

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：研究)

赴日研習「以原生動物相做為畜牧廢水指標之技術」

1. 服務機關：行政院農業委員會畜產試驗所

職 稱：研究員兼系主任

姓 名：郭猛德

2. 服務機關：行政院農業委員會

職 稱：技正

姓 名：朱海鵬

3. 服務機關：台南縣家畜疾病防治所

職 稱：技士

姓 名：王政賢

出國地區：日本

出國期間：中華民國八十九年十二月十七日至十二月二十五日

報告日期：中華民國九十年三月二十三日

目次

	頁次
一、目的.....	2
二、過程.....	2
三、行程.....	2-3
四、研習內容.....	3-17
(一)原生動物之分類特徵與鏡檢.....	3-6
(二)以顯微鏡鏡檢水中原生動物之特徵.....	6-7
(三)活性污泥之原生動物培養.....	7-9
(四)豬糞尿廢水處理活性污泥中之原生動物與水質之關係.....	9
(五)農林水產省畜產試驗場之參訪.....	10-17
(六)畜禽糞便堆肥處理之新式脫臭設備之設計與應用.....	16-17
五、心得感想	17-18
六、建議事項.....	18
七、附件.....	19-48

目的：

- 1.學習以顯微鏡鏡檢廢水中原生動物之技術。
- 2.瞭解活性污泥中之原生動物之分類、種類與鑑別方法。
- 3.提供簡易原生動物相鏡檢判讀方式，了解推估豬糞尿廢水處理設施功能是否發揮及判斷放流水是否合乎放流水標準之參考。
- 4.提升養豬廢水活性污泥之處理效率。

過程：

職等一行三人，在中美基金「技術協助訓練與參加國際會議」計畫之補助下，前往日本研習廢水中原生動物相之鏡檢與培養方法，為期九天。此次研習以養豬廢水處理中活性污泥原生動物之種類為主，但因未有專為養豬廢水而建立之原生動物相群，因此仍以一般廢水處理之活性污泥為研習課程，所有研習課程與參訪地點，全委由日本環境研究所與農林水產省畜產試驗場協助安排。主要研習課程為活性污泥中原生動物之菌相種類、分類與鑑別方法、顯微鏡操作及原生動物相繪圖、原生動物培養以及畜禽廢水與廢棄物高級處理方式之觀摩等。

國內之養豬廢水正面臨豬糞尿廢水中化學需氧量 (COD) 與電導度 (EC) 之處理標準問題，及活性污泥操作管理與如何以簡易方式，初步判定處理後之放流水質是否合乎放流水標準之方法等，因此為多瞭解好氣處理之活性污泥培養與原生動物菌相與放流水間之關係，以改善國內之三段式廢水處理效率，而要求日方提供活性污泥中原生動物菌相之鑑別外也要求在短期內，增加觀摩新的豬糞尿處理方案與堆肥場脫臭方式等。此次研習觀摩均順利完成，謹將職等所見所聞加以整理，以供國人參考，並盼能有助於國內廢水處理與廢棄物脫臭方式之研究改善，有利於加速解決畜產污染問題。

一、行程

中華民國 89 年 (2000) 12 月 17 日～12 月 25 日

日期	起訖點	工作記要
12 月 17 日	台北－東京	往程
12 月 18 日	東京－茨城	參訪日本環境研究所(家庭污水高級處理方式之講解)及安排研習課程
12 月 19 日	花田市	講課及實習(原生動物動物分類與鏡檢)日本環境評估公司
12 月 20 日	花田市	講課及實習(原生動物鑑別與鏡檢)
12 月 21 日	花田市	講課及原生動物培養
12 月 22 日	茨城縣稻敷郡	參訪日本農林水產省畜產試驗場

12月23日	茨城—埼玉縣—東京	參訪日本生物系特定產業技術研究機構與中島養雞場之雞糞堆肥處理與脫臭設施
12月24日	東京	資料整理
12月25日	東京—台北	返程

二、研習內容：

(一)原生動物之分類特徵及鏡檢

在日本國立環境研究所之安排下，於日本環境評估公司研習活性污泥中之原生動物特徵，顯微鏡之操作鑑別及原生動物之培養等。由理學博士大內山課長與工學博士丁國際研究員授課及實習(圖 1)。由於活性污泥中之原生動物與微小動物之種類分類非常複雜，不可能在短短幾天內得到所有基本資料與鑑別方式，及將所見原生動物加以分類等。因此要求重點式直接切入方式授課，實際利用顯微鏡初步判定原生動物之種類及如何培養原生動物使其大量繁殖技術，以及探討原生動物之種類、數量與處理水質之關係等為主題深入瞭解。且要求最好以豬糞尿廢水處理系統中活性污泥之原生動物為探討主題，但因目前在此方面資料未建立也沒有適合之材料可供研習，因此以一般活性污泥中之原生動物為主，豬糞尿廢水互輔。

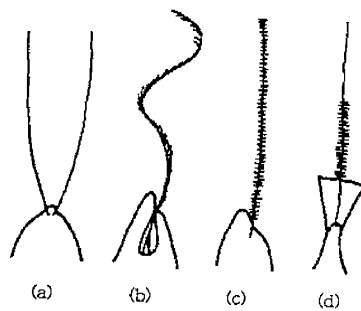
原生動物(Protozoa)屬單細胞之真核生物，具可運動之原生動物，大部分為好氣性異營菌只有少數厭氣性，比細菌大約在 1—50,000 μm 間(5—250 μm 較多)，於活性污泥中呈游離狀或固定於異常表面，營群體生活，捕食細菌類、藻類、微小動物類及顆粒狀有機物為營養來源，使生物處理的放流水可以較澄清之。它的生殖以無性生殖之分裂法或出芽方式行之，或以細胞融合和接合方式行有性生殖。

活性污泥中之原生動物可依構造來分類，依其運動器官之形態，鞭毛、偽足、纖毛及細胞口之形態加以分之，即所謂鞭毛虫類、變形虫類、自由游動纖毛虫與固著式纖毛虫等。

1. 鞭毛虫類，體型大小(5—20 μm)，橢圓形或長形，靠一根或多根鞭毛運動。鞭毛又可依其形狀，分成蟲形鞭毛、片羽形鞭毛、羽形鞭毛及蟲羽形鞭毛(圖 2)。
2. 變形虫類：具有偽足之肉質虫類，體形 10~200 μm ，形狀會改變，以偽足為運動。在活性污泥中出現之肉質虫類的偽足有葉狀偽足，絲狀偽足、顆粒性網狀偽足和有軸偽足等(圖 3)



圖 1 原生動物之分類與培養研習



(a)蟲形鞭毛， (b)片羽形鞭毛，(c)羽形鞭毛，(d)蟲羽形鞭毛

圖 2. 鞭毛之種類

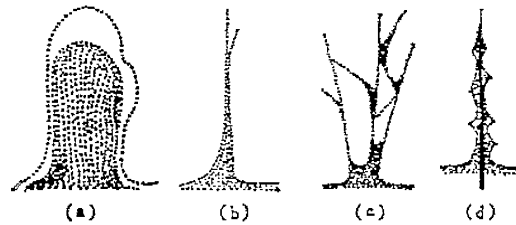


圖 3 活性污泥中出現之變形虫偽足形態

3. 纖毛虫類：纖毛是纖毛虫類特有之細胞器官，基本構造與鞭毛相同。可分成自由游動纖毛虫類，即浮游形，形狀為圓形至橢圓形（ $20-100\mu m$ ），靠一排排短髮狀的纖毛運動（圖 4）。與固著式纖毛虫類外形如自由運動的纖毛虫類，但是靠一根柄附著在膠羽上，有的柄堅硬，有的可伸縮，有的是一個細胞有一個柄，有的是許多細胞共有一個柄。

細胞口之形狀與位置也是原生動物纖毛虫類之鑑別上重要依據，由於纖毛虫類之種類繁多鑑別上非常不易，因此可依口部之構造與生長位置加以區別之，共可分為裸口類，前庭類（細胞前或側面），下口類、膜口類（底部與前溝）緣毛類與旋毛類等（圖 5）。欲詳加分野，則需累積相當多的經驗。

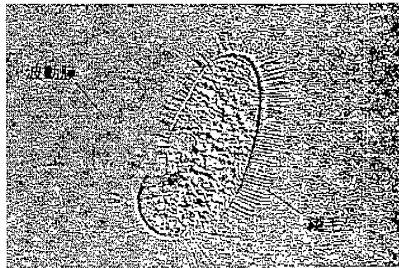


圖 4. 自由游動纖毛類之纖毛

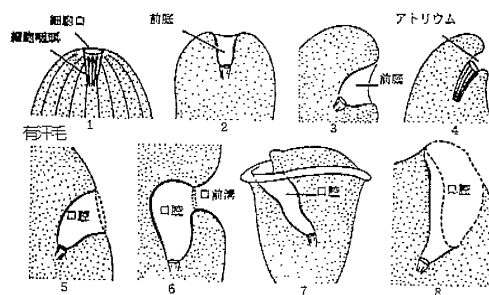


圖 5. 纖毛虫類之口部構造

1. 裸口類，2.3. 前庭類，4. 下口類，5. 6. 膜口類，7. 緣毛類，8. 旋毛類

活性污泥中之原生動物種類與數量會隨著廢水之污染程度或有機物負荷量高低而有所變化，當有機物負荷量（BOD）高時，原生動物不易生存外，偶而出現的幾隻也都以游離型為主，而當有機物負荷量低（BOD 20mg/L 以下）時，則出現各種原生動物包括緣毛虫類，纖毛虫類及後生動物等。因此當廢水處理淨化至相當程度後，處理水質 BOD 已低到某種程度後就會出現各種不同之原生動物，且其種類與數量會隨廢水淨化程度而改變，若要能充分瞭解與鑑別各種原生動物，就可初步判定處理水質之淨化程度，此也就是原生動物可當做廢水處理水質優劣判定之生物指標之由來。

當 BOD 負荷量超高時，處理水質呈現黑色或灰黑色有硫化氫臭味時，內中之原生動物種類少，偶而出現鞭毛類或纖毛虫類中之膜口目尾絲虫、膜口目膜帶虫或異毛目扭頭虫；當 BOD 高負荷（BOD 20mg/L 以上）或標準負荷量時，

其處理水中可見多種原生動物，包括鞭毛虫類之滴虫、波豆虫、植物性鞭毛虫；變形虫，緣毛類之鐘形虫、累枝虫、纖毛虫類之裸口目漫游虫，大型斜管虫、裸口目斜管虫、裸口目裂口虫、膜口目豆形虫及後生動物之轉輪虫與旋輪虫等，當 BOD 負荷量低至 10mg/L 以下時，會出現變形虫之鱗殼虫，緣毛虫之累枝虫（以大群體出現），纖毛虫類之下毛目游仆虫，裸口目 Porodon 類，後生動物之鞍甲輪虫、腹毛類鮑虫等，假使處理水質已產生硝化作用時則會出現甚多的緣毛虫類大型獨縮虫，鐘形虫，纖毛虫類之異毛目，下毛目，裸口目之板殼虫，膜口目及異毛口旋口虫，以及後生動物之環節動物，熊虫、鰓體虫等。所以當活性污泥之停留時間長 BOD 負荷量又低時，以固定型原生動物為主，因此只要處理水質中可發現多種原生動物數量又多時，一般皆可判斷其處理水之負荷量已低，水質淨化已達到一定程度，如能依原生動物種類明確判斷，則可判定其處理水質之大約污染程度，其 BOD、COD 值雖未能如化學分析之準確提供數據，但可立即判定處理水質之操作管理情況，且可依纖毛虫類之固定型與游離型之比值 $(P/C) \times 100 = PC \text{ index}$ 之比值大小來顯示處理水之淨化程度，例如當 P/C index 在 40 以上者 BOD 去除率 80% 以上，如 P/C index 在 60 以上時其排放水之 BOD 在 10 mg/L 左右。也可由纖毛類原生動物之形狀判定水質之好壞，例如纖毛類原生動物之口比肚大，顯示處理之水質佳，或者是廣口型（鐘形虫）之數量佔多數時，顯示水質較佳；累枝虫數量多成櫟及彎腰者，表示水質好；假使可見有殼之有柄虫出現又有鐘形虫時則屬處理佳之情況下，水質一定好；如出現厭氣性原生動物，則表示水質已變差。

(二)以顯微鏡檢水中原生動物之技術：

1.水樣的採集及觀察片之製作：

在活性污泥曝氣槽流出口處，以採集水器取出畜牧廢水直接裝入廣口瓶中，裝入之水量不得多於容器之 1/3，所採水樣立即以微量吸管吸取 100 μ 一滴，滴於載玻片上，小心的將蓋玻片蓋上，蓋玻片要與載玻片成 45 度斜角於蓋玻片末端和試液完全接觸後，再慢慢的往下壓，使其鏡檢觀察區完全無氣泡之產生，以避免影響到觀察片在觀察水中原生動物之結果。

2.顯微鏡之操作環境及步驟：

作顯微鏡觀察須移入室內，將顯微鏡放置在固定之桌面上，桌面須平整不可移動，觀察片製作後，將顯微鏡之電源開啓，觀察片放置載物台上，接目鏡轉到 4 \times 低倍鏡下，觀察所見影像完全清晰後，再用 10 \times 及 40 \times 之接物鏡觀察，並將鏡檢所見之原生動物、後生動物、藻類等詳細繪於紀錄紙上，以提供原生動物分類判讀 (圖 6)。



圖 6 原生動物鏡檢及繪圖

3.實驗室中位相差顯微鏡之使用：

位相差顯微鏡可觀察到所鏡檢之原生動物微細構造，對於一般微生物也具有敏銳的解析能力，更可利用上方的顯微照相機拍攝鏡視野中的原生動物、微生物等實體照片，以供他日查看所見微生物圖譜比對工作，了解其原生物動相之判讀工作。

4.解剖顯微鏡在實驗室中的運用：

一般在實驗室中將原生動物以液體振盪培養方法，可大量培養出單一原生動物（如纖毛蟲、輪蟲等），由培養瓶用吸管取出 20cc 之培養液置於白色透明培養皿中，可用放大 40 倍之解剖顯微鏡觀察，再用 100 μ 微量吸管將單獨一隻原生動物或微生物等吸入吸管内，再放置於載玻片上，拿到光學顯微鏡或位相差顯微鏡觀察，能清楚的了解其形態、活動能力及其分裂過程。

(三)活性污泥之原生動物培養

1.採樣

活性污泥中之原生動物樣品採取，利用採水器由活性污泥池中，採取活性污泥懸浮液，置於廣口瓶或一般塑膠瓶內，供培養或觀察用。固定生物膜曝氣槽之採樣，則取生物膜，置於廣口瓶內，取樣時則置生物膜於玻璃皿內，加入少許水後再行取出原生動物。

2.分離

可分成原生動物分離用培養基與原生動物之分離方法，原生動物分離用培養基又分成培養基與污泥滅菌兩種。

(1)培養基之種類與製備

①蒿苳培養基：採用蒿苳之嫩葉以 105 $^{\circ}$ C 烘乾 5 小時左右，再與蒸餾水或自來水調製成 0.3% (w/v) 之溶液，然後加熱 30 分後，以脫脂棉過濾，及準備 0.3% 的(w/v) 的蛋黃液（蛋黃加自來水），煮沸 30 分後再以脫脂棉過濾。將以上兩種過濾液，抽出同量體積混合後，調整 pH 值在 6.8~7.0 間，再經高壓滅菌 121 $^{\circ}$ C，15 分鐘。

②稻草桿培養基：採稻草桿切成 2-3cm 長，再以自來水調成 0.5% (w/v) 的稻草桿液，加熱 2 小時後，以脫脂棉過濾，調整 pH 值在 6.5~7.0 間，濾液再以 121 $^{\circ}$ C，15 分鐘之高壓滅菌。

③乾草培養基：以禾本科植物乾草切 2-3cm 長，以自來水配成 0.5% (w/v) 的液體後，加熱 2 小時，再以 121°C，15 分鐘之高壓滅菌。

④SE 培養基：取 MLSS 5000mg/L 之活性污泥懸浮液，沉降 30 分鐘之混尿污泥，以 121°C，30 分鐘高壓滅菌後抽出活性成分，採用上澄濾通過玻璃纖維過濾之，調整 pH 值至 7.2。液體利用時分裝於 5 cc. 的試管內，平板培養皿需加入 agar 1% ，行高壓滅菌 121°C，15 分鐘。

⑤Agar 培養基：以肉片抽出物 1g，酵母抽出物 2g，pepton 5g，Nacl 5g，agar 15g，加水 1000 ml 調 pH 7.2，再以 121°C，15 分滅菌。

⑥Cereal Leaves 培養基：(A)Cereal leaves 0.1g 加水 1L (去離子水 9 加水 1)，煮沸 10 分鐘以 GFC 45 號之濾紙過濾之。(B)以 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.433g，Kcl 0.162g， KH_4PO_4 0.512g， $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.280g，水 100 ml 以 A 液與 B 液為 1 ml，調 pH 6.8~7，加水 1L 後，121°C，15 分高壓滅菌之。

(2)污泥滅菌

取活性污泥 (MLSS 5000 mg/L) 懸浮液之沉降固體部分，以高壓滅菌後將上澄液分開，再沉降 15 分後之污泥，再以 121°C 高壓蒸氣滅菌後使用之。

3. 活性污泥中原生動物之分離

取少量活性污泥或生物膜上之原生動物置於 45mm 之培養皿內，利用金屬耳取出，置於解剖顯微鏡下，以接物鏡 10~40 倍觀察取出，可分成多次取出方式加以純化原生動物，再置於 SE 培養基上。分離方式如圖 7 所示，在培養皿內置 2cm 的 SE 培養基，再置入圓筒式隔間內置 LE 培養基，再放入原生動物於 LE 培養基內，24 小時後原生動物會繁殖。

