

退職教員の寄稿

秋田県の未利用資源の有効利用による地域貢献

-秋田県産キノコ廃菌床の飼料および堆肥としての有効利用-

三木（小池）晶琴¹¹九州大学先端融合医療レドックスナビ研究拠点

昨今菌床を用いた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問題となっている。私は県立大学在任中、これまで未利用であったアキタスギおがくずを主体とした地域産木質系廃菌床の飼料化や肥料化を試み、以下の点を明らかにできた。①キノコ廃菌床をサイレージ調製し、その成分分析や牛への給与試験を行った結果、廃菌床サイレージは、原物あたりの乳酸含量が高く良好な乳酸発酵が期待でき、繊維質や粗タンパク質が比較的高いことから、反芻家畜用の粗飼料として利用できると考えられた。また、乾物換算でイネ科牧草の17%を廃菌床サイレージに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などに影響を及ぼすことなく体重維持できた。②キノコ廃菌床を堆積発酵させ廃菌床堆肥を調製した結果、廃菌床堆肥は、コマツナの初期成長の助長や土壌改善への可能性を有し、地域資源循環に貢献できると考えられた。以上の結果より、木質系廃菌床はこれまで未利用だったが、飼料資源、堆肥資源として利用可能であり、秋田県の農畜産業の発展の一助となりうることが示唆された。

キーワード：未利用資源、キノコ廃菌床、サイレージ、堆肥

昨今、海外の飼料穀物価格の高騰等の影響で、配合飼料価格も上昇している。また、日本の飼料自給率は27%（平成26年度）であり、他の先進国と比べ非常に低く推移している（農林水産省 2016a）。そのため、飼料自給率の向上は急務であり、対策として、国産の飼料作物増産に加え未利用の食品循環資源の有効活用が図られている。

食品循環資源とは、食品産業から排出される余剰食品や製造副産物などを指し、その発生量は年間約1900万トンと見積もられている（農林水産省 2016b）。そのうち約8割が、食品リサイクル法に基づき飼料化や肥料化が図られて再利用されている。特に、飼料化されたものを家畜に給与し、得られた畜産物をエコフィード利用畜産物として差別化した畜産物の販売が全国的に推進されてきている。

キノコ生産の現場では、菌床によるキノコ栽培が盛んになり、併せて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）。秋田県に

おける特用林産物全体の生産額は約5300百万円（平成26年度）であり、このうち栽培キノコ類の生産額が9割を占めている。廃菌床は、栽培するキノコの種類によってある程度組成が決まっているが水分含量が50%以上と多いため保存性が悪く、発生量の60%程度は堆肥として、農地還元されている。また、一部の廃菌床については飼料化に成功した報告（畢ら 2015；梅田ら 2015）があるが、これらの研究に用いられる菌床は、コーンコブ（トウモロコシの穂軸部分）主体の廃菌床であることが多い。一方、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。

秋田県のキノコ栽培工場（由利本荘市西目町）では、アキタスギおがくずを主原料とする菌床で580kg / 日のブナシメジを栽培している（図1左）。同時に1日約2トン、年間約730トンの廃菌床が排出され（図1右）、その一部は肥料として利用しているが、大部分は産業廃棄物として処分している。

そこで私は、県立大学において5年間かけて、このキノコ廃菌床に着目し、その飼料化及び飼料としての価値を評価してきた。さらに、廃菌床を堆肥化し、廃菌床堆肥の肥料効果についても検討してきた。これらの研究成果と、地域への貢献性について報告する。



図1 菌床栽培の様子(左)と排出された廃菌床(右)

キノコ廃菌床のサイレージ化

キノコ生産工場からブナシメジ栽培後に排出されるキノコ廃菌床を回収し、発酵促進用添加物を一切加えず、ポリエチレン製の袋を内張りしたドラム缶(200 L)に詰め常温暗所下にて約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。

調製した菌床サイレージは、定法(自給飼料利用研究会 2009)に従って飼料の一般成分を分析し、飼料としての特性を明らかにした。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るとともに、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%と比較的高い結果を示した。サイレージの発酵品質については、pHは4.2、新鮮物中乳酸含量は2.2%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1.6%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(小池ら 2015)。総窒素に対する揮発性脂肪酸の割合(VBN/TN)は、7.0%であったが、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になっ

た(小池ら 2015)。

黒毛和種繁殖牛への給与と飼料評価

本研究における全ての動物実験は、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(2頭:2産, 1頭:1産, 1頭:未経産;試験開始時平均体重 594.3 ± 73.0 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。同区の二頭ずつを群飼条件にし、給餌時はスタンションにてウシの首を保定し、各牛に飼料給与した。イネ科牧草を基礎飼料とし、基礎飼料のみを対照区、基礎飼料の一部(乾物換算で17%)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。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。

