

柑橘剪定枝の畜産敷料利用と堆肥化の検討

戸田克史

要約

家畜の敷料として入手が困難となったり、価格が高騰したりしているおが粉の代替資材として大部分が焼却処理されている柑橘の剪定枝について敷料利用の可能性を検討した。伊予柑、温州みかん、紅まどんなの剪定した枝及び葉をハンマーミル式粉砕機で粉砕後、植繊機で粉砕及び膨潤処理を行ったものを敷料として使用した。剪定枝の敷料はクッション性は高く、水分率の推移についておが粉と大きな差はなく4日程度で60%を超え、腸内細菌数の増加も柑橘剪定枝はおが粉と同様の推移を示したが、剪定枝敷料は水分率が高くなると繊維が固まりやすく保水性が低下した。敷料利用後の堆肥化においては、剪定枝は1、2年程度の枝や葉が多いことに加え、ハンマーミル式粉砕機で粉砕後、植繊機で粉砕及び膨潤処理により製造したことから繊維が分解されやすくなり、7日ごとの切り返しで堆積後80日で堆肥化が終了し、剪定枝敷料堆肥の窒素全量は乾物中3.3%、加里全量は4.2%と高い値を示した。調査の結果、柑橘の剪定枝敷料は牛の敷料として利用可能であると考えられた。

キーワード：敷料、柑橘剪定枝、堆肥、牛

緒言

家畜の敷料は、ふん尿等の水分を吸着し畜体の汚れを防ぐほか、膝や蹄の保護や転倒事故の防止、家畜のストレス軽減、幼畜に使用する場合は保温の役割がある。県内において敷料に使われる資材は、水分の吸収力及び入手や取り扱いのしやすさ等の理由により製材所で発生するおが粉が主流であるが、おが粉の主な供給源である地域の中小製材所の廃業により供給量が減少しているほか、近年、木質バイオマス発電所での発電用燃料としての使用量の増加によりおが粉の入手が困難となったり、価格が高騰したりと敷料を取り巻く環境が大きく変化している。

敷料用の資材はおが粉のほか、もみ殻や堆肥、古新聞紙、キノコ廃菌床等が利用されている。当センターにおいても新たな敷料資源として、これまで放置竹林から製造した竹粉、県内堆肥センターで製造している堆肥の敷料への利用について検討している。今回、新たな敷料用の資材として、大部分が焼却処理されている柑橘の剪

定枝について敷料利用の可能性を検討した。

材料および方法

1) 柑橘剪定枝の敷料利用試験

試験に供した資材は、愛媛県農林水産研究所果樹研究センターで栽培している伊予柑、温州みかん、紅まどんなの剪定した枝及び葉(以下、「剪定枝」という。)で、令和4年5月9日から5月13日に剪定を行った。剪定枝は、長崎工業(株)(今治市)において、5月18日から19日にハンマーミル式粉砕機(precision社、progrind1500T、写真1)で粉砕し、その後、加圧混練昇温すりつぶし植繊機(神鋼造機(株)、SM-23-55S、写真2)により、発熱を抑えるための加水をしながら、粉砕及び膨潤処理を行った。

処理した剪定枝は、5月20日に畜産研究センターに搬入した。到着時に剪定枝は木材腐朽菌が発生し、有機物の分解が始まり、温度59.6℃、水分42.6%の状態であったため、フレキシブルコンテナから取り出し、温度が低下するまで放



写真1 ハンマーミル式粉碎機



写真2 加圧混練昇温すりつぶし植織機粉碎機

置したもの（以下、「剪定枝敷料」という。）を7月26日から敷料利用の試験に供した。畜産研究センターで使用しているおが粉を比較対照の敷料として使用した（以下、「おが粉敷料」という。）。おが粉は、県内製材所から購入したもので、国産のヒノキや杉、外国産材等が含まれたものであるが、その割合は不明である。

写真3のとおり、14.99 m² (5.26m×2.85m)の牛房に剪定枝敷料及びおが粉を約1 m³（剪定枝の重量120 kg、おが粉の重量200 kg）を敷料として敷き、各牛房に月齢11.9から12.4で体重が404から453 kgの黒毛和種去勢牛2頭ずつを7月26日から8月2日までの7日間飼養した。両区の飼養管理は同一とし、配合飼料（あかね前期、西日本くみあい飼料(株)）、大豆粕、スーダン乾草及び稲わらを給与した。水及び鉍塩は自由摂取とした。牛舎に設置した換気用送風機は24時間運転した。

