# 台灣水稻生產時氧化亞氮排放量測及減量對策

(國立台灣大學生命科學院生化科技學系 楊盛行、劉清標、陳顗竹、魏嘉碧
國立台灣大學農業化學系 賴朝明　國立中興大學土壤環境科學系 趙震慶)

## 一、前 言

大氣中溫室氣體因人類不斷的排放而增加，因其可以吸收行星長波輻射而加強大氣溫室效應，影響全球大氣環流與氣候。1985 年發現南極臭氧洞以及全球各地頻頻出現氣候異常現象，加上世人環境保護意識抬頭，全球資訊傳播便捷，使得世界各國日益重視氣候與環境變遷，並將其列爲教育科學研究之施政重點，工商各界亦紛紛提出因應措施，希望由於工商業的發展，農業的生產對區域性或全球性之變遷衝擊最小，並預先做好防患工作。

全球變遷是人類長期破壞環境，釋放氣態污染物質進入大氣中，造成對流層內溫室氣體如 $CO_2$、$CH_4$、$N_2O$、CFCs 等持續增加，使得全球地表氣溫逐年上升。溫室氣體的減量已是全球的趨勢。近幾十年來的資料顯示：大氣的組成正在改變中，甲烷、氧化亞氮、二氧化碳這三種主要由農地產生的溫室氣體，分別正以每年 0.9%、0.25%、0.4% 的速率增加中。

眾多溫室效應氣體其來源各不相同，其中氧化亞氮深受世人重視，主要是因爲氧化亞氮在大氣中極爲穩定，存於大氣中的滯留時間約爲 166 年，並具有破壞臭氧層之潛力 (Cicerone，1989)。此外每一分子氧化亞氮的全球溫暖潛勢 (global warming potential，簡稱 GWP) 爲二氧化碳的 310 倍，目前佔總 GWP 之 2-4%，未來可達 10% (Robertson 和 Tiedje，1987)。全球陸生生態系統中氧化亞氮釋放量的 65% 係由土壤所貢獻的 (Inubushi 和 Umebayashi，1992)，主要因人類從事農業生產活動、林地之開墾及種植作物時，土壤有機質礦化氮與大量使用氮素肥料，經由土壤中各種微生物代謝作用，爲大氣中氧化亞氮濃度增加主因之一。以往的研究發現，土壤中釋放氧化亞氮主要係由土壤微生物進行硝化作用 (Tortoso 和 Hutchinson，1990)，與厭氣狀況下異營脫氮菌進行呼吸脫氮作用 (Knowles，1982) 所產生。農業生產系統中施用有機與化學氮肥於土壤中供作物生長，此二來源之氮素於土壤中進行轉形作用時，係人爲增加大氣中 $N_2O$-N 濃度之主要來源 (Mosier 等，1994、1997；Freney，1997b；Chang 等，1998；趙，2001)。

農業生產中氧化亞氮減量最佳策略爲配合作物生長期而合理適時施用氮肥，增進氮肥利用效率 (Cole 等，1995、1997)，然作物種類繁多，土壤性質差異極大，國內對部分作物在多年研究下，測知最適施肥時間與量，如作物施肥手冊 (2000) 所示。但要將所有作物均一一測定合理施肥量與施用時間之研究所需時間太長，費用與人力之消耗均極爲龐巨。故採取替代性之策略即施用硝化抑制劑 (Freney，1997a)，因土壤微生物產生氧化亞氮均由 $NH_4^+$轉形作用開始，施用硝化抑制劑係將銨氧化菌所含之酵素加以抑制，以減緩 $NH_2OH$ 之生成，則硝化作用與脫氮作用亦隨之減緩發生 (Weisk 等，2001)，有助於降低氧化亞氮由土壤之釋放量。各類硝化抑制劑在不同的生態系與土壤環境中之抑制功能變化極大，顯示其深受土壤生物與理化性質之影響。Keeney 及其研究團隊 (1982、

1986) 指出在土壤中硝化抑制劑之功效，受到抑制劑性質、土壤生物、理化性質及田間管理等等因子之調控。

本研究團隊過去八年對台灣水稻田大氣氧化亞氮濃度、氧化亞氮釋放量及各種處理條件對氧化亞氮釋放量之影響整理如表一(呂世宗等，1997、1998；楊盛行，1999、2000、2001、2003)，以供國家報告所需之資料，並做爲政府進行溫室氣體減量政策研擬與外國經貿和環保團體接觸交涉時之參考資料。

## 二、氧化亞氮測定

以 G.C 測定氧化亞氮氣體濃度，氧化亞氮濃度 (Y) 與吸收面積 (X) 在 0-2,000ppbv 間有直線關係，Y=8.898X-2.874，$r^2$>0.99 (Chang 等，1999)。以 FTIR 測定溫室氣體濃度氧化亞氮濃度可用波數 2,214-2,236 $cm^{-1}$ 吸收面積測定，當氧化亞氮濃度<11.42 ppb-m 時，Y=3,734.9X，$r^2$>0.9979。氧化亞氮濃度介於 11.42-70 ppb-m 時，吸收面積 (X) 和濃度 (Y) 之關係爲 Y=2,904.3X-2.4375，$r^2$＝0.9987。當氧化亞氮濃度>70 ppb-m 時，Y= 2,175.3X+18.63，$r^2$ ＝ 0.9994 (Chang 等，1999)。

## 三、大氣氧化亞氮量測

以 G.C 測定台大校園走廊氧化亞氮 (n=9) 時，0-10 m 距離大氣氧化亞氮濃度 368.63±48.96 ppbv、10-20 m 距離大氣氧化亞氮濃度 364.60±47.85 ppbv、20-25 m 距離大氣氧化亞氮濃度 358.68±46.93 ppbv、25-30 m 距離大氣氧化亞氮濃度 352.33±46.65 ppbv、30-40 m 距離大氣氧化亞氮濃度 327.80±47.16 ppbv 和 40-45 m 距離大氣氧化亞氮濃度 344.58±47.61 ppbv (楊盛行和張讚昌，2000a、2000b)。以 FTIR 測定台大校園走廊氧化亞氮 (n=4)，0-10 m 距離大氣氧化亞氮濃度 337.02±2.09 ppb-m、0-20 m 距離大氣氧化亞氮濃度 381.52±2.11 ppb-m、0-30 m 距離大氣氧化亞氮濃度 374.71±1.28 ppb-m、0-40 m 距離大氣氧化亞氮濃度 362.78±0.09 ppb-m、0-50 m 距離大氣氧化亞氮濃度 364.23±0.08 ppb-m、0-60 m 距離大氣氧化亞氮濃度 348.73±1.02 ppb-m、0-70 m 距離大氣氧化亞氮濃度 331.40±0.02 ppb-m、0-80 m 距離大氣氧化亞氮濃度 335.12±0.08 ppb-m 和 0-90 m 距離大氣氧化亞氮濃度 334.94±2.67 ppb-m (楊盛行和張讚昌，2000a、2000b)。

1999 年 8 月 20 日，台大校總區以 FTIR 測試大氣氧化亞氮濃度介於 315-334 ppb-m，平均 319 ppb-m。以 GC 測試大氣氧化亞氮濃度介於 305-351 ppbv，平均 328 ppbv。1999 年 8 月大氣氧化亞氮平均濃度爲 319.24±4.50 ppbv (楊盛行和 Hegde，2001；Hegde 等，2001)。