以上介紹之原生動物培養基，其中以 LE (高莖嫩葉) 之培養基，培養效果最佳。

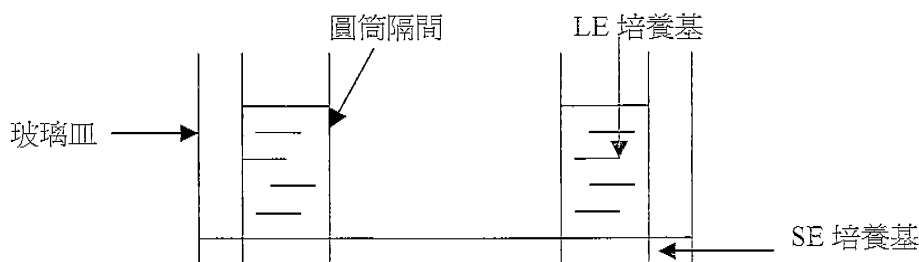


圖 7. 原生動物分離培養用設備

4.原生動物之培養

分離純化後之原生動物，可置於固態培養基內培養（圖 8）及利用三角瓶內置培養基放置於振盪水浴器(Shaker)內培養。

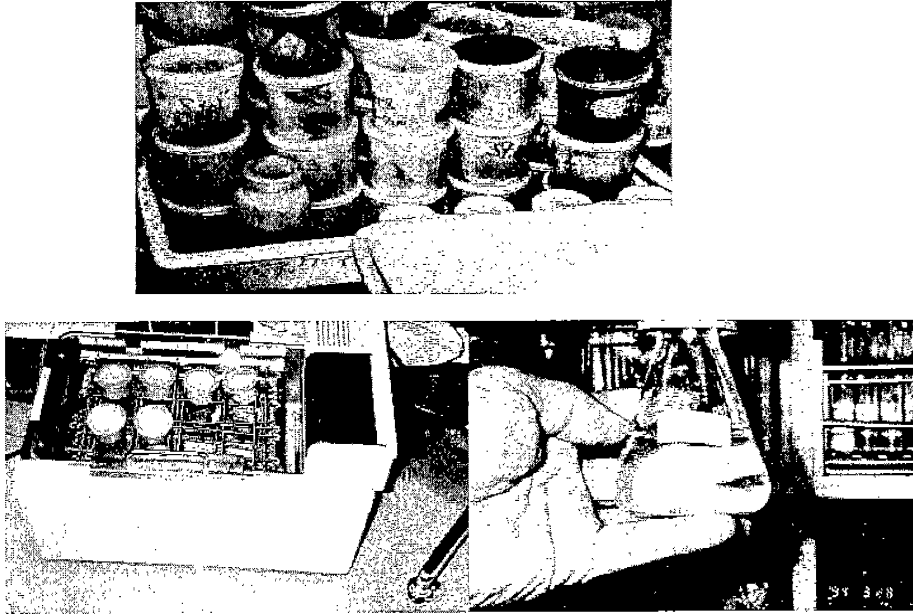


圖 8 原生動物之培養方式，固態培養（上）與液態振盪培養（下）

(四)豬糞尿廢水處理活性污泥中之原生動物與水質之關係

有關豬糞尿處理之活性污泥中，原生動物出現與放流水質關係之研究非常少，此次研習在養豬廢水方面也未能得到適當的機會，因此只能以個案對個案方式加以討論。依據金等（1999 年）之報告指出，豬糞尿廢水處理在長時間曝氣或間歇性曝氣之活性污泥槽中，其活性污泥中之原生動物或微小動物之形成有其特異性，可做為廢水處理結果之有效指標作用，即可由出現之原生動物種類與數量之鑑定結果而當處理後放流水之指標。但建立此種生物管理指標需經多次實際測試結果，並將再出現次數及數據經迴歸方式統計後，獲得相關性高之結果者，才可判定此種原生動物之出現，可否當放流水品質判定之指標生物。

在豬糞尿之活性污泥中出現之原生動物有 16 種左右，微小動物有 13 種，數量非常少，偶而會出現帶殼之變形虫，於水溫 25—30°C 之情況下出現 Opercalaria Coarclata 時，則會去除 BOD 外，pH 值之變動及去氮之效果，然而當處理水不正常產生惡化時，活性污泥中除了纖毛虫會出現外，其他原生動物皆沒有。處理水中累積 $\text{NO}_3\text{-N}$ 太多時，會出現三種有殼偽足虫佔最多，數量多時可達 $4.4 \times 10^4 \text{N.mg MLSS}^{-1}$ 。

(五)農林水產省畜產試驗場之參訪

屬日本畜產研究之主要機構，共分成八個研究部包括遺傳育種、生理繁殖、動物營養、飼養與環境…等，職等在飼養環境部污染物質淨化研究室室長羽賀清典先生之引導下，參訪飼養環境部內之研究室，包括污染物質淨化研究室，廢棄物資源化研究室及廢水與廢棄物處理場等。我等在飼養環境部中，除拜訪福川部長外也與各研究室之研究人員舉行研討，瞭解他們對目前畜禽糞尿處理與利用之研究結果，我等因針對豬糞尿處理問題，包括固體堆肥處理與糞尿廢水之 N、P 去除等提出研商，他們也將目前最新的研發與應用結果提供參考。在豬糞尿處理研究方面，採用 UASB (上流式厭氣污泥床) 之處理方式，可達到去除 BOD 與 N、P 之目的及利用 MAP 結晶過程，降低豬糞尿廢水處理系統之結晶問題外，也達到去 N、P 之目的，以及採用接觸氧化曝氣方式與間歇式污性污泥法去除 N、P 等。

1. UASB 處理系統在豬糞尿廢水之處理結果

所謂新式厭氣發酵法處理畜舍廢水淨化系統之開發，因此系統可提高 BOD 之去除效率，增加沼氣產量外，也可達到去 N 與 P 之效果。其處理流程及現場實際操作系統 (圖 9)，對豬糞尿廢水之處理結果，有機物 BOD 去除率 98~99%，磷 (P) 去除率 80~85%，氮 (N) 去除率 50~90%，處理後之排放水 BOD 60mg/L 以下，T-P 20 mg/L，T-N 50mg/L 以下。此套設備正進行長期之實場測試中。其應用上之限制點為進流原水需屬上澄液，廢水中之 SS (懸浮固體) 含量低才不會發生阻塞現象，因此需加強前處理去除廢水中之固形物，以及厭氣槽中之污泥床污泥顆粒之培養 (微生物顆粒) 才能使其效率發揮。

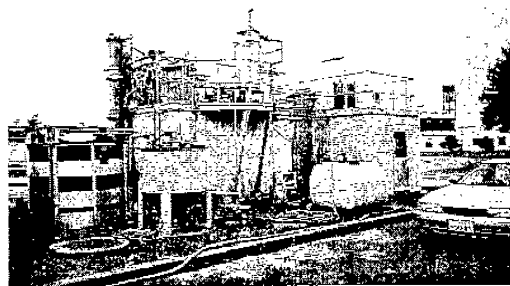
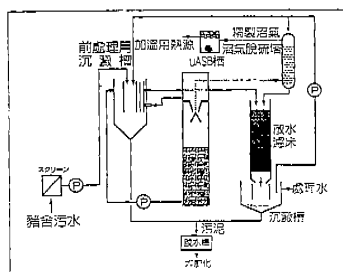


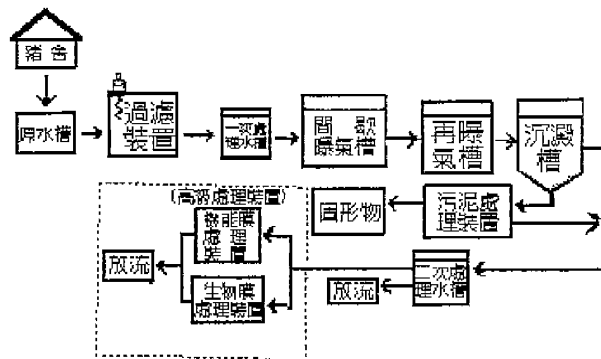
圖 9. UASB 養豬廢水處理規劃系統及實場操作

2. 以結晶方式去除豬糞尿廢水中之 P、Mg 和 Ca 的濃度

豬糞尿廢水中因受飼料之影響內含大量的磷(P)、鎂(Mg)、鈣(Ca)等物質，易造成廢水處理系統之管路結晶阻塞外，也會造成放流水中之 EC 及 pH 高之問題，影響放流水之利用，目前更因灌溉水之 EC 問題，而影響豬糞尿處理後放流水之排放問題。應用所謂 MAP(Magnesium ammonium phosphate)過程之結晶方式，於原廢水時就利用提升 pH 至 8.5 之方式，將內中之 Mg、P、Ca 等物質加以結晶處理，再利用沉澱槽收集之，則可降低後續之結晶困擾問題。

3. 豬糞尿廢水高級處理方式之規劃，為去除豬糞尿廢水中之碳 (COD、BOD)、氮 (T-N)、固體物 (TS, SS) 及無機鹽類 (EC 等)，需採用多段之處理模式，方可達到放流水之標準。處理結果 BOD 1.7 mg/L，SS 0 mg/L，T-N 13mg/L。其詳細處理流程及實場操作 (圖 10) 如下

豬糞尿廢水 → 貯留池 → 稻殼固液分離槽 → 前處理槽 → 間歇式曝氣槽 → 再曝氣槽
 → 沉澱 → 放流
 → 二次處理(機能膜或生物膜) → 放流



本廢水處理流程之特徵為：

- (1) 利用稻殼當固液分離材料；可將過濾後之豬糞固體與稻殼混合後製成堆肥。
- (2) 採用間歇式曝氣方式，除去 COD 與 BOD 外也可兼脫氮之效果。
- (3) 機能膜或生物膜過濾，可去除廢水中之 COD 與無機鹽類降低 EC 值。
- (4) 其進流 BOD 之負荷量需在 $0.17 \sim 0.15 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ 之設定值以下。

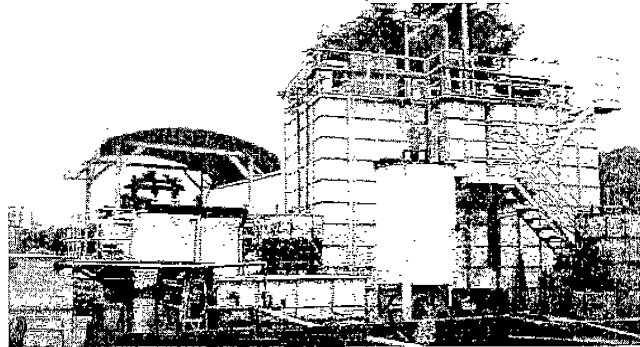


圖 10 豬糞尿廢水高級處理之處理場

4. 糞尿廢水處理場

農林水產省畜產試驗場內共飼養家畜 1260 頭，其中包括乳牛 180 頭，肉牛 90 頭，豬 500 頭，羊 490 頭，每日廢水量 60m^3 ，BOD 負荷量 $245.5\text{kg}/\text{日}$ 。其廢水處理以固液分離二次與接觸氧化曝氣槽為主，處理流程如圖 11，詳細設計規劃流程如

(圖 12)。所採用之固液分離機為擠壓式(圖 13)，分離之固體利用堆肥舍(圖 14)製成有機肥，堆肥場所產生的臭氣則利用石綿脫臭槽(圖 15)，此脫臭高度 2.5m，可含大量水分長期使用不需更換，因此上面長滿植物且內中可培養脫氮菌，因此脫臭效果良好，但需採用較大馬力之抽氣馬達(圖 15)將臭氣抽至脫臭槽內。經過擠壓機之廢水入綜合曝氣槽中(圖 16)再入接觸氧化槽及消毒池後施灌於牧草地或放流。但以施灌牧草地為主。其處理後之水質為 BOD 60mg/L，SS 80 mg/L、大腸菌數 3000 以下、pH 5.8~8.6 間，所產生之污泥原設計施灌於牧草地，但最近也以污泥脫水機脫水製成污泥餅後，再進行堆肥處理製成有機肥施用。有關處理後放流水與污泥施用牧草地之方式，值得國內參考，因目前國內環保法令將處理水之利用，以土壤處理法加以限制，造成處理後之有機肥水無法施用於農地之困擾。

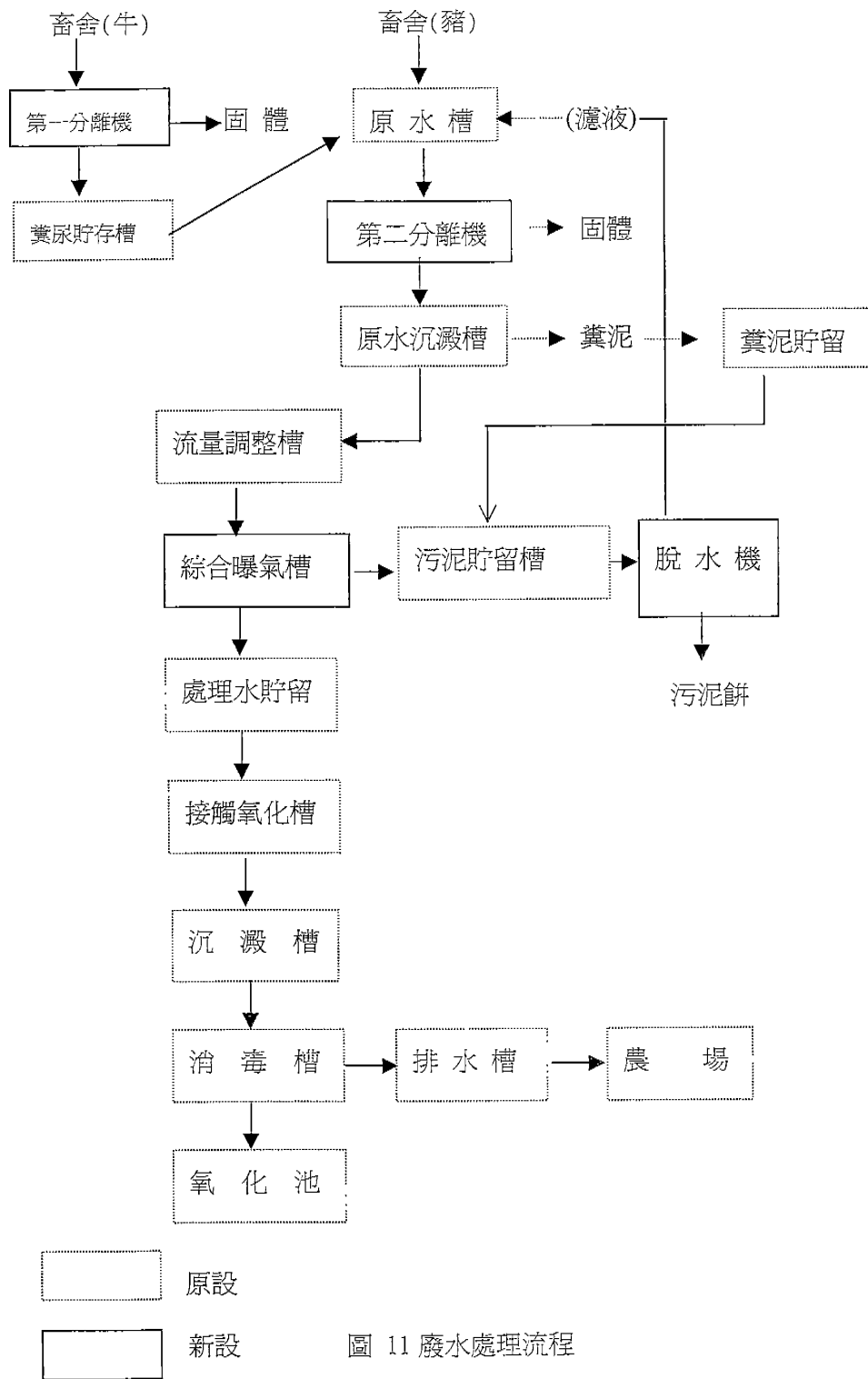


圖 11 廢水處理流程

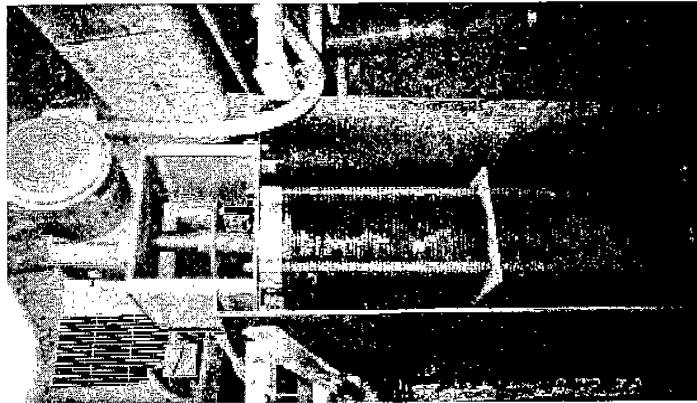


圖 13 擠壓式固液分離機

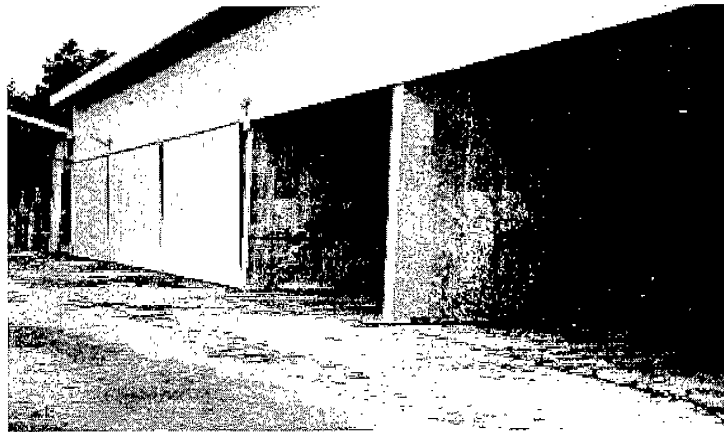


圖 14 堆肥舍

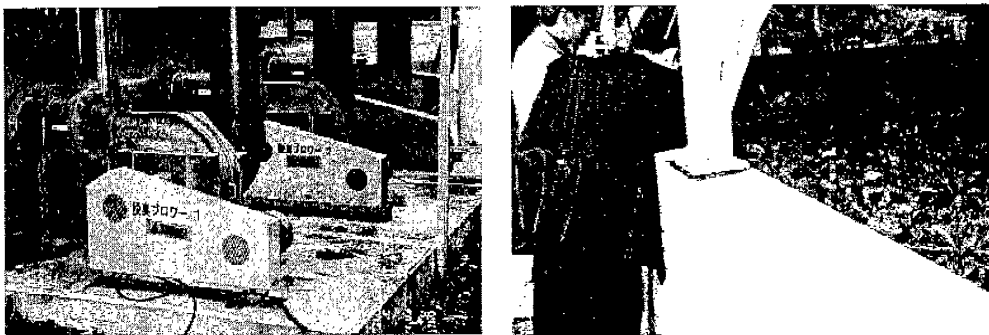


圖 15 脫臭用抽氣馬達(左)及脫臭槽(右)