供試前の試料の容積重は14Lのバケツに試料を詰めその重量から算出した。容水量は大泉らの方法¹⁾を参考に試料を24時間蒸留水に浸漬後、ガーゼを敷いた漏斗に24時間静置し、水分含量を測定し、乾物重量と水分量の比として算出した。粒度分布は100gの試料を用い標準ふるいによる乾式ふるい法で測定した。ふるいの目開きは9.5mm、4.0mm、2.0mm、1.0mm、0.5mm、0.25mmの大きさで、ふるいに残った試料の重量を測定し割合を算出した。敷料中の水分率は、



写真3 供試牛の収容状況
左：おが粉敷料 右：剪定枝敷料

敷料を牛房内6か所から採取して混合し、その中から試料1gを加熱乾燥式の水分計（(株)A&D、ML50）で毎日計測した。牛床の敷料の状況の変化は、目視で行った。牛体の汚れ具合も、目視で確認した。敷料中の腸内細菌群数は、敷料を牛房内6か所から採取して混合し、その中から試料4gを取り、生理食塩水40mlを混和し、段階希釈した液をDHL寒天培地に塗抹し、37℃で24時間培養後、コロニーを計測した。

2) 剪定枝敷料の堆肥化試験

7日間敷料として使用した剪定枝敷料及びおが粉に加えて、敷料として使用しなかった剪定枝敷料（以下、「堆積茎葉」という。）について、堆肥化処理を行うために、屋根があるコンクリート床上に積み上げ、7日間ごとにスコップを用いて人力で切り返しを行い、80日間堆積した。

なお、切り返し前に表面から30cmの深さの試料を採取し水分率を測定した後、水分含量が60%~70%になるように堆積物に加水して切り返しを行った。堆積時の内部の温度は1時間ごとに温度計((株)T&D、おんどとり TR52i)で計測をおこなった。外気温は、場内に設置した気象観測装置((株)イー・エス・ディ、GreenKit100)で測定した。

作成した堆肥の成分は一般財団法人畜産環境整備機構畜産環境技術研究所に分析を依頼し、水分、粗灰分、pH、EC、窒素全量、りん酸全量、加里全量、石灰全量、苦土全量、炭素率(C/N比)、銅全量、亜鉛全量、鉄全量、マンガン全量、発芽率及び酸素消費量を測定した。なお、おが粉敷料については、敷料の利用期間が7日間で糞尿の混入量が少なく、堆肥化が不十分で成分分析が実施できなかったため、成分分析は剪定枝敷料及び堆積茎葉について行った。

結果

1) 柑橘剪定枝の敷料利用試験

敷料に用いた試料の物理性状を第1表に示し

表1 試料の物理性状

	容積重 g/L	容水量 %	容水量計測時の水分率 %	現物水分率 %
剪定枝敷料	120.7±6.9 a	165.3±4.3 a	62.3±0.6 a	20.0±1.2 a
おが粉	208.0±1.4 b	238.2±0.7 b	70.4±0.1 b	31.0±0.6 b

表2 試料の粒径分布

	粒径の割合						
	9.5mm<	4<	2<	1<	0.5<	0.25<	0.25>
剪定枝敷料	11%	27%	22%	18%	13%	5%	4%
おが粉	1%	3%	13%	31%	41%	9%	1%

表3 試料の繊維成分

	粗繊維 g/L	ADF %	NDF %	粗灰分 %
剪定枝敷料	42.14	47.83	52.35	8.92
おが粉	82.23	83.22	96.28	0.47

た。容積重は、剪定枝敷料が120.7g/L、おが粉は208.0g/Lで剪定枝敷料が有意に低い値を示した。容水量は、剪定枝敷料が165.3%、おが粉が238.2%で剪定枝敷料が有意に小さくなった。水分率は、剪定枝敷料が20.0%、おが粉が30.0%で剪定枝敷料が有意に低い値であった。

第2表に試料の粒径分布を示した。剪定枝敷料は1mmから4mm未満の粒子の割合が67%、(写真4)、おが粉は0.5mmから2mm未満の粒子の割合が72%となり、剪定枝敷料の粒径分布が広く、大きな粒子が多かった。



