

生物の光応答メカニズムの解明と省エネルギー、コスト削減技術の開発

—ナメコの品質・生産性向上のための光制御技術の開発—

増野和彦・高木 茂*・古川 仁・片桐一弘

LEDは、蛍光灯と比較して耐用期間が長く消費電力が少ないため、省エネルギー型の照明として、人々から大きな期待が寄せられている。そこで、ナメコ菌床施設栽培におけるLED利用技術を検討するとともに、新たな光利用技術の開発を合わせて図った。その概要は、以下のとおりである。

①菌床シイタケ栽培の先行研究を参考に、ナメコ菌床栽培における培養後期の青色LEDの照射効果を検討した。その結果、以下の成果が得られた。これまで光を照射していなかったナメコ菌床栽培の培養後期に、青色LEDを12日間程度照射することで原木栽培に近い大粒のナメコ生産が可能なが分かった。また、培養後期に青色LEDを15日間照射することで、収穫所要日数が7日間程度短縮することが分かった。さらに、現地試験を行い、これらの技術が利用可能なことを実証した。②培養前期の照射により、子実体原基が多数形成される現象を観察するとともに、暗培養と比較すると培養前期の光照射が子実体個数を増加させる傾向を確認した。③白色LEDを用いてナメコ菌床栽培の現地試験を行ったところ、白色蛍光灯を用いた場合と同等の結果が得られ、白色LEDが白色蛍光灯の代替品として利用可能なことを示した。④森林総研及び東工大と共同して、ナメコの機能性向上のため、培養後期及び発生時の青色LED照射が、ナメコのビタミンD含有量及び抗酸化作用に与える影響を調べた。

キーワード：青色LED、省エネルギー、ナメコ、菌床栽培、白色LED

1 緒言

LEDとは、Light (光), Emitting (出す), Diode (ダイオード)の頭文字を取った略語で、電流を流すと発光する半導体の一種である。長寿命・低消費電力等の優れた特徴があり、信号機、携帯電話のバックライト、大型ディスプレイの他、急速にその応用範囲を広げている。

LEDの長所としては、蛍光灯と比較して、①寿命が長い、②小型、軽量、③防水構造が容易、④単色光が得られる、⑤破損時の危険が少ない、等がある。一方短所は、①値段が高い、②発光面から正面に向かって直線的に光が進むため、光が広がらない、等である。

人間の目に見える光(可視光)は、380nm(ナノメートル:10億分の1m)(紫)~780nm(赤)の波長であり、人の目は、比較的波長の長い700nmぐらいの光だと赤色に、500nmぐらいで緑色に、そして450nmあたりで青色に感じる。赤(red)・緑(green)・青(blue)を「光の3原色」と言い、頭文字でRGBとも表わす。赤と青を混ぜ合わせると赤紫に、赤と緑で黄色に、青と緑で水色に、赤と青と緑の3原色を混ぜ合わせると白になる。青色LEDとその量産技術が確立されこと

で、青色LEDと黄色の蛍光体の組合せにより人に利用されやすい白色LEDが登場して、LEDの一般照明器具への利用が広まった。

LEDは、農林水産業でも期待される新技術となっている。特に、食料量産化に向けた「植物工場」開発にとっては、重要な要素である。そこで、農林水産省の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」(平成21~25年度)が設定され、野菜・花・きのこ・害虫防除・水産に関してLED利用の総合的な研究が組織された。

当所では、「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」のプロジェクトに参加し、ナメコ菌床栽培におけるLED利用法の開発を担当した。

ナメコ栽培においては、LEDに限らず、光の影響や利用方法について、これまでに十分調べられているとは言えない。生産現場でも、きのこの「発生段階」に、日頃の経験に基づいて、一般的な蛍光灯を照射しているのが現状である。

そこで、省エネ効果の高いLED利用技術の開発と同時に、ナメコ栽培における光利用技術を改めて検討することにした。「きのこにとって必要な

*元長野県林業総合センター特産部

光とは何か」を探りながら、新たな形態のナメコ栽培技術の開発を視野に入れて研究を実施した。

当該プロジェクトは、独立行政法人森林総合研究所を中核機関として、基礎研究チームに森林総合研究所・東京工業大学(チームリーダー)・岡山大学・公益財団法人岩手県生物工学研究センター、実用技術開発チームに長野県林業総合センター(チームリーダー)・群馬県林業試験場・長野県野菜花き試験場・奈良県森林技術センター・徳島県立農林水産総合技術センターが、それぞれ参画して実施した。

本報告は、これらの結果のうち、長野県林業総合センターが担当した「ナメコの品質・生産性向上のための光制御技術の開発」について記載したものである。

2 目次

- 1 緒言
- 2 目次
- 3 使用機材と光の測定方法
- 4 培地熟成段階及び子実体原基形成段階・子実体生育段階における青色 LED 照射による栽培特性
- 5 培養後期の光照射による大型ナメコ生産
- 6 培養後期の青色 LED 照射日数と栽培特性
- 7 培養後期の光照射による大型ナメコ生産技術の現地試験
- 8 培養過程での光照射時期と栽培特性
- 9 培養前期の青色 LED 照射と栽培特性
- 10 培養過程における青色 LED の照射時期と栽培特性
- 11 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

- 12 光によって誘導されるナメコ子実体の有用成分の定量
- 13 総合考察
- 14 謝辞
- 15 文献

3 使用機材と光の測定方法

3.1 使用 LED とそのスペクトル

本研究では、波長 450nm の光を含む青色及び白色 LED を標準機材として使用した(写真 3-1, 2)。

青色 LED は、インジウム窒化ガリウム(InGaN)を化合物半導体として用いた。白色 LED は上記青色に YAG 蛍光体による黄色の発光に一部変換し、青+黄の発光により白色光を得たものである。青色 LED、白色 LED のスペクトルを図 3-1、図 3-2 に、それぞれ示した。対照とする白色蛍光灯にはパナソニック製「クール」を用いた(写真 3-3)。なお、一般的な白色蛍光灯のスペクトルを図 3-3 に示した。

3.2 光の測定機器

光の測定には、ライカ社製ライトメーター LI-250A を使用した(写真 3-4)。ライトメーターに接続するセンサーは、光量子(単位時間・単位面積当たりの光の粒子数： $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)には LI-190SA 光量子センサー、放射照度(単位時間・単位面積当たりの光のエネルギー： W/m^2)には LI-200SA 放射熱センサー、照度(人間の目に感じる明るさに補正した光のエネルギー： lux)には LI-210SA 照度センサーをそれぞれ用いた(写真 3-4)。



写真 3-1 青色 LED(ピーク波長 450nm)
パナソニック(株)ライティング社製(MS-M260BGP)

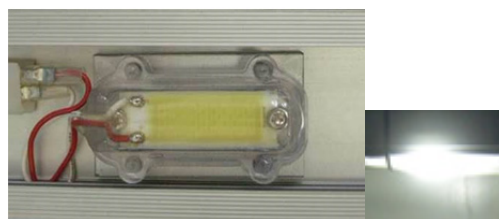


写真 3-2 白色 LED(ピーク波長 450nm を含む)
パナソニック(株)ライティング社製(MS-M260BGP-W)

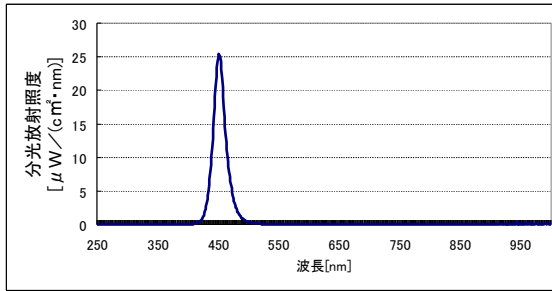


図 3-1 青色 LED のスペクトル

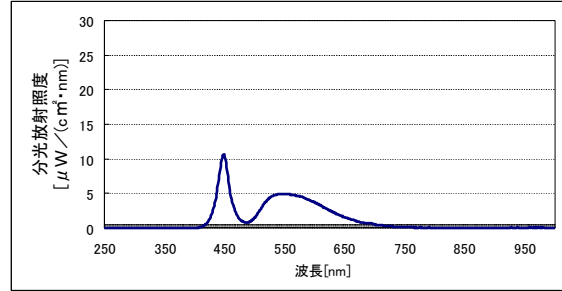


図 3-2 白色 LED のスペクトル



写真 3-3 対照として使用した白色蛍光灯(パナソニック「クール」)

