

## 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

黒柳 悟<sup>1)</sup>・畠山由香里<sup>2)</sup>・柳澤淳二<sup>3)</sup>・三輪恒介<sup>1)</sup>・市川あゆみ<sup>4)</sup>・堤 公生<sup>1)</sup>

**摘要**：畜舎で敷料として利用してきたオガクズの価格が高騰しており、これに替わる資材として利用可能な低水分の堆肥の生産技術が求められている。そこで、油脂と窒素を多く含むたまり醬油の製造過程で出る搾り粕(以下たまり粕)を乳牛ふん堆肥生産時に添加して微生物活性を高め発熱量増加に伴う水分蒸発の促進による低水分の堆肥生産を試みた。

150 L容の箱型試験装置を用いた堆肥化試験では、たまり粕を添加した乳牛ふん堆肥は、無添加の乳牛ふん堆肥に比較して堆積物の温度(以下品温)が高温を維持し、敷料に適した水分率50%未満に低下した。

堆肥舎での堆肥化試験では、通気性改善のために暗渠管を設置した乳牛ふん堆肥、オガクズを多く添加し開始時の水分を低くした乳牛ふん堆肥とも、一旦品温が60℃以上に上昇し、時間の経過とともに下降して40℃から50℃となった。6週後にたまり粕を添加すると、再度60℃以上に上昇し、発熱量増加により水分蒸発が促され、水分率は50%未満に低下した。以上の結果からたまり粕の添加は、品温の上昇を通じて堆肥の低水分化に寄与し、敷料としての利用にも適した堆肥生産に利用できる可能性が認められた。

**キーワード**：堆肥、たまり粕、水分率、品温、敷料

## 緒 言

近年、製材量の減少に伴うオガクズの不足、価格高騰等<sup>1,2)</sup>により、オガクズに代わる家畜の敷料が求められている。農家自身が生産した堆肥の代替利用が試みられているが、従来の乳牛ふん堆肥は水分率が高く、低水分であることが望まれる<sup>3)</sup>敷料の代替資材として適していない。

また、十分に発酵させていない乳牛ふん堆肥は乳用牛で問題となる乳房炎原因菌が存在することもある。この菌は、堆肥生産時に十分に発酵させて堆積物の温度(以下品温)を60℃以上にして1時間以上維持することで死滅させることができる<sup>4)</sup>ため、安全な敷料とするには複数回の攪拌後も60℃の品温を保ち、全体をむら無く菌の死滅条件にすることが必要である。そこで、品温を60℃以上に上昇させて、攪拌後も維持するとともに発熱量増加により水分を蒸発させ敷料に適した水分率50%未満<sup>3)</sup>に低下させた乳牛ふん堆肥を生産する技術の開発を試みた。

加藤ら<sup>5)</sup>は、油脂を含んだ廃白土と窒素源の尿素を同時に添加することにより水分率50%未満の堆肥を生産できることを明らかにしている。この成果を基に、一つの資材で油脂と窒素を同時に添加できる資材を探索したと

ころ、油脂と窒素を多く含む材料としてたまり醬油の製造過程で出る搾り粕(以下たまり粕)が候補としてあげられた。

たまり粕は、家畜の餌としての利用もあるが、余剰分は醸造会社が産業廃棄物として処分している。これを低水分の堆肥生産に利用することで、敷料不足と廃棄物処分の問題を解決できると考えて、本試験を行ったところ、150 L容の箱型試験装置による実験規模だけでなく、規模の大きい堆肥舎でも水分率50%未満の乳牛ふん堆肥を生産することができたので報告する。

## 材料及び方法

### 試験1 150 L容の箱型試験装置を用いた堆肥化試験

愛知県農業総合試験場(以下農総試)の乳牛舎から排出された乳牛ふん尿(表1)85 kgとオガクズ15 kgを堆肥化材料として混合し、水分率75%、容積重約0.60 kg L<sup>-1</sup>に調整した。添加材のたまり粕(表2)は、徳吉醸造株式会社から譲り受けた。

2015年6月10日から10月13日まで18週間、150 L容の箱型試験装置(間口50 cm×奥行50 cm×高さ60 cm)に堆肥化材料100 kgを充填して試験を行った。開始から8週

