

◎ 李 虎 李建政 王虹扬 王立刚 等 / 著

中国农业减缓气候变化 对策与关键技术

非 外 借

中国农业科学技术出版社

◎ 李 虎 李建政 王虹扬 王立刚 等 / 著

中国农业减缓气候变化 对策与关键技术



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国农业减缓气候变化对策与关键技术 / 李虎等著. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5116-3393-4

I. ①中… II. ①李… III. 农业-影响-气候变化-研究-中国
IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 292432 号

责任编辑 于建慧

责任校对 马广洋

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)82109702(发行部)

(010)82109709(读者服务部)

传 真 (010)82106650

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 710mm×1 000mm 1/16

印 张 10.5

字 数 148 千字

版 次 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

定 价 50.00 元

▶ 版权所有·翻印必究 ◀

《中国农业减缓气候变化对策与关键技术》

著者名单

主 著：李 虎 李建政 王虹扬 王立刚

副主著：李贵春 周 颖

著 者：谢海宽 丁武汉 王卿梅 徐 驰

序 言

气候变化不仅是当今世界人类发展面临的严峻挑战，也是国际经济、政治与外交博弈的重大全球性问题。我国政府高度重视应对气候变化工作，积极履行与发展程度相适应的国际责任与义务，于2015年6月，如期正式向联合国提交了“国家自主决定贡献”，向世界做出了郑重的承诺和实施减缓、适应气候变化的政策与行动，显现了我国作为全球第二大经济体应该肩负的责任，让世界看到了中国方案。

我国政府非常重视科技对适应与减缓气候变化的支撑作用。科技部、中国气象局、中国科学院和中国工程院等部门联合发布了3次《气候变化国家评估报告》，为依靠科技创新应对气候变化提供了依据。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》把气候变化相关内容确定为科技发展的优先领域和主题。“十二五”期间，组织实施了“气候变化影响与适应”“二氧化碳捕集封存与利用”“国际谈判与国内减排”“气象预报及人工影响天气”等一系列的技术研发与示范项目。由国家发展和改革委员会组织的，各个部门参加的清洁发展机制项目（CDM），从不同行业适应与减排的角度出发，安排实施了不同行业碳排放监测、评价和核查的项目与技术，为推动我国碳交易市场的形成和应对气候变化都起到了积极的推动作用。

农业是受气候变化影响最直接的产业，我国是一个幅员辽阔、种养殖类型多样的农业大国，近10年来，我国政府在农村新能源开发利用、农业节能减排方面开展了卓有成效的工作，形成了以国家自主贡献预案目标指导下，《国家应对气候变化国家方案》统领的农业应对气候变化的产业与技术推广体系，尤其是在针对我国农业生产实际情况，实施了农业应对气候变化的对策和减缓技术的研究。由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所王立刚研究员带领下的“碳氮循环”创新团队一直从事农业生态系统碳氮气体排放过程与减排机理、减排技术与政策方面的研究工作，积累了大量的研究成果与技术储备。

由李虎、李建政、王虹扬、王立刚等著述的《中国农业减缓气候变化



对策与关键技术》以“农业减缓气候变化”为核心，在分析气候变化对我国农业生产影响的基础上，梳理了全球主要国家在农业减缓气候变化方面的对策，立足于长期定位试验研究的结果，系统总结了我国农业在减缓气候变化的政策与适用技术，以期促进农业领域应对气候变化相关研究的开展，扎实推进农业绿色发展的步伐，对我国农业领域节能减排具有一定的推动作用。

农业部农业生态与资源保护总站

2017 年 12 月

前 言

气候变化是目前全人类共同面临的全球性重大生态环境问题与环境风险，影响着人类的生存、生产与生活。为了控制温室气体排放和气候变化的危害，为了全人类共同的家园，人们逐渐形成了共识，从最初的《气候变化框架公约》《京都议定书》到《巴黎协定》，强调“气候变化对人类社会和地球构成紧迫的可能无法逆转的威胁，这就要求所有国家尽可能开展最广泛的合作，参与有效和适当的国际应对行动，以期更快地减少全球温室气体排放量”，把全球平均温升控制在明显低于工业化前水平的 2°C 之内。相对于适应，近年来则更强调人类活动对减缓气候变化的作用和意义。

