

# 綠能養豬發展新契機

蘇忠楨

台灣動物科技研究所 研究員兼組長

養豬產業是我國最大之畜牧產業，依據 2009 年農業統計年報資料，畜牧產業總產值為 142,034,401 千元，占總農業產值 34.88%；而養豬產業產值為 65,897,983 千元，占總農業產值 16.18% (<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=21685>)。農委會 2010 年 5 月養豬業調查資料顯示，在養戶數為 10,274 戶，在養總頭數為 6,126,485 頭，其中在養 1,000 頭以上豬場為 1,703 戶(占 16.58%)，總在養頭數為 4,069,461(占 66.42%)。若是依廚餘養豬與飼料養豬區分：(1)在養 100 頭以上規模有 6,150 戶，廚餘養豬戶 1,560 戶(占 25.37%)，飼料養豬戶 4,590 戶(占 74.63%)。(2)在養 99 頭以下規模有 4,124 戶，廚餘養豬戶 2,891 戶(占 70.10%)，飼料養豬戶 1,233 戶(占 29.90%) (<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=21823>)。據中央畜產會統計國人對於豬肉之消費量約為 38 公斤/人/年，養豬產業提供國民經動物性蛋白質來源 (<http://vettech.nvri.gov.tw/Appendix/publication/972.pdf>)。

養豬場之沼氣是由場內設置之廢水處理場所產生，廢水處理場設施主要包括三段處理程序，依序分別為糞尿廢水之固液分離、厭氣消化及曝氣處理。沼氣是由廢水厭氣消化段產生，廢水在厭氣槽內先經過厭氧菌的水解與發酵作用後產生小分子有機酸，甲烷菌再利用有機酸為碳源以生產沼氣。

沼氣是有機廢棄物(包括動物糞尿生活污水及食品廠廢棄物等)經厭氣醱酵處理所產生之副產物，其與使用能源作物經微生物發酵所產生之酒精不同，所以沼氣利用為主要生質能源技術研發之重點。德國與中國已經利用雞糞進行沼氣生產並應用於發電，因為糞便之厭氣消化不需要耗費電力能源，只要保持密閉厭氣環境，厭氣消化槽就會產生沼氣。糞便經過厭氣消化後所剩餘之殘留物質(其污染量已經降低)即為沼渣與沼液，可以充當液體肥料直接以機械施用於農地。如此，利用動物糞便可以同時獲得(1)沼氣發電及(2)液體肥料之雙重獲利，並同時(1)減少溫室氣體排放及(2)降低畜牧業生產成本。同時使用動物糞便、污泥、農業(稻殼、稻草、鋸木屑等)與工業(食品廠有機廢棄物、污水處理廠污泥、廚餘等有機垃圾)之有機廢棄物進行共同消化(co-digestion)處理，更可以提升(1)沼氣生產之效率與(2)沼氣中所含甲烷(乾淨燃料)之濃度。

## 一、畜牧業溫室氣體排放量估算

### (一)生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)方法學

生命週期評估範圍是由搖籃到墳墓，即由畜產動物出生到成為畜產品為止，包括所經過之生命程序及其相關程序，但是評估範圍之選取，會影響所得到的溫室氣體排放量。以聯合國糧農組織在 2006 年發表之報告資料為例，其估算之畜牧相關之人類活動溫室氣體排放(約 7,035 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)主要類別包括：(1)腸內發酵與呼吸(1,800 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(2)動物糞便(2,160 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；

(3) 畜牧相關土地使用變更(2,400 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(4) 關聯畜牧之沙漠化(100 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(5) 畜牧相關由種植土壤釋出(230 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(6) 飼料生產(240 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(7) 農場內化石燃料使用(90 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(8) 農作收穫後之排放(10~15 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr) (表 1)。然而，美國估算之畜牧相關之人類活動溫室氣體排放(約 414.6 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)之範圍較小，主要類別包括：(1) 農業土壤管理(209 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(2) 腸內發酵(139 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(3) 糞便管理(59 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(4) 稻米種植(6.2 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)；(5) 農地燃燒農葉殘餘物(1.4 Tg-CO<sub>2</sub> e/yr)，所以畜牧業僅占 2.8% (相較於糧農組織之 18%)，美國加州亦然(表 2 與 3)。