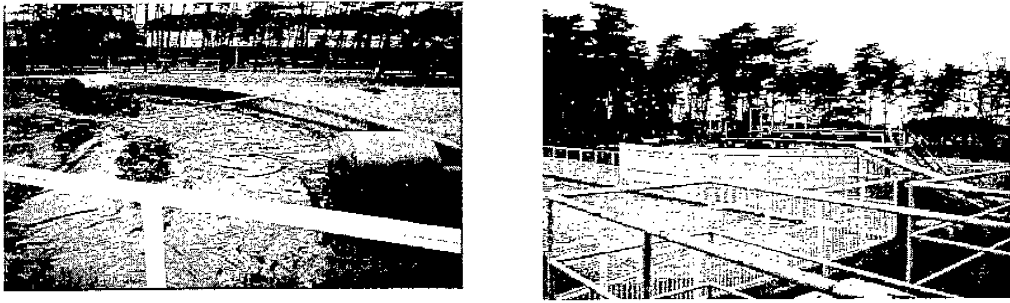


圖 16 綜合曝氣槽

(六) 畜禽糞便堆肥處理之新式脫臭設備之設計與應用

畜禽糞便為轉化為穩定腐熟之有機肥資源化回歸施用於農地，堆肥發酵處理是最佳之處理方式。但不論採用厭氣或好氣發酵處理方式，都會產生大量的臭味氣體，影響周圍之環境，引起抗議，因此皆需設置脫臭處理設備，以往皆以木屑脫臭槽為主。但目前為減少土地面積與提高處理效率已改用新研發之石綿脫臭槽。

石綿 (Rock-wool, RW) 脫臭槽，係採用石綿為脫臭吸附材料，其設計規劃如圖 17，主要包括臭味收集，除塵設施，抽氣馬達，脫臭槽與集水設施等。設計高度 2-2.5m，脫臭槽底部放置石頭，上置石綿，氣體通過速度為每秒 18-25mm，需供給足夠水分，因此上置自動噴霧設備利用集水設施收集之水，其氨 (NH₃) 之進流濃度以 200ppm 以下最適宜。

此種新式脫臭處理設備，實際應用於養雞場與集中堆肥處理場。設置於埼玉縣鶴馬市高倉之中島養雞場，在飼養 200,000 隻之雞場設置一座直徑 12m 圓形堆肥發酵槽 (圖 18)，每日進料 17m³ 之情況下，設置一座面積 20m² 之石綿脫臭槽 (圖 19)。可使排出之氣味氨 (NH₃) 之臭味降至最低，在當場測試 NH₃ 進流 160ppm 經脫臭槽後低於 10ppm，設置於堆肥集中處理場之脫臭槽，其處理效果一樣。

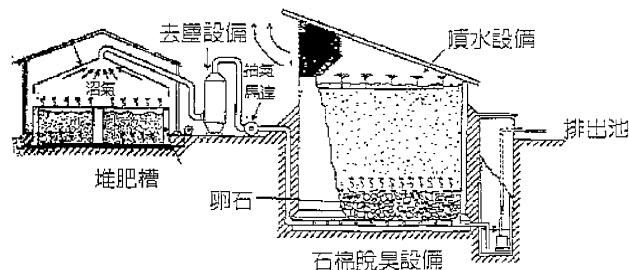


圖 17 石綿脫臭槽之設計規劃

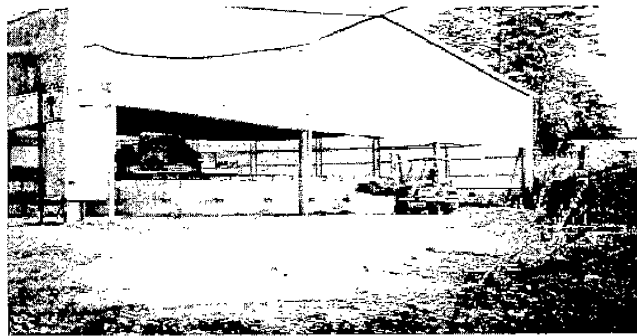


圖 18 圓形雞糞堆肥發酵槽

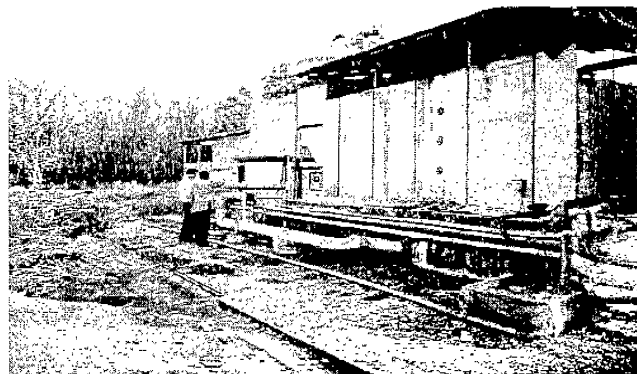


圖 19 石綿脫臭槽運作情形

三、心得感想

- (一)日本原生動物之研究係以學術分類為基礎，進而了解其生態環境，再行擴及於水質指標之判定運用，日本原生動物於水質指標之判定運用範圍主要以生活污水處理為主，於農業或畜牧廢水處理方面之運用較少。
- (二)講師日籍專家大內山雖很專精於原生動物鑑定技術，然因原生動物個體較為微小，鏡檢技術除需有理論基礎外尚需長時間之經驗累積，於短暫三天時間研習，僅能使研習了解一般之觀察原則，實務技術之精進仍需藉由不斷之觀察研究方能有所成就。
- (三)原生動物乃利用污泥中有機物質作為能量來源，於廢水處理過程中大多存在於後段之好氣單元。廢水處理程序是否允當影響原生動物相，可藉由鏡檢得知之各優勢種為指標，評估廢水處理之效能。惟除處理技術外，污染物來源、氣候條件等，亦可能影響原生動物相之變化，仍需藉助理化檢測數據，配合

指標生物利用，以作為最終判定廢水處理好壞之憑據。

- (四)此行順道拜訪日本國立環境研究所地域環境研究室，該室正式之研究人員僅二人，惟全部參予研究之成員可達二十至三十人以上，其來源包括經由國際支援計畫、產學合作推動等方式，每年有很可觀之研究成果發表，此作法於政府組織精簡政策推動之際，值得我國相關研究機構借鏡。
- (五)石綿脫臭槽對畜禽堆肥處理場之脫臭效果顯著，不但所佔空間小，使用期間長且在飽和水分下進行脫臭又具培養脫氮菌之效果。值得做為改善國內木屑脫臭槽之參考。
- (六)研習中獲得原生動物培養分離技術，可大量純化繁殖原生動物，以改善活性污泥之處理效率。
- (七)高級廢水處理技術之應用以處理飲用水或家庭污水為主，對畜禽糞尿廢水則因處理成本之關係，實際應用少。

四、建議事項

- (一)以原生動物為指標判定畜牧廢水處理效能，具輔助環工技術操作不足之優點，於時效性及監測上有其發展運用價值，過去本土化相關資訊缺乏，亟待藉由本次研習學得之基礎技術，由畜產研究單位（畜產試驗所）、家畜疾病防治單位（台南縣家畜疾病防治所）結合學術研究單位進行初步研究，以逐步建立本土化畜牧廢水中原生動物資料。
- (二)經由各項畜牧污染防治講習機會，藉助圖表以平實易懂方式將原生動物觀察所需簡易鏡檢技術，教育基層畜政人員及畜牧場經營者，配合其他理化特性如溫度、酸鹼值、溶氧量檢測等資料，以改善畜牧廢水處理及監測效能。
- (三)除強化編制內研究人力外，可經由產業學術之合作、國際間交流方式吸引人才，以提升研發技術能力並落實研究成果。
- (四)為落實原生動物在畜禽廢水處理水質之判定指標，應成立原生動物之研究室以建立原生動物之基本資料。

されるが、浄化に貢献する微小後生動物の比増殖速度は、そのほとんどが0.4/d以下である。また、一般に細菌の比増殖速度は輪虫類や微小貧毛類に比べきわめて大きい、アンモニア酸化細菌 *Nitrosomonas* 属および亜硝酸酸化細菌 *Nitrobacter* 属の比増殖速度はかなり小さい。このため、生物膜法では活性汚泥法に比較して、これらの比増殖速度の小さい微生物が定着可能となる。

しかし、このような微生物の多様化により、微生物の種類が増加するだけでなく、微生物群の相互作用も大きくなる。微生物指標を有効に活用するためには、これらの微生物が一つの「生態系」を形成しているという認識が必要不可欠である。すなわち、特定の微生物のみに着目するのではなく、「生態系」としてどのような状態を示しているのか、という点が重要となる。

(2) 微生物分布の特性

生物膜法の微生物相は、槽内がつねに曝気し攪拌され、比較的均一な環境が維持されている活性汚泥法に比べると複雑であり、多様な微生物群により、構成されている。

反応槽の場所および生物膜の表層部から深部までの場所でも、微生物群の構成種は一般的に異なる。須藤ら¹⁾は、回転板接触法を用いたパイロットプラントにおいて、硝化用と脱窒用回転板における生物膜量、微生物種と個体数、および処理性能などを調査し、硝化用回転板における優占種は、1段 *Epistylis* 属、2段 *Zoothamnium* 属、3段と4段 *Cinetochilum* 属、脱窒用回転板における優占種は、1段 *Carchesium polypinum*、2段 *Aspidisca lynceus*、3段 *Vorticella convallaria*、4段 *Bodo* 属であることを明らかにしている。すなわち、好気条件でも嫌気条件でも、各段における水質と環境に応じて出現する種類ならびに個体数が変動し、各段の優占種は異なる。

生物膜法ではこのように微生物の種の分布は不均一である。このため、生物膜処理プロセスにおける微生物の動態およびその役割に関する代表的で正確な情報を得るためには、生物膜厚の観察に基づき膜厚が薄い場合と厚い場合において評価を考察する必要がある。すなわち、前者においては問題ないが、後者においてはとくに嫌気と好気条件に生息する微生物が両方とも出現することから、好気性微生物が存在すればこれらが膜表面に生息し大きな役割を果たしていると考えることが妥当である。

2.2 物理・化学的因子

物理・化学的因子は種々存在するが、ここではとくに浄化槽の処理の高度・安定化を図るうえでの操作条件として重要な位置付けにある生物膜法における微生物の定着、分布を左右する逆洗および循環について述べることにする。

(1) 逆洗

接触曝気法や散水ろ床法、回転板接触法などの生物膜法においては、微生物が接触材の表面に固着して生息しているため、活性汚泥法のように沈殿槽で固液分離・沈降した微生物塊、すなわち汚泥を曝気槽に返送する必要がない。しかし、定期的に逆洗をかけて接触材に付着し肥厚した生物膜を強制的に剝離し、その付着量を制御する必要がある。

当然のことながら逆洗の直後には微生物量が減少する。さらに、逆洗直後の水質については、SS除去率は良好となるが、BOD、窒素などの除去率は低下するのが一般的であることから、逆洗直後における微生物指標性と通常の環境条件下の場合とを比較評価して解析する必要がある。

(2) 循環

脱窒ろ床接触曝気法における循環は、窒素除去のために必要不可欠である。この循環においては、好気処理された汚水が嫌気槽へと移送されるため、通常ならば嫌気の状態下では生息できない好気性微生物が、脱窒ろ床槽内で観察される場合が多い。このように循環の有無、循環比によって生物相は変化することから、生物膜法の微生物指標性から、評価、解析することは重要である。

3. 微生物による浄化能評価

微生物により浄化能を評価するうえではさまざまな因子の影響を受ける。なお、指標性微生物の生態系における役割等に基づき指標性微生物と浄化能との関係についてまとめると以下に示すとおりである。

3.1 指標性微生物

生物膜法における指標性微生物については表2に示すとおりである^{2)~6)}。なお、活性汚泥法でも同じであるが、生物膜法においても、指標性微生物は捕食者の存在により変動することに留意しておく必要がある。たとえば、柄があり固着生活する *Tokophrya* 属、*Podophrya* 属などの吸管虫類は、*Paramecium* 属、*Cyclidium* 属などの繊毛虫類に吸管を差しこんで細胞成分を吸引する捕食性原生動物であり⁷⁾⁸⁾(写真1)、これらが存在するかしないかで個体変動が大きいことから、捕食性原生動物の存在においては十分な評価、解析を行なう必要がある。接触曝気槽における *Paramecium* 属と吸管虫類の個体数の関係は図1に示すとおりである。吸管虫類が増加すると *Paramecium* 属は減少し、ほとんど存在しなくなるが、吸管虫類が存在しないと *Paramecium* 属が大量出現するようになる。

したがって、このような場合 *Paramecium* 属の個体群が、その捕食者である吸管虫類の個体群に大きく左右さ

表2 生物膜法における指標性の高い微生物

接触曝気法	生物膜ろ過法	回転板接触法	嫌気性ろ床法
Monas 属	Bodo 属	Monas 属	Monas 属
Peranema 属	Aspidisca 属	Bodo 属	Eriosiphon 属
Chilodonella 属	Paramecium 属	Trachelophyllum 属	Paramecium 属
Prorodon 属	Trachelophyllum 属	Aspidisca 属	Caenomorpha 属
Carchesium 属	Carchesium 属	Vorticella 属	Metopus 属
Cinetochilum 属	Cinetochilum 属	Epistylis 属	Trimyema 属
Stenostomum 属	Spirostomum 属	Opercularia 属	Euplotes 属
Centropyxis 属	Arcella 属	Zoothamnium 属	Oxytricha 属
Chaetonotus 属	Hemiphrys 属	Cinetochilum 属	Lagynus 属
Philodina 属	Chilodonella 属	Arcella 属	Drepanomonas 属
Rotaria 属	Philodina 属	Euglypha 属	Uronema 属
Lepadella 属	Rotaria 属	Philodina 属	Colpidium 属
Aeolosoma 属	Colunella 属	Rotaria 属	Lepadella 属
Nais 属	Aeolosoma 属	Aeolosoma 属	Psychoda 属
Dero 属	Nais 属	Nais 属	Beggiatoa 属
Beggiatoa 属	Thiospira 属	Beggiatoa 属	Sphaerotilus 属
Sphaerotilus 属	Beggiatoa 属	Sphaerotilus 属	Thiothrix 属
Leptomitus 属	Zoogloea 属	Zoogloea 属	

頻度が高い微生物を指標生物とする場合が多い。しかし、出現頻度だけに頼るのは合理的ではなく、出現頻度は低いが出現個体数が多い、出現頻度は高いが出現個体数が少ない、などの質と量の両者から解析する必要がある。このことから、個体数の大小に着目した評価を十分に行なうことが重要と考えられる。

3.2 浄化能評価

(1) 生物膜の状態と処理状態の判定

微生物相については、処理法によって異なるのはもちろんのこと、同一の処理プロセス、運転操作であつても、まったく同じ微生物相が

出現することは通常ない。また、安定した処理水水質が得られている場合であっても、微生物の個体群は同じでなく大きく変化することが一般的である。

このような現象の原因は、処理プロセスにおいて、微生物が単一の因子のみに左右される純粋培養系で増殖しているのではなく、きわめて多因子の混合培養系において増殖しているからに他ならない。以上のことから、生物指標を「生態系」としてとらえる視点が重要である。

表3は、好気性生物膜法中の接触曝気法、生物膜ろ過法、回転板接触法を対象として、出現頻度が高く、なおかつ出現個体数の多い、指標性の高い微生物により構成される微生物相によって生物膜性状と処理状態の良否の関係をまとめたものである^{1)3)5)~6)}。

生物膜の性状と処理状態の良否を判定するうえで表3を利用する場合には、たんにある種の微生物の出現の有無を判断材料としたり、もしくは表3にある状態において、すべての微生物が同様に出現することを前提とせず、微生物の出現頻度と出現個体数の両者から評価、解析するべきである。

脱窒ろ床接触曝気法において、出現する微生物個体数と処理水水質との定量的な関係について検討した結果、微生物個体数がある程度を超えた場合、処理水水質との間に関係のあることがわかっている。

(2) 生物膜の嫌気状態の判定

生物膜は通常付着担体を基盤として膜が形成され、表面は好気状態が保持されていても内部は嫌気状態を呈する場合が多い。この嫌気状態をより積極的に活用したのが嫌気性ろ床および脱窒ろ床である。好気性の生物膜については従来より多くの知見が集積されていることからここでは嫌気状態に着目することとする。

