

大分県きのこ研報

---

---

大分県農林水産研究指導センター林業研究部 きのこグループ

# 研 究 報 告

---

---

第8号

シイタケ乾燥工程の見直しによる燃料消費量削減

石井 秀之・甲斐 充・山下 和久

2012年2月

---

---

大分県農林水産研究指導センター林業研究部 きのこグループ

大分県豊後大野市三重町赤嶺2369

## シイタケ乾燥工程の見直しによる燃料消費量削減

石井秀之<sup>1)</sup>・甲斐 充<sup>1)</sup>・山下和久<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 大分県農林水産研究指導センター林業研究部きのこグループ

<sup>2)</sup> 大分県西部振興局農山村振興部

Fuel saving by the revision of drying time schedule of shiitake (*Lentinula edodes*).

ISHII Hideyuki, KAI Mitsuru, YAMASITA Kazuhisa

### 要 旨

乾シイタケ生産における乾燥工程について、燃料消費量削減の観点から見直しを行った。この結果、乾燥初期段階の設定において、乾燥機内空気の循環を利用することや吸気および排気量を制御することが燃料消費量削減に効果があることを明らかにした。また、乾燥失敗の一例である「にえこ」の再現試験に成功し、発生条件を明らかにした。これらの結果から、シイタケの乾燥工程全体を見直し、燃料消費量を20%程度削減可能な乾燥スケジュールを作成した。

### Summary

Reexamination was made about drying time schedule of shiitake (*Lentinula edodes*) to reduce fuel consumption. Through the experiment, we clarified that usage of air circulation in dry chamber and control of ventilation on first step of drying process were effective to reduce fuel consumption. Furthermore, we could clarify the occurrence condition of "Nieko", which is the failure case of drying. As a result, we could make up revised time schedule and ventilation method in the drying process which enable us to reduce 20% of fuel consumption.

Key Words : *Lentinula edodes*, drying time schedule, fuel, saving

## 目 次

要旨・Summary .....	1
はじめに .....	2
Ⅰ 垂直気流（吹上げ）式乾燥機の乾燥スケジュール .....	2
1. 標準乾燥スケジュールの分析 .....	3
2. 乾燥工程初期段階からの乾燥機内部循環の利用と 吸気および排気量制御による燃料消費量削減効果 .....	5
3. 省エネルギーモデル乾燥スケジュールの作成 .....	6
Ⅱ 「にえこ」の再現試験 .....	8
Ⅲ 水平気流（横吹き）式乾燥機の乾燥スケジュール .....	9
1. 標準乾燥スケジュールの作成 .....	9
2. 乾燥工程初期段階の吸気および排気量制御による燃料消費量削減効果 .....	10
3. 省エネルギーモデル乾燥スケジュールの作成 .....	12
Ⅳ 簡易湿球温度計の製作と設置 .....	13
1. 簡易湿球温度計の製作 .....	13
2. 簡易湿球温度計の設置と使用上の注意 .....	14
まとめ .....	15
謝辞 .....	15
引用文献 .....	15
付表 .....	18

## はじめに

シイタケの乾燥工程は、製品としての乾シイタケを作るための重要な工程であり、現在は、大きく分けると垂直気流式と水平気流式の二つに区分される間接熱風式送風乾燥機により十分な乾燥が行われている。しかし、収穫された子実体の状態はその日の天候（大きくは、晴天時に収穫された「日和子」と雨天時に収穫された「雨子」に大別される）やほだ場の状態などによって一定ではないことから、乾燥方法は乾燥機メーカーの標準的な仕様を元に生産者自身の経験による工夫を加えたものとなり、体系的に省エネルギーや効率化の観点から乾燥工程を検討した事例はみられない。また、最近の原油価格高騰などの影響もあり、将来的な燃料価格に対する生産者の不安は大きく、燃料コストの低減に向けた取り組みが求められている。近年になり、低燃料消費量を標榜した新型の乾燥機も市販され始めたが、原木シイタケを取り巻く生産の現状からみると、高齢化や後継者不足などにより、一部の生産者を除いて新たな設備投資は困難な状況にある。これらのことから、現在用いられている標準的な乾燥工程を見直し、既設の乾燥機においても燃料消費量の削減可能な乾燥スケジュールについて検討した結果を報告する。

なお、本報告の一部は2009年の日本森林学会九州支部大会で発表した。

## Ⅰ 垂直気流（吹上げ）式乾燥機の乾燥スケジュール

前述したように、シイタケ子実体の乾燥に用いられる乾燥機は、送風方式により大きく二つに区分される。本項では、従来から使用されてきた基本的な型式で、乾燥室内の下部から上部方向に送風を行う（図1-1）ことから、一般的には、「下吹き式」あるいは「吹上げ式」と呼称されている乾燥機の乾燥スケジュールについて検討を行った。なお、本報告ではこれらの呼称をまとめて垂直気流式に統一して表記する。

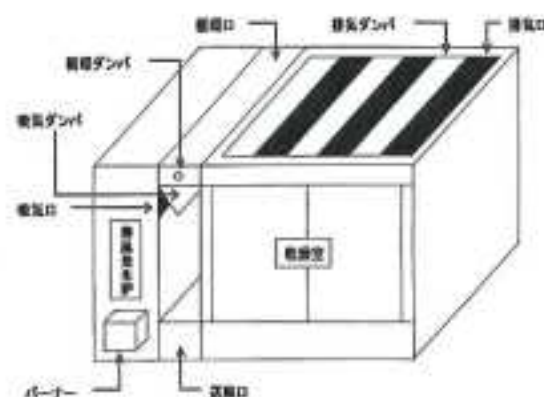


図1-1 垂直気流式乾燥機の模式図

## 1. 標準乾燥スケジュールの分析

子実体の乾燥は、収穫された子実体の状態によって適用する乾燥スケジュールを調整して行うが、標準的な乾燥スケジュール（以下、標準スケジュールとする）は子実体収穫時の気象条件によって大きく二つに区分される。すなわち、降雨の影響がある場合の「雨子」、乾燥した晴天に収穫された「日和子」であるが、一般的に、「雨子」の場合は含有水分量が多いことから乾燥の所要時間が長くなり、24時間以上要する場合がみられる。従って、本報告では高含水率とその影響による乾燥時間の長時間化などにより燃料消費量が増加しやすい「雨子」のスケジュールを主体に検討することとした。

なお、これ以降、本報告では特に断らない限り、スケジュールと表記した場合は、「雨子」を対象としたスケジュールを示す。

### (1) 材料および方法

乾燥試験は、各試験日ごとの乾燥工程の進行状況を均一にするために、中湿性あるいは低湿性シイタケ品種の原木栽培により秋期から春期に発生した子実体が、乾燥室の収容能力の70%以上収穫されたときに実施することとし、試験実施当日に収穫した子実体を用いた。子実体の「雨子」および「日和子」の状態判定は、目視により行った。

乾燥機は当機関に設置してある垂直気流式乾燥機（豊田煙草、C-60）を用い、乾燥機の基本性能については、付表1に示した。

標準乾燥スケジュールには、当機関で、実際の「雨子」の乾燥作業に適用している代表的なスケジュールを標準スケジュールとして用い表I-1に示した。なお、「日和子」の標準スケジュールについては付表2に示した。

表I-1 雨子の標準乾燥スケジュール

設定温度 (℃)	乾燥時間 (時間)	風速 制御	吸排気制御 (ダンパ開度)		
			吸気	排気	循環
40	2	高速	全開	全開	全開
45	2	高速	全開	全開	全開
45	4	中速	全開	全開	全開
50	4	中速	半開	半開	半開
55	3	低速	半開	半開	半開
55	3	低速	全開	全開	全開
58	5	低速	全開	全開	全開

調査は、乾燥機の制御と工程の進行状況を把握するための温度条件および燃料消費量、子実体の状態変化を把握するための重量および菌さん直径について行った。

温度条件の調査は、乾燥機の制御条件として乾燥機本体の温度制御用のセンサーが設置してある送風口（図I-

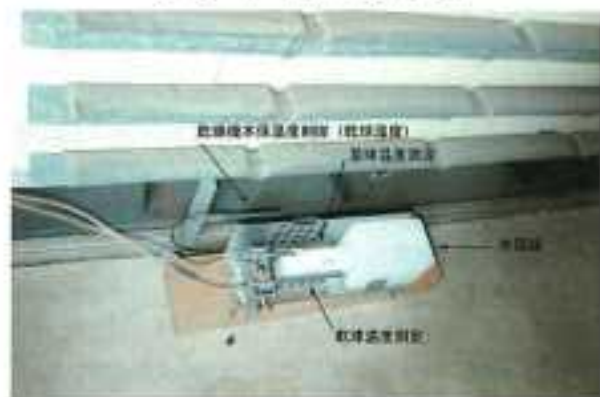
1、写真IV-2）の中央部付近で乾球温度を測定した。また、乾燥室内の温度分布を調査するために、乾燥室内のエピラの位置（写真I-1）により左右および上中下の6区分とエピラ上の前後位置の2区分の合計12箇所の観点を設け、各エピラの中央部で菌後については、扉側から1/3と後部壁面から1/3の位置にセンサーを固定して乾燥工程中の温度を測定した。温度の測定にはT熱電対を用い、5分間隔で記録計（チノー、グラフィックロガーCR1320-A）に記録した。さらに、乾燥機を設置してある施設内の温度（以下、室温とする）を乾燥機前方3m、床面から1mの位置の1点で同様の機材により測定・記録を行った。

また、乾燥工程における乾燥機内部の水分環境を把握するための指標として、乾燥機本体の温度制御センサーの設置位置（送風口中央部付近、図I-1、写真IV-2）で湿球温度を測定し、乾燥室内温度測定と同様の機材により記録した。

