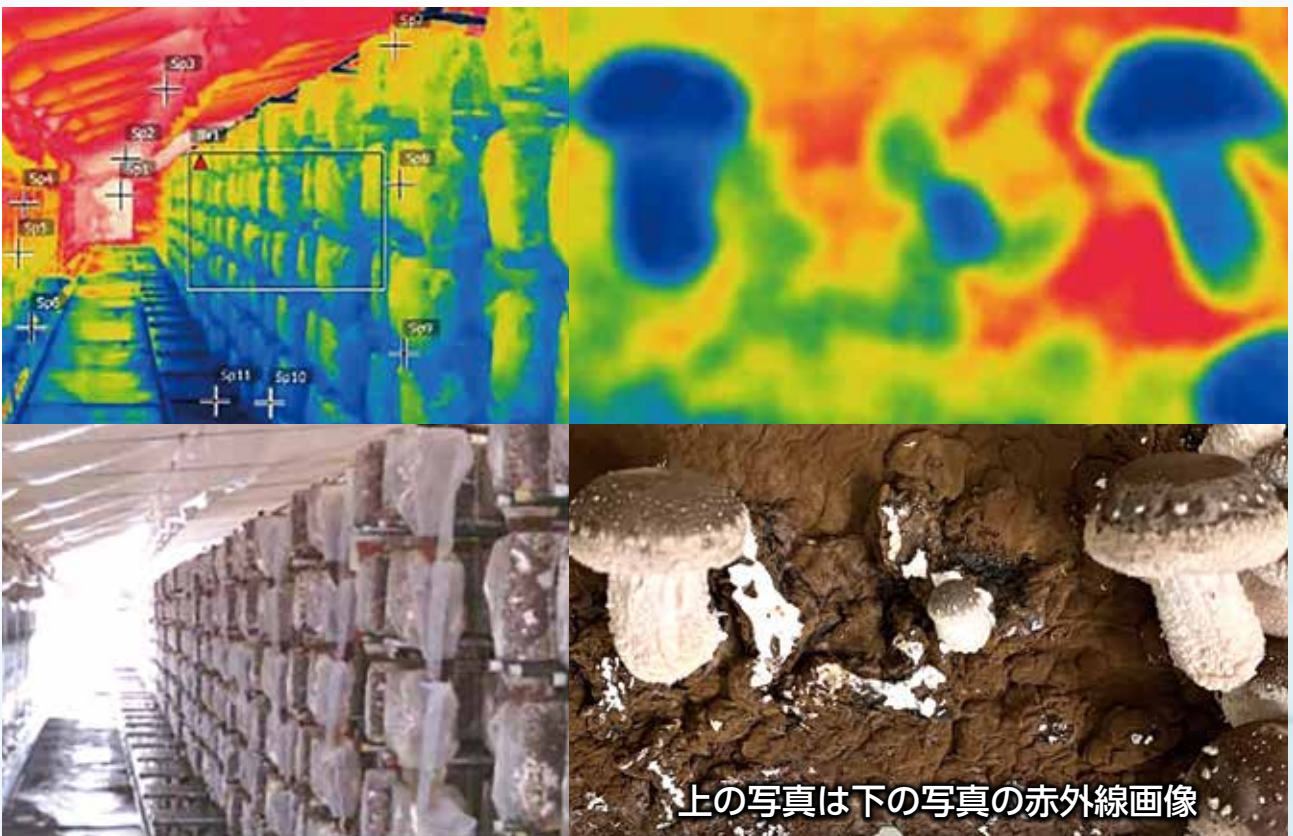


菌床シイタケのスマート栽培

— 栽培環境の「見える化」で高収量・高品質に —



目次

はじめに	1
第1章 秋田県のきのこ生産	
1 生産の特徴	2
2 シイタケ生産の動向	3
3 菌床シイタケ（生）の経営指標	5
第2章 シイタケ生産者の現状	
1 菌床シイタケの栽培工程	6
2 菌床シイタケ栽培の現状	7
第3章 栽培環境と改善すべきポイント	
1 菌床シイタケの栽培環境全般	10
2 温度管理	11
3 二酸化炭素濃度	19
4 光環境	20
注意点のまとめ	21
第4章 次世代を担うシイタケ生産者たちの新たな取組	
1 冷房なしで酷暑を乗り切る（仙北市 鈴木貴也 氏）	22
2 IoT機器で施設環境の見える化を（横手市 熊谷賢 氏）	24
3 地域資源でオリジナルブランドを（八峰町 伊勢隼人 氏）	26
コラム 栽培環境に関する疑問	
1 温度	28
2 二酸化炭素	30
3 コスト削減	33
おわりに	35
引用文献・参考文献	36

はじめに

本県におけるシイタケの人工栽培は、昭和23、4年頃から始まったとされ、当時は小規模な自家消費的栽培であったといわれています。

その後、昭和35年から40年のあいだに不時栽培とよばれる人為的な子実体の発生技術が確立され、生シイタケ生産に着手する農家が増加したことで施設栽培による生産が急速に進みました。

過去の資料によると、昭和40年時点における県内の栽培者は8,286人、生産量は320トンで、当時東北では福島に次ぐ量とされたものの、群馬や埼玉のような主産県に比べれば1、2割程度であったと記録されています。

シイタケの県外移出が始まったのは昭和38年で、当時の量はわずか9トン足らずでした。しかし、それから60年近く経過した令和3年には、京浜地区の中央卸売市場へ出荷された県産シイタケは2,502トンまで増加し、販売額30億2,100万円、1キロ当たりの販売単価1,208円と、3項目で1位となる「しいたけ販売三冠王」を4年連続獲得するほどの産業として大きく成長を遂げました。

現在、県内のシイタケ栽培は菌床による施設栽培が主流となっていますが、令和4年の統計上における菌床シイタケ生産者数は202人で、10年前の平成24年からは100人も減っています。

この原因は、単に生産者の高齢化や後継者不足のみならず、中国産シイタケの輸入量急増などによって、生産者が“儲け”の少ない経営を強いられてきたからにほかなりません。

林業研究研修センターでは、こうした現状を打破するため、研究ではIoTやICT等の先端技術により栽培データを「見える化」することで栽培環境の改善を図るとともに、普及の現場からは最新の事例を紹介するなどし、誰もが高収量かつ高品質なシイタケ生産ができるよう本冊子を発行しました。

本冊子が、シイタケ生産者の皆さんにとって収益向上の一助となり、ひいては本県のシイタケ産業の一層の産地間競争力強化に貢献できれば幸いです。

第1章 秋田県のきのこ生産

1 生産の特徴

令和3年度に本県が市場に出荷したきのこは、主にシイタケ、ナメコ、エノキタケ、ヒラタケ、ブナシメジ、マイタケ、エリンギ、マツタケ（秋田県農林水産部 2022）のほか、トンビマイタケ、ブナハリタケ、ムキタケ、ハタケシメジの12品目に加えてナラタケ、ハナイグチ、サクラシメジ等の計15品目があげられています（農林水産省 2021）。

表1及び2に、主なきのこの生産量と生産割合などについて、本県と全国のデータをまとめました。本県の場合、表にある9品目中では生シイタケの生産が最も盛んで、全県生産量では81%を占め（図1）、対全国比も5.5%と全国有数の生産県となっています。そして、その動向は全盛期生産量の9割強と若干の減少はみられるものの、そのほかのきのこより安定した生産が続いているのが特徴です。

シイタケ以外に生産量の多い品目としては、ブナシメジ、ナメコ及びマイタケ等があげられますが、これらは全盛期の生産量からみると、それぞれ52%、23%及び21%まで減っています。

表1 秋田県と全国のきのこ類の生産動向

品目	秋田県 生産量(t)	生産割合 (%)	全国の 生産量(t)	対全国比 (%)	全盛期		主な生産県(品目)
					年次(年)	生産量(t)	
*乾シイタケ	3	0.1	2,216	0.1	S60	45	大分、宮崎、熊本、愛媛、岩手
生シイタケ	3,900	81.0	71,058	5.5	H28	4224	徳島、北海道、岩手、群馬、秋田
ナメコ	260	5.4	24,063	1.1	S58	1153	長野、新潟、山形、福島、北海道
エノキタケ	0	0.0	129,587	0.0	H 1	645	長野、新潟、宮崎、福岡、長崎
ヒラタケ	14	0.3	4,463	0.3	S63	1134	新潟、福岡、長野、茨城、千葉
ブナシメジ	461	9.6	119,545	0.4	H15	879	長野、新潟、福岡、香川、静岡
マイタケ	138	2.9	54,521	0.3	H 7	657	新潟、静岡、福岡、長野、北海道
エリンギ	6	0.1	38,344	0.0	H23	337	長野、新潟、広島、福岡、香川
マツタケ	0	0.0	39	0.0	H 1	5.7	長野、岩手、岡山、和歌山、石川、京都
その他	36	0.7	1,854	1.9	-	-	秋田（ムキタケ、トンビマイタケ等）
合計	4,817	100	445,691	1.1			

（2022年度版きのこ年鑑を参考に作成）

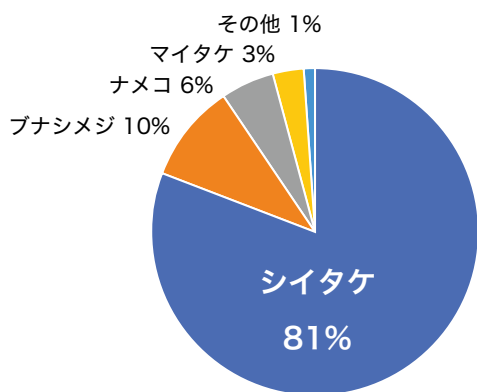


図1 秋田県のきのこ類の生産割合
（令和3年特用林産物生産統計調査）

表2 生シイタケ生産上位5県

順位	生産量 (t)	対全国比 (%)
1 徳島	7,048	9.9
2 北海道	5,632	7.9
3 岩手	4,660	6.6
4 群馬	4,103	5.8
5 秋田	3,900	5.5
全国	71,058	-

（令和3年特用林産物生産統計調査）

2 シイタケ生産の動向

令和3年度における本県のシイタケの生産量を出荷形態別にみると、生シイタケが3,900 tで、乾シイタケについては生シイタケに換算して約20 tと見積もっても、99%以上が生シイタケの生産となっていることがわかります（図2、表3）。

一方、これを栽培形態別にみると、原木栽培による生産量が120 tであるのに対し、菌床栽培による生産量は、全体の97%を占める3,800 tです（表3）。つまり、本県のきのこ生産は、菌床栽培による生シイタケが主力であるという特色があります。

そして、平成元年以降の生シイタケの生産量の推移をみると、3度の大きな落ち込みがみられながらも、2倍近くまで増加していることがわかります（図3）。

近年は、京浜地区の中央卸売市場に出荷された本県産シイタケの出荷量、販売額及び販売単価の3項目で4年連続トップとなるなど、質、量ともに全国的に認められるようになってきたのが強みといえます。

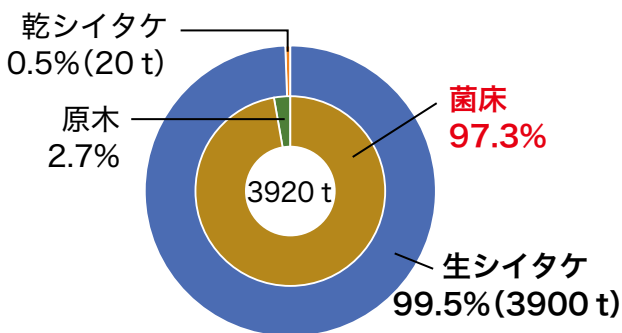


表3 令和3年度における秋田県の栽培形態別シイタケ生産

(単位：t)

区分	生シイタケ	乾シイタケ	計
菌床	3794	6	3800
原木	105	15	120
計	3900	20	3920

図2 秋田県のシイタケ生産量



図3 平成元年以降の秋田県における生シイタケ生産量の推移
(図表はいずれも農林水産省令和3年特用林産物生産統計調査結果を基に作成)



図4は、近年の本県における菌床シイタケ（生）生産量と生産者数の推移を示します。菌床シイタケの生産量は、多少の増減はみられるものの、前項図3の生シイタケ生産量と並行して増加する傾向にあります。

昨今は、県が平成29年度から令和元年度まで展開した「秋田のしいたけ販売三冠王獲得事業」（秋田県農林水産部 2017）によって、横手市をはじめ八峰町、由利本荘市、大仙市などに計10箇所の大規模園芸拠点（メガ団地）が形成され、生産基盤が安定してきていることが伺われます。

しかし、その一方で生産者数は、平成17年から増加傾向にありましたが、平成24年を境に減少に転じています。これを生産規模（年間菌床数）別にみると、20,000床以上の大規模生産者は、上述の事業の成果もあって45%の増加がみられるものの、15,000床以下の中小規模生産者では-44%から-62%まで著しい減少がみられます（表4）。

この原因としては、生産者の高齢化や後継者不足のほかに、kg単価が急落（平成20年：1,103円→平成21年：967円）して平成24年まで下げ止まりの状態が続いたこと等が生産者の経営を圧迫し、生産意欲減退の引き金となっていることが考えられます（図5）。

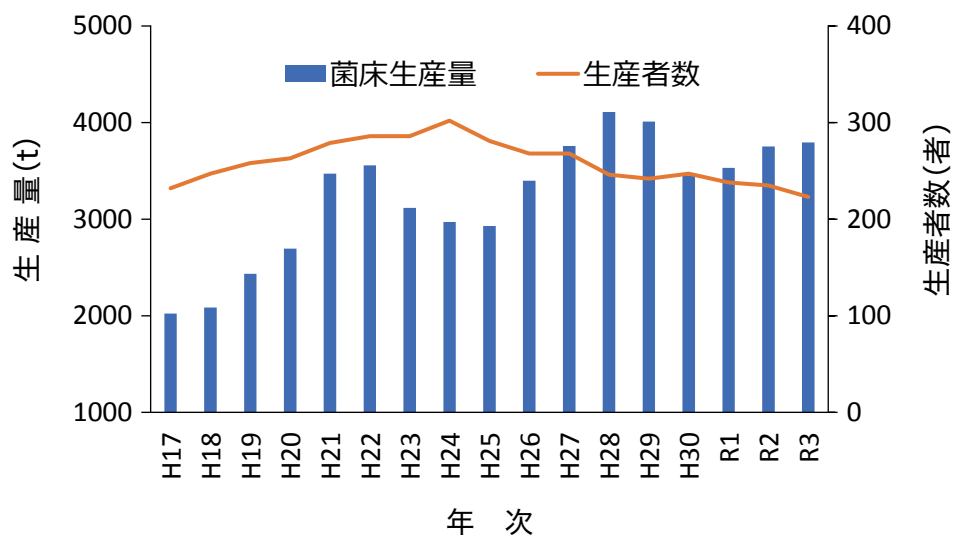


図4 平成17年以降の秋田県における菌床シイタケ生産量と生産者数の推移

表4 秋田県における栽培規模別菌床シイタケ生産者数の推移

(単位：者)

年度	総数	5000床未満	5000～10000床未満	10000～15000床未満	15000～20000床未満	20000床以上
H24	302	73	100	42	16	71
25	281	54	88	42	39	58
26	268	58	83	39	25	63
27	268	59	84	34	20	71
28	246	57	88	21	17	63
29	242	57	85	24	17	59
30	247	59	87	24	16	61
R1	238	55	77	25	12	69
2	235	43	55	25	16	96
3	223	41	50	16	13	103
増減%	-26.2	-43.8	-50.0	-61.9	-18.8	45.1

