

ISBN 978-4-905304-28-9

# LED を利用した きのこ栽培

～きのこ栽培における光の効果～



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」  
「光・きのこコンソーシアム」編



独立行政法人 森林総合研究所  
Forestry and Forest Products Research Institute



## はじめに -Introduction-

きのこは我々日本人が好んで食し、日々の食卓に彩りを添える親しみやすい食材の一つです。きのこ類は現在、国内林業総生産の半分以上、年間2000億円を超える巨大な産業です。国内産牛肉と比較しておよそ半分程度、野菜類においてはトップテンに入るほどの市場規模を有しています。農山村地域においては、その経済と人口の維持・確保に大きく貢献する重要な産業の一分野をきのこ類が担っています。しかし今日に至っても、市場に好まれる栽培きのこを作出するための方法はいまだ経験に頼るところが大きく、従来からの育種・栽培がなされているのが現状です。そのため、メーカーや生産者からは、生産現場の問題に即応して、将来展望を持つ戦略的な栽培技術が要望され続けており、きのこ生産における画期的なブレークスルーが常に待ち望まれています。

本技術マニュアルでは、従来型の蛍光灯等を利用した栽培法から脱却し、より高い生産効率を狙った、LED照明装置を用いた省エネルギー型の新たなきのこ栽培法について、基礎研究及び実用技術開発の両方向から詳しい解説を行っています。

2014年3月

「光・きのこコンソーシアム」

本マニュアルは、農林水産省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」の成果をご紹介します。

### 「光・きのこコンソーシアム」参画機関

独立行政法人森林総合研究所

国立大学法人東京工業大学

国立大学法人岡山大学

公益財団法人岩手生物工学研究センター

群馬県林業試験場

長野県野菜花き試験場

長野県林業総合センター

奈良県森林技術センター

徳島県立農林水産総合技術支援センター

# LED を利用したきのこ栽培

## 目次

### I きのこには光が必要<日本の主な栽培きのこ>

・ 光ときのこ	(独)森林総合研究所	2
・ LED (Light Emitting Diode)	(独)森林総合研究所	3
・ きのこの栽培	長野県林業総合センター	4
シイタケ	徳島県立農林水産総合技術支援センター	14
エノキタケ	長野県野菜花き試験場	16
ブナシメジ	長野県野菜花き試験場	18
ナメコ	長野県林業総合センター	20
マイタケ	群馬県林業試験場	22
アラゲキクラゲ	群馬県林業試験場	24
エリンギ	奈良県森林技術センター	26
バイリング	長野県野菜花き試験場	28

### II きのこ栽培への LED 利用

きのこ栽培と LED	(独)森林総合研究所	30
菌床シイタケ	徳島県立農林水産総合技術支援センター	32
エノキタケ	長野県野菜花き試験場	37
ブナシメジ	長野県野菜花き試験場	41
ナメコ	長野県林業総合センター	45
マイタケ	群馬県林業試験場	49
アラゲキクラゲ	群馬県林業試験場	55
エリンギ	奈良県森林技術センター	56
バイリング	長野県野菜花き試験場	63

## I きのこには光が必要＜日本の主な栽培きのこ＞

### 光ときのこ

「きのこ」は生物学的には菌類に分類されます。菌類は通常、目に見えるほどの大きな形態の変化は起こりませんが、きのこ類に限っては、特有かつドラマティックな形態変化を起こします。それが「子実体（我々が目にするいわゆる「きのこ」）」と呼ばれる、きのこにとっての生殖器官です。このきのこの「子実体」を栽培し、時には森林で採取し、我々日本人は昔から食用としてきました。

きのこは光合成を行いません。しかしながら、きのこは光の関係は古くから知られ、20世紀初頭の文献にも「きのこが子実体を作るためには光が必要である」と記されています。近年の研究では、きのこの形成に必要な光が、主に「青色」であることが分かってきました。



## LED (Light Emitting Diode)

LEDとは Light Emitting Diode の略号で、一般には「発光ダイオード」と呼ばれ、光を発する電気素子の通称です。特定の半導体素子を組み合わせることにより、電気エネルギーが光エネルギーに変換される不思議な現象が、20世紀初めにイギリスやロシアの科学者達によって観測されていました。その後の1969年（昭和44年）に、アメリカの大手電機メーカーである General Electronic 社から、一番最初の LED である赤色 LED が実用化され販売されました。

その後、1993年（平成5年）に日本の日亜化学工業株式会社が青色 LED を高輝度化して市販し、ほぼ全ての色の光を利用できるようになりました。現在では、省エネルギー・長寿命などの多くのメリットを持つ未来型光源として家庭用の照明をはじめ、様々な分野で利用されるようになってきています。

本技術マニュアルでは、きのこ栽培に必要な照明を「従来の蛍光灯等から LED に置き換える」ことによって、省エネルギー化を図りつつ、生産の増収や栽培製品の価値を高める技術と応用例を紹介していきます。

### <LED照明のメリット>

- ・省電力：必要な電力が従来よりも低い
- ・長寿命：寿命が長いため、交換頻度が少ない
- ・小型・軽量：設置場所を選ばない
- ・熱の発生が少ない：空調等に与える影響が少ない
- ・単波長：望みの波長・色が選べる
- ・強い構造：蛍光灯の様に割れない



## きのこの栽培

### ○きのことは

きのこは、菌類の仲間で、植物のように光合成を行わず、栄養分を外から摂取して、菌糸と呼ばれる糸状の細胞の集合体を伸ばし、胞子で増える特徴があります。胞子を作るために目に見えるような大きな子実体をつくります。この子実体のこと、または、それを作る菌類の仲間を「きのこ」と呼んでいます。ちなみに、大きな子実体を作らないものは通常「カビ」と総称しています。

### ○きのこ生産の現状

#### 品目別生産量

全国的に売られているきのこの主要な販売品目としては、シイタケ、ナメコ、エノキタケ、ブナシメジ、マイタケ、エリンギなどがあります(図1)。

国産のきのこ生産品目で、最も古いのはシイタケです。生シイタケと乾シイタケがあり、生シイタケの約85%は菌床栽培、約15%は原木栽培です。国内産の乾シイタケの大半は現在でも原木栽培により

