

出國報告（出國類別：考察）

考察德國沼氣發酵 及沼渣沼液利用技術

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：許永興處長、李怡芬薦派技正

派赴國家：德國

出國期間：103.11.21 至 103.11.29

報告日期：104.2.10

摘要

我國地處亞熱帶，畜牧業集中於中南部，在夏季高溫時常以大量水清洗畜舍，更須借助水沖洗豬、牛身體，以幫助動物散熱，維持正常生理功能，因此畜牧廢水量大，尤其是養豬廢水為部分河川污染的主要因素，為協助畜牧業改善廢水污染情形，妥善處理並提升廢水處理技術，降低畜牧廢水污染排放影響河川水質。本署業積極推動養豬業廢污水全回收零排放，推動設置「沼氣綠能中心」，期處理畜牧業及禽畜糞液廢水污染，兼收能資源循環利用，將畜牧糞液變黃金，朝環境經濟共榮目標邁進。

德國沼氣工程利用生活垃圾、廚餘垃圾、玉米秸梗以及禽畜糞液等廢棄物混合原料進行沼氣發電，純化為天然氣使用。本署派員參訪沼氣發酵及沼渣沼液處理技術，包含沼氣技術工程公司、畜牧業廢棄物混合處理、多元有機廢棄物等厭氧發酵、沼氣提純再利用、沼渣利用等項目。本次考察深入了解各廠沼氣生產操作]及運作方式，可做為國內推動畜牧業廢水處理技術及建置沼氣綠能中心參考。

目次

內容

壹、目的.....	2
貳、參訪行程.....	3
參、參訪結果.....	4
肆、成果評估與心得.....	21
伍、附件.....	24

壹、目的

我國全國養豬數約 600 萬頭/年，集中於彰化以南 7 縣市，飼養地區涵蓋中南部自新虎尾溪以南至高屏溪等 7 條重點河川。且地處亞熱帶，在夏季高溫時常以大量水清洗畜舍，更須借助水沖洗豬、牛身體，以幫助動物散熱，維持正常生理功能，因此畜牧廢水量大，為減輕河川污染負荷，本署自 99 年底推動「清潔養豬綠能產業」省水減污計畫之豬廁所設置，由源頭減量、豬糞固形物有效收集、水污染有效防治及改善畜舍環境、提高育成率等多面向目標，有效收集豬糞尿，減少廢水排放量。至 103 年已設置 2 萬 5,000 多個豬廁所，可收集處理約 64 萬頭豬每日 2,800 多公噸糞尿。但後端傳統之三段式畜牧廢水處理法仍面臨挑戰，其中好氧活性污泥單元需耗費大量能源，厭氧消化過程中溢散沼氣如未妥善收集處理，將對全球暖化造成威脅。爰多方開展養豬廢棄物及廢水處理技術，由源頭減量向能資源再利用，更為邁進。

德國自西元 2000 年制定再生能源法，促進能源供應之永續發展及保護氣候與自然環境，並經由此目的之達成，進而降低能源成本、減少使用化石燃料，以及提升再生能源技術的發展。政府政策支持再生能源發展，更落實鼓勵小型農場沼氣發電，除躉購再生能源電價優惠外，對小型沼氣工程更以補助及低利貸款鼓勵設廠，在法令制度面支持小型及農場進行生物質能發電工程，促使業者積極投入沼氣生產行業。德國沼氣工程利用混合厭氧發酵、沼氣發電上網、餘熱回收利用、沼渣沼液施肥、全程自動化控制的技術，沼氣發酵原料多為生活垃圾、廚餘垃圾、工業廢棄物及廢液、能源作物如玉米秸稈及甘蔗，以及禽畜糞液等。可有效利用各種高濃度物質綜合處理，經厭氧發酵後，產生沼氣，可出售產品包含電、熱、氣及沼渣沼液肥料等，為農戶增加收益。且沼氣工程自動化程度高，僅需 1 個人即可管理即可穩定運轉，節省人力資源。