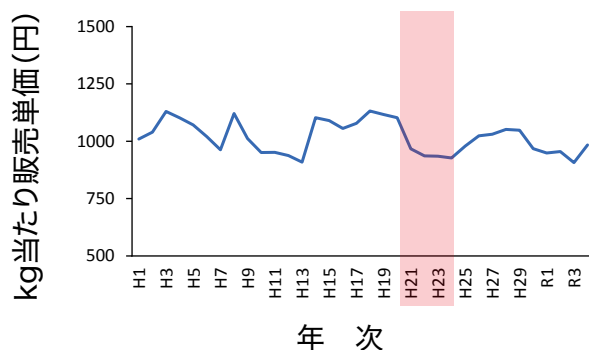


図5 秋田県における菌床シイタケのkg当たり販売単価の推移

(図表はいずれも農林水産省令和3年特用林産物生産統計調査結果を基に作成)

3 菌床シイタケ（生）の経営指標

前項の動向から、本県の菌床シイタケ（生）生産は、大規模生産者に活気がみられる一方で、中小規模生産者は不振となっている現状がみえてきました。

表5は、種菌メーカー2社が公開している菌床自家製造型及び完熟菌床購入全面栽培型による経営指標（株式会社特産情報きのこ年鑑編集部 2022）を基に、それぞれ損益分岐点がゼロ（利益無し）となるときの1菌床当たりのシイタケ発生量（試算A、C）と1kg当たりの販売単価（試算B、D）について試算したものです。

その結果、2.5kg菌床で自家製造型栽培を行う場合は、最低でも発生量が726g/菌床以上（試算A）、販売単価が941円/kg以上（試算B）、同様に3.0kg菌床で完熟菌床購入全面栽培を行う場合は、最低767g/菌床以上（試算C）、販売単価が994円/kg以上（試算D）でなければ“儲け”がないという試算になりました。

令和3年度における本県の菌床シイタケ（生）の総生産量は3,794tで、使われた菌床数は8,108千菌床ですから、1菌床当たりの生産量は単純計算で468gとなり、上記試算の収量とはほど遠いことがわかります。また、これを京浜地区中央卸売市場で三冠王を4年連続達成したときのkg単価1,208円で販売した場合、1菌床565円の収入と算出されますが、その売価でも種菌メーカーの試算による1菌床当たりの生産経費630～657円を賄うことができないという厳しい経営状況が伺えます。

きのこは、中山間地域活性のための主要な複合経営作目でもあることから、こうした現状を打破し、県全体を元気にするためには中小規模生産者の底上げ対策が必要です。

表5 自家製造型及び完熟菌床購入全面栽培型による菌床シイタケ経営指標

区 分	菌床自家製造型			完熟菌床購入全面栽培型		
	指標1	試算A	試算B	指標2	試算C	試算D
a 菌床重量(kg)	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
b 発生量(g/菌床)	800	726	800	800	767	800
c 出荷量(g/菌床)= b × 歩留80%	640	580.8	640	640	613.6	640
d 年間製造菌床数(菌床)	168,000	168,000	168,000	84,000	84,000	84,000
e 年間製造菌床数(菌床)= d × 歩留99%	166,320	166,320	166,320	83,160	83,160	83,160
f 年間生産量(t)= c × e	106,445	96,599	106,445	53,222	51,027	53,222
g kg当たり販売単価(円/kg)	1,037	1,037	941	1,037	1,037	994
h 売上額(千円)= f × g	110,383	100,173	100,165	55,192	52,915	52,903
i 経営経費(千円) *各社試算額	100,115	100,115	100,115	52,885	52,885	52,885
j 1菌床当たりの生産経費(円/菌床)= h/d	657	—	—	630	—	—
k 利益(千円)= h - i	10,269	58	50	2,306	29	18
l 利益率(%)= k/h × 100	9.3	0.1	0.0	4.2	0.1	0.0

(2022年度版きのこ年鑑を参考に作成)

第2章 シイタケ生産者の現状

1 菌床シイタケの栽培工程

第1章で述べたとおり、菌床シイタケは本県において主要な複合経営作目です。本章では、県内のシイタケ生産者の現状について調べました。本項では、まずその結果を紹介する前に本県で行われている菌床シイタケ栽培の方法を説明します。

図6は、菌床シイタケの生産から出荷までの主な流れを示したものです。工程は、①菌床の準備、②培養、③発生操作、④発生・収穫及び⑤出荷の5つからなり、1菌床当たり4回の収穫、出荷が行われているのが特徴です。

ここでは、上記工程の費用に関して ①菌床の準備については「原材料費」、②培養から④収穫については「栽培生産費」、⑤出荷については「販売管理費」、そして、これらの合計を「生産原価」として扱います。



図6 菌床シイタケの生産から出荷までの主な流れ

2 菌床シイタケ栽培の現状

ここでは、菌床シイタケ栽培の現状を知るため、平成30年に調査した結果を紹介します。調査は、県内の菌床シイタケ生産者の約90%にあたる215者を対象として行いました。

調査項目は、栽培形態、栽培規模（年間菌床数：1年間で栽培に用いる菌床数）、1年間当たりの生産量と販売額、販売管理費などで、全て聞き取りにより調べたものです。

なお、項目によっては無回答の生産者もいましたが、その場合は集計対象から除外しました。

(1) 栽培形態及び栽培規模

本県の栽培形態について調べたところ、栽培に用いられている菌床は全体の98%（210者）が購入によるもので、独自でつくっている生産者はわずか2%（5者）に過ぎませんでした（図7-A）。

また、年間菌床数については、調査した205者中で20,000床以上が26%（53者）あったものの、5,000床以上10,000床未満の生産者が36%（73者）と最も多く、5,000床未満も22%（46者）と、10,000床未満の小規模生産者が半数以上を占めていました（図7-B）。

このことから、県内の菌床シイタケ生産者は大規模生産者が増加しつつあるものの、いまだ小規模生産者がメインとなっていることを改めて認識する結果となりました。

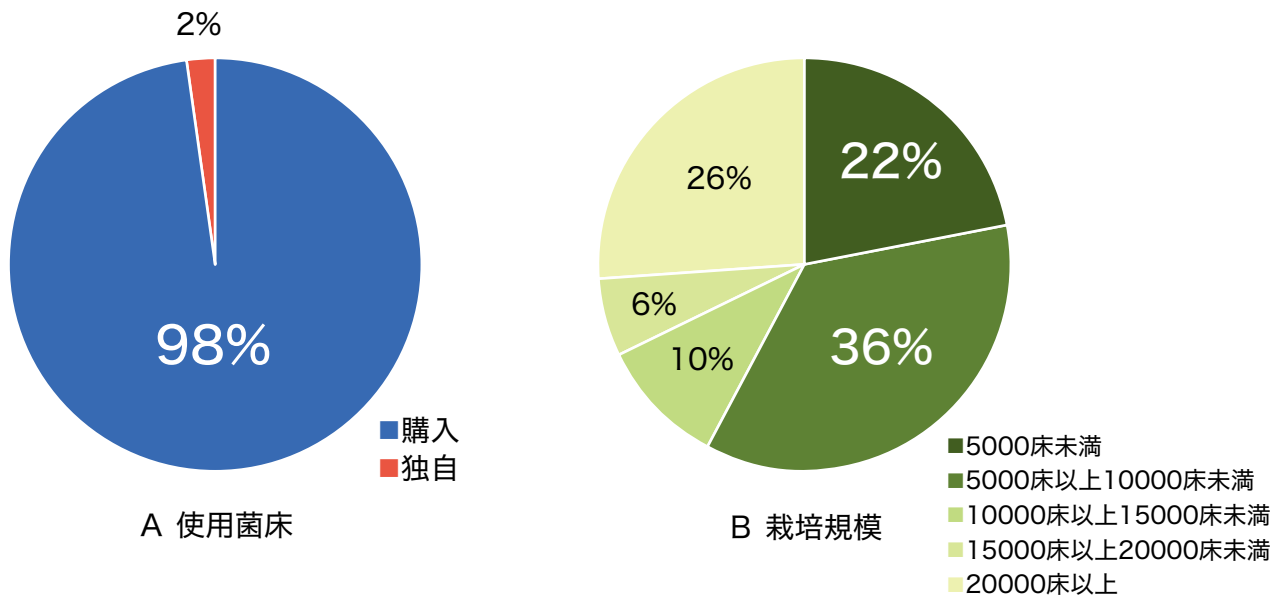


図7 秋田県の菌床シイタケ生産者の栽培形態と栽培規模

秋田のシイタケ菌床はほとんどが購入、生産者の半数以上は小規模栽培者



(2) 生産量及び販売額

1 菌床当たりの生産量については、各生産者の年間出荷量を年間菌床数で除して算出しました。

その結果、平均は0.59 kg/菌床でしたが、最大は1.39 kg/菌床、最小は0.15 kg/菌床と生産者のあいだには大きな差がみられました。なお、この平均生産量は、前章3項（P5）において種菌メーカーが基準としている出荷量0.64 kg/菌床（P5表5：指標1）を8%下回っていました（図8）。

一方、同様に年間販売額を年間菌床数で除して1 菌床あたりの販売額を算出したところ、平均は725円/菌床で、この価格は種菌メーカーが基準としている1 菌床当たりの生産経費630円/菌床（P5表5：指標2）を15%も上回るものでした（図9）。

これらから、本県における菌床シイタケ栽培は、低い取量を高い売価でカバーしているのが特徴の1つといえます。

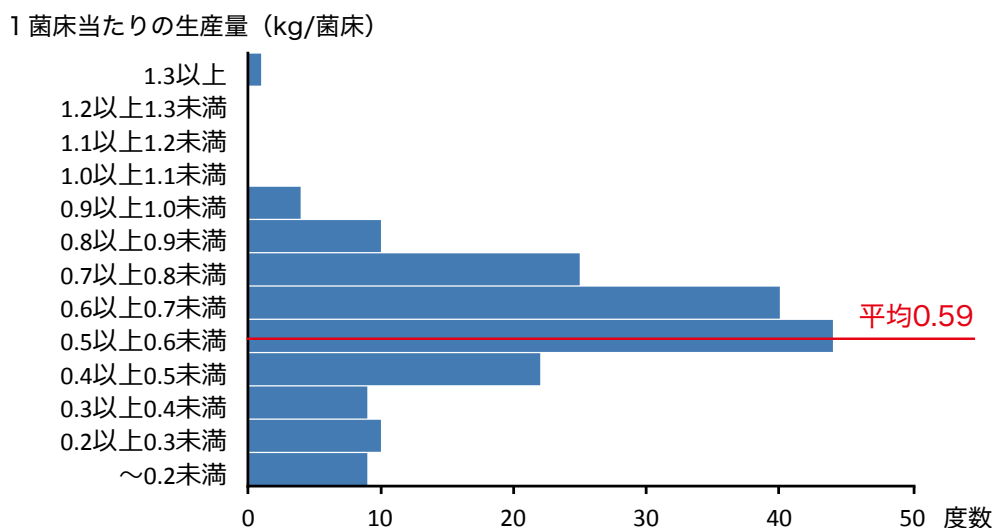


図8 秋田県の菌床シイタケ栽培における1 菌床当たりの生産量

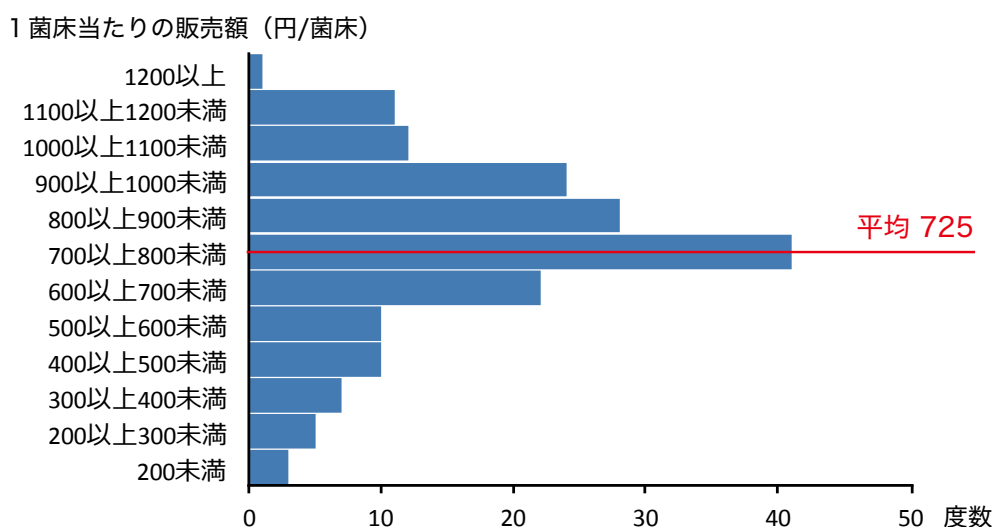


図9 秋田県の菌床シイタケ栽培における1 菌床当たりの販売額

秋田の菌床シイタケは「量」より「質」で勝負

(3) 生産原価（損益分岐点）と経営状況

損益分岐点を把握するため、1菌床当たりの生産原価を求めたところ、表6のようになりました。すなわち、原材料費として1菌床当たりの購入費用250円、栽培生産費として人件費95円+水道光熱費29円+減価償却費18円+共通管理費6円+雑費3円=151円、これに販売管理費288円を加算し、1菌床当たり689円と試算されました。

この生産原価を損益分岐点とし、前項で算出した各生産者の1菌床当たりの販売額をみると、販売額が損益分岐点を上回った生産者は全体の45%と半数以下でした。そして、これを年間菌床数10,000床以上及び10,000床未満の生産者に分けてみると、10,000床以上の生産者では59%が損益分岐点を超えていたものの、10,000床未満の生産者はわずか34%に過ぎないという結果となりました（図10）。

以上から、県内の菌床シイタケ生産者は非常に厳しい経営状況にあり、その収益も生産者間で大きな差があることが明らかとなりました。そして、こうした現状が生産者数減少の大きな原因となっているものと推測されました。

表6 1菌床当たりのシイタケの生産原価（試算額）

経費内訳		金額 (円)	備考
原材料費	菌床購入費	250	聞き取り調査による
栽培生産費	人件費	95	H30年10月時点の秋田県の最低賃金から換算
	水道光熱費	29	発生、休養工程の電気水道代等*
	減価償却費	18	発生、休養施設*
	共通管理費	6	全体に関わる共通の経費*
	雑費	3	消耗品費*、修繕費他*
	小計	151	
販売管理費	出荷経費	288	販売手数料
計		689	

