

資料 遮熱ハウス内の温度上昇が原因と考えられた
シイタケ菌床栽培での収量減少と傘直径の増大
－気候変動が要因となった可能性と将来予測・対策－

富川 康之・口脇 信人・大場 寛文

島根県中山間地域研究センター研究報告第18号別刷

令和4年10月

遮熱ハウス内の温度上昇が原因と考えられた シイタケ菌床栽培での収量減少と傘直径の増大

—気候変動が要因となった可能性と将来予測・対策—

富川 康之・口脇 信人・大場 寛文*

Decreased in Fruit-body Yield and Upsized the Pileus Diameter of Shiitake Mushroom
in Sawdust Cultivation that was Considered to be Caused by Rise Temperature in Heat Shield House
—The Possibility that Climate Change was a Factor, Future Forecasts and Measures—

TOMIKAWA Yasuyuki, KUCHIWAKI Nobuto and OBA Hirofumi*

要 旨

本県で菌床栽培によってシイタケを生産されている 1 事業体と同町の生産組合によると、近年は収量が減少しており、これは気温上昇が原因と推測されている。このことを検証するため収穫期間別に収量を集計した結果、2005 年 10 月～2019 年 5 月には減少傾向が認められ、2015 年の 10 月以降はそれ以前よりも明らかに少ない収量で推移していた。また、この 15 年間で子実体の傘直径が大きくなる傾向を認めた。これと同じ 15 年間では、4～5 月の夏日と 7～8 月の猛暑日の日数が増加する傾向を認めた。2018 年の 7～8 月はハウス内上部の日最高温度が日最高気温よりも高い日が計測日数の 87%と大半を占め、35℃以上を 28 日、40℃以上を 6 日認めた。また、同期間の日平均温度は 25℃以上を 53 日、30℃以上を 2 日認めた。これらの温度条件はシイタケ菌を衰弱させ、年とともに猛暑日や夏日が増加したことが収量減少の要因になったと考えられた。1979～2021 年の気候をみると、しだいに年平均気温が上昇し、夏日の日数が増加する傾向がみられた。この傾向は今後も続くと言想されるため、シイタケ菌床栽培においては温度上昇を抑制する対策が重要と考えられた。

キーワード：シイタケ、収量、傘直径、温度、気候変動

I はじめに

シイタケ (*Lentinula edodes*) の菌床栽培体系は周年栽培と季節栽培に大別され、このうち暖房設備と冷房設備を備えた周年栽培は年間を通して適切な温度管理ができ、収量と品質は比較的安定するのが特徴である。一方、冷房設備がなく暖房設備のみで行われる季節栽培は周年栽培よりも低

コストであるが、施設内の温度変化が大きくなり、無空調の自然栽培技術を検討された坂田 (1997)、竹内ら (2009) と同様に収量、品質、収穫時期などをいかに安定させるかが課題である。

1993 年から本県でシイタケ菌床を製造され、収穫子実体を共選出荷されている 1 事業体と、同じ地域で事業体による培養済み菌床から子実体を収

*島根県西部農林水産振興センター

穫される生産組合は、毎年の総会において生産実績を総括され、年によっては夏季の高温が理由とされる収量減少を報告している。また、この頻度が近年ほど多くなってきているため、解決策の検討が急務とされている。これを裏付ける全国的な動向として、国内では気温上昇が続いており（気象庁，2013；農水省，2007），シイタケ原木栽培をはじめとする農林水産業の広い分野で気象変動による影響と対策について検討が開始されている（宮崎，2018；宮崎・末吉，2015；農水省，2007）。また、本県においても2021年に「島根県気候変動適応センター」が設置され、情報の収集・提供、相談への対応、調査・研究用務が行われている。