ます。一時期、生シイタケ、乾シイタケとも中国からの輸入が増大しましたが、現在は国内産が主力となっています。

エノキタケ、ナメコは、シイタケに次いで生産の歴史が古い品目です。ナメコが生産地、消費地とも東日本に偏っているのに対して、エノキタケは生産地、消費地ともに全国的に広がりました。ヒラタケも生産の歴史は古いのですが、昭和50年代後半から生産が始まったブナシメジと商品イメージが競合したため、次第に生産量が減少しました。

マイタケ、エリンギとも、現在では定番商品となっていますが、企業の生産進出により全国的に広がった比較的新しい品目です。

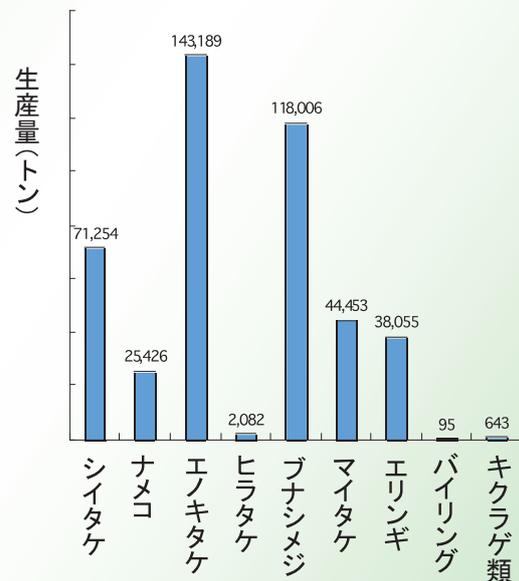


図1 全国きのこ生産量  
(平成23年・林野庁資料)

### ○品目別市場単価の推移

図2に主要品目の市場単価の推移を示しました。シイタケだけ例外的に高めの単価で推移していますが、全体的に低迷傾向が続いています。これは、企業も含めた産地間競争の激化により低価格競争が続いているためです。したがって、きのこ生産者にとって、コスト削減や収量増等の生産性向上の努力が絶えず求められる厳しい状況が続いています。

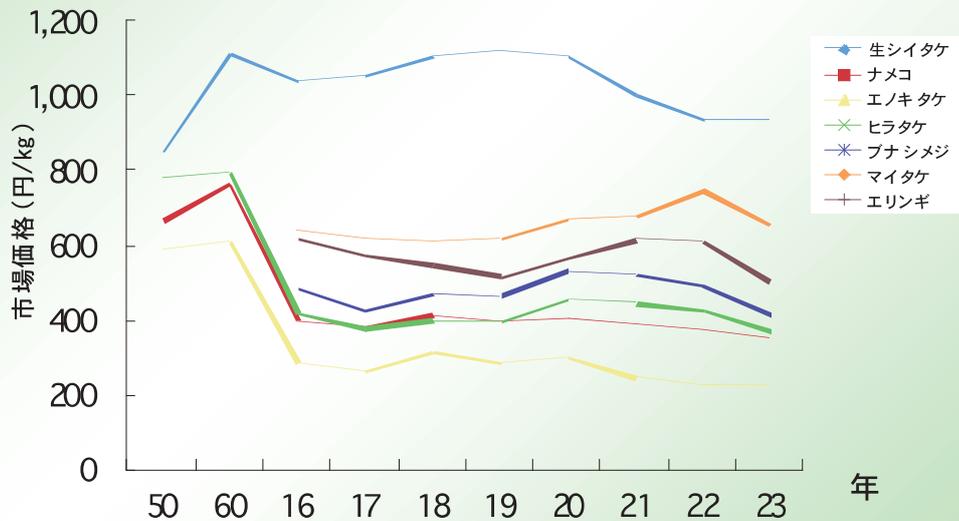


図2 品目別市場単価の推移（平成23年・林野庁資料）



### ○きのこの生産方法

きのこの生産方法は、原木栽培と菌床栽培に大きく分けられます（図3）。現在では、生産量から見ると菌床栽培が主力となっています。菌床栽培のほとんどで、冷暖房の完備した空調施設が利用されています。

菌床栽培でも使用する容器の形態によって、ビン栽培と袋栽培があります（図4）。機械化にはビン栽培の方が有利なため、シイタケ、マイタケ以外ではビン栽培が主力です。

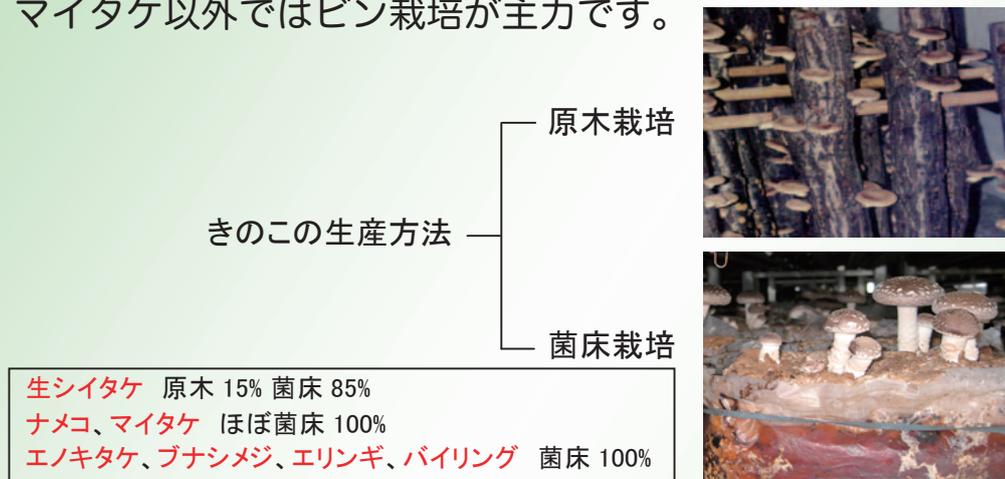


図3 きのこの生産方法と品目

菌床栽培の容器による栽培形態  
「ビン栽培」「袋栽培」

袋栽培主体……2.0～2.5kg(菌床重量)  
シイタケ、マイタケ

ビン栽培と袋栽培  
バイリング

ビン栽培主体……800～1,100ml(培地重量)  
ナメコ、エノキタケ、ブナシメジ、エリンギ



図4 きのこの品目と使用する容器

—きのこには光が必要—



○菌床栽培きのこの一般的な生産工程

一般的な菌床栽培工程は図5のとおりです。接種後の培養過程は、菌糸体を培地内にまん延させる工程です。菌類であるきのこ類は光合成を行わないため、菌糸体の伸長には光を必要とせず、培養過程では照明を特に用いないのが一般的です。

