

国家科技支撑计划重大项目“全球环境变化应对技术与示范”之

“全球环境变化人文因素的检测与分析技术研究”课题（2007BAC03A11）资助

全球环境变化视角下 中国粮食、水与健康安全问题研究

Security Issues of Food, Water and Health in China from a
Perspective of Global Environmental Changes

葛全胜 方修琦 叶谦 等 编著



WORLD ENVIRONMENTAL CHANGES UNDER
"HUMAN DEVELOPMENT" (1992) 1
WORLD ENVIRONMENTAL CHANGES UNDER "HUMAN DEVELOPMENT" (1992) 1

人類環境變化與發展下 中國教育、水與健康安全的國際研究

Research on Education, Water and Health in China under
Progressive Human Development Stage

1992 1992 1992 1992 1992



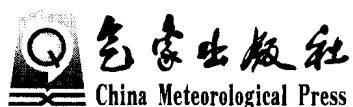
世界日報
World Journal

国家科技支撑计划重大项目“全球环境变化应对技术与示范”之
“全球环境变化人文因素的检测与分析技术研究”课题(2007BAC03A11)资助

全球环境变化视角下中国粮食、水与健康安全问题研究

Security Issues of Food, Water and Health in China
from a Perspective of Global Environmental Changes

葛全胜 方修琦 叶谦 等 编著



内 容 简 介

本书基于社会生态系统框架,从全球环境变化的视角,对与我国粮食、水和健康安全相关的若干主要问题进行了分析。本书可供全球变化、地理等领域的研究人员、管理者和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

全球环境变化视角下中国粮食、水与健康安全问题研究/葛全胜,方修琦,叶谦等编著.

北京:气象出版社,2011.1

ISBN 978-7-5029-5166-5

I. ①全… II. ①葛… ②方… ③叶… III. ①全球环境-环境影响-粮食-生产-研究-中国
②全球环境-环境影响-水资源-安全-研究-中国 ③全球环境-环境影响-健康-研究-中国
IV. ①X503

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 017515 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:李太宇 林 海

封面设计:博雅思企划

责任校对:永 通

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:314 千字

版 次:2011 年 2 月第 1 版

定 价:35.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:12

印 数:1~2500 册

印 次:2011 年 2 月第 1 次印刷

前 言

地球正在经历以全球变暖为突出标志的全球环境变化。以政府间气候变化专门委员会(IPCC)为代表的国际主流观点把 20 世纪的全球变暖与人类的碳排放联系在一起,认为人为排放的 CO₂ 等温室气体导致大气的温室效应增强,很可能是 20 世纪的全球变暖的主要原因,且预估若不及时采取有效措施控制温室气体排放,21 世纪全球平均气温将上升 2℃ 以上,可能给人类带来非常严重的不利影响,甚至是灾难性的后果。突出地表现为,海平面上升、物种灭绝、极端天气事件频率增加、热带传染病北上、全球粮食短缺、水资源供应不足、地区冲突增加等。尽管上述认识在科学上还有很大的不确定性,但从 1992 年的《联合国气候变化框架公约》,到 1997 的《京都议定书》,再到 2009 年的哥本哈根气候变化大会,这一尚存争议的科学认识已部分地被转化为政治共识,并通过各种传播媒介为社会公众广泛接受。正是基于上述科学认识和政治共识,当前国际社会主张采取“无悔”行动,通过采取减缓和适应措施应对气候变化。

对人类—自然耦合系统(或社会生态系统,SES)而言,全球环境变化不仅是人类赖以生存的地球环境的改变,也对社会的发展构成了新的挑战,被认为是威胁当今人类安全的重要因素之一。应对全球环境变化的挑战,满足人类对可持续发展的追求,从本质上看是人类安全问题。因此,全球环境变化人文因素(HDGEC)研究把人类安全理解为一种能力,即人类所具有的避免暴力冲突、克服脆弱性和积极应对全球环境变化的能力。

安全是“系统”维持稳定、保持功能正常的状态范围或“阈值”,它涉及的要素包括安全的对象、安全的影响因素、安全的范围或程度。当安全受到某种威胁而改变了系统原有的本质,则安全状态可能被打破,发生危害、损失、直至崩溃等不安全的情况。与传统意义上的以保护一个国家领土、财产等方面的主权不受侵犯为核心的“常规”国家安全不同,全球环境变化对国家安全的威胁是一种典型的“非常规”威胁。从全球变化科学系统观和社会生态系统理论看,为应对全球环境变化对区域尺度“非传统安全”的影响,主要应该加强以下三个方面的研究和实践:第一,全球环境变化是导致区域安全受到威胁的根源,因此首先要加强对全球变化的区域表现形式和区域动力学机制的研究,以求更好地揭示区域尺度上的环境变化规律及其成因机制,辨识影响区域安全的关键环境变化过程及其自然和人为驱动因素。第二,应对全球环境变化对国家安全影响的关键是改善社会、经济和环境系统的脆弱性,以适应全球环境变化,降低国家安全的风险,建设安全的社会。因此研究的重点应放在对各种脆弱性的辨识、评估和归类方面,建立国家及亚国家尺度上的全球环境变化风险和脆弱性的指标体系,提出科学的适应预案,以便决策者评估全球环境变化对社会、经济和环境的影响,并将结果传递给决策者、公众及处在风险中的人群。第三,自然的地球系统和社会经济系统各自遵从自身的运行规律,有各自的主控变量和不同的度量指标体系,为研究全球环境变化与区域安全的关系,需要解决社会经济系统的各个变量与自然生态系统的各个圈层在时空变化尺度上不相匹配的问题,建立

