

スギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床有機栽培 －炭酸カルシウム添加および米ぬか混合量の検証－

清水達哉¹

要旨：有機栽培で使用可能なスギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培における炭酸カルシウム添加効果、および米ぬかの混合量を検証した。供試菌には、雪ぼうしN-1とチクマッシュ T-011を使用した。栽培試験の結果、エノキタケ菌床栽培において、炭カル添加は増収効果があり、特にチクマッシュ T-011の菌床栽培において、培地資材の乾燥質量あたり0.3～0.5%添加するとその効果を最大化できる可能性があること、また、チクマッシュ T-011の菌床栽培において、850 mLの栽培ビンを使用する場合、米ぬかの混合量はスギおが粉100 gに対して90 g混合するよりも110 g混合することにより増収効果があることが示唆され、これらはエノキタケ菌床有機栽培において有効であると考えられた。

キーワード：雪ぼうしN-1, チクマッシュ T-011, 有機栽培

I. はじめに

エノキタケ (*Flammulina velutipes*) は全国で生産量が多い食用きのこの一つで、長野県や新潟県を中心に年間約13万t生産されている (林野庁 2024)。エノキタケをはじめとした栽培きのこは販売価格の低迷と産地間競争の激化により、生産者の経営が不安定である。そのような中で、消費者の健康志向や安全安心志向などから有機栽培による農作物の需要が高まっており、有機栽培による生産物は、それ以外の生産物との差別化により高付加価値化が可能であると考えられる。これまできのこの有機栽培で使用可能な資材は、培地基材としては基準を満たした樹木由来の資材、農産物、栄養材としては基準を満たした米ぬか、ふすまに限り使用可能であったが、2024年7月1日の有機農産物の日本農林規格の改正により、基準を満たした炭酸カルシウムや消石灰等のpH調整剤などが使用可能となった (農林水産省 2025)。

現在、一般的にエノキタケ菌床栽培に使用される培地基材はコーンコブミールであり (例えば、小山 2014; 風間・小山 2020)、エノキタケ菌床栽培が開始された当初から長らく一般的に使用されてきたスギ (*Cryptomeria japonica*) おが粉を培地基材とした場合に比べて増収する (例えば、中村 1997; 城石ら 2005) ため、エノキタケ生産者の生産性が飛躍的に向上した。しかしながら、コーンコブミールの多くは中国、タイ、インドネシア等か

ら輸入される (風間・小山 2020) ため、そのほとんどがきのこの有機栽培には使用できない (農林水産省 2024)。このため、有機栽培に使用可能な培地基材は樹木、つまりはエノキタケ菌床栽培が開始された当初から使用されてきたスギなどの針葉樹や広葉樹のおが粉に限られているといえるだろう。

きのこ菌床栽培における増収方法の一つとして、pH調整剤の添加による増収効果は広く確認されている。例えば、ナメコ (*Pholiota microspora*) については特に顕著で、消石灰や炭酸カルシウム等を使用して培地pHを殺菌前に6.0前後に調整することで、収量を20%程度増加させることができる (木村 2014)。エノキタケ菌床栽培における消石灰等のpH調整剤の添加効果についてはいくつ報告がある。例えば、高畠 (1998) は、培地基材をエゾマツ (*Picea jezoensis*) おが粉を用いた菌床栽培において貝化石の添加効果を検証した結果、培地質量に対して0.3%以上貝化石を添加すると増収し、最適濃度は2.0%で、添加しなかった場合と比較して20%増収したと報告している。その一方で、小越・武田 (2008) は、新潟県で開発、品種登録したエノキタケ品種である雪ぼうし2号の菌床栽培におけるカキ殻粉末を用いた栽培試験を行い、カキ殻粉末を1ビンあたり4 g添加した結果、添加しなかった場合と比較してわずかに収量が減少した (小越・武田 2008) と報告しており、カルシウムを主成分とするpH調整剤の添加効果は一定でない。また、ス

¹新潟県森林研究所 (〒958-0264 新潟県村上市鵜渡路2249-5)
(2025年4月30日受付, 2025年12月5日受理)

ギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培における炭酸カルシウムの添加効果についての報告はみられない。さらに、本県が開発した雪ぼうしN-1は、2015年に出願し2020年に品種登録されたが、栽培特性に関する知見はほとんどない。

そこで本研究では、有機栽培で使用可能なスギおが粉を培地基材としたエノキタケ菌床栽培について、雪ぼうしN-1では炭酸カルシウム添加効果の一つの栽培試験で検証し、メーカー品種のチクマッシュ T-011では炭酸カルシウムの添加効果、および米ぬかの混合量を二つの栽培試験で検証した。