台大試驗農場以 FTIR 測定水稻田 1998 年第一期作水稻休耕期，大氣氧化亞氮濃度平均 438.66±5.53 ppb-m，在分蘗盛期，大氣氧化亞氮濃度平均 144.23±15.72 ppb-m (Chang 等，1999)。

## 四、水稻生產時氧化亞氮排放量測

台大試驗農場第一期作水稻田氧化亞氮釋出量 164.8-400.2 $mg/m^2$，第二期作水稻田氧化亞氮釋出量 67.9-495.2$mg/m^2$。桃園區農業改良場第一期水稻田氧化亞氮釋出量 165.0-542.4 $mg/m^2$，第二期水稻田氧化亞氮釋出量 61.9-312.9 $mg/m^2$，前作種田菁時第一期水稻氧化亞氮釋出量 1,222.4 $mg/m^2$ (賴朝明，1997)。中興大學農業試驗場水稻田全年氧化亞氮釋出量 221-1254 $mg/m^2$。彰化田尾農家水稻田全年氧化亞氮釋出量-50–1,114

mg/m$^2$。嘉義鹿草農家水稻田全年氧化亞氮釋出量 235-994 mg/m$^2$。高雄旗山農業試驗場水稻田全年氧化亞氮釋出量 49-1143 mg/m$^2$ (趙震慶，1997)。花蓮區農業改良場羅東分場第一期水稻田氧化亞氮釋出量 352.4-776.1 mg/m$^2$，第二期水稻田氧化亞氮釋出量 0-56.2 mg/m$^2$ (賴朝明，1997)。台中水稻田第一期作 1995 年 4 月 25-27 日，氧化亞氮釋出率介於 -39.2–209.2 μg/m$^2$/h，平均 57.7 μg/m$^2$/h。1994 年 9 月 14-16 日台中水稻田第二期作，氧化亞氮釋出率介於-39.3 – 172.6 μg/m$^2$/h，平均 48.4 μg/m$^2$/h。1994 年 8 月-1995 年 7 月，台中水稻田氧化亞氮釋出率介於 6.1-34.4 g/ha/d，平均爲 16.8 g/ha/d。1994 年 8 月-1995 年 7 月，彰化水稻田氧化亞氮釋出率介於-1.4 – 30.5 g/ha/d，平均爲 16.2 g/ha/d。1994 年 8 月-1995 年 7 月，嘉義水稻田氧化亞氮釋出率介於 2.7-27.3 g/ha/d，平均爲 12.1 g/ha/d。1994 年 8 月-1995 年 7 月，高雄水稻田氧化亞氮釋出率介於 1.4-32.9 g/ha/d，平均爲 13.4 g/ha/d (趙震慶，2003)。

花壇水稻田氧化亞氮釋出量 90 年第二期作水稻台梗 17 號全季氧化亞氮釋出率介於 0.004±0.008-0.482±0.273 mg/m$^2$/h，91 年第一期作水稻台梗 17 號全季氧化亞氮釋出率介於 0.009±0.015-0.057±0.050 mg/m$^2$/h，休閒期氧化亞氮釋出率介於 0.002±0.073-0.059±0.057 mg/m$^2$/h，平均爲 0.074±0.154 mg/m$^2$/h，全年每公頃氧化亞氮釋出量爲 5.23 kg。花壇水稻田氧化亞氮釋出量 90 年第二期作水稻台中秈 2 號，全季氧化亞氮釋出率介於 0.029±0.069-0.109±0.153 mg/m$^2$/h，91 年第一期作水稻台梗 17 號全季氧化亞氮釋出率介於 0.014±0.024-0.027±0.074 mg/m$^2$/h，休閒期氧化亞氮釋出率介於 0.003±0.005-0.096±0.131 mg/m$^2$/h，平均爲 0.042±0.040 mg/m$^2$/h，全年每公頃氧化亞氮釋出量爲 3.15 kg (賴朝明等，2003)。中南部水稻田每年每公頃釋出氧化亞氮介於 4.46-7.34 kg，平均爲 5.57 kg (趙震慶，2003)。

第一期作水稻以砂頁岩非石灰性新沖積土詔安厝系砂質壤土，不施用肥料種植 182 天，其氧化亞氮釋出率介於 2.0±0.1-23.1±4.2 g $N_2O$-N/ha/d；每公頃施用相當於 240 kg 有機氮之牛糞堆肥時，其氧化亞氮釋出率介於 1.6±0.2-64.3±13.4 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 480 kg 有機氮之牛糞堆肥時，其氧化亞氮釋出率介於 1.5±1.1-83.6±24.9 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 240 kg 有機氮之雞糞堆肥時，其氧化亞氮釋出率介於 1.5±0.3–74.8±17.4 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 480 kg 有機氮之雞糞堆肥時，其氧化亞氮釋出率介於 1.6±0.6-52.9±19.4 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 240 kg 有機氮之豬糞堆肥時，其氧化亞氮釋出率介於 1.1±0.2-56.6±14.5 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 480 kg 有機氮之豬糞堆肥時，其氧化亞氮釋出率介於 2.1±0.2-58.7±23.8 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 80 kg 無機氮之化學肥料，其氧化亞氮釋出率介於 1.0±0.3-35.6±11.6 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 160 kg 無機氮之化學肥料時，其氧化亞氮釋出率介於 1.9±0.1-49.0±12.3 g $N_2O$-N/ha/d (趙震慶，2001)。

水稻種植時氧化亞氮排放量與其它因子之相關性，氧化亞氮日排放量 (Y) 與有效 N 指數 (X) 之相關性，$Y=0.0084X^2-0.309X+12.224$ (n=84，r=0.313)；與土壤有效 N 含量 (X) 之相關性，$Y=0.0082X^2+0.588X+11.945$ (n=84，r=0.245)；與土壤有機質含量 (X) 之相關性，$Y=0.054X^2-10.405X+33.759$ (n=84，r=0.187)；與短期硝化活性 (X) 之相關性，$Y=0.00008X^2+0.202X+8.3826$ (n=84，r=0.521)；與脫氮作用潛能 (X) 之相關性，$Y=-0.0001X^2-0.0731X+13.49$ (n=84，r=0.249)；與脫氮酵素活性 (X) 之相關性，$Y=-0.0316X^2+1.9504X+4.3167$ (n=84，r=0.485)

和與生質 ninhydrin 一反應 N 含量 (X) 之相關性，$Y=-0.0903X^2+3.2583X-4.5479$ (n=84，r= 0.417) (趙震慶，2001)。

台大試驗農場水田土壤在 15-35℃下，培養 120 小時氧化亞氮釋出量 11.4-70.2 μg/g soil，在水份含量 20-80%下培養 120 小時，氧化亞氮釋出量 59.5-63.7 μg/g soil，添加 1-10 μmol 葡萄糖和 1-10 μmol nitrate 在 30℃培養 120 小時，氧化亞氮釋出量 52.6-63.2 μg/g soil (李弘達等，1997)。

