

第一章

全球气候变化的成因 和现状

第一节 农业温室气体排放与吸收

由于人类活动的加剧，使大气中温室气体浓度迅速增加，如二氧化碳（ CO_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、氧化亚氮（ N_2O ）和哈龙化合物（ CFCs 、 HFCs 和 PFCs ）等，从而使全球气候发生变化，气象灾害增多。化石燃料燃烧是最主要的、由于人为活动造成的排放源，其他主要温室气体排放源还包括农业生产、土地利用变化，包括毁林、工业生产过程（如水泥生产）、垃圾填埋、制冷和溶剂使用等。 CO_2 是大气中的主要温室气体，对全球变暖的贡献为64%，其次是 CH_4 。表1-1列出了这些温室气体在大气中浓度的变化、对全球变暖的贡献和主要的排放源。

由于人为活动造成的温室气体排放量增加，导致全球气候变暖（IPCC, 1996a; IPCC, 1997）。自从19世纪末以来，全球平均地表气温增加了 $0.3\text{ }^\circ\text{C} \sim 0.6\text{ }^\circ\text{C}$ （IPCC, 1996a）。1998年是有记录以来全球平均温度最高的一年。图1-1为全球近地面气温年变率。此图是根据对地面和海洋表面气温的定期测定结果得出的。

表 1-1 温室气体的浓度变化、对增温的贡献及
主要排放源

| 气体 | 1975—1996年的 浓度增长率 / (%) | 对全球变暖 的贡献 / (%) | 主要的人为排放源 |
|------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| CO ₂ | 30 | 64 | 化石燃料燃烧、毁林与土地利用变化、水泥生产 |
| CH ₄ | 145 | 20 | 能源生产和利用（包括生物质）动物、稻田、污水、垃圾填埋 |
| N ₂ O | 15 | 6 | 肥料使用、清理土地、己乙酸生产、生物质燃烧和化石燃料燃烧 |
| HFCs | — | | 制冷、空调和化学工业 |
| PFCs | — | 10* | 铝生产 |

* 包括所有的哈龙化合物。资料来源： IPCC, 1996a。

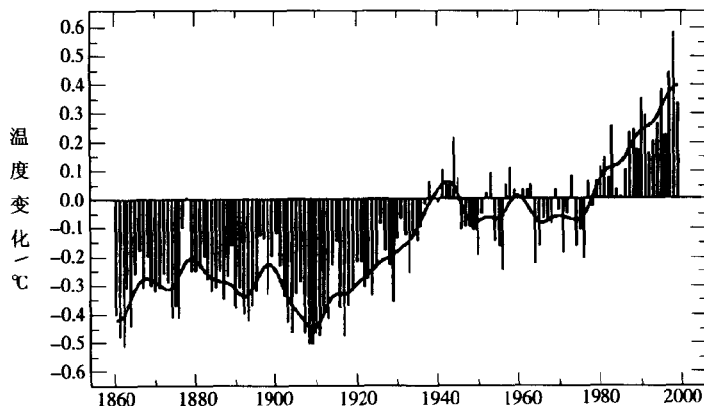


图 1-1 1860—1999 年全球平均近地面气温变化幅度
(Jones 等, 1999; Parker, 1995)

估计三种主要的温室气体全球平均浓度在 1990 年至 2050 年将继续增加： CO_2 增加 45% 由 0.354 ml/L 增加到 0.512 ml/L； CH_4 增加 80% 由 1.60×10^{-3} ml/L 增加到 2.84×10^{-3} ml/L， N_2O 增加 22% 由 0.31 ml/L 增加到 0.377 ml/L (IPCC, 1996a)。如果采用基准情景，到 2100 年，全球温度增加的估计范围很大，中心估计为 2100 年的全球平均温度比 1990 年高 2°C 不确定性的范围为 $1^\circ\text{C} \sim 3.5^\circ\text{C}$ 。

一、农业的温室气体排放

农业是重要的温室气体排放源，尤其是排放大量 CH_4 和 N_2O 。据估计，农业源排放 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的量分别占总的人为温室气体排放量的 21%~25%、57% 和 65%~80%。农业生产过程中主要温室气体排放源包括：反刍动物消化、动物粪便厌氧分解、水稻生产过程中 CH_4 排放和生物质燃烧；农业土壤施肥（包括无机肥料和有机肥料的使用）排放的 N_2O ；农业生产过程中直接或间接的能源消费产生的 CO_2 排放。农业废弃物的燃烧也是 CH_4 和 N_2O 的主要排放源。总的来说，农业对全球变暖的贡献为 20%，主要是由于排放大量的 CH_4 和 N_2O (IPCC, 1996b)。对我国而言，农业源温室气体排放占总的人为温室气体排放量的 12.1%~18.3% (ALGAS REPORT, 1998) (表 1-2)。

