

初乳発酵乳清、乳酸菌及びブドウ糖添加が飼料イネサイレージ発酵品質に及ぼす影響

福井 弘之・井内 民師

要 約

初乳発酵乳清（以下乳清）、乳酸菌及びブドウ糖添加が飼料イネサイレージ発酵品質に及ぼす影響を調べた。発酵処理 5 日目の乳清には、乳酸菌が 10^7 /ml 菌数レベルで分布しており、分離菌株はすべてグラム陽性、カタラーゼ陰性の球菌で、L(+) 乳酸を産生するホモ発酵型の乳酸菌であり、これら菌株は *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* と同定した。

サイレージ品質において、pH は各添加区 4.7 以下で推移し、無添加区は 5.0 以上であった。乳酸生成量は各添加区が無添加区より多く推移し、酢酸生成量は供試区の差は少なかった。酪酸生成量は乳清添加区で貯蔵日数が経つほど増加する傾向がみられた。総酸に対する乳酸の割合は、貯蔵 60 日目以降の乳清区で酪酸生成量の増加とともに他の添加区より低い値となった。アンモニア態窒素含量は全区とも低い値で推移した。貯蔵日数別乳酸菌数は乳清添加が他の区より多い傾向で推移し、他の区も 7～14 日目をピークに日数が経つにつれて減少した。

目 的

資源の有効利用を図るという観点から、酪農経営において分娩後 5 日間出荷を停止している初乳に着目した。初乳の中にも乳酸菌は存在する。この乳酸菌を飼料イネサイレージ調製に利用できないかと考えた。

近年、飼料用イネの作付け面積が増加している。飼料イネは付着乳酸菌と糖含量が少なく、乳酸発酵が円滑に進まず、酪酸やアンモニア態窒素が多い劣質な発酵パターンとなりやすいとされている^{1) 2) 5) 6)}。西日本では、8～9 月には台風が上陸する可能性が高く、どうしても早めに刈り取る傾向にあり、水分含量の高い材料で調製している事例も多くある。

近藤ら³⁾は乳清と糖を併用添加することにより高品質サイレージを得ることが出来たと報告している。しかし、乳清添加の発酵品質の推移は明らかになっていない。

本研究では、飼料イネに対する乳清の添加効果を検討するために、乳酸菌 (*Lactobacillus rhamnosus* + *Acremonium Ceiuiase*)、ブドウ糖の添加物に無添加を加えた 4 区についてパウチサイロ

で発酵品質を調査した。また、乳清に含まれる乳酸菌を独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構畜産草地研究所蔡義民氏に協力依頼し、乳酸菌の同定を行った。

材料及び方法

初乳乳清の調製方法は、分娩後 3 日目の朝、夕の合乳を 30 リットルのポリタンクに入れ、1 日 1 回振動攪拌しながら 5 日間貯蔵した。そして、ポリタンクから空気ポンプを用いて乳清を取り出し、ガーゼで濾過した液を添加した。3 日目の牛乳を発酵させた乳性の糖含量は 3.9% であった。なお、分娩後、日数が経つほど乳糖含量が多くなるので 4～5 日目が良いと考えている。

調製時の添加処理は、乳清と乳酸菌の乳酸菌添加量をほぼ同じ量を添加し、糖は原料重当たり 2% 添加した。どの添加区も水に溶いて散布したため、条件を合わせて無添加区にも水を散布した。

発酵後 5 日目の乳清には、乳酸菌が 10^7 /ml 菌数レベルで分布しており、分離菌株はすべてグラム陽性、カタラーゼ陰性の球菌で、L(+) 乳酸を産生するホモ発酵型の乳酸菌であった。それらの分子系統位置は、*Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* の