為協助引進相關經驗技術，改善我國畜牧業廢污水處理技術妥善處理廢水，爰派員赴德國考察禽畜糞液收集處理沼氣利用技術，發酵沼渣沼液處理

方式。期解決畜牧業廢水污染問題及推動能資源循環利用，並將沼氣、沼渣及沼液產品化發展，俾確實改善河川污染，開創多元環境經濟共榮價值。

貳、參訪行程

日期	工作內容	地點
11月21日(五)	去程	法蘭克福
11月22日(六)	路程(法蘭克福→漢堡)	漢堡
11月23日(日)	資料整理	漢堡
11月24日(一)	1.拜訪 MT-Energie Plant 2.參訪有機廢棄物沼氣發酵技術 Anaerobic digestion of biowaste	ZEVEN
11月25日(二)	參訪玉米青貯及畜糞混合沼氣發酵技術 1.Biogas Plant Pape - 牛糞液及玉米青貯 2.Biogas Plant Drewes/Ringen - 豬糞液及玉米青貯	BREDDORF
11月26日(三)	參訪有機物廢棄物沼氣發酵廠及沼氣純化技術 1.Biogas Plant Geest - 處理玉米青貯及沼氣提純為天然氣 2.Biogas Plant RoRo - 處理多元有機廢棄物	APPENSEN
11月27日(四)	路程(漢堡→法蘭克福)	法蘭克福
11月28日(五)	回程(法蘭克福→臺灣)	

日期	工作內容	地點
11月29日(六)	返國	臺灣

參、參訪結果

一、拜訪 MT-Energie Plant

MT 能源公司是一家沼氣工程設計、設備供應及統包建造公司，主要設備包含進料系統、雙膜沼氣儲槽及攪拌器系統。該公司在歐州、美國、加拿大、中國等多個國家均有實際設廠運轉案例，已建造 600 多座沼氣工廠，主要發酵物質包含能源作物，如玉米青貯、甜菜、甘蔗等能源作物、禽畜糞液、廚餘或其它有機廢棄物如脂肪、市場廢棄物、酒廠廢渣等含有機質廢棄物均可利用生產沼氣。

在設計上會先依據發酵物質特性及沼氣生產目的選擇適宜處理技術，包含前處理如發酵原料儲存、運送、切碎和必要的衛生消毒處理。在單純處理植物原料時可以選用二次連續發酵技術系統，主要由三個罐體組成：主發酵罐，二次發酵罐和一個儲渣罐。如下圖

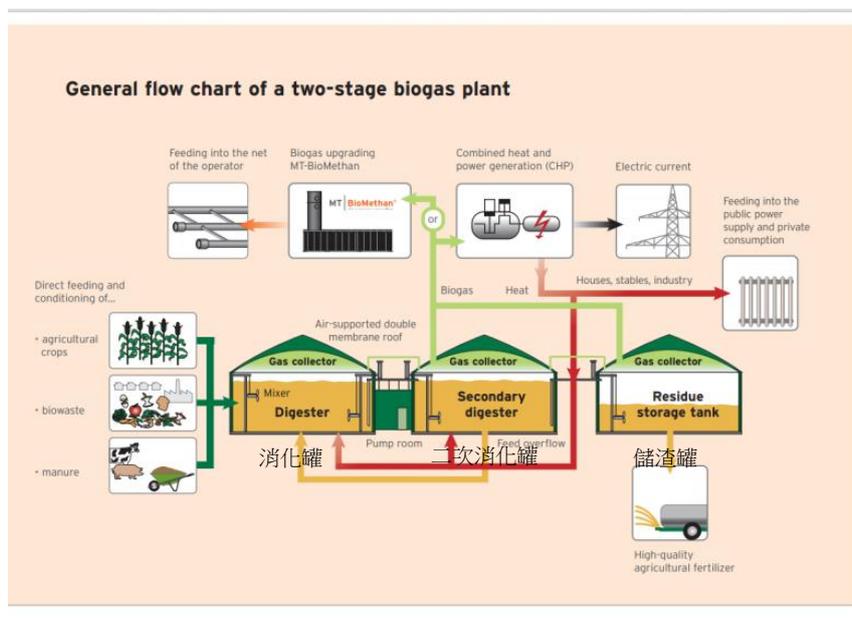


圖 1 二次連續發酵沼氣廠流程圖

如以禽畜糞便為發酵原料（固體濃度>30%）的發酵反應，因為糞便消化速度較玉米等農作物快，二次發酵所增加的沼氣量不大，故可以規劃為只使用 1 個發酵罐及 1 個儲渣罐，可減少沼氣廠設置費用及所需空間。