农业生态系统是一种受人类强烈干预的人控系统，也是自我调节机制较为薄弱的生物系统，是气候变化的主要承受者和受害者，因此，受气候变化影响最为突出，也最显著，即使到目前为止，气候变化对农业的影响是复杂、多方面而又难以准确预测的，而除了农业适应气候变化外，当前，更多的关注则是农业在减缓气候变化方面的作用。农业温室气体约占全球总排放量的 13.5%，与交通运输温室气体排放量相当，更需要值得关注的是全球范围内农业排放 CH_4 占由人类活动造成的 CH_4 排放总量的 50%、 N_2O 占 60%，如果不实施有效的固碳减排技术和额外的农业政策，预计到 2030 年农业 CH_4 和 N_2O 排放量将会比 2005 年分别增加 60% 和 35%~60%。控制农业温室气体排放对减缓全球气候变化具有重要作用，尤其是在未找到控制工业 CO_2 排放替代技术前的最近 20~30 年间，农业减排成为减缓大气 CO_2 浓度升高的关键。

我国是一个人口众多的农业大国，农田施肥量和水稻种植面积均为全球第一。进入 2000 年以来，中国年氮肥用量达到 2 000 万 t（折纯）以上，消费总量为世界第一，约占全球总量的 30%。猪、牛、羊和禽饲养量分别占世界 50%、8.5%、18%、28%，畜牧业温室气体排放量范围为 4.05 亿~4.52 亿 t CO_2 当量。据估算，2005 年稻田 CH_4 排放 589 万 t，农田排放 N_2O 为 78 万 t。可见，我国农田生产活动基数数量大、增长快，如果没有相应的控制措施，农田温室气体排放量也会相应的迅速增大。我国政府、



科研人员以及农民针对农业减排近年来开展了卓有成效的工作，认识到全国农田氮肥当季利用率仅有 30% 左右，如果氮肥利用率提高 1 个百分点，全国就减少 250 万 t 标准煤氮肥生产的能源消耗，推广稻田间歇灌溉可减少单位面积稻田 CH_4 排放 30%，推行缓释肥、长效肥料可减少农田 N_2O 排放 50%~70%。我国主要农业区表层土壤有机碳库比较贫乏，耕地平均有机碳含量低于世界平均值的 30% 以上，低于欧洲 50% 以上，研究表明，我国农田固碳潜力在 2.2~3PgC，增汇减排总量每年可达 46.8TgC，约相当于我国当前每年碳排放总量的 6%。可见，我国农业固碳减排潜力巨大，并且合理固碳减排技术选择和应用被认为是保障粮食安全、提高土壤肥力、减少农田温室气体排放的“多赢”策略。

本著作系统梳理了气候变化对我国主要区域农业生产的影响，概括了欧美等国家（地区）农业减缓气候变化的对策，在立足于“十二五”建立的农业源温室气体监测与控制技术试验点长期研究的基础上，总结集成了旱地粮食作物、水稻田、经济作物、畜禽养殖等 4 个方面近 30 项在保持产量（生物量）前提下的固碳减排技术，并对每项技术的固碳减排效应进行了分析，总结了我国农业在减缓气候变化，减少温室气体排放方面的政策与行动。内容是众多相关研究者共同的成果，特别是控制技术的总结集成，可以说是集体智慧的结晶。在这里，特别感谢中国农业大学巨晓棠教授、孟凡乔副教授、董仁杰教授、潘志华教授，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所董红敏研究员、李玉娥研究员，山东省农业科学院农业资源与环境研究所江丽华研究员，中国科学院沈阳应用生态研究所徐慧研究员，安徽农业大学马友华教授，甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所马忠明研究员、吕晓东博士，西北农林科技大学郭胜利教授，辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所刘慧颖研究员，中国科学院大气物理研究所郑循华研究员等领导的团队成员对本著作的支持与贡献。感谢农业部农业生态与资源保护总站和中国农业科学院科技创新工程对本著作出版的支持。全书共分为四章，第一章由李虎、李贵春负责编写，第二章、第三章由李建政、李虎、王虹扬、周颖负责编写，第四章由王立刚负责编写。全书由王立刚、李虎负责最后校对。

