

たまり粕を利用して生産した低水分堆肥の牛舎での敷料利用

黒柳悟¹⁾・ 島山由香里²⁾・ 柳澤淳二³⁾・ 三輪恒介¹⁾・ 市川あゆみ⁴⁾・ 堤公生³⁾・ 豊島浩一¹⁾

摘要：家畜の敷料としてはオガクズが一般的であるが、入手が困難になってきていることから、近年では堆肥を敷料として利用することが試みられている。しかし、牛舎で敷料として利用する堆肥は、低水分であることが必要となる。そこで、たまり粕を添加して生産した低水分の堆肥を敷料として利用したところ、乳牛の休息行動や牛体の汚れの程度の点で、オガクズの敷料に劣ることはなかった。次に、利用した敷料を堆肥化し、その堆肥がコマツナを用いた幼植物栽培試験で発芽や初期生育に害がないことを確認した。さらに、他の畜産施設において、たまり粕添加による低水分の堆肥の生産を再現することができた。

キーワード：たまり粕、堆肥、低水分、敷料、オガクズ

Production of Low Moisture Compost by Adding Tamari Lees and Use of This Compost as Bedding Material in Cow Barns

KUROYANAGI Satoru, HATAKEYAMA Yukari, YANAGISAWA Junji,
MIWA Kousuke, ICHIKAWA Ayumi, TSUTSUMI Kousei and
TOYOSHIMA Kouichi

Abstract : There is a shortage of sawdust that can be used as bedding material in cow barns. As such, compost is sometimes used as bedding material instead of sawdust. However, compost used as bedding material in cow barns needs to have a low moisture content. We tried to produce low moisture compost by the addition of Tamari lees. We used the low moisture compost with Tamari lees as bedding material in a cow barn. The frequency of cow resting and the amount of manure contamination of cows were almost the same between the low moisture compost and the sawdust treatments. We further composted the bedding material which was used in the cow barn, and verified that the compost did not result in damage to budding and initial growth of field mustard (*Brassica campestris* L.) in a cultivation test. Furthermore, successful reproducibility tests were conducted to produce low moisture compost by addition of Tamari lees at another facility.

Key Words : Tamari lees, Compost, Low moisture, Bedding material, Sawdust

緒言

現在、家畜の敷料としてオガクズが一般的に利用されているが、オガクズの供給量は減少傾向にあり、その乳牛1頭、1年あたりの価格は、2008年の3244円から2017年には4680円と高騰している^{1,2)}。このため、オガクズの代わりに、自家生産できる堆肥を敷料として利用する試みがなされている³⁾。しかしながら、一般的な堆肥は水分率が60%以上と高く、敷料として必要な水分調節の機能がオガクズと比べて著しく劣る。そこで著者らは、乳牛ふん尿とオガクズを混合した堆肥生産過程において、油脂と窒素を多く含むたまり醬油の搾り粕（以下たまり粕）を添加して、発酵を促進させて堆肥温度を高め水分の蒸発量を増大させることにより、低水分堆肥を生産する技術を開発した⁴⁾。

敷料に求められる機能は、水分調節の他に牛のストレスを和らげる快適性、牛の肌をきれいに保つ衛生性、利用後の堆肥化が挙げられる³⁾。そこで、たまり粕添加により生産した低水分堆肥が、敷料としてオガクズの代替物として利用できるかどうか、さらに、敷料として利用した後の堆肥化処理やその堆肥が植物に対して害がないかどうかについても調査を行った。

一方、本研究で用いたたまり粕添加堆肥の生産時におけるたまり粕添加量は、堆肥化材料とたまり粕の熱量計算から求めることができる³⁾。しかし、その計算は煩雑であるため現場での適用は難しい。仮に堆肥化材料の割合を基に添加量を決定できれば、たまり粕添加堆肥の利用が広がる可能性がある。そこで、既報で求めた熱量計算によるたまり粕添加割合を重量割合に換算し、熱量計算を行わない農総試以外の畜産施設に適用して実証試験を行った。

