

# 5

---

## 气候变化和水资源的区域方面分析

---



## 5.1 非洲

### 5.1.1 背景

水是非洲目前及未来所面临的若干关键问题之一。由河流、湖泊和降雨提供的水具有以下特征：不均衡的自然地理分布和可获取性以及不可持续的水利用。气候变化有可能对水资源的可用性和可获取性带来额外的压力。Arnell (2004) 阐述了IPCC的SRES情景对使用HadCM3<sup>20</sup>气候模式进行2050年河川径流预估的意义。这些试验表明非洲北部和南部的径流显著减少，而非洲东部和非洲半干旱的次撒哈拉部分地区的径流预估会增加。然而，多模式结果(图2.8和2.9)表明模式间存在相当大的差异，非洲北部径流减少和非洲东部径流增加是模式结果中出现的最确凿的响应。目前对非洲次撒哈拉地区的降水预估中存在大的离散，其中有些模式预估会增加，而其它则预估会减少。应当在很大不确定性的背景下看待上述预估的影响。[WGI 11.2, 表11.1; WGII 9.4.1]

到2025年，预估在九个国家<sup>21</sup>，主要是非洲的东部和南部，可用水资源低于1000立方米/人/年。有十二个国家<sup>22</sup>将限于1000-1700立方米/人/年，面临缺水风险的人口将多达4.6亿，主要在非洲的西部，(UNEP/GRID-Arendal, 2002)<sup>23</sup>。这些估值仅以人口增长率为基础，没有考虑因气候变化造成的水资源变化。此外，一项估测表明，非洲面临缺水压力的人口比例会从2000年的47%增至2025年的65%(Ashton, 2002)。这将会产生水资源冲突，特别在干旱和半干旱区域。[WGII 9.2, 9.4]

一个具体的实例是南非的西南角，针对此地的一项研究表明，由于降水减少或是潜在的蒸发增加，水供给能力不断降低。此项研究预估，到2020年，供水量每年减少0.32%，而预估与全球变暖有关的气候变化将使大开普敦行政区的水需求每年增加0.6%(New, 2002)。

关于尼罗河流域，Conway (2005) 发现，没有明显的迹象表明尼罗河流量如何受到气候变化的影响，因为该流域的预估降雨型态存在不确定性，而且还有复杂的水资源管理和水资源治理结构的影响。[WGII 9.4.2]

目前已观测到许多陆地水资源对降雨变化的反

应，这些反应可被看作是表示与气候变率有关的未来缺水压力的可能指标。在非洲大陆的东部地区，已观测到湖泊年际水位波动，1993-1997年为低值，1997-1998年水位较高(如，坦噶尼喀湖、维多利亚湖和图尔卡纳湖)，后者与1997年末的过量降水和印度洋大尺度扰动有关(Mercier等, 2002)。作为对较暖气候条件的响应，已有观测报告表明湖泊水温较高(见图5.1)。[WGII 9.2.1.1, 1.3.2.3]

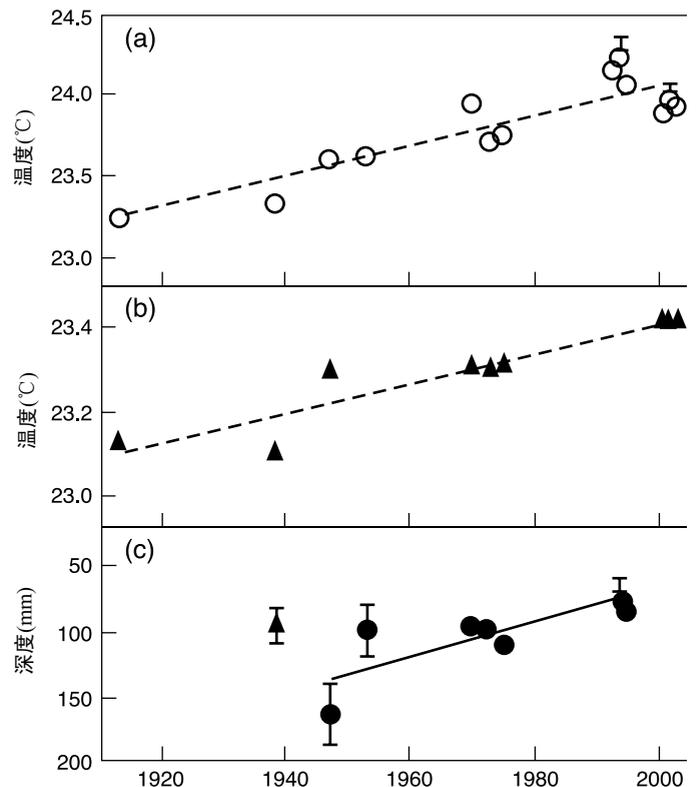


图5.1: 东非坦噶尼喀湖的历史观测和近期测量结果: (a) 上部混合层(水面)温度; (b)深水(600米)温度; (c)上部混合层的深度。三角形表示用不同方法收集的资料。误差线表示标准误差。承蒙麦克米兰出版有限公司同意后复制[《自然》](O'Reilly等, 2003), 2003版权。[WGII 图1.2]

### 5.1.2 当前的观测

#### 5.1.2.1 气候变率

西非萨赫勒地区经历了显著的多个年代际降雨变率(如, Dai等, 2004a), 均与大气环流的变化以及与相关的太平洋、印度洋及大西洋海域的热带海面温

<sup>20</sup> 有关模式的说明，见附件1。

<sup>21</sup> 吉布提、佛得角、肯尼亚、布隆迪、卢旺达、马拉维、索马里、埃及和南非。

<sup>22</sup> 毛里求斯、莱索托、埃塞俄比亚、津巴布韦、坦桑尼亚、布基纳法索、莫桑比克、加纳、多哥、尼日利亚、乌干达和马达加斯加。

<sup>23</sup> 目前非洲仅有五个国家(1990年的资料)每年人均用水量低于1000立方米。这五个国家是卢旺达、布隆迪、肯尼亚、佛得角和吉布提。

度型态变化有关(如, ENSO和AMO)。在20世纪50年代和60年代的多雨期之后, 从20世纪70年代到90年代经历了极为干燥的气候条件。降雨量的不足主要与一些发生在季风高峰期(7月至9月)期间和大约北纬9度以南的第一个雨季中的重大降雨事件数量的减少有关。20世纪的最后30年中, 萨赫勒地区的降雨量减少和严重的干旱(图5.2)属于全球出现的最大的气候变化。在1982/83年厄尔尼诺事件之后, 萨赫勒地区的降雨量降至最低水平。[WGI 3.7.4]模拟研究表明, 萨赫勒地区降雨量已更多地受到大尺度气候变化的影响(可能与人为气溶胶的变化有关), 而不是受局部土地利用变化的影响。[WGI 9.5.4]

### 5.1.2.2 水资源

当代非洲大约有25%的人口经历了缺水压力, 而有69%的人生活在有相对充沛水资源的条件下(Vörösmarty等, 2005)。然而, 这种相对的水资源充沛并未考虑其它因素, 例如, 水的可饮用程度, 可获取程度以及具备水卫生条件的程度。尽管在20世纪90年代在水的获取方面有了显著的改进, 但2000年非洲仅约62%的人享受到改进后的供水条件(WHO/UNICEF, 2000)。[WGII 9.2.1]

非洲三分之一的人口生活在易旱地区, 且易受干旱的影响(世界水论坛, 2000), 从而造成了人口迁移、文化脱节、人民流离和古代文化的消亡。干旱主要对萨赫勒、非洲之角和非洲南部地区造成了影响, 特别是自20世纪60年代末以来, 给粮食安全带来

了严重的影响, 最终出现了饥荒。自20世纪60年代末以来, 已观测到西非年降雨量减少, 与1931年到1960年之间的30年相比, 1968-1990年期间降雨减少了20-40%(Nicholson等, 2000; Chappell和Agnew, 2004; Dai等, 2004a)。目前已认识到ENSO年代际变化对非洲西南部的影响, 部分受到北大西洋涛动(NAO)的影响(Nicholson和Selato, 2000)。[WGII 9.2.1]

### 5.1.2.3 能源

非洲大部分国家的电力供应来自水力发电。目前几乎没有针对检验气候变化影响非洲能源使用的研究(Warren等, 2006)。[WGII 9.4.2] 尽管如此, 非洲大陆的特点是农村地区高度依赖薪柴作为主要的能源——约占非洲大陆总能耗的70%。反之, 气候变化对生物质生产的任何影响也将影响薪柴能源的可用率。在非洲次撒哈拉地区, 获得能源受到严重限制, 估计有51%的城市人口和仅8%的农村人口可获得电力。相比之下, 非洲北部有99%的城市人口和80%的农村人口能用上电。城市化、不断增加的能源需求和不稳定的油价带来的更大挑战进一步加剧了非洲的能源问题。[WGII 9.2.2.8]

### 5.1.2.4 健康

#### 疟疾

疟疾的空间分布、传播强度以及发病的季节性均受非洲次撒哈拉地区气候的影响; 社会经济发

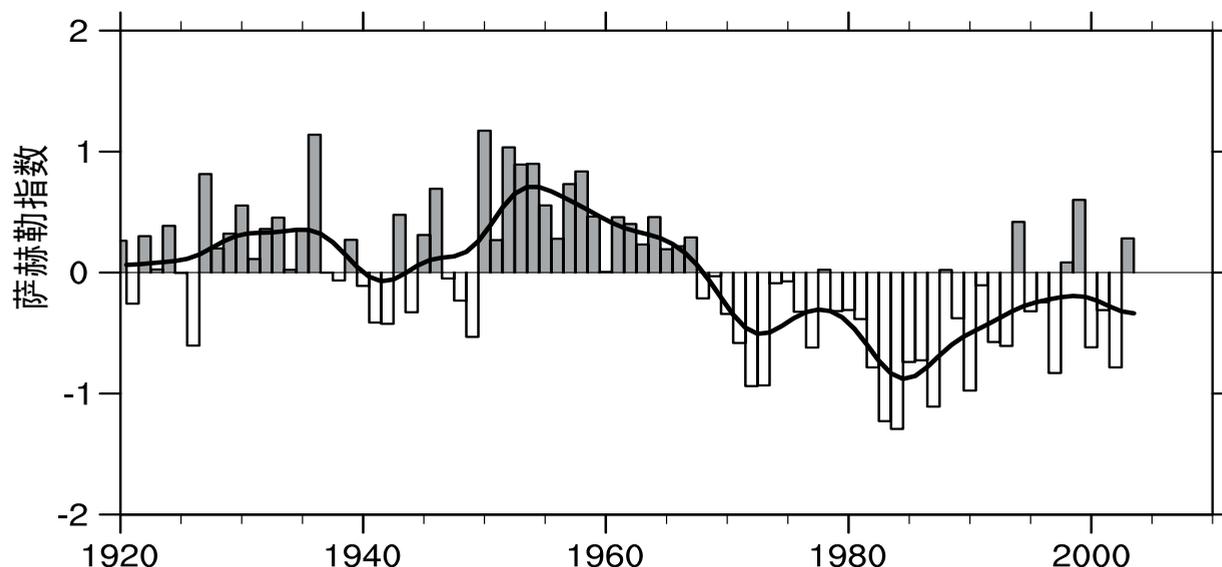


图5.2:根据对台站归一化距平进行格点处理然后用面积加权平均求出的1920-2003年萨赫勒(10°N-20°N, 18°W-20°E)区域降雨(4-10月)的时间序列(根据Dai等人的结果作了调整, 2004a)。正值(阴影条)表示气候条件比长期平均值湿润, 负值(空白条)表示气候条件比长期平均值干旱。黑色平滑曲线表示年代际变化。[WGI图3.37]

展对缩小疾病分布的作用有限(Hay等, 2002a; Craig等, 2004)。[WGII 8.2.8.2]

降雨对于蚊子数量是一个限制因素,有些证据表明,疟疾传播的减少与年代际降雨减少有关。海面温度预报(Thomson等, 2005b)和在博茨瓦纳多模式集合季节气候预报(Thomson等, 2006)提供的关于异常高或低的疟疾异常情况的可预测性证据表明:季节预报的实际和日常应用有助于控制非洲南部的疟疾(DaSilva等, 2004)。[WGII 8.2.8.2]

观测到的气候变化对疟疾的地理分布及其在高原地区传播强度的影响仍存在争议。对东非某些地方的时间序列资料所作的分析表明,在明显缺乏气候趋势的情况下,疟疾发病率已经上升(Hay等, 2002a, b; Shanks等, 2002)。疟疾再次爆发,其背后的驱动因子包括疟疾寄生虫的抗药性和控制传病媒介活动的减少。然而,这一结论的有效性已受到质疑,因为它可能是由于气候资料使用不当所造成的(Patz, 2002)。对这些区域的最新温度资料进行分析后发现:自20世纪70年代末以来,出现了一个显著的变暖趋势,变化的幅度影响着传播潜力(Pascual等, 2006)。在非洲南部地区,疟疾的长期趋势与气候无显著的相关性,虽然,病例数量中的季节变化却与一些气候变量显著相关(Craig等, 2004)。抗药性和HIV感染与该地区疟疾的长期趋势有关(Craig等, 2004)。[WGII 8.2.8.2]

一些深入的研究指出非洲高原温度年际变率和疟疾传播之间存在某些关系。对马达加斯加的去掉趋势的时间序列疟疾资料进行分析后表明,传播季节(相当于人-病媒接触最多的月份)开始时的最低温度成为各年份之间的最大变率(Bouma, 2003)。在肯尼亚高原地区,疟疾的住院率与降雨以及之前3-4个月的异常高的最高温最有关(Githeko和Ndegwa, 2001)对埃塞俄比亚50个地点20世纪80年代末至90年代初的疟疾发病率资料进行分析发现,各种流行病均与之前几个月的最低温度升高有关(Abeku等, 2003)。对东非的七个高原地点的资料进行分析表明,与长期趋势相比,短期气候变率在疟疾流行病初发时起到了更重要的作用(Zhou等, 2004, 2005),虽然用于检验这一假设的方法却已受到了质疑(Hay等, 2005)。[WGII 8.2.8.2]

#### 其它与水有关的疾病

虽然世界其它地区根除了霍乱等传染病,但这些疾病却在非洲再次出现。在低收入国家,特别是在非洲次撒哈拉地区,虽然改善了对儿童的护理以及采用了口服液疗法,但儿童因腹泻而造成的死亡率仍

很高(Kosek等, 2003)。儿童可能幸免于急性病,但以后也有可能死于持续性腹泻或营养不良。一些研究表明,在雨季,肠道病源体疾病传染率较高(Nchito等, 1998; Kang等, 2001)。[WGII 8.2.5, 9.2.2.6]

#### 5.1.2.5 农业

在非洲一些国家,农业是当地生活和国家GDP的重要支柱。农业对各国GDP的贡献率各不相同,但评估表明,平均贡献率为21%(从10%至70%)(Mendelsohn等, 2000b)。即使在农业对GDP贡献不大的国家,农业仍可养活很大部分人口,因此,粮食减产会对贫困和粮食安全产生影响。农业尤其易受气候的影响,包括受气候变率期的影响。在非洲的许多地区,农民和牧民还必须应对其它极端自然资源的挑战和限制,如土壤贫瘠、虫害、农作物病害、缺乏投资和改良的种子。这些困难通常会因持续干旱和洪水而加剧(Mendelsohn等, 2000a, b; Stige等, 2006)。[WGII 9.2.1.3]