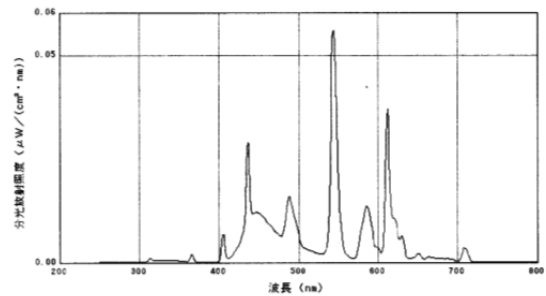


図 3-3 一般的な蛍光灯のスペクトル



写真 3-4 測定機器 : ライカ社製ライトメーターL1-250A

光量子 LI-190SA 光量子センサー

放射照度 LI-200SA 放射熱センサー

照度 LI-210SA 照度センサー

4 培地熟成段階及び子実体原基形成段階・子実体生育段階における青色 LED 照射による栽培特性

4.1 試験の目的

青色 LED を利用したきのこ栽培技術に関しては、青色 LED を開発した企業が所在する徳島県が先行して取り組んでいる。その結果、菌床シイタケ栽培の培養後期に青色 LED を照射すると子実体収量が増加し、さらに市場性の高い大型子実体の発生個数が増加することを報告している¹⁾。

また、本プロジェクトの一員である森林総研及び東工大では、光を感知するシイタケの遺伝子の解析に成功し、その遺伝子は 450nm 付近の青色光に強く応答することが分かっている^{2,3)}。そこで、シイタケでの先行研究の成果がナメコ栽培についても適用できるか、青色 LED の利用から研究に着手した。

まず、青色 LED を照射して栽培試験を行い、培養後期の培地熟成段階、子実体原基形成段階、子実体生育段階における栽培特性を白色蛍光灯の

場合と比較して、実用レベルでナメコ菌床栽培における青色LEDの照射効果を探った。

4.2 試験の方法

暗培養を30日間行った後に、白色蛍光灯を対照として青色LEDを培養中に照射した(図4-1)。50日間の培養終了時に、形成された原基と種菌部分をかき取る「菌かき有区」と、かき取りを行わない「菌かき無区」にさらに分け、青色LED及び白色蛍光灯を照射して子実体発生を図った(図4-1)。また、培養中に照明を用いない従来法による栽培試験を行い(図4-2)、青色LED及び白色蛍光灯を使用した場合と比較した。

試験に用いたLED及び蛍光灯の機種・照射方法、品種、培地組成、培養及び発生条件、収穫調査方法の詳細は、図の脚注として掲載した。また、培養室における青色LEDの照射状況を写真4-1に示した。

4.3 試験の結果と考察

収穫個数、収量、一番収穫所要日数及び二番収穫所要日数について、青色LEDを照射した栽培試験(図4-1)結果を表4-1に、従来法(図4-2)の栽培試験結果を表4-2に、それぞれ示した。さらに、発生した子実体の形状及び色を調査した結果を表4-3に示した。

4.3.1 光照射と収穫所要日数

光照射により最も顕著に影響が見られたのは、一番収穫所要日数である。

培養後期に光を照射すると、青色LED照射区(LL区, LF区)、白色蛍光灯照射区(FL区, FF区)ともに照射開始から14日間程度で、ビン内表面に子実体原基が形成された(写真4-2(左))。このうち半数はビンの栓のみを外して発生に供した(菌かき無区)。また、半数は栓を外すほか、形成された原基と接種した種菌部を取り除き、発生室へ移動した(菌かき有区, 写真4-2(右))。

培養中の青色LEDの照射効果を見るため、LF「青色LED照射・菌かき有」区と従来法(50日培養区)の結果を比較すると、一番収穫所要日数が5.8(日/ビン)、LF「青色LED照射菌かき有」区で培養中に光を照射しない従来法より有意(t検定5%)に短くなった。また、LF「青色LED照射・菌かき無」区と従来法(50日培養区)を比較すると、一番収穫所要日数が11.0(日/ビ

ン)、LF「青色LED照射・菌かき無」区で培養中に光を照射しない従来法より有意(t検定5%)に短くなった。したがって、「菌かき有」でも「菌かき無」でも、培養後期の青色LEDの照射が栽培期間の短縮に効果があることが示唆された。

培養中の光照射に白色蛍光灯を使用した場合を見るため、FF「白色蛍光灯照射・菌かき有」区と従来法(50日培養区)の結果を比較すると、一番収穫所要日数が4.2(日/ビン)、FF「白色蛍光灯照射・菌かき有」区で培養中に光を照射しない従来法より有意(t検定5%)に短くなった。また、FF「白色蛍光灯照射・菌かき無」区と従来法(50日培養区)を比較すると、一番収穫所要日数が11.1(日/ビン)、FF「白色蛍光灯照射・菌かき無」区で培養中に光を照射しない従来法より有意(t検定5%)に短くなった。したがって、「菌かき有」でも「菌かき無」でも、培養後期の白色蛍光灯の照射が栽培期間の短縮に効果があることが示唆された。

青色LEDでも白色蛍光灯でも培養後期の照射が一番収穫所要日数の短縮に効果があることが示唆されたが、青色LEDと白色蛍光灯の効果の差を検討した。そのために、培養中の照射方法が、青色LEDか白色蛍光灯であるか以外は同一条件である試験区の結果を比較した。LF「青色LED照射・菌かき有」とFF「白色蛍光灯照射・菌かき有」で1.6(日/ビン)、青色LED照射区が有意(t検定5%)に短くなったが、他の組合せでは有意な差がなかった。

したがって、培養中に光を照射しない従来の方法と培養後期に光を照射する方法を比較すると、光照射により子実体形成に要する期間が短縮し、光照射の栽培期間短縮効果が示唆された。また、照射方法としては、青色LEDは白色蛍光灯と同等か、それ以上の栽培期間短縮効果のあることが示唆された。また、青色LED及び白色蛍光灯の培養中の照射により、原基が誘導され、そのまま原基を生長させることにより、大型のナメコを従来法より短期間に収穫できた。

4.3.2 光照射と収量

次に、培養中の光照射により収量性が向上する効果が見られた。培養中に青色LEDを照射した「LL菌かき有」と白色蛍光灯を照射にした「LF

菌かき有」を比較すると「LL 菌かき有」が一番収量、二番収量とも有意（一元配置の分散分析、最小有意差法 1%）に多く、培養中に白色蛍光灯より青色 LED を照射した試験区で収量が向上した。

4.3.3 光照射と子実体の形状及び色

さらに、培養後期から子実体発生期間の光照射方法が子実体の形状及び色に影響することが確認された。発生中に青色 LED を照射した「LL」と「FL」は、白色蛍光灯を照射した「LF」と「FF」

に対してそれぞれ茎径がともに有意（一元配置の分散分析、最小有意差法 5%）に太くなった。また、子実体の傘の中心部の色は、発生中に青色 LED を照射した「LL」及び「FL」では濃褐色の比率が 89.2%、85.7%で、白色蛍光灯を照射した「LF」及び「FF」の 33.3%、35.7%に対して高く、発生中に青色 LED を照射した場合に、子実体中心部の色が濃い褐色を呈した。このように、青色 LED と白色蛍光灯で子実体の形状及び色に差が見られた。

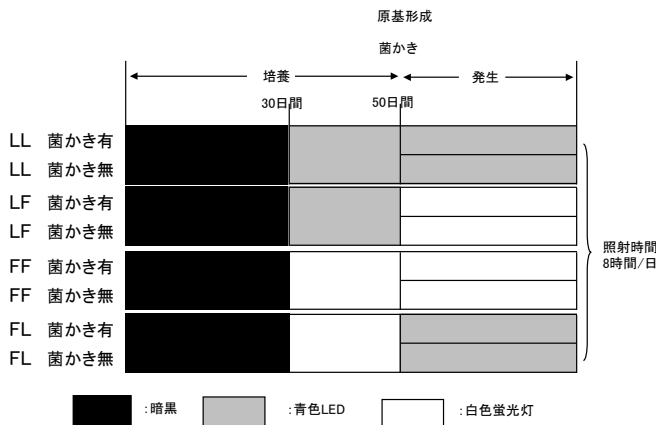


図 4-1 青色 LED の照射条件

LED：青色 LED（ピーク波長 450nm）パナソニック ㈱ライティング社製 2 台、対照用蛍光灯：パナソニック 白色蛍光灯「クール」10W 1 台、
照射方法（培養室）：栽培棚上部からビン上まで 21 cm の高さから照射。栽培ビンを設置する棚内 72 カ所の測定値の平均値で、青色 LED 光量子 $8.99 (\mu \text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$ 照射照度 $1.083 (\text{Wm}^{-2})$ 照度 66.3 (lux)、白色蛍光灯光量子 $2.94 (\mu \text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$ 照射照度 $0.552 (\text{Wm}^{-2})$ 照度 216.0 (lux)。測定機器：メイワ フォーシス製ライトメーター-L1-250A

