

# 台灣畜牧養殖及廢棄物處理時甲烷排放量測及減量對策

(國立台灣大學生化科技學系 楊盛行、劉清標 國立台灣大學農業化學系 賴朝明、王一雄  
行政院農業委員會農糧處 黃山內 國立台灣大學微生物與生化學研究所 陳顛竹、魏嘉碧  
國立中興大學土壤環境科學系 王銀波、譚鎮中 國立中央大學環境研究中心 郭坤土、張哲明  
畜產試驗所新竹分所 李春芳 國立雲林科技大學環境工程學系 洪肇嘉)

## 一、前言

甲烷在工業化時代之前濃度為 0.80 ppm，1992 年增加至 1.72 ppm，每年以 0.9% 之速率增加。甲烷在 1979-1980 年增加 20 ppbv，1983 年增加 13 ppbv，1990 年增加 10 ppbv，1992 年則增加 5 ppbv (Dlugokencky 等，1994)，目前有逐漸下降的趨勢。雖然其較二氧化碳濃度低甚多，但每一分子甲烷吸收紅外線之強度則為二氧化碳之 30 倍。甲烷之溫室效應氣體比重僅次於二氧化碳，約佔 12-15%，估計在二十一世紀時將增加至 15-25% (IPCC，1992)。而甲烷進入大氣主要有二個途徑：(1) 在厭氧條件下分解生質而產生甲烷，(2) 化石燃料燃燒或天然氣直接逸出 (Cicerone 和 Oremland，1988)。甲烷之主要來源有微生物在厭氧環境下分解有機質而產生甲烷，甲烷菌將有機酸、二氧化碳、一氧化碳等轉變生成甲烷。甲烷生成作用佔全體甲烷來源之 80%，其他如水稻田每年釋出 20-150 Tg、溼地釋出 100-200 Tg、草食性動物腸內發酵釋出 65-100 Tg、白蟻和其他昆蟲釋出 10-50 Tg、生質燃燒釋出 20-80 Tg、垃圾掩埋釋出 20-70 Tg、海洋和其他來源釋出 46-170 Tg。至於非生物性甲烷主要來自礦坑，天然氣和化石燃料等釋出 70-120 Tg，佔全部甲烷釋放量之 20% (Watson 等，1992)。

依 IPCC (1994) 估算在 1990 年全球甲烷人為排放中，由反芻動物及畜牧業養殖有  $9.40 \times 10^7$  公噸，佔總人為排放之 26.86%，而

1992 有  $1.10 \times 10^8$  公噸。在畜牧養殖業，其排泄物、反芻動物之腸胃發酵和由廄肥等經嫌氣菌分解後，可以排放出甲烷。其排放量則視飼養牲畜種類、數量而異。台灣地區民國 89 年底在養豬 7,494,954 頭、牛 161,700 頭，羊 315,045 頭、鹿 20,020 頭、馬 780 頭、雞 117,885 千隻、鴨 10,624 千隻、鵝 2,821 千隻和火雞 251 千隻，其所產生之牛糞、羊糞和豬糞共計 6,957,467 公噸，牛尿、羊尿和豬尿共計 11,651,428 公噸，雞糞尿，鴨糞尿和火雞糞尿共計 6,730,275 噸，如以洪嘉謨 (1986) 測定豬糞尿生產甲烷時，每 7.7 公斤糞尿可以產生 0.3 m<sup>3</sup> 甲烷計算，則 2000 年台灣地區禽畜糞尿如全部以嫌氣發酵處理時，總共可以產生甲烷 705,172 公噸，如有 80% 畜糞及禽畜糞尿回收為堆肥材料，其他 20% 畜糞及禽糞尿和全部畜尿以嫌氣處理則可產生 400,435 公噸 (楊盛行，1997a、2000a)。莊秉潔等 (1992) 估計台灣地區畜牧養殖釋出甲烷  $2.23 \times 10^4$  公噸，楊任徵等 (1994) 估計為  $5.40 \times 10^4$  公噸，洪肇嘉和張國賢 (1996) 估計釋放甲烷  $7.77 \times 10^4$  公噸。Yang 等 (2003) 估計 2000 年由畜牧養殖而由腸道發酵排放甲烷達 20,088 公噸。如能善加利用畜牧養殖時所釋出之甲烷，將可節省甚多能源，且可降低人為溫室氣體排放。

目前世界各國在永續經營觀念帶動下，家庭廢棄物與禽畜產廢棄物的再生與利用已日受重視，例如瑞典已立法通過，自 2005 年起禁止以掩埋法處理有機廢棄物。德國環境

部則規劃自 2020 年起停止以掩埋法處理家庭廢棄物，並鼓勵家庭廢棄物全面回收技術的研發，同意家庭廢棄物的機械與生物處理作業可做為預處理技術。丹麥政府目前為了在 5-10 內增加該國有機農場數目至目前的 2-3 倍開始重視禽畜產廢棄物的處理。在各種廢棄物重新利用的方式當中又以製作成堆肥為主要方式。國內近十年每年產生的禽畜糞量均達百萬公噸以上 (楊盛行等, 2003)，隨著有機農業日受重視，禽畜糞製作成堆肥替代化學肥料將是未來趨勢。

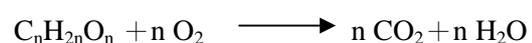
國內曾對禽畜糞在堆積過程中甲烷及氧化亞氮釋出及其相關因子作探討 (譚鎮中和王銀波, 2000; 趙震慶, 1999、2000)。堆積 60 天時，每噸豬糞可以釋出甲烷 22.1 g，牛糞次之 16.3 g，雞糞最低只有 12.9 g。楊盛行 (2003) 和楊盛行等 (2001、2003) 曾針對畜牧養殖時，腸內發酵產生甲烷和廢棄物處理時產生甲烷及氧化亞氮之量加以估算。

堆肥化作用是堆肥材料由微生物消化、分解、利用這些生質能源繁殖、生長和新陳代謝，所得之產品可以做為土壤改良劑和有機肥料。堆肥化目的在改變生質性質，以減輕其對作物可能之傷害，適合運輸和儲存。亦即堆肥化影響這些物質在供給時易於運輸和儲存，使用和維護時更省時和省錢。堆肥主要原則是維持適當密度、孔隙度、大小和水分含量之環境，促進微生物連鎖分解有機物。如果堆肥施用後其成分快速分解，則將影響作物生長。因而在堆肥化時，這些物質改變其分解速率，更易處理而適合作為土壤改良劑和有機肥料。

堆肥化主要是碳水化合物利用微生物生長，消耗能源。在好氣性條件下，微生物快速繁殖將大量碳水化合物氧化成二氧化碳。在厭氧性條件下，微生物利用結合態氧氣，將生質分解生成二氧化碳和甲烷。

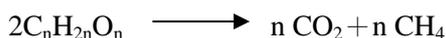
許多生質物質可被微生物分解而升高溫度，另一方面有些物質則不適堆肥處理。堆肥材料主要需供微生物生長的能源及生長代謝所需的營養要素，包括碳水化合物、氮、磷、鉀、硫、鈣、鎂等各種化合物或鹽類，水分和供微生物生長和代謝所需的氧氣。其中有來自農業資材及農產廢棄物、森林園地的枯枝落葉、畜牧養殖時之畜舍褥草和禽畜排泄物、水產品及其加工廢棄物、農產品及其加工廢棄物、都市生活廢棄物和廚餘、下水道處理廠之污泥，以及工業無毒害污泥等。有機化合物如蛋白質、寡醣類、半纖維素及油脂，比較容易被微生物利用。而纖維素和木質素，則分別以  $\beta$ -1,4-葡萄糖甘鍵結和以丙烯基苯為基幹之各種衍生物經氧化聚合而成之三維結構大分子，較不易為微生物分解。由於不同來源的資材其成分不一定可以完全提供微生物生長及代謝所需，因而需考慮其可利用性。因而這些原料有時可以單獨使用或混合使用。例如樹皮和雞糞混合使用時，初期雞糞之分解較樹皮快，而後期才是樹皮分解。然而如果只有雞糞作為原料時則太粘重，缺乏孔隙而不適合單獨作為堆肥原料。但如添加木屑和稻殼，則適合作堆肥原料。可見混合不同性質之原料，有時可以供作堆肥原料，但仍需留意其混合比例。

堆肥化過程是微生物族群在堆肥材料上分解和繁殖的過程，施用未腐熟的堆肥，容易造成土壤過度還原及釋出毒性物質，對作物生長有不良影響。因而在堆肥化過程，主要是將碳水化合物利用釋出能量。在好氣下大量碳水化合物被微生物利用而釋出二氧化碳。



在厭氧條件下碳水化合物則發酵成二氧化碳和甲烷。





傳統堆肥化方法採用野積（風列）堆肥法。目前則尚有高速堆肥化法和半（準）高速堆肥化法。野積（風列）堆肥法所需土地較大，堆肥化時間較長，且易產生惡臭等問題。其堆積高度約 1.2-1.8 公尺，寬約 1.8-3.0 公尺，每週翻堆 1-2 次。高速堆肥化法為縮短主發酵時間，通常需要二次發酵（後發酵），故需較大之空間貯藏腐熟。最近則常使用好氣性之半高速堆肥化法，融合野積法及高速發酵法之優點。野積法較適合於雨量較少的歐洲地區，而台灣和日本則因雨量較多，野積法需加覆蓋較費時。如不加覆蓋，任由雨淋，不但會污染環境，而且因有效成分溶出，而降低堆肥肥效及品質，故較不適合。

由於有機廢棄物的組成中常含有不穩定易分解成分，堆肥化除了是微生物將有機物分解，生成二氧化碳外，也有部分成分轉化成穩定有機組成分，有利改良土壤性質。並且堆肥化時其高溫可將病原菌殺死和去除惡臭、雜草種子。

堆肥製作過程，包括前處理、主發酵、後發酵、後處理和貯藏五個階段。一般堆肥製造流程包括發酵前處理、主發酵處理、二次發酵處理（後發酵）及篩選、裝袋等階段。發酵前處理包括以稻殼、木屑、甘蔗渣、菇類廢培養基等農業廢棄物調整含水率 60-65% 和碳氮比 20-30:1。在主發酵處理中，為縮短堆肥製造時間，可藉機械翻堆及送風供給，而送風量則視發酵槽之形式、基質種類和含水量而定。箱型發酵槽在含水量 52-68% 時，通氣量 0.1-0.2 m<sup>3</sup>/min；密閉直圓筒式發酵槽含水量 60%，通氣量 0.15 m<sup>3</sup>/min；圓杓子式發酵槽在含水量 60-65% 時，通氣量為 0.08 m<sup>3</sup>/min；而開放型發酵槽在含水量 68% 時，通氣量為 0.1 m<sup>3</sup>/min。

台灣堆肥廠主要以禽畜堆肥廠設置較具規模，主要之設施有堆肥舍、堆積場、發酵槽、翻堆機、鏟裝機、輸送帶、篩選機、打碎機、裝袋機、運搬車、堆高機、造粒機、烘乾機、塑膠袋分離機、送風系統、脫臭系統、地磅、管理室等。而堆肥舍之面積和各項設備之數量則視處理量、投資金額和土地面積等因素而定。一般雞糞堆肥場之規模較小，投資金額亦較低，而牛糞堆肥場之場地較大，投資金額亦較高。雞糞堆肥製作場地在 1,000 m<sup>2</sup> 左右即可，而豬糞及牛糞堆肥製作場地在 3,000-5,000 m<sup>2</sup>。投資額亦以雞糞堆肥製作場最低，約五百萬至一千萬即可，而豬糞及牛糞堆肥製作場之投資額則在二千至三千萬元。

由農業廢棄物、畜產廢棄物、林產廢棄物、漁產廢棄物和食品加工廠廢棄物所製作的堆肥，其成分視原料、調整材料的種類、添加量不同而異。大部分豬糞堆肥其 pH 值介於 5.2-7.2、水分含量 21.1-40%、有機碳含量 32.2-37.82%、總氮含量介於 2.1-3.0% 和 C/N 介於 11.2-15.0。大部分牛糞堆肥 pH 介於 7.5-8.8、水分含量介於 38.11-55.83%、有機質含量 41.75-65.0%、有機碳含量 27.73-30.00%、總氮含量 1.9-2.44% 和 C/N 比為 11.5-25。大部分雞糞堆肥 pH 介於 7.7-8.6、水分含量 15.49-28.0%、有機質含量介於 50.0-62.0%、有機碳含量 22.5-30.93%、總氮總量 1.52-3.03% 和 C/N 比為 8.74-19.9。

廢棄物堆肥化仍是將其所含容易分解性或稍難分解性有機物進行微生物分解而穩定化。堆肥並非指分解性有機物成份皆已完全分解，因而在貯藏過程中部分有機物會繼續緩慢分解。由於堆肥發酵過程中包括有機廢棄物的分解、能量的釋放、微生物生質的合成和微生物代謝等反應。當易分解的有機物被完全分解後，堆肥中微生物的活性就會逐

漸減弱，堆肥的成分也達到穩定化。經由微生物的作用，堆肥中大分子的有機物會被分解成小分子的有機物，這些小分子的化合物被微生物吸收、利用或進一步礦質化作用而生成  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、氮、二氧化碳等進入空氣、土壤和水域中。

在農業廢棄物及禽畜糞堆肥化過程中，由於微生物之分解和轉化作用，產生穩定化之腐殖質外，也生成二氧化碳、甲烷、氨、氧化亞氮及硫化氫等氣體。而在堆肥製作過程中產生二氧化碳、甲烷和氧化亞氮等溫室氣體之因子眾多，包括原料的種類、堆肥化條件、堆肥場設備和管理和成品品質等。例如堆肥種類、來源（液態或固態）、儲存型態、堆肥資材之水分含量、pH 值、總體密度、堆積溫度、氧化還原電位、氧氣供應量、堆積方式（嫌氣或好氣）、有機碳含量、銨態氮含量和硝酸態氮含量等。

國內目前有一百餘家堆肥場，其中較具規模且有翻堆設備，管理較完善者有六十餘家。其主要來源有禽畜糞廢棄物、作物殘體、食品工廠廢棄物、廢菇類培養基、蔗渣、農產廢棄物、林產廢棄物、漁產廢棄物、畜產廢棄物、果菜市場廢棄物、廚餘、飲料工廠廢棄物、藥廠廢棄物和工廠污泥等相當多樣化。至於調整材更是五花八門，主要有木屑、稻殼、蔗渣和枯枝落葉等。由於市場通路尚待打開，設備各異，因而成品品質相去甚遠（楊盛行，1994、1997b、2001；Chen 等，1998；楊盛行等，1999、2000、2001；Chin 等，1999；Tsai 等，2002；Pai 等，2003）。