#### 5.1.2.6 生态系统和生物多样性

生态系统及其生物多样性对非洲人民的福祉能做出显著的贡献。[WGII 第9章]非洲丰富的生物多样性主要存在于正式保护区以外,这种生物多样性正受到气候变率和变化及其它不利条件的威胁(如,框5.1)。气候变化、栖息地的丧失、过度收割人为选定的物种、外来物种的扩散以及狩猎和毁林等活动,制约了非洲社会和经济的发展,而且有可能破坏非洲大陆的丰富但脆弱的生态系统的完整性(UNEP/GRID-Arendal, 2002)。例如,非洲南部地区近一半的半湿润和半干旱部分处于中度到高度荒漠化风险之中。在西非,从20世纪70年代至90年代,降雨长期下降导致萨赫勒、苏丹和几内亚的生态区在20世纪下半叶南移25-35公里(Gonzalez, 2001)。这导致草原和金合欢属植物的丧失、植物群落/动物群落的丧失、萨赫勒的沙丘移位;目前已观测到各种影响(ECF和波茨坦研究所, 2004)。[WGII 9.2.1.4]

#### 5.1.3 预估的变化

##### 5.1.3.1 水资源

预计在2025年之前,即在该报告发表之后不足20年的时间内,非洲增加的人口将面临缺水压力,这主要是由于水需求增加所致。[WGII 9.4.1] 预计气候变化将会加剧这一状况。对于所有的SRES情景,一些评估报告预估:到2020年代和2050年代,非洲将分别会有7500万~2.5亿和3.5亿~6亿人口面临更大的缺水风险(Arnell, 2004)。然而,气候变化对整个非洲大陆水资源的影响并不相同。六个气候模式的分析

**框 5.1: 乞力马扎罗山的环境变化 [根据WGII 框 9.1修改]**

有证据表明，气候变化正在改变乞力马扎罗山的山区自然生态系统。例如，由于干燥的气候条件，乞力马扎罗山山坡发生更高频率和强度的火灾，导致在20世纪期间，上部森林线下移了数百米(图5.3, 表5.1)。自1976年以来，云林覆盖最终减小150平方公里，对捕获雾以及雨水的临时储存产生了重大影响，并因此给山区的水量平衡带来了重大影响(Hemp, 2005)。

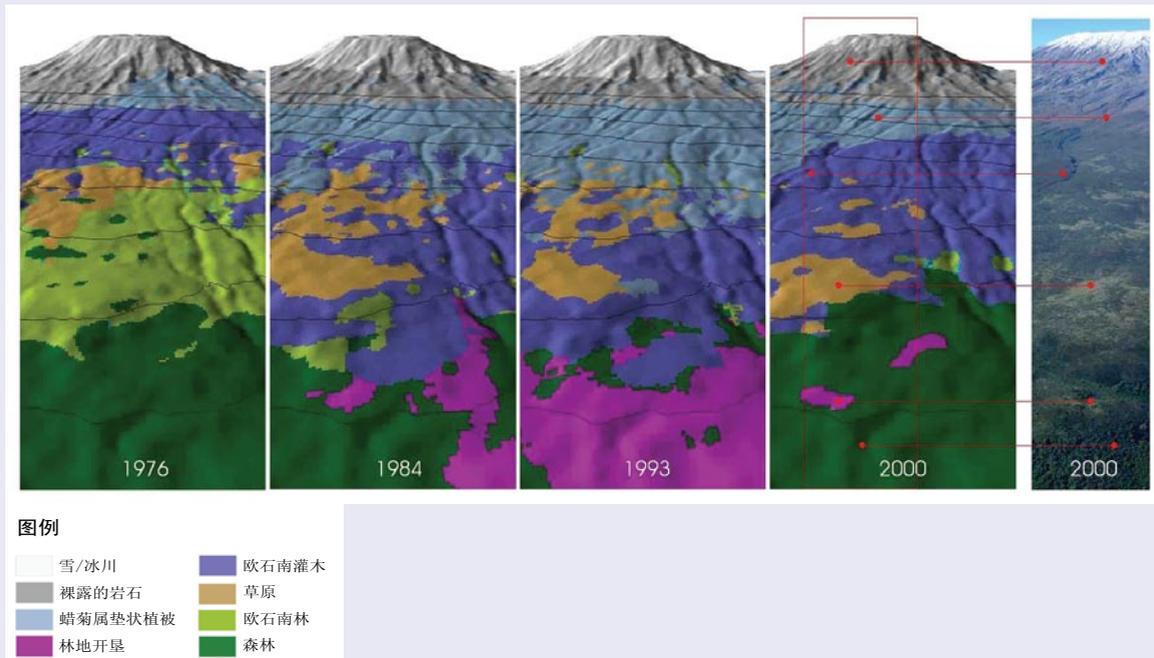


图 5.3: 土地综合利用和气候的相互影响，导致乞力马扎罗山的土地覆盖发生变化(Hemp, 2005)。布莱克威尔出版有限公司同意再印刷。

表 5.1: 乞力马扎罗山上部区域土地覆盖的变化(Hemp, 2005)。

植被类型	面积 1976 (km <sup>2</sup> )	面积 2000 (km <sup>2</sup> )	变化 (%)
山地森林	1066	974	-9
亚高山石南科林	187	32	-83
石南科灌木	202	257	+27
蜡菊属垫状植被	69	218	+216
草地	90	44	-51

(Arnell, 2004) 表明，到2055年，北部和南部非洲可能会有更多的人面临缺水的压力(图5.4)。相反，在非洲东部和西部地区，可能将会有更多的人面临减小而非加大的缺水压力(Arnell, 2006a)。[WGII 3.2, 图3.2, 图3.4, 9.4.1, 图9.3]

地下水是非洲饮用水最普遍的主要来源，特别是在农村地区，依靠低价掘井和钻孔。随着降水减少和径流，预估地下水回灌也将减少，导致那些在干旱季节靠地下水补充农业用水和民用水需求的地区加剧缺水的压力。[WGII 3.4.2, 图3.5]

一份对马格里布地区某一流域上升1℃的影响研究预估，假设降水量保持不变，径流亏值约为10%(Agoumi, 2003)。[WGII 9.4.1, 3.2, 3.4.2]

5.1.3.2 能源

虽然针对非洲能源开展的研究不多，但对赞比西河流域水力发电所开展的研究结合对未来径流的预估表明，气候变化会给水力发电，特别是位于半湿润地区流域的水力发电带来负面影响(Riebsame等, 1995; Salewicz, 1995)。[WGII TAR 10.2.11, 表

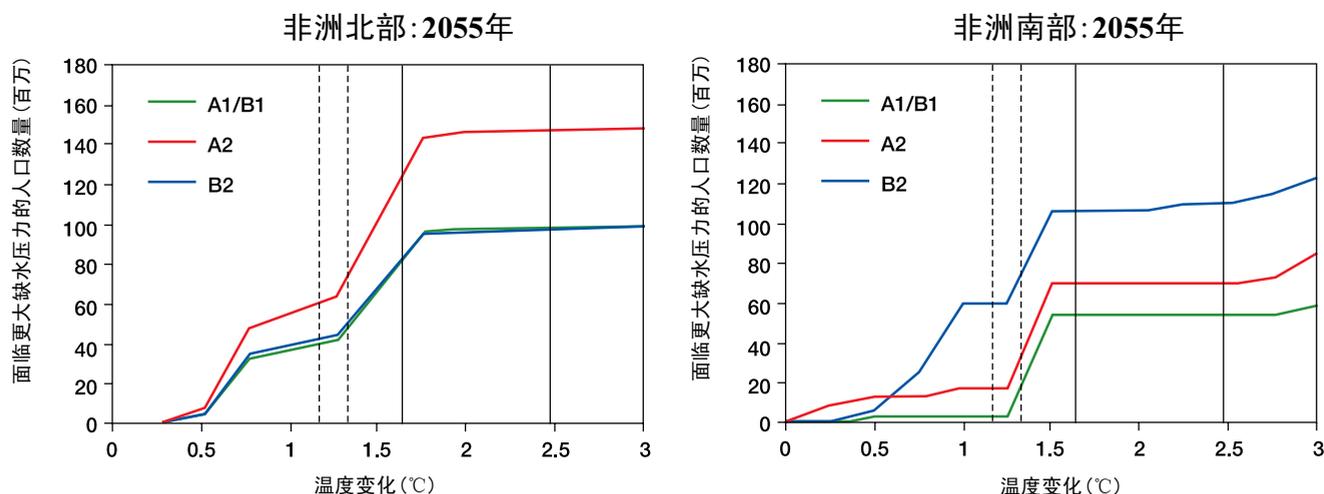


图 5.4: 与1961-1990年相比, 流域地区面临更大缺水压力的人口数量(单位: 百万)(Arnell, 2006b)。由于气候变化, 缺水流域的径流低于 $1000\text{m}^3/\text{人}/\text{年}$ , 而当径流大幅减少时, 人口面临着更大的缺水压力。图中情景是根据HadCM3反演的, 红、绿和蓝线表示不同的人口预估; 注意: 在某些区域, 不同气候模式预估的水文变化有很大的不同。由于更多的流域面临径流大幅减少, 因此出现了函数阶梯。[WGII 图9.3]

## 10.1]

### 5.1.3.3 健康

大量的研究已把气候变化与非洲大陆的卫生问题联系在一起。例如, 非洲疟疾风险分布图项目(MARA/ARMA)的结果显示出到2020、2050和2080年气候适宜疟疾的地区分布(Thomas等, 2004)。到2050年并持续到2080年, 西萨赫勒的大部分地区和非洲中南的大部分地区表明可能变成不适合疟疾传播的地区。采用十六个气候变化情景的其它评估(如, Hartmann等, 2002)表明, 到2100年, 温度和降水的变化能够改变疟疾在津巴布韦的地理分布, 而以前人口稠密、不适宜疟疾传播的地区变得适宜传播。[WGII 9.4.3]

目前对气候变率和变化在未来可能给动物健康带来变化的评估比较少。疾病的分布、范围、流行程度、发病率和季节性变化预计会发生变化。但是, 变化程度的确定性低。裂谷热传染病在1997/98年东非厄尔尼诺事件期间最为明显而且与洪水有关, 在洪水频发地区, 其发病率会上升(第3.2.1.2节)。预估东非的极端潮湿季节的次数会上升。最后, 热应力和干旱可能会对动物健康和乳制品生产产生更大的负面影响(这在美国已经出现; 见Warren等, 2006)。[WGI 表11.1, 11.2.3; WGII 9.4.3, 5.4.3.1]

### 5.1.3.4 农业

目前已就气候变化对生长期和农业系统的影响以及可能对生计造成的影响作了研究(如: Thornton等, 2006)。基于三个情景所做的近期研究表明, 到2100年, 农作物净收入可能下降高达90%, 而小规模农场受到的影响最大。但是, 适应有可能减小这些负面影响(Benhin, 2006)。[WGII 9.4.4]

框5.2提供了对埃及的气候变化、水利用率和农业所作的案例研究。

然而, 并非所有的气候变化和气候变率都会对农业产生负面影响。在某些地区, 如: 埃塞俄比亚高原附近, 在气候变化条件下, 作物生长期可能延长。以某些高原地区为例, 温度升高加上降雨的变化可能导致生长期的延长(Thornton等, 2006)。例如, 由于肯尼亚山和乞力马扎罗山高原地区霜冻的减少, 也许可以种植温带作物, 如苹果、梨、大麦、小麦等(Parry等, 2004)。[WGII 9.4.4]

渔业是获得收入、就业和蛋白质的另一个重要来源。在有大大泻湖和湖泊系统的沿海地区, 淡水流量的变化和咸水更多地入侵泻湖, 将会影响那些成为内陆渔业或水产养殖基础的物种(Cury和Shannon, 2004)。[WGII 9.4.4]

已就非洲气候变化对牲畜的影响作了研究(Seo和Mendelsohn, 2006)。降水减少14%可能会使大型农场因牲畜存栏数和每头牲畜净收入下降而减少大约9%的收入(-50亿美元)。[WGII 9.4.4]

### 框 5.2: 埃及的气候、可用水和农业 [WGII 框 9.2]

埃及是非洲国家之一，在气候变化条件下，埃及易受缺水压力的影响。2000年的用水量估计为70km<sup>3</sup>，远远超过了可用水资源(Gueye等，2005)。埃及的一项主要挑战是弥补有限的可用水与各经济行业对水需求日益增加之间快速加大的差距。埃及的水利用率已达到其最大值，而气候变化将加剧这一脆弱性。

农业用水约占年总用水量的85%，而农业在埃及的国民经济中具有重要作用，约占GDP的20%。超过70%的耕地依靠低效的地表灌溉系统，造成了水的高损耗、土地生产力下降、渍涝和土壤盐碱化问题(El-Gindy等，2001)。此外，不可持续的农业耕作和欠妥的灌溉管理影响着该国的水资源质量。反之，灌溉用水质量的降低也会对被灌溉的土壤和农作物造成有害的影响。

埃及水资源研究机构正通过国家提高计划(EPIQ, 2002; ICID, 2005)，争取到2017年实现下列目标：

- 提高城市和农村地区卫生用水的覆盖率，
- 污水管理，
- 通过提高灌溉效率和农业排水再利用来优化水资源的利用。

然而由于气候变化，一系列严重威胁是显而易见的。

- 海平面上升会影响尼罗河三角洲，并对生活在该三角洲和其它海岸带地区的人民产生影响(Wahab, 2005)。
- 温度升高可能会降低主要农作物的生产率，增加其用水需求，因此直接降低了农作物的用水效率(Abou-Hadid, 2006; Eid等, 2006)。
- 灌溉需求可能将出现普遍增加(Attaher等, 2006)。
- 尼罗河的流量也将有很大的不确定性。
- 鉴于预估的降水减少以及预估到2050年人口将会在1.15-1.79亿之间，根据SRES情景，埃及可能会面临加大的缺水压力。这将加剧各个行业的缺水压力。
- 灌溉面积的不断扩大会降低埃及应对未来流量变化的能力(Conway, 2005)。

#### 5.1.3.5 生物多样性

降水变化造成的土壤水分减少会以多种方式影响自然系统。预估植物和动物物种会有大量灭绝。5000多个植物物种会受到气候变化的影响，主要是由于丧失了适宜的生长环境。预估到2050年，由于冬季降水减少，石南科灌木群落(以杜鹃花科为主的南非生态系统，它是世界自然保护联盟的‘热点’)的面积会丧失51-61%。预估多汁的卡鲁多植物群落(其中有2800个面临更大灭绝风险的植物物种)将会向东南扩展，预估约2%的山龙眼科会灭绝。这些植物与专门以其为食的鸟类有密切的关系。有些哺乳动物物种，如斑马和羚羊，已表明易受到干旱引起的食物可获取性变化的影响，预估这类物种会部分消失。在有些野生生物管理区，如克鲁格国家公园和万基国家公园，野生种群已依靠井水来补充供水(框5.3)。[WGII 4.4, 9.4.5, 表9.1]

