

## 處理技術

## 利用微生物直接處理豬舍廢棄物的探討

高 銘 木 \*

## 前 言

本省自光復以來，養豬一直是農民的家庭副業。由於當時每戶農家飼養頭數不多以及化學肥料缺乏，豬隻排泄物被視為農田有機肥料的主要來源。因此，豬糞尿排泄物並未造成重大問題或困擾。民國四十二年，臺糖公司開創企業化的養豬事業，分別在各糖廠成立種畜場、繁殖場及毛豬待售站等，完成年產肉豬五萬頭生產設備，以內銷為主。嗣後逐年增加飼養頭數，至民國五十六年，最高達年產七十萬頭，往後十年間，為臺糖公司的養豬黃金時期。自民國六十八年以後，民間大量養豬，造成豬價大跌，近年來雖逐年減少飼養頭數，亦維持在六十萬頭左右<sup>(1)</sup>。同一時期，由於近代經濟發展所產生的企業觀念，民間養豬也由過去的開放式及家庭副業式演變為大規模集中飼養的企業化經營。根據臺灣省農林廳（民國74年）的報告指出<sup>(2)</sup>：民國五十九年全省養豬場約有五十八萬三千餘戶，每場平均飼養五頭，至六十九年養豬場減為十七萬五千餘戶，每場平均飼養二十八頭，至民國七十四年，養豬場更減為八萬三千餘戶，每場平均飼養八十頭，可見集中擴大飼養的趨勢非常明顯。

養豬事業中最大問題是豬隻所排泄的豬糞、尿污染環境及公害問題，豬糞尿經年累月集中於特定的畜殖場中，尤其是大規模飼養方式，所散發出來的臭味及高濃度的豬糞尿廢水等，一直是極為棘手且急需解決的重大問題。加以近年來國內大眾對環境公害污染問題極為重視，環境保護及公害防治是政府當前重大改進政策之一。如何徹底並有效解決豬舍廢棄物是學術界與企業界共同努力的目標。

## 現行的豬舍廢棄物處理方式

據農林廳最新資料顯示，至民國七十五年，全省養豬總數約七百萬頭左右，如果每頭豬平均每日排泄兩公斤豬糞及三公升尿液計，則每萬頭型豬舍每天所排泄的豬糞及尿液分別達二十公噸及三萬公升，加上每天每頭豬必須使用二十五至三十公升水量沖洗豬舍和豬隻飲用，則每萬頭型豬舍每天排放二百五十至三百五十公噸豬糞尿混合污水。此等龐大的豬糞及糞尿廢液的去處，對環境公害問題形成一項重大的挑戰。

現行國內外對豬舍廢棄物（豬糞及糞尿水）的處理與再利用已有許多不同對策。以國內

\* 臺灣糖業研究所

而言，國立成功大學環境工程研究所與行政院衛生署環境保護局、農委會、省環保局及農林廳等政府機構曾在民國七十五年五月間聯合舉辦一次「養豬場廢污處理與再利用研討會」，會中共有廿四篇論文發表，分別就豬糞尿處理技術，固液分離、醣酵、農地消納、堆肥製造及沼氣再利用等方面提出報告，學術理論與現場實際應用兼顧，詳盡道出目前國內對豬糞尿處理與再利用的重視。

以臺糖公司為例，早在民國六十七年即指示糖研所進行有關豬糞尿處理及利用的研究，探討農地對豬糞尿廢液消納問題及田間試驗能夠承受負荷多少量的豬糞尿廢水與排放標準<sup>(2)</sup>。七十一年並在所屬的畜研所進行豬糞尿固液分離技術<sup>(3)</sup>，及豬糞固態醣酵製造有機堆肥<sup>(4)</sup>，或產生沼氣<sup>(5)</sup>的研究等，上述各種處理旨在減低豬舍廢棄物公害污染，但是這些處理均需增加廢水處理設備、場所及人力投資，無形中提高養豬成本；同時處理後的產物，諸如豬糞尿水，活性污泥，堆肥或沼氣仍需儲存場所或運送到蔗田消納與排放，又增加運輸費用，無法徹底解決問題。