材料及び方法

1 敷料利用試験(試験1)

農総試の育成牛舎において、たまり粕を添加して製造した約2750 Lの低水分堆肥（水分率40.4%）とオガクズ（水分率8.7%）をそれぞれ約6.5 m²の牛房に敷き、たまり粕添加堆肥敷料区とオガクズ敷料区とした。洗浄した育成牛4頭を合計体重が近くなるように2頭ずつそれぞれの区に入れ、2017年9月19日から10月10日までの22日間飼養して、牛の休息行動及び終了時の牛体の汚れにより敷料の快適性、衛生性について調査した。快適性は、動物行動図説⁵⁾を参考に横臥、伏臥、反芻の行動を休息と判定して、給餌から約1時間経過して摂食の終了した時から約2時間、牛の行動を5分間隔で観察して、たまり粕添加堆肥敷料区とオガクズ敷料区の全行動に占める休息行動の割合を比較した。牛体の汚れは、敷料利用終了時に各牛の汚れの状態（後肢の大腿部、飛節部、下肢部）をウイスコンシン大学の衛生スコア⁶⁾

による点数化で評価してたまり粕添加堆肥敷料区とオガクズ敷料区を比較した。

2 敷料の堆肥化試験(試験2)

試験1終了後に、たまり粕添加堆肥敷料区とオガクズ敷料区それぞれのふん尿を含む敷料を牛舎から搬出し、堆肥舎に高さ約2 mで堆積して2017年10月11日から2018年1月5日まで12週間堆肥化した。堆積物の切返し（ホイールローダーによる攪拌）は、気温が低くなる時期を考慮して4週までは毎週1回、それ以降は隔週1回行った。堆積物の全期間の品温は、堆積物の表面から空気が浸透するとされる最深部の30 cm部を温度データロガーおんどとりRTR-52（株式会社ティアンドデイ、長野）を用いて1時間間隔で経時的に計測した。切返し時に堆積物の一部を採取し成分分析した。水分、pH、EC、容積重は切返し時に、全炭素、全窒素、粗脂肪、ナトリウム、カリウムについては、開始時、終了時に測定した。

堆肥等有機物分析法⁷⁾に従って、水分は105°Cで24時間乾燥、ECは風乾堆肥10 gを100 mLの熱水添加後、静置、ろ過したろ液を電気伝導率計で、全窒素はサリチル硫酸分解法（ガンニング変法）によりそれぞれ測定した。ナトリウム及びカリウムは、灰化法により試料溶液を調整して、原子吸光分光光度計Z-5310（株式会社日立ハイテクサイエンス、東京）を用いた原子吸光光度法、粗脂肪はソックスレー抽出法によりそれぞれ測定した⁸⁾。全炭素は、炭素窒素分析装置JM1000（株式会社ジェイ・サイエンス・ラボ、京都）を用いて乾式燃焼法⁹⁾により測定した。pHは、現物10 gに蒸留水100 mLを加え30分間振とうした後、ガラス電極法で測定した。容積重は、中村ら¹⁰⁾の方法に従い、10 Lのバケツに堆積物を加重せず山盛りに入れ、床上5 cmから10回落下鎮圧させ、この作業を2回繰り返しバケツにすり切れとなるよう調整後、重量測定して求めた。

3 幼植物栽培試験による堆肥の評価(試験3)

試験2で使用した敷料由来堆肥の植物への影響を調査するため、コマツナ「極楽天」を用いて2018年2月6日から3月2日までビニールハウス内でノイバウエルポット（以下ポット）を用いて栽培試験を行った。試験区は、無肥料区、化学肥料区、たまり粕添加堆肥敷料区、オガクズ敷料区の4区とした。栽培試験の手順は、堆肥の品質評価法¹¹⁾に基づいて、無肥料区は培養土（芝の目土）300 gのみとし、化学肥料区は培養土300 gに微粉ハイポネックス（N-P-K=6.5-6-19）を窒素として15 kg 10 a⁻¹（ポット当たり2.31 g）加えた。たまり粕添加堆肥敷料区、オガクズ敷料区は、培養土250 gに堆肥25 g（10:1）を混合した。それぞれ試験区のポットに20粒播種し、3連栽培した。