能够真实反映区域尺度上社会—生态系统变化的参数体系和观测体系。

在全球变暖所可能造成的诸多不利影响中,水、粮食和健康既是具有全球意义问题,又具有强烈的区域性特点,是全球环境变化影响“非常规”国家安全和区域安全最为基本的方面,在全球环境变化研究中被作为事关全球可持续性研究主题而受到高度关注。因此,国际地圈生物圈计划(IGBP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、世界气候研究计划(WCRP)和生物多样性计划(DIVERSITAS)四大国际全球环境变化研究科学计划联合成立的“地球系统科学联盟”(ESSP)将“全球环境变化与食物系统”(Global Environmental Change and Food Systems, GECAFS)、“全球水系统计划”(Global Water System Project, GWSP)和“全球环境变化与人类健康”(Global Environmental Change and Human Health, GECHH)联合研究计划,成为与“全球碳计划(Global Carbon Project, GCP)”并列的联合研究计划。

自 20 世纪后半叶起,特别是自 20 世纪 80 年代以来,中国处在经济快速发展的时期。在人口众多、资源相对短缺、自然灾害频发的中国进行的国家工业化和人口城市化面临着能源结构性匮乏、矿产资源短缺、水危机、耕地与粮食风险及环境质量进一步恶化等诸多挑战,这些挑战随着全球环境变化的加剧将进一步增大,严重地威胁社会经济的健康和人类的健康。中国的全球环境变化人文因素研究需要关注这些可能对中国国家安全产生深远影响的重大环境变化问题,科学地评估中国自然和社会经济系统对全球环境变化影响的脆弱性,积极推动中国国家风险管理体系建设。

基于以上认识,本书从全球环境变化的视角,对与中国的水、粮食和粮食安全相关的若干主要问题进行了分析。全书共分为 5 章。第 1 章从社会—生态系统(SES)的角度探讨了全球环境变化与国家安全的关系。第 2 章分析了我国现代土地利用变化过程,及其对我国粮食安全的影响。第 3 章从粮食供需平衡和补偿能力的角度辨识了我国粮食安全脆弱区,第 4 章分析了我国的水安全问题及水资源对气候变化的敏感性。第 5 章分析了全球气候变化对我国居民健康的影响。

本书是国家科技支撑计划重大项目“全球环境变化应对技术与示范”的课题“全球环境变化人文因素的检测与分析技术研究”(2007BAC03A11)的研究成果,各章的作者均为课题相关专题的主要成员,书中已在相关的刊物上发表的部分内容在参考文献中进行了标注。方修琦、叶谦、杨林生、龙花楼和郑红星在书稿的编辑过程中做了大量具体工作。

葛全胜*

2010 年 12 月

* 葛全胜,中国科学院地理科学与资源研究所副所长,研究员,博士生导师。

目 录

前言

第 1 章 社会生态系统框架下的全球环境变化与区域安全	(1)
1.1 作为全球气候变化问题政治共识的科学认识	(1)
1.2 社会生态系统	(8)
1.3 全球环境变化与区域安全	(18)
主要参考文献	(27)
第 2 章 中国土地利用变化及其对粮食安全的影响	(30)
2.1 中国土地利用变化时空格局	(31)
2.2 中国土地利用变化驱动力	(46)
2.3 改革开放以来耕地变化对我国粮食生产安全格局的影响	(56)
2.4 典型生态脆弱区土地利用变化对粮食安全影响案例	(65)
主要参考文献	(92)
第 3 章 中国粮食安全脆弱性的区域差异	(96)
3.1 中国的粮食生产及其对气候变化敏感性的区域差异	(98)
3.2 21 世纪初中国粮食供需关系的区域差异	(108)
3.3 中国粮食安全脆弱性的区域差异	(117)
主要参考文献	(124)
第 4 章 中国水安全评价与水资源气候敏感性分析	(126)
4.1 水安全及其度量	(128)
4.2 基于基础指标的中国水安全评估	(131)
4.3 基于水资源承载力的中国水安全评估	(138)
4.4 气候变化对水资源的影响	(142)
主要参考文献	(147)
第 5 章 全球环境变化与我国人口健康的脆弱性	(149)
5.1 人类健康对全球环境变化的脆弱性及对健康影响的适应	(149)
5.2 全球环境变化的人类健康脆弱性	(153)
5.3 我国人口健康对全球环境变化的脆弱性	(161)
主要参考文献	(183)

第1章 社会生态系统框架下的全球环境变化与区域安全

现代社会是风险社会(Beck, 1999; 刘燕华等, 2005)。以全球变暖为突出标志的全球环境变化已对人类社会产生深刻的影响, 被认为是威胁当今人类安全的重要因素之一。尽管在科学上对全球变暖的原因和未来影响程度等方面的认识还存在分歧, 但随着变暖过程的继续, 其对生态系统和人类的影响程度无疑还将进一步加大, 人类社会如何应对全球环境变化的挑战, 满足人类对可持续发展的追求, 是全球环境变化研究必须回答的问题(刘燕华等, 2004)。这个问题不仅是科学问题, 而且从根本上看是人类安全问题。

