

食用担子菌を用いた農業副産物の利用性改善に関する研究

三木 聡子
環境動態学専攻

穀物や畜産物の生産現場からは大量の農業副産物が排出される。排出された農業副産物は、焼却やすき込みおよび堆肥化といった方法で土壌に還元される。しかしながら、これらの処理方法は、大量の二酸化炭素をはじめ環境に有毒なガスを排出するため、時には大気汚染の原因になる。一方、様々な農業副産物を用いて白色腐朽性および腐植性の食用担子菌の栽培が行われてきた。農業副産物を用いた食用担子菌の栽培は、農業副産物の量を減らし、食物を生産することに意義があると考えられる。また、白色腐朽性の担子菌は選択的にリグニンを分解するので、リグノセルロース材料を家畜の飼料へと転換する能力を有し、腐植性の担子菌は腐食の進んだ材料に生育する特性を持つ。本研究の目的は、無殺菌ワラを用いた食用担子菌の栽培、食用担子菌を栽培した廃培地の飼料化および使用済み家畜敷料を用いた食用担子菌の栽培を検証し、農業副産物の利用性改善に必要な知見を得ることである。

1. 無殺菌ワラを用いた食用担子菌の栽培

はじめに、コムギワラ角型ベールを用いて、食用担子菌であるトキイロヒラタケとヒラタケの簡易栽培について検討した。40cm × 60 cm × 30 cmのコムギワラ角型ベールを水道水に浸漬し、トキイロヒラタケの液体種菌、小麦穀粒種菌およびヒラタケの小麦穀粒種菌を接種し、培養した。トキイロヒラタケおよびヒラタケを接種したベールの表面は、大部分が雑菌汚染によって暗色へ変化した。一方、トキイロヒラタケの液体種菌を接種したベールのひとつでは、その表面がトキイロヒラタケの菌糸で覆われ、明るい黄色へと変色した。このことから、培養条件によっては、雑菌の繁殖を抑制し、トキイロヒラタケの菌糸のみを生育させることの出来る可能性が考えられた。そこで、菌糸の

表1 トキイロヒラタケの菌糸の生育、蔓延日数に及ぼす殺菌方法の影響

殺菌方法	菌糸の生育	平均蔓延日数(日)
オートクレーブ	4/4 ¹⁾	20.0 ± 0.0
沸騰水(100℃)	4/4	20.0 ± 0.0
温水(65℃)	4/4	20.0 ± 0.0
水洗	4/4	26.5 ± 4.9
無殺菌	3/4	40.5 ± 5.8

1) 1試験区4サンプルに対し菌糸の蔓延がみられた便数を示す

生育に及ぼす培地の処理について検討した。イナワラおよびコムギワラを2~3cmに細切したものと1mmに粉碎したものを用意し、無殺菌でトキイロヒラタケを培養した。トキイロヒラタケの菌糸の生育は、無殺菌区の粉碎ワラの方が細切ワラよりも良好であった。さらに、無殺菌区の粉碎ワラでの菌糸の生育は、殺菌区の粉碎ワラでのそれに比べて劣らなかった。したがって、ワラを粉碎することによって雑菌の繁殖を抑え、トキイロヒラタケの菌糸の生育が助長されると考えられた。

しかしながら、粉碎処理は細切処理よりもエネルギーの投入が大きいとため、粉碎処理に代わる方法の検討が必要であると考えられた。そこで、トキイロヒラタケの菌糸の生育に及ぼす培地の充填量、培地の殺菌の程度、種菌量および培養温度について検討した。トキイロヒラタケ菌糸の蔓延日数が最も短かった条件は、培地の充填量を検討した試験では、充填量120g区の38.5日であった。殺菌の程度を検討した試験では殺菌処理区、熱水処理区および温水処理区の20.0日であった(表1)。種菌量を検討した試験では10%区および20%区の23日であった。培養温度を検討した試験では培養温度24℃の15.5日であった(表2)。これらの結果から、トキイロヒラタケを

