

1 新技術情報 — その1 —

豚舎からのアンモニア発生低減技術の開発

(財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所長 古谷 修

当機構では、毎年度の7月と3月に研究所の技術開発にかかわる開発推進検討委員会を開催して、その年に得られた成果と次年度の計画について検討し、また、研究所年報として発刊して、広く関係者のご意見をいただいている。ここでは、平成11年度に得られた成果のうち、前号の堆肥の腐熟度の簡易判定法に引き続き、飼料給与法の改善による豚舎からのアンモニア発生量の低減技術について紹介する。

1. はじめに

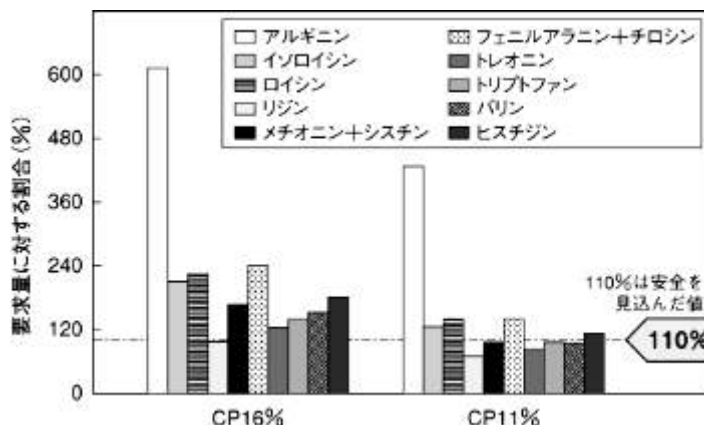
アンモニアは悪臭や大気汚染、土壌等の酸性化を引き起こすため、その発生と揮散の低減が求められている。EUでもっとも厳しい状況にあるオランダでは、1980年を基準として、アンモニアの揮散を2005年までに70%低減させる目標を掲げるなど、積極的な施策が取られている。

アンモニアの発生と揮散の要因を考えてみる。飼料に含まれるタンパク質(窒素)は、体内に蓄積される部分(肉豚では約3分の1)を除き、ふんあるいは尿に排泄される。尿の窒素の主体は尿素で、酵素のウレアーゼによって容易に加水分解され、アンモニアになる。ウレアーゼは消化管内の様々な微生物によって生産されるため、ふん中にはあるが尿中には存在しない。ふん中で有機的に結合した窒素もアンモニア生成のための給源であるが、嫌気的な状態でのふん中物質の分解はきわめて緩慢な過程である。したがって、アンモニアの発生と揮散にとってもっとも重要な要因は尿中の窒素(尿素)濃度であり、尿中の窒素濃度を下げればアンモニアの発生量も減ると考えられる。そのため、現在、飼料給与の面から窒素の排泄量を減らす研究が精力的に進められている。その他、豚舎内のアンモニア発生と揮散は[1]アンモニアが揮散する表面積を小さくする、[2]尿およびふん尿混合物のpHを下げる、[3]それらの温度(水温)を下げる、[4]ふんと尿の接触をできるだけ避け、早期に戸外に移す、などによって低減させることができ、畜舎や管理施設の面から様々な工夫がなされ、効果を挙げている。

当研究所は、平成8年より悪臭防止技術の開発の課題に取り組んでいるが、最近、養豚飼料のタンパク質含量を従来の2/3程度に低下させると、窒素の排泄量の低減とともに、ふん尿混合物からのアンモニアの発生量を通常の1/3程度にまで減らせることがわかった。

2. 豚の発育を損なわず窒素の排泄量が減る原理

豚が必要とするのはタンパク質そのものではなく、それを構成する20種類のアミノ酸であり、とくに10種類の個々の必須アミノ酸を満足させれば、かなり粗タンパク質(CP)含量が低くても正常に発育し、その結果、窒素の排泄量は少なくなる。図1に、肥育豚の標準的な飼料(CP16%)と低CP飼料(CP11%)における必須アミノ酸の要求量に対する割合を示した。図中の横点線で要求量の満足レベル(安全率を10%みている)を示しているが、標準飼料ではもっとも制限となるリジンでも要求量を満たしている。低CP飼料では、リジンとともにトレオニ