## 五、硝化抑制劑對水稻氧化亞氮釋出之影響

第一期作水稻盆栽未加氮肥，在正常水分含量下種植 18 週，氧化亞氮釋出 0-3.7 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-14.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-8.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.3-7.0 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 0-16.9 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.01-16.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-7.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 1.4-15.8 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 233-313 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 231-275 g/ha，二倍水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 465-731 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 265-676 g/ha。盆栽水稻每盆添加 2.61 g 尿素第一期作水稻，在正常水分含量下種植 18 週，氧化亞氮釋出 1.0-28.6 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-31.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-21.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-21.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 0-13.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.4-21.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-11.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.6-70.1 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 452-743 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 452-593 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 665-727 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 374-1,555 g/ha (賴朝明，2000)。盆栽水稻每盆添加 5.22 g 尿素第一期作水稻，在正常水分含量下種植 18 週，氧化亞氮釋出 1.1-13.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-11.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-20.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 1.5-13.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 1.5-40.5 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 2.4-24.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-30.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.5-12.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 429-886 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 490-896 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 1,101-1,106 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 475-889 g/ha (賴朝明，2000)。盆栽水稻每盆添加 203 g 尿素第一期作水稻，正常水分含量下種植 18 週，氧化亞氮釋出 0-6.5mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-41.4 mg /m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-3.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.7-28.0 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 0-24.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-13.8 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0.1-11.8 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-26.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 332-1,051 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 191-938 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 743-858

g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 455-524 g/ha (賴朝明，2000)。

盆栽水稻未加氮肥第二期作水稻，在正常水分含量下種植 17 週，氧化亞氮釋出 0-61.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-24.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-32.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-35.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 0-25.7 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-45.5 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-26.5 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-17.2 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 464-524 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 592-805 g/ha。二倍水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 713-895 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 336-474 g/ha (賴朝明，2000)。盆栽水稻每盆添加 2.61 g 尿素第二期作水稻，在正常水分含量下種植 17 週，氧化亞氮釋出 0-29.0 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-17.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-24.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-39.5 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 0.6-19.0 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-34.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0.5-17.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-21.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 603-753 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 775-1,021 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 957-969 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 808-828 g/ha (賴朝明，2000)。盆栽水稻每盆添加 5.22 g 尿素第二期作水稻，在正常水分含量下種植 17 週，氧化亞氮釋出 0-33.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-35.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-62.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-24.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 0-28.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-78.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0.3-39.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-70.1 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 441-616 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 436-480 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 502-1,599 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 648-1,077 g/ha (賴朝明，2000)。盆栽水稻每盆添加 203 g 尿素第二期作水稻，在正常水分含量種植 18 週，氧化亞氮釋出 1.2-22.5 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 2.9-10.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-19.9 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-13.2 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。二倍水分含量時，氧化亞氮釋出 0-41.8 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-13.2 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。添加硝化抑制劑時，氧化亞氮釋出 0-15.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-25.5 mg/m$^2$/d (下午 2 時)。在正常水分含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 878-933 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 446-477 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季氧化亞氮釋出介於 564-646 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季氧化亞氮釋出介於 365-695 g/ha (賴朝明，2000)。

## 六、施肥對水稻氧化亞氮釋出之影響

盆栽水稻移植後栽培 70 天，未施肥時，氧化亞氮釋放量介於 2.4±1.5-4.9±2.4 μg-N/kg soil/d；施用 0.04gN 之化學肥料，氧化亞氮釋放量 2.2±0.6-5.6±1.9 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之化學肥料，氧化亞氮釋放量 3.4±0.9-7.6±2.4 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之豬糞肥料，氧化亞氮釋放量 2.1±0.3-

7.7±2.2 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之豬糞肥料，氧化亞氮釋放量 2.3±0.9-11.1±0.3 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之雞糞肥料，氧化亞氮釋放量 2.6±1.7-5.4±2.6 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之雞糞肥料，氧化亞氮釋放量 3.4±1.7-10.3±5.1 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之牛糞肥料，氧化亞氮釋放量 3.2±1.6-5.3±1.4 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之牛糞肥料，氧化亞氮釋放量 3.2±0.6-10.9±1.9 μg-N/kg soil/d。全期 $N_2O$-N 釋放量未施時爲 272 μg-N/kg soil，施用 0.04 g N 之化學肥料爲 309 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之化學肥料爲 328 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之豬糞肥料爲 327 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之豬糞肥料爲 402 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之雞糞肥料爲 294 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之雞糞肥料爲 429 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之牛糞肥料爲 291μg-N/kg soil/d；施用 0.08gN 之牛糞肥料爲 494 μg-N/kg soil/d (趙震慶，2003)。

未種水稻不施肥，74 天中氧化亞氮釋出 0.88 mg，不施肥種植台中 189 號稻梗氧化亞氮釋出 0.78 mg，種植台中秈 17 號氧化亞氮釋出 0.82 mg，種植 Aroma 糯稻氧化亞氮釋出 0.76 mg。施用 400 mg N 肥硫酸銨，未種水稻氧化亞氮釋出 3.07 mg，種植台中 189 號稻梗氧化亞氮釋出 2.48 mg，種植台中秈 17 號氧化亞氮釋出 2.85 mg，種植 Aroma 糯稻氧化亞氮釋出 2.11 mg。施用 800 mg N 肥硫酸銨，未種水稻氧化亞氮釋出 5.24 mg，種植台中 189 號稻梗氧化亞氮釋出 4.75 mg，種植台中秈 17 號氧化亞氮釋出 6.16 mg，種植 Aroma 糯稻氧化亞氮釋出 3.73 mg。施用 400 mg N 肥尿素，未種水稻氧化亞氮釋出 5.98 mg，種植台中 189 號稻梗氧化亞氮釋出 4.10 mg，種植台中秈 17 號氧化亞氮釋出 2.67 mg，種植 Aroma 糯稻氧化亞氮釋出 1.91 mg。施用 800 mg N 肥尿素，未種水稻氧化亞氮釋出 7.33 mg，種植台中 189 號稻梗氧化亞氮釋出 5.56 mg，種植台中秈 17 號氧化亞氮釋出 5.50 mg，種植 Aroma 糯稻氧化亞氮釋出 3.92 mg。施用 400 mg N 肥氯化銨，未種水稻氧化亞氮釋出 5.10 mg，種植台中 189 號稻梗氧化亞氮釋出 2.80 mg，種植台中秈 17 號氧化亞氮釋出 2.73 mg，種植 Aroma 糯稻氧化亞氮釋出 2.73 mg。施用 800 mg N 肥氯化銨，未種水稻氧化亞氮釋出 8.73 mg，種植台中 189 號稻梗氧化亞氮釋出 4.22 mg，種植台中秈 17 號氧化亞氮釋出 6.39 mg，種植 Aroma 糯稻氧化亞氮釋出 4.53 mg (趙震慶，2003)。

種植水稻 70 天未施肥，氧化亞氮釋出 272 μg/kg soil，施用 0.04 g N 肥之豬糞堆肥氧化亞氮釋出 327 μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之豬糞堆肥氧化亞氮釋出 402 μg/kg soil。施用 0.04 g N 肥之雞糞堆肥氧化亞氮釋出 294μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之雞糞堆肥氧化亞氮釋出 429 μg/kg soil。施用 0.04 g N 肥之牛糞堆肥氧化亞氮釋出 291 μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之牛糞堆肥氧化亞氮釋出 494 μg/kg soil。施用 0.04 g N 肥之化學肥料氧化亞氮釋出 309 μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之化學肥料氧化亞氮釋出 328 μg/kg soil (趙震慶，2003)。