表2 異なる培養温度で無殺菌のコムギワラにトキイロヒラタケを培養したときの菌糸の蔓延にかかった平均日数

培養温度(℃)	平均日数(日)
16	22.5 ± 1.0
18	22.0 ± 0.0
20	19.0 ± 3.5
22	17.5 ± 3.0
24	15.5 ± 0.5
26	17.0 ± 2.3
28	17.0 ± 2.3
30	19.0 ± 0.0
32	— *

*: 蔓延せず。

無殺菌のコムギワラで栽培するには、充填量120g/850ml、種菌量10%、培養温度20~24℃が適当であると考えられた。また、培地に熱水や温水を注水することは、雑菌の繁殖を抑制する簡易な殺菌方法として有効であることがわかった。

2 食用担子菌を栽培した廃培地の飼料化

白色腐朽性のキノコを栽培した後の廃培地は、植物細胞壁構成成分のリグニンが分解されることによって、反芻家畜の飼料としての価値が向上することが

知られている。無殺菌の粉碎または細切したイナワラおよびコムギワラにトキイロヒラタケを培養した場合にも、その消化性が改善されているかどうかについて検討した。めん羊の第一胃内溶液を使ったインビトロでの消化試験では、インビトロ有機物消化率 (IVOMD)、インビトロ中性デタージェント繊維消化率 (IVNDFD) およびインビトロガス生産量 (IVGP) は、殺菌区の粉碎イナワラ、粉碎コムギワラおよび無殺菌区の粉碎コムギワラにおいて、培養前のワラよりも高い値を示した。一方、無殺菌の細切イナワラおよびコムギワラのそれらは培養前のワラに比べて低い値であった。無殺菌の粉碎イナワラの IVOMD および IVNDFD は培養前のイナワラに比べて高い値であり、植物細胞壁の消化性が改善されたことが示された。しかし、IVGP は低い値であったことから、無殺菌で培養したワラの ND 溶液可溶画分には揮発性脂肪酸 (VFA) 生産に寄与する糖類はほとんど含まれていないことが考えられた。これらのことから、無殺菌のワラにトキイロヒラタケを培養して、その飼料価値を向上させるには、ワラを砕く処理を施して担子菌にとって栄養源が利用しやすい状態にすることが重要であると考えられた。

これまで、白色腐朽性の担子菌の持つリグニン分解能を利用して、リグノセルロース材料に含有されるリグニンを除去し、その飼料価値を改善する試みがなされてきた。それらの試験では、担子菌による栄養価値の改善効果を測るため、乾物消化率や有機物消化率の測定、あるいはセルラーゼ消化法などが用いられてきた。本章では、IVGP は IVOMD よりも OM 中の可消化 NDF 含量と高い相関があることを明らかにした(図 1)。したがって、キノコ廃培地の消化性を評価するには、IVGP も簡便であり、より正確な指標として有効である。

産業的に行われているキノコの菌床栽培では、ウシの繊維質飼料であるコーンコブミールが利用されるようになっており、栽培後の廃培地は堆肥化処理されている。これまで、コーンコブミール廃培地の消化性について調べた報告はみられない。そこで、白色腐朽性の食用担子菌であるエリンギおよびトキイロヒラタケをコーンコブミールと米ヌカを 9:1 の割合で混合した培地に栽培し、菌種、培地の充填密度および栽培期間が、子実体収量、培地の消化性および繊維成分に及ぼす影響を検討した。培養期間が 112 日以上で、子実体が収穫された廃培地の IVOMD および IVNDFD は殺菌前の培地のそれより大きくなり、IVGP も増加した。したがって、エリンギおよびトキイロヒラタケを栽培することによって、コーンコブミールの消化性はより改善されることがわかった。