由于作者的写作水平所限，本书中难免出现疏漏之处，恳请广大读者和同行批评指正。

著 者

2017 年 10 月

目 录

第一章 全球气候变化及其对农业的影响	(1)
第一节 全球气候变化概况	(1)
第二节 温室气体与气候变化	(3)
第三节 我国气候变化的观测事实	(6)
第四节 气候变化对我国农业的影响	(8)
第二章 全球主要国家农业减缓气候变化的对策	(26)
第一节 国外农业减缓气候变化主要政策	(27)
第二节 国外农业减缓气候变化主要技术	(34)
第三章 我国农业减缓气候变化的对策	(48)
第一节 加强政策的制定和实施	(48)
第二节 推进科学研究与技术开发	(51)
第三节 提高公众应对气候变化意识	(55)
第四节 建立应对气候变化机构和体制	(57)
第四章 我国农业减缓气候变化的适用技术	(59)
第一节 旱地粮食作物农田温室气体减排技术	(59)
第二节 水稻田温室气体减排技术	(93)
第三节 经济作物种植模式温室气体减排技术	(115)
第四节 畜禽养殖与废弃物处理温室气体减排技术	(135)
参考文献	(147)

第一章 全球气候变化及其对农业的影响

第一节 全球气候变化概况

人类与赖以生存的环境应和谐发展。随着科学技术的不断提升，人类社会在经济方面取得了快速稳定发展，社会文明也有了很大的进步，但由于对自然资源的不合理开发利用，在全球工业化、城市化和现代化快速发展的同时，人类与自然环境关系的不协调在加剧。这种长期积累的不符合自然生态规律的人为经济行为，对生态环境造成了严重破坏，形成了生态危机。在人类面临的生态危机中，影响面最广、后果最严重的就是温室效应导致的全球气候变暖。特别是在工业革命之后，人类与自然环境的关系更是发生了巨大变化，并且地区性的环境问题逐渐发展成为全球性问题，被世界各国所关注。

全球气候变化（Climate Change）是指在全球范围内，气候平均状态在统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间（典型的为 10 年或更长）的变动。气候变化的原因可能是地球系统的内部进程，或是外部强迫，或者是人为地持续对大气组成成分和土地利用的改变。《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）第一条将气候变化定义为“在特定时期内所观测到的在自然气候变率之外，可直接或间接归因于人类活动改变全球大气成分所导致的气候变化”（IPCC，2007）。

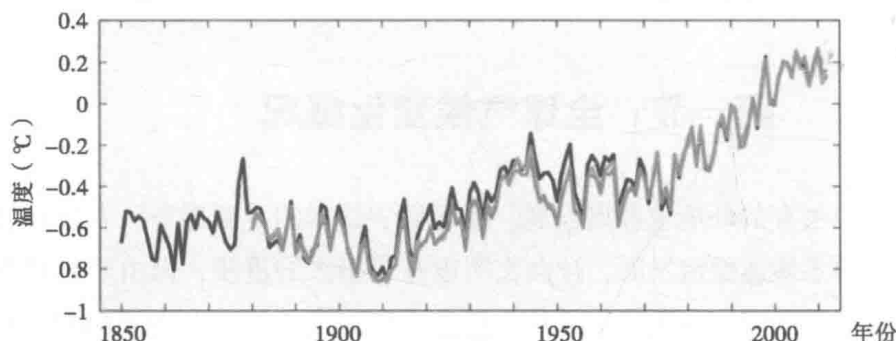
全球气候变暖已成为不争的事实，并引起了国际社会和科学界的高度关注。为此，世界气象组织（WMO）和联合国环境规划署（UNEP）在 1988 年联合建立了政府间气候变化专门委员会（IPCC），就气候变化问题进行了



