

尿污水处理施設の適正活用技術に関する研究

2. 脱水ケーキの堆肥化技術の確立

福島正人、脇阪浩¹¹農政部畜産振興課

要約

県内の養豚尿污水处理施設を調査したところ、様々な種類の固液分離機を使っていたが、凝集剤は、すべての農家で高分子ポリマーを使用していた。養豚尿污水处理施設由来の脱水ケーキ中の成分を調べたところ、窒素や石灰が高く、C/N比は低かった。

脱水ケーキを水分調整し堆肥化したところ、堆肥化中に60℃を上回る発酵熱は見られなかったが、脱水ケーキに豚糞を重量比で150%添加して水分調整し堆肥化したところ、60℃を上回る発酵熱が得られた。そこで、約1m³規模で同様の条件で試験を行ったところ、2か月間堆肥化したものからは大腸菌群は検出されず、幼植物試験を行ったところ、植物への生育障害も見られなかった。

緒言

養豚尿污水の処理は、活性汚泥法が利用されている⁵⁾。活性汚泥法は、汚水中の汚濁成分を栄養源とする微生物(活性汚泥)により、汚濁物質を汚水中から除去する方法である²⁾。このとき、汚濁物質の除去に伴って余剰汚泥が増加する⁶⁾。ばっ気槽から定期的に汚泥を抜かず、長期間同じ汚泥で浄化処理を行うと、汚泥齢が長くなり適正な処理ができなくなる恐れがあるため、適度に余剰汚泥を抜き取る必要がある。

余剰汚泥は高水分であるため⁷⁾、脱水機と凝集剤を用いて脱水ケーキにするのが一般的である。

下水処理場から排出される脱水ケーキは、以前は埋め立て処理などしていたが、近年リサイクル率が高まっており、堆肥化して土壤改良資材としても利用されつつある⁸⁾。

そこで、養豚尿污水处理施設から発生する脱水ケーキについても、下水汚泥のように資源として有効利用するため、堆肥化技術の確立について検討した。

1 脱水ケーキの成分調査

下水汚泥は、有害重金属を含んでいる可能性があるため⁹⁾、耕種農家の中には、養豚尿污水处理施設から発生する脱水ケーキについても、不安視する声が聞かれる。そこで、養豚尿污水处理施設から発生する脱水ケーキの成分について調査を行った。

材料及び方法

(1) 調査農家の選定

県内の養豚農家の中で、凝集材を使って脱水ケーキを排出している農家を選定し、調査を行った。

(2) 調査項目

施設調査：尿污水处理施設、固液分離機、凝集剤
成分分析：水分、灰分、C/N比、全窒素、りん酸、

加里、石灰、苦土、ナトリウム、重金属(Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Pd、Cd、Pb)

(3) 分析方法

水分率：試料を105℃で12時間以上熱風乾燥し、その減重量から求めた。

灰分率：で得られた乾燥試料を粉碎し、マッフルで450℃、5時間以上焼き、その減重量から求めた。

C/N比：で得られた乾燥試料を粉碎し、C/Nコーダーにより測定した。

全窒素：ケルダール法で測定した。

りん酸：バナドモリブデン酸アンモニウム法で測定した。

加里、石灰、苦土、ナトリウム：原子吸光光度法により測定した。

重金属：ICP発光分析法により測定した。

結果及び考察

調査は、11戸の養豚農家について行った。表1には調査農家の概要を示した。污水处理方式は連続式(標準活性汚泥法、膜分離を含む)、回分式(回分式活性汚泥法、酸化溝法、ばっ気式ラグーン法)が見られた。連続式は、水量が多く原污水の水質が安定している場合は有利である一方で、回分式は、原水の水質や量が変化する場合は有利である⁴⁾。養豚尿污水は、汚濁物質が高濃度で負荷の変動が激しい污水であることから¹⁾、回分式のほうが適していると考えられるが、回分式は広い面積を必要とするため、導入する養豚農家の経営状況にあわせて機種を選定する必要がある。今回調査した膜分離方式については、ばっ気槽から直接処理水を抜き取るため沈殿槽が不要なこと、処理水中にSSがほとんど無いこと、また、大腸菌群なども通さないことなどが利点としてあげられる。しかし、膜