*2018年度版きのこ年鑑を参考に算出

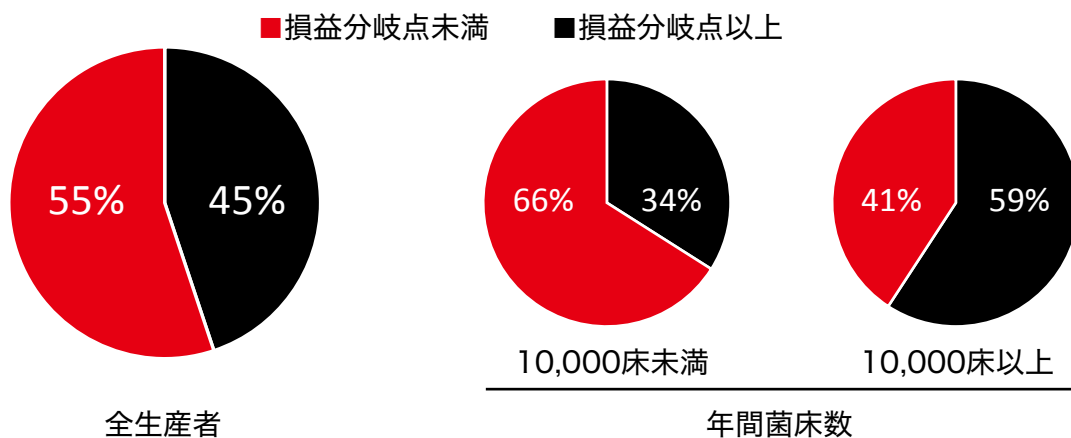


図10 秋田県の菌床シイタケ生産者の経営状況

秋田の菌床シイタケ産業活性化には小規模生産者の経営改善が課題

第3章 栽培環境と改善すべきポイント

1 菌床シイタケの栽培環境全般

菌床シイタケ栽培で高収益を得るためには、培養期間の適正な管理と品種に対応した発生適期の見極めが重要です。例えば、培養が未熟な菌床では大型のシイタケが少量発生したり奇形が多発し、過熟だと小型のシイタケが大量発生しやすくなります（図11）。

本章では、県内生産者の栽培施設の環境について、IoT機器や赤外線カメラ等を用いて「見える化」し、明らかにした改善すべきポイントを紹介します。

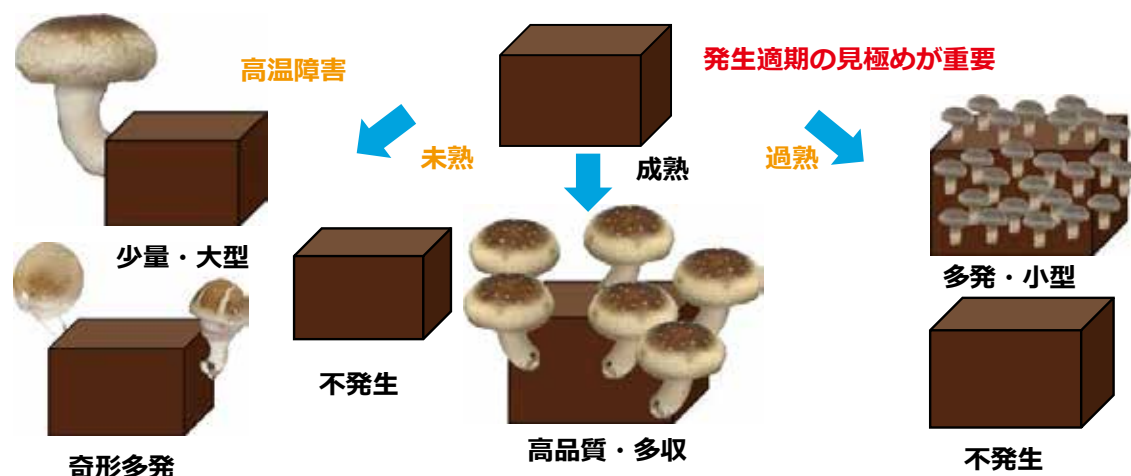


図11 発生適期見極めの良否などがシイタケの発生に及ぼす影響

菌床シイタケ栽培では、菌糸が菌床全体にまん延するまでの期間（1次培養期）と茶色い被膜が形成されるまでの成熟期間（2次培養期）、きのこが発生する期間（発生期）があります。

1次培養期は、通常、菌床内部の温度が3～5℃上昇するとともに二酸化炭素濃度が急激に上昇します。これらを防ぐため、栽培袋のフィルターをふさいでしまわないよう注意し、菌床同士が接触しないように間隔を3 cm以上空けること。また、室温が上がりやすい夏場は、サーキュレーター等で室内の空気循環を徹底し、空気の淀みが生じないようにすることが大切です。

2次培養期は、菌床内部の発熱と二酸化炭素濃度の上昇が落ち着いてきます。留意点は1次培養時の環境を維持しつつ、日中の温度格差をできるだけ小さくすること、湿度を70%前後に維持することです。特に、この時期15℃以下の低温・低湿下に置くと凹凸の激しい被膜が形成しやすく、その後の発生に悪影響を及ぼします。また、光環境にも注意が必要で、弱い光を照射すると被膜形成はきれいに進みますが、強い光を当ててしまうと肥大した菌糸塊が形成するなど発生に影響を及ぼします。

発生期は、高湿度環境を維持する必要がありますが、湿度が100%に近いと傘の色が黒っぽく日持ちの悪いきのこが発生します。したがって、日持ちの良いシイタケをつくるためには、湿度を90%前後となるよう保つことが重要です。また、きのこの形質と発生量は光の影響を受けやすいため、高品質なシイタケを育てるには、生育に適した光質と光量による適度な照明が必要です。

2 温度管理

(1) 培養期間における温度管理

2020年5月17日から10月8日まで、横手市の生産者の完全空調施設においてIoTセンサーを用いて1次培養、2次培養及び熟成期間の栽培施設内温度と菌床内温度を測定しました（図12）。

この施設では年間9,000菌床を管理し、温度は1次培養を19℃、2次培養を22℃、熟成を25℃に設定し、湿度は70%前後で10月下旬からの発生に向けた培養管理を行っています。また、明るさは作業に差し支えない程度で、施設内の空気は淀みが生じないようにサーキュレーターを設置し、二酸化炭素濃度が3,000ppm以下となるよう換気を制御しています。

1次培養では菌床内温度が施設内温度より2℃程高く、2次培養では約1℃高い温度で推移しており、熟成期間になると両者の温度差はみられなくなることがわかります。

シイタケの菌糸が最も活発に成長する温度は25℃前後であるため、この施設では1次培養を23℃設定で開始するのが良いと思われます。1次培養期は菌糸成長が活発な期間で、通常菌床内の温度は外気温より5℃程度上昇します。計測した施設では、空気の循環により菌床内の熱が上手に放散されていたため2℃程度の上昇で抑えられていました。空気の動きが少なく熱の放散がしにくい施設の場合、接種直後から22～25℃の温度環境下で培養を行うと、菌床内の温度が30℃前後まで上昇し、高温障害を引き起こしてしまうことが十分考えられます。

2次培養では、1次培養ほど発熱はしませんが、それでも外気温と比較すると菌床内温度は数℃高くなるため、温度管理には気を遣わなければいけません。

熟成期間は、菌床からの発熱も収まり、外気温に依存した温度変化を示すようになります。培養期間の温度は、使用する品種の積算温度に準じて、発生時期から逆算した温度に調整する必要もあります。



IoTセンサー活用することで、菌床内温度変化を経時的に知ることが出来るね。

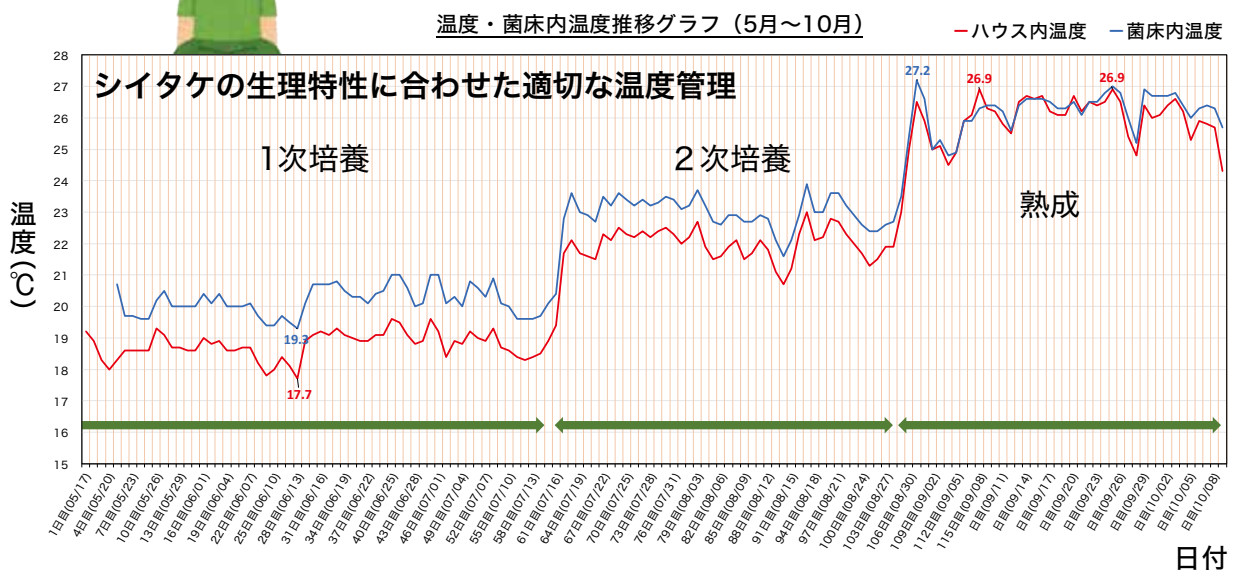


図12 菌床シイタケ培養期間における施設内温度と菌床内部温度の推移
（令和3年度菌床しいたけ生産IoT活用実証事業データを改変）



(2) 発生期間における温度管理

図13は、北研607号の上面栽培を行っている完全空調施設において、2020年10月10日から2021年2月28日までの発生期に施設内温度、菌床内温度及びシイタケ発生量を調査したグラフです。

施設は年間12,000床を収容、湿度90%以上で比較的明るい環境であり、大型扇風機を室内に設置し温度差が生じないように管理しています。なお、二酸化炭素濃度は制御していませんが、1日に数回施設の両サイドの扉を開放するなど換気対策を行っています。

発生期の菌床内温度は施設内温度に依存しており、両者にほとんど差はみられません。温度設定は発生期間17℃前後、休養期間19℃から21℃で管理しています。発生は室温を22℃から17℃に下げる温度較差により刺激を与え、概ね2週間後からシイタケが発生しています。

1回目の発生は、11月末まで室温約17℃で管理し、1か月以上かけ少しずつ発生させています。2回目以降の発生は、高値がつく年末年始の時期に収穫できるように12月上旬から1週間程度の休養後、12月中旬以降徐々に温度を下げ、12月下旬から1月上旬に発生のピークを迎えています。

しかし、その後2月上旬に10日間程度の休養期間の後、低温刺激を与えたため中旬以降に低品質のシイタケを大量発生させてしまいました。

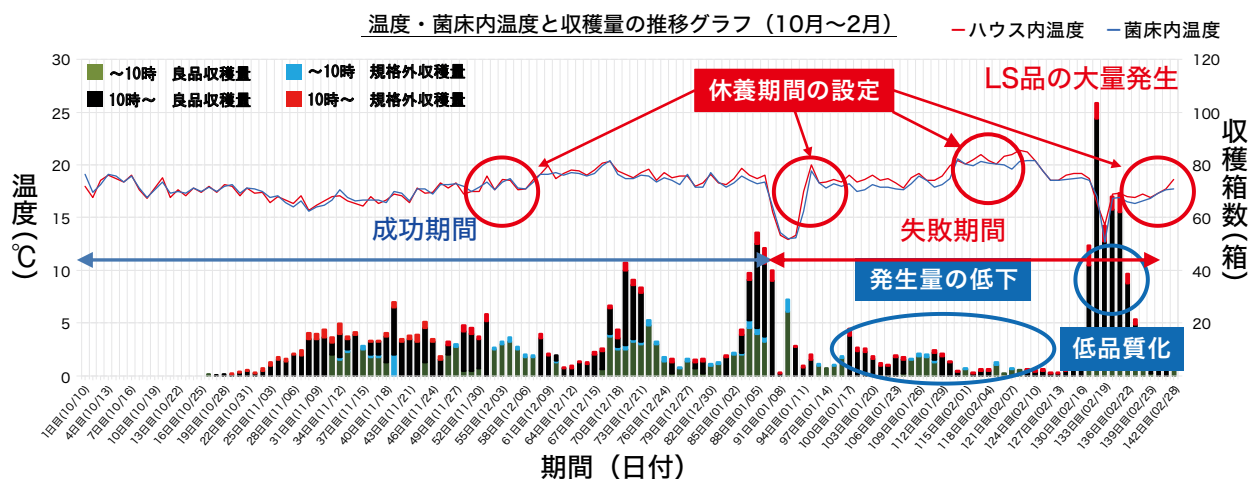


図13 発生期における施設内温度、菌床内温度及び収穫量の推移
(令和3年度菌床しいたけ生産IoT活用実証事業データを改変)

ポイント：成功と失敗の理由

成功期間：適正な温度管理と的確な休養（～1月10日）

10月下旬から12月上旬まで適正な温度管理ができています。通常、初回発生は、一度に大量のシイタケが発生しやすくなりますが、そうした集中発生の抑制に成功しています。その理由は、発生刺激となる温度を一気に下げるのではなく時間をかけてゆっくりと22℃から19℃、18℃と下げて弱い刺激を与えたこと、15℃以下となる強い低温刺激を与えなかったことです。これに合わせ、年末年始の発生に向けた休養を12月上旬に行ったことで、狙いどおりに収穫ができました。

失敗期間：不適切な低温刺激と休養（1月11日～2月28日）

年始の収穫直後、13℃前後の低温処理に置いてしまったことで、1月中旬から2月上旬にかけて発生量が低下しています。本来であれば、この時期は温度を上げて少し長めの休養を与え、2月上旬の発生に向けた管理を行う必要があります。また、2月1日から10日間ほど20℃以上で休養させたことで、2月中旬以降に芽数が増え、等級外のシイタケを大量に発生させてしまいました。

(3) 県内の生産施設における実際の温度

県内で猛暑日が多い横手市において、実際にいくつかの施設内の温度を測定しました。

2022年の7月の外気温が30℃を超えた日、自然栽培施設では外気温よりも施設内温度が高くなる傾向にあり、施設内の温度は35℃以上を数日記録していました(図14)。

横手市では、さらに2023年の8、9月にも計25日の猛暑日が記録されています。このようにシイタケの自然栽培施設では、近年特に高温障害の発生リスクが非常に高まっています。

高温障害は、培養に適した温度(20~23℃)を大きく超える条件で培養した菌床に発生します。高温障害が発生すると菌糸伸長の遅延、菌糸の変色、菌床の軟化、褐色不良、収量の低下、奇形きの増加、品質の低下などが起こるので、特に自然栽培施設では注意する必要があります。



