

## 二氧化碳排放及減量因應對策

楊盛行\*

### 摘要

由於人口增加，工商業發達，能源消耗劇增，人為二氧化碳排放量也急遽增加，而使地球溫暖化。二氧化碳排放量由 1990 年之 6.120GtC，增加至 1996 年之 6.513GtC，增加 6.4%。因而地球高峰會議簽訂「氣候變化綱要公約」，期望共同努力抑制大氣中二氧化碳濃度增加，以穩定氣候變化，確保作物生產，降低對人類生活之衝擊。我國能源（含用電）之二氧化碳排放量由 1990 年之 1.22 億公噸增至 1997 年 1.92 億公噸，增加 57%，年平均成長率 4.7%。而製造業 CO<sub>2</sub> 排放量亦呈穩定成長，年平均成長率為 6.3%。1997 年製造業 CO<sub>2</sub> 排放量 11,319.6 萬公噸，佔全國能源使用 CO<sub>2</sub> 排放量之 59.6%。世界各國抑制 CO<sub>2</sub> 排放之原則為提升能源效率，使用低碳或無碳能源轉換及調整產業結構。至於各國採用那些措施及實施方法以達到排放減量目標則視各國環境、發展狀況及排放特性等相關條件而異。

### 【關鍵字】

- 1.二氧化碳排放
- 2.地球溫暖化
- 3.能源效率
- 4.節約能源
- 5.能源轉換

---

\*國立台灣大學農業化學系

國內產業為降低對全球氣候變遷之衝擊，除了推行節約能源外，也進行工業減廢、清潔生產、推動環保標準、環境管理系統 ISO 14000 以及自發性節約能源行動計劃。台灣農牧業為因應國際氣候變化綱要公約的溫室氣體減量，其因應策略如下：調整農業生產方式和正確使用肥料，加速育成適應新環境和抗新病蟲害品種，規劃並保護農業生產區使農業生產與環境相結合之永續發展，檢討畜牧產品外銷研擬適當經營規模，改善禽畜飼料營養分減少排放廢棄物和預防禽畜傳染病發生。

## 一、前　　言

二十世紀由於人口增加，工業發達，商業發展以及人類經濟活動頻繁，不僅能源消耗大增，而且也產生許多新的化學物質。這些物質散佈於世界各地的空氣、水和土壤中，也對我們的生活環境、自然資源、動植物生存和人類健康都有深遠的影響。而溫室效應氣體、酸雨、臭氧層的破壞、懸浮微粒及大氣輻射等皆與此有關（表 1）。大氣中之  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}$  等可以吸收紅外線，而使地球表面溫暖化。由於大量的溫室效應氣體逸入大氣中，造成了氣候變遷和地球溫暖化（Ramanathan 等，1989）。由 IPCC 研究結果顯示，1980 年代各主要溫室氣體對全球溫暖化影響， $\text{CO}_2$  居首佔 55%， $\text{CH}_4$  佔 15%， $\text{N}_2\text{O}$  佔 6% 和 CFC 佔 24%。如以排放源之部門分類，能源部門佔 46% 最高，依次為 CFC24%，伐林 18%，農業 8% 和其它 3%，可見有約 80%  $\text{CO}_2$  排放來自能源部門（Hansen 等，1989；楊盛行，1995；IPCC，1996）。

未來 50 年，由於溫室效應氣體的排放，每 10 年將使地球溫度上升  $0.3^{\circ}\text{C}$  (Houghton 等，1990)。而台北市由於地處盆地，人口密度高，汽機車多，未來 100 年，其氣溫將上升  $5^{\circ}\text{C}$ ，而僅次於東京之  $7^{\circ}\text{C}$  (齊藤武雄，1992；蘇昭郎等，1993)。溫度上升對北半球的冬天影響最大。 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  和 CFC 等主要溫室效應氣體之性質則整理如表 2 所示。

表 1 三個主要全球變遷之性質及相關性

Impacts	Human activites	Change of ecosystem	Chemicals	Atmosphere
Increasing Population	Agriculture Stock farming Reclamation Biomass utilization Human activities	Destruction of forest Decrease of wild lives Desertification Garbage	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>	Global warming
Urbanization	Energy utilization Industrial activities	Urban pollution	N <sub>2</sub> O CH <sub>4</sub> CO O <sub>3</sub> SO <sub>x</sub> NO <sub>x</sub> CFCs	Acid rain
Industrialization	Chemical substances Harmful disposal	Industrial pollution Marine pollution		Destruction of stratospheric ozone layer

表 2 溫室氣體之性質

氣體	工業化前	1980 年	1990 年	近幾年每年變化百分率	2050 年	在大器中存在期限(年)	每一分子對 CO <sub>2</sub> 而言之輻射效應	主要自然界來源	主要人為來源	主要削弱者
CO <sub>2</sub> (ppmv)	280	337	354	0.5	539	50-230	1	呼吸、分解	化石燃料燃燒、森林砍伐、生質燃燒	光合作用與海洋表面交換
CH <sub>4</sub> (ppmv)	0.80	1.57	1.72	0.9	3.24	10	30	濕地、苔原、白蟻、野生反芻動物	水稻田、家畜反芻、升質燃燒、天然氣、填土	與 OH 機反應
N <sub>2</sub> O (ppbv)	288	302	310	0.25	369	150	200	天然土地過程、海洋	施肥、土地利用之改變、化石燃料燃燒	在同溫層化學瓦解
CF <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> (pptv)	0	173	284	4	546	65	11000	無	冷媒、aerosol、Propellant、發泡包裝劑	在同溫層化學解體
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (pptv)	0	295	485	4	1070	130	14000	無	同上	同上