(一) 甲烷

自然活动和人为活动都向大气中排放甲烷，自然源大约占全球甲烷排放总量的 30%，人为活动造成的甲烷排放大约占 70%。表 1-3 列出了各种排放源的排放量。与农业有关的甲烷排放源包括家畜饲养、动物粪便、稻田、生物质燃烧，排放量占人为甲烷排放总量的 57%。

表 1-2 中国 1990 年温室气体排放清单

| 源和汇 | CO ₂ /kt | CO ₂ 吸收量 /kt | CH ₄ /kt | N ₂ O/kt | CO ₂ 当量 /kt | 贡献/(%) | | |
|------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|-----------|-----------------------|-------------|
| 总(净)排放 | 2 271 528 | 501 966 | 1 769 562 | 25 389 | ~32 889 | 190 ~ 530 | 2 361 626 ~ 2 624 526 | 100 |
| I. 全部能源(燃料燃烧+挥发) | 2 004 107 | | 2 004 107 | 11 900 | | 120 ~ 340 | 2 291 204 ~ 2 407 029 | 97.0 ~ 89.9 |
| A. 燃料燃烧 | 2 004 107 | | 2 004 107 | 3 034 | | 120 ~ 340 | 2 105 011 ~ 2 173 221 | 89.1 ~ 82.8 |
| ·能源转换与能源工业 | 637 172 | 834 048 | 637 172 | 62 | | 120 ~ 340 | 676 218 ~ 744 414 | 28.6 ~ 28.4 |
| ·工业 | 113 447 | | 113 447 | | | | 834 048 | 35.3 ~ 31.8 |
| ·运输业 | 17 839 | | 17 839 | | | | 113 447 | 4.8 ~ 4.3 |
| ·商业 | 288 539 | | 288 539 | | | | 17 839 | 0.8 ~ 0.7 |
| ·居民 | 641 248 | | 641 248 | 2 971 | | | 288 539 | 12.2 ~ 11.0 |
| ·传统生物质燃烧 | 112 523 | | 112 523 | | | | 62 397 | 2.6 ~ 2.4 |
| ·其他 | 63 320 | | 63 320 | | | | 112 523 | 4.8 ~ 4.3 |
| 农业、林业、渔业 | 49 202 | | 49 202 | | | | 63 320 | 2.7 ~ 2.4 |
| 建筑业 | | | | 8 866 | | | 49 202 | 2.1 ~ 1.9 |
| B. 燃料的挥发排放 | | | | 92 | | | 186 194 | 7.9 ~ 7.1 |
| | | | | | | | 1 929 | 0.1 ~ 0.1 |

续表

| 源和汇 | CO ₂ /kt | CO ₂ 吸收量 /kt | CH ₄ /kt | N ₂ O/kt | CO ₂ 当量/kt | 贡献/(%) |
|-----------|---------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------|
| ·石油、天然气 | | | 8 775 | | 184 265 | 7.8~7.0 |
| ·煤矿开采 | | | | | | |
| Ⅱ.工业过程 | 93 988 | 93 988 | | | 93 988 | 4.0~3.6 |
| A.水泥生产 | 78 588 | 78 588 | | | 78 588 | 3.3~3.0 |
| B.其他 | 15 400 | 15 400 | | | 15 400 | 0.7~0.6 |
| 钢铁 | 15 400 | 15 400 | | | 15 400 | 0.7~0.6 |
| Ⅲ.农业 | | | 12 590~20 090 | 70~190 | 586 090~480 790 | 12.1~18.3 |
| A.动物肠道发酵 | | | 2 379~6 671 | | 49 959~140 091 | 2.1~5.3 |
| B.动物粪便管理 | | | 550~771 | | 11 550~16 191 | 0.5~0.6 |
| C.水稻生产 | | | 9 661~12 648 | | 202 881~265 608 | 8.6~10.1 |
| D.农业土壤 | | | | | | |
| E.生物质田间燃烧 | | | | 10~30 | 3 100~9 300 | 0.1~0.4 |
| F.其他 | | | | 60~160 | 18 600~49 600 | 0.8~1.9 |
| 农业废弃物 | | | | | | |
| 肥料使用 | | | | 10~30 | 3 100~9 300 | 0.1~0.4 |