ただし、品目によって必要な培養期間は異なっています(表1)。主要な菌床栽培きのこの中で、培養期間が長いのはシイタケ、ブナシメジで80~90日間、ナメコはこの両者よりは短めの50~70日間です。短いグループは、エノキタケの25~30日間、エリンギの35~45日間です。マイタケ、バイリングは中間的で50日間程度となります。エノキタケ、エリンギは、菌糸体の培地全体にまん延すれば子実体発生の適期となりますが、シイタケ、ブナシメジ、ナメコは培地に菌糸体がまん延しても、さらに一定の熟成期間が必要となります。特にシイタケは、培養中に培地内に原基が形成される必要があります。

また、収穫方法や回数も品目や生産規模によって異なり、全体の栽培期間を決定する重要な要因となります。エノキタケ、ブナシメジ、マイタケ、エリンギ、バイリングは一般的に一番発生のみ収穫しています。ナメコも機械化の進んだ大規模生産者では一番収穫のみですが、家族労働のみの小規模生産者は三番収穫まで行う場合もあります。シイタケでは5~6回収穫するのが一般的で、培地調製から収穫までの1サイクルに6か月間程度をかけています。

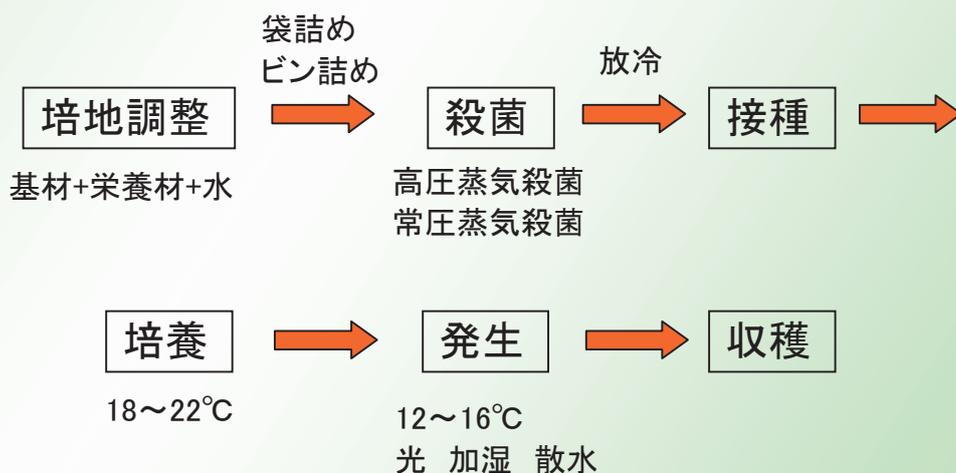


図5 一般的な菌床栽培の工程 (空調施設)

表1 きのこの品目と栽培期間

### 栽培期間の長いきのこ

品目	培養期間	収穫回数	栽培期間
シイタケ	80～120日	5～6回	150～180日
ブナシメジ	80～90日	1回	100～110日
ナメコ	50～70日	1～2回	70～110日

培養期間：菌糸体のまん延＋熟成 からなるため培養期間が長い  
(培養前期) (培養後期)

### 栽培期間の短いきのこ

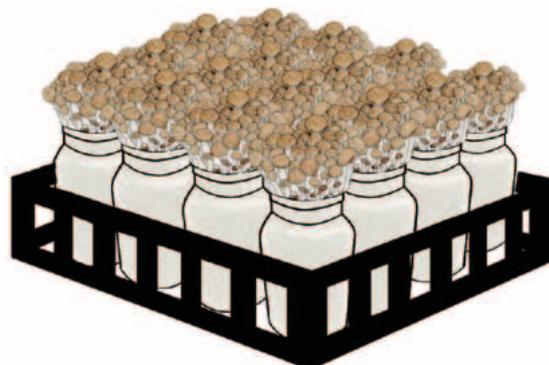
品目	培養期間	収穫回数	栽培期間
エノキタケ	25～30日	1回	40～45日
エリンギ	35～40日	1回	50～55日

培養期間：菌糸体のまん延  
に必要な期間のみで熟成期間が短い

### 栽培期間の中間的なきのこ

品目	培養期間	収穫回数	栽培期間
マイタケ	50～60日	1回	65～75日
バイリング	50日	1回	65日

マイタケは培養後期に光照射して原基形成



培養が終了すると、発生室に移して子実体の発生に必要な環境を与えるのが一般的ですが、きのこの品目によりその具体的な方法は異なります（図6）。

ナメコ、エノキタケ、ブナシメジ、エリンギは、培養終了後にビンの中の栓を外し、菌かき（古い種菌部分の除去）処理をして発生室に移します。その後、原基が形成され、その原基が生長して収穫できる子実体になります。発生段階は、発生処理をしてから原基が形成されるまでの期間と子実体の生長期間に分けることができます。

シイタケはこれらのきのここと異なり、培養中に培地内に原基が形成されてきます。発生段階は、培養中に形成された原基を生長させるだけの期間となります。マイタケも培養の後期に光を用いて原基形成を図り、原基形成を確認して発生室に移すのが一般的です。また、バイリングでは、培養後期に低温処理を施す必要があります。