II. 材料と方法

1. 供試菌

雪ぼうしN-1 (新潟県) およびチクマッシュ T-011 (株式会社千曲化成) のおが粉種菌を使用した。

2. 培地資材

雪ぼうしN-1を種菌とした栽培試験 (以下、栽培試験1) における培地基材には、2022年12月22日に購入後、19か月散水や攪拌などをせずに野積みしたスギおが粉を使用した。スギおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が3.4%、2.0 mm以上2.8 mm未満が40.8%、1.4 mm以上2.0 mm未満が48.5%、1.4 mm未満が7.3%だった。

チクマッシュ T-011を種菌とした二つの栽培試験について、一つ目の栽培試験 (以下、栽培試験2) における培地基材には、栽培試験1と同様の2022年12月22日に購入後、21か月野積みしたスギおが粉を使用した。二つ目の栽培試験 (以下、栽培試験3) における培地基材には、2024年2月21日に購入後、13か月散水や攪拌などをせずに野積みしたスギおが粉を使用した。スギおが粉の粒度ごとの質量割合は、2.8 mm以上が1.0%、2.0 mm以上2.8 mm未満が4.6%、1.4 mm以上2.0 mm未満が39.6%、1.4 mm未満が54.9%だった。

すべての栽培試験の栄養材には、米ぬか (JA北新潟) を使用した。添加材には、炭酸カルシウム (有恒鉱業株式会社、飼料用30 kg入り、以下、炭カル) を使用した。

3. 培地調整と種菌の接種

栽培試験1は2024年7月30日に培地調整、その翌日の31日に接種した。乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量90 gの米ぬかで構成した培地を対照群とした。対照群に対して、炭カルを乾燥質量1.90 g (培地資材の乾燥質量の1.0%)、3.80 g (培地資材の乾燥質量の2.0%)、および5.70 g (培地資材の乾燥質量の3.0%) 添加した培地の計三つの試験培地を実験群として設定し、計四つの試験培地を設定した (表-1)。試験培地の含水率 (湿量基準) は水道水を加えて、計算上の値が64.15%となるように水分量を調整した。

表-1. 栽培試験の培地条件

栽培試験 の番号	試験培地	培地基材	栄養材	添加材	水 (g)	充填量 (g)	含水率 (%, 湿量基準)	殺菌後 培地pH	n
		(g, 乾燥質量) スギおが粉	(g, 乾燥質量) 米ぬか	(g, 乾燥質量) 炭酸カルシウム					
1	対照群	100.00	90.00	0.00	340.00	530	64.15	6.225	32
	炭カル1.0%添加	100.00	90.00	1.90	343.40	535	64.15	6.598	32
	炭カル2.0%添加	100.00	90.00	3.80	346.80	541	64.15	6.716	32
	炭カル3.0%添加	100.00	90.00	5.70	350.20	546	64.15	6.844	32
2	対照群	100.00	110.00	0.00	373.33	583	64.00	6.052	32
	炭カル0.1%添加	100.00	110.00	0.21	373.71	584	64.00	6.084	32
	炭カル0.3%添加	100.00	110.00	0.63	374.45	585	64.00	6.115	32
	炭カル0.5%添加	100.00	110.00	1.05	375.20	586	64.00	6.159	32
	炭カル0.8%添加	100.00	110.00	1.68	376.32	588	64.00	6.290	32
	炭カル1.0%添加	100.00	110.00	2.10	377.07	589	64.00	6.350	32
	炭カル2.0%添加	100.00	110.00	4.20	380.80	595	64.00	6.650	32
	炭カル3.0%添加	100.00	110.00	6.30	384.53	601	64.00	6.806	32
3	対照群	100.00	90.00	0.00	337.78	528	64.00	6.256	32
	炭カル0.3%添加	100.00	90.00	0.57	338.79	529	64.00	6.250	32
	炭カル0.4%添加	100.00	90.00	0.76	339.13	530	64.00	6.296	32
	炭カル0.5%添加	100.00	90.00	0.95	339.47	530	64.00	6.334	32
	米ぬか110 g培地	100.00	110.00	0.00	373.33	583	64.00	6.173	32
	米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加	100.00	110.00	0.63	374.45	585	64.00	6.281	32
	米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加	100.00	110.00	0.84	374.83	586	64.00	6.328	32
	米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加	100.00	110.00	1.05	375.20	586	64.00	6.350	32