それぞれの堆肥は、終了時の各区のポットを並べて、生育状況を比較して出芽評価（出芽率）、外観評価（無肥料区及び化学肥料区との外観の比較、障害の有無）にスコアを付けて評価した¹¹⁾。さらに、生育評価として生存数、本葉数、地上部新鮮物重を調査して、無施

肥区との比較により評価した（たまり粕添加堆肥敷料区またはオガクズ敷料区/無施肥区×100）。

4 堆肥生産の実証試験（試験 4）

本研究に用いたたまり粕添加堆肥の生産時におけるたまり粕添加割合については、水分含量と熱量計算から理論的に求めることができる⁴⁾。しかし、現場での適用に当たっては、その操作と計算は煩雑であるため、一律にたまり粕添加割合を決められれば、より導入しやすい技術となる。そこで、たまり粕添加量の熱量計算で決定することを省略して低水分の堆肥を安定的に生産できる技術に改良するため、愛知県立農業大学校（以下農大）でたまり粕の添加割合を一律にした実証試験を行った。農大の乳牛舎から排出される 3 日分の乳牛ふん尿と同容積量のオガクズを混合して堆肥舎に高さ約 2 m で堆積した。試験区は、たまり粕を添加するたまり粕添加区と添加しない無添加区とした。堆積物には通気を確保するため暗渠管（全面開孔暗渠管、外径 60 mm、長さ 2 m、開孔率 13%）を 6 本 10 週間埋設した。無添加区は 2018 年 5 月 16 日から 9 月 5 日まで、たまり粕添加区は 2018 年 5 月 23 日から 9 月 12 日までそれぞれ 16 週間行った。

たまり粕の添加量については、既報⁴⁾では堆肥化材料の重量を車両重量計等で測定し、さらに堆肥化材料の水分量を測定したうえ、有機物の分解熱量、水分の蒸発熱量等を用いて計算して、堆肥化終了時の水分率が 50% 未満になるように決定した。しかしこの方法では、堆肥化材料の重量、水分量の測定等と熱量による計算など非常に手間がかかる。そこで、既報⁴⁾において添加したたまり粕量が堆肥化材料の重量の約 11% であったことから、これをたまり粕添加量とすることにした。堆肥化材料の重量は、農大に車両重量計がないことからホイローダーのバケット容積と堆肥化材料の容積重により算出した。堆肥化材料が約 2700 kg であったためたまり粕の添加量は 11% の約 297 kg として、6 週後の切返し時に添加した。切返しは、12 週後までは毎週 1 回行い、その後は隔週 1 回行った。品温の測定及び成分分析は試験 2 と同じとした。水分率、pH、容積重は切返し時に、全炭素、全窒素、粗脂肪、ナトリウム、カリウムは、開始時、終了時及び 6 週のたまり粕の添加前と添加後に測定した。

試験結果及び考察

1 敷料利用試験（試験 1）

全行動に占める牛の休息行動の割合は、たまり粕添加堆肥敷料区 61.3%、オガクズ敷料区 62.7% と同程度であった（表 1）。試験終了時の牛体の汚れは、両区ともに汚れはほとんどないスコア「1」であった（表 2）。また、終了時の敷料の水分率はたまり粕添加堆肥敷料区 52.8%、オガクズ敷料区 55.8% で敷料の外観等も同程度であった

（表 3）。これらの結果からたまり粕添加堆肥敷料は、敷料に必要な機能である快適性、衛生性、水分調節能については、オガクズ敷料と同程度であり代替利用が可能ながことが明らかになった。