写真4 剪定枝敷料50g中の粒径の分布(1マス目は10mm)

第3表に試料の繊維成分を示した。乾物中の粗繊維、ADF 及び NDF 含量は、剪定枝敷料が 42.14%、47.83%、52.35%、おが粉は 82.23%、83.22%、96.28%であった。なお、各区1試料の分析であったため、統計処理は行っていない。

第1図に敷料中の水分率の推移を示した。両区とも飼養日数の経過に伴い水分率は上昇し、剪定枝敷料は4日目以降、おが粉は3日目以降に約60%の水分率を超え、第1表の容水量測定時の水分率である剪定枝 62.3%、おが粉 70.4%に近い値となった。

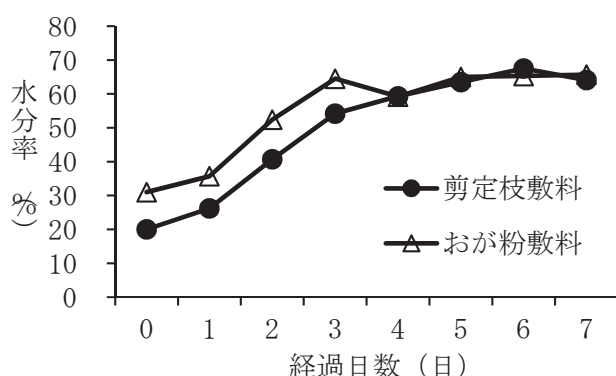


図1 敷料中の水分率の推移

第2図に敷料中の腸内細菌数の推移を示した。

試験開始時の腸内細菌数は、剪定枝敷料区が 10^4 CFU/g、おが粉区が 10^5 CFU/g であった。1日後には剪定枝敷料区が 10^6 CFU/g、おが粉区が 10^7 CFU/g に上昇し、その後は両区とも 10^5 CFU/g で推移した。なお、剪定枝敷料区は硫化水素産生菌が6日目に 10^3 CFU/g、7日目に 10^4 CFU/g 認められ、おが粉区は4日目に 10^5 CFU/g、6日目及び7日目に 10^4 CFU/g 認められた。

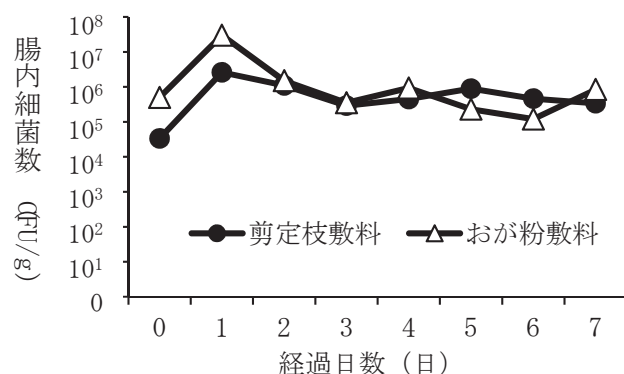


図2 敷料中の腸内細菌数の推移

調査時の観察において、剪定敷料区では、試験開始直後に供試した2頭とも剪定枝敷料を採食する行動が認められたが、その後採食することはなかった。横臥や歩行等の牛の行動については特異的なものは認められず、牛体の汚れについても差はなく、両区とも敷料が試験期間中に試験牛の皮膚に刺さることはなかった。敷料の状態については、剪定枝敷料はおが粉と比較して、繊維状になっている粒子が多いため、日数の経過とともに粒子が絡まり、固まりやすく、調査終了時には床に張り付き、おが粉よりも除去に力が必要であった。

2) 剪定枝敷料の堆肥化試験

第3図に堆肥化期間中の剪定枝敷料、おが粉及び堆積茎葉の堆積物及び気温の推移を示した。堆積期間中の日平均気温は 29.5℃ (8月10日) から 13.3℃ (10月20日) の範囲で推移し、全期間の平均は 24.2℃ であった。