科学评估。2014 年 11 月 2 日，IPCC 第一工作组在丹麦哥本哈根发布的第五次评估报告《气候变化 2013：自然科学基础》指出，20 世纪 50 年代以来气候系统的许多变化是过去几十年甚至千年以来所未见的。

(1) 大气 过去 30 年，每 10 年地表温度的增暖幅度高于 1850 年以来的任何时期。在北半球，1983—2012 年可能是最近 1 400 年气温最高的 30 年（图 1-1）。

a.全球平均陆地和海表温度异常变化（相对于1986—2005年间的平均值）



b.全球平均温室气体浓度变化

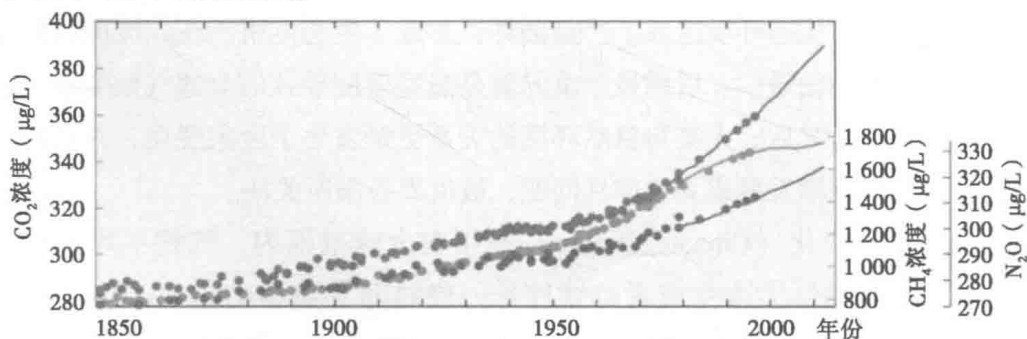


图 1-1 全球平均陆地和海表温度异常变化（IPCC，2014b）

(2) 海洋 海洋变暖主导气候系统中储存能量的增加，占 1971—2010 年储存能量的 90% 以上。

(3) 冰冻圈 过去 20 年，格陵兰岛和南极冰盖已大量消失，世界范围内的冰川继续萎缩，且北极海冰和北半球春季积雪也呈持续减少的趋势。

(4) 海平面 自 19 世纪中叶，海平面上升的速度一直高于过去两千年的



平均速率, 1901—2010 年, 全球海平面平均上升了 0.19m (0.17~0.21m)。

(5) 碳循环和其他生物地球化学循环 大气中 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 浓度已经上升到过去 80 万年来的最高水平。 CO_2 浓度已经比工业革命前上升了 40%, 主要来自于石化燃料燃烧的排放, 其次是由于土地利用变化的净排放。

全球气候变暖, 将会给全球生物圈带来很大影响。第一, 全球变暖导致海水膨胀, 冰川融化, 海平面上升, 沿海等低地将被淹没, 据预测, 到 2100 年, 全球平均温度将升高 $1.8\sim 4^\circ\text{C}$, 并将导致海平面升高 $18\sim 59\text{cm}$, 例如南太平洋的一个小国图瓦卢从 2002 年被迫举国搬迁, 正是由温室效应造成的海平面上升所致。第二, 对农业生产也会产生影响, 一方面适当的增加温度, 有利于提高高纬度国家作物产量, 但另一方面也会加剧低纬度国家的干旱。中国科学院院士秦大河表示, 气候变暖会导致农业的减产, 据估算, 到 2030 年, 我国三大作物 (小麦、水稻、玉米) 将会减产 $5\%\sim 10\%$, 农业布局 and 结构发生变化, 加剧病虫害的发生, 增加农业成本。第三, 将会改变整个生态圈内的水循环, 导致水资源的不稳定性增加, 水分供需矛盾增加。IPCC 第四次报告曾指出, 若全球平均气温上升 4°C , 全球将会有 30 多亿人面临缺水问题。第四, 气温上升对生态环境也有显著影响, 冰川分布范围缩小, 全球雪线高度提高, 热带范围扩大, 旱涝、火灾等自然灾害趋于集中和频繁, 以致物种灭绝速度加快。