横手市で2023年8月31日に最高気温39.2℃を記録し、県内の観測史上最高を更新したよ。地球温暖化の影響が菌床シイタケ栽培へも波及しそうだね。

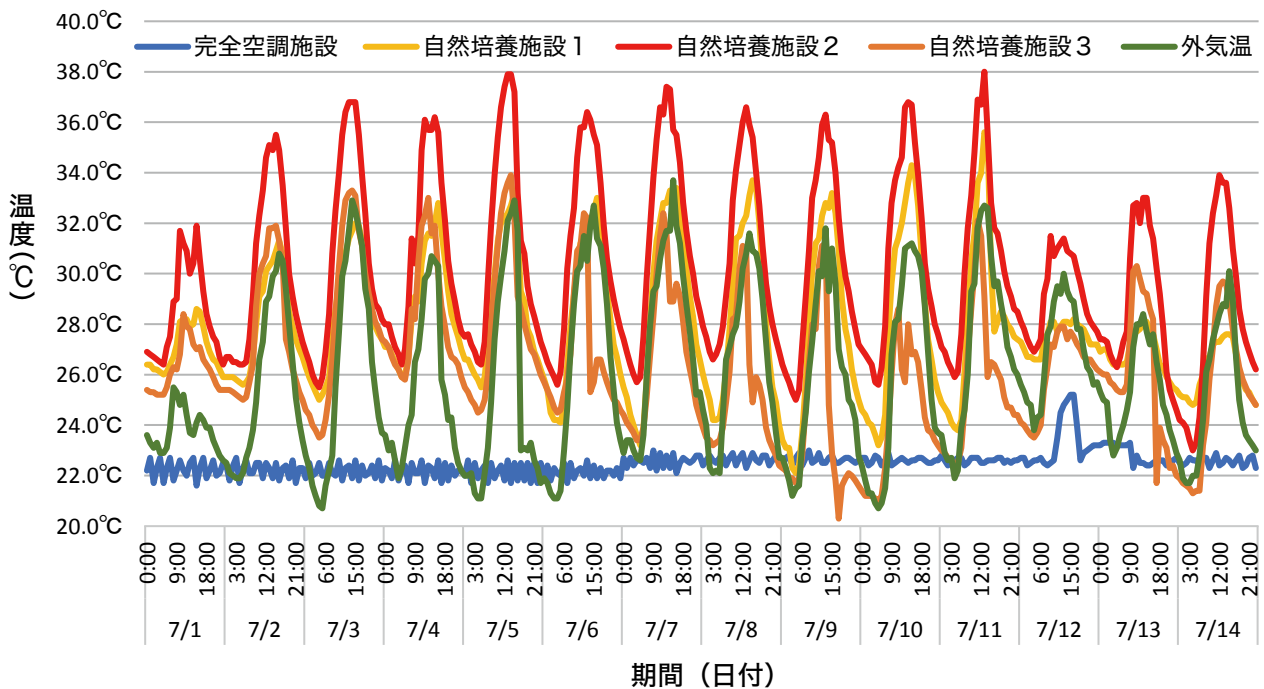


図14 夏期の菌床培養施設内の温度変化 (2022年7月横手市)



(4) 高温障害

具体的にどのような環境で高温障害が起きやすいのか？「高温」とは何℃以上をいい、その温度がどのくらいの時間続いた場合に障害が起こるのか？培養のどの段階で高温になると障害が発生しやすいのか？これらの知見を得るため、菌床を培養開始から30日目と60日目に一定期間高温環境で培養し、発生に及ぼす影響を調べました。

その結果、森産業のXR1では培養60日後に高温処理を行った場合にきのこが小型化し、品質が低下することがわかりました。きのこの小型化は温度が上がるにつれて増えました。特に43℃の高温処理を1日4時間、7日以上行った菌床では収量も低下し（図15上）、収穫したきのこの74%はS規格以下の小型のきのこになりました（図15下）。

つまり、高温障害のリスクが高まる7～9月は、菌床の培養開始から何日目かを確認し、温度管理の適正化に努めることが肝要です。なお、培養温度が上昇すると、栽培袋内の二酸化炭素濃度も上昇するので（阿部ら 2002）、そのような環境では換気にも気を配る必要があります。

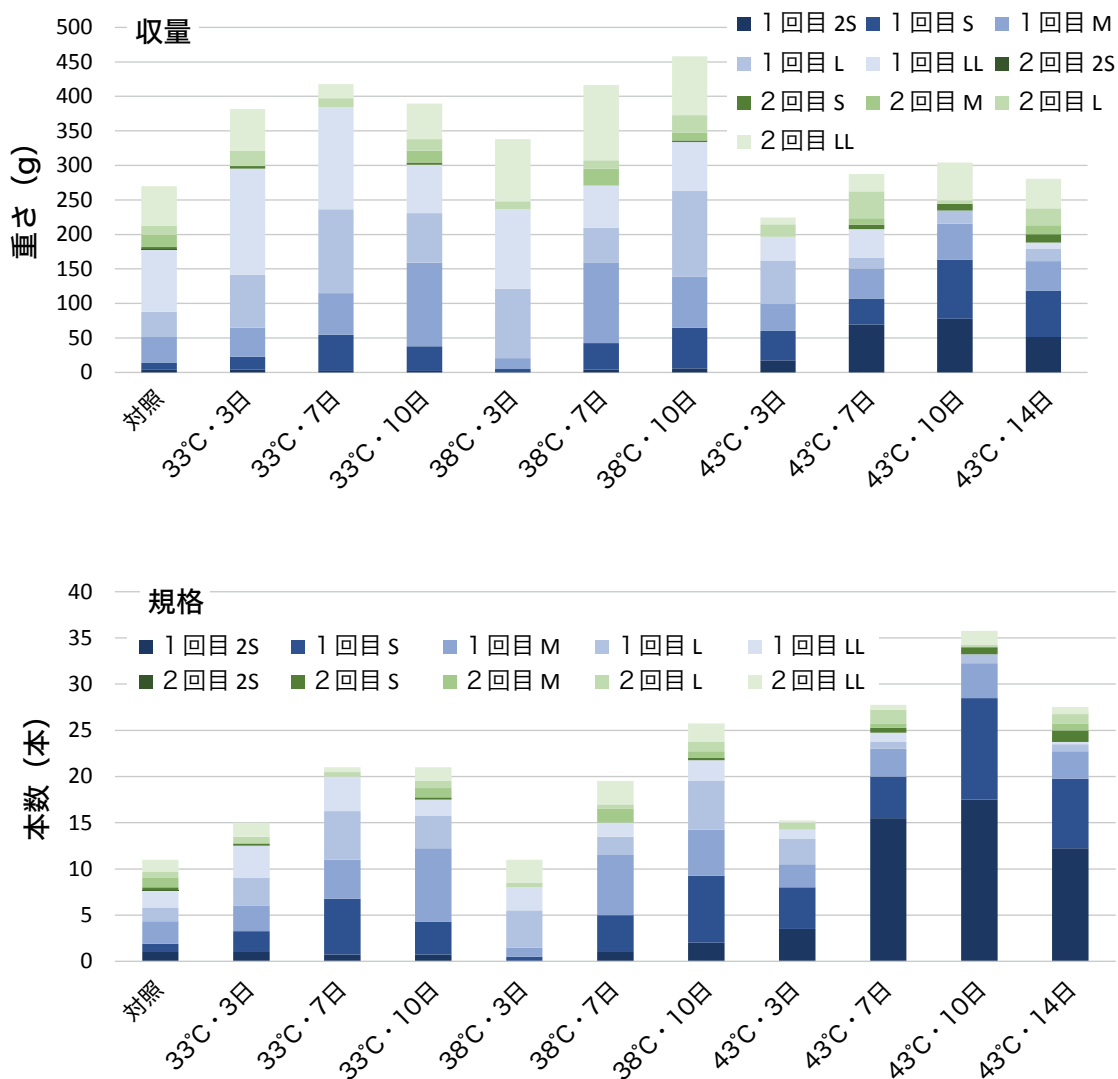


図15 培養60日後に高温処理した菌床の収穫量

トピックス 赤外線カメラによる表面温度の「見える化」からわかる栽培の改善点

ア. 完全空調栽培施設内部

A生産者の施設は、出入り口が北に位置し、間口7m40cm、奥行27m、高さ3m40cm。2層構造で、外張りにセキスイタフシェード、内張りにエコポカプチ、天井部分をアルミ断熱材で覆い、中央に冷気ダクト2本を配置し、冷風が中央通路側へ送風されています。測定時の外気温は35.2℃、室温22.3℃、湿度87.0%、二酸化炭素濃度2,617ppmで、空気の循環に淀みが生じないように工夫されています。

赤外線カメラで菌床表面の温度分布を調べると、最も温度が高かったのは棚上段に置かれた菌床で21.7℃、最も低かったのは下段で19.1℃でした。高温障害の心配はありませんが、上下の培地の温度差が2℃以上もあります。

菌床の熟度を均一にするためには、時折上下の菌床を入れ替えるとさらなる改善につながるものと考えられます。

また、南側奥の施設表面温度は27.4℃と最も高く、天井部は26.7℃と室温より4～5℃も高くなっています。その部分の断熱対策を行うことで冷房費を節約することができます。

さらに、2層構造の天井裏に熱がこもらないように強制換気などの対策を行うとよいと思われます(写真1上)。

B生産者の施設は、出入り口が北西に位置し、間口6m65cm、奥行22m、高さ3m30cm。2層構造で、外張りにベジタロンスーパー、内張りにエコポカプチ、天井部分をアルミ断熱材で覆われ、天井中央部に幅60cmの採光用窓があり、上部は等間隔に冷気ダクト4本を配置し、冷風は下向きに送風されています。

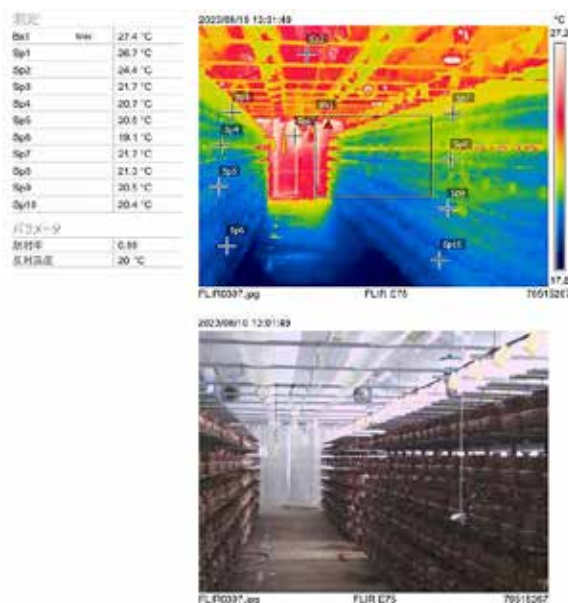
測定時の外気温は34.5℃、室温25.8℃、湿度40.8%、二酸化炭素濃度1,874ppmでサーキュレータ2台を左右の手前と奥に設置しています。

測定の結果、湿度が低く菌床の乾燥が伺えました。分解水の量も少なく、菌床上部の収縮も確認できました。最低でも70%以上の湿度を保つよう散水などの加湿対策を行う必要があります。

画像からは、採光窓からの輻射熱による菌床表面の温度上昇が確認できます。採光窓に近い上部で温度が高く、室温25.8℃に対し菌床表面は26.5℃から27.5℃と1～2℃高いことがわかります。

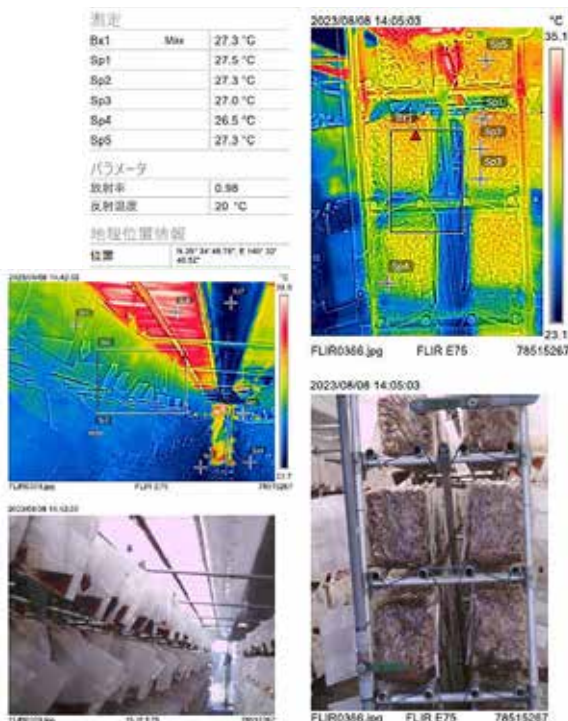
このように採光窓のある施設では、光の当たる箇所やハウス側面からの輻射熱による菌床温度の上昇に注意する必要があります(写真1下)。

A生産者



測定時の外気温：35.2℃
室温：22.3℃

B生産者



測定時の外気温：34.5℃
室温：25.8℃

写真1 完全空調栽培施設内の状況
(上：A生産者、下：B生産者)



イ. 自然栽培施設内部

C生産者の施設は、出入り口が南に位置し、間口7m85cm、奥行36m、高さ3m17cm。2層構造で、外張りにベジタロンNEXTと白色タイベック、内張りにエコポカプチ、全体に散水できるように上部に散水設備があります。

測定時の外気温は34.7℃、室温29.9℃、湿度77.3%、二酸化炭素濃度666ppmで、出入り口に大型扇風機を配置し空気の循環に淀みが生じないように工夫されています。

赤外線カメラで菌床表面の温度分布を調べると、最も温度が高かったのは棚上段に置かれた菌床で31.7℃、最も低かったのは下段で27.4℃でした。散水により、室温は外気温より低くなっていますが、上から2段目までは菌床表面温度が室温より高く、30℃を超えていました。画像から、温度上昇の原因は天井からの輻射熱によると考えられます。

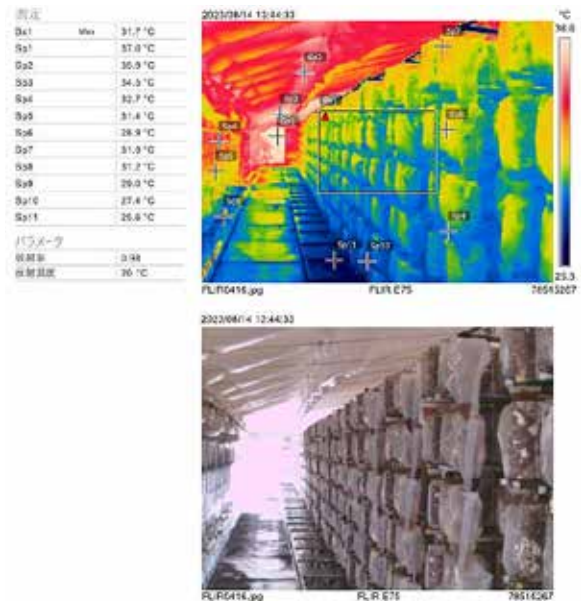
対策として、**天井と上段との間を被覆資材で覆うことで輻射熱による温度上昇を抑制**することができます。上段と下段の培地表面の温度差が4℃以上あることから、できるだけ**各段の温度差が小さくなるように工夫**することで菌床熟度が均一になると考えられます(写真2上)。

D生産者の施設は、出入り口が南東に位置し、間口8m50cm、奥行28m50cm、高さ3m70cm。2層構造で、外張りにベジタロンNEXT、内張りにスカイコートチキナミ5とエコポカプチ。上部に散水設備があり、測定時の外気温は35.6℃、室温32.2℃、湿度73.1%、二酸化炭素濃度910ppm。空気の循環を促すため、施設中央に大型扇風機2台を配置しています。

画像からは、南側から太陽光が外張りや内張りを透過し、菌床表面に光が差し込んでいることがわかります。また、天井部からの輻射熱の影響も大きく、菌床表面温度の高いところでは、34.1℃にまで上昇していました。上段の菌床表面温度は最上段で32.4~32.9℃、下段で31.3℃と上下差は1℃程度でしたが、全体的に30℃を超えていることから、**内張を見直す等の工夫が必要**です。室温は外気温より低く維持されていましたが、今後、発生期を迎え、高温障害の影響が懸念されます。

