

高温耐性で良食味のブナシメジ品種「福おおき 173 号」の育成と特性

上田景子¹⁾・森 康浩*・江口雅音²⁾・梅田剛利³⁾・谷崎ゆふ⁴⁾・中田富美・池田華優・友清昇太³⁾・

高山夏音・浅岡壮平⁴⁾・大曲恵美⁵⁾・嶋谷頼毅⁵⁾

ブナシメジ培養にかかる夏季の空調コストを低減するため、従来よりも高い温度で培養可能な高温耐性を有する良食味品種の育成に取り組んだ。第1ステージでは、「博多ぶなしめじ」の第七代品種「大木 Oh-494」と6つの保有菌株との交配家系 1973 菌株から Hm379-132 を選抜した。第2ステージでは、Hm379-132 と良食味品種「大木 IB87」との交配家系から高温培養可能で、かつ「大木 Oh-494」に比べて食味検定の苦味評点が有意に少なく、総合評価が有意に大きい「福おおき 173 号」を選抜した。本品種の収量は、慣行の培養日数 70 日において「大木 Oh-494」と比較すると、慣行の培養温度 20℃では低かったものの 25℃では同等、30℃で有意に多かった。菌掻きから収穫までの生育日数は、「大木 Oh-494」と比べ、20℃および 25℃培養において有意に短かった。さらに、商品性を損ねる菌傘のイボの発生度は「大木 Oh-494」と比べ、極めて低かった。菌傘中央部の色は、L*値が「大木 Oh-494」に比べて有意に大きく、明るい灰茶色であった。菌柄中央部の色は、「大木 Oh-494」に比べて白色度が有意に大きく、くすみの少ない白であった。子実体の遊離アミノ酸について、ヒスチジンははじめとする苦味アミノ酸 8 種の含量はすべて「大木 Oh-494」を下回り、食味検定の結果と符合した。本品種は、株式会社大木きのこ種菌研究所を共同育成者として品種登録され、2023 年 9 月から「博多ぶなしめじ」の第八代品種として市販されている。

[キーワード：アミノ酸、ブナシメジ、イボ、育種、高温耐性]

Breeding Process and Characterization of the Thermotolerant and Tasty *Hypsizygus marmoreus* Strain 'Fukuoki173'. UEDA Keiko, Yasuhiro MORI, Ain EGUCHI, Taketoshi UMEDA, Yufu TANIZAKI, Fumi NAKADA, Kayuu IKEDA, Shota TOMOKIYO, Nao TAKAYAMA, Souhei ASAOKA, Emi OMAGARI and Yoritaka SHIMATANI (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 11 : 43 - 52 (2025)

To reduce air-conditioning costs for Bunashimeji cultivation, we bred a thermotolerant and tasty strain. In the first stage, 'Hm379-132' was selected from 1973 progenies in six half-sib families of 'OkI Oh-494' (former strain of 'Hakata Bunashimeji') via cultivation tests exposed to higher temperature during spawn-running. In the second stage, 'Fukuoki173' was finally selected from 200 progenies in the cross between 'Hm379-132' and 'OkI IB87' (tasty strain), because 'Fukuoki173' met the criteria in the cultivation tests and showed significantly higher palatability with lower bitter taste than 'OkI Oh-494' in the organoleptic test. Compared to 'OkI Oh-494', the yield of fruit-body of 'Fukuoki173' was equivalent at 25℃ and significantly higher at 30℃ during spawn-running. The harvest period of 'Fukuoki173' that spawn-run at 20℃ and 25℃ was significantly shorter than that of 'OkI Oh-494'. Furthermore, the warts on the pileus were hardly observed in 'Fukuoki173'. The colors of pileus and stipe of 'Fukuoki173' were light grayish brown and dullness-free white, respectively. Eight bitter amino acid contents in 'Fukuoki173' were consistently lower than those of 'OkI Oh-494', which was consistent with the results of the organoleptic test. 'Fukuoki173' has been applied for variety registration and shipped to the domestic markets since September 2023.

[Key words: amino acid, breeding, Bunashimeji mushroom, thermotolerance, wart]

緒 言

福岡県は、全国第 3 位のブナシメジ (*Hypsizygus marmoreus*) 生産量 (15,061t) を誇る (林野庁 2023)。このうち 43% を占める「博多ぶなしめじ」は、福岡県三潴郡大木町の JA 福岡大城しめじ部会員が生産しているブランドである。「博多ぶなしめじ」は 1992 年以降、商品名は変わらないが、使用品種は初代の「福岡林試 M-2 号」以降、ニーズの変化や継代培養の繰り返しに伴う種菌劣化 (Strain degeneration) (善如寺 1992, Pérez *et al.* 2021) に対応するため数年おきに切り替わってきた。

現在、「博多ぶなしめじ」の生産現場では、菌糸の栄養成長 (以下、培養) 工程を通年で約 20~22℃に空調管理

しているが、猛暑傾向の昨今において、従来よりも高い温度でも培養でき空調コストを低減できる品種が求められてきた。一方、夏季以外は従来温度で培養できること、食味や商品性が良いことも必要な条件である。そこで我々は、従来の培養温度よりも高温側に生育温度域の広い、つまり 20~25℃の空調管理で培養可能な高温耐性を有し、良食味の「博多ぶなしめじ」新品種の育成に取り組んだ。今回、株式会社大木きのこ種菌研究所と共同で育成した選抜品種「福おおき 173 号」が農林水産省に品種登録されたので (登録日 2024 年 8 月 19 日：登録番号第 36729 号)、その育成経過と品種特性について報告する。

*連絡責任者 (バイオマス部：mori-y9360@pref.fukuoka.lg.jp)

1) 現 福岡県福岡農林事務所

2) 現 福岡県農林水産部食の安全・地産地消課

3) 前 バイオマス部

受付 2024 年 7 月 19 日；受理 2024 年 10 月 22 日

4) 現 福岡県筑後農林事務所

5) 株式会社 大木きのこ種菌研究所

第1表 ブナシメジ新品種「福おおき 173 号」の育種経過

第1ステージ						第2ステージ							最終選抜品種	
先代 品種	×	選抜 菌株	作出 交配 株数	一次 検定 (1瓶)	二次 検定 (2瓶/条件)	三次 検定 (8瓶/条件)	第1ステージ 最優秀菌株	×	良食味 品種	作出 交配 株数	一次 検定 (1瓶)	二次 検定 (4瓶/条件)		三次 検定 (8瓶/条件)
大木 Oh-494		Hm 99	395	20	0	0	Hm379-132		大木IB87	200	50	13	3	→ 福おおき173号
		Hm134	400	16	1	0								
		Hm244	249	76	3	0								
		Hm261	400	16	0	0								
		Hm353	253	72	4	0								
		Hm379	276	75	3	1								
合計			1,973	275	11	1								

