畜舎排水処理に関する研究 (第1報)

豚舎污水の高濃度好気性処理¹⁾

小瀬洋喜,^{2a)} 福山丈二,^{2a,b)} 佐藤孝彦,^{2a)}

生稻保二, 佐藤鋭一^{2c)}

岐阜薬科大学,^{2a)} 日本車輛製造株式会社^{2c)}

Studies on the Treatment of Animal Excreta. I.

Treatment of High-Concentration Swine Waste by Aerobic Digestion¹⁾

YOUKI OSE,^{2a)} JOJI FUKUYAMA,^{2a,b)} TAKAHIKO SATO^{2a)}

YASUJI IKUINE and EIICHI SATO^{2c)}

Gifu College of Pharmacy^{2a)} and Nihon Sharyo Seizo Co. Ltd.^{2c)}

(Received May 28, 1973)

Fresh excreta of a swine (40—60 kg in body weight, which was bred with arranged feed) was analysed for physical and chemical nature. Analytical data were as follows: in the fresh feces, BOD value, 61800 ppm; COD value, 63200 ppm; albumin-N, 6320 ppm; kjeldahl-N, 11400 ppm. In the fresh urine, BOD value, 4790 ppm; COD value, 3640 ppm; albuminoid-N, 775 ppm; Kjeldahl-N, 4510 ppm. By the activated sludge treatment of high-concentration swine waste, stable treated effluent was obtained after 3 days. Aeration of high-concentration swine waste gave activated sludge after 6 days, and it had good purification ability. The more activated sludge was added, the quicker the waste was purified. By aeration, BOD substances were almost removed, but about 30—40% of COD remained in the supernatant. When BOD load was 5 kg/m³·d, the treatment results were not good. With low aeration (325 m³ air/m³·d), effluent water was not good, while with high aeration (650 m³ air/m³·d), SV value was not good. When BOD load was 2.5 kg/m³·d and aeration volume was 650 m³ air/m³·d, the treatment result was good. The quality of effluent water showed the following mean value: BOD value, 66 ppm; SS value, 12 ppm. Their removal rate was both over 99%. Air temperature of injector was higher than that around the plants, and this might be one cause for the rise of liquor temperature.

は し が き

近年、蛋白源としての畜肉に対する需要の増大にともない、養豚業においても多頭飼育が一般化し、豚舎污水による水質汚濁が深刻な問題となってきた。

豚舎污水の処理は最近検討がすすめられ、沈でん希釈

などの簡易処理から、嫌気的な浄化槽方式となり、さらに活性汚泥法による高級処理も徐々に採用されつつある。³⁾

豚舎污水の活性汚泥処理については、和賀井,⁴⁾ 大野,^{5,6)} 本多,⁷⁾ 相沢⁸⁾ らの研究があり、いずれも良好な

1) 日本薬学会第91年会福岡, 1971年4月要旨講演.

2) Location: a) 492-36, Mitahora, Gifu-shi (岐阜市三田洞 492-36); b) Present address: Osaka-city Institute of Hygiene, 38, Kitaogimachi, Kita-ku, Osaka (大阪市北区北扇町 38); c) 1-1, Sanbon-matsu-cho, Atsuta-ku, Nagoya City (名古屋市熱田区三本松町 1-1).

3) 中央畜産会編, “家畜糞尿処理利用の知識とその実際,” 中央畜産会, 東京, 1969.

4) 和賀井文作, 水処理技術, 10 (3), 25 (1969).

5) 大野 茂, 下水道協会誌, 2 (15), 30 (1965).

6) 大野 茂, 用水と廃水, 10, 629 (1968).

7) 本多淳裕, 用水と廃水, 10, 575 (1968).

8) 相沢壮吉, 用水と廃水, 10, 609 (1968).