### 框 5.3: 南非克鲁格国家公园预估会灭绝的物种 [WGII 表 4.1]

在南非克鲁格国家公园，由于全球平均温度与1990年相比上升2.5-3.0 °C：

- 24-59%的哺乳类动物，
- 28-40%的鸟类，
- 13-70%的蝴蝶类，
- 18-80%的其它无脊椎类动物，以及
- 21-45%的爬行类动物均将灭绝。

总计有66%的动物物种可能会消失。

许多种鸟是从欧洲及古北极区迁徙而来。有些鸟类在飞越撒哈拉沙漠之前，将南萨赫勒作为中途停留地点。该区域因干旱引发的食物短缺会妨碍这

些鸟类成功迁徙。如上所述,萨赫勒的降水模式的模拟结果尚不明确。[WGII 9.3.1] 如果潮湿情景成为现实,那么次撒哈拉/萨赫勒区域的生物多样性就不会因缺水影响而受到紧迫的危险。另一方面,相比之下更干旱的情景会导致大范围的灭绝,特别当自然系统与人类需求之间的竞争加剧时。[WGII 9.4.5]

以降水作为关键的环境因素,对南部非洲猛禽的模拟结果表明,当它们目前的分布区域变得更为干燥时,其分布范围会大幅缩小。[WGII 4.4.3] 总之,预计非洲次撒哈拉保护区内约有25-40%的动物物种将濒临灭绝的危险。[WGII 9.4.5]

### 5.1.4 适应和脆弱性

非洲的近期研究突显以自然资源为生的当地人群的脆弱性,研究表明,他们以资源为生的基础—由于过度使用已不堪重负和严重恶化—预计会受气候变化的进一步影响(Leary等,2006)。[WGII 17.1]

气候变化和变率可能会给非洲的可用水、可获得性、供给和需求带来更大的压力。[WGII 9.4.1] 估计非洲大约有25%(2亿)的人口目前蒙受缺水的压力,预计未来更多的国家将面临高风险的境地(见第5.1.3.1节)。[WGII 9.ES] 此外,预计即使未出现气候变化,一些国家,特别是北部非洲的国家,在2025年之前,其经济上可用的陆地水资源会达到风险阈值水平。[WGII 9.4.1] 非洲的农业尤为依靠降雨,而频繁的自然灾害,如干旱和洪水,在很大程度上限制了其农业的发展,导致了缺粮以及一系列宏观和微观结构问题。[WGII 9.5.2]

ENSO对非洲年际尺度的降雨具有显著影响,而且可能影响未来的气候变率。[WGI 3.7.4, 3.6.4, 11.2] 但是,一些障碍阻碍了有效适应ENSO的变化,包括:与区域气候预报有关的空间和时间的不确定性;决策者对厄尔尼诺的地方和区域影响的意识程度不高;国家开展气候监测和预报的能力有限;在制定应对措施方面缺乏协调(Glantz, 2001)。[WGII 17.2.2]

关于气候变率和变化对地下水的影响,目前几乎没有这方面的信息,尽管许多国家(特别是非洲北部地区)是依靠此类水源。[WGII 9.2.1]

以前对水影响的评估并未充分包括未来水的多种用途和未来的缺水压力(如Agoumi, 2003; Conway, 2005),因此需要对水文、排水和气候变化作更为细致的研究。农村地区未来从低位地表水流汲取水还需要由河流域所在国家加以解决(如,de Wit和Stankiewicz, 2006)。[WGII 9.4.1]

适应能力和与水资源有关的适应性对非洲大陆是非常重要的。历史上,因干旱和洪水而迁移被看作是其中的一种适应方案。迁移也被认为可以为那些移民提供收入来源,他们被雇为季节劳工。其它有助于适应的做法包括传统的和现代的蓄水技术、水源保护和蓄水、种植耐旱及早熟作物。作为最重要的适应需求之一,突出了在有关蓄水和用水的传统知识的基础上发展的重要性(Osman-Elasha等, 2006),这表明有必要将其纳入气候变化政策,以确保制定其成本效益、便于参与和可持续的有效适应对策。[WGII 9.5.1, 表17.1]

针对非洲的水资源,有关气候变化的影响和适应成本的信息极少。然而,对南非贝尔格河流域适应成本的初步评估表明,如果在管理方案中纳入灵活和高效的方法,其可能产生的成本会大大低于因未采取适应气候变化措施而发生的成本(见Stern, 2007)。[WGII 9.5.2]

## 5.2 亚洲

### 5.2.1 背景

亚洲是一个水资源分布不均衡的区域,而且其广大地区处在缺水压力之下。亚洲的43个国家中,有20个国家年人均可再生水资源超过3000立方米,有11个国家在1000-3000立方米之间,6个国家低于1000立方米(尚无有关其余6个国家的资料)(FAO, 2004a, b, c)。[WGII 表10.1] 从中国西部和蒙古到西亚,有广大地区为干旱和半干旱土地。[WGII 10.2] 即使在亚洲的湿润和半湿润地区,水严重不足/缺水是限制可持续发展的诸多因素之一。另一方面,亚洲人口众多,而且仍在快速增长,发展水平低,应对能力薄弱。预计气候变化会加剧亚洲缺水的状况,同时会带来多重社会经济压力。[WGII 10.2]

### 5.2.2 观测到的气候变化对水的影响

#### 5.2.2.1 淡水资源

过去几十年间,在整个亚洲已观测到降雨的季节间、年际和空间的变率。在俄罗斯、中国的东北和北方地区、巴基斯坦海岸带和干旱平原、印度东北部分地区、印度尼西亚、菲律宾和日本某些地区已观测到年度平均降雨量减少的趋势。在中国西部、长江(扬子江)流域和中国东南沿海、阿拉伯半岛、孟加拉以及菲律宾西部沿海,其年平均降雨量呈现出增加的趋势。在东南亚,报告表明在过去20年,与厄尔尼诺有关的极端天气事件更频繁,强度增加

(Trenberth和Hoar,1997;Aldhous,2004)。应重点指出,印度季风和东亚季风均存在大的年代际变率。[WGI 3.3.2,3.7.1;WGII 10.2.2,10.2.3]

总之,在亚洲的许多地区已出现了更为频繁的更强降雨事件,引发了大洪水、滑坡、泥石流和泥流,而降雨天数和年总降水量却出现下降(Zhai等,1999;Khan等,2000;Shrestha等,2000;Izrael和Anokhin,2001;Mirza,2002;Kajiwara等,2003;Lal,2003;Min等,2003;Ruosteenoja等,2003;Zhai和Pan,2003;Gruza和Rankova,2004;Zhai,2004)。然而,有报告表明,在某些国家,极端降雨的频率已呈现出下降趋势(Manton等,2001;Kanai等,2004;)。[WGII 10.2.3]

在亚洲许多地区,递增的干旱频率和强度很大程度上归因于温度的上升,特别是在夏季和通常的干燥月份,以及在ENSO事件期间(Webster等,1998;Duong,2000;PAGASA,2001;Lal,2002,2003;Batima,2003;Gruza和Rankova,2004;Natsagdorj等,2005)。[WGI框3.6;WGII 10.2.3]

主要由于变暖造成的多年冻土层快速融化和冻土厚度变薄[WGI 4.7.2],已威胁到许多城市和人类居住环境,引发了更频繁的滑坡和一些森林生态系统的退化,并造成了亚洲多年冻土地区的湖水水位上涨(Osterkamp等,2000;Guo等,2001;Izrael和Anokhin,2001;Jorgenson等,2001;Izrael等,2002;Fedorov和Konstantinov,2003;Gavriliev和Efremov,2003;Melnikov和Revson,2003;Nelson,2003;Tumerbaatar,2003;ACIA,2005)。[WGII 10.2.4.2]

平均而言,亚洲冰川的融化速率至少从20世纪60年代以来一直保持稳定(图2.6)。[WGI 4.5.2]但是,个别冰川可能与之不同,实际上,有些冰川是在前移和/或增厚-例如,在喀喇昆仑中部-可能是由于降水增加(Hewitt,2005)。[WGI 4.5.3]由于冰川的不断融化,冰川径流和冰川湖溃决的频率增加,引发了泥石流和雪崩(Bhadra,2002;WWF,2005)。[WGII 10.2.4.2]

图5.5显示印度北阿肯德邦恒河源头甘戈特里冰川的退缩(自1780年以来)。尽管它的退缩与人为气候变化有关,但尚未开展正式的归因研究。值得注意,这一特殊的冰川舌相当平缓,覆有大量碎石。具备这些特点的冰川舌,其退缩很难与特殊的气候信号相联系,因为碎石覆盖层延迟了所有的气候信号。在经过十

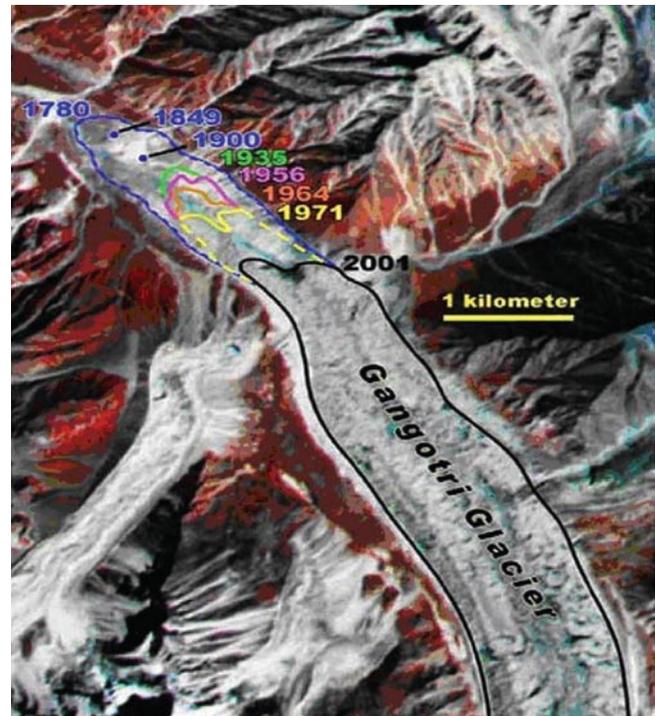


图 5.5: 图为自1780年以来甘戈特里冰川(恒河之源,位于印度北阿肯德邦)末端退缩情况的合成卫星图像(2001年9月9日,承蒙NASA EROS资料中心许可)。[WGII 图 10.6]

几年变薄而面积相对变化不大之后,随着面积的突然变化,冰川舌往往会突然崩塌。[WGII 10.6.2]

在中国的部分地区,温度上升和降水减少以及用水增加,已造成了缺水,导致了湖泊及河流的干涸。在印度、巴基斯坦、尼泊尔和孟加拉,缺水已被归因于诸多问题,如:快速的城市化和工业化、人口增长和低效用水,而气候变化及其对水需求、供水和水质的不利影响又加剧上述问题。位于布拉马普特拉河-恒河-梅克纳河及印度河流域的各国,缺水也是因上游沿岸居民蓄水造成的。在干旱和半干旱的中亚及西亚,气候变化和变率继续考验着各国满足水需求增长的能力(Abu-Taleb,2000;Ragab和Prudhomme,2002;Bou-Zeid和El-Fadel,2002;UNEP/GRID-Arendal,2002)。有报告表明,通常与ENSO有关的降水减少和温度升高会加剧缺水的局面,特别是亚洲的部分地区,由于水需求的日益增加和低效用水,因而水资源已经面临压力(Manton等,2001)。[WGII 10.2.4.2]

### 5.2.2.2 农业

过去的几十年, 由于缺水压力不断加大, 部分原因是由于温度升高、发生厄尔尼诺事件的频率持续上升和降雨天数减少所致, 亚洲许多地区的水稻、玉米和小麦的产量下降。(Wijeratne, 1996; Agarwal 等, 2000; Jin 等, 2001; Fischer 等, 2002a; Tao 等, 2003a, 2004)。[WGII 10.2.4.1]

### 5.2.2.3 生物多样性

随着草地生长期的降雨逐渐减少, 近些年中亚和西亚的干旱程度已增加, 草地的生长期缩短, 地表的裸露度不断增加(Bou-Zeid和El-Fadel, 2002)。增加的裸露度已导致更大的太阳辐射反射率, 使更多的土壤水分蒸发, 造成地面变得日益干燥, 从而进一步加剧了草地的退化(Zhang等, 2003)。[WGII 10.2.4.4]

在巴基斯坦、孟加拉、印度和中国的大部分三角洲地区, 降水的减少和干旱导致了湿地干涸和生态系统的严重退化。从1999-2001年, 干旱的反复出现和上游修建水库以及地下水利用不当, 导致了中国东北的松嫩平原莫莫格湿地干涸(Pan等, 2003)。[WGII 10.2.4.4]

## 5.2.3 气候变化对水的预估影响和关键脆弱性

### 5.2.3.1 淡水资源

由于气候变化, 预计水系水流量会出现季节性和总量变化。在俄罗斯的某些地区, 气候变化可极大地改变河川径流的变率, 从而在西南农作物种植区可能会更频繁发生极低径流事件(Peterson等, 2002)。主要河流(如幼发拉底河和底格里斯河)的可用地表水可能会受河流量变化的影响。在黎巴嫩, 在CO<sub>2</sub>倍增的气候条件下, 随着GCM估算的平均温度升高1.2°C, 年净可用水资源相应会减少15%, 河流量在冬季会增加而在春季则会减少(Bou-Zeid和El-Fadel, 2002)。预估湄公河最大月流量在流域内会增加35-41%, 在三角洲地区会增加16-19%, 与1961-1990年相比, 估计2010-2038年的流量值较低, 2070-2099年的流量值较高。然而, 预计最低月流量在流域内会下降17-24%, 在三角洲地区会下降26-29%(Hoanh等, 2004)[WGII 框5.3], 这表明, 在湿季洪水风险可能加大, 而在旱季缺水的可能性更大。[WGII 10.4.2.1]

洪水会扩大咸水渔业的栖息地, 但也会严重影响水产养殖业和基础设施, 特别在人口稠密的大三角洲地区。旱季流量的减少可能减少某些物种的增补。在中亚部分地区, 预计区域温度的升高会导致发生危害人类居住地的泥石流和雪崩等事件的概率加大

(Iafiazova, 1997)。[WGII 10.4.2.1]

由于河径流减少, 海水入侵河口可能因海平面上升而进一步向内陆推进10-20公里(Shen等, 2003; Yin等, 2003; Thanh等, 2004)。珠江和长江河口的水温升高及富营养化已导致形成水底缺氧层, 以及出现更高频率和强度的‘赤潮’(Hu等, 2001)。海平面上升0.4-1.0米会导致海水在珠江河口向内陆入侵1-3公里(Huang和Xie, 2000)。集水区更高的干旱频率和强度会导致海水更严重、更频繁地入侵河口(Xu, 2003; Thanh等, 2004; Huang等, 2005), 因此会使地表水和地下水的品质恶化。[WGII 10.4.2.1, 10.4.3.2]