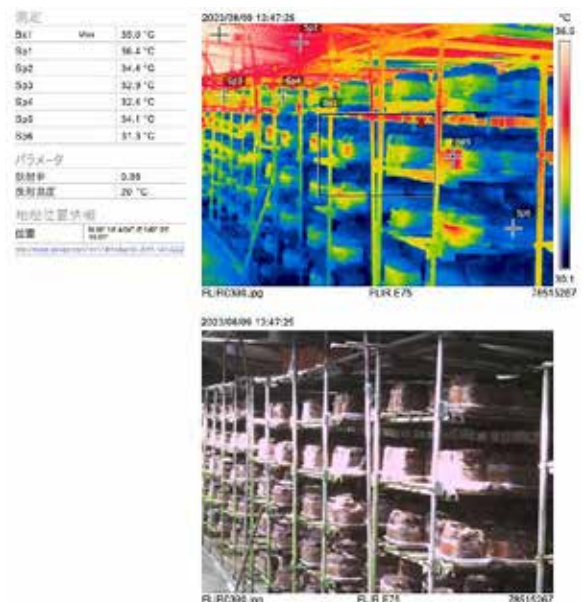
このように**自然栽培では、天井やハウス側面からの間接光や輻射熱による菌床温度の上昇に注意する必要があります**(写真2下)。

C生産者



測定時の外気温：34.7℃
室温：29.9℃

D生産者



測定時の外気温：35.6℃
室温：32.2℃

写真2 自然栽培施設内の状況
(上：C生産者、下：D生産者)

ウ. 菌床の間隔

菌床の密接は、高温障害を引き起こす原因となります。二酸化炭素の濃度を2,000ppm以下に設定した環境下で、複数の菌床が接するようにして培養を続けると、接触面の温度が室温より高くなります。

写真3は、北研705号の培養20日目の菌床（下）を赤外線カメラにより表面温度の測定を行った画像で、赤い部分が室温である青色部分より高くなっていることがわかります（上）。

画像では、菌糸が成長している中央部で活発に発熱しており、1次培養中の温度上昇の状況を色別確認することができます。

また、写真4は4つの菌床を接触させて1次培養を行ったもので、上に示す赤外線画像では接触部が赤くなって温度が高くなっていることがわかります。

30℃以上の高温は菌糸成長を抑制し、最終的に発生に悪影響を与えます。そのため、**発熱を伴う培養期間は、菌床同士が接しないように間隔を3cm以上空けて置く必要があります。**

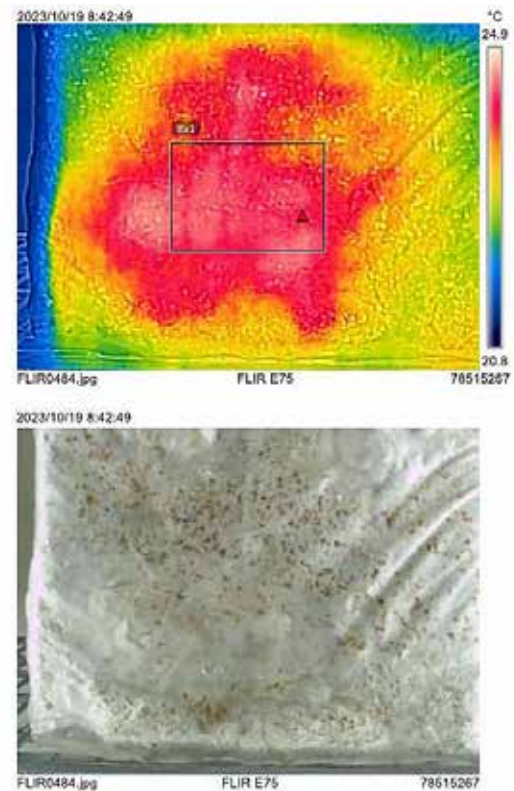


写真3 培養20日目の菌床表面温度分布

測定		
Bx1	Max	24.2 °C
Sp1		23.3 °C
Sp2		22.9 °C
Sp3		23.3 °C
Sp4		23.4 °C
Sp5		22.8 °C
Sp6		22.7 °C
Sp7		22.3 °C
パラメータ		
放射率		0.98
反射温度		20 °C

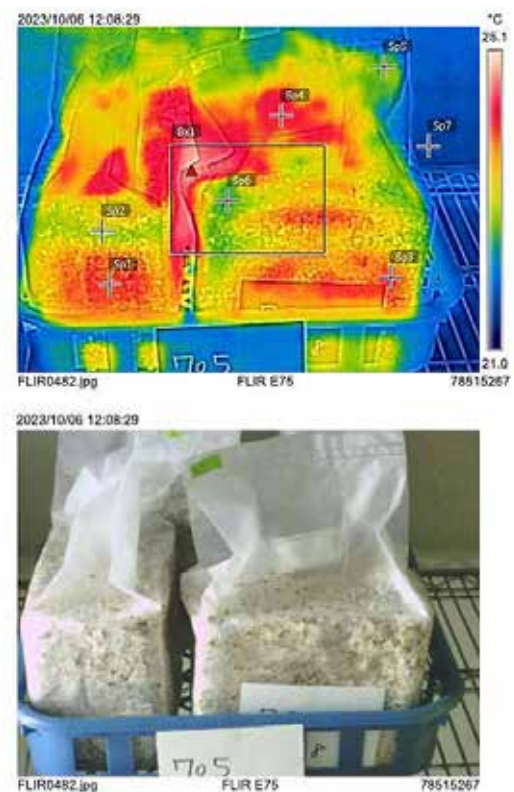


写真4 4菌床を接触させて20日間培養した菌床表面温度分布

菌床間を3cm以上離すことで、
温度上昇を防げるよ。





工. 栽培施設外部

写真5、6は、赤外線カメラで測定した施設外部と周囲の表面温度を示します。A生産者の施設は、ハウス周辺のコンクリート敷き路面の温度が47.8℃と高温でしたが、周囲の緑地が緩衝帯となって輻射熱の影響を軽減しています。一方、B生産者の施設は、路面温度は69.1℃まで上昇し、その輻射熱でハウス下部の表面温度も最大53.7℃に上昇したことで、冷房機器への負担が大きくなっています（写真5）。一方、自然栽培のC生産者とD生産者の施設は、ハウス周辺への散水や緑地帯の効果などで温度の上昇が抑えられています（写真6）。

また、全てのハウスに共通して、**フレーム部分や金属が露出した箇所の温度上昇が顕著である**ことが明らかとなりました。**特に外気温が高くなる夏場は、冷房費削減のために日除けシート等を用いて直射日光が当たらないようにする工夫が必要**です。

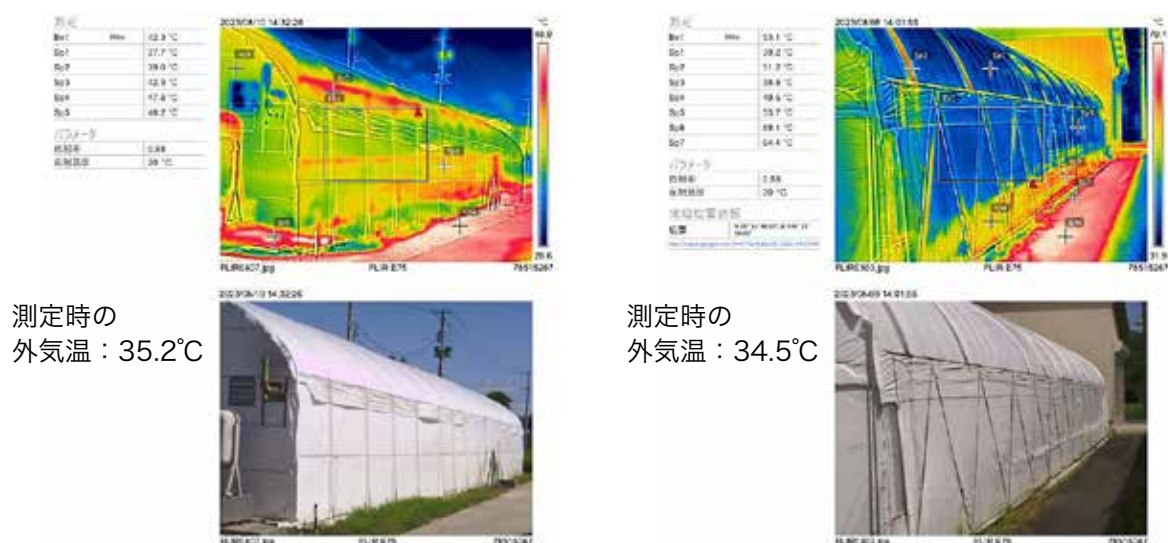


写真5 完全空調栽培施設とその周囲の表面温度（左：A生産者、右：B生産者）

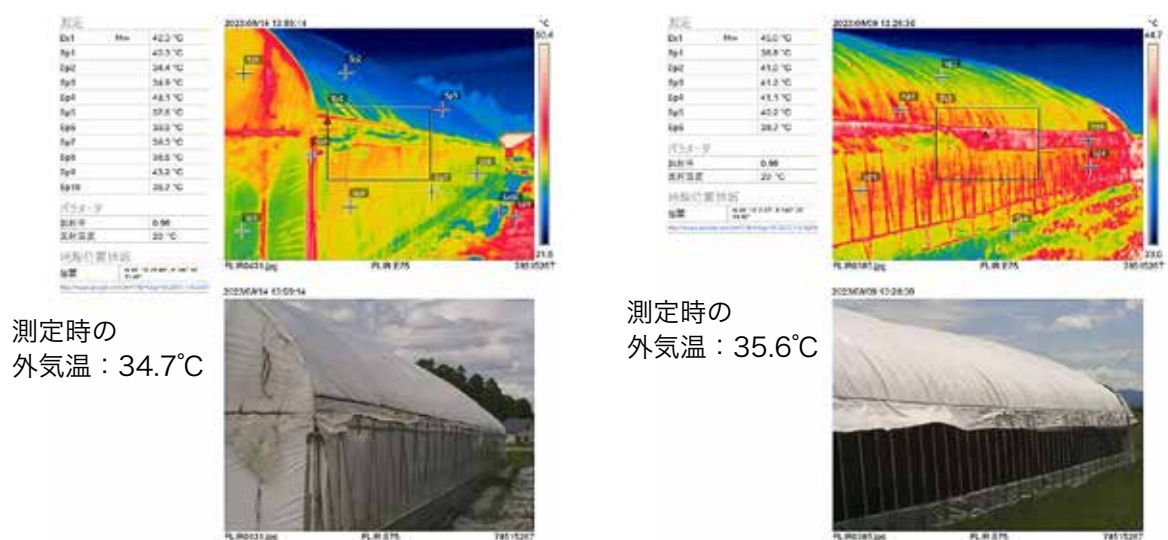


写真6 自然栽培施設とその周囲の表面温度（左：C生産者、右：D生産者）

ポイント：輻射熱と金属部分の温度上昇を防止しましょう

3 二酸化炭素濃度

二酸化炭素は、シイタケ菌が菌床内で生育する過程で呼吸により放出されます。特に、接種から菌糸が菌床内へ蔓延する1次培養期は二酸化炭素の放出が盛んになります。

図16は、2019年7月27日から8月31日までの期間、栽培形態が異なる3つの施設で二酸化炭素濃度を調べたグラフです。完全空調栽培施設の二酸化炭素濃度推移は、県内のシイタケ生産者で最も多くみられるパターンを示し、2,000ppm前後を推移しているのがわかります。また、半空調栽培施設は1,000ppm前後で推移しており、適切な換気ができていることが伺えます。これに対し自然栽培施設では、1,000ppmから高いときで10,000ppm超えまで増減を繰り返していることがわかります。

図16の下には、二酸化炭素濃度の1日の変化がわかるように8月1日から4日までの4日間の変動について詳しく示しました。自然栽培施設における二酸化炭素濃度の増減のパターンは、朝から夕方にかけて低く、夜間に上昇していることがわかります。これは、昼間は作業のためにドアを頻繁に開閉することで大量の空気の入出りがあり、自然と換気ができている状態にある一方で、夜間は人の出入りのない密閉された状態が続くため、徐々に濃度が高くなるものと考えられます。

高濃度の二酸化炭素は人体に害を与えます。指針に示されているように、菌床シイタケ栽培施設の二酸化炭素濃度はできるだけ2,000ppm以下で管理したいものです。

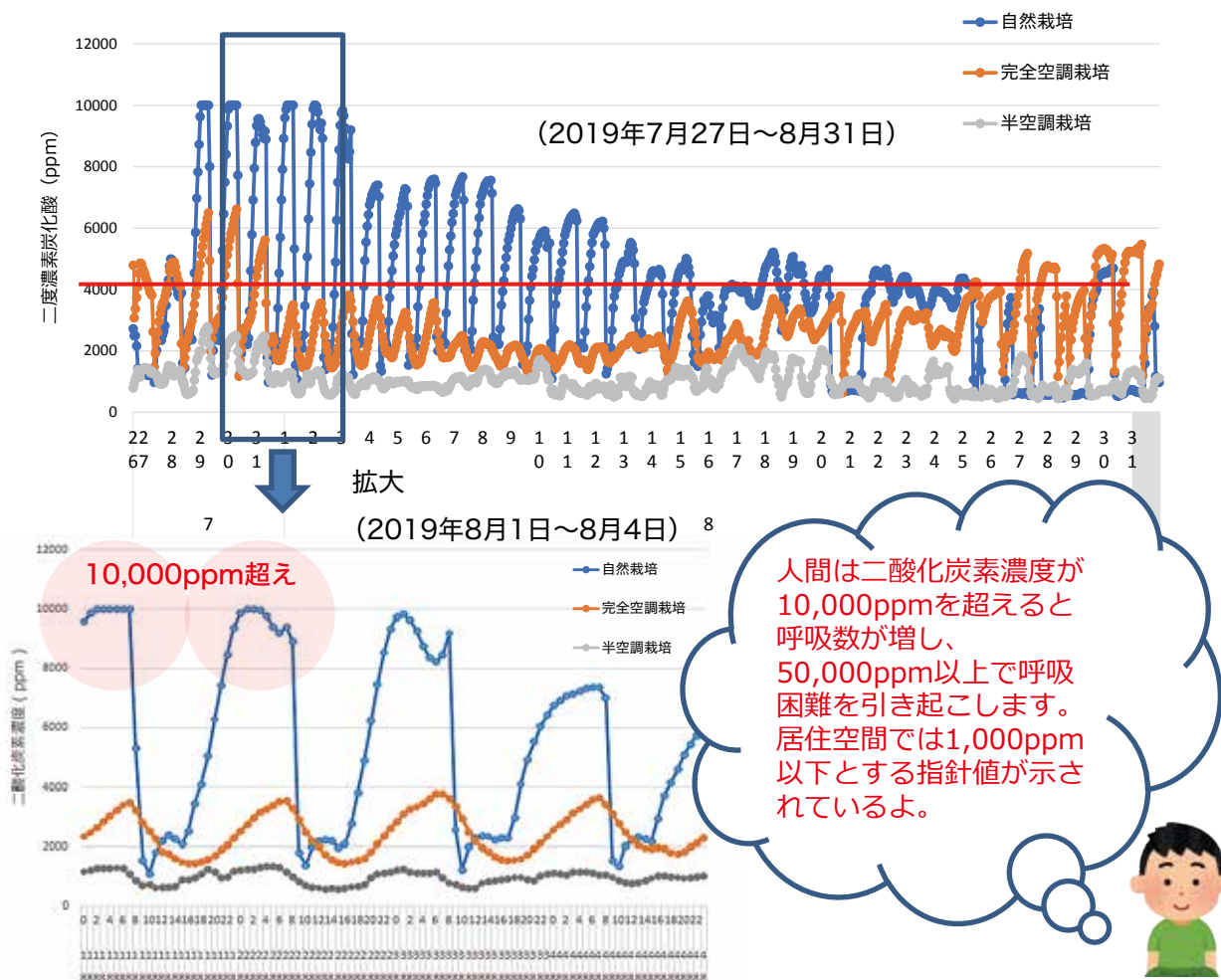


図16 栽培施設別の二酸化炭素濃度推移



4 光環境

光は、シイタケの収量や品質に影響を及ぼします。図17は、2021年12月15日と16日に7か所のシイタケ発生施設で計測した光環境を比較したのですが、施設によって大きく異なっているのがわかります。このような違いは、窓の有無や位置、遮光状況、照明機器の設置状況などによって生じます。