が閉塞しないように定期的なメンテナンスが必要なこと、洗浄しても汚れが落ちないときや、膜に穴が開いて汚泥が流出するような場合は、交換しなければならず、この時のコストは場合によって高価であるため、導入する際はこれらに留意することが必要である。

固液分離機は、各農家でさまざまな方式が導入されていた。固液分離機は、何を搾るのか(汚泥のみ、汚水と汚泥など)、固液分離機の特徴、固液分離する水量など²⁾、様々な要因から機種を選定するため、各農家で異なるものが入っていると考えられる。

処理対象は、余剰汚泥のみを凝集する方式と(以下、余剰汚泥脱水方式)、原汚水と余剰汚泥を混ぜて、汚水のSSと汚泥を同時に搾る、いわゆる「前絞り」を行う農家がみられた(以下、前絞り方式)(図1)。前絞り方式は、ばっ気槽へ投入する汚水中の微粒子(SS)を凝集剤と固液分離機で取り除くことで、SS由来のBODを除去することが可能となり、結果的に篩いのような機械的スクリーンに比べて、汚水中のBODを下げる事が可能と考えられる。そのため、豚を増頭をした場合は、その分ばっ気槽を大きくするなど、尿污水处理施設の規模を大きくする必要がある。しかし、前絞り方式を用いることで、そのままの規模でも対応が可能となる場合も考えられる。ただし、規模拡大に伴い、汚水中のBODやSS、pHなど汚水の性質が変化すると、凝集材の効果が変わるので注意が必要である⁴⁾。

凝集剤は、全ての農家で、高分子ポリマーを用いており、そのうち2戸の農家は無機の凝集材と併用していた。高分子ポリマーは、架橋構造を形成し粒子同士を強い力で結合させる接着剤のような働きにより、大きく強いフロックを形成できることから⁴⁾、多くの農家で採用されていると考えられる。塩化鉄や石灰のような無機の凝集材と高分子ポリマーの併用は、前絞り方式の場合、原水の性状などから採用せざるをえない場合もあり⁴⁾、調査した2戸についても同様のことが考えられた。

表2、3には、調査した養豚尿污水处理施設の脱水ケーキの成分について示した。水分は、各農家でバラツキが見られ、約80~90%と幅広く、平均して86.2%だった。一方で、合併浄化槽由来の脱水ケーキ(以下、合併汚泥)の水分は75%より¹¹⁾、養豚尿污水处理施設の脱水ケーキのほうが高水分である。この違いについて主たる理由は不明だが、合併浄化槽には最初沈殿槽があり、この生汚泥が含まれることで水分が下がる原因の一つではないかと考えられる。

脱水ケーキの平均値と生の豚ばんを比較すると、全窒素と石灰で脱水ケーキのほうが高い傾向がみられた。活性汚泥は微生物の塊であるため¹²⁾、窒素を非常に多く含んでいることが考えられる。しかし、合併汚泥と脱水ケーキの平均値を比較すると、合併汚泥のほうが低い傾向がみられた。この理由の一つには、MLSS

濃度が関わっていると考えられる。し尿向けの活性汚泥のMLSS濃度は2000~5000 mg/Lが適正濃度であるが¹²⁾、養活性汚泥は施設や農家によって、3000~3500 mg/L、6000~8000 mg/L、場合によっては10000 mg/L以上でも適正に運転できる⁴⁾など、し尿向けの活性汚泥よりもMLSS濃度が高いため、結果的に窒素量が多かったと考えられる。