栽培試験2は2024年10月10日に培地調整、その翌日の11日に接種した。乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量110 gの米ぬかで構成した培地を対照群とした。対照群に対して、炭カルを乾燥質量0.21 g (培地資材の乾燥質量の0.1%), 0.63 g (培地資材の乾燥質量の0.3%), 1.05 g (培地資材の乾燥質量の0.5%), 1.68 g (培地資材の乾燥質量の0.8%), 2.10 g (培地資材の乾燥質量の1.0%), 4.20 g (培地資材の乾燥質量の2.0%), および6.30 g (培地資材の乾燥質量の3.0%) 添加した培地の計七つの試験培地を実験群として設定し、計八つの試験培地を設定した(表-1)。試験培地の含水率は水道水を加えて、計算上の値が64.0%となるように水分量を調整した。

栽培試験3は2025年2月19日に培地調整、その翌日の20日に接種した。乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量90 gの米ぬかで構成した培地を対照群とした。対照群に対して、炭カルを乾燥質量0.57 g (培地資材の乾燥質量の0.3%), 0.76 g (培地資材の乾燥質量の0.4%), および0.95 g (培地資材の乾燥質量の0.5%) 添加した培地、そして乾燥質量100 gのスギおが粉と乾燥質量110 gの米ぬかで構成した培地 (以下、米ぬか110 g培地)、さらに、米ぬか110 g培地に対して、炭カルを乾燥質量0.63 g (培地資材の乾燥質量の0.3%), 0.84 g (培地資材の乾燥質量の0.4%), および1.05 g (培地資材の乾燥質量の0.5%) 添加した培地の計七つの試験培地を実験群として設定し、合計八つの試験培地を設定した(表-1)。試験培地の含水率は水道水を加えて、計算上の値が64.0%となるように水分量を調整した。

なお、栽培試験2, 3において、米ぬかの混合量を90 gから110 gに変更したのは、予備試験において増収効果が確認されたためである(清水 私信)。

培地調整については、各試験培地をミキサー(協全商事株式会社)で攪拌後、850 mLのPPビン(ホクト産業株式会社)に手詰めした。供試ビンは各試験培地あたり32本作製し、16本ずつコンテナに格納後(4行×4列)、瓶詰め機(田中技研工業株式会社)で接種孔を培地上面中央に1か所成形した。培地調整と瓶詰め作業は約3時間で完了し、その後、高圧殺菌釜(株式会社千代田製作所, TFK-T06 W-C)で高圧殺菌(119°C, 60分)した。高圧殺菌後、半日程度室温17.0°Cに設定されたクリーンルーム内で放熱し、手作業でおが粉種菌を約10 g接種した。

4. 栽培条件と子実体の収穫

接種後、試験培地ごとに供試ビンの管理位置が偏ら

ないように、栽培試験1は、一つのコンテナ内に各試験培地4本ずつ、栽培試験2, 3は、一つのコンテナ内に各試験培地2本ずつ格納した。

接種後の培養は、室温16.0°C、湿度70%、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下になるように設定した暗黒条件下の培養室内で行った。培養日数は、栽培試験1が29日間、栽培試験2が28日間、栽培試験3が27日間だった。培養は台車に乗せたまま行った。

培養完了後、菌掻機を使用して発生処理を行った。発生処理は接種した種菌と培地表面を削り取る「ぶっ掻き」で行った。

芽出し工程は、室温13.5°C、湿度97%以上、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で管理した。子実体の傘径が約1 mm、子実体が約3 mmに伸長し、接種孔が子実体で概ね塞がった時点で芽出し完了とみなし、生育工程に移した。この際、子実体の成長に差がみられたことから、以降は収穫に至るまで成長の程度が類似する供試ビンごとにコンテナで管理した。

生育工程の前期は、室温6.0°C、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋で管理した。生育工程の後期は、子実体が約1.5 cmに伸長した時点で、室温5.0°C、二酸化炭素濃度2,000 ppm以下に設定した暗黒条件下の部屋に移すとともに、光抑制(15分/日×2日、自走式光源:長野産業NS-0900, 白色蛍光灯, 最大照度:1,200 lx)を行った。

光抑制後、子実体が約6.0 cmに伸長した時点で、プラスチック製青色有孔巻紙(ホクト産業株式会社, 高さ12.5 cm)で紙巻きした。なお、生育工程は湿度調整を行っていないが、湿度は約80~90%で推移した。

子実体の収穫は、株のほぼすべての菌傘が巻紙の高さを越えた時点でを行い、ビン口から石づき方向に3.0 cmの位置で子実体を切り取った。収穫直後に子実体の湿潤質量を0.1 g単位で測定し、これを1供試ビンあたりの収量とした。併せて、発生処理から収穫までの日数(以下、生育日数)を記録し、試験培地ごとに平均生育日数を求めた。

5. 培地のpH測定

各試験培地の殺菌後の培地pHを測定した。培地のpHの測定は、高圧殺菌から半日程度室温17.0°Cに設定されたクリーンルーム内で放熱した後に行った。培地を100 mLコニカルピーカーに10 g秤量し、そこに蒸留水を50 mL加え、5分間ホットプレートスターラー(HOT PLATE PC-351 (AGCテクノグラス株式会社)とC-MAG