このように同じ菌床栽培でもきのこによって、栽培方法が異なり、培養段階、発生段階それぞれに必要な処理が変わってきます。したがって、光利用の時期や目的が品目により異なることになります。

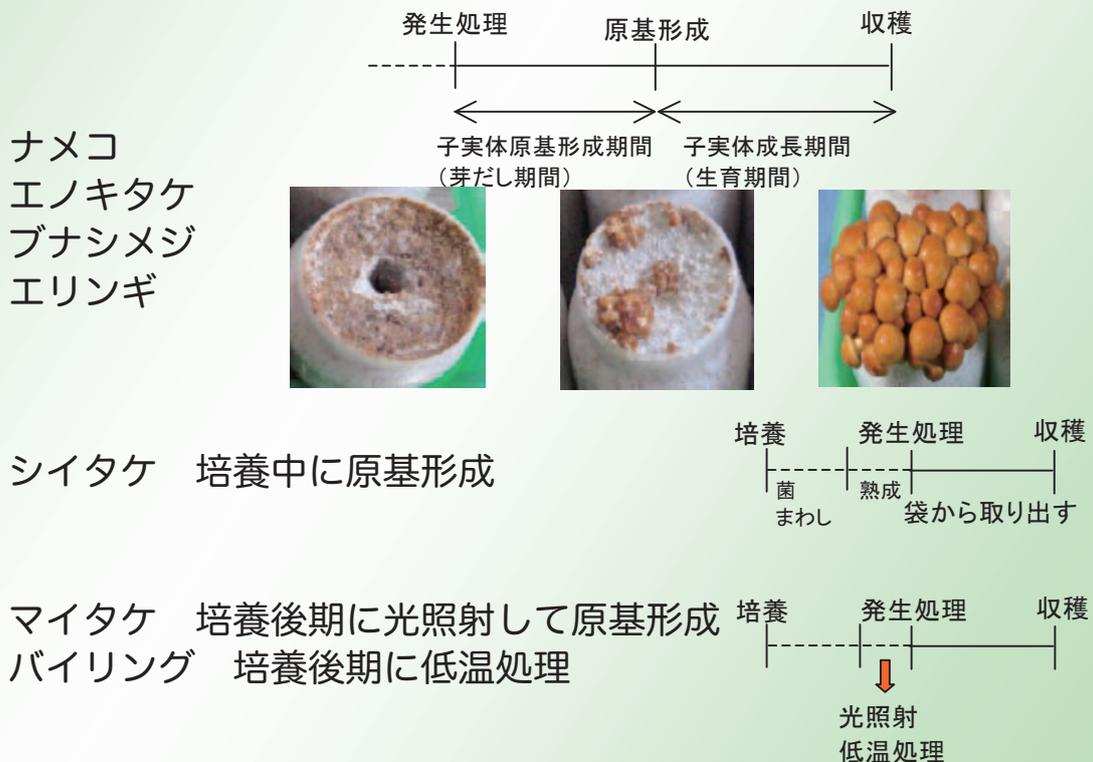


図6 きのこの品目と発生処理方法

### ○きのこ栽培における光の利用

先にも述べましたが、菌類であるきのこは光合成を行わないため、菌糸体の伸長には光を必要とせず、培養過程では照明を特に用いないのが一般的です（図7）。しかし、原基の形成、子実体の生長には光の存在は必須条件であり、栽培工程の発生段階では光が照射されています。原基形成と光条件、子実体の形質（形、色等）と光条件の関係については、十分に調べ尽くされていない種類も多いのが現状です。

特にシイタケは培養期間中に培地内で原基形成するため、培養後期に光を培地に照射して原基形成を促進する操作が行われています。他の種類についても培養段階での積極的な光利用が、今後新たなきのこ栽培技術の開発に道を開く可能性があります。また蛍光灯から、省エネルギー効果の高いLED照明に切り替えるだけでも、大きなコストダウンとなります。