## 利用微生物直接處理豬舍廢棄物的理論探討

本文的主旨旨在於探討利用人工強化微生物直接施加於豬舍畜殖場中，消除豬糞、尿的惡臭並分解其廢棄物，徹底解決豬舍公害污染問題的可行性。吾人均知道我國自古以來民間養豬都先在豬舍地面鋪上一層厚稻草或木屑為墊床，然後將豬隻飼養於其上，豬隻所排泄的廢棄物與稻草或木屑混合，藉著自然界存活於植物殘體上的微生物慢慢分解豬糞尿並且消除臭味，久而久之將豬舍廢棄物轉變成為腐熟的堆肥，不但解決豬糞尿問題，而且又能製造有機肥料，供給農田肥力，一舉兩得。然而，由於藉著自然界微生物分解豬糞尿的速率太慢，無法因應大規模集中養殖的方式，同時可能有病原菌污染的顧慮，因此必須進一步改進。藉著人工培養特殊微生物菌種，大量施用於舖設以細木屑或其他植物殘體為墊床的豬舍中，不但能夠直接飼養豬隻於其上，並且徹底解決豬糞尿公害問題。

若以微生物學觀點而言，任何動植物殘體及其排泄物在特定環境下均能被許多微生物所分解，若通氣、水份及溫度條件適當，最後均產生二氧化碳、水或氮氣等其他氣體消失於無形。豬糞（尿）亦不例外，據研究結果顯示，新鮮豬糞的主要組成百分率如下：水份 72~80%，有機物 12~25%，全氮、磷酐及氧化鉀各佔 0.45、0.19 及 0.6%。豬尿的主要成份為尿素及銨態氮。上述有機物中包括粗蛋白、纖維素、脂質等成份，絕大多數呈有機態氮存在，其次是一些硫、磷有機化合物。豬糞所產生的惡臭即來自豬糞中有機物被不同微生物分解過程中所生成的中間產物。據 Jäger 以 Jäger 等氏<sup>(7)</sup>報導都市固體廢棄物（municipal solid waste）、污泥及其混合物所產生的氣體成份除一些有機態醇、醚及酮類外，還產生吡啶（pyridine）、吡呤（pyrazine）等揮發性異環有機態氮化物（hetero-cyclic nitrogenous compounds），在較為嫌氣情況下，也生成一些含硫化合物如二甲基硫化物（dimethylsulphide）、二甲基二硫化物（dimethyldisulphide）、二甲基三硫化物（dimethyltrisulphide）及硫化氫（H<sub>2</sub>S）等揮發性臭味；此外，某些微生物在生化代謝過程中，也能產生吲哚（indole）及揮發性氨，也是臭味來源之一。再者，一般新鮮豬糞中本身存在許多動物腸內細

菌 (Enterobacteria)，包括大腸桿菌 (*Escherichia* genus)、*Bacteroides*, *Citrobacter*, *Pseudomonas*, *Proteus* 等屬，甚至含有 *Salmonella*, *Klebsiella* 及 *Shigella* 等病原菌，這些細菌可能是醣酵豬糞產生惡臭的執行者。

雖然微生物分解豬糞中有機態氮及硫化物是造成臭味的主要原因，但也是消除惡臭的主要原動力。因為微生物在分解有機態氮過程中，先將大分子的蛋白質分解成較小分子的多肽類 (polypeptides)，然後再變成氨基酸做為菌體組成份；但若外界環境不良 (通氣或水份不適宜) 則多肽類被分解產生次級中間產物 (secondary intermediates) 如前述物質，因而產生惡臭；同理，豬糞中的硫化物經微生物分解後，若外界環境適宜，這些有機硫化物逐次被氧化轉變成色氨酸 (tryptophan) (含硫氨基酸) 或將硫化氫進一步氧化生成亞硫酸或硫酸鹽類而除臭。另一方面，微生物亦能利用氨基酸或次級中間產物氧化變成鎳態及硝態氮，甚至脫氮而逸散至大氣中，藉此消除臭味。此外，豬糞中有機態碳主要為纖維素，半纖維素及木質素等碳水化合物，許多微生物均能分解這些碳水化合物變成雙糖或單糖類做為能源，再進一步氧化變成有機酸，甚至二氧化碳而逸散。因此，豬糞的臭味與除臭完全視微生物種類與數量不同而異，外界環境因子諸如溫度、通氣、水份及基質種類也不容忽視。