培養時の光環境は、収量に影響を及ぼします。ポイントとして1次培養期は暗黒環境でも問題はありませんが、2次培養期は菌床表面の褐変化やきのこの原基形成に一定の明るさを持った光が不可欠であるため、作業に差し支えない程度の照明が必要です（直射日光は厳禁です）。きのこの原基形成量は後の発生量を左右します。

一方、発生時の光環境は、菌傘の色ときのこの重さ、柄の長さ、柄の太さ等の品質に影響を及ぼします。例えば、菌傘の色については、暗黒条件や黄色や赤色の光が強い環境だと色が薄く（白っぽく）なり、蛍光灯や紫外線、青色の光が強いと色が濃くなる傾向があります（写真7）（阿部・西澤2011）。また、柄の太さは、明るい環境だと細くなり、暗い環境だと太くなる傾向があります。

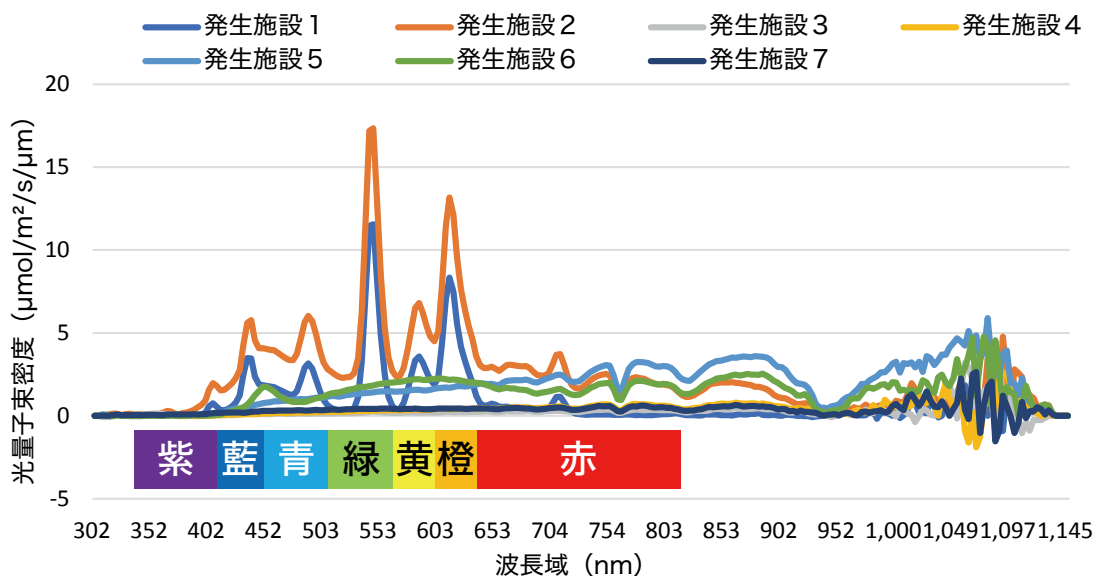


図17 発生施設内の光環境



生産者A（暗い環境）



生産者B（明るい環境）

写真7 光環境の違いが菌傘の色に与える影響

ここがポイント



注意点のまとめ



ここがポイント

温度管理

1次培養期と2次培養期は施設全体、発生期は休養時にしっかりと

- 1次培養期は菌床が発熱するので注意：P11参照
- 2次培養期は長期間高温環境で培養すると高温障害が発生しやすくなるので注意：P14参照
- 発生期は休養時の温度管理と処理期間に注意：P12参照
- 採光窓のある施設では光の当たる箇所やハウス側面からの輻射熱による菌床の温度の上昇に注意：P15-16参照
- 棚の上段と下段では2℃以上温度差があるので、可能であれば上下を入れ替える：P15-16参照
- 菌床間の距離を3 cm以上あける：P17参照

二酸化炭素濃度

1次培養期と発生期で特に高まるので換気の徹底を

- 1次培養期と発生期は二酸化炭素の放出が盛んになるため、換気を十分に：P19参照
- 2次培養期に自然栽培施設などで高めの温度環境下で培養する場合、温度管理とともに換気を十分に：P14参照
- 濃度は2,000ppm以下にするのが理想（最低でも3,000ppm以下にする）：P19参照

光環境

必要となるのは2次培養期以降だが、直射日光のような強い光は厳禁

- 1次培養期は暗黒環境で培養することが可能：P20参照
- 2次培養期は作業に差し支えない程度の照明が必要（ただし直射日光は厳禁）：P20参照
- 発生期も2次培養期と同様またはより明るい光環境が必要（ただし直射日光は厳禁）：P20参照

湿度管理

培養期は70%程度、発生期は80~90%を維持して品質の向上を

- 培養期の低湿度環境は菌糸塊の形成と菌床の収縮が生じやすいため、70%程度の湿度を維持する：P15-16参照
- 日持ちの良いシイタケを育てるため、発生期は80~90%前後の湿度を維持する：P10参照

第4章 次世代を担うシイタケ生産者たちの新たな取組

1 冷房なしで酷暑を乗り切る

すずき たかや
鈴木 貴也 氏（仙北市）

鈴木貴也氏（写真8、9）は、高校卒業後は他業種の仕事に従事していましたが、腰を痛めてから家業のシイタケ栽培に取り組み始めました。最初の5年間は、両親から菌床シイタケのノウハウを学びながら従事していました。

その後、独立して生産から出荷まですべて1人で管理しています。今では、それ以外にドローンによる薬剤散布や稲作にも従事しています。

鈴木貴也氏の父である鈴木八寿男氏（写真10）は、農事組合法人仙北サンマッシュの代表を務めています。

農事組合法人仙北サンマッシュは、仙北市角館町雲然地区で培養センター方式による菌床シイタケの一貫生産形態で生産を行っています。

培養は空調培養方式で、発生はフレームハウス2棟を利用した上面方法を行っています（写真11）。また、鈴木八寿男氏は、シイタケ以外にも稲作30 haを耕作しています。



写真8 鈴木 貴也 氏



写真9 選別作業の状況



写真10 鈴木 八寿男 氏



写真11 鈴木八寿男氏の栽培施設

第4章 次世代を担うシイタケ生産者たちの新たな取組

鈴木貴也氏は、菌床を農事組合法人仙北サンマッシュから購入し、栽培施設1棟で培養・発生を管理しています。空調機器は暖房のみで、冷房機器はありません。そのため、地下水を夏場の高温対策に利用しています。また、計測機器は特に設置しておらず、棒温度計による菌床内温度測定と室内温湿度計を用いた環境測定のみとしています。

栽培環境は、フレイムハウスを利用した自然栽培方式で、発生は上面栽培としています。栽培品種は、H705号(2,500床)とH907号(1,000床)で、父の鈴木八寿男氏(H607-03号:8,000床)とは異なります(写真12、13)。

収穫出荷時期は、10月中旬～3月中旬と冬期間のみで、販売はJA出荷が7割、残りの3割を中仙イオンや道の駅なかせん等に直接販売しています。

2023年の夏は、県内観測史上最高となる気温39.2℃を記録し、8月の平均気温は30℃、41日連続で最高気温が30℃以上となるなど記録的な猛暑に見舞われました。しかし、そのような状況下で冷房機器を持たない設備で酷暑を乗り切りました。高温対策として、地下水をコンクリート敷きの土間に散水し、蒸散する水の気化熱で室内温度と菌床内温度の上昇を抑制しました。また、2層構造となっているハウスの天窓を開放し、空気の循環効率を上げる等の工夫により、従前どおりに発生量を確保することに成功しています。

先人たちは、冷房機など使わず、夏期カットや散水、日除けシート等で猛暑を乗り切り秋田ブランドを築き上げてきました。燃料費など生産コストの上昇によりシイタケ生産から離脱する生産者も少なくない今の時代だからこそ、あえて冷房機器を使用しない低コスト自然栽培技術が必要なのかもしれません。

今後の目標は、シイタケ栽培だけで生計を維持できるようにすることです。そして、培地づくりから販売まで総合的に対応できる技術者となり、IoTなど使える技術を活用した独自のブランドを立ち上げ、技術の醸成を図っていききたい。将来的にはシイタケ生産が仙北地域における活性化の原動力となるような産業にしていきたいと考えています。



写真12 栽培施設の外観



写真13 栽培施設内の状況

2 IoT機器で施設環境の見える化を

代表理事 ^{くまがい}熊谷 ^{まさる}賢 氏
農事組合法人みずほ（横手市）

熊谷賢氏（写真14）は、父親が2011年から冬期間の収入源として始めた菌床シイタケ栽培を引き継ぐかたちで、4年前からシイタケ栽培を始めました。現在、シイタケ以外に稲作63 ha、エダマメ6 haを作付けし、売上高は米5割、シイタケ4割、エダマメ1割という経営となっています。



写真14 熊谷賢氏

事業全体の従事者数は、役員6名、正社員10名、パート約20名の計36名で、シイタケ部門は夏期5名、冬期10名の体制で運営しています。栽培方式は菌床購入タイプで、近隣の培養センターから一次培養済みの菌床を年間55,000床ほど購入しています。栽培環境は、冷暖房機器を設置したフレームハウスで二次培養から発生までを6棟で管理しています（写真15）。

環境計測機器は、ハウスごとに異なる2社のIoT機器を設置し、室内温度、菌床内温度、照度、二酸化炭素濃度及び培地内水分量などを測定し、収集したデータをアプリで管理し効率化を図っています。栽培条件は、昼夜の温度差のある空調栽培とし、発生は上面栽培です。

栽培品種はH705号とH607-LL号で、夏期はこれらをそれぞれハウス2棟で栽培していますが、冬期はH705号のみをハウス4棟で栽培しています。また、令和6年度からは、上面栽培用品種の森Jh9号を新たに栽培に加える予定です。

販売は、JA出荷が9割以上を占め、残りはネット販売と直販で、1菌床当たりの売り上げは770円となっています。

通年出荷は、需要に合わせて成育を進めるため、温度や湿度、二酸化炭素の管理が欠かせません。最近では、年間300万円程度だった電気代が500万円以上に上昇し、2023年は夏場に高温が続いたことで冷房が終日稼働するなど、電気代の上昇に不安感を持っています。

このまま資材や光熱費の高騰が続くようであれば、1菌床当たりの販売価格を900円程度まで上げなければ経営存続が難しいのではという危機感も抱いています。



写真15 栽培施設の外観

第4章 次世代を担うシイタケ生産者たちの新たな取組

生産コストの上昇に対応するため、農事組合法人では様々な取組を実践しています。具体的には、外気温が下がる夜間に冷房機器を稼働させてハウス内の温度を15℃以下まで下げ、昼は冷房機器を稼働させずに空気の循環のみで25℃程度に維持することで電気代を節約しています。

また、スマート栽培の実践に向けて数社のIoT機器を導入し、環境データを測定・分析し、使いやすさやコスト面について比較検討を行っています。こうした取組で、温湿度、照度、菌床内温度がスマホで確認でき、異常な温度になった場合はメールで知ることができます。

2023年の猛暑下では、IoT機器からの情報を基に菌床内の温度を30℃以上にさせない等、高温障害を防ぐ環境制御技術は県内でもトップクラスのものでした。なお、得られた情報は、効率的な生産に直結するスマート化技術として地域の生産者へ情報発信する等、周囲の生産現場にも貢献しています。

さらに、規格外のシイタケを無駄なく利用し、シイタケの加工品「一寸椎茸のうま煮」を開発するなど売上げを伸ばすための取組も進めています（写真16）。現在は、敷地内に新たに加工施設を建設し、将来は障害者を雇用することで社会福祉にも貢献したいと考えています（写真17）。

近年は、地域の子供たちに田植えや稲刈りといった米作り体験や食育活動など長年にわたる交流活動に対し、感謝状が贈呈される等その功績が認められてきています。

2023年11月には、志を共にする仲間とSDGsに配慮した「秋田新鮮組」を立ち上げ、「有機JAS」や「Global GAP」、「見える化ラベル（農林水産省）」等を取得し、生産物に付加価値をつけ、さらなる独自ブランドの強化を図っていく計画です。



写真16 シイタケの加工品



写真17 シイタケの加工施設建設予定地

3 地域資源でオリジナルブランドを

代表 ^{いせはやと}伊勢隼人氏

レンチナス奥羽伊勢（八峰町）

伊勢隼人氏（写真18）は、料理人を経て17年前からシイタケ栽培に取り組みました。

レンチナス奥羽伊勢の従事者数は、家族4名、パート9名の計13名体制です。従業員には、元整備士や元美容師など異色の経歴を持つメンバーがそれぞれの個性や強みを活かしつつ、地元や農業を盛り上げるため、日々試行錯誤を繰り返し楽しみながらシイタケ栽培に従事しています。



写真18 伊勢隼人氏

栽培方式は自家仕込みタイプで、年間15万菌床を製造し、菌床製造1棟、培養4棟、発生2棟で管理しています（写真19）。環境計測機器は設置していませんが、室内温湿度、二酸化炭素濃度には注視しています。培養は24℃で93日間、発生は15℃一定で全面発生とし、1回の浸水による2回採りで菌床を処分しています。栽培品種はH902号とし、30日間の発生期間で2回収穫を行い、1菌床当たり800gの収量を得ています。

販売は、JA出荷が4割、直接取引4割、産直2割で、キログラム当たりの単価は全ての販売先で概ね1,100円を維持しています。

通年出荷には、需要に合わせて成育を進めるための温度や湿度、二酸化炭素の管理が欠かせません。そのため、夏場の2か月ほどNTTのIoT機器を試験的に導入し、ハウス内の温湿度や菌床内部の温度などを測定して有用性を確認しました。ただ、当時はその導入と維持管理のコストが高く、設置を諦めた経緯があります。昨今は安価に導入できるIoT機器を見つけ、順次施設に導入していきたいと考えています。

2023年は夏場の高温下で、冷房をフル稼働させてもハウス内の室温を29℃より下げることができませんでした。このため、天窓を開放したり、室外機に直射日光が当たらないように工夫する等の対応をしました。

また、室内の温度や二酸化炭素濃度が上がらないよう空気を入れ替え、サーキュレーターで頻繁に空気を攪拌することで高温障害抑制に取り組みましたが、小型化したきのこが発生する等の影響がありました。