給与試験終了時(28日目)におけるルーメン液pHについても、廃菌床区と対照区の間で有意な差異は認められなかった。本実験における各酸の濃度は、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(表1)、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1 給与試験終了時の第一胃内性状

	対照区	廃菌床区	p値
酢酸 (mmol/mmol)	0.8	0.8	0.441
プロピオン酸 (mmol/mmol)	0.1	0.1	0.322
酪酸 (mmol/mmol)	0.1	0.1	0.428
総VFA (mmol/L)	142.2	162.8	0.416

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2に示したように各区の

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ところ、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。給与試験期間中、一般血液性状について測定したが、いずれの成分においても両区間に有意差はなく、廃菌床サイレージを給与しても、一般血液性状への影響は小さいと考えられた。

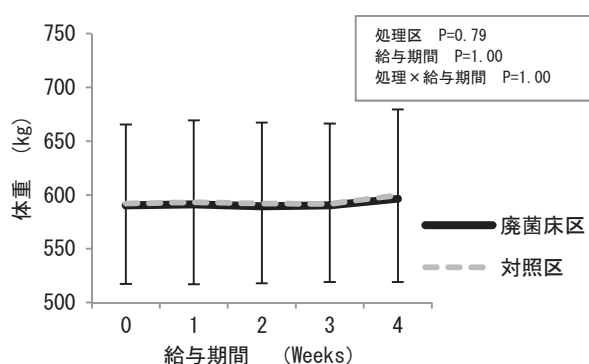


図2 試験期間中の各区の体重変動 (kg/頭)

値：平均値±標準偏差を示す (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17%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、発酵飼料化することで、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。

廃菌床堆肥の調製とその利用

飼料化の際に用いたキノコ廃菌床を、発酵促進剤を加えずに約6か月間堆肥舎にて堆積発酵を試みた。堆積直後から2ヶ月間は隔週1回、それ以降は4週間に1回繰り返し作業を行った。データロガー

(GL820, グラフテック, 神奈川) による堆肥各層 (表層から25 cm, 50 cm および100 cm) の温度測定ならびに、毎月採取した堆肥サンプルの腐熟度を定法 (原田ら 1982) により判定した。調製した完熟菌床堆肥の一般成分 (pH, 水分, EC, CN 比, P,

K, Ca, Mg, Na) を定法 (鬼頭ら 2014) により測定した。さらに、植物の生育阻害要因の有無を判定するためにコマツナを用いた発芽試験 (片山ら 2007) を行った。発芽試験では堆肥の抽出液 (0~6ヶ月) および蒸留水 (対照) をそれぞれシャーレに入れ、暗所25°C下で3日間培養し発芽率を調査した。次にコマツナによる10⁻⁵ a ワグネルポットを用いた幼植物試験を行った。供試土壌は、市販のイネ育苗用培土 (CaCO₃ で pH6.5 に調整), 大潟村および八郎潟畑作土壌で、窒素投入量12 kg / 10 a に相当するように、表2のとおり堆肥と化学肥料 (N-P-K=8-8-8) を施肥した。試験は3週間、明期12時間25°C, 暗期12時間23°Cに設定したインキュベータにて行い、播種から10日目までの発芽率と、週毎の草丈、本葉数、葉色、試験終了時の収量を測定した。

表2 試験区分と窒素投入量

試験区分 (3反復/区)	kg N / 10 a	
	堆肥	化学肥料
対照区	0	0
堆肥区	12	0
混合区	8	4
化学肥料区	0	12

調製した廃菌床堆肥の温度は5ヶ月目以降、切り返し後に上昇がみられなかったが、腐熟度比率については堆積3ヶ月後で低位安定したため、そこで完熟したものと判断した。迅速な堆肥化には、肥料原料の堆積初期の堆肥温度調節が重要であることから (伊藤と福重 2007), 本研究では、繰り返し作業の回数調節により省力的に堆肥調製ができたと考えられる。コマツナ発芽試験においても、2ヶ月以降の堆肥サンプルにおいて、発芽率が対照と同程度となり、廃菌床の完熟堆肥は植物の生育を阻害しないと考えられる。廃菌床堆肥の成分を測定した結果、もみ殻混牛糞堆肥に比べてCaは多く、NとMgは同程度、KとPは少ないという特徴を持っていた。C-N比も腐熟段階が進むにつれ低下し、完熟時には約16程度であった。コマツナ幼植物試験ではイネ育苗用培土を供した場合、堆肥区と混合区で化学肥料区と同等の収量が得られ、草丈などの成長量が有意に高

かった。大瀧村土壌を用いた場合、4日目時点の発芽率が化学肥料区よりも堆肥を加えた全ての区で高く、菌床堆肥を加えるとコマツナの初期成長が良好となることが推察された。また、終了時の草丈も堆肥を加えた区で化学肥料区より有意に高い結果となった。八郎潟土壌を用いた場合では、乾物収量は、堆肥区、混合区で化学肥料区と相違なかった。