基準菌株と最も近縁な系統関係にあり、互いに88%以上のDNA-DNA 相同性を示すため、これら

の菌は, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* と同定した。

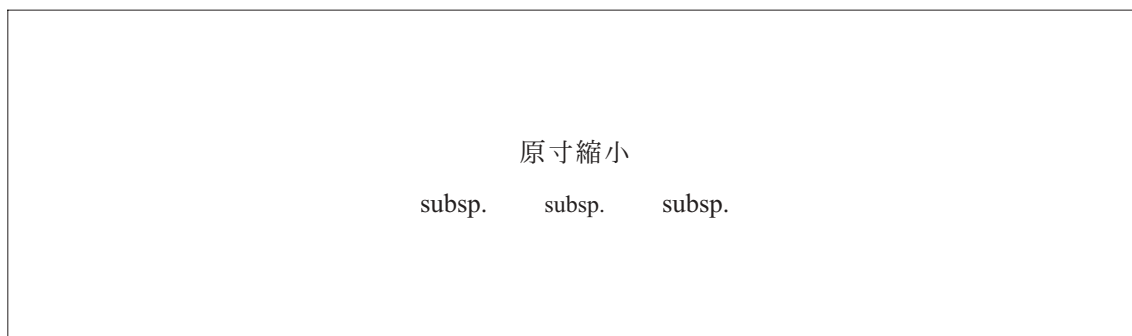


図1 乳清から分離された菌株及び近縁乳酸菌の16S rRNA 遺伝子の分子系統樹 (Knucl 求めた進化距離を NJ 法で作成)

サイレージ調製は、飼料イネ（ホシユタカ・黄熟期 DM48%、CP6.9DM %・DM 収量 255kg/a）を、予乾なしで約 3cm に切断し、各添加物を散布し攪拌後、パウチ法でサイレージ調製を行った。添加量は乳清区は現物中の 0.4%、ブドウ糖は現物重の 2%、乳酸菌は原料 1 g 当たり 1.2×10^6 添加した。貯蔵後に 90 日まで経時的に開封し、サイレージ発酵品質を分析した。

結 果

サイレージの pH を図 2 に示した。貯蔵日数が経過しても無添加は 5 以上で、ブドウ糖は 5 日目で 3.5 まで低下し、14 日目では 4.4 まで上がったが、90 日まで 4.5 以下であった。乳酸菌添加は 4.3 ~ 4.5 以下、乳清は日数が経つにつれて pH が上がる傾向にあった。

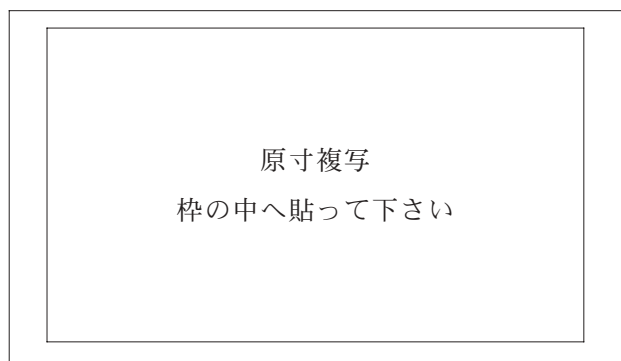


図2 pHの推移

発酵 30 日目の発酵品質を図 3 に示した。乳酸は各添加区で無添加区より多く 0.5% 以上であっ

た。乳清区のみ酪酸が 0.1% 検出された。ちなみに、乳清区は 5 日目で 0.01%、14 日目で 0.06% と徐々に増えてきている。

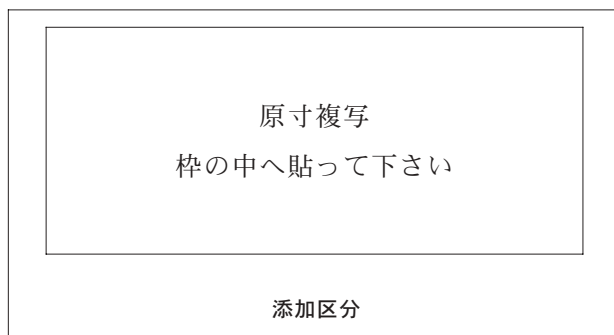


図3 発酵品質 (30日)

発酵 60 日目の発酵品質を図 4 に示した。発酵 60 日目は、ブドウ糖、乳酸菌添加区は、乳酸が 30 日目より増加しているが、乳清区は、ほぼ同じ値で、酪酸が 0.26% と 30 日目の倍以上になっている。