なお、湿球温度は、既製（キハラ製作所）の湿球温度測定用ケースを用い、温度センサーには熱電対を用いて測定した（写真I-2）。



写真I-1 乾燥室内部の説明



写真I-2 湿球温度計と測定位置

燃料消費量の調査は、流量センサ（堀場エステック、液体微量流量センサLM05ZAT-AR）を燃料パイプに取り付け、検出した流量パルスを表示器（ユーアイニクス、時計・積算流量指示計SP-564）を用いて変換し、記録計（チノー、ハイブリッド記録計AL-560）により15分間隔の積算流量（燃料消費量）として記録した。

子実体の状態変化については、収穫された子実体から銘柄別に4～10個体を抽出し、乾燥室中央部のエビラ上に菌しゅうを下にして並べて乾燥作業を行った。調査は、それぞれの銘柄別に、半数を、乾燥開始時から1時間ごとに重量と形状の変化を測定した。残りの半数については、乾燥作業の開始時と終了時に重量測定を行った。重量測定を行った子実体は、設定した工程による23時間の乾燥処理後、105℃・72時間の乾燥を行い全乾重量を測定し、子実体含水率（以下、含水率とする）を測定基準で求めた。

形状変化の調査は、菌さん直径および菌柄直径を対象とし、各試験実施日ごとに2～12個の子実体について、短径方向および短径に直角方向の2箇所をデジタルノギスで測定し、乾燥開始時の直径を基準として収縮率を算出した。

## (2) 結果

### 1) 標準乾燥スケジュールによる乾燥経過

2008年3月24日に実施した標準スケジュールの試験結果について、乾燥工程時間の経過に伴う子実体重量の変化を、調査時点の重量を乾燥開始時の重量で除して重量変化率として求め、各銘柄2個体合計6個体の平均値を、燃料消費量積算値の変化とあわせて図1-2に示した。また、子実体の状態調査の結果は銘柄別に区分して表1-2に示した。乾燥工程全体の燃料消費量は725Lであり、乾燥工程の前半で約2/3の燃料を消費していた。また、15時間目以降の燃料消費量の増加量は設定温度が55℃以上と高いにもかかわらず、それ以前と比較して低下していた。

なお、「日和子」については、2008年3月17日に実施した乾燥工程時間17時間の標準スケジュール（付表2）の試験結果では、燃料消費量は59.7Lであった。

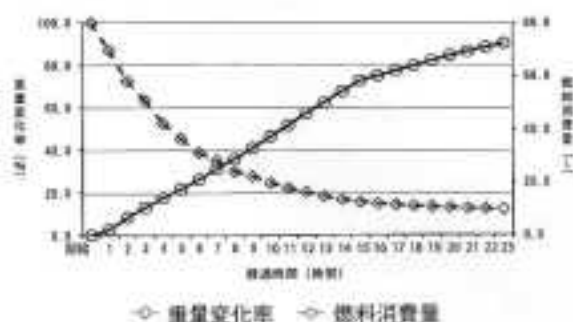


図1-2 両子標準乾燥スケジュールによる乾燥中の子実体重量変化と燃料消費量

表1-2 標準乾燥スケジュールの乾燥前後における子実体の状態比較<sup>1)</sup>

銘柄	乾燥前 直径 (mm)	子実体重量 (g) <sup>2)</sup>		含水率 (%) <sup>2)</sup>		収穫率 (%) <sup>3)</sup>
		乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	
香信	75.8	42.78	4.53	89.7	3.9	23.3
香森	76.1	62.54	6.61	90.2	6.0	35.1
冬露	40.6	55.55	7.81	87.4	10.2	29.5

- 1) 菌さん直径及び収穫率は各銘柄2個体の平均値
- 2) 子実体重量及び含水率は各銘柄4個体の平均値
- 3) 乾燥量はエビラ30枚、乾燥中の平均気温は15.4℃

### 2) 標準乾燥スケジュールにおける温度条件

標準スケジュールにおける乾燥工程中の温度分布については、設定温度40℃が乾燥開始直後から2時間目まで、設定温度45℃が3時間目から5時間目まで、設定温度50℃が7時間目から9時間目まで、設定温度55℃が9時間目から11時間目まで、設定温度58℃が21時間目～23時間目（終了時）の各工程2時間の平均値を表1-3に示した。乾燥室内の水平方向の温度のバラツキは工程全体をとおして比較的小さかったが、垂直方向では大きく、乾燥開始直後には最大で約10℃の差がみられた。しかし、工程が進むに従って垂直方向のバラツキは小さくなり、終了直前はほぼ均一とみられる状態になっていた。

表1-3 各乾燥工程の乾燥室内の温度分布<sup>1)</sup>

設定温度 (℃)	測定位置	乾燥室左側 (℃)		乾燥室右側 (℃)		吹き出し口 (℃)
		前	奥	前	奥	
40 (1～2時間目)	上段	31.1	31.7	33.0	30.7	39.3
	中段	34.1	35.2	33.0	34.2	
	下段	39.6	41.7	39.6	41.1	
45 (3～5時間目)	上段	39.5	39.4	41.6	39.2	44.4
	中段	42.0	43.2	41.0	42.7	
	下段	45.3	46.2	44.7	45.5	
50 (7～9時間目)	上段	46.3	48.2	48.9	47.2	49.8
	中段	48.6	50.3	48.0	49.2	
	下段	50.5	51.5	50.4	51.2	
55 (9～11時間目)	上段	50.2	51.8	52.2	51.2	52.6
	中段	52.6	53.3	51.3	53.2	
	下段	53.5	54.8	52.9	54.1	
58 (21～23時間目)	上段	57.2	58.7	58.5	57.7	57.3
	中段	57.8	58.8	58.0	58.9	
	下段	58.4	59.1	57.4	58.7	

- 1) 乾燥試験日：2007年12月25日。開始時平均子実体含水率91.2%

### 3) 標準乾燥スケジュールにおける子実体の状態変化

乾燥工程の進行に伴う子実体の状態変化については、菌さん直径の収縮率（以下、収縮率とする）および含水率を、

乾燥工程の時間経過ごとに6個体の平均値で図1-3に示した。収縮率および含水率は、乾燥開始から2~3時間までと17~18時間目以降が緩やかで、中間部分は直線的に変化する成長曲線様の傾向を示した。

乾燥工程終了後の銘柄別収縮率と収穫時の子実体の状態との関係については、乾燥試験16回の平均値で、「雨子」の収縮率が高い傾向みられ、冬菇より菌さんの書きが大きい香信や香蔞で顕著であった。冬菇は銘柄別の収縮率が収穫時の状態によらず比較的安定していた(表1-4)。

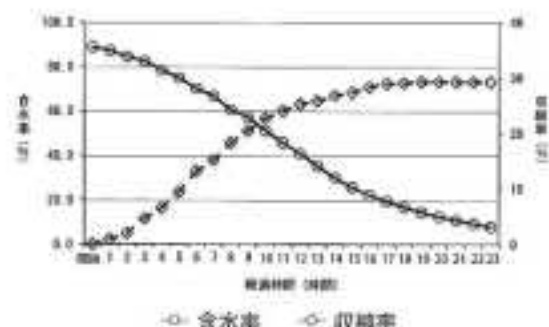


図1-3 雨子標準乾燥スケジュールによる乾燥中の子実体重量変化と燃料消費量

表1-4 収穫時の子実体の状態ごとの銘柄別平均菌さん収縮率(%)

区分	日和子	やや日和子	雨子	平均
香信	15.2	17.6	26.9	22.5
香蔞	19.1	18.7	28.4	21.4
冬菇	20.9	22.0	22.4	22.1
平均	17.7	19.5	26.3	23.0

### (3) 考察

乾燥工程における15~16時間目以降の燃料消費量の低下は、標準スケジュールの経過と比較すると、15時間目以降は乾燥後期から仕上げ期(平尾1978)であり、乾燥機の制御が工程前半の外気導入から機内循環に切り替わったことや送風量が減少したことにより燃料消費量が低下したと考えられる。従って、これらの制御を乾燥工程の初期段階から利用することにより、既設の乾燥機においても燃料消費量削減の可能性が示唆される。しかし、重量減少率の変化から明らかのように、高い減少率が維持されている乾燥開始後6~8時間目までについては、乾燥時間の延長(平尾1978)を防ぐ意味で燃料消費量の増加を伴う乾燥空気供給量の確保が必要であり、送風量の制御については注意が必要となる。また、燃焼に供給される空気の温度が高いほど、乾燥に用いられる空気の温度を上昇させるための熱量は少なくて済むことから、外部要因としての室温の影響も評価する必要性が考えられる。

乾燥室内温度分布については、水平気流式乾燥機の使用方法として従来から説明されていた、乾燥工程前半におけるエビタの上下位置の入替えの必要性、乾燥工程後半の乾燥機内循環の利用による仕上がりの均一化などの効果を具体的に証明し、水平気流式乾燥機の特徴を明確に示したものと考えられる。また、各工程の平均値から乾燥機内部の温度分布をみると偏りがみられたが、個々の乾燥機の特長や設置場所の影響などが考えられるため、生産者自身がその特性を把握することが重要だと考えられる。

子実体の収縮についてみると、「日和子」での収穫の必要性が再確認されるとともに、「雨子」の香蔞では、収縮が他の銘柄より大きくなることから、乾燥作業に注意が必要であることが明らかとなった。

## 2. 乾燥工程初期段階からの乾燥機内部循環の利用と吸気および排気量制御による燃料消費量削減効果

標準スケジュールの分析結果によって、乾燥工程の初期段階において、乾燥機内部循環の利用や送風量の低下などの吸気および排気量の制御により燃料消費量削減の可能性が示されたことから、その効果の確認と検証を行った。

