

国家可持续发展实验区应对气候变化
能力建设培训教材系列丛书

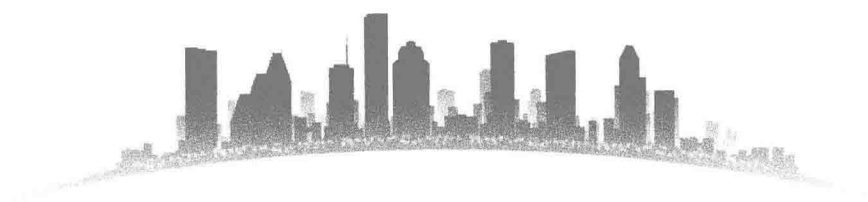
应对气候变化科技读本

王荣华 李振山 编著



 科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

中国清洁发展机制基金赠款项目资助（项目编号：1214073）



应对气候变化科技读本

王荣华 李振山 编著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

应对气候变化科技读本 / 王荣华, 李振山编著. —北京: 科学技术文献出版社, 2015. 4 (2016. 4重印)

ISBN 978-7-5189-0028-2

I. ①应… II. ①王… ②李… III. ①气候变化—对策—普及读物
IV. ①P467-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 090987 号

应对气候变化科技读本

策划编辑: 孙江莉 责任编辑: 孙江莉 责任校对: 赵 媛 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官 方 网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 虎彩印艺股份有限公司
版 次 2015 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 2 次印刷
开 本 710×1000 1/16
字 数 244千
印 张 14.75
书 号 ISBN 978-7-5189-0028-2
定 价 38.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

丛书编委会

主 编 陈传宏 郭日生

副主编 孙成永

编 委 (按姓氏笔画)

王志强 王荣华 庄贵阳 朱守先 张巧显 李振山

徐禄平 袁惊柱 康相武 黄圣彪 曾贤刚 谭秋成

序 言

气候变化是目前全球热点问题之一，在国际和国内各个领域引起了广泛关注。气候变化影响广泛，包括生态环境、农业、人类健康、经济等多个方面，因此，开展应对气候变化工作的重要性不言而喻。

国家可持续发展实验区是由国家和地方政府部门共同推动的探索可持续发展模式和能力建设的试点地区，从 1986 年建设以来，实验区已遍及全国 90% 以上的省、市和自治区，形成了成熟的工作机制和工作模式，在实验区开展应对气候变化工作具有坚实的基础，可产生良好的示范效果，对推动落实国家温室气体减排目标具有重要意义。

为提高国家可持续发展实验区应对气候变化的能力，中国清洁发展机制基金设立了赠款项目——“国家可持续发展实验区应对气候变化能力建设研究与示范”，本书即为该项目的成果之一，属于公益性图书。书中对气候变化影响及其评估进行了阐述，主要介绍了应对气候变化的科学技术，既有具体技术的介绍，如核能、太阳能、水能、风能、生物质能、海洋能、浅层地能等，也有一类技术的总结，如节能提效技术、碳汇保护与提升技术、废水处理减排技术、生活垃圾处理减排技术、城镇低碳建设规划技术。限于编者自身能力，对于每项技术没能论述详尽，仅对技术原理、发展历史、技术特点、最新进展及应用等情况作了概述。

本书在编写的过程中不仅参考了相关著作、论文和学术报告，还获得了企事业单位专家的无私支持。他们提供了很多资料，其中一部分已在正文中标注，另外一部分没能详细标注，在此特别说明。这些专家的资料组成了本书部分章节的内容，包括：清华大学赵玺灵（节能提效技术），中国农业科学院的吴永常和韦文珊（碳汇保护与提升技术），北京市科委可持续发展科技促进中心冯武军和刘育松（新能源与可再生能源），恒有源科技发展有限公司刘宝红（单井循环换热地能采集技术，浅层地能利用案例），重庆大学柴宏祥（水污染控制技术），北京大学刘思彤（厌氧氨氧化技术），天津大学王媛（碳排放核算方法与模型），上海环境工程设计院许碧君（生活垃圾分类规划减排），同济大学陈蔚镇（城镇