成績を得ているが、施設が大きくなり、施設費が高価となるという欠点がある。著者らは、処理施設を小さくし、施設費を安価にするため、高濃度好気性処理法を用いることを考え、この実験に着手した。

汚水の高濃度処理としては、別報にのべたように、し尿の高濃度好気性処理について良好な成績を得ている⁹⁾が、豚舎汚水に対する試みは従来行なわれていないので、高濃度の豚舎汚水に対して活性汚泥を馴化させ、これによって安定な処理液を得るのに必要な条件と、このときの浄化能を求めて、実験プラント設計の基礎資料とした。ついでこの結果に基づき、岐阜市畜産センターに処理対象頭数16頭の実験プラントを設計建設し、その浄化能ならびに最適運転条件を検討した。

実験の部

1) 実験材料 (1) 豚のふん、尿および豚舎汚水——実験に用いたふん尿は、配合飼料（協合飼料KK製マムエイト）により飼養されている体重40—60 kgの中豚のふん尿で、排泄直後のなるべく新鮮なものを数頭より集めよく混合した。分析にあたってはこのふんの一定量に水を加えて定量化し、ホモゲナイザーにかけて均一化したものを試料とした。

豚舎汚水としては、上記の配合飼料で飼養している豚舎の床面を水洗し、清掃する際に得られる汚水をガーゼで濾過したものを試料とした。この豚舎の洗浄水量はふん尿量の約3倍である。

(2) 活性汚泥(種汚泥)——基礎実験用には、上記の(1)で得た高濃度豚舎汚水に対して十分に馴化させた活性汚泥を、実験開始前24時間から基質を加えずに曝気を行ない、自家呼吸の状態にして使用した。実験プラントでは運転開始後、数日間の曝気で生成した活性汚泥をそのまま用いた。

2) 実験プラント設計に関する曝気実験 (1) 活性汚泥の浄化能および最適曝気条件——有効容積4 literの曝気槽に豚舎汚水を入れ、その全体容量の10%になるように種汚泥を添加し、以後汚泥の注入を行わずに曝気を続け、この混合液および30分間静置上澄液につき、pH、COD、BOD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 alb-N 、kjeldahl-Nについて経日変化を調べた。添加した種汚泥の濃度は8100ppmであった。また、種汚泥を添加しない対照についても同様の実験を行なった。曝気槽は両槽とも480 m³/槽容積 m³/dであった。

(2) 汚泥添加量と浄化速度——有効容積4 literの曝気槽に豚舎汚水を入れ、その全体容量に対して0%、10

%、30%、65%になるように種汚泥を添加し、(1)と同様に曝気し、30分間静置上澄液のBODおよびCODについて経日変化を調べた。曝気量は各槽とも640 m³/槽容積 m³/dであった。

3) 実験プラントの設計と浄化試験 上記2)の結果に基づき実験プラントを設計建設した。そのフローシートをFig. 1に示す。

Fig. 1. Flow Sheet and Operating Condition on Experimental Plant

P: pump T: time switch A: air compressor
W: water source
number of animals: 16 swines (body weight 60—90kg)
volume waste: ca. 430 liter/day
aeration time: ca. 3 days

このプラントは豚16頭のふん尿処理を対象としたものである。豚舎は毎日1回午前中にふん尿の約3倍量の水で水洗洗浄し、ボロ出しは行なわない。1日の処理汚水量は約430 literである。汚水量がこのような少量であるため、汚水を連続的に曝気槽に注入することができぬため、汚水汲上げポンプにタイムスイッチをつけ、1時間間隔で汚水を汲上げ曝気槽に注入した。曝気槽内滞留時間は3日である。処理水は沈でん槽で固液分離後、上澄は希釈放流し、汚泥はエアリフトで乾燥汚床に運ぶ。

この実験プラントについてつぎの3条件下での浄化能を試験した。

- 曝気量 325 m³/槽容積 m³・d, BOD 容積負荷 5.04 kg/m³・d (試験期間: 昭和45年10月29日—11月6日)
- 曝気量 650 m³/槽容積 m³・d, BOD 容積負荷 5.15 kg/m³・d (試験期間: 昭和45年11月17日—11月27日)
- 曝気量 650 m³/槽容積 m³・d, BOD 容積負荷 2.27 kg/m³/d (試験期間: 昭和45年2月6日—2月22日)

BOD 容積負荷は豚ふん尿中のBOD量より算定して、ほぼ一定濃度になるよう流入させたが、豚の成長や排泄量の変動のためやや変動があった。5 kg/m³・dと2.5 kg/m³・dを設定して管理したが、各試験条件下の測定値を平均したら上記のようになった。

各運転条件下での浄化状態を流入水、曝気槽混合液、

9) 小瀬洋喜, 石川哲也, 佐藤孝彦, 生稲保二, 河野通成, 山田昭夫, 渡辺周一, 谷 志郎, 衛生化学, 19, 189 (1973).

