Liquid Medium, Mokuzai Gakkaishi, 38, 600-604 (1992)

- 9) Mohamed A. B., Meguro S., Kawachi S.: The Effects of Light on Primordium and Fruit Body Formation of *Lentinus edodes* in Liquid Medium, Mokuzai Gakkaishi, 38, 876-879 (1992)
- 10) Bastola H. C., 渡辺和夫・衣田雅人・小嶋靖：シイタケ菌床栽培における袋の通気性が子実体の発生に及ぼす影響、奈良県林試林業資料、8、23-26 (1993)
- 11) 鈴木彰・米山誠・秋山直子・小暮一俊：シイタケの子実体の発育に対する二酸化炭素濃度の影響、第43回日本木材学会大会研究発表要旨集、p. 78 (1993)
- 12) Gary F. Leatham, Mark A. Stahmann: Effect of Light and aeration on fruiting of *Lentinula edodes*, Trans. Br. mycol. Soc. 88 (1), 9-20 (1987)
- 13) 金範基・馬替由美：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、p. 97 (1998)
- 14) 北本豊：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、44、45-57 (2003)
- 15) 稲富聡・難波謙二・小平律子・岡崎光雄：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 (2000)
- 16) 稲富聡・難波謙二・小平律子・岡崎光雄：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生産に及ぼす効果、日本応用きのこ学会誌、9、21-26 (2001)
- 17) 稲富聡・難波謙二・小平律子・下坂誠・岡崎光雄：ブナシメジ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、10、135-140 (2002)
- 18) Kenji Namba, Satoshi Inatomi, Kouichirou Mori, Makoto Shimosaka, Mitsuo Okazaki: Effects of LED lights on fruit-body production in *Hypsizygus marmoreus*, Mushroom Sci. Biotechnol., 10, 141-146 (2002)
- 19) Kenji Namba, Satoshi Inatomi, Makoto Shimosaka, Mitsuo Okazaki: Effects of LED light on Synnema Formation in *Isaria japonica*, Mushroom Sci. Biotechnol., 10, 141-146 (2002)
- 20) 内田浩二・田澤信二：LEDの農林水産分野への応用(3)、LEDの種類と特性、使用上の注意、農業電化、57(12)、11-17 (2004)
- 21) 後藤英司：LEDの農林水産分野への応用(4)、LEDと植物育成、農業電化、57

(13) 2-6 (2004)

22) 鈴木彰：環境条件の制御による食用きのこ生産の現状と展望、農林水産技術研究ジャーナル、28 (5) 31-35 (2005)

23) 北本豊：キノコと光、遺伝、31 (9) : 14 ~ 18、(1977)