

沼氣利用與發電 降低畜牧業溫室氣體排放量！

文、圖表／國立臺灣大學動物科學技術學系副教授 蘇忠楨

造成全球暖化元凶

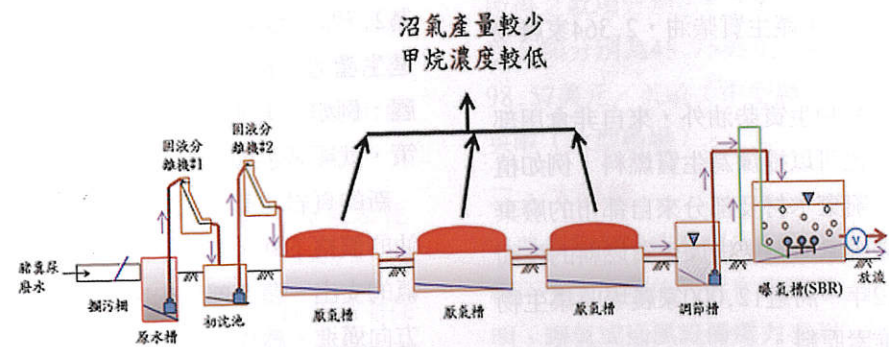
2006年聯合國糧農組織（FAO）發表「畜牧業的巨大陰影」報告中指出，畜牧部門所產生的溫室氣體排放量約占全球人類活動的溫室氣體排放量18%，排放量更高於運輸部門。2013年聯合國「政府間氣候變化專門委員會」（IPCC）召集800位科學家，彙整9,000篇研究的報告指出，人類活動造成全球暖化的可能性「至少95%」。包括火力發電在內，工業活動是全球暖化的元凶。

國內畜牧沼氣生產的瓶頸

國內畜牧場為求其放流水能符合環保署訂定的

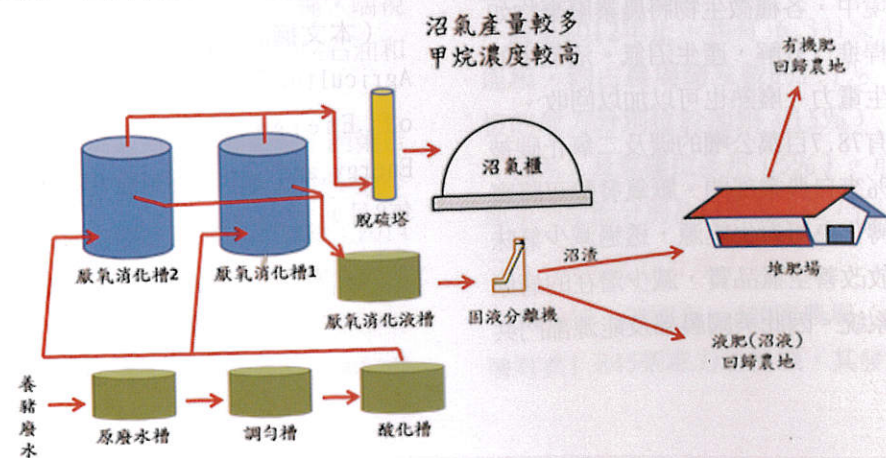
標準，必須盡力去除原廢水中之有機固形物。鼓勵畜牧場進行兩次固液分離程序，使原廢水中有機質濃度降低（圖1）。進入厭氣消化槽之廢水中有機質濃度低，使沼氣產生量較國外厭氣消化槽產氣量低，沼氣中甲烷濃度也隨之偏低。普遍使用之地面下臥置式厭氣消化槽，槽內沉積污泥清除及處理不易，導致厭氣槽水力停留時間低於原設計時間，使沼氣產量偏低。反觀國外畜牧場沼氣生產程序為先進行厭氣消化程序，再將厭氣消化液（digestate）經過固液分離程序，以產生沼渣與沼液，再施用於農地充當肥料（圖2）。所以沼氣產量大且甲烷濃度較高。

圖1. 國內畜牧廢水先經過固液分離程序，再進行厭氣消化生產沼氣



（資料來源：國立臺灣大學 蘇忠楨整理）

圖2. 國外畜牧廢水先經過厭氣消化生產沼氣，再進行固液分離程序



（資料來源：國立臺灣大學 蘇忠楨整理）

畜牧沼氣利用的問題—硫化氫

依據國內養豬場沼氣成分調查分析數據顯示，畜牧沼氣主要成分為甲烷約占65%，沼氣中硫化氫約占0.2~0.5%。國內研究養豬場沼氣經燃燒後之硫化氫濃度與形式變化結果顯示，使用未經過脫硫的沼氣去發電、燒熱水或蒸煮餵水，硫化氫經過燃燒氧化程序，多數硫化氫皆殘留於發電機引擎等沼氣利用設備內部。排氣中的二氧化硫在大氣中會進一步氧化造成酸雨。