本報告では、上述したとおりシイタケ菌床栽培における収量減少の原因として夏季の高温が疑われた事例について、菌培養と子実体発生管理ともに冷房設備を使用されない季節栽培を対象に検証した。この作型における収量の推移を確認するとともに、該当地域の気温やハウス内温度を集計し、気候変動が及ぼす影響と安定生産を維持するための対応策について述べる。

II シイタケ生産

1. 栽培管理

毎年12月上旬、事業者が1.3kg菌床に種菌を接種され、事業者のハウス（標高360m）で培養された。菌床は接種翌年の6月まで事業者のハウスで管理され、7月上旬に調査対象とした収穫ハウス（標高380m）へ5,000～6,000個/年が搬入された。7月下旬に培養袋が除かれ、10月上旬～翌年5月下旬に子実体が収穫された。

事業者の培養ハウスはかまぼこ型のフレームで、外張りは遮熱資材（タイベック®）、内張りとして上部に遮光資材（ダイオネット®、遮光率80%）、その下に保温資材（サニーコート®）をかまぼこ型に設置された。冷房設備はなく、暖房設備（稼働設定温度15℃）のみを使用された。生産者の収穫ハウスはかまぼこ型のビニールハウスで、夏季にはハウスの外側全体をアルミ蒸着遮熱資材（ダイオミラー®）で覆われ、内張りの仕様と空調条

件は培養ハウスと同じであった。

2. 子実体収量

収量集計に使用したデータは同じ品種で同規模栽培を継続された2005年10月～2019年5月の約

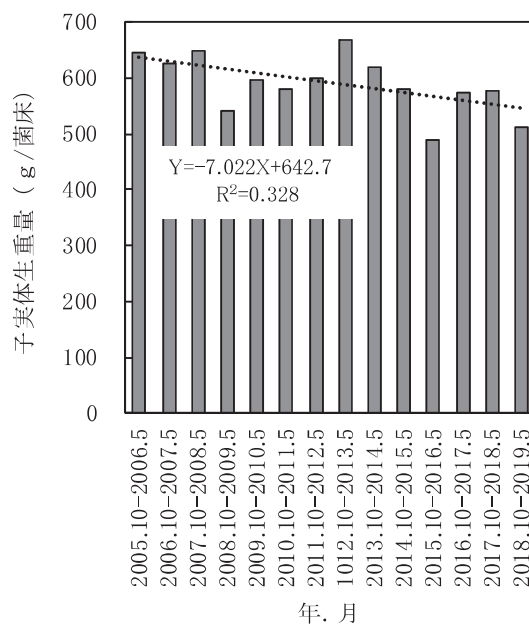


図1 菌床1個当たり収量の推移

…: 期間別収量の回帰直線

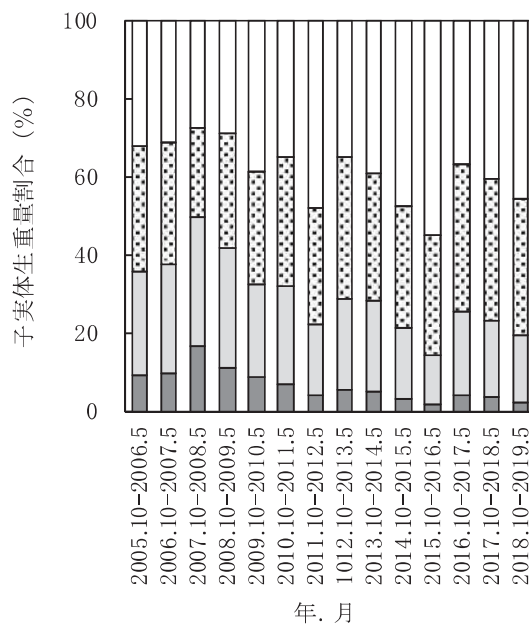


図2 規格別収量割合の推移

■:S, □:M, ▨:L, □:2L

15年間分（収穫期間14回）とした。出荷されたパック数と袋数から子実体生重量を算出して、収穫期間別の菌床1個当たり収量と回帰直線を図1に示した。収穫期間ごとの収量は概して減少傾向にあり、回帰式から計算すると1回目の収穫期間から14回目までの間に約100g/菌床が減少した。2015年5月までは収穫期間10回のうち9回は580g/菌床以上であったが、2015年10月以降は4回連続して580g/菌床未満であり、最低は2015年10月～2016年5月の490g/菌床であった。