脱水ケーキの石灰は、特にDとKの農家の成分が高いために、平均値が高くなったと考えられた。これらの農家で高かった理由の一つには、石灰で豚舎を消毒していることや、凝集剤として石灰を用いていることが要因と考えられた。

本試験で分析した脱水ケーキの重金属については、肥料取締法上の規制のある重金属(Cr、Ni、Cd、Pb)において、全ての元素で規制値を上回ることにはなかった。合併汚泥と脱水ケーキを比較すると、合併汚泥は鉄が多く、脱水ケーキは銅と亜鉛が多かった。合併汚泥の鉄が多かった理由としては、凝集材として塩化鉄が使われていることが考えられた。一方で、脱水ケーキの銅と亜鉛が高かった理由としては、豚に銅や亜鉛を多く与えると増体量の促進が期待できるため¹³⁾、多く給与することから、それに伴い排せつ量も多くなり、結果として脱水ケーキ中の濃度が高くなると考えられる。

2 脱水ケーキの堆肥化

2-1 水分調整の検討

一般に、下水汚泥は生物分解されやすい有機物に富んでいるため、生のまま土壌に施用すると急激に分解されて、土壌中が還元状態になる恐れがある¹⁴⁾。また、病原菌や寄生虫などの問題点も残っている¹⁴⁾。このことから、養豚尿污水处理施設の脱水ケーキについても同様のことが考えられる。

そこで、下水汚泥や合併浄化槽由来の脱水ケーキの堆肥化技術が、養豚尿污水处理施設の脱水ケーキにも用いることができるのか検討した。

材料及び方法

(1) 脱水ケーキの採取

堆肥化試験に用いた脱水ケーキは、前項の「1 脱水ケーキの成分調査」で調査した農家の中から採取した。

(2) 堆肥化方法

下水汚泥の脱水ケーキは、水分を60%に調整⁵⁾、または、70%に調整¹⁴⁾することで良好な堆肥化が起こることから、養豚尿污水处理施設由来の脱水ケーキの堆肥化に適正な水分を調べるため、オガクズを添加して水分を60%(60%区)または70%に調整し(70%区)、堆肥化した。なお、オガクズの水分は分析したところ

43.4%だった。

堆肥化は、小型堆肥化装置を用いて行い、毎週切り返しを行って3週間堆肥化した。

(3) 調査項目

堆肥化中の温度変化

(4) 調査方法

堆肥化中の温度測定は、データロガー(おんどとり、T&D社製)で1時間ごとに行った。

結果及び考察

図2に堆肥化中の温度変化を示した。その結果、両区とも病原菌や虫卵、雑草の種子を殺滅するのに必要な60¹⁶⁾には達しなかった。

本試験で温度が上がらなかった原因として、エネルギー源が少なかったことが考えられる。余剰汚泥自体は、菌体微生物の塊であり分解されやすいが、エネルギー源となる易分解性有機物は、ばっ気槽ですでに分解されているため、堆肥化中に温度が上がらなかったと考えられた。

2-2 余剰汚泥と前絞りの検討

養豚尿污水处理施設から発生する脱水ケーキには、余剰汚泥脱水方式と前絞り方式がある。前絞り方式は、原汚水中の有機物も脱水ケーキとして取り除くため、余剰汚泥脱水方式の脱水ケーキよりも易分解性有機物量が多いことが考えられる。

そこで、余剰汚泥脱水方式由来の脱水ケーキ(余剰汚泥区)と前絞り方式由来の脱水ケーキ(前絞り区)の堆肥化特性について調査した。

材料及び方法

(1) 脱水ケーキの採取

堆肥化試験に用いた脱水ケーキは、前項の「1 脱水ケーキの成分調査」で調査した農家の中から、余剰汚泥脱水方式の農家と、前絞り方式の農家から採取した。

(2) 堆肥化方法

2-1より、用いるオガクズの量が少なくすむ水分70%に調整するため、両区の脱水ケーキにそれぞれオガクズを添加した。これを、小型堆肥化装置を用いて、毎週切り返しを行い、3週間堆肥化した。