续表

| 源和汇 | CO ₂ /kt | CO ₂ 吸收量 /kt | CO ₂ 排放量 /kt | CH ₄ /kt | N ₂ O/kt | CO ₂ 当量/kt | 贡献/(%) |
|-----------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| 其他 | | | | | 50~130 | 15 500~40 300 | 0.7~1.5 |
| IV. 土地利用变化与森林 | 173 433 | 501 966 | - 328. 533 | | | - 328. 533 | - 13. 9~- 12. 5 |
| A. 森林与其他木质 物量的变化 | | 4. 6267 | - 406. 267 | | | - 406. 267 | - 17. 2~- 15. 5 |
| B. 森林与草地土地利 用方式的转变 | | 8 433 | - 8 433 | | | - 8 433 | - 0. 4~- 0. 3 |
| C. 管理土地的荒废 | 173 433 | 87 266 | 86 167 | | | 86 167 | 3. 6~3. 3 |
| D. 其他 | 94 233 | | 94 233 | | | 94 233 | 4. 0~3. 6 |
| 森林生物质燃烧 | 79 200 | | 79 200 | | | 79 200 | 3. 4~3. 0 |
| 分解 | | 31 533 | - 31 533 | | | - 31 533 | - 1. 3~- 1. 2 |
| 土壤碳 | | 55 733 | - 55 733 | | | - 55 733 | - 2. 4~- 2. 1 |
| 农业 | | | | | | | |
| V. 废弃物 | | | | 899 | | 18 877 | 0. 8~0. 7 |
| A. 固体废弃物堆放 | | | | 899 | | 18 877 | 0. 8~0. 7 |
| B. 废水处理 | | | | | | | |
| C. 其他 | | | | | | | |

表 1-3

甲烷排放量

| 排放源与汇 | 估算的排放量 /(10^6 t/a) |
|---------------|-----------------------|
| 自然源 | |
| 湿地 | 115(100~200) |
| 白蚁 | 20(10~50) |
| 海洋 | 10(5~10) |
| 淡水 | 5(1~25) |
| 氢氧化物气体 | 0~5 |
| 总量 | 155 |
| 人为源 | |
| 家畜 | 80(65~100) |
| 动物粪便 | 25(20~30) |
| 稻田 | 60(20~150) |
| 煤矿开采、天然气 | 100(70~120) |
| 生物质燃烧 | 40(20~80) |
| 垃圾填埋 | 30(20~70) |
| 废水处理 | 25 |
| 总量 | 360 |
| 汇 | |
| 大气(对流层+平流层)清除 | 470(420~520) |
| 旱地土壤吸收 | 30(15~45) |

资料来源：IPCC, 1992。

1. 家畜肠道发酵

(1) 甲烷排放机理：饲养的家畜是最主要的甲烷排放源，如牛、山羊和绵羊等反刍动物。反刍动物具有独特的消化系统，这些动物的胃分4个室，即瘤胃、网胃、瓣胃和皱

胃。动物肠道发酵产生的甲烷，主要是由于瘤胃中 CO_2 与 H_2 还原反应产生的，多种瘤胃细菌都能催化这种反应。肠道发酵产生甲烷还有其他途径，如由甲酸、乙酸、甲醇等分解产生甲烷。排放甲烷的渠道主要是通过动物的嘴和鼻孔。

(2) 影响甲烷排放的因子：许多因子影响反刍动物生产与排放甲烷，其中包括：动物种类、动物年龄与体重；饲料的化学物理特性；采食水平和采食时间；提高动物生产效率的措施如饲料添加剂；动物的健康状况。其中采食水平和饲料消化率是影响甲烷产生的最重要因子。董红敏等(1995年)测定维持状态时的黄牛甲烷排放量仅 3~20 L/d；当仅饲喂玉米秸秆限制采食时，甲烷排放量为 18~53 L/d；当仅饲喂玉米秸秆但自由采食时，甲烷排放量为 70~130 L/d；当饲喂玉米秸秆但自由采食，同时添加玉米精饲料时，甲烷排放量为 70~150 L/d。处于饥饿状态时的山羊，甲烷排放量 0.11 L/d；当仅饲喂干草且限制采食时，甲烷排放量为 6~8.5 L/d；当饲喂干草同时添加杂豆精饲料、但限制采食时，甲烷排放量为 4~7 L/d；当饲喂干草同时添加杂豆精饲料、自由采食时，甲烷排放量为 14~16 L/d。

