

廃白土を用いた敷料向け堆肥生産技術の開発

加藤 淳¹⁾・瀧澤秀明²⁾・市川あゆみ²⁾・柳澤淳二²⁾

摘要：堆肥を敷料に利用するため、低水分で保水性が高い堆肥の簡便な生産技術を開発した。敷料に向けた低水分の堆肥を生産するためには、堆積中の乳牛ふん尿に油脂を含んだ廃白土を6週経過後に添加することが有効であった。廃白土の添加により、堆積物の品温が60℃超まで再度上昇し、水分蒸散が促進されたため、敷料向け堆肥に求められる低水分化を実現できた。さらに、廃白土の添加と同時に窒素源を補給し、堆積物の炭素窒素比が20となるよう調整することで、細粒化した、より保水性の高い堆肥を生産することが可能であった。

キーワード：堆肥、敷料、廃白土、水分蒸散、保水性

Production of recycled manure compost bedding using waste clay

KATO Atsushi, TAKIZAWA Hideaki, ICHIKAWA Ayumi and YANAGISAWA Junji

Abstract: We investigate the production of low moisture and high water holding manure for compost bedding. To produce low moisture manure compost, adding waste clay containing fat to the pile of cow manure after 6 weeks from the start of composting proved to be effective. The addition of the waste clay made it possible to produce low moisture manure compost because the temperature of the pile of manure rose to more than 60°C and moisture transpiration was accelerated. Additionally, smaller particle diameter and higher water holding manure compost was produced when C/N was adjusted to 20 using the waste clay and a nitrogen source.

Key Words: Compost, Bedding, Waste clay, Moisture reduction, Water holding

緒言

現在、家畜の寝床となる敷料として主にオガクズが利用されている。しかし、国内製材業の不振等により流通量が減少し、供給不足となっているため価格が高騰している¹⁻³⁾。オガクズに代わる敷料資材として、果樹剪定枝⁴⁾、竹粉⁵⁾、古紙⁶⁾等の利用が試みられているが、流通やコストの面から実用化には至っていない。そこで近年では、一部の畜産農家において、自家生産した堆肥を敷料として利用する堆肥の敷料利用が実践されている。

オガクズなどの敷料は、未利用であっても種類や条件によって糸状菌や種々の細菌が増殖している場合があり、環境性乳房炎の感染源となっていることが指摘されている⁷⁻⁹⁾。堆肥の敷料利用いわゆる「戻し利用」は、原料に病原性微生物が混入した場合でも適切な堆肥化処理による発酵品温の上昇で死滅するため^{7, 8)}、安全な敷料の提供が可能になるといわれている。また、堆肥の敷料利用は、堆肥中の*Bacillus licheniformis*等の細菌が抗生物質を分泌することで環境性乳房炎原因菌の増殖を抑制する効果があるため¹⁰⁾、オガクズ不足を補う有望な敷料資材として注目されている^{11, 12)}。しかし、通常の堆肥化で生産した堆肥は、高水分で保水性が悪いため、敷料に利用するためには乾燥等で水分を30~50%に下げた複雑な処理が必要^{1, 7)}であることから、敷料向けに特化した堆肥の簡便な生産技術の確立が望まれている。

一方、これまでに堆肥化過程における水分蒸散を促進するためには、堆肥原料に油脂を含む資材を添加し、発酵品温を増大させることが有効であると報告されている^{13, 14)}。しかし、これらの研究は、堆肥化初期段階の高水分条件を解消することを目的に行われており、低水分の堆肥を生産することについては検証されていない。堆肥化過程での油脂添加は、発酵不良によりふん尿由来の病原性微生物が残存^{7, 8)}した場合でも、油脂分解による堆積物品温の上昇¹⁵⁾で安全な敷料の生産が可能になることから、簡便かつ効果的な手法である。

そこで今回、製油過程で生じる廃棄物で油脂含有が高い廃白土を利用した敷料向け堆肥の簡便な生産技術を開発した。

材料及び方法

試験1 廃白土添加時期の違いが堆肥発酵に及ぼす影響

愛知県農業総合試験場フリーストール牛舎から搬出された新鮮乳牛ふん尿を採取した。乳牛ふん尿をオガクズと混合し、容積重を10 L容量ポリバケツで6.5 kg (水分76%)に調整したものを堆肥原料とした。廃白土(乾物中粗脂肪15.6%)は、県内製油業者から入手したものをを用いた(表1)。

2013年5月21日~9月24日の18週間、150 L容量の堆肥化試験装置(充填部50×50×60 cm)を用いて堆肥原料95

表1 堆肥化過程で添加した資材の成分組成

資材	水分 (%)	灰分 (乾物%)	pH	粗脂肪 (乾物%)	全炭素 (乾物%)	全窒素 (乾物%)	容積重 (kg/L)
試験1 廃白土	10.8	74.1	3.2	15.6	17.4	3.3	0.72
試験2 廃白土	6.1	59.0	3.3	34.8	29.7	0.0	0.73
試験2 尿素	2.2	0.1	8.7	0.0	15.8	46.8	-

kgの堆積試験を実施した。装置底面部から15 L/分(容積の10%相当)送気しながら堆積し、10週後まで毎週及び12、14週後に切返し(装置から堆積物を全て取り出し、かく伴後再充填)を実施した。切返しごとに堆積物の一部を採材し、分析に供した。