(3) 調査項目

2-1と同様に行った。

(4) 調査方法

2-1と同様に行った。

結果及び考察

図3に結果を示した。その結果、前絞り区のほうが堆肥化中の温度は高い傾向がみられたものの、両区と

も堆肥化中の温度は、60 を上回らなかった。これより、たとえ前絞りを行ったとしても、堆肥化中に温度を60 以上に上昇させるだけのエネルギーは持っておらず、脱水ケーキのみで堆肥化するのは難しいことが考えられた。

2-3 エネルギー源として豚ふんを添加した場合の検討

養豚尿污水处理施設から発生する脱水ケーキを堆肥化したとき、発酵熱が得られないため何らかのエネルギー源を添加する必要があると考えられる。そこで、養豚農家で容易に手に入るエネルギー源として、豚ふんを脱水ケーキに適宜添加して堆肥化を行った。

材料及び方法

(1) 脱水ケーキの採取

堆肥化試験に用いた脱水ケーキは、前項の「1 脱水ケーキの成分調査」で調査した農家の中から採取した。

(2) 堆肥化方法

脱水ケーキに対して、豚ふんを0%、10%、20%、50%、100%及び150%添加し(重量比、それぞれ0%区、10%区、20%区、50%区、100%区及び150%区とする)、ここへそれぞれオガクズを添加して水分を70%に調整し、小型堆肥化装置で2週間堆肥化した。また、対照区は、豚ふんのみを堆肥化させたものとした。なお、豚ふんの水分は、69.4%とした¹⁰⁾。

(3) 調査項目

2-1と同様に行った。

(4) 調査方法

2-1と同様に行った。

結果及び考察

図4および5に結果を示した。堆肥化中に60 を上回るのは、150%区だけであり、その他の区は60 を上回ることはなかった。この結果より、脱水ケーキに対して、1.5倍の豚ふんを添加し、水分調整することで堆肥化中の温度が60 以上に上昇し、良好な堆肥ができることが示唆された。

2-4 規模を大きくした堆肥化試験

2-3で、脱水ケーキに対して150%の豚ふんを添加し、水分調整することで発酵熱は60 を上回ることが判明したことから、1m³ほどの規模で同様の条件で試験を行い、良好な脱水ケーキ堆肥が生産可能か実証を行った。

材料及び方法

(1) 脱水ケーキの採取

堆肥化試験に用いた脱水ケーキは、前項の「1 脱

水ケーキの成分調査」で調査した農家の中から採取した。

(2) 堆肥化方法

脱水ケーキを約 500 kg と豚ふんを約 750 kg、オガクズを約 360 kg 混合し、水分を 70% に調整した。これを堆肥舎に積み(写真 1)、10 日ごとに重機で切り返しを行って 3 ヶ月間堆肥化した。

(3) 調査項目

堆肥化中の温度変化

水分

pH

大腸菌群数

幼植物試験

(4) 調査方法

水分:「1 脱水ケーキの成分調査」と同様に行い、切り返しごとに調査した。

pH:原物試料中の乾物と水との比が 1:10 となるように蒸留水を加水し、30 分振とう後、ガラス電極及び電気伝導度計で測定した。切り返しごとに調査した。

大腸菌群数:渡辺らの報告に基づき行った¹⁷⁾。すなわち、試料 20 g を滅菌生理食塩水により段階希釈後、DHL 寒天培地で 37 ± 24 時間培養し、赤色コロニーをカウントした。切り返しごとに調査した。