(3) 甲烷排放量：估计全球反刍动物甲烷排放总量为 8 000 万 t/a 估计排放量范围为 6 500 万~10 000 万 t/a (表 1-3)。牛和水牛的排放量占反刍动物甲烷排放总量的 80% (Hogan, 1993)。非反刍动物(如：猪、马)均排放甲烷，但排放量相对较少。表 1-4 列出了主要动物饲养大国的动物甲烷排放量。动物肠道发酵排放量较大的国家有澳大利亚、美国、德国和法国，这些国家动物的甲烷排放量都超过 100 万 t。

表 1-4 一些国家的动物肠道发酵甲烷排放量

| 国家 | 排放量 / (kt/a) |
|------|--------------|
| 比利时 | 375 |
| 奥地利 | 146 |
| 英国 | 981 |
| 丹麦 | 155 |
| 芬兰 | 78 |
| 法国 | 1 359 |
| 意大利 | 607 |
| 荷兰 | 377 |
| 西班牙 | 352 |
| 德国 | 1 162 |
| 澳大利亚 | 2 768 |
| 加拿大 | 725 |
| 美国 | 1 662 |
| 日本 | 345 |

资料来源：各国第二次国家通讯报告

董红敏根据对不同实验动物肠道发酵甲烷排放量的实测结果、中国动物饲料特征、中国动物种群结构和 IPCC (1996 年) 推荐的估算动物肠道发酵甲烷排放量的方法, 估算中国 1990 年动物肠道发酵甲烷总排放量为 2 593~6 503 kt, 其中黄牛的甲烷排放量最大, 约占总排放量的 50%, 其次是水牛, 占总排放量的 20% (表 1-5) (ALGAS REPORT, 1998).

表 1-5 1990年中国的动物肠道甲烷排放清单

| 动物类型 | 试验结果 /kt | 估算结果 /kt |
|-------|-------------|----------|
| 奶牛 | 53~99 | |
| 繁殖母畜 | | 100 |
| 当年生仔畜 | | 21 |
| 其他 | | 32 |
| 黄牛 | 384~2 496 | |
| 繁殖母畜 | | 1 501 |
| 当年生仔畜 | | 322 |
| 其他 | | 1 520 |
| 水牛 | 1 211 | |
| 繁殖母畜 | | 580 |
| 当年生仔畜 | | 89 |
| 其他 | | 542 |
| 绵羊 | 206~821 | |
| 繁殖母畜 | | 414 |
| 其他 | | 166 |
| 山羊 | | |
| 繁殖母畜 | | 320 |
| 其他 | | 157 |
| 骆驼 | 27 | 27 |
| 驴/骡 | 167 | 167 |
| 马 | 183 | 183 |
| 猪 | 362 | 362 |
| 总和 | 2 593~5 366 | 6 503 |

(4) 甲烷排放清单估算的不确定性：从表 1-5 中可以看出，实测数据与采用 IPCC 方法估算的结果差异很大，造

成这种差异的主要原因有：

计算的采食量数据存在很大的不确定性：由于我国饲养动物的特点，多数动物是由农民饲养，饲料的质量与饲喂量差异很大，目前中国没有动物采食量的统计数据，只能根据《中国家畜饲养学》和《奶牛饲养标准》提供的公式和数据，计算中国典型动物的采食总能量。但由于饲料的缺乏和饲养动物的目的不同，我国的大部分动物，尤其是黄牛在冬季得不到足够的食物，因此计算结果可能与实际情况有很大的出入。

甲烷转换因子（MCF）不同：饲料能转换成甲烷的比例取决于饲料的质量与采食量，在 IPCC 推荐的方法中推荐发展中国家的默认值为：奶牛 6%、非奶牛 7%。由于中国的动物能量采食水平低，IPCC 推荐的默认值不适合中国的实际情况，董红敏（1995）研究表明，中国黄牛的甲烷转换因子为 6%。