2009 年 11 月「看守世界研究中心(Worldwatch)」出版(Goodland and Anhang, 2009) 之「畜牧業與氣候變遷」報告指出，畜牧業及其副產品每年實際排放的二氧化碳高達 326 億公噸(畜牧業溫室氣體排放占 51%)。來自畜牧業的主要溫室氣體來源為：(1) 伐除雨林以生產飼料；(2) 糞便廢棄物所釋放的甲烷—甲烷的潛在暖化效應為二氧化碳的 72 倍；(3) 肉乳產品的冷凍與全球運輸；(4) 動物的飼養、屠宰與加工。

此報告內容有多處膨脹估算量之計算，包括：(1) 針對畜牧業溫室氣體排放量的計算基準與一般評估不同，報告中使用甲烷之全球溫室氣體潛能(global warming potential)為二氧化碳之 72 倍計算(25 年平均值)，一般評估是以 25 倍(100 年平均值)計算；(2) 評估範圍包括：伐除雨林以生產飼料、糞便廢棄物所釋放的甲烷、肉乳產品的冷凍與全球運輸、動物的飼養及屠宰與加

工等，亦即將許多與畜牧業「間接相關或不相關」之溫室氣體排放皆歸於畜牧業的排放量。這些間接相關與不相關之溫室氣體排放，包括：(1)阿根廷境內為放牧所砍伐的森林、「養殖漁業」視為畜牧業；(2)冷藏牲畜產品所用到的碳氟化合物(冷媒)；(3)豬流感等人畜共通的疾病和動物產品所引起的其他疾病所使用之碳排量高的醫療資源；(4)牲畜產品的處理；(5)皮革、羽毛和毛皮等副產品的生產、銷售和處理及其包裝作業；(6)烹煮肉類所需的溫度與時間等(例如，烹煮肉類所需的溫度與時間通常高於烹煮非肉類食品的溫度，烹煮的時間也較長)，也都被計算在畜牧生產所排放之溫室氣體排放量。所以，「看守世界研究中心(Worldwatch)」發表之報告對於畜牧業溫室氣體排放量之計算並不合理。

## (二)政府間氣候變遷委員會(IPCC)方法學

參考行政院農業委員會每年度編印之「農業統計年報」。養豬業為畜牧業產值最大之產業，2009年養豬頭數比2008年遞減6.43%(由6,427,597遞減至6,130,003頭)，但2009年屠宰頭數與2008年相比僅些微增加(0.21%)。乳牛隻數比2008年增加1.15%(由52,566增加至53,170隻)，非乳牛隻數比2008年遞減1.42%(由77,785遞減至76,681隻)，水牛隻數比2008年增加7.31%(由3,599增加至3,862隻)，山羊隻數比2008年遞減11.6%(由165,039遞減至145,871隻)，鹿隻數比2008年遞減1.74%(由23,031遞減至22,631隻)，家禽(雞、鴨、鵝)隻數比2008年增加3.54%(由367,073,000增加至

380,077,000 隻)。

畜牧部門溫室氣體總排放量自 1997 年即開始遞減，由 1,269,193 tCO<sub>2</sub>-e/yr (1996 年)遞減到 893,925 tCO<sub>2</sub>-e/yr (2009 年)，遞減 29.6%。其中畜禽腸道發酵之溫室氣體排放量，由 901,577 tCO<sub>2</sub>-e/yr (1996 年)遞減到 622,704 tCO<sub>2</sub>-e/yr (2009 年)，遞減 30.9%。排泄物管理之溫室氣體排放量，由 367,616 tCO<sub>2</sub>-e/yr 遞減到 271,221 tCO<sub>2</sub>-e/yr (2009 年)，遞減 26.2%。我國農委會提出之畜牧業溫室氣體排放，僅占全國溫室氣體排放之 0.43% (表 4)。

表 1. 聯合國糧農組織(FAO)估算資料 (FAO, 2006)

	排碳量(Tg-CO <sub>2</sub> e/yr)*	占全球人類活動溫室氣體 排放百分比(%)
畜牧業	7,100	18
化石燃料燃燒	4,000-5,200	13

\* 「Tg-CO<sub>2</sub> e/yr」亦即「百萬公噸 CO<sub>2</sub> 當量/年」

表 2. 美國估算資料(Pitesky et al., 2009)