在本次參訪中，該公司介紹了幾個處理畜牧及有機廢棄物的實際案例，例如，在德國 Lichtenberg 市的沼氣廠，該廠處理 900 頭奶牛及 300 頭犢牛糞液，混合玉米青貯物質，共同發酵生產沼氣。所使用之沼氣發酵物質中畜牧糞液占 85%，玉米青貯占 15%。該廠以二級連續發酵技術生產沼氣，自 2007 年商轉，每日處理約 80 立方米牛糞液及 17 噸玉米青貯，所產生沼氣可運轉容量 499 千瓦(KW_{el})之熱電聯產機組，提供電力及熱水供該廠乳品製程及鄰近社區 48 戶使用。該廠同時處理牛糞液及農業廢棄物，減少甲烷排放量及提供熱電再生能源。



圖 2 德國 Lichtenberg 市的牛糞液沼氣廠

該公司在美國另設計建造一牛糞液沼氣廠，該廠飼養 1200 頭乳牛，沼氣熱電聯產機組容量 450kW CHP，已於西元 2013 年商轉，該廠牛糞液是以覆蓋的水塘儲存，為提升牛糞液中固體含量，該廠以刮除方式清理牛舍，取代以清水沖洗，減少用水量及廢水量。並搭配收集管線規劃設計，收集固態物質以提高沼氣產量。



圖 3 牛糞液儲存塘



圖 4 以刮除方式清理牛舍

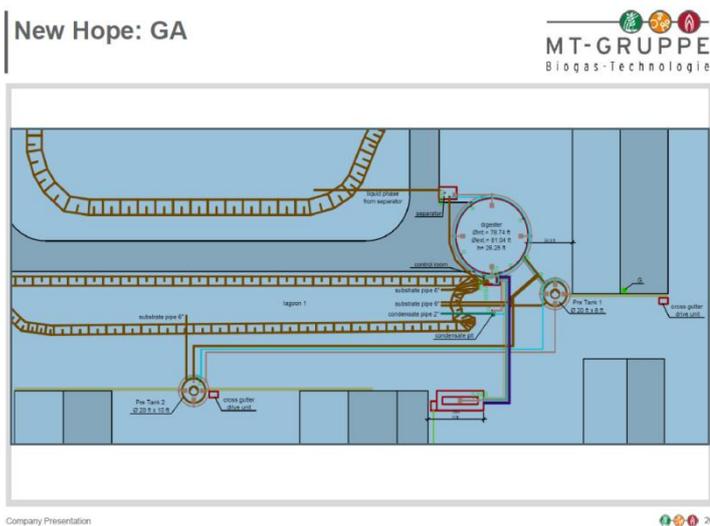


圖 5 牛糞液收集儲存示意圖

為了解我國多元開展處理禽畜糞液相關規定及限制，與該公司交流討論，略述如下：

1. 臺灣氣候炎熱、豬舍設計及飼養特性，多使用大量地下水沖洗豬舍，污水量偏高，畜牧廢污水固體含量僅約 4~5%，單位容積生產沼氣量低。如我國欲以禽畜糞液利用進行沼氣發酵，其產氣效益不大，需較長發酵時間及儲存空間。為提升處理效益，宜針對農業廢棄物綜合處理發酵面向進行整合評估，考量各廢棄物共消化可行性。
2. 可考量以前處理方式固液分離，將固態物質與液態物質分別處理，以獲取最大產氣效率。惟在我國大量畜牧廢水之儲存所需空間，將待克服。
3. 德國畜牧場佔地面積大，沼氣工程使用 2 個連續發酵罐串聯發酵，其中第 1 個發酵罐採用連續出料方式，將發酵料液排入第 2 個發酵罐儲存並進行 2 次發酵，同時可發酵罐可兼作沼氣儲氣裝置。
4. 厭氧後沼液儲存槽，儲存 6 個月以上再將沼液排出供附近農田施用，沼液儲存槽所需體積為厭氧發酵槽 2 倍體積。
5. 有關沼氣脫硫設備，部分廠家因僅使用能源作物，發酵物質不含硫，故無脫硫設備之需求。對使用畜牧糞液為發酵物質者，則需設置脫硫設備，其處理方式包含水洗、生物脫硫等，可依實際需求設計規劃。