試験区は、廃白土10 kgをそれぞれ2、4、6週後に添加したもの(2、4、6週区)及び無添加のもの(無添加区)を設定した。廃白土の添加量は、家畜ふん尿処理施設の設計¹⁶⁾に基づき、堆積終了時の堆肥水分を45%にするための必要量とした。

堆肥化過程の経時的変化を調査するため、堆積物品温及び成分を測定した。分析項目は、堆肥化の全期間堆積物品温を計測し、切返しごとに水分、灰分、pH、全炭素、全窒素、酸性デタージェント繊維(ADF:セルロースの一部及びリグニン)、容積重を測定した。また、油脂の分解状況を調査するため、廃白土の添加から4週間、粗脂肪を測定した。さらに、終了時に生産堆肥の敷料適性を評価するため、大腸菌群数、粒径分布、保水率を測定した。

堆積物品温は、堆積物の上部から20 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)により自動計測した。成分分析法は、当研究室の定法、堆肥等有機物分析法¹⁷⁾及び飼料分析基準注解¹⁸⁾に従った。すなわち、水分は105℃で24時間、灰分は550℃で4時間加熱して測定し、乾物率から灰分を減じ有機物率を求めた。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。全炭素は乾式燃焼法、全窒素はサリチル酸硫酸分解法で測定し、炭素窒素比(C/N)を求めた。ADFは難分解性有機物の指標¹⁹⁾としてデタージェント分析法で測定し、張ら²⁰⁾の方法に基づきADF分解率を次式により算出した。

$$\text{乾物分解率}_{n\text{週}}(\%) = 100 \times (1 - \text{乾物灰分}_{0\text{週}} / \text{乾物灰分}_{n\text{週}})$$

$$\text{ADF分解率}_{n\text{週}}(\%) = 100 - [(100 - \text{乾物分解率}_{n\text{週}}) \times \text{ADF}_{n\text{週}} / \text{ADF}_{0\text{週}}]$$

粗脂肪はソックスレー抽出法、容積重は10または1 L当たりの重量により測定した。

敷料適性のうち、大腸菌群数はDHL寒天培地による希釈平板法で測定した。粒径分布は、標準篩を用い乾式篩法で測定し、細粒(0.2 mm以上2.0 mm未満)、中粒(2.1同4.8同)、粗粒(4.9同19.1同)に分画した。保水率は、市川ら²¹⁾の方法に従い、資材を25℃で24時間蒸留水に浸漬した後、24時間自然落下させ、次式により算出した。

$$\text{保水率}(\%) = 100 \times (\text{最大容水量} - \text{自然落下水量}) / \text{資材量}$$

試験2 窒素源の補給が有機物分解に与える効果

油脂添加時における窒素(N)源の補給が難分解性有機

物の分解に与える効果について検証するため、堆積試験を実施した。堆肥原料及び廃白土は、試験1と同様に処理、入手したものをを用いた。ただし、廃白土は試験1と別のもの(乾物中粗脂肪34.8%)を使用し、N源として尿素を用いた(表1)。

2014年4月15日～8月19日の18週間、試験1と同様な規模、方式で堆肥原料100 kgを堆積した。9週後までの毎週及び11、13、15週後に切返しを実施し、堆積物の一部を採材、分析に供した。

試験区は、終了時の堆肥水分を45%にするために必要な廃白土7 kgを6週後に添加したもの(廃土単区)、廃白土に加えN源を補給したもの(廃土+N区)、無添加のもの(無添加区)を設定した。なお、尿素の補給量は、廃白土を単独で添加した廃土単区(C/N=40程度)に対して、C/N=20を目標値として調整するための必要量0.4 kgとした。

分析項目は、堆肥化の全期間堆積物品温を計測し、切返しごとに水分、灰分、pH、6後週以降にADF、アンモニア態窒素(NH₄-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、添加時及び終了時に全炭素、全窒素、容積重、大腸菌群数、終了時に粒径分布、保水率を測定した。

堆積物品温の計測及び成分分析は、試験1と同様の方法とし、2M塩化カリウム水溶液による抽出液を用いて、NH₄-Nはインドフェノール法¹⁷⁾、NO₃-Nはナフチルエチレンジアミン法¹⁷⁾で測定した。

試験結果

試験1

廃白土添加前後の堆積物の成分組成を表2に示した。廃白土の添加により灰分、粗脂肪、C/N、容積重が増加し、水分、pHが低下した。添加時期の違いによる成分の変化は、廃白土の添加が早いほどpHの低下が抑制されたが、容積重は大きくなった。