在南亚和中亚的几个国家, 雪和冰川融化加剧的后果以及雪线抬升会不利于下游的农业。在中国西北地区和蒙古西部, 预估春季的融雪量和融雪率会加快, 并且融化的时间会提前, 这将增加一些水源, 并可能导致春季发生洪水, 但预估到本世纪末, 牲畜可用水将严重不足(Batima等, 2004, 2005)。[WGII 10.4.2, 10.6]

预计在中期内, 因气候变化而加剧雪和冰川的融化将导致洪水。此类洪水往往是由于浮冰阻塞河道, 引起河水上涨所致。[WGII 10.4.2, 10.6]

根据对观测到的气候变化的线性外推, 与1961-1990年相比, 预计到2050年, 中国西北地区地表气温预估的上升会导致冰川面积减少27%、冻土面积减少10-15%、洪水和泥石流增加, 且会出现更严重的缺水状况(Qin, 2002)。在高山地区, 即青藏高原、新疆和内蒙古, 预计其季节性积雪的持续时间会缩短, 导致雪量减少, 造成春季严重干旱。到21世纪末, 宁夏、新疆和青海的人均径流量可能会减少20%-40%(Tao等, 2005)。然而, 人口增加和社会经济发展带来的水资源压力可能会加大。Higashi等(2006)预估, 根据SRES A1B情景, 2050-2300年之间, 东京(日本)未来的洪水风险可能是目前的1.1-1.2倍。[WGII 10.4.2.3]

由于人口的增长, 预估印度人均用水量总量会从2001年的大约1820m<sup>3</sup>/年下降到2050年的1140m<sup>3</sup>/年(Gupta和Deshpande, 2004)。另一项研究表明, 印度在2025年之前将会出现缺水状况, 预估到那时人均可用水量会低于1000m<sup>3</sup>(CWC, 2001)。这些变化都是源于气候和人口因素。目前尚不清楚这些因素的相对贡献率。印度次大陆预估的冬季降水减少意味着, 在雨水少的季风期内, 蓄水量少而且会面临更大的缺水压力。在较少天数内发生强降水, 这意味着在季风期发生洪水的频率会增加, 还可能导致地下水回灌潜

力下降。在可预见的未来,严重缺水地区的范围扩大将是南亚和东南亚最紧迫的环境问题之一,由于处在严重缺水压力下的人数绝对值可能大大增加。据估计,在所有的SRES情景下,到21世纪20年代和50年代,分别有1.2-12亿人和1.85-9.81亿人将面临加剧的缺水压力(Arnell, 2004)。预估到21世纪末,红河的年流量将会减少13-19%,湄公河的年流量将会减少16-24%,这会进一步加重缺水的压力(ADB, 1994)。[WGII 10.4.2]

### 5.2.3.2 能源

径流的变化会对依靠水力发电的国家(如塔吉克斯坦)的电力输出造成显著影响,塔吉克斯坦是世界第三大水力发电国(世界银行, 2002)。[WGII 10.4.2]

### 5.2.3.3 农业

估计温度升高1°C,亚洲干旱和半干旱地区的农业灌溉需求将至少增加10%(Fischer等, 2002a; Liu, 2002)。根据Tao等人(2003b)的研究,由于水需求的增加和与预估降水减少有关的土壤水分不足,在未来几十年,中国北方和东北的平原雨养作物会面临缺水的困境。然而注意到,在图2.8和图2.10中集合的模式有三分之二以上表明,该区域的降水和径流均会增加。在中国北方,由于气候变化和用水需求增加的影响,预估使用地表水和地下水灌溉仅能满足农业生产70%的用水需求(Liu等, 2001; Qin, 2002)。[WGII 10.4.1] 水文特征变率加大可能会继续影响许多亚洲国家的谷类供给和粮食安全。[WGII 10.4.1.2]

## 5.2.4 适应和脆弱性

亚洲各国当前存在不同的水脆弱性。目前某些尚未面临高风险的国家预计未来会面临缺水的压力,而其适应能力各不相同。海岸带地区,特别是在南亚、东亚和东南亚人口极为稠密的大三角洲地区,预计将面临河流和海岸带洪水泛滥加剧的最大风险。在南亚和东亚,预计气候变化的影响与经济和人口的快速增长以及人口从农村向城市流动之间的相互作用会影响发展。[WGII 10.2.4, 10.4, 10.6]

某个社会的脆弱性是受其发展道路、地理位置、资源分布、先前的压力和社会及政府体制的影响。所有社会均有应对某些气候变化的内在能力,然而各国或各社会的适应能力各不相同。穷人和边远人群历来面临的风险最大,对气候变化的影响最为脆弱。近期对亚洲的分析表明,如果边远人群、依靠原

生资源为生的群体,其自然资源基础出现严重不足以及因过度使用而退化,或如果其管理体系不能做出有效的应对,那么,他们对气候变化的影响就尤为脆弱(Leary等, 2006)。[WGII 17.1] 愈来愈多的证据表明,正在采取适应措施,以应对观测到的和预估的气候变化。例如,气候变化成为基础设施项目(如马尔代夫的海岸防护堤和尼泊尔的冰川湖防洪)在设计中的考虑因素(见框5.4)。[WGII 17.2, 17.5, 16.5]

在亚洲某些地区,退耕还林(草原)、恢复和重建植被、改良树木和草本品种以及选择和栽培新型抗旱品种都是预防因气候变化而导致缺水的有效措施。灌溉节水计划可用于扭转已经面临缺水压力的地区出现缺水状况(Wang, 2003)。在亚洲北部,城市污水的循环再利用(Frolov等, 2004)和灌溉及其它用途用水的更高利用率将可能有助于避免出现缺水状况。[WGII 10.5.2]

要将气候变化对水资源的影响降至最低,亚洲各个地区有许多种适应措施可供采用,其中一些措施可解决目前的低效用水问题:

- 实现现有的灌溉系统和需求管理的现代化,旨在优化缺水国家的水资源利用和循环水利用的实际和经济效率;
- 公共投资政策,意在促进获得可用水资源、鼓励水资源综合管理、重视环境,并促进农业合理用水的更好做法;
- 满足非饮用水需求的水利用。回收再利用的水经过处理后还可用于建立或改善湿地和河岸栖息地。[WGII 10.5.2]

特别是在亚洲的发展中国家,有效的适应和适应能力仍将继续受到生态、社会和经济、技术、体制和政治等各种因素的限制。水的回收再利用是适应气候变化的一种可持续方法,从长期而言具有成本效益。然而,像新加坡目前采用的那种污水处理再利用做法以及安装配水系统,最初会比其它可替代的供水方案(如,使用外调水或地下水)昂贵。不过,这是许多亚洲国家潜在的重要适应选择方案。为了防止因降水减少和温度升高造成的供水减少,应减少水的浪费和滴漏。使用面向市场的方法减少浪费用水还能够有效降低气候变化对水资源的不利影响。在一些河流中,如湄公河,预估在湿季流量会增加,在旱季流量会减少,而有计划的水管理干预,如修建水坝和水库,能够在一定程度上减少湿季的流量,并显著增加旱季的流量。[WGII 10.5.2, 10.5.7]

#### 框5.4: 尼泊尔Tsho Rolpa湖降低风险计划成为已见到的预先适应。[WGII 框17.1]

Tsho Rolpa湖是位于尼泊尔的冰川湖，海拔约4580米。冰川退缩使Tsho Rolpa的面积从1957/58年的0.23 km<sup>2</sup>扩大到1997年的1.65 km<sup>2</sup>(图5.6)。目前阻滞该湖9千万至1亿立方米的水量仅靠冰碛坝——这是一种灾害，必须采取紧急行动以降低灾难性冰川湖溃坝洪水(GLOF)的风险。

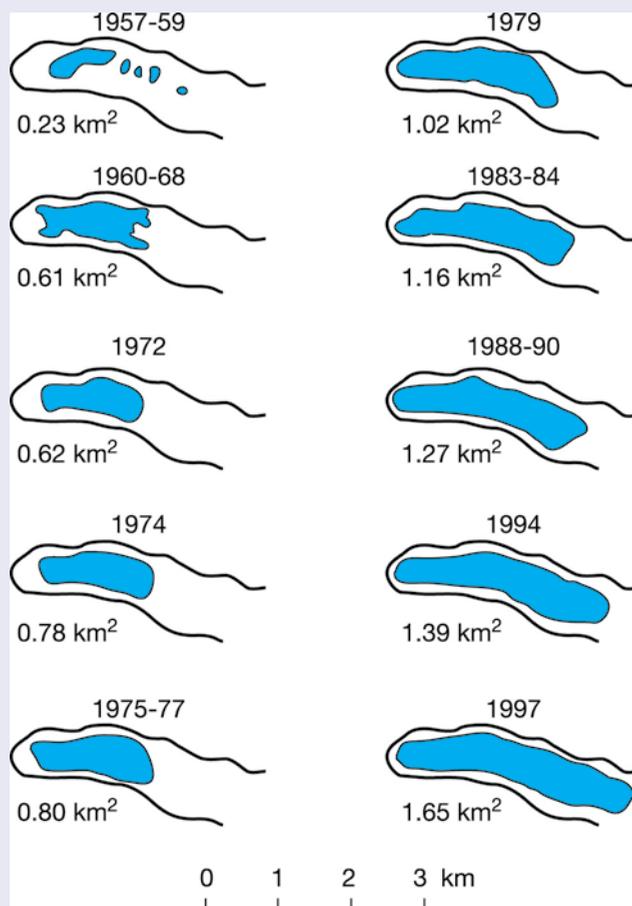


图5.6: Tsho Rolpa湖面积随时间推移发生的变化。

如果坝决口，三分之一以上的水量可造成下游洪水泛滥。这尤其会对在下游修建的基姆蒂(Khimti)水电站造成极大危险。这些担忧促使尼泊尔政府在国际捐助方的支持下于1998年启动了一个项目，旨在通过排水降低湖水水位。专家组建议，为降低冰川湖溃堤洪水(GLOF)风险，应在冰碛上开渠，使该湖水位下降3米。为便于人工控制泄水，还修建了水闸。同时，尽管做出了上述种种努力，但仍在下游19个村庄建立了早期预警系统，以防Tsho Rolpa冰川湖发生溃堤洪水。当地村民积极参与了该系统的设计，并定期进行安全演练。2002年，为期4年的建设工程完工，耗资320万美元。显然，降低GLOF风险的成本大、耗时长，因为完全防止GLOF还需进一步排水，以降低该湖的水位。

必须在更大的背景下看待Tsho Rolpa湖案例。位于尼泊尔、不丹和中国西藏的喜马拉雅山冰川湖溃堤洪水的发生频率已从20世纪50年代的0.38次/年增加到20世纪90年代的0.54次/年。[WGII 1.3.1.1]

出处: Mool等(2001), OECD(2003), Shrestha和Shrestha(2004)。

### 5.3 澳大利亚和新西兰

#### 5.3.1 背景

虽然澳大利亚和新西兰在水文和地质上的差异很大,但由于自然变率和人类活动,使两国经历了近期气候变化给供水带来的影响。自然气候变率的最大区域驱动因子是厄尔尼诺 - 南方涛动周期循环(第2.1.7节)。自2002年以来,实际上所有的东部各州和澳大利亚西南地区已进入干旱。这种干旱至少可与1895年和1902年发生的所谓‘联邦干旱’相比,而且针对气候变化及其对水资源的影响以及针对可持续水资源管理等引起了相当大的争论。[WGII 11.2.1, 11.2.4]

水需求的增加已给灌溉、城市、工业和环境用水的供水能力造成了压力。自20世纪80年代以来,新西兰的水需求增加是由于农业的强化(Woods和Howard-Williams, 2004)。从20世纪60年代以来,新西兰的灌溉面积每十年增加大约55%(林肯环境, 2000)。从1985年至1996年,澳大利亚的水需求增加了65%(NLWRA, 2001)。在澳大利亚,旱地盐碱化、河道流量变化、水资源的过度分配和低效使用、土地开垦、强化农业和生态系统的破碎等都是对环境造成压力的主要根源(SOE, 2001; Cullen, 2002)。在预估的气候变化背

景下,供水是澳大利亚最脆弱的行业之一,预计这也会成为新西兰部分地区的一个主要问题。[WGII 11.ES, 11.2.4, 11.7]

#### 5.3.2 观测到的变化

从20世纪中叶以来,西澳大利亚以冬季降雨为主的西南部地区在5 - 7月出现了降雨量锐减。这对天然径流产生了严重影响,有证据表明,为珀斯市供水的水库年流入量减少了50%(图5.7)。当地的地下水资源和湿地也承受着同样的压力。在20年内,生活用水将增加20%,人口每年增长1.7%(IOCI, 2002)。虽然在《第四次评估报告》发表时还没有开展正式的归因研究,但气候模拟表明,至少已观测到的干旱与增强的温室效应有关(IOCI, 2002)。近些年来,南澳大利亚的东部和其它地区出现了多年严重干旱。例如,2006年之前的连续五年,墨累河的总流入量是有记录以来最低的五年。[WGII 11.6]

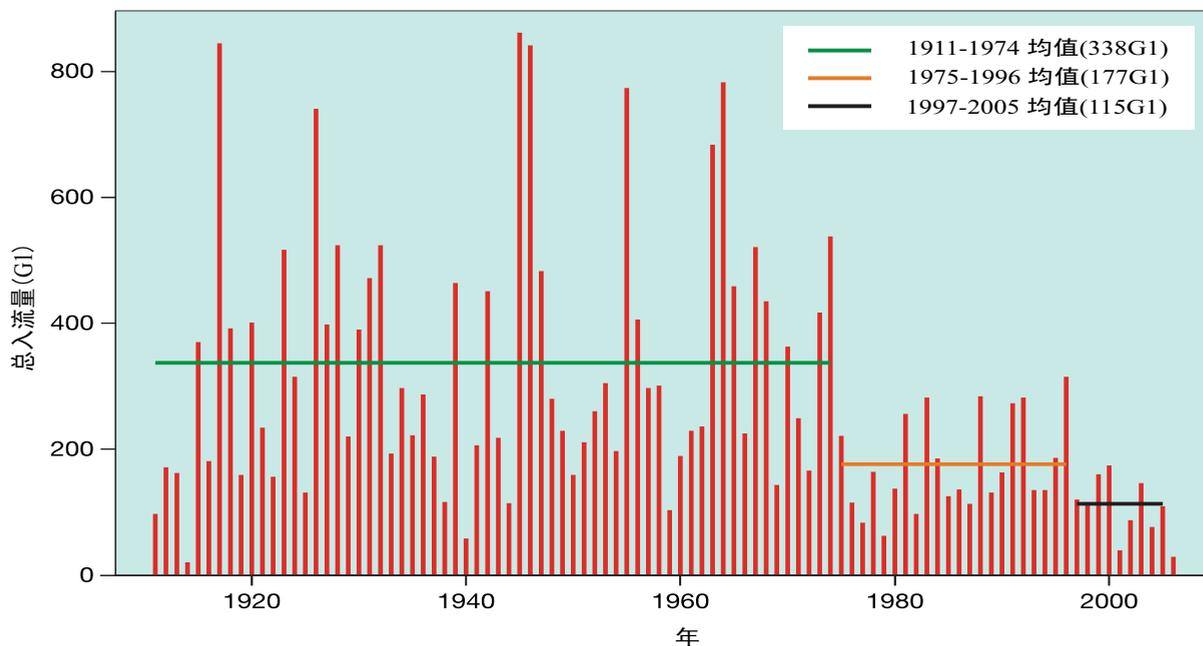


图5.7: 珀斯供水系统1911-2006年的年流入量。水平线表示平均值。出处: [http://www.watercorporation.com.au/D/dams\\_streamflow.cfm](http://www.watercorporation.com.au/D/dams_streamflow.cfm) (承蒙西澳大利亚水务公司许可)[WGII 图11.3]