应对气候变化科技读本

低碳建设规划与技术)和中国建筑设计研究院何建清(低碳建筑技术清单与方案)。此外,北京大学王光春、吴双、刘俊、苏月和刘心怡参与了部分章节的编写,在此一并感谢。

因学识有限,书中难免存在疏漏和不足之处,如有涉及权益问题,请及时与编者联系为盼。欢迎广大读者提出宝贵意见和建议,以便再版时能够改正。

目 录

第一章 气候变化及其影响

- 一、气候变化及其评估.....1
- 二、气候变化的影响.....7

第二章 核能利用技术

- 一、核能利用历史.....17
- 二、核能与核反应堆.....18
- 三、核能利用技术.....21

第三章 太阳能利用技术

- 一、太阳能利用的历史.....27
- 二、光热转换技术.....28
- 三、光电转换技术.....32
- 四、光化学转换技术.....40
- 五、太阳能海水淡化技术.....40
- 六、高效太阳能空调系统.....42
- 七、太空太阳能利用技术.....43

第四章 水能利用技术

- 一、水能利用技术概况.....46
- 二、水能利用的原理.....47
- 三、水能利用传统技术.....47
- 四、水能利用新型技术.....48

第五章 风能利用技术

一、风能利用技术概况.....	55
二、风力发电组件技术.....	56
三、风力发电机组调控技术.....	58
四、风力发电其他技术.....	61

第六章 生物质能利用技术

一、生物质能概况.....	64
二、化学转化技术.....	65
三、生物转化技术.....	67
四、生物质制氢技术.....	71

第七章 海洋能利用技术

一、潮流能利用技术.....	76
二、潮汐能发电.....	81
三、波浪能利用技术.....	83
四、海水温差能利用技术.....	87
五、海水盐差能利用技术.....	89

第八章 浅层地能利用技术

一、土壤源热泵技术.....	91
二、空气源热泵技术.....	92
三、水源热泵技术.....	92
四、单井循环换热地能采集技术.....	94
五、浅层地能利用案例.....	97

第九章 氢能源及其他能源

一、氢能源生产和利用技术.....	100
二、燃料电池生产技术.....	109
三、天然气水合物开发利用.....	120
四、电力储能技术.....	125

第十章 节能提效技术

一、燃煤热电联产利用技术.....	130
二、天然气热电联产利用技术.....	136
三、分布式能源利用技术.....	140
四、城市热网增热型供热技术.....	143
五、燃气锅炉替代技术及余热回收技术.....	144
六、自然冷热源低品位能源利用技术.....	147
七、富氧燃烧技术.....	149
八、低阶煤提质技术.....	152
九、光导照明技术.....	155

第十一章 碳汇保护与提升技术

一、城镇绿地系统碳汇提升技术.....	159
二、城镇湿地建设技术.....	163
三、城镇建筑物空间碳汇技术.....	171

第十二章 废水处理减排技术

一、废水处理的温室气体排放.....	174
二、水污染控制技术.....	182
三、污水脱氮处理的新技术——厌氧氨氧化.....	185

第十三章 生活垃圾处理减排技术

一、生活垃圾填埋处理概述.....	191
二、碳排放核算方法与模型.....	193
三、生活垃圾分类规划减排.....	201
四、填埋场甲烷控制技术.....	203
五、垃圾处理减排潜力评价.....	212

第十四章 城镇低碳建设规划技术

一、城镇低碳建设规划.....	218
二、规划技术.....	222
三、低碳建筑技术清单与方案.....	223

第一章 气候变化及其影响

一、气候变化及其评估

气候变化主要指气温变化和降水变化，表现为冷暖和干湿的变化。从地质历史时期的角度看，气候一直处于冷暖和干湿变化之中，不过大量数据表明，自从工业革命以来，气候变化出现了新的特点，集中表现为气温急剧升高。气候变暖对生态系统、经济社会发展以及人类健康产生一系列影响。