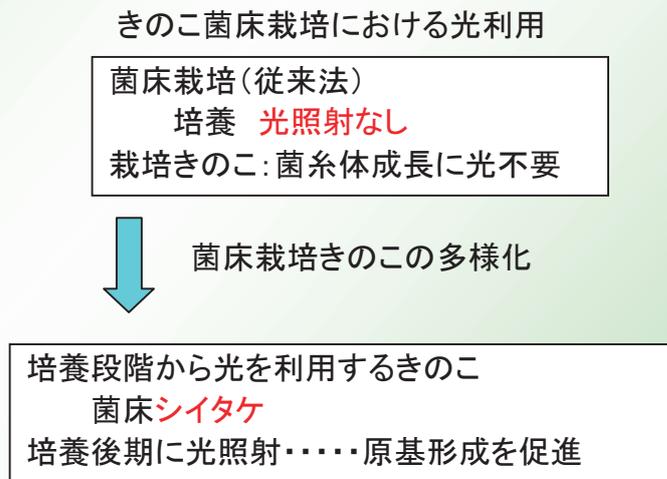


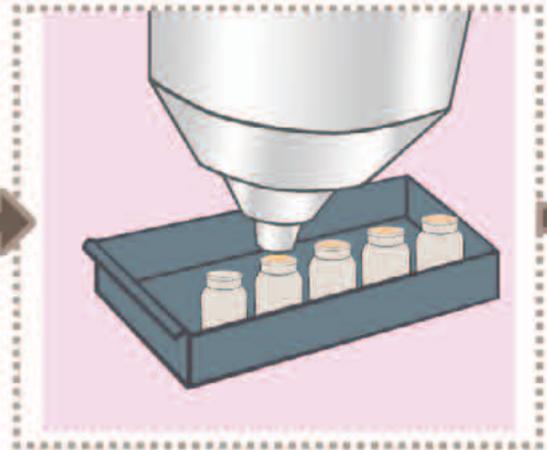
図7 きのこ栽培と光利用



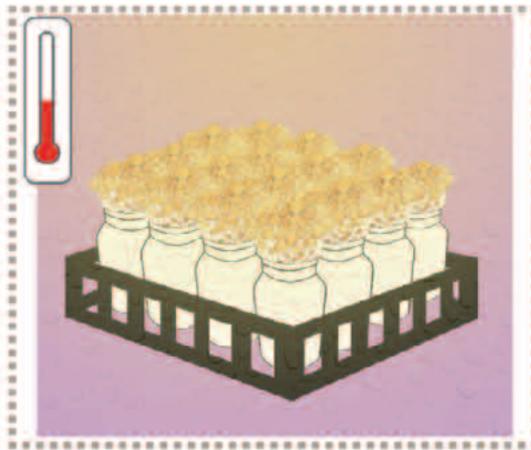
一般的なきのこ菌床栽培工程



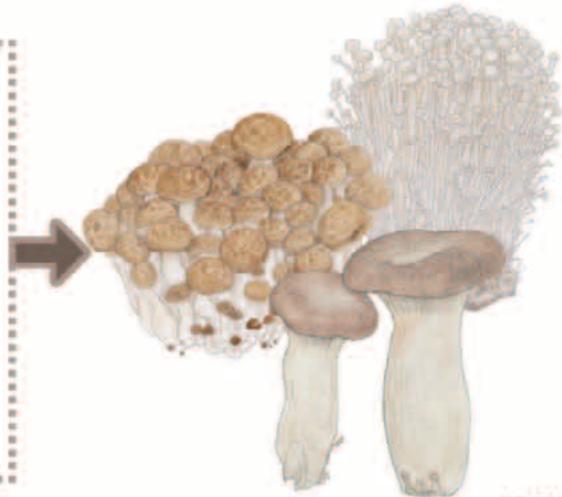
培地調整



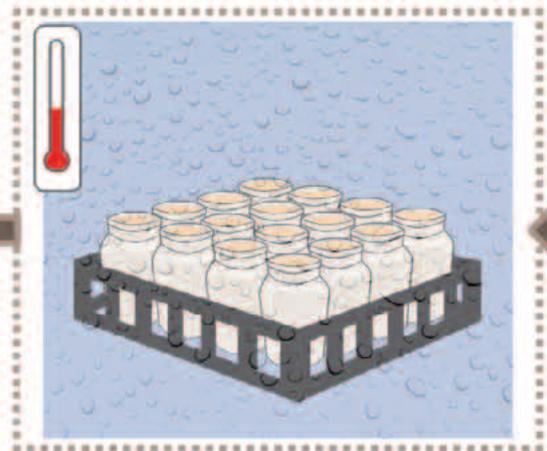
培地充填



生育

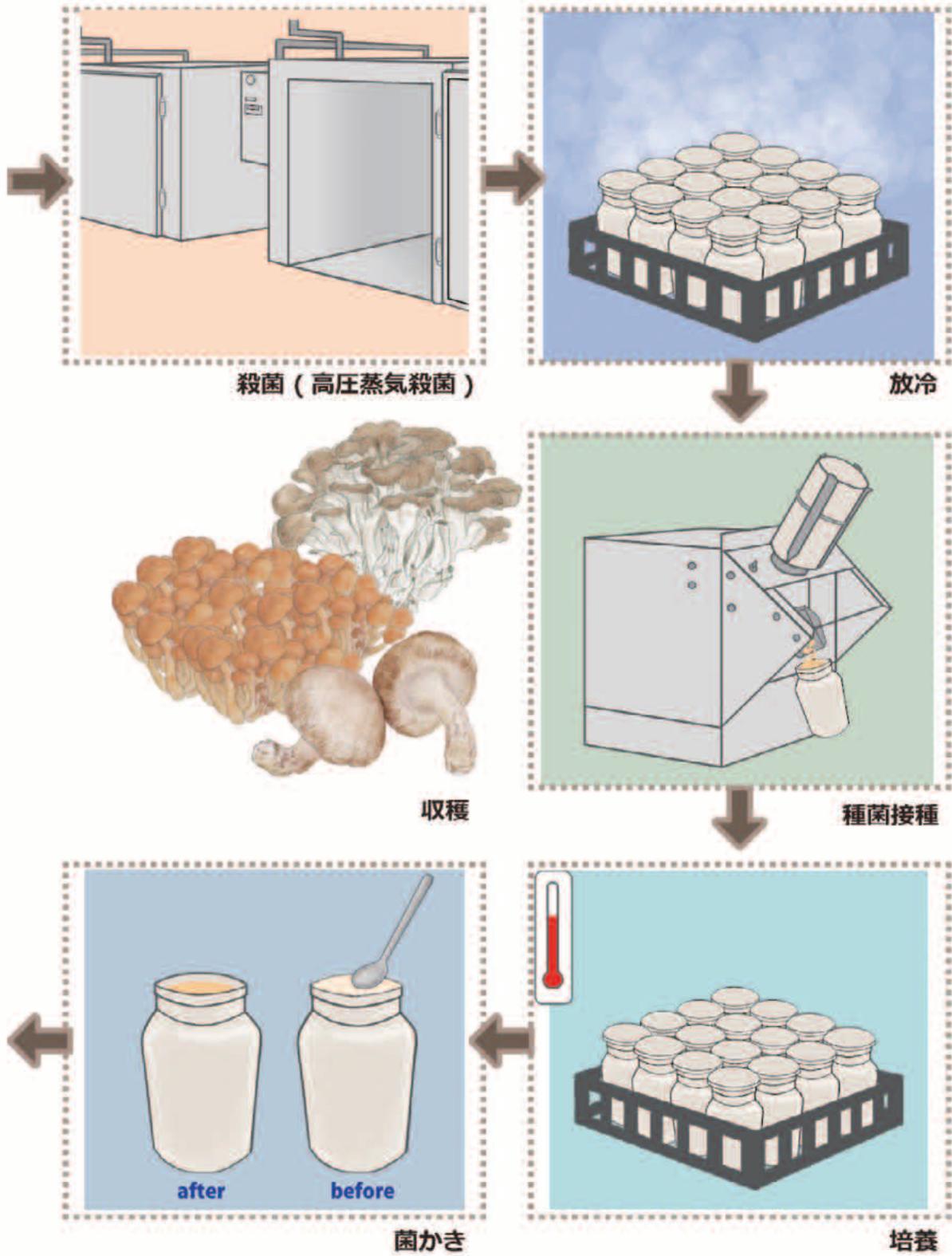


収穫



芽だし

—きのこには光が必要—



## シイタケ

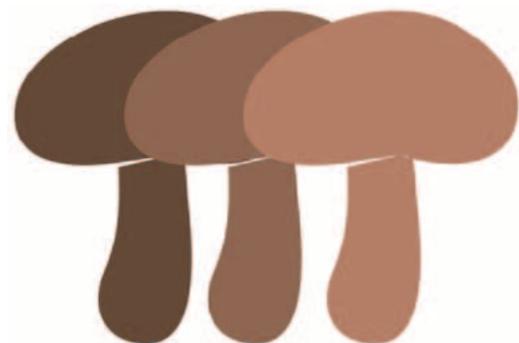
シイタケ(写真1)は、日本のほかに中国、台湾などの東アジアから東南アジア及び南半球のニューギニアやニュージーランドに分布するきのこで、通常はシイやカシなどの広葉樹の枯れ木に生えます。

350年以上も前から人工栽培が行われている代表的な食用きのこです。

シイタケの栽培方法には、クヌギやコナラの原木を使い、林内や簡易な温室できのこを育てる「原木栽培(写真2)」と広葉樹のおが粉に米ぬか等の栄養源を加えた培地を使い、温度、湿度の管理できる空調施設できのこを育てる「菌床栽培(写真3)」があります。

作業の機械化がしやすく、気象条件などにあまり影響を受けない「菌床栽培」は、原木の入手難や後継者不足等によって生産が落ち込む傾向にある「原木栽培」とは反対に、年々生産量が増え、生シイタケ生産量の85%以上を占めています。

このマニュアルでは、生産量の多い「菌床栽培」による「菌床シイタケ」について解説しています。



—きのこには光が必要—



写真1 菌床シイタケ



写真2 原木栽培



写真3 菌床栽培

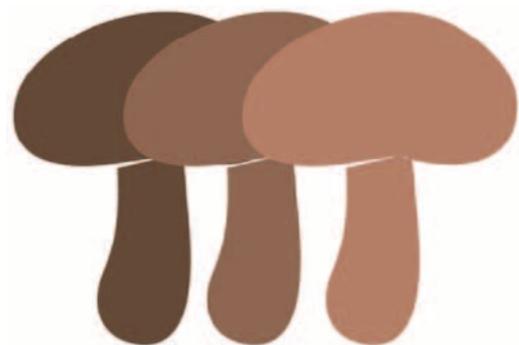
## エノキタケ

天然のエノキタケは傘が2～8 cm、柄の長さは2～9 cmで黄褐色～暗褐色で、秋の終りや春先の雪が残る山野に発生することから、別名「ユキノシタ」とも呼ばれます（写真1）。