幼植物試験:福島らの報告に基づき行った¹⁸⁾。すなわち、窒素を含まない土を購入し、ノイパウエルポットに 300 g 入れ、各堆肥をポット中の全窒素量が 200 mg になるように施用した。ここに土壌の最大容水量の 55% になるように加水後、コマツナ種子を 25 粒播種して 3 週間栽培し、発芽数、生重量および乾物重量を調査した。供試する堆肥は、スタート時、1 ヶ月目および 2 ヶ月目を扱い、対照区は化成肥料(化成肥料区)と無肥料(無肥料区)とした。

結果及び考察

堆肥化中の温度は、試験「2 - 3」と同様の推移を示し、良好な堆肥化がみられた。

図 6 は、水分の変化を示した。水分は、堆肥化が進むにつれて徐々に減少したが、堆肥化 81 日目でも 60% 以上あり、より乾燥させるためには、さらに豚ふんを添加する必要があると考えられた。

図 7 には pH の変化を示した。pH は、堆肥化が始まると上昇し、9 以上まで上がったが、その後は徐々に低下し、堆肥化 81 日目は 7 まで下がり中性域に達した。これは、豚ふんと脱水ケーキ中の窒素が、アンモニアに分解されて pH が上昇し、その後、アンモニアが気散・分解されて下がったと考えられる。

図 8 には大腸菌群数の温度について示した。堆肥化

開始直後は、大腸菌群数は上昇傾向にあったが、堆肥化中の温度が上昇するに従い減少し、約 60 日目には検出されなくなった。これは、堆肥化中の温度が高くなったことや、pH が塩基性に傾いたこと、堆肥化が進む過程で微生物相の変化があったこと¹⁹⁾など、様々な要因が考えられる。

図 10 は、幼植物試験の結果を示した。堆肥化開始直後の脱水ケーキは、植物の生育に悪影響を及ぼしたが、堆肥化して 2 ヶ月目には、悪影響は見られず、化成肥料区(対照区)と比較してもその色ない結果が得られた。

以上から、養豚污水处理施設由来の脱水ケーキを堆肥化する場合、それだけを水分調整しても堆肥化中の温度上昇は期待できない。そのため、エネルギー源として豚ふんを 1.5 倍以上添加することで、堆肥化中の温度も高くなり、大腸菌群など有害な微生物も殺滅され、できた堆肥も作物への悪影響も見られない。

なお、凝集剤が入っていることから、肥料取締法上、普通肥料に該当する。そのため、流通させるためには、普通肥料の登録をしなければならない。

表1 調査対象農家での処理方法の概要

農家名	汚水処理方式	脱水機	凝集剤の種類	処理対象
A	回分式	多重円板	石灰、高分子ポリマー、塩化鉄	前搾り、汚泥
B	連続式(膜処理)	スクリープレス	高分子ポリマー	汚泥
C	ラグーン	多板波動方式	高分子ポリマー	汚泥
D	連続式(膜処理)	スクリーデカンタ	高分子ポリマー	汚泥
E	ラグーン	スクリープレス	高分子ポリマー	汚泥
F	連続式	スクリーンコンベアー	高分子ポリマー	前搾り、汚泥
G	連続式	濾布	高分子ポリマー	汚泥
H	連続式	スクリープレス	高分子ポリマー	前搾り、汚泥
I	回分式	濾布	高分子ポリマー	汚泥
J	連続式	ローラープレス	高分子ポリマー	前搾り、汚泥
K	連続式	濾布	石灰、高分子ポリマー、塩化鉄	前搾り、汚泥

表2 脱水ケーキの分析結果(水分、ミネラルなど)