（一）气候变化的证据

气候系统的直接观测始于 19 世纪中叶，1950 年以来的观测资料更为丰富。伴随航天技术发展的遥感技术已成为全球气候系统观测的崭新手段，发挥着非常重要的作用。对于具体地点的气温变化，可以直接采用观测站数据进行说明；要得到全球气温变化的总看法就需要对不同地点测量数据进行综合，不过综合工作一向复杂而艰辛，而且由于地球表面差异大，任何一条确定性的看法总能找出反例，因而只能在统计意义上得出较为客观的结论。

政府间气候变化专门委员会（ICPP）对全球平均陆地和海洋表面温度的变化趋势进行分析后得出，在 1880—2012 年期间温度升高了 0.85 (0.65 ~ 1.06) °C（图 1-1a），从十年平均的角度看，过去三个十年的地表温度已连续偏暖于 1850 年以来的任何一个十年平均气温（图 1-1b）。

除了直接测量气温变化外，冰冻圈（冰盖、冰川、海冰和积雪）变化、海水温度和海平面变化等都能间接反映气候变化。过去 20 年以来，格陵兰冰盖和南极冰盖的冰量一直在损失（图 1-2），全球范围内的冰川几乎都在持续退缩，北极海冰和北半球春季积雪范围在继续缩小（ICPP）。全球不少冰川的体积都在减小（图 1-3）。

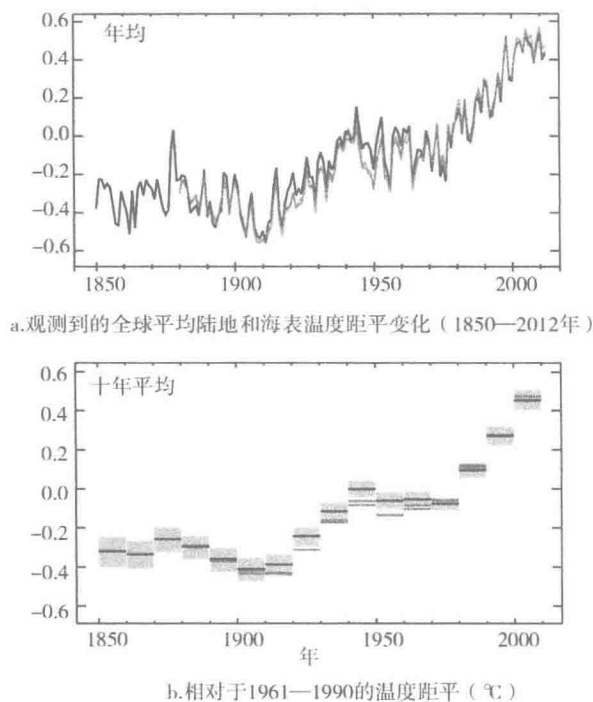


图 1-1 观测到的全球平均陆地和地表温度 (1850—2012 年)
(ICPP, 气候变化 2013- 自然科学基础)



图 1-2 海冰消融
(Costello, A., M. et al. 2009. Managing the health effects of climate change. Lancet 373(9676):1693-1733.)

