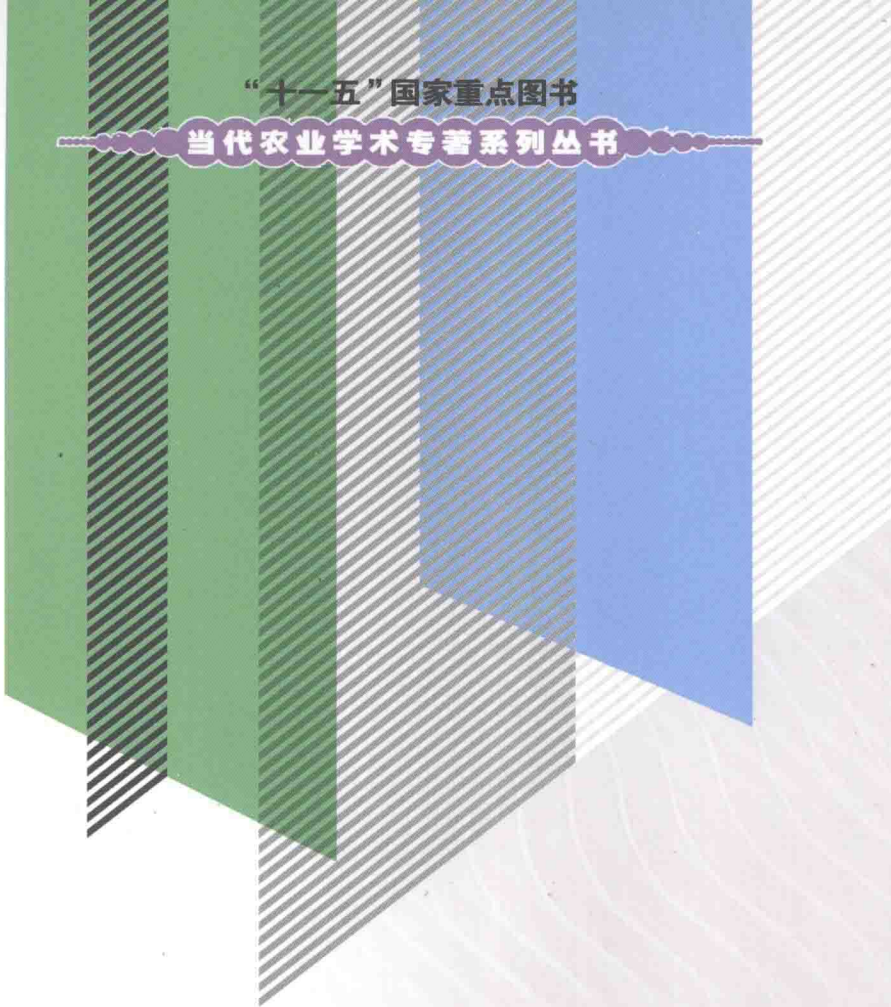




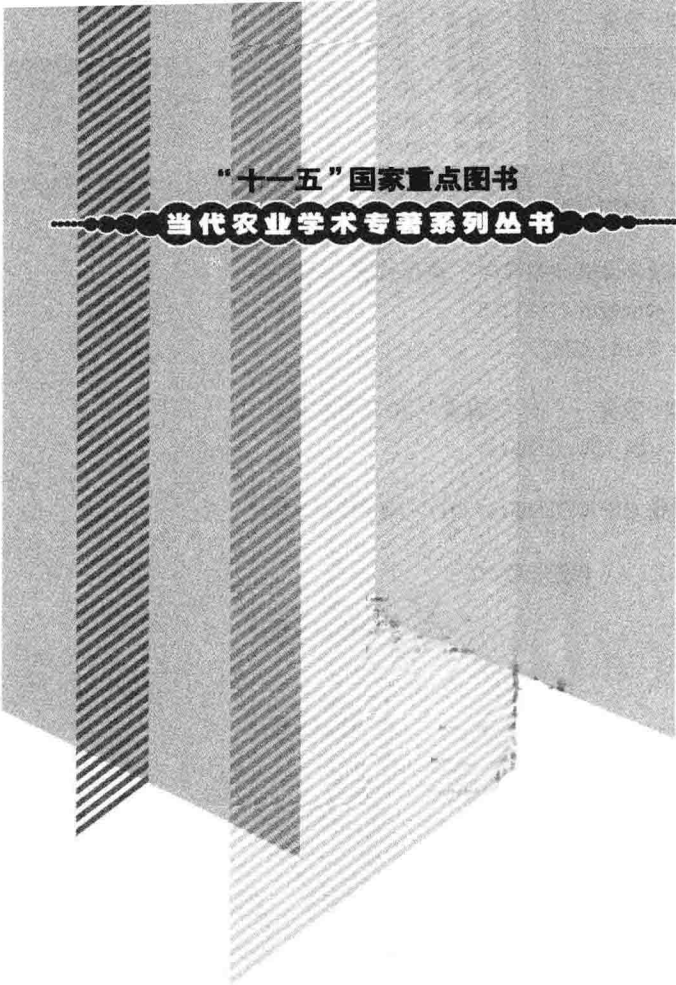
“十一五”国家重点图书

当代农业学术专著系列丛书

中国温室气体减排 及其政策导向

黄德林 著

中国农业科学技术出版社



“十一·五”国家重点图书

当代农业学术专著系列丛书

中国温室气体减排 及其政策导向

黄德林 著

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国温室气体减排及其政策导向 / 黄德林著. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2012. 3
ISBN 978-7-5116-0717-1

I. ①中… II. ①黄… III. ①有害气体-大气扩散-
污染防治-研究-中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 217849 号

责任编辑 张孝安

责任校对 贾晓红 郭苗苗

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82109708(编辑室) (010)82109704(发行部)
(010)82109703(读者服务部)

传 真 (010)82109700

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 全国各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 34

字 数 520 千字

版 次 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

定 价 80.00 元

❖ 版权所有 · 翻印必究 ❖

本研究在 2010 年分别得到国家社会科学基金（10BJY048）和中华人民共和国人力资源和社会保障部 2010 年度留学人员科技活动项目择优资助经费

参加本书创作人员