2 敷料の堆肥化試験（試験 2）

試験 1 で利用した敷料を搬出して、それぞれ堆肥舎で堆積したところ、品温については病原菌や雑草種子を死滅させる目安となる 60℃ 以上^{12,13)} に上昇し、良好に発酵することを確認した（図 1）。堆肥化過程の成分については、たまり粕添加堆肥敷料区のナトリウム及び EC が、オガクズ敷料区に比べ 0 週、12 週ともに高くなった（表 3）。ナトリウムはたまり粕に多く含まれている⁴⁾ ことで高くなり、EC は、1.27 S m⁻¹ と堆肥の推奨品質基準¹⁴⁾ となる 0.5 S m⁻¹ を超えていた。また、たまり粕添加堆肥敷料区のカリウムは、オガクズ敷料区より 0 週で高く、12 週でやや高かったことから、カリウムを含む乳牛ふん尿を材料として堆肥を生産した影響があると考えられた。

3 幼植物栽培試験による堆肥の評価（試験 3）

試験 2 の堆肥によるコマツナの幼植物栽培試験を行った結果を表 4 にまとめた。出芽については、どちらの堆肥区とも 100% 出芽しスコア「5」であった。外観については、どちらの区も無肥料区よりも大きく、スコア「3」であった。化学肥料区との比較については、たまり粕添加堆肥敷料区は同程度でスコア「2」、オガクズ敷料区はやや小さくスコア「1」であった（図 2）。障害については、どちらの区も障害なしのスコア「2」であった。それぞれのスコアを合計した総合評価は、たまり粕添加堆肥敷料区「12」、オガクズ敷料区「11」で、

表 1 各敷料における牛の行動に占める休息行動の割合 (%)

試験区	横臥	伏臥	反芻 ¹⁾	合計
たまり粕添加堆肥敷料区	1.8	56.8	2.7	61.3
オガクズ敷料区	1.8	57.2	3.6	62.7

1) 立佇状態での反芻

表 2 衛生スコア¹⁾による評価

試験区	たまり粕添加 堆肥敷料区		オガクズ敷料区	
	個体 A	個体 B	個体 C	個体 D
大腿衛生スコア	1	1	1	1
飛節衛生スコア	1	1	1	1
下肢衛生スコア	1	1	1	1
平均	1	1	1	1

1) 衛生スコア

1: 汚れが少しかほぼない 2: 少量のふん便の飛び散りが見られる

3: ふん便がまだらに見られる 4: ふん便が毛を覆うように付着している

表3 敷料利用後の堆肥化過程の成分組成(試験2)

試験区	経過日数 (週)	水分率 %	pH	EC	Na	K	粗脂肪	T-C	T-N	容積重 kg L ⁻¹
				S m ⁻¹	g kg ⁻¹ -DM					
たまり粕添加	0	52.8	9.1	1.09	21.0	21.2	5.9	462	14.3	0.53
堆肥敷料区	12	46.3	7.9	1.27	22.0	22.3	3.1	443	18.6	0.36
オガクズ敷料区	0	55.8	8.9	0.66	5.6	17.9	7.2	477	13.0	0.50
	12	47.0	8.9	0.80	6.7	21.8	3.0	457	13.5	0.32

注意を要する「10」未満を超えていた(表4)。

生存評価はどちらの堆肥区も「103」、本葉評価はたまり粕添加堆肥敷料区「178」、オガクズ敷料区「159」であった。新鮮物重評価は、たまり粕添加堆肥敷料区「865」、オガクズ敷料区「632」であった。それぞれのスコアを合計した総合評価は、たまり粕添加堆肥敷料区「1146」、オガクズ敷料区「894」で、注意を要する「300」未満を大きく超えていた(表4)。これらの結果から、たまり粕添加堆肥敷料区は堆肥として問題のないことが明らかになった。ただし、試験2の結果でナトリウム、カリウム及びECが高かったことを考慮して過剰な施用により農地に塩類が集積しないように注意が必要であると考えられた。

4 堆肥生産の実証試験(試験4)