全球环境变化引起的资源和灾害变化将使我国国家安全面临前所未有的挑战。自20世纪后半叶起, 特别是自20世纪80年代以来, 中国处在快速变化的时期, 经济快速增长建立在环境超负荷的增长模式之上, 目前我国正处在各种安全问题的频发期、高发期。巨大的人口数量、日益突出的老龄化问题与不断增长的消费水平使人口压力有增无减, 区域间发展水平的差距日益拉大。受复杂的自然环境条件影响, 我国国家安全一直受到以类型多、频率高、强度大为特征的自然灾害的威胁, 这种威胁将随着全球环境变化的加剧而进一步增大。同时, 我国在水、土地、能源、矿产等资源的开发利用潜力方面已接近极限, 资源环境问题日趋严重, 对国际资源市场的依存度越来越高, 我国全面小康社会的建设将面临能源结构性匮乏、矿产资源短缺、水危机、耕地与粮食风险及环境质量进一步恶化等诸多挑战(葛全胜等, 2005)。中国作为人口最多的发展中大国, 在经济高速发展的进程中, 不但要与世界各国携手合作, 共同应对温室气体减排等具有全球性意义的问题, 更必须高度重视国家内部的可持续发展问题。

1.1 作为全球气候变化问题政治共识的科学认识

以政府间气候变化专门委员会(IPCC)为代表的国际主流观点把20世纪的全球变暖与人类的碳排放联系在一起, 认为人类活动所导致的地球系统碳循环变化是导致全球变暖的原因。丁仲礼等(2009)归纳这一理论由三个主要环节组成: (1) 大气CO₂浓度从工业革命前的280 ppmv^{**}升至450~550 ppmv后, 全球平均气温可能将上升2~3℃; (2) 若全球平均气温上升2℃以上, 将可能给人类带来重大影响; (3) 世界各主要国家必须立即采取各种行动, 减缓全球变暖, 使2050年CO₂排放量降低到1990年排放水平的50%, 且越早采取行动, 损失越小

* 本章执笔: 葛全胜, 叶谦, 方修琦

** 1 ppmv = 1 × 10⁻⁶

(IPCC,2007a;Stern,2007)。尽管科学界对这一理论还存在一定的争议,但 1990 年以来,IPCC 的 4 次评估报告不断地强化以上科学认识,成功地使其成为国际社会的主流观点;且在联合国主导下,在欧盟等发达国家不遗余力的推动下,1992 年的《联合国气候变化框架公约》将“人类活动导致全球变暖”的科学认识作为政治共识,全球范围的减缓和适应气候变化国际行动以及与此相关联的国际政治和外交博弈自此展开;2009 年的《哥本哈根协议》又将“2℃ 阈值”作为初步的政治共识列入其中,并作为全球减排努力的参考目标,该协议虽不像《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》一样具有法律约束力,但“2℃ 阈值”道德标杆已经树立起来,难以撼动(葛全胜等,2010a)。

1.1.1 全球变暖及其归因

1990 年以来,IPCC 的 4 次评估报告不断地强化其对全球变暖及其归因的科学认识。IPCC 第四次评估报告(AR4)给出的最近 50 a 气候变暖主要是由人类活动驱动这一结论的可信度已由原来 66%的最低限提高到 90%(IPCC, 2007a)。

IPCC 第四次评估报告指出,最近 100 a(1906—2005 年)全球平均地表温度上升了 0.74±0.18℃,从 1850—1899 年到 2001—2005 年总的温度增加为 0.76℃±0.19℃。近 50 a 的增温尤其明显,其线性增温速率为 0.13℃/(10 a),几乎是过去 100 a 的 2 倍(图 1.1),1850 年以来最暖的 12 个年份中有 11 个出现在近期的 1995—2006 年(1996 年除外),1998 年是 20 世纪最暖的一年。在南北半球,陆地表面温度的变暖速率都比海洋快,近 20 a 来陆地和海洋的增温速率大约分别为 0.27℃/10 年和 0.13℃/(10 a)。近 30 年来全球大范围增温,最大增温幅度出现在北半球高纬地区。最大增温期发生在北半球冬季(12,1,2 月平均)和春季(3,4,5 月平均)。近 100 a 来,北极平均温度几乎以两倍于其他地区的速率升高。1961 年以来的观测结果表明,全球海洋温度的增加已延伸到至少 3000 m 深度,海洋已经并且正在吸收 80%以上增加到气候系统的热量,这一增暖引起海水膨胀,并造成海平面上升。在大陆、区域和海盆尺度上已观测到气候系统的长期变化,包括北极温度与冰的变化,降水量、海水盐度、风场以及干旱、强降水、热浪和热带气旋强度等极端天气方面的变化(表 1.1)(IPCC, 2007;秦大河等,2007)。

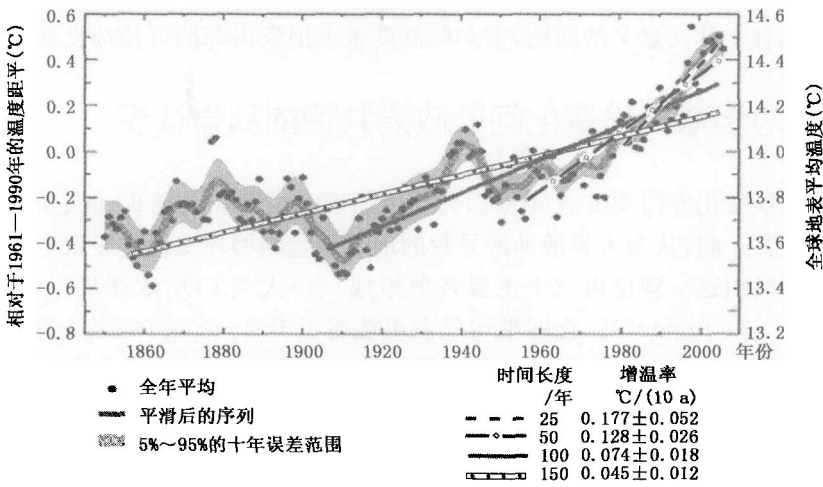


图 1.1 工业革命以来全球地表平均温度变化(IPCC, 2007)