照射方法（発生室）：培養室と同様、青色 LED 光量子 $8.83 (\mu \text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$ 照射照度 $1.065 (\text{Wm}^{-2})$ 照度 50.8 (lux)。白色蛍光灯光量子 $3.81 (\mu \text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$ 照射照度 $0.623 (\text{Wm}^{-2})$ 照度 232.9 (lux)。

品種：キノックス N008, 培地組成：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%）、培養：20℃, 発生：14℃湿度 90% 以上。

子実体の採取は、長野県出荷規格に準拠して足切り収穫し、子実体発生個数、生重量、形質、原基形成所要日数、収穫所要日数を調査した。子実体形質調査分は株取り収穫し、傘径、茎径、子実体全長、茎長、色（日本園芸植物標準色表（農林水産省編）に準拠）を測定した。

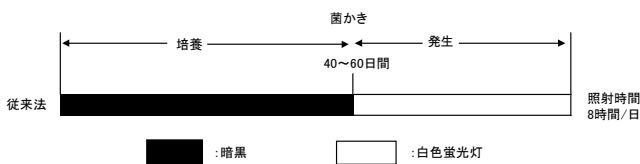


図 4-2 従来法の照射条件

品種：キノックス N008, 培地組成：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%）、培養：20℃, 発生：14℃湿度 90% 以上。



写真 4-1 培養後期における青色 LED 照射状況



写真 4-2 培養後期の照射によってビン内に形成にされた子実体原基(左), 菌かき後の菌かき有区(右)

表 4-1 栽培試験結果

区分	菌かき		一番収穫	二番収穫	合計	一番収穫所要日数	二番収穫所要日数
LL	有	個数(個/ビン)	53.2 ± 21.9	51.0 ± 18.0	104.2 ± 33.8	12.5 ± 0.8	14.8 ± 2.0
		収量(g/ビン)	111.9 ± 43.3	66.7 ± 21.9	178.6 ± 44.7		
	無	個数(個/ビン)	79.8 ± 17.0	57.0 ± 12.3	136.8 ± 25.2	7.3 ± 0.5	14.0 ± 1.4
		収量(g/ビン)	118.3 ± 19.8	91.6 ± 10.5	209.8 ± 18.6		
LF	有	個数(個/ビン)	51.6 ± 16.5	52.5 ± 18.9	104.1 ± 32.1	12.3 ± 1.2	13.5 ± 3.1
		収量(g/ビン)	109.2 ± 20.2	64.6 ± 25.7	173.8 ± 37.4		
	無	個数(個/ビン)	71.4 ± 9.2	47.8 ± 16.1	119.3 ± 16.6	7.1 ± 0.3	14.6 ± 0.9
		収量(g/ビン)	150.1 ± 24.2	76.3 ± 14.6	226.4 ± 23.9		
FF	有	個数(個/ビン)	35.6 ± 13.4	27.8 ± 24.8	63.3 ± 27.0	13.9 ± 2.0	13.7 ± 2.0
		収量(g/ビン)	103.0 ± 16.3	42.1 ± 37.1	145.1 ± 40.2		
	無	個数(個/ビン)	73.0 ± 9.1	40.9 ± 11.2	113.9 ± 18.3	7.0 ± 0.0	15.6 ± 2.1
		収量(g/ビン)	128.1 ± 22.3	70.1 ± 17.2	198.2 ± 31.4		
FL	有	個数(個/ビン)	32.4 ± 11.8	34.2 ± 26.2	66.6 ± 23.8	12.5 ± 0.8	11.6 ± 2.4
		収量(g/ビン)	88.3 ± 22.6	46.8 ± 30.8	135.1 ± 30.1		
	無	個数(個/ビン)	76.1 ± 10.9	57.4 ± 17.1	133.5 ± 22.3	7.3 ± 0.5	14.3 ± 1.3
		収量(g/ビン)	123.0 ± 20.1	85.6 ± 18.0	208.6 ± 9.1		

平均値±標準偏差 (n=12)

一番収穫所要日数：発生室に移動後から子実体が収穫されるまでの日数。二番収穫所要日数：一番収穫が終了してから二番収穫が終了するまでの日数

表 4-2 従来法栽培試験結果

区分	菌かき		一番収穫	二番収穫	合計	一番収穫所要日数	二番収穫所要日数
40日間	有	個数(個/ビン)	89.3 ± 14.4	31.2 ± 15.1	120.5 ± 16.1	20.0 ± 0.6	17.2 ± 4.0
		収量(g/ビン)	96.3 ± 16.3	51.4 ± 29.1	147.8 ± 31.4		
50日間	有	個数(個/ビン)	65.5 ± 17.4	59.8 ± 15.6	125.3 ± 23.1	18.1 ± 0.3	14.6 ± 1.5
		収量(g/ビン)	82.8 ± 15.5	85.9 ± 14.1	168.8 ± 20.1		
60日間	有	個数(個/ビン)	81.7 ± 26.3	40.7 ± 18.4	122.3 ± 27.7	17.2 ± 0.4	15.0 ± 1.2
		収量(g/ビン)	84.7 ± 20.6	58.4 ± 26.9	143.1 ± 20.7		

平均値±標準偏差 (n=12)

表 4-3 子実体の形状及び色

区分	菌かき	茎長 mm	全長 mm	傘径 mm		茎径 mm		傘高 mm	ℓ比	d比	傘中心部の色		調査 本数
											濃橙色の 比率%	浅橙黄色の 比	
LL	有	27.4 ± 8.3	38.6 ± 9.6	20.8 ± 8.6	7.5 ± 2.3	11.3 ± 2.8	0.71	2.78	89.2	10.8	148		
LF	有	35.8 ± 9.2	46.8 ± 11.2	22.4 ± 7.3	6.6 ± 2.2	11.2 ± 2.7	0.77	3.42	33.3	66.7	183		
FF	有	33.1 ± 8.4	44.2 ± 10.3	20.8 ± 8.4	6.2 ± 2.7	11.3 ± 3.5	0.75	3.34	35.7	64.3	112		
FL	有	30.7 ± 8.8	44.2 ± 10.9	25.6 ± 10.7	8.9 ± 3.0	12.7 ± 3.6	0.69	2.87	85.7	14.3	77		

株取りした子実体について調査した

平均値±標準偏差

ℓ比=茎長/全長 d比=傘径/茎径

色：日本園芸植物標準色表（農林水産省編）財団法人 日本色彩研究所発行（平成9年度）

濃橙色（1607）浅橙黄色（2203）

5 培養後期の光照射による大型ナメコ生産

5.1 試験の目的

4「培地熟成段階及び子実体原基形成段階・子実体生育段階における青色LED照射による栽培特性」で、培養後期における培地への青色LED及び白色蛍光灯による光照射が、従来の暗培養に比べ、短期間で大型ナメコ生産を可能にすることを見出した。これは1品種のみでの結果であったので、栽培試験の供試品種を1品種から3品種に増やして、技術の確実性と品種間差を検討した。

5.2 試験の方法

栽培試験の条件は、図5-1に示したとおりである。

5.3 試験の結果と考察

栽培試験の結果を表5-1に示した。

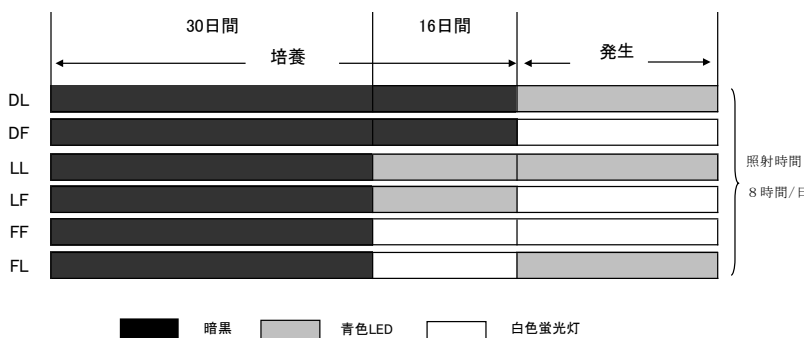
前章4と同様に、培養後期の培地への光照射により最も顕著な影響が現れたのは一番収穫所要日数であり、照射区では暗培養区と比較して短縮効果が見られた。供試した3品種N007, N008, N009について、照射区の暗培養区に対する一番収穫所要日数の短縮日数と有意差検定結果を表5-2に示した。照射区と暗培養区をそれぞれ発生時の照射方法が同一条件の試験区同士と比較した場合、3品種とも全ての組合せで、平均一番収穫所要日数が短縮していた。N009の一つ組合せで有意差が見られなかったが、3品種12の組合せのうち、11の組合せで有意差があった。しかし、N007では7.5(日/ビン)～7.8(日/ビン)、N008では9.5(日/ビン)～10.8(日/ビン)、