TABLE I. Analyses of Fresh Swine Excreta

		Moisture (%)	Ashes (%)	SS (%)	BOD (ppm)	COD (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NH ₃ -N (ppm)	Alb-N (ppm)	Kjeldahl-N (ppm)
Feces	n	8	4	7	6	7	7	6	5	5
	m	69.1	6.59	18.5	61800	63200 ^{a)}	757	330	6320	11400
	SD	4.6	1.23	34.2	14700	13700	192	115	2550	2780
	reference ⁸⁾ value	70.5	5.3	22.3	62800	35000 ^{b)}	1700	426	761	4670
Urine	n	—	—	—	7	8	7	5	5	5
	m	—	—	—	4790	3640 ^{a)}	2500	338	775	4510
	SD	—	—	—	1930	1580	746	163	363	2060
	reference ⁸⁾ value	—	—	—	5110	9300 ^{b)}	1340	1080	967	7780

a) 100° 30 min b) 100° 10 min

swine weight: 40—60 kg food: arranged feed

脱離液について試験した。試料の採取場所は、流入水は曝気槽への流入口、曝気槽混合液は曝気槽出口で、脱離液は曝気槽混合液の静置上澄液を用いた。

4) 測定方法および測定項目 (1) 水分: 衛生試験法 (1965年版) 一般試験法¹⁰⁾

(2) 灰分: 衛生試験法 (1965年版) 一般試験法¹⁰⁾

(3) Kjeldahl-N: 衛生試験法 (1965年版) 下水試験法¹⁰⁾

(4) NH₃-N: 衛生試験法 (1965年版) 下水試験法の蒸留法¹⁰⁾

(5) Alb-N: 衛生試験法 (1965年版) 下水試験法¹⁰⁾

(6) BOD: 衛生試験法 (1965年版) 下水試験法のウィンクラー法¹⁰⁾

(7) COD: JIS. K 0102-1965¹¹⁾

(8) 塩素イオン: 硝酸第2水銀法¹²⁾

(9) pH: 日立-堀場 M-5 型 pH メーターによった。

(10) SV: 下水試験方法 (1967年版)¹³⁾

(11) SVI: 下水試験方法 (1967年版)¹³⁾

(12) MLSS: 下水試験方法 (1967年版)¹³⁾ 遠心沈でん法

(13) SS: 下水試験方法 (1967年版)¹³⁾ ガラスろ過器法

結果および考察

1) 豚ふん尿の理化学的性状について

豚の新鮮なふんおよび尿について、4—8種の試料について、水分・灰分・SS・BOD・COD・Cl⁻・NH₃-N・alb-Nおよびkjeldahl-Nの分析を行なった。その結果をTable Iに示す。

測定値のばらつきが大きかったが、このことは豚の生

理状態がふん尿の性質に大きく影響するためであろうと考えられる。相沢⁸⁾の測定値と比較すると、Cl⁻、kjeldahl-Nがふんと尿ともに、NH₃-Nが尿で、alb-Nがふんで差がみられた。相沢⁸⁾は、ふん尿成分が飼料組成によって変動することをのべているが、これが主要な一因と考えられる。CODの差は、測定時の加熱時間の差も一因と考えられる。

2) 実験プラント設計のための基礎実験についての検討

(1) 活性汚泥の浄化能及び最適曝気条件 実験結果をFig. 2に示す。

CODは種汚泥添加試料では、初期濃度が混合液5100 ppm、上澄液2300 ppmであったものが、4日目には混合液2500 ppm、上澄液980 ppmに約50%程度減するが、それ以後は減少は殆んど認められない。対照試料ではCOD除去に長時間を要し、5—6日を要して種汚泥添加時のような安定状態となった。

BODはCODに比べて減少が著しく、対照試料でも初期浄化が著しかった。種汚泥添加試料では約3日で安定な処理液を得るに至ったが、この際にはほぼ90%の除去率を示した。対照ではここに至るのに6日を要した。

Kjeldahl-Nは1日目に著しい減少を両試料とも示したのち、徐々に減少した。この初期減少はNH₃-Nが両試料とも1日目に著しい減少を示しているためと考えられる。これに対してalb-Nは種汚泥添加では3日目まで著しい減少を示すのに対して、対照では除去がおくれ、4日目に大きく減少した。

pHは、両試料ともほぼ同様に減少し、pH 6.7から3

10) 日本薬学会編, “衛生試験法注解,” 金原出版, 東京, 1965.