粗脂肪の推移を図1に示した。廃白土の添加により増加した粗脂肪は、添加時期に関わらず添加直後から分解された。添加2週後には、粗脂肪の75%が分解され、その後も緩やかに減少を続けた。

堆積物品温の推移を図2に示した。堆積物品温は、添加時期に関わらず粗脂肪の分解に伴って再上昇した。廃白土を添加した後の最高品温は、2週区72.8℃、4週区63.6℃、6週区61.7℃であった。試験期間中に55℃を超えた期間の積算時間は、無添加区228 h、2週区371 h、

4週区316 h、6週区233 hで廃白土の添加により延長した。また、無添加区で8週後以降に二次発酵による40℃超の品温の再上昇が起こったのに対して、廃白土を添加した区では同様な品温の再上昇は見られなかった。

水分の推移を図3に示した。水分は、無添加区に比べ廃白土を添加した全ての区で顕著に低下した。廃白土を添加した区では、添加時期が遅いほど水分蒸散が促進され、水分が低く推移した。

ADF分解率の推移を図4に示した。ADFは、堆肥化日数の経過に伴い緩やかに分解され、無添加区では9週後以降、二次発酵により顕著に分解された。しかしながら、廃白土を添加した区のADF分解率は、添加2週後までに頭打ちとなり、添加時期が早いほど低く推移した。終了時のADF分解率は、無添加区49.9%、2週区10.5%、4週区12.5%、6週区14.5%であり、廃白土の添加によりADF分解が抑制された。

C/Nの推移を図5に示した。無添加区のC/Nは、ADF分解が進み全炭素量が減少した8週後以降で顕著に低下したのに対して、廃白土を添加した区では8週後以降も漸減するに留まった。

試験終了時の生産堆肥の成分組成を表3に示した。水分は、無添加区67.2%、2週区54.4%、4週区50.1%、6週区43.9%であった。廃白土を添加した区での生産堆肥は、無添加区に比べpH、全窒素が低く、灰分、粗脂肪、C/Nが高かった。また、添加した油脂の分解率は、廃白土を添加したすべての区で80%前後であった。

生産堆肥の敷料適性を表4に示した。大腸菌群数は、全ての試験区で測定限界の100 CFU/mL以下であった。粒径分布は、無添加区に比べ廃白土を添加した区で中粒と粗粒の分布割合が顕著に大きく、廃白土の添加によって生産堆肥の細粒化が抑制された。この現象は、添加時期が早いほど影響が大きく、廃白土を添加した区での生産堆肥では堆肥原料のオガクズの形状が一部残っている状態であった(図6)。試験区別の保水率は、無添加区468 w/v%、2週区493 w/v%、4週区513 w/v%、6週区552 w/v%であり、低水分で細粒化が比較的進んだ6週区が最も高くなった。生産された堆肥の保水率(w/v%)を粒径別に比較したところ、廃白土の有無及び水分に関わらず、細粒径ほど高い傾向を示した(表5)。

試験2

堆肥化過程で廃白土単独または廃白土とN源を添加した後の堆積物の成分組成を表6に示した。廃白土の添加により灰分、粗脂肪、C/N、容積重が増加し、水分、pH

表2 廃白土添加前後の成分組成(試験1)

試験区	水分 (%)		灰分 (乾物%)		pH		粗脂肪 (乾物%)		C/N		容積重 (kg/L)		ADF分解率 (%)	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
	2週区	74.1	66.2	10.6	28.7	9.1	7.2	0.5	4.5	36.9	38.7	0.61	0.65	7.4
4週区	72.1	62.5	10.7	30.2	8.9	6.5	0.6	4.9	36.2	39.5	0.57	0.64	8.3	-
6週区	68.8	59.7	11.1	31.4	8.8	6.5	0.6	5.1	36.7	38.4	0.50	0.57	12.0	-

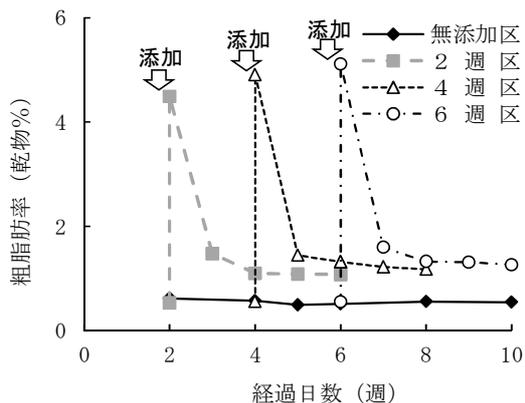


図1 粗脂肪の推移 (試験1)