表 1.1 气候变化的近期趋势、对趋势的人类影响评估、以及对极端天气和气候事件的预估 (IPCC, 2007b)

现象和趋势方向	20 世纪后半叶(一般是 1960 年后)发生的趋势可能性	在所观测到的趋势中人类贡献的可能性	根据使用 IPCC 排放情景特别报告的 SRES 预估 21 世纪的未来趋势的可能性
多数大陆地区冷昼和冷夜偏暖并偏少	很可能 ^a	可能 ^c	几乎确定 ^c
多数大陆地区,热昼和热夜温偏暖并偏多	很可能 ^b	可能(夜) ^c	几乎确定 ^c
暖潮/热浪:多数大陆地区发生频率增加	可能	多半可能	几乎确定
强降水事件。多数地区发生频率(或强降雨占总降水的比例)增加	可能	多半可能	很可能
受干旱影响地区增加	自 20 世纪 70 年代以来许多地区可能	多半可能	可能
强热带气旋活动增加	自 1970 年以来某些地区可能	多半可能	可能
由极高海平面所引发的事件增多(不含海啸)	可能	多半可能	可能

注:表中 a 冷昼和冷夜发生频率降低(最冷的 10%部分);b 热昼和热夜的频率增加(最热的 10%部分);c 每年最极端昼/夜的变暖

IPCC 第四次评估报告指出,人类活动导致大气 CO₂ 等温室气体浓度的不断升高,被认为“很可能”是全球气候变暖的主要原因。由于人类活动的影响,1750 年以来,全球大气二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)浓度显著增加,目前总浓度已远远超出了根据冰芯记录得到的工业化前几千年内的浓度值(IPCC, 2007b)。CO₂ 是最重要的人为温室气体,全球大气 CO₂ 浓度已从工业化前约 280 ppmv,增加到 2008 年的 385.2 ppmv(WMO,2009),2009 年达到 387.35 ppmv(Tans,2010)。同时,全球大气中 CH₄ 浓度值已从工业化前的 715 ppbv* 增加到 2008 年的 1797 ppbv(WMO,2009),是距今 650 ka 以来的最高值。全球大气中 N₂O 浓度值也已从工业化前约 270 ppbv 增加到 2008 年的 321.8 ppbv(WMO,2009)。

IPCC(2007b)认为,未来持续的温室气体排放将引起进一步的地面变暖。预计 21 世纪的变暖幅度可能比 20 世纪要大,到 21 世纪末全球地表年平均气温升高幅度的可能范围在 1.1℃到 6.4℃之间,最佳估计值位于 1.8℃到 4.0℃。未来的变暖在陆地上比海洋上明显,北半球高纬度陆地升温幅度最大;北半球冬季比夏季明显;南大洋和北大西洋地区升温幅度最

* 1 ppb=1×10⁻⁹

小。全球平均的降水量也将呈现增加趋势,这种增加主要和海洋表面温度升高、海面蒸发作用更加强烈、地球对流层大气中水汽含量增加有关。热事件、热浪和强降水事件的发生频率可能会持续上升,而寒潮、冷事件发生的频率可能减少(表 1.1)。

1.1.2 气候变化的可能影响

根据 IPCC 报告(2007a),世界上许多自然系统已对区域气候变化特别是气温升高作出了响应,超过 29000 个观测资料序列显示,许多自然系统和生物系统发生了显著的变化,其中超过 89% 的变化与预计的作为对变暖响应的变化方向一致。具有高置信度的影响包括,积雪、冰和冻土变化已经使冰川湖泊的数量和面积增加,使山区和其他多年冻土区的土层不稳定性增加,并导致了北极和南极某些生态系统的变化;由于在许多由冰川和积雪供水的河流中径流量增加和春季最大流量提前,也已使某些水文系统受到影响,河流和湖泊的变暖对其热力结构和水质产生影响。在陆地生态系统中,有很高可信度表明:春季事件的发生时间提前以及植物生长和动物活动范围朝着两极和高海拔高度推移均与近期变暖有关。在某些海洋和淡水系统中,有高可信度表明,藻类、浮游生物和鱼类的大量繁殖范围的迁移和变化均与水温不断升高以及与冰盖、盐度、含氧量和环流的相关变化有关。

有中等置信度表明,区域气候变化对自然环境和人类环境的其他影响正在出现,虽然由于适应和非气候驱动因子等原因,许多影响尚难以辨别。受温度增加影响的地区和方面如:

- 北半球较高纬度地区农业和林业管理,如农作物春播提前,以及由于林火和虫害造成森林干扰体系变更;
- 人类健康的某些方面,如欧洲与热浪相关的死亡率、某些地区的传染病传播媒介的变化,以及北半球中高纬度地区的花粉过敏;
- 北极地区某些人类活动(如冰雪上的狩猎和旅行),以及低海拔高山地区的某些人类活动(如山地运动)。