堆肥製作過程中，首先在好氧條件下而將有機物分解產生二氧化碳，其後部分甲烷生成菌再將二氧化碳和氫產生甲烷，另外含氮物質經硝化作用和脫氮作用產生氧化亞氮。國立台灣大學微生物與生化學研究所應

用微生物研究室曾在不同月份，測定堆肥場在堆積過程中二氧化碳之釋放量（陳顛竹等，2003）。賴朝明等（2003）也測定堆肥場平均氧化亞氮釋放量。

國內農業生產時產生龐大之廢棄物和畜產廢棄物，除了部分留在土壤外，大部分經堆積後施用於土壤。IPCC 雖然有禽畜養殖時腸內甲烷排放係數，以及廢肥處理時之甲烷和氧化亞氮之排放係數。然而台灣畜牧養殖方式、管理方法、飼料成分以及廢棄物處理方式皆與其他國家不同。尤其氣候條件不同，會影響禽畜生長，養分攝取和廢棄物分解皆不相同。因而其在養殖、廢棄物處理和施用時產生之二氧化碳、甲烷和氧化亞氮無法以 IPCC 係數估計。

茲就國內對畜產廢棄物及掩埋場大氣甲烷濃度、甲烷釋放量及各項減量因子探討整理如表一所示（呂世宗等，1997、1998；楊盛行，1999、2000b、2000c、2001、2003）。

## 二、大氣甲烷濃度量測

以 GC 測定溫室氣體  $\text{CH}_4$  濃度 (Y) 與吸收面積 (X) 在  $10^1$ - $10^5$  ppmv 間有直線相關  $Y = 1.025X - 2.766$ ， $r^2 = 0.999$ 。以 FTIR 測定溫室氣體當 scan number > 100，吸收面積已趨於穩定。 $\text{CH}_4$  可以用  $2999 \text{ cm}^{-1}$  吸收面積測定濃度。當  $\text{CH}_4$  濃度 < 9.59 ppm-m 時， $Y = 3263.6X$ ， $r^2 = 0.9977$ ， $\text{CH}_4$  濃度 > 9.59 ppm-m 時， $Y = 3904.1X - 1.8682$ ， $r^2 = 0.9987$ （Luo 等，1997；Chang 等，1999）。

以 GC 測定忠福掩埋場大氣甲烷濃度介於 2.7-33.2 ppmv，白天濃度 2.6-33.8 ppmv，夜間濃度 2.7-33.1 ppmv（郭坤土等，2003）。山豬窟掩埋場掩埋 1-2 年大氣甲烷介於 8.12-55.64 ppmv，平均 28.77 ppmv。掩埋 2-3 年大氣甲烷介於 13.90-139.08 ppmv，平均

35.79 ppmv。掩埋 5 年大氣甲烷介於 3.23-53.41 ppmv，平均 12.82 ppmv。掩埋 2-3 年 1-10 月 8 次大氣甲烷平均濃度  $2.64 \pm 0.32$ - $20.16 \pm 1.37$  ppmv。福德坑掩埋場大氣甲烷濃度介於 1.29-3.35 ppmv，平均 2.67 ppmv，白天有甲烷燃燒濃度較低（楊盛行，1997a、2000、2001；楊盛行和 Hegde，2001；Hegde 等，2001、2003）。桃園虎頭山掩埋場掩埋齡期約 2 年，大氣甲烷日平均濃度 11.3-17.2 ppmv，最大值 19.9 ppmv，最小 4.5 ppmv。白天平均濃度 10.2-16.9 ppmv，夜間平均濃度 12.1-18.6 ppmv（郭坤土等，2000、2001、2003）。

環保署桃園監測站大氣甲烷日平均濃度 1.83-2.5 ppmv，最大值 4.1 ppmv，最小 1.7 ppmv。白天平均濃度 1.83-2.50 ppmv，夜間平均濃度 1.18-2.60 ppmv。中壢站大氣甲烷濃度介於 1.70-2.80 ppmv，白天介於 1.52-2.70 ppmv，夜間介於 1.59-3.00 ppmv（郭坤土等，2000、2001、2003）。

以 FTIR 測定山豬窟掩埋場大氣甲烷濃度掩埋 1-2 年介於 3.56-14.61 ppm-m，平均 7.61 ppm-m。掩埋 2-3 年介於 4.93-17.27 ppm-m，平均 12.07 ppm-m。掩埋 5 年介於 2.18-9.56 ppm-m，平均 3.40 ppm-m。1999-2000 以 FTIR 測定測定 5 次，大氣甲烷濃度平均  $7.20 \pm 4.84$  ppmv-m。福德坑掩埋場大氣甲烷濃度平均  $2.78 \pm 0.78$  ppmv-m（楊盛行，1997a、2000、2001；楊盛行和 Hegde，2001；Hegde 等，2001、2003）。

### 三、畜牧養殖腸內發酵甲烷釋放量測

荷蘭種乾乳牛腸內發酵每天產生甲烷 200-300 公升。1991 年畜牧養殖及禽畜糞尿處理甲烷總釋放量  $2.01$ - $2.23 \times 10^4$  ton，1994 年  $5.40 \times 10^4$  ton，1995 年  $7.77 \times 10^4$  ton，1996

年  $7.05 \times 10^5$  ton。體重 710 kg 乾乳牛飼以盤固半乾青貯草時消化道每日甲烷產生 198 l，飼以盤固半乾青貯草與穀類精料之比 70:30 時，每日甲烷產生 270 l；芻精料比 50:50 時，每日甲烷產生 348 l；芻精料比 30:70 時，每日甲烷產生 306 l；餵飼後 2 小時甲烷之產量最高達 26 l/h（莊秉潔等，1992；楊任徵等，1994；洪肇嘉和張國賢，1996；楊盛行，1995、1996、1997a、2000；蕭宗法等，1999）。飼以盤固草、狼尾草和玉米時，每日每隻乾乳牛消化道分別產生甲烷 243 g、189 g 和 250 g。台灣每頭乾乳牛甲烷釋放係數為 82.3 kg，台灣約有 15,000 頭乾乳牛，每年排出甲烷 1,234 ton，佔全球牛隻總甲烷排放量 58 Tg 之 0.0021%。每頭 425 kg 女牛飼以青貯玉米時，每頭牛隻消化道每日產生甲烷 165 g。每頭 275 kg 女牛，飼以半乾青貯盤固草、青貯狼尾草和青貯玉米時，每頭牛隻消化道每日分別產生甲烷 193 g、164 g 和 167 g。如以體重 275 kg 女牛每頭牛其消化道每日生成甲烷 64.3 g，台灣 52,000 頭女牛每年釋放甲烷 3,342 ton，佔全球 58 Tg 年釋放量之 0.0058%。荷蘭泌乳牛每頭體重  $611 \pm 56$  kg，食用玉米時，每隻牛由消化道每日產生甲烷 377 g；食用狼尾草時，每日產生甲烷 415 g；食用盤固拉時，每日產生甲烷 442 g（李春芳等，2000、2001）。

以本土實測資料為主，如無本土資料則以 IPCC (1997) 方法推估台灣畜牧養殖，腸內發酵甲烷釋放量如下：1990 年家畜類共計 30,828.3 ton，包括豬 12,847.9 ton、乳牛 13,571.6 ton、水牛 1,201.2 ton、黃牛及雜交牛 1,828.8 ton，山羊 865.0 ton、綿羊 270.2 ton、兔子 46.1 ton、鹿 182.4 ton 和馬 15.7 ton。家禽類共計 31.9 ton，包括有色肉雞 11.5 ton、肉雞 1.2 ton、蛋雞 0.8 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 2.0 ton、鵝 0.6 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 30,860.6 ton。1991

年家畜類共計 34,081.1 ton，包括豬 15,133.7 ton、乳牛 15,027.6 ton、水牛 1,024.0 ton、黃牛及雜交牛 1,482.8 ton，山羊 878.8 ton、綿羊 316.8 ton、兔子 39.7 ton、鹿 164.2 ton 和馬 13.5 ton。家禽類共計 30.6 ton，包括有色肉雞 10.8 ton、肉雞 1.6 ton、蛋雞 0.8 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 1.8 ton、鵝 0.6 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 34,111.7 ton。1992 年家畜類共計 34,782.3 ton，包括豬 14,631.7 ton、乳牛 16,309.4 ton、水牛 914.3 ton、黃牛及雜交牛 1,348.8 ton，山羊 1,011.7 ton、綿羊 363.7 ton、兔子 36.5 ton、鹿 152.2 ton 和馬 14.0 ton。家禽類共計 32.2 ton，包括有色肉雞 11.6 ton、肉雞 1.7 ton、蛋雞 0.8 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 2.0 ton、鵝 0.7 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計排放甲烷 34,815.4 ton。1993 年家畜類共計 36,816.7 ton，包括豬 14,767.4 ton、乳牛 17,494.4 ton、水牛 906.9 ton、黃牛及雜交牛 1,411.0 ton，山羊 1,471.2 ton、綿羊 576.0 ton、兔子 31.9 ton、鹿 143.7 ton 和馬 14.2 ton。家禽類共計 36.3 ton，包括有色肉雞 12.6 ton、肉雞 2.0 ton、蛋雞 0.9 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 2.3 ton、鵝 0.7 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計排放甲烷 36,853.0 ton。1994 年家畜類共計 37,442.4 ton，包括豬 15,098.3 ton，乳牛 17,712.6 ton，水牛 820.0 ton，黃牛及雜交牛 1,357.8 ton，山羊 1,554.0 ton，綿羊 723.1 ton，兔子 24.7 ton，鹿 137.2 ton 和馬 14.6 ton。家禽類共計 36.9 ton，包括有色肉雞 12.7 ton，肉雞 2.1 ton，蛋雞 0.9 ton，菜鴨 0.1 ton，番鴨 2.0 ton，鵝 1.0 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 37,479.2 ton。1995 年家畜類共計 38,916.8 ton，包括豬 15,762.8 ton，乳牛 18,588.8 ton，水牛 708.6 ton，黃牛及雜交牛 1,213.4 ton，山羊 1,593.8 ton，綿羊 894.7 ton，兔子 22.5 ton，鹿 119.9 ton 和馬 12.4 ton。家禽類共計 37.7 ton，包括有色肉雞

12.8 ton，肉雞 2.4 ton，蛋雞 1.0 ton，菜鴨 0.1 ton，番鴨 2.1 ton，鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 38,954.5 ton。1996 年家畜類共計 39,227.3 ton，包括豬 16,047.6 ton，乳牛 18,754.2 ton，水牛 616.7 ton，黃牛及雜交牛 1,162.9 ton，山羊 1,547.5 ton，綿羊 952.4 ton，兔子 21.7 ton，鹿 113.2 ton 和馬 11.3 ton。家禽類共計 40.3 ton，包括有色肉雞 13.9 ton，肉雞 2.5 ton，蛋雞 1.1 ton，菜鴨 0.1 ton，番鴨 2.1 ton，鵝 0.8 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 39,267.7 ton。1997 年家畜類共計 36,108.8 ton，包括豬 11,950.3 ton，乳牛 19,853.5 ton，水牛 528.1 ton，黃牛及雜交牛 1,059.9 ton，山羊 1,577.0 ton，綿羊 1,017.2 ton，兔子 15.8 ton，鹿 113.1 ton 和馬 12.2 ton。家禽類共計 44.1 ton，包括有色肉雞 15.3 ton，肉雞 2.9 ton，蛋雞 1.2 ton，菜鴨 0.1 ton，番鴨 2.0 ton，鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 36,152.9 ton。1998 年家畜類共計 34,066.7 ton，包括豬 9,807.9 ton，乳牛 20,034.5 ton，水牛 470.6 ton，黃牛及雜交牛 1,003.5 ton，山羊 1,578.1 ton，綿羊 1,032.9 ton，兔子 15.6 ton，鹿 112.4 ton 和馬 11.2 ton。家禽類共計 43.0 ton，包括有色肉雞 14.9 ton，肉雞 3.0 ton，蛋雞 1.3 ton，菜鴨 0.1 ton，番鴨 1.8 ton，鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 34,109.7 ton。1999 年家畜類共計 34,901.2 ton，包括豬 10,864.8 ton，乳牛 20,325.5 ton，水牛 505.4 ton，黃牛及雜交牛 883.3 ton，山羊 1,186.5 ton，綿羊 1,006.7 ton，兔子 12.8 ton，鹿 106.0 ton 和馬 10.2 ton。家禽類共計 42.8 ton，包括有色肉雞 14.9 ton，肉雞 2.9 ton，蛋雞 1.3 ton，菜鴨 0.1 ton，番鴨 1.7 ton，鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 34,943.9 ton。2000 年家畜類共計 34,879.8 ton，包括豬 11,242.4 ton，乳牛 20,404.8 ton，水牛 427.2

ton，黃牛及雜交牛 766.4 ton，山羊 1,012.5 ton，綿羊 900.4 ton，兔子 12.0 ton，鹿 100.1 ton 和馬 14.0 ton。家禽類共計 42.4 ton，包括有色肉雞 14.7 ton，肉雞 3.0 ton，蛋雞 1.3 ton，菜鴨 0.1 ton，蕃鴨 1.7 ton，鵝 0.8 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 34,922.2 ton (Yang 等，2003)。