写真19 菌床調製の状況

第4章 次世代を担うシイタケ生産者たちの新たな取組

失敗の許されない経営状況の中、レンチナス奥羽伊勢では、生産コストの上昇に対応するため様々な取組を行っています。

今年度は、夏場の電気代節約のためにソーラーパネルを設置し、光熱費を4割弱削減できる見込みです（写真20）。

また、毎年数品種の栽培試験を行い、最も収量性が高く、品質も優れている自社の施設に適した品種の選定も進めています。



写真20 ソーラーパネルを設置した栽培施設

これまでの例では、森126号を栽培した場合、自社方式の2回採りでは、1菌床当たり600g前後しか収穫できなかつたものが、H902では800gもの生産が見込まれたことや品質面で優れていたことから、現在はH902をメインに栽培しています（写真21）。

収穫は2回採りで終え、廃菌床は近隣の生産者に1個10円で販売しています。販売の際には、栽培指導も実施しているので大変喜ばれています。

今は1菌床当たり10円でも多く儲ける方法を模索するため、IoT等を活用した先進的なスマート栽培の取組を実践していきたいと思っています。

レンチナス奥羽伊勢は、会社が世界遺産白神山地の麓にあること、その湧水を使って栽培していること、さらに菌床も自社で生産していること等から地域素材を活かしたオリジナルな菌床製造を可能とする条件が整っています。

これらの資源を有効に活用し、地域オリジナリティーに富んだシイタケを販売名「黒」としてSNS等で情報の発信を行い、売上げを伸ばす取組を拡大していきたいと考えています。

なお、YouTubeでもそうした情報発信をしていますので、ぜひご覧ください（写真22）。



写真21 栽培施設内の状況



写真22 SNSによる情報発信

コラム 栽培に関する疑問

1 温度

Q1 シイタケ菌が最も成長する温度は何℃ですか？

図18は、直径9 cmのシャーレを使った寒天培地の中心にシイタケの菌を置き、温度10、15、20、25及び30℃の条件下でそれぞれ培養した場合、1日にどのくらい菌糸が伸びるか調べたグラフです。

結果は一目瞭然で、シイタケの菌糸は25℃で最も成長していることがわかります。

一般にきのこの菌糸は、温度5℃付近から増殖し始め、25℃で最も活発に成長し、30℃を超えると極端に成長が悪化し、35℃以上になると成長はほぼ停止してしまいます。

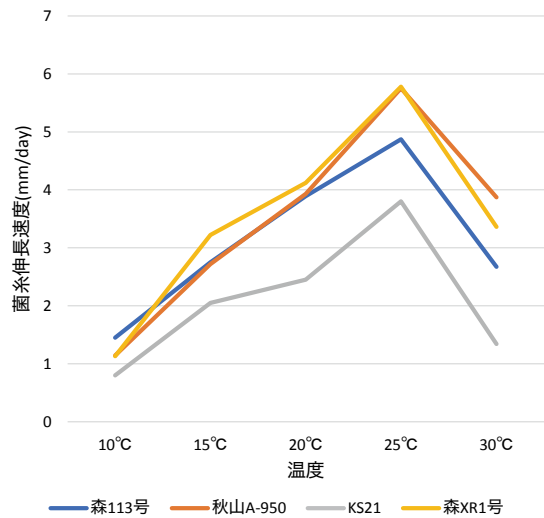


図18 シイタケ菌の成長と温度

Q2 赤外線カメラによる施設外部温度の「見える化」で栽培環境の改善を！

写真23の施設は、フレームパイプの2層構造で、冷暖房機器を設置した完全空調施設です。

室内の温度は22℃設定で、天窓を両サイドに有し、ハウス裏側には排気用の換気扇が設備されています。赤外線カメラによる撮影は、2023年8月23日の13時30分頃、天気は晴れ、外気温36.2℃の条件下で行いました。

換気口が閉まっているにもかかわらず、冷気が漏れ出しているのが、この部分は内張の補強が必要です。また、天窓が開いているにもかかわらず、天井上の空間内部温度は50℃以上の高温となっています。このようなところには換気扇などの排気システムを装備することで、外気温に近い温度まで下げることができます。

さらに、周囲のコンクリートが55℃以上となっていますが、散水などをして輻射熱による温度上昇を防ぐとよいでしょう。

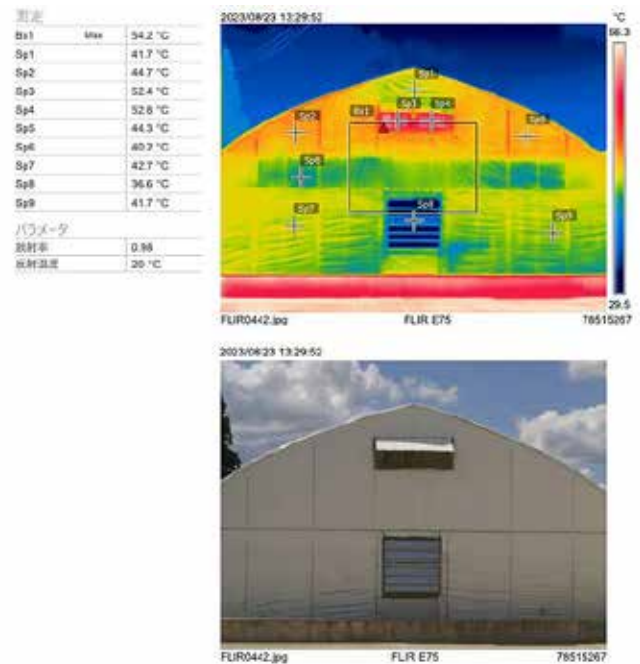


写真23 測定施設 (上が赤外線カメラの撮影画像)

Q3 同じ栽培施設の中でも培養や発生に良い場所と悪い場所がありますが、この原因はどこにありますか？改善することはできますか？

菌床シイタケ栽培は、主にフレームパイプの2層構造からなる施設で行われます。完全空調栽培、自然栽培に拘らず、同じ室内でも培養の出来が良い箇所、悪い箇所、発生に適した箇所や適さない箇所があることは周知のとおりです。また、カビ類やキノコバエ等が発生しやすい箇所も必ずあります。

なぜそのような箇所が生じるのでしょうか。

原因は、施設内のそれぞれの箇所で温湿度差やそれによる環境汚染などが生じているためです。

例えば、室内の温度は、栽培棚の上段で高く下段で低くなります。一方、二酸化炭素濃度は、これとは逆に上段で低く下段で高くなります。また、湿度も同様に蒸散で上段が低く下段が高い傾向を示します。

発生不良を起こしやすい箇所は、直射日光が当たる棚の上段側面、施設奥の両サイドや中央下段になります。特に直射日光が当たる南側の上段側面は、輻射熱による温度の上昇や乾燥の影響を受けやすく、空気が停滞しやすい中央部下段や施設奥の両サイドでは、発生不良を引き起こしやすくなります（図19）。

これらは、IoT機器など環境センサーを用いて施設内の環境を改善するだけで、すぐに解決することができます。環境センサーを活用し、施設全体がシイタケにとって好適環境となるように、自分の施設の中の培養や発生に適さない箇所を把握しておくことは非常に重要です。

こうしたことで高品質なシイタケの発生量が増加し、収益が増すなど経営を改善できます。

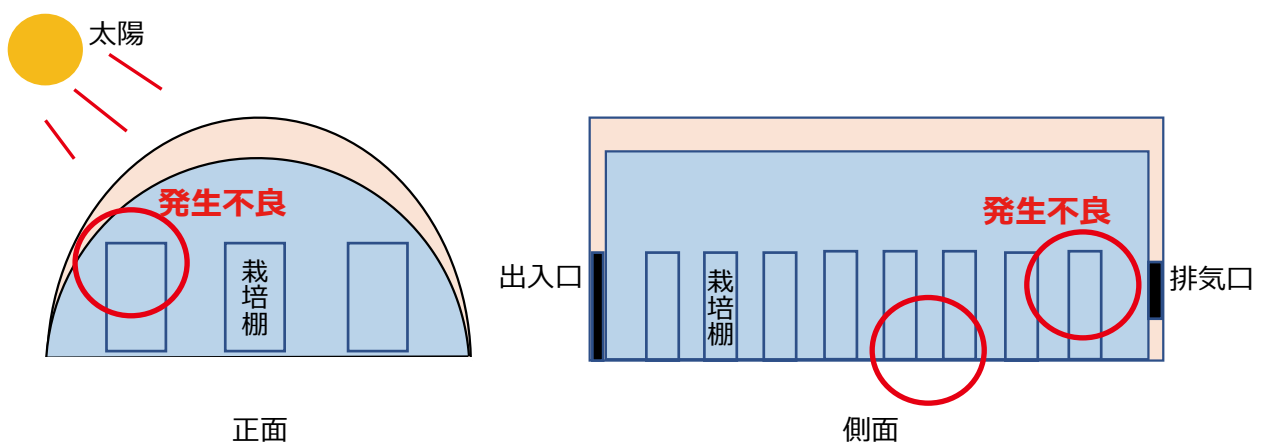


図19 菌床シイタケの栽培施設中にみられる主な発生不良箇所

ポイント：発生不良箇所の環境因子を知ることが大事

2 二酸化炭素

Q1 二酸化炭素は、空気中にどれくらい含まれていますか？

大気の組成は、窒素が78%、酸素21%、アルゴン1%、二酸化炭素は0.04% (410ppm) となっています (図20)。

二酸化炭素の気体は無色無臭で、空気の1.5倍の重さがあるため、拡散はするものの、低い場所へ流れて貯まるという特徴があります。

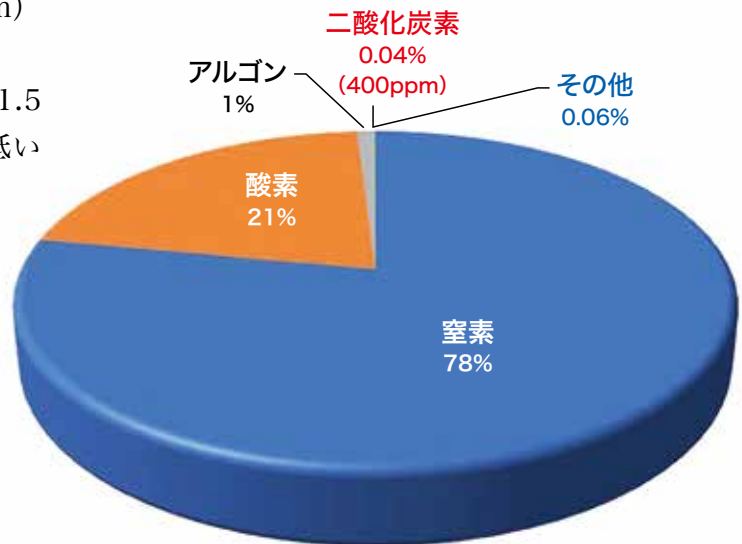


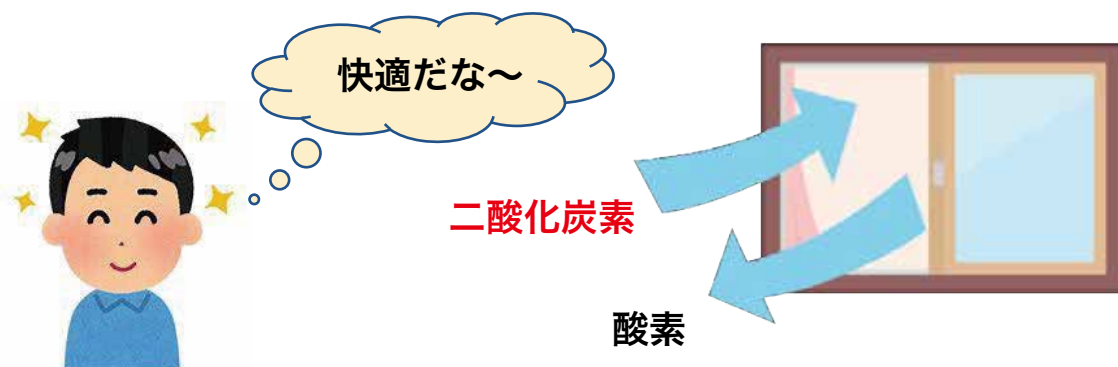
図20 大気の組成

Q2 家や部屋の中の二酸化炭素濃度の基準はどのくらいですか？

空気中の二酸化炭素の濃度は410ppmで、一般に部屋の中の二酸化炭素濃度は1,000ppm以下であることが基準とされています。

二酸化炭素濃度は、室内の空気汚染を判断する1つの指標となっていて、新型コロナウイルス対策でも1,000ppm以下に保つように換気が促されていたことを覚えている方も多いと思います。

ちなみに、二酸化炭素濃度が高くなると息苦しさや頭痛、倦怠感など様々な症状がでできます。



Q3 シイタケも人間のように換気が必要でしょうか？

シイタケに関して、二酸化炭素の生理的な影響は詳細に調べられていませんが、人間よりは高い濃度に耐える性質を持っているようです。ただし、ヒラタケやマイタケ、キクラゲ等では2,000ppmを超えた環境下で栽培した場合、奇形のきのこが発生することが知られています。

栽培に関しては、人間が働く屋内の環境で生育していることから、できるだけ1,000ppm以下となるような条件で行いたいものです。多くの種菌メーカーからは、2,000ppm以下で管理するようにとの指針が示されています。2,000ppmと若干高めに設定している理由は、1,000ppm以下とした場合、頻繁に換気が必要となり、その分冷暖房機器の稼働時間も長くなってしまうため、光熱費がかかり増しになるからです。

【換気の目的】

- シイタケ菌の呼吸により生じた二酸化炭素などの汚染された空気を排出します。
- 室内の熱せられた空気を追い出し、低い温度の外気を取り込み涼しくします。
- 水蒸気を排出し、除湿することでカビ、ダニ等の発生を抑制します（写真24、25）。
- 空気中に浮遊するカビやシイタケの胞子などを排出します。

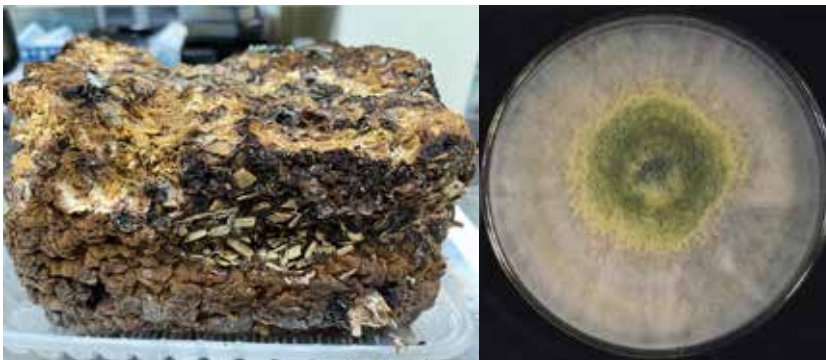


写真24 カビ類による汚染



写真25 ケナガコナダニ



接種直後から、菌床内部の二酸化炭素濃度は上昇し始め、培養中期には10,000ppmを超えるよ。私たちには危険な濃度だね。



Q4 菌床はどのように換気を行っているのですか？

シイタケは、栽培袋上部にあるフィルターを通して酸素の吸収、蒸散や呼吸によって生じた二酸化炭素などのガス交換を行っています。このフィルターは種類によって穴の大きさが異なります。