第二节 温室气体与气候变化

气候变化主要来自于自然原因和人为原因两方面, 自然原因包括太阳活动、大气环流、火山活动、地壳运动等; 人为原因则包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等温室气体的大量排放和森林的大量破坏。从长期来看, 地球从太阳吸收的能量必须同地球及大气层向外散发的辐射能相平衡。大气中的水蒸气、二氧化碳和其他微量气体 (像甲烷、臭氧、氟利昂等) 可以透过太阳的短波辐射, 使地球表面升温, 但其阻挡了地球表面向宇宙空间发射的长波辐射, 这类气体有类似温室的效应, 被称为“温室气体”。温室气体吸收长波辐射并再反射回地球, 从而减少地球向外层空间的能量净排放, 大气层和地球表面



将变得热起来，这就是“温室效应”（图 1-2）。大气中能产生温室效应的气体已经发现近 30 种，其中水汽是温室效应最强的温室气体，对温室效应有很强的反馈效应。虽然水汽的全球增温潜势是 CO_2 的两倍，但其大气中水汽浓度取决于地表 70% 的海洋，受人为影响极小，因此在考虑温室气体排放时不考虑水汽。在所有温室气体中， CO_2 是影响地球辐射平衡最主要的人为排放温室气体，有研究发现，自 1860 年以来，大气中二氧化碳浓度的增加与全球平均气温的升高比较吻合，证明温室气体浓度提高是导致全球气温上升的一个重要原因。

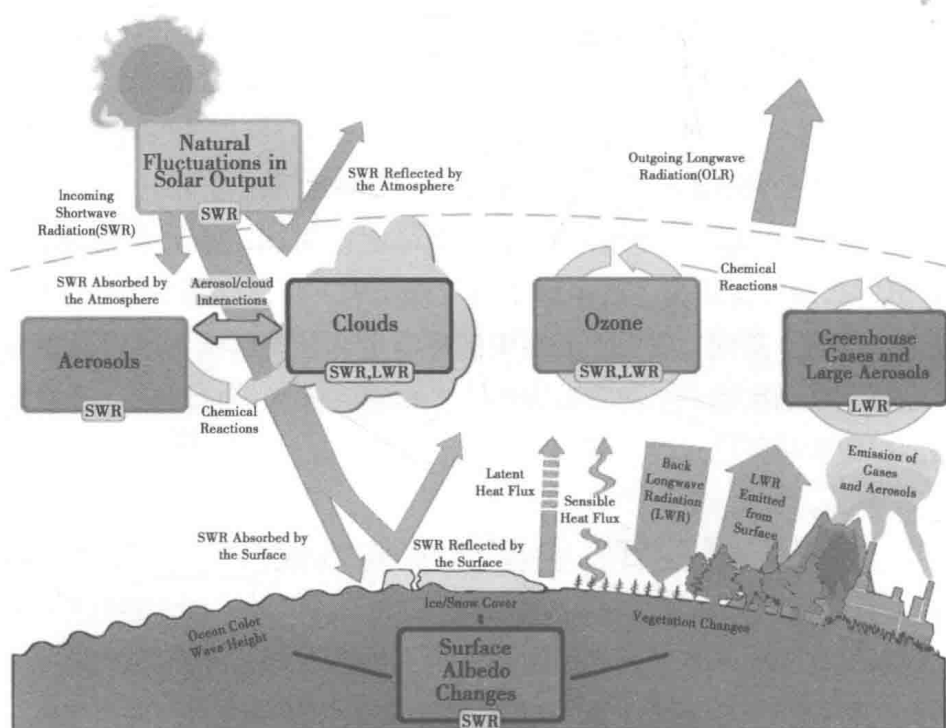


图 1-2 全球温室效应模式 (IPCC, 2013)