### (1) 材料および方法

標準スケジュールの試験結果から、乾燥工程の初期段階を想定した温度設定(樹蔞温度-乾球温度-40℃)における乾燥機内循環および送風量と燃料消費量との関係を検討した。

乾燥機内循環の利用については、吸気および排気ダンパは全開の設定で、循環ダンパの開度別に燃料消費量を調査した。

送風量制御の効果については、吸気および排気ダンパは全開、循環ダンパは全開の設定で、送風機の回転速度を変えて燃料消費量を調査した。

乾燥機の設置環境の温度条件が燃料消費量に与える影響については、吸気および排気ダンパは全開、循環ダンパは全開、送風機回転速度は高速の設定で燃料消費量の調査を行った。

これらの調査では、直前のダンパ操作や室温の変動の影響を少なくするために、操作後10分以上経過し、乾球温度の指示が安定してから10分間の燃料消費量を測定した。また、測定に用いた機材は、第1項で使用したものと同一のものを用いた。なお、本試験は、乾燥機の最大収容能力の空のエビタを乾燥室内に設置して調査を行った。

### (2) 結果

乾燥機内空気の循環の利用については、循環ダクトを全開から全閉にすることによって、1時間当たりの燃料消費量が2.28Lから1.88Lと18%低下していた。

送風量制御については、送風機の回転速度を高速から中速に低下させることによって、1時間当たりの燃料消費量が2.38Lから2.13Lと10%低下していた。

乾燥機の設置環境の温度が燃料消費量に与える影響につ

いては、設置場所の気温が1℃上昇すれば、1時間当たり約170mLの燃料消費量が削減可能であった。

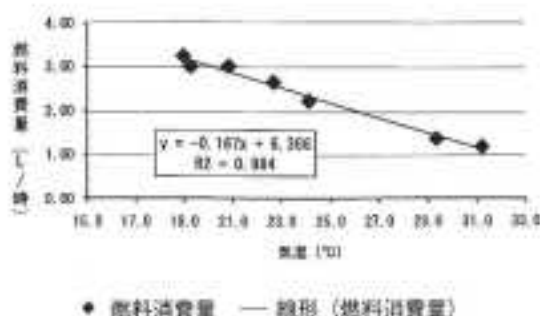


図1-4 乾燥機設置場所の気温と1時間当たりの燃料消費量

### (3) 考察

以上の結果から、乾燥工程の初期段階において、乾燥機内空気の循環を利用することや送風量を制御することで、燃料消費量を削減できるスケジュールの作成が可能と考えられる。

また、乾燥機設置場所の温度が燃料消費量に影響を与えていたことから、設置場所の環境条件についても、効率的な乾燥を行う上で重要な要因となることが明らかとなった。乾燥機の設置場所を選定する場合の基本的な条件の一つとして、検討の必要な項目と考えられる。

## 3. 省エネルギーモデル乾燥スケジュールの作成

標準スケジュールの分析結果および乾燥機内部空気の循環の利用や送風機回転速度の制御により、燃料消費量削減の可能性が示されたことから、省エネルギーモデル乾燥スケジュール（以下、省エネスケジュールとする）の作成を目的とした乾燥試験を行った。

### (1) 試行乾燥スケジュールによる設定条件の分析

#### 1) 材料および方法

作成する省エネスケジュールは既設乾燥機の利用を前提条件としているため、生産現場での適応を考慮して、以下に示す設定条件により、試行の乾燥スケジュール（以下、試行スケジュールとする）を作成し行った（表1-5）。

①既設の乾燥機を使用することから、乾燥工程の制御温度はなるべく変更しない。

②収穫の最盛期には毎日収穫されることから、24時間以内で乾燥が仕上がること（設定は23時間とする）。

③乾燥機操作を省力化するために、吸気や排気ダンパの操作回数を少なくする。

④乾燥機内空気の循環効果を最大限に利用するために、循環ダンパは乾燥工程の最初から全開とする。

⑤乾燥機本体の背面に過熱防止用の吸気口があるため、吸気ダンパは乾燥工程の最初から全開とする。

試行スケジュールによる乾燥試験には、標準スケジュー

ルの分析に用いた乾燥機（豊田種草、C-60）を用いた。乾燥工程の進行や子実体の状態変化などの調査項目についても、温度測定や子実体の重量測定など標準スケジュールの場合と同様な項目と方法について調査を行った。

表1-5 両子の試行乾燥スケジュール

設定温度 (℃)	乾燥時間 (時間)	風速制御	吸排気制御 (ダンパ開度)		
			吸気	排気	循環
40	2	中速	全開	1/4	全開
45	3	中速	全開	1/4	全開
45	2	低速	全開	1/4	全開
45	1	低速	全開	全開	全開
50	6	低速	全開	全開	全開
55	6	低速	全開	全開	全開
58	3	低速	全開	全開	全開

### 2) 結果

試行スケジュールによる乾燥試験を2008年3月31日に行い、乾燥中の子実体重量および燃料消費量の積算値の変化を図1-5に示し、子実体の状態調査の結果を表1-6に示した。乾燥工程全体の燃料消費量は48.6Lとなり、標準スケジュールの結果と比較すると燃料消費量は約30%減少していた。乾燥中の子実体重量の変化は、標準スケジュールの場合とはほぼ同様（図1-3）の傾向であり、乾燥仕上がり時の状態も同等（表1-2）であった。

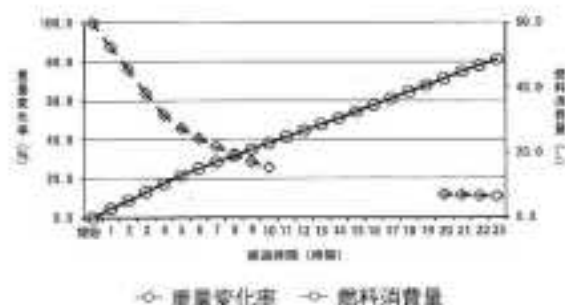


図1-5 両子試行乾燥スケジュールによる乾燥中の子実体重量変化と燃料消費量

注) 重量変化率の11-19時間目については未調査。

表1-6 試行スケジュールによる乾燥前後の子実体の状態比較<sup>1)</sup>

銘柄 (%)	乾燥機 容量 (L)	子実体重量 (g)		含水率 (%)		収穫率 (%)
		乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	
香橙	85.5	64.86	6.91	89.7	4.3	23.5
香橘	81.2	81.62	9.51	89.8	11.0	29.1
冬橘	58.6	51.90	4.85	90.7	6.3	22.3

1) 各銘柄4個体の平均値

## 3) 考察

以上のように、試行スケジュールにおいても含水率や収縮率の面からみれば標準スケジュールの場合と同等の乾シイタケ製品が得られることが明らかとなった。

なお、今回の試験では30%程度の燃料消費削減効果が得られていたが、乾燥機の基本性能(付表1)からも明らかのように、供試機種種の燃料消費量や送風機の能力がエビワ収容量30枚専用の乾燥機と比較して過大とみられる。従って、一般的な30枚用の乾燥機の場合には、送風機出力による補正0.73倍(400W/550W)と燃料消費量による補正0.93倍(4.74L/5.12L)を行う必要が考えられ、一般的な30枚専用の乾燥機の場合では、燃料消費量削減効果は20%程度になると推定される。

## (2) 省エネモデル乾燥スケジュールの作成

試行スケジュールの乾燥試験結果から、乾燥スケジュールの条件設定により、燃料消費量削減の可能性が示されたことから、省エネモデル乾燥スケジュール(以下、省エネスケジュールとする)の設定条件の検索を行った。

## 1) 材料および方法

試行スケジュールの設定条件を基準に、収穫日ごとの子実体の状態にあわせて条件を変更を加えて乾燥試験を行った。乾燥試験には、標準スケジュールの分析に用いた乾燥機(豊田精草、C-60)を用いた。乾燥工程の進行や子実体の状態変化などの調査項目についても、温度測定や子実体の重量測定など標準スケジュールの場合と同様な項目と方法について調査を行った。

## 2) 結果

乾燥試験の結果を表1-7に示した。なお、「日和子」については「雨子」の試行スケジュールを参考に条件を設定し乾燥試験を行った。

乾燥工程終了時の含水率については、11%以下を乾燥終了の基準(石井ら 2007)とすると、「雨子」の乾燥試験結果では、23時間でも基準を満たさない場合がみられた。子実体の銘柄別に比較すると、肉厚の銘柄である「冬蔵」や「香菇」でその頻度が高かったが、「香信」ではほぼ基準を満たしていた。その中で、雨子6区は他の試験区より乾燥開始時の含水率が高く、燃料消費量も多かったが、終了時の含水率は基準を満たしていた。また、雨子5区については、3時間目の収縮率が-1.2%と負になり菌さんが開く現象が観察された。

「日和子」の場合では、全ての試験区で乾燥終了時の含水率は11%以下となっていた。また、調査した子実体の中で、早いものは14~15時間程度、ほとんどが20時間程度で11%の含水率に到達していた。

表1-7 乾燥試験結果一覧

試験区	乾燥時間 (時間)	燃料消費量 (L)	子実体含水率 <sup>1)</sup>		菌さん収縮率 <sup>1)</sup> (%)	湿球温度 <sup>2)</sup> (°C)
			開始時 (%)	終了時 (%)		
雨子1	23	44.98	83.1	5.9	- <sup>3)</sup>	25.7
雨子2	23	37.92	88.6	17.5	21.9	25.7
雨子3	23	37.64	91.3	12.4	23.1	26.1
雨子4	23	38.48	88.7	8.1	23.1	25.4
雨子5	25	41.47	92.3	15.6	29.7	26.7
雨子6	23	45.05	93.9	10.2	34.0	24.9
日和子1	17	37.55	79.7	6.4	18.5	22.8
日和子2	23	42.90	84.5	3.2	23.3	22.8
日和子3	23	37.18	83.3	5.2	15.1	25.2
日和子4	23	49.99	79.0	5.7	19.2	22.4