饲料消化率不同：不同动物管理系统、不同地区饲料消化率的差异很大，可达 20% ~ 30%。即使在同一地区，饲料质量不同，同种动物的饲料消化率也有很大差异。

2. 动物废弃物

(1) 甲烷产生机理：粪便中的有机物在厌氧环境下发酵产生甲烷。甲烷的产生是分三个阶段完成的：第一阶段是粪便中复杂的有机物在酶的作用下分解为单糖、单链脂肪酸和氨基酸。分解量和分解速度取决于酶的活性、粪便的特性和环境因素。第二阶段是将第一阶段产生的单糖被厌氧和嫌性细菌发酵后形成简单有机物。第三阶段是产甲烷细菌发酵单链有机酸产生甲烷和二氧化碳。

(2) 影响甲烷产生的因子：产甲烷细菌是严格的厌氧细菌，繁殖慢且对温度、pH 和基质成分很敏感。甲烷产生量

主要取决于粪便甲烷产生潜力 (B_0)、粪便处理方式和气候条件。粪便甲烷产生潜力是影响粪便甲烷产生量的内因，它随动物种类、饲料成分和消化率的变化而变化。饲料的能量和消化率越高，粪便甲烷产生潜力越大 (Hogan, 1993)。国外一些科学家对不同饲料肉牛、奶牛、家禽和猪粪便的甲烷生产潜力进行了测定，肉牛的 B_0 范围从每千克可挥发的固体含量产生 $0.17 \text{ m}^3\text{CH}_4$ (饲料以玉米秸为主) 至每千克可挥发的固体含量产生 $0.33 \text{ m}^3\text{CH}_4$ (饲料以玉米为主)，奶牛的 B_0 范围为每千克可挥发的固体含量产生 $0.10 \sim 0.24 \text{ m}^3\text{CH}_4$ ，猪的 B_0 的范围为每千克可挥发的固体含量产生 $0.32 \sim 0.52 \text{ m}^3\text{CH}_4$ (Hill, 1984)。

粪便管理方式是影响甲烷实际产生量的外部因素，从两个方面影响甲烷的生产。一方面，粪便管理系统决定厌氧条件是否存在，当粪便以液体方式储存时，粪便趋于厌氧分解，产生大量甲烷；当粪便以固体方式处理时 (堆积或沉积在草场或牧场)，粪便趋于有氧分解，几乎不产生甲烷。另一方面，管理系统决定粪便中水分含量，细菌细胞的生长和代谢过程需要水分，粪便中水分含量越多，甲烷生产量越多。如美国，以液体形式储存的粪便量占粪便产生总量的 10%，但其甲烷排放量占粪便甲烷排放总量的 80% (Safley 等, 1992)。

影响甲烷产生量的气候因子主要是温度和湿度，一般情况下温度影响细菌生长，同样也影响产甲烷菌的活动 (Chawla, 1986 年)。温度在 $4 \text{ }^\circ\text{C} \sim 75 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间，都有甲烷产生，当温度在 $40 \text{ }^\circ\text{C} \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间时，甲烷产生量最大。环境湿度影响粪便中的水分含量，对非液体粪便管理系统，粪便的含水量主要取决于降雨量和环境的相对湿度，从而也影响粪便甲烷产生量 (Safley 等, 1992 年)。

(3) 动物粪便甲烷排放量：如上所述，动物粪便是主要的甲烷排放源之一。估计全球动物粪便甲烷排放总量为 2 000 万~3 000 万 t/a (IPCC, 1992)，占已知人为甲烷排放总量的 5.5%~8%。美国、德国和西班牙的动物粪便甲烷排放量较大(表 1-6)。根据我国的主要动物能量采食特点，李玉娥估算了 1995 年我国的主要动物粪便的甲烷排放量：我国动物粪便甲烷排放总量为 753 kt/a，比 1990 年增加 28%，猪粪便是最大的甲烷排放源，占动物粪便甲烷排放总量的 70%，其次是黄牛和鸡，均占 9%(表 1-7)。

表 1-6 1995 年一些国家的动物粪便甲烷排放量

| 国家 | 排放量 /kt |
|------|---------|
| 奥地利 | 27.3 |
| 英国 | 123 |
| 丹麦 | 172 |
| 芬兰 | 10 |
| 法国 | 160.7 |
| 意大利 | 181.9 |
| 荷兰 | 99 |
| 西班牙 | 480.6 |
| 德国 | 498 |
| 澳大利亚 | 84.2 |
| 加拿大 | 271 |
| 美国 | 814 |
| 日本 | 110 |