### 5.3.3 预估的变化

#### 5.3.3.1 水

到2030年,在远离主要河流的澳大利亚南部和东部地区以及在新西兰东部的部分地区,已出现的水安全问题*很可能*增多。[WGII 11.ES]墨累-达令流域是澳大利亚最大的流域,约占灌溉作物和牧场的70%(MDBC, 2006)。根据SRES A1和B1排放情景以及一系列GCM模式,预估该流域的年流量到2050年将会下降10%-25%,到2100年会下降16%-48%,盐度变化分别为-8至+19%和-25至+72%(Beare和Heaney, 2002)。[WGII表11.5]预估维多利亚的29个集水区的径流量将会下降0-45%(Jones和Durack, 2005)。根据A2情景,预估表明,与1961-1990年相比,2021-2050年,澳大利亚东部大部分地区的年径流量将会下降6%-8%,澳大利亚西南地区将会下降14%(Chiew等, 2003)。利用十个气候模式(在SRES B1、A1B和A1F情景驱动下)对墨尔本市所作的风险评估表明,到2020年,平均流量将下降3%-11%,到2050年将下降7%-35%;然而,到2020年,供-需双方规划的行动可能减轻缺水状况(Howe等, 2005)。对澳大利亚地下水的未来影响了解甚少。[WGII 11.4.1]

在新西兰,南岛冬季的径流量*很可能*相对较多,夏季径流较少(Woods和Howard-Williams, 2004)。这在冬季水需求高峰期间*很可能*为水力发电提供更多的水,并减少对靠蓄水发电的湖泊的依赖,而这些湖泊的发电能力须转至下一个冬季。然而,依靠灌溉的产业(如,乳制品、谷类生产、园林)*很可能*因春季和夏季的用水高峰期间的可用水量较低而面临不利的影 响。东部地区的干旱频率*很可能*会增加,非灌溉土地的农业生产可能会蒙受损失(Mullan等, 2005)。气候变化对洪水和干旱频率的影响*几乎确定*随ENSO和IPO的不同阶段而变化(McKerchar和Henderson, 2003)。根据所有分析过的情景,奥克兰市的地下水含水层有备用容量接受回灌(Namjou等, 2006)。干流和泉水的基流*很可能*受到危及,除非发生连续多年的干旱。[WGII 11.4.1.1]

#### 5.3.3.2 能源

在澳大利亚和新西兰,气候变化会影响一些区域的能源生产,这些地区,气候引发的供水减少导致为水轮机组供水和热电厂冷却水的减少。在新西兰,加大的西风风速*很可能*促进风力发电,并使降水溢入南岛主要的水利发电集水区,而且*很可能*会增加怀卡托集水区的冬雨(环境部, 2004)。变暖*几乎确定*增加雪的融化、降雨相对于降雪的比率以及冬季和早春的河道流量。这*很可能*有助于在供暖的能源需求高峰

时的水力发电。[WGII 11.4.10]

#### 5.3.3.3 健康

一些蚊子传播的传染病(如罗斯河热、登革热和疟疾)在地理范围和季节上*可能*有所变化。更少但更大的降雨事件*可能*影响蚊子的繁殖,并加大罗斯河热的年发病率的变率,特别是在温带和半干旱地区(Woodruff等, 2002, 2006)。登革热在澳大利亚构成了一种相当大的威胁;北部边远地区的气候已有利于埃及斑蚊(登革热病毒的主要媒蚊),在澳大利亚北端,过去十年更频繁地爆发了日益严重的登革热。疟疾*不可能*爆发,除非公共卫生的应对措施明显恶化(McMichael等, 2003)。[WGII 11.4.11]

富营养化是主要的水质问题(Davis, 1997; SOE, 2001)。有毒藻华*可能*会更频繁地出现,而且因气候变化而出现的时间更长。藻华会对人类在娱乐和消耗性用水时的健康造成威胁,而且会致死鱼类和牲畜(Falconer, 1997)。简单、对资源无影响的适应管理战略,如冲刷流量,可显著减少在富营养、热层水体中藻华的发生和持续时间(Viney等, 2003)。[WGII 11.4.1]

#### 5.3.3.4 农业

农业的地理分布及其服务*很可能*发生大的变化。由于缺水、生物安全的新灾害、环境恶化以及社会动荡,干旱地区边际土地的农业*可能*变得不可持续。[WGII 11.7]在灌溉用水减少的地区,依靠灌溉的种植业和其它农业产业*可能*受到威胁。就新西兰的玉米而言,生长期变短会减少作物的用水需求,使作物的生长与季节气候条件更为同步(Sorensen等, 2000)。根据与高产牧场和造林的适合性对比并根据灌溉可用水量 and 成本,这两个国家葡萄种植的分布*可能*发生变化(Hood等, 2002; Miller和Veltman, 2004; Jenkins, 2006)。[WGII 11.4.3]

#### 5.3.3.5 生物多样性

到2020年,对许多自然生态系统的结构、功能和物种的构成*可能*有显著的影响,而且*几乎确定*加剧目前诸如外来物种和栖息地的丧失(如,候鸟)等压力、增加物种灭绝的概率、使许多自然系统退化并导致生态系统供水服务能力的降低。气候变化对水资源的影响还将与其它压力源相互作用,如外来物种和栖息地破碎。海平面上升导致的海水入侵、河道流量的减少和干旱频率的增加*很可能*改变淡水栖息地的物种构成,因而对河口及沿岸渔业造成影响(Bunn和Arthington, 2002; Hall和Burns, 2002; Herron等, 2002; Schallenberg等, 2003)。[WGII 11.ES, 11.4.2]

### 5.3.4 适应和脆弱性

有计划的适应能够极大地降低脆弱性,就供-需双方而言,气候变化导致的风险中存在着一些机遇(艾伦咨询集团,2005)。在主要的城市,如珀斯、布里斯班、悉尼、墨尔本、阿德莱德、堪培拉和奥克兰,对人口压力、澳大利亚南部和东部正在出现的干旱及气候变化影响的关切使水资源规划者正在考虑一系列的适应选择方案。虽然为了应对观测到的气候变化已经采取了某种适应措施(如,正在实行的用水限制、水回收再利用、海水淡化)(见表5.2)[WGII表11.2, 11.6],但两国也采取了引人瞩目的措施来营造适应能力,如加大对研究的支持力度和增加知识、为决策者扩大有关气候变化的风险评估、将气候变化纳入政策和计划、提高意识以及更有效地应对气候问题。然而,适应措施的实施仍然存在环境、经济、信息、社会、观念和政治方面的障碍。[WGII 11.5]

在城市集水区,暴雨和循环再利用水可用于扩

大供水,虽然目前水分配体制安排和技术系统制约了措施的实施。此外,有社区抵制将回收再利用的水供人类使用(如,昆士兰的图文巴市、新南威尔士的古尔本市)。设置雨水箱是另一种适应对策,而且目前通过激励政策和退税而得到积极的推广。对于农村的活动,需要通过扩大水市场而作出更灵活的水分配安排,在水市场的交易能够提高用水效率(Beare和Heaney, 2002)。在这方面正在取得了实质性进展。根据国家水资源倡议,各州、地区和澳大利亚政府现正在致力于推行符合最佳做法的水定价和体制安排,以实现水价的一致性。[WGII 11.5]

当气候变化影响与其它非气候趋势相结合时,会对澳大利亚和新西兰的可持续性带来某些严重影响。在一些河流的集水区,城市和农村水需求的增加已经超过供水的可持续水平,目前的和已提出的适应战略 [WGII 11.2.5] 可能赢得一定的时间。如果海岸带发展仍保持可持续性,其持续的发展速率可能需要更严格的规划和规定。[WGII 11.7]

**表 5.2: 澳大利亚政府应对缺水的适应战略实例。** [WGII 表11.2] 注意, 投资数额在2007年第四份评估报告交付印刷时是准确的, 但并不反映此后的变动情况。

政府	战略	投资	出处
澳大利亚	向农村社会提供干旱援助金	2001-2006年, 7亿美元	DAFF, 2006b
澳大利亚	国家水资源倡议, 由澳大利亚资源基金资助	2004-2009年, 15亿美元	DAFF, 2006a
澳大利亚	墨累-达令流域水资源协议	2004-2009年, 4亿美元	DPMC, 2004
维多利亚	墨尔本伊斯顿处理厂提供回收再利用的水	到2012年, 2.25亿美元	墨尔本水务公司, 2006
维多利亚	本迪格到巴拉腊特的新管线、水的回收再利用、坝间互连、减少渠道渗漏、水土保持措施	到2015年, 1.53亿美元	维多利亚州长, 2006
维多利亚	威默拉-马利地区管线取代露天灌溉渠	到2010年, 3.76亿美元	维多利亚DSE, 2006
新南威尔士	新南威尔士节水基金资助悉尼的节水或水再循环项目	第3轮资助9800万美元, 外加向其它68个项目资助的2500多万美元	DEUS, 2006
昆士兰 (Qld)	昆士兰2005-2010年水资源计划, 以促进水资源的使用效率和质量、水回收再利用、防旱、新水价	包括用于昆士兰东南部水利基础设施的1.82亿美元, 和用于其它基础设施计划的3.02亿美元	昆士兰州政府, 2005
南澳大利亚	阿德莱德防水项目是阿德莱德到2025年的水资源管理、保护和开发蓝图	无数据	南澳大利亚州政府, 2005
西澳大利亚 (WA)	州水资源战略(2003)和州水资源计划(已提出建议)从1996-2006年, 西澳水务公司供水量翻了一翻	1996-2006年, 西澳水务公司耗资5亿美元, 加上用于珀斯海水淡化厂的2.90亿美元	西澳大利亚州政府, 2003, 2006; 水务公司, 2006

## 5.4 欧洲

### 5.4.1 背景

欧洲水量充足, 拥有大量的常流河, 其中许多河流从欧洲大陆中部向外流。它还有广大的低地势地区。欧洲的主要气候类型有海洋性、过渡性、大陆性、极地和地中海气候; 主要的植被类型有苔原、松类泰加林(北方针叶林)、混合落叶林、草原和地中海植被。欧洲有相当大的比例是耕地, 大约三分之一的土地被列为可耕地, 谷类是主要作物。[WGII TAR 13.1.2.1]

欧洲对气候变化的敏感性有明显的北-南梯度, 许多研究表明, 南欧受到的影响将更为严重(EEA, 2004)。南欧业已炎热和半干旱的气候预计会变得更为炎热和干燥, 威胁着它的水道、水力发电、农业生产和木材采伐。在中欧和东欧, 预估夏季降水会减少, 造成更大的缺水压力。北欧各国也易受气候变化的影响, 尽管在变暖的最初阶段会带来某些效益, 例如, 作物产量增加以及森林生长。[WGII 12.2.3, SPM]

关键的环境压力涉及生物多样性、景观、土壤和土地退化、森林退化、自然灾害、水资源管理以及旅游环境。欧洲大部分生态系统都处于管理或半管理状态; 这些生态系统常常出现破碎, 并处在污染和人类其它影响的压力之下。[WGII TAR 13.1.2.1]

### 5.4.2 观测到的变化

大西洋欧洲和北欧的大部分地区1946-1999年冬季平均降水有所增加(Klein Tank等, 2002), 而其中一部分必须在冬季NAO变化的背景下加以解释(Scaife等, 2005)。在地中海地区, 1950-2000年东部的年度降水趋势为负值(Norrrant和Douguédroit, 2006)。在欧洲大陆的大部分地区, 甚至在某些日益干旱的地区, 观测到每个雨日的平均降水量增加(Frich等, 2002; Klein Tank等, 2002; Alexander等, 2006)。由于水文动力和热力体系中的此类及其它变化(见Auer等, 2007), 已将观测到的影响编入其它行业的文件, 其中一些影响列在表5.3中。[WGI 第三章; WGII 12.2.1]

### 5.4.3 预估的变化

#### 5.4.3.1 水

总之, 在所有情景中, 预估的北欧年平均降水量会增加, 随着往南延伸降水量逐渐减少。但是, 随着大尺度环流和水汽负荷的变化, 降水的变化也会因季节和地点的不同而有很大的差异。Räisänen等(2004)预估: 南欧和中欧的夏季降水会显著减少(在SRES A2情景下, 某些地区达70%), 而斯堪的纳维亚中部有较小幅度的增加。Giorgi等(2004)发现东北大西洋夏季的反气旋环流增强, 导致西欧处于高压脊下, 而东欧处在低压槽中。这种阻塞结构使暴雨转向北方, 导致地中海流域、西欧和中欧的降水普遍显著减少(达30-45%)。[WGI 表11.1; WGII 12.3.1.1]

表5.3: 自然的和人工管理的生态系统的近期变化归因于近期温度和降水趋势。[选自WGII 表12.1]

区域	观测到的变化	参考文献
陆地生态系统		
芬诺斯坎迪亚山和近北极	拉普兰某些类型的湿地(泥碳沼泽)消失; 高海拔地区植物物种丰富度和出现率的增加	Klanderud和Birks, 2003; Luoto等, 2004
农业		
北欧部分地区	在更为炎热干旱的夏季, 增加了作物压力; 冰雹对作物的更大风险	Viner等, 2006
冰冻圈		
俄罗斯	多年冻土层的厚度和面积减少, 对基础设施的损害	Frauenfeld等, 2004; Mazhitova等, 2004
阿尔卑斯山	季节性积雪减少(在较低海拔)	Latenser和Schneebeili, 2003; Martin和Etchevers, 2005
欧洲	冰川体积和面积减少(除挪威的某些冰川)	Hoelzle等, 2003

预估气候变化将会对水资源产生一系列影响(表5.3)。预估大西洋欧洲和北欧年径流量将会增加(Werritty, 2001; Andréasson等, 2004), 而中欧、地中海和东欧的径流量会减少(Chang等, 2002; Etchevers等, 2002; Menzel和Bürger, 2002; Iglesias等, 2005)。在A2和B2情景和两种不同气候模式的气候情景下, 预估北欧(47°N以北)的年均径流量到21世纪20年代将会增加大约5%-15%, 到21世纪70年代, 将会增加9%-22%(Alcamo等, 2007)。同时, 在南欧(47°N以南), 预估径流量到21世纪20年代将会减少0-23%, 到21世纪70年代将会减少6%-36%(同一组假设)。由于河谷(Krüger等, 2002)和低地, 比如匈牙利草原(Somlyódy, 2002)的低地大量减少, 中欧和东欧的地下水回灌可能减少(Eitzinger等, 2003)。[WGII 12.4.1, 图12.1]