昭和初期に栽培がはじまり、徐々に生産量が増えるにつれて、白色で傘が小さく、柄が長い形状が重宝されるようになりました。当時のエノキタケは光があるところで栽培すると、茎や傘が、クリーム色～茶色に着色してしまうため、生産者は暗い栽培室で作業していました。

品種改良と栽培技術の進歩によって昭和 60 年代に光が当たっても着色しない現在の品種が生まれました（写真2）。

光は、傘の形や茎の長さを揃え収量を増加する上で重要な環境要因の一つです。エノキタケの生育期間中に適切な光や温度の環境調節を行い、ロウ紙やプラスチック製の巻紙と呼ばれる扇状の器具を付けることによって、現在の柄や傘の形の整った市販されている形状を作り出します（写真3、写真4）。



—きのこには光が必要—



写真1 野生のエノキタケ



シナノブラウン      シナノ3号      シナノ4号

写真2 エノキタケ品種の変遷



写真3 紙巻き後のエノキタケ



写真4 収穫直前のエノキタケ

## ブナシメジ

天然のブナシメジは、秋にブナやカエデなど様々な広葉樹の枯れ木・倒木などに発生します。傘の大きさは4～15cm、柄の長さは3～10cmで、傘の中央部に灰褐色の大理石模様をあらわします（写真1）。食味に癖がなく、また食感もよいのが特徴です。

ブナシメジの施設栽培は、昭和47年に長野県で始まりました。その後、品種改良と栽培技術の進歩により規模拡大する生産者が増え、今では全国における生産量がエノキタケに次ぐ品目となっています。

ブナシメジの生育には光が非常に重要であり、傘の大きさや色、柄の長さを制御する働きがあります。生育期に光照射を行わない場合はきのこ全体が淡色になり、傘が小さく、柄が長い形状になります（写真2）。一般的にブナシメジ栽培では、きのこの丈が5～10mmに達する頃まで微量の光を、その後は収穫までの約10日間は7  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  の光量子量で光を照射します（写真3）。

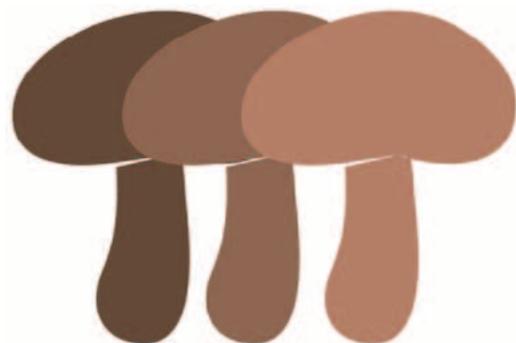




写真1 野生のブナシメジ



写真2 生育期の光照射の有無によるブナシメジの形状の違い  
(左：光照射有、右：無照射)