N009では2.0(日/ビン)～3.5(日/ビン)と短縮日数には系統間による差があり、短縮日数の大きさはN008>N007>N009の順であった。さらに、培養後期の光照射の照明方法として、青色LEDと白色蛍光灯を比較すると、両者に有意差はなかった(表5-3)。したがって、培養後期の光照射に、一番収穫所要日数の短縮効果があることが3品種を用いた結果からも示唆された。しかし、その効果の程度には品種間差が見られた。また、照射方法として青色LEDと白色蛍光灯による短縮効果の明確な差は見られなかった。

一番収穫の個重(収量/個数)は表5-1に示したように、培養後期の光照射区では暗培養区に比較して、N007では0.6g～1.1g, N008では0g～0.7g, N009では0.5g～0.9g,それぞれ増加した。増加率でみるとN007>N009>N008の順で、品種間差を示した。照射方法としては、白色蛍光灯が青色LEDよりやや増加量が大きい傾向を示した。

以上の結果から、従来のナメコ(個重1g程度)に比較して大型ナメコ(個重2g程度)の短期栽培技術として、培養後期の光照射が有効なことが示唆された。ただし、品種選択の重要性が認められた。また、白色蛍光灯での結果と大きな差が見られなかったことから、光源として青色LEDが、白色蛍光灯の代替品として利用可能なことが認められた。

したがって、前章4の結果から示唆された培養後期の光照射による大型ナメコの短期生産技術の確実性を確認することができた。



【品種】キノックス N007, N008, N009 の3品種。【培地】ブナおが粉・ホミニーフィード・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30日間暗培養の後、暗培養区、青色LED照射区、白色蛍光灯照射区の3つに分けて、さらに16日間培養した。【発生】14℃湿度90%以上。各試験区をさらに青色LED照射区と白色蛍光灯照射区に分け、計6試験区を設定して子実体を発生し、収穫調査を行った(1試験区6本)。【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」10W1台、照射方法(培養室,発生室):栽培棚上部からビン上まで21cmの高さから1日8時間照射。

図5-1 照射条件と栽培条件(培養後期の光照射による大型ナメコ生産)

表 5-1 培養後期の光照射と栽培特性

区分	品種：N007				品種：N008				品種：N009			
	一・二番収量計 (g/ビン)	± 標準偏差	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (日/ビン)	一・二番収量計 (g/ビン)	± 標準偏差	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (日/ビン)	一・二番収量計 (g/ビン)	± 標準偏差	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (日/ビン)
DL	110.0	± 9.0	1.2	19.5	120.0	± 11.3	1.4	18.0	122.2	± 10.3	1.3	19.8
DF	125.8	± 7.7	1.0	19.0	134.5	± 6.0	1.0	17.5	148.5	± 25.5	1.2	18.5
LL	118.7	± 17.2	1.8	12.0	104.0	± 20.7	1.5	8.5	128.5	± 26.0	1.8	16.3
LF	125.2	± 15.4	2.0	11.3	122.2	± 12.9	1.7	7.2	119.8	± 21.5	1.9	15.2
FF	120.3	± 9.6	2.1	11.2	104.2	± 20.8	1.4	7.5	100.3	± 31.4	2.1	15.0
FL	116.8	± 8.8	2.1	11.8	123.2	± 25.3	1.5	7.2	127.5	± 6.7	1.8	17.8

表 5-2 培養後期の光照射による一番収穫所要日数の短縮効果

品種	N007				N008				N009			
	DL	DL	DF	DF	DL	DL	DF	DF	DL	DL	DF	DF
暗培養区												
培養後期の光照射区	LL	FL	LF	FF	LL	FL	LF	FF	LL	FL	LF	FF
平均短縮日数	7.5日**	7.7日**	7.7日**	7.8日**	9.5日**	10.8日**	10.3日**	10.0日**	3.5日*	2.0日	3.3日**	3.5日**

** : t検定危険率1%有意、* : t検定危険率5%有意、無印：有意差なし

表 5-3 培養後期の光照射方法の一番収穫所要日数への影響

品種	N007		N008		N009	
	LL	LF	LL	LF	LL	LF
青色LED照射区						
白色蛍光灯照射区	FL	FF	FL	FF	FL	FF
有意差	なし	なし	なし	なし	なし	なし

表 5-4 培養後期の光照射による一番収穫個重の増加効果

品種	N007				N008				N009			
	DL	DL	DF	DF	DL	DL	DF	DF	DL	DL	DF	DF
暗培養区												
培養後期の光照射区	LL	FL	LF	FF	LL	FL	LF	FF	LL	FL	LF	FF
個重増加量 (g)	0.6	0.9	1.0	1.1	0.1	0.1	0.7	0.4	0.5	0.5	0.7	0.9
個重増加率 (%)	150	175	200	210	107	107	170	140	138	138	158	175

6 培養後期の青色 LED 照射日数と栽培特性

6.1 試験の目的

前章までの検討結果から、培養後期の光照射により従来の暗培養に比較して、個重を増やし大型のナメコを生産できる可能性を見出した。この技術をさらに確実なものにするため、培養後期の光照射の最適日数を検索した。

6.2 試験の方法

培養後期の青色 LED 照射による大型ナメコの短期栽培法について、最適な照射日数を確認するため、照射日数を 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 日間と変動し、培養後期の培地への青色 LED の照射日数の栽培特性へ及ぼす影響を調査した。前章までの検討結果から、培養後期の照明方法として青色 LED と白色蛍光灯は、ほぼ同等の効果を

示すことが確認されているため、照明方法は青色 LED に絞って実施した。主な栽培条件は、図 6-1 に示したとおりである。

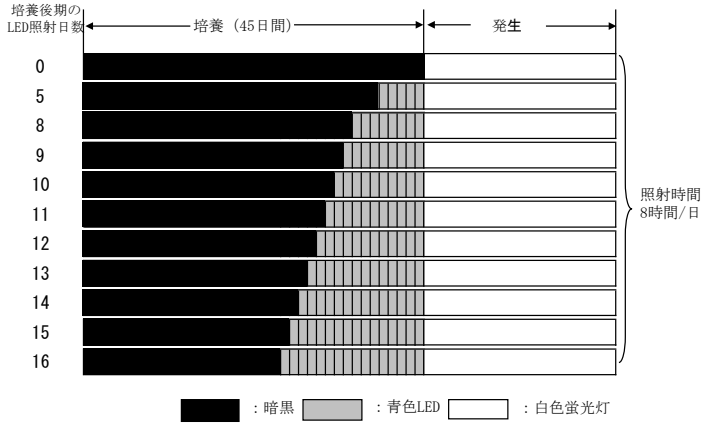
6.3 試験の結果と考察

青色 LED の照射日数と一番収穫所要日数及び個重について、栽培試験結果を表 6-1 に示した。

3 品種 (N007, N008, N009) を供試して実施したが、品種により、個重増加効果と一番収穫短縮効果が現れる照射日数は異なった。最も明確に照射日数の影響を示した品種は N007 で、個重増加は照射日数 10 日間以降で顕著に増加し、一番収穫所要日数は照射日数 12 日間以降で顕著に短縮した (図 6-2, 写真 6-1)。N007 ほど顕著ではなかったが、N008, N009 についても照射日数が増加すると一番収穫の個重が増加し、一番収穫所要日数が短縮する傾向を示した。

以上の結果から、ナメコ菌床栽培において培養後期の青色LEDの照射日数としては、個重の増加を確実に図るには、少なくとも照射日数 10 日間

程度、一番収穫所要日数を 7 日間程度確実に短縮するためには、照射日数 15 日間程度が必要ながことが認められた。



【品種】キノックス N007, N008, N009 の 3 品種。【培地】ブナおが粉・ホミニーフィード・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 品種当たり 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 6-1 照射条件と栽培条件(培養後期の青色 LED 照射日数と栽培特性)