傘の直径が4cm未満をS、4cm～5cm未満をM、5cm～5.5cm未満をL、5.5cm以上を2Lと区分して、規格別の子実体生重量割合を図2に示した。なお、傘が開きすぎたB品も傘直径の基準から2Lとした。規格別収量割合の推移をみると、SとMが低率となり、2Lが高率となる傾向を認めた。

表1 調査年別4～5月の夏日と7～8月の猛暑日の日数

年	4～5月の夏日	7～8月の猛暑日
2005	14	0
2006	5	1
2007	10	0
2008	10	0
2009	12	0
2010	8	2
2011	9	0
2012	11	0
2013	15	2
2014	12	0
2015	15	1
2016	17	1
2017	18	0
2018	20	8
2019	18	(5)

夏日は日最高気温が25℃以上、猛暑日は日最高気温が35℃以上、2019年7～8月の猛暑日は栽培に関係なし

Ⅲ 温度集計

1. 収量集計期間の気温

収量集計をした2005～2019年において、気象庁のWebサイト（気象庁，2021A）から収量減少につながる予想される気温条件を網羅的に検索した。なお、検索には培養ハウスと収穫ハウスに最も近い気象観測所（各ハウスから約8km、標高250m）の気温データを使用した（2006年以前は旧観測所のデータを使用；各ハウスから約12km、標高310m）。

各年の4～5月に日最高気温が25℃以上（夏日）となった日数と、7～8月に日最高気温が35℃以上（猛暑日）となった日数を表1に示した。4～5月の夏日は、2005～2012年では14日/年以下であったが、2013年以降は2014年を除いて15日/年以上となり、2016年以降は17日/年以上、2018年は最多の20日/年であった。7～8月に猛暑日が観測された年は、2005～2012年の8年間では2年であったが、2013～2018年の6年間では4年と頻度が高くなった。2005～2017年の猛暑日は2日/年以下であったが、2018年は8日/年と顕著に増加した。

2. ハウス内温度

2018年の7～8月、収量集計の対象とした収穫ハウスと外張り、内張りの仕様が同様に、冷房設備のない事業体のハウス（収穫ハウスから3km、標高270m）でハウス内温度を測定した。ハウス中央の栽培棚中段（床から110cm）と栽培棚上段（床から170cm）に自記温度計（ティアンドデイ、おんどとり[®]、TR-72wf）を設置して、1時間間隔で温度を記録した。

1日のうち最も大きい値を日最高温度とし、上述した気象観測所における日最高気温（気象庁，2021A）とともに図3へ示した。栽培棚の中段と上段の日最高温度に大きな差はなかったが、上段の方が若干高くなる日を多く認めた。栽培棚中段の日最高温度が日最高気温よりも高かった日は計測日数の89%にあたる55日で、気温に対する日ごとの温度差は平均1.9℃であった。栽培棚上段については、日最高温度が日最高気温よりも高かった

のは87%にあたる54日で、気温との温度差は平均2.7℃であった。

猛暑日は観測日数の13%にあたる8日であったが(表1)、栽培棚中段が35℃以上になった日は計測日数の40%にあたる25日、栽培棚上段では45%にあたる28日であった。ハウス内温度が40℃以上となったのは、栽培棚中段では7月下旬に42.0℃となった1日だけであったが、栽培棚上段では7月中旬～下旬のうち6日で、最高は44.2℃であった。

自記温度計による1時間間隔の値から算出した日平均温度と、上述した気象観測所における日平均気温(気象庁, 2021A)を図4に示した。栽培棚の中段, 上段および観測所の値に大きな差はなく、