蔡松锋 中国农业科学院农业经济与发展研究所 硕士
李向阳 中国农业科学院农业经济与发展研究所 硕士

前言

“中国温室气体减排及其政策导向”书稿出版之前，已经有三本农业经济专著入选“十一五”国家重点图书当代农业学术专著系列之中，这不是一件容易的事，没有“板凳须坐十年冷，文章不写一句空”的精神，是难以长期坚持下来的。“中国温室气体减排及其政策导向”的构思与实证分析起始于2008年，完成于2011年。之前的姊妹篇“农业环境污染减排及其政策导向”起始于2006年，完成于2008年。较之于“农业环境污染减排及其政策导向”，“中国温室气体减排及其政策导向”无论从经济学理论和经济学方法还是从研究的目标层次上看，都是一次巨大的跨越。

之所以这样讲，是因为“中国温室气体减排及其政策导向”是基于全球贸易模型GTAP和全球贸易和环境模型GTAP-E分析中国温室气体减排及其政策导向的。在方法上，可与国际比肩。记得中国农业科学院农业经济与发展研究所2005年创建农业政策分析重点实验室时，全球贸易GTAP模型为重要技术之一。“中国温室气体减排及其政策导向”不但突破了静态模拟技术的瓶颈，而且逼近国际研究前沿，顺利攻克动态模拟机制，建立了完整的GTAP政策分析平台，这是难能可贵的。

从内容上看，“中国温室气体减排及其政策导向”通过构建全球贸易和环境模型GTAP-E的动静态机制分析了二氧化碳、非二氧化碳、农业温室气体、水稻甲烷、动物甲烷、农田氧化亚氮、动物粪便甲烷减排及其政策导向选择问题，其中，既有温室气体碳税政策实施合理度的实证研究，也有参与国际碳排放交易机制的选择，并且根据农业温室气体的特性，将技术减排模式纳入政策评价框架之内。从国际、国家、行业三个层面上分析“中国温室气体减排及其政策导向”问题，研究内容全面新颖，为未来农业温室气体减排政策的制定，提供了选择空间。

当然，作为学术前沿问题的研究，“中国温室气体减排及其政策导向”无论在研究内容还是在研究方法上尚存在诸多问题。关键是“中国温室气体减排及其政策导向”的作者通过硕士生培养和国内外联合攻关研究，已经建立了长期从事这项研究的完整体系。由此可以期望，未来的研究成果也将是丰硕的。