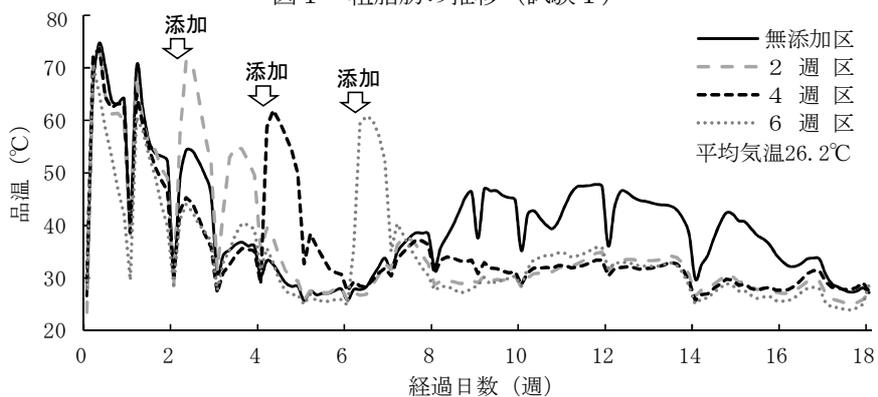


図2 堆積物品温の推移 (試験1)

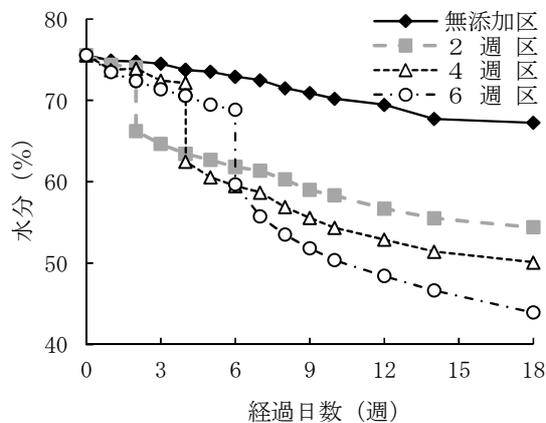


図3 水分の推移 (試験1)

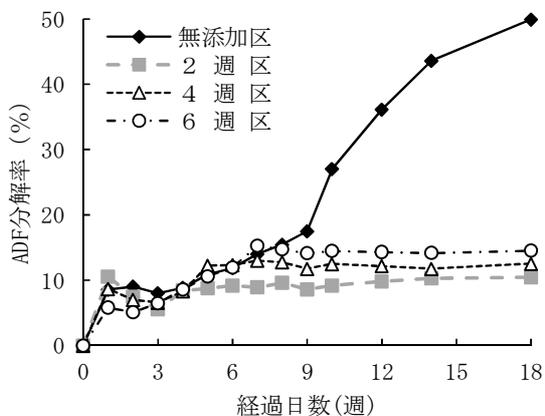


図4 ADF分解率の推移 (試験1)

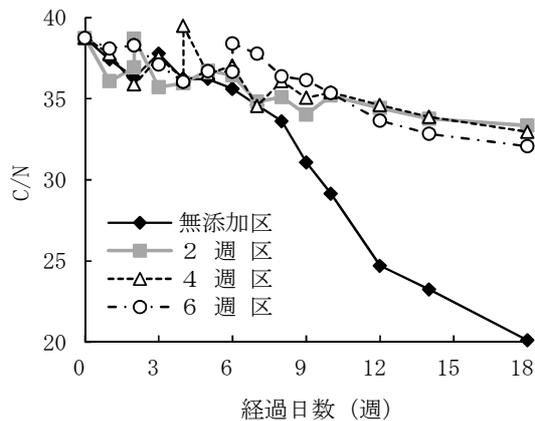


図5 C/Nの推移 (試験1)

表3 生産堆肥の成分組成 (試験1)

試験区	水分 (%)	灰分 (乾物%)	pH	粗脂肪 (乾物%)	全窒素 (乾物%)	C/N	容積重 (kg/L)
無添加区	67.2	18.0	9.2	0.5	2.1	20.1	0.38
2 週 区	54.4	35.4	6.8	1.2	1.0	33.3	0.37
4 週 区	50.1	35.5	6.9	1.2	1.0	33.0	0.35
6 週 区	43.9	35.5	7.3	1.3	1.0	32.1	0.33

表4 生産堆肥の敷料適性(試験1)

試験区	大腸菌群数 (CFU/mL)	分布率(%)			保水率 (w/v%)
		細粒	中粒	粗粒	
無添加区	100以下	73.3	24.8	1.9	468
2週区	100以下	51.5	42.7	5.8	493
4週区	100以下	54.0	41.1	4.9	513
6週区	100以下	55.3	39.4	5.3	552

注) 廃白土は0.2 mm以下。

細粒(0.2 mm以上2.0 mm未満)、中粒(2.1同4.8同)、粗粒(4.9同19.1同)。

保水率は現物容積当たり。



図6 生産堆肥の性状(試験1)

表5 粒径別の保水率(試験1)

粒径(mm)	保水率(w/w%)			
	無添加区	2週区	4週区	6週区
0.5~1.0	125	158	203	244
1.1~2.0	122	167	205	268
2.1~3.4	89	151	202	208
3.5~4.8	78	113	149	189
4.9~6.7	59	109	132	154
0.5~6.7	106	150	173	212