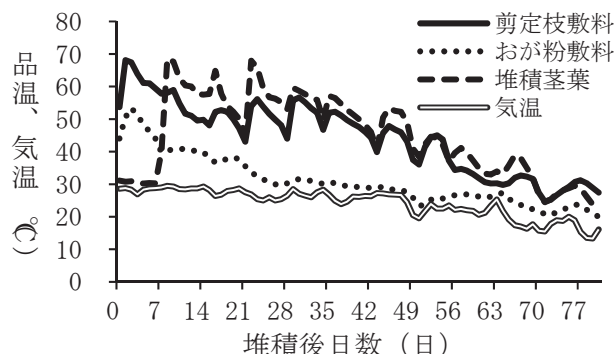


図3 堆積物品温及び気温の推移

※0日以降7日ごとに加水、切り返しを実施

剪定枝敷料は、堆積開始時には 44.3℃、堆積 26 時間後には最高 70.6℃ まで上昇した。その後、38 日後まで切り返しによる一時的な温度の低下を除き 50℃ 以上で推移したが、その後は切返しても 50℃ 以上に上昇することはなく、堆積物の温度は 0.6℃/日低下し、堆積開始 80 日後には 26.0℃ (日平均気温 16.1℃) となった。おが粉の堆積時の温度は 37.9℃、2 日後には 53.7℃ と堆積期間中の最高温度となったが、その後切返しを行っても温度が 50℃ 以上になることはなく、25 日目以降は、剪定枝敷料及び堆積茎葉と気温の差は 25℃ 以上であったのに対

しおが粉敷料と気温の差は 5℃以下で推移し、堆積開始 80 日目まで大きな温度上昇は認められなかった。堆積茎葉は、堆積開始時に水分が 17.9%で堆積物の温度が上昇しなかったため、7 日後に水分が 60%以上になるように加水し、切り返しを行うと温度が 60℃以上に上昇して推移し、23 日後に 71.4℃まで上昇した。その後の温度は剪定枝敷料と同様に推移した。

第 4 表に剪定枝敷料及び堆積茎葉の堆肥の成分を示した。剪定枝敷料は堆積茎葉と比較して EC、リン酸含量、カリ含量が高くなり、窒素全量は剪定枝敷料が 3.3%、堆積茎葉は 3.8%となった。炭素率は剪定枝敷料が 13.1、堆積茎葉が 11.8、発芽率は 100%、99%、酸素消費量は 1 μ g/g/min、1.5 μ g/g/min となった。

剪定枝敷料及び堆積茎葉は、木材腐朽菌が堆積物全体に発生した。また、剪定枝敷料、おが粉敷料及び堆積茎葉ともに堆積後の堆積物に腸内細菌群は認められなかった。

表 4 堆肥の成分表

項目	剪定枝敷料	堆積茎葉	単位	備考
水分	60.1	60.8	%	現物
粗灰分	21.8	21.1	%	乾物
pH	8.9	8.8		
EC	7.1	3.6	mS/cm	
窒素全量	3.3	3.8	%	乾物
リン酸全量	2.1	0.9	%	乾物
加里全量	4.2	2.8	%	乾物
石灰全量	5.9	8.1	%	乾物
苦土全量	1.2	0.8	%	乾物
炭素率 (C/N 比)	13.1	11.8		
銅全量	78	120	mg/kg	現物
亜鉛全量	140	51	mg/kg	現物
鉄全量	3000	3900	mg/kg	乾物
マンガン全量	460	340	mg/kg	乾物
発芽率	100	99	%	
酸素消費量	1	1.5	μ g/g/min	現物

考察

今回供試した柑橘の剪定枝敷料は、おが粉と比較して敷料利用中の水分率及び腸内細菌数の推移並びに牛の行動観察の結果から敷料利用が

可能であると考えられた。

剪定枝敷料の水分率の推移についておが粉と大きな差はなく 4 日程度で 60%を超え、腸内細菌数の増加も柑橘剪定枝はおが粉と同様の推移を示した。しかし、容積重がおが粉の 58%程度の剪定枝敷料は、投入する量がおが粉よりも少なく初期のクッション性は高いが、繊維状になっている粒子が多いため、時間の経過とともに水分率が高くなると牛の歩行や横臥等による圧力で繊維が固まりやすく、それに伴い保水性が低下し、牛の歩行により水分が表面に出て湿った状態になりやすいことが観察された。また、単独利用ではおが粉よりも床面に固着しやすく敷料の入れ替え時の作業性がおが粉に劣る。これは剪定枝敷料とおが粉の製造方法の違いによるものと思われる。栗原ら²⁾は、もも及びりんごの剪定枝とおが粉を 1:1 の割合で混合し、表層を定期的に攪拌することで長期に育成牛の発酵床として利用可能であると報告している。今回の調査では、おが粉との混合利用や攪拌は行わなかったが、柑橘剪定枝も同様におが粉と混合して利用することで固まりやすい剪定枝敷料の欠点を補うことができ、必要量の確保が困難になりつつあるおが粉の代替資材として活用できると考えられる。さらに、剪定枝敷料は容水量がおが粉より小さく乾きやすいため、送風機を活用することで、おが粉よりも水分を低下させやすく、敷料利用期間の延長を図ることができると考えられる。