材料および方法

1 第1ステージ育成経過

(1) 親株選抜

ア 菌糸成長特性

20℃および30℃の双方で菌糸伸長できる菌株の交配株を作出するため、我々が保有する375菌株について両温度での菌糸伸長量を調べた。なお、本研究で想定している実用的な高温域上限は25℃(江口ら 2024)であるが、菌糸体の代謝と呼吸熱により菌床内部の温度は設定より高くなること(野上・北本 1995)、停電や空調の故障などで培養室が一時的により高い温度に達する可能性なども考慮し、30℃での検証とした。江口ら(2024)の方法にしたがい、Potato Dextrose Agar(以下、PDA)培地上において、20℃および30℃で7日間インキュベート後、菌糸コロニーの半径を測定した。前代(第七代)の「博多ぶなしめじ」品種である「大木 Oh-494」(品種登録番号:26223)と比較して、①30℃の菌糸コロニー半径が大きい、②20℃で菌糸コロニー半径が同等以上の菌株を選抜した。

イ 栽培特性

アで選抜した32菌株から、優良菌株を絞り込むため栽培特性を評価した。江口ら(2024)の方法にしたがい、培養温度が20℃(慣行)、25℃、30℃の3水準、培養日数が56日、63日、70日(慣行)の3水準の9条件下で菌床栽培を行った。評価項目は、子実体収量、発生操作日から子実体収穫日までの生育日数および商品性を損ねる菌傘のイボ状突起物(野上ら 2023)(以下、イボ)の発生度とした。イボ発生度は、日本植物防疫協会(2016)の「発病度」を参考に、菌傘にイボがみられた瓶の本数と症状の程度を指数化し(0:なし、1:ごくわずか、2:軽度、3:中度、4:重度)、次の計算式で算出した。

イボ発生度(1~100) = {Σ(指数別発生瓶数×指数) / (4×調査瓶数)} × 100

ウ 親株選抜

イで栽培特性が良好であった6菌株(Hm99, Hm134, Hm244, Hm261, Hm353, Hm379)および「大木 Oh-494」の計7菌株からそれぞれ担子孢子由来の1核菌糸を100菌株ずつ単離した。これら100菌株は、アの方法で20℃および30℃の菌糸コロニー半径を測定し、菌糸成長量が大きいものから小さいものまで幅広く20菌株ずつを選抜し、7菌株それぞれの親株とした。

(2) 交配株選抜

ア 交配株作出

(1) ウで選抜した「大木 Oh-494」由来の1核菌糸20菌株に対して、他6菌株由来の1核菌糸20菌株を総当たりで交配し、「大木 Oh-494」の半きょうだい6家系1973菌株の2核菌糸を得た(第1表)。

イ 小型菌床による高温栽培検定(一次検定)

1973菌株から効率よく選抜するため、上田ら(2022)にしたがい、(1)イで用いた慣行菌床(850mL容瓶、培地550g)を約85%減容した小型菌床(130mL容瓶、培地65g)を用いて25℃で21日間培養した場合の栽培特性を検定した。ただし、21日間で菌糸が蔓延していない株については、さらに7日間培養を延長した。以下の5つの基準を満たす菌株を選抜した(一次選抜)。

選抜基準は、①正常な子実体を発生する、②収量が「大木 Oh-494」と同等以上、③栽培日数(培養日数+生育日数)が「大木 Oh-494」と同等か短い、④菌傘が丸山形、⑤菌傘にイボが発生しない、の5つとした。

ウ 慣行菌床による高温栽培検定(二次・三次検定)

高温域でも培養できる交配株を選抜するため、イの一次選抜菌株を慣行の栽培瓶を用いて温度を20℃(慣行)、25℃、30℃の3水準、日数を56日と70日(慣行)の2水準の6条件下(各条件とも2瓶ずつ供試)で暗所にて培養した。以降、子実体の収穫までは(1)イのとおりとし、以下の8つの基準を満たす菌株を選抜した(二次選抜)。さらに二次選抜菌株は、各条件とも8瓶ずつ供試した同じ検定にて菌株を選抜した(三次選抜)。

選抜基準は、20℃および25℃で培養した場合において、①56日および70日培養とも収量が「大木 Oh-494」と同等以上、②56日および70日培養とも生育日数が「大木 Oh-494」と同等か短い、③56日と70日培養の収量比が0.9以上、④菌傘が丸山形、⑤イボ発生度が0か極めて低い、⑥菌柄が波打つことなく平滑、⑦株の形が均整、ならびに30℃で培養した場合において、⑧正常な子実体が発生する、の8つとした。

2 第2ステージ育成経過

第2ステージでは、高温域で培養可能なことにくわえ食味の改良も目指した。

(1) 交配株作出

第1ステージで最も優秀だった菌株「Hm379-132」から担子孢子由来の1核菌糸を20菌株単離した。一方、良食味品種である(生産者私信)「大木 IB87」(品種登録番号:28620)からも同様に1核菌糸20菌株を単離し、双方を交配させ200菌株の2核菌糸を得た。

(2) 小型菌床による高温栽培検定 (一次検定)

1 (2) イと同様の検定を行い、基準を満たす菌株を選抜した (一次選抜)。

(3) 慣行菌床による高温栽培検定 (二次・三次検定)

1 (2) ウと同様の検定を行い、基準を満たす菌株を選抜した (二次・三次選抜)。ただし、二次検定では 30℃ の培養条件を、三次検定では 30℃56 日の培養条件を省略した。したがって、二次検定では 1 (2) ウの選抜基準のうち⑧を除外した。

(4) 食味検定

生産現場で栽培された子実体を収穫して販売用フィルムで包装した三次選抜株 No.31, No.157, No.173, 「大木 Oh-494」および「大木 IB87」の 5 菌株を 15℃で 7 日間保存した。5 菌株とも水洗いせず、石突を除いて 160g あたり菜種油 10mL と食塩 1g を加え、フライパンで 3 分間炒めて調理した。室温で冷ました後、品種別にプラスチックトレーに子実体数本ずつを入れて供試した。

我々著者のうち 2 名を施験者、20~60 代の福岡県農林業総合試験場資源活用研究センター (以下、当センター) 職員男女 24 名 (施験者以外の著者 4 名を含む) を被験者とした。施験者は各トレーの品種名を識別できるが、被験者は識別できない一重盲検法にて試験を行った。

評価項目は、食感 (弾力)、苦味、総合評価 (美味しさ) の 3 つとした。各項目とも当該品種のレベルが良食味の基準品種「大木 IB87」と比較して強い場合を +、弱い場合を一、同等の場合を 0 とし、強さのレベルと点数を対応させた 7 段階の評点 (非常に: ±3, かなり: ±2, 少し: ±1, 同等: 0) で被験者に評価させた。三次選抜株 3 菌株と「大木 Oh-494」の平均評点を比較した。試食の順番は、全被験者で 1 番目に「大木 IB87」を割り当て、その後は被験者ごとにランダム化して割り当て、食べる順番が結果に影響を及ぼす順序効果 (三尋木 2012) を相殺した。品種間の緩衝のため、次の品種を試食する前に、市販のミネラルウォーターをひと口飲ませた。