ンも欠乏しているが、一方、他のアミノ酸はアルギニンを除き、要求量に近い含量であり、リジンとトレオニンを飼料添加すれば、アミノ酸バランスは標準飼料に比較してきわめてよくなり、このことは体内に蓄積される窒素の割合が高まり、とくに尿中へ排泄される無駄な部分が少ないことを意味する。

図1 標準(CP16%)および低タンパク質飼料(CP11%)における必須アミノ酸の要求量に対する割合

3. 試験方法

標準飼料(CP16.4%)とアミノ酸を添加した低CP質飼料(CP10.9%)を調製し、それぞれ体重約35kgの子豚6頭ずつを供試して、個別に代謝ケージに収容、11日間飼料を給与した後4日間にわたってふんを全量採取した。飼料と飲水は自由摂取とした。28日間の飼料摂取量、飲水量および増体量を測り、窒素出納の成績から、ふんおよび尿の排泄量とそれぞれへの窒素排泄量を算出した。一方、新鮮ふんおよび新鮮尿を用いて、それぞれ単独、あるいは、ふんと尿を2:1で混合した混合物からのアンモニア発生量を調べた。

排泄物からの揮散アンモニア濃度は以下の方法で測定した。

1.) 試料50gを500mlの三角フラスコに分注し、25°Cの条件で静置する。
2.) 1分間当たり300mlの割合で通気し、三角フラスコ内のヘッドスペースガスをホウ酸溶液に捕集する。
3.) インドフェノール法(公定法)により揮散アンモニア濃度を測定する。

4. 試験結果と考察

(1) 飼養成績およびふん尿と窒素の排泄量低減

表1に飼養成績を示した。増体量、飼料摂取量に差は認められず、飲水量では低CP区で少ない傾向が認められた。図2には、ふんおよび尿への水分排泄量を示したが、低CP区で尿は約60%に低減した。図3にはふんおよび尿への窒素排泄量を示したが、低CP区ではふんは75%、尿では55%に減り、総窒素の排泄量も63%となった。なお、尿中の窒素濃度(%)は、標準区および低CP区でそれぞれ、1.01および0.55となり、明らかに低CP区で少なかったが、ふん中の窒素濃度(%)はそれぞれ3.04および3.01で差はなかった。

表1 標準飼料(CP16.4%)および低タンパク質飼料(CP10.9%)における飼養成績(g/日)

飼料中CP含量	CP16.4%	CP10.9%
増体量	661	655(99)
飼料摂取量	1960	1940(99)
飲水量	3447	2795(81)

()はCP16.4%区との相対値

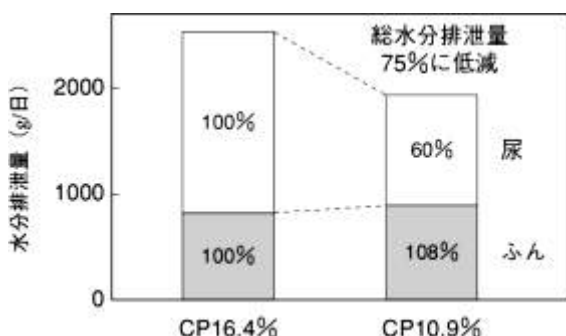


図2 飼料中のCP含量が水分排泄量に及ぼす

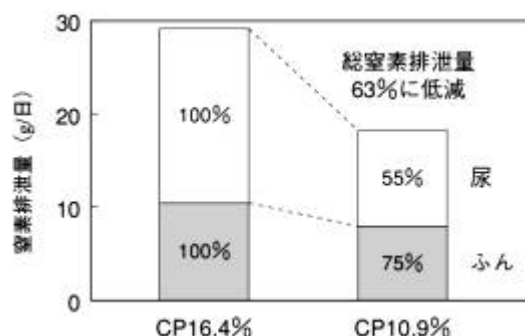


図3 飼料中のCP含量が窒素排泄量に及ぼす

(2)アンモニア発生量の低減

ふんあるいは尿単独からのアンモニア発生はきわめて少なく、飼料のタンパク質水準でも差が認められなかった。一方、ふんと尿を混ぜ合わせた途端にアンモニアが発生する。これは、尿中に含まれる窒素(ほとんどが尿素態の窒素)がふん中に含まれるウレアーゼ(尿素分解酵素)の作用で尿素が分解されアンモニアを生成するメカニズムによる。図4に示したように、ふん尿混合物からのアンモニアの発生量は低CP区で明らかに少なく、混合1日目では標準区の1/3と著しく減少した。このアンモニア発生量は一定重量当たりの値であるが、すでにみたように尿量は低CP飼料で約60%に減っているため、全体のアンモニア発生量からすれば、低CP飼料を給与した場合には1/5程度にまで少なくなるものと推察される。