HS 7 (IKA) を併用) で攪拌し、室温で60分間静置した後、上澄み液のpHをpHメーター (株式会社堀場製作所, LAQUA F-72) で測定した (表-1)。

6. 統計解析

栽培試験の各試験培地の違いがエノキタケの1供試ビンあたりの収量に与える効果を評価するため、一般化線形モデル (以下, GLM) で解析した。GLMのパラメータはベイズ推定した。解析は栽培試験ごとに行った。応答変数には、1供試ビンあたりの収量を使用した。説明変数は栽培試験で異なり、栽培試験1, 2は試験培地の違い、つまり炭カル添加量の違い (栽培試験1は4区分, 栽培試験2は8区分の質的データ) を使用した。栽培試験3は米ぬか混合量の違い (90 gおよび110 gの2区分の質的データ)、炭カル添加割合の違い (0, 0.3, 0.4, および0.5%の4区分の質的データ)、および米ぬか混合量の違いと炭カル添加割合の違いの交互作用を使用した。ベイズ推定におけるMCMCのサンプリング設定は、バーンイン回数を1,000回, 乱数生成の繰り返し数を2,000回, チェーン数を4本, 事前分布には無情報分布を適用した。また、応答変数の誤差構造は正規分布, リンク関数はidentityとした。モデルの収束判断は収束指標であるRhatが1.1未満であることにより行った (松浦 2016)。なお, 説明変数の効果は, 95%信用区間にゼロを含まない場合に統計学的に有意であると判断した。GLM解析はR version 4.4.2 (R Core Team 2024) のbrmsパッケージのbrm関数 (Bürkner 2017) で行い, Stan version 2.23 (Stan Development Team 2020) を使用してベイズ推定した。

Ⅲ. 結 果

1. 栽培試験

栽培試験1における収穫時の子実体を写真-1に示す。1供試ビンあたりの収量は、炭カル1.0%添加で最も多く、次いで炭カル3.0%添加, 炭カル2.0%添加, 対照群の順に多かった (表-2)。また, 生育日数は, 対照群で最も短く, 次いで炭カル1.0%添加, 炭カル3.0%添加, 炭カル2.0%添加の順に短かった (表-2)。

表-2. 栽培試験1における各試験培地のエノキタケ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
対照群	196.61	7.88	25.09	0.39	32
炭カル1.0%添加	215.64	6.09	25.47	0.62	32
炭カル2.0%添加	214.05	7.40	25.63	0.71	32
炭カル3.0%添加	215.29	8.53	25.53	0.76	32

供試菌は雪ぼうしN-1。

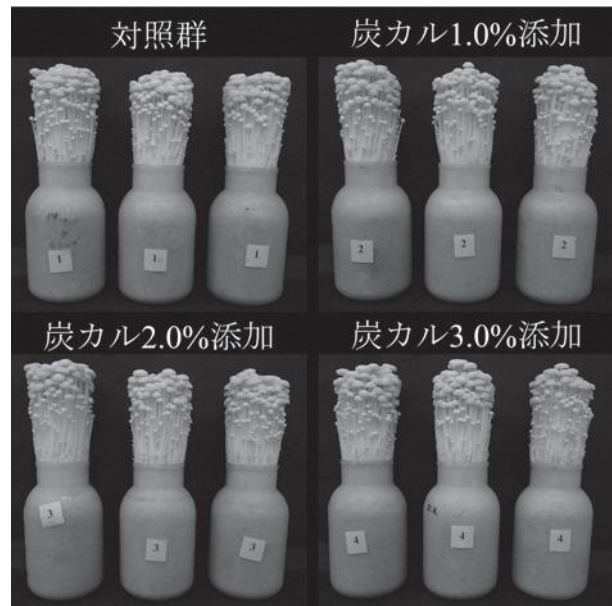


写真-1. 栽培試験1で収穫された各試験培地のエノキタケ子実体供試菌は雪ぼうしN-1。

栽培試験2における収穫時の子実体を写真-2に示す。1供試ビンあたりの収量は、炭カル0.5%添加で最も多く、次いで炭カル0.8%添加, 炭カル3.0%添加, 炭カル1.0%添加, 炭カル2.0%添加, 炭カル0.3%添加, 対照群, 炭カル0.1%添加の順に多かった (表-3)。また, 生育日数は, 炭カル2.0%添加で最も短く, 次いで炭カル1.0%添加, 炭カル0.8%添加, 炭カル0.1%添加, 炭カル0.5%添加, 炭カル3.0%添加, 対照群, 炭カル0.3%添加の順に短かった (表-3)。