3 最終選抜品種「福おおき 173 号」の特性

第 2 ステージで最終選抜された No.173, 品種名「福おおき 173 号」の特性を「大木 Oh-494」と比較した。

(1) 菌糸成長特性

ぶなしめじ種の審査基準 (農林水産省 2021) にしたがって、前培養した菌株の菌叢片を PDA 培地 (直径 9cm のディスポシャーレに 15mL 分注) に接種した。これを 20℃暗所で培養し、シャーレ面積の 80% 以上菌糸が成長した後に光照射下で追培養し、7 日後の菌叢表面と裏面の着色の有無を観察した。次に菌糸成長の温度特性を調べるため、同様に菌叢片を接種した PDA 培地を 20℃暗所で 2 日間培養後、10, 15, 20, 25, 30℃で 5 日間暗所にて培養した。5 日間の菌糸コロニー半径をノギスで測定し、1 日あたりの菌糸成長量を算出した。

(2) 子実体菌傘の形態特性

1 (1) イの方法にしたがい、両品種を当センターで栽培に供した。ただし、前述の審査基準にしたがって、培地組成はスギおがこ: コーンコブ: 米ぬか: ふすま = 7: 3: 8: 2 (乾燥重量比) に、培地重量は 1 瓶あたり 540g に、

培養条件は 22℃暗所 90 日間に、発生操作以降 14 日間は暗所、その後は照度 500~1000lux (白色 LED 照射下, 24h 連続照明) とした。得られた子実体の菌傘について、同審査基準にしたがい、直径・高さをノギスで、硬さを果実硬度計 KM-1 (株式会社藤原製作所製) で測定するとともに、菌傘縦断面の形、菌傘表面の斑紋の大きさ・分布・明瞭度、ひだの並び方・密度を観察した。

子実体菌傘の色を評価するため、生産現場で栽培された両品種を 4 瓶ずつ収穫した。1 瓶から 8 本の子実体を任意に選び、1 本あたり菌傘の中央部の色を 1 点ずつカラーリーダー CR-20 (測定径 8mm, コニカミノルタ株式会社製) で測定し、 L^* , a^* , b^* の各値を求めた。

(3) 子実体菌柄の形態特性

3 (2) の当センターで栽培された子実体の菌柄について、前述の審査基準にしたがい、長さ・最大径・菌傘基部径をノギスで、硬さを果実硬度計 KM-1 で測定するとともに、表面の毛羽の有無を観察した。

3 (2) の菌傘色を測定した子実体について、菌柄の中央部についても同様にカラーリーダーにて L^* , a^* , b^* の各値を求め、次式にて白色度 (Fu et al. 2022) を算出した。

$$\text{白色度} = L^* + 3 \times a^* - 3 \times b^*$$

(4) 栽培特性

2 (3) の三次検定での栽培試験結果に加え、前述の審査基準にしたがって、3 (2) のとおり 22℃90 日培養した場合の収量、生育日数およびイボ発生度を調べた。

(5) 子実体アミノ酸含量

3 (4) の 22℃90 日培養条件で発生させた「福おおき 173 号」および「大木 Oh-494」の子実体を凍結乾燥し、粉碎した。粉碎物 250mg に超純水 50mL を加え超音波を与えながら 20 分間抽出した。5 分間 3000rpm で遠心分離後の上清をフィルター滅菌 (20μm) した。濾過液は 10mM 塩酸水溶液で 10 倍に希釈し、専用バイアルに 500μL ずつ分注して LC-40 NexeraXR (株式会社島津製作所製) にセットし、プレカラムアミノ酸分析を行った。カラムは Shim-pack VeloxC18 (2.7μm 3.0×100mm), 移動相 A は 15mM リン酸二水素カリウムおよび 5mM リン酸水素二カリウム水溶液 (pH6.5), 移動相 B はアセトニトリル/メタノール/水 (45/40/15=V/V/V), 蛍光検出器は RF-20AXS を用いた。流量は 0.8mL/min, カラム温度は 35℃, 励起波長 (Ex) は 350nm (プロリン測定時は 266nm), 蛍光波長 (Em) は 450nm (プロリン測定時は 305nm) とした。サンプルと同時に、29 種のアミノ酸の濃度既知標準液の段階希釈系列も分析に供した。希釈系列の各濃度とクロマトグラムのピーク面積から作成した検量線をもとにサンプルの各アミノ酸濃度を定量した。

結果および考察

1 育成経過

本研究では、第 1 ステージとして、「博多ぶなしめじ」の前代品種「大木 Oh-494」の交配家系から高温で培養しても収量性が良い菌株を選抜した。第 2 ステージとして、第 1 ステージの最優良菌株と良食味品種「大木 IB87」との交配家系から高温培養適性だけでなく食味の良い菌株を

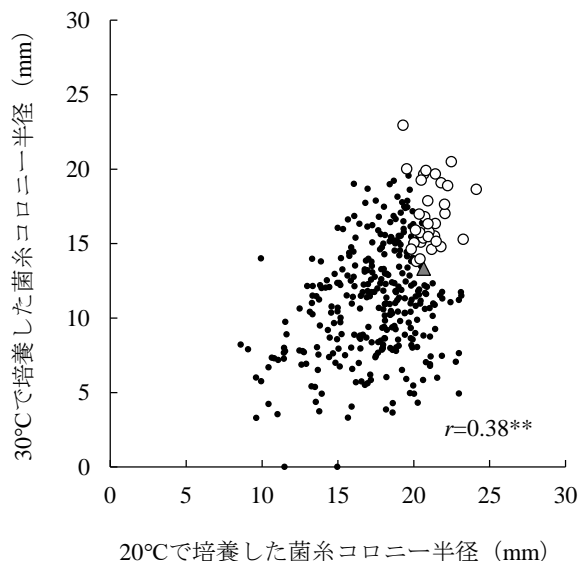
選抜した。この 2 つのステージに分けて、育種を進めた（第 1 表）。

(1) 第 1 ステージ

第 1 ステージにおいて、育種素材 375 菌株の 20℃および 30℃で 7 日間培養した菌糸コロニー半径を調べたところ、有意な正の相関が得られたが、相関係数は 0.38 と決して高くはなかった（第 1 図）。このことから、菌糸成長の最適温度が 20℃に近い一般的な菌株と 30℃に近い高温耐性菌株が混在することが示唆された。そこで、菌糸コロニー半径が「大木 Oh-494」に比べて、30℃でより大きく、20℃で同等以上の 32 菌株を生育温度帯が高温側に広い可能性がある菌株として選抜した。

これらを 20℃、25℃、30℃でそれぞれ 56 日、63 日、70 日培養する 9 条件で栽培したところ、Hm6、Hm139、Hm198 を除く 29 菌株で子実体が得られた（第 2 表）。このうち、Hm99 および Hm379 は各培養温度で収量の変動が小さく生育温度帯が高い菌株として、Hm244 および Hm261 は生育日数が短く収穫サイクルが早い菌株として、Hm134 および Hm353 は菌傘の大理石模様が目立たず商品性が高い菌株として選抜した。