资料来源：各国第二次国家通讯报告。

表 1-7 1995 年中国的动物粪便甲烷排放清单

| 动物类型 | 甲烷排放 /kt |
|------|----------|
| 奶牛 | 25.8 |
| 黄牛 | 63.4 |
| 水牛 | 29.0 |
| 绵羊 | 11.7 |
| 山羊 | 14.9 |
| 骆驼 | 0.4 |
| 驴/骡 | 9.9 |
| 马 | 12.0 |
| 猪 | 524.8 |
| 家禽 | 61.4 |
| 总量 | 753.2 |

3. 稻田

(1) 甲烷产生机理：稻田甲烷的形成是在厌氧条件下甲烷菌活动的结果。甲烷菌存活在嫌气条件下，要求氧化还原电位低于 -200 mV。主要途径是 CO_2 与 H_2 的还原反应，脂肪酸或乙醇是氢的提供者。

(2) 稻田甲烷排放影响因子：Schutz 等 (1989) 研究得出，在整个水稻生长期间，稻田甲烷排放通量显示出较强的日变化，排放通量的最低点出现在上午 6~10 时，最高点出现在下午 2~7 时。甲烷排放通量的日变化幅度随季节而改变，最大的日变幅出现在水稻生长的早期。甲烷排放的日变化主要是由温度的变化造成的，无论是日变化还是季节变化，均与 1~15 cm 土层的土壤温度呈正相关。

水分管理：土壤水分状况是影响甲烷菌活力的主要因子，也是减少甲烷排放通量的关键。许多研究表明稻田间歇灌溉可以明显地减少甲烷排放总量。日本 1991 年的试验证明在分蘖期和抽穗期各排水 3~5 天，可使生长季甲烷排放

总量减少一半 (Schutz 等, 1989)。

施肥：施肥增加了水稻的分蘖和根量，根的分泌物增多，甲烷的排放量也明显地增加。施尿素会增加甲烷的排放，这是由于尿素本身是碳源，另一方面可能是因尿素水解后提高了土壤的 pH，使之趋向于中性，而中性是甲烷菌活动的最适宜的酸碱条件。施硝酸胺可提高稻田氧化还原电位，抑制甲烷排放；施硫酸胺不改变土壤的氧化还原电位，但也有抑制甲烷形成的作用。化肥表施时，生育期甲烷排放量比对照低 6%；上层 (0~5 cm) 混施，甲烷排放量比对照低 43%；深施 (20 cm)，甲烷排放量比对照低 62%。施有机肥能明显提高稻田甲烷排放量 (Schutz 等, 1989)。

(3) 稻田甲烷排放量：Minami 在 1993 年提出全球稻田甲烷排放量的估算方法，估算结果为 1 000 万 ~11 300 万 t/a。Sass 在 1994 年根据中国、印度、日本、泰国、菲律宾和美国的研究结果估算全球稻田甲烷排放量为 2 540 万 ~5 400 万 t/a 我国是水稻生产大国，稻田是我国最大的甲烷排放源。王明星等根据自己研制的稻田甲烷排放模型估算了我国稻田甲烷排放量，1990 年我国稻田甲烷排放总量为 9 667~12 648 kt (ALGAS REPORT, 1998) (表 1-8)。

表1-8 1990 年中国的稻田甲烷排放总量

| 省份 | 早稻和单季稻 排放量 /kt | 晚稻排放量 /kt | 单季晚稻, 冬水 田(WL)和麦稻 轮作(WR) 排放量 /kt | 合计 /kt |
|----|----------------------|--------------|---|-----------|
| 北京 | 3.9~4.8 | | | 3.9~4.8 |
| 天津 | 4.4~5.4 | | | 4.4~5.4 |
| 河北 | 19.4~23.7 | | | 19.4~23.7 |
| 山西 | 0.5~0.6 | | | 0.5~0.6 |