目 录

第一部分 基于中国温室气体减排的 GTAP-E 模型理论

第一章 研究背景	(3)
第一节 温室气体	(3)
第二节 二氧化碳温室气体	(7)
第三节 非二氧化碳类温室气体	(9)
第四节 农业温室气体	(10)
第五节 温室气体与气候变化	(12)
第六节 国际社会对气候变化的态度	(19)
第七节 气候变化问题从关注到重视	(35)
第二章 GTAP-E 模型理论与模型	(44)
第一节 GTAP 模型	(45)
第二节 环境 GTAP-E 模型理论与结构	(62)
第三章 中国温室气体减排的 GTAP-E 理论与模型	(80)
第一节 基础理论和模型	(80)
第二节 中国温室气体减排模块	(88)

第二部分 基于中国温室气体减排的 GTAP-E 实证研究

第四章 二氧化碳减排及其政策导向	(99)
第一节 研究背景	(99)
第二节 文献综述	(102)
第三节 二氧化碳温室气体减排的 GTAP-E 模型构建	(118)
第四节 二氧化碳温室气体的排放的基线预测	(130)
第五节 基于 GTAP-E 模型的二氧化碳排放政策模拟	(134)
第六节 讨论及政策建议	(142)
第五章 二氧化碳参与国际碳排放交易的潜力及政策意涵	(144)
第一节 研究背景	(144)

第二节	国内外研究综述	(146)
第三节	模型结构	(154)
第四节	中国二氧化碳参与国际排放交易的评估	(160)
第五节	结论和政策建议	(171)
第六章	中国非二氧化碳类温室气体减排潜力	(173)
第一节	研究背景	(173)
第二节	国内外文献综述	(175)
第三节	非二氧化碳类温室气体减排的 GTAP-E 模型构建	(186)
第四节	非二氧化碳类温室气体的排放的基线预测	(196)
第五节	非二氧化碳类温室气体减排的政策模拟分析	(205)
第六节	讨论及政策建议	(213)
第七章	中国非二氧化碳类温室气体排放参与国际排放的交易 评估	(215)
第一节	研究背景	(215)
第二节	理论	(215)
第三节	方法与模型	(217)
第四节	非二氧化碳类温室气体参与国际排放交易评估	(221)
第五节	结论和政策建议	(230)
第八章	中国农业温室气体减排及其政策导向	(231)
第一节	研究背景	(231)
第二节	国内外研究现状	(233)
第三节	研究方法	(246)
第四节	模型数据库	(256)
第五节	农业温室气体数据估算	(258)
第六节	模拟及结论	(272)
第七节	稻田甲烷排放征收碳税的模拟政策方案	(280)
第八节	农业氧化亚氮排放征收碳税的模拟政策方案	(288)
第九节	动物甲烷排放征收碳税的模拟政策方案	(295)
第九章	农业温室气体参与国际碳排放交易的潜力及政策意涵	(303)
第一节	研究背景	(303)
第二节	排放交易理论	(305)
第三节	模型	(306)
第四节	中国农业源温室气体参与国际排放交易评估	(311)
第五节	结论和政策建议	(326)

第十章 中国农业温室气体技术减排及其政策导向	(328)
第一节 研究背景	(329)
第二节 国内外文献综述	(336)
第三节 农业温室气体技术减排的 GTAP-E 模型的构建	(337)
第四节 基线预测	(351)
第五节 基于 GTAP-E 模型的农业温室气体减排技术政策模拟	(352)
第六节 结论和建议	(380)
参考文献	(381)

第三部分 GTAP-E 的动态机制

第十一章 GTAP 动态机制及其模型	(389)
第一节 研究背景	(389)
第二节 动态 GTAP 模型理论综述	(390)
第三节 动态 GTAP 模型理论与结构	(394)
第十二章 二氧化碳温室气体减排及其政策导向的动态模拟	(421)
第一节 二氧化碳温室气体减排政策模拟的动态机制	(421)
第二节 二氧化碳类温室气体的排放的基线模拟	(425)
第三节 基于动态 GTAP-E 模型的二氧化碳排放政策模拟	(431)
第四节 讨论及政策建议	(437)
第十三章 非二氧化碳类温室气体减排及其政策导向的动态模拟	(438)
第一节 非二氧化碳类温室气体减排政策模拟的动态机制	(438)
第二节 非二氧化碳类温室气体排放的动态基线模拟 (2004—2020 年)	(441)
第三节 讨论及政策建议	(463)
第十四章 农业温室气体减排及其政策导向的动态模拟	(465)
第一节 农业温室气体减排政策模拟的动态机制	(465)
第二节 农业温室气体减排的动态基线模拟 (2004—2020 年)	(467)
第三节 稻田甲烷排放征收碳税的动态模拟政策方案	(486)
第四节 农业氧化亚氮排放征收碳税的动态模拟政策方案	(500)
第五节 动物甲烷排放征收碳税的动态模拟政策方案	(513)
参考文献	(531)
后记	(532)