次に、「大木 Oh-494」の一核菌糸 20 菌株を片親とし、Hm99、Hm134、Hm244、Hm261、Hm353、Hm379 の一核菌糸 20 菌株を他方の片親とする交配を行った。得られた「大木 Oh-494」の半きょうだい 6 家系 1973 菌株を小型菌床（上田ら 2022）による一次検定に供した。上田ら（2022）は、小型菌床と慣行菌床の収量や栽培日数の相関係数はいずれも 0.7 以上と高く、子実体の外観も両菌床でほぼ一致することから、小型菌床にて菌株特性を評価する手法の有



第 1 図 20℃および 30℃での育種素材 375 菌株の菌糸成長量

- 1) ●：育種素材，○：選抜した 32 菌株，△：大木 Oh-494， r ：相関係数（1%水準で有意）を示す
- 2) 1 菌株 1 温度あたりシャーレ 2 枚を供した

効性を報告し、少なくとも育種初期段階の不良株の除去に活用できるとしている。1973 菌株から、子実体原基を形成しないもの、原基を形成しても成長しないもの、奇形子実体などを排除した上で、基準を満たす 275 菌株（14%）を厳選できた。

第 2 表 選抜した 32 菌株の栽培特性

	収量 ¹⁾ (g/850 mL瓶)									生育日数 (日)									イボ発生度								
	20℃			25℃			30℃			20℃			25℃			30℃			20℃			25℃			30℃		
	56日	63日	70日	56日	63日	70日	56日	63日	70日	56日	63日	70日	56日	63日	70日	56日	63日	70日	56日	63日	70日	56日	63日	70日	56日	63日	70日
Hm 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hm 31	89	85	90	99	103	98	91	112	98	24	23	23	25	23	21	32	27	28	13	8	19	13	19	6	19	6	6
Hm 96	127	152	161	151	160	166	110	155	172	22	21	20	21	20	20	22	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2) Hm 99	166	139	178	180	176	184	110	144	138	24	24	24	22	22	23	22	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm103	105	96	117	113	100	108	140	148	149	26	25	26	26	25	27	30	28	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm105	17	9	26	15	21	13	17	9	10	35	21	37	43	39	26	54	43	43	13	0	25	13	13	25	38	38	25
Hm107	55	81	74	36	83	98	74	112	131	33	28	29	32	25	26	28	22	21	0	6	0	0	0	0	0	0	0
Hm117	28	56	31	32	21	59	12	16	27	43	46	40	36	40	38	52	37	38	6	0	25	6	0	0	0	0	0
Hm118	30	40	46	44	46	48	70	63	85	21	24	24	23	22	22	23	21	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm122	36	29	69	26	27	123	64	77	169	34	42	33	30	36	31	32	39	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm126	174	122	170	131	109	198	54	127	179	28	26	28	28	26	29	30	33	33	0	0	0	0	0	0	0	31	6
Hm129	51	70	33	32	61	34	52	64	83	22	19	19	20	19	19	21	20	22	0	0	0	0	0	13	0	0	13
2) Hm134	50	72	67	35	45	50	38	47	74	20	19	19	21	20	20	20	19	22	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Hm138	—	90	74	72	98	124	—	37	54	—	29	33	31	30	28	—	35	46	—	0	31	31	0	50	—	50	42
Hm139	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hm173	79	60	51	75	82	67	111	116	105	23	24	21	19	25	23	26	26	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm179	150	117	171	109	123	195	62	31	98	30	28	27	31	27	27	37	41	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm198	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hm213	18	90	94	93	94	113	—	—	—	55	43	36	38	40	37	—	—	—	0	6	0	0	8	0	—	—	—
2) Hm244	181	189	181	190	198	195	132	164	145	20	20	20	19	20	20	22	21	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm252	147	151	197	170	193	204	118	144	175	20	22	20	21	22	22	21	22	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2) Hm261	109	107	101	157	147	130	158	147	145	19	20	20	20	20	20	19	21	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm281	154	150	157	160	153	170	—	—	118	25	24	22	26	26	24	—	—	41	0	6	0	0	0	0	—	—	25
Hm332	124	126	115	146	146	157	104	101	153	23	20	20	26	20	24	27	25	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm351	208	186	188	223	174	199	163	180	172	25	26	27	25	22	25	26	29	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2) Hm353	203	204	182	232	214	195	—	—	—	26	25	24	26	26	24	—	—	—	0	0	0	0	0	0	—	—	—
Hm355	129	185	157	157	188	162	138	164	154	22	24	21	23	25	23	22	24	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm356	173	170	189	182	177	185	160	163	172	22	23	22	23	24	22	26	26	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hm360	174	176	196	186	180	202	139	128	116	19	19	20	20	19	20	21	22	21	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Hm374	179	162	172	177	184	182	149	136	138	20	20	19	21	21	20	22	21	22	0	6	0	0	19	0	0	6	0
Hm378	192	195	197	188	210	205	156	181	181	22	22	23	25	26	26	28	27	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2) Hm379	177	198	200	182	197	191	164	183	164	21	21	22	23	23	23	26	27	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大木Oh-494	191	182	192	189	204	202	161	169	174	23	21	21	24	23	23	26	25	25	20	18	13	17	17	7	8	11	11

- 1) 慣行菌床（容量 850mL 瓶）で栽培した場合の平均収量を示す（ $n=4$ ）
- 2) 網掛けは、交配親（一核菌糸）を供給した 6 菌株を示す
- 3) —は、子実体が発生しなかったことを示す

第3表 二次選抜株を慣行菌床で培養した場合の栽培検定結果（第1ステージ三次検定）

親株 (先代品種)	× 家系名	菌株 番号	収量 ¹⁾ (g/850 mL瓶)						生育日数 ¹⁾ (日)						イボ	菌傘形	菌柄	株形
			20℃		25℃		30℃		20℃		25℃		30℃					
			56日	70日	56日	70日	56日	70日	56日	70日	56日	70日	56日	70日				
大木Oh-494	Hm134	No.284	202	223	220	223	203	202	21	20	21	22	23	21	少ない	丸山形	少し波あり	正常
	Hm244	No.208	235	219	231	218	190	205	20	19	21	20	23	22	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
		No.234	228	225	221	228	187	116	19	18	19	19	24	25	少ない	丸山形	少し波あり	正常
		No.240	230	197	251	229	235	220	22	20	23	22	24	24	少ない	丸山形	少し波あり	正常
	Hm353	No.165	202	211	218	205	140	164	21	21	24	22	27	24	少ない	丸山形	少し波あり	正常
		No.191	197	190	232	207	169	164	21	21	22	22	24	23	少ない	丸山形	少し波あり	正常
		No.192	207	225	215	245	184	176	22	23	24	24	24	24	少ない	丸山形	少し波あり	正常
		No.193	223	200	210	216	181	159	22	20	22	21	24	22	少ない	丸山形	少し波あり	奇形あり
	Hm379	No. 74	228	211	232	225	230	207	20	18	23	21	25	24	少ない	丸山形	少し波あり	正常
		No.129	210	210	225	209	186	150	19	20	22	21	23	23	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
		³⁾ No.132	215	204	215	216	213	175	18	17	20	18	23	21	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
		No.139	165	183	152	227	177	176	19	18	21	18	24	22	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
		No.260	233	236	244	251	157	181	20	19	21	20	21	20	ほぼなし	丸山形	少し波あり	背地性喪失 ⁴⁾
	大木Oh-494 ²⁾			231	229	235	225	209	191	20	19	22	21	23	23	多い	丸山形	少し波あり