農家名	水分	灰分	C/N	T-N	リン酸	加里	石灰	苦土	ナトリウム
A	82.6	23.3	7.15	6.09	5.08	0.28	4.53	3.39	0.05
B	85.4	21.9	6.10	6.47	4.35	0.25	5.46	1.15	0.03
C	88.3	29.2	5.58	6.27	9.00	0.95	9.74	2.09	0.12
D	80.2	41.3	5.58	5.27	11.68	0.61	10.65	5.35	0.09
E	87.0	24.6	5.23	6.97	7.04	1.45	8.47	1.37	0.16
F	86.7	12.1	7.87	5.97	2.54	0.13	3.96	0.34	0.00
G	89.8	19.6	5.59	7.34	5.52	1.23	5.70	1.01	0.16
H	80.7	27.0	6.48	6.03	6.50	0.82	7.59	2.99	0.01
I	89.0	13.2	6.68	6.83	6.55	0.00	2.32	0.44	0.00
J	87.4	20.2	5.31	7.36	3.69	0.33	4.99	1.61	0.09
K	91.3	44.9	9.65	3.44	6.86	0.52	15.39	0.55	0.12
平均値	86.2	25.2	6.47	6.19	6.25	0.60	7.16	1.85	0.07
生の豚ふん ¹⁰⁾	69.4		11.4	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56	0.33
合併汚泥 ¹¹⁾	75.0	57.0	7.2	4.31	5.96	0.53	3.28	2.16	

水分のみ原物当たりの%、その他は乾物当たりの%

表3 脱水ケーキの分析結果(重金属)

農家名	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pd	Cd	Pb
A	16.72	2612.5	998.4	12.71	520.1	1350.5	0.55	1.66	12.38
B	10.69	2028.9	563.7	15.83	290.7	1015.7	0.50	0.38	7.99
C	6.91	4690.2	766.9	20.80	625.8	983.4	0.02	1.88	6.93
D	14.05	3126.1	677.5	20.52	438.6	1537.7	0.96	1.49	9.84
E	16.91	2153.2	701.8	24.20	647.4	1323.9	0.59	1.21	77.82
F	5.20	1157.6	762.8	9.07	242.6	1025.3	0.31	0.85	4.59
G	11.33	2730.5	947.1	20.20	481.8	1770.8	0.51	1.34	28.83
H	8.80	1898.2	724.2	4.93	325.8	830.5	0.57	0.98	2.68
I	35.27	728.6	1492.5	23.64	455.0	1025.0	0.03	1.97	17.12
J	17.89	2233.1	752.1	16.67	296.5	1273.4	0.60	0.87	12.78
K	23.19	1780.9	5336.5	13.22	169.6	464.6	2.54	0.56	5.23
平均値	15.18	2285.4	1247.6	16.53	408.5	1145.5	0.65	1.20	16.93
合併汚泥 ⁽¹⁾	6.30		28673.0		140.2	707.8		2.15	15.99
肥料取締法での規制値	500.00			300.00				5.00	100.00