续表

| 省份 | 早稻和单季稻 排放量 /kt | 晚稻排放量 /kt | 单季晚稻,冬水 田(WL)和麦稻 轮作(WR) 排放量/kt | 合计/kt |
|-----|----------------------|---------------------|---|----------------------|
| 内蒙古 | 6.1~7.4 | | | 6.1~7.4 |
| 辽宁 | 43.0~52.6 | | | 43.0~52.6 |
| 吉林 | 20.0~24.4 | | | 20.0~24.4 |
| 黑龙江 | 47.9~58.5 | | | 47.9~58.5 |
| 上海 | 0.8~1.0 | 1.7~2.1 | 97.7~134.3 | 100.2~137.4 |
| 江苏 | 1.7~2.2 | 2.9~3.6 | 990.8~1362.3 | 995.4~1368.1 |
| 浙江 | 123.5~158.8 | 288.2~360.2 | 130.3~179.2 | 542.0~698.2 |
| 安徽 | 76.8~98.7 | 122.8~153.7 | 467.9~643.4 | 667.5~895.8 |
| 福建 | 38.6~49.7 | 255.3~319.1 | 98.9~136.0 | 392.8~504.8 |
| 江西 | 199.2~256.2 | 573.1~716.4 | 81.8~112.5 | 854.1~1085.1 |
| 山东 | 22.4~27.3 | | | 22.4~27.3 |
| 河南 | 67.2~82.2 | | | 67.2~82.2 |
| 湖北 | 111.4~143.2 | 240.9~301.2 | 528.3~726.5 | 880.6~1170.9 |
| 湖南 | 223.3~287.1 | 503.1~628.8 | 292.5~402.2 | 1 018.9~1 318.1 |
| 广东 | 190.3~244.7 | 634.1~792.6 | 45.0~61.9 | 869.4~1 099.2 |
| 广西 | 121.6~156.4 | 467.6~584.4 | 59.4~81.7 | 648.6~822.5 |
| 海南 | 20.6~26.5 | 73.6~92.0 | 16.7~22.9 | 110.9~141.4 |
| 四川 | 2.3~3.0 | 6.4~8.0 | 1 733.8~2 384.0 351.3~421.6 | 1 742.5~2 395.0 |
| 贵州 | 0.04~0.05 | 0.17~0.2 | 155.2~186.3 | 351.51 |
| 云南 | 1.0~1.3 | 3.1~3.9 | 63.7~76.4 | 159.3~191.5 |
| 西藏 | 0.05~0.06 | | | 63.75~76.46 |
| 陕西 | 17.1~20.9 | | | 17.1~20.9 |
| 甘肃 | 0.3~0.4 | | | 0.3~0.4 |
| 青海 | | | | |
| 宁夏 | 3.8~4.7 | | | 3.8~4.7 |
| 新疆 | 7.2~8.8 | | | 7.2~8.8 |
| 总和 | 1 374.4~ 1 750.6 | 3 173.0~ 3 966.2 | 5 113.3~ 6 931.2 | 9 660.7~ 12 648.0 |

(二) 氧化亚氮

自然和人为活动都排放氧化亚氮，表 1-9 列出了各种排放源的排放量。与农业有关的氧化亚氮排放源包括动物粪便、耕作土壤、生物质燃烧等。IPCC (1997) 估算了农业土壤 N_2O 排放量（以氮量计）为 3.5 (1.8~5.3) 和 3.3 (0.6~14.8) $10^6t/a$ ，生物质燃烧 N_2O 排放量为（以氮量计）0.5 (0.2~1.0) $10^6t/a$ ，动物饲养（主要是动物粪便） N_2O 排放量（以氮量计）分别为 0.4 (0.2~0.5) 和 2.1 (0.6~3.1) $10^6t/a$ 。

表 1-9 不同排放源 N_2O 的排放与吸收量（以氮量计）

| | 排放 或吸收量 /($10^6t/a$) |
|---------|------------------------|
| 自然源 | |
| 海洋 | 1.4~2.6 |
| 热带土壤 | |
| 热带雨林 | 2.2~3.7 |
| 热带稀疏草原 | 0.5~2.0 |
| 温带土壤 | |
| 林地 | 0.05~2.0 |
| 草地 | ? |
| 人为排放源 | |
| 耕作土壤 | 0.03~3.0 |
| 生物质燃烧 | 0.2~1.0 |
| 化石燃料燃烧 | 0.1~0.3 |
| 运输 | 0.2~0.6 |
| 己乙酸生产 | 0.4~0.6 |
| 硝酸生产 | 0.1~0.3 |
| 吸收汇 | |
| 土壤吸收 | ? |
| 平流层的光分解 | 7~13 |

资料来源：IPCC, 1992。