## 二、跨國氣候變遷小組 (IPCC) 之警告與期望

全球每年至少排放 224 億公噸的 CO<sub>2</sub> 至大氣，而森林，海洋大約吸收其中之 35%，而另有 45% 則持續累積在大氣中。聯合國跨國氣候變遷小組 (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Chang) 假設幾種可能之未來經濟動向，人口增加速率，國際油價等因子，由最輕微至最嚴重，依序為 IS92c、IS92d、IS92b、IS92a、IS92f 和 IS92e 等。其中只有 IS92c 在西元 2025 年其 CO<sub>2</sub> 排放量將下降，而最嚴重之 IS92e 之排放量則持續上升（圖 1a），(IPCC, 1996)。由於 CO<sub>2</sub> 持續排放，而其在大氣中之濃度持續上升，到 21 世紀末以 IS92c 推估時，CO<sub>2</sub> 濃度接近 500ppmv，比 1991 年增加 35%；如以 IS92e 推估時，CO<sub>2</sub> 濃度超過 800ppmv，比 1991 年增加 170 %（圖 1b）。

無論採用那一種假設狀況，大氣中 CO<sub>2</sub> 含量仍將繼續上升，那麼如何將 CO<sub>2</sub> 濃度保持一定值呢？因而 IPCC 也模擬了幾種狀況，如大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度維持在 450, 550, 650, 750 及 1,000ppmv 時，其增加情況如圖 2a 所示。即使要維持 CO<sub>2</sub> 濃度在 1,000ppmv 時，人為之 CO<sub>2</sub> 排放量在 23 世紀時，仍然必須低於 1990 年之排放量。而如 CO<sub>2</sub> 濃度要控制在 450ppmv 時，則必須在 21 世紀初降低全球 CO<sub>2</sub> 排放量低於 1990 年之水準。可見，即使採取嚴格之管制，21 世紀初大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度仍將高於目前之 360ppmv (圖 2b)。

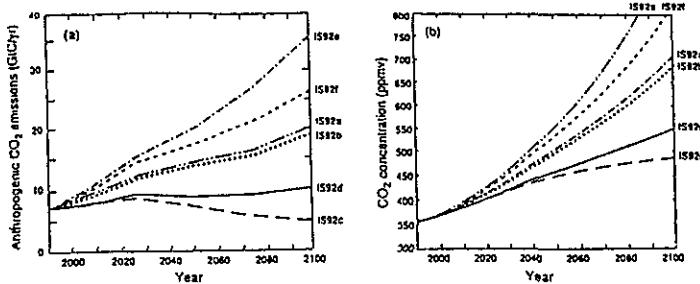


圖 1 IPCC 在 1992 年提出 IS92 排放假想狀況推估(1990-2100 年).

(a). CO<sub>2</sub> 排放量, (b). 大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度

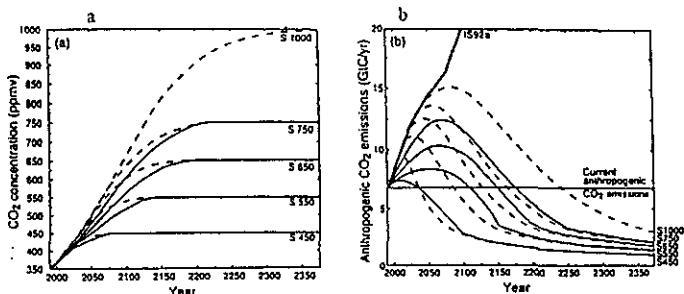


圖 2 假設大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度穩定在 450, 550, 650, 750 及 1,000 ppmv.

(a). CO<sub>2</sub> 濃度的變化, (b). 人為 CO<sub>2</sub> 排放量的變化

大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度上升，除了造成全球溫暖化，並引起海平面上升。由於氣候變遷問題嚴重，1992 年 6 月在巴西舉行之地球高峰會議，簽訂「氣候變化綱要公約」(FCCC, Framework Convention on Climate Change)，期望共同努力抑制大氣中溫室氣體濃度之增加，以穩定氣候變化，確保作物生產，降低對人類生活之衝擊。已開發國家為爭取開發中國家合作抑制 CO<sub>2</sub> 排放，率先承諾在第一次締約國大會

(COP-1, First Conference of the Parties) (已於 1995 年 3 月 28 日至 4 月 7 日在柏林召開) 前提交「國家通訊」(National communication)，陳述如何在西元 2000 年時將 CO<sub>2</sub> 排放量回歸至 1990 年水準，並且提供資金與技術協助開發中國家。開發中國家則靜觀已開發國家是否履行承諾，再決定配合程度。

溫室氣體減量已成 21 世紀全球努力之目標。那一個國家或經濟團體能夠掌握再生能源技術（成本效益高）與節約能源技術（改善製程設計與能源使用效率）。則將成為未來世界之強權國（最富國）。

### 三、各國二氧化碳排放分析

世界能源委員會 (World Energy Council) 於 1997 年發表 1990-1996 年二氧化碳排放統計，由 1990 年 CO<sub>2</sub> 排放 6.120GtC (1GtC=10 億公噸碳)，增加至 1996 之 6.513GtC，增加 6.4%。經濟合作與發展組織 (OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 國家，若不包括墨西哥、韓國、匈牙利和波蘭，其會員會之總 CO<sub>2</sub> 排放，在 1996 年佔全球總排放之 50.25%，較 1990 年之 49.20% 高。OECD 在 1990-1996 年間增加 CO<sub>2</sub> 排放 7.80%，歐盟在 1996 年也大於 1990 年之排放。比利時上升 8.4%，丹麥上升 4.1%，奧地利、法國、德國也於 1994 年開始緩慢上升，英國於 1995-1996 年上升 3%，只有西班牙在 1995-1996 年間下降，日本在 1990-1996 年間上升 14.3%，澳大利亞上升 9.5%，美國上升 8.4%，加拿大上升 5.5%。而瑞士下降 1.2%，俄國及東歐各國下降達 31.0%。開發中國家在 1996 年 CO<sub>2</sub> 排放佔全球之 36%，較 1990 年之 29% 高。亞太邊緣快速經濟成長體佔該區之 37%，而中東則佔 41%。