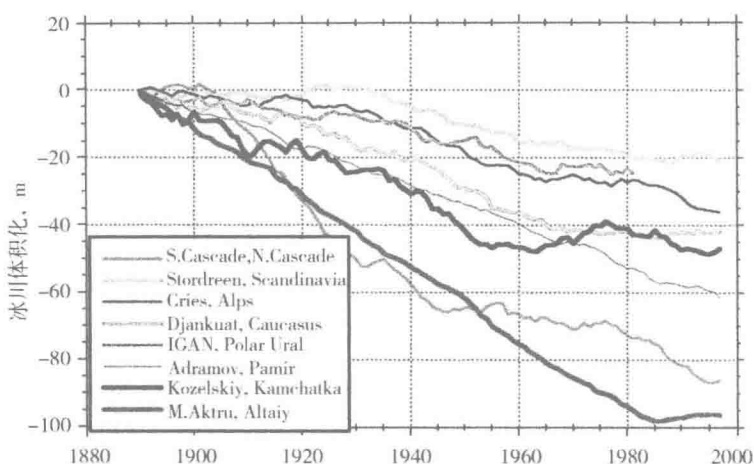


图 1-3 全球不同地区小冰川体积变化

(Dyurgerov MB & Meier M F. PNAS 2000, 94 (4) 1406-0411.)

(二) 气候变化的驱动因子

引起复杂系统变化的原因通常用驱动因子来表述，普遍认为影响气候变化的潜在因素包括人为因素和自然因素两类。人为因素对气候变化的影响主要表现在人类活动，尤其是工业革命以后，化石燃料大量燃烧，森林植被大幅度减少，使得大气中温室气体含量增加。影响气候变化的自然因素又分为内因和外因两种，内因是指地球自身结构及相应地表活动引起的气候变化，如大洋环流、大气环流、火山活动、地球轨道变化、臭氧空洞、地磁变化、海底蓄冷效应和海洋锅炉效应、深海巨震、潮汐震荡、陆海分布。外因主要是指太阳活动，如太阳黑子。

自从 1824 年法国数学家傅里叶 (Joseph Fourier, 1768—1830) 发现了温室效应现象，不少学者开始研究这一效应。首先发现温室气体的是爱尔兰的物理学家约翰·廷德尔 (John Tyndall)，他于 1861 年发现水蒸气与二氧化碳的存在能够增加大气层热辐射吸收，并测出了二氧化碳和水汽对红外辐射的吸收率。1896 年，瑞典物理化学家阿伦尼乌斯 (Svante Arrhenius) 将温室气体二氧化碳的排放源锁定在化石燃料燃烧，认为化石燃料燃烧产生的二氧化碳足以增加红外辐射，引起气温升高。1938 年，英国电器工业研究协会 G.S. Callenda 首次计算了化石燃料燃烧使大气中二氧化碳浓度增加而导致的气候变暖效应。1957 年，美国加利福尼亚斯克里普斯 (Scripps) 海洋研究所 R. Revelle 和 H. Suess 撰文指出，二

氧化碳浓度的增加将会带来严重的后果。不同机构从不同角度研究了气候变化，探讨了气候变暖的原因。1957 年，NOAA 开始在夏威夷的莫纳罗亚山（Mauna Loa）上进行大气中二氧化碳浓度值的观测，发现大气中二氧化碳的浓度值一直在上升。

IPCC（政府间气候变化专门委员会）在第四次评估报告中将气候变暖是由温室气体增加造成的可能性评估从 $> 66\%$ 提高到 $> 90\%$ 。也有不同观点，NPIC（非政府间气候变化专门委员会）认为是自然因素，而不是人类活动主导着气候，如太阳黑子活动。IPCC 第四次评估报告中用海气耦合模式，综合考虑温室气体、气溶胶、火山活动、太阳辐照度、 O_3 等因素模拟了 20 世纪全球平均地表温度变化。模拟研究表明，温室效应确实是 20 世纪后半叶气候变暖的主要原因（图 1-4）。但是，在对过去千年的模拟中，自然因素如火山活动与太阳活动则是驱动气候变化的主要因素。同时也有充分的证据表明在近千年里中世纪暖期及小冰期的形成可能与太阳活动的变化有关。全新世北大西洋冷事件与 ^{14}C 及 ^{10}Be 所揭示的太阳活动减弱有明显的关系。