注) 廃白土は0.2 mm以下。

保水率は現物重量当たり。

が低下した。廃白土添加時にN源を補給することで、C/Nは廃土単区37.7が廃土+N区22.9に低下した。大腸菌群数への影響は見られなかった。

堆積物品温の推移を図7に示した。廃白土の添加により堆積物品温が再上昇した。N源の補給により最高品温が廃土単区62.2°Cに対し、廃土+N区72.2°Cとさらに上昇した。しかし、廃土+N区では、最高品温到達後、品温が急速に低下した結果、55°C超の積算時間は、無添加区135 h、廃土単区225 h、廃土+N区194 hであった。

廃白土を添加した6週以降のNH₄-Nの推移を図8に、NO₃-Nの推移を図9に示した。補給したN源である尿素は、添加後速やかにNH₄-Nまで分解され、その後一部はNO₃-Nに酸化された。NH₄-N濃度は、9週後に最大となり、以降緩やかに減少したが、終了時でも乾物中350.5 mg/kgであった。NO₃-Nは、無添加区と廃土+N区で堆肥化日数の経過に従い、増加する傾向を示した。廃土+N区のpHは、7~9週後の間、8前後に上昇し、廃土単区及び無添加区に比べ著しく高く推移したが、11週以降では7前後まで低下し、他の区と同水準になった(図10)。

廃白土を添加した6週以降のADF分解率の推移を図11に示した。ADF分解率は、N源の補給により廃白土を単独で添加した場合に比べ高く推移し、廃白土の添加によるADF分解抑制が改善された。また、廃土+N区のADF分解は、添加直後から3週間は一時的に無添加区に比べ高くなったが、11週後以降では低く推移した。6週後に対する終了時のADF分解率は、無添加区15.5%、廃土単区11.1%、廃土+N区13.4%であった。

試験終了時の生産堆肥の成分組成を表7に示した。水分は、無添加区65.1%、廃土単区46.4%、廃土+N区45.4%であった。廃土+N区では、廃土単区に比べ全窒素が高く、C/Nが低くなった。また、添加した油脂の分解率は、廃土単区、廃土+N区ともに90.7%であった。

生産堆肥の敷料適性を表8に示した。大腸菌群数は、無添加区930 CFU/mLに対して、廃白土を添加した区では検出限界の100 CFU/mL以下にまで減少した。粒径分布は、細粒の分布割合が無添加区73.5%、廃土単区62.9%、廃土+N区69.7%であり、N源の補給は廃白土の添加による生産堆肥の細粒化抑制を改善した。さらに保水率は、無添加区422 w/v%、廃土単区539 w/v%、廃土+N区569 w/v%であり、細粒化された廃土+N区で廃土単区に比べ高くなった。

表6 廃白土添加直後の成分組成(試験2)

試験区	水分 (%)	灰分 (乾物%)	pH	粗脂肪 (乾物%)	C/N	容積重 (kg/L)	大腸菌群数 (CFU/mL)
無添加区	72.0	9.4	7.7	0.6	31.4	0.55	2.1×10 ³
廃土単区	64.6	23.7	6.3	9.9	37.7	0.63	6.5×10 ³
廃土+N区	64.9	23.7	6.6	9.9	22.9	0.63	6.5×10 ³

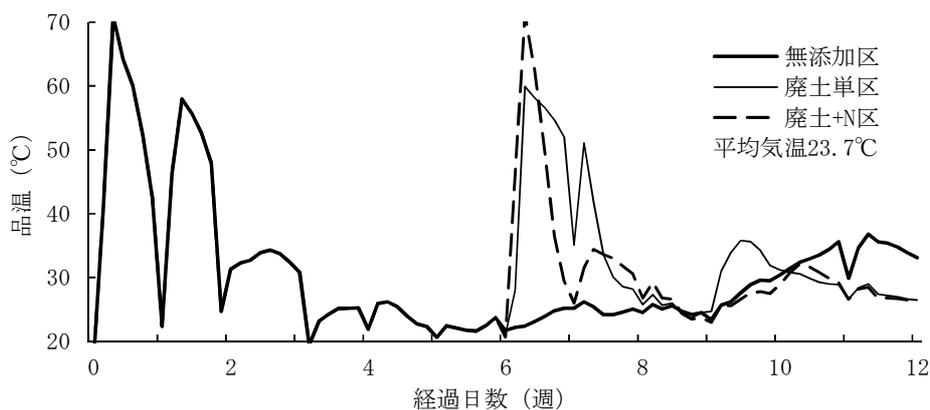


図7 堆積物品温の推移 (試験2)

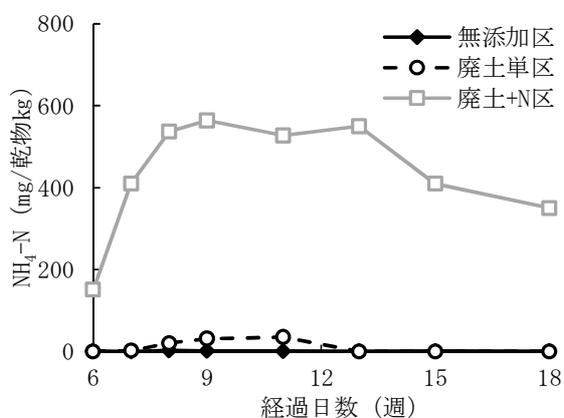


図8 NH₄-Nの推移 (試験2)