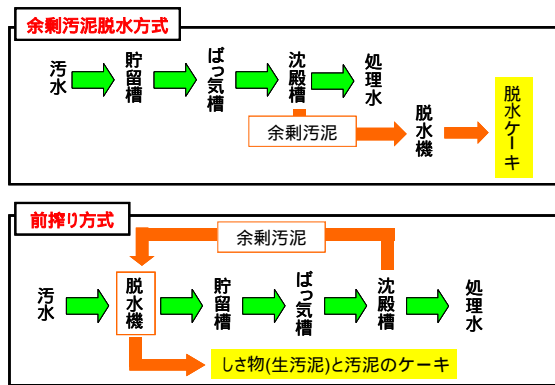


図1 脱水方式の模式図

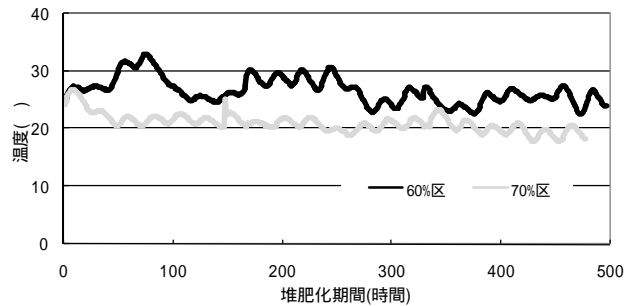


図2 水分調整の違いが堆肥化中の温度に及ぼす影響

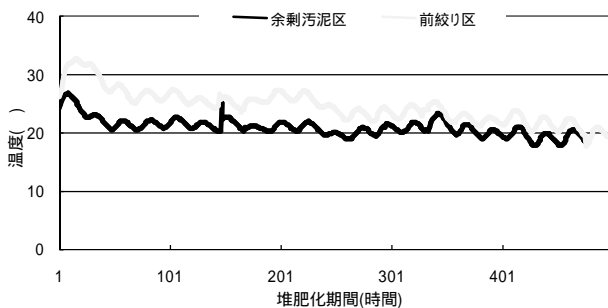


図3 脱水ケーキの違いが堆肥化中の温度に及ぼす影響

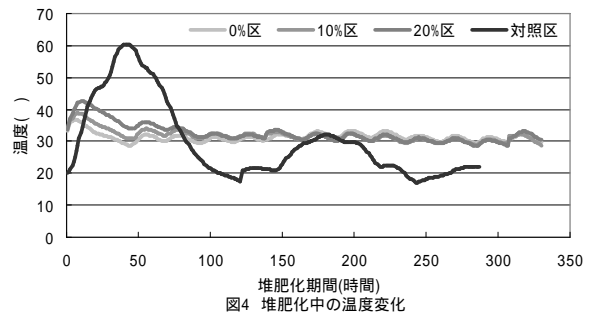


図4 堆肥化中の温度変化

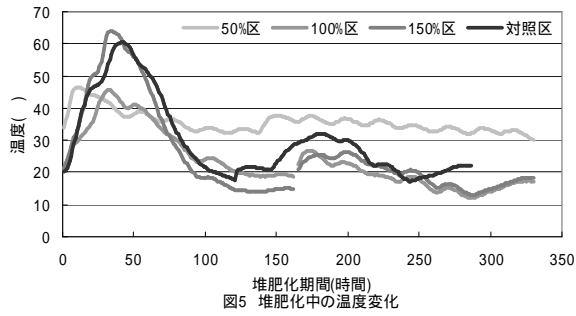


図5 堆肥化中の温度変化

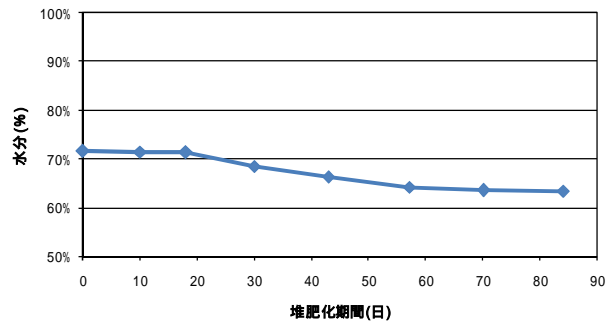


図6 堆肥化中の水分の変化

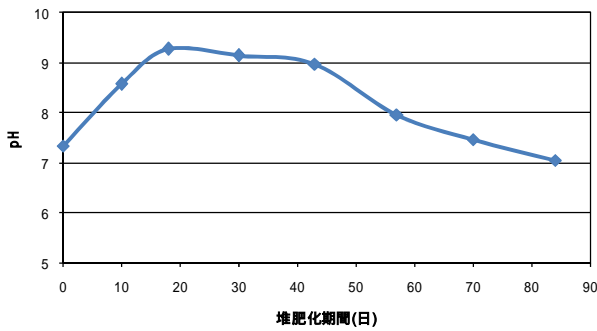


図7 堆肥化中のpHの変化

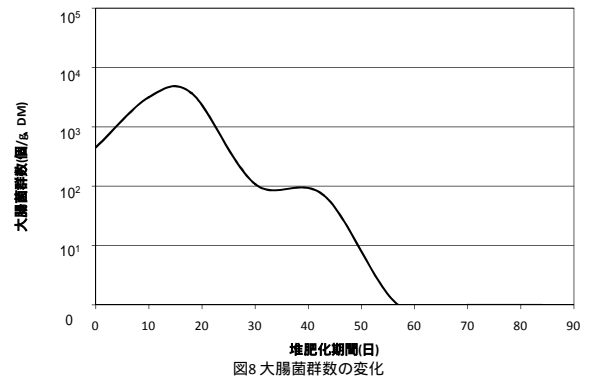


図8 大腸菌群数の変化

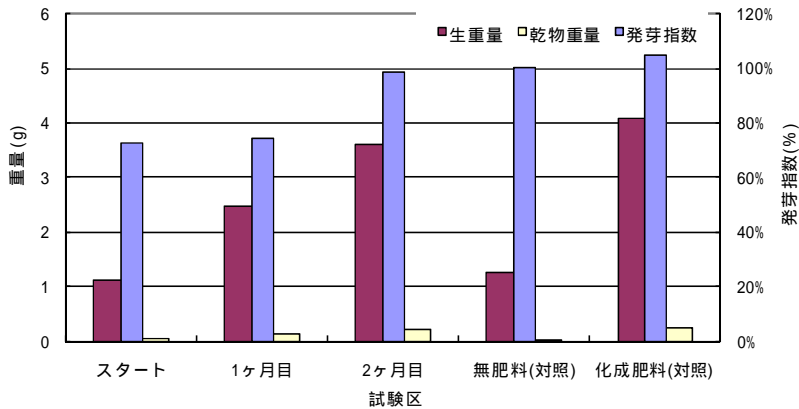


図9 幼植物試験の結果



写真1 脱水ケーキ、豚ふん、オガクズの混合物

謝 辞

重金属の分析にご協力いただきました栃木県農業試験場にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 羽賀ら ふん尿処理対策ブック チクサン出版社
- 2) (財)畜産環境整備機構 家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック(汚水処理編)
- 3) 須藤、稲森 生物相からみた処理機能の診断 産業用水調査会
- 4) 中村 養豚場の廃水処理 ベネット