#### 四、畜牧廢棄物處理甲烷釋放量測

以本土實測資料為主，如無本土資料以 IPCC (1997) 方法推估台灣畜牧養殖時廢棄物處理甲烷釋放如下:1990 年家畜類共計 48,481.9 ton，包括豬 46,894.0 ton，乳牛 1,452.8 ton，水牛 43.8 ton，黃牛及雜交牛 41.6 ton，山羊 31.1 ton，綿羊 9.5 ton，兔子 0.8 ton，鹿 6.6 ton 和馬 1.8 ton。家禽類共計 8,694.3 ton，包括有色肉雞 1,749.0 ton，肉雞 850.6 ton，蛋雞 1,095.4 ton，菜鴨 110.0 ton，蕃鴨 421.3 ton，鵝 203.5 ton 和火雞 38.4 ton，全年共計釋放甲烷 57,176.2 ton。1991 年家畜類共計 56,968.4 ton，包括豬 55,238.0 ton，乳牛 1,608.6 ton，水牛 37.2 ton，黃牛及雜交牛 33.7 ton，山羊 31.6 ton，綿羊 11.1 ton，兔子 0.7 ton，鹿 5.9 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 8,905.3 ton，包括有色肉雞 1,755.7 ton，肉雞 924.1 ton，蛋雞 1,118.0 ton，菜鴨 109.9 ton，蕃鴨 423.2 ton，鵝 212.4 ton 和火雞 31.2 ton，全年共計釋放甲烷 65,873.7 ton。1992 年家畜類共計 55,296.3 ton，包括豬 53,406.0 ton，乳牛 1,769.5 ton，水牛 33.3 ton，黃牛及雜交牛 30.7 ton，山羊 36.4 ton，綿羊 12.7 ton，兔子 0.6 ton，鹿 5.5 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 10,173.2 ton，包括有色肉雞 1,972.9 ton，肉雞 1,073.1 ton，蛋雞 1,163.2 ton，菜鴨 132.8 ton，蕃鴨 603.2 ton，鵝 253.6 ton 和火雞 29.4 ton，全年共計釋放甲烷 65,469.5 ton。1993 年家畜類共

計 55,919.3 ton，包括豬 53,901.0 ton，乳牛 1,872.7 ton，水牛 33.0 ton，黃牛及雜交牛 32.1 ton，山羊 53.0 ton，綿羊 20.2 ton，兔子 0.6 ton，鹿 5.2 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 10,560.0 ton，包括有色肉雞 2,049.5 ton，肉雞 1,180.9 ton，蛋雞 1,201.4 ton，菜鴨 141.3 ton，蕃鴨 524.5 ton，鵝 335.4 ton 和火雞 29.5 ton，全年共計釋放甲烷 66,479.2 ton。1994 年家畜類共計 57,154.1 ton，包括豬 55,109.0 ton，乳牛 1,896.1 ton，水牛 29.8 ton，黃牛及雜交牛 30.9 ton，山羊 56.0 ton，綿羊 25.3 ton，兔子 0.4 ton，鹿 4.9 ton 和馬 1.7 ton。家禽類共計 11,067.3 ton，包括有色肉雞 2,051.9 ton，肉雞 1,307.9 ton，蛋雞 1,335.9 ton，菜鴨 142.2 ton，蕃鴨 500.0 ton，鵝 377.0 ton 和火雞 23.7 ton，全年共計釋放甲烷 68,230.4 ton。1995 年家畜類共計 59,672.0 ton，包括豬 57,534.0 ton，乳牛 1,989.8 ton，水牛 25.8 ton，黃牛及雜交牛 27.6 ton，山羊 57.4 ton，綿羊 31.3 ton，兔子 0.4 ton，鹿 4.3 ton 和馬 1.4 ton。家禽類共計 11,435.0 ton，包括有色肉雞 2,127.8 ton，肉雞 1,367.9 ton，蛋雞 1,392.6 ton，菜鴨 148.7 ton，蕃鴨 505.6 ton，鵝 327.7 ton 和火雞 22.4 ton，全年共計釋放甲烷 71,107.0 ton。1996 年家畜類共計 60,724.2 ton，包括豬 58,573.0 ton，乳牛 2,007.5 ton，水牛 22.4 ton，黃牛及雜交牛 26.4 ton，山羊 55.7 ton，綿羊 33.3 ton，兔子 0.4 ton，鹿 4.1 ton 和馬 1.3 ton。家禽類共計 12,261.2 ton，包括有色肉雞 2,267.2 ton，肉雞 1,498.9 ton，蛋雞 1,539.6 ton，菜鴨 144.4 ton，蕃鴨 504.5 ton，鵝 332.3 ton 和火雞 19.8 ton，全年共計釋放甲烷 72,985.3 ton。1997 年家畜類共計 45,883.7 ton，包括豬 43,619.0 ton，乳牛 2,123.3 ton，水牛 19.2 ton，黃牛及雜交牛 24.1 ton，山羊 56.8 ton，綿羊 35.6 ton，兔子 0.3 ton，鹿 4.1 ton 和馬 1.4 ton。家禽類共計 12,845.6 ton，包括有色肉雞

2,331.1 ton, 肉雞 1,662.9 ton, 蛋雞 1,649.1 ton, 菜鴨 157.3 ton, 蕃鴨 435.9 ton, 鵝 349.8 ton 和火雞 23.2 ton, 全年共計釋放甲烷 58,729.3 ton。1998 年家畜類共計 38,082.1 ton, 包括豬 35,799.0 ton, 乳牛 2,144.6 ton, 水牛 17.1 ton, 黃牛及雜交牛 22.8 ton, 山羊 56.8 ton, 綿羊 36.2 ton, 兔子 0.3 ton, 鹿 4.1 ton 和馬 1.3 ton。家禽類共計 13,100.2 ton, 包括有色肉雞 2,326.4 ton, 肉雞 1,767.4 ton, 蛋雞 1,690.7 ton, 菜鴨 145.7 ton, 蕃鴨 430.0 ton, 鵝 354.8 ton 和火雞 25.2 ton, 全年共計釋放甲烷 51,182.3 ton。1999 年家畜類共計 41,953.3 ton, 包括豬 39,656.0 ton, 乳牛 2,175.7 ton, 水牛 18.4 ton, 黃牛及雜交牛 20.1 ton, 山羊 42.7 ton, 綿羊 35.2 ton, 兔子 0.2 ton, 鹿 3.8 ton 和馬 1.2 ton。家禽類共計 13,189.5 ton, 包括有色肉雞 23,782.5 ton, 肉雞 1,732.8 ton, 蛋雞 1,721.6 ton, 菜鴨 144.7 ton, 蕃鴨 437.8 ton, 鵝 330.7 ton 和火雞 28.8 ton, 全年共計釋放甲烷 55,142.9 ton。2000 年家畜類共計 43,325.6 ton, 包括豬 41,035.0 ton, 乳牛 2,184.2 ton, 水牛 15.5 ton, 黃牛及雜交牛 17.4 ton, 山羊 36.5 ton, 綿羊 31.5 ton, 兔子 0.2 ton, 鹿 3.6 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 12,951.6 ton, 包括有色肉雞 2,223.3 ton, 肉雞 1,705.7 ton, 蛋雞 1,729.5 ton, 菜鴨 145.7 ton, 蕃鴨 385.2 ton, 鵝 288.1 ton 和火雞 29.5 ton, 全年共計釋放甲烷 56,277.2 ton (Yang 等, 2003)。

在實驗室堆積 56 天, 雞糞堆肥甲烷釋放 0.21-22.8 mg/m<sup>2</sup>/h, 豬糞堆肥 1.06-61.4 mg/m<sup>2</sup>/h, 牛糞堆肥 6.42-11.1 mg/m<sup>2</sup>/h。每公噸豬糞堆積一年釋放甲烷 22.1 g, 每公噸雞糞 12.9 g, 每公噸牛糞 16.3 g (譚鎮中等, 1999; 譚鎮中和王銀波, 2000)。台中新社堆肥場牛糞、米糠和羽毛等帶狀堆積 9-36 天, 甲烷釋放量 0.47-0.26 mg/m<sup>2</sup>/h。雞糞、米糠和太空包等帶狀堆積 7-28 天, 釋放量 6.5-

73.6 mg/m<sup>2</sup>/h。彰化溪州堆肥場豬糞和菇類太空包帶狀堆積 30-90 天, 甲烷釋放量 0.11-0.15 mg/m<sup>2</sup>/h。桃園新屋堆肥場牛糞、太空包和茶渣等帶狀堆積 20-80 天, 釋放量 18.5-255 mg/m<sup>2</sup>/h。雲林斗六堆肥場金針菇太空包和粉碎稻殼露天堆積 1-2 個月後, 移入室內添加米糠和雞糞再堆積 4-5 個月, 甲烷釋放量 2.5-231 mg/m<sup>2</sup>/h (譚鎮中等, 1999)。彰化堆肥場以豬糞為主, 雞糞為輔, 以木屑為調整材之堆肥場, 2002 年四次採樣在堆積過程中甲烷釋放量, 由原料至成品共分 8 等分, 其釋放量依次為 71.68±30.33-597.31±257.15、0.59±0.83-51.44±41.40、7.57±3.46-707.09±226.42、0.55±0.74-302.68±154.11、0.79±0.65-6.48±5.80、0.38±0.23-2.32±2.86、0.12±0.33-2.59±2.10 和 0.15±0.09-1.27±1.40 mg/m<sup>2</sup>/h, 平均為 10.60±3.93-208.90±49.79 mg/m<sup>2</sup>/h (陳顛竹等, 2003)。

## 五、掩埋場及其廢水甲烷釋放量測

山豬窟垃圾掩埋場滲出水夏季好氣條件下處理 14-56 天, 甲烷釋放量 404.38-440.56 ng/l/h, 嫌氣條件處理時甲烷釋放量 387.31-423.76 ng/l/h。冬季好氣條件下處理 14-56 天, 甲烷釋放量 391.06-450.46 ng/l/h, 嫌氣條件處理時釋放量 487.48-536.26 ng/l/h。夏季在好氣下孵育 14-56 天甲烷釋放量, 添加 100-1000 ppm 蓋普丹為 0-1.8 µg/l/h, 添加 100-1000 ppm 二氯松為 0-1.2 µg/l/h, 添加 100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 百滅寧、100-1000 ppm 丁基拉草和 100-1000 ppm 嘉磷塞皆為 0 µg/l/h。在厭氣下孵育 14-56 天甲烷釋放量, 添加 100-1000 ppm 百滅寧為 0-0.6 µg/l/h, 添加 100-1000 ppm 蓋普丹、100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松、100-1000 ppm 丁基拉草和 100-1000 ppm 嘉磷塞皆為 0 µg/l/h。冬季好氣下孵育 14-56 天甲

烷釋放量，添加 100-1000 ppm 百滅寧為 0-1.26  $\mu\text{g}/\text{h}$ ，添加 100-1000 ppm 丁基拉草釋放量 0-0.24  $\mu\text{g}/\text{h}$ ，添加 100-1000 ppm 蓋普丹、100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松和 100-1000 ppm 嘉磷塞皆為 0  $\mu\text{g}/\text{h}$ 。厭氣下孵育 14-56 天甲烷釋放量，添加 100-1000 ppm 丁基拉草釋放量 0-0.3  $\mu\text{g}/\text{h}$ ，添加 100-1000 ppm 蓋普丹、100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松、100-1000 ppm 百滅寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞皆為 0  $\mu\text{g}/\text{h}$  (謝亞寧等，2000)。

福德坑掩埋場滲出水夏季在好氣下孵育 14-56 天，添加 100-1000 ppm 蓋普丹甲烷釋放量 0-3.9  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 二氯松釋放量 0-3.9  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 百滅寧釋放量 0-1.5  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 丁基拉草釋放量 0-0.6  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 大克寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞  $\text{CH}_4$  釋放量皆為 0  $\mu\text{g}/\text{h}$ 。在厭氣孵育 14-56 天，添加 100-1000 ppm 蓋普丹甲烷釋放量 0-0.6  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 百滅寧釋放量 0-0.6  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 丁基拉草釋放量 0-0.9  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 嘉磷塞甲烷釋放量 0-0.6  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 大克寧和 100-1000 ppm 二氯松甲烷釋放量 0  $\mu\text{g}/\text{h}$ 。在厭氣下孵育 14-56 天添加 100-1000 ppm 蓋普丹甲烷釋放量 0-0.6  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 百滅寧釋放量 0-0.6  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 丁基拉草釋放量 0-0.9  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 嘉磷塞甲烷釋放量 0-0.6  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 大克寧和 100-1000 ppm 二氯松甲烷釋放量 0  $\mu\text{g}/\text{h}$ 。冬季在好氣下孵育 14-56 天，添加 100-1000 ppm 蓋普丹甲烷釋放量 0-1.62  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 丁基拉草甲烷釋放量 0-0.27  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松、100-1000 ppm 百滅寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞甲烷釋放量 0  $\mu\text{g}/\text{h}$ 。厭氣

下孵育 14-56 天，添加 100-1000 ppm 蓋普丹甲烷釋放量 0-0.84  $\mu\text{g}/\text{h}$ ，添加 100-1000 ppm 二氯松甲烷釋放量 0-0.30  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 丁基拉草甲烷釋放量 0-0.15  $\mu\text{g}/\text{h}$ 、添加 100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 百滅寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞甲烷釋放量 0  $\mu\text{g}/\text{h}$  (謝亞寧等，2000)。

山豬窟掩埋場掩埋 1-2 年甲烷釋放量介於 0-36.01  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ，平均 13.17  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。掩埋 2-3 年甲烷釋放量介於 0-759.82  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ，平均 157.56  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。掩埋 5 年甲烷釋放量介於 0-5.55  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ，平均 0.99  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。1999-2000 年掩埋 2-3 年甲烷釋放量  $8.91\pm 2.69-157.60\pm 25.10$   $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。覆土 1-2m 厚掩埋點，未去除覆土時甲烷釋放量點 1 為 49.45  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ，去除 5 cm 覆土則增加為 71,882.83  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。點 2 為 208.00  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ，去除上方 5 cm 覆土則提高為 60,143.70  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ；點 3 為 13.48  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ，去除上方 5 cm 覆土，甲烷釋放量提高為 13.83  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。山豬窟垃圾掩埋場，1997 年甲烷釋放量為 -1.22-0.07  $\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ ，2000 年為 0.11 $\pm$ 0.001  $\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  (楊盛行，1997a、2000、2001；楊盛行和 Hegde，2001；Hegde 等，2001、2003)。掩埋 1 年土壤有機碳含量 13.05 $\pm$ 3.72%，甲烷釋放量 76.74 $\pm$ 78.54  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。掩埋 2-3 年土壤有機碳含量 20.52 $\pm$ 4.01-23.2 $\pm$ 3.72%，甲烷釋放量 201.24 $\pm$ 63.42-5,942 $\pm$ 1,113.55  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$  (楊盛行，2001)。

福德坑掩埋場 1999 年 10 月，土壤甲烷釋放量 32.80 $\pm$ 24.13  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ，清晨 3 時最高 80  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。掩埋場 A 點土壤有機碳含量 15.35 $\pm$ 0.95-20.79 $\pm$ 1.42%，甲烷釋放量 8.76 $\pm$ 0.29-21.67 $\pm$ 6.19  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。掩埋場 B 點土壤有機碳含量 14.72 $\pm$ 1.72-19.72 $\pm$ 2.98%，甲烷釋放量 12.83 $\pm$ 0.29-34.96 $\pm$ 4.65  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ 。掩

