

Short Report

スギおがくず主体の木質系廃菌床の飼料化

小池晶琴¹，甲野恵美¹，横尾正樹¹

¹ 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科

近年菌床栽培でのキノコ生産が盛んになる一方、同時に排出される廃菌床の処理が課題である。菌床の組成は、栽培するキノコの種類によってさまざまであり、本研究で供試したのはスギおがくず主体の地域産木質系廃菌床である。この廃菌床のサイレージ化を図り、その成分分析により飼料特性を明らかにし、さらに調製した飼料の黒毛和種繁殖雌牛への給与試験により飼料価値を評価した。成分分析の結果、廃菌床サイレージは、粗繊維や粗タンパク質が比較的高く粗飼料としての特徴を有し、反芻家畜用飼料として利用できると考えられた。また、廃菌床サイレージにおける原物あたりの乳酸含量も 2%以上であり、良好な乳酸発酵が期待できた。乾物換算で基礎飼料（トウモロコシサイレージ+イネ科牧草乾草）の 12%を菌床サイレージで代替して繁殖雌牛に給与しても、飼料摂取量やルーメン発酵に影響を及ぼすことなく体重維持することができた。したがって、スギおがくず主体の廃菌床が牛用の新規飼料資源になる可能性が示唆された。

キーワード：廃菌床，スギおがくず，サイレージ，粗飼料

日本の飼料自給率は 26%であり、過去 20 年以上大きな変動がなく低迷し続けている（農林水産省，2015）。飼料自給率の向上は急務であり、その対策として、未利用の食品循環資源の有効活用が全国各地で図られている（小嶋，2010；森永ら，2013）。また、輸入飼料への不安感から、安全性の高い国産飼料による家畜生産の実現が求められている（農林水産省，2015）。近年、全国的に菌床によるキノコ栽培が盛んになり、併せて食品製造副産物として発生する廃菌床の処理が課題となっている（小橋ら，2011）。廃菌床は、栽培するキノコの種類によってある程度の組成が決まっているが水分含量が 50%以上と多いので保存性が悪く、その排出後は利用されることなく処分されることが多い。一部の廃菌床については飼料化に成功した報告（小柳ら，1999；梅田ら，2015；畢ら，2015）があるが、これらの研究に用いられて

いる菌床は、コーンコブ（トウモロコシの芯の部分）主体の菌床であることが多く、木質資源のおがくずを主体とした木質系廃菌床はその研究報告がほとんどない。そこで、本研究では、秋田県産スギおがくずを主原料とするブナシメジ廃菌床を用い、その飼料化を図り、牛用飼料としての価値を評価した。

材料および方法

供試廃菌床と飼料調製

秋田県由利本荘市西目町の秋田ニューマッシュ生産組合にて排出されたブナシメジ廃菌床（一回栽培収穫後に排出）を回収し、発酵促進用の添加物等を加えずに、ポリエチレン製の袋を内張りしたドラム缶（200 L）に踏圧をかけながら詰めた。これを常温暗所下で 1 か月間嫌気発酵させ、乳酸発酵飼料（サ

イレージ)として調製した。開封は、給与試験時とし、それまでは常温暗所にて保存した。

飼料成分分析

サイレージは、ドラム缶にて廃菌床を嫌気発酵させたものを、一部採取して分析用サンプルとした。採取したサイレージは、60℃で72時間通風乾燥し、1.0 mm 径の金属メッシュスクリーンを装着したウィレー式粉砕機(株式会社藤原製作所、東京)で粉砕し、風乾試料とした。

また、サイレージの発酵品質を分析するために、水溶性成分の抽出を次のように行った。サイレージ新鮮物を 200 mL 容のプラスチック製のサンプル瓶に入れ、その 2 倍量の蒸留水を加えて薬さじで圧搾し 30 分間常温で振とう後、冷蔵庫にて 16 時間抽出し、ろ紙 (No. 5A ADVANTEC, 東京) でろ過して調製し抽出液サンプルとした (自給飼料利用研究会, 2009)。

サイレージの pH は抽出液サンプルの調製直後に、ガラス電極 pH メーター (F-71, HORIBA, 京都) で測定した。サイレージの乳酸含量は、抽出液を 0.45 μ m セルロースアセテートメンブレンフィルター (DISMIC-13CP, ADVANTEC, 東京) でろ過して、高速液体クロマトグラフィー (HPLC; カラム, Shim-pack SCR101H, 検出器, CDD-10A, いずれも島津, 京都; 40℃; 移動相: p-トルエンスルホン酸水溶液) を用いて、ポストカラム pH 緩衝化電気伝導度検出法 (細谷ら, 2008) で分析した。サイレージの揮発性塩基態窒素 (VBN) は、水蒸気蒸留法 (自給飼料利用研究会, 2009) にて測定し、総窒素 (TN) に対する割合 (VBN/TN) を算出した。