表-3. 栽培試験2における各試験培地のエノキタケ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量 (g/ビン)		生育日数 (日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
対照群	233.83	9.81	28.53	0.80	32
炭カル0.1%添加	230.08	13.76	28.41	0.67	32
炭カル0.3%添加	249.86	8.66	29.00	0.88	32
炭カル0.5%添加	253.47	10.23	28.44	0.72	32
炭カル0.8%添加	253.38	7.25	28.28	0.89	32
炭カル1.0%添加	251.80	8.72	28.25	0.57	32
炭カル2.0%添加	251.12	10.71	28.16	0.77	32
炭カル3.0%添加	252.62	12.49	28.50	0.84	32

供試菌はチクマッシュT-011。

栽培試験3における収穫時の子実体を写真-3に示す。1供試ビンあたりの収量は、米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加で最も多く, 次いで米ぬか110 g培地, 米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加, 米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加, 炭カル0.5%添加, 炭カル0.4%添加, 炭カル0.3%添加, 対照群の順に多かった (表-4)。また, 生育日数は,

炭カル0.3%添加で最も短く、次いで米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加、炭カル0.4%添加、米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加、米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加、炭カル0.5%添加、対照群、米ぬか110 g培地の順に短かった(表4)。



写真-2. 栽培試験2で収穫された各試験培地のエノキタケ子実体供試菌はチクマッシュT-011。

2. GLM解析

GLM解析のRhatはすべてのモデルで1.1未満であり、MCMCは収束したと判断した。

栽培試験1における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-5)、炭カル1.0、2.0、および3.0%は対照群に対して収量に有意な正の効果があった。

栽培試験2における1供試ビンあたりの収量を応答変数

としたGLM解析の結果(表-6)、炭カル0.3、0.5、0.8、1.0、2.0、および3.0%は対照群に対して収量に有意な正の効果

表-4. 栽培試験3における各試験培地のエノキタケ子実体の収量および生育日数

試験培地	収量(g/ビン)		生育日数(日)		n
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
対照群	206.34	11.20	29.75	0.98	32
炭カル0.3%添加	212.25	8.57	28.56	0.67	32
炭カル0.4%添加	212.39	8.55	28.78	0.79	32
炭カル0.5%添加	217.23	9.03	29.22	0.75	32
米ぬか110 g培地	240.39	9.24	29.97	1.12	32
米ぬか110 g培地&炭カル0.3%添加	245.55	8.57	29.09	1.28	32
米ぬか110 g培地&炭カル0.4%添加	240.10	10.77	28.72	1.02	32
米ぬか110 g培地&炭カル0.5%添加	239.29	10.69	29.16	1.44	32