このように、飼料の低タンパク質化でアンモニアの発生量が著しく減ることが明らかになったが、この飼料給与技術と先にふれた畜舎や管理施設の改善との組み合わせで、さらに効果的なアンモニア発生と揮散の低減技術が開発される可能性は大きい。

低タンパク質飼料の給与技術の実用化で、しばしば生産コストが話題になる。発育と肉質に差がないとすれば、結局は飼料コストが問題である。一般に、タンパク質飼料原料は穀類に比べて高価であるので、低タンパク質化により飼料価格は下がるが、逆に不足するアミノ酸を添加する必要があるため、これはコストを高める方向に働く。第一制限アミノ酸であるリジンは安価に供給されているが、第二制限になるトレオニンは今のところ十分に安価とはいえない。しかし、これも需要が増え、大量生産されるようになれば、かなり安くなると考えられている。近い将来、現在よりもむしろ低コストで、窒素の排泄量とアンモニアの揮散量が大幅に減る環境にやさしい技術の定着が期待される。

5. まとめ

肥育豚の飼料のタンパク質含量を標準的飼料の2/3程度にまで低め、そのために不足する必須アミノ酸を飼料添加することによって、以下のことが期待される。

1.)豚の発育には差が認められない。
2.)飲水量が減り、その結果として、尿量は60%程度にまで減少する。
3.)ふん尿への窒素排泄量が減り、とくに尿への窒素排泄量は60%以下になる。
4.)ふん尿混合物からのアンモニア発生量が著しく低減される。

なお、本研究の遂行に当たっては、福島県畜産試験場および福島県立農業短期大学の多大な協力をいただいたことを付記し、関係各位に謝意を表する。

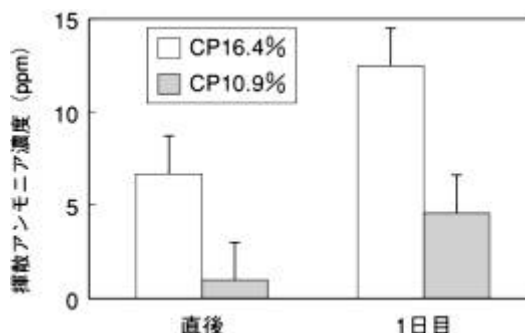


図4 飼料中のCP含量がふん尿混合後の揮散アンモニア濃度に及ぼす影響 (6頭の平均値±標準誤差)



当機構では、技術開発促進事業に係る民間企業や大学等の研究成果を題材として畜産環境保全に関する技術成果発表会を11月9日(木)に、東京虎ノ門の「発明会館」で開催した。合計9件の成果が発表され、公的機関や関連メーカーの研究員等316名の参加者があった。報告されたテーマは次のとおり。

第1部 畜産環境保全技術研究組合開発成果

1.) 家畜ふん尿及び同嫌気性発行後の固形物の固形燃料化技術開発
発表者: 川崎重工業(株)・川重テクノサービス(株) 高垣一良
2.) 複合廃棄物資源回収処理システムからの回収資源の用途開発
発表者: 栗田工業(株) 石橋 保
巴工業(株) 中村治郎

第2部 家畜排せつ物処理コスト低減等技術開発推進事業成果:大学の部

3.) 堆肥場屋根のコンクリート製古電柱利用による低コスト化
発表者: 酪農学園大学 干場信司
4.) 豚尿を主とした嫌気性池処理水に関する窒素とリンの生物学的除去法の検討
発表者: 日本獣医畜産大学 柿市徳英
5.) マイクロカプセル化消化酵素による肥育豚糞排泄量の減量化
発表者: 九州大学 松本 清

第3部 家畜排せつ物処理コスト低減等技術開発推進事業成果:企業の部

6.) 家畜排せつ物の無臭化処理技術の開発
発表者: 南榛原開発(株) 太田健壽
7.) 臭気対策と低コスト脱色技術の開発
発表者: (株)東芝環境機器開発研究所 山森武夫
8.) 低コスト家畜糞尿処理システム並びに処理液の高度利用法の開発
発表者: 日立プラント建設(株) 森 直道