IPCC(2007a)认为,如果未来全球平均气温升高超过 2℃ 的阈值,人类社会可能面临灾难性的危险(图 1.2),突出地表现为海平面上升、物种灭绝、极端天气事件频率增加、热带传染病北上、全球粮食短缺、水资源供应不足、地区冲突增加等。世界 12 位科学家在 2009 年 12 月哥本哈根气候变化大会前夕撰写的《气候变化:全球风险、挑战与决策》的综合报告称(Richardson et al., 2009),发生这些风险的可能性在增大。尽管对这些结论、特别是 2℃ 阈值的问题尚存在着不同的认识,但应承认全球变暖的影响程度将随着变暖的加剧而加大。

未来气候变化影响在全球各个地区的表现和影响程度是不同的。这种区域性既与气温变化、降水量变化和极端天气气候事件变化的区域差异相连,也和区域社会经济发展水平有密切关系,一般情况下,贫穷国家和地区的人们对气候变化更为敏感、脆弱,而从对经济影响看,相对发达国家和地区由于气候变化损失或收益将更多(表 1.2)。

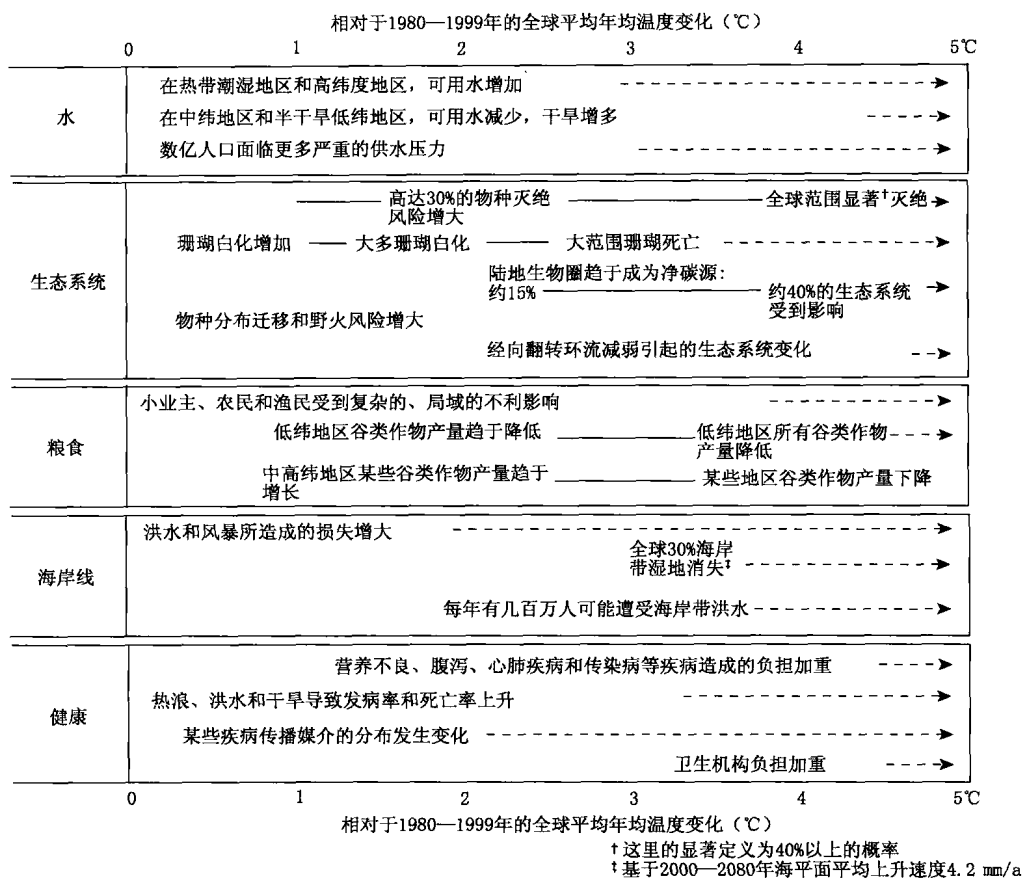


图 1.2 与 21 世纪全球平均地表温度不同升幅相关的气候变化(和海平面高度以及相关的大气二氧化碳浓度)全球预估影响示例(IPCC,2007a)。虚线箭头表示随温度不断升高所产生的影响。所有条目的排列是左侧的文字表示某个特定影响发生的大致起始时间(升温值)。这些估值不包括对气候变化的适应,所有陈述均为高信度

表 1. 2 未来气候变化对各大洲可能影响预估示例(IPCC,2007a)

区域	未来气候变化的可能影响
非洲	• 到 2020 年,预估有 7500 万到 2.5 亿人口会由于气候变化而面临加剧的缺水压力; • 到 2020 年,在某些国家,雨养农业会减产高达 50%。预估在许多非洲国家农业生产,包括粮食获取会受到严重影响。这会进而影响粮食安全,加剧营养不良; • 接近 21 世纪末,预估的海平面上升将影响人口众多的海岸带低洼地区。适应的成本总量至少可达到国内生产总值(GDP)的 5%~10%; • 根据一系列气候情景,预估到 2080 年非洲地区干旱和半干旱土地会增加 5%~8%。