	排碳量(Tg-CO <sub>2</sub> e/yr)	占美國人類活動溫室氣體 排放百分比(%)
總排放	7,150	100
農業	413	5.8
畜牧業	198	2.8
運輸	1,887	26

表 3. 美國加州估算資料(Pitesky et al., 2009)

	排碳量(Tg-CO <sub>2</sub> e/yr)	占加州人類活動溫室氣體 排放百分比(%)
總排放	492	100
農業	27	5.4
畜牧業	14	2.8

表 4. 2008 年主要畜牧大國及我國溫室氣體排放情形比較表(農委會，2010)

占全國溫室氣體 排放之百分比	美國	英國	法國	加拿大	澳洲	紐西蘭	我國
農業 (%)	5.94	6.89	18.00	8.16	16.18	47.60	4.21
畜牧業(%)	2.82	3.21	8.95	3.92	10.90	32.03	0.43

## 二、台灣低碳農村規劃及國家溫室氣體抵減機制

### (一)畜產動物糞便集中沼氣工廠建立

#### 1. 國外案例

動物糞便之集中處理以丹麥為例，位於丹麥 Esbjerg 州之兩個集中處理沼氣廠，一座位於 Ribe (Ribe Biogas Ltd.)，另一座位於 Lintrup (LinkoGas A.m.b.a.)。位在 Ribe 鎮的沼氣廠(圖 1~圖 3)，於 1989~1990 年間建造完成，並於 1990 年開始運作，目前本沼氣廠為 Ribe Biogas 公司所有，設廠投資金額為 45.3 百萬克郎(約合 258.21 百萬元新台幣)，政府計畫經費補助 12.9 百萬克郎(約合 73.53 百萬元新台幣)，歐洲經濟社團(EEC, European Economic Community)經費補助 4.8 百萬克郎(約合 27.36 百萬元新台幣)。公司是由許多提供糞泥之農場、一個提供有機廢棄物之食品加工廠、地方電力公司及兩個投顧公司所共同擁有。沼氣廠主要之發酵原料為動物糞便(352 tons/day)來自 69 個畜牧場，密閉集運槽車 3 部(2 部×20 m<sup>3</sup>+1 部×30 m<sup>3</sup>)，集運車最長運輸距離為 11 公里。其他還包括屠宰場之動物內臟、食

品廠與魚加工廠之可消化油脂有機廢棄物、製藥廠及家禽屠宰場之廢棄物等替代性生物質量(68 tons/day)共同發酵以生產沼氣。厭氣消化槽容量(3槽×1745 m<sup>3</sup>)為 5235 m<sup>3</sup>，厭氣消化溫度約為 53°C，保證持續維持停留時間 4 小時，以確定被消化後所剩餘之生物污泥符合衛生要求。生物污泥為無病原菌、具營養之液體肥料，將被送回農場施用於農地。沼氣儲存容量 1000 m<sup>3</sup>，所生產之沼氣(4.8×10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup>/year)經由低壓管路系統(1 Nm<sup>3</sup>=1.25 kg)，傳送到在 Ribe 地區新的汽電共生(CHP, Combined Heat and Power Production)廠。自 1996~1997 年起，該汽電共生廠可以供應整個 Ribe 市所需要之電力與熱能(蘇，2008)。

## 2. 國內低碳畜牧業規劃

### (1) 善用集中堆肥場空間：

我國約有 31 場區域性禽畜糞堆肥集中處理中心或為農牧廢棄資源處理中心，主要代處理農民或畜牧場產出之農牧廢棄物(<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=4240>)。農委會 2010 年 5 月養豬業調查資料顯示，在養戶數為 10,274 戶，在養總頭數為 6,126,485 頭，其中在養 999 頭以下豬場為 8,571 戶(占 83.15%)，但總在養頭數僅 2,057,024(占 33.58%)。

### (2) 集中畜牧廢棄物資源：

為集中處理資源(豬糞渣)並提升經濟效益，可以將在養 999 頭以下養豬場固液分離後之豬糞渣以集運車，集中運送至集中堆肥場，同時將堆肥場內增設厭氣消化槽、沼氣生物脫硫及汽電共生等設備，亦即將「集中堆肥場」改建為「集中沼氣工廠」。