每年氧化亞氮平均釋出通量，台中爲 7.3 kg/ha/yr，彰化爲 5.6 kg/ha/yr，嘉義爲 4.9 kg/ha/yr 和高雄 4.5 kg/ha/yr。每年每公頃農田施用 N 肥量，台中爲 340 kg，彰化爲 210 kg，嘉義爲 260 kg 和高雄 330 kg。氧化亞氮由 N 肥而來之百分比，分別爲台中 1.85% 、彰化 2.19% 、嘉義 1.50% 和高雄 1.06% 。未施肥農地每年每公頃釋出氧化亞氮 4.489 kg。施用相當於 300 kg 有機態 N 肥 (或 100 kg 無機態氮肥) 之牛糞堆肥時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 8.314 kg。施用相當於 600

kg 有機態 N 肥 (或 200 kg 無機態氮肥) 之牛糞堆肥時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 10.929 kg。施用相當於 300 kg 有機態 N 肥 (或 100 kg 無機態氮肥) 之雞糞堆肥時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 6.281 kg。施用相當於 600 kg 有機態 N 肥 (或 200 kg 無機態氮肥) 之雞糞堆肥時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 7.258 kg。施用相當於 300 kg 有機態 N 肥 (或 100 kg 無機態氮肥) 之豬糞堆肥時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 6.836 kg。施用相當於 600 kg 有機態 N 肥 (或 200 kg 無機態氮肥) 之豬糞堆肥時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 9.241 kg。施用相當於 100 kg 無機態 N 肥之化學肥料時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 6.543 kg。施用相當於 200 kg 無機態 N 肥之化學肥料時，每年每公頃農地釋出氧化亞氮 7.843 kg (趙震慶，2003)。

## 七、品種對水稻氧化亞氮釋出之影響

水稻盆栽時施用 400 mg N 肥氧化亞氮釋放量，台中 189 號梗稻未施肥生長 83 天，氧化亞氮釋出 1.57 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨氧化亞氮釋出 4.66 mg，施用尿素氧化亞氮釋出 6.00 mg，施用硝酸鈉氧化亞氮釋出 22.95 mg。台中 190 號梗稻未施肥生長 83 天氧化亞氮釋出 2.29 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨氧化亞氮釋出 4.94 mg，施用尿素氧化亞氮釋出 7.49 mg，施用硝酸鈉氧化亞氮釋出 27.89 mg。台中 17 號秈稻未施肥生長 83 天氧化亞氮釋出 2.39 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨氧化亞氮釋出 4.68 mg，施用尿素氧化亞氮釋出 5.72 mg，施用硝酸鈉氧化亞氮釋出 24.86 mg。台中 20 號秈稻未施肥生長 83 天氧化亞氮釋出 2.65 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨氧化亞氮釋出 4.82 mg，施用尿素氧化亞氮釋出 7.25 mg，施用硝酸鈉氧化亞氮釋出 33.57 mg。Aroma 糯稻未施肥生長 83 天氧化亞氮釋出 1.87 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨氧化亞氮釋出 4.40 mg，施用尿素氧化亞氮釋出 3.29 mg，施用硝酸鈉氧化亞氮釋出 18.59 mg。台農秈 2 號糯稻未施肥生長 83 天氧化亞氮釋出 2.59 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨氧化亞氮釋出 4.58 mg，施用尿素氧化亞氮釋出 6.12 mg，施用硝酸鈉氧化亞氮釋出 30.08 mg。如未種水稻，不施肥，氧化亞氮釋出 0.92 mg，施用硫酸銨氧化亞氮釋出 10.46 mg，施用尿素氧化亞氮釋出 11.08 mg，施用 $NaNO_3$ 氧化亞氮釋出 41.46 mg (趙震慶，2003)。

## 八、台灣水田氧化亞氮排放量估計

以台灣八處水稻田實測值，依其鄰近縣市水稻耕作面積，分別推估第一期作及第二期作氧化亞氮排放量。1990 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 670 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 359 ton。1991 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 639 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 359 ton。1992 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 591 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 317 ton。1993 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 577 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 300 ton。1994 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 535 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 284 ton。1995 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 472 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 239 ton。1996 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 503 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 273 ton。1997 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 554 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 267 ton。1998 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 552 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 258 ton。

1999 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 536 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 256 ton。2000 年第一期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 526 ton，第二期作水稻氧化亞氮排放量估算爲 236 ton (楊盛行，2003)。

民國 90 年，由其釋放率乘上種植面積，預估氧化亞氮之年釋放量如下：水稻田 2,542 ton。台灣農業土壤以密閉式採樣罩測定氧化亞氮釋出量時，實測值爲 15.0 Gg，以 IPCC 方法估計直接釋出氧化亞氮爲 10.9 Gg，動物放牧時釋出氧化亞氮爲 1.2 Gg，間接釋出氧化亞氮爲 7.6 Gg，共計 19.7 Gg，比實測值估算高 31.3% (賴朝明等，2003)。

## 九、氧化亞氮排放量減量技術

至於有關溫室氣體之減量技術，國外已有若干資料(Rolston 等，1982；Craswell 等，1985；Youngdahl 等，1986；Malhi 和 Nyborg，1991；Mosier 等，1994；Cole 等，1995、1997；IPCC，1997；Minami，1997)。IPCC 農業部門溫室氣體氧化亞氮之減量技術及其年潛在減量指出，減少氮肥使用(改善氮肥施用技術，適時、適量施用 N 肥，提高廄肥再利用，提高植物殘體 N 在原地使用，適宜耕犁、灌溉及排水)每年可以減少氧化亞氮釋放量 0.3-0.9 百萬公噸和減少森林砍伐每年可以減少氧化亞氮釋放量 0.06-0.17 百萬公噸，每年總氧化亞氮 釋放潛在減量 0.4-1.1 百萬公噸(IPCC，1997)。

國內方面，亦有學者曾針對我國國情及現況，參考國外之經驗，提出適合我國推廣之溫室氣體減量技術，其結果爲：適合台灣推廣之溫室氣體減量技術爲：(一) 二氧化碳方面：(1). 減少二氧化碳釋放量 (如減少化石燃料之使用、減少耕犁操作、避免焚燒作物殘體)，(2). 增加碳貯藏庫 (如管理土壤有機質、增加農作物生產)。(二) 甲烷方面：(1). 改進水稻生產操作 (如曬田、間歇灌溉、使用腐熟堆肥)，(2). 改進廄肥管理(如減少廄肥製作及貯存時間)，(3). 改進反芻家畜之管理(如改進飼料之品質、改進飼料之消化率)。(三) 氧化亞氮方面：(1). 增加氮肥利用效率(如依作物施肥手冊適時適量施用氮肥，並靈活調整)，(2). 視需要配合添加適量硝化抑制劑(如氮肥施用量較大之作物)，(3). 灌溉適當水量(楊盛行和賴朝明，2002)。

表一、國內水稻生產時氧化亞氮排放量測

| 逸散源 | 研究成果 | 出處 |
|---|---|---|
| 以 G.C 測定台大校園走廊溫室氣體 (n=9) | 0-10 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 368.63±48.96 ppbv，10-20 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 364.60±47.85 ppbv，20-25 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 358.68±46.93 ppbv，25-30 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 352.33±46.65 ppbv，30-40 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 327.80±47.16 ppbv，40-45 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 344.58±47.61 ppbv。 | 楊盛行和張讚昌，2000a、2000b。 |
| 以 FTIR 測定台大校園走廊溫室氣體 (n=4) | 0-10 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 337.02±2.09 ppb-m，0-20 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 381.52±2.11 ppb-m，0-30 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 374.71±1.28 ppb-m，0-40 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 362.78±0.09 ppb-m，0-50 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 364.23±0.08 ppb-m，0-60 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 348.73±1.02 ppb-m，0-70 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 331.40±0.02 ppb-m，0-80 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 335.12±0.08 ppb-m，0-90 m 距離大氣 $N_2O$ 濃度 334.94±2.67 ppb-m。 | 楊盛行和張讚昌，2000a、2000b。 |
| 台大校總區 | 1999 年 8 月 20 日，以 FITR 測試大氣 $N_2O$ 濃度介於 315-334 ppb-m，平均 319 ppb-m。以 GC 測試大氣 $N_2O$ 濃度介於 305-351 ppbv，平均 328 ppbv。 | 楊盛行和 Hegde，2001。 |

