

セルロース誘導体ハイドロゲルを水分調整材に利用した乳牛ふんの堆肥化調製

高田 修*・山口悦司*

要 約

セルロース誘導体ハイドロゲル(乾燥ゲル)を少量利用し、従来の水分調整材使用量を大幅に減量させて、乳牛ふんの高水分堆肥化調整を試みた。

- 1 副資材として乾燥ゲルの0.2%量使用で2.5%量のオガクズと混合する方が乾燥ゲル1または2%量単独使用よりも良好な形状の堆肥が生産できた。
 - 2 夏季における発酵ハウスでの攪拌処理は、乾燥ゲルと戻し堆肥を使用して水分を約80%に調整した方法で、良好な発酵堆肥処理が行えた。しかし、排出時水分が高いため、戻し堆肥としての利用には不適であった。
 - 3 夏季における堆肥舎での堆積処理は、乾燥ゲルと戻し堆肥を使用して水分を約80%に調整し切り返しを行う方法で、初期の発酵はやや抑制されたが良好な発酵堆肥が作製できた。しかし、冬季においては有効性は認められなかった。
- 以上の結果より、夏季においては乾燥ゲルを水分調整材として少量利用することにより、堆肥処理量を大幅に減量させることが出来るとともに良好な発酵堆肥が作製できた。

Composting of Dairy Manure with Cellulose Hydro-Gel

Osamu TAKATA and Etuji YAMAGUCHI

Summary

The objective of this study was to reduce materials for moisture control by utilizing a small amount of cellulose hydro-gel that had the high water-holding capacity for composting dairy manure with the high concentration of moisture. Four experiments were performed. In experiment 1, the proper volume of dry-gel was determined for the composting dairy raw manure of 200 kg. In experiment 2, the manipulation and control of the compost process done by mixing dry-gel or reused dry compost in 2 lanes (5 m × 41 m/lane) with self-propelled turners at a compost facility and the resulting fermented compost were investigated. Static compost fermentation of dairy manure at a compost facility with turning operations using a tractor bucket loader was investigated in summer (experiment 3), and in winter (experiment 4).

- (1) Hydro-gel (1 - 2%, v/v) was less effective in composting raw manure with the high concentration of moisture than the mixed substrate of hydro-gel (0.2%, v/v) with sawdust (2.5%, v/v), sawdust (19%, v/v), or reused dry compost (25%, v/v).
- (2) Proper fermentation in the turning facility in summer was obtained from turning operations, when the moisture of raw manure was reduced to the level of 80% with hydro-gel and reused dry compost. However, we think that this is not appropriate for the reused system of compost due to the high concentration of moisture in final compost.
- (3) Proper fermentation at a compost facility in summer was obtained from the reducing moisture to 80% with

2007年8月31日受理

* 兵庫県立農林水産技術総合センター淡路農業技術センター

hydro-gel and reused dry compost in a static compost pile and from the turning operations using a tractor bucket loader. However, the attainment to proper fermentation was delay due to the suppression of initial fermentation.

キーワード：乾燥ゲル，堆肥化，高水分，減量化，乳牛ふん

緒 言

乳牛ふんの堆肥化処理での問題は、高水分であるために、発酵させるには水分調整が必要なことである¹⁾。水分の調整には、副資材を混合するかハウス等で乾燥処理する方法が一般的である。この副資材としてはオガクズの利用が多いが、堆肥処理量が多くなることや、入手が困難で経費も高い等の問題があり、生ふんのままでの堆積処理も多く見られる。また、乾燥処理では悪臭発生源となるため、利用が制限される。このため、適当な副資材の開発が望まれている。

セルロース誘導体ハイドロゲル（以下、乾燥ゲルという。商品名：乾燥ゲル、販売：テイエヌケイ東日本株式会社）は、カナダ産針葉樹を原料とし、水でペースト状に練ったものをコバルト加工で水溶性に改質したもので、100倍の極めて高い吸水倍率を示し、容易に炭酸ガスと水とに分解されるとされている。用途は野菜屑等の残渣吸水固化剤・保水剤や、紙オムツの吸水材である。