续表

区域	未来气候变化的可能影响
亚洲	• 预估到 21 世纪 50 年代,在中亚、南亚、东亚和东南亚地区,特别是在大的江河流域可用淡水会减少; • 由于来自海洋的洪水以及在某些大三角洲地区来自河流的洪水增加,在海岸带地区,特别是在南亚、东亚和东南亚人口众多的大三角洲地区将会面临最大的风险; • 预估气候变化会加重对自然资源 and 环境的压力,这与快速的城市化、工业化和经济发展有关; • 由于预估的水分循环变化,在东亚、南亚和东南亚,因腹泻疾病主要与洪涝和干旱相关,预计地区发病率和死亡率会上升。
澳大利亚和新西兰	• 预估到 2020 年,在某些生态资源丰富的地点,包括大堡礁和昆士兰湿热带地区,会发生生物多样性的显著损失; • 预估到 2030 年,在澳大利亚南部和东部地区、新西兰北部地区和某些东部地区,水安全问题会加剧; • 预估到 2030 年,由于干旱和火灾增多,在澳大利亚南部和东部大部分地区以及新西兰东部部分地区,农业和林业产量会下降。然而,在新西兰,预估最初会给其他区域带来效益; • 预估到 2050 年,在澳大利亚和新西兰的某些地区,由于海平面上升、风暴和海岸带洪水严重程度和频率的增大,该地区正在进行的海岸带发展和人口增长会面临增大的风险。
欧洲	• 预计气候变化会扩大欧洲在自然资源与资产上的地区差异。负面影响将包括内陆山洪的风险增大,更加频繁的海岸带洪水和海水侵蚀加重(由于风暴和海平面上升);山区将面临冰川退缩、积雪和冬季旅游减少、大范围物种丧失(在高排放情景下,到 2080 年,某些地区物种损失高达 60%); - 预估在欧洲南部,气候变化会使那些已经对气候变率脆弱的地区的条件更加恶劣(高温和干旱),使可用水量减少、水力发电潜力降低、夏季旅游减少以及农作物生产力普遍下降; - 预估由于热浪以及野火的发生频率增加,气候变化也会加大健康方面的风险。
拉丁美洲	• 预估到 21 世纪中叶,在亚马孙东部地区,温度升高及相应的土壤水分降低会使热带雨林逐渐被热带稀树草原取代。半干旱植被将趋向于被干旱地区植被所取代; - 在许多热带拉丁美洲地区,由于物种灭绝而面临生物多样性损失显著的风险; - 预估某些重要农作物生产力会下降,畜牧业生产力降低,对粮食安全带来不利的后果。预估温带地区的大豆产量会增加。总体而言,面临饥饿风险的人数预估会有所增加(中等可信度); - 预估降水型态的变化和冰川的消融会显著影响供人类消费、农业和能源生产的可用水量。
北美洲	• 预估西部山区变暖会造成积雪减少,冬季洪水增加以及夏季径流减少,加剧过度分配的水资源竞争; • 21 世纪最初几十年,预估小幅度气候变化会使雨养农业的累计产量增长 5%~20%,但区域间存在重要差异。对于农作物,预估主要挑战是接近其温度适宜范围的变暖上限,或取决于对水资源的高效利用; • 预计当今遭受热浪的城市在 21 世纪期间会受到更多、更强、更长时间热浪的袭击,可能对健康造成不利的影响; • 海岸带社区和居住环境将日益受到与发展 and 污染相互作用的气候变化影响的压力。

1.1.3 科学认识上的不确定性

20 世纪后期全球气候变暖是不争的事实,但由于气候变化数据的不完备和对气候变化机制认识的有限性,对气候变化的科学认识尚远未达到如 IPCC 所描述的确定程度,其不确定性仍很大。尽管对气候变化政治议题的高度关注大大淡化了对气候变化科学认识不确定性的争论,但作为国际社会及各国制定气候政策和处理气候变化国际事务的出发点,这种科学认识上的不确定性是不容被轻视的。由于气候变化科学认识的不确定性,当前人类社会关于气候变化的决策都只能是有限理性决策,难免存在一定的风险。从行为经济学的角度看,因各自所处经济发展阶段的不同,这种不确定性对不同的国家和群体在决策时所具有的参照意义是不同的。对于发达国家而言,更倾向于轻视气候变化科学认识的不确定性而做出所谓“无悔选择”,从现在就开始采取“风险规避”性的减缓与适应等措施。而对于包括中国在内的发展中国家而言,更关注发展的权利和机会,面对损失其行为更倾向于“追求风险”,期望尽可能少地为“无悔选择”付出不必要的社会和经济成本,因此对气候变化科学认识的不确定性给予更多的关注。有关气候变化科学认识的不确定性可归纳为以下几个主要方面(葛全胜等,2010a; 2010b)。

第一,与 20 世纪全球变暖相关的气候变化事实认识的不确定性。主要表现为:(1)过去 2000 年是否存在“中世纪暖期”(MWP)和“小冰期”(LIA),即 20 世纪暖期是否可能为百年尺度或千年尺度暖期的重现;(2)20 世纪温暖程度是否为过去千年最大,即其是否超过了过去千年自然变化的幅度;(3)20 世纪增温趋势是否停滞,即如何看待不同研究对过去 10 年全球温度变化做出的“全球变暖停滞”和“依然呈明显上升”两种不同的判断。前两点主要与历史气候变化重建结果的不确定性有关,第三点则反映了即使现代观测数据也存在着不确定性,上述不确定性直接影响到关于自然变化和人类活动对 20 世纪变暖贡献的判断。

第二,对温室效应机理认识的不确定性。主要表现在:(1)温室效应机理,即大气中 CO_2 等温室气体浓度增加(增强的温室效应)对增温贡献的显著程度;(2)温室气体排放与气温变化的关系,即从辐射强迫变化到温度变化气候敏感度参数的不同取值对定量评估温室气体排放对气温变化贡献的影响;(3)水汽对温室效应及增温的贡献,即如何评价气温增加与水汽含量的反馈作用。它关系到将全球变暖归因于人类活动的理论基础,即“气温对 CO_2 浓度的敏感性”, 2°C 阈值能否与 450 ppmv 大气 CO_2 浓度挂钩也与此有关。