埋場 C 點土壤有機碳含量  $20.72\pm 4.01\%$ ，甲烷釋放量  $1,163.32\pm 672.93 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。1997 年福德坑垃圾掩埋場，甲烷釋放量為  $0.03\text{-}16.64 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ，2000 年為  $0.79\pm 0.58 \text{ g/m}^2/\text{d}$  (楊盛行，1997a、2000、2001)。

豐原垃圾掩埋場每噸垃圾每年產生甲烷  $7.3 \text{ m}^3$ ，甲烷總產量  $183 \text{ m}^3$ 。山豬窟垃圾掩埋場 1995-1999 年甲烷平均釋放量  $63.44\pm 31.08 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。台中市垃圾掩埋場以 IPCC 估算甲烷總釋放量  $1.4\text{-}3.3\times 10^4 \text{ ton}$ ，實測總釋放量  $3.45\text{-}5.37\times 10^4 \text{ ton}$ ，以此估算台灣垃圾掩埋場甲烷總釋放量  $7.00\text{-}17.2\times 10^5 \text{ ton}$ 。台灣垃圾掩埋場 1994 年甲烷總釋放量  $2.36\times 10^5 \text{ ton}$ ，1995 年為  $2.01\times 10^5 \text{ ton}$ ，1996 年為  $2.31\times 10^5 \text{ ton}$ ，1997 年為  $4.85\times 10^5 \text{ ton}$ ，1998 年為  $4.26\times 10^5 \text{ ton}$ ，1999 年為  $4.80\times 10^5 \text{ ton}$ ，2000 年為  $5.57\times 10^5 \text{ ton}$ 。1998 年台中垃圾掩埋場田坡，甲烷釋放量  $33.15 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ，頂方甲烷釋放量  $7.12 \text{ g/m}^2/\text{d}$  (莊秉潔等，1992；楊任徵等，1994；洪肇嘉和張國賢，1996；楊盛行，1997a；楊盛行和張讚昌，2000；廖文彬等，1998)。

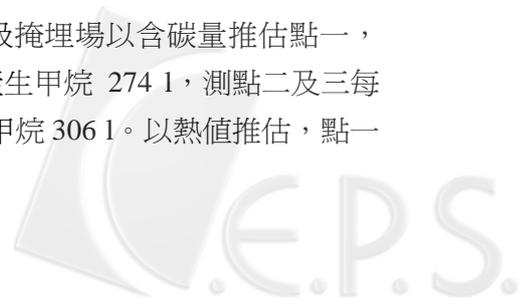
桃園虎頭山掩埋場，覆土 1.5-2.0 cm 掩埋 2 年甲烷釋放量介於  $-1.96\text{-}14.83 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均  $10.17 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。覆土 0.2 cm 掩埋 2-3 年甲烷釋放量介於  $23\text{-}1,105 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均  $54.34 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。覆土 5 cm 掩埋 2-3 年甲烷釋放量介於  $258\text{-}32,800 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均  $18,244 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。掩埋齡期約 2 年覆土約 1.5-2 m，甲烷釋放量介於  $-1.96\text{-}14.83 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均為  $10.17 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。掩埋齡期約 2-3 年覆土約 0.2 m，甲烷釋放量介於  $23\text{-}1,105 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均為  $54.34 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。掩埋齡期約 2-3 年覆土約 0.05 m，甲烷釋放量介於  $1.28\text{-}1,33,076 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均為  $37,828 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。掩埋齡期約 2-3 年覆土約 0.2 m，甲烷釋放量介於  $6\text{-}59,648 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。覆土 0.10 m，甲烷釋放量

$525 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ，覆土 0.05 m 甲烷釋放量  $908 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ，覆土 0.2 m 甲烷釋放量  $1.30 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ，覆土 1.5-2.0 m 甲烷釋放量  $0.24 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 。掩埋齡期約 2-3 年，覆土 0.2 m，甲烷釋放量介於  $117.36\text{-}59,648 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均為  $21,883 \text{ mg/m}^2/\text{h}$  (郭坤土等，2000、2001、2003)。

忠福垃圾掩埋場掩埋齡期約 2 年，覆土約 0.2 m 點 1 甲烷釋放量介於  $-37.01\text{-}1,577.79 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均  $345 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。掩埋齡期約 2 年，覆土約 0.2 m 點 2 甲烷釋放量介於  $11.17\text{-}1,922.04 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均值  $654 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。2000 年掩埋場覆土 0.2 m，甲烷釋放量  $8.28 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ，覆土 0.2 m 甲烷釋放量  $15.70 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 。掩埋齡期約 3 年，覆土厚 1.5-2.0 m 之點 1 甲烷釋放量介於  $-118.67\text{-}16.15 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均為  $9.60 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ 。點 2 甲烷釋放量介於  $-60.29\text{-}829.22 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ，平均為  $292.55 \text{ mg/m}^2/\text{h}$  (郭坤土等，2001、2003)。

虎頭山掩埋場垃圾齡期約 2 年，覆土 1.5-2.0 m，甲烷產量以含碳量推估為  $274 \text{ l/kg}$  垃圾，以熱值推估為  $383.34 \text{ l/kg}$ ，以化學組成法推估為  $308.98 \text{ l/kg}$ 。垃圾齡期約 2-3 年，覆土 0.2-0.05m，甲烷產量以含碳量推估為  $306 \text{ l/kg}$  垃圾，以熱值推估為  $273.11 \text{ l/kg}$ ，以化學組成法推估為  $356.97 \text{ l/kg}$ 。忠福垃圾掩埋場垃圾齡約 6 個月，每 kg 垃圾甲烷產量，以含碳量推估為  $140 \text{ l/kg}$  垃圾，以熱值推估為  $569 \text{ l}$ ，以化學組成推估為  $205 \text{ l/kg}$ 。垃圾齡期約 2 年，每 kg 垃圾甲烷產量，以含碳量推估為  $131 \text{ l/kg}$  垃圾，以熱值推估為  $518 \text{ l}$ ，以化學組成推估為  $168 \text{ l/kg}$ 。垃圾齡期約 12 年，每 kg 垃圾甲烷產量，以含碳量推估為  $127 \text{ l/kg}$  垃圾，以熱值推估為  $479 \text{ l}$ ，以化學組成推估為  $172 \text{ l/kg}$  (郭坤土等，2001)。

虎頭山垃圾掩埋場以含碳量推估點一，每 kg 垃圾可產生甲烷  $274 \text{ l}$ ，測點二及三每 kg 垃圾可產生甲烷  $306 \text{ l}$ 。以熱值推估，點一



每 kg 垃圾可以產生甲烷 383.34 l，測點二及三每 kg 垃圾可以產生甲烷 273.11 l。以化學組成推估，點一每 kg 溼垃圾可以產生甲烷 308.98 l，測點二及三每 kg 溼垃圾可以產生甲烷 356.97 l。忠福垃圾場以含碳量推估，掩埋齡 6 個月每 kg 垃圾可產生甲烷 140 l，掩埋齡 2 年每 kg 垃圾可產生甲烷 131 l，掩埋齡 12 年每 kg 垃圾可產生甲烷 127 l。以熱值推估法，掩埋齡 6 個月每 kg 垃圾可產生甲烷 569 l，掩埋齡 2 年每 kg 垃圾可產生甲烷 518 l，掩埋齡 12 年每 kg 垃圾可產生甲烷 479 l。以化學組成推估，掩埋齡 6 個月每 kg 垃圾可產生甲烷 205 l，掩埋齡 2 年每 kg 垃圾可產生甲烷 168 l，掩埋齡 12 年每 kg 垃圾可產生甲烷 172 l (郭坤土等，2003)。

一公斤廚餘在水分 90% 堆積一年生成甲烷 33.60±2.94 mg。一公斤廚餘在水分 80% 堆積一年生成甲烷 1,261.53±34.90 mg。一公斤廚餘與廢紙 (9:1) 在水分 80% 下，堆積一年生成甲烷 270.24±5.42 mg。一公斤廚餘與廢紙 (8:2) 在水分 80% 下，堆積一年生成甲烷 193.99±23.35 mg。一公斤廚餘與廢紙 (7:3) 在水分 80% 下，堆積一年生成甲烷 99.29±2.63 mg。一公斤廚餘與廢紙 (6.5:3.5) 在水分 80% 下，堆積一年生成甲烷 71.88±2.98 mg (楊盛行和 Hegde，2001；Hegde 等，2001、2003)。

1994 年以北美地區或歐洲地區排放係數

估算汽機車甲烷年排放量二行程機車 2,712-3,129 ton、四行程機車 1,151-1,771 ton、汽油小客車 741-1,112 ton、汽油小貨車 270-540 ton、柴油小貨車 17-34 ton、柴油大客車 41-62 ton 和柴油大貨車 286-428 ton，共計 5,606-6,688 ton (洪肇嘉等，1998)。

1990 年台灣產生 CH<sub>4</sub> 比重佔全球溫室效應氣體之 22.4%，分別為畜牧業 11.0%、垃圾掩埋場 8.3%、農業 0.6% 和其他 2.5% (孫志鴻和余政達，2001)。

## 六、減量對策

關於溫室氣體減量技術，國外已有若干資料，茲列出 IPCC 最新的資料 (IPCC，1996)，溫室氣體二氧化碳、甲烷及氧化亞氮之減量技術及其年潛在減量，農業部門溫室氣體減量技術舉例，可供參考其他相關文獻 (Rolston 等，1982；Craswell 等，1985；Youngdahl 等，1986；Malhi 和 Nyborg，1991；Mosier 等，1994；Cole 等，1997；Minami，1997)。畜產廢棄物處理及掩埋場甲烷減量技術可歸納有 (1) 改善反芻類家畜之管理：包括改善飼料之品質及養份之平衡、增加飼料之消化率、改良動物之基因與生殖等。(2) 改善家畜廄肥之管理：包括厭氣塘之管理等。(3) 使用腐熟堆肥 (楊盛行和賴朝明，2001)。

表一、國內畜牧生產及廢棄物處理相關之甲烷排放量測

逸散源	研究成果	出處
以 GC 測定	CH <sub>4</sub> 濃度 (Y) 與吸收面積 (X) 在 10 <sup>-1</sup> -10 <sup>5</sup> ppmv 間有直線相關 Y = 1.025X - 2.766, r <sup>2</sup> = 0.999。	Chang 等，1999。
以 FTIR 測定	當 scan number > 100，其吸收面積已趨於穩定。CH <sub>4</sub> 可以用 2999 cm <sup>-1</sup> 吸收面積測定濃度。當 CH <sub>4</sub> 濃度 < 9.59 ppm-m 時，Y = 3263.6X, r <sup>2</sup> = 0.9977。CH <sub>4</sub> 濃度 > 9.59 ppm-m 時，Y = 3904.1X - 1.8682, r <sup>2</sup> = 0.9987。	Luo 等，1997；Chang 等，1999。
添加豬糞堆肥	土壤在 3-70 天培養過程中，CH <sub>4</sub> 釋放量 0.71-3.26 μM/kg soil/d；添加豬糞堆肥 0.09 g-N/kg soil，CH <sub>4</sub> 釋出 0.32-6.02 μM /kg soil/d；添加 0.18 g-N/kg	譚鎮中等，1999。