第4部 畜産環境技術研究所の研究成果

9.) 飼料の低蛋白化による窒素排せつ量とアンモニア発生量の低減
発表者: 畜産環境技術研究所 山本朱美

この中から「豚尿を主とした嫌気性池処理水に関する窒素とリンの生物学的除去法の検討」を報告する。

豚尿を主とした嫌気性池処理水に関する窒素とリンの生物学的除去法の検討

日本獣医畜産大学獣医畜産学部獣医衛生学教室 柿市徳英, 鎌田信一

1. はじめに

豚の排泄物の処理・利用法はふんの堆肥化と尿の好気性生物処理が一般的である。しかし、尿汚水を浄化した処理水の放流先として河川などが隣接していない場合は別の手段をとらなければならない。その方法には、メタン発酵法、液肥化法、乾燥蒸散法などがあるものの、敷地や耕地面積の不足あるいは運転管理の問題から実施しにくい状況にある。本研究は、放流先のない地域の養豚場で尿を主として、嫌気性池にて処理し、その処理水を豚舎に利用していた。しかし、臭気の問題から、嫌気性池処理水を曝気して豚舎に利用したところ、仔豚に硝酸塩中毒が発生した。

そこで、嫌気性池処理水の窒素除去を目的に、活性汚泥を利用した実験的研究を実施した。

2. 材料と方法

1) 嫌気性池処理水の由来

養豚場の飼養頭数は4,000頭である。繁殖豚のふんは堆肥化され、育成豚のふん尿と繁殖豚の尿は約123日滞留する計3,000m³の嫌気性池で処理されている。

2) 嫌気性池処理水と曝気後処理水の性状

表1に示すように、嫌気性処理水のBODはT-Nの約1/5であり、その色は暗褐色あるいは黒色を呈していた。一方、曝気後処理水のNO₂-NとNO₃-Nの合計濃度は520mg/Lと高く、茶色を呈していた。

表1 嫌気性池処理水と曝気後処理水の性状

項目	嫌気性池処理水	曝気後処理水
pH (mg/l)	8.90± 0.10	6.90± 0.12
BOD (mg/l)	586.60± 77.80	444.20± 52.30
T-N (mg/l)	2,526.90±	1,806.40±
NH ₄ -N (mg/l)	124.00	13.50
NO ₂ -N (mg/l)	1,971.70± 38.80	787.50± 13.60
NO ₃ -N (mg/l)	66.30± 10.50	494.80± 10.00
T-P (mg/l)	12.00± 0.40	30.60± 1.00
Colour	131.90± 13.60 dark brown~ black	172.40± 15.90 brown

3) 実験方法と運転条件

実験はI、IIおよびIIIの順に行った。実験IIは、1Lトルビーカを曝気槽とし、嫌気性池処理水を5倍希釈した汚水を用いた実験区(Run)とした。対照区としては、豚ふんと尿を1:4に混合し、目的濃度に希釈した汚水を用いた。運転条件は20°Cの回分式であり、他の条件は表2に示した。実験IIは、実験Iの運転条件のうち、MLSS濃度を6,000mg/lに高めて窒素とリン除去を目的に5時間の静置を行うとともに、滞留時間を2.5日に半減した(表3、図1)。実験IIIは、曝気槽に10Lの塩ビ製タンクを用い、嫌気性池処理水の10~15倍希釈液と豚ふん搾汁液の40倍液とを1:1に混合し、供試汚水とした。運転条件(表4)は実験IIとBOD容積負荷およびMLSS濃度を除きほぼ同様とした。

表2 実験Iの運転条件と供試汚水の性状 表3 実験IIの運転条件と供試汚水の性状

項目	Control	Run	項目	Control	Run
BOD容積負荷 (kg/m ³ /d)		0.018	BOD容積負荷 (kg/m ³ /d)		0.038
MLSS (mg/l)	0.084	2,500	MLSS (mg/l)	0.131	6,000

曝気時間 (hr)	2,500	22	曝気時間 (hr)	6,000	17
沈殿時間 (hr)	22	2	静置時間 ()	17	5
滞留時間 (day)	2	5	沈殿時間 (hr)	5	2
-----	5	-----	滞留時間 (day)	2	2.5
--	-----	-	-----	2.5	-----
BOD (mg/l)	420	89	BOD (mg/l)	328.4	94.0
T-N (mg/l)	450	664	T-N (mg/l)	210.0	625.0
NH ₄ -N (mg/l)	272	496	NH ₄ -N (mg/l)	126.0	506.0
NO ₂ -N (mg/l)	26.2	24.8	NO ₂ -N (mg/l)	17.4	
NO ₃ -N (mg/l)	6.4	9.6	NO ₃ -N (mg/l)	2.1	26.2
T-P (mg/l)	118.4	24.4	T-P (mg/l)	118.8	10.3
					23.7