1) 交配株の数字は、平均値（8 瓶×1 反復）を示す

2) 「大木 Oh-494」の数字は、交配株 1～3 菌株に 1 回の頻度で栽培した平均値（8 瓶×8 反復）を示す

3) 網掛けは、第 1 ステージで選抜された Hm379-132 を示す

4) 重力と逆方向に立ち上がる背地性（負の重力屈性）を各菌柄が喪失し（宜寿次ら 2015）、全体として球状の株形を示す

二次検定においては、8 つの選抜基準すべてを満たす菌株は 4 家系 13 菌株とごく少数に絞られた。さらに繰り返し数を増やした三次検定においては、Hm134-284, Hm244-240, Hm379-74, Hm379-132 が培養温度に依存せず安定して高い収量が得られた（第 3 表）。このうち、イボがほとんど発生せず、子実体形状も良好で、収穫サイクルが最も早い Hm379-132 を第 1 ステージの最優良株として選抜した。

(2) 第 2 ステージ

第 2 ステージでは、高温培養適性にくわえ食味の改良も図るため、良食味品種「大木 IB87」と Hm379-132 とを交配した 200 菌株から選抜を試みた。小型菌床による一次検定で 50 菌株に、慣行菌床による二次検定において 13 菌株に絞り込んだ。これらは複数の生産者に現地栽培してもらい、収量性、生育のばらつき、イボの発生、食味などの評価について、フィードバックを受けた。この生産者の評価も考慮の上、No.31, No.157, No.173 の 3 菌株を三次選抜した（第 4 表）。

最後に 3 菌株を食味検定に供した結果、No.31 および No.173 はいずれも「大木 Oh-494」に比べて苦味評点がありに小さく、総合評価の評点は有意に大きかった（第 5 表）。このうち No.31 は 25℃や 30℃での収量性や生育日数が劣る一方、No.173 はどの温度帯でも収量は安定しており、「大木 Oh-494」よりも常に早く収穫できる（第 4 表）ことから、No.173 を「福おおき 173 号」（第 2 図）として最終選抜した。

2 「福おおき 173 号」の品種特性

「福おおき 173 号」の特性を「大木 Oh-494」と比較した。

(1) 菌糸成長特性

菌糸成長特性を第 6 表に示す。菌叢表面および裏面ともに光照射の有無にかかわらず着色することはなかった。各温度における菌糸成長は、「大木 Oh-494」に比べ総じて成長は遅かったものの、20℃で有意に遅かったものが 25℃や 30℃では差が縮まった。両品種ともに成長のピークは 25℃であった。

(2) 子実体菌傘の形態特性

子実体の菌傘の形態特性を第 7 表に示す。菌傘の縦断面の形は一般的な丸山形で、両品種間に直径の差はないが、高さは「大木 Oh-494」に比べて有意に小さい、つまり傘厚が薄い形状であった。菌傘の硬さは有意に大きかった。ブナシメジ特有の菌傘上面の大理石模様の斑紋については「中」と、「大木 Oh-494」に比べて細かな模様であった。菌傘中央部の色は、特に明度を表す L^* 値が 38.6 と「大木 Oh-494」の 31.6 に比べ有意に大きく、明るい灰茶色だった。菌傘裏側の放射状に走るひだについては、波状のうねりがみられない直で、「大木 Oh-494」と異なった。

(3) 子実体菌柄の形態特性

子実体の菌柄の形態特性を第 8 表に示す。菌柄の長さは 68.4mm と「大木 Oh-494」に比べ若干長かったが有意差は認められなかった。一方、菌柄の直径は細く、石突に近い根元から菌傘基部にいたるまで 6.6～6.8mm と太さが変わらないスリムな形状で、根元近くの最大径が大きくなりすぎた「大木 Oh-494」と対照的であった。菌柄の硬さは、菌傘とは対照的に有意に小さかった。菌柄中央部付近の白色度は、「大木 Oh-494」に比べて有意に大きく、見た目にもくすみが少ないため菌柄の白さが目立った。貯蔵期間が長くなるほど値が低下する白色度（Borchert *et al.* 2014）は、きのこの貯蔵寿命予測に用いられる重要な指標（Niu *et al.* 2020）である。したがって、菌柄がより白い

第4表 二次選抜株を慣行菌床で培養した場合の栽培検定結果
(第2ステージ三次検定)

菌株 番号	収量 ¹⁾ (g/850 mL瓶)					生育日数 ¹⁾ (日)					イボ	菌傘形	菌柄	株形
	20℃		25℃		30℃	20℃		25℃		30℃				
	56日	70日	56日	70日	70日	56日	70日	56日	70日	70日				
No.21	199	234	232	245	— ³⁾	17	17	20	20	—	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
No.22	235	264	231	231	—	20	20	23	20	—	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
⁴⁾ No.31	215	248	192	197	115	20	19	24	20	23	少しあり	丸山形	少し波あり	正常
No.38	230	230	238	231	—	20	18	21	19	—	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
No.57	226	217	218	224	230	17	17	18	17	19	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
No.60	201	217	234	244	181	18	17	20	19	21	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
No.92	222	218	243	247	224	16	17	19	18	20	少しあり	丸山形	少し波あり	正常
No.119	231	217	232	235	234	17	17	18	18	20	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
No.141	219	230	241	246	217	17	16	20	18	20	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
No.142	232	232	230	235	235	21	19	22	20	24	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
⁴⁾ No.157	225	222	202	217	221	16	15	18	17	21	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
No.161	200	189	206	168	209	17	17	20	18	20	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
⁴⁾ No.173	215	191	229	225	221	18	17	20	19	21	ほぼなし	丸山形	少し波あり	正常
大木Oh-494 ²⁾	226	227	218	228	205	20	19	21	21	22	少しあり	丸山形	少し波あり	正常