本研究では、乾燥ゲルを堆肥化処理に利用し、高水分での発酵処理と、オガクズ等の水分調整資材使用量の減少効果を検討した。試験の組み立ては、先ず簡易な堆積試験で乾燥ゲルの使用量を比較し、次に効果的な使用量での夏季実用化試験を発酵ハウスと堆肥舎で行った。さらに冬季利用の有効性を検討するため、堆肥舎での堆積試験を実施した。

材料及び方法

1 乾燥ゲル使用量比較試験（試験1）

(1) 試験期間

H17年9月2日～10月28日の8週間

(2) 試験方法

生ふんの水分を、戻し堆肥（堆肥区）またはオガクズ（オガ区）で約70%に調整した対照区を2区設定し、乾燥ゲル使用量を0.2%、1%、2%とした試験区を3区設定した。試験区分の設定を表1に示す。

試験は堆肥舎内で行った。切り返しは1週目、2週目、4週目に行った。サンプルは切り返し時に約1リットルを採取し、水分と灰分を測定²⁾した。発酵温度測定は、温度計（テイ アンド デイ社製：おんどとり Jr）

を堆肥内に差し込み、最も高い部位の温度を発酵温度として採用した。容積と重量は、約80リットルのポリエチレン桶を用いて、全量を測定した。水分消失率と有機物消失率は以下の方法で計算した。

水分消失率% = 処理前水分% - 現物中発酵前粗灰分% / 現物中発酵後粗灰分% × 処理後水分%

有機物消失率% = (乾物中発酵後粗灰分% - 乾物中発酵前粗灰分%) / 乾物中発酵後粗灰分% (100 - 乾物中発酵前粗灰分%) × 10.000

なお、サンプル採取及び測定は、以下の試験においても同様の方法で実施した。

2 発酵ハウスにおける攪拌発酵試験（試験2）

(1) 試験期間

H18年6月1日～8月31日の3か月間とした。乾燥ゲル使用の試験期は6月22日～7月31日の40日間とし、その前後の期間を対照期前期・後期とした。

(2) 処理方法

発酵ハウスの構造は、ハウス内に面積205m²（幅5m、長さ41m）の発酵レーンが2レーン設置され、攪拌機（攪拌深さ25cm）で1日数回攪拌しながら堆肥を移送した。生ふんは副資材で調整後、毎日第1レーンに投入し、第1レーン排出堆肥を第2レーンに移動、第2レーン排出で試験終了とした。

表1 乾燥ゲル使用量比較試験の試験区分（試験1）

区 分	対 照 区		試 験 区		
	堆肥区	オガ区	0.2%区	1%区	2%区
生ふん (kg)	200	200	200	200	200
戻し堆肥 (kg)	50				
	(25%)				
オガクズ(kg)		37.5	5		
		(19%)(2.5%)			
乾燥ゲル(kg)			0.4	2	4
			(0.2%)(1%)(2%)		
調整水分(%)	70.0	71.4	79.3	80.3	79.9

* 生ふん：戻し堆肥を少量混合し、水分を約82%に調整

* (): 生ふんに対する比率

(3) 試験方法

対照期は戻し堆肥で水分を約70%に調整した。試験期は乾燥ゲル3kg(生ふん重量の約0.17%相当量)と対照期の約1/6量の戻し堆肥を使用した。試験区分

表2 発酵ハウスにおける攪拌発酵試験の試験区分(試験2)

区 分	対照：前期	試験期	対照：後期
戻し堆肥使用量(%)	1.09	0.22	1.38
乾燥ゲル使用量(%)	0	0.17	0
調整水分(%)	74.2	79.5	70.9
* 戻し堆肥使用量：生ふんに対する容積比率(%)			
* 乾燥ゲル使用量：生ふんに対する重量比率(%)			

表3 堆肥舎における夏季堆積発酵試験の試験区分(試験3)

区 分	対 照 区		試 験 区	
	1区	2区	1区	2区
生ふん(kg)	960	960	960	960
戻し堆肥(kg)	750	750	150	150
石膏(kg)	0	50	0	50
乾燥ゲル(kg)	0	0	1.5	1.5
調整水分(%)	73.2	71.4	80.6	77.5

表4 堆肥舎における冬季堆積発酵試験の試験区分(試験4)