就全球而言，美國、加拿大和巴西佔全球人口之 5.5%，而 CO<sub>2</sub> 總排放量則佔 28.4%；歐盟 15 個會員國人口佔全世界之 6%，而 CO<sub>2</sub> 總排放量佔 14.7%；整個歐洲人口佔 9%，而 CO<sub>2</sub> 總排放量則為 17.2% (柳中明, 1998)。

### 四、二氧化碳處理技術

為降低大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度，目前已發展出數種可行之處理技術有物理儲置法

(physical storage)，化學固定法 (chemical fixation) 和生物固定法 (biological fixation) 三種方法。

化學固定法主要將工廠煙氣排放中  $\text{CO}_2$  予以分離和回收， $\text{CO}_2$  固定處理，再循環利用和高附加價值產品加工處理技術。在二氣化碳之固定處理中有碳酸鹽化合物固定處理，利用礦石原料中之氧化鈣 ( $\text{CaO}$ ) 和氧化鎂 ( $\text{MgO}$ ) 與  $\text{CO}_2$  進行化學反應生成碳酸鈣 ( $\text{Ca CO}_3$ ) 和碳酸鎂 ( $\text{MgCO}_3$ ) 而將  $\text{CO}_2$  固定。當燃燒 1 公噸的碳所產生之  $\text{CO}_2$  約需 4.7 公噸之氧化鈣或 3.4 公噸之氧化鎂才能夠將  $\text{CO}_2$  完全吸收。另外鎂橄欖石 (主要成分  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) 亦可進行酸化反應，生成碳酸鎂而將  $\text{CO}_2$  固定。海水中碳酸根離子可以和  $\text{CO}_2$  形成碳酸氫根離子，達成海洋儲存  $\text{CO}_2$  之能力。當於海水中添加 1 莫耳之碳酸鈉鹽類，可以提升 0.79 莫耳  $\text{CO}_2$  之吸收能力。由於碳酸鈉溶解度高，全球儲存量約為  $4.9 \times 10^{14}$  莫耳，如全部添加於海洋中，可以吸收  $\text{CO}_2$  6GtC。另外亦可考慮以碳酸鈣代之，如於高溫下 ( $1200^\circ\text{C}$ ) 將碳酸鈣分解成  $\text{CaO}$  和  $\text{CO}_2$ ，而再以  $\text{CaO}$  吸收  $\text{CO}_2$  形成碳酸根離子和碳酸氫根離子，則 1 莫耳  $\text{CaO}$  可以吸收 1.79 莫耳  $\text{CO}_2$ 。但在實際操作中，1 莫耳  $\text{CaO}$  注入海水中只可吸收 0.38 莫耳  $\text{CO}_2$ ，故應用性有待進一步探討 (藍啟仁，1998)。

目前全世界約有 1 千萬公噸  $\text{CO}_2$  可以經由回收而再利用，如製紙工業、廢水處理、食品包裝和冷凍。充當飲料及當食品添加料。在製紙工業上以碳酸鋇和沈澱碳酸鈣作填充料，其中碳酸鈣由消石灰和  $\text{CO}_2$  反應而得。 $\text{CO}_2$  可由工廠本身排煙氣中回收供給，降低  $\text{CO}_2$  排放後之負面影響 (Lipinsky, 1992)。另外在廢水處理時，所使用之離子交換樹脂再生改用碳酸，則可用工廠煙囪排放之  $\text{CO}_2$  製備，降低工廠排放  $\text{CO}_2$  (Yun 和 Zhao, 1992)。

另外以氨水洗滌法 (ammonia scrubbing) 去除煙道廢氣中  $\text{CO}_2$ ，當使用半連續式反應器 (semi-continuous reactor) 進行一連串之氨水去除實驗，其  $\text{CO}_2$  去除率可以高達 99%，氨水吸收能力為  $1.20\text{Kg- CO}_2/\text{Kg-NH}_3$  (Bai 和 Yeh, 1997)。其他尚有醇胺水溶液吸收  $\text{CO}_2$ ，一級醇胺、二級醇胺和三級醇胺皆可。利用氨水去除  $\text{CO}_2$  視液/氣比、 $\text{CO}_2$  進流濃度、操作溫度等影響，條件合適， $\text{CO}_2$  之去除率可高達 99.5% (葉和白，1998)。

生物固定法中，可以種植森林利用光合作用將 CO<sub>2</sub> 固定，楊盛行（1997）曾以森林種植面積、樹木生長速率、樹木乾物百分比估算台灣地區 1994 年森林二氧化碳涵容量介於 17,436.1~171,005.3 公噸之間。由於植物生長較緩慢，且受制於土地之利用，而以微生物固定二氧化碳具發展潛力。呂誌翼等（1997）針對 83 株藻類進行 CO<sub>2</sub> 利用性和 DHA 含量分析，其中 DCB-AL-T1 和 DCB-AL-T4 兩株具研究潛力。Yang 等（1999）由台灣地區分離出 NTU-H10 和 NTU-H14 在 30°C 靜置 21 天其吸光度超過 3.0，而在 30°C 10%CO<sub>2</sub> 下培養三天，每升 NTU-H31 培養液可得 0.786g 菌體。Kodama 等（1993）和 Kurano 和 Miyachi（1995）分離出 *Chlorella littorale* 可以在 5-10%CO<sub>2</sub> 下生長佳，*C. regularia* 在 5%下生長佳，*C. vulgaris* 則在 5-20% CO<sub>2</sub> 下生長快。如每天更換培養液，則每升 *C. littorale* 可得 14.4 克菌體，生長速率為 2.5g/l/day，其 CO<sub>2</sub> 固定速率為 4.0g CO<sub>2</sub>/l/day。