- 1) 調査した子実体の平均値(試験区により調査個数は異なる)
- 2) 乾燥開始後4時間の平均値
- 3) 調査無し

## 3) 考察

「雨子」の場合、高含水率の子実体において湿球温度26℃以上が3時間程度継続した場合には、菌さんの一時的な展開がみられたことから、その後の乾燥の進行にともなう収縮により、乾燥終了時の菌さん表面の「しわ」が増加するなど、品質の低下を引き起こす懸念が考えられる。このような、湿球温度に対する子実体の反応を考慮に入れて、雨子6区の工程を基準に、全行程23時間で「雨子」の省エネスケジュールを作成した(表1-8)。

表1-8 「雨子」のモデル省エネ乾燥スケジュール

設定温度 (°C)	乾燥時間 (時間)	送風機 速度	吸排気ダンパ制御		
			吸気	排気	循環
40	4	高速	全閉	1/2開	全開
45	4	中速	全閉	1/2開	全開
50	2	中速	全閉	1/4開	全開
50	5	低速	全閉	全閉	全開
55	5	低速	全閉	全閉	全開
58	3	低速	全閉	全閉	全開

「日和子」については、45℃で乾燥を開始し、全行程を20時間で終了するよう設計した(表1-9)。

表1-9 「日和子」のモデル省エネ乾燥スケジュール

設定温度 (°C)	乾燥時間 (時間)	送風機 速度	吸排気ダンパ制御		
			吸気	排気	循環
45	2	中速	全閉	1/4開	全開
50	2	中速	全閉	1/4開	全開
50	6	低速	全閉	全閉	全開
55	7	低速	全閉	全閉	全開
58	3	低速	全閉	全閉	全開



なお、設計した省エネスケジュールを用いて、燃料消費量の削減効果の確認を行った(表1-10)。燃料消費量は、いずれの試験区においても試行スケジュールの場合と同等であったことから、省エネスケジュールによる燃料消費量の削減効果は確認されたと考えられる。

表1-10 モデル省エネ乾燥スケジュールによる燃料消費量の確認

試験区	乾燥時間 (時間)	乾燥量 (kg)	燃料 消費量 (L)	子実体含水率 <sup>1)</sup>	
				開始時 (%)	終了時 (%)
雨子1	23	28	48.17	92.9	4.8
雨子2	23	28	42.62	90.2	7.2
雨子3	23	22	44.58	90.6	9.1
日和子1	20	15	41.46	74.8	4.2
日和子2	20	15	33.70	84.4	5.7

1) 調査した子実体の平均値(試験区により調査個数は異なる)

## II 「にえこ」の再現試験

「にえこ」(「にえつき」ともいう、本報告では「にえこ」とする)は古くからある乾燥失敗事例の代表的なものであり、乾燥後の子実体が褐色から黒色を呈し甚だしい場合はニカワ状になるもので(巻末写真1、2)、乾燥工程初期の温度制御の失敗により発生し、「雨子」の場合に発生しやすいとされている(日本きのこセンター編 1986)。

今回の乾燥スケジュールの検討では、既設の乾燥機の使用を前提としていることから、燃料消費量の削減には乾燥機自体のメカニズムにより乾燥工程で排出される熱エネルギーを減少させる必要がある。このためには、乾燥機の吸気量や排気量および断熱量をダンパの開閉によって制御することとなるが、熱エネルギーの高い湿り空気を乾燥工程の初期から利用することになり、「にえこ」発生の危険性が高まることが予想される。

「にえこ」の発生条件については、河合・河合(1961)の電気定温乾燥機を用いた試験で乾燥開始後5時間の子実体表面温度が30~35℃以上で発生すると報告されている。今回は、現在用いられている間接熱風式送風乾燥機での再現試験を実施し、発生条件の確認と安全な制御条件の検討を行った。

### 1. 材料および方法

試験は湿球温度が制御可能な垂直気流式乾燥機(キハラ製作所、MH-30)を用い、秋からの発生期間において自然条件下で採取された子実体を、乾燥室中央部のエビラ上に8~15枚子実体を並べて実施し、乾燥機の基本性能につ

いては付表1に示した。

「にえこ」は「雨子」の場合に発生しやすいとされている(日本きのこセンター編 1986)ことから、「雨子」の乾燥工程初期の設定温度を基本条件として、乾燥機の前面温度である乾球温度と湿球温度の組み合わせにより試験区を設定した(表II-1)。河合・河合(1961)の報告では、乾燥開始後5時間の温度条件で「にえこ」が発生したとされていることから、乾燥スケジュール運用上の安全性を高める意味で、乾燥開始後4時間の工程について温度を設定し、その温度を維持する処理による再現試験とした。その後、19時間は「雨子」の標準乾燥スケジュールを適用し乾燥の仕上げを行った。

調査は、温度処理開始時(乾燥開始時)、処理終了時(4時間後)、乾燥終了時(23時間後)に各子実体の重量測定を行い、乾燥終了時の測定後は電気オープンを用いて105℃・72時間の乾燥を行い全乾重量を測定した。温度処理後に、菌しゅうの色調や菌さん部の組織の状態および臭気について官能検査を行った。また、乾燥終了時にも、菌しゅうの色調や菌さんの形態を目視で調査し、「にえこ」発生の確認を行った。

対照区は、各試験実施当日に収穫された子実体の状態に応じた標準スケジュールによる乾燥を、I章で用いた垂直気流式の乾燥機(豊田通商、C-60)を用いて行い、処理区と同様の調査を行った。なお、一部の試験については、吸・排気量や温度がプログラム制御可能な電気式送風乾燥機を用いた。

表II-1 「にえこ」再現試験の温度設定条件<sup>1)</sup>

試験区	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)
45-40区	45	40
40-40区	40	40
40-37区	40	37
40-35区	40	35
40-30区	40	30
40-25区	40	25

1) 処理時間は全試験区4時間

### 2. 結果

「にえこ」の発生状況と含水率調査など乾燥処理終了後の結果を表II-2に示し、温度処理後の子実体の状態の官能検査結果を表II-3に示した。

「にえこ」は、含水率の低い日和子でも湿球温度が35℃以上あれば発生がみられ、逆に、湿球温度が30℃以下であれば、含水率の高い「雨子」でも発生がみられなかった。また、45-40区と40-40区で比較すると、「にえこ」の発生は乾球温度が高い45-40区の方が少なかった。

表Ⅱ-2 「にえこ」再現試験結果

試験区	区分	子実体の状態	重量 <sup>1)</sup> 減少率 (%)	子実体含水率 (%)		「にえこ」 発生数 <sup>2)</sup>
				開始時	処理後	
60-40区	処理区	日和子	29.3	80.4	72.3	8/10
	対照区 <sup>3)</sup>	日和子	52.3	79.5	56.7	0/5
60-60区	処理区	雨子気味	6.2	86.6	85.7	10/10
	対照区 <sup>4)</sup>	雨子気味	- <sup>3)</sup>	- <sup>3)</sup>	- <sup>3)</sup>	0/5
40-37区	処理区	日和子	21.9	82	76.9	7/10
	対照区 <sup>5)</sup>	日和子	41.2	79.7	65.9	0/5
40-35区	処理区1	雨子	38.4	88.2	86.9	4/10
	処理区2	日和子	32.0	79.1	69.5	4/8
40-30区	対照区 <sup>7)</sup>	日和子	54.6	78.2	52.2	0/4
	処理区	雨子	42.2	91.4	84.8	0/15
40-25区	処理区	雨子	56.5	92.4	81.9	0/15

- 1) 重量減少率=(開始時重量-処理後重量)/開始時重量×100
- 2) 供試数が少ないため実数を記載。表示は確認数/供試数
- 3) 雨子乾燥スケジュール(電気式送風乾燥機を使用)
- 4) 標準雨子乾燥スケジュール
- 5) 調査無し
- 6) 試行雨子乾燥スケジュール
- 7) 標準日和子スケジュール

表Ⅱ-3 「にえこ」再現試験後の供試子実体の状態調査結果

試験区	温度処理後(4時間)の状態		乾燥処理後(23時間)の状態	
	菌しゅうの色調	組織	臭気 <sup>1)</sup>	菌しゅうの色調など
60-40区	褐色から黄色味の着色	軟化	あり	強く濁りのある黄色
40-40区	濁った乳白色(着色なし)	軟化	あり	強く濁りのある黄色、黒さの線などが強く固化
40-37区	濁った乳白色(着色なし)	軟化	あり	やや濃い濁りのある黄色
40-35区	薄い黄色味の着色	やや軟化	多少	やや濃い濁りのある黄色
40-30区	薄い黄色味の着色	やや軟化	なし	やや濃い黄色
40-25区	無着色から薄い黄色味の着色	硬化	なし	多少の菌液はみられるが正常の範囲

- 1) 「にえこ」特有の臭気

### 3. 考察

「にえこ」の発生状況は、河合・河合(1961)の報告と同様であることから、現用の乾燥機においても、乾燥と湿球の温度差があれば子実体の乾燥が進行すること、「にえこ」発生防止のためには乾燥初期の湿球温度を30℃以下にする必要があることが確認された。