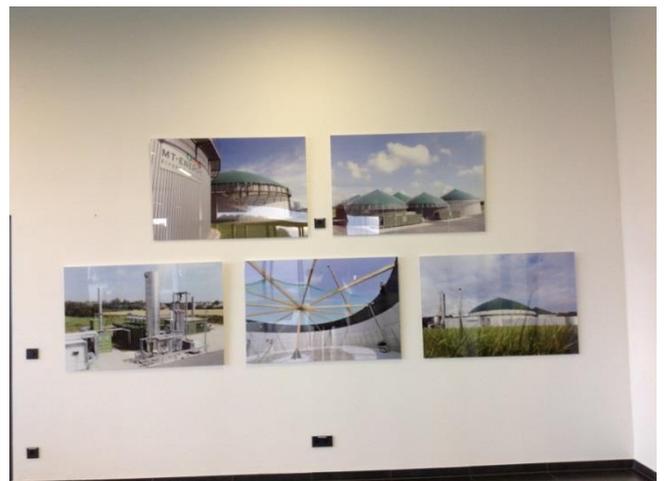


圖 6 參訪 MT 能源公司

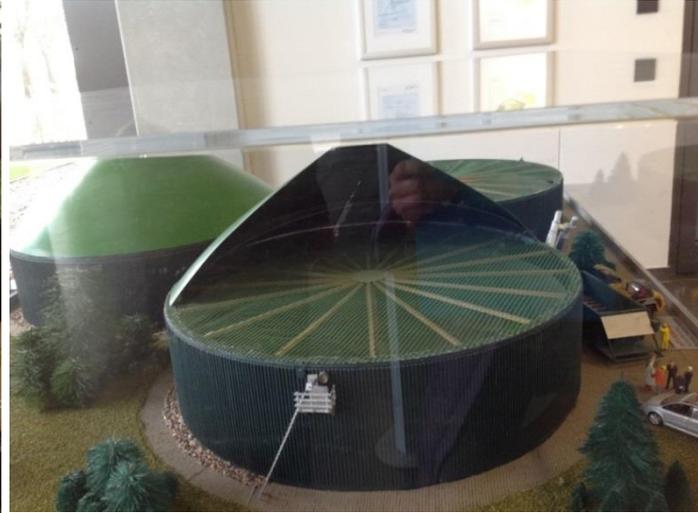


圖 7 MT 能源雙膜發酵槽剖面



圖 8 發酵槽內部



圖 9 沼氣利用-熱電聯產及沼氣純化

MT 能源公司除為工程規劃設計施工公司外，也成立沼氣廠，主要發酵物質為玉米青貯及甜菜等能源作物。



圖 10 沼氣廠能源作物堆放及運送



圖 11 連續進料輸送設置



圖 12 輸送裝置可將物料由發酵槽上方投入

為增進產氣效益，該廠連接 2 個發酵罐沼氣，同時也可使 2 罐環境趨近相同，穩定甲烷生成菌生長環境。



該廠處理豬糞液及玉米青貯 2009 年商轉，沼氣熱電聯產容量 365 千瓦，本廠採用畜糞液與玉米青貯混合發酵者，因沼氣廠係建於畜舍附近，畜糞液係以地下管渠由畜舍運送至沼氣廠儲槽儲存，並混合沼渣及部分豬糞，以提高產氣效果。