## 五、各國與能源有關之 CO<sub>2</sub> 排放減量

在 OECD 之成員國中，1992 年與能源有關之 CO<sub>2</sub> 排放量共計 10,169 百萬公噸，占全球總排放量之 47.11%。表三為 OECD 對氣候變化綱要公約在 CO<sub>2</sub> 減量方面之立場（楊任徵和黃肇英，1995）。其他國家對因應 CO<sub>2</sub> 減量之立場則如表四所示。

抑制 CO<sub>2</sub> 排放之三個主要原則為：提升能源效率，使用低碳或無碳能源轉換及調整產業結構。至於各部門採用那些措施及實施方法以達到國家排放目標則視各國環境、發展狀況及排放特性等相關條件而異。OECD 各國 CO<sub>2</sub> 排放差異顯著，主要除了經濟發展不同外，尚有人口成長、自然資源、技術演進及擴散、土地利用、能源密集度、能源價格、能源利用、碳密集度和貿易等因子（楊任徵等，1995）。各國在研擬 CO<sub>2</sub> 減量措施時，皆秉持經濟有效（cost-effective），以免減量措施導致成本增加損及貿易競爭力，並且排定優先順序以作為擬定因應對策之參考。例如改採天然氣發電以降低 CO<sub>2</sub> 排放量，在天然氣蘊藏豐富之國家，其經濟效益高於進口液化天然氣之國家，而建築絕熱與熱電共生等措施在高緯度國家之效益優於低緯度國家。

## 六、我國之二氧化碳排放

台灣面積 3 萬 6 千平方公里，人口超過二千二百萬人，其中耕地面積約 87 萬公頃，林地約 186 萬公頃，建築用地約 16 萬公頃，交通水利用地 9 萬多公頃，年平均溫度  $22^{\circ}\text{C}$ ，6 月~9 月平均溫度介於  $26\text{--}28^{\circ}\text{C}$ ，年平均雨量 2,500mm，山區多達 3,000mm，全年相對濕度介於 78~85% 之間。台灣自 1979 年以後採取加速經濟升級和積極發展策略工業，以能源密度低，附加價值大，技術密集度高，外銷潛力大之產業為主。由於工業快速發展，經濟繁榮，生活水準提高而創造了台灣經濟奇蹟。1986 年出現經濟成長高峰，其後由於產業結構調整，工業發展減緩，服務業逐年提升，並於 1989 年超過 50%。1997 年國內生產毛額農業佔 2.58%，工業佔 37.75%，服務業佔 51.69%。近年農工業比例下降，而服務業比例則增加。

我國能源(含用電)之二氧化碳排放量由 1990 年 1.22 億公噸增至 1997 年 1.92 億公噸，增加 57%，年平均成長率 4.7% (楊任徵和余敦琪,1998)。而製造業  $\text{CO}_2$  排放量亦呈穩定成長，平均成長率為 6.3%。1997 年製造業  $\text{CO}_2$  排放量 11,319.6 萬公噸，佔全國能源使用之  $\text{CO}_2$  排放量之 59.6% (財團法人台灣綜合研究院,1999) (表 5)。在排放結構方面，化石能源比例降低，而電力及汽電共生之比例則上升。基礎工業佔製造業  $\text{CO}_2$  排放量六成以上，技術密集工業之  $\text{CO}_2$  排放量只佔整體 6% 左右。而金屬基本工業、化學材料業及非金屬礦業製品等佔總排放量之六成。1997 年四大能源密集工業之  $\text{CO}_2$  密度，金屬基本工業為 182.9 公噸/百萬元，非金屬礦物製品業 152.9 公噸/百萬元，造紙業 139.7 公噸/百萬元和化學材料 139.0 公噸/百萬元。在政府推動節約能源工作中，1996 年節約率最高為橡膠業 1.73%，基本金屬工業 1.25% 次之 (表 6)。主要為製程改善、生產管理改善、生產設備改善、設備自動控制、馬達系統改善、電力系統改善、廢熱回收、推廣小型汽電共生等。