「にえこ」の発生については、4時間の温度処理の時点で、正常な乾燥経過の子実体と比較して明らかな差異が生じており、乾燥開始直後からの数時間程度の早い段階で確認が可能であり、防止のためには湿球温度による初期の工程管理が重要であることが示された。

なお、乾燥終了時の子実体の着色など製品としての仕上がりが状況を考慮すると、湿球温度の初期設定値は、対照区の通常乾燥の重量減少などと同等の数値を示す25℃以下が望ましいと考えられる。

## Ⅲ 水平気流(横吹き)式乾燥機の乾燥スケジュール

水平気流方式の乾燥機は、比較的新しく実用化された方式であり、子実体から蒸発した水分を水平方向の気流によって排出し乾燥を行うことから、一般的には「横吹き式」と呼称されている。水平気流式の場合は、垂直気流式と比較して、下段にあるシイタケから蒸発した水分が、上段のシイタケの乾燥に与える影響が少ないことから、乾燥時間の短縮が図れるといわれており、現在では、生産者が導入している乾燥機の半数程度はこの方式といわれている。従って、この方式についても生産現場から効率的な乾燥スケジュールの作成の要望があり、スケジュールの作成を行うこととした。

### 1. 標準乾燥スケジュールの作成

比較的新しく実用化された乾燥機であることから、生産現場における運用の実態調査を行った。この結果、本乾燥機の一般的な制御盤の仕様として温度制御用のタイマーが10台実装されていたことから、生産者ごとに大きく異なるスケジュールが設定されており、複雑な乾燥工程制御が行われていた(付表3)。このため、当該現場での標準スケジュールを作成することとした。

#### (1) 材料および方法

試験には、水平気流式乾燥機(フルタ S34DA-6)を用い、基本性能を付表1に示した。

乾燥試験は、メーカーの標準スケジュールに準拠した設定で行い、燃料消費量を垂直気流式と同様の方法で測定、記録した。

#### (2) 結果

「雨子」および「日和子」について、それぞれ乾燥試験を繰り返し行い、「雨子」については20時間、「日和子」については16時間の標準スケジュールを作成した(「雨子」は付表4、「日和子」は付表5)。標準スケジュールの平均的な燃料消費量は、「雨子」が56.5L(乾燥量:エビラ32枚)、「日和子」が38.0L(乾燥量:エビラ24枚)であった。

#### (3) 考察

垂直気流式の標準スケジュールと比較すると、「雨子」の標準的な乾燥スケジュールでは20%程度燃料消費量が少なかった。このことは、水平気流方式の標準乾燥スケジュールが垂直気流方式と比較して、乾燥時間が短く乾燥工程の最終段階の温度設定が低いことの結果と考えられる。

## 2. 乾燥工程初期段階の吸気および排気量制御による燃料消費量削減効果

水平気流式乾燥機は水平方向の気流による直接排気という構造上の特徴から、垂直気流方式の乾燥機で用いた内部循環の積極的な利用による効率的な乾燥スケジュールは困難と考えられる。しかし、垂直気流方式の場合でも吸気および排気量の制御が燃料消費量の削減に有効であったことから、その制御方法と効果について検討を行った。

### (1) 材料および方法

試験には水平気流式の標準スケジュール作成に用いた乾燥機（フルタ S34DA-6）を使用した。

水平気流式乾燥機の場合は、垂直気流式の場合と比較すると、乾燥室内の垂直方向での温度分布の偏りは小さいことが推定されるが、乾燥室の底面に煙道があることやファンにより水平方向に攪拌し排気することから、燃料消費量削減効果の確認とあわせて乾燥室内の温度分布を確認することとした。

温度条件の調査は、乾燥室内にT熱電対による温度センサーを設置し、本体内部の温度制御部位の近傍と乾燥室内の12箇所（上下位置3箇所、乾燥室の左右2箇所、前後2箇所、写真I-1）について位置別に乾球温度を測定し、温度制御部位については湿球温度もあわせて測定した。

燃料消費量の調査は、標準スケジュール作成の場合と同様の機材を用いて測定を行った。

温度および燃料消費量の測定は、設定条件の変更に伴う制御の安定を確認してから1分間隔で30分行い、後半の15分のデータを分析対象とした。

なお、本項では、乾燥機制御温度が40～45℃の工程を初期、50～53℃の工程を中期、55℃以上の工程を後期として表す。

### (2) 結果

吸気および排気制御が燃料消費量に与える影響について、乾燥工程初期段階の温度設定における調査結果を表III-1に示した。吸気ダンパを閉じることによって、30%程度の燃料消費量が削減できることが明らかとなった。また、排気ダンパについても閉じることによって5～10%程度の削減が可能となったことが明らかとなった。

温度分布については、標準スケジュールおよび吸気および排気のダンパ制御を行った設定における、乾燥室内12箇所の各測定値に分散分析処理を行った結果を表III-2に示した。標準スケジュールでは、40～45℃設定の初期工程は、エピラ上の位置により最大で5℃程度の差があり統計的にも差が認められた。一方、吸気および排気のダンパ制御を行った場合には、統計的有意差は認められたものの、測定位置による温度差は小さくなる傾向がみられた。50～53℃の中期工程については、標準スケジュールと比較して吸気

および排気のダンパ制御による明らかな温度差縮小の効果はみられなかった。55℃設定の後期では、温度分布に統計的有意差は認められたものの、制御方法別の平均の温度差は1℃程度であった。

乾燥工程初期における吸気および排気制御が乾燥機本体の温度制御に与える影響を調査するために、外気温の影響を評価する共分散分析及び処理方法別の分散分析を行った結果を表III-3に示した。外気温は、送風機回転速度に関わらず、乾燥機の制御温度に影響を与えていないことが認められた。吸気および排気ダンパの制御に対する影響については、送風機の回転速度が高速の場合は、ダンパ制御によって、乾燥機内の制御温度が上昇することが認められたが、送風機の回転速度を中速とした場合には差があるとは認められなかった。

表III-1 吸気および排気の制御と燃料消費量の調査結果

設定温度 (℃)	風速 制御	ダンパ開度		燃料消費量 (L/時)	気温 (℃)
		吸気	排気		
40	高	全開	全開	294	98
		全閉 <sup>1)</sup>	全開	162	133
		全閉 <sup>1)</sup>	2/3開 <sup>2)</sup>	177	150
		全閉 <sup>1)</sup>	1/3開 <sup>2)</sup>	120	153
		全開	全開	195	161
		全閉 <sup>1)</sup>	全開	132	166
	中	全閉 <sup>1)</sup>	2/3開 <sup>2)</sup>	123	165
		全閉 <sup>1)</sup>	1/3開 <sup>2)</sup>	121	162
		全開	全開	340	125
		全閉 <sup>1)</sup>	全開	241	129
		全閉 <sup>1)</sup>	2/3開 <sup>2)</sup>	217	136
		全閉 <sup>1)</sup>	1/3開 <sup>2)</sup>	193	142
45	高	全開	全開	267	147
		全閉 <sup>1)</sup>	全開	210	154
		全閉 <sup>1)</sup>	2/3開 <sup>2)</sup>	147	157
		全閉 <sup>1)</sup>	1/3開 <sup>2)</sup>	166	161

1) 燃焼炉や本体の過熱防止のため、下値1/3は全閉

2) 開放部分は上側からとし、残りは全閉

### (3) 考察

水平気流式の乾燥機においても、垂直気流式乾燥機の場合と同様に、吸気および排気のダンパを制御することによって、燃料消費量の削減が可能であると考えられる。

乾燥室内の温度分布については、全行程で乾燥室内の位置により差が認められたことから、水平気流式の乾燥機では子実体の乾燥状態に差（ムラ）が生じやすいことが推定される。初期工程では、標準スケジュールと比較して、温度分布のパラッキが小さくなり、制御位置の温度と比較して乾燥室内温度が上昇していたことから、乾燥の進行や燃

料消費量の低下に一定の効果があると推測される。また、ダンパの操作による温度制御への影響は、標準偏差などからみると、初期乾燥において問題となるような大幅な温度上昇は引き起こされていないと考えられる。中期工程では、標準スケジュールと比較して、温度分布のパラッキは小さくならなかったが、乾燥室内温度の上昇が認められたことから、初期工程と同様に子実体の乾燥や燃料消費量の低下に効果があることが考えられる。一方、後期工程では、制御方法別の平均の温度差は1℃程度であることから、ダ

ンパ制御による顕著な燃料消費量削減の効果は小さいと考えられるが、「ヤケ」などの乾燥事故を引き起こすような極端な温度上昇も生じていないことが考えられる。

しかし、乾燥工程初期において温度分布の不均一性が顕著であったことから、エビラの位置により乾燥の進行に差異が生じる可能性が高いことには注意が必要である。温度差の大きい場所の出現位置については、乾燥機によって異なることが予想されることから、設置場所の影響を含めた個々の栽培現場での特性の把握が必要である。