サイレージ原料、およびサイレージの飼料一般成分は、粗飼料の品質評価ガイドブック (自給飼料利用研究会, 2009) に従って測定した。可溶無窒素物 (NFE) 含量については、乾物から、粗タンパク質、粗脂肪、粗繊維、粗灰分の各成分含量の合計を差し引いた値とした。

給与試験と生体試料分析

本研究における以下の動物実験は、公立大学法人秋田県立大学動物実験委員会の承認を受けて実施し

た。

供試動物として、秋田県立大学生物資源科学部附属フィールド教育研究センターで飼養している黒毛和種繁殖牛 4 頭 (3 頭: 1 産経産, 1 頭: 未経産; 試験開始時平均体重 637.6 \pm 53.9 kg) を用いた。各試験の間に 7 日間の予備期間を設け、反転法でそれぞれ 28 日間給与試験を行った。牛房面積は 1 頭当たり 17.28 m² の単飼条件にした。基礎飼料をトウモロコシホールクロップサイレージ+イネ科牧乾草とし、基礎飼料のみを対照区、基礎飼料のコーンサイレージの一部を廃菌床サイレージに代替した飼料を廃菌床区にそれぞれ給与した。一日の一头当たりの各飼料の乾物給与割合は、図 1 の通りとした。

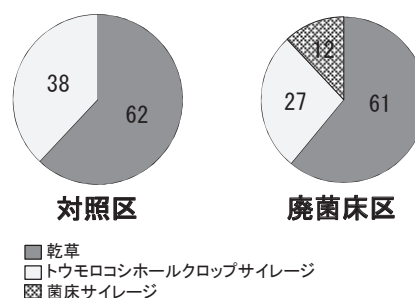


図 1 試験飼料の乾物給与割合 (%)

飼料給与量は、日本飼養標準における雌成牛の維持養分要求量 (農業・食品産業技術総合研究機構, 2008) のうち、粗タンパク質含有量を満たすように各供試牛の試験開始体重から給与量を決定した。飲水および無機塩類の補給に使用した鉱塩 (日本全業工業, 福島) は自由摂取させた。試験期間中における、飼料摂取量は毎日、体重測定は週 1 回の間隔で測定した。各試験期間の最終日には経口カテーテル (胃汁採取器, 富士平工業, 東京) を用いて、第一胃内溶液を採取した。第一胃内溶液の採取は、朝の飼料給与から 5 時間後に行い、採取後ただちに氷冷し、2 重ガーゼでろ過した。ろ過した第一胃内溶液の pH はガラス電極 pH メーターを用いて測定した。第一胃内溶液サンプルは、分析に供するまで -30℃ で凍結保存した。第一胃内溶液中の揮発性脂肪酸 (VFA) の含量は、HPLC で、細谷ら (2008) の

方法を用いて、酢酸、プロピオン酸および酪酸の含量を合計し求めた。

統計分析

ウシの生体重については、処理区と給与期間を要因とする反復測定二元配置分散分析により有意性 ($p < 0.05$) を求めた。飼料摂取量および第一胃内性状についてのみ、Student の t -検定法による有意差検定を実施した。これらの統計処理には、エクセル統計 2010 for Windows (SSRI, 東京) を用いた。

結果および考察

廃菌床サイレージの飼料特性

廃菌床サイレージの成分分析結果を表 1 に示した。調製した廃菌床サイレージは、水分が 50%以上であり、供試廃菌床は小橋ら (2011) が示した食品製造副産物の特徴である高水分の飼料原料であった。また、供試廃菌床は約 35%がスギおがくずであるため、おがくず由来の繊維質により、粗繊維が 35.8%と高くなり、キノコの栄養源として配合される米ヌカやフスマ等によって、粗タンパク質も 9.7%と比較的高い結果になったと考えられる。

表1 廃菌床サイレージの一般成分

成分			
水分	%		56.1
CP	% DM		9.7
EE	% DM		2.0
CF	% DM		35.8
ADF	% DM		47.1
CA	% DM		12.3
NFE	% DM		40.2

数値は平均値 ($n=3$)。DM: 乾物
NFEは100から水分平均値と各数値の平均値の原物換算した%を差し引いた値
CP: 粗タンパク質, EE: 粗脂肪, CF: 粗繊維, ADF: 酸性デタージェント繊維,
CA: 粗灰分, NFE: 可溶無窒素物