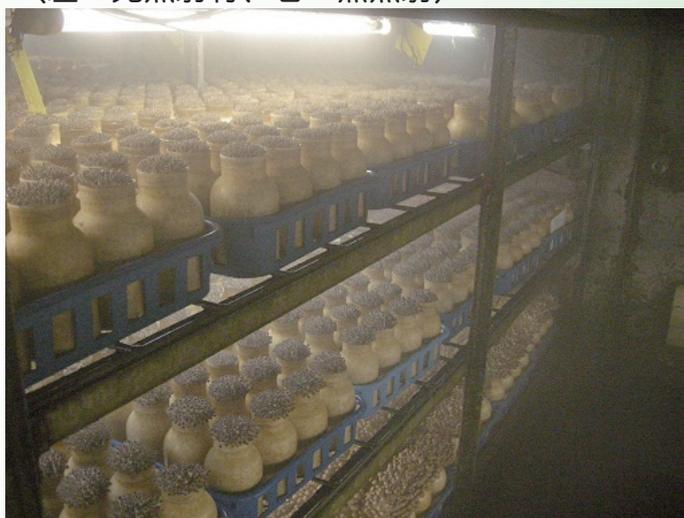


写真3 現地栽培施設におけるブナシメジの光照射状況

## ナメコ

ナメコは、日本国内において約 25,000 トンが生産されている主要な栽培品目です。

野生のナメコは、主にブナの倒木等に発生します（写真1）。人為的な原木栽培試験では、針葉樹から広葉樹までの幅広い樹種で、ナメコを発生させることができます。

東北地方を中心に、古くから野生のナメコが採取され食用にされてきました。野生ナメコの缶詰販売は、明治時代に山形県で始まりました。また、山形県で大正10年頃にナタ目法による原木栽培が行われたのが、人工栽培の始まりとされています。収穫物は缶詰にされ、東京の博覧会等に出品されました。しかし、当時の都会の人達には「ぬめり」が受け入れられず、残念ながら不評だったようです。

戦後、純粋培養の種駒種菌が開発されたのをきっかけに原木栽培（写真2）が各地に広がり、生産量が増大しました。さらに、おが粉を用いた菌床栽培が、昭和30年代後半に福島県内でトコ箱（木で作られた魚箱）を使って始められました。長野県では、エノキタケのビン栽培技術を取り入れ、空調施設栽培化と栽培工程の機械化が進み、効率的な栽培体系が出来上がりました。その後は、空調栽培用の極早生品種の開発されたことも相まって、この技術体系が全国に広まっていきました。

現在は、生産量の95%以上が菌床で栽培されています（写真3）。また、生食用としての販売が多く、約80%を占め、缶詰等の加工用は約20%にとどまります。

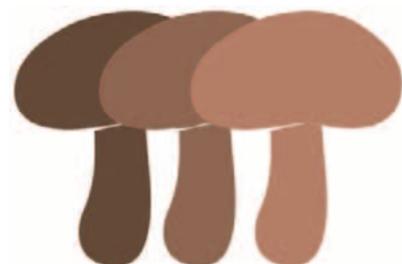




写真1 野生のナメコ



写真2 原木栽培ナメコ



写真3 菌床栽培ナメコ

## マイタケ

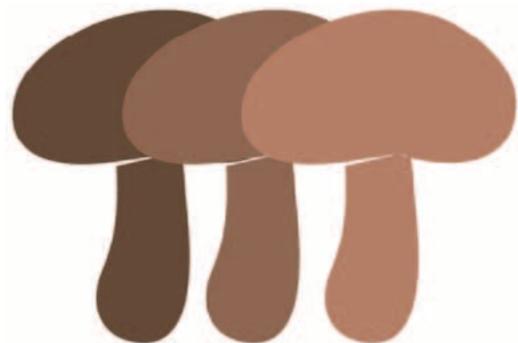
マイタケは漢字で「舞茸」と書きます。その姿が舞っているように見えることからとも、貴重なきのこなので見つかりと嬉しくて踊ることからとも言われています。

日本をはじめアジア、ヨーロッパ、北アメリカなど北半球の温帯以北に広く分布するきのこです。

きのこの形は、無数に枝分かれしたへら形や扇形をした傘の集団になっています（図1）。秋、ミズナラ、クリ、ブナなどの大木の根もとに生え、大きいものでは数kgにもなります。

野生のマイタケは古くから東北地方を中心に親しまれていましたが、栽培ができるようになったのは比較的新しく、昭和50年代です。ブナなどの広葉樹のおが粉を用いた菌床栽培で空調施設において栽培されています（図2、図3）。3kg近くある大型の菌床で作られ、数百gのきのこ（図4）が収穫できます。また、品種改良で開発された白いマイタケ（図5）も生産されています。

栽培が始まった頃は山村の小規模な施設で作られていましたが、今ではほとんどが大規模な工場で作られています。



## 野生のマイタケ



図1 野生のマイタケ

## 栽培されているマイタケ



図2 原基



図3 栽培の様子



図4 収穫前



図5 白いマイタケ

## アラゲキクラゲ

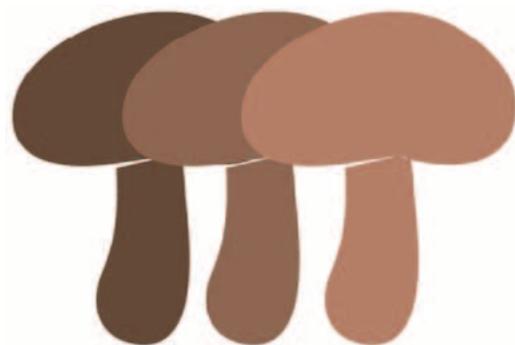
アラゲキクラゲ（図1）はキクラゲに似たきのこで、子実体の背面が毛におおわれているためこの名があります。

世界中の温帯から熱帯地域に普通に見られるきのこです。きのこの形は円盤状、杯状、耳たぶ状をしていて、かたいゼラチン質でできています。広葉樹の枯れ木、切り株上に群生します。