| 逸散源 | 研究成果 | 出處 |
|---|---|---|
| 台大校總區 | 1999 年 8 月大氣 $N_2O$ 平均濃度爲 319.24±4.50 ppbv。 | Hegde 等，2001。 |
| 台大試驗農場以 FTIR 測定水稻田 | 1998 年第一期作水稻休耕期，大氣 $N_2O$ 濃度平均 438.66± 5.53 ppb-m，在分蘗盛期，大氣 $N_2O$ 濃度平均 144.23±15.72 ppb-m。 | Chang 等，1999。 |
| 台大試驗農場 | 第一期作水稻田 $N_2O$ 釋出量 164.8-400.2 mg/m$^2$，第二期作水稻田 $N_2O$ 釋出量 67.9-495.2 mg/m$^2$。 | 賴朝明，1997。 |
| 台大試驗農場水田土壤 | 在 15-35℃下，培養 120 小時 $N_2O$ 釋出量 11.4-70.2 μg/g soil，在水份含量 20-80% 下培養 120 小時，$N_2O$ 釋出量 59.5-63.7 μg/g soil，添加 1-10 μmol 葡萄糖和 1-10 μmol nitrate 在 30℃培養 120 小時，$N_2O$ 釋出量 52.6-63.2 μg/g soil。 | 李弘達等，1997。 |
| 桃園區農業改良場 | 第一期水稻田 $N_2O$ 釋出量 165.0-542.4 mg/m$^2$，第二期水稻田 $N_2O$ 釋出量 61.9-312.9 mg/m$^2$，前作種田菁第一期水稻 $N_2O$ 釋出量 1222.4 mg/m$^2$。 | 賴朝明，1997。 |
| 中興大學農業試驗場 | 水稻田全年 $N_2O$ 釋出量 221-1254 mg/m$^2$。 | 趙震慶，1997。 |
| 水稻田 $N_2O$ 釋出量 | 台中水稻田第一期作 1995 年 4 月 25-27 日，$N_2O$ 釋出率介於-39.2-209.2 μg/m$^2$/h，平均 57.7 μg/m$^2$/h。台中水稻田第二期作 1994 年 9 月 14-16 日，$N_2O$ 釋出率介於-39.3-172.6 μg/m$^2$/h，平均 48.4 μg/m$^2$/h。 | 趙震慶，2003。 |
| 水稻田 $N_2O$ 釋出量 | 1994 年 8 月-1995 年 7 月，台中水稻田 $N_2O$ 釋出率介於 6.1-34.4 g/ha/d，平均爲 16.8 g/ha/d。1994 年 8 月-1995 年 7 月，彰化水稻田 $N_2O$ 釋出率介於-1.4-30.5 g/ha/d，平均爲 16.2 g/ha/d。1994 年 8 月-1995 年 7 月，嘉義水稻田 $N_2O$ 釋出率介於 2.7-27.3 g/ha/d，平均爲 12.1 g/ha/d。1994 年 8 月-1995 年 7 月，高雄水稻田 $N_2O$ 釋出率介於 1.4- 32.9 g/ha/d，平均爲 13.4 g/ha/d。 | 趙震慶，2003。 |
| 彰化田尾農家 | 水稻田全年 $N_2O$ 釋出量-50-1114 mg/m$^2$。 | 趙震慶，1997。 |
| 花壇水稻田氧化亞氮釋出量 | 90 年第二期作水稻台梗 17 號全季 $N_2O$ 釋出率介於 0.004±0.008-0.482±0.273 mg/m$^2$/h，91 年第一期作水稻台梗 17 號全季 $N_2O$ 釋出率介於 0.009±0.015-0.057±0.050 mg/m$^2$/h，休閒期 $N_2O$ 釋出率介於 0.002±0.073-0.059±0.057 mg/m$^2$/h，平均爲 0.074±0.154 mg/m$^2$/h，全年每公頃 $N_2O$ 釋出量爲 5.23 kg。 | 賴朝明等，2003。 |
| 花壇水稻田氧化亞氮釋出量 | 90 年第二期作水稻台中秈 2 號，全季 $N_2O$ 釋出率介於 0.029±0.069-0.109±0.153 mg/m$^2$/h，91 年第一期作水稻台梗 17 號全季 $N_2O$ 釋出率介於 0.014±0.024-0.027±0.074 mg/m$^2$/h，休閒期 $N_2O$ 釋出率介於 0.003±0.005-0.096±0.131 mg/m$^2$/h，平均爲 0.042±0.040 mg/m$^2$/h，全年每公頃 $N_2O$ 釋出量爲 3.15 kg。 | 賴朝明等，2003。 |
| 嘉義鹿草農家 | 水稻田全年 $N_2O$ 釋出量 235-994 mg/m$^2$。 | 趙震慶，1997。 |
| 高雄旗山農業試驗場 | 水稻田全年 $N_2O$ 釋出量 49-1143 mg/m$^2$。 | 趙震慶，1997。 |
| 花蓮區農業改良場羅東分場 | 第一期水稻田 $N_2O$ 釋出量 352.4-776.1 mg/m$^2$，第二期水稻田 $N_2O$ 釋出量 0-56.2 mg/m$^2$。 | 賴朝明，1997。 |
| 第一期作水稻 | 以砂頁岩非石灰性新沖積土詔安厝系砂質壤土，不施用肥料種植 182 天，其 $N_2O$ 釋出率介於 2.0±0.1-23.1±4.2 g $N_2O$-N/ha/d；每公頃施用相當於 240 kg 有機氮之牛糞堆肥時，其 $N_2O$ 釋出率介於 1.6±0.2-64.3±13.4 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 480 kg 有機氮之牛糞堆肥時，其 $N_2O$ 釋出率介於 1.5±1.1-83.6±24.9 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 240 kg 有機氮之雞糞堆肥時，其 $N_2O$ 釋出率介於 1.5±0.3–74.8±17.4 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 480 kg 有機氮之雞糞堆肥時，其 | 趙震慶，2001。 |