表 6-1 培養後期の青色 LED 照射日数と栽培特性

照射日数	品種：N007		品種：N008		品種：N009	
	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (g/ビン)	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (g/ビン)	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (g/ビン)
0	1.0	19.0	1.0	17.5	1.2	18.5
5	1.0	20.0	1.1	18.0	1.5	20.0
8	1.1	20.0	2.4	14.5	1.9	20.5
10	1.8	18.3	1.9	13.7	1.7	20.3
11	2.0	17.3	1.8	13.3	1.5	20.7
12	2.1	13.3	2.0	13.3	1.5	20.7
13	2.2	13.0	1.9	11.0	2.0	18.0
14	2.0	12.3	2.4	11.0	2.0	19.0
15	2.0	11.0	2.5	12.7	1.6	19.7
16	2.0	11.3	1.7	7.2	1.9	15.2

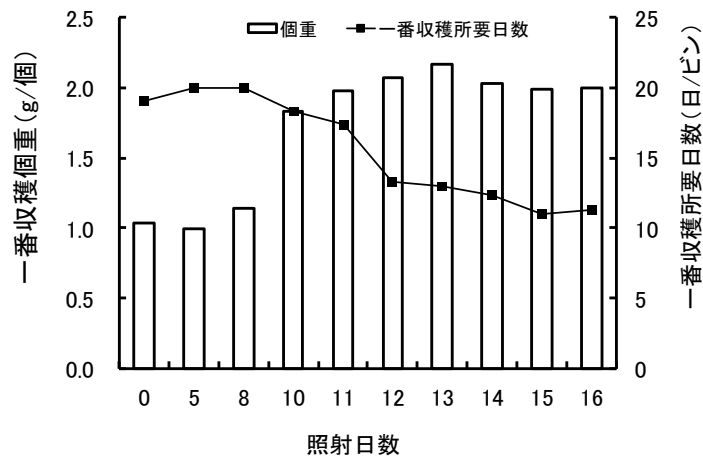


図 6-2 培養後期における青色 LED 照射日数と栽培特性（品種 N007）



写真 6-1 培養後期における青色 LED 照射日数と発生した子実体 (左) 照射 0 日 (右) 照射 12 日 (品種 N007)

7 培養後期の光照射による大型ナメコ生産技術の現地試験

7.1 試験の目的

特に光を利用せずに行われているナメコ菌床栽培の培養過程について、培養後期に光を照射することにより原木栽培ナメコに近い大型の子実体生産が可能であることを、前章までの長野県林業総合センター内における栽培試験で実証した。この技術について生産現場の施設を借用した現地試験を行い、さらに実証を図った。

7.2 試験の方法

主な栽培条件は、以下のとおりである。

【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ビン当たり：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℃, 暗培養 70 日間, 青色 LED 照射 19 日間。【発生】温度 15℃, 湿度 90%以上。【青色 LED 照射条件】パナソニック社製青色 LED (ピーク波長 450nm) 2 台, 照射距離 21 cm, 5 点平均法

による光量子 $20.9 (\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s})$, 照度 185.6 (lux)
 測定機器：メイワフォーシス製ライトメーター L1-250A。

7.3 試験の結果と考察

現地試験の結果を表 7-1 に示した。青色 LED 照射区と暗培養区との平均収量に有意な差はなかった。また、平均個数は青色 LED 区が暗培養区に対して 43.5%と減少し、個重は逆に 225%と増大した。したがって、培養過程後期に青色 LED を照射することによる大型子実体生産技術の有効性が現地試験でも確認された。

ナメコ菌床栽培では、これまで個重 1g 程度の小型な子実体生産が一般的であったが、原木栽培ナメコに近い大型ナメコの生産が培養後期の光照射により、菌床栽培でも可能なことを現地試験でも確認した。販売単価が低迷しているナメコ生産において、単価上昇効果の期待できる特色のあるきのこ生産に寄与にする技術と考えている。

表 7-1 培養後期の光照射による大型ナメコ生産の現地試験結果

試験区	平均収量 (g/ビン)	平均個数 (個/ビン)	個重 (g/個)
青色 LED 照射	127.7	47.8	2.7
暗培養	126.8	109.8	1.2

8 培養過程での光照射時期と栽培特性

8.1 試験の目的

これまでに、培養後期の培地への光照射による大型ナメコの短期栽培技術を見出した。そこで次に、培養前期、培養中期における光照射と栽培特性の関係を調査して、新たな照射技術の可能性を検討した。

8.2 試験の方法

培地への光照射時期を培養の前期、中期、後期の3段階に分けて、ナメコ菌床栽培での光照射時期と栽培特性の関係を調査した。照射条件と主な栽培条件を図8-1に示した。

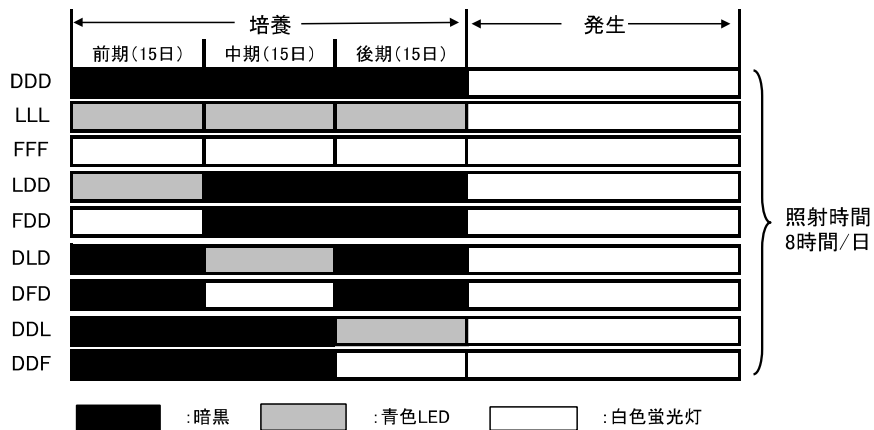
8.3 試験の結果と考察

栽培試験の結果を表8-1に、子実体発生状況を写真8-1～3に示した。

前章までの検討で明らかになったように、培養

後期の光照射によって子実体が大型化するとともに一番収穫所要日数が短くなる同様の傾向を示したが、培養前期及び培養中期の光照射であっても暗培養区に対して子実体が大型化することが確認された。しかし、培養後期の照射ほど顕著ではなく、前期と中期の差は明確ではなかった。しかし、子実体収穫時の特性ではなく、原基形成の状況など途中経過を観察すると、培養前期の照射区では写真8-4に示したように子実体原基が多数形成された。しかし、収穫される子実体まで生長せず原基のままでは止まるものが中期照射区、後期照射区と比較して多かった。

また、培養段階に光を照射する照明方法として、青色LEDと蛍光灯で栽培特性の明確な相違は見られなかった。



【品種】キノックス N007, N008, N009 のナメコ 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 45 日間行った。培養期間を 15 日間ずつ前期, 中期, 後期の 3 つに区分して, 青色 LED 及び白色蛍光灯を, それぞれの段階で培地に照射した。また, 対照として暗培養区, 全期間照射区 (青色 LED 及び白色蛍光灯) を設けた。1 試験区 6 本。

図 8-1 照射条件と栽培条件 (培養過程での光照射時期と栽培特性)

表 8-1 培養過程での光照射時期と栽培特性

区分	品種：N007				品種：N008				品種：N009			
	一・二番収量計 (g/ビン)	± 標準偏差	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (日/ビン)	一・二番収量計 (g/ビン)	± 標準偏差	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (日/ビン)	一・二番収量計 (g/ビン)	± 標準偏差	一番収穫個重 (g/個)	一番収穫所要日数 (日/ビン)
DDD	125.8	± 7.7	1.0	19.0	134.5	± 6.0	1.0	17.5	148.5	± 25.5	1.2	18.5
LLL	84.3	± 17.2	2.9	9.8	88.3	± 23.1	3.0	13.8	77.5	± 7.4	2.8	23.8
FFF	87.0	± 17.8	3.9	12.5	96.0	± 16.5	2.9	17.3	80.0	± 11.7	2.3	27.2
LDD	112.7	± 31.5	1.8	26.5	78.7	± 34.8	1.8	29.5	71.2	± 10.8	5.2	32.2
FDD	112.3	± 7.1	2.4	27.5	72.2	± 27.6	3.7	30.8	73.8	± 28.0	2.5	27.8
DLD	104.8	± 18.8	1.7	19.8	82.3	± 35.0	1.8	26.3	89.0	± 32.1	2.1	29.2
DFD	127.7	± 11.5	1.5	21.2	94.7	± 23.1	3.4	21.3	107.7	± 21.6	1.7	27.8
DDL	103.0	± 14.5	2.1	14.3	105.3	± 13.2	2.6	16.5	78.5	± 13.6	1.6	26.3
DDF	108.3	± 20.6	2.4	15.0	101.2	± 13.3	1.6	18.2	61.5	± 23.2	1.9	27.7