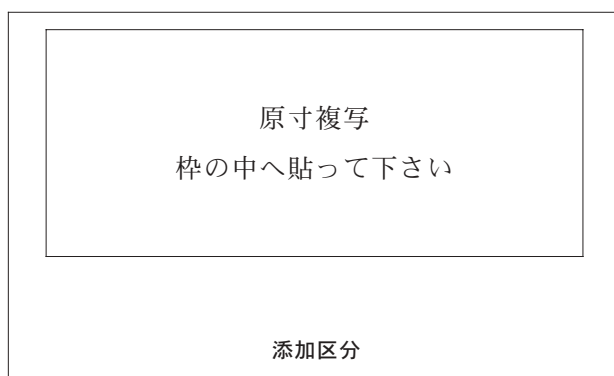


図4 発酵品質 (60日)

発酵 90 日目の発酵品質を図 5 に示した。90 日目の発酵品質は、乳清区も乳酸が増加したが、酪酸も 0.41% と 60 日目より 0.6 倍になっている。乳酸

は5%水準で無添加区と乳清区では差がなく、乳清区と他の添加区とは差があった。

貯蔵日数別乳酸菌数を表1に示した。乳清添加区が他の区より多い傾向で推移し、どの処理区も7~14日目をピークに日数が経つにつれて減少した。

総酸に対する乳酸の割合は、60日目以降の乳清区で酪酸生成量の増加とともに他の添加区より低い値となった。

表2に発酵品質の値を示した。添加効果を判断するアンモニア態窒素含量は全区とも低い値で推移した。

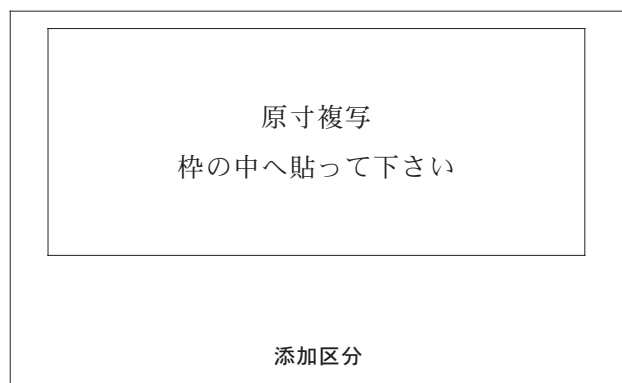


図5 発酵品質 (90日)

表1 貯蔵日数別乳酸菌数 (試料1g当たり)

区 分	5 日 目	7 日 目	14 日 目	30 日 目	60 日 目	90 日 目
無 添 加	4.55×10^6	1.80×10^6	1.85×10^6	1.07×10^6	1.05×10^6	1.10×10^{6a}
乳 清 添 加	7.35×10^6	9.40×10^6	9.40×10^6	3.55×10^6	3.15×10^6	3.08×10^{6b}
ブドウ糖添加	5.55×10^6	3.85×10^6	4.20×10^6	1.75×10^6	2.50×10^6	2.73×10^{6a}
乳酸菌添加	4.05×10^6	4.45×10^6	4.50×10^6	3.10×10^6	1.20×10^6	0.86×10^{6b}

注) 乳酸菌分離培地はMRS培地を使用。30℃で3日間培養。
処理の異符号間に有意差あり (P<0.05)