圖 13 沼氣廠外觀及能源作物堆放

該廠並利用沼氣熱電聯產餘熱，乾燥沼渣成顆粒狀，可提供鄰近農地使用。



圖 14 沼渣乾燥流程

沼液利用，萃取沼液中含氮物質，轉化為硫酸銨(ammonium sulfate)，可做為農業肥料。

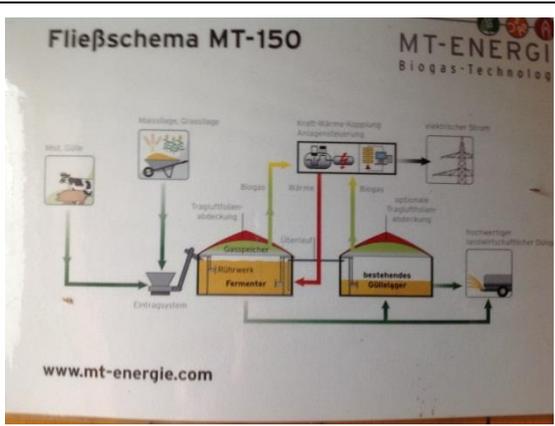
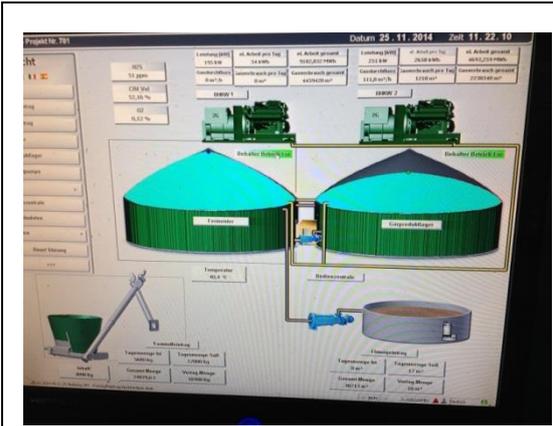


三、Biogas Plant Page

牛糞液及玉米青貯 西元 2010 年商轉，沼氣熱電聯產容量 2*265 千瓦



圖 15 牛舍糞液收集儲存



進料混合輸送系統



沼氣量監測裝置

圖 16 沼氣製造流程、進料及監測裝置

四、RORO 能源公司

RORO 能源公司是一家處理有機廢棄物的公司，自西元 1999 年商轉，已持續運作 15 年。沼氣發電裝置 1.4 百萬瓦(MW)。處理物質包含有包裝的有機廢棄物、無包裝的有機廢棄物、家戶有機廢棄物、釀造及乳品製造業廢棄物、屠宰廢棄物等，每日可處理 100 噸廢棄物。

主要處理程序包含垃圾破碎分選、製漿、蒸煮消毒、厭氧發酵、沼氣發電、餘熱回收利用及沼渣沼液利用。

因所處理之廢棄物為垃圾，成份複雜，包含不可進行厭氧發酵之金屬容器、塑膠包裝材料、或家戶垃圾拌隨之雜質，需先經由垃圾破碎分選輸送裝置，篩選可發酵之有機物質，進行後續厭氧發酵程序，其餘物質則需剔除另以適宜方式處理。



圖 17 待處理廢棄物及進料儲坑



圖 18 待處理之事業及家戶廢棄物

破碎時可將包裝物材同時破碎，再利用物質比重或特性，將輕物質如塑膠包裝材料，重物質或金屬物質等如砂石、金屬除砂泵除砂及沉澱物亦去除，取中間層製漿蒸煮至 71°C 消毒，可利用餘熱加熱發酵槽，有效利用能源。



圖 19 垃圾破碎輸送裝置



圖 20 除砂



圖 21 破碎分選篩除塑膠包裝材料



沼氣熱電聯產，熱能可用來乾燥沼渣，製作沼渣顆粒。



圖 22 沼渣顆粒

因廠內物質為廢棄物容易有異味，所以利用餘熱設置吸附設置，去除異味，於廠外並無感受明顯垃圾異味。



圖 23 異味吸附裝置

五、Bioenergie Geest GmbH & Co. KG

西元 2011 年商轉，沼氣發酵物質為能源作物，產生 700 立方公尺天然氣，熱電聯產裝置 845 千瓦(kW)