第一部分

基于中国温室气体减排的 GTAP-E 模型理论

第一章 研究背景

第一节 温室气体

一、温室气体概念

温室气体指的是大气中能吸收地面反射的太阳辐射，并重新发射辐射的一些气体，如水蒸气、二氧化碳、大部分制冷剂等。它们的作用是使地球表面变得更温暖，类似于温室截留太阳辐射，并加热温室内空气的作用。这种温室气体使地球变得更温暖的影响称为“温室效应”。《京都议定书》规定了6种温室气体，包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）和六氟化硫（SF₆）（表1-1）。虽然它们在大气中所占比例很小（除水汽外，所有大气中的温室气体总和只占大气总体积混合比的0.1%以下），但由于它们具有吸收长波辐射，使其返回地表的特性，因而使得地球外逸辐射减少，导致气温升高。

表 1-1 温室气体的种类和特征

种类	增温效应（%）	生命期（年）
二氧化碳	63	50~200
甲烷	15	12~17
氧化亚氮	4	120
氢氟碳化物	11	13.3
全氟化碳	11	50 000
六氟化硫及其他	7	—

资料来源：中国气象局，气候变化的科学、影响与对策，2003

应该指出,大气中少量温室气体的存在和恰到好处的温室效应,对人类是有益的。要是没有温室气体,近地层平均气温要比现在下降 33℃,地球会变成一个寒冷的星球。但是,自工业革命以来,由于人口增加、工业发展、城市增多、森林砍伐等原因,大气中的温室气体显著增加,温室效应持续加强,对社会和经济发展产生严重的影响。

表 1-2 大气中近 200 年主要温室气体含量的变化

年份	二氧化碳 ($\times 10^{-6}$)	CH ₄ (微克/升)	N ₂ O (微克/升)
1000~1750	280	700	270
2008	380	1 750	316
增幅 (%)	35	160	160

资料来源:中国气象局.气候变化的科学、影响与对策,2003。

从表 1-2 中可以看出,从 10 世纪到 18 世纪中期,大气中二氧化碳的浓度水平大致稳定地维持在 280ppmv^①。从 1750 年开始(大致相当于工业革命开始的年代),二氧化碳浓度开始上升,近 50~100 年更是呈现加速上升的趋势。这显然与工业化以后通过前述各种途径排放的二氧化碳大量增加密切相关。2000 年的二氧化碳浓度水平值 368×10^{-6} 不但超过了近千年的二氧化碳浓度值,而且可能是过去 42 000 年的最大值,也可能是过去 2 000 万年的最大值。至 2004 年 3 月,大气中的二氧化碳浓度已达到了 379ppmv。温室气体的排放有两种来源:自然的源和人类活动排放源,后者更为受到人们的重视。排放温室气体的人类活动中,最显著的是化石能源燃烧。

由于人类活动的参与,大气中温室气体浓度逐渐上升,从而导致全球气候变暖,加剧灾变气候(如洪水、干旱等)发生的频度、强度与广度,使海面上升,引起地球生态系统巨变;导致包括人类在内的地球生物圈适应性困难,从而在造成巨大的经济、社会、环境损失的同时,又造成巨大的生物多样性破坏。

二、温室气体原理

温室气体之所以有温室效应,是由于其本身有吸收红外线的能力。温室气体吸收红外线的能力是由其本身分子结构所决定的。

^① 注: 10^{-6} 为百万分之一体积单位,现国际标准表述为 $1\text{ppmv}=1 \times 10^{-6}$ 。

在分子中存在着非极性共价键和极性共价键。分子也因此分为极性分子和非极性分子。分子极性的强弱可以用偶极矩 μ 来表示。而只有偶极矩发生变化的振动才能引起可观测的红外吸收光谱, 则拥有偶极矩的分子就是红外活性的; 而 $\Delta\mu=0$ 即偶极矩不发生变化的分子振动不能产生红外振动吸收, 则分子是非红外活性的。也即, 温室气体分子是拥有偶极矩的红外活性分子, 所以温室气体才拥有吸收红外线, 保存红外热能的能力。