表III-2 乾燥室内温度分布の分散分析結果

設定温度 (℃)	設定状態 <sup>1)</sup> (風速、吸気、排気)	有意差が認められた 要因 <sup>2)</sup>	制御位置 温度 (℃)	乾燥室内 平均温度 (℃)	有意差が認められた要因の測定位置の状況				
					最大値		最小値		
					位置 <sup>3)</sup>	温度 (℃)	位置 <sup>3)</sup>	温度 (℃)	
40	高速、全開、全開	交互作用	A*B*C	38.1	35.0	A1B1C1	37.4	A1B2C2	32.9
	高速、全開、全開	交互作用	A*C	39.6	39.2	A1C1	39.5	A1C2	38.3
	高速、全開、1/2開(上部)	交互作用	A*C	40.0	39.6	A1C1	39.9	A1C2	38.7
	高速、全開、1/3開(上部)	交互作用	A*C	40.6	40.2	A2C2	40.4	A1C2	39.6
45	高速、全開、全開	交互作用	A*B*C	43.9	41.6	A1B1C1	43.0	A1B2C2	38.2
	高速、全開、全開	交互作用	A*B*C	45.2	44.4	A1B3C1	45.3	A1B1C2	44.0
	高速、全開、1/2開(上部)	交互作用	A*B*C	45.7	44.9	A1B3C1	45.9	A1B2C2	42.5
	高速、全開、1/3開(上部)	交互作用	A*C	45.9	45.6	A1C1	45.9	A1C2	44.9
50	中速、2/3開、2/3開(全面)	交互作用	A*B*C	49.2	47.4	A1B2C1	48.5	A1B2C2	43.7
	中速、全開、2/3開(全面)	交互作用	A*B*C	50.4	50.0	A1B3C1	51.7	A1B2C2	47.2
	中速、全開、2/3開(上部)	交互作用	A*B*C	50.5	49.8	A1B3C1	51.0	A1B2C2	46.8
53	低速、2/3開、1/2開(全面)	交互作用	A*B*C	53.7	52.2	A1B2C1	53.2	A1B2C2	49.0
	低速、2/3開、1/2開(上部)	交互作用	A*B*C	53.6	51.8	A1B2C1	53.0	A1B2C2	48.7
	低速、全開、1/2開(上部)	交互作用	A*B*C	54.0	53.4	A1B2C1	54.3	A1B2C2	50.4
55	低速、1/3開、1/3開(全面)	主効果	B			B3	56.4	B1	55.5
		交互作用	A*C	56.5	56.0	A1C1	56.3	A1C2	55.2
		主効果	B			B3	56.4	B1	55.5
	低速、1/3開、1/3開(上部)	交互作用	A*C	56.6	55.9	A1C1	56.4	A1C2	55.1
	低速、全開、1/3開(上部)	交互作用	A*B*C	56.0	55.7	A1B3C1	57.1	A1B2C2	52.9

- 括弧書きで、全面は縦面にあるダンパの開閉部全体を示し、上部は全体の開口部に応じた面積を上方に位置する開口部の面積で確保することを示す。
- 要因の名称、A:乾燥室の位置(左、右)、B:乾燥室内測定エビラの位置(上、中、下)、C:エビラ上の測定位置(前、後)。
- Aの添字:1は左側、2は右側。Bの添字:1は上段、2は中段、3は下段。Cの添字:1は前、2は奥。エビラ上での温度センサーの測定位置は、左右はエビラの中央部、前後についてはそれぞれ1/3の位置。

表III-3 吸気および排気制御方法別の乾燥機温度制御部位における温度条件の調査結果

設定温度 (℃)	ダンパ開度		送風機回転速度					
	吸気	排気	測定時平均 気温(℃)	平均制御 温度(℃)	標準偏差	測定時平均 気温(℃)	平均制御 温度(℃)	標準偏差
40	全開	全開	9.8	38.07	1.554	16.1	39.85	1.502
	全開 <sup>1)</sup>	全開	13.3	39.65	1.428	16.6	40.75	1.432
	全開 <sup>1)</sup>	2/3開 <sup>2)</sup>	15.0	39.96	1.388	16.5	40.92	1.407
	全開 <sup>1)</sup>	1/3開 <sup>2)</sup>	15.3	40.60	1.399	16.2	40.91	1.532
	判定 <sup>3)</sup>	分散比	8.324**			1.834non.		
45	全開	全開	12.5	43.86	1.619	14.7	45.11	1.647
	全開 <sup>1)</sup>	全開	12.9	45.20	1.438	15.4	45.75	1.418
	全開 <sup>1)</sup>	2/3開 <sup>2)</sup>	13.6	45.71	1.388	15.7	46.37	1.413
	全開 <sup>1)</sup>	1/3開 <sup>2)</sup>	14.2	45.88	1.435	16.1	45.99	1.409
	判定 <sup>3)</sup>	分散比	5.818**			1.942non.		

- 燃焼炉や本体の過熱防止のため、下側1/3は全開。
- 開放部分は上側からとし、残りは全開。
- \*\* : 1%以下の危険率で有意差が認められる、non. : 有意差は認められない、を示す。

### 3. 省エネルギーモデル乾燥スケジュールの作成

水平気流式のモデルスケジュールを確立するために、「雨子」および「日和子」の収穫された子実体の状態別に標準スケジュールに調整を加えながら、乾燥試験を繰り返し行った。

#### (1) 材料および方法

試験に用いた乾燥機は、水平気流式の標準スケジュール作成に用いたもの（フルタ S34DA-6）を使用した。

調査は、乾燥室内に温度センサー（T熱電対）を設置し、乾燥機本体の温度制御部位の近傍と乾燥室内について適宜（主に左右および上・中・下段の6箇所）乾球温度を測定した。また、温度制御部位については、水平気流式の場合と同様の方法で湿球温度を測定した。燃料消費量についても、水平気流式の場合と同様の装置を用いた。温度および燃料消費量は、5分間隔での測定および記録を行った。

子実体の乾燥状態は、乾燥室内の温度測定位置のエビラ上の中央にそれぞれ3〜6個の子実体を菌しゅうを下に向けて並べ、一定時間ごとに重量を測定し調査した。乾燥機による乾燥処理終了後、電気オープン（ヤマト DV61）を用いて105℃、72時間の追加乾燥を行い全乾重量を測定し、各重量測定時の子実体の湿量基準含水率を算出した。

乾燥状態の制御とスケジュールの調整は、乾燥工程の時間と吸気および排気量を制御する方法とした。吸気および排気量の制御は、それぞれのダンパの開閉面積を増減する方法とした。なお、吸気量の制御は燃焼炉の過熱による危険防止のため、燃焼炉の扉面は常時開放とし、下部から優先して開放することとした。排気量については、蒸発した水分が滞留しやすいと考えられる上部を優先して開放することとした（写真Ⅲ-1、2）。

#### (2) 結果および考察

乾燥試験は、標準スケジュール（付表4.5）を基準に工程時間や吸気および排気量を変化させてスケジュールを調整しながら行った。これらのうちシイタケの乾燥量がエビラの収容量の70%（エビラ26枚）以上であった試験結果について表Ⅲ-4に示した。

乾燥工程終了時の子実体含水率の基準を垂直気流式の場合と同様に11%以下（石井ら 2007）とすると、燃料消費量の最大は雨子3区の33.8Lと日和子4区の34.2Lであった。これを先に調査した標準スケジュールの燃料消費量、雨子56.0L、日和子38.0Lと比較すると、「雨子」で約60%、「日和子」で約90%となり、今回の吸気および排気量の制御による乾燥スケジュールで燃料消費量の削減が可能であった。



写真Ⅲ-1 吸気口側の開口状態（初期設定）：6段7列の吸気口のうち燃焼炉のある下部の2段3列を開放



写真Ⅲ-2 排気口側の開口状態（初期設定）：6段12列の排気口のうち上部から3段6列を開放

表III-4 水平気流式乾燥機による乾燥試験結果

試験区分	乾燥1日当り (枚)	乾燥時間 (時間)	燃料消費量 (L)	乾燥中の 平均気温 (℃)	平均子実体含水率 (%) <sup>1)</sup>	
					開始時	終了時
雨子 1	30	20	2300	15.8	84.0	8.8
雨子 2	30	21	2502	9.7	85.0	8.8
雨子 3	33	21	3377	12.0	86.4	9.8
日和子 1	30	15	2814	11.4	86.0	14.4
日和子 2	36	16	1800	9.2	82.4	- <sup>2)</sup>
日和子 3	33	18	2293	16.8	80.6	11.0
日和子 4	33	18	3421	8.4	74.9	9.6
日和子 5	34	18	2647	11.8	72.4	4.9
日和子 6	36	18	2262	16.1	79.9	4.7

- 1) 各試験日ごとに6~18個の子実体で測定  
2) 測定せず

「雨子」の乾燥試験では、大幅な削減効果となったが、通常90%程度以上ある乾燥開始時の子実体含水率が低かったことや全体的な気象条件が乾燥気味であったことなどの影響により今回の結果になったことが考えられる。また、これまでの試験結果で外気温により燃料消費量が影響を受けることが示されているので、単純な燃料消費量削減効果の比較はできないことに注意が必要である。

以下に、今回の試験結果から作成した水平気流式乾燥機のモデルスケジュールについて、「雨子」を表III-5に、「日和子」を表III-6に示した。

表III-5 水平気流式「雨子」のモデル乾燥スケジュール

乾燥設定 温度	工程時間 (時間)	風速 制御	吸気量 制御	排気量制御 <sup>2)</sup>	
				段数	開口割合
40℃	3	高速	全開 <sup>1)</sup>	3段6列	1/2
43℃	3	高速	全開 <sup>1)</sup>	3段6列	1/2
45℃	3	高速	全開 <sup>1)</sup>	2段4列	1/3
50℃	3	中速	全開 <sup>1)</sup>	2段4列	1/3
50℃	3	中速	全開 <sup>1)</sup>	2段4列	1/3
53℃	3	低速	全開 <sup>1)</sup>	1段2列	1/6
55℃	3	低速	全開 <sup>1)</sup>	1段2列	1/6

- 1) 吸気口の下部2段は、燃焼炉の過熱防止のため常時全開  
2) 上側の段から開放する

表III-6 水平気流式「日和子」のモデル乾燥スケジュール

乾燥設定 温度	工程時間 (時間)	風速 制御	吸気量 制御	排気量制御 <sup>2)</sup>	
				段数	開口割合
40℃	3	高速	全開 <sup>1)</sup>	3段6列	1/2
45℃	3	高速	全開 <sup>1)</sup>	2段4列	1/3
50℃	3	中速	全開 <sup>1)</sup>	2段4列	1/3
50℃	3	中速	全開 <sup>1)</sup>	1段2列	1/6
53℃	3	低速	全開 <sup>1)</sup>	1段2列	1/6
55℃	3	低速	全開 <sup>1)</sup>	1段2列	1/6