11) 日本工業規格協会編, “工業排水試験方法,” 東京, 1965.

12) 小瀬洋喜, 桐山みど里, 渡辺周一, 谷 志郎, 広田忠則, 衛生化学, **18**, 393 (1972).

13) 長谷川清十郎編, “下水試験方法,” 日本下水道協会, 東京, 1967.

Fig. 2. Daily Changes of Each Index : Aeration Volume $480 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$, added Activated Sludge Concentration 8100 ppm (in 4 liter aeration tank)

—△— : mixed liquor } 10% sludge was added.
△..... : supernatant }
 —○— : mixed liquor } sludge was not added.
○..... : supernatant }

日目に約 pH 9.0, 6日目で約 pH 9.4 と上昇した. $\text{NH}_3\text{-N}$ のようなアルカリ成分が著しく減少しながらも pH が上昇するのは, BOD 減少が著しいことから揮発性脂肪酸が除去されたことが原因となっているものと考えられる.

(2) 汚泥添加量と浄化速度 実験結果を Fig. 3 に示す. 図には各汚泥量を添加したときの初日濃度を 1 とし, BOD と COD の減少率を経日的に示した.

図のように種汚泥添加量が大い程, BOD も COD も浄化は早く完了した. また活性汚泥濃度が高いときには BOD 構成物質は約 3 日間の曝気でほぼ完全に浄化されるのに対して, COD 構成物質は汚泥添加量が増大しても上澄液中に 30—40 % 残存していた. BOD 除去の結果から汚泥添加量は 30% でよいと認められた.

3) 実験プラントについての検討

実験プラントでの実験結果を Fig. 4—6 および Table II に示す.

a の条件は BOD 容積負荷が高く, 曝気量は b と c の半量であったため, Fig. 4 に示すように, 流入水濃度

Fig. 3. Effect of Activated Sludge Concentration on BOD and COD Value of Supernatants (in 4 liter aeration tank)

aeration volume : $640 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$
 added activated sludge concentration : 10000 ppm
 supernatant of untreated waste : COD 2980 ppm
 BOD 8500 ppm

Percentage of added sludge.

—○— : 0% —△— : 10% —×— : 30% —□— : 15%

が後半でやや高くなると, 曝気槽内の SV がかなり悪化し, 脱離液の各水質指標も悪化した.

b の条件は BOD 容積負荷は a と同じで, 曝気量はその倍量であったので, Fig. 5 に示すように, 全期間を通じて安定な放流水質が得られた. この期間にも流入水濃度

Fig. 4. Removal Ability on $325 \text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ Aeration Volume and $5.04 \text{ kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ BOD loading in Test Plant

$\circ$: influent $\triangle$: mixed liquor in aeration tank $\square$: effluent

Fig. 5. Removal Ability on $640 \text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ Aeration Volume and $5.15 \text{ kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ BOD loading in Test Plant

$\circ$: influent $\triangle$: mixed liquor in aeration tank $\square$: effluent

Fig. 6. Removal Ability on $650 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ Aeration Volume and $2.27 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ BOD loading in Test Plant

—○—: influent —△—: mixed liquor in aeration tank —□—: effluent

度が後半に高かったが、aのように放流水の悪化をきたすことはなかった。しかし、SVはきわめて高く、汚泥の分離状態はよくなく、運転管理上の難点があった。

cの条件はBOD容積負荷はaおよびbの半量で、曝気量はaの倍量、bと同量であったので、Fig. 6に示すように流入水濃度の変動があっても放流水質は安定していた。また、a、bよりも流入水濃度が低いのに対応して放流水濃度も低かった。曝気槽のSVも良好であった。

条件cのときには、流入水平均值に対する放流水平均値として求めた各物質の除去率のうち、 $\text{NH}_3\text{-N}$ が41.4%、kjeldahl-Nが70.5%であった他はきわめて高く、BOD、SSでは99%に達し、放流水のBODは平均66ppm、SSは平均12ppmという良好な水質であった。窒素除去率は高くはないが、各種処理法における除去率に比較すると、これらの結果は有利なものというべきであろう。

各条件とも流入水の水温は気温に近似しているが、送気温度は気温よりもかなり高い。このことが曝気槽の水温を高める一因をなしていると考えられる。pHは各条件とも曝気槽でアルカリ性を示しており、このためストリッピング効果を窒素化合物に示したことが考えられる。