堆肥化材料の堆積開始時の容積重については、無添加区の容積重は0.80 kg L⁻¹と発酵に必要な通気性を確保

できる0.70 kg L⁻¹¹⁵⁾よりも重くなった(表5)。たまり粕添加区は、無添加区と同じ容積量のオガクズを混合し容積重の確認したところ0.69 kg L⁻¹(表5)であった。同じ容積量のオガクズを混合しても容積重に差があった。これは、利用したオガクズが木材加工会社から排出されたものを譲り受けたものであり、木材加工作業によりオガクズの形状が異なり均一でないため容積重の高くなる粉状のものや容積重の低くなる削り節のような状態のものがあ、無添加区に削り節の状態のものを多く混合したことが原因と考えられた。現場での堆肥化においては、オガクズの形状の不均一により同じ容積でも容積重が変動することが考えられるため、混合した後に容積重を確認して調整する必要があることを留意点として把握した。

品温については、1週後の切返しまでにたまり粕添加区は60℃以上に上昇したが、無添加区は60℃以上に上昇しなかった(図3)。これは、無添加区の開始時の容積重が0.80 kg L⁻¹と大きかったため、堆積物の表面から

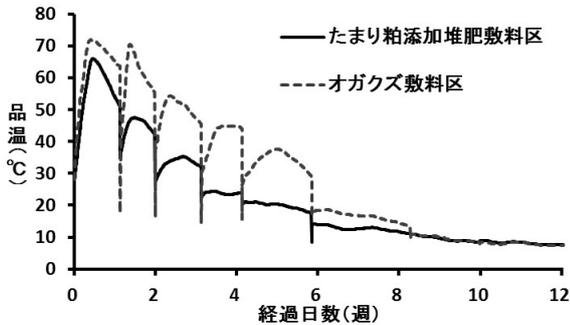


図1 敷料利用後の堆肥化における堆積物の品温の推移



図2 試験3終了時のコマツナの外観

表4 コマツナの幼植物栽培試験(試験3)

供試堆肥	出芽評価 ¹⁾	外観評価 ²⁾			総合評価 ³⁾	生育評価				
		無肥料と の比較	化学肥料と の比較	障害		外観評価	生存評価 ⁴⁾	本葉評価 ⁵⁾	新鮮物重 評価 ⁶⁾	総合評価 ⁷⁾
たまり粕添加堆肥 敷料区	5	3	2	2	7	12	103	178	865	1146
オガクズ敷料区	5	3	1	2	6	11	103	159	632	894

1) 出芽評価 100% : 5 80%以上100%未満 : 4 60%以上80%未満 : 3 60%未満 : 2 0% : 1

2) 外観評価 (無肥料との比較+化学肥料との比較+障害有無)

無肥料との比較 小さい : 1 同等 : 2 大きい : 3 化学肥料との比較 小さい : 1 同等 : 2 大きい : 3 障害 障害あり : 1 なし : 2

3) 総合評価 : 出芽評価+外観評価で10未満は注意必要 4) 生存評価 : 堆肥区/無肥料区×100 5) 本葉評価 : 堆肥区/無肥料区×100

6) 新鮮物重評価 : 堆肥区/無肥料区×100 7) 生育評価の総合評価 : 生存評価+本葉評価+新鮮物重評価で300未満は注意必要

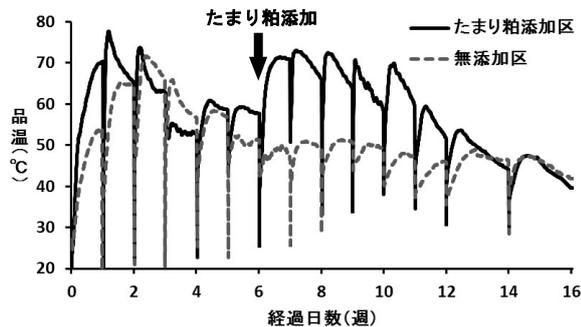


図 3 実証試験における堆積物の品温の推移

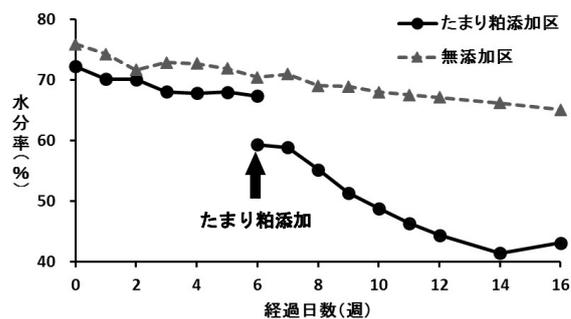


図 4 実証試験における堆積物の水分率の推移

表 5 実証試験における堆肥化過程の成分組成(試験 4)