逸散源	研究成果	出處
	soil, CH <sub>4</sub> 釋出 0.35-3,684 μM /kg soil/d ; 添加 0.36 g-N/kg soil , CH <sub>4</sub> 釋出 0.13-84.79 μM /kg soil/day 。	
畜牧養殖及禽畜糞尿處理	荷蘭種乾乳牛腸內發酵每天產生 CH <sub>4</sub> 量 200-300 公升。1991 年畜牧養殖及禽畜糞尿處理 CH <sub>4</sub> 總釋放量 2.01-2.23×10 <sup>4</sup> ton, 1994 年 CH <sub>4</sub> 總釋放量 5.40×10 <sup>4</sup> ton, 1995 年 CH <sub>4</sub> 總釋放量 7.77×10 <sup>4</sup> ton, 1996 年 CH <sub>4</sub> 總釋放量 7.05×10 <sup>5</sup> ton。體重 710 kg 乾乳牛飼以盤固半乾青貯草時消化道每日 CH <sub>4</sub> 產生 198 l, 飼以盤固半乾青貯草與穀類精料之比 70:30 時, 每日 CH <sub>4</sub> 產生 270 l; 如芻精料比 50:50 時, 每日 CH <sub>4</sub> 產生 348 l; 如芻精料比 30:70 時, 每日 CH <sub>4</sub> 產生 306 l; 餵飼後 2 小時 CH <sub>4</sub> 之產量最高達 26 l/h。	莊秉潔等, 1992; 楊任徵等, 1994; 洪肇嘉和張國賢, 1996; 楊盛行, 1995、1996、1997a、2000; 蕭宗法等, 1999。
乳牛甲烷釋放量	飼以盤固草、狼尾草和玉米時, 每日每隻乾乳牛消化道分別產生甲烷 340 l (相當於 243 g)、264 l (相當於 189 g) 和 350 l (相當於 250 g)。台灣每頭乾乳牛 CH <sub>4</sub> 釋放係數為 82.3 kg, 台灣約有 15,000 頭乾乳牛, 每年排出 CH <sub>4</sub> 1,234 ton, 佔全球牛隻總 CH <sub>4</sub> 排放量 58 Tg 之 0.0021%。每頭 425 kg 女牛飼以青貯玉米時, 每頭牛隻消化道每日產生甲烷 231 l (相當於 165 g)。每頭 275 kg 女牛, 飼以半乾青貯盤固草、青貯狼尾草和青貯玉米時, 每頭牛隻消化道每日分別產生甲烷 270 l (相當於 193 g)、230 l (相當於 164 g) 和 230 l (相當於 167 g)。如以體重 275 kg 女牛每頭牛其消化道每日生成 247 l CH <sub>4</sub> , 相當於每頭女牛年釋放甲烷 64.3 g, 台灣 52,000 頭女牛每年釋放 CH <sub>4</sub> 3,342 ton, 佔全球 58 Tg 年釋放量之 0.0058%。荷蘭泌乳牛每頭體重 611±56 kg, 食用玉米時, 每隻牛由消化道每日產生甲烷 527 l (相當於 377 g 甲烷); 食用狼尾草時, 每日產生甲烷 582 l (相當於 415 g 甲烷); 食用盤固拉時, 每日產生甲烷 619 l (相當於 442 g 甲烷)。	李春芳等, 2000、2001。
台灣畜牧養殖腸內發酵甲烷釋放量推估	以本土實測資料為主, 如無本土資料則以 IPCC (1997) 方法推估台灣畜牧養殖, 腸內發酵甲烷釋放量如下: 1990 年家畜類共計 30,828.3 ton, 包括豬 12,847.9 ton、乳牛 13,571.6 ton、水牛 1,201.2 ton、黃牛及雜交牛 1,828.8 ton、山羊 865.0 ton、綿羊 270.2 ton、兔子 46.1 ton、鹿 182.4 ton 和馬 15.7 ton。家禽類共計 31.9 ton, 包括有色肉雞 11.5 ton、肉雞 1.2 ton、蛋雞 0.8 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 2.0 ton、鵝 0.6 ton 和火雞 0.1 ton。全年共計釋放甲烷 30,860.6 ton。1991 年家畜類共計 34,081.1 ton, 包括豬 15,133.7 ton、乳牛 15,027.6 ton、水牛 1,024.0 ton、黃牛及雜交牛 1,482.8 ton, 山羊 878.8 ton、綿羊 316.8 ton、兔子 39.7 ton、鹿 164.2 ton 和馬 13.5 ton。家禽類共計 30.6 ton, 包括有色肉雞 10.8 ton、肉雞 1.6 ton、蛋雞 0.8 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 1.8 ton、鵝 0.6 ton 和火雞 0.1 ton。全年共計釋放甲烷 34,111.7 ton。1992 年家畜類共計 34,782.3 ton, 包括豬 14,631.7 ton、乳牛 16,309.4 ton、水牛 914.3 ton、黃牛及雜交牛 1,348.8 ton, 山羊 1,011.7 ton、綿羊 363.7 ton、兔子 36.5 ton、鹿 152.2 ton 和馬 14.0 ton。家禽類共計 32.2 ton, 包括有色肉雞 11.6 ton、肉雞 1.7 ton、蛋雞 0.8 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 2.0 ton、鵝 0.7 ton 和火雞 0.1 ton。全年共計排放甲烷 34,815.4 ton。1993 年家畜類共計 36,816.7 ton, 包括豬 14,767.4 ton、乳牛 17,494.4 ton、水牛 906.9 ton、黃牛及雜交牛 1,411.0 ton, 山羊 1,471.2 ton、綿羊 576.0 ton、兔子 31.9 ton、鹿 143.7 ton 和馬 14.2 ton。家禽類共計 36.3 ton, 包括有色肉雞 12.6 ton、肉雞 2.0 ton、蛋雞 0.9 ton、菜鴨 0.1 ton、番鴨 2.3 ton、鵝 0.7 ton 和火雞 0.1 ton。全年共計排放甲烷 36,853.0 ton。1994 年家畜類共計 37,442.4 ton, 包括豬 15,098.3 ton, 乳牛 17,712.6 ton, 水牛 820.0 ton, 黃牛及雜交牛 1,357.8 ton, 山羊 1,554.0 ton, 綿羊 723.1 ton, 兔子 24.7 ton, 鹿 137.2 ton 和馬 14.6 ton。家禽類共計 36.9 ton, 包括有色肉雞 12.7 ton, 肉雞 2.1 ton, 蛋雞 0.9 ton, 菜鴨 0.1 ton, 番鴨 2.0 ton, 鵝 1.0 ton 和火雞 0.1 ton, 全年共計釋放甲烷 37,479.2 ton。1995 年家畜類共計 38,916.8 ton, 包括豬 15,762.8 ton, 乳牛 18,588.8 ton, 水牛 708.6 ton, 黃牛及雜交牛 1,213.4 ton, 山羊 1,593.8 ton, 綿羊 894.7 ton, 兔子 22.5 ton, 鹿 119.9 ton 和馬 12.4 ton。家禽類共計 37.7 ton, 包括有色肉雞 12.8 ton, 肉雞 2.4 ton, 蛋雞 1.0 ton, 菜鴨 0.1 ton, 番鴨 2.1 ton, 鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton, 全年共計釋放甲烷 38,954.5 ton。1996 年家	Yang 等, 2003。



畜類共計 39,227.3 ton，包括豬 16,047.6 ton，乳牛 18,754.2 ton，水牛 616.7 ton，黃牛及雜交牛 1,162.9 ton，山羊 1,547.5 ton，綿羊 952.4 ton，兔子 21.7 ton，鹿 113.2 ton 和馬 11.3 ton。家禽類共計 40.3 ton，包括有色肉雞 13.9 ton，肉雞 2.5 ton，蛋雞 1.1 ton，菜鴨 0.1 ton，蕃鴨 2.1 ton，鵝 0.8 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 39,267.7 ton。1997 年家畜類共計 36,108.8 ton，包括豬 11,950.3 ton，乳牛 19,853.5 ton，水牛 528.1 ton，黃牛及雜交牛 1,059.9 ton，山羊 1,577.0 ton，綿羊 1,017.2 ton，兔子 15.8 ton，鹿 113.1 ton 和馬 12.2 ton。家禽類共計 44.1 ton，包括有色肉雞 15.3 ton，肉雞 2.9 ton，蛋雞 1.2 ton，菜鴨 0.1 ton，蕃鴨 2.0 ton，鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 36,152.9 ton。1998 年家畜類共計 34,066.7 ton，包括豬 9,807.9 ton，乳牛 20,034.5 ton，水牛 470.6 ton，黃牛及雜交牛 1,003.5 ton，山羊 1,578.1 ton，綿羊 1,032.9 ton，兔子 15.6 ton，鹿 112.4 ton 和馬 11.2 ton。家禽類共計 43.0 ton，包括有色肉雞 14.9 ton，肉雞 3.0 ton，蛋雞 1.3 ton，菜鴨 0.1 ton，蕃鴨 1.8 ton，鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 34,109.7 ton。1999 年家畜類共計 34,901.2 ton，包括豬 10,864.8 ton，乳牛 20,325.5 ton，水牛 505.4 ton，黃牛及雜交牛 883.3 ton，山羊 1,186.5 ton，綿羊 1,006.7 ton，兔子 12.8 ton，鹿 106.0 ton 和馬 10.2 ton。家禽類共計 42.8 ton，包括有色肉雞 14.9 ton，肉雞 2.9 ton，蛋雞 1.3 ton，菜鴨 0.1 ton，蕃鴨 1.7 ton，鵝 0.9 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 34,943.9 ton。2000 年家畜類共計 34,879.8 ton，包括豬 11,242.4 ton，乳牛 20,404.8 ton，水牛 427.2 ton，黃牛及雜交牛 766.4 ton，山羊 1,012.5 ton，綿羊 900.4 ton，兔子 12.0 ton，鹿 100.1 ton 和馬 14.0 ton。家禽類共計 42.4 ton，包括有色肉雞 14.7 ton，肉雞 3.0 ton，蛋雞 1.3 ton，菜鴨 0.1 ton，蕃鴨 1.7 ton，鵝 0.8 ton 和火雞 0.1 ton，全年共計釋放甲烷 34,922.2 ton。

台灣畜牧  
養殖廢棄  
物處理甲  
烷釋放推  
估

以本土實測資料為主，如無本土資料以 IPCC (1997) 方法推估台灣畜牧養殖時廢棄物處理甲烷釋放如下：1990 年畜牧養殖時廢棄物處理甲烷釋放家畜類共計 48,481.9 ton，包括豬 46,894.0 ton，乳牛 1,452.8 ton，水牛 43.8 ton，黃牛及雜交牛 41.6 ton，山羊 31.1 ton，綿羊 9.5 ton，兔子 0.8 ton，鹿 6.6 ton 和馬 1.8 ton。家禽類共計 8,694.3 ton，包括有色肉雞 1,749.0 ton，肉雞 850.6 ton，蛋雞 1,095.4 ton，菜鴨 110.0 ton，蕃鴨 421.3 ton，鵝 203.5 ton 和火雞 38.4 ton，全年共計釋放甲烷 57,176.2 ton。1991 年家畜類共計 56,968.4 ton，包括豬 55,238.0 ton，乳牛 1,608.6 ton，水牛 37.2 ton，黃牛及雜交牛 33.7 ton，山羊 31.6 ton，綿羊 11.1 ton，兔子 0.7 ton，鹿 5.9 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 8,905.3 ton，包括有色肉雞 1,755.7 ton，肉雞 924.1 ton，蛋雞 1,118.0 ton，菜鴨 109.9 ton，蕃鴨 423.2 ton，鵝 212.4 ton 和火雞 31.2 ton，全年共計釋放甲烷 65,873.7 ton。1992 年家畜類共計 55,296.3 ton，包括豬 53,406.0 ton，乳牛 1,769.5 ton，水牛 33.3 ton，黃牛及雜交牛 30.7 ton，山羊 36.4 ton，綿羊 12.7 ton，兔子 0.6 ton，鹿 5.5 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 10,173.2 ton，包括有色肉雞 1,972.9 ton，肉雞 1,073.1 ton，蛋雞 1,163.2 ton，菜鴨 132.8 ton，蕃鴨 603.2 ton，鵝 253.6 ton 和火雞 29.4 ton，全年共計釋放甲烷 65,469.5 ton。1993 年家畜類共計 55,919.3 ton，包括豬 53,901.0 ton，乳牛 1,872.7 ton，水牛 33.0 ton，黃牛及雜交牛 32.1 ton，山羊 53.0 ton，綿羊 20.2 ton，兔子 0.6 ton，鹿 5.2 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 10,560.0 ton，包括有色肉雞 2,049.5 ton，肉雞 1,180.9 ton，蛋雞 1,201.4 ton，菜鴨 141.3 ton，蕃鴨 524.5 ton，鵝 335.4 ton 和火雞 29.5 ton，全年共計釋放甲烷 66,479.2 ton。1994 年家畜類共計 57,154.1 ton，包括豬 55,109.0 ton，乳牛 1,896.1 ton，水牛 29.8 ton，黃牛及雜交牛 30.9 ton，山羊 56.0 ton，綿羊 25.3 ton，兔子 0.4 ton，鹿 4.9 ton 和馬 1.7 ton。家禽類共計 11,067.3 ton，包括有色肉雞 2,051.9 ton，肉雞 1,307.9 ton，蛋雞 1,335.9 ton，菜鴨 142.2 ton，蕃鴨 500.0 ton，鵝 377.0 ton 和火雞 23.7 ton，全年共計釋放甲烷 68,230.4 ton。1995 年家畜類共計 59,672.0 ton，包括豬 57,534.0 ton，乳牛 1,989.8 ton，水牛 25.8 ton，黃牛及雜交牛 27.6 ton，山羊 57.4 ton，綿羊 31.3 ton，兔子 0.4 ton，鹿 4.3 ton 和馬 1.4 ton。家禽類共計 11,435.0 ton，包括有色肉雞 2,127.8 ton，肉雞