表3 OECD 國家對氣候變化綱要公約的立場

國名	管制氣體	目標	基準年	目標達成年	說明
澳洲	NMP GHG	回歸	1988	2000	條件是他國採取類似行動 減量措施以無悔為原則
		減量 20%	1988	2005	
奧地利	CO <sub>2</sub>	減量 20%	1988	2005	尚須國會通過
比利時	CO <sub>2</sub>	減量 5%	1990	2000	另有 EC 協定
加拿大	所有 GHG	回歸	1990	2000	回歸係指所有 GHG 加權總和而言
丹麥	CO <sub>2</sub>	減量 20%	1988	2005	已採行減量方案
芬蘭	CO <sub>2</sub>	回歸	1990 年代中期之後	2000	原來目標達成年是公元兩千年，已自此目標退卻
法國	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	2000	以每人平均排放量為準(不超過每人 7.3 噸 CO <sub>2</sub> )
德國	CO <sub>2</sub>	減量 25%-30%	1987	2005	
希臘	CO <sub>2</sub>		1990		EC 協定
冰島	所有 GHG	回歸	1990	2000	
愛爾蘭	CO <sub>2</sub>	成長不超過 20%	1990	2000	EC 協定
義大利	CO <sub>2</sub>	回歸	1988	2000	不具約束性承諾
		減量 20%	1988	2005	
日本	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	2000	以每人平均排放量為準 條件是他國採取類似行動
盧森堡	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	2000	
		減量 20%	1990	2005	
荷蘭	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	1995	片面承諾
		減量 3%-5%	1990	2000	
		所有 GHG	減量 20%-25%	1990	
紐西蘭	CO <sub>2</sub>	減量 20%	1990	2000	有條件的承諾，初步目標是在 2000 年時回歸 1990 年水平
挪威	CO <sub>2</sub>	回歸	1989	2000	初步承諾
葡萄牙	CO <sub>2</sub>				EC 協定
西班牙	CO <sub>2</sub>	成長不超過 25%	1990	2000	此目標已經國會通過
瑞典	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	2000	此目標已經國會在 1993 年 5 月 28 日通過
		減量(百分比未定)	1990	2000 年之後	
瑞士	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	2000	
		減量(百分比未定)	1990	2000 年之後	
土耳其	無				未簽氣候公約
英國	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	2000	條件是他國採取類似行動
美國	所有 GHG	回歸	1990	2000	回歸係指所有 GHG 加權總和而言
歐體(EC)	CO <sub>2</sub>	回歸	1990	2000	對整個歐體而言

楊任徵，黃肇英，1995

表 4 各國對 CO<sub>2</sub> 減量之主要措施及立場

國別	減量目標	主要措施	排放現況
澳洲	西元 2000 年穩定於 1988 年排放水平，並於 2005 年減少 20%	改善發電結構；能源價格反應經濟、社會及環境成本；提升汽電共生及新能源的應用；改善住商、工業及運輸部門能源效率；提供能源使用資訊	1990 年排放 596.8 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 15.66 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放之 1.26%
奧地利	西元 2005 年減少至 1988 年之 80%	提升耗能標準；修訂能源計畫；促進大眾運輸系統，提升耗油效率	1990 年排放 74.6 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 7.58 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放之 0.26%
比利時	西元 2000 年減少至 1990 年之 95%	以氣代煤及油發電；工商業省能設備投資抵減；定燃氣、燃油等暖氣設備最低效率標準	1990 年每人排放 11.14 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.52%
加拿大	西元 2000 年穩定於 1990 年排放水平	全面改善能源效率；促進能源效率、能源節約及能源轉換，並提供資訊、宣導、研發及法規等措施	1990 年排放 504.5 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 16.28 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量 2.05%
捷克	穩定人為溫室氣體排放，並加強 CO <sub>2</sub> 移除源	制定空污法；建築、照明省能和保護森林	1990 年排放 176.5 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量
丹麥	西元 2005 年 CO <sub>2</sub> 排放較 1990 年減少 20%	公佈有關能源和運輸行動方案；提升用電效率；增加天然氣使用；開徵 CO <sub>2</sub> 稅及能源稅，耗能產業若採行效率提升措施可以減免抵稅	1990 年排放 69.2 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 10.27 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.25%
芬蘭	西元 1990 年代末期中止能源有關 CO <sub>2</sub> 的成長	提升能源效率，提高能源價格，獎勵省能設備投資；課徵碳稅	1990 年每人排放 10.66 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.23%
法國	西元 2000 年每人排放 CO <sub>2</sub> 低於 7.30 公噸	制訂建築耗能法規標準，高耗能工業溫室氣體減量計劃，發展大眾運輸系統，發展生質能，建議實施碳稅	1990 年每人排放 6.58 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 1.75%
德國	西元 2005 年 CO <sub>2</sub> 排放量較 1987 年減少 25-30%	節約能源，提升能源效率和燃料轉換，於法規中將部份環境成本併入能源價格	1990 年排放 1,257 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 12.41 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量 4.23%
希臘	西元 2000 年回歸 1990 年水平	以氣代煤和使用再生能源（水利為主）發電，節約能源，提升輸電及發電效率；發展都會區大眾運輸系統，鐵路現代化並鼓勵使用低污染車輛	1990 年每人排放 7.18 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.34%
冰島	西元 2000 年淨排放回歸 1990 年水平	考慮課徵 CO <sub>2</sub> 稅，加速工業及運輸部門之燃料轉換，改善廢棄物管理，改善運輸及漁船能源效率，保育森林及土壤	1990 年每人排放 9.8 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.01%

表 4 各國對 CO<sub>2</sub> 減量之主要措施及立場(續)