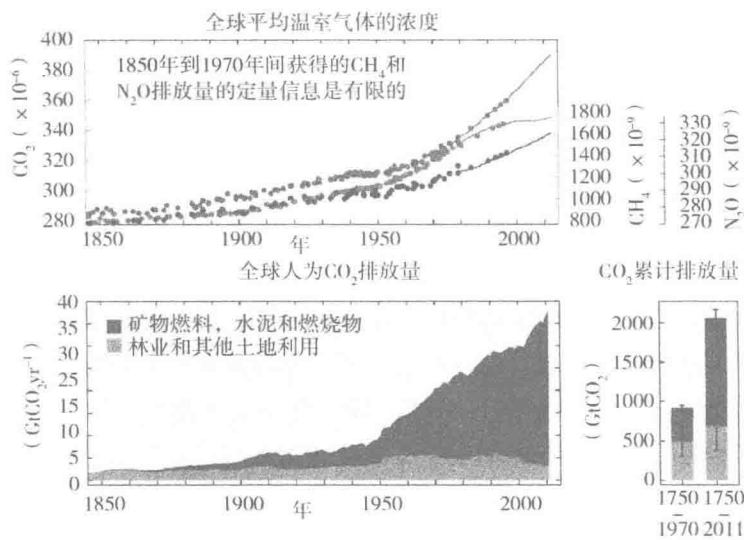


图 1-4 自 1850 年以来全球温室气体浓度升高情况

(ICPP, CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis Report, 2014, page 3.)

采用气候系统能量收支的方法能够从总体上判断地球表层是在变暖还是在

变冷。能量盈余表明地表增温，能量亏损表明地表降温。从这一角度，可以把改变地球能量收支的自然和人为物质与过程的因子称为气候变化的驱动因子。驱动因子包括温室气体、土地利用和太阳辐射。IPCC 以 1750 年为基准年，估算了至 2011 年由这些驱动因子引起的能量通量变化，结论是全球总辐射强迫大于零，并导致了气候系统的能量吸收，而且对总辐射强迫的最大贡献来自于 1750 年以来的大气 CO₂ 浓度的增加（图 1-5）。