図21では、模式的な拡大図としてフィルターの穴を小さな丸で示しましたが、実際は繊維が絡まり合った小さな隙間が空いています。

このガス交換は、基本的に拡散（物質が濃度の高いところから低いところへ移動する性質）によって行われており、積極的に排出を行ったり、吸入を行ったりしてはおりません。

部屋と窓の関係で例えるなら、空気を動かすというのは、部屋の窓を一つ空けるような状況で、部屋の中と外の濃度差に依存した物質の移動によりやり取りを行っています。効率は良くありませんが、部屋中の酸素濃度が外よりも低く、二酸化炭素濃度が高い場合、酸素は部屋の中に入り、二酸化炭素は部屋の外へ出ていきます。

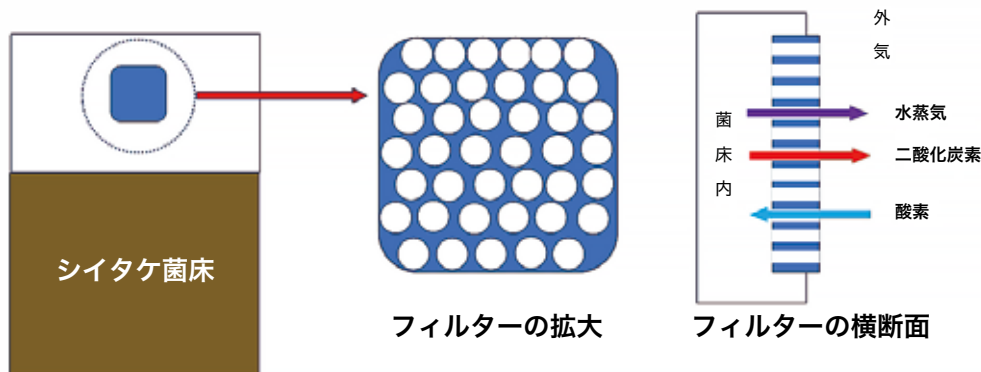


図21 栽培袋にあるフィルターの模式図

空気が動いていないとフィルターの内外で濃度差が生じにくいいため、菌床内部の二酸化炭素濃度は低くなりにくくなります。一方、外気が動いていると濃度差が生じるため、菌床内部の二酸化炭素濃度は設定した濃度にまで希釈されやすくなります（図22）。

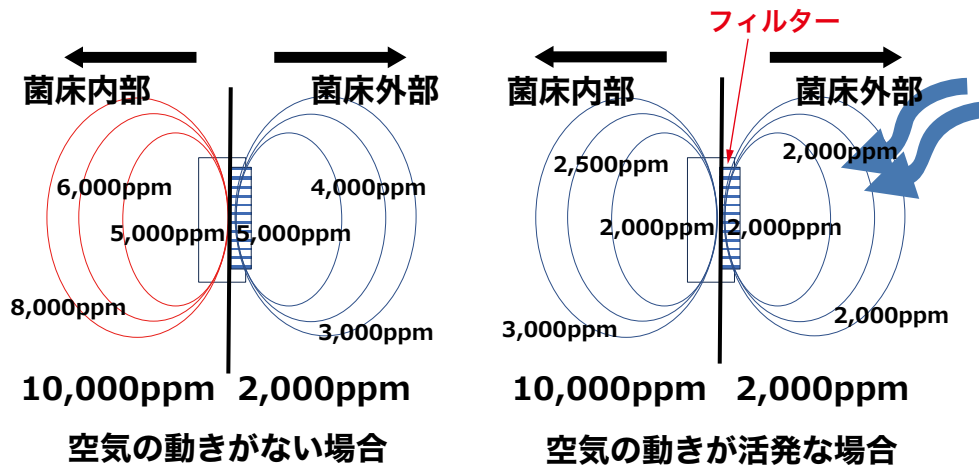


図22 二酸化炭素濃度が2,000ppm以下に設定された室内における二酸化炭素濃度の分布

ポイント：淀みが生じないように積極的に室内の空気を動かしましょう

3 コスト削減

Q1 コスト削減に向けてできることを教えてください。

ここでは、培地に用いるおが粉と栄養体を例に述べます。

(1) 培地基材（おが粉）

シイタケ菌床栽培では、東北地方ではコナラ、ミズナラを主体とした広葉樹のおが粉と粗めのチップが使用されています。粗めのチップを加えることで、菌床の収縮が抑制され、長期にわたって収穫が可能となります。しかし、チップは、おが粉と比較して価格が高めで、加え過ぎると含水率の調整が難しくなるという欠点もあります。県内で使用されるシイタケ菌床へのチップの混合割合は、生産者によって3～8割まで大きな幅がありました。このことから、チップの混合割合を品種ごとに最適化すればコスト削減につながるものと考えます。

例えば、シイタケは、2回の発生で菌床から採れるきのこ全体の6～7割が収穫できます。そのため、回転率を上げる目的で2回収穫を行えば菌床を廃棄する生産者も少なくありません。一方、北研705号の菌床は、廃棄する時期になっても収縮があまりみられずしっかりとした形状を維持したままで、廃床から大量のシイタケが発生したりします。このような点を考慮したとき、チップをたくさん培地に加える必要があるでしょうか。

当センターでは、県内で主に用いられている品種ごとにチップの添加割合を変えて発生量や品質を調べたところ、それぞれに違いが認められています。したがって、使用する種菌や栽培方法に応じてチップ添加量の最適化を図ることで、コスト削減ができます。

(2) 栄養体

菌床栽培に加える栄養体は、各種菌メーカーから様々なものが販売されています。こうした市販の栄養体は、きのこの種類や品種に最適な必須成分がバランス良く配合されており、単体で使用しても誰もが同じようにシイタケを生産できるというメリットがあります。

しかし、これらは「米糠」や「一般ふすま」など基本となる栄養剤の価格と比べると、倍以上の価格設定となっているのが通常です。

こうした市販の栄養体を、米糠や一般ふすまを主体にミネラルや地域の副産物を加えた独自配合のものに変えることで、従来の1/3程度までコストを削減することができます（秋田県林業普及冊子No. 27）。また、培地に加える栄養体の種類によっては、さらにシイタケの有用分量が増加する場合もあります。

使用する栄養体を見直すことで、このようにコスト削減と同時にシイタケに含まれる成分の量的変化をもたらす等、オリジナリティーに富んだ独自のシイタケ生産が可能になります。

ポイント：コスト削減に向けて、おが粉や栄養体を見直そう



Q2 換気の見直しにより、どれくらいコストを削減できますか？

きのこの生育や施設の稼働状況を確認するためには、1日3回以上の巡回が欠かせません。しかし、IoTセンサーやカメラを導入すれば、1日1回程度の巡回管理回数まで削減が可能となります。

冬期に生産施設の二酸化炭素濃度を計測した結果、換気回数を従来の1/5以下に減らせすことができ、光熱費にして約20%のコストの削減ができました(図23)。

IoTセンサーを用いた栽培環境の見える化により、二酸化炭素濃度を指標として空気の汚染具合を把握することで、カビ等の害菌やキノコバエなどの害虫による被害をある程度抑制することが可能です。そして、こうして汚染されたシイタケの廃棄率を減らしていくことが、シイタケの品質向上と増収につながり、最終的に経営の改善が期待できます(写真26)。

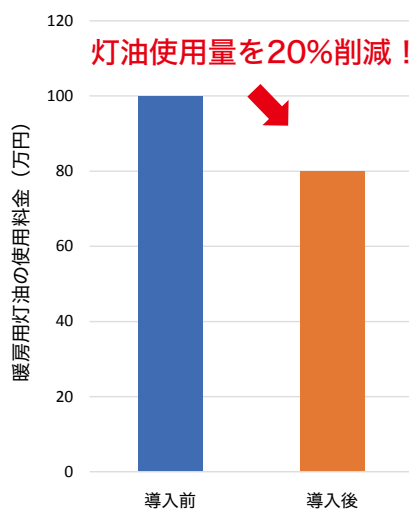


図23 環境センサー導入の効果(例)

写真26 害菌や害虫汚染により廃棄されるシイタケ

(「秋田しいたけのブランドを守るIoT活用で稼げる農業へ」仙北市実証事業成果より)

Q3 センサー等の導入コスト及び生産者の状況、今後導入の可能性は？

環境センサー機器の価格帯は、2万円から10万円台までで比較的安価に購入できます。現在、仙北・平鹿地域を中心に導入実績があります。県は、センサーの有効性を広く認知してもらうため、生産者を対象としたセンサー導入効果に関するセミナーを開催する等その普及に努めています。

今後は、若手生産者を中心に導入が見込まれています。IoTやスマホ、パソコンと聞くと年配者は敬遠しがちですが、従来の温度計で計測するのと同じ感覚で環境センサーによる監視を行うことができます。不明な点があれば、いつでもお問い合わせください。

本冊子に関する詳しいお問い合わせは下記にお願いします

秋田県林業研究研修センター 資源利用部 きのこと担当・研修普及指導室 普及指導班
〒019-2611 秋田県秋田市河辺戸島字井戸尻台47-2
TEL 018-882-4513・FAX 018-882-4443・E-mail forest-c@pref.akita.lg.jp

おわりに

生産者は、いま燃料費などの高騰による生産コストの上昇や高齢化による生産離脱などの難題に直面しており、さらなる作業の効率化と安定生産に導く新たな技術変革が求められています。

近年、国内で生産されているシイタケの品種は、種菌メーカーが開発した数種に限定されています。その中で、どのように産地としての特長を出していったら良いのでしょうか。ヒントは、同一品種を栽培しても生産者によってシイタケの品質や発生量に違いがみられることにあります。

例えば、培養が未熟な菌床を発生させてしまうと、シイタケが発生しなかったり奇形が多発したりします。一方、過熟な菌床を発生させると芽数が増え、小さなシイタケしか採れないことは周知のとおりです。

発生環境では、薄暗い施設で栽培されたシイタケは傘の色が薄く、柄が長くなります。また、湿度が高い環境で育てると傘の色が濃く、日持ちの悪いシイタケになります。このように生育環境の違いが、シイタケの量と質に影響します。

これからの時代、シイタケ生産で失敗は許されません。低コストで高品質、高収量のシイタケを安定的に生産するためには、施設や使用する品種の特徴を十分に理解した上で、環境を適正に管理する必要があります。そのための変革の一つが、IoTを活用したスマート栽培技術です。

今回、紹介したスマート栽培技術は、「見える化」による栽培環境改善が中心となっています。近い将来、環境機器の「遠隔操作」や「自動制御」が実現すれば、さらに新規参入もしやすくなり、きのこ産業の発展と共に地域の活性化にもつながるでしょう。本書をきっかけに、IoTなど利用可能な技術を駆使することで、より一層低コストで省力・省人化による持続可能なシイタケ栽培を目指し、秋田を元気にしていただければ幸いです。

最後に、データ取得に協力いただき、貴重なご意見をくださった本県シイタケ生産者の皆様に心からの謝意を表します。

引用文献・参考文献

- 秋田県（1975）第15章林産の推移。（秋田県林業史—下巻—。秋田県，秋田県）443-477
- 秋田県（2019）未利用地域資源を活用したきのこ栽培。秋田県林業普及冊子 No. 27
- 秋田県農林水産部（2017）平成29年度秋田県農林水産業関係政策の概要。秋田県農林水産部：92p
- 秋田県農林水産部（2022）令和3年度版秋田県林業統計。秋田県農林水産部林業木材産業課
- 秋田県農林水産部林政課（1965）シイタケ主産地がいかにして形成されたか—雄物川町二井山部落シイタケ不時栽培集団実例調査報告。秋田県農林水産部林政課
- 秋田ふるさと農業協同組合（2022）令和3年度菌床しいたけ生産IoT活用実証事業成果報告書
- 阿部正範・飯田繁・大賀祥治（2002）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
- 阿部正範・西澤元（2011）青色発光ダイオードによる光照射がシイタケ子実体の発生に及ぼす影響。森林応用研究 **20**：33-37
- 株式会社特産情報きのこ年鑑編集部（2018）2018年度版きのこ年鑑。株式会社プランツワールド，東京
- 株式会社特産情報きのこ年鑑編集部（2022）2022年度版きのこ年鑑。株式会社プランツワールド，東京
- テレコミュニケーション編集部NTT東日本・NTTアグリテクノロジー監修（2020）一次産業の課題解決へ 地域IoT。株式会社リックテレコム
- 農林水産省（2021）令和3年特用林産物生産統計調査結果。
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo_rinsan/

執筆・編集

執筆

秋田県林業研究研修センター	研修普及指導室	専門員	佐藤 博文
秋田県林業研究研修センター	資源利用部	主任研究員	村田 政穂
秋田県林業研究研修センター	資源利用部	専門員	菅原 冬樹

編集

秋田県林業研究研修センター	研修普及指導室	普及指導班
---------------	---------	-------

これまでの林業普及冊子

No. 1	今すぐできるきのこ・山菜栽培	平成10年度発行
No. 2	林業経営からみた複層林施業	平成11年度発行
No. 3	これからの林業機械	平成11年度発行
No. 4	広葉樹を植えよう	平成11年度発行
No. 5	これからの林業機械（2）	平成12年度発行
No. 6	風に強い森林を育てる	平成12年度発行
No. 7	秋田スギの原木乾燥を進めよう	平成13年度発行
No. 8	森づくり・たくみの人びと	平成14年度発行
No. 9	わかりやすい山菜類の栽培	平成14年度発行
No.10	“学校教育と連携した森林環境教育の効果的な進め方”	平成15年度発行
No.11	森林づくりをサポート森林病虫害の防除法	平成15年度発行
No.12	収益性が高い“低コスト生産”を目指して	平成16年度発行
No.13	野外や簡易施設を利用したきのこ栽培	平成17年度発行
No.14	複層林施業マニュアル	平成18年度発行
No.15	高性能林業機械の低コスト生産システム	平成19年度発行
No.16	21世紀の森づくりを担う君達へ ～20世紀の造林者から～	平成19年度発行
No.17	森林環境の保全を考えた森林管理 ～自然と人との共生の森づくり～	平成20年度発行
No.18	栽培きのこの害菌・害虫防除マニュアル	平成21年度発行
No.19	低コストでこわれにくい作業道づくりマニュアル	平成22年度発行
No.20	列状間伐と森林の管理	平成23年度発行
No.21	針広混交林化誘導マニュアル	平成24年度発行
No.22	スギ人工林の間伐と森林機能	平成25年度発行
No.23	広葉樹林再生の手引き	平成26年度発行
No.24	作業システムと路網 -最新の収穫間伐の事例から-	平成27年度発行
No.25	スギの再造林を低コストで行うために	平成28年度発行
No.26	森林管理入門	平成29年度発行
No.27	未利用地域資源を活用したきのこ栽培	平成30年度発行
No.28	ナラ枯れの被害を防ごう -美しい里山林をいつまでも-	令和元年度発行
No.29	よく切れるソーチェーンを目指して -永戸式目立て-	令和2年度発行
No.30	チェーンソーのメンテナンス	令和3年度発行
No.31	あきたの林業用種苗 -国の宝は山なり、秋田の強みは種苗なり-	令和4年度発行
No.32	菌床シイタケのスマート栽培 -栽培環境の「見える化」で高収量・高品質に-	令和5年度発行

問い合わせ先

林業研究研修センター（研修普及指導室普及指導班）	TEL 018-882-4512
鹿角地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 0186-23-2275
北秋田地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 0186-62-1445
山本地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 0185-52-2181
秋田地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 018-860-3381
由利地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 0184-22-8351
仙北地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 0187-63-6113
平鹿地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 0182-32-9505
雄勝地域振興局農林部森づくり推進課（林業振興班）	TEL 0183-73-5112

【発行】 秋田県林業研究研修センター（令和6年3月）