### 微生物直接處理豬舍廢棄物的研究設計模式

基於上述理論，利用微生物直接處理豬舍廢棄物的最重要關鍵在於優良菌種的選拔及最適宜分解條件的尋求。所謂優良菌種的選拔基本上應符合下列幾個條件：(1)能夠快速繁殖並存活於不適宜環境之下；(2)具有分解含硫或含氮惡臭化合物的能力；(3)本身為腐生菌能夠產生抗生素抑制或殺死有害病原菌者。舉例說明，土壤中常存在一些微生物諸如 *Bacillus* (枯草細菌)、*Penicillium* (青黴菌)，*Aspergillus*, *Trichoderma* 屬的真菌，以及 *Streptomyces* 放射菌等，這些微生物不但具有強力分解任何有機物的能力，而且還能迅速繁殖並分泌不同抗生素 (antibiotics) 抑制其他細菌 (包括病原菌) 生長，遇惡劣環境時能夠產生不同型態休眠體以維持生存。這些微生物都是非常理想的材料。此外，有些較為特異性的微生物也具有意想不到的功能，例如某些光合細菌 (phototrophic bacteria)，尤其是紫硫礦細菌 (purple sulfur bacteria)、紫非硫礦細菌 (purple nonsulfur bacteria) 能夠在嫌氣情況下，行光合作用將硫化氫轉變為硫酸鹽類；另外一些好氣性的硫礦氧化細菌 *Thiobacillus* 屬也能夠直接氧化硫化氫變成硫酸鹽類。某些 *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Bacillus*, *Paracoccus* 屬下的細菌能夠對含氮化合物進行脫氮作用，*Micrococcars* spp. 對吡啶類化合物具有分解能力。

豬糞分解屬於固態發酵模式 (Solid state fermentation)。固態發酵是一種基質 (豬糞) 濃度較高且較不佔空間的發酵方式，具有微生物與基質直接作用的特性。一般固態發酵可分為好氣 (aerobic) 與嫌氣 (anaerobic) 兩大類，兩者的區別是藉著控制基質及墊床材料 (豬舍中的稻草或細木屑) 含水量多寡而定。好氣性發酵的基質墊床材料含水量應調整在最大容水量的百分之四十至五十；嫌氣性發酵則維持在百分之六十至七十之間。國內好氣性固態發酵的實例以洋菇堆肥製造最有名<sup>(6)</sup>，影響此種發酵型態的主要因子有二：一為微生物

本身，例如菌種選擇及接種密度等；次為環境因子，諸如水份多寡，基質組成等。因為水份多寡影響通氣性及可溶性物質的運送，而基質組成與孔隙度控制基質保水力及分解速率。嫌氣性固態醣酵主要控制因子為水份，與甲烷生成有重要關係。根據 Jewell 氏<sup>(9)</sup>發現基質水份含量超過百分之六十以上時，甲烷或氣體生成量及基質分解性與液體醣酵相似，顯示水份含量在嫌氣固態醣酵的重要性。

豬糞是一種容易被微生物分解的有機廢棄物，因此其分解速率主要受微生物種類及數量的影響。無論好氣或嫌氣固態醣酵過程中，最後必須達到穩定化程度<sup>(10)</sup>。所謂穩定化是指有機物經充分分解後變成腐熟而且不產生臭味或其他有害物質（包括病原菌）而言，其中臭味是一種測定穩定化的指標<sup>(11)(12)</sup>。因此，在進行醣酵過程中，應定期測定所產生氣體的組成及含量，做為優良菌種選拔及穩定化的參考。

至於豬舍墊床有機材料方面也應有所選擇，一般而言，有機材料應選擇不易被微生物分解（碳／氮比高），保水力強及容積密度（bulk density）大者為宜，有利微生物生存及繁殖，豬隻能夠在墊床上運動自如。基於上述原則，細木屑或樹皮屑可能是最理想的墊床材料，因為此類有機材料碳／氮比甚高（154/1），最大容水量達300%（每百克樹皮屑吸收三百克水），容積密度及孔隙度均甚大，豬隻在樹皮屑為墊床的豬舍上十分活潑正常。此外，蔗渣、蔗髓、稻草及粗糠等農工廢棄物的碳／氮比亦甚高（55至80/1），保水力亦達200~300%左右，均可能完全或部份取代樹皮屑做為墊床材料，如此，不但增加墊床有機材料的來源，而且解決部份農工廢棄物儲存與出路問題。