### (3)沼氣資源之回收利用：

將豬糞渣經厭氣消化以生產沼氣，並進行汽電共生，同時提供生質電能與熱蒸汽。厭氣消化所剩餘之污泥則經過堆肥場簡易處理，即可以製成土壤改良劑(或有機肥)。

### (4)建立農企業經營模式：

而提供豬糞渣之養豬場則是以入股方式，成為集中沼氣工廠之股東，將售電所得共同分享。

## (二)畜牧業沼氣燃燒之減碳量估算

沼氣量以  $0.1\text{m}^3/\text{head}$  估算，則總在養 6,126,485 頭豬之沼氣量為

$612,649\text{m}^3/\text{d}$ 。國內沼氣利用主要分為(1)直接燃燒及(2)沼氣發電，其減碳

量計算如下：

### (1)直接燃燒

#### 1.沼氣收集

$$612,649\text{m}^3/\text{d} \times 0.65 \times 0.72\text{kg}/\text{m}^3 = 286,720\text{kg CH}_4/\text{d} \times 25 \text{ CO}_2 \text{ e} = 7,168,000\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d}$$

## 2. 沼氣燃燒之二氧化碳排放量

### A 沼氣中二氧化碳含量

$$612,649\text{m}^3/\text{d} \times 0.35 \times 1.977\text{kg}/\text{m}^3 \times 1 \text{ CO}_2 \text{ e} = 423,922\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d}$$

### B. 沼氣燃燒產生之二氧化碳排放量

$$612,649\text{m}^3/\text{d} \times 0.65 \times 1.977\text{kg}/\text{m}^3 \times 1 \text{ CO}_2 \text{ e} = 787,285\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d}$$

$$A+B=2$$

$$423,922\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d} + 787,285\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d} = 1,211,207\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d}$$

$$1-2=$$

$$7,168,000\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d} - 1,211,207\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d} = 5,956,793\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d} \\ = \underline{2.17 \text{ Tg CO}_2 \text{ e}/\text{yr}}$$

## (2) 沼氣發電

(計算依據  $0.7\text{m}^3$ -biogas/kWh，發電排放係數= $0.623\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{kWh}$ )

$$612,649\text{m}^3/\text{d} \times (\text{kWh}/0.7\text{m}^3) \times 0.623\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{kWh} \times 25 \text{ CO}_2 \text{ e} = 13,631,440\text{kg CO}_2 \text{ e}/\text{d} \\ = \underline{4.98 \text{ Tg CO}_2 \text{ e}/\text{yr}}$$

保守估計以 70% 沼氣用於發電，每年仍可以減少二氧化碳排放量 3.49 Tg CO<sub>2</sub> e/yr。

## (三) 國家溫室氣體登錄平台之抵換專案

為因應我國溫室氣體減量法(草案)第 12 條需求，建立國家指定之溫室氣體排放量登錄資訊平台，以提供查證、減量或交易之排放量、碳匯量、核配量、拍賣量及配售量等排放源帳戶登錄窗口，行政院環保署已於 2007 年 7 月正式啟動「國家溫室氣體登錄平台」，提供工業及能源產業作為國家溫室氣體盤查減量成果登錄之窗口(圖 1 與 2)。

### 1. 2009 年動科所依據 UNFCCC 清潔發展機制(CDM)方法學，協助建立國內第

一本畜牧場溫室氣體減量計畫書『平順養豬場糞肥處理系統沼氣回收溫室氣體減量專案計畫書』，數據顯示在養9,000頭養豬場，使用一組30kW沼氣發電機發電，則每年可以減少3,163 tCO<sub>2</sub> e/年，但是因為該牧場沼氣可以足夠提供90kW發電機使用，因此藉由沼氣發電，平均每頭豬可以減少約1 tCO<sub>2</sub> e/年。

2. 以在養 6,126,485 頭豬計算，藉由沼氣發電(依據每頭豬可以減少約 1 tCO<sub>2</sub> e/年)，則台灣養豬業所產生的減碳效應，預估約為 6,120,000 tCO<sub>2</sub> e/年，未來畜牧產業經由沼氣利用以進行「碳交易」或與工業界進行「碳抵減」。



圖 1. 國家溫室氣體登錄平台網頁 (<http://www.ghgregistry.tw/>)