2006年，前臺灣動物科技研究所（蘇忠楨組長）研究團隊經由農業生物技術國家型計畫辦公室經費支持下，耗費3年成功研發出國內首創的沼氣生物脫硫技術設備，於2009年與2011年非專屬技術移轉，更於2010年榮獲第七屆國家新創獎殊榮。值得注意的是，2012年國立臺灣大學（蘇忠楨副教授）團隊協助屏東縣中央畜牧場建置直立式厭氣槽與沼氣生物脫硫設備，讓已經幾乎停滯不動的國內沼氣利用觀念，逐漸受到政府相關單位的重視，並於2016年擬定政策擬大力推展。

有關沼氣利用對於脫硫設備的選擇，提供以下資訊提供畜牧業者參考。目前國內常見之脫硫技術主要分為：

(1) 填充式洗滌塔：由兩組圓柱筒組成，內部充滿鹼液，沼氣中硫化氫快速溶解於第一組圓柱筒鹼液中，溶入硫化氫的鹼液再進入第二組圓柱筒內，使用送風機抽入空氣，將部分硫化氫排入大氣中，鹼液再回流到第一組圓柱筒回收使用，當鹼液吸附硫化氫達到飽和情況，則需要更換乾淨的鹼液。整套設備需要兩組抽水機控制鹼液循環及一組送風機，增加水資源與電力資源成本，以及廢水處理量。

(2) 氧化鐵吸收塔：由一至數組圓柱筒組成，內部填充氧化鐵顆粒，以化學反應原理吸收沼氣中的硫化氫，經國內研究單位試驗數據顯示，硫化氫濃度1,500ppm，則18天即飽和，需要更換氧化鐵顆粒。以實際養豬場沼氣硫化氫濃度在4,000ppm以上，則至少6天就需要更換。更換下的含硫氧化鐵顆粒，會增加後續廢棄物處理的成本。

(3) 沼氣生物脫硫：國內研發且已經在中央畜牧場適用成功為「生物濾床系統」。「生物濾

表1. 三種沼氣脫硫技術成本與耐用度比較

項目	氧化鐵脫硫塔	填充式洗滌塔	生物脫硫濾床
建置成本	低(15萬/單元)	高	高
操作成本	高	高	低
可處理之硫化氫濃度	低	低	高
主要操作成本	氧化鐵顆粒成本	水及電力成本	低耗電
吸附材	氧化鐵顆粒	水	生物膜
吸附材更換頻率	6-90天	7~14天	不需要
硫化氫去除效率	20g-H ₂ S/100g-氧化鐵 (如串聯多組亦可答90~100%)	90~100%	95~100%
微生物補充	不需要	不需要	不需要
資源回收	無	無	硫磺及硫酸銨
廢棄物產生	吸附飽和之氧化鐵顆粒	吸附飽和之廢水	無
設備自動化	無自動化	可自動化	PLC全自動
使用年限	PVC管約2年	PVC管約2年	不鏽鋼外殼約10年以上

（資料來源：國立臺灣大學 蘇忠楨整理）

床系統」由一至數組圓柱筒組成，內部填充生物濾材顆粒，使氧化硫化氫的細菌在濾材表面形成生物膜，當沼氣中硫化氫接觸到生物膜，即會被氧化成硫磺或硫酸根，此系統為電腦程式自動化系統，不需要人工操作，系統穩定耐用，且無廢棄物產生問題。

綜合以上資訊總結如下：如果沼氣利用量偏低，而且沼氣中硫化氫濃度低於1,000ppm，則適合採用「氧化鐵吸收塔」。同樣沼氣利用量偏低，而且沼氣中硫化氫濃度低於1,000ppm，而廢水處理槽有餘裕量，則可以考慮採用「填充式洗滌塔」，但是要注意硫化氫進入大氣中的後續影響。如果沼氣利用量高，而且沼氣中硫化氫濃度高於4,000ppm，要求系統全自動化控制，則適合採用「沼氣生物濾床」。

選擇沼氣脫硫設備需要考量以下因素：(1) 設備成本考量：設置成本、操作成本及後續廢棄物處理成本等總和；(2) 節省人力操作成本；(3) 節省水資源與電力資源使用量；(4) 設備材質與耐用性；(5) 後續造成環境的衝擊。

國內畜牧沼氣發電效益

國內畜牧場沼氣如僅估算直接發電模式，其效率僅約25~39%，61~75%為廢熱且並無回收利用設備。國內缺乏價廉又耐用之沼氣發電機，導致發電機購置成本為沼氣利用之主要成本。沼氣若無經過脫硫程序，沼氣發電機壽命短，使沼

