

オオヒラタケ，フクロタケによる稲わらの飼料化

富 樫 巖 米 山 彰 造
瀧 澤 南海雄

Microbial Conversion of Rice Straw into Feed by Use of
Edible Mushroom, *Pleurotus cystidiosus* and *Volvariella volvacea*

Iwao TOGASHI
Namio TAKIZAWA

Syozo YONEYAMA

The enzymatic saccharification ratio of the rice straw on which *Pleurotus cystidiosus* was incubated for 60 days at 30 °C was enhanced, being 1.7 times as large as that of the control. On the other hand, the straw on which *Volvariella volvacea* was incubated for 40 to 50 days at 30 °C was found to have enzymatic saccharification ratios smaller than that of the control.

オオヒラタケを培養することにより、稲わらの酵素糖化率を向上させることができた。オオヒラタケを60日間、30℃で培養した稲わら菌床の酵素糖化率はコントロールの1.7倍の値を示した。一方、フクロタケを40～50日間、30℃で培養した稲わら菌床の酵素糖化率はコントロールの値より低かった。

1. 諸 言

稲わらは、セルロース、ヘミセルロースなどの高分子多糖類を多く含有していることから、潜在価値の高い飼料資源である。しかし、木材と同様に、稲わらの細胞壁成分のリグニンが、セルロースやヘミセルロースの消化を妨げているため、そのままでは飼料価値が低い。

ところで、木材腐朽菌はリグニンを分解する能力を持っている。そこで、著者らは、食用菌を中心とした15種の白色腐朽菌を稲わらに接種・培養することにより、稲わらの飼料価値を高めることを検討してきた¹⁾。そして、タモギタケがこのような微生物処理に適す菌種の一つであることを前報で報告した²⁾。

本報では、夏期の稲わらの飼料化操作を推定して、30℃前後に最適菌糸生長温度を有するオオヒラタケとフクロタケを供試した稲わらの飼料化試験結果について報告する。なお、本研究は、道立滝川畜産試験場との共同研究『微生物処理による繊維質資源の飼料化に関する研究』の一環として行われたものである。

2. 実験方法

2.1 供試稲わら

供試した稲わらは、菌株選抜試験においては深川市1988年産（品種不明）を、子実体発生試験においては北竜町1989年産の“ゆきひかり”である。

なお、これらの供試稲わらは9月末から10月初めに

採取されたものである。

2.2 供試菌株

菌株の選抜には、林産試験場が保有するオオヒラタケ保存菌株 (Pcy82-30, Pcy85-33, Pcy85-34) とフクロタケ (IF0-31104, 日本農林種菌株式会社の市販株) を供試した。これらは、PDA斜面培地で継代培養保存していたものである。

2.3 稲わら培地の調製と殺菌

殺菌処理は、試験の内容に応じて二つの方法で行った。菌株選抜試験では、200ml容ガラス培養瓶に、3cm程度に切断し、水道水で水分を約75%に調整した稲わらを、約70g詰め、120℃、40分間の高圧滅菌を行った。

子実体発生試験では、はっ水性特殊フィルター付き5000ml容ポリプロピレン培養袋 (日晶株式会社製、商品名キノバックNT-25) に、3cm程度に切断し、水道水で水分を約75%に調整した稲わらを、約900g詰め、120℃、90分間の高圧滅菌を行った。

2.4 接種・培養

接種・培養は、試験の内容に応じて二つの方法で行った。

菌株選抜試験では、直径9cmのシャーレに流したPDA平板培地に供試菌を接種・培養し、コルクボーラーで直径14mmの円盤状に菌糸体を打ち抜いたものを、培養瓶中の稲わら上部に接種した。そして、オオヒラタケは25℃、相対湿度70%、暗黒の条件下で40~60日間培養を行った。また、フクロタケは30℃のふ卵器で30~50日間培養を行った。

子実体発生試験では、オオヒラタケ、フクロタケともに第1表に示す組成の液体培地に供試菌を接種し、25℃の暗黒下で振とう培養したものを種菌として、稲わらの入った培養袋一袋当たり30ml接種した。そして、30℃、相対湿度70%、暗黒の条件下で、40~60日間培養を行った。子実体発生区については、菌回り直後に培養袋を取り去り、相対湿度90%、照度300lx(12時間照射/日)の発生室に展開した。展開温度は、オオヒラタケは25℃、フクロタケは30℃とした。

2.5 特性の測定

2.5.1 稲わらの重量減少率

第1表 液体原菌作成のための培地組成
Table 1. Medium composition for liquid cultured spawn.