サイレージ発酵品質については、pH は 4.17、原物中乳酸含量は 2.23%を示し、畢ら (2015) の調製した廃菌床サイレージでは乳酸含量が 1.55%であったと報告しており、本研究のサイレージは乳酸型発酵で pH が低下したと考えられた。総窒素に対する揮発性脂肪酸の割合 (VBN/TN) は、7.02%となった。McDonald (1973) は、pH が ≤ 4.2 、VBN/TN が $\leq 12.5\%$ のサイレージを良好なサイレージと評価している。すなわち、供試廃菌床は、単独で

発酵させても良好な乳酸発酵が期待できることが明らかとなった。

給与試験による飼料価値の評価

次に、調製したサイレージを配合した粗飼料の給与で黒毛和種繁殖牛の体重が維持できるかどうか検討した。各期間における給与飼料の総乾物摂取量について図 2 に示した。廃菌床サイレージを一定割合で給与しても (図 1)、対照区の乾物摂取量との間に有意な差はなかった。

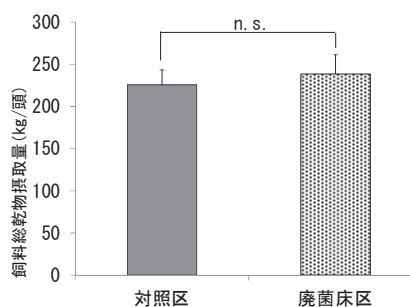


図2 各期間における給与飼料の総乾物摂取量

(kg/頭) ($n=4$, 平均 \pm SD)

n. s. : not significant ($P > 0.05$)

給与試験終了時 (28 日目) におけるルーメン液 pH については、廃菌床区と対照区の間で有意な差異を認めなかった。また、表 2 に試験終了時の第一胃内性状についてまとめた。一般的に、反芻家畜のルーメン液の VFA モル比は、酢酸が 60-70%、プロピオン酸が 15-25%、酪酸が約 10% の割合を示し、粗飼料多給の場合酢酸が増し、プロピオン酸濃度が低下する (篠田と萬田, 1991)。本実験における各酸の濃度を見ると、酢酸が最も高く、プロピオン酸、酪酸の順の濃度となり、酢酸型の発酵であることから粗飼料多給型のルーメン発酵であると考えられた。酢酸、プロピオン酸、酪酸および総 VFA についていずれも両区間に有意差がなく、廃菌床サイレージを給与しても対照区と同様の第一胃内性状を保っていたと考えられた。

表2 給与試験終了時の第一胃内性状

	mmol/L		
	対照区	廃菌床区	p値
酢酸	64.0	55.2	0.178
プロピオン酸	14.0	12.3	0.102
酪酸	9.0	7.8	0.160
総VFA	87.0	75.4	0.161

数値は平均値(n=4). p値: Student t-検定により得られた値
VFA:揮発性脂肪酸 (酢酸, プロピオン酸, 酪酸の総和)

体重の推移について、図3に示した。各区の飼料給与量は、維持養分要求量（農業・食品産業技術総合研究機構, 2008）を満たすように給与したが、処理区間および飼料給与期間において、廃菌床サイレージの給与による有意な差は認められず、試験開始時の体重がおおむね維持されていたと考えられた。

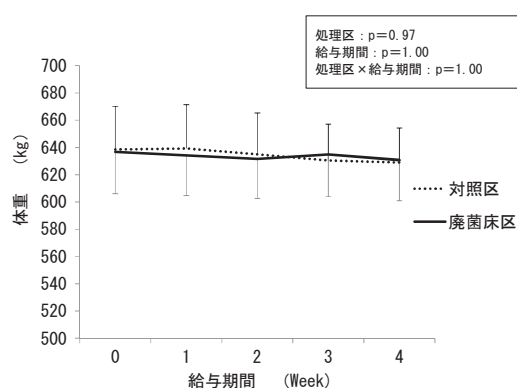


図3 試験期間中の各区の体重変動 (kg/頭)

値は：平均値±標準誤差を示す (n=4)

右肩数値：分散分析結果を示す

以上の結果から、乾物換算で基礎飼料の12%を菌床サイレージで代替しても、飼料摂取量やルーメン液性状に影響を及ぼすことなく体重を維持することができた。したがって、スギおがくず主体廃菌床は、牛用飼料資源としての可能性を有することが示唆された。