<sup>1)</sup>畜産研究部 <sup>2)</sup>畜産研究部(退職) <sup>3)</sup>畜産研究部(現農業大学校) <sup>4)</sup>畜産研究部(現環境基盤研究部)

表1 牛ふん尿の成分組成

水分率	粗脂肪	T-C	T-N	Na	K
%	g kg <sup>-1</sup>				
	DM あたり				
86.1	9.7	425	29.7	6.4	33.7

表2 たまり粕の成分組成

水分率	粗脂肪	T-C	T-N	Na	K
%	g kg <sup>-1</sup>				
	DM あたり				
33.6	281	518	54	73	8.0

後までは、7.5 L min<sup>-1</sup>(容積の5%相当)の新鮮空気を底面から送気した。開始から4週後まで毎週1回、以降14週後まで隔週1回切り返しを実施した。切り返しごとに堆積物の一部を採取し、成分分析に供した。試験区は、3 cm未満に破砕したたまり粕11 kgをそれぞれ堆積開始時、2週後、4週後に添加した3処理(0週添加区、2週添加区、4週添加区とする)とし、たまり粕を添加しない区(無添加区)も併せ設定した。たまり粕の添加量は、家畜ふん尿処理施設の設計<sup>6)</sup>を基に乳牛ふん及びオガクズの総分解率を各々40%、10%、両資材の1 kg当たりの分解発熱量を4500 kcal、3000 kcalとし、さらに水1 kgを蒸発させるに必要な熱量を900 kcal、たまり粕に含まれる粗脂肪を油1 kgの発熱量9000 kcalと規定して、堆積終了時の水分率を約45%にするために必要なたまり粕添加量を次式により計算して、堆肥化材料100 kg当たりたまり粕11 kgとした。なお、たまり粕の油以外の分解発熱量は少量と考慮しなかった。

$$\text{終了時の水分率(\%)} = 100 \times \left( \frac{\text{開始時の堆肥化材料中の水kg} + \text{たまり粕中の水kg} - (\text{乳牛ふん量kg}(\text{乾物}) \times 0.4 \times 4500 \text{ kcal} / 900 \text{ kcal} + \text{オガクズ量kg}(\text{乾物}) \times 3000 \text{ kcal} / 900 \text{ kcal} + \text{たまり粕の粗脂肪量kg} \times 9000 \text{ kcal} / 900 \text{ kcal})}{\text{堆肥化材料中の水kg} + \text{たまり粕中の水kg} - (\text{熱量による水の蒸発量kg}) + (\text{堆肥化材料及びたまり粕の残存量kg}(\text{乾物}))} \right)$$

堆肥化過程の品温の経時的変化を調査するため、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)により堆積物の上部から20 cmの温度を堆積開始時から試験終了時まで1時間間隔で毎正時に測定した。切り返しごとに堆積物の一部を採取し成分分析を行った。水分、pH、EC、粗脂肪、容積重は切り返し時に、全炭素、全窒素は開始時と終了時、ナトリウム、カリウムは終了時に測定した。

堆肥等有機物分析法<sup>7)</sup>に従って、水分は105℃で24時間乾燥、全窒素はサリチル酸硫酸分解法(ガンニング変法)、ナトリウム及びカリウムは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により、それぞれ測定した。粗脂肪は、ソックスレー抽出法<sup>8)</sup>により、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<sup>9)</sup>により測定した。

pH、EC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<sup>10)</sup>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回繰り返す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。

## 試験2 堆肥舎での堆肥化試験

実用レベルとして無通気の堆積式堆肥舎で低水分の堆肥を生産することを目的に行った。堆積開始時の堆肥化材料の混合は、試験1は水分率で調整したが、敷料で利用するための堆肥生産では規模が大きくなり、水分率による調整は煩雑なため、中村ら<sup>10)</sup>の試験を参考に乳牛ふん尿とオガクズを体積比で混合した。農総試の乳牛舎から2017年5月18日に排出された1日分の乳牛ふん尿2060 kgに対して体積比で1:1.2になるようオガクズ450 kgを混合した。また、2017年5月19日に排出された1日分の乳牛ふん尿1600 kgに対して体積比で1:1.4になるようオガクズ560 kgを混合した。それぞれ通気装置のない堆肥舎で16週間、高さ約1.5 mで堆積した。