以上の結果から、廃菌床は地域産堆肥資源として有効利用でき、資源循環の一助となりうることが示唆された。

おわりに

5年間秋田県立大学において本研究を行った結果、供試したキノコ廃菌床は、飼料利用においては、発酵させることで保存性も増し、牛の粗飼料の一つとしての利用可能性を有し、堆肥利用においては、完熟させることでコマツナの初期成長の助長や、土壌の化学性、物理性を改善する可能性を有し、地域における資源循環に貢献できると考えられた。したがって、秋田県のキノコ生産工場で排出される廃菌床は、これまでほとんど未利用であったが、適切に処理を行うことで、飼料資源、堆肥資源として十分に利用可能であり、秋田県の農畜産業の発展の一助となりうることを明らかにできた。

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窒素供給量, 血漿グルコースおよびロイシン代謝に及ぼすエノキダ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.
- 原田靖生, 井ノ子昭夫, 菅原和夫, 宮松一夫, 伊澤敏彦 (1982). 「都市ごみコンポストの有機成分組成の特徴と腐熟度の判定」『日本土壌肥料学雑誌』53, 116-122.
- 伊藤信雄, 福重直輝 (2007). 「通気による最適堆肥温度制御」『東北農業研究』60, 103-104.
- 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.
- 片山信也, 佐藤克昭, 山田万祐子, 望月建治, 芹澤駿治 (2007). 「堆肥腐熟度評価のためのコマツナ発芽試験法の諸条件」『日本草地学会誌』52, 250-254.
- 鬼頭 誠, 名嘉真健, 高田真希, 瑞慶覧朝貴 (2014). 「地這い栽培したシカクマメの生育量と雑草発生量に及ぼす播種時期, 播種密度および除草時期の影響」『雑草研究』59, 65-73.
- 小池晶琴, 甲野恵美, 横尾正樹 (2015). 「スギおがくず主体の木質系廃菌床の飼料化」『秋田県立大学ウェブジャーナル B (研究成果部門)』2, 111-116.
- 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.
- 農林水産省 (2016a) 「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_siryopdf/05_meguji_data.pdf
- 農林水産省 (2016b) 「食品ロスの削減とリサイクルの推進」(1-61). 農林水産省食料産業局資料. Retrieved from http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/attach/pdf/index-23.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.
- 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(故)鈴木澄夫氏ならびに鈴木建一

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、本研究の遂行は、3 年間、学長プロジェクトの支援を受けて行った。

県立大学における研究

2011 年 4 月に県立大学に採用されてから、家畜生産に有益な地域資源を探索し、秋田県産のキノコ廃菌床に着目した。採用時から畜産のプロジェクトに所属していたので、在職していた 5 年間にわたり、原料となるキノコ廃菌床の成分組成の詳細を明らかにし、その有用性を追究してきた。まずキノコ廃菌床の飼料化を図り、次に堆肥化を検討した。その研究成果については、小池ら（2015）にも一部報告している。

<略歴> 2011 年東海大学大学院生物科学研究科
生物科学専攻 修了（博士（農学）） / 同年 秋田県
立大学生物資源科学部アグリビジネス学科 助教
/ 2016 年 九州大学先端融合医療レドックスナビ研
究拠点 テクニカルスタッフ

〔 平成 28 年 11 月 30 日受付 〕
〔 平成 28 年 12 月 22 日受理 〕

Regional contribution by the utilization of unused resources of Akita Utilization of waste mushroom bed as feed and compost

Akiko Miki-Koike¹

¹ *Innovation Center for Medical Redox Navigation, Kyushu University*

There has been an increased use of mushroom bed cultivation within mushroom production. However, a considerable amount of mushroom bed is discarded as a waste by-product. In this study, after harvesting Bunashimeji (*Hypsizygus marmoreus*), we used waste mushroom bed consisting mainly of cedar sawdust. We ensiled this mushroom bed, evaluated silage fermentation, and investigated the effect of the use of the silage as feed on body weight and *in vivo* ruminal fermentation in non-pregnant breeding Japanese Black cattle. Results of component analysis revealed that waste mushroom bed silage contains both crude fiber and crude protein, considered to be raw materials for ruminant feed. Lactic acid content of the fresh silage material was > 2%. Replacing 17% of the dry matter of the basal diet (grass hay) with the silage had no effect on live body weight, dry matter feed intake, or volatile fatty acid concentrations of rumen fluid. We then composted the waste mushroom bed, and investigated its value as a compost. A cultivation test showed no inhibitory action of the compost on the germination and growth of komatsuna (*Brassica campestris*). These results suggest that the waste mushroom bed can be used as a feed and in compost, thereby improving the possibility of agricultural development of Akita.

Keywords: unused resource, waste mushroom bed, silage, compost