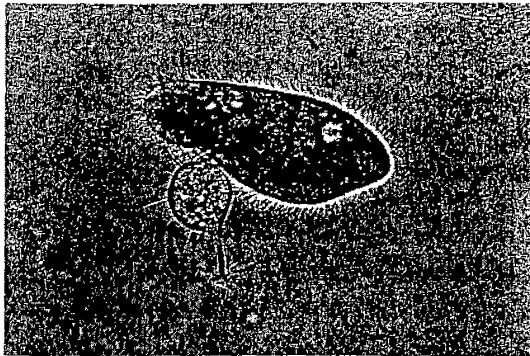


写真1 Podophrya 属が Paramecium 属を捕食しているところ

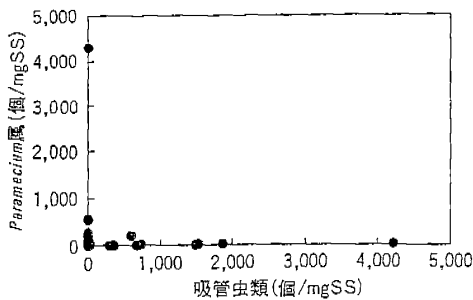


図1 生物膜に出現する Paramecium 属の個体数と吸管虫類の個体数との関係

れるので、Paramecium 属の出現する個体数と水質との間において良好な相関関係が得られなくなる場合がある。

このため、指標性微生物を選択する方法としては出現

表3 生物膜に出現する微生物と処理特性

生物膜の状態	出現微生物	処理状態
初期運転時の生物膜	<i>Beggiatoa alba</i> (細菌類) <i>Zoogloea ramigera</i> (細菌類) <i>Monas</i> 属 (鞭毛虫・原鞭毛虫類) <i>Bodo</i> 属 (鞭毛虫・原鞭毛虫類) <i>Orcomonas</i> 属 (鞭毛虫・原鞭毛虫類)	生物膜の色相は浅褐色で、生物膜は粘性がなく、分散状細菌が非常に多い。処理水のSSが高い場合が多い。
高い負荷の生物膜	<i>Beggiatoa alba</i> (細菌類) <i>Zoogloea ramigera</i> (細菌類) <i>Orcomonas</i> 属 (鞭毛虫・原鞭毛虫類) <i>Colpidium</i> 属 (繊毛虫・膜口類) <i>Colpoda</i> 属 (繊毛虫・毛口類) <i>Plagiopylla</i> 属 (繊毛虫・毛口類)	生物膜の色相は黒色から灰色を呈し、溶存酸素は1mg/l以下であることが多く、良好な処理水質は得られにくい。生物膜が厚く、逆流等を頻度高く行なわないと閉塞を起こしやすい。
適正な負荷の生物膜	<i>Epistylis</i> 属 (繊毛虫・縁毛類) <i>Vorticella convallaria</i> (繊毛虫・縁毛類) <i>Carchesium</i> 属 (繊毛虫・縁毛類) <i>Philodina</i> 属 (輪虫類) <i>Rotaria</i> 属 (輪虫類)	生物膜の色相は普通の場合には褐色で、輪虫類が優占した場合には良好な処理水質が得られる。適正な厚さと圧密性のよい生物膜が維持される。
低い負荷の生物膜	<i>Arcella</i> 属 (肉質虫・有殻アメーバ類) <i>Centropyxis</i> 属 (肉質虫・有殻アメーバ類) <i>Euglypha</i> 属 (肉質虫・有殻アメーバ類) <i>Trinema</i> 属 (肉質虫・有殻アメーバ類) <i>Coleps</i> 属 (繊毛虫・原口類)	生物膜の色相は灰褐色で、硝化が進行し、処理水質も良好な場合が多い。生物膜の厚さは薄い。
更新の速い生物膜	<i>Philodina</i> 属 (輪虫類) <i>Rotaria</i> 属 (輪虫類) <i>Aeolosoma hemprichi</i> (貧毛類) <i>Chaetogaster</i> 属 (貧毛類) <i>Pristina</i> 属 (貧毛類) <i>Nais</i> 属 (貧毛類)	後生動物のバイオマス量が適正に保持されている状態で、良好な処理水質が得られ、汚泥発生量も少ない。
後生動物の異常増殖した生物膜	<i>Moina</i> 属 (甲殻類) <i>Cyclops</i> 属 (甲殻類) <i>Aiona</i> 属 (甲殻類) <i>Nais</i> 属 (貧毛類) <i>Aeolosoma hemprichi</i> (貧毛類)	処理水のSSが増加し、溶解性BODは低い、懸濁性BODが増加する。
嫌気条件の発生する生物膜	<i>Beggiatoa alba</i> (細菌類) <i>Caenomorphia</i> 属 (繊毛虫・異毛類) <i>Metopus</i> 属 (繊毛虫・異毛類) <i>Paramecium</i> 属 (繊毛虫・毛口類) <i>Lagynus</i> 属 (繊毛虫・原口類)	溶存酸素濃度が低下し嫌気性化して悪臭を発生し、処理水質が悪化する。白濁した処理水の得られる場合が多い。
解体の発生する生物膜	<i>Beggiatoa alba</i> (細菌類) <i>Cinetochilum</i> 属 (繊毛虫・膜口類) <i>Amoeba</i> 属 (肉質虫・アメーバ類)	生物膜の色相は灰褐色を呈し、生物膜の圧密性は悪くなり、上澄水中には分散状SSが多くなる。

嫌気状態の判定については、ORPに依存するのが一般的であるが、嫌気層の深部等での測定は困難であり、微生物相による評価が重要である。

嫌気状態における微生物の役割は、現時点においては、あまり明確にされていないが、浄化槽に出現頻度の高い微生物の出現条件としては、*Caenomorphia* 属は嫌気状態が強い条件のみ、*Metopus* 属は通性嫌気から嫌気状態まで、*Paramecium* 属は通性嫌気から好気状態において出現することが明らかになっている²⁾⁵⁾。これらの微生物は、顕微鏡で簡単に同定と計数が可能である。

脱窒ろ床槽を上部より水平に3分割し、それぞれ上部、中部、下部とした3点における微小動物相についてみると、①微生物の種類と個体数は上部と中下部との差が大

きく、中部と下部との差が少ない、②出現頻度の高い種類は *Caenomorphia* 属、*Metopus* 属および *Paramecium* 属、③深度の分布は、*Caenomorphia* 属は上部では中下部と比べて著しく減少する傾向にあり、*Metopus* 属は深度分布の差が認められず、*Paramecium* 属は上部から下部へ減少する傾向にあった。

これらの結果に基づき表4に示すように *Caenomorphia* 属、*Metopus* 属、*Paramecium* 属は嫌気状態を指標とする微小動物として利用できると考えられる。

(3) 微生物指標の活用

微生物指標を活用するうえで、微生物の餌生物の選択機構は重要であり、これにより微生物と特定の水質との関係の推定ができる。たとえば、輪虫類 *Rotaria* 属と *Philodina* 属は⁹⁾、体長40~80 μ mで強力な繊毛環の繊毛運動によって懸濁物質を吸引し咀嚼器内で粉砕してから消化し、原生動物が摂食できない大きなフロックを取り込むことが可能であることから、透明性、SSの指標としての有効性が期待できる。

また、*Glaucoma* 属は体長40~80 μ mの卵形で、0.1 μ mの粒子までも捕捉でき⁸⁾、SSの除去を期待できるが輪虫類に比べる過吸引力が弱い。このように微生物の種類は浄化と密接に関係ある微生物指標として

評価に十分反映できると考えられる。

また、微生物の出現頻度は一定の環境条件下におけるその種類の耐性を反映しており、微生物の出現頻度から、微生物の生存環境条件が推定できると考えられる。すなわち、微生物の至適環境条件は一般に狭いが、微生物は至適環境条件下では最も早く増殖することができることから、生物膜法において微生物が多量に出現するとき、

表4 嫌気状態を指標とする微小動物

微小動物	嫌気	通性嫌気	好気
<i>Caenomorphia</i> 属	■		
<i>Metopus</i> 属	■	■	
<i>Paramecium</i> 属		■	■

その種が至適環境条件にいることが判定でき、さらにこの種の既知の至適環境から処理条件を推定することができる。

微生物、とくに生物処理に深く関わるタイプの至適環境条件としての pH については図2のとおりである^{9)~12)}。

微生物はそれぞれ特有の増殖速度^{11)~14)}(表5)をもつので、同様な至適環境条件を与えても、同じ単位時間において増殖速度の速い微生物個体群の濃度は、変動の幅が大きい。したがって、指標性微生物により水質を判定する場合、微生物の増殖速度を考慮することにより、水質の時間的な変化も把握することが期待できると考えられる。

4. 生物膜法における微生物学的課題

生物膜法における微生物相と水質の相関関係に関して

表5 微小動物の増殖速度

微小動物	増殖速度(1/d)	温度(℃)	
原生動物	<i>Aspidisca costata</i>	1.2	20
	<i>Carchesium polypinum</i>	1.8	20
	<i>Colpidium campylum</i>	3.6	20
	<i>Colpoda steinii</i>	5.5	30
	<i>Epistylis plicatilis</i>	1.6	20
	<i>Monas guttula</i>	4.1	25
	<i>Paramecium caudatum</i>	1.4	20
	<i>Stentor coeruleus</i>	0.75	19
	<i>Tetrahymena pyriformis</i>	5.3	25
	<i>Trithigmastoma cucullatus</i>	1.54	20
後生動物	<i>Vorticella convallaria</i>	2.2	20
	<i>Vorticella microstoma</i>	3.3	20
	<i>Aeolosoma henrichi</i>	0.35	20
	<i>Dero</i> 属	0.07	20
後生動物	<i>Lecane</i> 属	0.31	20
	<i>Nais</i> 属	0.12	20
	<i>Philodina</i> 属	0.23	20
	<i>Pristina</i> 属	0.12	20
	<i>Rotaria</i> 属	0.28	20

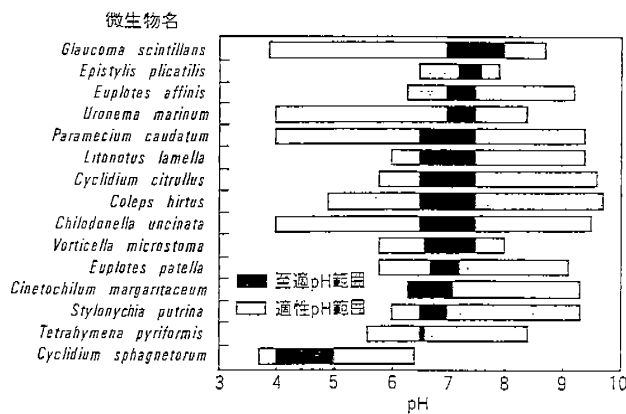


図2 繊毛虫類の生存範囲と適性 pH との関係

は、いまだ未解明な事象も多いが、これからの課題として、とくに重要と考えられる事項は以下に列記するとおりである。

1) 生物膜処理プロセスの処理特性に対応した解析法の開発

生物膜ろ過法、接触曝気法、回転板接触法、脱窒ろ床接触曝気法などの生物膜法においては膜の成長状態、生物相は異なるため、膜の厚さ、運転操作条件を踏まえて微生物相と処理性能の安定性判定との関係を明らかにする必要がある。

2) 嫌気性生物膜における微生物相と処理性能との関係に関する評価・解析

嫌気性の生物膜法における微生物の役割について明らかにされつつあるが、十分な知見が蓄積されているとはいえないため、とくにこれからは脱窒ろ床の生物膜の浄化における役割および指標性に関する知見を集積する必要がある。

3) 生物膜のサンプリング調査法の適正化

生物膜の微生物相を評価するうえで、細菌についてはホモジナイザーを用いる生物膜の均一化が有効であるが、貧毛虫類のような体長の長いものや、長い柄をもつ縁毛虫類は切断され、同定または計数は困難であることから、生物膜をピンセットでほぐした後、こまごめピペットで吸引押し出しで行なう方法等、さらに適切な手法を開発する必要がある。

4) 微生物相観察のサンプリング量の適正化

活性汚泥法のような均一なサンプルでは0.05mlで十分であるが、生物膜法の場合、高い再現性を得るためには0.1mlが適正と考えられる。サンプリング量と精度については統計解析を含め、適正化手法を開発する必要がある。

5) 微生物相の画像解析等による評価手法の開発

生物膜等に出現する微小動物の観察を行なううえで、顕微鏡観察のみでなく画像処理を応用した解析による評価が重要と考えられることから汎用化できる技術開発が必要である。

6) 微小動物の質量に基づく総合評価

原生動物、微小後生動物のいずれも環境条件、成長段階で個体の大きさが異なることから、個体数のみでなく質と量を考慮した浄化能等に関する評価手法を開発する必要がある。

7) 微小動物の多形性に基づく解析評価

微小動物は食物源とする種類により形状が変化することが知られていることから、食性と形状の関係に着目した同定、分類のあり方について、さらに検討を行なう必要がある。

5. おわり

生物膜法は浄化槽における重要な位置付けにあり、その高度化を図るうえではいかに有用微生物が定着し、いかに適正に分布するかの最適条件を明らかにする必要があるが、本報で述べたごとく微生物指標とする出現微生物の質と量に着目した評価を行なっていくことにより達成できるものと考えられる。なお、最近では生物膜法を浄化の基本とする浄化槽の構造を決める建築基準法において、その性能規定化が社会の耳目を集めている。具体的な構造を規定するという方向から、性能の評価方法を規定するという方向に変換されていることから、これからは簡易かつ的確な浄化槽の性能評価・予測を行なう手法を構築することができるよう、さらに微生物の指標性と処理性能との関係に関する研究を推進する必要がある。

—参考文献—

- 1) 須藤隆一, 岡田光正, 森 忠洋: 回転円板法における微生物管理, 用水と廃水, 19(7)61~70(1977).
- 2) 須藤隆一, 稲森悠平: 図説 生物相からみた処理機能の診断, p. 321, 産業用水調査会, 東京(1985).
- 3) 稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一: 好気性微生物と水処理, 月刊浄化槽, 176, 29~38(1990).
- 4) 須藤隆一編著: 微生物固定化法による排水処理, p. 284, 産業用水調査会, 東京(1988).
- 5) 建設省建築研究所: バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書, p. 426(1994).
- 6) Kinner, N. E., Curds, C. R.: Development of protozoan metazoan communities in rotating biological contactor biofilms, *Water Research*, 21(4)481~490(1987).
- 7) Saibado, H., Gracia, M. P., Amigo, J. M.: Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants, *Water Research*, 29(4)1041~1050(1995).
- 8) 須藤隆一, 岡田光正, 稲森悠平: 微生物個体群の変動と相互作用, 微生物学基礎講座9巻, 微生物生態学 I, p. 205, 共立出版, 東京(1986).
- 9) 小島貞男, 須藤隆一, 千原光雄編: 環境微生物図鑑, p. 776, 講談社サイエンティフィク, 東京(1995).
- 10) 沈 韜芬, 章 宗涉, 龔 循矩, 顧 曼如, 施 之新, 魏 印心: 微生物監測新技術, p. 524, 中国建筑工业出版社, 北京(1989).
- 11) Bick, H.: *Ciliated Protozoa*, WHO (1972).
- 12) Curds, C. R., Vandyke, J. M.: The feeding habits and growth rates of some fresh water ciliates found in activated sludge plants, *J. Appl. Ecology*, 3, 127~137(1966).
- 13) 稲森悠平, 国安裕子, 須藤隆一: 生物処理における微小後生動物の役割に関する研究, 日本水処理生物学会誌, 23(2)15~23(1987).
- 14) Sudo, R., Aiba, S.: Growth rate of vorticellidae isolated from activated sludge, *Japanese Journal of Ecology*, 21(1,2)70~76(1971).

畜舎排水処理の活性汚泥に出現する微小動物

金主鉉・西村修・全恵玉・大内山高広・
千葉信男・山田一裕・須藤隆一

日本水処理生物学会誌 第35巻第4号 抜刷

Reprinted from Japanese Journal of Water Treatment Biology
Vol.35, No. 4, pp.235-245 (1999)

日本水処理生物学会

Japanese Society of Water Treatment Biology

畜舎排水処理の活性汚泥に出現する微小動物

Microfauna of Activated Sludge from a Livestock Wastewater Treatment

金主鉉¹、西村修¹、全憲玉¹、大内山高広²、千葉信男¹、山田一裕¹、須藤隆一¹

¹東北大学大学院工学研究科/〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06

²(株)日本環境クリエイトつくば研究所/〒300-3261 つくば市花畑2-10-19

JU-HYUN KIM¹, OSAMU NISHIMURA¹, HE-OK CHUN¹, TAKAHIRO OUCHIYAMA²,
NOBUO CHIBA¹, KAZUHIRO YAMADA¹, and RYUICHI SUDO¹

¹Graduate School of Engineering Tohoku University/Aoba 06 Sendai 980-8579, Japan.

²Japan Environment Create Co./Hanabatake 2-10-19 Tsukuba 300-3261, Japan.

Abstract

In order to investigate microfauna in activated sludge treating livestock wastewater for control of treatment performance and effluent quality, mixed liquor of intermittent aeration process (pilot scale) and extended aeration process (full scale) were examined microscopically during a year.

The numbers of microanimal species found in activated sludge of intermittent aeration and extended aeration were 16 sp. and 13 sp., respectively. Observed microanimal species was very few in comparison with microfauna of other biological wastewater treatment system. Microfauna in a livestock wastewater treatment system show characteristic and variations in species composition and density with response to SS removal, BOD removal and pH variation. Opercularia coarctata was considered useful indicator of BOD and T-N removal, however flagellated protozoa was only observed in mixed liquor when the percentage BOD removal was below 95% and NH₄-N was accumulated in the reactor. There was a drastic change in microfauna which became dominant by Rhizopoda such as *Euglypha* sp., *Cryptodiffugia oviformis* and *Trinema lineare* with the accumulation of effluent NO₃-N.

These results show microfauna in activated sludge treating livestock wastewater was valuable as indicators of system performance. In addition, it is clear that the indicator organisms observed in activated sludge treating sewage wastewater is possible to be applied to livestock wastewater treatment, in a similar way to their use for the mainance of treatment system.

Key words : microfauna, activated sludge, livestock wastewater, indicator

1. はじめに

活性汚泥は、細菌、原生動物、輪虫など栄養段階の異なる多種多様の微生物で構成された混合培養系で、微生物相は流入基質の組成や濃度、水温、pH、DOなどの環

境条件の影響を受けて変化することが知られている¹⁾。このうち原生動物や輪虫などの微小動物は検鏡のみで識別できるので、同定や計数が比較的容易であるため、処理施設の維持管理や処理水質の性状を判定する指標生物として、十数年前から使われている^{2,3)}。しかし、対象

としている排水は、家庭下水および都市下水であって特定の産業排水や事業場排水を処理する活性汚泥の微小動物相についてはあまり報告されていない。食品排水のような基質や濃度が家庭下水に近い活性汚泥には、類似の微小動物が出現するが、高濃度の排水や特定の基質を含む排水には、出現する微小動物の種類および現存量が少ないことが多い⁴⁾。このような排水には、し尿およびその脱離液、化学工場排水、畜舎排水などがある。これらの活性汚泥には微小動物が全く現れないか、わずかに微小鞭毛虫類が存在するような場合も見受けられる。この原因は阻害物質の存在および流入基質が高濃度であることによると考えられる⁵⁾。

畜舎排水は小規模飼育では農地に還元されていたが、大規模化に伴い排水量が増大してくると、汚濁負荷が著しく大きい（1,000頭飼育で5~10m³・d⁻¹の排水）ために水質汚濁との観点からさまざまな処理システムが導入されるようになった。畜舎排水のなかでも養豚排水は固液分離しにくく窒素濃度も高いので、問題が多い⁶⁾。採用されている処理システムは固液分離のあと活性汚泥法で処理するが、固液分離が悪い場合には、BODは10,000mg・l⁻¹を超える。このため、活性汚泥法の処理施設を大きくしなければならず、また好気性を維持するための電力量は増大する。また、養豚は零細企業が多いため建設費は制限される他、維持管理が容易なものが要望され、通常は長時間曝気活性汚泥法あるいはその変法が採用されている。さらに、中規模以上の畜舎排水処理施設では専門の技術者にかかわって農家自身が維持管理を行っているところが多い現状から、管理指標の確立は汚濁負荷の高い畜舎排水の処理において重要な課題の一つであると考えられる。

そこで本研究では、畜舎排水を処理する活性汚泥の指標生物を明らかにするための基礎的研究としてラグーン方式長時間曝気活性汚泥法の処理施設（実プラント）および回分式間欠曝気活性汚泥法の処理システム（パイロットプラント）を実プラントの近くに設置し、両施設の微小動物相を一年有余にわたって観察し、養豚排水処理における微小動物相について調査を行った。さらに、管理指標としての有用性を検討するために、処理状態の変化および微小動物の出現種や出現個体数が著しく変動した夏期における微小動物相と運転状態や処理効率の関係について考察を加えた。