体積比1:1.2の堆積物は、容積重0.73 kg L<sup>-1</sup>であり、通気性を確保するとされる0.70 kg L<sup>-1</sup><sup>6)</sup>よりも重かったため、坂井らの報告<sup>11)</sup>を参考に通気性改善のため暗渠管(全面開孔暗渠管、外径60 mm、長さ2 m、開孔率13%)を8本、10週まで埋設した。体積比1:1.4の堆積物は、容積重0.61 kg L<sup>-1</sup>で通気性があると考えられ暗渠管の埋設は行わなかった。試験区は、体積比1:1.2で暗渠管埋設した水分率71%のものを高水分通気区とし、体積比1:1.4で水分率65%のものを低水分区とした。たまり粕は、試験1の結果から品温が40~50℃になったところに添加することがよいと考えて、経時的に品温を計測して添加時期を決定した。たまり粕の添加量は、試験1と同じように計算し、終了時の水分率が約46%になるための必要量(両区ともに280 kg)とした。また、たまり粕は、約10 cm未満に破砕したものを添加した。

開始から12週後まで毎週1回、その後隔週で切り返し(ホイールローダーによる攪拌)を実施した。切り返しごとに堆積物の一部を採取し成分分析に供した。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部を試験1と同じデータロガーを用いて1時間間隔で経時的に計測した。水分、pH、ECは、切り返し時に、全炭素、全窒素、粗脂肪、ナトリウム、カリウム、容積重は、開始時、6週後(たまり粕添加前、添加後)、終了時に測定した。

## 結果及び考察

### 試験1 150 L容の箱型試験装置を用いた堆肥化試験

品温については、無添加区は開始後すぐに60℃以上に上昇したが1週後からは60℃以上には上昇しなかったのに対し、すべての添加区は、たまり粕添加後に60℃以上に上昇し、無添加区に比べ添加後4週間程度、高い品

温を維持した(図1)。

水分率については、すべての添加区は無添加区に比べ低下し、18週後には50%未満に低下した(図2)。これは、たまり粕添加による発熱量増加により水の蒸発量が増加したことによる効果と考えられた。また、水分率の低下に伴って、容積重も約0.3 kg L<sup>-1</sup>と小さくなった(表3)。

粗脂肪については、すべての添加区はたまり粕添加時に増加したが、その後分解され減少し、18週後にはすべての添加区が無添加区と同程度になった(表3)。

ナトリウムとECについては、すべての添加区は無添加区に比べ高い値を示した。これは、たまり粕に多く含まれているナトリウムが影響していると考えられた(表2、表3)。カリウムは、たまり粕に含まれる量が少ないため、添加による影響は見られなかった(表2、表3)。

これらの結果から、たまり粕添加により水分率を50%未満に低下することができた。また、堆肥化材料の分解発熱量を用いて算出した理論添加量で概ね想定した水分率に低下することができたことから、計算は妥当であることが明らかになった。さらに、たまり粕の添加時期については、4週添加区が最終的に最も水分率の低下が

大きかったことから開始後の発酵が落ち着いて品温が40~50℃まで低下したところでたまり粕を添加することが、効果的であると考えられた。

試験2 堆肥舎での堆肥化試験

品温については、高水分通気区、低水分区ともに開始後から品温が上昇し、60℃以上の品温を維持した(図3)。5週後の切り返し時より温度の回復が遅くなり品温が40~50℃になったため、6週後の切り返し時にたまり粕を添加したところ、品温が再度60℃以上に上昇し、数週間にわたり維持した。

水分率は、開始後から低下したが、たまり粕添加後は両区ともより低下が進み、16週後に約43%と敷料として利用できる状態になった(図4)。また、水分率の低下に伴い容積重も約0.3 kg L<sup>-1</sup>と小さくなった(表4)。粗脂肪については、たまり粕添加後に増加し、その後分解されて16週後には開始時と同程度になった(表4)。たまり粕添加後(6週後)の低水分区の粗脂肪及びナトリウム含量が高くなったことは、試験1に比べ規模が大きく均一にたまり粕が混合できなかったことによる試料採取の誤差であると考えられた。