供試菌はチクマッシュT-011。

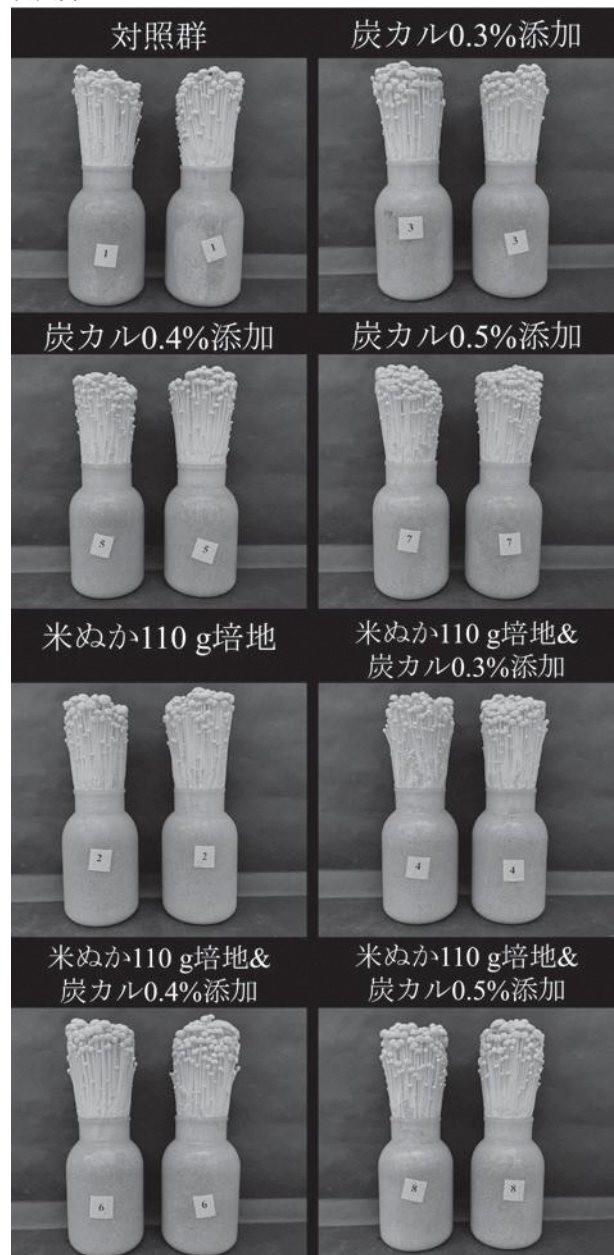


写真-3. 栽培試験3で収穫された各試験培地のエノキタケ子実体供試菌はチクマッシュT-011。

果があった。炭カル0.1%は対照群に対して収量に有意な効果が認められなかった。

栽培試験3における1供試ビンあたりの収量を応答変数としたGLM解析の結果(表-7), 米ぬか110 gの効果, 炭カル0.3, 0.4, および0.5%は対照群に対して収量に有意な正の効果があった。米ぬか110 gと炭カル0.3%添加の交互作用, 米ぬか110 gと炭カル0.4%添加の交互作用は対照群に対して収量に有意な効果が認められなかった。

表-5. 栽培試験1におけるエノキタケ子実体の収量を応答変数としたGLM解析の結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (対照群)*	196.67	1.33	194.09	199.29
炭カル1.0%添加の効果*	18.99	1.92	15.29	22.76
炭カル2.0%添加の効果*	17.40	1.89	13.93	21.23
炭カル3.0%添加の効果*	18.62	1.87	14.87	22.19

単位はg。

*が付いた説明変数は, 95%信用区間にゼロを含まないことを示す。

供試菌は雪ぼうしN-1。

表-6. 栽培試験2におけるエノキタケ子実体の収量を応答変数としたGLM解析の結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (対照群)*	233.84	1.83	230.16	237.35
炭カル0.1%添加の効果	-3.74	2.59	-8.80	1.38
炭カル0.3%添加の効果*	16.09	2.61	10.90	21.19
炭カル0.5%添加の効果*	19.64	2.58	14.70	24.63
炭カル0.8%添加の効果*	19.56	2.59	14.45	24.77
炭カル1.0%添加の効果*	17.97	2.60	12.97	23.28
炭カル2.0%添加の効果*	17.29	2.59	12.28	22.49
炭カル3.0%添加の効果*	18.79	2.61	13.63	23.88

単位はg。

*が付いた説明変数は, 95%信用区間にゼロを含まないことを示す。

供試菌はチクマッシュT-011。

表-7. 栽培試験3におけるエノキタケ子実体の収量を応答変数としたGLM解析の結果

項目	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間	
			下限	上限
Intercept (対照群)*	206.27	1.65	202.88	209.41
米ぬか110 gの効果*	34.16	2.38	29.42	38.72
炭カル0.3%添加の効果*	6.00	2.38	1.37	10.83
炭カル0.4%添加の効果*	6.06	2.38	1.61	10.91
炭カル0.5%添加の効果*	10.94	2.40	6.45	15.62
米ぬか110 gと炭カル0.3%添加の交互作用	-0.93	3.37	-7.60	5.54
米ぬか110 gと炭カル0.4%添加の交互作用	-6.41	3.40	-13.26	0.35
米ぬか110 gと炭カル0.5%添加の交互作用*	-12.08	3.40	-18.85	-5.42