在各种温室气体中, 二氧化碳温室效应的贡献为 55%, 而大气中的二氧化碳有 70% 是燃烧化石燃料排放的。几种主要温室气体对温室效应的贡献如图 1-1 所示。

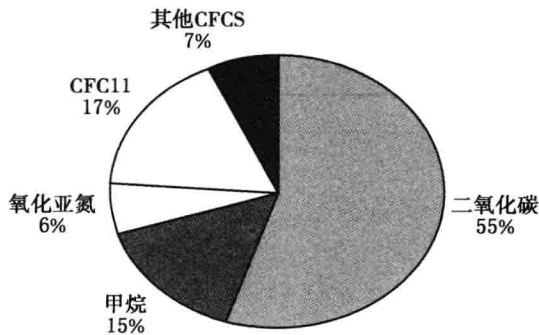


图 1-1 温室气体对温室效应的贡献

三、温室效应与全球气候变暖

温室效应增强是指破坏温室效应原来保持的辐射平衡, 温室气体增加使大气吸收率增加, 从而导致全球的气候变暖。温室气体的增加会减少红外辐射发射到太空, 使地球的气候系统需要调整吸收和辐射来达到新的平衡, 随之气候的各个方面都会发生变化。以温度和降水为例, 温度的平均值会升高, 离差可能会有所增大, 中高纬度地区高温出现的概率肯定会增大, 特别是冬季, 而极端低温事件将减少; 全球平均降水量会增加, 但大部分平均降水量增加的地区很可能出现大的年际变化, 极端降水事件 (暴雨和干旱) 会增多, 北半球中高纬度地区和南极地区的冬季降水量增加, 中纬度夏季雨带略向高纬度方向移动, 中低纬度地区有的会增加, 有的会减少。亚洲夏季风的降水频率将增加, 同时, 降水的极值也将比平均值增加得更大, 降水事件的强度也将增加。不同的地区将发生更频繁的干旱和

洪涝。简单地讲，在密闭的温室中，玻璃可使太阳辐射进入温室，而阻止温室内部的辐射热量散失到室外去，从而使室内温度升高，这就是温室效应。

地球大气也有类似的温室效应。氮气和氧气占大气的大部分（表 1-3 给出了大气的详细组成），它们既不吸收也不发射热辐射。而在包围地球的大气中，包含以二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）及氧化亚氮（N₂O）等痕量气体为代表的其他微量气体如氢氟碳化合物（HFCs）、全氟碳化合物（PFCs）及六氟化硫（SF₆）等，这些气体统称为温室气体。它们可以让大部分太阳光辐射地面，而强烈吸收地面放出的红外辐射，只有很少一部分热辐射散失到宇宙空间中去，从而形成大气的温室效应（表 1-3）。

表 1-3 大气组成：主要成分（氮气和氧气）和温室气体（1993 年）

气体	含量
氮气（N ₂ ）	78%
氧气（O ₂ ）	21%
水汽（H ₂ O）	0%~2%
二氧化碳（CO ₂ ）	380×10^{-6}
甲烷（CH ₄ ）	1.8×10^{-6}
氧化亚氮（N ₂ O）	0.3×10^{-6}
含氟氯氢（CFCs）	0.001×10^{-6}
臭氧（O ₃ ）	$0 \sim 1\,000 \times 10^{-6}$

资料来源：维基百科：<http://zh.wikipedia.org>

ppm 表示某成分的体积分数为 10^{-6} ，以下同

四、温室气体对地球产生的影响

温室气体所引起的对气候变化的影响是全方位、多尺度和多层次的，既有正面影响，也有负面效应。人们对其负面影响更为关注，这是因为不利影响可能涉及到全球各地社会经济的方方面面，甚至危及人类的生存与发展。气候变暖对地球的不利影响主要包括：

第一，首当其冲是冰川融化，海平面上升，对沿海、海岛地区的生态及居民生产、生活造成威胁。

第二，加剧旱涝及其他气象灾害。气候变暖影响到气压的正常波动和洋流的规则运动，大气环流因此而局部变化，由此带来的降水、风暴及气温分布失常，使地表径流、旱、涝灾害频率加快加剧。

第三，危及人类健康。气候变暖会增加疾病发生率和人员死亡率，助长热带疾病的滋生和蔓延，增加各种传染病，并导致蚊虫增加，可能造成疟疾、登革热和其他虫媒疾病的肆虐。

第四，科学家预测气候变化将使农业生产的不稳定性增加，导致一些地区水质的变化以及水资源供需矛盾日益突出。

第五，物种加速灭绝。2004 年的《自然》杂志曾预测，如果气候变暖的趋势得不到遏制，到 2050 年，全世界可能有 100 万个物种灭绝，约占陆地生物物种 15%~37%。