Yang 等，2003。

逸散源	研究成果	出處
	<p>1,367.9 ton, 蛋雞 1,392.6 ton, 菜鴨 148.7 ton, 蕃鴨 505.6 ton, 鵝 327.7 ton 和火雞 22.4 ton, 全年共計釋放甲烷 71,107.0 ton。1996 年家畜類共計 60,724.2 ton, 包括豬 58,573.0 ton, 乳牛 2,007.5 ton, 水牛 22.4 ton, 黃牛及雜交牛 26.4 ton, 山羊 55.7 ton, 綿羊 33.3 ton, 兔子 0.4 ton, 鹿 4.1 ton 和馬 1.3 ton。家禽類共計 12,261.2 ton, 包括有色肉雞 2,267.2 ton, 肉雞 1,498.9 ton, 蛋雞 1,539.6 ton, 菜鴨 144.4 ton, 蕃鴨 504.5 ton, 鵝 332.3 ton 和火雞 19.8 ton, 全年共計釋放甲烷 72,985.3 ton。1997 年家畜類共計 45,883.7 ton, 包括豬 43,619.0 ton, 乳牛 2,123.3 ton, 水牛 19.2 ton, 黃牛及雜交牛 24.1 ton, 山羊 56.8 ton, 綿羊 35.6 ton, 兔子 0.3 ton, 鹿 4.1 ton 和馬 1.4 ton。家禽類共計 12,845.6 ton, 包括有色肉雞 2,331.1 ton, 肉雞 1,662.9 ton, 蛋雞 1,649.1 ton, 菜鴨 157.3 ton, 蕃鴨 435.9 ton, 鵝 349.8 ton 和火雞 23.2 ton, 全年共計釋放甲烷 58,729.3 ton。1998 年家畜類共計 38,082.1 ton, 包括豬 35,799.0 ton, 乳牛 2,144.6 ton, 水牛 17.1 ton, 黃牛及雜交牛 22.8ton, 山羊 56.8 ton, 綿羊 36.2 ton, 兔子 0.3 ton, 鹿 4.1 ton 和馬 1.3 ton。家禽類共計 13,100.2 ton, 包括有色肉雞 2,326.4 ton, 肉雞 1,767.4 ton, 蛋雞 1,690.7 ton, 菜鴨 145.7 ton, 蕃鴨 430.0 ton, 鵝 354.8 ton 和火雞 25.2 ton, 全年共計釋放甲烷 51,182.3 ton。1999 年家畜類共計 41,953.3 ton, 包括豬 39,656.0 ton, 乳牛 2,175.7 ton, 水牛 18.4 ton, 黃牛及雜交牛 20.1 ton, 山羊 42.7 ton, 綿羊 35.2 ton, 兔子 0.2 ton, 鹿 3.8 ton 和馬 1.2 ton。家禽類共計 13,189.5 ton, 包括有色肉雞 23,782.5 ton, 肉雞 1,732.8 ton, 蛋雞 1,721.6 ton, 菜鴨 144.7 ton, 蕃鴨 437.8 ton, 鵝 330.7 ton 和火雞 28.8 ton, 全年共計釋放甲烷 55,142.9 ton。2000 年家畜類共計 43,325.6 ton, 包括豬 41,035.0 ton, 乳牛 2,184.2 ton, 水牛 15.5 ton, 黃牛及雜交牛 17.4ton, 山羊 36.5 ton, 綿羊 31.5 ton, 兔子 0.2 ton, 鹿 3.6 ton 和馬 1.6 ton。家禽類共計 12,951.6 ton, 包括有色肉雞 2,223.3 ton, 肉雞 1,705.7 ton, 蛋雞 1,729.5 ton, 菜鴨 145.7 ton, 蕃鴨 385.2 ton, 鵝 288.1 ton 和火雞 29.5 ton, 全年共計釋放甲烷 56,277.2 ton。</p>	
禽畜糞堆肥甲烷釋放	<p>在實驗室堆積 56 天, 雞糞堆肥 <math>\text{CH}_4</math> 釋放 0.21-22.8 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>, 豬糞堆肥 <math>\text{CH}_4</math> 釋放 1.06-61.4 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>, 牛糞堆肥 <math>\text{CH}_4</math> 釋放 6.42-11.1 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。每公噸豬糞堆積一年釋放 <math>\text{CH}_4</math> 22.1 g, 雞糞釋放 <math>\text{CH}_4</math> 12.9 g, 牛糞釋放 <math>\text{CH}_4</math> 16.3 g。</p>	譚鎮中等, 1999; 譚鎮中和王銀波, 2000。
堆肥場	<p>台中新社牛糞、米糠和羽毛等帶狀堆積 9-36 天, <math>\text{CH}_4</math> 釋放量 0.47-0.26 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。雞糞、米糠和太空包等帶狀堆積 7-28 天, <math>\text{CH}_4</math> 釋放量 6.5-73.6 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。彰化溪州豬糞和菇類太空包帶狀堆積 30-90 天, <math>\text{CH}_4</math> 釋放量 0.11-0.15 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。桃園新屋牛糞、太空包和茶渣等帶狀堆積 20-80 天, <math>\text{CH}_4</math> 釋放量 18.5-255 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。雲林斗六金針菇太空包和粉碎稻殼露天堆積 1-2 個月後, 移入室內添加米糠和雞糞再堆積 4-5 個月, <math>\text{CH}_4</math> 釋放量 2.5-231 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。</p>	譚鎮中等, 1999。
彰化堆肥場	<p>以豬糞為主, 雞糞為輔, 以木屑為調整材之堆肥場, 在堆積過程中 <math>\text{CH}_4</math> 釋放量如下: 2002 年 2 月 2-3 日, 由原料至成品共分 8 等分, 其 <math>\text{CH}_4</math> 釋放量依次為 140.37±35.53、4.29±0.99、138.27±37.21、0.97±0.92、0.79±0.65、0.38±0.23、0.40±0.33 和 0.75±0.58 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>, 平均為 35.78±9.00 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。2002 年 3 月 23-24 日, 由原料至成品共分 8 等分, 其 <math>\text{CH}_4</math> 釋放量依次為 71.68±30.33、0.59±0.83、7.57±3.46、0.55±0.74、3.17±1.39、0.41±0.27、0.12±0.33 和 0.68±0.44 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>, 平均為 10.60±3.93 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。2002 年 5 月 18-19 日, 由原料至成品共分 8 等分, 其 <math>\text{CH}_4</math> 釋放量依次為 597.31±257.15、51.44±41.40、707.09±226.42、302.68±154.11、6.48±5.80、2.32±2.86、2.59±2.10 和 1.27±1.40 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>, 平均為 208.90±49.79 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。2002 年 7 月 15-16 日, 由原料至成品共分 8 等分, <math>\text{CH}_4</math> 釋放量依次為 49.79±8.46、31.59±8.72、34.19±11.36、4.31±2.35、1.17±0.56、5.70±3.83、0.73±1.33 和 0.15±0.09 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>, 平均為 15.95±2.51 <math>\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}</math>。</p>	陳顛竹等, 2003。
山豬窟垃	<p>夏季好氣條件下處理 14-56 天, <math>\text{CH}_4</math> 釋放量 404.38-440.56 <math>\text{ng}/\text{l}/\text{h}</math>, 嫌氣條</p>	徐民豐等,



逸散源	研究成果	出處
圾掩埋場滲出水	件處理時，CH <sub>4</sub> 釋放量 387.31-423.76 ng/l/h。冬季好氣條件下處理 14-56 天，CH <sub>4</sub> 釋放量 391.06-450.46 ng/l/h，嫌氣條件處理時，CH <sub>4</sub> 釋放量 487.48-536.26 ng/l/h。	1999。
山豬窟掩埋場滲出水	夏季好氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-1.8 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 二氯松 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-1.2 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 百滅寧、100-1000 ppm 丁基拉草和 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。在厭氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 百滅寧 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹、100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松、100-1000 ppm 丁基拉草和 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。冬季好氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 百滅寧 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-1.26 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 丁基拉草 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.24 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹、100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松和 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。厭氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 丁基拉草 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.3 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹、100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松、100-1000 ppm 百滅寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞、CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。	謝亞寧等，2000。
福德坑掩埋場滲出水	夏季好氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-3.9 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 二氯松 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-3.9 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 百滅寧 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-1.5 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 丁基拉草 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 大克寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。在厭氣孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 百滅寧 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 丁基拉草 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.9 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 大克寧和 100-1000 ppm 二氯松 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。在厭氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 百滅寧 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 丁基拉草 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.9 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.6 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 大克寧和 100-1000 ppm 二氯松 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。冬季在好氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-1.62 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 丁基拉草 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.27 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 二氯松、100-1000 ppm 百滅寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。厭氣下孵育 14-56 天 CH <sub>4</sub> 釋放量 0 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 蓋普丹 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.84 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 二氯松 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.30 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 丁基拉草 CH <sub>4</sub> 釋放量 0-0.15 μg/l/h；添加 100-1000 ppm 大克寧、100-1000 ppm 百滅寧和 100-1000 ppm 嘉磷塞 CH <sub>4</sub> 釋放量皆為 0 μg/l/h。	謝亞寧等，2000。
掩埋場大氣甲烷濃度	忠福掩埋場 88 年 12 月 8 日-25 日大氣甲烷濃度介於 26.5-33.2 ppmv，平均為 29.9 ppmv，白天 25.0-33.8 ppmv，平均為 29.0 ppmv，夜間 27.7-33.1 ppmv，平均為 30.7 ppmv。89 年 4 月 27 日-5 月 11 日大氣甲烷濃度介於 8.6-27.0 ppmv，平均為 16.6 ppmv，白天 5.6-30.1 ppmv，平均為 15.9 ppmv，夜間 9.5-28.7 ppmv，平均為 17.3 ppmv。89 年 7 月 28 日-8 月 3 日大氣甲烷濃度介於 2.7-7.7 ppmv，平均為 4.5 ppmv，白天 2.6-8.6 ppmv，平均為 4.0 ppmv，夜間 2.7-7.0 ppmv，平均為 5.0 ppmv。89 年 9 月 2 日-9 日大氣甲烷濃度介於 8.3-19.4 ppmv，平均為 12.8 ppmv，白天 6.6-15.4 ppmv，平均為 10.8 ppmv，夜間 8.9-21.2 ppmv，平均為 14.8 ppmv。90 年 9 月 11 日-19 日大氣甲烷濃度介於 6.91-9.04 ppmv，平均為 7.72 ppmv，白天 6.08- 8.96 ppmv，平均為 7.72 ppmv，夜間 6.36-9.24 ppmv，平均為 7.76 ppmv。90 年 12 月 11 日-19 日大氣甲烷濃度介於 11.82-13.44 ppmv，平均為 12.78 ppmv，白天 11.58-13.08 ppmv，平均為 12.48 ppmv，夜間 12.06-14.28 ppmv，平均為 13.02 ppmv。91 年 3 月 1 日-10 日大氣甲烷濃度介於	郭坤土等，2003。

逸散源	研究成果	出處
	7.96-8.80 ppmv, 平均為 8.40 ppmv, 白天 7.84-8.52 ppmv, 平均為 8.24 ppmv, 夜間 8.08-9.04 ppmv, 平均為 8.56 ppmv。91 年 6 月 1 日-10 日大氣甲烷濃度介於 5.55-6.39 ppmv, 平均為 5.97 ppmv, 白天 5.46-6.27 ppmv, 平均為 5.85 ppmv, 夜間 5.64-6.63 ppmv, 平均為 6.09 ppmv。	
山豬窟掩埋場	1998 年 5 月 14-15 日以 FTIR 測定掩埋 1-2 年大氣 CH <sub>4</sub> 濃度介於 3.56-14.61ppm-m, 平均 7.61ppm-m。以 GC 測定大氣 CH <sub>4</sub> 介於 8.12-55.64 ppmv, 平均 28.77ppmv。甲烷釋放量介於 0-36.01mg /m <sup>2</sup> /h, 平均 13.17 mg/m <sup>2</sup> /h。1998 年 2 月 25-27 日以 FTIR 測定掩埋 2-3 年大氣 CH <sub>4</sub> 濃度介於 4.93-17.27ppm-m, 平均 12.07ppm-m。以 GC 測定大氣 CH <sub>4</sub> 介於 13.90 - 139.08ppmv, 平均 35.79ppmv。甲烷釋放量介於 0-759.82mg/m <sup>2</sup> /h, 平均 157.56 mg/m <sup>2</sup> /h。5 月 15-16 日以 FTIR 測定掩埋 5 年大氣 CH <sub>4</sub> 濃度介於 2.18-9.56 ppm-m, 平均 3.40 ppm-m。以 GC 測定大氣 CH <sub>4</sub> 介於 3.23-53.41 ppmv, 平均 12.82 ppmv。甲烷釋放量介於 0-5.55 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均 0.99 mg/m <sup>2</sup> /h。1999 年 1 月掩埋 2-3 年大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 20.16±1.37 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 90.84±29.00 mg/m <sup>2</sup> /h。2 月大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 12.07±3.12 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 157.60±25.10 mg/m <sup>2</sup> /h。3 月大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 10.13±1.10 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 78.18±27.33 mg/m <sup>2</sup> /h。7 月大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 9.73±2.87 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 32.93±12.00 mg/m <sup>2</sup> /h。9 月大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 3.52±0.30 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 18.61±5.06 mg/m <sup>2</sup> /h。10 月大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 2.64±0.32 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 13.47±6.76 mg/m <sup>2</sup> /h。2000 年 2 月大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 8.91±4.26 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 8.91±2.69 mg/m <sup>2</sup> /h。3 月大氣 CH <sub>4</sub> 平均濃度 4.46±0.71 ppmv, CH <sub>4</sub> 釋放量 13.91±1.29 mg/m <sup>2</sup> /h。1999-2000 以 FTIR 測定測定 5 次, 大氣 CH <sub>4</sub> 濃度平均 7.20±4.84 ppmv-m。2000 年 5 月 23-25 日, 在 24 日夜間 CH <sub>4</sub> 釋放量最高 950 mg/m <sup>2</sup> /h, 25 日上午 3 時最高 500 mg/m <sup>2</sup> /h, 其它時間介於 5-100 mg/m <sup>2</sup> /h。覆土 1-2m 厚掩埋點, 未去除覆土時 CH <sub>4</sub> 釋放量點 1 為 49.45 mg/m <sup>2</sup> /h, 去除 5 cm 覆土則增加為 71,882.83 mg/m <sup>2</sup> /h。點 2 為 208.00 mg/m <sup>2</sup> /h, 去除上方 5 cm 覆土則提高為 60,143.70 mg/m <sup>2</sup> /h; 點 3 為 13.48 mg/m <sup>2</sup> /h, 去除上方 5 cm 覆土, CH <sub>4</sub> 釋放量提高為 13.83 mg/m <sup>2</sup> /h。1997 年山豬窟垃圾掩埋場, 甲烷釋放量為 1.22-0.07g/m <sup>2</sup> /d。2000 年山豬窟垃圾掩埋場, 甲烷釋放量為 0.11±0.001g/m <sup>2</sup> /d。	楊盛行, 1997a、2000、2001; 楊盛行和 Hegde, 2001; Hegde 等, 2001、2003。
山豬窟掩埋場	掩埋 1 年 2000 年 10 月 7 日, 土壤有機碳含量 13.05±3.72%, 甲烷釋出率 76.74±78.54 mg/m <sup>2</sup> /h。掩埋 2-3 年 2000 年 5 月 23 日-25 日, 土壤有機碳含量 20.52±4.01%, 甲烷釋出率 201.24±63.42 mg/m <sup>2</sup> /h; 2000 年 8 月 11 日, 土壤有機碳含量 23.2±3.72%, 甲烷釋出率 5,942±1,113.55 mg/m <sup>2</sup> /h。	楊盛行, 2001。
福德坑掩埋場	1999 年 10 月和 11 月, 大氣甲烷濃度平均 2.78±0.78 ppmv-m。1999 年 10 月 30 日, 土壤 CH <sub>4</sub> 釋放量 32.80±24.13 mg/m <sup>2</sup> /h, 清晨 3 時最高 80 mg/m <sup>2</sup> /h。2000 年 5 月 11-13 日, 大氣 CH <sub>4</sub> 濃度介於 1.29-3.35 ppm, 平均 2.67ppm。夜晚濃度較高, 白天濃度較低, 白天有 CH <sub>4</sub> 燃燒。掩埋場 A 點 1999 年 10 月 30 日土壤有機碳含量 15.35±0.95%, 甲烷釋放量 8.76±0.29mg/m <sup>2</sup> /h; 1999 年 11 月 24 日, 土壤有機碳含量 20.79±1.42%, 甲烷釋放量 21.67±6.19mg/m <sup>2</sup> /h。掩埋場 B 點 1999 年 10 月 30 日, 土壤有機碳含量 14.72±1.72%, 甲烷釋放量 12.83±0.29mg/m <sup>2</sup> /h; 1999 年 11 月 24 日, 土壤有機碳含量 19.34±2.23%, 甲烷釋放量 34.96±4.65 mg/m <sup>2</sup> /h; 2000 年 5 月 11 日-13 日, 土壤有機碳含量 19.72±2.98%, 甲烷釋放量 18.44±8.07mg/m <sup>2</sup> /h。掩埋場 C 點 2000 年 6 月 30 日, 土壤有機碳含量 20.72±4.01%, 甲烷釋放量 1,163.32±672.93mg/m <sup>2</sup> /h。1997 年福德坑垃圾掩埋場, 甲烷釋放量為 0.03-16.64g/m <sup>2</sup> /d。2000 年福德坑垃圾掩埋場, 甲烷釋放量為 0.79±0.58g/m <sup>2</sup> /d。	楊盛行, 1997a、2000、2001。
垃圾掩埋場	豐原垃圾掩埋場每噸垃圾每年產生 CH <sub>4</sub> 7.3 m <sup>3</sup> , CH <sub>4</sub> 總產量 183 m <sup>3</sup> 。山豬窟垃圾掩埋場 1995-1999 年 CH <sub>4</sub> 平均釋放量 63.44±31.08 mg/m <sup>2</sup> /h。台中市垃圾掩埋場以 IPCC 估算 CH <sub>4</sub> 總釋放量 1.4-3.3×10 <sup>4</sup> ton, 實測 CH <sub>4</sub> 總釋放量 3.45-5.37×10 <sup>4</sup> ton, 以此估算台灣垃圾掩埋場 CH <sub>4</sub> 總釋放量 7.00-	莊秉潔等, 1992; 楊任徵等, 1994; 洪肇嘉和張國賢,