Soluble starch	10 g
Glucose	10 g
Polypeptone	1.5 g
Yeast extract	3 g
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.5 g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.5 g
FeSO ₄ · 7H ₂ O	2 mg
MnSO ₄ · 6H ₂ O	2 mg
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	2 mg
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.04 mg
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.02 mg
Phosphate buffer (pH5.0)	100 ml
Distilled water	900 ml

70℃で7日間乾燥して恒量化し、稲わら菌床の重量減少率を求めた。

2.5.2 酵素糖化率

まず、重量減少率を測定した稲わら菌床をウイレーミルと遠心微粉砕機により2mm/パスまで粉碎した。ついで、これを蓋付きのサンプル瓶 (35mm×65mm) に約0.5g秤り取り、セルラーゼ (オノズカFA, 酵素濃度: 0.5%) を溶解した0.2M酢酸緩衝液 (pH: 4.0) 40mlを加え、40℃で24時間振とうした。そして、試料をろ過、水洗した後、105℃で一晩乾燥して残渣の乾燥重量を測定し、出発試料の乾燥重量との差を出発試料の乾燥重量で割って『見掛けの糖化率』とした。

また、セルラーゼを入れずに緩衝液のみを加えた試料についても同様の測定を行い、重量減少率を算出し、これと見掛けの糖化率との差を『正味の糖化率』とした。無処理稲わらについても同様な粉碎と酵素糖化処理を行った。

なお、いずれの場合にも繰り返し回数は2回とした。

2.5.3 セルロース、ヘミセルロース、リグニン含量

常法³⁾に従って、酸性データージェント分析と中性データージェント分析を行い、絶乾試料 (無処理稲わら、稲わら菌床) 中のセルロース含量、ヘミセルロース含量、リグニン含量を算出した。

3. 結果と考察

3.1 菌株選抜試験

第2表 菌株選抜試験の結果
Table 2. Strain selection test of *P. cystidiosus* and *V. volvacea*

No.	菌株 Strain	培養期間* ¹ (days) Incubation period	菌回り時間(days) Mycelial spread time* ²	培地重量減少率(%) Weight loss of bed	酵素糖化率* ³ (%) Enzymatic saccharification ratio
1	オオヒラタケ	40		8.6	25.7
	<i>P. cystidiosus</i>	50	42	11.3	29.0
	Pcy82-30	60		14.6	31.1
2	オオヒラタケ	40		8.8	25.3
	<i>P. cystidiosus</i>	50	42	11.6	28.5
	Pcy85-33	60		16.3	28.3
3	フクロタケ	30		12.5	23.3
	<i>V. volvacea</i>	40	21	14.1	21.6
	日本農林	50		16.7	21.4
4	Control	—	—	—	22.8

*¹ Pcy82-30とPcy85-33は25℃にて培養した。日本農林株は30℃にて培養した。

*² 培地全体に菌糸が蔓延するまでの時間。

*³ 見掛けの糖化率。

*¹ Pcy82-30 and Pcy85-33 were incubated at 25°C. *V. volvacea* was incubated at 30°C.

*² The incubation period when the bed is completely covered with mycelia.

*³ Apparent ratio.

第2表には、オオヒラタケPcy82-30とPcy85-33、およびフクロタケ日本農林株の合計3菌株について、菌回り日数、原基形成日、稲わら菌床の重量減少率および酵素糖化率を示した。Pcy85-34は、他のオオヒラタケ2株と比べて菌回りが遅いため、第1回のサンプリング日である40日（培地の菌回り割合：約9割）において、以後の実験を中止した。フクロタケIF0-31104についても、同様の理由で実験を中止した（培地の菌回り割合：約1割）。

実際の稲わらの飼料化を考えると、害菌や雑菌の混入防止のためには担子菌の菌回りが可能なかぎり早いこと、そして、消化性の向上のためには稲わら菌床の酵素糖化率が大きいことが望まれる。フクロタケ日本農林株は菌回りが21日と早い、その稲わら菌床の見掛けの糖化率の値は、ほとんど無処理の稲わらと同程度であり、消化性の改善が見られない。また、正味の糖化率は、いずれのサンプルも無処理の稲わらの値よりも低かった。オオヒラタケ2株の菌回りは42日と遅いものの、稲わら菌床の酵素糖化率は、見掛けの糖化率、正味の糖化率ともに無処理の稲わらよりも高い値が得られた。60日培養における、Pcy82-30の見掛けの糖化率は、無処理の稲わらの約1.4倍となった。