材料・試験区	経過日数(週)	水分率(%)	pH	Na g kg ⁻¹ -DM	K g kg ⁻¹ -DM	粗脂肪 g kg ⁻¹ -DM	T-C g kg ⁻¹ -DM	T-N g kg ⁻¹ -DM	容積重 Kg L ⁻¹
牛ふん	—	84.2	7.8	3.8	16.6	13.5	381	28.2	—
無添加区	0	75.9	7.2	4.1	10.9	9.1	420	15.6	0.80
	6	70.4	9.2	6.0	14.9	2.4	412	14.5	0.66
	16	65.1	9.0	7.4	18.6	1.6	388	15.3	0.57
添加区	0	72.2	8.2	3.8	11.3	8.1	416	14.0	0.69
	6(添加前)	67.3	9.1	5.8	15.6	2.8	399	15.1	0.46
	6(添加後)	59.4	7.6	20.0	14.8	38.3	409	22.1	0.47
	16	43.1	8.9	27.8	18.9	2.0	371	21.3	0.36

浅い部分と埋設した暗渠管の周囲の空気に触れる部分は発酵したが、空気の浸透しない多くの部分では発酵が抑えられたことが原因で 60℃以上に上昇しなかったと考えられた。1 週後の切返しにより空気に触れる部分が多くなったことで発酵が進み 60℃以上に上昇した。このことから、堆積開始時の堆積物の容積重を確認して約 0.70 kg L⁻¹ 以下に調整して、堆積物中に空気の層を多く作る必要があることが明らかになった。6 週間にはどちらの区も切返し後に 60℃以上に上昇しなくなったが、たまり粕添加区は 6 週後にたまり粕を添加したところ再度 60℃以上に上昇して 11 週まで 60℃以上を維持した。

水分率については、無添加区は堆積開始時 75.9% で、終了時は 65.1% であった。たまり粕添加区は堆積開始時 72.2% で、10 週後に 50% 未満(48.9%) に低下し、終了時は 43.1% であった(表 5、図 4)。堆肥化材料の重量に対し約 11% のたまり粕を添加することで水分率を 50% 未満に低下させることができることも明らかになった。ただし、たまり粕添加量は乳牛ふん、オガクズ等の堆肥化材料の品質により熱量が変動するため精査する必要がある。今後は、県内の各堆肥化施設における堆肥化材料水分量及び熱量データを収集することにより低水分化に必要なたまり粕添加量を算出して、たまり粕添加量の推奨基準値を設定する必要がある。さらに、こ

の基準値の実用性を確認するために、再度実証試験することも求められる。

以上のことから、乳牛ふん尿に対して同容積量以上のオガクズを混合して、容積重を約 0.70 kg L⁻¹ 以下に調整して堆積する。毎週 1 回切返しを行い、切返し後も品温が 60℃以上に上昇しなくなる 6 週後の切返し時にたまり粕を添加する。たまり粕の添加量は、堆肥化材料の熱量により計算することが望ましいが、煩雑なため開始時の混合した堆肥化材料の重量をホイールローダーのバケットの容積と堆肥化材料の容積重により算出して、その重量割合(本研究では約 11%)でも代替は可能である。たまり粕添加後、毎週 1 回切返しを行うことで 12 週から 16 週後には低水分の堆肥を生産できる。さらに生産した低水分堆肥は、敷料としての機能を備えておりオガクズの代替として利用でき、この敷料由来の堆肥が、農作物の発芽や初期生育に害を及ぼさないことも確認した。ただし、農作物への利用については、EC が 0.5 S m⁻¹ を超えているため農作物への過剰な利用を行わないよう注意する必要がある。ナトリウムは、たまり粕の添加が影響しているため、最終的な耕種利用を考慮した場合、乾燥ハウス等により堆積開始時の水分を低下させるなどにより、たまり粕添加量を減らすことも検討する必要がある。