第三,气候模式的模拟能力的局限性。主要表现在:(1)目前模式的模拟结果与实际观测结果比较,仍存在较大差距;(2)模式本身的缺陷,由于科学认知水平有限,目前人类对于气候系统中各种物理、化学和生物过程的参数化的认识仍存在较大不确定性,对地球辐射能量平衡、云、降水等模拟所用参数的理解有待提高。作为气候变化研究的主要工具,模式的模拟能力直接影响到对气候变化归因的判断,同时也影响到未来预估情景的可靠性。

第四, 2°C 阈值问题。主要的不确定性表现在:(1) 2°C 阈值的物理意义是什么, 2°C 是否为气候系统发生质变的一个临界点(tipping point),超过 2°C 阈值对人类社会的影响是否是灾难性的;(2)控制达到 2°C 阈值对应的大气峰值 CO_2 浓度是否为 450 ppmv,这与气温对 CO_2 浓度敏感性有关,也与自然变化的影响有关。与 2°C 阈值对应的容许温室气体浓度决定着人类未来减排的上限目标。

1.2 社会生态系统

1.2.1 系统与系统安全

钱学森先生把系统定义为由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体(苗东升, 2002)。凡系统都有整体的形态、整体的结构、整体的边界、整体的特性、整体的行为、整体的功能、以及整体的空间占有和时间展开,等等。

每个具体的系统都是从普遍联系的客观事物之网中相对地划分出来的,系统之外和系统相关的一切事务的总和,称为该系统的环境。系统与其环境之间有千丝万缕的联系,他们彼此之间相互作用、相互联系是通过交换物质、能量、信息实现的,系统内部元素的配置方式使得一个系统在其所存在的环境中具备某些特定的系统功能。系统环境的变化或多或少会影响到系统。

在现实世界中生成的系统都有一定的自我保持能力,或称维生能力。系统的维生过程是继续整合的过程。系统生存延续能力的强弱、大小取决于系统的组分、结构和环境三方面。组分的属性和素质不同,系统整体的维生能力也不同;环境的优劣,即来自环境的资源和压力的品位和数量的不同,系统的维生能力也不同;系统结构所产生的整体作用可以通过更换组分而维持其整体的存续,组分或个体不断更替,而整体的形态和行为模式基本保持不变。对于地球系统和人类社会等系统而言,可以通过改变自身的结构来适应外界环境的变化,属于自组织系统。

只有健康、有活力的系统才是安全的,但是这两个条件还不足以确定一个系统的安全:在真实世界中没有任何一个系统是完全独立的,所有系统都不同程度和不同方式得依赖于其他系统,所以子系统与母系统的安全都与整个体系的安全相关。

系统的安全性不仅与系统自身的属性有关,也与系统环境的属性有关,系统的安全是由系统自身及其环境共同决定的。一个安全的系统是指该系统能够生存而且健康,并可以在其系统环境中不断发展。只有当系统的功能和结构适应其所在的环境时,该系统才能存在和发展。当一个系统成功地根植于某一环境时,环境的特征就会在系统的结构和功能中有所显现。

系统的环境特征能够满足系统的特定需要,同时又对系统产生特定的限制,这些环境特征指向和系统的功能、发展和行为密切相关(图 1.3)。按照系统科学对系统的分类,区域人类安全系统及其子系统均属于自组织系统(Self-organizing systems),可以用生存状态(existence)、效率(effectiveness)、自由度(freedom of action)、稳定性(stability)、适应能力(adaptability)、共存状态(coexistence)和心理需要(对于人类社会系统,psychological needs)等七个指示器(orientors)来描述。系统的“指示器”可以用来便捷地找出系统中以及对于系统来说最重要的元素,也就是系统的基本需求,不同系统的生存需求不同,其所在的系统环境性质也不同,因此系统与系统环境之间的指示器也不同。基础指示器是指所有系统或大部分系统都普遍存在的、被一般化后的指示器,目前复杂系统普遍适应的基础指示器如表 1.3 所示,一个系统要想具备生存能力,即安全,那么就需要每个指示器必须达到最小满意度(Bossel, 1999)。

在上述指示器中,“存在性”、“有效性”、“自由性”、“稳定性”、“适应性”、“共存性”与环境有密切的一一对应关系(图 1.3)。而“繁殖性”、“心理需求”、“责任性”等指示器则取决于系统自

身的某些属性。

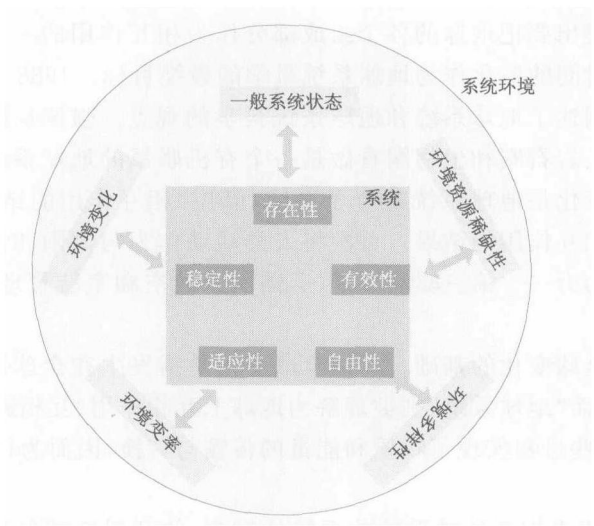


图 1.3 系统与系统环境关系图 (Bossel, 1999)