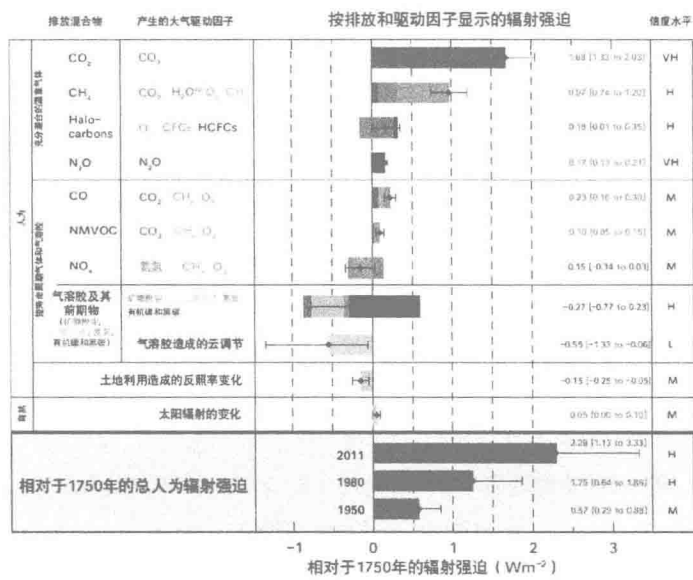


图 1-5 相对于 1750 年，2011 年的气候变化主要驱动因子的辐射强迫估计值和总的不确定性

图中给出的估计值是全球平均辐射强迫值 (RF15)，这些估计值的划分是根据使驱动因子复合的排放混合物或排放过程。净辐射强迫的最佳估计值用黑色菱形表示，并给出了相应的不确定性区间；在本图的右侧给出了各数值，包括净辐射强迫的信度水平 (VH- 很高，H- 高，M- 中等，L- 低，VL- 很低)。黑碳气溶胶柱状图中包括积雪和冰上的黑碳产生的反照率强迫。图中没有给出凝结尾迹 (0.05Wm^{-2} ，其中包括凝结尾迹产生的卷云) 和氢氟碳化物 (HFCs)、全氟化碳 (PFCs) 和六氟化硫 (SF_6) (共计 0.03Wm^{-2}) 产生的弱强迫作用。可以通过合计同色柱状图的数值获得各种气体基于浓度的辐射强迫。图中没有包括火山强迫，因为该强迫时断时续的特点使其很难与其他强迫机制进行比较。本图给出了相对于 1750 年的三个不同年份的人为辐射强迫总值。(IPCC，气候变化 2013- 自然科学基础)

(三) 气候变化的评估

评估气候变化的影响之前需要对气候变化本身做出预测，然而由于未来影响气候变化的因素也在变化，具有不确定性，所以通常情况下是无法对气候变化做出精确预测。目前采取的办法是，将影响气候变化的因子，如温室气体排放，分为多种情况，然后分别探讨每种情况下的气候变化，这种分析方法称为情景分析方法。图 1-6 就把全球地表温度的变化分为两种情景，一种是高强度温室气体排放路径下的气温变化情景，另一种是采取消减温室气体措施后的气温变化情景。

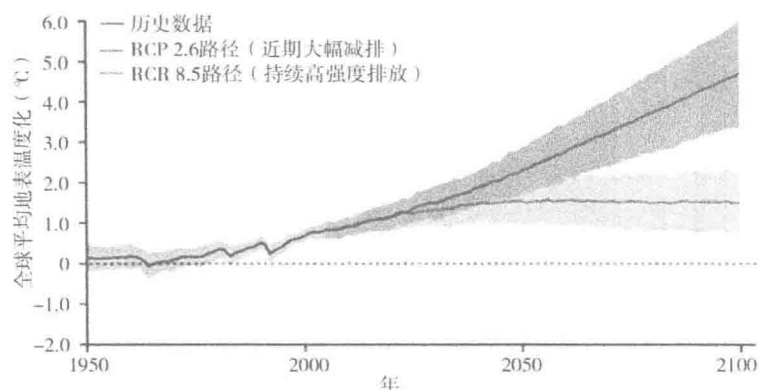


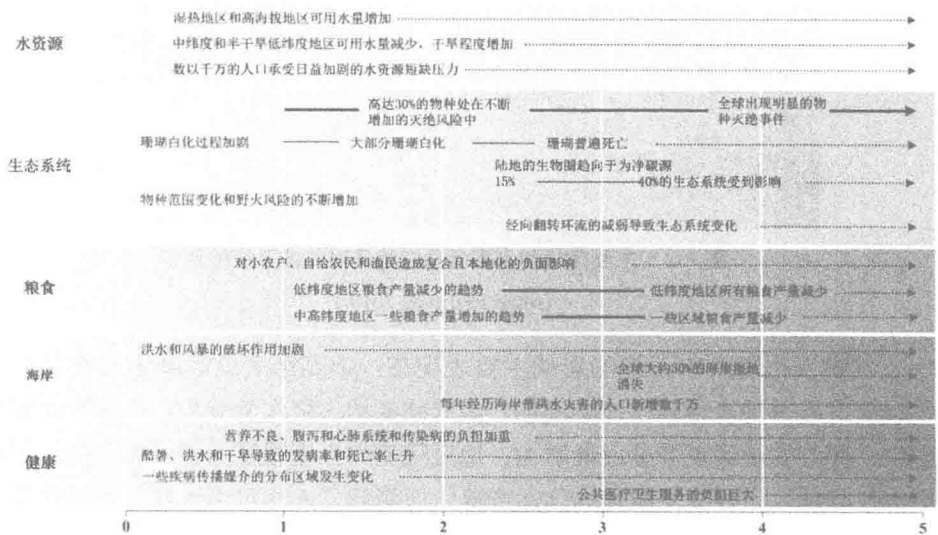
图 1-6 全球地表平均气温变化（与 1850—1900 年比较）

(Haines AKL et al. 2014.)