人类活动主要通过影响温室气体排放进而影响气候变化。20 世纪以来，全球气候变暖一半以上由人类活动造成的，IPCC 第五次评估报告将这个事实的可信度从 2007 年的 90% 以上提高到了 95% 以上。大气中 CO_2 、 CH_4 、



N_2O 作为对全球温室效应贡献最大的 3 种气体, 据 IPCC (2013) 统计数据 显示 (图 1-3), 2011 年大气中 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 的含量已经达到 390.5 mL/L 、1 803.2 $\mu\text{L/L}$ 、324.2 $\mu\text{L/L}$, 分别比 1750 年提高了 40%、150%、20%。在 1951—2010 年期间, 温室气体导致地球表面平均温度上升了 0.5~1.3 $^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2013)。人类工业化前的 8 000 年间, 大气中 CO_2 浓度仅增加了 20 $\mu\text{L/L}$, 几十年到几百年尺度上的变化小于 10 $\mu\text{L/L}$, 并且这种变化主要来源于自然过程。在过去的 250 年里, 大气 CO_2 增加了 100 $\mu\text{L/L}$, 但自工业革命开始, 大气中的 CO_2 由 258~275 $\mu\text{L/L}$ 增长到了 2005 年的 379 $\mu\text{L/L}$, 大气中的 CO_2 浓度呈现明显的上升趋势。且数据显示, 大气中的 CO_2 浓度第一次增加 50 $\mu\text{L/L}$ 用了将近 200 年的时间, 但第二次增加仅用了 30 年左右。根据政府间气候变化专门委员会 (IPCC, 2013) 的报告, 自工业化以来, 人为温室气体排放上升, 导致大气中 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等温室气体浓度达到了过去 80 万年以来的最高水平。1750—2011 年的 260 多年间, 人为累计 CO_2 排放达到了 20 400 亿 t, 其中近一半为近 40 年所排放。

在过去的 1 万年间, 大气甲烷的浓度一直维持在 580~730 $\mu\text{L/L}$, 但近 200 年间大气中的甲烷浓度增加了约 1 000 $\mu\text{L/L}$, 也是迄今大气中 CH_4 浓度变化最快的一段时间。资料显示, 在过去的 1 万年间 N_2O 的变化小于 10 $\mu\text{L/L}$, 然而在近几十年间, 大气中的 N_2O 每年以 0.8 $\mu\text{L/L}$ 的速度线性增加。

大气中温室气体浓度的升高引起太阳辐射增加, 导致全球变暖的事实早在 20 世纪 70 年代就被科学家们所认识, 且随着研究手段和方法的提高, 科学家们对气候变暖的认知水平越来越高。气候变暖不仅仅是气温高低的问题, 而是全球性的环境问题, 更涉及人类社会生产、消费和生活方式及生存空间等各个领域, 关系到了全球的可持续发展。针对该问题, 1990 年 12 月联合国第 45 届大会决定设立政府间气候变化谈判委员会, 并于 1994 年 3 月 21 日《联合国气候变化框架公约》正式生效; 1997 年 12 月 11 日, 在日本京都召开的《联合国气候变化框架公约》缔约国第三次会议上, 通过了旨在通过削减各国温室气体排放、遏制全球变暖的《京都议定书》, 并于 2005 年 2 月 16 日正式生效; 2009 年 12 月 7—18 日在丹麦首都哥本哈根召开气候变化大会, 并通过一份新的《哥本哈根议定书》, 以明确关键问题之所在, 各