逸散源	研究成果	出處
	17.2×10 <sup>5</sup> ton。台灣垃圾掩埋場 1994 年 CH <sub>4</sub> 總釋放量 2.36×10 <sup>5</sup> ton, 1995 年為 2.01×10 <sup>5</sup> ton, 1996 年為 2.31×10 <sup>5</sup> ton, 1997 年為 4.85×10 <sup>5</sup> ton, 1998 年為 4.26×10 <sup>5</sup> ton, 1999 年為 4.80×10 <sup>5</sup> ton, 2000 年為 5.57×10 <sup>5</sup> ton。1998 年台中垃圾掩埋場田坡, 甲烷釋放量為 33.15 g/m <sup>2</sup> /d。台中垃圾掩埋場頂部, 甲烷釋放量為 7.12 g/m <sup>2</sup> /d。	1996; 楊盛行, 1997a; 楊盛行和張讚昌, 2000; 廖文彬等, 1998。
桃園虎頭山掩埋場	87 年 12 月 11 日-28 日測定 4 次, 覆土厚 1.5-2.0 cm, 掩埋 2 年甲烷釋放量介於-1.96-14.83 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均 10.17 mg/m <sup>2</sup> /h。87 年 12 月 11 日-88 年 4 月 23 日測定 7 次, 覆土厚 0.2 cm, 掩埋 2-3 年甲烷釋放量介於 23-1,105 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均 54.34 mg/m <sup>2</sup> /h。88 年 2 月 4 日-4 月 23 日測定 4 次, 覆土厚 5 cm, 掩埋 2-3 年甲烷釋放量介於 258-32,800 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均 18,244 mg/m <sup>2</sup> /h。87 年 12 月 8 日-11 日大氣甲烷日平均濃度 14.9-17.2 ppmv, 最大值 19.7 ppmv, 最小 10.2 ppmv。白天平均濃度 13.7-16.9 ppmv, 夜間平均濃度 16.1-17.6 ppmv。88 年 3 月 27 日-4 月 22 日大氣甲烷日平均濃度 11.3-16.5 ppmv, 最大值 19.9 ppmv, 最小 4.5 ppmv。白天平均 10.2-14.9 ppmv, 夜間平均 12.1-18.6 ppmv。掩埋齡期約 2 年, 覆土約 1.5-2 m, 87 年 12 月 11 日-28 日測定 4 次, 甲烷釋放量介於-1.96-14.83 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均為 10.17 mg/m <sup>2</sup> /h。掩埋齡期約 2-3 年, 覆土約 0.2 m, 87 年 12 月 11 日至 88 年 4 月 23 日測定 7 次, 其甲烷釋放量介於 23-1,105 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均為 54.34 mg/m <sup>2</sup> /h。掩埋齡期約 2-3 年, 覆土約 0.05 m, 88 年 2 月 4 日至 11 月 18 日測定 7 次, 其甲烷釋放量介於 1.28-1,33,076 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均為 37,828 mg/m <sup>2</sup> /h。掩埋齡期約 2-3 年, 覆土約 0.2 m, 88 年 8 月 23 日至 11 月測定 4 次, 其甲烷釋放量介於 6-59,648 mg/m <sup>2</sup> /h。1999 年掩埋場覆土 0.05 m, 甲烷釋放量 525 g/m <sup>2</sup> /d, 覆土 0.05 m 甲烷釋放量 908 g/m <sup>2</sup> /d, 覆土 0.2 m 甲烷釋放量 1.30 g/m <sup>2</sup> /d, 覆土 1.5-2.0 m 甲烷釋放量 0.24 g/m <sup>2</sup> /d。在掩埋齡期約 2-3 年, 覆土厚 0.2 m, 於 88 年 8 月 20 日-88 年 11 月 18 日測定 3 次, 甲烷釋放量介於 117.36-59,648 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均為 21,883 mg/m <sup>2</sup> /h。	郭坤土等, 2000、2001、2003。
忠福垃圾掩埋場	掩埋齡期約 2 年, 覆土約 0.2 m, 88 年 11 月 19 日至 89 年 10 月 2 日在點 1 測定 18 次, 其甲烷釋放量介於-37.01-1,577.79 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均 345 mg/m <sup>2</sup> /h。掩埋齡期約 2 年, 覆土約 0.2 m, 89 年 4 月 20 日至 10 月 2 日在點 2 測定 12 次, 其甲烷釋放量介於 11.17-1,922.04 mg/m <sup>2</sup> h, 平均值 654 mg/m <sup>2</sup> h。2000 年掩埋場覆土 0.2 m, 甲烷釋放量 8.28 g/m <sup>2</sup> /d, 覆土 0.2 m 甲烷釋放量 15.70 g/m <sup>2</sup> /d。掩埋齡期約 3 年, 覆土厚 1.5-2.0 m 之點 1 於 90 年 8 月 28 日-91 年 8 月 9 日測定 6 次, 甲烷釋放量介於-118.67-16.15 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均為 9.60 mg/m <sup>2</sup> /h。在點 2 於 90 年 8 月 28 日-91 年 8 月 9 日測定 6 次, 甲烷釋放量介於-60.29-829.22 mg/m <sup>2</sup> /h, 平均為 292.55 mg/m <sup>2</sup> /h。	郭坤土等, 2001、2003。
由廢棄物推估甲烷生產量	虎頭山掩埋場垃圾齡期約 2 年, 覆土厚 1.5-2.0m, 甲烷產量以含碳量推估為 274 l/kg 垃圾, 以熱值推估 383.34 l/kg, 以化學組成法推估 308.98 l/kg。垃圾齡期約 2-3 年, 覆土厚 0.2-0.05m, 甲烷產量以含碳量推估 306 l/kg 垃圾, 以熱值推估 273.11 l/kg, 以化學組成法推估 356.97 l/kg。忠福垃圾掩埋場垃圾齡約 6 個月之垃圾, 每 kg 垃圾甲烷產量, 以含碳量推估 140 l/kg 垃圾, 以熱值推估 569 l, 以化學組成推估 205 l/kg。垃圾齡期約 2 年, 每 kg 垃圾甲烷產量, 以含碳量推估 131 l/kg 垃圾, 以熱值推估 518 l, 以化學組成推估 168 l/kg。垃圾齡期約 12 年, 每 kg 垃圾甲烷產量, 以含碳量推估 127 l/kg 垃圾, 以熱值推估 479 l, 以化學組成推估 172 l/kg。	郭坤土等, 2001。
垃圾掩埋場甲烷產生推估	虎頭山垃圾掩埋場以含碳量推估測點一, 每 kg 垃圾可產生甲烷 274 l, 測點二及三每 kg 垃圾可產生甲烷 306 l。以熱值推估, 測點一每 kg 垃圾可以產生甲烷 383.34 l, 測點二及三每 kg 垃圾可以產生甲烷 273.11 l。以化學組成推估, 測點一每 kg 溼垃圾可以產生甲烷 308.98 l, 測點二及三每 kg 溼垃圾可以產生甲烷 356.97 l。忠福垃圾場以含碳量推估, 掩埋齡 6 個月每 kg 垃圾可產生甲烷 140 l, 掩埋齡 2 年每 kg 垃圾可產生甲烷 131 l, 掩埋齡 12 年每 kg 垃圾可產生甲烷 127 l。以熱值推估法, 掩埋齡 6 個月每	郭坤土等, 2003。

逸散源	研究成果	出處
	kg 垃圾可產生甲烷 569 l，掩埋齡 2 年每 kg 垃圾可產生甲烷 518 l，掩埋齡 12 年每 kg 垃圾可產生甲烷 479 l。以化學組成推估法，掩埋齡 6 個月每 kg 垃圾可產生甲烷 205 l，掩埋齡 2 年每 kg 垃圾可產生甲烷 168 l，掩埋齡 12 年每 kg 垃圾可產生甲烷 172 l。	
環保署桃園監測站	桃園監測站 87 年 12 月 8 日-11 日大氣甲烷日平均濃度 1.9-2.1 ppmv，最大 2.1 ppmv，最小 1.7 ppmv。白天平均濃度 1.9-2.0 ppmv，夜間 1.9-2.2 ppmv。88 年 3 月 27 日-4 月 22 日大氣甲烷日平均濃度 1.9-2.5 ppmv，最大 4.1 ppmv，最小 1.8 ppmv。白天平均濃度 1.9-2.5 ppmv，夜間 1.9-2.6 ppmv。90 年 9 月 11 日-20 日大氣甲烷濃度介於 1.83- 2.28 ppmv，平均 2.09 ppmv，白天介於 1.92-2.19 ppmv，平均 2.00 ppmv，夜間 1.18-2.40 ppmv，平均 2.18 ppmv。90 年 12 月 11 日-20 日大氣甲烷濃度介於 1.99-2.36 ppmv，平均 2.16 ppmv，白天介於 1.97-2.26 ppmv，平均為 2.11 ppmv，夜間 2.08-2.53 ppmv，平均 2.22 ppmv。91 年 3 月 1 日-10 日大氣甲烷濃度介於 1.94-2.28 ppmv，平均 2.09 ppmv，白天介於 1.92-2.13 ppmv，平均 2.04 ppmv，夜間 1.96-2.49 ppmv。91 年 6 月 1 日-10 日大氣甲烷濃度介於 1.88-2.14 ppmv，平均 1.97 ppmv，白天介於 1.83-2.03 ppmv，平均 1.92 ppmv，夜間 1.88-2.25 ppmv，平均 2.02 ppmv。中壢站 88 年 12 月 18 日-12 月 25 日大氣甲烷濃度介於 1.7-2.3 ppmv，平均 2.1 ppmv；白天介於 1.7-2.3 ppmv，平均 2.1 ppmv；夜間介於 1.7-2.3 ppmv，平均 2.1 ppmv。89 年 4 月 27 日-5 月 11 日大氣甲烷濃度介於 2.2-2.8 ppmv，平均 2.4 ppmv；白天介於 2.2-2.7 ppmv，平均 2.3 ppmv；夜間介於 2.2-3.0 ppmv，平均 2.5 ppmv。89 年 7 月 28 日-8 月 3 日大氣甲烷濃度介於 1.7-2.2 ppmv，平均 2.0 ppmv；白天介於 1.8-2.0 ppmv，平均 1.9 ppmv；夜間介於 1.7-2.3 ppmv，平均 2.0 ppmv。89 年 9 月 2 日-9 日大氣甲烷濃度介於 2.1-2.3 ppmv，平均 2.2 ppmv；白天介於 2.1-2.2 ppmv，平均 2.1 ppmv；夜間介於 2.1-2.5 ppmv，平均 2.3 ppmv。90 年 9 月 10 日-19 日大氣甲烷濃度介於 1.73-2.26 ppmv，平均 1.93 ppmv，白天介於 1.52-2.24 ppmv，平均 1.93 ppmv，夜間介於 1.59-2.31 ppmv，平均 1.94 ppmv。90 年 12 月 11 日-20 日大氣甲烷濃度介於 1.97-2.24 ppmv，平均 2.13 ppmv，白天介於 1.93-2.18 ppmv，平均 2.08 ppmv，夜間介於 2.01-2.38 ppmv，平均 2.17 ppmv。91 年 3 月 1 日-10 日大氣甲烷濃度介於 1.99-2.20 ppmv，平均 2.10 ppmv，白天介於 1.96-2.13 ppmv，平均 2.06 ppmv，夜間介於 2.02-2.26 ppmv，平均 2.14 ppmv。91 年 6 月 1 日-10 日大氣甲烷濃度介於 1.85-2.13 ppmv，平均 1.99 ppmv，白天介於 1.82-2.09 ppmv，平均 1.95 ppmv，夜間介於 1.88-2.21 ppmv，平均 2.03 ppmv。	郭坤士等，2000、2001、2003。
有機質堆積一年	一公斤廚餘在水分 90%堆積一年生成 CH <sub>4</sub> 33.60±2.94 mg。在水分 80%堆積一年生成 CH <sub>4</sub> 1,261.53±34.90 mg。一公斤廚餘與廢紙 (9:1) 在水分 80%下，堆積一年生成 CH <sub>4</sub> 270.24±5.42 mg。一公斤廚餘與廢紙 (8:2) 在水分 80%下，生成 CH <sub>4</sub> 193.99±23.35 mg。一公斤廚餘與廢紙 (7:3) 在水分 80%下，生成 CH <sub>4</sub> 99.29±2.63 mg。一公斤廚餘與廢紙 (6.5:3.5) 在水分 80%下，生成 CH <sub>4</sub> 71.88±2.98 mg。	楊盛行和 Hegde，2001；Hegde 等，2001、2003。
台灣 CH <sub>4</sub> 排放比重	1990 年台灣產生 CH <sub>4</sub> 比重佔全球溫室效應氣體之 22.4%，分別為畜牧業 11.0%、垃圾掩埋場 8.3%、農業 0.6%和其他 2.5%。	孫志鴻和余政達，2001。
交通運輸部分	1994 年以北美地區或歐洲地區排放係數估算 CH <sub>4</sub> 年排放量二行程機車 2,712-3,129 ton，四行程機車 1,151-1,771 ton，汽油小客車 741-1,112 ton，汽油小貨車 270-540 ton，柴油小貨車 17-34 ton，柴油大客車 41-62 ton，柴油大貨車 286-428 ton，共計 5,606-6,688 ton。	洪肇嘉等，1998。