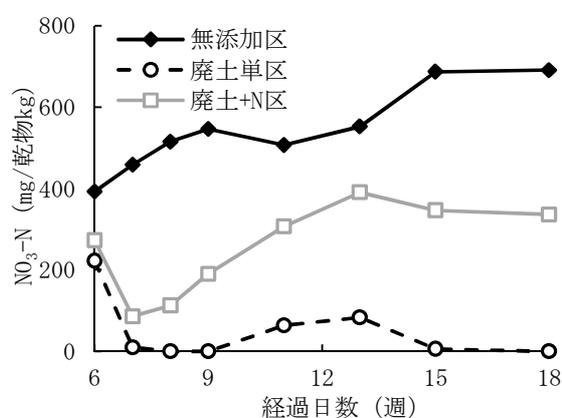


図9 NO₃-Nの推移 (試験2)

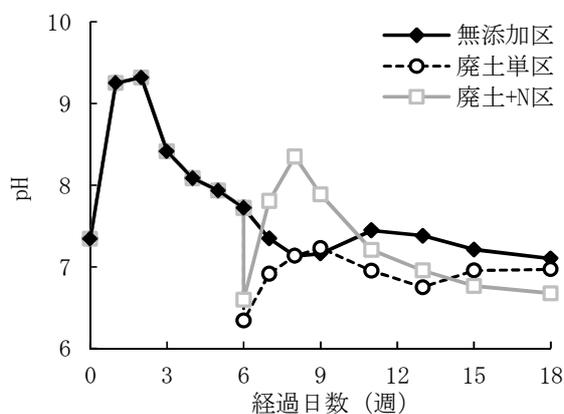


図10 pHの推移 (試験2)

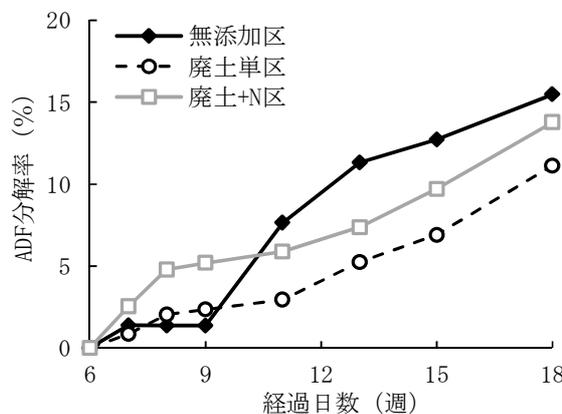


図11 ADF分解率の推移 (試験2)

表7 生産堆肥の成分組成 (試験2)

試験区	水分 (%)	灰分 (乾物%)	pH	粗脂肪 (乾物%)	全窒素 (乾物%)	C/N	容積重 (kg/L)
無添加区	65.1	11.0	7.1	0.3	2.3	19.7	0.39
廃土単区	46.4	27.2	7.0	1.3	1.8	20.3	0.34
廃土+N区	45.4	27.5	6.7	1.2	2.7	14.0	0.33

表8 生産堆肥の敷料適性 (試験2)

試験区	大腸菌群数 (CFU/mL)	分布率 (%)			保水率 (w/v%)
		細粒	中粒	粗粒	
無添加区	930	73.5	23.8	2.8	422
廃土単区	100以下	62.9	34.6	2.4	539
廃土+N区	100以下	69.7	27.9	2.4	569

注) 廃白土は0.2 mm以下。

細粒 (0.2 mm以上2.0 mm未満)、中粒 (2.1同4.8同)、粗粒 (4.9同9.1同)。

保水率は現物容積当たり。

考 察

市川ら¹⁴⁾は、堆肥化悪条件（水分80%）にある堆肥原料の水分蒸散及び発酵促進を目的として廃白土を用いた試験において、発酵が始まり高水分条件が緩和された堆積物（1週後）に廃白土を添加することが有効であることを報告している。また、適切な堆肥化による発酵を促す要因として堆積物の容積重を0.65 kg/L以下に調整することが奨励されている¹⁶⁾。廃白土の容積重は、0.72 kg/L以上であり（表1）、添加により堆積物の容積重を重くすることが懸念された。これらにより堆積開始直後の廃白土添加は、水分が高く、容積重が重い場合、堆肥化条件を悪化させると判断した。そこで、本試験では、堆肥化日数の経過により水分蒸散が進み、容積重が改善する2週後以降において廃白土の添加を試みた。