- 5) 山田ら 簡易汚泥脱水機の開発 群馬畜試研報 12:65-72, 2005
- 6) 室田 小規模養豚場の汚泥対策ガイド 養豚の友 10:29-32, 2005
- 7) (財)畜産環境整備機構 畜産環境アドバイザー養成研修テキスト【汚水処理施設の設計・審査技術】
- 8) (社)日本下水道協会ホームページ
http://www.jswa.jp/05_arekore/06_use/riyou/data.html
- 9) 千歳市ホームページ
<http://www.city.chitose.hokkaido.jp/water/pages/data/qoliSwg1403.html>
- 10) 農林水産省草地試験場 昭和58年度家畜ふん尿処理利用研究会資料 1-61, 1983
- 11) 日本環境整備教育センター 合併処理浄化槽による生活排水処理の高度化・安定化に関する研究 1993
- 12) 博友社 下水汚泥
- 13) 高田 排泄物中の銅、亜鉛の低減に向けた飼養管理技術 ふん尿処理利用研究会 15-22, 2003
- 14) 農文協 有機廃棄物資源化大辞典
- 15) 福光、鈴木 下水汚泥のコンポスト化に関する研究 群馬畜試研報 146-151, 1982
- 16) (財)畜産環境整備機構 家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック(堆肥化処理施設編)
- 17) 渡辺ら 牛ふんの堆肥化過程における大腸菌の消長と分離菌の性状 滋賀畜技セ研報 5:27-30, 1998
- 18) 福島ら 作物・土壌に配慮した家畜ふん堆肥生産技術の確立 栃木畜試研報 22:15-34, 2007
- 19) 中井 微生物を利用した悪臭物質の変換 平成19年度ふん尿処理利用研究会資料 45-54, 2007