ハウス内温度が気温よりも高い日は7月下旬～8月上旬に数日認められた。夏日は観測日数の79%にあたる49日であったのに対して、栽培棚中段が25℃以上になった日は計測日数の82%にあたる51日、栽培棚上段では85%にあたる53日であった。ハウス内の平均温度が30℃以上となったのは、栽培棚中段では7月下旬に30.7℃となった1日、栽培棚上段では7月下旬のうち2日で、最高は31.5℃であった。

3. 長期的な気温変化

上述した気象観測所における1979～2021年の年平均気温と年間で夏日が観測された日数(気象庁, 2021B)を、気象庁による報告(気象庁, 2013)を

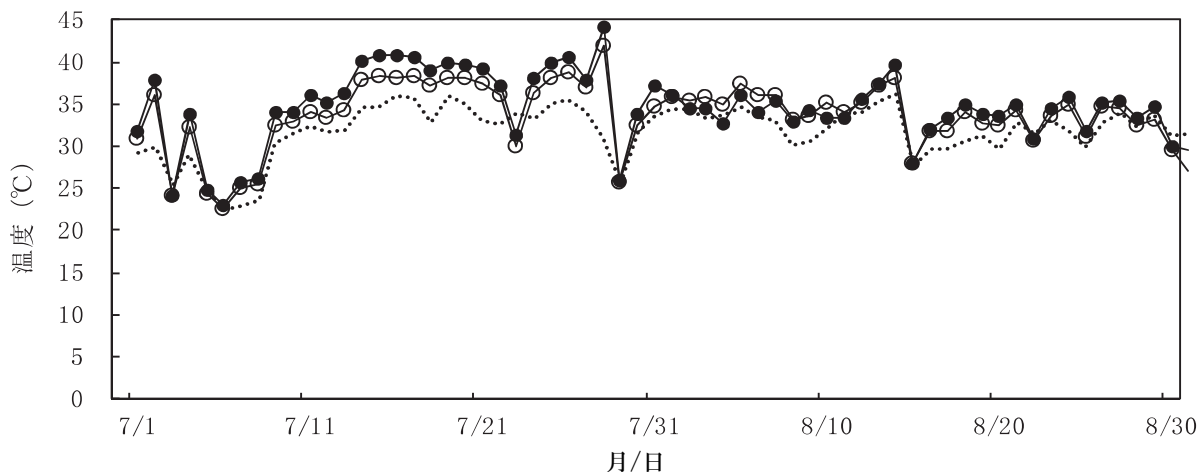


図3 ハウス内最高温度と最高気温の日変化(2018年7月1日～8月31日)

○: ハウス栽培棚中段, ●: ハウス栽培棚上段, …: 最寄りの気象観測所

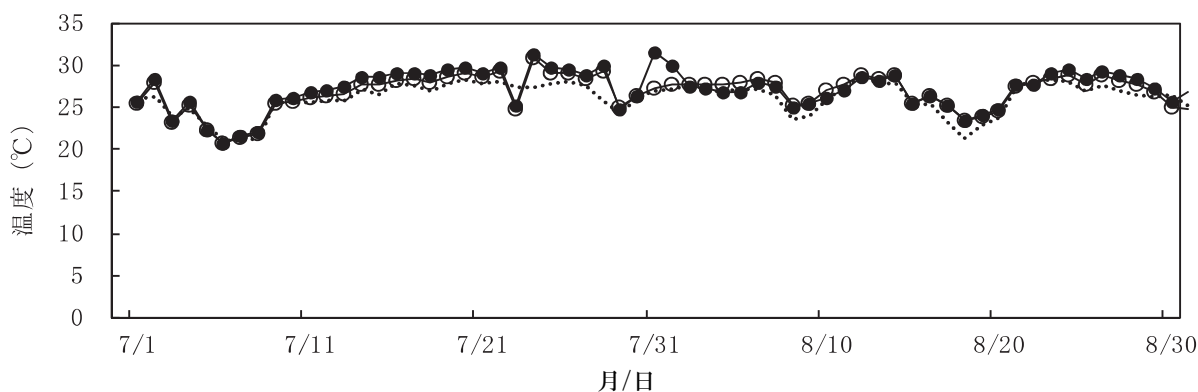


図4 ハウス内平均温度と平均気温の日変化(2018年7月1日～8月31日)