國 別	減量目標	主要措施	排放現況
愛爾蘭	西元 2000 年回歸 1990 年水平	提高能源效率，促進燃料轉換成天然氣，開發新能源，開發熱電共生及制訂法規	1990 年每人排放 9.54 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.15%
義大利	西元 2000 年將 CO <sub>2</sub> 排放穩定於 1990 年水平	提升火力發電效率，以氣代煤，減少線路損失及廠用電源，鼓勵汽電共生。	1990 年每人排放 7.15 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 1.93%
日本	西元 2000 年以後，每人年平均 CO <sub>2</sub> 排放穩定於 1990 年水平	推廣省能技術，加強效率標準；訂定建材絕熱標準，獎勵及推廣省能建築，推廣省能電器，促進廢熱使用，規劃綠色都市防治熱島現象，降低冷氣負荷需求，低 CO <sub>2</sub> 排放都市規劃，提升車輛耗油標準，擴充大眾運輸系統的運量，改善運輸架構，改善火力發電廠發電效率，提升核能，LNG 及水力等低碳能源使用	1990 年排放 1,132.7 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 8.64 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 5.09%
盧森堡	西元 2000 年穩定 CO <sub>2</sub> 排放於 1990 年水平，2005 年再減 20%	將一貫煉鋼改為電弧煉鋼	1990 年排放 10.8 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 28.42 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.05%
荷蘭	CO <sub>2</sub> 排放量 1994-1995 年低於 1990 年水平，2000 年再減 3-5%	每年提升能源效率 1.7%，推廣再生能源，業者與政府簽定長期減量協定，開徵燃料稅	1990 年排放 219.7 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 10.65 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.77%
紐西蘭	西元 2000 年 CO <sub>2</sub> 淨排放回歸 1990 年水平，此後較 1990 年水平減少 20%	提升照明、馬達效率，有效使用能源，獎勵購買省油車、研發再生能源應用及排除障礙	1990 年排放 59.76 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 7.56 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.13%
挪威	西元 2000 年 CO <sub>2</sub> 排放不超過 1989 年水平	開徵工業、家用礦油及煤炭稅，提升工業、建築及家庭部門能源效率	1990 年排放 52.5 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 7.26 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.15%
葡萄牙	西元 2000 年 CO <sub>2</sub> 排放將較 1990 年成長 30-40%	提升能源效率，使用乾淨能源技術，推廣再生能源，使用天然氣發電，推廣熱電共生技術	1990 年排放 34 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 4.18 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.22%
西班牙	西元 2000 年 CO <sub>2</sub> 排放量較 1990 年水平增加 25%	以天然氣為主之低碳燃料轉換，提升能源效率，節約能源，推廣汽電共生，採用天然氣複循環發電及興建氣化設施。	1990 年排放 218.73 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 5.62 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 1.09%
瑞典	西元 2000 年將 CO <sub>2</sub> 排放穩定於 1990 年水平	節約能源，開發合乎環保要求之能源，開徵碳稅。	1990 年排放 40.4 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 0.24 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.24%

表 4 各國對 CO<sub>2</sub> 減量之主要措施及立場(續)

國別	減量目標	主要措施	排放現況
瑞士	西元 2000 年將 CO <sub>2</sub> 排放穩定於 1990 年水平	電器、汽車及其他能源使用設備之耗能標示，效率標準，資助廢熱及新能源應用，獎勵大眾運輸系統，車用油課稅，卡車限速及載重上限	1990 年排放 47.2 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 6.53 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.21%
土耳其	無國家溫室氣體或 CO <sub>2</sub> 減量目標	積極改善能源效率，節約能源、提升再生能源比例，抑制能源有關 CO <sub>2</sub> 排放	1990 年每人排放 2.45 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 0.67%
英國	西元 2000 年將 CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 和其他主要溫室氣體排放穩定於 1990 年水平	徵燃料及電力加值稅，省能貸款提供能源資訊及輔導，設定公共部門減量目標，促進省能車運用，推廣熱電共生，和推廣再生能源發電	1990 年排放 738.45 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 10.17 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 2.67%
美國	西元 2000 年溫室氣體淨排放回歸 1990 年水平	大量開採天然氣，利用低或無碳能源發電，加強發電與輸配電的效率，提升商業、住宅、工業及運輸等部門能源使用效率	1990 年排放 5473.27 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，每人排放 19.48 公噸 CO <sub>2</sub> ，佔全球總排放量之 22.78%
中國	尚無減量目標	大部份人無法達到基本能源服務需求，生質能為鄉村之主要能源，煤為主要能源，目前尚無減量二氧化碳排放策略	1986 年排放 549 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，1991-2000 年年 CO <sub>2</sub> 排放量增加 5.1%
南韓	--	推行區域能源節約系統、標示家用器具能源效率，標示汽車耗能	1986 年排放 48 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，1991-2000 年年 CO <sub>2</sub> 排放量增加 7.6%
印尼	--	重視植株造林，保育森林，改善都市能源效率，推行替代能源計畫，增建溫室氣體監測網	1986 年排放 27 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，1991-2000 年年 CO <sub>2</sub> 排放量增加 10.6%
馬來西亞	--	進行合作減量措施，提升能源使用效率，車輛按引擎容量課稅，建設大眾運輸系統，規範新建建築耗能	1986 年排放 9 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，1991-2000 年年 CO <sub>2</sub> 排放量增加 4.2%
巴基斯坦	--	側重於適應方面	1986 年排放 13 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，1991-2000 年年 CO <sub>2</sub> 排放量增加 9.8%
菲律賓	--	偏重於監測及衝擊評估	1986 年排放 7 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，1991-2000 年年 CO <sub>2</sub> 排放量增加 5.3%
泰國	--	CO <sub>2</sub> 減量之經濟分析，森林移除 CO <sub>2</sub> 經濟分析，CO <sub>2</sub> 排放之國家統計，而減量措施尚在起步	1986 年排放 12 百萬公噸 CO <sub>2</sub> 當量，1991-2000 年年 CO <sub>2</sub> 排放量增加 9.2%

## 七、國內產業對全球氣候變遷之因應措施

國內產業為降低對全球氣候變遷之衝擊，除了推行節約能源外，也進行工業減廢，清潔生產，推動環保標準、推動環境管理系統 ISO 14000 以及各業推動「自發性節約能源行動計劃」，並提出下列因應策略：

- 1.改善生產製程與提升最終產品效率。
- 2.改變能源使用型態，採用低碳能源。
- 3.調整產業與產品結構，朝向低耗能、低污染、高附加價值、高產業關聯效果。
- 4.建立經濟誘因機制，採行租稅及金融獎勵。
- 5.研發 CO<sub>2</sub>回收處理技術。
- 6.國際減量合作。