圖 24 GEEST 沼氣廠

本廠採用一創新的進料系統，將發酵罐內沼液與固體能源作物混合後再送入發酵罐，可減少直接將固體發酵物質投入發酵罐造成混合不均勻，影響產氣效益。

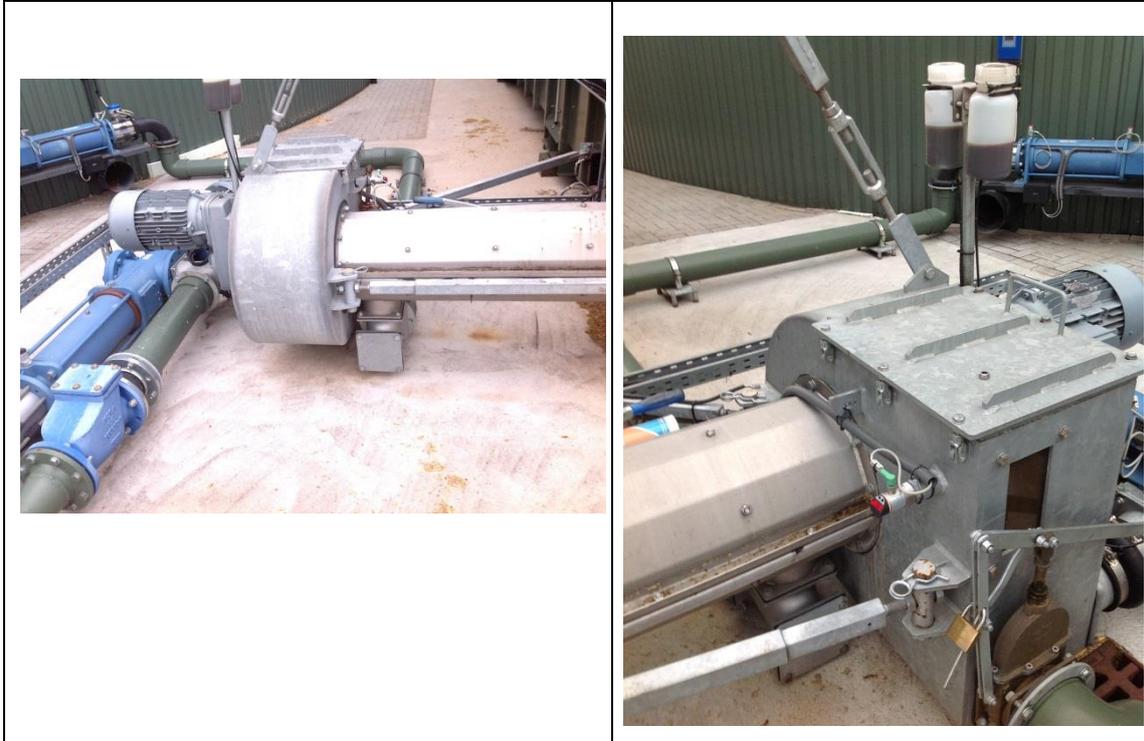


圖 25 進料系統（混合沼液及發酵物質）



圖 26 沼液輸送泵(可輸送高濃度沼液)

肆、成果評估與心得

(一) 整體面

1、國家政策鼓勵沼氣發電

沼氣發展受國家政策影響，包括上網電價、沼液、沼渣處理利用及燃料價格，沼氣發展快速成長的國家，政府部門擬定多項策略以經濟誘因促使民間積極建設沼氣發電工程。

德國對沼氣發電的鼓勵策略可從基本補助政策、能源作物補貼及熱電聯產優惠等多項政策誘使民間投入沼氣發電行業。相關法令如電力並網法(1990年)、可再生能源優先法(Renewable Energy Act)，並於2004年修訂可再生能源優先法進行修訂，鼓勵小型農場沼氣發電上網。其鼓勵政策包含電價優惠，對小於70kW的小型沼氣工程更有補貼及低利貸款等誘因。

2、沼氣沼渣利用商業化

德國沼氣工廠均為商業化經營，並依需求規劃沼氣、沼渣及沼液的再利用去化管道。沼氣除供發電、熱電聯產外，並可提純製作天然氣，將沼氣中甲烷含量提純至96%以上，可供汽車燃料，或運輸入城市燃氣管網提供天然氣使用。沼渣、沼液均需貯存180天的貯存期，始得提供作為農作物的肥料使用。沼渣則視應用需求，就近提供附近農田施肥使用，取代化學肥料。或利用廠內餘熱乾燥製成顆粒狀肥料，方便包裝及運送。