氣發電機之保養維護費用增加，造成沼氣發電效益更低。未經脫硫之沼氣利用，也會造成酸雨等空汙問題。冬季畜牧場多將沼氣應用於沼氣保溫燈，僅夏季可將沼氣應用於發電。畜牧場廢水經兩次固液分離，廢水中有機質濃度低，導致畜牧場沼氣產量不足，無法提供所裝設之沼氣發電機滿載發電，導致回收年限延長。

但是依德國沼氣協會研究的沼氣手冊 (Biogas Handbook) 資料指出，新型的沼氣發電廠總效率 (電力效率及能源效率) 可達到85~90%，1立方公尺的沼氣可發到2.4度電。沼氣發電機發電的熱量回收作為發酵前預熱，進入發酵槽管線及發酵槽保溫，以利控制操作穩態，並避免管線或槽體沉積。這是因為國外所指的沼氣發電總能源效率係包括 (1) 直接的「發電效率」及 (2) 廢水回收利用的「能源效率」。

日本先是沼氣發電機資料顯示，直接發電效率為39%及廢熱回收利用效率為41%，故總能源效率為80%。所以國內沼氣發電或利用的模式應該朝向直接發電與廢熱製冷整合模式推動，才更具經濟效益，更能永續推廣畜牧綠色能源產業 (圖3)。

國內畜牧沼氣發電與利用各期程發展策略

1. 近程策略：在養4,000~10,000頭以上豬場以輔導場內沼氣發電為主，沼氣直接燃燒製冷與產熱為輔，但是發電機廢熱必須回收再進行製冷與供熱，發電以自給自足為先，有餘裕電量再考慮售電，以降低生產成本。

2. 中程策略：在養3,000~1,000頭豬場 (含以下) 以輔導場內沼氣直接燃燒製冷與產熱為主，提供夏季與冬季不同需求，回收利用沼氣能源，降低生產成本。如養豬場內已經具備沼氣發電機，且運作正常者，則養豬場採沼氣發電模式。

3. 長程策略：畜牧場密集區以輔導場外集中糞尿收集與共同進行厭氣消化生產沼氣，以沼氣發電為主，沼氣純化成生物天然氣為輔。建立區域性微型電網，發電以滿足區域性供電需求為優先，有餘裕電量再考慮售電，但是發電機廢熱必須回收再進行製冷與產熱，進行沼渣烘乾，以降

低生產成本。集中式沼氣中心之營運要以原料的低運輸成本為第一考量因素。

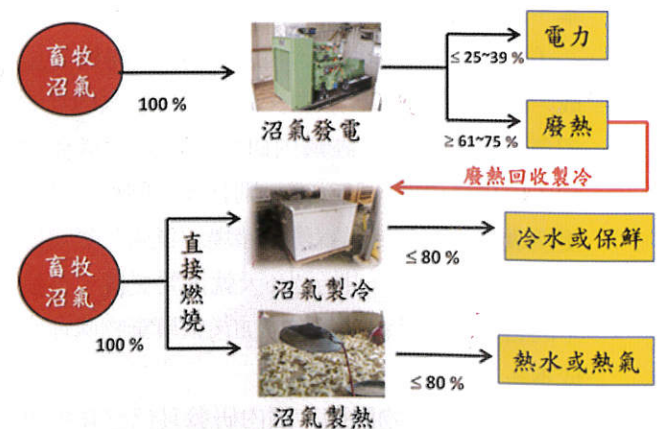
國內畜牧沼氣發電兩年內推動要點

1. 目標畜牧場：10,000頭以上養豬場 (雞糞推動燃燒發電)。
2. 推動模式：區域性集中式沼氣廠為長程目標，規劃現有集中堆肥場改成沼氣廠，近期內先由大規模養豬場推動。
3. 推動要件：
 - (1) 增建或修改臥置式厭氣消化槽為地面上直立式厭氣槽，以增加沼氣產量與甲烷濃度 (亦即提升沼氣熱值)。
 - (2) 減少沖洗水，以提升廢水中總固體量 (TS) 濃度。
4. 沼氣發電機：
 - (1) 優先採購進口或漢翔公司發電機，以產業團體標購方式，以降低發電機購置成本。但必須同時簽訂保固與維修服務合約。
 - (2) 逐年輔導國內沼氣發電機廠商承接業務並提供維修合約保固。
5. 沼氣脫硫與過濾設備：委託國內廠商提供服務。

結語

在維護我國糧食安全的前提下，善用畜牧場生質能源，以期達到 (1) 降低生產成本及 (2) 協助降低溫室效應之影響。創造環保與產業發展雙贏，使畜牧產業永續經營。

圖3. 國內沼氣利用推動模式



(資料來源：國立臺灣大學 蘇忠楨整理)