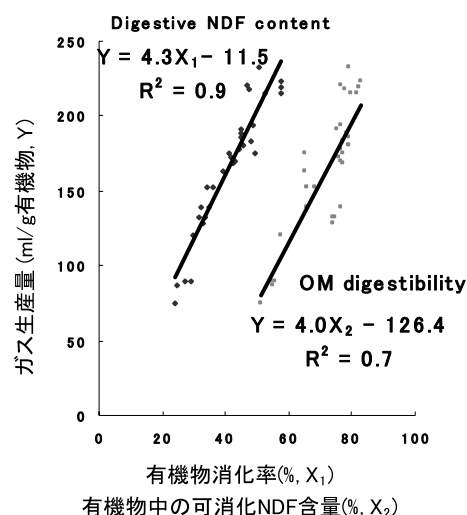


図1 殺菌または無殺菌でトキイロヒラタケを培養したイナワラおよびコムギワラのガス生産量と有機物消化率または有機物中の可消化NDF含量の関係

上記の研究では、廃培地の培養をさらに継続すると、一層消化性が改善されるかについては、明らかではなかった。そこで、コーンコブミール培地にエリンギを栽培し、さらに種菌接種後 175 日まで培地を培養することが、培地の消化性に及ぼす影響について検討した。IVOMD、IVNDFD および IVGP は 0 日から 115 日にかけて上昇した。115 日から 175 日にかけても上昇したが、有意な差は認められなかった。したがって、本研究の培養条件では種菌接種後 115 日間以上培養した廃培地を飼料として利用するのが適当であると考えられた。

3 使用済み家畜敷料を用いた食用担子菌の栽培

ツクリタケの栽培は、17 世紀にフランスで馬の厩肥を堆肥化し、それを培地に用いて行われたのが最初とされる。近年では、小麦ワラあるいはイナワラに鶏糞、硫酸を混合して発酵させた合成堆肥を用いる方法が主流である。本章では、元来の厩肥を用いる栽培方法を再検討し、使用済み家畜敷料の二次利用の可能性について検討した。

競走馬の使用済み敷料 (競走馬敷料)、肉用牛の使用済み敷料 (肉用牛敷料) を堆肥化するとともに、コムギワラと化学肥料で合成堆肥 (合成) を作り、それらにツクリタケを栽培した。それぞれの堆肥から得られたツクリタケの総収量を堆肥 1000kg 当りに換算した値は、合成堆肥が 62.6kg、肉用牛敷料が 53.4kg、競走競走馬敷料が 8.3kg であった。競走馬敷料で良い結果が得られなかったのは、堆肥化の過熱が原因と考えられた。一方、肉用牛敷料および合成堆肥では、市

販されているものと同様の良質のものが収穫された。合成堆肥では4週間目の収穫量がピークであり、その後減収したのに対して、肉用牛敷料では収量は増加する傾向にあった。さらに栽培期間を継続していれば、肉用牛敷料からの収量は合成堆肥を上回ったものと思われる。したがって、肉用牛の使用済み敷料から作った堆肥は、ツクリタケ栽培の培地として優れたものであると考えられた。

肉用牛のオガクズを含む使用済みの敷料は、一部の畜産農家では、乾燥牛糞として販売されている。著者らは市販されている乾燥牛糞を園芸用のポットに入れ、ツクリタケを接種したところ、偶然にも子実体の発生を誘致した。乾燥牛糞や牛糞堆肥を発酵または殺菌処理せずに培地として、ツクリタケが栽培されたという報告はみられなかった。そこで、肉牛肥育農家からオガクズを敷料としている乾燥牛糞と牛糞堆肥を入手し、ツクリタケの栽培を試みた。A,B, およびCの乾燥牛糞および牛糞堆肥（以下、堆肥）の含水率を調整した後、プラスチック製の栽培箱に5kgずつ詰めた。40℃の培養室で発酵させた発酵処理区と、発酵処理を行わなかった非発酵処理区を設け、それぞれの培地にツクリタケを栽培した。いずれの牛糞でもツクリタケの菌糸は成長し、子実体が収穫された。子実体収量が最も多かったのは、オガクズの混入割合が低く、好気性発酵（堆肥化）の時間が短かった乾燥牛糞Aであった。好気性発酵が短かったために、ツクリタケの栄養成分の損失が小さく、結果的に子実体の収量の増加につながったものと考えられる。また、ツクリタケの栽培によって、培地のpHは低下し、窒素、P₂O₅および