写真 8-1 暗培養区 (N007, DDD) の子実体発生状況 (一番収穫)



写真 8-2 LED 照射区 (N007) の子実体発生状況 (一番収穫)
左から順に LLL 区, LDD 区, DLD 区, DDL 区



写真 8-3 白色蛍光灯照射区 (N007) の子実体発生状況 (一番収穫)
左から順に LLL 区, LDD 区, DLD 区, DDL 区



写真 8-4 培養前期の青色 LED 照射区の子実体原基 (N007)

9 培養過程における青色 LED の照射時期と栽培特性

9.1 試験の目的

前章の検討では、培養中の光照射時期、特に前期と中期の栽培特性の差が明確に現れなかったため、培養期間を前章の 45 日間から 60 日間に増加し、さらに照射時期を 15 日間ごとの 4 段階に増やして栽培特性を調べた。前章の結果から、青色 LED と白色蛍光灯の照明方法の相違は明確に現れないと考え、照明方法は青色 LED に絞って実施した。

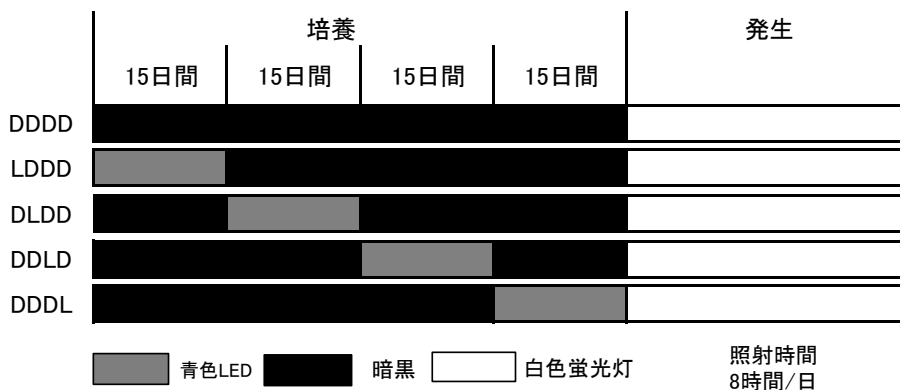
9.2 試験の方法

試験区の概要・栽培条件・照射条件は図 9-1 に示した。

9.3 試験の結果と考察

結果を表 9-1~2, 図 9-2~3 に示した。

培養の後半に照射する程、一番収穫所要日数が短くなり、一番収穫の個重が大きくなる傾向が見られた。一番収穫に関する特性でみると、暗培養区 (DDDD) と前半照射区 (LDDD, DLDD) との明確な差はなかった。また、LDDD と DLDD との明確な差も見られなかった。しかし、途中経過として原基形成状況を観察すると LDDD と DLDD では多数の子実体原基が形成された。



栽培条件：【品種】キノックス N007, N008 の 2 品種。【培地】ブナおが粉・ホミニーフイード・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。【培養温度】20℃。【発生】14℃湿度 90% 以上。照明装置：青色 LED（ピーク波長 455nm）パナソニック（株）ライティング社製（MS-M260BGP）2 台 電源（MS-PS150FN）、白色蛍光灯パナソニック「クール」10W1 台。培養：【青色 LED 照射強度】栽培ビンを設置する棚内 72 カ所の測定値の平均値で、青色 LED 光子量 8.99 ($\mu\text{mol}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$) 照射照度 1.083 (W/m^2) 照度 66.3 (lux)。測定機器：LICA 製ライトメーター L1-250A。照射方法（培養室）：栽培棚上部からビン上まで 21 cm。発生【蛍光灯照射強度】光子量 3.81 ($\mu\text{mol}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$) 照射照度 0.623 (W/m^2) 照度 232.9 (lux)。1 日 8 時間照射。

図 9-1 照射条件（青色 LED 照射時期と栽培特性）

表 9-1 培養過程における青色 LED の照射条件と栽培特性 (品種:N007)

区分	一番収量 (g/ビン)	二番収量 (g/ビン)	収量計 (g/ビン)	±	標準 偏差	一番収穫 個重 (g/個)	一番収穫所要 日数 (日/ビン)
DDDD	82.1	46.6	128.7	±	13.5	1.2	17.0
LDDD	81.9	44.6	126.5	±	21.6	1.2	17.3
DLDD	85.0	42.3	127.3	±	17.0	1.1	17.4
DDLD	81.8	56.8	138.6	±	21.2	1.6	12.8
DDDL	82.0	59.9	141.9	±	25.4	1.6	7.8

表 9-2 培養過程における青色 LED の照射条件と栽培特性 (品種:N008)

区分	一番収量 (g/ビン)	二番収量 (g/ビン)	収量計 (g/ビン)	±	標準 偏差	一番収穫 個重 (g/個)	一番収穫所要 日数 (日/ビン)
DDDD	121.0	46.4	167.4	±	13.6	1.1	16.3
LDDD	115.8	36.2	151.9	±	18.0	1.1	16.3
DLDD	112.0	38.0	150.0	±	17.5	1.2	15.6
DDLD	112.1	45.4	157.5	±	25.1	1.5	13.3
DDDL	101.0	49.4	150.4	±	29.6	1.8	6.1

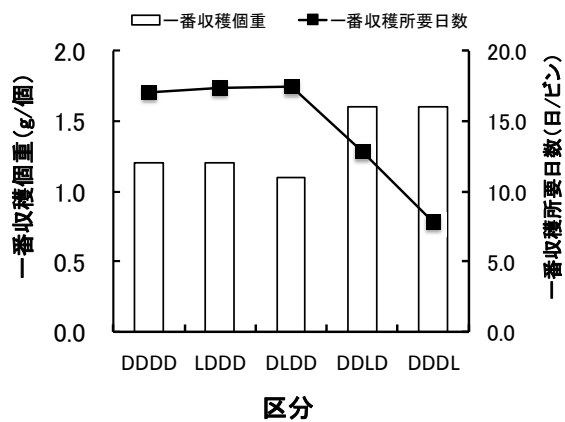


図 9-2 青色 LED 照射時期と栽培特性 (N007)

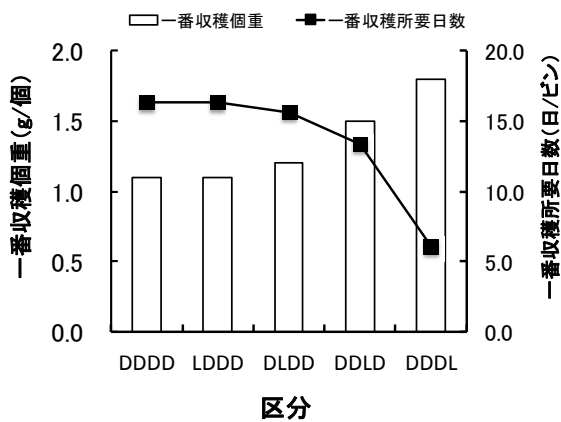


図 9-3 青色 LED 照射時期と栽培特性 (N008)

10 培養前期の青色 LED 照射と栽培特性

10.1 試験の目的

前章までの結果で、培養前期に光照射すると発生処理後に子実体原基が多数形成される傾向が観察された。この現象が新たな光利用技術に繋げることができるか検討するため、培養前期の青色 LED 照射 (15 日間) が栽培特性に及ぼす影響を照射後の暗培養期間を変えて調査した。