以前は原木栽培で生産されていましたが、最近では菌床栽培（図2、図3）が多く見られるようになりました。

夏期でも旺盛にきのこを作ることから、菌床シイタケ栽培の夏場対策で栽培されることが多いようです。

取れたてのきのこにさっと火を通して、酢の物や中華料理によく合います。また、乾燥して保存することもよく行われています。



## 野生のアラゲキクラゲ



図1 野生のアラゲキクラゲ

## 栽培されているアラゲキクラゲ



図2 生育途中の様子



図3 収穫期

## エリンギ

エリンギは、ヒラタケ科ヒラタケ属のきのこであり、元々日本には自生せず、ヨーロッパから中央アジアを原生地とするきのこです。日本へは1993年（平成5年）頃に導入され、現在広くおこなわれているビン栽培が確立され、それに合った栽培品種が開発されてきました。それまでの食用きのこは異なり、しっかりとした食感と癖のない食味、様々な料理に適用できる用途の広さから消費者の人気を集め、またたく間に生産が拡大しました。

エリンギは、ほとんどが空調施設においてプラスチック製ビンを用いた菌床栽培により生産されています（図1）。エリンギの栽培工程を図2に示します。培地の詰め込みから収穫までの標準的な期間は50～60日間で、年間6回転が可能です。

培地には、数ヶ月間加水堆積した針葉樹（スギ、ヒノキ）のおが粉と栄養材（フスマ、米ヌカ、ホミニフィードなど）が用いられています（図2）。培養は、温度22～23℃、相対湿度60～80%の室内でおこないます。培養終了は菌糸がビン全体に蔓延して1週間から10日後、種菌を植えてから30～40日目となります。培養を終えたビンは、きのこの発生を促すため、培地の上部を掻き取ります。芽出しは温度15℃前後、湿度は95%前後に管理します。芽出し時にはビン口を新聞紙等で覆い湿度を保ちます。生育段階では芽出しよりも湿度を低く85～90%、温度は15～17℃に管理します。きのこの傘が八分開き程度で、周縁部が巻き込んだ状態の時に収穫します。

新規の栽培きのことして魅力ある作目であったエリンギですが、最近では需要も頭打ちとなっています。今後は、料理の幅の広さなど、このきのこの特性を生かし市場拡大に繋がる様な品種開発や生産技術の改善が求められています。エリンギは、光条件や炭酸ガス濃度などの発生環境条件により、きのこの形態が変化することから、光制御により目的に応じた形態のきのこをつくる技術の開発が期待されます（図3）。



図1 エリンギのビン栽培

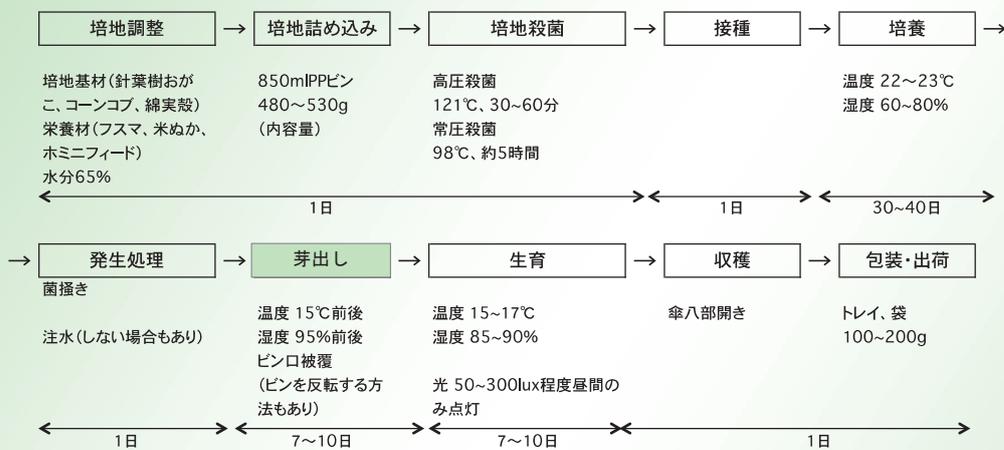


図2 エリンギの栽培工程



図3 様々な形態のエリンギ

品種の違いだけでなく、光や炭酸ガス濃度などきのこの発生環境をコントロールすることで、用途に応じた様々な形態のエリンギをつくるのが可能です。

## バイリング

バイリングは日本には自生していないきのこです。元々は中国の新疆ウイグル地区に自生するセリ科植物に寄生するヒラタケ属のきのこで日本では平成 15 年頃から栽培が始まりました。

このきのこはエリンギの変種であり、形態もエリンギに似ています。エリンギと異なる特徴は、「白色」で「傘が大きくなる」ことです。光を適度に当てることによって傘が大きくなりますが、他のきのここと異なり、着色はしません。光が弱かったり、光を照射するタイミングが合わないと傘が大きくなりず、柄が生長してしまうため、いびつな形になります。（写真1）

また、他のきのこではあまり行われないう作業、「芽切り」という作業を行うことがあります。これは、きのこの原基（芽）が出た直後に1本もしくは2本を残して、間引くことで、大きくて傘の形のよい子実体を育てる方法です。（写真2、3）

バイリングは、傘の形状が重要であり、光は傘の形を制御するために重要な要因の一つです。

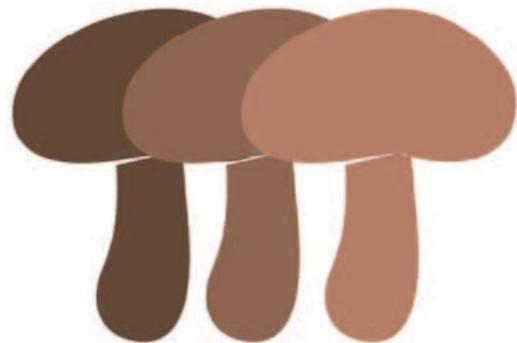




写真1 光の照射時期の影響 (品種 シナノ淡雪)



写真2 芽切りしていない  
バイリング(品種 シナノ淡雪)



写真3 芽切りしたバイリング  
(品種 長菌 16号)