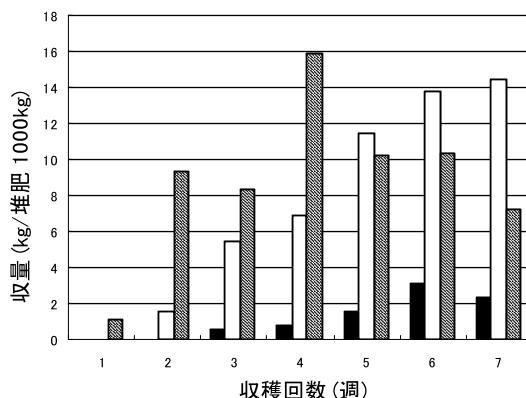


図2. 各堆肥から収穫されたツクリタケの収量と収穫回数(週)の関係
 ■ 競走馬敷料 □ 肉用牛敷料 ▨ 合成堆肥

灰分含量は増加した。一方、炭素含量は低下し、C/N比も低下した（表3）。それぞれの植物細胞壁構成成分の含量も接種前よりも減少した。このことから、ツクリタケ菌糸が牛糞の有機物および繊維成分を分解することがわかった。牛糞の堆肥化では、まず糖、デンプンが分解され、さらに植物細胞壁成分であるヘミセルロース、セルロースが、最後にリグニンが分解されることが知られているが、ツクリタケ栽培においても同様の分解過程が認められた。

まとめ

農地では、一年を通してバイオマス生産が行われる。これまで、農業副産物として得られたバイオマスは、

表3 ツクリタケ栽培前および栽培後の乾燥牛糞および牛糞堆肥の化学成分の含量

培地	発酵処理	pH	乾燥牛糞および牛糞堆肥中の含量					
			C (%)	N (%)	C/N 比	Ash (%)	P ₂ O ₅ (%)	
乾燥牛糞 A	栽培前	7.33	43.9	1.99	22.1	12.5	2.39	
	栽培後	無処理区	6.14	42.6	2.08	20.5	14.6	2.78
		発酵処理区	6.20	42.4	2.02	21.0	14.6	2.82
乾燥牛糞 B	栽培前	7.90	43.9	1.44	30.4	12.4	2.40	
	栽培後	無処理区	7.62	43.2	1.84	23.5	15.6	2.90
		発酵処理区	6.56	42.8	1.75	24.6	15.0	2.96
乾燥牛糞 C	栽培前	7.69	41.5	1.60	25.9	16.9	2.51	
	栽培後	無処理区	6.71	40.2	1.81	22.3	19.8	3.11
		発酵処理区	6.61	40.2	1.82	22.1	19.5	3.14
牛糞堆肥	栽培前	8.51	42.3	1.69	25.0	17.7	2.37	
	栽培後	無処理区	7.78	42.4	1.81	23.4	18.6	2.83
		発酵処理区	7.50	41.3	1.77	23.4	18.1	2.65

利用されてもキノコ栽培用の培地、あるいは家畜の飼料としての一次利用に留まっていた。また、畜産業から生じる使用済みの敷料は、堆肥化されて肥料としての一次利用で留まっていた。しかし、農地から畜産、畜産から農地の間に食用キノコの栽培という過程を挟

むことによって、バイオマスはキノコ栽培用の培地、家畜の飼料、再びキノコ栽培用の培地として三回利用されることになる。その過程において、食資源としてエネルギーが回収されるので、バイオマスのさらなる有効利用が可能となる。