曝気槽での生物は、各条件とも*Zoogloea*と小形鞭毛虫が見られたが、bでは*Tetrahymena*が優先種となり、cでは更に多くが活発に運動していた。有核アミーバ類の*Diffugiella*がaでは多かったが、b、cでは検出されなかった。cでは*Epistilis*も僅かではあるが検出された。このように生物相においても、3条件下では相違があり、移行性が認められた。

ま と め

豚ふん尿を処理するために、高濃度好気性処理することの可能性を検討した。

4 literの実験用曝気槽で曝気実験を行なったところ、約6日間の曝気によって活性汚泥を生じ、浄化能をもつに至ることを認めた。また、活性汚泥を添加するときには、汚泥添加量の大きい程、浄化完了が早い、約3日間で安定な処理液を得た。

この実験にもとづいて、実験プラントを設計建設し、BOD容積負荷と曝気量を設定して運転したところ、BOD容積負荷 $2.5 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 、曝気量 $650 \text{ m}^3/\text{槽容積} \text{ m}^3 \cdot \text{d}$ のとき処理効率もよく、放流水も平均値でBOD 66ppm、SS 12ppmときわめて良好で、両者の除去率も99%以上であった。

この結果を従来の活性汚泥諸法と比較すると、BOD

TABLE II. Compare of the Water Quality in Each Treatment Condition and Removal Rate (Average) for Swine Excreta (in Test Plant)

Sample	Subjects	Air temp. around plants	Air temp. of injector	Liquor temp.	pH	BOD	COD	Kjeldahl -N	Alb-N	NH ₃ -N	SS	Cl	SV	SVI
a	influent (ppm)			16.2	6.86	14600	9070	2350	857	1090	18300	573	—	—
	mixed liquor (ppm)			18.2	8.30	—	—	1570	538	675	11900	530	53	45
	effluent (ppm)	15.8	30.2			2260	1500	814	175	573	94	530		
	removal rate (%)					84.52	83.46	65.36	79.58	47.43	99.49	—		
b	influent (ppm)			14.4	6.85	14900	10300	2290	796	1013	20990	488	—	—
	mixed liquor (ppm)			19.1	8.54	—	6960	1910	676	742	16600	553	96.5	50
	effluent (ppm)	14.0	29.4			1080	1250	888	179	573	53	553		
	removal rate (%)					92.75	87.86	61.22	77.51	43.44	99.75	—		
c	influent (ppm)			8.9	7.4	6800	4700	1290	432	515	11200	275	—	—
	mixed liquor (ppm)			11.3	8.50	—	2140	815	266	356	5280	266	34	67
	effluent (ppm)	8.3	25.4			66	352	380	59	302	12	266		
	removal rate (%)					99.0	92.5	70.5	86.3	41.4	99.9	—		
Microorganisms in aeration tank														
a	<i>Zoogloea small Flagellata</i>				<i>Testacida : Diffugiella, Trinema, Euglypha</i>									
b	<i>Zoogloea small Flagellata</i>				<i>Tetrahymena</i>									
c	<i>Zoogloea small Flagellata</i>				<i>Tetrahymena Epistylis</i>									

BOD loading and aeration ratio

a : 5.04 kg/m³/d, 325 m³/m³/d b : 5.15 kg/m³/d, 650 m³/m³/d c : 2.27 kg/m³/d, 650 m³/m³/d

容積負荷を著しく高めることができた。この際の MLSS は約 5000 ppm, 曝気時間は 72 時間で, 従来の諸法に比して各諸元にかんがりの相違がある。

本法では, 流入水量をできるだけ少なくし, 洗浄水量を約 3 倍量におさえたところに特徴がある。床面よりのふん尿除去を水洗によるときには多量の水を必要とするが, 自動かきとりを行えば, 洗浄水量は本実験より少量とすることができる。

豚舎環境の保全からみると, 床面よりのふん尿除去は悪臭防止, 昆虫防止などの点から重要な管理対象である

が, 除去法の方角として, 従来は水洗による清掃がとられてきた。水の使用量を減少し, 排出総量を減少させようとする汚水処理の考え方からみると, 本研究はその有用な施策となり得るものと考えられる。

謝辞 本研究を行なうにあたり, 実験プラントの設置ならびに管理につき, 御便宜を賜り, 御協力を賜った岐阜市畜産センターに深謝する。また, 本研究は岐阜県大学等委託研究費によった。記して深謝する。