表2 貯蔵日別飼料イネサイレージの発酵品質

区 分	pH	有 機 酸 (% FM)				アンモニア態窒素 (g/kgFM)
		乳 酸	酢 酸	酪 酸	プロピオン酸	
(サイレージ調製5日目)						
無 添 加	5.52	0.11	0.07	0.00	0.00	0.01
乳 清 添 加	4.45	0.38	0.10	0.01	0.00	0.02
ブドウ糖添加	3.58	0.82	0.14	0.00	0.00	0.01
乳酸菌添加	4.31	0.40	0.09	0.00	0.00	0.01
(サイレージ調製6~7日目)						
無 添 加	5.52	0.14	0.08	0.00	0.00	0.02
乳 清 添 加	4.69	0.37	0.12	0.02	0.00	0.01
ブドウ糖添加	3.90	0.89	0.16	0.00	0.00	0.01
乳酸菌添加	4.17	0.56	0.08	0.00	0.00	0.01
(サイレージ調製13~14日目)						
無 添 加	5.20	0.25	0.06	0.01	0.01	0.09
乳 清 添 加	4.52	0.70	0.07	0.06	0.00	0.11
ブドウ糖添加	4.36	0.75	0.07	0.00	0.00	0.07
乳酸菌添加	4.40	0.66	0.09	0.00	0.00	0.08
(サイレージ調製30日目)						
無 添 加	5.77	0.24	0.05	0.01	0.00	0.10
乳 清 添 加	4.63	0.55	0.05	0.10	0.00	0.09
ブドウ糖添加	4.58	0.65	0.08	0.00	0.00	0.06
乳酸菌添加	4.34	0.70	0.05	0.00	0.00	0.06
(サイレージ調製60日目)						
無 添 加	5.22	0.44	0.09	0.01	0.00	0.11
乳 清 添 加	4.70	0.56	0.11	0.26	0.09	0.16
ブドウ糖添加	4.36	0.97	0.16	0.01	0.00	0.14
乳酸菌添加	4.36	0.89	0.10	0.01	0.00	0.13
(サイレージ調製90日目)						
無 添 加	4.96 ^a	0.64 ^a	0.11 ^a	0.00 ^a	0.01 ^a	0.31 ^a
乳 清 添 加	4.46 ^b	0.83 ^a	0.07 ^a	0.03 ^b	0.14 ^b	0.34 ^a
ブドウ糖添加	4.29 ^b	1.07 ^b	0.13 ^{a,b}	0.00 ^a	0.01 ^a	0.23 ^b
乳酸菌添加	4.40 ^b	1.01 ^b	0.18 ^{b,c}	0.00 ^a	0.02 ^a	0.30 ^a

考 察

乳清の調製は容易であり、市販の乳酸菌と同等の効果があれば、自給飼料生産農家でも使用されると思われる。しかし、現段階において微生物叢や発酵品質等、不明な点が多い。

今回、飼料イネサイレージの発酵品質に対する添加効果を乳酸菌、ブドウ糖と比較検討した。

pHはブドウ糖、乳酸菌添加と同等程度の低さで推移し、貯蔵30日目までは同等程度の乳酸を生成し、酪酸含量も少ないことから利用可能であると示唆された。しかし、60日以降、乳清を添加したサイレージは酪酸含量が増えたため、サイレージ品質の劣化が懸念される。大島ら⁴⁾は豆腐粕にFGJを添加すると牧草とは逆に乳酸発酵の抑制とタンパク質分解の促進が起こり、サイレージ品質が低下したという報告がある。今回も酪酸が増加した理由として、乳清に含まれる易分解性タンパク質が酪酸の発酵を助長していると考えられる。

以上の結果、初乳発酵乳清、乳酸菌及びブドウ糖添加が飼料イネサイレージ発酵品質に及ぼす影響は、サイレージ品質において貯蔵30日目までは、乳清の添加効果があったが、60、90日目と酪酸含量が増加した。乳酸菌、ブドウ糖については、貯蔵90日目でも添加効果はあった。

今後は、乳清添加による酪酸生成の原因追及と酪酸生成防止方法の検討、乳清の調製方法と保存方法の検討、乳清添加量の検討やロールベールサイレージ添加試験を検討していく。

謝 辞

本研究の遂行に当たりに甚大なご支援を賜った独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構畜産草地研究所蔡義民氏に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 江西 修・四十万谷吉郎(1998) 稲ホールクロップサイレージの発酵特性. 日草誌 44, 179-181
- 2) 後藤正和・山本泰也・水谷将也(2001) 飼料イネの調製技術と飼料特性. 畜産の研究, 55, 242-245
- 3) 近藤正治・福井弘之(2001) 飼料用イネの添加物によるサイレージ発酵品質改善試験. 徳島県立農林水産総合技術センター畜産研究所研究報告 No. 1, 116-118
- 4) 大島光昭・白木知也・稲垣憲孝(1999) フスマ, 乾燥あるいは緑汁発酵液を添加した豆腐粕サイレージの発酵品質及び豆腐粕・乾燥混合物とそのサイレージの栄養価比較. 日本草地学会誌. 第45巻別号, 270-271
- 5) 蔡 義民・張 建国・藤田泰仁・沢村 篤・小川増弘(2000) 優良乳酸菌のスクリーニングと高品質飼料イネサイレージの調製. 日草誌 46(別), 236-237
- 6) 吉田宣夫・富田道則・武政安一・高橋哲二(1987) 飼料用稲のホールクロップ利用技術に関する研究 I. 飼料用稲の調製方法と貯蔵性の関係. 日草誌 33, 109-115