表 1.3 系统基本指示器 (Bossel, 1999)

指示器	系统安全表现
存在性	系统必须与其所存在的环境状态相兼容。信息、能源和材料的输入必须有保障。
自由性	系统在维持自身生存的同时尚有余力/潜力和储备资源应对环境变化所带来的挑战。
有效性	系统能够有效地（不一定要高效率地）保障稀缺资源量（信息、物质、能量等）和努力改变环境。
稳定性	系统在面对环境变化的不良影响时有能力保护自己，尽量不改变系统的结构和组分，能够正常生存甚至可以继续发展。
适应性	面对环境变化挑战，系统能够通过学习、调节和改变自组织形式来作出适当的回应，使得系统在面对外部环境波动的情况下，尽量使系统的功能波动最小。
共存性	系统有能力调整自己的行为以适应环境中其他系统的利益要求（指向）。
自繁殖性	对于自繁殖系统，有能力不断进行组分的重新生成，并且生成的组分在数量和质量上能够满足系统生存和发展的需要。
责任性	对于有意识系统（人类个体），能够清楚认识到自身状态对系统环境的影响，进而有有效约束和调整自身行为的能力。
心理需求	对于有意识系统（人类个体），能够感受到焦虑、压力、兴奋、高兴等情绪，在系统环境中，能够因系统自身或系统环境的变化，而产生相应的情绪，并期望或有能力改造、调整自身系统状态或环境来满足心理需求的性质。

1.2.2 地球系统与社会生态系统

地球系统科学是近 20 a 来国际科学界在应对全球环境变化挑战过程中发展起来的一门新的科学领域，地球系统是与地球系统科学相伴而生的科学概念。最早非正式出现于 1983 年

美国国家航空和宇航管理局(NASA)顾问委员会领导下的地球系统科学委员会(ESSC)的内部文件中。该委员会提出要把地球的各个组成部分作为相互作用的一个系统加以评述,将透视和理解地球系统随时间的演化作为地球系统科学的最终目标。1988年出版的《地球系统科学》一书,正式系统地阐述了地球系统和地球系统科学的观点。强调从整体出发,将地球的大气圈、水圈(含冰雪圈)、岩石圈和生物圈看做是一个有机联系的地球系统,发生在该系统中的各种时间尺度的全球变化是地球系统各个子系统(圈层)相互作用的结果,三大基本过程(物理、化学和生物过程)相互作用的结果。首次将人类活动作为与太阳和地球内能并列的、能引发地球系统变化的驱动力——第三驱动因素(美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会,1992)。

地球系统是认识全球变化的基础。所谓全球变化是指发生在全球尺度上的、对地球系统功能产生影响的变化,而“地球系统”则被理解为地球上互相作用、互相影响的物理、化学、生物与人类过程的集合,这些过程实现了物质和能量的传输与转换,因而为行星上的生命提供了条件(Steffen,2004)。

20世纪80年代,当人们开始接受地球系统的概念,并开展全球变化研究的时候,人们很少了解各部分是如何连接的,甚至不清楚系统各部分作用的重要性,反馈机制也不完全清楚,更不要说控制系统的关键过程。在世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、生物多样性计划(DIVERSITAS)和国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)等大型全球变化科学研究计划的推动下,对地球系统的特点和人类活动如何影响全球变化的认识方面有了质的飞跃,人们认识到地球的两个基本性质:第一,地球本身是一个孤立系统,生物圈是其中的一个活跃的、基本的成分;第二,人类活动的后果已经如此普遍而显著,已在全球尺度上以复杂的、相互作用和加速的方式对地球产生影响,人类已具有通过威胁人类赖以生存的生物的和非生物的过程和成分改变地球系统的能力。有关地球系统与全球变化所取得的主要科学共识被概括为以下五个方面(Steffen,2004)。

第一,地球系统是一个由物理的、化学的、生物的和人类等成分组成的自组织系统。各组成部分之间的相互作用和反馈是复杂的、表现为多时空尺度的变化。近年来对地球系统自然动力过程的认识取得了巨大进展,为评价人类驱动的变化和影响和后果提供了可靠的基础。

第二,除了温室气体排放和气候变化,人类活动以多种方式对地球环境造成显著影响。在自然变化之上,能够清楚地识别出人类活动导致的地球的陆地表面、海洋、海岸带、大气的变化,以及生物多样性、水循环和生物地球化学循环的变化。他们在规模和影响上已与某些巨大的自然营力相当。许多在加速变化。全球变化是真实的且目前正在发生。

第三,全球变化不能理解为简单的因果关系。人类驱动的变化以多种途径对地球系统产生多重影响,这些影响相互作用造成局地 and 区域尺度上发生难以理解更难以预测的多种形式变化,令人惊讶。

第四,地球系统动力过程的特点是阈值和反馈。人类活动能够无意地触发这种变化,对地球环境和人类产生严重的后果。在过去50万年中,地球系统经历不同的运行状态,有时不同状态之间发生突然的状态转换(几年到几十年)。人类活动具有改变地球系统运行状态潜在可能,结果可能给人类和其他生命造成不利。人类驱动地球环境突变的可能性尚有待证明,但不容忽视。

第五,至于地球系统的某些关键环境参数,至少已经超出过去50万年中自然变化的幅度。