なお、今回供試した剪定枝は、乾燥させた木材の加工工程から発生するおが粉と異なり、乾燥せず加水をしながら粉碎及び膨潤処理を行うことから、処理直後から発酵により 60℃程度まで発熱するが、敷料利用すると内部が嫌気的環境となるため発酵が抑制され温度が低下するものの、堆肥化時には水分調整と攪拌による通気性の確保により発酵は再開する。

堆肥の不熟度の判定は品温や植物の発芽率、炭素率等で行われる⁴⁾。堆肥化期間は、家畜糞のみの場合で 2 か月程度、作物収穫残渣との混

合物で3か月程度、おが粉等の木質物との混合物では6か月程度といわれる⁴⁾。また、今回供試したおが粉では敷料としての利用が7日間で糞尿の混合量が少なかったこともあり堆腐熟が進行しなかったが、柑橘剪定枝敷料は、7日ごとの切り返しを行った80日の堆肥化処理で微生物の分解による発熱が収まるとともに、炭素率が13.1、コマツナ種子の発芽率100%、酸素消費量1.0 μ g/g/minと十分に腐熟が進行したことを示した。剪定枝は広葉樹の若い枝が多く、針葉樹が主原料であるおが粉や廃菌床より、リグニンなどの分解しにくい成分が少ないといわれる⁵⁾。今回供試した柑橘の剪定枝は1、2年程度の枝や葉が多いことに加え、ハンマーミル式粉碎機で粉碎後、植繊機で粉碎及び膨潤処理により製造したことから繊維が分解されやすくなり、作物収穫残渣との混合物と同程度の期間で堆肥化が終了したと考えられ、堆肥化期間を考慮して敷料を選択する場合、柑橘剪定枝はおが粉よりも期間短縮が可能で、堆肥舎の有効活用を図ることができると考えられる。

おが粉等の副資材を用いた牛糞の堆肥の窒素全量は乾物中2%程度、加里全量も2%程度といわれる^{6, 7)}。今回の剪定枝敷料堆肥の窒素全量は乾物中3.3%、加里全量は4.2%と高い値を示した。窒素全量については、堆積茎葉の値が3.8%であり剪定敷料由来の窒素によるものと考えられる。加里全量については、堆積茎葉の値が乾物中2.8%であったことから家畜ふん尿由来と考えられる。今回は尿中の値を計測していないが、供試した肥育牛は月齢が11.9~12.4で、粗飼料は乾牧草で濃厚飼料は肥育前期用の蛋白が高く、カリウム含量も高かったためと考えられた。

参考文献

- 1) 市川あゆみ、日置雅之、柳澤淳二：敷料用資材のアンモニア吸着能力、愛知県農業総合試験場研究報告、第46号、73-79、2014
- 2) 栗原三枝、小林寛、阿部正彦：果樹剪定枝の敷料利用技術、福島県畜産試験場報告、第14号、28-32、2006
- 3) 藤原俊六郎：有機物の不熟度判定法、有機廃棄物資源化大辞典、41-50、農産漁村文化協会、2003
- 4) 羽賀清典：堆肥化の原理と方法、畜産環境対策大辞典第2版、53-59、農産漁村文化協会、2004
- 5) 崎尾さやか：剪定枝の発酵床への利用、畜産環境対策大辞典第2版、657-662、農産漁村文化協会、2004
- 6) 押田敏雄、柿市徳英、羽賀清典、新編畜産環境保全論、152、養賢堂、2012
- 7) 財団法人日本土壌協会、堆肥等有機物分析法、財団法人日本土壌協会、2010