表 5 製造業二氧化碳排放量與排放密集度

項目	1990	1994	1997
排放量（千公噸）	73,650	92,994	113,196
佔全國排放量（%）	60.5	58.1	59.0
排放結構（%）—能源別			
化石能源	67.9	62.5	59.2
電力	26.9	28.9	30.6
汽電共生	5.2	8.6	10.2
排放結構（%）—業別			
製造業	100.0	100.0	100.0
基礎工業	61.1	62.2	65.0
技術密集工業	4.3	4.9	6.4
傳統工業	34.6	32.9	28.6
能源密集工業	65.8	65.4	65.2
化學材料業	17.9	20.0	20.8
金屬基本工業	27.5	25.7	28.9
非金屬礦物製品業	15.3	15.3	11.0
紙漿、紙及紙製品業	5.0	4.5	4.4
CO <sub>2</sub> 密集度（公噸/百萬元）			
製造業	49.2	51.8	53.4
基礎工業	83.7	81.6	87.0
技術密集工業	7.6	8.3	9.6
傳統工業	46.8	57.1	62.8
能源密集工業	168.4	152.5	158.4
化學材料業	149.0	132.7	139.0
金屬基本工業	212.8	168.4	182.9
非金屬礦物製品工業	180.3	168.9	152.9
紙漿、紙及紙製品業	89.9	126.4	139.7

## 八、臺灣農業對氣候變遷之適應策略

由二氣化碳排放所引起之氣候變遷，我們在農業方面的適應策略如下：

- 1.水資源：勵行節約用水減少乾旱損失，並規劃、設計防洪。加強風險設計，收集雨量及水文資料，加強洪水平原管制，以期水資源永續發展。
- 2.農業：更有效利用二氣化碳，降低人類活動所排放之 CO<sub>2</sub>，調整農業生產方式、栽培植物種類、施肥量和施肥方式，減少人為 CH<sub>4</sub> 及氧化亞氮排放；著手培育耐熱和耐旱新品種和適應新栽培環境；保護面臨滅種危機物種維護地球上生物多樣化，培育抗蟲抗病品種，推廣有機農業，提高土壤生產力，使農業永續發展。
- 3.森林：維持森林生態系平衡與穩定；降低人類活動對森林生態系之衝擊；推廣保林與環境保育觀念，建立永續林業發展理念；研究適合台灣森林環境生態系經營機制與對策；規劃木材生產區採保育性永續林業經營。
- 4.漁業：收集漁獲資料，建立環島海洋環境監測系統；分析漁獲變動與環境因子相關性；估算魚類加入、生長及死亡率；分析魚類族群構造，迴游路徑及漁場位置；防止海水魚養殖所造成之土地鹽化現象；防患溫暖化所造成之有毒藻類及疾病大量發生；探討海平面上升對漁業設施及漁村建設之影響。
- 5.畜牧：發展適合本土之家禽產業，訂定適當經營規模及飼養數目上限，自動化飼養，控制飼養環境，減少疾病發生，降低污染及生產成本；成立熱帶畜牧研究群，以因應氣溫升高對畜牧生產之影響，研究適合高溫下禽畜正常生長之飼糧營養分需要量；建立禽畜防疫系統，正確飼養管理模式和改進禽畜排泄物處理技術。
- 6.海岸環境：加強研究全球變遷對海岸環境影響，制定中、長期海岸管理政策；根據全球海平面上升速率及台灣地層下陷，訂定各項大型海岸工程規範。加強本上海岸基礎研究。宣導及教育民眾瞭解海岸環境變遷，減少投資風險。

表 6 工業部門節約能源統計（名國 85 年）

部 門	節約量 (千公秉油當量)	消費量 (千公秉油當量)	節約率(%)	能源大用戶節約 (%)
食品業	10.92	1,234.73	0.88	1.18
紡織業	31.06	3,151.71	0.99	1.60
造紙業	10.32	1,655.61	0.62	0.91
化學材料業	121.26	11,585.12	1.05	1.25
化學製品業	3.44	721.30	0.48	0.56
橡膠業	4.96	271.07	1.73	1.64
塑膠製品業	6.63	1,059.29	1.63	0.96
非金屬礦業	34.01	4,361.32	0.78	0.79
基本金屬業	87.44	7,004.06	1.25	1.36
金屬製品業	6.27	1,123.27	0.56	0.88
機械業	2.28	394.73	0.58	1.15
電機電子業	15.34	1,712.89	0.90	1.23
運輸工具業	4.36	391.75	1.11	1.21
其它	9.16	924.51	0.99	
合 計	347.19	35,600.36	0.98	

## 九、臺灣農牧業對溫室氣體減量之因應策略

雖然台灣農牧業在整體國民收得所佔之比例雖然逐漸降低，然而島國自給自足的不可替代性，使得台灣經濟無論如何發展，農牧業生產仍有其不可替代之必要性。近年來由於因應國際氣候變化綱要公約的溫室氣體減量之衝擊，其因應策略如下（鄺宏潘，1998）：

- 1.調整農業生產方式和正確使用肥料。
- 2.加速育成適應新環境品種和抗病蟲害。
- 3.穩妥規劃並保護農業生產區，使農業生產與環境相結合之永續發展企業。
- 4.確實檢討畜牧產品外銷，研擬適當經營規模。
- 5.加速引進或育成適合本地新品種，改善禽畜飼料營養分，減少排放廢棄物。
- 6.改善廠舍管理，預防傳染病發生，並加強禽畜排泄物處理技術。