区 分	対 照 区		試 験 区	
	1区	2区	1区	2区
生ふん(l)	600	600	600	600
戻し堆肥(l)	900	900	900	900
オガクズ(l)	150	150	150	150
グリセリン(l)	0	18	0	18
乾燥ゲル(kg)	0	0	1.7	1.7
調整水分(%)	72.7	72.1	73.7	72.9

表5 乾燥ゲル使用量比較試験の発酵成績:8週後(試験1)

区 分	対 照 区		試 験 区		
	堆肥区	オガクズ	0.2%区	1%区	2%区
容積(l)	281	394	175	156	165
重量(kg)	150	135	147	147	147
重量減少率(%)	40.1	43.3	28.7	27.2	27.8
水分(%)	42.0	50.2	53.8	52.5	47.2
水分減少量(kg)	133	118	131	133	136
水分消失率(%)	53.5	52.5	63.0	64.4	67.4
有機物消失率(%)	30.5	37.5	38.3	32.8	36.5
温度:3週目(°C)	47.3	48.9	52.2	49.9	49.3
4週目(°C)	45.9	51.6	48.5	48.9	45.5
成分:窒素(%)	2.64	1.54	2.20	2.30	2.11
リン酸(%)	2.53	1.08	2.11	2.25	2.14
カルシウム(%)	5.36	3.38	5.46	4.26	4.15

の設定を表2に示す。

堆肥の移動状況は、各初日の調整時に発泡スチロール片を目印として混合し、把握した。なお、毎日の乳牛生ふん処理量は、成牛40頭、育成10頭の1,750kgを基本とし、容積の測定により毎日の処理量を推測した。

3 堆肥舎における夏季堆積発酵試験(試験3)

(1) 試験期間

H18年6月27日～9月15日の80日間

(2) 試験方法

対照区は戻し堆肥で水分調整し、試験区は乾燥ゲルと戻し堆肥で調整した。また、水分調整効果が期待できる石膏を添加した区を2区として設定した。試験区分を表3に示す。

堆肥の切り返しは2回(16日目、49日目)とした。

4 堆肥舎における冬季堆積発酵試験(試験4)

(1) 試験期間

H19年2月15日～4月12日の57日間

(2) 試験方法

対照区は戻し堆肥で水分調整し、試験区は乾燥ゲルと戻し堆肥で調整した。また、発酵促進効果が期待できるグリセリンを添加した区を2区として設定した。試験区分を表4に示す。

試験区の水分調整は、冬季という条件を考慮して対照区と同一にした。

堆肥の切り返しは4回(1週目、2週目、3週目、4週目)とした。

終了時サンプルで、堆肥性状としてpH、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、発芽率を測定した。pH測定はpH試験紙(MACHERY-NAGEL社製)で、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素測定は半定量イオン試験紙(MACHERY-NAGEL社製)で、発芽率は熱水抽出法³⁾により実施した。

結 果

1 乾燥ゲル使用量比較試験(試験1)

乾燥ゲルの有効性と効率的な使用量を検討した8週間後の発酵成績を表5に示す。

堆肥容積は、対照区に比べて試験区は明らかに小さかった。堆肥重量は、オガクズ使用区がやや軽かった。重量減少率は対照区が40%以上に減少したが、試験区は30%以下の減少であり、減少率としては開始時重量の重い対照区の方が高かった。水分減少量はオガクズ使用区がやや少なく、水分消失率は試験区がいずれも60%以上

の高い消失率であった。有機物消失率は戻し堆肥使用区と乾燥ゲル1%使用区がやや低かったが、他はほぼ同等であった。

堆肥温度は、対照の堆肥区がやや低かったが、いずれも大差は見られなかった。8週後の堆肥成分は、対照の堆肥区が高く、オガ区が低かったが、試験区はいずれも堆肥区よりやや低い値であった。