气候变化的评估经常面临脆弱性评价。脆弱性概念广泛用于各学科领域，最早出现在地学领域的风险和灾害方面的文献中，20 世纪 80 年代末 90 年代初随着气候变暖逐渐受到国际社会的关注，脆弱性概念也开始引入气候变化影响评估研究当中，随后其内涵不断得到丰富和发展。1988 年世界气象组织（WMO）及联合国环境规划署（UNEP）联合建立了政府间机构，即政府间气候变化专门委员会（IPCC），并于 1990 年出版第一次评估报告，对气候变化的脆弱性进行了初步论述。1996 年第二次评估报告对气候变化的脆弱性进行了初步定义，认为脆弱性是气候变化对系统损伤或危害的程度。2001 年的第三次评估报告对气候变化的脆弱性做出了更为明确的定义，将脆弱性定义为一个自然的或社会的系统容易遭受来自气候变化（包括气候变率和极端气候事件）的持续危害的范围或程

度，是系统内的气候变率特征、幅度和变化速率及其敏感性和适应能力的函数。该定义在气候变化研究领域中被广泛接纳和采用（表 1-1）。

表 1-1 全球温度变化 1 至 5 度情景下水资源、生态系统、粮食、海岸和健康的影响
(Costello A, et al. 2009.)



二、气候变化的影响

从全球的角度对气候变化的影响进行周密和全面的考察是一项十分困难的工作，不过经过 30 多年全世界学者的不懈努力，在与人类生存与发展密切相关的方面，如水资源、生态系统、粮食安全、海岸和人类健康等方面有了比较清晰的认识（表 1-1）。

（一）对生态系统的影响

气候变化对生态环境的影响主要包括对淡水、陆地生态、农业生态、海洋环境几大系统的影响（图 1-7）。



图 1-7 主要自然和人类活动过程及对气候系统的影响
(Moss RH, et al. 2010.)

气候变化对淡水系统的影响主要表现在：①高纬度地区降水量增加导致某些地区冬春季地表径流的增加；②低纬度地区降水量减少，干旱频率增加；③中、高纬度地区夏季蒸发量增加，地表径流和土壤湿度降低；④某些地区的湖泊水位降低；⑤改变了湿地的生态群落；⑥降低了人均可用水量，尤其是具有较高人口增长率的低纬度国家。

陆地生态的地理分布，如沙漠、森林、植物群落在很大程度上取决于温度和降水的地域分配。陆地生态系统在几千年的时间尺度内，在几百甚至几千公里空间范围内对气候变化做出响应，比如冰期—间冰期气候，这样大尺度的气候变化速率相对较慢，但对于有些物种来说仍然可能是毁灭性的变化。毋庸置疑的是，21 世纪的气候变化将大大改变陆地生物种群的分布和数量。植物和气候之间的相互作用关系需要深入探讨，比如由于植物的生长受到气候变化的约束，其对于昆虫和病毒、空气污染、酸雨和森林火灾等的敏感性是否会增加植物的死亡率，以及这些约束是如何对植物产生联合影响的。气候变化会对动植物的生命循环过程产生影响，如植物的花期、昆虫的蜕变、动物的迁徙等。

气候变化导致的全球变暖对海洋环境的影响将会持续并且加剧。全球平均海平面上升 0.2 ~ 0.7m 将会增加岸滩侵蚀洪水，减少海岸生态系统，如红树林和湿地，使得处于低洼地带的居民无家可归，海水入侵至沿海供水系统。随着地中海和非洲撒赫勒地区气候快速变冷和降水减少，海洋输送带可能会被严重破坏。