## 十、各國因應二氣化碳排放減量之措施

茲將各國因應二氣化碳排放減量之措施整理如表 7 所示：

**表 7 為因應二氣化碳排放減量各國因應策略**

國 別	因 應 策 略
臺 灣	節約能源、清潔生產、環境管理系統、自發性節約能源推動計劃，加速調整產業結構，加速推動新興工業，加強綠色產品開發，鼓勵製造業認養廢耕農地林地推廣造林、成立溫室氣體減量基金協助業者減量計劃，將能源使用效率及二氣化碳減量條款納入促進產業升級條例及相關減免法規，對主要耗能產業訂定減量目標與期程，隨時追蹤、考核。研究及開發產程之能源使用效率，二氣化碳減量技術，培育人才。積極參與國際間技術交流與轉移合作
美 國	減稅及研發方案，立即獎勵、美國國家氣候變遷行動方案、州及地方氣候變遷方案、環境夥伴計劃、氣候智慧計劃、美國聯合減量計劃、自願性鋁業夥伴關係計劃、能源之星計劃、減廢全國方案、廢棄物智慧計劃
日 本	藉法規鼓勵能源節約、提供節約能源服務、改善結構提升能源效率、改變生活習慣
歐 盟	應用新開發技術提升能源效率、不增成本之減量措施、耗能產量減量措施
荷 蘭	改善能源結構、利用廢熱，採用複合式幫浦/加熱/發電系統。鼓勵使用清淨可永續使用之能源，如用生質能燃料，H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 儲存及其它永續性能源，採用工業、交通及運輸新科技
南 韓	節約能源採特別管理，更換及補修老舊鍋爐及窯爐，使用能源效率高之發電設備，家電產品採用最低效率基準，強制新建築物使用高效率材料、器材

## 參 考 文 獻

- 1.呂誌翼，白淑玲，張富龍，陳啟祥。1998. 利用二氣化碳藻類的研究與其應用。溫室效應與能源開發, 94 -108. 林鴻淇，楊盛行編，中華生質能源學會，台北。
- 2.柳中明。1998. 全國溫室氣體排放減量之展望。溫室效應與能源開發, 1-17. 林鴻淇，楊盛行編，中華生質能源學會，台北。
- 3.財團法人台灣綜合研究院。1999. 台灣製造業發展升級策略長期研究計劃。我國

4. 製造業因應氣候變化綱要公約整體推動策略研究，期末報告，經濟部工業局，台北。
5. 葉安普，白曠綾。1998. 以氨水洗滌塔法去除二氧化碳溫室氣體，溫室氣體與能源開發。79-93. 林鴻淇，楊盛行編，中華生質能源學會，台北。
6. 鄭宏潘。1998. 農牧業溫室氣體減量策略規劃及衝擊評估（二）。行政院環境保護署專題研究計劃期末報告(EPA-87-FA44-03-44). 台北, pp.188。
7. 楊任徵，余敦琪。1998. 我國能源有關溫室氣體排放統計. 工研院能資所. 87 年 12 月。
8. 楊任徵，黃肇英。1995. 抑制 CO<sub>2</sub> 排放之能源策略研究. 工業技術研究院研究報告，新竹。
9. 楊任徵，黃肇英，朱育華，谷復渝。1995. 抑制二氧化碳排放之能源策略研究計劃. 能源研究發達基金研究報告，經濟部能源委員會，台北, pp.69。
10. 楊盛行。1995. 氣候變遷與農業生產. 氣候變遷與農業生產，65-83. 楊盛行編，中國農業化學會，台北。
11. 楊盛行。1997. 台灣地區森林二氧化碳之涵容量估算. 中華生質能源學會，16:10。
12. 齊藤武雄。1992. 地球和都市之溫暖化. 森北出版株式會社,東京。
13. 藍啟仁。1998. 二氧化碳與相關化學處理技術發展的現況,溫室效應與能源開發，46-78. 林鴻淇，楊盛行編，中華生質能源學會，台北。
14. 蘇昭郎，歐陽嶠暉，張木彬。1993. 台北市都市溫暖化之初步調查研究.第六屆環境規劃與管理研討會論文集, 432-437. 國立成功大學環境工程研究所,台南。
15. Bai, H. and Yeh, A. C. 1997. Removal of CO<sub>2</sub> greenhouse gas by ammonia scrubbing. Ind. Eng. Chem. Res., 36:2490.
16. Hansen, J., Lacis, A. and Parther, M. 1989. Greenhouse effect of chlorofluorocarbons and other trace gases. J. Geophys. Res., 94:16417-16421.
17. Houghton, J. J., Jenkins, G. J. and Ephraums, J. J. 1990. Climate Change, The IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change.
19. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Climate Change 1995:

- The Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
20. Kodoma, M., Ikemoto, H. and Migachi, S. 1993. A new species of highly CO<sub>2</sub>-tolerant fast-growing marine microalga suitable high-density culture. J. Mar. Biotechnol., 1:21-25.
21. Kurano, N. and Migachi, S. 1995. Carbon dioxide fixation and utilization by microalgae. Proc. Symp. Global Environ. Change: The Remedy for Global Warming and Greenhouse Effect. 255-268. Ed. by Huang, S. Y. 23. College of Engineering, National Taiwan University and The Biomass Energy Society of China, Taipei, Taiwan.
22. Ramanathan, V., Gess, R. D., Harrison, E. F., Minnis, P., Barkstrom, B. R., Ahmad, E. and Hartmann, D. 1989. Cloud radiative-forcing and climate. Results from the earth's radiation budget experiment. Science, 243: 57-63.
23. Yang, S. S., Chang, E. H., Lin, C. H., Wei, C. B., Hong, Y. Y. and Lan, C. R. 1999. Carbon dioxide fixation by cyanobacteria and microalgae in Taiwan, In: Symposium of International Industrial Waste Reduction and Sustainable Development-1999. Taipei.
24. Yun, G. and Zhao, M. 1992. Energy Conversions Management, 33:561