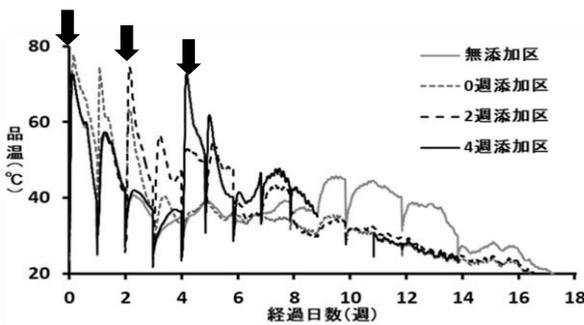


図1 箱型装置における乳牛ふん堆肥の品温の推移  
注) 矢印はたまり粕の添加を示す

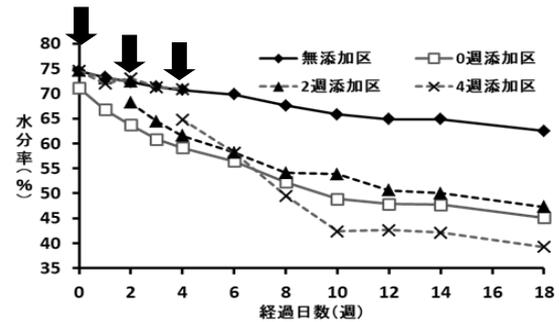


図2 箱型装置における乳牛ふん堆肥の水分率の推移  
注) 矢印はたまり粕の添加を示す

表3 箱型装置試験終了時の成分組成

	pH	EC S m <sup>-1</sup>	Na g kg <sup>-1</sup> DMあたり	K g kg <sup>-1</sup> DMあたり	粗脂肪 g kg <sup>-1</sup> DMあたり	T-C g kg <sup>-1</sup> DMあたり	T-N g kg <sup>-1</sup> DMあたり	容積重 kg L <sup>-1</sup>
無添加区	8.1	0.32	11.0	26.8	2.0	425	18.2	0.43
0週添加区	8.3	0.66	30.5	20.4	2.4	427	20.4	0.30
2週添加区	8.3	0.70	30.3	20.0	1.0	421	21.3	0.32
4週添加区	8.9	0.78	28.3	18.7	2.4	427	19.9	0.28