10.2 試験の方法

試験区の概要, 照射条件, 栽培条件は図 10-1 に示した。

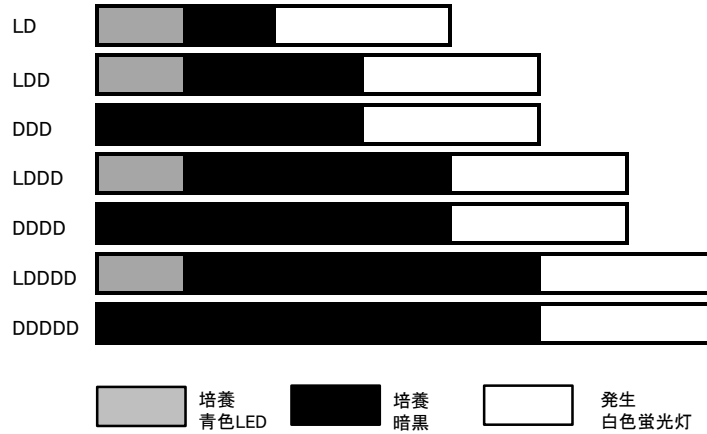
10.3 試験の結果と考察

結果を表 10-1~2 及び図 10-2 に示した。

培養前期の 15 日間, 培地に青色 LED を照射し, その後の暗培養期間を 15 日間ずつ増加することによって, 栽培特性の変化を調べた。培養前期に

照射することによって、子実体原基は多数形成されるが、その後の暗培養期間が短いと個重の小さい子実体が形成される傾向が見られた。培養前

期の照射により、暗培養区より一番収穫の個数が増加する傾向が見られた。



栽培条件：【品種】キノックス N007, N008 の 2 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。【培養温度】20℃。【発生】14℃湿度 90% 以上。照明装置：青色 LED（ピーク波長 455nm）パナソニック（株）ライティング社製（MS-M260BGP）2 台 電源（MS-PS150FN）、白色蛍光灯パナソニック「クール」10W1 台。培養：【青色 LED 照射強度】栽培ビンを設置する棚内 72 カ所の測定値の平均値で、青色 LED 光量子 8.99 ($\mu\text{mol}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$) 照射照度 1.083 (W/m^2) 照度 66.3 (lux)。測定機器：LICA 製ライトメーター L1-250A。照射方法（培養室）：栽培棚上部からビン上まで 21 cm。発生【蛍光灯照射強度】光量子 3.81 ($\mu\text{mol}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$) 照射照度 0.623 (W/m^2) 照度 232.9 (lux)。1 日 8 時間照射。

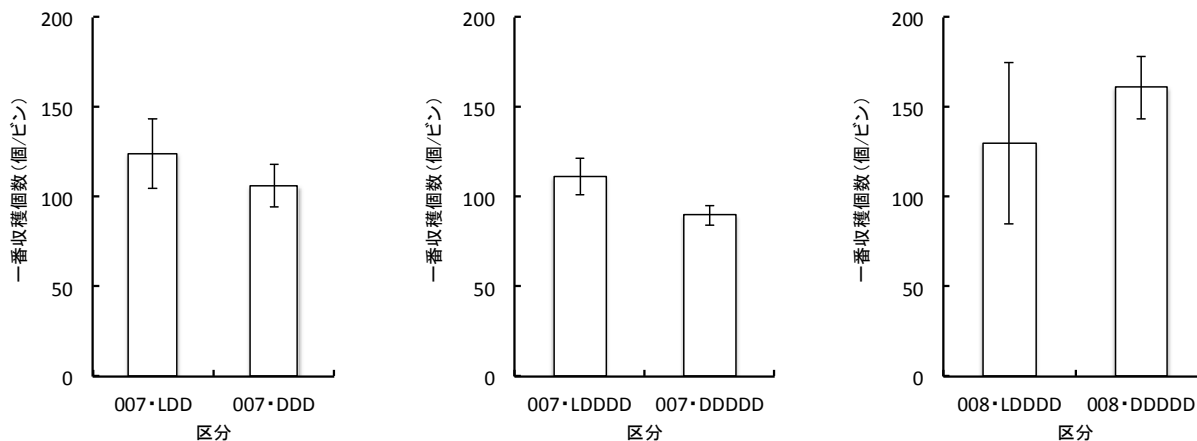
図 10-1 照射条件（培養前期の青色 LED 照射と栽培特性）

表 10-1 培養過程における青色 LED の照射条件と栽培特性（品種：N007）

区分	一番収量 (g/ビン)	二番収量 (g/ビン)	収量計 (g/ビン)	± 標準 偏差	一番収穫 個重 (g/個)	一番収穫所要 日数 (日/ビン)
LD	79.3	50.4	129.8	± 20.7	0.9	19.8
LDD	95.8	47.3	143.1	± 22.7	0.8	18.2
DDD	89.9	39.9	142.3	± 22.4	0.8	18.7
LDDD	81.9	44.6	126.5	± 21.6	1.1	17.3
DDDD	82.1	46.6	128.7	± 13.5	1.2	17.0
LDDDD	119.1	35.9	155.0	± 16.4	1.1	18.5
DDDDD	119.8	42.7	162.5	± 12.0	1.3	19.0

表 10-2 培養過程における青色 LED の照射条件と栽培特性 (品種:N008)

区分	一番収量 (g/ビン)	二番収量 (g/ビン)	収量計 (g/ビン)	± 標準 偏差	一番収穫 個重 (g/個)	一番収穫所要 日数 (日/ビン)
LD	88.3	61.2	149.4	± 17.0	0.9	19.3
LDD	106.2	55.9	162.1	± 17.6	1.0	17.0
DDD	104.3	50.0	154.3	± 20.2	1.0	17.0
LDDD	115.8	36.2	151.9	± 16.3	1.1	18.0
DDDD	121.0	46.4	167.4	± 13.6	1.1	16.3
LDDDD	120.9	43.8	164.7	± 23.2	0.9	16.0
DDDDD	138.6	40.3	178.8	± 9.5	0.9	16.9



有意差有り (分散分析, 最小有意差法による多重比較)

図 10-2 培養前期の青色 LED 照射と栽培特性 (一番収穫の個数)

11 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

11.1 試験の目的

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った。

11.2 試験の方法

主な栽培条件は、以下のとおりである。

【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℃, 暗培養 83 日間。【発生】温度 15℃, 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 203.6(lux)。【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 102.0(lux)。

11.3 試験の結果と考察

栽培試験の結果を図 11-1 に示した。2 回繰り返して行った結果, いずれも白色 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示唆された。

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ある。青色 LED の青い光では作業性が極めて悪いため、生産現場では白色 LED 導入の検討が不可欠である。また、LED の光はその直進性から光源直近は

明るい、光の拡散が少ないため、人の作業には不適切な一面がある。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った。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た。

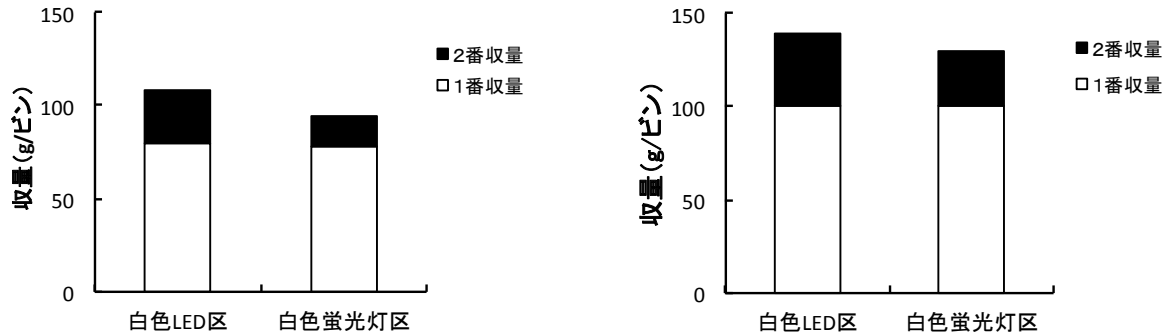


図 11-1 現地試験による発生段階における白色 LED と白色蛍光灯の比較（左 1 回目, 右 2 回目）

12 光によって誘導されるナメコ子実体の有用成分の定量

12.1 試験の目的

ナメコのビタミン D 含有量及び抗酸化作用と蛍光灯, 青色 LED 照射について検討した。蛍光灯及び青色 LED を照射して林業総合センターで発生させたナメコ子実体について、東京工業大学においてビタミン D の定量及び抗酸化作用の測定を行った。

12.2 試験の方法

ナメコの栽培方法は、以下のとおりである。【品種】キノックス N008。【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 日間暗培養した。【発生】14℃湿度 90%以上。各試験区をさらに青色 LED 照射区と白色蛍光灯照射区に分け子実体を発生し、収穫調査を行った。

【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。【試料調製】採取した子実体を液体窒素で凍結して分析担当に送付した。

ビタミン D の定量法は、以下のとおりである。アセトニトリル・ギ酸 (99:1) の溶液を用いて抽出・濃縮した後、LC-MSMS を用いて直接ビタミン D の定量化（内部標準物質として市販のビタミン D3 を使用）を行った。