1) 交配株の数字は、平均値 (8 瓶×1 反復) を示す

2) 「大木 Oh-494」の数字は、交配株 1~3 菌株に 1 回の頻度で栽培した平均値 (8 瓶×6 反復) を示す

3) 子実体が生育しなかったことを示す

4) 網掛けは、第 2 ステージで三次選抜した 3 菌株を示す

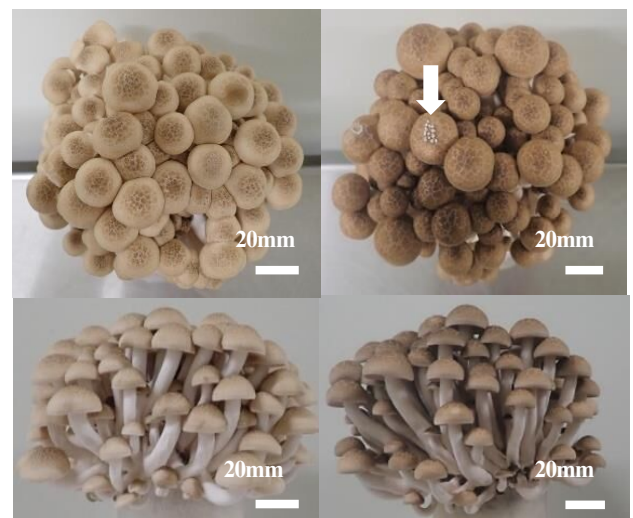
ことは新鮮な印象を消費者に与えると考えられ、有利販売につながると期待できる。菌柄表面は、波打つことなく平滑で、毛羽立ちは認められなかった。

(4) 栽培特性

栽培特性を第 9 表に示す。56 日培養における収量は、培養温度 20℃、25℃においてそれぞれ 215g、229g で「大木 Oh-494」と同程度であり、生育日数はそれぞれ 18 日、20 日でいずれも「大木 Oh-494」と比べ有意に短かった。慣行の 70 日培養における収量は、「大木 Oh-494」と比べ、培養温度 25℃において同等、30℃で有意に多く、20℃と 25℃の生育日数も有意に短かった。イボ発生度は 0~3 と、

「大木 Oh-494」と比べ、極めて低かった。

前述の審査基準にしたがって、基本培地にて 22℃90 日培養した場合の収量は 176g と、「大木 Oh-494」の 186g と比べ有意に少なかったものの、生育日数は 21 日と「大木 Oh-494」の 23 日に比べ有意に短かった。



第2図 「福おおき 173 号」(左)と現行品種「大木 Oh-494」(右)の外観

1) 白矢印は、イボを示す

第5表 第2ステージ三次選抜株の食味検定結果

品種名	食味評価 ¹⁾		
	食感	苦味	総合評価
No. 31	0.83	0.25** ²⁾	−0.04** ²⁾
No.157	0.42	1.33	−1.17
No.173 (福おおき 173号)	0.88	0.00** ²⁾	+0.25** ²⁾
大木Oh-494	0.33	1.04	−1.04

1) 数字は、基準品種「大木 IB87」と同等を 0 点として−3 ~ +3 点の 7 段階評価したときの平均値を示す (n=24)

2) 各菌株と「大木 Oh-494」との間で有意差が認められたことを示す (1%水準, Dunnett 検定)

第 6 表 「福おおき 173 号」の菌糸成長特性

品種名	菌叢の着色 ¹⁾		菌糸コロニー成長量 ¹⁾ (mm/日)				
	表面	裏面	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃
福おおき 173 号	なし	なし	0.98	1.25	1.97** ²⁾	2.57	1.12
大木 Oh-494	なし	なし	0.93	1.45	2.38	2.84	1.22

1) シャーレ 5 枚分の観察結果を示す (数字は平均値)

2) 両品種間で有意差が認められたことを示す (1%水準, t 検定, n=5)

第 7 表 「福おおき 173 号」の子実体菌傘の形態特性

品種名	縦断面の形 ¹⁾	直径 ¹⁾ (mm)	高さ ¹⁾ (mm)	硬さ ¹⁾ (N)	表面の斑紋 ¹⁾			中央部の色 ²⁾			ひだ ¹⁾	
					大きさ	分布	明瞭度	L*	a*	b*	並び方	密度
福おおき 173 号	丸山形	21.3	13.8* ³⁾	0.54** ³⁾	中	全体	明瞭	38.6* ³⁾	8.5	21.9	直	中
大木 Oh-494	丸山形	21.9	15.2	0.39	大	全体	明瞭	31.8	8.8	19.7	波状・ちぢれ	中

1) 1 瓶から代表的な子実体を 1 本選び, 20 瓶×3 反復分の観察結果を示す (数字は平均値)

2) 1 瓶から代表的な子実体を 8 本選び, 4 瓶×1 反復分の観察結果を示す (数字は平均値)

3) 両品種間で有意差が認められたことを示す (*: 5%水準, **: 1%水準, t 検定)

第 8 表 「福おおき 173 号」の子実体菌柄の形態特性

品種名	長さ ¹⁾ (mm)	最大径 ¹⁾ (mm)	菌傘基部径 ¹⁾ (mm)	硬さ ¹⁾ (N)	白色度 ²⁾	平滑性 ¹⁾	毛羽の有無 ¹⁾
福おおき 173 号	68.4	6.8** ³⁾	6.6	0.62** ³⁾	53.0** ³⁾	平滑	なし
大木 Oh-494	67.1	8.3	6.3	0.91	41.5	平滑	なし

1) 1 瓶から代表的な子実体を 1 本選び, 20 瓶×3 反復分の観察結果を示す (数字は平均値)

2) 1 瓶から代表的な子実体を 8 本選び, 4 瓶×1 反復分の観察結果を示す (数字は平均値)

3) 両品種間で有意差が認められたことを示す (1%水準, t 検定)

第 9 表 培養条件別にみた「福おおき 173 号」の栽培特性

培養条件		瓶あたり収量 ¹⁾ (g/850mL 瓶)		生育日数 ¹⁾ (日)		イボ発生度 ²⁾	
日数	温度	福おおき 173 号	大木 Oh-494	福おおき 173 号	大木 Oh-494	福おおき 173 号	大木 Oh-494
56 日	20℃	215	229	18** ⁴⁾	20	0	56
	25℃	229	224	20** ⁴⁾	22	0	13
70 日	20℃	191** ⁴⁾	229	17** ⁴⁾	19	3	6
	25℃	225	231	19** ⁴⁾	21	0	0
	30℃	221** ⁴⁾	166	21	21	3	13
90 日 ³⁾	22℃	176* ⁴⁾	186	21** ⁴⁾	23	0	0

1) 数字は, 8 瓶×1 反復分の平均値を示す。「福おおき 173 号」の 56 および 70 日培養の値は第 4 表と同じ。「大木 Oh-494」の値は第 2 ステージ三次検定時に「福おおき 173 号」と同時に栽培したときの値を示す

2) 数字は, 8 瓶調査したときの発生度を示す

3) 20 瓶×3 反復分の平均値を示す。ぶなしめじ種の審査基準 (農林水産省 2021) にしたがって基本培地に近い組成で栽培しているため, 他の条件に比べて収量は少ない

4) 両品種間で有意差が認められたことを示す (*: 5%水準, **: 1%水準, t 検定)