| 逸散源 | 研究成果 | 出處 |
| --- | --- | --- |
| | $N_2O$ 釋出率介於 1.6±0.6-52.9±19.4 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 240 kg 有機氮之豬糞堆肥時，其 $N_2O$ 釋出率介於 1.1±0.2-56.6±14.5 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 480 kg 有機氮之豬糞堆肥時，其 $N_2O$ 釋出率介於 2.1±0.2-58.7±23.8 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 80 kg 無機氮之化學肥料，其 $N_2O$ 釋出率介於 1.0±0.3-35.6± 11.6 g $N_2O$-N/ha/d；施用相當於 160 kg 無機氮之化學肥料時，其 $N_2O$ 釋出率介於 1.9±0.1-49.0±12.3 g $N_2O$-N/ha/d。 | |
| 施用動物糞堆肥種植水稻盆栽 $N_2O$ 釋出量 | 種植水稻 70 天未施肥，$N_2O$ 釋出 272 μg/kg soil，施用 0.04 g N 肥之豬糞堆肥 $N_2O$ 釋出 327 μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之豬糞堆肥 $N_2O$ 釋出 402 μg/kg soil。施用 0.04 g N 肥之雞糞堆肥 $N_2O$ 釋出 294 μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之雞糞堆肥 $N_2O$ 釋出 429 μg/kg soil。施用 0.04 g N 肥之牛糞堆肥 $N_2O$ 釋出 291 μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之牛糞堆肥 $N_2O$ 釋出 494 μg/kg soil。施用 0.04 g N 肥之化學肥料 $N_2O$ 釋出 309 μg/kg soil。施用 0.08 g N 肥之化學肥料 $N_2O$ 釋出 328 μg/kg soil。 | 趙震慶，2003。 |
| 台灣中南部土壤 $N_2O$ 排放通量 | 中南部水稻田每年每公頃釋出 $N_2O$ 介於 4.46-7.34 kg，平均爲 5.57 kg。中南部旱田每年每公頃釋出 $N_2O$ 介於 8.47-14.14 kg，平均爲 11.31 kg。中南部果園每年每公頃釋出 $N_2O$ 介於 3.78-5.54 kg，平均爲 4.66 kg。 | 趙震慶，2003。 |
| 台灣中南部水田 $N_2O$ 由氮肥而來 | 每年 $N_2O$ 平均釋出通量，台中爲 7.3 kg/ha/yr，彰化爲 5.6 kg/ha/yr，嘉義爲 4.9 kg/ha/yr 和高雄 4.5 kg/ha/yr。每年每公頃農田施用 N 肥量，台中爲 340 kg，彰化爲 210 kg，嘉義爲 260 kg 和高雄 330 kg。$N_2O$ 由 N 肥而來之百分比，分別爲台中 1.85% ，彰化 2.19% ，嘉義 1.50% 和高雄 1.06% 。未施肥農地每年每公頃釋出 $N_2O$ 4.489 kg。施用相當於 300 kg 有機態 N 肥 (或 100 kg 無機態氮肥) 之牛糞堆肥時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 8.314 kg。施用相當於 600 kg 有機態 N 肥 (或 200 kg 無機態氮肥) 之牛糞堆肥時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 10.929 kg。施用相當於 300 kg 有機態 N 肥 (或 100 kg 無機態氮肥) 之雞糞堆肥時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 6.281 kg。施用相當於 600 kg 有機態 N 肥 (或 200 kg 無機態氮肥) 之雞糞堆肥時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 7.258 kg。施用相當於 300 kg 有機態 N 肥 (或 100 kg 無機態氮肥) 之豬糞堆肥時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 6.836 kg。施用相當於 600 kg 有機態 N 肥 (或 200 kg 無機態氮肥) 之豬糞堆肥時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 9.241 kg。施用相當於 100 kg 無機態 N 肥之化學肥料時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 6.543 kg。施用相當於 200 kg 無機態 N 肥之化學肥料時，每年每公頃農地釋出 $N_2O$ 7.843 kg。 | 趙震慶，2003。 |
| 水稻種植時 $N_2O$ 排放量與其它因子之相關性 | $N_2O$ 日排放量 (Y) 與有效 N 指數 (X) 之相關性，$Y=0.0084X^2-0.309X+12.224$ (n=84，r=0.313) ；與土壤有效 N 含量 (X) 之相關性，$Y=0.0082X^2+0.588X+11.945$ (n=84，r=0.245) ；與土壤有機質含量 (X) 之相關性，$Y=0.054X^2-10.405X+33.759$ (n=84，r=0.187) ；與短期硝化活性 (X) 之相關性，$Y=0.00008X^2+0.202X+8.3826$ (n=84，r=0.521) ；與脫氮作用潛能 (X) 之相關性，$Y=-0.0001X^2-0.0731X+13.49$ (n=84，r=0.249) ；與脫氮酵素活性 (X) 之相關性，$Y=-0.0316X^2+1.9504X+4.3167$ (n=84，r=0.485) ；與生質 ninhydrin 一反應 N 含量 (X) 之相關性，$Y=-0.0903X^2+3.2583X-4.5479$ (n=84，r=0.417) 。 | 趙震慶，2001。 |
| 水稻盆栽未加氮肥 | 第一期作水稻，正常水分含量種植 18 週，$N_2O$ 釋出 0-3.7 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-14.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-8.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.3-7.0 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 0-16.9 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.01-16.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-7.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 1.4-15.8 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 233-313 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 231-275 g/ha，二倍水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 465-731 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 265-676 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |

| 逸散源 | 研究成果 | 出處 |
| --- | --- | --- |
| 水稻盆栽每盆添加 2.61g 尿素 | 第一期作水稻，正常水分含量種植 18 週，$N_2O$ 釋出 1.0-28.6 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-31.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-21.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-21.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 0-13.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.4-21.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-11.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.6-70.1 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 452-743 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 452-593 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 665-727 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 374-1,555 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |
| 水稻盆栽每盆添加 5.22 g 尿素 | 第一期作水稻，正常水分含量種植 18 週，$N_2O$ 釋出 1.1-13.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-11.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-20.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 1.5-13.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 1.5-40.5 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 2.4-24.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-30.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.5-12.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 429-886 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 490-896 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 1,101-1,106 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 475-889 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |
| 水稻盆栽每盆添加 203 g 尿素 | 第一期作水稻，正常水分含量種植 18 週，$N_2O$ 釋出 0-6.5 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-41.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-3.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0.7-28.0 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 0-24.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-13.8 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0.1-11.8 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-26.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 332-1,051 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 191-938 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 743-858 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 455-524 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |
| 水稻盆栽未加氮肥 | 第二期作水稻，正常水分含量種植 17 週，$N_2O$ 釋出 0-61.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-24.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-32.4 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-35.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 0-25.7 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-45.5 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-26.5 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-17.2 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 464-524 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 592-805 g/ha。二倍水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 713-895 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 336-474 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |
| 水稻盆栽每盆添加 2.61 g 尿素 | 第二期作水稻，正常水分含量種植 17 週，$N_2O$ 釋出 0-29.0 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-17.4 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-24.3 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-39.5 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 0.6-19.0 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-34.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0.5-17.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-21.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 603-753 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 775-1,021 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 957-969 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 808-828 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |
| 水稻盆栽每盆添加 5.22 g 尿素 | 第二期作水稻，正常水分含量種植 17 週，$N_2O$ 釋出 0-33.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-35.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-62.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-24.6 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 0-28.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-78.3 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0.3-39.2 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-70.1 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 441-616 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 436-480 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 502-1,599 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 648-1,077 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |

| 逸散源 | 研究成果 | 出處 |
|---|---|---|
| 水稻盆栽每盆添加 203 g 尿素 | 第二期作水稻，正常水分含量種植 18 週，$N_2O$ 釋出 1.2-22.5 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 2.9-10.7 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-19.9 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-13.2 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。二倍水分含量時，$N_2O$ 釋出 0-41.8 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-13.2 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。添加硝化抑制劑時，$N_2O$ 釋出 0-15.1 mg/m$^2$/d (上午 8 時) 和 0-25.5 mg/m$^2$/d (下午 2 時) 。在正常水分含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 878-933 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 446-477 g/ha。二倍水份含量下，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 564-646 g/ha，如添加硝化抑制劑，水稻全季 $N_2O$ 釋出介於 365-695 g/ha。 | 賴朝明，2000。 |
| 盆栽水稻 | 移植後栽培 70 天，未施肥時，$N_2O$ 釋放量介於 2.4±1.5-4.9±2.4 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之化學肥料，$N_2O$ 釋放量 2.2±0.6-5.6±1.9 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之化學肥料，$N_2O$ 釋放量 3.4±0.9-7.6±2.4 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之豬糞肥料，$N_2O$ 釋放量 2.1±0.3-7.7±2.2 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之豬糞肥料，$N_2O$ 釋放量 2.3±0.9-11.1±0.3 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之雞糞肥料，$N_2O$ 釋放量 2.6±1.7-5.4±2.6 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之雞糞肥料，$N_2O$ 釋放量 3.4±1.7-10.3±5.1 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之牛糞肥料，$N_2O$ 釋放量 3.2±1.6-5.3 ±1.4 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之牛糞肥料，$N_2O$ 釋放量 3.2±0.6-10.9±1.9 μg-N/kg soil/d。全期 $N_2O$-N 釋放量未施時爲 272 μg-N/kg soil，施用 0.04 g N 之化學肥料爲 309 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之化學肥料爲 328 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之豬糞肥料爲 327 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之豬糞肥料爲 402 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之雞糞肥料爲 294 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之雞糞肥料爲 429 μg-N/kg soil/d；施用 0.04 g N 之牛糞肥料爲 291 μg-N/kg soil/d；施用 0.08 g N 之牛糞肥料爲 494 μg-N/kg soil/d。 | 趙震慶，2000。 |
| 水稻盆栽時施用 400 mg N 肥 $N_2O$ 釋放量 | 台中 189 號梗稻未施肥生長 83 天，$N_2O$ 釋出 1.57 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨 $N_2O$ 釋出 4.66 mg，施用尿素 $N_2O$ 釋出 6.00 mg，施用硝酸鈉 $N_2O$ 釋出 22.95 mg。台中 190 號梗稻未施肥生長 83 天 $N_2O$ 釋出 2.29 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨 $N_2O$ 釋出 4.94 mg，施用尿素 $N_2O$ 釋出 7.49 mg，施用硝酸鈉 $N_2O$ 釋出 27.89 mg。台中 17 號秈稻未施肥生長 83 天 $N_2O$ 釋出 2.39 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨 $N_2O$ 釋出 4.68 mg，施用尿素 $N_2O$ 釋出 5.72 mg，施用硝酸鈉 $N_2O$ 釋出 24.86 mg。台中 20 號秈稻未施肥生長 83 天 $N_2O$ 釋出 2.65 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨 $N_2O$ 釋出 4.82 mg，施用尿素 $N_2O$ 釋出 7.25 mg，施用硝酸鈉 $N_2O$ 釋出 33.57 mg。Aroma 糯稻未施肥生長 83 天 $N_2O$ 釋出 1.87 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨 $N_2O$ 釋出 4.40 mg，施用尿素 $N_2O$ 釋出 3.29 mg，施用硝酸鈉 $N_2O$ 釋出 18.59 mg。台農秈 2 號糯稻未施肥生長 83 天 $N_2O$ 釋出 2.59 mg，施用 400 mg N 之硫酸銨 $N_2O$ 釋出 4.58 mg，施用尿素 $N_2O$ 釋出 6.12 mg，施用硝酸鈉 $N_2O$ 釋出 30.08 mg。如未種水稻，不施肥，$N_2O$ 釋出 0.92 mg，施用硫酸銨 $N_2O$ 釋出 10.46 mg，施用尿素 $N_2O$ 釋出 11.08 mg，施用 $NaNO_3N_2O$ 釋出 41.46 mg。 | 趙震慶，2003。 |
| 氮肥及用量對水稻盆栽 $N_2O$ 釋出影響 | 未種水稻不施肥，74 天中 $N_2O$ 釋出 0.88 mg，不施肥種植台中 189 號稻梗 $N_2O$ 釋出 0.78 mg，種植台中秈 17 號 $N_2O$ 釋出 0.82 mg，種植 Aroma 糯稻 $N_2O$ 釋出 0.76 mg。施用 400 mg N 肥硫酸銨，未種水稻 $N_2O$ 釋出 3.07 mg，種植台中 189 號稻梗 $N_2O$ 釋出 2.48 mg，種植台中秈 17 號 $N_2O$ 釋出 2.85 mg，種植 Aroma 糯稻 $N_2O$ 釋出 2.11 mg。施用 800 mg N 肥硫酸銨，未種水稻 $N_2O$ 釋出 5.24 mg，種植台中 189 號稻梗 $N_2O$ 釋出 4.75 mg，種植台中秈 17 號 $N_2O$ 釋出 6.16 mg，種植 Aroma 糯稻 $N_2O$ 釋出 3.73 mg。施用 400 mg N 肥尿素，未種水稻 $N_2O$ 釋出 5.98 mg，種植台中 189 號稻梗 $N_2O$ 釋出 4.10 mg，種植台中秈 17 號 $N_2O$ 釋出 2.67 mg，種植 Aroma 糯稻 $N_2O$ 釋出 1.91 mg。施用 800 mg N 肥尿素，未種水稻 $N_2O$ 釋出 7.33 mg，種植台中 189 號稻梗 $N_2O$ 釋出 5.56 mg，種植台中秈 17 號 $N_2O$ 釋出 5.50 mg，種植 Aroma 糯稻 $N_2O$ 釋出 3.92 mg。施用 400 mg N 肥氯化銨，未種水稻 $N_2O$ 釋出 5.10 mg，種植台中 189 號稻梗 $N_2O$ 釋出 2.80 mg，種植台中秈 17 號 $N_2O$ 釋出 2.73 mg，種植 Aroma 糯稻 $N_2O$ 釋出 2.73 mg。施用 800 mg N 肥氯化銨，未種水稻 $N_2O$ 釋出 | 趙震慶，2003。 |

| 逸散源 | 研究成果 | 出處 |
|---|---|---|
| | 8.73 mg，種植台中 189 號稻梗 $N_2O$ 釋出 4.22 mg，種植台中秈 17 號 $N_2O$ 釋出 6.39 mg，種植 Aroma 糯稻 $N_2O$ 釋出 4.53 mg。 | |
| 台灣種植各項作物氧化亞氮釋出量 | 民國 90 年，由其釋放率乘上種植面積，預估氧化亞氮之年釋放量如下：水稻田 2,542 ton，花生田 1,338 ton，大豆田 151 ton，毛豆田 304 ton，洋蔥田 12.6 ton，西瓜田 49.6 ton，甘藍菜田 420 ton，蔥田 66.4 ton，包心白菜田 32.7 ton，花椰菜 415 ton，菊花田 11.1 ton 和溼地 63 ton。 | 賴朝明等，2003。 |
| 密閉式採樣罩與 IPCC 方法比較 | 民國 90 年台灣農業土壤 $N_2O$ 釋出量，實測值爲 15.0 Gg，以 IPCC 方法估計直接釋出 $N_2O$ 爲 10.9 Gg，動物放牧時釋出 $N_2O$ 爲 1.2 Gg，間接釋出 $N_2O$ 爲 7.6 Gg，共計 19.7 Gg，比實測值估算高 31.3%。 | 賴朝明等，2003。 |
| 台灣水田氧化亞氮排放量估計 | 以台灣八處水稻田實測值，依其鄰近縣市水稻耕作面積，分別推估第一期作及第二期作 $N_2O$ 排放量。1990 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 670 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 359 ton。1991 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 639 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 359 ton。1992 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 591 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 317 ton。1993 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 577 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 300 ton。1994 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 535 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 284 ton。1995 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 472 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 239 ton。1996 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 503 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 273 ton。1997 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 554 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 267 ton。1998 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 552 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 258 ton。1999 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 536 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 256 ton。2000 年第一期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 526 ton，第二期作水稻 $N_2O$ 排放量估算爲 236 ton。 | 楊盛行，2003。 |