以上の結果から、フクロタケ、オオヒラタケともに

稲わらの飼料化に求められる上記の2条件を満たすものではない。しかし、オオヒラタケについては発育最適温度が28~30℃と報告されている⁴⁾ことから、この菌株選抜試験での培養温度25℃より高い温度で培養することにより、菌回り速度が改善される可能性がある。

3.2 子実体発生試験

3.2.1 オオヒラタケ

第3表にPcy82-30を用い培養温度を30℃として行った子実体発生試験の結果を示した。子実体非発生区のサンプリングは、培養50日と同60日の2回行った。子実体発生区のサンプリングは、子実体を採取した全工程終了後（接種から49日後）に行った。

菌回り日数は35日で、3.1の試験結果と比べて7日早かった。これは、培養温度を高くしたことによる菌糸生長速度の増加と、種菌の接種量が多かったためと考察される。

稲わらの重量減少率を3.1の試験結果と比べると、培養50日、60日ともに30℃で培養した本試験結果の方が約1.7倍大きい値となった。これは、より高温で培養すると菌糸の伸長速度は大きい、呼吸増進による栄養分の消費が大きくなる⁵⁾ためである。これに伴い、稲わらに見掛け糖化率も30℃で培養した本試験の方が約1

第3表 オオヒラタケPcy82-30子実体発生試験結果
Table 3. Fruiting test of *P. cystidiosus* Pcy82-30

Sample	子実体非発生区 No-fruiting		子実体発生区 Fruiting	無処理 Control
	50days incuvation 50日培養	60days incuvation 60日培養		
	全行程 (days) Total run	50	60	49
菌回り (days) Mycelial spread time	←————— 35 —————→			-
重量減少率 (%) Weight loss of bed	19.8	25.0	25.0	-
酵素糖化率 (%) Enzymatic saccharification ratio	31.9 * ¹ (13.3) * ²	35.8 (15.6)	28.5 (9.0)	21.4 (8.1)
菌床のセルロース含量 Cellulose content of bed (%)	37.9	36.1	36.3	39.7
菌床のヘミセルロース含量 Hemicellulose content of bed (%)	13.3	12.1	13.9	22.7
菌床のリグニン含量 Lignin content of bed (%)	4.8	4.2	5.4	5.8
子実体収率* ³ (%) Biological efficiency of fruiting	-	-	2.5	-

*¹ 見掛けの糖化率

*² 正味の糖化率

*³ (g・dry 子実体)/(g・dry 出発菌床)×100

*¹ Apparent enzymatic saccharification ratio

*² Enzymatic saccharification net-ratio

*³ (g・dry fruit-bodies)/(g・dry initial bed)×100

割大きい値となった。

子実体発生が稲わらの飼料化に与える影響を考察するために、子実体発生区と子実体非発生区の分析結果を比較した。比較に用いた子実体非発生区は、栽培全工程の日数が近い培養50日とした。結果は、子実体発生区は、子実体非発生区より、重量減少率が約5%大きく、見掛けの糖化率が約3%小さい値となった。稲わらの成分については子実体発生区のリグニン含量が高い。このために、見掛けの糖化率が低い値となったと考えられる²⁾。また、正味の糖化率も低い。こうした結果は、子実体形成時に、稲わらのセルロースが分解・消費されたことが原因と考察される^{6~9)}。したがって、タモギタケ²⁾と同様に、子実体発生は稲わらの飼料化処理にマイナスの影響を与えることが明らかである。

60日培養した稲わらの重量減少率と見掛けの糖化率

は25%と35.8%であり、前報²⁾で優良菌株として選抜したタモギタケPcy82-1の60日間培養での結果、すなわち重量減少率32%、見掛けの糖化率36%とほぼ等しい。したがって、オオヒラタケPcy82-30は、稲わらの飼料化処理に有望な菌株と思われる。

一方、オオヒラタケの栽培における取扱い上の欠点として、栄養菌糸や子実体は湿潤型の束状体を形成する¹⁰⁾ために手や体が黒く汚れることがあげられる。また、この菌は立木の心腐れを引き起こすことがある⁴⁾。