2. 材料ならびに方法

2.1 養豚排水の活性汚泥処理施設

宮城県高清水町にあるS施設は約5,500頭（母豚500頭）の豚を飼育しており、スノコ式床を通った糞尿汚水は多重円板型脱水機によって固液分離が行われ、固形物はコンポスト化され、出されている。しだがつて、排水は畜舎からの尿汚水および脱離液、洗浄排水と固液分離できなかった糞尿排水を含んでいる。この排水のBODは3,500~6,700mg・l⁻¹、T-N1,000~1,300mg・l⁻¹、T-P160~380mg・l⁻¹と高濃度で変動が大きい。この排水は450m³の原水調整槽に貯留させたあと、ラグーン方式の曝気槽（有効容積3000m³）で12h、1サイクルの回分法によって処理（長時間曝気活性汚泥法）する。水理学的滞留時間は平均30d、平均BOD容積負荷は0.4kg・m⁻³・d⁻¹で、流入0.5h、曝気6.5h、沈殿4.5h、排出0.5hで運転されている。

一方、筆者らの開発した回分式間欠曝気活性汚泥法のパイロットプラントは、回分反応槽、沈砂槽、流量調整槽、汚泥貯蔵槽、処理水貯蔵槽の5室からなり、回分反応槽の容積は17.4m³である⁷⁾。本パイロットプラントは長時間曝気活性汚泥法と同様にS施設の原水調整槽から養豚排水を汲み上げ、流量調整槽に一度貯蔵した後、実験に用いた。本パイロットプラントは24h、1サイクルの回分法とし、1997年8月~1998年8月17日までは流入0.5h、非曝気5.0h、曝気15.0h、沈殿3.5h、排出0.5hの操作設定で、それ以降は流入0.5h、非曝気10.0h、曝気10.0h、沈殿3.5h、排出0.5hと曝気時間を減らし、操作した。Fig. 1に本研究で用いた実験装置のフローシートを示した。

両槽ともMLSSが高く維持され、ときには処理水への汚泥流出が認められた。また、BOD容積負荷は低く維持された。1997年8月から1998年10月までの両槽の流入排水の水質と運転条件はTable. 1に示したとおりである。実プラントの曝気槽の水温は9.2~28.8℃、パイロットプラントの回分反応槽の水温は13.4~33.9℃と季節的な変動がみられた。

2.2 試料の採取および水質測定項目

1997年8月~1998年10月の間、1998年3月までは毎月1回、それ以降は毎週1回以上と計33回両槽の曝気状態における活性汚泥を採取した。合わせて両槽の原水および放流水を採取し、BOD、COD、T-N、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N等の水質分析⁸⁾に供した。なお、MLSSはろ過に

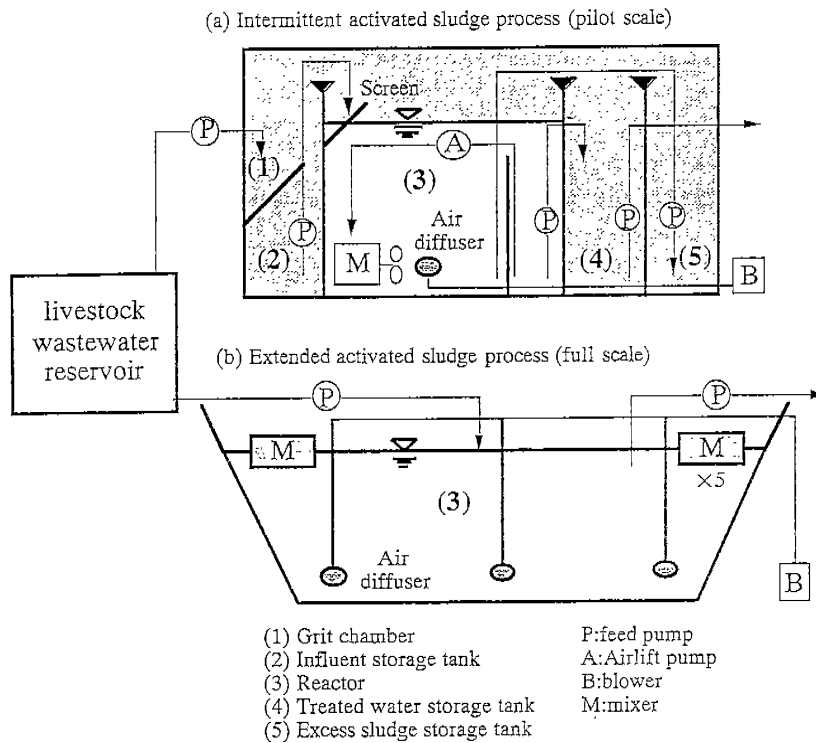


Fig. 1 The outline of activated sludge process with intermittent aeration and with extended aeration used in this study.

Table 1 Operational conditions of activated sludge treatment and influent livestock wastewater quality during the experimental period

Parameter	Intermittent aeration	Extended aeration
• Operational condition		
BOD Volumetric loading ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.2	0.4
BOD MLSS loading ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.03	0.03
T-N Volumetric loading ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.07	0.13
T-N MLSS loading ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.01	0.01
Hydraulic retention time (d)	17	30
MLSS ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	7,000	12,000
MLVSS/MLSS	0.8	0.8
• Influent water quality		
	<u>Mean value</u>	<u>Min-Max</u>
BOD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	3,270	950-8,700
COD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1,270	460-4,000
T-N ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1,190	800-1,900
T-P ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	240	100-1,200
Alkalinity ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	3,380	2,400-5,100
EC ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)	7.03	4.1-9.0
pH	8.1	7.5-8.6

よる乾燥重量法で、SV、水温およびpHは現場にて直接測定を行った。

2. 3 微小動物の同定と計数

採取した試料を汚泥濃度に応じて5倍あるいは10倍に水で希釈し、その0.05mlを定量ピペットを用いて界線入スライドグラスにとり、出現した微小動物の同定と計数を行った。活性汚泥中の現存量は活性汚泥混合液1mgMLSS中の個体数として表した。

3. 結果および考察

3. 1 出現種と現存量

Table 2に示したように、活性汚泥に出現した微小動物は肉質鞭毛虫類、繊毛虫類、輪虫類に限られており、種類数もきわめて少なかった。回分式間欠曝気法では16種、長時間活性汚泥法では13種とわずかであった。都市下水の1年間にわたる調査⁹⁾では、回数は異なるものの属までの同定でも74種が出現しており、これに比較すれば著しく少ないといえる。また、都市下水をはじめ通常

の有機排水の活性汚泥では、良好な処理が行われている場合には固着性あるいはほふく性の原生動物が多量に出現することが知られているが、多数出現したのは、*Opercularia*一種のみであった。長時間曝気活性汚泥には、都市下水にもよく出現し中間汚泥性生物として知られている *Trachelophyllum pusillum* が比較的多数出現した。

Table 3およびTable 4にはそれぞれ長時間曝気および回分式間欠曝気の活性汚泥の微小動物の一例を示した。両者とも微小動物の多様性が著しく低いことがわかる。また特徴的なのは *Opercularia coarctata* が多量に出現したときの処理水はBOD、T-N濃度が低いことである。Table 3に示す4月16日の長時間曝気活性汚泥では、*O. coarctata* が $1,260\text{N}\cdot\text{mgMLSS}^{-1}$ と多数出現しており、このときの処理水BOD、T-N濃度は $37, 30\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と極めて良好な水質が得られていることがわかる。しかし、処理水BODおよびT-Nが $140\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $460\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ まで上昇し、処理水T-Nのうち $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が $420\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と高い割合を占めた8月10日では *Tetramitus rostratus* しか出現しなかった。回分式間欠曝気の活性汚泥においてもTable 4に示したように、処理水BOD、T-N濃度がそ

Table 2 The species of protozoa and rotatoria and their frequency of occurrence observed in activated sludge process

Group	Observed species	Intermittent aeration	Extended aeration
Mastigophora	<i>Tetramitus tostatus</i>	+	+
	<i>Oicomonas termo</i>	+	+
	<i>Trepomonas agilis</i>	+	+
	<i>Bodo edax</i>	+	+
	<i>Cercomonas crassicauda</i>	+	+
	<i>Entosiphon sulcatum</i>	+	+
	<i>Anisonema truncatum</i>	+	+
Sarcodina	<i>Cryptodiffugia oviformis</i>	+++	+
	<i>Trinema lineare</i>	+++	-
	<i>Euglypha</i> sp.	+++	+
	<i>Arcella vulgaris</i>	+	
Ciliata	<i>Vorticella microstoma</i>	+	
	<i>Opercularia coarctata</i>	++	++
	<i>Opercularia aselliicola</i>	+	
	<i>Trachelophyllum pusillum</i>	+	++
	<i>Loxophyllum meleagris</i>		+
	<i>Colpoda</i> sp.	+	
Rotatoria	<i>Rotaria rotatoria</i>	+	

+ : present, ++ : common, +++ : very common

それぞれ $7\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $66\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と有機物および窒素が良好に除去されている6月22日では *O. coarctata* が $960\text{N}\cdot\text{mgMLSS}^{-1}$ と高い出現個体数を示したのに対し、処理水BOD、T-N濃度が $280\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $240\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と著しい処理機能の低下が見られた11月30日では、わずか $60\text{N}\cdot\text{mgMLSS}^{-1}$ しか出現していない。このときの水温は 15.6°C と比較的に低水温であったが、*O. coarctata*はわずかにしか出現していない。しかしながら、11月、12月においては処理性能の低下と水温の低下が同時に進行したうえ、*O. coarctata*の出現個体数および出現頻度も極めて少なかったため、低水温期における*O. coarctata*と処理状態との関係については十分なデータは得られなかった。また回分式間欠曝気の活性汚泥では著しい NO_3 -

-N蓄積がみられた8月10日には、*Euglypha* sp.、*Cryptodiffugia oviformis*、*Trinema lineare*などの有殻仮足類がきわめて高いオーダーで出現している。

回分式間欠曝気に*Opercularia*が主に出現したのは6月から7月の間で、個体数は $2.1\times 10^2\sim 1.0\times 10^3\text{N}\cdot\text{mgMLSS}^{-1}$ であった。このときの処理水BODおよびT-Nは平均値で $13\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ （除去率99.6%）、 $82\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ （除去率93.6%）と良好であった。また本種が出現しているときの活性汚泥は両槽とも処理水のSSが低かった。Fig. 2に回分式間欠曝気における処理水SS濃度と*O. coarctata*の出現個体数の関係を示した。回分式間欠曝気では、*Opercularia*が出現したときの処理水SSは平均 $51\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ なのに対し、出現しなかったときの処理水SS

Table 3 Examples of microfauna in extended aeration activated sludge plant

Effluent quality	16-Apr. 1998	22-Jun. 1998	10-Aug. 1998
Water temp. ($^\circ\text{C}$)	20.7	21.1	27.8
BOD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	37	82	140
COD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	180	170	160
T-N ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	30	160	460
Species and numbers per mgSS of mixed liquor			
<i>Tetramitus rostratus</i>	30	70	60
<i>Bodo edax</i>		40	
<i>Euglypha</i> sp.		180	
<i>Cryptodiffugia oviformis</i>		150	
<i>Trachelophyllum pusillum</i>	50		
<i>Opercularia coarctata</i>	1,260		

Table 4 Examples of microfauna in intermittent aeration activated sludge pilot plant

Effluent quality	16-Apr. 1998	22-Jun. 1998	10-Aug. 1998	30-Nov. 1998
Water temp. ($^\circ\text{C}$)	26.1	26.8	29.4	15.6
BOD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	70	07	16	280
COD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	210	89	110	460
T-N ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	70	66	130	240
Species and numbers per mgSS of mixed liquor				
<i>Tetramitus rostratus</i>	220	320		
<i>Cercomonas crassicauda</i>	110			
<i>Anisonema truncatum</i>	40			
<i>Cryptodiffugia oviformis</i>		430	16,400	6,000
<i>Trinema lineare</i>		50	6,600	130
<i>Euglypha</i> sp.		110	27,900	7,200
<i>Arcella vulgaris</i>		50	130	
<i>Opercularia coarctata</i>	190	960	400	60
<i>Trachelophyllum pusillum</i>	150			

は平均 $70\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と高い値を示した。処理水 SS 濃度の低減結果の一部はこれら *Opercularia* のろ過捕食による懸濁態の有機物の摂食が原因と考えられるが、活性汚泥では定常的な糸状性細菌の出現が認められたうえ、糸状性細菌はその形態の特性上 *Opercularia* により容易に捕食されにくいことから、活性汚泥の沈降性に関する *Opercularia* の影響は少ないものと考えられる。実際に *Opercularia* の出現状態と SVI (Sludge Volume Index) との間では相関関係が認められなかった。Fig. 3 に回分式間欠曝気活性汚泥法における *O.coarctata* と処理水 BOD の関係を示す。処理水 BOD が $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下の場合、*O.coarctata* は平均 $800\text{N}\cdot\text{mgMLSS}^{-1}$ 程度出現しており、処

理水 BOD が $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上と悪くなったときの平均出現個体数 $200\text{N}\cdot\text{mgMLSS}^{-1}$ のおよそ 4 倍と処理水 BOD 濃度が低くなるほど *O.coarctata* の出現個体数は増加する傾向を示した。良好な処理が行われる通常の有機排水の活性汚泥に多量に出現する原生動物のなかで、このように *O.coarctata* が特異的に出現したのは、低い BOD-MLSS 負荷条件下でもほとんどの細菌を摂取する能力を有し、十分なエネルギーの獲得が可能であったためと考えられる。本実験の BOD-MLSS 負荷は両槽ともに約 0.03 と通常の標準活性汚泥法 0.2~0.4 に比べ極端に低く、長時間曝気法 0.03~0.15、オキシデーショントイッチ法 0.03~0.05 に比べ¹⁰⁾、負荷として適切な範囲の下限に近いので、

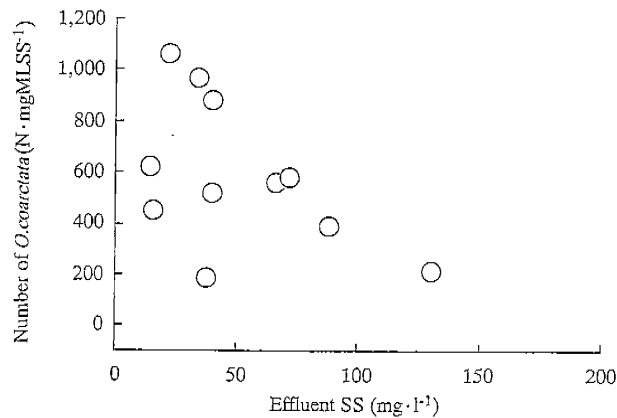


Fig. 2 The relationship between the number of *Opercularia coarctata* and effluent SS concentration in intermittent aeration activated sludge.

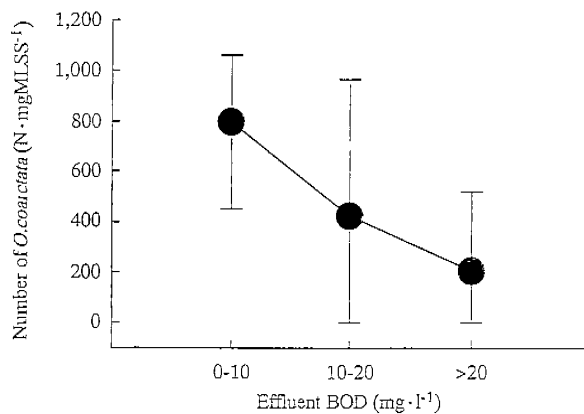


Fig. 3 The relationship between the number of *Opercularia coarctata* and effluent BOD concentration in intermittent aeration activated sludge.

活性汚泥の細菌およびそれらを捕食する原生動物にとっても低いF/M比であったといえる。

また、回分式間欠曝気の *O.coarctata* の出現個体数と処理水 T-N に関しては Fig. 4 に示したように、処理水 T-N が低くなるほど、出現個体数は多くなる傾向を示した。これは *O.coarctata* が T-N のほとんどを占める $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積度合いに起因する pH 変動に対し、高い指標性を示したためと考えられる。Fig. 5 に示した *O.coarctata* と pH の関係からも明らかなように、pH 変化に伴い出現個体数は変動する。pH の変動は主に $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積状況に影響を受け、脱窒に必要な有機炭素源の不足に伴う $\text{NO}_3\text{-N}$ が蓄積し、処理水 T-N 濃度が高くなり

pH が低下する。このため *O.coarctata* は T-N の処理性能を反映すると考えられる。Fig. 6 に処理水 pH と処理水 $\text{NO}_3\text{-N}$ および T-N 除去率を示した。Sudo ら¹¹⁾は *Opercularia* と同じツリガネムシ目 (Sessilida) に属する *Vorticella microstoma* を用いた実験で、pH の変化は *V. microstoma* の比増殖速度に著しい影響を与えることを報告しており、pH7.0 以下では pH が 1 下がることで比増殖速度は平均 0.8d^{-1} 低下すること、pH8.0 以上では斃死すると述べている。

O.coarctata および *O.asellicola* は他の畜舎排水の活性汚泥でも観察しているので^{12,13)}、*Opercularia* は畜舎排水の処理状況を示す指標生物になるものと考えられ、従来

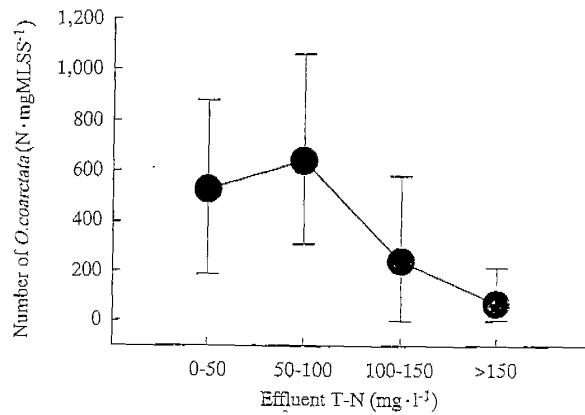


Fig. 4 The relationship between the number of *Opercularia coarctata* and effluent T-N concentration in intermittent aeration activated sludge.

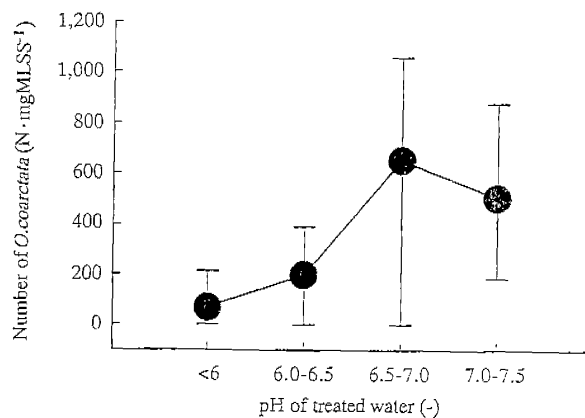


Fig. 5 The relationship between the number of *Opercularia coarctata* and effluent pH value in intermittent aeration activated sludge.