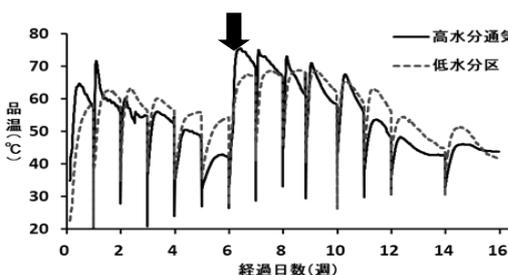


図3 堆肥舎における乳牛ふん堆肥の品温の推移  
注) 矢印はたまり粕の添加を示す

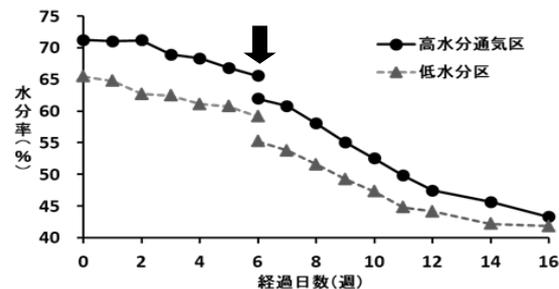


図4 堆肥舎における乳牛ふん堆肥の水分率の推移  
注) 矢印はたまり粕の添加を示す

表4 堆肥舎における堆肥化過程の成分組成

試験区	経過日数 週	pH	EC	Na	K	粗脂肪	T-C	T-N	容積重 kg L <sup>-1</sup>
			S m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					
			DMあたり	DMあたり	DMあたり	DMあたり	DMあたり		
高水分通気区	0	8.6	0.20	2.5	10.0	5.9	484	12.3	0.73
	6(添加前)	9.0	0.17	3.2	13.1	3.0	474	9.9	0.51
	6(添加後)	7.3	0.33	12.2	11.7	45.3	479	11.6	0.52
	16	7.5	0.64	25.1	12.8	3.0	452	14.5	0.34
低水分区	0	8.7	0.17	1.9	9.0	6.3	493	8.9	0.61
	6(添加前)	9.1	0.14	2.3	11.4	2.1	485	8.4	0.40
	6(添加後)	7.3	0.33	19.3	10.4	85.3	493	11.6	0.44
	16	8.9	0.60	20.7	13.0	13.7	467	14.8	0.31

たまり粕にはナトリウムが高濃度に含まれるため、その添加により堆肥のナトリウム濃度が上昇することが予想された。実際、16週後のナトリウム濃度は高水分通気区で25.1 g kg<sup>-1</sup>、低水分区で20.7 g kg<sup>-1</sup>と高くなった(表4)。また、総塩類濃度の指標であるECも高い数値になった(表4)。さらにこの堆肥を敷料として利用した後に再び堆肥化する場合には、より塩分濃度が高まることを予想される。このため、今後は農作物に対する影響の評価とそれに基づく効果的な使用方法について検討が必要である。

堆肥舎でも堆肥化初期とたまり粕添加後に品温60℃以上を長い期間維持することができたことから、敷料利用で問題となる乳房炎原因菌の死滅が期待できた。また、堆肥舎でもたまり粕添加による発熱量増加により水の蒸発量を増加して、水分率を低下させることができたと考えられた。

両区ともに水分率を50%未満に低下できたため、堆肥舎でも試験1と同じたまり粕添加量の計算で問題ないことが明らかになった。

以上のことから、乳牛ふん尿とオガクズを混合して通気性を確保した状態で堆積し、品温が40~50℃になる時期を目安に材料の分解率、熱量等から算出した必要量のたまり粕を添加することで低水分の乳牛ふん堆肥を生産できると考えられた。本試験では、オガクズを混合して堆肥化したためオガクズ使用量を大きく削減できていない。しかし、愛知県内の酪農現場で見られる乾燥ハウスであらかじめ乳牛ふんの水分率を低下させることで、水分調節材のオガクズの使用量とたまり粕添加量を削減できる可能性がある。

予備試験として行った冬季の堆肥化では、品温が20℃以下となった時点でたまり粕を添加したところ、品温は一時的に60℃以上に上昇し、添加の効果は明らかであったものの水分率は16週間で50%未満に低下しなかった。冬季においては、切り返しや添加のタイミング、添加量等をさらに検討する必要がある。また、添加するたまり粕に含まれるナトリウムや堆肥の敷料利用により乳牛ふん尿から追加される塩類が集積することが予想されるため、今後は敷料利用後に再堆肥化した場合の農作物

への影響を調査する必要がある。

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

## 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). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001067393>. (2018. 3. 31参照)
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28年度畜産物生産費. (2016). <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=000001202877>. (2018. 3. 31参照)
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. 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)
5. 加藤淳, 瀧澤秀明, 市川あゆみ, 柳澤淳二. 廃白土を用いた敷料向け堆肥生産技術の開発. 愛知農総試研報. 47, 97-104(2015)
6. 畜産環境整備機構. 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. 畜産環境整備機構. 東京. p. 10-18(2004)
7. 日本土壌協会. 堆肥等有機物分析法. 日本土壌協会. 東京. p. 29-72(2010)
8. 飼料分析基準研究会. 飼料分析基準注解 第三版. 日本科学飼料協会. 東京. p. 21-24(1998)
9. 日本土壌協会. 土壌、水質及び植物体分析法. 日本土壌協会. 東京. p. 39-43(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. 坂井隆宏, 脇屋裕一郎, 永渕成樹. 生産量抑制および減容化を目指した堆肥発酵促進技術の開発(第4報)—暗渠管を用いた肉用牛ふん堆肥発酵促進の検討—. 佐賀県畜産試験場試験研究成績書. 52, 69-74(2016)