- 1) 吸気口の下部2段は、燃焼炉の過熱防止のため常時全開  
2) 上側の段から開放する

## IV 簡易湿球温度計の製作と設置

本報告では、湿球温度の制御により燃料消費量の削減を可能としたが、既設乾燥機の通常の仕様では湿球温度計が実装されていないことから、湿球温度計を新たに設置する必要がある。今回は、日本工業規格(1981)に準拠した上で、生産現場での対応を考慮して、市販の材料による簡易な湿球温度計の作成を行った。

なお、実際の製作や使用に当たっては、現場の状況に合わせて対応することが必要である。

### 1. 簡易湿球温度計の製作

製作のための資材および手順は以下のとおりで、自作例を写真図-1に示した。

#### 1) 材料と仕様

##### ①温度計

- ・乾燥スケジュールの設定温度が60℃程度であることから、少なくとも70℃以上測定可能であること
- ・湿球温度の測定位置は乾燥機内部の温度制御位置と同様の位置で行い、湿球温度は制御温度と同様に乾燥機の外で確認することから、湿度センサーと表示部が分離していること
- ・温度の視認性からデジタル表示が望ましい

##### ②水入れ

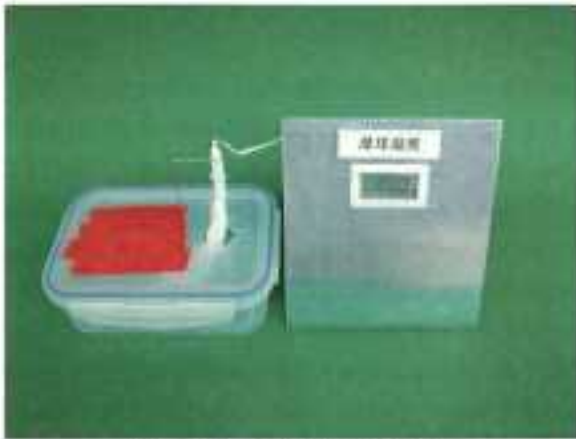
- ・湿球温度測定のための水を入れる容量500mL程度の合成樹脂製の蓋付き容器
- ・温度計と同様に乾燥機内の設置であることから70℃程度の耐熱性があること

##### ③その他材料

- ・湿球作成用のガーゼと木綿糸少々
- ・湿度センサー固定用の針金やビニールテープ(身近な材料を利用)など少々

#### 2) 製作

- ①ガーゼを適当な大きさに裁断し、木綿糸でセンサーの感温部全体を包むように固定する。
  - ・ガーゼの幅はセンサを2~3重に覆う程度
  - ・ガーゼの長さは湿度センサーの固定位置(通常水入れの蓋から5~6cm上方)から水入れ容器の底部に届く長さ
- ②水入れ容器の蓋にカッターなどでガーゼが通るよりやや大きめの穴を開ける。
- ③開けた穴の中心の垂直線上に5~6cm離して針金などを使いセンサーを固定する。



写真IV-1 自作簡易湿球温度計



写真IV-2 垂直気流式における設置事例

## 2. 簡易湿球温度計の設置と使用上の注意

湿球温度計の設置方法とその状況について、事例を写真IV-2-4に示した。

### (1) 設置方法

- ①使用時には、センサーを取り付けた容器の蓋の直下まで水を入れる。
- ②設置場所は、乾燥機本体の温度制御の影響をなるべく早く反映するためと送風量の偏りによる影響を避けるために、使用する乾燥機の温度制御用センサーと同様の位置、または、送風口の中央部に設置する。
- ③温度表示部は、乾燥機の制御盤などの見やすい位置に固定する。

### (2) 使用上の注意

- ①乾燥前に必ず湿球温度計の容器の水量を確認する。
- ②表示部に温度が表示されていることを確認する。
- ③乾燥終了後は、湿球温度センサーのガーゼを洗浄する。
- ④湿球温度センサーのガーゼは少なくとも1年に1回交換する。
- ⑤温度計の電池の交換などは、使用した温度計の取扱説明書に従う。



写真IV-3 水平気流式における設置事例



写真IV-4 湿球温度表示部の設置事例 (制御盤上部)

## まとめ

シイタケ乾燥の主な方式である垂直気流式と水平気流式について、既設の乾燥機における効率的な乾燥スケジュールが作成できた。今回の乾燥スケジュールの燃料消費量削減のための考え方は、「乾燥工程初期において大量に廃棄していた熱量の有効利用を図る」ことであるから、乾燥の失敗である「にえこ」の発生防止が最も重要な点となった。この発生防止のために、湿球温度の制御が有効であることを明らかにし、生産現場で使用可能な簡易な測定装置を作成した。また、吸気および排気ダンパなどの操作回数が削減されたことにより、工程管理が簡易になる効果生まれ、作業の効率化にも一定の効果が得られている。「にえこ」発生防止のための注意点を含めた、それぞれの乾燥機の乾燥スケジュールをモデルスケジュールとして本報告末尾に示す。

今後は、生産現場における実証試験を行いながら普及定着とスケジュールの改良を進めていきたい。

## 謝辞

本研究の遂行に当たり、現地調査などの実施にご協力いただいた生産者および振興局普及員の各位に謝意を表します。また、本報告の作成に当たり、ご助言と協力をいただいた大分県農林振興局農山村振興部課長補佐（総括）児玉秀市氏ならびに資料のとりまとめなどに協力いただいた大分県農林水産研究指導センター林業研究部きのこグループ後藤末広、太田光恵、甲斐和恵の各氏に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 平尾武司 (1978) : シイタケ乾燥法, pp172, 農山漁村文化協会, 東京  
石井秀之ら (2007) : 九州森林研究 60, 24-28  
河合弥・河合晃 (1961) : 菌類研報 1, 29-34  
日本きのこセンター編 (1986) : シイタケ栽培の技術と経営, 83-94, 家の光協会, 東京  
日本工業規格 (1981) : 湿度測定方法 JIS Z 8806-1981, pp40, 日本規格協会, 東京



## 垂直気流式乾燥機のモデルスケジュール

「雨子」のモデル乾燥スケジュール

乾燥設定温度	湿球温度制御	工程時間 (時間)	風速制御	吸排気ダンパ制御		
				吸気	排気	循環
40℃	30℃以下	4時間	高速	全開	1/2開	全開
45℃	30℃以下	4時間	中速	全開	1/2開	全開
50℃	-	2時間	中速	全開	1/4開	全開
50℃	-	5時間	低速	全開	全開	全開
55℃	-	5時間	低速	全開	全開	全開
58℃	-	3時間	低速	全開	全開	全開

- ・ 湿球温度の制御は25℃以下が望ましい
- ・ 湿球温度が上昇する場合は、吸気ダンパを開く、循環ダンパを閉じる、排気ダンパを開くの際に操作を行う
- ・ 4時間経過後の乾燥が不十分の場合は風速制御を「高速」にする
- ・ 8時間目以降の湿球温度は特に注意する必要はない
- ・ 乾燥の進行状況の調整は50℃の工程で行う
- ・ 乾燥の仕上がり状態の調整は58℃の工程で行う
- ・ エビラの上下の入替えは、前半と中盤で2回程度は行う

「日和子」のモデル省エネ乾燥スケジュール

乾燥設定温度	湿球温度制御	工程時間 (時間)	風速制御	吸排気ダンパ制御		
				吸気	排気	循環
45℃	30℃以下	2時間	中速	全開	1/4開	全開
50℃	30℃以下	2時間	中速	全開	1/4開	全開
50℃	-	6時間	低速	全開	全開	全開
55℃	-	7時間	低速	全開	全開	全開
58℃	-	3時間	低速	全開	全開	全開

- ・ 湿球温度の制御は25℃以下が望ましい
- ・ 湿球温度が上昇する場合は、吸気ダンパを開く、循環ダンパを閉じる、排気ダンパを開くの際に操作を行う
- ・ 4時間目以降の湿球温度は特に注意する必要はない
- ・ 乾燥の進行状況の調整は50℃の工程で行う
- ・ 乾燥の仕上がり状態の調整は58℃の工程で行う
- ・ エビラの上下の入替えは、少なくとも1回は行う

## 水平気流式乾燥機のモデルスケジュール

「雨子」のモデル乾燥スケジュール

乾燥設定温度	湿球温度制御	工程時間 (時間)	風速制御	吸気量制御	排気量制御	
					段数	開口割合
40℃	30℃以下	3	高速	2段3列	3段6列	1/2
43℃	30℃以下	3	高速	2段3列	3段6列	1/2
45℃	30℃以下	3	高速	2段3列	2段4列	1/3
50℃	-	3	中速	2段3列	2段4列	1/3
50℃	-	3	中速	2段3列	2段4列	1/3
53℃	-	3	低速	2段3列	1段2列	1/6
55℃	-	3	低速	2段3列	1段2列	1/6

- 吸気口の下側2段は、燃焼炉の過熱防止のため常時開けておく
- 湿球温度の制御は25℃以下が望ましい
- 湿球温度が上昇する場合は、吸気口を下側の段から開ける
- 排気量の制御は、上側の排気口が開いているように下側から閉じる
- 乾燥の仕上がりの調整は、最後の工程を追加する形で行う