の知見のように有機物の除去のみならず pH に対する指標性が認められたことから、硝化・脱窒の進行状態を診断するにも有効であることが示唆された。

一方、両装置ともに、嫌気性条件の時に出現する *Tetramitus rostratus*, *Trepomonas agilis*, *Cercomonas crassicauda*, *Bodo edax* 等々微小鞭毛虫類の出現頻度も高かったが、保持 MLSS 濃度が高く、また流入水の水質変動に伴い MLSS が急増したり、部分的にスカムが形成されることもあって、曝気槽あるいは回分反応槽内に嫌気性条件が局所的に形成されていたためと考えられる。これらの微小鞭毛虫類しか現れないこともあり、そのよ

うなときの処理水は BOD 除去率 95% 以下と低いので、微小鞭毛虫類は処理状況の悪化を示す指標生物になるものと考えられる。

3. 2 有殻仮足類の優占化

Fig. 7 に回分式間欠曝気活性汚泥法における有殻仮足類と処理水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度および水温の経日変化を示した。6 月中旬から 3 種の有殻仮足類は増加しはじめ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積がみられた 8 月では *Euglypha* sp. $2.7 \times 10^4 \sim 4.2 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mgMLSS}^{-1}$, *C.oviformis* $1.3 \times 10^4 \sim 3.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mgMLSS}^{-1}$, *T.linearis* は $5.3 \times 10^3 \sim 8.3 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mgMLSS}^{-1}$

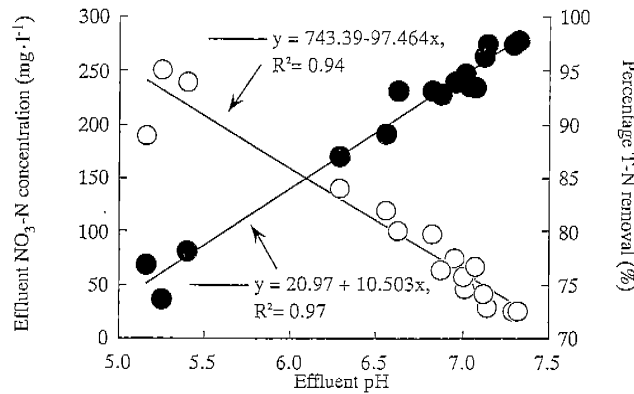


Fig. 6 The relationship between effluent pH value and effluent $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, percentage T-N removal in intermittent aeration activated sludge.

Symbols : ○, Effluent $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration ●, Percentage T-N removal

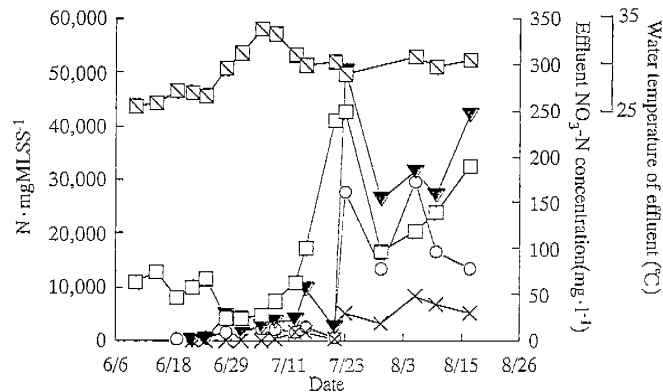


Fig. 7 Rhizopoda populations in intermittent aeration activated sludge pilot plant.

Symbols : ○, *Cryptodiffugia oviformis* ▼, *Euglypha* sp.
×, *Trinema lineare* □, Effluent $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration
▢, Effluent temperature

mgMLSS⁻¹に達した。Table. 5 には比較的出現数の高い微小動物の出現最高個体数を示した。活性汚泥混合液中にこれら有殻仮足類が10⁵オーダーの現存量を示すことはあまり報告されていない。

Fig. 8 に有殻仮足類と処理水 NO₃-N の関係を示したように有殻仮足類と処理水 NO₃-N の間では比例関係の傾向がみられた。NO₃-N が150mg・l⁻¹以上蓄積する場合の処理状態は、活性汚泥混合液中の pH が5.1~6.3と酸性側にあり、NH₄-N の蓄積はなくほぼ完全に硝化が進行した状態であったことから、これら有殻仮足類は NO₃-N が蓄積する環境状態、すなわち硝化により活性汚泥の混合液の pH が低下した状態を表すものと考えられる。有殻葉状仮足類 *Arcella vulgaris* を用いた率らの純粋培養実験¹⁴⁾では、pH4.0~5.0の条件においても比増殖

速度が0.6~0.9d⁻¹と比較的高い増殖能力を示したと報告しているので、これらの有殻仮足類は繊毛虫類に比べ pH に対する耐性がきわめて高いものと考えられる。

活性汚泥に出現した有殻仮足類のうち、*Euglypha* は硝化の進行を示す指標生物としてよく知られているが²¹⁾、沼などの底泥に生息²²⁾している *C.oviformis* が活性汚泥に出現し、しかも優占種になったという報告例は見当たらない。本種は Fig. 9 (a) に示したように圧縮されたびん状の形態をしており、検鏡によると15~20 μm、25~30 μm の2型がみられ、おおむね50%ずつを占めている。A型は小型であり、細胞は老令してくると褐色を呈する。Fig. 9 (b) は大型 (B型) *C.oviformis* の写真である。若い細胞は透明であるが (左の写真) 老令化してくると褐色に変化する。両者とも開口部は円形で幾分えり状構造

Table 5 Maximum population of microanimals frequently observed in intermittent aeration activated sludge pilot plant

Observed smaller animals	Numbers per mgSS of mixed liquor
<i>Tetramitus rostratus</i>	350
<i>Cryptodiffugia oviformis</i>	44,000
<i>Trinema lineare</i>	8,300
<i>Euglypha</i> sp.	54,000
<i>Arcella vulgaris</i>	410
<i>Trachelophyllum pusillum</i>	180
<i>Opercularia coarctata</i>	10,000
<i>Rotaria rotatoria</i>	180

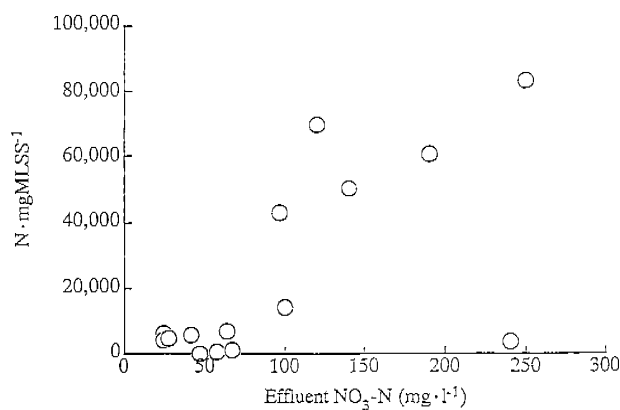


Fig. 8 The relationship between Rhizopoda and effluent NO₃-N concentration in intermittent aeration activated sludge.

を示している¹⁰⁾。

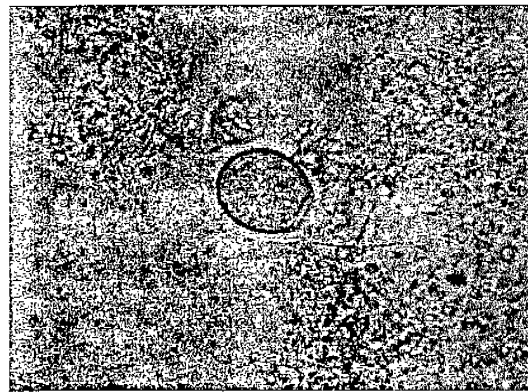
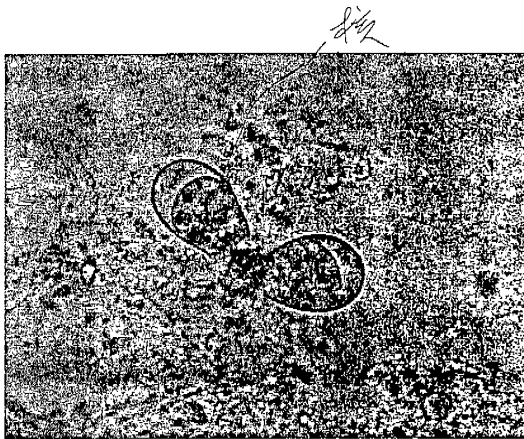
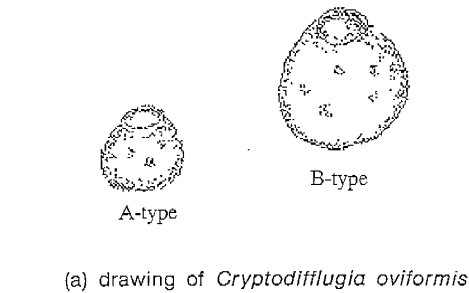
本種が増殖したのは23.5℃以上であり、*Euglypha* とほぼ同様の出現個体数の変動傾向を示したので、*Euglypha* のように硝化の進行を示す指標生物になる可能性が高いものと推察できるが、その実証のためには今後の調査研究が必要と考えられる。また有殻仮足類が優占化し、*Opercularia* が消失した8月～9月以降は活性汚泥フロックが分散状態を示し、有殻仮足類の優占化とフロックの分散と密接に関与する可能性が推測できるが、今後検討を加える必要があると考えられる。

4. まとめ

養豚排水を処理している長時間曝気活性汚泥法および回分式間欠曝気活性汚泥法の活性汚泥に出現する微小動物相を観察した結果、養豚排水を処理する活性汚泥の微

小動物の構成は特異的で、従来の活性汚泥法のように運転や処理水の管理指標としての有効性が示唆された。また、従来の活性汚泥法の管理指標生物が畜舎排水を処理する活性汚泥にも適用できる可能性が示された。その一方、限られた出現種は管理指標生物のモニタリングが容易にできる要因になるものと考えられるが、生物管理指標の確立のためにはより多くの実績の積み重ねが必要であり、今後再現性も含めた重回帰分析等の統計的手法による有用性の確認が必要と考えられる。また生物管理指標の活用においてもマニュアル作成や教育といった積極的なソフトの開発が望まれる。以下に結果をまとめる。

- (1) 養豚排水を処理する活性汚泥法における出現種数は実プラントで13種、パイロットプラントで16種ときわめて少なかった。しかし、微小動物の構成および出現個体数の変遷は特異的で、*Cryptodiffugia oviformis* などこれまで活性汚泥に出現した報告例のない有殻仮足類の出現が認められた。
- (2) 高水温期 (25～35℃) においては、*Opercularia coarctata* はBOD除去のみならず、pH変動の指標生物として窒素除去の進行状態を診断する管理指標になると考えられた。しかし、処理状態が悪化したときはわずかに微小鞭毛虫類が出現したにすぎなかった。
- (3) $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積が顕著な場合には、3種の有殻仮足類が優占種に増殖し、最も個体数が多いときには *Cryptodiffugia oviformis* $4.4 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mgMLSS}^{-1}$ 、



(b) Photomicrograph of *Cryptodiffugia oviformis* (×400, B-type)

Fig. 9 The shape of *Cryptodiffugia oviformis* found in activated sludge treating livestock wastewater

Euglypha sp. $5.4 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mgMLSS}^{-1}$ 、*Trinema lineare* $8.3 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mgMLSS}^{-1}$ と大量に出現し、通常の活性汚泥の10倍に達した。

参考文献

- 1) 須藤隆一：廃水処理の生物学、産業用水調査会 (1977)
- 2) 須藤隆一、稲森悠平：生物相からみた処理機能の診断、産業用水調査会 (1983)
- 3) Curds, C.R. and Hawkes, H.A.: Ecological Aspects of Used Water Treatment. Vol 1, Academic Press, London and New York (1975)
- 4) 須藤隆一：廃水の生物処理に出現する微小動物について(1) 活性汚泥および生物膜の微小動物相、日本農芸化学会誌、52(2)、57-68 (1978)
- 5) 桜井敏郎、須藤隆一、星野芳生：活性汚泥法と維持管理、産業用水調査会、(1980)
- 6) 徐開欽、全恵玉、須藤隆一：畜舎廃水の性状と原単位、用水と廃水、39(12)、13-21 (1997)
- 7) 酒村哲郎、金主鉉、西村修、千葉信男、須藤隆一：実プラントにおける豚尿汚水処理の糞素除去特性、日本水処理生物学会誌、別巻第18号、73 (1998)
- 8) 日本下水道協会：下水試験方法 (1997)
- 9) 須藤隆一、大越芳男：活性汚泥生物の季節的変化、水処理技術、5(2)、43-52 (1964)
- 10) 日本下水道協会編 (1990) エアレーションタンクの微生物 (検鏡と培養の手引き)、126pp.、東京。
- 11) Sudo R. and Aiba S.: Mass and monoxenic culture of *Vorticella microstoma* isolated from activated sludge, *Wat.Res.*7, 615-621(1973)
- 12) Jose R. Bicudo and Ivo F.Svoboda: Intermittent aeration of pig slurry - Farm scale experiments for carbon and nitrogen removal, *Wat.Sci.Tech.*, 32(12), 83-90(1995)
- 13) 亀岡俊則、因野宴一、崎元道男：メタン発酵システムによる豚舎汚水の処理、日畜会報、59(8)、675-681 (1988)
- 14) 李先寧、会主鉉、西村修、山田一裕、千葉信男、丁国際、須藤隆一：肉質虫類 *Arcella vulgaris* の増殖に及ぼす環境因子の影響、日本水環境学会誌、22(7)、48-54 (1999)
- 15) Kudo. R.R: Protozoology, Charles C. Thomas, Publisher, Springefield. Illinois, 573 (1964)
- 16) Ogden, C.G. and Hedley. R.H.: An atlas of freshwater testate amoeba. British Museum, Oxford University Press. 166 (1987)

(受付 1999. 3. 3)

(受理 1999. 8. 27)

Concentrations of Phosphorous, Magnesium and Calcium in Swine Wastewater and Possibility of Removing These Components through Crystallization

Kazuyoshi SUZUKI, Yasuo TANAKA, Takashi OSADA and Miyoko WAKI

National Institute of Animal Industry, Tsukuba Norin Kenkyu Danchi, Ibaraki-ken 305-0901, Japan

(Received September 25, 2000 ; Accepted October 31, 2000)

Abstract In order to confirm the possibility of crystallization of P, Mg and Ca in swine wastewater, the concentration of P, Mg and Ca in such wastewater was determined by estimation and measurement of real swine wastewater, and artificial induction of a crystallizing reaction was attempted in swine wastewater. Based on estimates of the material flow of P, Mg and Ca in the average swine husbandry system in Japan, the concentrations of P, Mg and Ca in swine wastewater were calculated as 11.3 mmol/l, 6.2 mmol/l and 10.2 mmol/l, respectively, when 100% of feces excreted was mixed into urine and washing water. It was shown that real swine wastewater also includes P, Mg and Ca in high concentrations, and that a considerable portion of PO_4^{3-} , Mg and Ca naturally exist as crystal in swine wastewater of relatively high pH (7.7-8.7). It was confirmed that artificial crystallization of soluble PO_4^{3-} , Mg and Ca can be done by adding NaOH to swine wastewater. Moreover, it was clarified that crystal in swine wastewater does not redissolve if a high pH condition is maintained. Crystal can be removed easily by sedimentation because of its high density. An artificial crystallizing process will contribute to a scale-free purification system for swine wastewater.

Animal Science Journal 72 (1) : 72-79, 2001

Key words : Swine wastewater, Scale, Crystallization, Magnesium ammonium phosphate

In most of the swine husbandry in Japan, urine, feces and the washing water from piggeries are separated into solid and liquid fractions. The solid fraction is composted, and utilized as a farmland fertilizer. The liquid fraction (swine wastewater) is purified through a treatment process and discharged into public water bodies such as rivers, lakes and marshes. Strict standards for discharged livestock wastewater have been set to prevent eutrophication of such public water bodies in Japan. Therefore, swine farms are forced to purify swine wastewater within very strict limits imposed by law. To do this, several methods for treatment of swine wastewater have been investigated, such as an intermittent aeration process^{7,8,11)} and methane fermentation plus trickling filter process¹⁴⁾.

However, there are some reports concerning the

accumulation of scale in swine wastewater treatment plants^{4,5,14)}. Scale accumulates in pipes and pumps, and sometimes causes serious trouble at wastewater treatment plants⁹⁾. In addition to PO_4^{3-} and NH_4^+ , swine wastewater also contains Mg and Ca⁴⁾. Under alkaline conditions, equal moles of Mg, NH_4^+ , and PO_4^{3-} are crystallized, and form magnesium ammonium phosphate (MAP) crystal⁹⁾. Ca also has potential for crystallization with PO_4^{3-} ¹⁵⁾. These crystals are thought to be the main components of the scale in swine wastewater treatment plants^{4,14)}. Therefore, the Mg, Ca and PO_4^{3-} causing the crystallization should be removed in the first step of wastewater treatment. However, most previous reports focus on the crystallization of anaerobically digested swine wastewater^{4,15)}, and there are few reports concerning the crystallization of raw swine wastewater in the first

Corresponding : Kazuyoshi SUZUKI (fax : +81 (0) 298-38-8676, e-mail : szkazu@niai.affrc.go.jp)

Crystallization of Phosphorous in Swine Wastewater

Table 1. Diet composition for evaluating the quality of pork^(a)

Ingredients	Composition % ^(b)	Dry matter ^(c) %	Content ^(c)		
			P (dry %)	Mg (dry %)	Ca (dry %)
Corn	47.00	86.5	0.31	0.12	0.03
Grain sorghum (milo)	21.00	86.6	0.30	0.14	0.03
Barley	10.00	88.2	0.38	0.15	0.07
Fish meal (CP>60%)	2.30	91.4	3.17	0.23	5.29
Soybean meal (CP>45%)	15.00	88.3	0.70	0.36	0.33
Dehydrated alfalfa meal (CP>17%)	2.30	90.7	0.26	0.79	1.29
Calcium carbonate	0.50	99.6	0.01	0.36	38.73
Calcium phosphate, tribasic	1.10	99.5	18.47	0.20	31.83
Sodium Chloride	0.35	98.5	0.00	0.13	0.03
Trace mineral premix	0.10	100.0	0.00	0.00	0.00
Vitamin A, D, E premix	0.10	100.0	0.00	0.00	0.00
Vitamin B premix	0.15	100.0	0.00	0.00	0.00
L-Lisine hydrochloride	0.10	100.0	0.00	0.00	0.00
Total	100.00				

^(a) "Standard for Evaluating the Quality of Pork in Japan (1992)".