○: ハウス栽培棚中段, ●: ハウス栽培棚上段, …: 最寄りの気象観測所

参考にして以下のとおり集計した。年平均気温からは、2021年以前の30年平均（1991～2020年の年平均を平均）である13.3℃を基準として、各年の年平均気温との差（偏差）を求めた。また、年平均気温と夏日の日数からは1981～2019年の5年移動平均 $[mf(n)=1/5\{f(n-2)+f(n-1)+f(n)+f(n+1)+f(n+2)\}]$ を算出し、各年の5年移動平均の値から回帰式を求めた。

年平均気温の偏差、5年移動平均および回帰直線を図5に示した。約40年間の推移をみると、5年移動平均は1.5℃以上増加し、回帰式によると

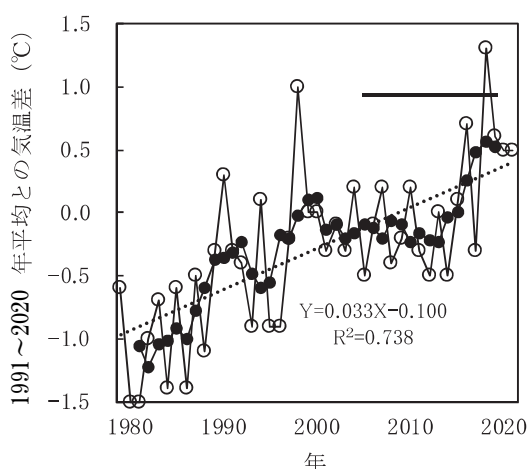


図5 年平均気温の経年変化（1979～2021年）
○：偏差，●：5年移動平均，…：5年移動平均の回帰直線，—：収量集計期間

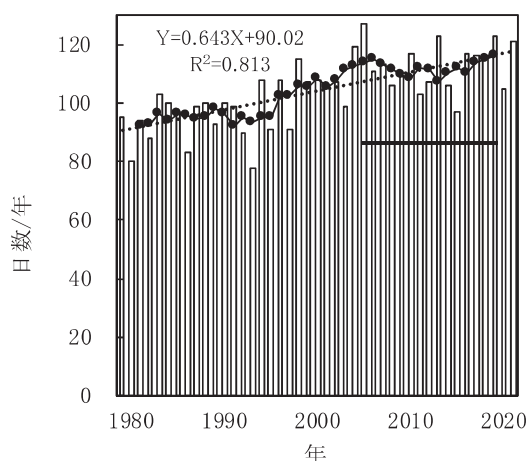


図6 夏日の経年変化（1979～2021年）
●：5年移動平均，…：5年移動平均の回帰直線，—：収量集計期間

1.3℃増加した。また、事業者と生産組合がシイタケ菌床栽培を始められた1993年からは、2019年までの5年移動平均は約1℃上昇し、回帰式によると0.9℃上昇した。収量集計をした期間をみると、2005～2013年の5年移動平均は大きな増減がなく、2013～2019年には約0.8℃上昇した。偏差が0.5℃以上となったのは42年間のうち6年であったが、このうち2016年以降は5年、収量集計をした期間中は3年であった。

夏日の日数、5年移動平均および回帰直線を図6に示した。約40年間で5年移動平均は24日増加、回帰式によると26日増加した。夏日の日数が115日/年以上となったのは、42年間のうち10年であったが、2016～2019年、すなわち収量集計をした最後の4年間は連続して115日/年以上であった。