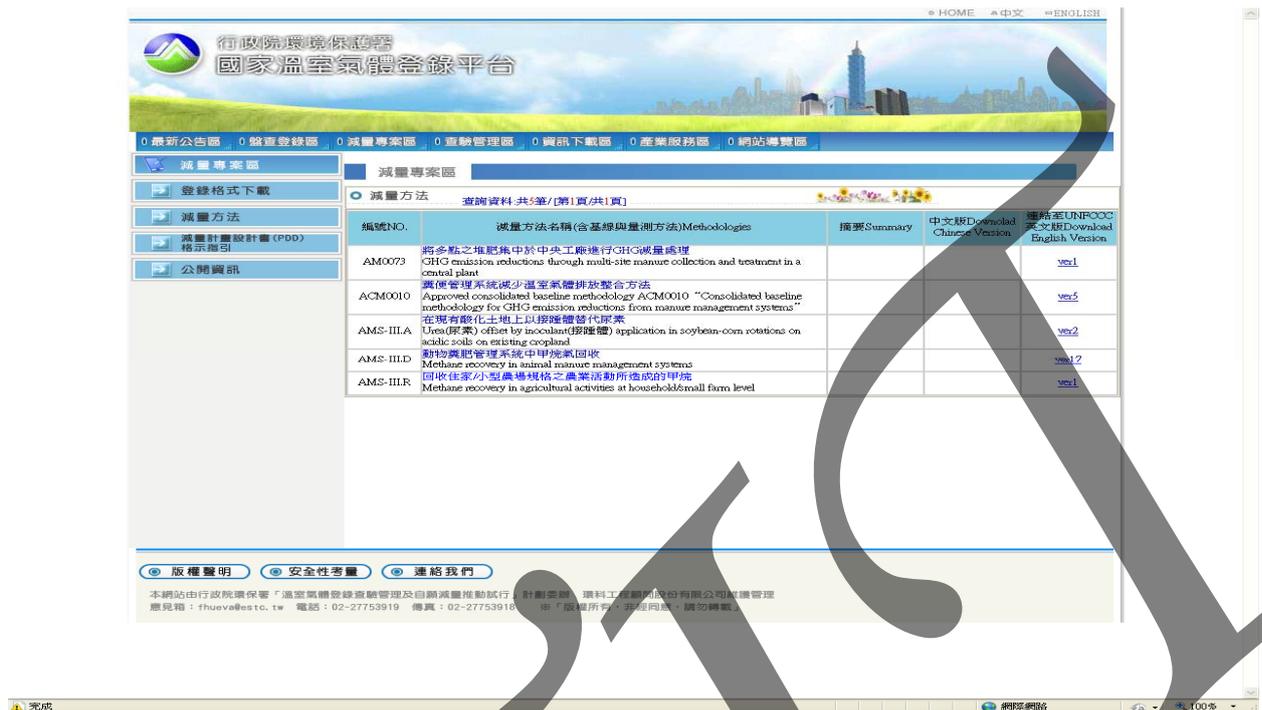


圖 2. 國家溫室氣體登錄平台之減量方法網頁(<http://www.ghgregistry.tw/>)

### 三、畜牧業沼氣利用之經濟效益分析

國內畜牧場對於場內再生能源(沼氣)之利用率偏低，主要原因在於缺乏經濟可行之技術，能提供給畜牧業者，協助其將沼氣中具腐蝕性之硫化氫去除。由於國際石油價格逐漸飆漲，世界各國又開始注意替代能源之技術研發。台灣動物科技研究所環境生物技術研究室於 2006 年起在農業生物技術國家型計畫辦公室、經濟部工業局農業生技產業化計畫及農委會科技處之產學合作計畫經費之資助下，開始進行沼氣生物脫硫技術之產業化研究，此技術系統並於 2010 年 5 月榮獲『第七屆國家新創獎』榮譽，期望鼓勵國內在養 500 頭以上養豬場(佔總在養頭數之 86.5%)，對於廢棄物資源回收利用(發電或鍋爐等應用)之意願，提升畜牧場內 50%以上之沼氣利用