^(b) Composition is indicated in % of air dry matter.

^(c) Cited from "Standard Table of Feed Composition in Japan (1995)".

step of wastewater treatment⁹⁾. It is thought that most of these factors for crystallization in raw swine wastewater can be removed through artificially crystallizing reactions by only adjusting the pH of wastewater, because crystallizing reactions occur under alkaline condition. To evaluate the potential for these artificially crystallizing reactions in general, information on not only PO_4^{3-} but also Mg and Ca concentrations in raw swine wastewater from average swine husbandry systems is required. The concentrations of these components in raw swine wastewater are thought to be greatly affected by the composition and amount of diet, the amount of drinking water, the washing water for cleaning the pig barn, and the manure collection system, all of which differ greatly between nations. However, there are only a few reports on the Mg and Ca concentrations of swine wastewater in Japan¹⁰⁾.

In the present study, the material flow of P, Mg and Ca in the average swine husbandry system was first estimated through calculations to evaluate the concen-

tration of such components in typical Japanese swine wastewater. Swine wastewater at a piggery of the National Institutes of Animal Industry (NIAI) and 8 other piggeries in Japan was then analyzed. Based on this information, the possibility of artificial crystallizing reactions in raw swine wastewater was considered. Artificial crystallizing reactions were then attempted in raw swine wastewater from NIAI under high pH conditions with NaOH to confirm that possibility.

Materials and Methods

Estimation of P, Mg and Ca concentration

In order to estimate the concentration of P, Mg and Ca in typical swine wastewater in Japan, the material flow of P, Mg and Ca in average swine husbandry systems in Japan was estimated. Material flows were calculated for a piggery with 3,000 fattening pigs (300 breeding sows), which is the average number of pigs for a piggery with a wastewater purification plant in Japan⁶⁾. The weight of a fattening pig is assumed to 72.5 kg, that is the median of the start (30 kg) and end

(115 kg) of fattening. The amount of diet was set to 3.74 kg/pig/day, which is 1.2 fold¹¹, because many piggeries in Japan feed approximately 1.1–1.3 fold¹¹ the amount of the standard value. The diet composition for calculations is based on *Standard for Evaluating the Quality of Pork in Japan*¹² (Table 1). This diet is widely used as a standard in Japan. Commercial diets for pig have minor differences, but are constructed based on that standard. The contents of dry matter, P, Mg and Ca in each ingredient (Table 1) are based on *Standard Table of Feed Composition in Japan*². The amounts of drinking water and washing water for cleaning pig barns are set to 10 kg/pig/day and 20 kg/pig/day, respectively¹⁶. Tap water was assumed for the drinking and washing water, and the concentrations of P, Mg and Ca in tap water are 0.0 mg/l, 6.8 mg/l and 16.0 mg/l, respectively. These are actual data obtained at the National Institute of Animal Industry (NIAI : Ibaraki Prefecture). The amount of feces (1.9 kg/pig/day, dry matter 25%) and urine (3.5 kg/pig/day, dry matter 2%), and the concentrations of P, Mg and Ca in feces (2.51%, 0.98%, and 3.15% of dry matter, respectively) and urine (1.55%, 1.20% and 8.55% of dry matter, respectively) are based on the data reported by Ogata¹⁰. The ratio of feces mixed into urine and washing water is greatly affected by the piggery structure and manure collection system, making it difficult to determine an average mixing ratio. Thus, calculations were performed in the four cases of 100%, 70%, 50% and 30% of total excreted feces mixed into urine and washing water. The separation ratio of P, Mg and Ca into a solid fraction (38.3%, 36.8% and 54.5%) and liquid fraction (61.7%, 63.2% and 45.5%) after solid-liquid separation, and the dry matter of the solid fraction (25.5%) and liquid fraction (0.7%) are also based on the report of Ogata¹⁰. In this estimation, it is assumed that pigs consume all feed and drinking water they are given, and there is no adsorption of P, Mg and Ca inside the pig barn. The amounts of absorption of P, Mg and Ca by pig are calculated as the amounts in diet and drinking water minus the amounts in feces and urine.

Swine wastewater

Swine wastewater for analysis was collected from a

NIAI piggery, and 8 other piggeries in Japan (Kagoshima, Nagasaki, Saga, Okayama and Tochigi Prefectures). All piggeries have a solid-liquid separation system, and liquid fractions were collected as swine wastewater. Sampling of NIAI's wastewater was done 34 times between Dec. 1999 and Oct. 2000, 3 or 4 times every month. Analysis of the wastewater was done within 2 days after sampling. At the other facilities, sampling was done once between Oct. 1999 and Dec. 1999. Samples were transported under cool conditions to NIAI immediately after sampling. Analysis of the wastewater was done within 4 days after sampling.

Analysis of swine wastewater

Some portions of the $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Mg and Ca in swine wastewater are thought to be already crystallized naturally, so the concentrations in not only the soluble fraction but also the crystallized fraction were measured. Swine wastewater (10 ml) was centrifuged at $1,500 \times g$ for 10 min, and the supernatant was analyzed for the concentration in the soluble fraction. To determine the crystallized fraction, 5 N HCl was added to the swine wastewater at a final concentration of 0.1 N to dissolve the crystal, and the solution was mixed in a vortex mixer and centrifuged $1500 \times g$ for 10 min after standing for 30 min. The supernatant was analyzed for determination of the soluble plus crystallized fraction. The concentration of the crystallized fraction was calculated as the difference of between these amounts. $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Mg and Ca were measured using a standard method³¹. Total-N and total-P were measured by flow injection analyzer (Sanuki Industrial), total-N was measured from the absorbancy at 220 nm under HCl acid condition after digestion with potassium peroxodisulfate at 140°C, and total-P was measured from the absorbancy at 880 nm with molybdenum blue method after digestion with potassium peroxodisulfate at 140°C.

Artificial Crystallization of swine wastewater

Swine wastewater from NIAI was used for the artificial crystallization experiment. Ten percent NaOH solution was added to swine wastewater to adjust pH. Samples were collected 15 min after reaching the preparatory pH, and then NaOH solution was added to adjust to next pH. The pH was ad-

Crystallization of Phosphorous in Swine Wastewater

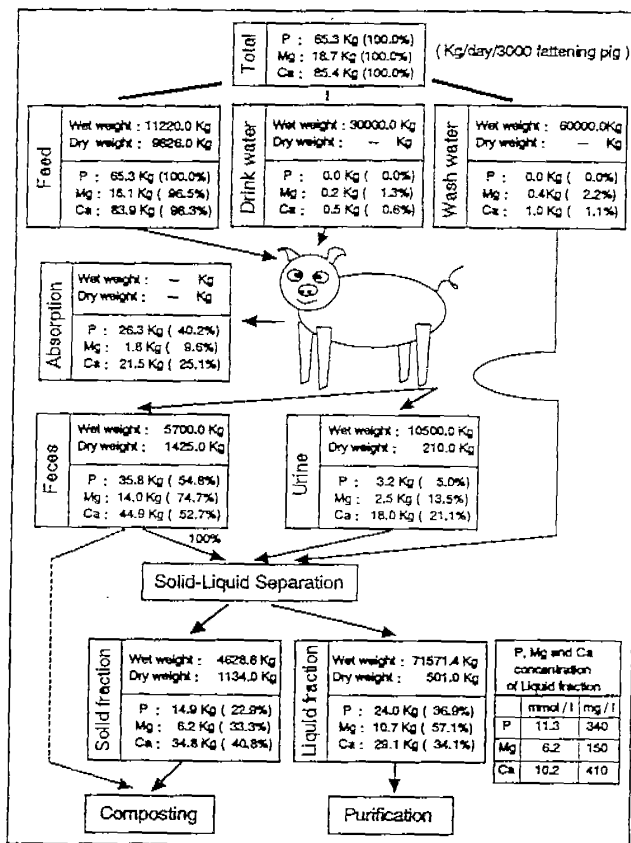


Fig. 1. Estimation of P, Mg and Ca flow in an average swine husbandry system in Japan, when 100% of excreted feces was mixed into urine and washing water.

justed stepwise as follows : 6.6 (start)-7.0-7.4-7.6-7.8-8.0-8.2-8.5-8.9 (end). To evaluate the stability of crystal, 5 N HCl was added to lower the pH 30 min after adjusting the pH of swine wastewater to 8.5 with NaOH solution. Samples were collected 15 min after reaching the preparatory pH, and HCl solution was added to adjust to the next pH. The pH was lowered stepwise as follows : 8.5 (start)-8.0-7.5-7.0-6.5-6.0-5.5 (end). To examine the stability of crystal at pH 8.5, the sample was kept at pH 8.5 for 7 days at room temperature, with periodical addition of NaOH solution (approximately 0.5-1.0ml 10% NaOH solution to 1,000 ml swine wastewater per day) to maintain pH 8.5. Samples were collected at 0, 1, 2, 3, and 7 days.

All samples were centrifuged at 1,500g for 10 min, and the supernatant was analyzed for PO_4^{3-} -P, NH_4^+ -N, Mg and Ca using the methods described above.

Results and Discussion

When 100% excreted feces is mixed into urine and washing water, the material flow of P, Mg and Ca in the average swine husbandry system in Japan was estimated to be as in Fig. 1. In this estimation, about 60%, 88% and 74%, respectively, of the P, Mg, and Ca that are given to pigs in diet and drinking water are excreted into feces and urine. The nutrition requirement for pigs was mainly decided based on the energy

and crude protein requirement of pigs in the above-mentioned standard¹⁾. If the amount of diet (see Materials and Methods) that is shown in Table 1 was fed to pigs, the Mg in the diet was in excess of that of standard, and most of the Mg is thought to be excreted into feces and urine. The amount of P and Ca in plant food only is insufficient for pigs considering the absorption efficiency for these elements, so P and Ca are generally added to diet (Table 1). However, a large part of P and Ca are not absorbed and are thought to be excreted into feces and urine. When 100% excreted feces was mixed into urine and washing water, approximately 37%, 57% and 34% of the total P, Mg and Ca used in the pig husbandry system is fractionated into the liquid fraction (swine wastewater) after solid-liquid separation. Using these data, the concentration of P, Mg and Ca in swine wastewater is calculated to be 11.3 mmol/l (340 mg/l), 6.2 mmol/l (150 mg/l) and 10.2 mmol/l (410 mg/l), respectively. In the same way, the concentrations of P, Mg, and Ca in swine wastewater, when 70%, 50% and 30% of excreted feces is mixed into urine and washing water, are estimated as shown in Table 2. If the mix ratio of feces into urine and washing water is decreased, the concentration of P, Mg and Ca in swine wastewater will also be decreased. In any case, with these estimations, it is shown that swine wastewater contains high concentrations of P, Mg and Ca.

To confirm such high concentrations of P, Mg and Ca, actual raw swine wastewater from a NIAI piggery were analyzed. As shown in Table 3, raw swine wastewater from the NIAI piggery contained P (6.3 mmol/l), N (48.7 mmol/l), Mg (5.3 mmol/l) and Ca (4.7 mmol/l) in high concentrations. Most P and N in swine wastewater existed as PO_4^{3-} and NH_4^+ , but some had already crystallized naturally. The same tendency was observed for Mg and Ca. The mole ratio between each soluble component ($\text{PO}_4^{3-} : \text{NH}_4^+ : \text{Mg} : \text{Ca} = 1.0 : 7.5 : 0.9 : 0.7$) thought to be suitable for removing PO_4^{3-} , Mg and Ca from swine wastewater by crystallization because, for example, MAP crystal was formed from equal mole of PO_4^{3-} , NH_4^+ and Mg.

The mole ratio of crystallized and soluble form of

Table 2. Estimations of P, Mg and Ca concentrations after solid-liquid separation

Ratio of feces mixed into urine and washing water	Concentrations in liquid fraction (mmol/l)		
	P	Mg	Ca
100%	11.3	6.2	10.2
70%	8.2	4.7	8.0
50%	6.1	3.6	6.6
30%	4.0	2.6	5.2

Table 3. P, N, Mg and Ca concentrations of swine wastewater from a NIAI piggery

Components	Concentrations (mmol/l)		
	Mean (N=34)	SD	min-max
P Crystallized PO_4^{3-} -P	0.7	0.3	0.0 - 1.7
Soluble PO_4^{3-} -P	5.2	1.0	3.5 - 7.8
Other P	0.4	0.3	0.0 - 1.0
Total	6.3	1.1	4.6 - 7.8
N Crystallized NH_4^+ -N	2.2	3.3	0.0 - 10.1
Soluble NH_4^+ -N	38.8	14.1	20.6 - 63.8
Other N	7.7	5.0	0.0 - 15.9
Total	48.7	11.0	30.5 - 65.0
Mg Crystallized Mg	0.4	0.5	0.0 - 0.9
Soluble Mg	4.9	0.9	3.2 - 6.9
Total	5.3	1.0	3.4 - 7.2
Ca Crystallized Ca	1.3	0.7	0.3 - 3.6
Soluble Ca	3.4	0.6	2.2 - 4.8
Total	4.7	0.9	3.1 - 7.7
pH	6.71	0.23	6.18 - 7.16

PO_4^{3-} , Mg and Ca in swine wastewater from 8 piggeries in Japan is shown in Fig.2. These swine wastewater have pH variation between 5.7 and 8.7. There was a tendency for much of the PO_4^{3-} , Mg and Ca to exist in soluble form in swine wastewater of relatively low pH (5.7-7.4), but in crystal form in that of relatively high pH (7.7-8.8). Crystallization of PO_4^{3-} in sewage occurs conspicuously at high pH (>

Crystallization of Phosphorous in Swine Wastewater

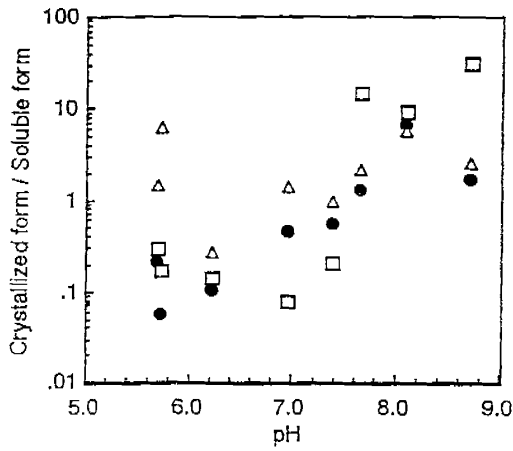


Fig. 2. Mole ratio of crystallized and soluble form on PO_4^{3-} (●), Mg (□), and Ca (△) in different pH of swine wastewater from 8 piggeries in Japan.

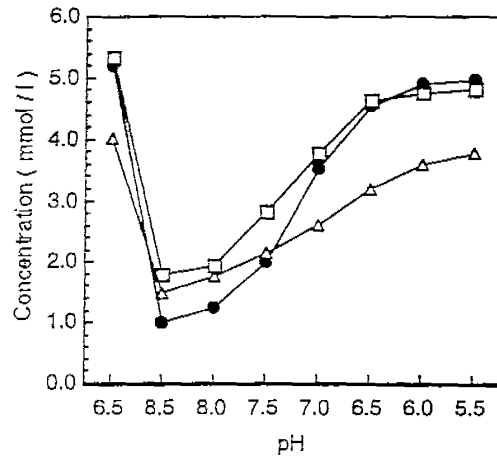


Fig. 4. Concentration change in soluble PO_4^{3-} (●), soluble Mg (□), and soluble Ca (△) in swine wastewater with decreasing pH due to addition of 5 N HCl, after adjusting pH from 6.5 to 8.5.

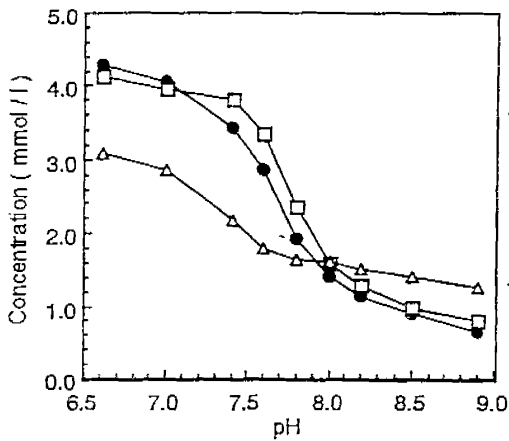


Fig. 3. Concentration change in soluble PO_4^{3-} (●), soluble Mg (□), and soluble Ca (△) in swine wastewater with increasing pH due to the addition of 10% NaOH solution.

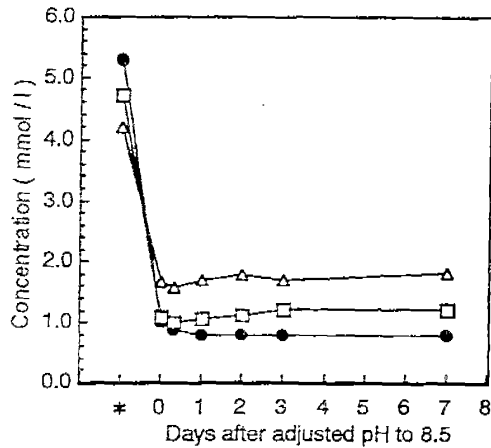


Fig. 5. Concentration change in soluble PO_4^{3-} (●), soluble Mg (□), and soluble Ca (△) in swine wastewater with pH maintained at 8.5 for 7 days, after adjusting pH from 6.5 to 8.5.

(*) indicates raw swine wastewater (pH 6.5) before pH adjustment.

7.0)³⁾, and the almost same phenomenon was also observed in these swine wastewater. According to the results of estimation and practical measurement of P (or PO_4^{3-}), Mg and Ca concentration in swine wastewater, and a tendency that considerable portion of PO_4^{3-} , Mg and Ca naturally exist as crystal in swine

wastewater of relatively high pH, soluble PO_4^{3-} , Mg and Ca in swine wastewater is thought to be able to crystallize only at higher pH.