たまり粕の利用は、簡便に低水分の堆肥を生産することができるだけでなく、産業廃棄物として処分しているたまり粕の有効活用とともにオガクズの使用量を減らすことになる。さらに、たまり粕添加後 60℃以上の高温を長い期間維持できるため、堆積物の水分蒸発だけでなく乳房炎原因菌を死滅させることができる¹⁶⁾ことから安心して敷料として利用できると考えられる。

なお、1年を通して安定して敷料を確保するためには、気温が低く水分の蒸発量が少なくなる冬季においても低水分堆肥を生産できる技術に改良する必要がある。たまり粕の添加により、気温の低い冬季においても堆積物の品温が 60℃以上に上昇することを確認している(データ未掲載)。この高温を冬季でも維持して水分蒸発させるために、たまり粕の添加時期、添加量、切返しの時期等について検討していく必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、徳吉醸造株式会社なたまり粕をご提供頂いたので、ここに感謝の意を表す。

引用文献

1. 農林水産省. 敷料の使用数量と価格(搾乳牛通年換算1頭当たり)―全国. 平成20年度畜産物生産費. (2008). <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500201&tstat=000001013460&cycle=8&year=20081&month=0&tclass1=000001013461&tclass2=000001033155&tclass3=000001039040> (2019.3.26参照)
2. 農林水産省. 敷料の使用数量と価格(搾乳牛通年換算1頭当たり)―全国. 平成29年度畜産物生産費. (2017). <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500201&tstat=000001013460&cycle=8&year=20171&month=0&tclass1=000001013461&tclass2=000001033155&tclass3=000001127255> (2019.3.26参照)
3. 仮谷喜弘. 敷料に求められる機能と代替物の可能性. 養牛の友. 6, p.30-33(2002)
4. 黒柳悟, 畠山由香里, 柳澤淳二, 三輪恒介, 市川あゆみ, 堤公生. たまり粕を利用した敷料に代替利用可能な堆肥生産技術の開発. 愛知農総試研報. 50, 99-102(2018)
5. 佐藤衆介, 近藤誠司, 田中智夫, 楠瀬良, 森裕司, 伊谷原一. 動物行動図説―家畜・伴侶動物・展示動物―. 朝倉書店. p.33-44, 付表(2011)
6. Nigel, B. C. Bvsc, C. and Chp, D. M. The influence of barn design on dairy cow hygiene, Lameness and Udder Health(2004)
7. 日本土壤協会. 堆肥等有機物分析法. 東京. p.29, p35-41, p56-58, p65-72 (2010)
8. 日本科学飼料協会. 飼料分析基準注解 第三版. 東京. p.21-24, p.36-37, p.56 (1998)
9. 日本土壤協会. 土壌、水質及び植物体分析法. 東京. P39-43(2001)
10. 中村和久, 瀧澤秀明, 柳澤淳二, 堆肥化副資材としての竹粉の特性. 愛知農総試研報. 48, 153-156(2016)
11. 農文協編. 畜産環境対策大事典(第2版). 東京. p.121-128(2004)
12. 高林実, 窪田哲夫, 阿部林. 牛の採食による雑草種子の伝播に関する研究. 農事試験場研究報告. 27, 69-91(1978)
13. 農文協編. 畜産環境対策大事典(第2版). 東京. p.57-58(2004)
14. 畜産環境整備機構. 家畜ふん尿処理・利用の手引き. 東京. p.62-63(1998)
15. 畜産環境整備機構. 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 東京. p.10-18 (2004)
16. 伊吹俊彦, 畠中哲哉, 斎藤雅典, 関澤幸朗. 自動切返しと戻し利用を特徴とする牛ふん尿の堆肥化処理. 草地試研報. 58, 38-57(1999)