2 発酵ハウスにおける攪拌発酵試験（試験2）

攪拌式発酵槽で毎日の排出ふんを連続して発酵処理する発酵ハウス方式で、乾燥ゲルの有効性を検討した。ハウス排出時の発酵成績を表6に示す。

水分変化としては、乾燥ゲルを使用した試験期は投入時水分が高く、排出時水分も高いが、水分消失率は64%と高かった。対照：後期は夏季高温時で、投入時水分も71%と低く、排出時水分も35%と低く、乾燥度は高まったが有機物消失率は逆に20%と低かった。試験期の有機物消失率は42%と良好であった。温度については、実施時期や水分含有率が異なるため比較は出来ないが、各レーン排出時では対照：後期がやや低い値であった。

表6 発酵ハウスにおける攪拌発酵試験の発酵成績：ハウス排出時（試験2）

区 分	対照：前期		試験期		対照：後期	
	1区	2区	1区	2区	1区	2区
水分 (%)	51.8	54.3	54.3	35.3	35.3	35.3
水分消失率 (%)	52.47	63.68	63.68	57.49	57.49	57.49
有機物消失率 (%)	26.83	42.45	42.45	20.04	20.04	20.04
温度：第1レーン()	52.0	51.5	51.5	46.0	46.0	46.0
第2レーン()	48.3	50.2	50.2	38.9	38.9	38.9

表7 堆肥舎における夏季堆積発酵試験の発酵成績（試験3）

区 分	対 照 区		試 験 区	
	1区	2区	1区	2区
水分消失率(%)				
16日後	8.4	13.6	8.5	19.9
49日後	30.5	30.3	29.9	37.8
80日後	41.9	37.2	47.7	49.3
有機物消失率(%)				
16日後	13.3	15.1	4.3	19.1
49日後	30.4	29.3	27.7	37.4
80日後	35.6	37.2	39.8	42.7
温度()				
16日後	45.4	50.4	31.2	33.5
49日後	48.4	54.5	40.5	43.0
80日後	47.0	51.1	51.0	51.0

3 堆肥舎における夏季堆積発酵試験（試験3）

堆肥舎での堆積発酵処理法で、夏季における乾燥ゲルの有効性を検討した。発酵成績を表7に示す。

水分消失率は、乾燥ゲルを使用した試験区が高い傾向であり、特に2区においては初期から終了時まで高い消失率であった。有機物消失率は試験2区においては初期から終了時まで高い消失率であったが、試験1区では初期においては逆に対照区より低い消失率であった。温度は試験区が16および49日後でかなり低かったが、80日後では対照区との差が無くなっていた。

4 堆肥舎における冬季堆積発酵試験（試験4）

堆肥舎での堆積発酵処理法で、冬季における乾燥ゲルの有効性を検討した。発酵成績を表8に示す。

水分消失率及び有機物消失率は、1区は試験区が良好な結果であったが、2区では差が認められなかった。8週目での堆肥性状においても対照区と試験区の差は特に認められなかった。温度においても特に差は見られなかった。

考 察

乾燥ゲルは吸水固化剤・保水剤として開発されたものであるが、乳牛ふん堆肥化処理への使用法は確立されていない。乾燥ゲル開発業者による現地実証試験では、家畜ふん尿に0.2%重量の乾燥ゲルを混合することにより、従来の水分調整副資材（オガクズ）を大幅に節約できるとされている。そこで、乳牛ふん堆肥化処理における乾

表8 堆肥舎における冬季堆積発酵試験の発酵成績（試験4）

区 分	対 照 区		試 験 区	
	1区	2区	1区	2区
水分消失率(%)				
4週間	22.2	21.1	21.6	26.0
8週間	31.0	37.9	37.1	40.9
有機物消失率(%)				
4週間	19.9	21.3	20.8	24.4
8週間	30.9	37.4	38.3	37.7
温度()				
1週目	41.3	44.8	35.2	45.3
4週目	51.4	55.9	53.8	59.2
8週目	48.0	41.4	42.3	42.0
堆肥性状(8週目)				
pH	8.1	7.6	8.6	7.6
NO ₃ (ppm)	50	100	25	100
NO ₂ (ppm)	5	10	1	10
発芽率(%)	100	99	98	100