国减排之责任，就工业化国家的减排额要求，发展中国家的如何控制排放和国际间协作达成了共识。

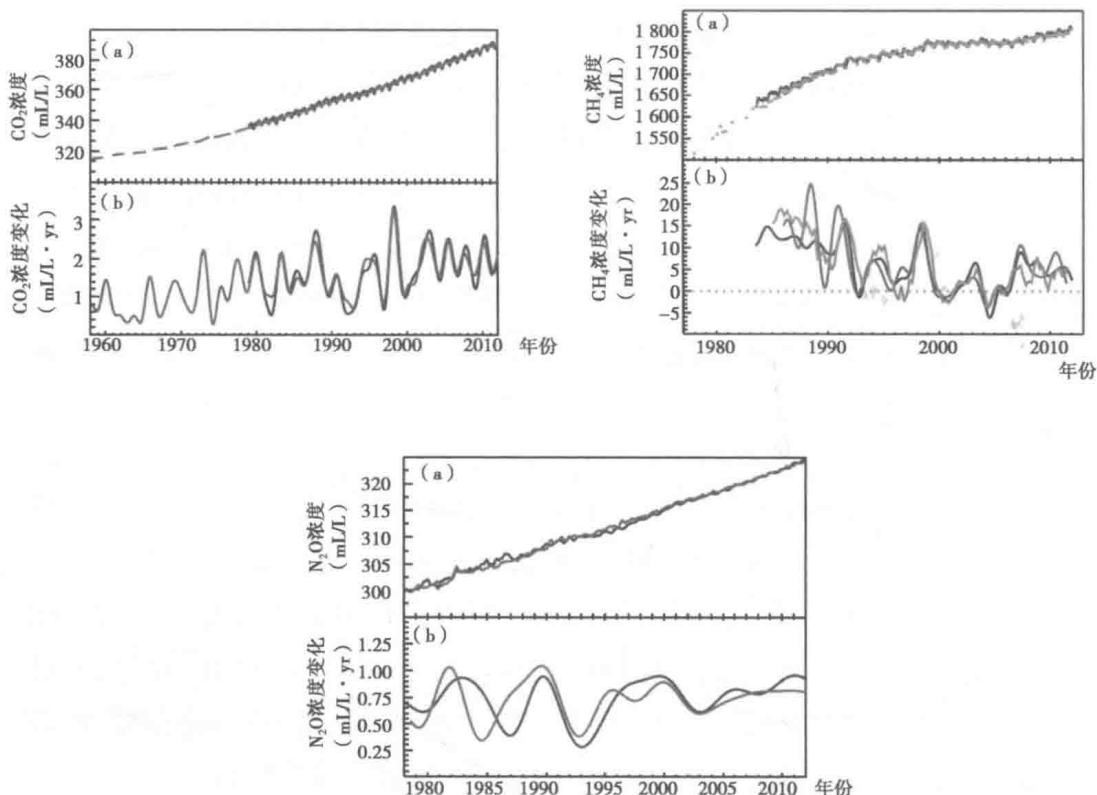


图 1-3 大气中 CO₂、CH₄ 和 N₂O 浓度及排放速率的历年变化趋势 (IPCC, 2013)

第三节 我国气候变化的观测事实

据我国《第二次气候变化国家评估报告》显示，受全球气候变化影响，我国的气候也发生了巨大变化。

(1) 温度变化 近百年来 (1909—2011 年)，我国陆地区域平均增温 0.9~1.5℃，近 15 年来气温上升趋势缓，但当前仍处于百年来气温最高阶段。

(2) 降水变化 近百年和近 60 年全国平均降水量未见显著的趋势性变化，



但区域分布差异明显,其中西部干旱、半干旱地区近30年来降水持续增加。

(3) 海平面变化和冰川冻土变化 中国沿海海平面1980—2012年期间上升速率为2.9mm/年,高于全球平均速率。20世纪70年代至21世纪初,冰川面积缩减约10.1%,冻土面积减少约18.6%。

(4) 极端气候事件变化 近50年来,我国主要极端天气与气候事件的频率和强度出现了明显变化。华北和东北地区干旱趋重,长江中下游地区和东南地区洪涝加重。高温、干旱、强降水等极端气候事件频率有增加、强度增大的趋势。未来100年极端天气与气候事件发生的频率可能性增大。报告预测,中国未来仍将面临持续增温、降水变多、海平面上升的趋势。到21世纪末,全国可能增温1.3~5.0℃,相比之下,全球平均水平为1~3.7℃;全国降水平均增幅为2%~5%,北方降水可能增加5%~15%,华南地区降水变化不显著;中国海区海平面到21世纪末将比20世纪高出0.4~0.6m。