IV 考察

収量の推移は断続的な増減がみられたものの、集計した期間全体ではやや減少傾向が認められ、収穫期間の終盤にあたる11～14回目では比較的低水準が続いた。今回の調査目的とした、事業者と生産組合が疑われた気温上昇による影響を検証するため、収量減少の要因になり得る条件を検索した結果、4～5月の夏日、7～8月の猛暑日の増加傾向を認めた。また、猛暑日が最も多かった2018年の7～8月は、ハウス内の栽培棚上段が35℃以上となった日数が28日、40℃以上は6日、最高は44.2℃に達した。シイタケ菌床栽培における季節栽培は、収穫時期の違いや収穫期間の長さによっていくつかの作型に区別されるが、本調査で対象にした作型は12月に種菌を接種され、翌々年の6月まで19か月間の管理をされる比較的長期に及ぶ作型であった。この間、冷房設備を使用されない条件で春季2回と夏季1回を経過するため、気温上昇の影響を受けやすかったと考えられる。

シイタケ菌は27℃以上で生長が抑制され、30℃以上では生長を止め、40℃での生存は20時間までであり、45℃では死滅するとされている（中村，1982）。阿部ら（2002）によると、培養の前期，中期，発生処理前にそれぞれ3日間、培養温度を

35℃にした試験ではいずれも収量が減少し、発生処理前においては10日間の30℃処理でも収量減少がみられ、これらは菌糸や原基が衰弱したためと考察されている。本調査で対象にしたハウスにおいても菌糸や原基の活性に対して不適な温度域が認められ、近年は不適条件となる頻度が高くなったことが収量減少の要因の一つと推察される。なお、原基形成刺激が低下する要因として、日最低気温が20℃以上となる日数の増加が考えられるが（中村，1982）、今回の集計では明確な傾向は見られなかった。

規格別収量割合の経年変化からは、傘直径が大きくなる傾向が認められた。T. YAMAUCHI *et al.* (2009) では子実体の品質を高めるために子実体の発生本数を減らす条件を検討され、培養完了後に27℃で7日間処理することで発生数を抑制する技術が報告されている。本調査対象では夏季の高温が秋季以降の子実体発生数を減少させ、このため個々の子実体は大きさが増大したと推察される。また、4～5月の気温も上昇傾向にあり、これは傘の生長を促進する条件となり（中村，1982）、収穫の遅れが傘直径を大きくした要因になったとも考えられる。傘が開きすぎて肉薄となった子実体はB品として扱われるが、本調査では傘直径から判断して2Lに含めて集計した。この子実体が多くなることは商品性の低下にほかならないため、今後は子実体形状を考慮した集計をして詳細を確認したい。

事業体と生産組合がシイタケを生産された1993～2019年に年平均気温は約1℃上昇し、特に2013年以降の増加が著しかった。年平均気温の推移をみると、生産を開始された1993年当時から収量減少につながりかねない高温条件がありながら、かろうじて安定的な生産を続けられてきたものの近年の気温上昇と夏日の増加によって子実体発生不良が顕在化したと推察される。

気候変動は今後も同様に続いて、さらに気温上昇が進むと予想されるため対応策を検討する必要がある。今後のシイタケ菌床栽培では培養施設、子実体発生施設ともに冷房設備が必須になると考

える。ただし、気温が上昇するほどランニングコストが増えるため、遮熱性の高い資材の設置や細霧冷房などの対策を併用すべきである。坂田（1997）、竹内ら（2009）は簡易施設での不安定な温度条件で、収量への影響が少ない品種を報告されているが、同様に高温耐性の高い品種を選ぶことも有効と考える。