率，等於降低畜牧場內 50%以上之溫室氣體排放量，除可以促進畜牧產業之永續發展，亦可以達到產業發展與環保雙贏之目的。

#### (一)沼氣發電經濟效益分析

苗栗縣竹南鎮某豬場(1,000 頭)自行裝設沼氣發電機(30kW 發電機)，場內設置沼氣生物脫硫裝置，夏季將脫硫後之沼氣用於發電，每日約可以發電 12~16 小時。冬季將脫硫後之沼氣提供為仔豬保溫燈燃料。其經濟效益分述如下：

##### 1.每日供應 8 小時發電：

可節省用電每天 240 度( $30\text{kW/hr}\times 8\text{hr/day} = 240\text{kW/day}$ )，每年可節省 210,240 元電費( $240\text{kW/day}\times 365\text{day/yr}\times \text{NT}\$2.4/\text{kW} = \text{NT}\$210,240$ )。

##### 2.每日平均供應 14 小時發電：

可節省用電每天 420 度( $30\text{kW/hr}\times 14\text{hr/day} = 420\text{kW/day}$ )，每年可節省 367,920 元電費( $420\text{kW/day}\times 365\text{day/yr}\times \text{NT}\$2.4/\text{kW} = \text{NT}\$ 367,920$ )。

#### (二)沼氣用於廚餘之蒸煮與保溫經濟效益分析

桃園某豬場(1,000 頭)僅有三座厭氣槽，沼氣收集量不足，燃料油因而成為蒸煮廚餘之主要燃料；考量購買燃料油之成本，所以每天僅煮沸廚餘 0.5 小時，每月約需 3.75 萬元購買燃料油費用，即燃料油成本約為 45 萬元/年。經過輔導後，另增加三座厭氣槽，使沼氣收集量增加。完成設置沼氣生物脫硫裝置，經過生物脫硫設備後之沼氣，可以連續 24

小時持續用以廚餘保溫，沼氣為厭氣槽之副產物，只要有豬糞進入厭氣槽即會產生沼氣，為畜牧場內最經濟方便之再生能源。使用沼氣生物脫硫設備之設置費用為 45 萬元，抽氣馬達 24 小時運轉約需耗費 14,507 元/年(16.56 度/天×365 天/年×2.4 元/度)，總成本約為 46.5 萬元，所以約一年可以還本。豬場主人對於本此沼氣利用輔導工作表示，經過生物脫硫之沼氣經過燃燒後無嗆鼻氣味，也不會燻紅眼睛，表示經脫硫後之沼氣直接燃燒後，不會產生刺鼻與會燻眼之二化硫，有益身體健康。此外，因為廚餘可以 24 小時持續保溫，使得豬場主人省去利用燃料油燃燒等待之時間(每天約 20~30 分鐘)，一年則可省約 152 小時之等待時間，節省人力即節省成本。不同廚餘養豬規模別及沼氣生物脫硫設備投資之經濟效益比較顯示，在養 1,000、2,000 及 3,000 頭養豬場直接使用沼氣充當鍋爐燃料(含熱水器)，其投資成本之還本年限分別為 1.04、0.65 及 0.35 年(表 5)。

### (三)台灣養豬業之節能效益分析

1. 以國內豬隻在養頭數 6,126,485 頭計算，約產生 612,649 m<sup>3</sup> 沼氣/天，可產生 319,452,693 度電/年，約可節省 766,686,463 元/年之電費，直接降低養豬業之生產成本。
2. 以在養總頭數 6,126,485 頭估算，依照經濟部公告之「中華民國九十九

年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」說明，如以生質能之電能躉購費率 2.0615 元/度計算，保守估計以 70%沼氣用於發電，則每年可以售出 460,986,209 元電力。也可以將沼氣直接燃燒則可以節省燃油及天然氣成本。

表 5. 養豬場沼氣直接燃燒應用之經濟效益比較表

成本	廚餘養豬場規模(頭)		
	1,000	2,000	3,000
沼氣生物脫硫設備 (電腦全自動化) (千元)(A)	450	450	450
沼氣生物脫硫電費(千元)(B)	14.5	14.5	14.5
沼氣鍋爐 熱水器(千元)(C)	自備 4	自備 4	自備 4
燃料油*(D)	450	720	1,350
還本年限(年) (A+B+C)/D	1.04	0.65	0.35

\*燃料油成本依照養豬戶實際用油成本估算