乾燥ゲルの適正使用量を検討した。試験1において、乾燥ゲル混合量を0.2%（オガクズ併用）、1%、2%に設定したが、堆積初期においては排汁が生じ、1%区、2%区ではハエ等の寄生が多く見られ、堆肥形状も塊状となり良好とは言えなかった。有機物消失率も初期はオガ区よりかなり低かったが、8週目では0.2%区はオガ区より高くなった。この結果より、数回の切り返しを行うことにより対照区と同等の発酵が期待できるため、乾燥ゲル使用量は0.2%程度でオガクズ等の少量併用が適当であると判断した。対照の堆肥区は最も有機物消失率が低かったが、これは水分調整副資材に直し堆肥を使用したためと考察される。

次に、乾燥ゲル使用量を0.2%程度とし、直し堆肥で水分調整した対照区との比較で、発酵ハウスによる攪拌発酵方式と堆肥舎による堆積発酵方式での有効性を試験2～4で検討した。

発酵ハウス試験（試験2）では、試験期の投入時水分が約80%と高かったが、排出時の有機物消失率は第1レーンが23.3%、第2レーンが17.9%で、全レーンでは42.45%と良好であった。水分消失率も63.68%と良好であったが、投入時水分が高い分、排出時水分も54.3%と高かった。水分54%は発酵促進には良好な水分であるが、直し堆肥として利用するためには高い水分である。対照期の有機物消失率は前期27%、後期20%と低かったが、直し堆肥利用のためと、後期は水分が35%まで低下したため、発酵が抑制されたものと考察される。試験期は直し堆肥使用量が対照期の約17%であり、容積が減少した分発酵レーン通過日数が、対照前期の20日に比べ試験期は1.65倍の33日と長くなった。

夏季での堆肥舎試験（試験3）では、試験区1区は調整時水分が80.6%と高かったため、切り返しを行うまでの発酵は不良で、16日後での有機物消失率は4.3%と低かった。しかし、切り返しにより発酵が促進され、80日後では39.8%まで高まり、対照区1区の35.6%を上回った。石膏を加えた2区ではさらに発酵が促進され、初期から試験区の方が高い有機物消失率であった。堆肥舎での堆積発酵では、乾燥ゲル使用によっても80%の高水分では堆積したままでは発酵が抑制されるが、1～2回の切り返しで良好な発酵が行われた。石膏添加で水分をさ

らに減少させた2区では、第1回目切り返し時の16日後においても試験区で19.1%と高い有機物消失率であった。

冬季での堆肥舎試験（試験4）では、試験区の調整水分を対照区とほぼ同等の73%程度に低下させて試験を実施したが、1区で試験区に効果が認められたものの、2区では差が認められなかった。冬季における乾燥ゲル使用は、水分を低く調整すれば多少の発酵促進効果は期待されるが、使用目的である高水分での発酵処理とはいえないくなる。

冬季での高水分処理試験は実施しなかったが、堆積型での発酵処理は、切り返し回数を多少多くしても発酵促進効率が低く実用的でないと思察される。また、発酵ハウスでの攪拌処理は、冬季における攪拌レーンの発酵は水分蒸散や有機物分解が大きく抑制される⁴⁾ため、乾燥ゲルでの高水分処理は困難であり、特に直し堆肥での処理体系では対応できないものと推察される。

以上4つの試験から乾燥ゲルを0.2%程度使用することにより、従来の水分調整副資材を大幅に減量することができ、夏季においては高水分でも発酵ハウスや堆肥舎での通常処理が可能である。しかし、高水分処理のため、直し堆肥体系ではさらに乾燥度を高める必要がある。

また、冬季では80%程度の高水分処理は困難であると推察されるとともに、現状での乾燥ゲル価格は高価（1,500円/kg）であるため、実用化のためにはさらに大幅な価格低下が必要と思われる。目安としては、副資材として使用しているオガクズ等の節約分経費との対比で検討できる。

引用文献

- (1) 畜産環境整備機構（1998）：家畜ふん尿処理・利用の手引き 31
- (2) 高田修・篠倉和己（2005）：コーヒーチャフの堆肥副資材適性試験：兵庫農技総セ研報（畜産）41,35-38
- (3) 中央畜産会（2003）：堆肥化施設設計マニュアル 22
- (4) 高田修・篠倉和己・耕田隆一（2004）：深型攪拌式堆肥発酵施設による乳牛ふんの堆肥化処理：兵庫農技総セ研報（畜産）40,11-14