(6) 調査項目

品温 (1 時間毎) 比重測定 (週 1 回)

水分含量, pH, EC, アンモニア態窒素, 硝酸態窒素, C/N 比, 粗灰分, $K_2OP_2O_5$, MgO, CaO (週 1 回)

結 果

(1) 品 温

混合物の量が少ないため全体的に温度が低くなった。1 回目の切り返し後は全ての区で温度が上昇し、菌床は両処理区共に 2 回目の切り返し後も温度上昇が認められた。試験当初から菌床は両処理区共に発酵温度が上昇し、2 週目に入ると発酵温度が最高値を記録した。戻し堆肥とオガクズと比べても 4 週目までは高い温度で推移して、試験期間を通しては菌床の潰し区が 1 番高い温度推移を示した。試験開始から 4 週目以降は全ての区で緩やかに温度が下降したことからこの時期から発酵のエネルギーがなくなってきたことが示唆された。

グラフ 1 品温 62% 複写
この枠の中へ

(2) 水分含量

試験期間中の水分含量は菌床の潰し区はオガクズよりも試験当初は水分が低くなり、粉碎区もオガクズとほぼ同様に減少したことから菌床を水分調整の副資材として利用できることが示唆された。

温度グラフでは 1 ヶ月を過ぎてから温度が減少したにもかかわらず、水分含量はこの時期に急激に減少した。この要因は試験当初から 1 日平均湿度が 70% 台だったのが、この時期から平均 50 ~

60% 台と低い日が続いたためだと考えられる。

グラフ 2 水分含量 76% 複写
そのまま

(3) 比 重

菌床は試験当所に戻し堆肥とオガクズのちょうど中間の値ぐらいで横ばい状態に推移していたが、試験終了時においては両区ともオガクズ、戻し堆肥と比べて減少の割合が多くなった。菌床は試験開始から 3 ~ 4 週目を過ぎてから塊が少なくなり、堆肥として良く混ざり通気性が増し、ハンドリングが良くなった。