3、多元沼氣發酵物質

德國農場沼氣工程多為混合原料發酵，農場所產生的牛糞、豬糞均可為發酵原料，另再搭配農業廢棄物如高產氣價值的玉米青貯、有機廢棄物、青草、能源作物及收割殘餘物等補充發酵原料，增加發酵所需養分，提升甲烷產量。

(二) 技術面

1、前處理技術

厭氧發酵的環境、溫度、水分、酸鹼度等需予嚴格控制，俾提供甲烷生成菌適當厭氧環境生長與作用。因此禽畜糞液、廚餘等廢棄物在進入沼氣消化槽前，依其成份特性之不同應進行不同的前處理程序。

在處理玉米青貯時先進行預處理，係由農家於玉米收割時即於農田裏將青貯切碎，捆紮後運送至沼氣廠，靜置並添加適當營養劑，促進反應。為增加產氣效果，某廠係運用發酵槽內之沼液與玉米青貯混合攪拌後，以輸送帶將混合液注入發酵槽內。

採用畜糞液與玉米青貯混合發酵者，因沼氣廠係建於畜舍附近，畜糞液係以地下管渠由畜舍運送至沼氣廠儲槽儲存，並混合沼渣及部分豬糞，以提高產氣效果。

有機廢棄物垃圾處理，其物質來源包含工廠不良品、賣場過期貨物、市場農產品垃圾或一般市鎮廚餘垃圾等。因其來源複雜，前處理步驟較繁雜，先經破碎、篩選去除塑膠包裝、金屬等雜質，再將可進行沼氣發酵的有機物質除砂、消毒等程序，送入沼氣發酵槽進行。

2、厭氧發酵消化及儲氣單元

為提升厭氧發酵消化單元產氣率，採取增加混合率方式，如消化槽內攪拌棒可調整高度、角度，促使槽內物質混合增加產氣效益。另於不同發酵槽間設置馬達輸送交換發酵物質，依各槽發酵情形調配，皆可提高產氣效率。

本次參觀的工廠依其發酵物質特性選用攪拌方式，以機械攪拌為主，為穩定甲烷生成菌生長環境，部分廠家以馬達抽取方式混合二個厭氧發酵罐發酵液，目的在使二個罐體環境相同，提高原料產氣率。提高效能降低設備運轉耗能。

本次參訪廠商係採用二級連續發酵系統組成。包含：主發酵槽、二次

消化槽及儲渣槽。發酵原料（乾物質濃度>30%），厭氧發酵及儲氣為一體化單元，雙膜式儲氣。各廠均為自動化操作，於現場並無見操作人員。

3、沼氣純化與利用

厭氧消化後沼氣分離二氧化碳(CO₂)方法以氨水洗法(Amine Solution)及膜分離法。厭氧消化後產生的沼氣中約有 50~60%是甲烷(CH₄)，其餘有 CO₂(15~50%)、H₂S、矽烷類(siloxanes)及水份等，經提純後甲烷濃度可達 96~97%。

但程序是否脫硫及是否設計脫硫程序，宜視原料含量而定。本次參訪部分廠家使用玉青貯為原料，因硫含量低，故未進行脫硫之處理，因此，在設計之前，宜測試原料之成份。提純後的沼氣可送至市鎮天然氣管網，提供家戶天然氣使用。

(三) 建議事項

國外將豬糞尿當作資源處理，沼氣發電利用，沼液作為有機肥回歸農田使用，無論在技術面及市場面均已有運作實例。我國豬糞液中含水量較高（TS 約 4~5%）如僅以禽畜糞液利用進行沼氣發酵，其產氣效益不大，需較長發酵時間及儲存空間。為提升處理效益，減少污染物排入河川，宜針對農業廢棄物綜合處理發酵面向進行整合評估，考量各廢棄物共消化可行性，並對生質能源與沼渣再利用最適化評析，期解決畜牧業廢水污染問題及推動能資源循環利用，並將沼氣、沼渣及沼液產品化發展。

伍、附件