(5) 子実体アミノ酸含量

子実体に含まれる各種遊離アミノ酸含量を第10表に示す。タンパク質が分解されて生じる遊離アミノ酸類は、旨味、苦味、甘味などの味を呈するものが多く、食味に関わる重要な成分である(田淵ら 2020)。ブナシメジの呈味成分を調べた原田ら(2005)も旨味や甘味などの遊離アミノ酸含量と食味評価との相関が高かったとしている。そこで、日本食品分析センター(2019)および Zhao *et al.* (2023)にしたがって、第10表には遊離アミノ酸群を旨味、苦味、甘味に分類して示した。旨味アミノ酸について、有意な品種間差は認められなかったが、グルタミン酸含量は「大木 Oh-494」を下回り、逆にアスパラギン酸含量は上回った。苦味アミノ酸 8 種の含量については、すべて「大木 Oh-494」を下回り、特にヒスチジンは有意に低かった。これは、食味検定において「福おおき 173 号」が「大木 Oh-494」に比べて苦味の評点が有意に低かったこと(第5表)と符合した。甘味アミノ酸 5 種の含量について、プロリン以外の 4 種は「大木 Oh-494」を下回ったが、いずれも有意な品種間差は認められなかった。以上のように、アミノ酸含量では本品種の苦味の少なさは説明できても、総合評価の美味しさをうまく説明できなかった。これは、味覚や香りに関する成分が多岐にわたることにくわえ、複数の成分の相互作用により味覚が増強される相乗効果やマスキングされる抑制効果があること(高橋・西成 2010)、味覚受容体および嗅覚受容体をコードする遺伝子に個人差があること(戸田 2019)などから、様々な要因が複雑に味覚に影響したためと考えられた。一方、機能性アミノ酸について、ブナシメジに多く含まれ(原田ら 2005, 小岩ら 2022)疲労感軽減作用があるとされるオルニチン(Sugino *et al.* 2008)の含量は「大木 Oh-494」を有意に下回った。きのこ類に多く含まれ血圧降下や抗糖尿病作用のある γ -アミノ酪酸(GABA)(白坂 2022)の含量も「大木 Oh-494」より少なかったが、有意差は認められなかった。一方、その他のアミノ酸のうち、*in vivo* および *in vitro* 研究において免疫応答増強作用を持つグルタミン(岡部 2016)は、「大木 Oh-494」を有意に上回った。なお、カルノシン、シトルリン、タウリン、テアニン、ヒスタミン、ヒドロキシプロリン、 β -アラニンの 7 種については、両品種とも検出限界以下であった。

結 言

我が国では、1910 年から現在にいたるまで日最高気温が 30℃以上の真夏日と日最高気温 35℃以上の猛暑日の日数は増加している(気象庁 2024)。これに対応するため、食用きのこの分野でも、高温域で子実体が発生するシイタケ(*Lentinula edodes*)(Miyazaki *et al.* 2024)や、芽出し不良や生育遅延などの高温障害に強いエノキタケ(*Flammulina velutipes*)(小山ら 2017)など高温耐性育種が行われてきた。本研究で育成した「福おおき 173 号」は、培養温度域が高温側に広い高温耐性品種である。瓶あたり収量は、「大木 Oh-494」に比べ、20℃70 日の慣行培養条件では有意に少なかったものの、25℃培養では有意差は認められず 30℃培養では有意に多かった(第9表)。つま

り、高温で培養するほど本品種の優位性は高まった。さらに、エノキタケやエリンギ(*Pleurotus eryngii*)に比べ培養期間が長いブナシメジにとって、夏季に高い培養温度で空調コストを削減できるメリットも大きい。松山ら(1998)の理論式を用いた冷却容量に基づけば、培養温度を 3℃上げれば空調コストを約 10%節減できると試算された。一方、本品種は 25℃では慣行より 2 週間短い 56 日培養でも 70 日培養と収量が変わらないことから(第9表)、生育日数の長期化やイボ発生度の増加といったリスクの高い 30℃培養(江口ら 2024)を避ければ、高温短期培養によって空調コストの節減と同時に年間生産量を増やすこともできる。

本品種は、食味検定で苦味が少なく総合評価の高い良好な成績であった。きのこの風味には、アミノ酸、ペプチド、ヌクレオチド、ポリオール、可溶性糖類などの不揮発性化合物のほか、アルコール、アルデヒド、エステル、ケトンなどの揮発性化合物など様々な成分が影響を与える(Jiang *et al.* 2023)。例えば、沢辺ら(1999)はブナシメジの苦味成分の前駆体として複数のポリイソプレンポリオールを単離した。しかし、単離された各化合物とヒトが感じる苦味との関係は明らかにされていない。今回、苦味を呈するアミノ酸 8 種を定量した結果、「大木 Oh-494」に比べ有意に含量が少なかったヒスチジンをはじめ、他 7 種も「福おおき 173 号」の方がいずれも含量が少なく(第10表)、食味検定で苦味が少ないと評価されたことと符合した。一方、旨味を呈するアミノ酸のうちアスパラギン酸の含量は本品

第10表 「福おおき 173 号」の遊離アミノ酸含量

特性	アミノ酸名	乾重100 gあたり含量 ¹⁾ (mg)	
		福おおき 173号	大木 Oh-494
旨味	グルタミン酸	520	672
	アスパラギン酸	454	392
苦味	アルギニン	1,082	1,320
	ロイシン	643	737
	フェニルアラニン	439	509
	バリン	321	356
	イソロイシン	300	340
	ヒスチジン	210 ^{*2)}	328
	メチオニン	134	143
	トリプトファン	101	137
甘味	アラニン	469	610
	セリン	339	370
	トレオニン	247	288
	グリシン	203	207
	プロリン	141	133
機能性	オルニチン	813 ^{**2)}	1,223
	GABA (γ アミノ酪酸)	60	86
その他	グルタミン	1,732 ^{**2)}	1,389
	リジン	551	710
	チロシン	235	304
	アスパラギン	219	223
	シスチン	55	43

1) 数字は、同じサンプル塊から 3 回採取したときの平均値を示す

2) 両品種間で有意差が認められたことを示す (* : 5%水準, ** : 1%水準, t 検定)

種の方が 16%多かったが、グルタミン酸の含量は 22%少なく、甘味を呈するアミノ酸については 5 種のうち 4 種の含量が下回った。このことから、アミノ酸含量以外の成分や要因が美味しさに関与していると考えられた。

謝 辞

JA 福岡大城しめじ部会の生産者の皆様には、選抜過程から菌株の現地栽培試験に協力いただき多くの感想や意見をいただいた。福岡県工業技術センター 生物食品研究所食品課の上田京子、田崎麻理奈の両氏には、アミノ酸分析に関する試薬調製や分析操作の補助をいただくとともに分析結果の解釈について貴重なご助言をいただいた。食味試験に参加いただいた当センター職員には、慎重で公正な評価をいただいた。株式会社大木きのこ種菌研究所のスタッフには、培地作成、孢子採取から播種、一核菌糸の単離、交配、種菌作成など多くの菌株の栽培検定の基盤を支えていただいた。ここに心から謝意を述べる。