試験1では、廃白土の添加適期を明らかにするため、2、4、6週後に添加した場合の調査を実施した。その結果、2週後以降であれば、堆肥原料の重量比約10%の廃白土を添加しても堆肥化に好適な容積重0.65 kg/L以下となることがわかった（表2）。また、添加時期に関わらず添加直後から廃白土中の粗脂肪が分解し（図1）、品温は60℃超まで再上昇した（図2）。病原性微生物は、堆積物品温が60℃超で1時間以上持続すると死滅するため^{7, 16)}、発酵不良により堆肥生産の間、堆積物品温の上昇が十分ではなかった場合でも廃白土の添加により安全な敷料を生産できる可能性が示された。

さらに、試験終了時の堆肥水分は、添加時期が遅いほど低くなり（表3）、6週区では水分43.9%で目標45%と同水準であった。通常の堆肥化による発酵に加え、堆肥化の後期に油脂分解による水分蒸散を促進したことで、従来の乾燥処理等の煩雑な処理を経ることなく想定に近い水分の堆肥を生産することが可能であった。これらのことから、廃白土の添加は、堆積物の発酵及び水分蒸散が進んだ堆積後6週前後に行うことが適当であることが明らかになった。

仮谷¹⁾は、敷料に適した堆肥の水分は30~50%であり、水分が低すぎると粉塵が舞う等の弊害が生じることを指摘している。また、堆積物の水分が40%以下になると発酵不良となることを鑑みても、廃白土の添加量は、生産堆肥の水分を45%程度にするための必要量とすることが妥当であると考えられた。

しかしながら、堆肥発酵中の堆積物への廃白土の添加は、主に二次発酵で起こるADF分解を抑制することが示唆された（図4）。そのため、廃白土を添加した全ての区において、生産堆肥の粒径が粗いまま維持され、その程度は、添加時期が早いほど大きくなった（表4、図6）。一方で、堆肥の保水性は細粒径ほど優れる傾向にあり（表5）、廃白土添加区の粒径分布率と保水率の関係も同じ傾向を示した。こうしたことから、ADF分解抑制を改善し、細粒化された堆肥を生産することで、より保水性が優れ、敷料適性が高い堆肥の生産が可能になると考えられた。

そこで、試験2では、廃白土の添加によるADF分解抑

制を改善するための方法について調査した。宮崎ら¹³⁾は、乳牛ふん尿を主とした堆肥原料に廃白土を添加した試験において、本試験と同様、廃白土の添加により無添加に比べ有機物分解率が低下したことを報告している。さらに、高橋²²⁾は、堆肥発酵中の堆積物（1週後）に廃食用油を添加する場合、有機物分解を改善するため、N源を補給することが有効であることを報告している。本試験においても廃白土の添加によりC/Nが上昇し（表2）、廃白土を添加した全ての区においてC/Nが高い水準で維持された（図5）。そのため、廃白土の添加により堆肥化に必要なN量が相対的に不足したことがADF分解抑制の要因ではないかと推測した。そこで、廃白土の添加時にN源を補給し、堆肥化に適するC/Nに調整することの有効性について検証した。

N源として尿素を用い堆肥化に適したC/N=20を目標値として調整した結果、無添加区には劣るがADF分解が改善し（図11）、細粒化され、保水性が優れる堆肥が生産された（表8）。高橋²²⁾が指摘したとおり、発酵中の堆積物に油脂を添加する場合は、N源を補給することが有効であった。また、N源の補給により、廃白土を添加した以降の堆積物品温の立ち上がり半日程度早まり、最高品温が70℃超まで上昇したため（図7）、油脂分解に対する促進効果が示唆された。

一方、N源の補給は、堆積物のNH₄-Nを増大させ（図8）、pHを上昇させた（図10）。堆肥化における過剰なN源の補給は、アンモニア（NH₃）揮散量を増大させ、悪臭発生の要因となる懸念があるため、必要最低限に止める必要がある。本試験でのN源補給量（目標値：C/N=20）においては、7~9週後でpH8前後まで上昇したものの、最大でも8.5は超えなかった。NH₃揮散量は、pH8.8~9.0以上で急激に増加するため²³⁾、C/N=20程度の調整であればN源補給による悪臭発生の懸念は少ないと推察される。

これらのことから、廃白土の添加時にN源を補給することは、ADF分解を改善し、細粒化され保水性が優れた堆肥を生産するために有効であることが明らかになった。ただし、NH₃揮散を抑制するため、C/Nの調整は堆肥化に適する20~30に止めるべきであると思われた。

以上の結果から、敷料向けに低水分で保水性が優れ、さらに発酵不良の場合でも病原性微生物が残存しない安全な堆肥を生産するためには、油脂源として廃白土を、堆肥化過程の6週前後にN源と合わせて添加することが望ましいと考えられた。

実際に堆肥の生産現場でこの技術を導入する場合、廃白土の添加時期は、必ずしも6週前後ではなく、堆肥の生産体系に合わせ、二次処理移送時または切返し時に実施することが妥当であると考えられる。廃白土の添加量は、廃白土の油脂率や堆肥原料の水分によって異なるため、家畜ふん尿処理施設的设计¹⁶⁾に基づき算出することが望ましい。仮に油脂率20~30%の廃白土を用いた場合、堆肥原料（水分70~75%）の重量比8~10%程度を添加し、廃白土の重量比5%程度の尿素を補給することで水分40~45%の堆肥が生産されると算される。