単位はg。

*が付いた説明変数は, 95%信用区間にゼロを含まないことを示す。

供試菌はチクマッシュT-011。

一方で, 米ぬか110 gと炭カル0.5%添加の交互作用は対照群に対して収量に有意な負の効果があった。

IV. 考 察

本研究において, 雪ぼうしN-1, およびチクマッシュT-011ともに, 炭カル添加は子実体収量の増加効果があることが示唆された(表-2~7)。ただし, 培地資材の乾燥質量あたり0.5%を超えると炭カル添加効果は頭打ちになることが示唆された(表-3, 6)。また, 炭カル添加による増収効果は, 雪ぼうしN-1を使用した栽培試験1, およびチクマッシュT-011を使用した栽培試験2ともに最大約19 gであった(表-5, 6)。エノキタケの菌糸体はpH 4~8で生長し, pH 6付近に最適域がある(中村 2000)とされている。各試験培地の殺菌後の培地pH(表-1)は, 対照群が6.225(栽培試験1), 6.052(栽培試験2), 6.256(栽培試験3)で6に値が近く, 炭カルを添加した試験培地は添加量が増えるにつれ6から値が離れた。しかしながら, エノキタケの最適pHから離れたにもかかわらず炭カル添加により増収した。このことから, 培地pHがやや最適域から中性方向に離れても炭カル添加による効果が大きいことが示唆された。また, 栽培試験2では炭カル添加量を8段階に変化させた結果, 殺菌後の培地pHは6.052~6.806と中性に近い値になった(表-1)。しかしながら, 子実体収量の増収は頭打ちになったが, 中性に近い値になっても減収はしなかった(表-3)。このことから, 炭カル添加の増収効果に閾値はあるが, 培地pHが最適域から離れることによるマイナスの効果はないと示唆された。一方で, 栽培試験3においては, 炭カル添加による増収効果は約6~10 g(表-7)であり, さらに, 栽培試験2ではみられなかったが, 米ぬか90 gに対し110 g混合した場合に増収効果が減少した(表-7)。これは, 使用したチクマッシュT-011の種菌の違いが影響した可能性がある。栽培試験3における対照群の平均収量は約206 gであった(表-4)。一方で, 本研究所で同様の培地資材を使用して栽培した際のエノキタケの平均収量は約210~220 gであり(清水 2025a, 2025b), 栽培試験3は減収したことがわかる。また, 栽培試験3では先行研究(清水 2025a, 2025b)と同様の栽培条件にもかかわらず, 芽出し工程に通常よりも1日多く要した(清水 私信)。これらのことから, 栽培試験3で使用した種菌は, 栽培試験2, および先行研究(清水 2025a, 2025b)で使用した種菌より性能が劣っていた可能性があり, 炭酸カルシウ

ムの添加による増収効果が弱まった可能性がある。エノキタケ菌床栽培において、培地へのカルシウムを主成分とした貝化石の添加により、添加しなかった培地で栽培したエノキタケよりも、カルシウム含有量は11.5倍に増加した(高島 1998)との報告があることから、炭カル添加により増収だけでなく、子実体のカルシウム増加による健康へのプラス効果も期待できるのではないだろうか。

チクマッシュ T-011の菌床栽培に使用する米ぬかの混合量は、850 mLの栽培ビンの場合、スギおが粉100 gに対して、90 g混合するよりも110 g混合することにより増収効果があることが示唆された(表4, 7)。米ぬかの使用量と収量、品質、および生育日数とは関係が深く(柿本 1995)、一般的には米ぬかの使用量が多いほど増収すると考えがちだが、ビン容量100 ccあたり11.3 ~ 12.5 gが適正量とされる(柿本 1995)。これを850 mLあたりに換算すると、約96 ~ 106 gであり、本研究の栽培試験ではそれを上回った。一方で、栽培試験2と栽培試験3の結果を比較すると、栽培試験2では、米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなかった場合(栽培試験2の対照群)、炭カルを添加した他の実験群と比較して収量が少なかった(表-3)。一方で、栽培試験3では、米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなくても、炭カルを添加した他の実験群と同等の収量であった(表4)。この違いは、米ぬかの混合量を増加したうえでの培地pHが影響した可能性がある。栽培試験2の米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなかった培地の殺菌後pHは6.052、また、この培地に培地資材の乾燥質量あたり0.1%の炭カルを添加した培地の殺菌後pHは6.084であり(表-1)、どちらも殺菌後pHが6.115以上であった培地資材の乾燥質量あたり0.3%以上の炭カルを添加した培地より子実体収量は少なかった(表-3)。一方で、栽培試験3の米ぬかを110 g混合した培地に炭カルを添加しなかった培地の殺菌後pHは6.173であり(表-1)、栽培試験2の培地資材の乾燥質量あたり0.3%以上の炭カルを添加した培地には及ばなかったが収量が多かった(表-3, 4)。これらのことから、850 mLの栽培ビンの場合、スギおが粉100 gに対して米ぬかを110 g混合することによる増収効果を期待するには、殺菌後の培地pHを約6.1に調整する必要があるかもしれない。ただし、この結果は二つの栽培試験結果によるものであり、より確度の高い知見を得るには、さらに繰り返しの栽培試験を行う必要がある。また、実際に栽培現場で培地調整する場合においては、使用する培地のpHを確認しながら培地資材を混合する

ことが望ましいだろう。

筆者の主観だが、米ぬかを110 g混合した培地は、わずかに株内部の子実体の水きり(子実体の水分が多すぎる状態)が多いように思われた。これは、子実体の茎数が増え、巻紙内部の子実体密度が高まったことにより、株内部の子実体の蒸散量が低下したためだと思われる。このため、実際に生産現場で本研究の培地を使用するにあたっては、紙巻の時期を遅らせたり、生育施設内の換気を増やすことなどで生育室の湿度をやや下げたりするなどの工夫が必要になる可能性がある。