从气候变暖对全球的危害可以看出，有效的进行温室气体减排，一方面可以控制全球的气候变暖，减少自然灾害的发生和物种的灭绝；另一方面将有利于人类的生产（尤其是农业生产和旅游业）和生活，并减少疾病的发生率。所以说，进行温室气体减排从综合效益上讲，既降低了生产成本和预防灾难的成本，又降低了健康成本。

总之，温室气体排放的增加而引起的全球气候变暖问题，以及因此所需要采取的全球温室气体的减排政策，不仅是一个环境技术问题，更是一个复杂的社会经济问题，究其根本，温室气体减排的核心问题是经济问题。因此，如何以低成本有效的方式进行温室气体减排，以及如何在广泛范围内采取有效的减排政策，这是一个重要的研究命题。

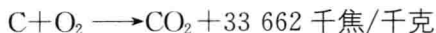
从温室气体减排的方法上看，温室气体减排主要有技术方法、行政方法 and 经济方法。从温室气体减排的对象看，温室气体减排的对象主要是减少由于人为活动而产生的温室气体，人为活动产生的温室气体主要包括工业温室气体排放和农业温室气体排放。

第二节 二氧化碳温室气体

二氧化碳 (CO_2)，具有直线对称型 ($\text{O}=\text{C}=\text{O}$) 极其稳定的化学分子结构，是大气的组成成分之一，虽然它在大气中所占的比例不到大气总体积的 0.4%，但却与地球上的生命活动密切相关。它是影响人类生存的大气环境的要素之一：首先，它是植物进行光合作用必不可少的原料，而光合作用则为地球上生物食物链提供了最初级的能量来源；其次，大气二氧化碳在维持地球系统的辐射热平衡中担任着重要的角色，大气中二氧化碳含量的改变，必将会引起地球气候的变化，这种潜在危险如今已得到全世

界的普遍关注。二氧化碳在大气中的寿命为 50 年。

在矿物燃料的燃烧过程中二氧化碳是主要排放物之一。例如，碳是煤最主要的组成元素，在可燃煤中的含量约为 60%~97%，随煤化程度的增加而增大。当煤完全燃烧时生成二氧化碳并放出热量，即



随着人类社会进步，工业化的加速发展，愈来愈多的二氧化碳被排入大气中，现在已有充分证据表明，大气中二氧化碳含量自工业革命以来，一直在增长。人们自 1958 年开始，对大气二氧化碳进行了标准化观测，结果表明，1958 年到 2008 年的 50 年中，大气二氧化碳的含量从原有的 315ppmv 增加到 380ppmv，且每年仍在以 0.4%~0.5% 的速度增长。

二氧化碳对全球温室效应贡献的百分比为 55%，而工业是二氧化碳的主要排放源。工业中二氧化碳的排放主要是由于现代化工业发展过多燃烧煤炭、石油和天然气。其他二氧化碳的排放主要是来自森林被破坏过程中有机碳的氧化所致。

工业革命以前，大气中的 CO_2 体积分数平均值约为 280ppmv，变化幅度大约在 10ppmv 以内。工业革命之后，碳循环的平衡开始被破坏，造成大气中的 CO_2 浓度增加，1995 年大气中的 CO_2 体积分数达到 360ppmv，2008 年大气中的 CO_2 体积分数达到 380ppmv。自 1980 年以来，二氧化碳排放的平均增长速率是 0.4%/年。

目前，全世界每年燃烧煤炭、石油和天然气等化石燃料排放到大气中的 CO_2 总量折合成碳大约是 60 亿吨；每年由于土地利用变化和森林被破坏释放约 15 亿吨碳。而每年大气中碳的净增加大约是 38 亿吨，其余的 37 亿吨碳则被海洋和陆地生物圈吸收，其中，海洋吸收约 20 亿吨，陆地生物圈吸收约 17 亿吨。

可以看出，每年排放到大气中的 CO_2 约有 50% 留在大气中。假如由于化石燃料燃烧所排放到大气中的 CO_2 以每年 2% 的速率（上限）增长，到 2040 年前后 CO_2 的体积分数就将达到 550ppmv；若以每年 1% 的速率（下限）增长，则到 2085 年前后 CO_2 的体积分数也将达到 550ppmv。

可以看出，工业的二氧化碳排放是温室气体的主要排放源之一，二氧化碳是最重要的温室气体，其排放量、排放比重在温室气体中都是最大的。而且随着经济的发展二氧化碳增长速度将会越来越快。所以，为二氧化碳减排制定合理的政策不仅有利于应对气候变化，也有利于经济的可持续发展。