点線以下は供試汚水の性状を示す。

点線以下は供試汚水の性状を示す。



図1 実験ⅡおよびⅢのタイムチャート

表4 実験Ⅲの運転条件と供試汚水の性状

項目	Run
BOD容積負荷 (kg/m ³ /d)	0.210
MLSS (mg/l)	2,500
曝気時間 (hr)	22
静置時間 ()	5
沈殿時間 (hr)	2
滞留時間 (day)	2.5
-----	-----
--	-
BOD (mg/l)	525.4
T-N (mg/l)	224.0
NH ₄ -N (mg/l)	70.4
NO ₂ -N (mg/l)	10.1
NO ₃ -N (mg/l)	98.3
T-P (mg/l)	178.0

点線以下は供試汚水の性状を示す。

4) 測定項目と方法

測定項目は、pH、透視度(600nmでのOD値)、COD、BOD、T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、ST-P、SO-P、MLSSとした。一方、運転状況の指標として、SV、SVIおよび微小動物相を観察した。

3. 成績と考察

1) 実験Ⅰ：対照区に比べ、Runでは低pHで、BOD除去率が極度に劣り、NH₄-Nの残存が高く、SVIが10以下であった(表5)。この結果は、BODが極度に少ないため、他栄養性細菌群を主とする活

性汚泥構成細菌群が増殖せずに、休止期である自己酸化相に常時おかれていたことから、活性汚泥フロックの解体と分散が促され、低SVI値を記録したものと推察される。

表5 実験Ⅰ 処理水質(mg/L)、除去率(%)
およびSVI値

項 目	Control	Run
pH		
BOD	6.82	5.53
T-N	4.40 (98.9)	75.00 (15.7)
NH ₄ -N (mg/l)	214.00	331.40
NO ₂ -N (mg/l)	(52.4)	(50.1)
	8.90	93.80
NO ₃ -N (mg/l)	1.00	3.60
	181.30	230.30
T-P	62.70 (47.0)	13.70 (43.8)
SVI	51.0	4.6

カッコ内の数値は除去率を示す。

以上より、実験Ⅰの条件下ではフロック形成が認められないことから、窒素とリンの除去を考慮し、嫌気性条件(静置5時間)を付与することにより、処理効率の改善とフロック形成を考え、次の実験Ⅱを試みた。

2) 実験Ⅱ: RunのBOD、T-NおよびT-Pは実験Ⅰに比べ若干改善されたものの対照区には及ばなかった。NH₄-Nの残存量も少なく、T-NとT-Pの除去率は改善した。しかし、対照区に比べ劣っていた。一方、活性汚泥フロックの形成は、実験Ⅰに比べて高いSVI値(27.8)を示し、改善された。

以上より、実験Ⅰよりも改善されたが、対照区に比べ、処理効率およびフロック形成ともに劣っていた。そこで、さらに改善する目的で、BODを補い、T-N濃度を下げた供試汚水を調整し、次の実験Ⅲを実施した。

表6 実験Ⅱの処理水質(mg/L)、除去率(%)
およびSVI値

項 目	Control	Run
pH	6.71	5.62
BOD	20.80 (93.9)	70.00 (25.6)
T-N	54.80 (73.9)	258.90 (58.6)
NH ₄ -N (mg/l)	12.20	124.80
NO ₂ -N (mg/l)	1.10	9.20
NO ₃ -N (mg/l)	23.90	94.10
T-P	16.60 (86.0)	13.20 (44.3)
SVI	48.5	27.8

カッコ内の数値は除去率を示す。

3) 実験Ⅲ: 処理水質ならびに除去率ともに、経日的に改善され、2ヵ月後には実験Ⅱの対照区に匹敵する処理効率が得られた(表7)。その理由は、活性汚泥フロックが形成され、解体・分散する現象を起こさなかったことによると推察される。