全球气候变暖将进一步加剧自然生态系统和人类社会面临的环境风险,并产生新的风险。根据中国气象局的分析,气候变化和极端天气气候事件造成中国各地旱涝频发,改变了中国水资源的时空分布。另外,由于生态安全风险升级,海洋、海岸带、森林、草场等生态系统将受到严峻考验,且公众的健康安全风险也在加大,高温、干旱、洪涝、雾霾等已经成为危害人类健康的重要因素。气候变化也对我国粮食生产产生了重大影响,据统计,气候变暖使全国冬小麦、玉米和双季稻的平均单产分别减少5.8%、3.4%和1.9%;同时因水资源短缺,我国每年有1800万~3200万 hm^2 耕地受干旱影响,占播种面积12%~22%,且受旱面积仍在不断增加。

20世纪中叶以来,中国的气候变暖幅度几乎是全球的两倍;21世纪以来,气象灾害造成的直接经济损失约相当于国内生产总值的1%,是同期全球平均水平的8倍。我国适应气候变化任务仍十分繁重,必须调整能源结构,以控制温室气体排放,保障气候安全。中国社会科学院城市发展与环境研究所所长潘家华指出,造成气候变化的直接因子就是 CO_2 等温室气体的排放。据统计,大气中 CO_2 , CH_4 和 N_2O 的浓度至少已上升到过去80万年以来前所未有的水平,将造成地球持续增暖,并导致气候系统组成部分发生变化。气候专家表示,相对于1850—1900年,21世纪末全球表面温度变化可



能超过 1.5°C ，甚至有可能超过 2°C 。科学家们提出了 2°C 临界值（与工业化前水平相比的全球平均气温上升幅度维持在 2°C 以下），一旦温度增长的幅度超过了 2°C ，负面影响会明显地增加，人类会面临更大的风险。若气温升幅达到或超过 4°C ，不仅会导致大量濒危物种灭绝，发生影响大和范围广的极端气候事件的可能性也会大大增加。丁一汇等认为，以新的排放情景计算，如果全世界共同努力进行强有力的减排，温度上升可能不会超过 2°C ，至少在一百年之内不会超过 2°C 。但是如果全世界不进行强有力的减排，或者只有采取中等力度的减排措施，可能在 21 世纪的后期就会超过 2°C 。

自工业革命以来，全球二氧化碳浓度增加了 40%，主要是由于大量石化燃料的排放。然而中国是一个农业大国，拥有约 13.3 亿 hm^2 的农田。这些田地的种植、翻耕、施肥、灌溉等管理措施不仅长期改变着农田生态系统中的化学元素循环，而且给全球气候变化带来影响。农业生态系统中温室气体的产生是一个复杂过程。土壤中的有机质在气候、植被、土质及人为扰动的条件下，可分解为无机的碳（C）和氮（N），无机 C 在好氧条件下多以 CO_2 形式释放进入大气，在厌氧条件下则可生成 CH_4 。无机铵态 N 可在硝化菌作用下变成硝态 N，而硝态 N 在反硝化菌作用下转换成多种状态的氮氧化合物， N_2O 可在硝化和反硝化过程中产生。在气候、植被、土质及农田管理诸条件中，任何一个因子的微小变化，都会改变 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的产生及排放。世界各地大量的定点观测表明，农田这些气体的排放在空间和时间上都存在很大的变异性。

第四节 气候变化对我国农业的影响

一、气候变化对主要粮食作物生产的影响

1. 南方两熟区水稻生产变化

自 1980 年以来，南方稻区早稻光温生产潜力均呈不断升高的趋势，一季中稻及晚稻光温生产潜力呈现下降趋势（图 1-4）。而同一时期早、中、晚稻实际单产均呈现明显的上升趋势，一季中稻及晚稻实际单产升高的趋势更为明显。早稻光温生产潜力上升趋势极为显著，且增加的幅度大于实际单