3.2.2 フクロタケ

第4表に日本農林株を供試した子実体発生試験の結果を示した。子実体非発生区のサンプリングは、培養40日と同50日の2回行った。子実体発生区のサンプリングは、子実体を採取した全工程終了後（接種から47日後）に行った。

第4表 フクロタケ日本農林株子実体発生試験結果
Table 4. Fruiting test of *V. voluacea*

Sample	子実体非発生区 No-fruiting		子実体発生区 Fruiting	無処理 Control
	40days incuvation 40日培養	50days incuvation 50日培養		
	全行程 (days) Total run	40	50	47
菌回り (days) Mycelial spread time	← 16 →			-
重量減少率 (%) Weight loss of bed	11.1	14.5	19.7	-
酵素糖化率 (%) Enzymatic saccharification ratio	18.2 * ¹ (3.4) * ²	18.9 (3.9)	20.4 (6.7)	21.4 (8.1)
菌床のセルロース含量 Cellulose content of bed (%)	37.0	36.7	37.2	39.7
菌床のヘミセルロース含量 Hemicellulose content of bed (%)	21.2	20.5	19.1	22.7
菌床のリグニン含量 Lignin content of bed (%)	7.6	8.1	9.1	5.8
子実体収率* ³ (%) Biological efficiency of fruiting	-	-	0.5	-

*¹ 見掛けの糖化率

*² 正味の糖化率

*³ (g · dry 子実体) / (g · dry 出発菌床) × 100

*¹ Apparent enzymatic saccharification ratio

*² Enzymatic saccharification net-ratio

*³ (g · dry fruit-bodies) / (g · dry initial bed) × 100

菌回り日数は16日で、3.1の試験結果と比べて5日早かった。これは、種菌の接種量が多かったためと考察される。

子実体非発生区稲わらの重量減少率と見掛け糖化率を3.1の試験結果と比べると、いずれも2~3%の違いしかないことから、ほぼ等しいものと考察した。

子実体発生が稲わらの飼料化に与える影響を考察した。子実体発生区の重量減少率は、子実体非発生区の40日培養サンプルより約9%、同区50日培養サンプルより約5%大きかった。栽培の全工程日数を考慮すると、子実体の発生により培地の重量減少率が大きくなっている。稲わらの成分については、オオヒラタケと同じく、子実体非発生区より子実体発生区のリグニン含量が高かった。見掛けの糖化率は18~20%で、両区ともにコントロールより低かった。

こうした結果から、フクロタケは稲わらの飼料化処理に適さないと考えられる。

4. 結論

稲わらの飼料化を目的として、オオヒラタケとフクロタケを供試した結果、次のことが明らかになった。

- (1) オオヒラタケを接種し、30°Cで60日間培養した稲わらの菌床の酵素糖化率は、無処理の稲わらの約1.7倍の値を示した。
- (2) オオヒラタケについて、子実体発生を行うと、稲わら菌床の酵素糖化率が減少した。
- (3) フクロタケを接種・培養した稲わら菌床の酵素糖化率は、無処理の稲わらの値より低かった。

文献

- 1) 富樫巖, 米山章造, 瀧澤南海雄: 日本木材学会北海道支部講演集No.22, 74 - 79 (1990)
- 2) 富樫巖, 米山章造, 瀧澤南海雄: 林産試験場報, 5(3), 1 - 6 (1991)
- 3) 生物分析委員会編: “栄養診断のための栽培植物分析測定法”, 養賢堂 p.494 (1976)
- 4) 小林 正, 青島清雄: 第93回日本林学会大会発表論文集, 377 - 378 (1982)
- 5) 寺下隆夫: “きのこの生化学と利用” 応用技術出版, p.33 (1991)
- 6) 石川久雄, 沖 妙, 仙波裕子: 木材学会誌, 29, 280 - 287 (1983)
- 7) Matsumoto, T.: Rept. Tottmi Mycol. Inst., 26, 46 - 54
- 8) 岩原博樹, 善本知孝, 福住俊郎: 木材学会誌, 27, 331 - 336 (1981)
- 9) 川上日出國, 藤井正人: 第36回日本林学会中部支部大会論文集, 109 - 112 (1988)
- 10) 堀越孝雄, 鈴木 彰: “きのこの一生”, 築地書館 p.21 (1990)

- 利用部 微生物利用科 -
(原稿受理 平4.4.24)