宮崎（2018）、宮崎・末吉（2015）によると、シイタケ原木栽培の病原菌である *Trichoderma harzianum* に対するシイタケ菌の抵抗力は30℃以上で低下し、気温が30℃以上になる日数が多いほどほだ木から *T. harzianum* の分離率が高まるとされている。また、九州地方では同じく原木栽培において *Hypocrea lacteal* と *H. peltata* による被害地が増えており、これらは気温上昇が原因と考えられている。さらに害虫被害については、キノコバエの1種である *Mycetophila ruficollis* は気温上昇によって蛹から羽化までの日数が少なくなり、加害時期が変わると予想されている（宮崎・末吉；2015）。菌床栽培施設においても病害発生の危険性が高くなり、害虫の羽化回数が多くなるため被害が拡大すると推察されるため、予防的防除を強化する必要がある。

V おわりに

気候変動への対策が講じられなかった場合、21世紀の後半は20世紀の後半に比べて国内の平均気温や最高気温は4.5℃程度上昇し、猛暑日などの日数が増加するとされている（気象庁，2017）。現在よりも気温上昇が進めば、高温によるシイタケ菌の生長抑制は深刻な問題となる。本調査では、夏季の高温のみならず春季の気温も収量減少を引き起こした可能性が示された。また、本調査では認められなかったが、今後は日最低気温が20℃以上の日数が増えると予想され、原基形成刺激の低下が心配される（中村，1982）。

これらの対応策として、シイタケ菌床栽培では施設内の温度上昇抑制が最も重要であり、冷房設備を完備した上で、コスト削減のため冷房のみに頼らない対策が必要と考える。また、品種の選択、

病虫害被害回避法の検討も必要である。本調査で対象とした培養ハウスと収穫ハウスは標高が 360 m と 380 m の山間部にあり，県内では比較的冷涼な気温条件であるため，これより標高の低い地域では対策が急がれる。

VI 謝辞

シイタケの出荷数量など貴重な情報を提供していただき，本稿を作成するにあたっては作型やハウスの仕様などを詳細に説明していただいた事業者の代表にお礼を申し上げる。

引用文献

- 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(3) : 129-134.
- 気象庁 (2013) 地球温暖化予測情報第 8 巻 : 1-2.
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol8/pdf/all.pdf> (2021 年 11 月ダウンロード).
- 気象庁 (2017) 地球温暖化予測情報第 9 巻 : 7-22.
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf> (2021 年 11 月ダウンロード).
- 気象庁 (2021A) 過去の気象データ・ダウンロード.
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/> (2022 年 1 月ダウンロード).
- 気象庁 (2021B) 過去の気象データ検索.
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2022 年 1 月ダウンロード).
- 宮崎和弘 (2018) きのこの害菌問題に関する研究を通じて一害菌対策の注意点と地球温暖化のきのこ栽培への影響について. 日本きのこ学会誌 26(1) : 10-17.
- 宮崎和弘・末吉昌宏 (2015) 地球温暖化によるシイタケ原木栽培への影響と適応策について. 独立行政法人森林総合研究所九州支所 : 4-13.
- 中村克哉 (1982) キノコの事典. 朝倉書店 : 227-232.
- 農林水産省農林水産技術会議 (2007) 地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策. 農林水産研究開発レポート 23 : 1-16.
- 坂田 勉 (1997) 菌床シイタケ夏季自然栽培試験. 森林応用研究 6 : 203-204.
- Takahiro YAMAUCHI, Sumio AYUSAWA, Katsumasa EDA, Kazuya IIZUKA, Shinso YOKOTA, Futoshi ISHIGURI and Nobuo YOSHIZAWA (2009) Flushing control of fruitbodies by temperature and moisture content in sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*. Mushroom Science and Biotechnology 17(1) : 19-23.
- 竹内嘉江・高木 茂・小坂信行・松瀬収司 (2009) シイタケの品質向上・安定生産・新栽培法に関する研究—自然環境を活用した菌床シイタケ栽培法の開発—. 長野県林総セ研報 23 : 73-79.