由于洪峰流量季节的流量更大, 枯水季节流量更小, 或出现持续干旱期, 因而流量的季节性变化增加(Arnell, 2003, 2004)。[WGII 3.4.1] 研究表明, 莱茵河(Middelkoop和Kwadijk, 2001)、斯洛伐克河(Szolgay等, 2004)、伏尔加河以及中欧和东欧(Oltchev等, 2002), 冬季流量增加, 夏季流量减少。最初, 预估冰川退缩会增加阿尔卑斯山各河流的夏季流量。然而, 当冰川退缩时, 预估夏季流量将会减少(Hock等, 2005) 50%(Zierl和Bugmann, 2005)。预估中欧夏季的枯水流量将会减少50%(Eckhardt和Ulbrich, 2003), 南欧的某些河流将会减少80%(Santos等, 2002)。[WGII 12.4.1]

干旱风险最易加大的区域是地中海和中欧及东欧的部分地区, 预估这些地区对灌溉水的需求增加最大(Döll, 2002; Donevska和Dodeva, 2004)。这就要求制定可持续的土地利用计划。在某些目前几乎不

存在灌溉问题的国家(如, 爱尔兰), 灌溉需求可能成为大问题(Holden等, 2003)。由于气候变化和抽水量的递增, 受严重缺水压力影响的地区(抽水/用水高于40%)可能增加, 并导致对可用水资源的竞争加剧(Alcamo等, 2003b; Schröter等, 2005)。[WGII 12.4.1]

未来洪水和干旱的风险(见表5.4)。预估整个欧洲大陆的洪水风险加大。洪水频率最易增加的地区是东欧, 其次是北欧、大西洋沿岸和中欧, 而对南欧和东南欧的预估表明, 干旱的频率将会显著增加。在某些地区, 预估洪水和干旱的风险将会同步增加。[WGII表12.4]

Christensen和Christensen(2003)、Giorgi等(2004)、Kjellström(2004)和Kundzewicz等(2006)均认为, 日降水事件的强度会显著加大。甚至对于平均降水量减少的地区也是如此, 如: 中欧和地中海。这一变化夏季对地中海地区的影响尚不清楚, 由于存在强对流降雨分量及其很大的空间变率。(Llasat, 2001)。[WGII 12.3.1.2]

较高温度和夏季平均降水量减少的共同影响会加剧热浪和干旱的发生。Schär等(2004)认为, 欧洲未来夏季气候的年际变率会出现明显的增加, 因此, 热浪和干旱的发生率更高。到21世纪后期, 地中海, 乃至东欧大部分地区可能会经历更长的干旱期(Polemio和Casarano, 2004)。根据Good等(2006)分析, 年最长干旱期增幅可达50%, 特别是在法国和中欧。然而, 近期有某种证据(Lenderink等, 2007)表明, 由于区域气候模式中的土壤水分参数化原因, 某些对干旱和热浪的预估可能略高。南欧夏季降水的减少, 同时温度的升高(蒸发需求量加大), 必然会导致夏季土壤水分减少(见Douville等, 2002)以及更频繁和更严重的干

表 5.4: 基于ECHAM4和HadCM3模式, 在不同时段和不同情景下, 气候变化对欧洲干旱和洪水事件的影响。[WGII 表12.2]

时间段	可用水量和干旱	洪水
2020年代	北欧的年径流量增加15%, 欧洲南部减少23% <sup>a</sup> 夏季流量减少 <sup>d</sup>	北欧冬季洪水和整个欧洲山洪的风险逐渐增加 融雪洪水从春季转至冬季的风险 <sup>e</sup>
2050年代	东南欧年径流量减少20-30% <sup>b</sup>	
2070年代	北欧年径流量增加30%, 欧洲南部减少36% <sup>a</sup> 夏季枯水流量减少80% <sup>b, d</sup> 北欧干旱风险降低, 西欧和南欧干旱风险增加。到21世纪70年代, 预估在西班牙和葡萄牙的部分地区、法国西部、波兰的维斯图拉河流域和土耳其西部, 平均每10年(或更短)会重现如今的百年干旱 <sup>c</sup>	预估在北欧和东北欧(瑞典、芬兰、俄罗斯北部)、爱尔兰、中欧和东欧(波兰、阿尔卑斯山河流)、南欧的大西洋地区(西班牙、葡萄牙)会更频繁发生现今的百年洪水; 南欧大部分地区发生洪水的频率较低 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Alcamo等, 2007; <sup>b</sup> Arnell, 2004; <sup>c</sup> Lehner等, 2006; <sup>d</sup> Santos等, 2002.

旱。[WGII 3.4.3, 12.3.1]

研究表明,到21世纪80年代,英国部分地区的融雪洪峰会减少(Kay等,2006b),但气候变化对洪水动态的影响是正反两面的,强调气候变化的影响仍存在不确定性(Reynard等,2004)。Palmer和Räisänen(2002)分析了控制运算与CO<sub>2</sub>瞬变增量集合之间冬季降水的模拟差异,并计算了CO<sub>2</sub>翻倍大约时间。在欧洲,发现冬季非常湿润的风险有相当大的增幅。认为在欧洲的大部分地区,超过正常两个标准差的北方冬季总降水的概率大大增加(甚至5-7倍),并可能发生冬季洪水灾害。[WGII 3.4.3]

#### 5.4.3.2 能源

水力发电是欧洲的一个重要再生能源(占发电量的19.8%)。到21世纪70年代,预估整个欧洲的水力发电潜能会下降6%,地中海周边下降20%-50%,北欧和东欧增加15%-30%,西欧和中欧的水力发电保持稳定(Lehner等,2005)。生物燃料的生产在很大程度上取决于水汽供应和生长期的长度(Olesen和Bindi,2002)。[WGII 12.4.8.1]

#### 5.4.3.3 健康

气候变化还可能影响欧洲的水质量和水量,因而存在公共和私人供水污染的风险(Miettinen等,2001;Hunter,2003;Elpiner,2004;Kovats和Tirado,2006)。极端降雨和干旱都能够增加淡水中微生物的总量,并会对疾病的爆发和水质监测产生影响(Howe等,2002;Kistemann等,2002;Opopol等,2003;Knight等,2004;Schijven和de Roda Husman,2005)。[WGII 12.4.11]

#### 5.4.3.4 农业

正如预报的那样,预估极端天气事件的增加(如高温和干旱周期)(Meehl和Tebaldi,2004;Schär等,2004;Beniston等,2007)将会加大产量的变率(Jones等,2003b),并降低平均产量(Trnka等,2004)。特别是在欧洲的地中海地区,在特定作物发育阶段,极端气候事件发生频率的增加(如,开花期的热应力,播种期的雨天),以及更高的降水强度和更长的干旱周期可能会降低夏季作物(如,向日葵)的产量。[WGII 12.4.7.1]

#### 5.4.3.5 生物多样性

预估许多系统将会消失,诸如:北极的多年冻土区和地中海的季节性(短生命期的)水生生态系统。[WGII 12.4.3]

北极多年冻土层的消失(ACIA,2004)可能导致目前多年冻土带中某些类型的湿地减少(Ivanov和Maximov,2003)。变暖会使湖泊有更大的藻华的风险,滋生更多的有毒蓝菌(Moss等,2003;Straile等,2003;Briers等,2004;Eisenreich,2005)。更强降水和霜冻的减少也许会加剧耕地中营养的流失,并造成更高的营养负荷(Bouraoui等,2004;Kaste等,2004;Eisenreich,2005),导致湖泊和湿地彻底的富营养化(Jeppesen等,2003)。较高的温度还将降低溶解氧饱和度,并增加氧耗损的风险(Sand-Jensen和Pedersen,2005)。[WGII 12.4.5]

较高的温度可能会导致北欧淡水生态系统中的物种更加丰富,而在西南欧的部分地区物种会减少(Gutiérrez Teira,2003)。[WGII 12.4.6]

#### 5.4.4 适应和脆弱性

气候变化将给欧洲的水资源管理带来两个重大挑战:主要在欧洲东南部地区缺水的压力逐渐加大,欧洲大陆大部分地区面临更大的洪水风险。应对这些挑战的适应选择已充分编入文件(IPCC,2001b)。水库和堤坝可能仍分别是高原和低地地区防洪的主要结构措施(Hooijer等,2004)。然而,规划的其它适应选择变得更为常用,如扩大的洪泛平原区(Helms等,2002)、防洪应急水库(Somlyódy,2002)、蓄洪区(Silander等,2006)、洪水预报和预警系统,特别是山洪预报和预警系统。多用途水库作为应对洪涝和干旱的适应措施。[WGII 12.5.1]

为适应不断加剧的缺水压力,最常见和规划的战略仍是供水方的措施,如形成河道水库的蓄水河(Santos等,2002;Iglesias等,2005)。然而在欧洲,新水库的修建正日益受到环保规定(Barreira,2004)和高额投资成本的限制(Schröter等,2005)。供水方的其它措施,如:污水的再利用和海水淡化,正得到更广泛的考虑,但是由于污水的利用涉及健康问题(Geres,2004),以及海水淡化高昂的能源成本(Iglesias等,2005),使这两项措施的推广受到冷遇。需求方的某些规划的战略也切实可行(AEMA,2002),例如,家庭、工业和农业的水资源保护、减少城市和灌溉水系统的渗漏(Donevska和Dodeva,2004;Geres,2004)和用水定价(Iglesias等,2005)。通过引进更能适应气候变化的农作物可以减少对灌溉水的需求。欧洲适应缺水压力的一种独特方法实例是,将适应气候变化的区域及流域层面的战略纳入水资源综合管理计划(Kabat等,2002;Cosgrove等,2004;Kashyap,2004),同时,为了适应目前的水资源管理结构,正在制定国家战略(Donevska和Dodeva,2004)。[WGII 12.5.1]

有些国家和地区(如,荷兰、英国和德国)正在为水行业制定适应程序和风险管理规范,它们认识到预估的水文变化存在不确定性。[WGII 3.ES, 3.2, 3.6]

## 5.5 拉丁美洲

### 5.5.1 背景

人口持续增长,造成对粮食的需求。由于拉丁美洲大部分国家的经济依赖于农业生产率,因此作物产量的区域变化是一个密切相关的问题。拉丁美洲由于其地理构成,气候多样。该区域还有大量的干旱和半干旱地区。气候种类包括从寒冷冰封的高海拔气候到温带和热带气候。在过去的几十年,冰川普遍退缩,而且一些很小的冰川已经消失。

亚马逊河、巴拉那-普拉塔河和奥里诺科河流入大西洋的总水量占世界再生淡水量的30%以上。然而,这些水资源分布不均,广大地区的可用水量非常有限(Mata等,2001)。当出现降水少或温度较高时,会对可用的水量和水质带来压力。统计中与ENSO事件有关的干旱对拉丁美洲许多地区的水资源造成严重的制约。

### 5.5.2 观测到的变化

#### 5.5.2.1 水

在过去的三十年,拉丁美洲受到了与气候有关的影响,其中有些影响与ENSO事件有关。

- 洪水、干旱和滑坡等气候极端事件增加(如,委内瑞拉的强降水(1999和2005);阿根廷潘帕斯草原的洪水(2000和2002),亚马逊干旱(2005),玻利维亚(2002)和布宜诺斯艾利斯(2006)的破坏性雹暴,南大西洋的卡特里纳飓风(2004),以及加勒比地区2005年创纪录的飓风季节)。在1970-1999年和2000-2005年期间,发生与气候有关的灾害增加了1.4倍,在20世纪90年代期间,观测到这种趋势仍在延续。2000到2005年期间发生的此类事件仅有19%在经济上作出了量化,相当于损失近200亿美元(Nagy等,2006)。[WGII 13.2.2]
- 缺水的压力:与拉尼娜有关的干旱对阿根廷中西部及智利中部地区的供水和灌溉需求造成严重制约。与厄尔尼诺有关的干旱使哥伦比亚考卡河的流量减少。[WGII 13.2.2]
- 在巴西南部、巴拉圭、乌拉圭、阿根廷东北

部(潘帕斯草原)、玻利维亚部分地区、秘鲁西北部、厄瓜多尔和墨西哥西北部观测到降水增加。更强的降水造成亚马逊河奥比杜斯河段洪水发生频率增加10%;乌拉圭河、巴拉那河及巴拉圭河的流量增加50%;玻利维亚亚马逊河的马莫雷流域更多发洪水。在该区域还观测到了强降雨事件及连续干旱日增多。相反,在智利、阿根廷西南部、巴西东北部、秘鲁南部和中美洲西部(如,尼加拉瓜)观测到了降水减少的趋势。[WGII 13.2.4.1]

- 在过去10-20年,南美洲东南部的海平面上升速度为2-3毫米/年。[WGII 13.2.4.1]
- 玻利维亚、秘鲁、厄瓜多尔和哥伦比亚的热带安第斯山冰川面积的减小相当于自小冰河期末期以来的全球变化(见图5.9)。一些最小的冰川受到的影响最大(见框5.5)。这些变化因其所处中-高纬度而原因各异,但与较高的温度和大气水分含量变化的复杂及空间变化的共同作用有关。[WGI 4.5.3]

观测到的水文变量趋势的进一步说明见表5.5和图5.8。

#### 5.5.2.2 能源

水力发电是大部分拉美国家的主要电力能源,而且易受厄尔尼诺和拉尼娜引发的大尺度持续降雨异常的影响,比如在阿根廷、哥伦比亚、巴西、智利、秘鲁、乌拉圭和委内瑞拉。能源需求的增加和干旱共同导致2001年在巴西大部分地区出现水利发电的实际不足,并导致GDP下降(Kane,2002)。冰川退缩也影响着水力发电,比如在拉巴斯市和利马市。[WGII 13.2.2, 13.2.4]

#### 5.5.2.3 健康

在拉丁美洲,有关气候的极端事件和健康相互关联。在哥伦比亚和圭亚那,干旱有利于传染病,而在秘鲁干旱的北部海岸带地区,洪水会引发传染病(Gagnon等,2002)。洪都拉斯和尼加拉瓜的登革热/登革出血热的年度变化似乎与气候引起的病媒密度变化有关(温度、湿度、太阳辐射和降雨)(Patz等,2005)。在巴西,特别是在没有足够的排水系统的人口密集地区,洪水导致钩端螺旋体病爆发(Ko等,1999; Kupek等,2000)。血吸虫病的分布可能与气候因素有关。关于通过啮齿动物传播的疾病,有充分的证据表明,由于改变了人类-病原体-啮齿动物接触的模式,因此,在强降雨和洪水期间/之后观测到发病率有所上升。在墨西哥湾的一些海岸带地区,海面

表 5.5: 水文变量的一些近期趋势。[WGII 表13.1, 表13.2, 表13.3]