## 參考文獻

- 呂世宗、柳中明、楊盛行，1997。台灣地區大氣環境變遷。國立台灣大學全球變遷中心和農業化學系，台北，台灣。pp.400。
- 呂世宗、柳中明、楊盛行，1998。台灣地區大氣環境變遷(三)。國立台灣大學全球變遷中心和農業化學系，台北，台灣。pp. 322。
- 李春芳、蕭宗法、陳吉斌、劉秀洲，2000。省產牧草對荷蘭牛泌乳性能與溫室氣體產量的影響。溫室氣體通量測定及減量對策(II)(楊盛行編)，pp.205-225。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 李春芳、蕭宗法、陳吉斌，2001。本省荷蘭種乾乳牛與生長女牛消化道甲烷產量測定。溫室氣體通量測定及減量對策(III)(楊盛行編)，pp.157-172。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 李春芳、陳吉斌、蕭宗法，2003。畜牧養殖甲烷及氧化亞氮排放量測及減量對策(I)：人工瘤胃發酵槽設立的初步報告。溫室氣體通量測定及減量對策(IV)(楊盛行編)，pp.151-156。國立台灣大學全球變遷中心、國立台灣大學農業化學系和國立屏東科技大學生物科技研究所，台北，台灣。
- 洪嘉謨，1986。厭氣發酵處理與覆皮式厭氣發酵槽之構造。豬排泄物處理利用，台灣省畜產試驗所編印，台南，台灣。
- 洪肇嘉、張國賢，1996。因應氣候變化綱要各國之廢棄物管理策略及台灣地區之個案研究。國立雲林技術學院環境與安全技术研究所，雲林，台灣。
- 洪肇嘉、高耀嵐、蔡美玲，1999。地面交通運輸之甲烷與氧化亞氮排放評估及減量策略之研究(I)：台灣地區排放量之評估。溫室氣體通量測定及減量對策(楊盛行編)，pp.178-193。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 孫志鴻、余政達，2001。溫室氣體排放-台灣的問題與對策。溫室氣體通量測定及減量對策(III)(楊盛行編)，pp.205-218。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 徐民豐、顏瑞泓、王一雄，1999。掩埋場滲出水溫室氣體排放及減量對策。溫室氣體通量測定及減量對策(楊盛行編)，pp.147-161。國立台灣大學農業化學系和全球變遷中心，台北，台灣。
- 莊秉潔、廖文彬、劉大江，1992。溫室效應減緩計畫-1990 台灣地區溫室效應氣體之調查。行政院環境保護署期末報告，EPA-81-f102-09-09，台北，台灣。
- 郭坤土，1997。台灣地區溫室氣體含量及通量之測定。台灣地區大氣環境變遷(呂世宗、柳中明、楊盛行編)，pp.142。國立台灣大學全球變遷中心和農業化學系，台北，台灣。
- 郭坤土、張哲明、王錕生，2000。掩埋場甲烷通量及周界大氣甲烷濃度之研究。溫室氣體通量測定及減量對策(II)(楊盛行編)，pp.192-204。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 郭坤土、張哲明、王錕生，2001。掩埋場甲烷通量及周界大氣甲烷濃度之研究(II)。溫室氣體通量測定及減量對策(III)(楊盛行編)，pp.193-204。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 郭坤土、張哲明、王錕生，2003。掩埋場甲烷排放通量量測及減量對策(I)。溫室氣體通量測定及減量對策(IV)(楊盛行編)，pp.223-236。國立台灣大學全球變遷中心、國立台灣大學農業化學系和國立屏東科技大學生物科技研究所，台

- 北，台灣。
- 陳顛竹、張政雄、楊盛行，2003。堆肥過程中溫室氣體排放量測及菌相變化。*溫室氣體通量測定及減量對策(IV)*，楊盛行編，pp. 157-178。國立台灣大學全球變遷中心、國立台灣大學農業化學系和國立屏東科技大學生物科技研究所，台北，台灣。
- 楊任徵、黃肇英、朱育華、周恬弘、方良吉，1994。*與能源有關的溫室氣體統計-IPCC 方法的應用*。經濟部能源委員會，台北，台灣。pp.40。
- 楊盛行，1995。*氣候變遷與農業生產*。中國農業化學會及行政院農業委員會，台北，台灣。pp.319。
- 楊盛行，1999。*溫室氣體通量測定及減量對策*。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。pp.220。
- 楊盛行，2000a。台灣農業生產時溫室氣體排放現況。*氣候變化綱要公約資訊速報*，25期，7-13頁。
- 楊盛行，2000b。*溫室氣體通量測定及減量對策(II)*。*溫室氣體通量測定及減量對策(II)* (楊盛行編)，pp.1-43。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 楊盛行，2000c。*溫室氣體通量測定及減量對策(II)*。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。pp.233。
- 楊盛行，2001。*溫室氣體通量測定及減量對策(III)*。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。pp.239。
- 楊盛行，2003。*溫室氣體通量測定及減量對策(IV)*。國立台灣大學全球變遷中心、國立台灣大學農業化學系和國立屏東科技大學生物科技研究所，台北，台灣。pp.250。
- 楊盛行、林正芳、王繼國，2003。*廢棄物處理與再利用*。國立空中大學，台北，台灣。pp. 502。
- 楊盛行、賴朝明，2001。*發展推廣農業部門溫室氣體減量技術*。行政院環境保護署專題計畫成果報告，台北，台灣。pp. 72。
- 楊盛行、張讚昌，2000。以氣態 FTIR 分光儀測定濕地及掩埋場之溫室氣體排放。*溫室氣體通量測定及減量對策(II)* (楊盛行編)，pp.57-71。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 趙震慶，1999。畜產廢棄物堆積及施用之氧化亞氮之釋放及減量對策。*溫室氣體通量測定及減量對策* (楊盛行編)，pp.128-146。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 趙震慶，2000。畜產廢棄物堆積及施用之氧化亞氮之釋放及減量對策(II)。*溫室氣體通量測定及減量對策(II)* (楊盛行編)，pp.143-154。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 廖文彬、李季眉、洪肇嘉，1998。*台中地區垃圾掩埋場之溫室氣體排放量推估及監測* (國立雲林科技大學部份)。行政院環境保護署期末報告，台北，台灣。
- 賴朝明、馮志峰、楊盛行，2003。畜糞堆肥製作過程中氧化亞氮之排放量測及減量對策。*溫室氣體通量測定及減量對策(IV)* (楊盛行編)，pp.179-198。國立台灣大學全球變遷中心、國立台灣大學農業化學系和國立屏東科技大學生物科技研究所，台北，台灣。
- 謝亞寧、陳新傑、王一雄，2000。掩埋場滲出水之溫室氣體排放及減量對策(II)。*溫室氣體通量測定及減量對策(II)* (楊盛行編)，pp.155-172。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。

- 謝亞寧、溫致遠、王一雄，2001。掩埋場滲出水之溫室氣體排放及減量對策(III)。《溫室氣體通量測定及減量對策(III)》(楊盛行編)，pp.129-140。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 蕭宗法、劉秀洲、陳吉斌、李春芳，1999。飼料精芻料比對荷蘭乾乳牛消化道甲烷產量的影響。《溫室氣體通量測定及減量對策》(楊盛行編)，pp.204-220。國立台灣大學農業化學系和全球變遷中心，台北，台灣。
- 譚鎮中、王銀波，2000。畜產廢棄物堆積及施用之甲烷釋放及減量對策。《溫室氣體通量測定及減量對策(II)》(楊盛行編)，pp.95-109。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- 譚鎮中、吳正宗、謝學武、王銀波，1999。畜產廢棄物堆積及施用之甲烷釋放及減量對策。《溫室氣體通量測定及減量對策》(楊盛行編)，pp.84-97。國立台灣大學全球變遷中心、農業化學系和農業陳列館，台北，台灣。
- Cicerone, R. J. and Oremland, R. S. 1988. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biochem. Cycles* 2: 299-327.
- Chang, T. C., Luo, Y. C. and Yang, S. S. 1999. Determination of major greenhouse gases by gas-type FTIR spectroscopy. In: *Flux and Mitigation of Greenhouse Gases*. Ed. by Yang, S. S., pp. 59-73. Global Change Research Center and Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Chen, K. S., Lin, Y. S. and Yang, S. S. 1998. Isolation and application of thermo-tolerant microbes in composting. *J. Agric. Assoc. China, New Series* 183: 77-92.
- Chin, H. S., Huang, C. C., Chen, K. S. and Yang, S. S. 1999. Cellulase activity of thermophilic actinomycetes and their effect on the quality of rice straw compost. *J. Agric. Assoc. China, New Series* 185: 58-71.
- Cole, C. V., Duxbury, J., Freney, J., Heinemeyer, O., Minami, K., Mosier, A., Paustian, K., Rosenberg, N., Sampson, N., Sauerbeck, D. and Zhao, Q. 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 49: 221-228.
- Craswell, E. T., De Datta, S. K., Weeraeatne, C. S. and Vlek, P. L. G. 1985. Fate and efficiency of nitrogen fertilizers applied to wetland rice. I. The Phillippines. *Fert. Res.* 6: 49-63.
- Dlugokencky, E. J., Masarie, K. A., Lamg, P. M., Tans, P. P., Steele, L. P. and Nisbet, E. G. 1994. A dramatic decrease in the growth rate of atmospheric methane in the northern hemisphere during 1992. *Geophys. Res. Lett.* 21: 45-48.
- Hegde, U., Chang, T. C. and Yang, S. S. 2001. Greenhouse gas emission from Shan-Chu-Ku landfill site in northern Taiwan. In: *Flux and Mitigation of Greenhouse Gases (III)*. Ed. by Yang, S. S., pp. 69-83. Global Change Research Center, Department of Agricultural Chemistry and Agricultural Exhibition Hall, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Hegde, U., Chang, T. C. and Yang, S. S. 2003. Methane and carbon dioxide emissions from Shan-Chu-Ku landfill site in northern Taiwan. *Chemosphere* 52: 1275-1285.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. *Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, New York. pp. 200.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1994. *Climate Change 1994. The*

- Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* Cambridge University Press, New York.
- Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC). 1996. *Climate Change: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-technical Analyses*. Ed. by Waston, R. T., Zingowera, M. C. and Moss, R. H., Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 2. OECD, Paris, France.
- Luo, Y. C., Jang, H. D., Chang, E. H. and Yang, S. S. 1997. Measurement of greenhouse gas by gas-type FTIR/GC methods. In: *Greenhouse Effect and Energy Development*. pp. 18-32. Ed. by Lin, H. C. and Yang, S. S. The Biomass Energy Society of China. Taipei, Taiwan.
- Malhi, S. S. and Nyborg, M. 1991. Recovery of <sup>15</sup>N-labelled urea: influence of zero tillage, and time and method of application. *Fert. Res.* 28: 263-269.
- Minami, K. 1997. Mitigation of nitrous oxide emission from fertilized soils. *Program and Extended Abstracts of International Symposium on Atmospheric Chemistry and Future Global Atmospheric Chemistry*, November 11-13, 1997. Nagoya, Japan.
- Mosier, A. R., Bronson, K. F., Freney, J. R. and Keerthisinghe, D. G. 1994. Use of nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emission from urea fertilized soils. In: *CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O: Global Emissions and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources*. pp. 197-207. Ed. by Minami K., Mosier A. and Sass R., Yokendo Publishers, Tokyo.
- Pai, C. R., Wu, C. F., Sun, R. Y., Wei, C. B. and Yang, S. S. 2003. Composition analysis of livestock and poultry wastes during composting. *J. Biomass Energy Soc. China* 22: 57-71.
- Rolston, D. E., Sharpley, A. N., Toy, D. W. and Broadbent, F. E. 1982. Field measurement of denitrification. III: Rates during irrigation cycles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 289-296.
- Tsai, H. H., Wei, C. B. and Yang, S. S. 2002. Quality of food waste compost produced by local autonomy group in Taipei city. *J. Biomass Energy Soc. China* 21: 103-117.
- Tsai, H. H., Wei, C. B. and Yang, S. S. 2002. Quality of food waste compost produced by local autonomy group in Taipei city. *J. Biomass Energy Soc. China* 21: 103-117.
- Watson, R. T., Meira Filho, L. G., Sanhueza, E. and Janetos, A. 1992. Greenhouse gases: sources and sinks. In: *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Supplement*. pp. 29-42. Cambridge University Press, New York.
- Yang, S. S. 1994. Composts and agricultural production in Taiwan. *Soil Fertil. Taiwan* 1994: 29-62.
- Yang, S. S. 1996. Estimate greenhouse gases emission in Taiwan. *Proceedings of the Symposium of the Database of Greenhouse Gases in Taiwan*. pp. 2-18. Global Change Research Center, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Yang, S. S. 1997a. Methane emission from agriculture in Taiwan area. *Abstract of the 2nd International Conference of Environmental Geochemistry and Health in Tropics*. p. 16. Kula Lump, Malaysia.
- Yang, S. S. 1997b. Preparation and characterization of compost. *J. Biomass Energy Soc. China* 16: 47-62.
- Yang, S. S. 2000. Biomass conversion

- technology in Taiwan. *Renewable Energy* 2381-2384.
- Yang, S. S. 2001. Recent advances in composting. In: *Issues in the Management of Agricultural Resources, FFTC Book 2001*. pp. 195-216. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region (FFTC). Taipei, Taiwan.
- Yang, S. S., Chang, S. C. and Wei, C. B. 2000. Properties of livestock and poultry wastes during composting in farms. *J. Biomass Energy Soc. China* 19: 49-61.
- Yang, S. S., Chung, R. S. and Wei, C. B. 1999. Properties of livestock wastes during composting in northern Taiwan. *J. Biomass Energy Soc. China* 18: 52-65.
- Yang, S. S. and Hegde, U. 2001. Greenhouse gas production during anaerobic digestion of municipal solid waste. In: *Flux and Mitigation of Greenhouse Gases (III)*. pp. 57-67. Ed. by Yang, S. S. Global Change Research Center, Department of Agricultural Chemistry and Agricultural Exhibition Hall, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Yang, S. S., Liu, C. M. and Liu, Y. L. 2001. Estimation of methane and nitrous oxide emission from animal husbandry industry on Taiwan. *J. Agric. Assoc. China* 2: 450-463.
- Yang, S. S., Liu, C. M. and Liu, Y. L. 2003. Estimation of methane and nitrous oxide emission from animal production sector in Taiwan during 1990-2000. *Chemosphere* 52: 1381-1388.
- Yang, S. S., Yang, H. T., Chen, W. R. and Wei, C. B. 2001. Properties of livestock and poultry wastes during composting in the farms of northern taiwan. *J. Chinese Environ. Soc.* 24: 8-25.
- Youngdahl, L. J., Lupin, M. S. and Craswell, E. T. 1986. New developments in nitrogen fertilizers for rice. *Fert. Res.* 9: 149-160.