基於上述的理論基礎，有關利用微生物直接處理豬舍廢棄物的研究設計模式可分為下列幾個過程，首先應改良豬舍飼養方式，亦即在傳統水泥豬舍地面上，堆積高約六十公分的樹皮屑（或細木屑）做為墊床，從墊床表面起，向下每隔二十公分，均勻施加人工培養強化的微生物混合菌種（定量的微生物菌體或孢子）於各層墊床上，然後立刻噴灑水於墊床上，直到墊床表面至二十分處的水份含量達最大容水量的百分之五十至六十。豬舍中保持良好通風狀態，任其醣酵一至兩天，促進人工添加的微生物在墊床建立族羣。接著飼養同一年齡的豬隻（大、中或小豬）於墊床上，每坪三至五頭，視豬隻大小不同而異，豬隻之飼養與一般傳統養豬方式相同，惟不需要每天刮除豬糞及沖洗豬糞尿水，因為豬隻所排泄的豬糞及尿液很快與樹皮屑混合或吸收，加以豬隻在墊床上活動，很容易將豬糞與樹皮屑充分攪拌，加速微生物對豬糞的分解。由於樹皮屑吸水力極強，因此不必顧慮有豬糞尿水流出的可能。豬隻飼養期間祇要隨時補充墊床因微生物醣酵所散失的水份即可，避免墊床溫度太高（最好低於30°C），造成豬隻生活環境不適宜。同時因為豬隻的踐踏與吃食，墊床厚度可能會逐漸緊密及減少，必須定期補充樹皮屑與微生物菌劑於墊床上，並適度翻犁，維持一定分解速率。此種飼養方式一次可維持二至三年，直到豬糞尿與樹皮屑形成穩定化的腐熟堆肥才重新鋪設新的有機材料，這些腐熟堆肥於使用前應檢查是否含有病原菌，重金屬或其他有害物質。畜殖研究人員也應調查此種飼養方式的豬舍是否能夠減除臭味，消除豬糞尿水污染，以及飼養的豬隻是否健康，屠體是否正常可供食用。

## 預期結果與經濟效益

綜合上述的理論探討與研究設計模式，利用人工強化培養的微生物直接處理於舖設有機材料為墊床的豬舍中，進行豬糞、尿廢棄物分解除臭的研究，可望得到下列預期結果及經濟效益：

一、此種處理方式不但節省空間、人力及設備等投資，而且可望迅速解決豬舍臭味及豬糞尿處理的問題。

二、處理後的豬糞（尿）與有機材料形成腐熟化堆肥，可供農作物優良的有機肥料來源。

三、研製成功的人工強化微生物混合菌劑不但可以處理豬舍廢棄物公害物質，而且也可以擴大應用於其他農工廢棄物的污染問題，或做為植物土源病害中生物防治的微生物改良劑。

## 參考文獻：

1. 臺糖四十年（民國75年）第192~3頁。
2. 嚴式清（民國75年）豬糞尿農地消納之研究。養豬場廢污處理與再利用研討會論文集，205~225頁。
3. 葉澤波、吳松雄、傅政敏（民國75年），應用滲濾沈澱固液分離法處理豬糞尿污水，同上，183~190頁。
4. 傅政敏、葉澤波（民國75年），豬糞淨化有機肥之製造與利用，同上，270~278頁。
5. 陳榮耀、韓樹智（民國75年），豬糞尿生物處理及沼氣利用，同上191~204頁。
6. 臺灣省農林廳（民國74年）臺灣養豬戶調查，農林廳畜牧科。
7. Jäger, B. and J. Jager. 1980. Ermittlung und Bewertung von Geruchsemissionen bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen. Müll und Abfall, 22-28. (Abstract)
8. 王西華（民國66年），固體發酵在農業上的應用，臺灣洋菇，1(1)，25~32頁。
9. Jewell, W. J. (1979). Dry anaerobic fermentation. in 2nd Biotechnology Sympium,36-39.
10. Chiou, C.M., S.Cheng, and H. H. Wang. 1972. Quality control of rice straw composting. Nushroom Sci. 8: 342-348.
11. van der Hoek, K. W., and J. Oosthoek. 1985. Composting: Odour emission and odour control by biofiltration. 271-282.
12. Klarenbeek, J. V. 1982. Odour measurements in Dutch agriculture: current results and techniques. IMAC Research Report 82-2, Wageningen, 14 pages.