An artificial crystallizing reaction was attempted

with raw swine wastewater from NIAI by adding NaOH. As shown in Fig. 3, the concentration of soluble PO_4^{3-} , Mg and Ca in swine wastewater decreased remarkably with rising pH. This decrease would be caused by the crystallization of soluble PO_4^{3-} , Mg and Ca. Crystallization of Ca occurred at a slightly lower pH (7.0–7.6) than crystallization of Mg (7.4–8.5). If an artificial crystallizing reaction is introduced in swine wastewater treatment, the stability of the crystal will be important. Especially important is the influence of pH on redissolution of crystal. To evaluate this point, the pH of swine wastewater was lowered by adding HCl, after crystallization at a high pH (8.5). The concentrations of soluble PO_4^{3-} , Mg and Ca in swine wastewater decreased at high pH (8.5), but afterward increased as pH was lowered (Fig. 4). This increase in concentration is thought to cause the redissolution of the crystal. On the other hand, if the pH of swine wastewater was kept high (8.5) after crystallization, low concentrations of soluble PO_4^{3-} , Mg and Ca were maintained for 7 days (Fig. 5). Thus, there will be no redissolution of crystal in swine wastewater if pH is kept high. According to these results, if an artificial crystallizing reaction is used with swine wastewater, the pH of the swine wastewater have to be kept high until the separation of crystal from the swine wastewater is complete. Swine wastewater that pH is 8.5 thought to have no bad effect on the biological purification process just like the intermittent aeration process or methane fermentation, and metals and concrete of equipment for purification. Furthermore, standard for discharged livestock wastewater permit to discharge the purified water with pH 8.5.

The results of the present study proved the applicability of crystallization of PO_4^{3-} , Mg and Ca in swine wastewater. Because of the high density of crystal (for example, the density of MAP is 1.71 g/cm^3 ,¹³⁾, it can be removed easily by sedimentation. If this artificial crystallization process is incorporated in the first step of purification of swine wastewater, crystals will sediment with other organic solids included in the swine wastewater. This precipitated complex can then be used for farmland fertilizer after dehydration and composting. Moreover, an artificial crystalliza-

tion process will not only enable a scale-free purification system for swine wastewater just like the intermittent aeration process or methane fermentation plus trickling filter process, but also decrease the phosphorus loading in such processes.

Acknowledgements

The authors would like to express thanks to M. Saito for helpful advice on swine nutrition and diet, and K. Haga for helpful comments on swine husbandry systems in Japan. Both are from the National Institute of Animal Industry, Japan. The authors also would like to express their gratitude to K. Kawano, E. Ikoma (Kagoshima Prefecture), H. Kajiwara (Nagasaki Prefecture), H. Nishimura (Saga Prefecture), M. Shiraishi (Okayama Prefecture), H. Yagi (Tottori Prefecture) and T. Toyoda (Tochigi Prefecture) for preparing the swine wastewater.

References

- 1) Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat. Japanese Feeding Standard for Swine (1998). Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1998. (in Japanese)
- 2) Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat. Standard Table of Feed Composition in Japan (1995). Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1995. (in Japanese)
- 3) American Public Health Association. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 18th edition. American Public Health Association, Washington, DC. 1992.
- 4) Booram CV, Smith RJ, Hazen TE. Crystalline phosphate precipitation from anaerobic animal waste treatment lagoon liquors. *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 18 : 340–343. 1975.
- 5) Borgerding J. Phosphate deposits in digestion systems. *Journal/Water Pollution Control Federation*, 44 : 813–819. 1972.
- 6) Japan Livestock Industry Association. Model Design of Livestock Management VIII Swine. Japan Livestock Industry Association (Chuo-chikusan-kai), Tokyo. 1994. (in Japanese)
- 7) Liao CM, Maekawa T, Cheng HC, Wu CF. Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by intermittent aeration processes. *Journal of*

Crystallization of Phosphorous in Swine Wastewater

- Environment Science and Health*, B28 : 335-374. 1993.
- 8) Liao CM, Maekawa T. Nitrification/denitrification in an intermittent aeration process for swine wastewater. *Journal of Environment Science and Health*, B29 : 1053-1078. 1994.
 - 9) Maekawa T, Liao CM, Feng XD. Nitrogen and phosphorus removal for swine wastewater using intermittent aeration batch reactor followed by ammonia crystallization process. *Water Research*, 29 : 2643-2650. 1995.
 - 10) Ogata T. Technology for usage of manure to farmland. Compendium on the technology to environmental problem of livestock. 138-150. Keiran-niku Joho Center Co. LTD. Nagoya. 1979. (in Japanese)
 - 11) Osada T, Haga K, Harada Y. Removal of Nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. *Water Research*, 25 : 1377-1388. 1991.
 - 12) Pig Breeders Association of Japan. Standard for Evaluating the Quality of Pork in Japan. 25. Pig Breeders Association of Japan. Tokyo. 1992 (in Japanese)
 - 13) Shinjikken Kagaku Kouza Committee. Shinjikken Kagaku Kouza Vol. 8. 591-592. Shinjikken Kagaku Kouza Committee, Maruzen. Tokyo. 1977. (in Japanese)
 - 14) Tanaka Y, Fukunaga S, Kitayama K, Haga K. Performance of a process consisted of UASB reactor and trickling filter for swine wastewater treatment. *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, 35 : 177-188. 1999. (in Japanese)
 - 15) Wrigley TJ, Webb KM, Venkitachalm H. A laboratory study of struvite precipitation after anaerobic digestion of piggery wastes. *Bioresource Technology*, 41 : 117-121. 1992.
 - 16) Yonaga M, Haga K, Ooizumi N. Source of environmental problem on livestock. Encyclopedia on the technology for environmental problem of livestock. 5-24. Rural Culture Association (Nobunkyo). Tokyo. 1995. (in Japanese)

DEODORIZING FACILITY FOR COLD DISTRICTS

Naoaki Doshu, Isao Fukumori, Takashi Furuyama, and Minoru Nagawa
(BRAIN)

We developed a rock-wool (RW) deodorizing facility, using a biological deodorizing method. This facility is able to remove odors generated from composting facilities that are operating even well within cold districts. This method works by passing the malodorous gas from the composting facility through RW deodorizing material that has been enhanced with microorganisms, so that the offensive components are decomposed by the activity of the microorganisms. The newly developed RW material has a high deodorizing capacity and excellent permeability. Furthermore, the facility's required installation space is only one quarter that of a soil deodorizing facility. $\frac{1}{4}$ 面積.

1. Abstract

This system consists of a deodorizing tank, an air blower and air duct, a sprinkler, a control panel, and accessory units. We designed the RW deodorizing tank to be installed half-underground for use in cold districts, and it is enclosed by a windbreak material. We provided a sprinkler to prevent the RW deodorizing material from drying, and embedded piping directly in the RW material to keep it from freezing (see Figs. 1 and 2).

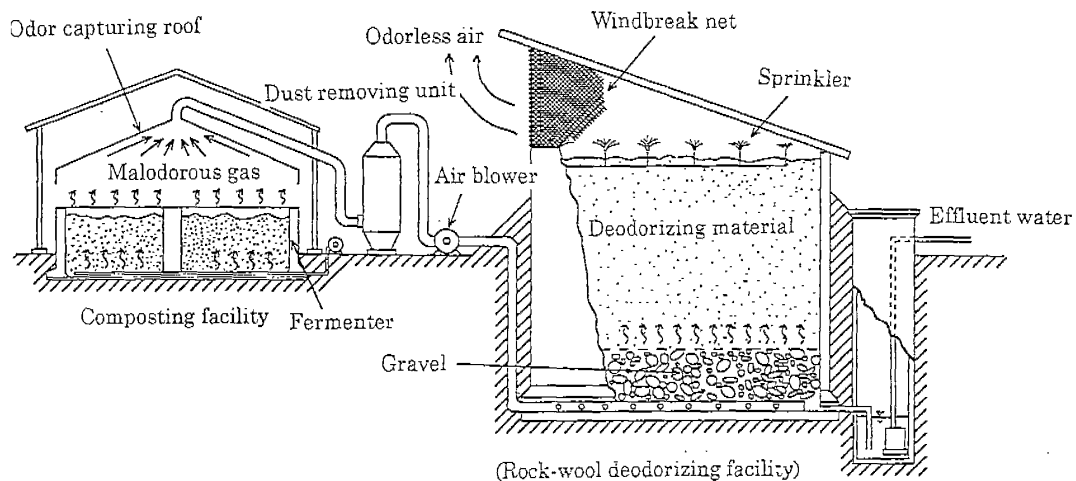


Fig. 1. Outline of the cold-district-type RW deodorizing facility

2. Performance

This facility works by accumulating the newly developed RW material in the deodorizing tank to a height of two to two-and-one-half meters and by passing malodorous gas through the material from the bottom at an apparent wind speed of 18 to 25 mm/sec or less. The average concentration of ammonia in the gas that is sent to the filtering material should be 200 ppm or less.

3. Cautions for use

Sufficient water supply needs to be provided by sprinkling or by water circulation, and the average concentration of ammonia in the gas that is sent to the deodorizing material shall not exceed 200 ppm.

4. Example of introduction

Figures 3 and 4 show photographs of this system installed in the Iwate Institute of Animal Industry. The odor generated by this open-type cylindrical composting facility, which has a diameter of 12 m and a daily material feeding volume of 17 m³, is processed by an RW deodorizing facility with an area of 75 m².

(Written by Naoaki Doshu)

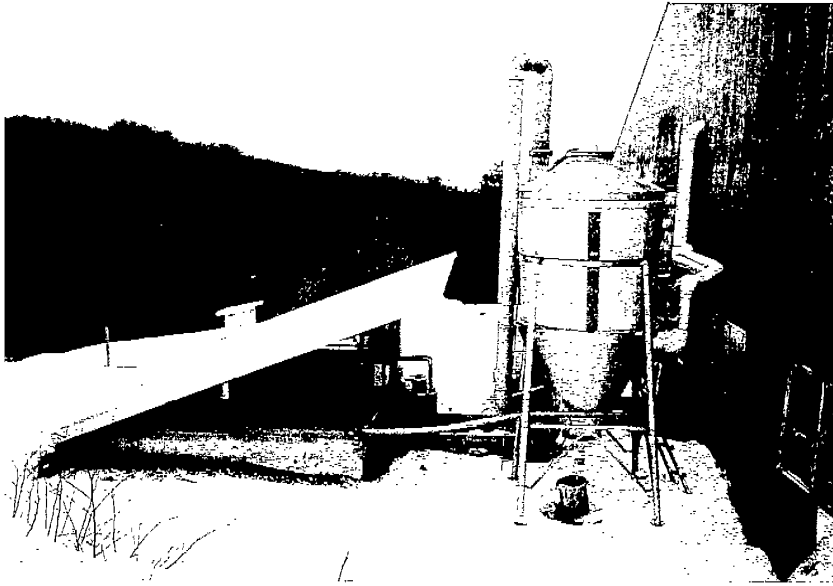


Fig. 2. Test facility installed at the N poultry farm in Hashikami Town, Aomori Prefecture.

Malodorous gas is absorbed from the composting facility in the building shown on the right and then processed in the RW deodorizing facility shown on the left.

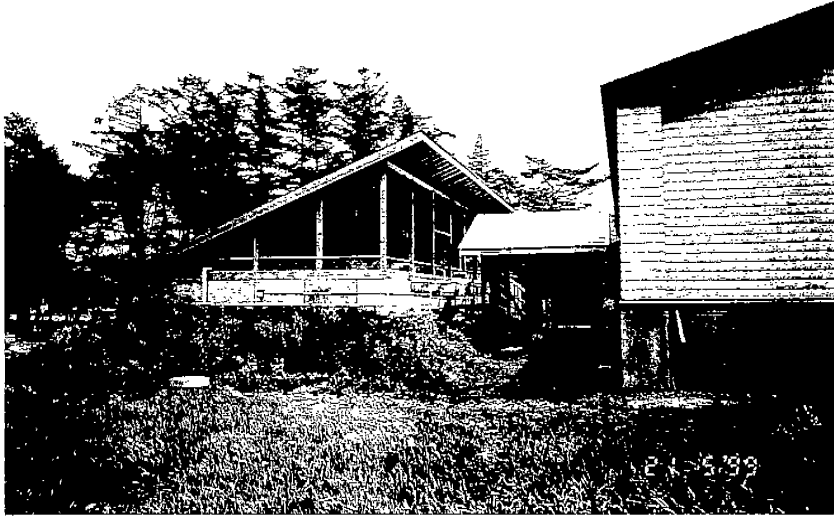


Fig. 3. RW deodorizing facility installed in the Iwate Institute of Animal Industry. It is designed to be installed half-underground and has a deodorizing area of 75 m².

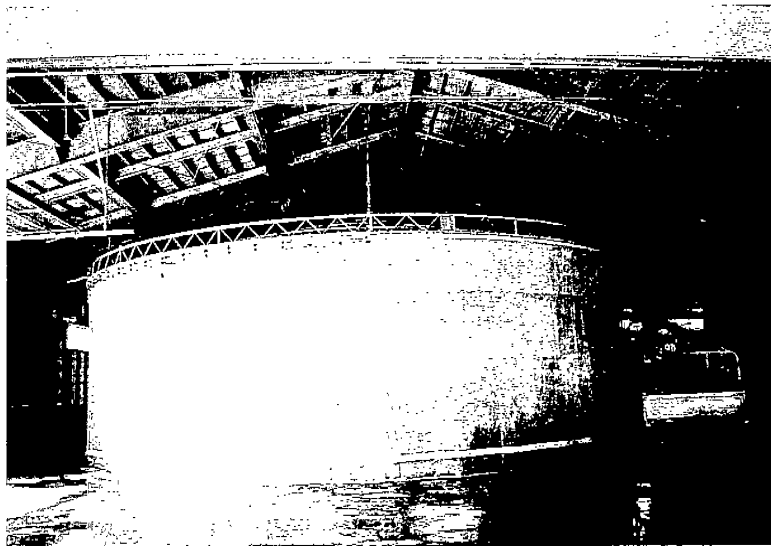
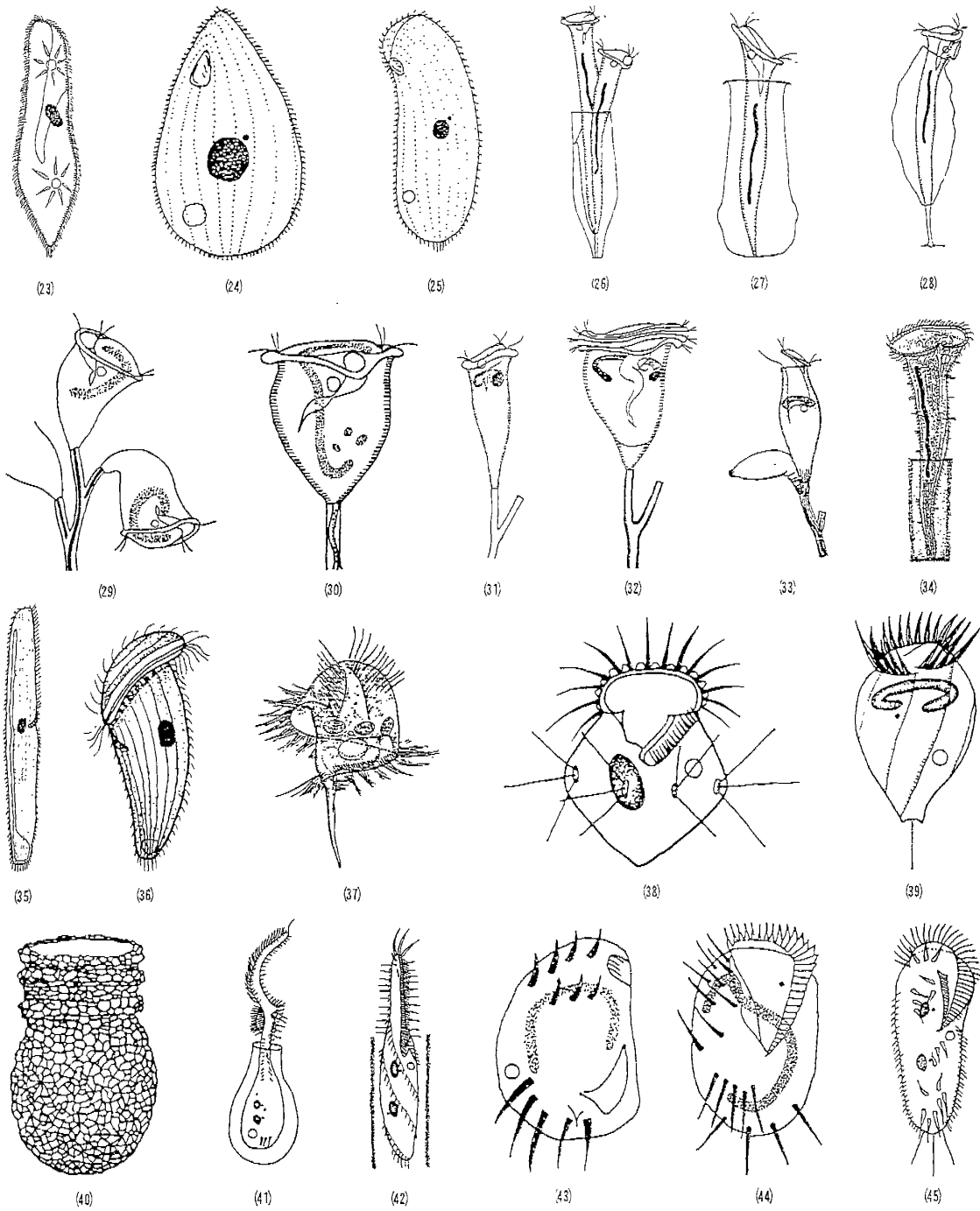


Fig. 4. An underground, open-type, cylindrical composting facility that is sealed by a tent so that no odor leaks to the outside. Gas is absorbed from the top and then sent to the deodorizing facility (the sealed type in the Iwate Institute of Animal Industry).



23 *Paramecium caudatum*, 24 *Tetrahymena pyriformis*, 25 *Colpidium campylosum*, 26 *Thuricola kellicottiana*, 27 *Vaginicola annulata*,
 28 *Pyricola carteri*, 29 *Carchesium polytipum*, 30 *Vorticella convallaria*, 31 *Epistylis plicatilis*, 32 *Campanella umbellaria*,
 33 *Opercularia allensi*, 34 *Stentor roosei*, 35 *Spirostomum teres*, 36 *Metopus es*, 37 *Caenomorpha medusula*, 38 *Halteria grandinella*,
 39 *Strobiliidium gyrans*, 40 *Codonella cratera*, 41 *Chaetospira mulleri*, 42 *Stichotricha aculeata*, 43 *Aspidisca lynceus*,
 44 *Euplotes aedicularis*, 45 *Stylonychia mytilus*

図4 繊毛虫の形態(2)