一般に堆肥の敷料利用の連用は、生産堆肥における塩

類集積を招くことが懸念されている⁸⁾。幸野ら^{2,4)}は、堆肥をオガクズと容積比で等量、混合して敷料利用した場合、連用3回目以降はECの上昇が緩やかになり、過剰な塩類集積が抑制されることを報告している。そのため、本方式で生産した敷料向け堆肥についても、過剰な塩類集積を予防するため、敷料に利用した後、オガクズ等の副資材と混合し、堆肥化する必要がある。

これらの技術を用い、堆肥を敷料に利用することで、低コストで安定供給可能な敷料の確保が可能となり、持続的な畜産経営の一助になると期待される。

引用文献

1. 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, 30-33(2002)
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25年度畜産物生産費. (2013). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001130986> (2015. 3. 31参照)
3. 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> (2015. 3. 31参照)
4. 栗原三枝, 小林寛, 阿部正彦. 果樹剪定枝の敷料利用技術. 福島畜試研報. 14, 28-32(2006)
5. 太田壮洋. 竹材の敷料及び堆肥化副資材としての利用に関する研究. 山口畜試研報. 23, 59-64(2008)
6. 大元義彦, 小山隆史, 齋東寛, 中島伸樹. 牛の敷料に関する研究(第1報) —シュレツダー裁断古紙を利用した敷料の検討—. 山口畜試研報. 17, 85-91(2002)
7. Carroll, E. J. and Jasper, D. E. Distribution of Enterobacteriaceae in recycled manure bedding on California dairies. Dairy Sci. 61, 1498-1508(1978)
8. 伊吹俊彦, 畠中哲哉, 斎藤雅典, 関澤香朗. 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)
9. 鈴木良地, 高橋麗子, 瀧澤秀明, 浅見逸夫. PCR法による牛舎内環境からのクレブシエラ属菌の検出. 愛知農総試研報. 46, 7-13(2014)
10. 細田紀子. 畜産環境大辞典 第2版. 良質戻し堆肥による病害菌の抑制. 農山漁村文化協会. 東京. p. 682-686(2004)
11. 井上雅美, 羽成勤, 吉尾卓宏, 相沢博美. フリーストール牛舎における戻し堆肥の利用. 茨城畜セ研報. 35, 1-6(2003)
12. Husfeldt, A. W., Endres, M. I., Salfer, J. A. and Janni, K. A. Management and characteristics of recycled manure solids used for bedding in Midwest freestall dairy herds. Dairy Sci. 95, 2195-2203(2012)
13. 宮崎光加, 本多勝男, 矢崎潤. 密閉型強制発酵機による牛ふんの連続発酵処理試験Ⅲ. 白土添加による牛ふんの連続発酵処理試験. 神奈川畜試研報. 85, 43-49(1995)
14. 市川あゆみ, 増田達明, 日置雅之, 瀧澤秀明, 山田尚美, 榊原幹男. 米ぬか油製造副産物による牛ふんの堆肥化促進効果. 愛知農総試研報. 44, 115-123(2012)
15. 石崎重信, 岡崎好子. バイオディーゼル燃料製造時の副産物(粗製グリセリン)の添加が牛糞の堆肥化に及ぼす影響. 千葉畜セ研報. 6, 45-54(2006)
16. 畜産環境整備機構. 家畜ふん尿処理施設的设计・審査技術. 東京. p. 10-18(2004)
17. 日本土壤協会. 堆肥等有機物分析法. 日本土壤協会. 東京. p. 18-22, 142-143, 146-154, 190-192(2000)
18. 日本科学飼料協会. 飼料分析基準注解 第三版. 飼料分析基準研究会. 東京. p. 21-24, 27(1998)
19. 小柳涉, 安藤義昭, 棚橋寿彦. 有機質資材の分解特性とその指標. 土肥誌. 78(4), 407-410(2007)
20. 張建国, 加茂幹男, 阿部佳之, 河本英憲, 青木康浩. 粗灰分含量を指標として堆肥化過程における乾物および有機物の分解率を推定する簡易な方法. 日畜会報. 75(1), 61-66(2004)
21. 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. 愛知農総試研報. 46, 73-79(2014)
22. 高橋正宏. 廃食用油添加方法の違いが牛糞堆肥化過程の有機物分解に及ぼす影響. 日畜会報. 77(3), 433-442(2006)
23. 前田武乙, 松田従三. 家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散(第1報)アンモニア揮散の要因の検討. 農機誌. 6, 63-70(1998)
24. 幸野拓矢, 岩村英俊, 高木良飛弘, 手塚博愛, 森永弘文. 堆肥の敷料利用試験. 鹿児島畜試研報. 39, 9-13(2005)