グラフ 3 比重 64% 複写
そのまま

(4) アンモニア態窒素

菌床のアンモニア態窒素は試験当所は菌床の両区ともに高くなった。

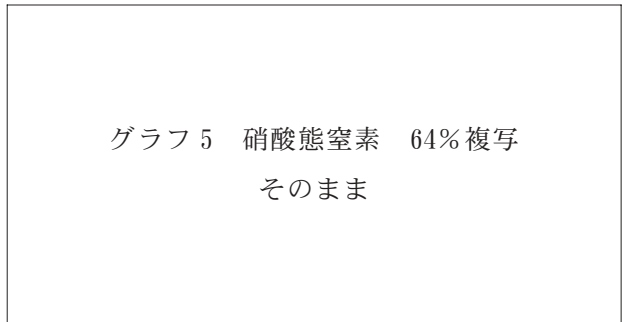
潰し区では 4 週目以降に大きく減少し最終的に

グラフ 4 アンモニア 64% 複この枠の中へ

は 24.6 mg/100 g まで消失した。粉碎区は潰し区と比較しアンモニアの減少は緩やかで合ったが最終的には潰し区とほぼ同様の数値に減少した。

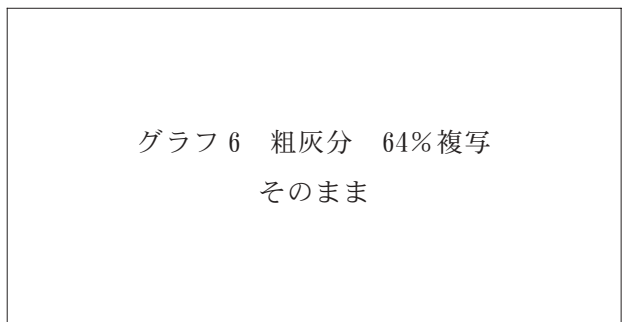
(5) 硝酸態窒素

硝酸態窒素は各処理区ともに試験開始から、緩やかに増加したことから堆肥化が進んだことが伺えた。試験期間を通じて菌床は両区ともに近似した数値で推移した。



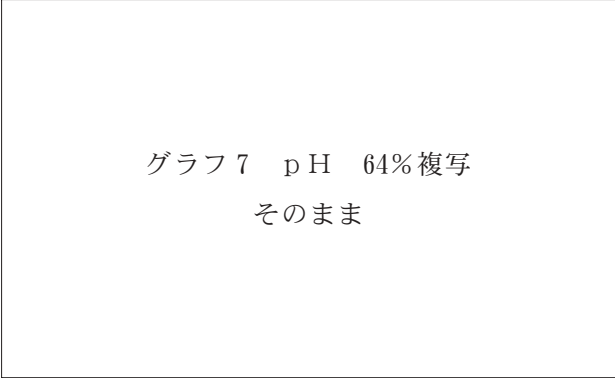
(6) 粗灰分

各区とも緩やかに増加していく傾向が見られた。試験開始から戻し堆肥区は約 10%、オガクズ区は約 3%、菌床は両区共に約 5% 増加した。菌床は形状の違いによって分解のスピードは若干差があるものの最終的な分解量はほぼ同じになった。



(7) pH

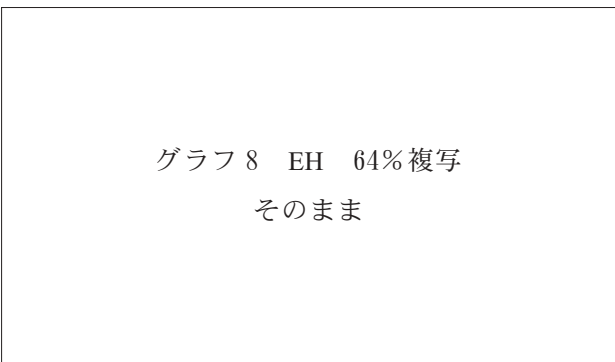
戻し堆肥、オガクズは、ほぼ一定に推移し、菌床は粉碎区が試験当初粉碎区よりも低かったが、試験開始から 2 週目以降はほぼ同様の値で推移を示した。菌床は両区とも 6 ~ 7 程度の値で、試験期間を通じて、戻し堆肥、オガクズと比べて低い値を示した。



(8) EC

試験期間を通して全ての区で緩やかに増加していく傾向が見られた。

堆肥の推奨基準項目として EC は 5 以下が基準であるが菌床は両区共に牛ふん堆肥としては標準的な数値であり、農地還元しても問題のない数値であった。



(9) 試験終了時の一般肥料成分

試験終了時の菌床の肥料成分は窒素、リン、カリの値がほぼよく似た値であり、乳牛堆肥として標準的でバランスのとれた堆肥となった。

堆肥の推奨基準項目としては、C/N 比は 30 以下が基準とされているが、菌床は両処理区ともに農地施用しても問題のない数値となった。

また C/N 比の値からオガクズよりも菌床の方が堆肥化に時間が短くてすむことが分かった。

表2 試験開始時, 終了時の各成分含量 (%)

区	全窒素		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO		C/N比	
	開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了
戻し堆肥	1.44	1.77	2.7	3.17	3.42	4.16	6.41	7.00	0.81	1.53	17.4	9.8
オガクズ	0.46	0.73	0.54	0.88	0.22	0.52	0.91	1.57	0.33	0.55	28.5	39.0
菌床(粉碎)	0.9	1.76	0.75	1.45	0.37	0.94	1.61	2.99	0.51	1.01	27.3	15.5
菌床(潰し)	1.03	1.75	1.11	1.68	0.81	1.39	2.17	3.85	0.66	1.13	25.5	14.6

考 察

以上の結果を踏まえて菌床ブロックの副資材としての特性を考慮した結果, 発酵温度が上昇することなどから冬場の水分蒸発量が低下する時期に副資材として利用すると, より効果的であると思われる。また乳牛フンは鶏糞や豚ふんに比べて発酵エネルギー(カロリー)が少ないので菌床を発

酵のエネルギー源として堆肥化利用できることも示唆された。なお, 副資材として使用するに当たっては, 機種等を用いて粉碎する必要はなくパワーショベルのタイヤなどで潰してあげれば副資材として十分利用できることが分かった。今回は小規模の堆肥化処理の調査であったが, 今後試験する際には規模を拡大した時の堆肥化試験, 数量利用の可能性についても検討したい。