「日和子」のモデル乾燥スケジュール

乾燥設定温度	湿球温度制御	工程時間 (時間)	風速制御	吸気量制御	排気量制御	
					段数	開口割合
40℃	30℃以下	3	高速	2段3列	3段6列	1/2
45℃	30℃以下	3	高速	2段3列	2段4列	1/3
50℃	-	3	中速	2段3列	2段4列	1/3
50℃	-	3	中速	2段3列	1段2列	1/6
53℃	-	3	低速	2段3列	1段2列	1/6
55℃	-	3	低速	2段3列	1段2列	1/6

- 吸気口の下側2段は、燃焼炉の過熱防止のため常時開けておく
- 湿球温度の制御は25℃以下が望ましい
- 湿球温度が上昇する場合は、吸気口を下側の段から開ける
- 排気量の制御は、上側の排気口が開いているように下側から閉じる
- 乾燥の仕上がりの調整は、最後の工程を追加する形で行う

## 付 表

付表1 供試乾燥機の基本性能

メーカー	型式	エビラ収容量	送風機出力 (w)	燃料種別	最大燃料消費量 (L/時)	備考
キハラ製作所	MH-30	30	400	灯油	4.73	30枚専用
豊田徳草	C-60	30	550	重・灯油 薪	5.11	60枚用を30枚で使用
フルタ	SMDA-6	34	400	重・灯油	5.11	

付表2 垂直気流式乾燥機の「日和子」の標準乾燥スケジュール

設定温度 (°C)	乾燥時間	風速制御	吸排気制御 (ダンパ開度)		
			吸気	排気	循環
45	2	高速	全開	全開	全開
50	2	中速	全開	全開	全開
50	6	中速	1/2開	1/2開	1/2開
55	5	低速	全開	全開	全開
58	3	低速	全開	全開	全開

付表4 水平気流式乾燥機の「雨子」の標準乾燥スケジュール

設定温度 (°C)	乾燥時間	風速制御	吸排気制御 (ダンパ開度)	
			吸気	排気
40	4	高速	全開	全開
45	4	中速	2/3開	全開
50	4	中速	2/3開	2/3開
53	4	低速	2/3開	1/2開
55	4	低速	2/3開	1/3開

付表5 水平気流式乾燥機の「日和子」の標準乾燥スケジュール

設定温度 (°C)	乾燥時間	風速制御	吸排気制御 (ダンパ開度)	
			吸気	排気
40	4	高速	全開	全開
45	4	中速	2/3開	2/3開
50	4	中速	2/3開	1/2開
55	4	低速	2/3開	1/3開

付表3 水平気流式乾燥機の生産現場における乾燥スケジュール実態調査結果

スケジュー の区分	生産者A (東部)			生産者B (中部)			生産者C (中部)			生産者D (南部)			生産者E (中部)			生産者F (西部)			生産者G (北部)													
	温度 (℃)	乾燥 時間	風速 制御	湿度 制御	吸気 排気	温度 (℃)	乾燥 時間	風速 制御	湿度 制御	吸気 排気	温度 (℃)	乾燥 時間	風速 制御	湿度 制御	吸気 排気	温度 (℃)	乾燥 時間	風速 制御	湿度 制御	吸気 排気	温度 (℃)	乾燥 時間	風速 制御	湿度 制御	吸気 排気							
1	40	2.5	高速	全開	全開	42	1.5	高速	全開	全開	40	1.5	高速	全開	全開	38	3.0	高速	全開	全開	35	2.0	高速	全開	全開	38	1.5	高速	全開	全開		
2	40	2.5	高速	全開	全開	42	1.5	高速	全開	全開	43-45	1.5	高速	全開	全開	40	3.0	中速	全開	全開	40	2.0	中速	全開	半開	40	1.5	高速	全開	全開		
3	45	2.5	高速	全開	全開	43	1.5	高速	全開	全開	45	1.5	高速	全開	全開	45	3.0	中速	半開	半開	45-48	2.0	中速	半開	全開	42	1.5	高速	全開	全開		
4	45	2.5	高速	全開	全開	43	1.5	高速	全開	全開	47	1.5	高速	全開	全開	50	3.0	中速	半開	半開	44-50	1.70	低速	1/3	全開	44	1.5	高速	全開	全開		
5	50	2.5	高速	全開	全開	45	1.5	中速	2/3	2/3	50	1.5	高速	全開	全開	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	46	2.0	中速	半開	半開		
6	50	2.5	高速	全開	全開	40	1.5	中速	2/3	2/3	52	1.5	高速	全開	全開	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	48	2.0	中速	半開	半開		
7	50	2.5	高速	全開	全開	48	1.5	中速	2/3	2/3	53	1.5	中速	半開	2/3	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	52	2.0	中速	半開	半開		
8	55	2.5	高速	全開	全開	50	1.5	中速	2/3	2/3	53	1.5	中速	半開	2/3	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	52	2.0	中速	半開	半開		
9	60	2.5	低速	半開	半開	52	1.5	低速	1/4	1/4	55	1.5	中速	半開	2/3	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	55	2.0	中速	1/3	1/4		
10	60	2.5	低速	半開	半開	52	1.5	低速	1/4	1/4	55	1.5	中速	半開	2/3	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	55	2.0	中速	1/3	1/4		
11	60	2.5	低速	半開	半開	52	1.5	低速	1/4	1/4	55	1.5	中速	半開	2/3	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	55	2.0	中速	1/3	1/4		
12	60	2.5	低速	半開	半開	52	1.5	低速	1/4	1/4	55	1.5	中速	半開	2/3	50	3.0	中速	半開	半開	48-50	1.70	低速	1/3	全開	55	2.0	中速	1/3	1/4		
概要	乾燥時間30時間程度					乾燥時間15時間以上(仕上がるまで)					乾燥時間16.5時間以上(仕上がるまで)					乾燥時間18時間以上(仕上がるまで)					乾燥時間23時間程度						仕上げ用乾燥機使用(58~60℃で4~5時間)					
1	30	2.5	高速	全開	全開	50	3.0	高速	全開	全開	45	1.5	高速	全開	全開	40	3.0	中速	半開	半開	40	2.0	中速	全開	半開	40-43	1.5	高速	全開	全開		
2	30	2.5	高速	全開	全開	50	3.0	中速	2/3	2/3	46	1.5	高速	全開	全開	45	3.0	中速	半開	半開	45	2.0	低速	半開	1/3	44	1.5	高速	全開	全開		
3	55	2.5	高速	全開	全開	50	3.0	低速	半開	半開	47	1.5	高速	全開	全開	50	3.0	中速	半開	半開	48	2.0	低速	半開	1/3	46	1.5	高速	全開	全開		
4	55	2.5	高速	全開	全開	50	4.0	低速	半開	半開	52	1.5	高速	全開	全開	55	3.0	中速	半開	半開	50	1.80	低速	1/3	1/3	48	1.5	高速	全開	全開		
5	55	2.5	高速	全開	全開	50	4.0	低速	半開	半開	53	1.5	中速	半開	2/3	53	3.0	中速	半開	2/3	50	2.0	中速	1/3	1/3	50	2.0	中速	1/3	1/3		
6	60	2.5	高速	全開	全開	50	4.0	低速	半開	半開	55	1.5	中速	半開	2/3	55	3.0	中速	半開	2/3	50	2.0	中速	1/3	1/3	52	2.0	中速	1/3	1/3		
7	60	2.5	高速	全開	全開	50	4.0	低速	半開	半開	55	1.5	中速	半開	2/3	55	3.0	中速	半開	2/3	50	2.0	中速	1/3	1/3	54	2.0	中速	1/3	1/3		
8	60	2.5	低速	半開	半開	50	4.0	低速	半開	半開	55	1.5	中速	半開	2/3	55	3.0	中速	半開	2/3	50	2.0	中速	1/3	1/3	56	2.0	中速	1/3	1/3		
9	65	2.5	低速	半開	半開	50	4.0	低速	半開	半開	55	1.5	中速	半開	2/3	55	3.0	中速	半開	2/3	50	2.0	中速	1/3	1/3	56	2.0	中速	1/3	1/3		
10	65	2.5	低速	半開	半開	50	4.0	低速	半開	半開	55	1.5	中速	半開	2/3	55	3.0	中速	半開	2/3	50	2.0	中速	1/3	1/3	56	2.0	中速	1/3	1/3		
概要	乾燥時間25時間程度					乾燥時間12時間以上(仕上がるまで)					乾燥時間15時間以上(仕上がるまで)					乾燥時間18時間以上(仕上がるまで)					乾燥時間24時間程度						仕上げ用乾燥機使用(58~60℃で4~5時間)					

巻末写真「にえこ」の事例



表面



裏面

写真1 正常子実体



表面



裏面

写真2 「にえこ」子実体

編集委員会

委員長 宿利角九

委員 石井秀之、岩下文博、野上友美、有馬 忍

大分県農林水産研究指導センターきのこグループ  
研究報告 第8号

2012年2月29日発行

発行 大分県農林水産研究指導センターきのこグループ  
〒879-7111 大分県豊後大野市三重町赤嶺2369  
TEL 0974-22-4236 FAX 0974-22-6850

印刷 小野高速印刷株式会社  
〒870-0913 大分市松原町2丁目1番6号  
TEL 097-558-3444 FAX 097-552-2301

Bulletin  
of  
Oita Mushroom Research Institute

№ 8

CONTENT

Fuel saving by the revision of drying time schedule of shiitake (*Lentinula edodes*).

Ishii Hideyuki·Kai Mitsuru·Yamashita Kazuhisa

February, 2012

Oita Mushroom Research Institute  
Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

2369, Akamine, Mie-machi, Bungo-Ohno, Oita  
879-7111, Japan

Hull. Oita. Mush.  
Res. Inst.