目前降水趋势 (WGII 表 13.2)		
降水 (变化以%表示, 除非另有标示)	时间	变化
亚马逊河-北部/南部 (Marengo, 2004)	1949-1999	-11 至 -17 / -23 至 +18
玻利维亚亚马逊河 (Ronchail等, 2005)	自1970年以来	+15
阿根廷-中部和东北部 (Penalba和Vargas, 2004)	1900-2000	+1 SD 至 +2 SD
乌拉圭 (Bidegain等, 2005)	1961-2002	+ 20
智利-中部 (Camilloni, 2005)	过去50年	-50
哥伦比亚 (Pabón, 2003)	1961-1990	-4 至 +6
选定的水文极端事件及其影响, 2004-2006 (WGII 表 13.1)		
大雨 2005年9月	哥伦比亚: 70人死亡, 86人受伤, 6人失踪, 洪水使14万人受灾 (NOAA, 2005).	
大雨 2005年2月	委内瑞拉: 强降水 (主要在中部海岸带地区和安第斯山), 大洪水和滑坡。经济损失5200万美元; 63人死亡, 17.5万人受伤 (UCV, 2005; DNPC, 2005/2006)	
干旱 2004-2006	阿根廷-查科: 2004年, 经济损失估计为3.6亿美元; 12万头牛死亡, 1万人被疏散 (SRA, 2005)。还有在玻利维亚和巴拉圭: 2004/05年。 巴西-亚马逊: 严重干旱影响到亚马逊中部和西南, 可能与热带北大西洋的海面暖温有关 ( <a href="http://www.cptec.inpe.br">http://www.cptec.inpe.br</a> )。 巴西-南里奥格兰德: 大豆和玉米产量下降65%和56% ( <a href="http://www.ibge.gov.br/home/">http://www.ibge.gov.br/home/</a> 英语网址: <a href="http://www.ibge.gov.br/english/">http://www.ibge.gov.br/english/</a> )。	
冰川退缩趋势 (WGII 表 13.3)		
冰川/时间	变化/影响	
秘鲁 <sup>a, b</sup> 过去35年	冰川总面积减少22% (见图5.9); 海岸带地区淡水减少12% (该国60%的人口生活于此)。估计水量损耗接近 $7000 \times 10^6 \text{m}^3$	
秘鲁 <sup>c</sup> 过去30年	很小冰川的面积减少达80%; 在过去50年, 水储量损耗 $188 \times 10^6 \text{m}^3$ 。	
哥伦比亚 <sup>d</sup> 1990-2000	冰川减少82%; 根据目前的气候趋势, 预计哥伦比亚的冰川在未来100年内会完全消失。	
厄瓜多尔 <sup>e</sup> 1956-1998	冰川长度逐渐减少; 灌溉用水减少, 基多市的净水供给减少。	
玻利维亚 <sup>f</sup> 自1990s中期	预估的玻利维亚冰川退缩表明, 会对拉巴斯市的供水和水力发电产生不利影响。还可参见框5.5。	

<sup>a</sup> Vásquez, 2004; <sup>b</sup> Mark和Seltzer, 2003; <sup>c</sup> NC-秘鲁, 2001; <sup>d</sup> NC-哥伦比亚, 2001; <sup>e</sup> NC-厄瓜多尔, 2000; <sup>f</sup> Francou等, 2003.

温度上升和降水的增加与登革热传播周期增多有关 [Hurtado-Diaz等, 2006]。[WGII 13.2.2, 8.2.8.3]

#### 5.5.2.4 农业

由于厄尔尼诺引发的强降雨和湿度, 在秘鲁监测到玉米、马铃薯、小麦和豆类的一些真菌病害。而在阿根廷潘帕斯草原地区却有一些积极的作用, 此地区降水的增加带来作物产量的增加, 大豆增产近38%、玉米增产近18%、小麦13%、向日葵12%。同样, 阿根廷和乌拉圭的牧场生产率上升了7%。[WGII

#### 5.5.2.5 生物多样性

气候变化对生物多样性影响的评估研究很少, 而且在这些研究中, 也很难将气候变化造成的影响与其它因素产生的影响区分开来。由于厄尔尼诺引发的更多干旱以及土地利用变化 (毁林、选择性伐木和森林破碎化), 拉丁美洲的热带森林, 特别是亚马逊流域的热带森林愈加容易发生火灾。[WGII 13.2.2]

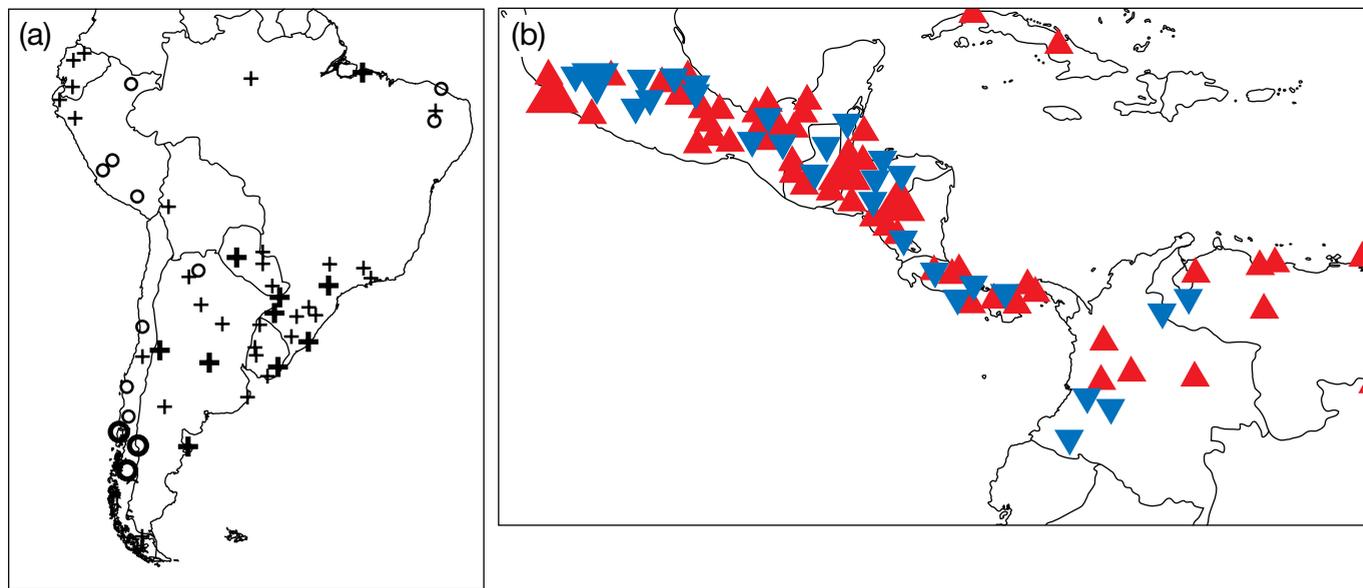


图 5.8: (a)图为南美洲年降雨量趋势(1960-2000年)。加号表示增加、圆圈表示减少;粗体表示P的显著性 $\leq 0.05$ (经美国气象学会许可,引自Haylock等(2006))。(b)图为中美洲和南美洲北部(1961-2003年)。大红三角形表示正的显著性趋势,小红三角形表示正的非显著性趋势,大蓝三角形表示负显著性趋势,小蓝三角形表示负的非显著性趋势(经美国地球物理协会许可,引自Aguilar等(2005))。[WGII 图13.1]

关于生物多样性,发现在多年出现低降水量之后,云林中的蟾蜍和蛙类种群会受到影响。在中美和南美,发现了较高的温度与蛙类因皮肤病(蛙壶菌)而灭绝之间的关系。根据1977-2001年的资料研究表明,飓风后的第二年,加勒比海礁石上的珊瑚覆盖率平均减少17%,而且至少在受影响后的八年没有证据表明会得到恢复。[WGII 13.2.2]

### 5.5.3 预估的变化

#### 5.5.3.1 水和气候

有中等可信度表明,根据不同的气候模式,在B2排放情景下,2100年拉丁美洲预估平均变暖 $1^{\circ}\text{C}$ 至 $4^{\circ}\text{C}$ ,A2情景为 $2^{\circ}\text{C}$ 至 $6^{\circ}\text{C}$ 。多数GCM的预估表明热带地区有较大的(正或负)降雨距平,而南美洲的温带地区会出现较小的降雨距平。此外,就所有季节而言,预估中美洲的极端干旱季节会变得更加频繁。除这些结果以外,模式之间关于极端降水季节的频率变化几乎没有一致性。关于日降水极端事件,一项基于两个AOGCM的研究表明,南美洲东南部分地区和亚马逊中部地区的雨天数增加,巴西东北海岸带地区的日降水极端事件减弱。[WGI表11.1, 11.6; WGII 13.ES, 13.3.1]

在未发生气候变化时,生活在已处于缺水流域(即供水量少于 $1000\text{m}^3/\text{人}/\text{年}$ )的人口数量估计为2220

万(1995年)。在SRES情景下,到21世纪20年代,估计这一数量会增长到1200万到8100万之间,到21世纪50年代,会增长到7900万到1.78亿之间(Arnell, 2004)。这些估算未考虑迁离缺水地区的人口数量,见表5.6。人口增长造成的供水和灌溉需求的增加以及许多流域预计的更干燥条件,上述需求增加的负面影响将加剧拉丁美洲许多地区目前已观测到的脆弱性。因此,即使考虑到缺水压力减小的人口数量,处于缺水压力的人口数量仍是净增长。[WGII 13.4.3]

#### 5.5.3.2 能源

预估冰川进一步退缩将会影响一些国家的水力发电,如哥伦比亚和秘鲁(UNMSM, 2004)。一些小的热带冰川已经消失,其它的*可能*在未来几十年内也会消失,这对水力发电构成潜在的影响(Ramírez等, 2001)。[WGI 4.5.3; WGII 13.2.4]

#### 5.5.3.3 健康

大约有2.62亿人口,占拉丁美洲人口的31%,生活在有疟疾风险的地区(即热带和亚热带地区)(PAHO, 2003)。在SRES排放情景和社会经济情景下,某些预估表明,在预估降水减少的许多地区,如亚马逊和中美洲,疟疾的传播期缩短。有研究结果报告,南美洲疟疾分布的南部边缘地区有更多的人口面临染病风险(van Lieshout等, 2004)。尼加拉瓜和玻利

## 框 5.5: 南美洲冰川的变化. [WGII 框 1.1]

与其它的山脉一样, 在热带安第斯山已观测到冰川普遍退缩, 而最小的冰川受到的影响更大[WGI 4.5.3], 其中许多冰川已在上个世纪消失。对于大部分被冰川覆盖的山脉而言, 如秘鲁的布兰卡山和玻利维亚的雷亚尔山, 冰川总面积已比小冰河期的面积大约缩小了三分之一(图5.9)。

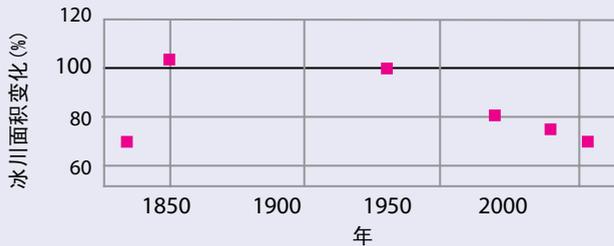


图5.9: 与1925年前后的面积(=100)相比, 秘鲁热带布兰卡山的冰川总面积(%) (Georges, 2004)。1990年, 布兰卡山的冰川面积为620平方公里。[摘自WGI图 4.16]

正在解体且最有可能消失的小冰川的典型实例就是玻利维亚的查卡塔亚冰川(16°S)。1940年, 其面积是0.22平方公里, 而目前(2005年)已缩减到不足0.01平方公里(图5.10) (Ramírez等, 2001; Francou等, 2003; Berger等, 2005)。从1992年至2005年, 该冰川表面积缩小了90%, 冰体积减小了97%(Berger等, 2005)。根据这些观测的数值, 用线性外推法表明, 该冰川可能在2010年之前完全消失(Coudrain等, 2005)。在热带地区, 尽管冰川的质量平衡对降水和湿度的变化反应敏感[WGI 4.5.3], 但查卡塔亚冰川的退缩与20世纪80年代以来热带安第斯山0°C等温线每10年大约上升50米相一致(Vuille等, 2003)。

该冰川平均海拔5260米, 在几年前是世界上最高的滑雪场地。20世纪90年代期间, 该冰川不断退缩, 已近乎消失, 因而, 玻利维亚已丧失了其唯一的滑雪胜地(图5.10)。

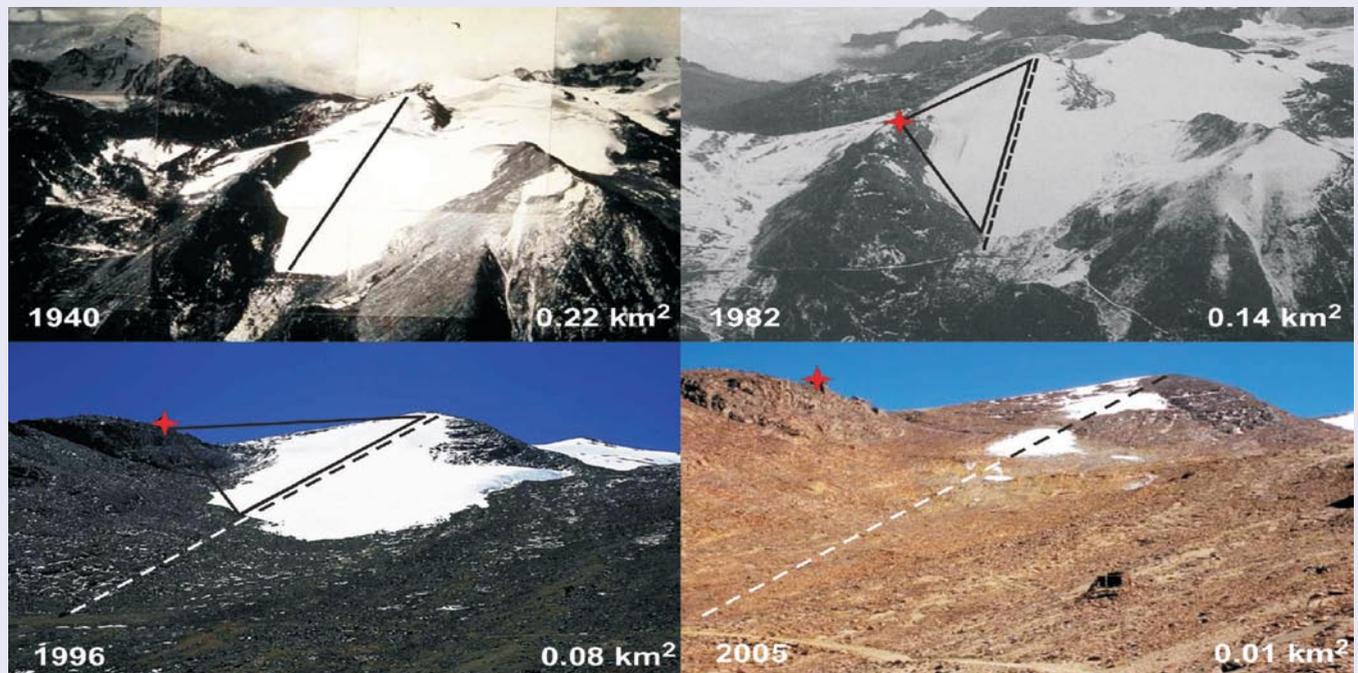


图5.10: 从1940年至2005年, 玻利维亚查卡塔亚冰川的面积范围。到2005年, 该冰川已分裂为三个面积不等的小冰体。滑雪棚的位置(1940年时没有)以红色十字表示。1940年, 滑雪缆车的长度大约是800米, 而在1996年时, 其长度大约为600米(1940年时用实线表示, 其它各图用虚线表示), 而且缆车通常是在降水季节期间安装。2004年后, 滑雪已不再可能。照片说明: Francou和Vincent(2006)及Jordan(1991)。[WGII 图1.1]