引用文献

- Borchert NB, Cruz-Romero MC, Mahajan PV, Ren M, Papkovsky DB, Kerry JP (2014) Application of gas sensing technologies for non-destructive monitoring of headspace gases (O_2 and CO_2) during chilled storage of packaged mushrooms (*Agaricus bisporus*) and their correlation with product quality parameters. *Food Packaging and Shelf Life* 2 (1) : 17-29.
- 江口雅音・上田京子・梅田剛利・嶋谷頼毅・大曲恵美・森康浩 (2024) ブナシメジ栽培における高温短期培養の可能性. *九州森林研究* 77 : 129-134.
- 宜寿次盛生・米山彰造・原田 陽・佐藤真由美・奥田康仁・松本晃幸 (2015) タモギタケ白色自然突然変異体の保有する菌傘色および菌柄背地性形質に関する遺伝分析. *日本菌学会会報* 56 : 27-32.
- Fu Y, Yu Y, Tan H, Wang B, Peng W, Sun Q (2022) Metabolomics reveals dopa melanin involved in the enzymatic browning of the yellow cultivars of East Asian golden needle mushroom (*Flammulina filiformis*). *Food Chemistry* 370, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131295>
- 原田 陽・宜寿次盛生・米山彰造 (2005) ブナシメジの食味に影響を及ぼす呈味成分の品種間差異. *林産試験場報* 19 : 25-30.
- Jiang C, Duan X, Lin L, Wu W, Li X, Zeng Z, Luo Q, Liu Y (2023) A review on the edible mushroom as a source of special flavor: Flavor categories, influencing factors, and challenges. *Food Frontiers* : 1-17.
- 気象庁 (2024) 気候変動監視レポート 2023—世界と日本の気候変動および温室効果ガス等の状況—. https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2023/pdf/ccmr2023_all.pdf
- 小岩智宏・吉田龍文・松田雄一・浅野正博・安井明美・平出政和 (2022) ブナシメジ中のオルニチン測定法の検討と室間共同試験による妥当性確認. *日本食品科学工学会誌* 69 : 375-384.
- 小山智行・角田茂幸・風間 宏・鈴木 大・中山利明 (2017) エノキタケ‘シナノアーリー’ (長菌 17 号) の育成とその特性. *長野県野菜花き試験場報告* 16 : 31-37.
- 松山正彦・寺澤 泰・堀部和雄 (1998) ファジイ数を用いた植物生産環境システムの環境制御 (第 1 報) きのこ培養・熟成室における栽培環境の実態. *植物工場学会誌* 10 (2) : 70-78.
- 三尋木健史 (2012) 美味しさをはかる美味技術—官能評価とおいしさについて—. *美味技術学会誌* 11 (2) : 45-47.
- Miyazaki K, Sakamoto Y, Sato S, Miyamoto R, Yada R, Ishii H, Yamauchi T, Goto F, Kinoshita A, Kaneko S, Matsushita-Asano S, Miyazaki Y, Okii E, Shiraishi S (2024) Mapping of quantitative trait loci associated with temperature for fruiting body induction in *Lentinula edodes* (Shiitake mushroom). *Mushroom Science and Biotechnology* 32 (1) : 31-40.
- 日本植物防疫協会 (2016) 薬効・薬害試験研究の手引き【平成 28 年度改訂版】<https://pdf4pro.com/cdn/jppa-or-jp-498959.pdf>
- 日本食品分析センター (2019) アミノ酸について. *JFRL ニュース Vol.6 No.26*, https://www.jfrl.or.jp/storage/file/news_vol6_no26.pdf
- Niu Y, Yun J, Bi Y, Wang T, Zhang Y, Liu H, Zhao F (2020) Predicting the shelf life of postharvest *Flammulina velutipes* at various temperatures based on mushroom quality and specific spoilage organisms. *Postharvest Biology and Technology* 167, 111235
- 野上大樹・金子周平・高島幸司 (2023) 栽培ブナシメジ子実体の菌傘に発生するイボ状突起の発生要因. *九州森林研究* 76 : 49-53.
- 野上友美・北本 豊 (1995) きのこの基礎実験技術. *きのこの科学* 2 (3) : 17-26.
- 農林水産省 (2021) ぶなしめじ種審査基準. <https://www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/kijun/1337.pdf> (2024 年 5 月 28 日閲覧)
- 岡部 進 (2016) サプリメントとしてのグルタミンに関する最近の研究—とくに免疫増強作用について—. *薬理と治療* 44 : 673-680.
- Pérez G, Lopez-Moya F, Chuina E, Ibañez-Vea M, Garde E, López-Llorca LV, Pisabarro AG, Ramírez L (2021) Strain degeneration in *Pleurotus ostreatus*: A genotype dependent oxidative stress process which triggers oxidative stress, cellular detoxifying and cell wall reshaping genes. *Journal of Fungi* 7 (10) , 862.
- 林野庁 (2023) 令和 4 年特用林産基礎資料—きのこ類の生産量—. https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tsstat=000001021191&cycle=7&tclass1=000001021192&tclass2=000001208720&cycle_facet=tclass1%3Atclass2&tclass3val=0 (2024 年 5 月 28 日閲覧)
- 沢辺昭義・森田全律・稲葉和功・大内成志・岡本 忠 (1999)

- 質量分析法によるきのこに含まれる苦味成分前駆体、新規ポリイソプレンポリオール構造解析. 日本応用きのこ学会誌 7(2) : 49-56.
- 白坂憲章 (2022) きこの機能性成分に関する食品科学・生化学的基礎研究. 日本きのこ学会誌 30 (1) : 14-19.
- Sugino T, Shirai T, Kajimoto Y, Kajimoto O (2008) *L*-Ornithine supplementation attenuates physical fatigue in healthy volunteers by modulating lipid and amino acid metabolism. *Nutrition Research* 28 : 738-743.
- 田淵諒子・山本真史・寺島和寿・時本景亮・福島（作野）えみ (2020) 乾燥条件が異なる原木乾シイタケの各種成分含量の比較. 日本きのこ学会誌 28 : 175-181.
- 高橋 亮・西成勝好 (2010) おいしさのぶんせき. ぶんせき 2010 年 8 月号 : 388-394.
- 戸田安香 (2019) 機能解析技術が明らかにした味覚受容体と食物成分のかかわり 味の感じ方は生き物それぞれ. 化学と生物 57 : 115-120.
- 上田景子・江口雅音・大曲恵美・嶋谷頼毅・森 康浩 (2022) ブナシメジ育種における小型菌床を用いた形質評価の有効性. 日本きのこ学会誌 30 : 129-134.
- 善如寺 厚 (1992) 6 章 育種. きこの学 (古川久彦 (編)). 共立出版, p.162.
- Zhao J, Wang T, Zhang C, Han X, Yan J, Gan B (2023) A comparative analysis of the umami taste of five fresh edible mushrooms by simulating the chemical environment of oral digestion *in vitro*. *LWT* 176, 114522.