以上のことから、エノキタケ菌床栽培において、炭カル添加は増収効果があり、特にチクマッシュ T-011の菌床栽培において、培地資材の乾燥質量あたり0.3 ~ 0.5%添加するとその効果を最大化できる可能性があること、また、チクマッシュ T-011の菌床栽培において、850 mLの栽培ビンを使用する場合、米ぬかの混合量はスギおが粉100 gに対して90 g混合するよりも110 g混合することにより増収効果があることが示唆され、これらはエノキタケ菌床有機栽培において有効であると考えられた。スギおが粉ではなく、コーンコブミールを培地基材とした場合のエノキタケの経営指標によれば、1,100 ccの栽培ビン1万本あたりの培地材料費は106,000円で、これは、経営費全体(742,914円)の約14%(風間 2022)に過ぎない。また、本研究において効果検証した炭カル、および米ぬかの資材費は比較的安価であることから、導入コストは大きくはないだろう。新潟市中央卸売市場の市場統計年報(新潟市 2025)をもとに、2024年のエノキタケ販売金額(円/kg)を算出すると約310円/kgである。スギおが粉100 gに対して米ぬかを90 g混合した培地の収量を220 g(清水 2025a, 2025b)、スギおが粉100 gに対して米ぬかを110 g、炭カルを1.05 g混合した培地(栽培試験2の炭カル0.5%添加)の収量を253 g(表-3)としたとき、約10円(0.033 kg×310円/kg)増加すると試算できる。購入先などの違いにより資材費は大きく変動するため、本稿では試算しないが、増加する販売金額内に増加する資材費が収まれば、生産者の収益を増加させることができる。さらに、炭カル、および米ぬかはきのこ栽培の培地資材として一般的であり、生産者にとっては使用しやすい資材と思われる。本研究の栽培試験結果がエノキタケ菌床有機栽培の導入の一助となれば幸いである。

開示すべき利益相反はない。

引用文献

- Bürkner PC. 2017. brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *J Stat Softw.* 80: 1-28.
- 柿本陽一. 1995. エノキタケ. きのこ年鑑編集部編, きのこ年鑑'96年版. 東京: 農村文化社. p. 129-134.
- 風間宏, 小山智行. 2020. きのこ栽培における新規培地資材'バガスパウダー'の利用技術. 長野県野菜花き試験場報告. 17: 51-55.
- 風間宏. 2022. エノキタケの経営指標. 特産情報きのこ年鑑編集部編, 2022年度版きのこ年鑑. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 240-243.
- 木村栄一. 2014. ナメコ栽培のQ&A. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 310-315.
- 小山智行. 2014. 施設空調型エノキタケ栽培の最新技術. 大橋等編, 改訂版最新きのこ栽培技術. 東京: 株式会社プランツワールド. p. 165-172.
- 松浦健太郎. 2016. StanとRでベイズ統計モデリング. 東京: 共立出版.
- 中村公義. 1997. エノキタケ. きのこ年鑑編集部編, きのこ年鑑'98年版. 東京: 農村文化社. p. 166-171.
- 中村公義. 2000. エノキタケ. 衣川堅二郎, 小川眞編, きのこハンドブック. 東京: 朝倉書店. p. 68-76.
- 新潟市. 2025. 市場統計年報青果部編. [2025.12.5参照]. <https://www.city.niigata.lg.jp/business/ichiba/tokui/nenpou2024.files/2024-2seika.pdf>.
- 農林水産省. 2025. 日本農林規格有機農産物JAS1605. [2025.12.5参照]. https://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/attach/pdf/yuuki-437.pdf.
- 小越智博, 武田綾子. 2008. エノキタケ「雪ぼうし2号」の特性について (IV) - カキ殻粉末を用いた培地試験 -. 新潟森林研報. 49: 29-32.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 林野庁. 2024. 令和6年版森林・林業白書. 東京: 全国林業改良普及協会.
- 清水達哉. 2025a. スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるコーンコブミール培地のエノキタケ廃菌床による培地基材置換率の検証. 新潟森林研報. 65: 20-26.
- 清水達哉. 2025b. スギおが粉エノキタケ菌床栽培におけるナメコ廃菌床の利用. 日林誌. 107: 123-127.
- 城石雅弘, 西澤賢一, 野崎功一, 天野良彦, 神田鷹久. 2005. エノキタケの栽培と子実体特性に及ぼす培地成分の影響. *J. Appl. Glycosci.* 52: 133-136.
- Stan Development Team. 2020. Stan: A C++ Library for Probability and Sampling, Version 2.23.
- 高島幸司. 1998. 食用きのこ栽培に及ぼす貝化石添加の効果 (I) エノキタケについて. 第48回日本木材学会大会研究発表要旨集. p. 469.