以上より、実験Ⅲの結果から、供試汚水のBOD/T-Nが0.15以下ではフロックの解体と分散が起きることから、BOD/T-Nを1以上とすれば、フロックが形成され、処理効率も改善されることが明らかとされた。一方、活性汚泥を応用した脱窒にはBOD/NO_x-Nが2.3以上であることが必須条件とされているが、実験ⅢのBOD/T-Nが2.3であったことから、窒素除去が88.4%との高い値を示したものとと思われる。

表7 実験Ⅲの処理水質(mg/L)、除去率(%)
およびSVI値

項目	全期間	63~110日間
pH	6.25	6.70
BOD	29.94(94.3)	19.36(96.3)
T-N	76.80(65.7)	25.93(88.4)
NH ₄ -N (mg/l)	26.57	11.23
NO ₂ -N (mg/l)	2.58	0.72
NO ₃ -N (mg/l)	48.42	12.47
T-P	30.13(83.1)	26.50(85.1)
SVI	39.6	48.3

カッコ内の数値は除去率を示す。

4) 微小動物相: 微小動物相は対照区と実験Ⅲで出現種(属)が最も多く、しかもAspisiacaの出現率が100%を示した。繊毛虫のうち、活性汚泥性繊毛虫はAspisiaca, Vorticella, EpistylisおよびOperculariaが出現し、いずれも優勢であった。特に、フロックの解体と処理効率が劣った実験ⅡとⅢともに、過去に報告をみない良好な生物相が確認された(表8)。

表8 実験Ⅰ、ⅡおよびⅢの微小動物相

	微小動物数 /mL			
	Control ¹⁾	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ ²⁾
	7,560 (100)	7,070 (100)	7,070 (100)	6,630 (100)
繊毛虫類	6,740 (100)	--	750 (87)	1,690 (100)
Aspidisca*)	--	1,230 (100)	2,920 (100)	340 (100)
Vorticella*)	--	--	10,370 (100)	2,750 (100)
Epistylis*)	250 (57)	4,450 (100)	430 (37)	1,970 (100)
Opercularia*)	190 (43)	3,180 (40)	290 (37)	300 (57)
Oxytricha	70 (43)	--	--	70 (14)
Trachelophyllum	300 (57)	--	--	--
Paramecium	70 (14)	--	--	260 (64)
Colpoda	--	--	--	380 (32)
鞭毛虫類	32,040 (57)	--	3,840 (25)	440 (18)
肉質虫類	16,670 (100)	4,280 (40)	23,730 (100)	220 (20)
後生動物	28,060 (100)	28,060 (100)	1,660 (100)	440 (32)
Philodina*)	290 (100)	650 (93)	1,660 (100)	8,710 (100)
Aeolosoma*)	250 (28)	650 (93)	1,660 (100)	680 (100)
Macrobiotus*)	370 (71)	--	(100)	680 (100)
	70 (14)	--	--	--
			--	--

カッコ内の数値は出現率(%) = 出現頻度 / 観察頻度 × 100である。

*) 活性汚泥性生物であり、これらが優勢であれば処理効率が高いと言われる。

1) 実験Ⅰのcontrol. 2) 実験Ⅲの63~110日間。

4. まとめ

嫌気性池処理水はBOD/T-Nが0.13~0.15と低BOD、高窒素であるとともに、NH₄-NおよびNO₂-N

が高濃度であるために種々の問題がある。そこで、窒素の除去を第1目的として活性汚泥の利用の可能性を検討した。その結果、嫌気性池処理水の5倍希釈液を供試したところ、活性汚泥フロックの解体と分散を認めたことから、同量の豚ふん搾汁液の40倍液を加えた結果、供試汚水のBOD/T-Nが1以上となり、嫌気好気運転を実施したところ、2カ月経過後に高い処理効率の向上と活性汚泥フロックの形成が順調に行われるに至った。すなわち、BOD源の供給が最も重要であったことから、嫌気性池処理水を活性汚泥処理する場合は適量の豚ふん搾汁液を加える必要性が明らかとされた。

5. 今後の課題

嫌気性処理水の希釈水ならびに豚ふん搾汁液の作製法とその希釈水の供給源の問題、さらには希釈に伴う処理施設の規模拡大化に対する対応などの解決が残される。

〔問い合わせ先・担当者〕

日本獣医畜産大学獣医畜産学部獣医学科
獣医衛生学教室 教授 柿市徳英
TEL 0422-31-4151 内線-257
FAX 0422-33-2094