健康維持に重要な働きをする食品の抗酸化作用について、抗酸化力を ORAC (Oxvaen Radical Absorance Capacity Assay) 法を用いて測定した。

12.3 試験の結果と考察

ビタミン D 含有量の測定結果を図 12-1 に、抗酸化力の測定結果を図 12-2 に、それぞれ示した。

ビタミン D は、紫外線 (UV) によって生産が誘導されることが知られている。青色 LED によってもビタミン D の生産が誘導されるのか、白色蛍光灯照射の結果と比較した。ナメコについては、青色 LED 照射と白色蛍光灯照射で、子実体中のビタミン D 含有量にほとんど差がなかった。共同研究者である徳島県立農林水産総合技術支援センターで生産した菌床栽培シイタケについて

同様に分析した結果と比較すると、ナメコのビタミンD含有量は少なかった。

抗酸化力は、生体内において酸素が関与する有害な反応を減弱もしくは除去する力である。青色LEDを照射した場合と白色蛍光灯を照射した場合で、ナメコ子実体中の抗酸化力に大きな差は

なかった。菌床シイタケの結果と比較するとナメコ子実体中の抗酸化力は低かった。

ビタミンD含有量、抗酸化力とも菌株の違いや栽培条件の変化による影響が大きいと思われるが、蛍光灯と青色LED照射下での影響はナメコについては軽微であると推測された。

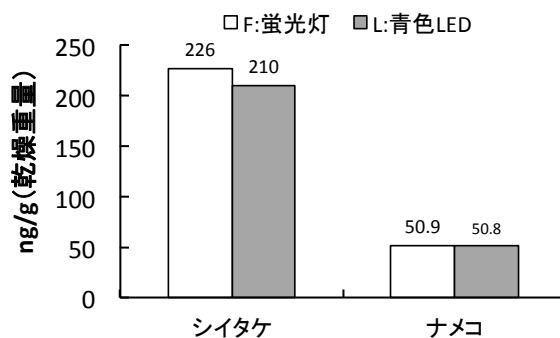


図 12-1 蛍光灯, 青色 LED 照射下によるビタミン D 含有量

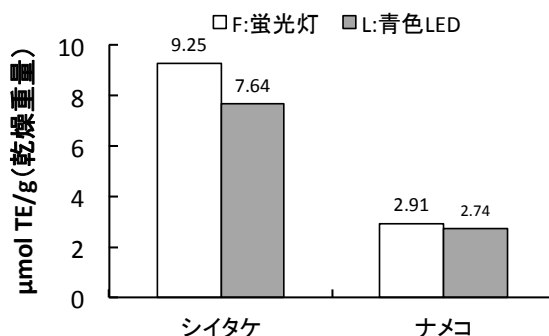


図 12-2 蛍光灯, 青色 LED 照射下による抗酸化作用 (ORAC)

13 総合考察

LED は、蛍光灯と比較して耐用期間が長く、消費電力の少ない照明として、省エネルギー効果に大きな期待が持たれている。きのこの菌床施設栽培における照明は、現在、多くの生産現場では蛍光灯が使用されているが、LEDの省エネルギー効果によるコスト削減への期待から、蛍光灯からLED照明に今後は移行していくものと一般的には考えられている。しかしながら、LED照明を利用したきのこ生産技術に関する実証試験例は少なく、生産者の多くはリスクを考慮して、容易に導入しない現状がある。

そこで、農林水産省の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」(平成 21～25 年度)に参画して、きのこ菌床施設栽培におけるLED利用技術を検討するとともに、新たな光利用技術の開発を合わせて行った。当所では、長野県の主要な生産品目であるナメコに関して、菌床栽培におけるLED利用法の開発を担当した。

まず、菌床シイタケ栽培に関する先行研究及び基礎研究の成果を参考にして、培養後期の青色LEDの照射効果を検討した。4「培地熟成段階及び子実体原基形成段階・子実体生育段階における青色LED照射による栽培特性」では、培養後期における培地への青色LED及び白色蛍光灯に

よる光照射が、従来の暗培養に比べ、短期間で大型ナメコ生産を可能にすることを見出した。5「培養後期の光照射による大型ナメコ生産」では、供試品種を3品種に増やして、技術の確実性を確認した。6「培養後期の青色LED照射日数と栽培特性」では、培養後期の青色LED照射による大粒ナメコ生産技術の精度を向上するため、培養後期の光照射の最適日数を検索した。7「培養後期の光照射による大型ナメコ生産技術の現地試験」では、培養後期の青色LED照射による大型ナメコ生産技術について、飯山市の現地試験でさらに確認した。以上の4から7で得られた成果は以下のとおりである。

これまで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なが分かった。さらに培養後期に15日間培地に青色LEDを照射することで、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った。さらに、これらの技術は現地の生産現場でも利用可能なことを実証した。

培養後期の光照射の有効性が確認されたので、次に培養前期、培養中期を含めた培養中の照射時期による栽培特性を検討した。8「培養過程での光照射時期と栽培特性」、9「培養過程における青色LEDの照射時期と栽培特性」、10「培養前期の青色LED照射と栽培特性」に示した検討結果から、培養前期の照射により、子実体原基が多数形成される現象を観察するとともに、暗培養に比較すると培養前期の光照射が子実体個数を増加させる傾向を確認した。培養前期の光照射が子実体原基形成を促進する現象が見られ、原基形成促進技術としての利用可能性が示唆されたが、実用技術としての検討は今後の課題とした。

きのこは、450nm付近の波長を持つ青色LEDの光をよく感知する能力があるため、青色LEDを中心に検討を開始した。しかし、生産現場において、照明は子実体生産の物理的刺激としてのみならず、生産者の作業用としても重要である。作業用の照明としては、青色は適切ではなく、白色LEDの利用の検討が重要となる。そこで、青色LED

に黄色のフィルターを用いた白色LEDを使用した現地試験を、11「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」で実施した。その結果、白色蛍光灯を用いた場合と同等の結果が得られ、白色LEDが白色蛍光灯の代替品として利用可能なことが実証された。

きのこの食品としての機能性の向上が光利用により図れるか、12「光によって誘導されるナメコ子実体の有用成分の定量」において、基礎研究チームの森林総合研究所及び東京工業大学と共同して検討した。培養後期及び発生時の青色LED照射が、ナメコのビタミンD含有量及び抗酸化作用に与える影響を調べたところ、今回の結果からは、白色蛍光灯照射に比較して、青色LED照射が、子実体中のビタミンD含有量を増大効果や抗酸化力向上効果を確認することはできなかった。

以上、本研究の概要を述べた。現在、ナメコ生産のほとんどは、空調施設栽培によるものである。そのなかでナメコの生産規模は、一生産施設で500トンを超える大規模生産者と家族労働による小規模生産者の二極化が進んでいる。本研究は、このうち主に中山間地域の産業を支える小規模生産者に役立つ技術開発を目指したものである。培養後期の光照射による大粒ナメコ生産技術は、現在、市場価格の低迷している菌床ナメコ生産において、特徴のある大粒ナメコ生産を可能にし、販売単価の向上に寄与するものと考えられる。また、白色LEDでも白色蛍光灯と同等の栽培結果が得られ、白色LEDが白色蛍光灯と代替できることを示せた。

今後、LED照明の生産現場への普及を進め、菌床きのこ栽培の省エネルギー化を図るためには、これらの技術について産地の生産現場での実証試験と現地適応化試験を数多く行うことが重要と思われる。

なお、本プロジェクトの研究成果を基に、技術の普及のためマニュアル書を作成した⁴⁾。

14 謝辞

現地試験の実施に当っては、北信州みゆき農協の皆様にも多大なご協力を頂戴した。ここに記して謝意を表するものである。

15 文献

- 1) 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
- 2) Sano, H. *et al.* (2007) Sequence analysis and expression of a blue-light photoreceptor gene, *Le.phrA* from the basidiomycetous mushroom *Lentinula edodes*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 71, 2206-2213.
- 3) Sano, H. *et al.* (2009) The basidiomycetous mushroom *Lentinula edodes* white collar-2 homolog PHRB, a partner of putative blue-light photoreceptor PHRA, binds to a specific site in the promoter region of the *L. edodes* tyrosinase gene. *Fungal Genet. Biol.*, 46, 333-341.
- 4) 農林水産省委託プロジェクト「光・きのこコンソーシアム」編, LED を利用したきのこ栽培-きのこ栽培における光の効果- (2014), 独立行政法人 森林総合研究所, 1-63