## 參考文獻


行政院農業委員會，2000。*作物施肥手冊*。台北，台灣。

呂世宗、柳中明、楊盛行，1997。*台灣地區大氣環境變遷*。國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學全球變遷中心，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)*。國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學全球變遷中心，台北，台灣。pp.322。

李弘達、蘇柏樺、陳錦慧、林良平，1997。台灣北部地區土壤脫作用之微生物及其影響因子。*台灣地區大氣環境變遷* (呂世宗、柳中明、楊盛行編)，pp.155-172。國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學全球變遷中心，台北，台灣。

趙震慶，1997。台灣中部及南部水稻田、旱田、濕地、森林及坡地果園土壤氧化亞氮之釋放及其影響因子。*台灣地區大氣環境變遷* (呂世宗、柳中明、楊盛行編)，pp.173-194。國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學全球變遷中心，台北，台灣。

趙震慶，2000。畜產廢棄物堆積及施用之氧化亞氮釋出及減量對策 (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、國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學農業陳列館，台北，台灣。

趙震慶，2001。施用動物糞堆肥種植花生與水稻之盆栽土壤氧化亞氮的排放。*中華農業化學會誌*，39：275-283。

趙震慶，2003。中南部水稻田、旱田及堆肥施用對氧化亞氮排放量之影響。*溫室氣體通量測定及減量對策 (Ⅳ)* (楊盛行編)，pp.107-120。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。

楊盛行，1999。*溫室氣體通量測定及減量對策*。國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學全球變遷中心，台北，台灣。pp.220。

楊盛行，2000。*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、國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學農業陳列館，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、國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學農業陳列館，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、張讚昌，2000a。北部掩埋場及濕地之甲烷釋放。台灣北部掩埋場及濕地之甲烷釋放及減量對策 (Ⅱ)。*溫室氣體通量測定及減量對策 (Ⅱ)* (楊盛行編)，pp.44-56。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台灣大學農業陳列館，台北，台灣。

楊盛行、張讚昌，2000b。以氣態 FTIR 分光儀測定濕地及掩埋場之溫室氣體排放。台灣北部掩埋場及濕地之甲烷釋放及減量對策 (Ⅱ)。*溫室氣體通量測定及減量對策 (Ⅱ)* (楊盛行編)，pp.57-71。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台灣大學農業陳列館，台北，台灣。

楊盛行、賴朝明，2002。*發展推廣農業部門溫室氣體減量技術*。行政院環境保護署委託研究計畫成果報告。民國九十一年一月七日。計畫編號：EPA-90-FA17-03-90B040。

楊盛行、Hegde, U. 2001。都市固體廢棄物嫌氣發酵時溫室氣體生成。台灣北部掩埋場及濕地之甲烷釋放及減量對策 (Ⅲ)。*溫室氣體通量測定及減量對策 (Ⅲ)* (楊盛行編)，pp.57-67。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台灣大學農業陳列館，台北，台灣。

賴朝明，1997。台灣北部水稻田、旱田、濕地、林地及垃圾掩埋場氧化亞氮之釋放及其影響因子。*台灣地區大氣環境變遷*。呂世宗、柳中明、楊盛行編，pp.383-400。國立台灣大學農業化學系和國立台灣大學全球變遷中心，台北，台灣。

賴朝明，2000。農田土壤氧化亞氮之減量對策 (Ⅱ)。*溫室氣體通量測定及減量對策 (Ⅱ)* (楊盛行編)，pp.110-126。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台灣大學農業陳列館，台北，台灣。

賴朝明、錢元皓、楊盛行，2003。水稻田、旱田及濕地氧化亞氮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.73-88。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。

Chang, C., Cho, C. M. and Janzen, H. H. 1998. Nitrous oxide emission from long term manured soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 677-682.

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. Department of Agricultural Chemistry and Global Change Research Center, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

Cicerone, R. J. 1989. Analysis of sources and sinks of atmospheric nitrous oxide ($N_2O$). *J. Geophys. Res.* 94: 18265-18271.

Cole, V., Cerri, C., Minami, K., Mosier, A., Rosenberg, N. and Sanerback, D. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission. In: *Climate Change*. Ed. by Houghton, R. A. et al., pp. 745-771. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.

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. *Nutri. 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.

Freney, J. R. 1997a. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutri. Cycl. Agroecosys.* 49: 1-6.

Freney, J. R. 1997b. Strategies to reduce gaseous emission of nitrogen from irrigated agriculture. *Nutri. Cycl. Agroecosys.* 48: 155-160.

Hegde, U., Chang, T. C. and Yang, S. S. 2001. Greenhouse gas emissions from Shan-Chu-Ku landfill site in northern Taiwain. In: *Flux and Mitigation of Greenhouse Gases (III).* Ed. by Yang, S. S., pp. 69-83. Global Change Research Center and Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Vol. 2. Cambridge University Press, New York.

Inubushi, K. and Umebayashi, M. 1992. Current overview of global environmental issues. *Report of the Environmental Science* 16: 77-87.

Keeney, D. R. 1986. Inhibition of nitrification in soil. In: *Nitrification.* Ed. by Prosser, J. I. IRL Press Washington D.C. USA.

Keeney, D. R. and Nelson, D. W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. In: *Methods in Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties.* 2nd edn. Ed. by Page, A. L., pp. 634-698. Agron monogr. 9. SSSA, WI, USA.

Knowles, R. 1982. Denitrification. *Microbiol. Rev.* 46: 43-70.

Malhi, S. S. and Nyborg, M. 1991. Recovery of $^{15}$N-labelled urea: influence of zero tillage, and time and method of application. *Fert. Res.* 28: 263-269.

Minami, K. 1997. Atmospheric methane and nitrous oxide: sources, sinks, and strategies for reducing agricultural emissions. *Nutri. Cycl. Agroecosyst.* 49: 230-211.

Mosier, A. R., Bronson, K. F., Freney, J. R. and Keerthisinghe, D. G. 1994. Use of nitrification inhibitiors to reduce nitrous oxide emission from urea fertilized soils. In: *$CH_4$ and $N_2O$: Global Emissions and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources.* Ed. By Minami, K., Mosier, A. and Sass, R., pp. 197-207. Yokendo Publishers, Tokyo.

Mosier, A. R., Delgado, J. A., Cochran, V. L., Valentine, D. W. and Parton, W. J. 1997. Impact of agriculture on soil consumption of atmospheric $CH_4$ and a comparison of $CH_4$ and $N_2O$ flux in subarctic, temperate and tropical grasslands. *Nutri. Cycl. Agroecosyst.* 49: 71-83.

Robertson, G. P., and Tiedje, J. M. 1987. Nitrous oxide source in aerobic soil: Nitrification, denitrification and other biological processes. *Soil Biol. Biochem.* 19: 187-193.

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.

Tortoso, A. C., and Hutchinson, G. L. 1990. Contributions of autotrophic and heterotrophic nitrifiers to soil NO and $N_2O$emission. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 1799-1805.

Weisk, A., Benckiser, G., Herbert, T. and Ottow, J. C. G. 2001. Influence of nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide

(DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biol. Fertil. Soils* 34: 109-117.

Youngdahl, L. J., Lupin, M. S. and Craswell, E. T. 1986. New developments in nitrogen fertilizers for rice. *Fert. Res.* 9: 149-160.