文献

畢雪, 佐藤絢美, 梁曦, 関口奈都美, Dian Wahyu Harjanti, Md. Mostafizar Rahman, 登丸瑛, 佐野宏明 (2015). 「ヒツジにおける微生物体室

素供給量, 血漿グルコースおよびロイシン代謝に及ぼすエノキタケ廃菌床サイレージ給与の影響」『日本畜産学会東北支部会報』65, 22-30.
細谷肇, 斉藤健一, 反町裕, 米本貞夫 (2008). 「乳酸菌と尿素添加が梱包密度の低い飼料イネサイレージの長期貯蔵性に及ぼす影響」『千葉県畜産総合研究センター研究報告』8, 71-76.

自給飼料利用研究会 (2009). 『三訂版粗飼料の品質評価ガイドブック』(pp.4-77). 日本草地畜産種子協会.

小橋有里, 村松克久, 小柳渉 (2011). 「新潟県内に存在する低・未利用資源有効活用のための飼料成分値の評価」『新潟県農業総合研究所畜産研究センター研究報告』17, 19-29.

小柳渉, 本間暁子, 今井明夫, 石橋和彦 (1999). 「キノコ廃菌床の飼料利用に関する研究」『日本畜産学会北陸支部会報』79, 19-21.

小嶋禎夫 (2010). 「食品残さの飼料利用による産卵鶏の生産性に関する研究」『東京都農林総合研究センター研究報告』5, 1-37.

農林水産省 (2015). 「飼料をめぐる情勢」(1-24). 農林水産省生産局資料. Retrieved from http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryu/pdf/05_meguji_data.pdf

農業・食品産業技術総合研究機構 (2008). 『日本飼養標準 肉用牛 (2008年版)』(pp.31-91) 中央畜産会.

McDonald, P. & Whittenbury, R. (1973). *The silage process in chemistry and biochemistry of herbage*. Vol. 3:33. Academic Press, London and New York.

森永樹, 山田和史, 高山清子, 山本英樹, 越智洋, 水谷政美 (2013). 「乳酸菌を利用した食品廃棄物のリサイクルに関する研究」『宮崎県工業技術センター研究報告』56, 91-94.

篠田満, 萬田富治 (1991). 「サイレージ発酵品質とルーメン液性状の関係」『日本草地学会誌』37, 106-113.

梅田剛利, 太田剛, 北崎宏平, 馬場武志 (2015). 「エノキダケ廃菌床を含むイネ WCS 発酵 TMR の発酵品質と乳牛の乳生産性に及ぼす影響」『福岡

県農林業総合試験場研究報告』1, 44-48.

謝辞

本研究を行う上で、農事組合法人秋田ニューマッシュ生産組合の鈴木建一郎氏に、廃菌床を提供していただいた。ここに記して深謝する。

また、本研究は、平成 26 年度学長プロジェクト「若手スタートアップ奨励研究」の支援を受けて行った。

〔 平成 27 年 6 月 30 日受付
平成 27 年 7 月 31 日受理 〕

Quality evaluation of silage prepared using sawdust-based mushroom beds

Akiko Koike¹, Emi Kouno¹, Masaki Yokoo¹

¹ Department of Agribusiness, Faculty of Bioresource Science, Akita Prefectural University

Mushroom production by mushroom bed cultivation has recently increased. However, a considerable amount of waste mushroom bed is discarded as a by-product. The composition of mushroom bed varies with the type of mushroom. In this study, we used waste mushroom bed that consisted mainly of cedar sawdust after harvesting Bunashimeji (*Hypsizigus marmoreus*). We ensiled this mushroom bed, evaluated the silage fermentation and quality of the sawdust-based waste mushroom beds, and investigated the effect of the silage feeding on live body weight and in vivo ruminal fermentation in non-pregnant breeding Japanese Black Cattle. Component analysis results revealed that waste mushroom bed silage includes contents of both crude fiber and crude protein and is considered to be one of the feed raw materials for ruminants. The lactic acid content in the flesh silage material was more than 2%, indicating that silage had undergone sufficient lactic acid fermentation. Feeding of the silage that was replaced by 12% of the dry matter of the basal diet (corn silage + grass hay) was had no effect on live body weight, dry matter feed intake, or volatile fatty acid concentrations of rumen fluid. These results suggest that silage of waste mushroom bed from harvested Bunashimeji could be used effectively as a new roughage resource for breeding cattle.

Keywords: waste mushroom bed, cedar sawdust, silage, roughage