**表 5.6:** 根据HadCM3GCM, 拉丁美洲生活在缺水压力流域的人口数量增加(单位: 百万) (Arnell, 2004)。[WGII 表13.6]

情景和GCM	1995	2025		2055	
		没有气候变化	有气候变化	没有气候变化	有气候变化
A1	22.2	35.7	21.0	54.0	60.0
A2	22.2	55.9	37.0-66.0	149.3	60.0-150.0
B1	22.2	35.7	22.0	54.0	74.0
B2	22.2	47.3	7.0-77.0	59.4	62.0

维亚已预测, 2010年疟疾发病率有可能增加, 并公布了季节变化 (Aparicio, 2000; NC-尼加拉瓜, 2001)。疟疾的增加和面临风险的人口会影响卫生服务的成本, 包括医疗和社会保障费用。[WGII 13.4.5]

其它模式预估, 由于登革热在墨西哥、巴西、秘鲁和厄瓜多尔传播的地理区域发生变化, 面临登革热危险的人数会显著增加 (Hales等, 2002)。一些模式预估: 在秘鲁、巴西、巴拉圭、乌拉圭、阿根廷和玻利维亚, 皮肤利什曼病传病媒介的空间分布 (传播) (Aparicio, 2000; Peterson和Shaw, 2003) 以及登革热传病媒介的每月分布将会发生变化 (Peterson等, 2005)。[WGII 13.4.5]

### 5.5.3.4 农业

在气候变化条件下, 利用作物模拟模式对拉丁美洲地区的经济作物开展了一些研究。在SRES排放情景A2下, 预估到2020年面临饥饿风险的人口数量将会增加100万, 而预估到2050年, 这种状况将不会改变, 到2080年, 这一数字将会减少400万。[WGII 表13.5, 13.4.2]

### 5.5.3.5 生物多样性

通过一系列复杂的交替变化, 包括降雨和径流的变化, 预计亚马逊东部地区和墨西哥中部及南部地区的热带森林会被稀树大草原取代, 而巴西东北的部分地区和墨西哥中部和北部的大部分地区, 由于土地利用变化和气候变化的共同影响, 半干旱植被会被干旱植被取代。到21世纪50年代, 在一些地区, 50%的农田很可能出现荒漠化和盐碱化。[WGII 13.ES, 13.4.1, 13.4.2]

## 5.5.4 适应和脆弱性

### 5.5.4.1 过去和当前的适应

拉丁美洲国家缺乏应对洪水和干旱灾害及风险的充分适应战略的原因在于国民生产总值(GNP)低、居住在脆弱地区(易发洪水、滑坡或干旱)的人口日益增加以及没有相应的政治、体制和技术框架 (Solanes和Jouravlev, 2006)。然而, 一些社区和城市已自行组织起来, 积极参与防灾工作 (Fay等, 2003b)。许多贫困居民被鼓励从易发洪水地区迁至安全地带。在IRDB和IDFB贷款帮助下, 他们建立了新的家园, 比如在1992年的洪水之后, 重新安居在阿根廷的巴拉那河流域 (IRDB, 2000)。在某些情况下, 影响潘帕斯草原典型经济的环境条件发生变化, 促使采用新型的生产活动, 如: 通过利用银汉鱼 (牙汉鱼) 等区域自然鱼种发展水产养殖 (La Nación, 2002)。举另一个实例, 与人们对缺水的适应能力有关, 由“自发组织”改善极贫困社会供水系统计划提供。该组织(水资源和卫生设施开发商务伙伴)一直致力于拉丁美洲的四个“重点”计划: 卡塔赫纳(哥伦比亚)、拉巴斯和埃尔奥托(玻利维亚)以及大布宜诺斯艾利斯(阿根廷)的一些贫民区(水资源网, 2001; 21世纪的水, 2002)。雨水收集和蓄水系统是半干旱的热带地区可持续发展的重要部分。特别是, NGO网络半干旱地区连接(ASA)项目在巴西制定了一项联合项目, 称为PIMC项目, 在民间分散建立100万个蓄水池。该计划是向巴西半干旱热带(BSAT)的常年干旱地区的100万农村家庭提供饮用水。在第一阶段, ASA以及巴西环境部修建了12400个蓄水池, 到2004年底计划再建21000个蓄水池 (Gnadlinger, 2003) 在阿根廷, 2000年到2002年, 圣地亚哥-德尔埃斯特罗省干旱地区地方社区的国家供水安全计划建立了10个雨水集水区和蓄水系统 (Basán Nickisch, 2002)。[WGII 13.2.5]

### 5.5.4.2 适应: 规范、方案和限制

拉丁美洲的各项水管理政策需具有相关性, 并作为适应标准的核心点予以纳入。这将促进该地区完善其用水管理的能力。适应拉丁美洲约60%地区的干旱条件将需要对供水系统进行大量投资。采用跨流域调水是许多地区的解决之道(如: 委内瑞拉的亚坎布流域、秘鲁的上皮乌拉和曼塔罗流域)。在缺水期, 已经提出了水资源保护规范、水的回收再利用和优化用水的建议 (COHIFE, 2003) (见框5.6)。[WGII 13.5]

**框 5.6: 南美洲高原史前哥伦比亚社会的适应能力.[WGII 框 13.2]**

美洲土著文明的存在依赖于其居住地周边盛行的气候条件下形成的资源。在今日的拉丁美洲的高原地区,过去和现在影响发展的最主要限制之一是水资源分布不均。这种情况形成的原因在于大气过程和极端事件的特殊性、深谷中的快速径流以及土壤条件的变化。冰川融化在过去和当今仍是干旱季节可靠的水源。然而,河流是在有界河道内流入山谷,仅将水带到某些地方。由于降雨的季节性很强,因而冰川径流是干旱季节主要的可靠水源。因此,史前哥伦比亚社会制定了不同的适应行动以满足其需求。今天,可用水量和水需求之间实现必要平衡的问题实际上与过去相同,虽然规模可能不同。

在此种限制下,从今日的墨西哥到智利北部和阿根廷,史前哥伦比亚文明建立了适应当地环境条件的必要能力。这种能力包括他们解决一些水力问题,并预见气候变化和季节雨期的能力。就工程而言,其发展包括将收集的雨水用于蓄水、过滤和储存;修建地表和地下灌溉水渠,包括测量储水量的设备(图5.11)(Treacy, 1994; Wright和Valencia Zegarra, 2000; Caran和Nelly, 2006)。他们还能够将位于昆比谷和卡哈马卡,且与太平洋和大西洋流域相隔的各河流域相连接(Burger, 1992)。



**图 5.11:** 为地下水渠输水并补给地下含水层的纳斯卡(秘鲁南部海岸)蓄水系统。

史前哥伦比亚文明还建立起预料气候变化和季节雨期、安排播种时间、规划收成等其它能力(Orlove等, 2000)。这些努力使得他们的社会得以生存下去,这些社会位于当今的秘鲁和厄瓜多尔,其人口在印加文明的巅峰时期约有1000万。

他们的工程能力还使其能够整治河道,比如在乌鲁班巴河,而且还能够修建桥梁,比如吊桥或是在河床上立支柱架桥。他们还将流水用于休闲和礼拜目的,如现今所见由地热加温的印加温泉(‘Baño del Inca’),以及在库斯科附近的坦普马恰(Tampumacchay)音乐花园遗迹(Cortazar, 1968)。查文文化的祭司在寺庙建筑里钻凿的管道内,利用水的流动制造一种像美洲豹咆哮的声音;美洲豹是他们的神祇之一(Burger, 1992)。水还被用来切割石块用于建筑。比如在欧兰泰坦坡(Ollantaytambo),在通向马丘比丘的路上,这些石头被切割成规则的几何图形,采用的方法是将水滴入巧妙凿出的缝隙中,并在阿尔蒂普拉诺高原的夜晚将其置于零度以下的环境冷冻。他们还具备预报气候变化的能力,例如厄尔尼诺造成的气候变化(Canziani和Mata, 2004),使他们能够最为便捷、及时地组织粮食生产。简言之,他们做出了开拓性的努力来适应当地的不利条件,并确定可持续发展的道路。

今天,天气和气候变幻莫测,增加的温室气体效应和冰川退缩加剧了气候的变化(Carey, 2005; Bradley等, 2006),因此重新讨论和更新此类适应措施极为有益。当今社会成员在其先辈的知识和技能方面的教育和培训将是一种前进方式。当考虑需要应对高原极端气候条件时,拉丁美洲和加勒比地区经济委员会(ECLAC)可持续发展的管理程序(Dourojeanni, 2000)参照了史前哥伦比亚灌溉对策。

教育和公共卫生服务方面的问题是适应的主要障碍；例如，主要在贫困的农村地区发生极端事件的情况下（洪水或干旱）（Villagrán de León等，2003）。[WGII 13.5]

## 5.6 北美洲

### 5.6.1 背景和观测到的变化

气候变化将限制北美洲已过度分配的水资源，因此加剧了农业、城市工业和生态之间的用水争夺（*很高可信度*）。预计这一区域气候变化的一些最重要的社会和生态方面的影响是源于地表和地下水水文的变化。表5.7概述了上个世纪在北美洲观测到的变化，说明了气候变暖对水资源产生的一系列影响。[WGII 14.ES]

由于未来几十年变暖的速度加快，可以预计北美洲大部分区域的人类居住地、农业和工业用户的可用淡水在时间、容量、质量和空间分布上的变化。尽管上述水资源的一些变化在北美洲大部分地区确实如此，但20世纪趋势表明，气候变化对径流、河道流量和地下水回灌的影响存在高的区域变率。在加拿大和美国，资源和地理的变化也加剧了*可能的*影响、脆弱性以及适应能力的不均衡分布。[WGII 14.ES, 14.1]

### 5.6.2 预估的变化和后果

#### 5.6.2.1 淡水资源

对北美洲各集水区未来年径流的模拟因区域、大气环流模式（GCM）和排放情景的不同而各异。预估到2100年，美国西南地区的年平均降水量会减少，而北美洲其它大部分地区的降水量会增加。[WGI 11.5.3.2; WGII 14.3.1] 在A1B情景下，预估加拿大降水年平均增加将会在+20%的范围内，冬季增至+30%。一些研究预估极端降水普遍增多[WGI 11.5.3.3; WGII 14.3.1]，但也会出现与较大的降水时间变率有关的干旱。总之，预估的极端降水变化大于平均降水变化。[WGI 10.3.6.1; WGII 14.3.1]

到21世纪中叶，变暖以及降水在形成、发生时间和水量方面的变化将*很可能*导致西部山区的积雪提前融化并显著减少。根据对以融雪为主的山区流域的预估，融雪径流提前，冬季和早春的流量增加（发生洪水的可能性增加），而夏季的流量显著减少。[WGII 14.4] 因此，依靠获取融雪径流的美国西部和加拿大过度分配的水系可能尤为脆弱，如同那些依靠冰川径流的水系。[WGII 14.2, 15.2]

表5.7: 上个世纪观测到的北美洲水资源的变化(↑=增加, ↓=减少)。

水资源变化	来自AR4的实例
因变暖造成过早融雪，最大流量提前1-4周	美国西部和美国新英格兰地区、加拿大 [WGII 1.3, 14.2]
↓ 从雪的形式的降水的比例	加拿大西部和草原、美国西部 [WGII 14.2, WGI 4.2]
↓ 积雪的持续时间和程度	北美洲大部分地区 [WGI 4.2]
↑ 年度降水	北美洲大部分地区 [WGI 3.3]
↓ 山区雪水当量	北美洲西部 [WGI 4.2]
↓ 年度降水	落矶山中部、美国西南、加拿大草原和北极东部 [WGII 14.2]
↑ 强降水事件频率	美国大部分地区 [WGII 14.2]
↓ 径流和河道流量	科罗拉多河和哥伦比亚河流域 [WGII 14.2]
多年冻土大范围融化	加拿大北部大部分地区和阿拉斯加 [WGII 14.4, 15.7]
↑ 湖水温度(0.1–1.5°C)	北美洲大部分地区 [WGII 1.3]
↑ 河道流量	美国东部大部分地区 [WGII 14.2]
冰川退缩	美国西部山区、阿拉斯加和加拿大 [WGI 4.ES, 4.5]
↓ 冰盖	五大湖、圣劳伦斯湾 [WGII 4.4, 14.2]
沿岸地表水盐化	佛罗里达、路易斯安那 [WGII 6.4]
↑ 干旱期	美国西部、加拿大南部 [WGII 14.2]

在不列颠哥伦比亚地区，预估的影响包括冬季降水增加、海岸带和内陆更严重的春季洪水、南部海岸带和南部内陆更多的夏季干旱，这将使这些地区的河道流量减少，并在水需求量达到峰值时影响鱼类的生存和夏季供水。在五大湖地区，预估的与低水位有关的影响*可能会*加剧与水质、航海、旅游、水力发电、输水和两国有挑战。[WGII 14.2, 14.4] 许多但并非全部的评估预估，五大湖-圣劳伦斯流域的区域净供水量和水位会较低。[WGII 14.ES, 14.2]

由于气候变化,地下水的可用水量可能会受到三个关键因素的影响:抽水量(反映出其它水源的开发、需求和可用水量)、蒸散(随温度而增加)和回灌(取决于温度、降水的时间和降水量以及地表水的相互影响)。模拟年地下水基流和含水层水位表明了温度、降水和抽水量的影响—在更干旱或抽水量更大的情景下流量减少,水位降低,在更湿润的情景下则会增加。在某些情况下,基流发生改变;在冬季会增加,在春季和夏初减少。[WGII 14.4.1] 在北美洲半干旱和干旱地区,更高的蒸散量或地下水抽取量可能会导致浅层含水层盐化。[WGII 3.4] 此外,当海平面上升时,气候变化可能会促使发生海水入侵海岸带的含水层。[WGII 3.4.2]

### 5.6.2.2 能源

众所周知,水力发电对于径流的总量、时间和水库水位很敏感。例如,在20世纪90年代,由于长期干旱,五大湖的水位下降,在1999年,尼亚加拉和苏圣玛丽的水力发电量显著下降(CCME, 2003)。[WGII 4.2] 如果哥伦比亚河流域和不列颠哥伦比亚水电厂服务区的温度升高2-3°C,那么,在最恶劣的水资源条件下,冬季用电高峰时的水力发电供电量将可能增加(高可信度)。同样,科罗拉多河水力发电量将可能显著减少(Christensen等, 2004),五大湖的水力发电量也将显著减少(Moulton和Cuthbert, 2000; Lofgren等, 2002; Mirza, 2004)。五大湖更低的水位会造成巨大的经济损失(4.37亿-6.60亿加拿大元/年),而水位上涨会带来少量效益(2800万-4200万加拿大元/年)(Buttle等, 2004; Ouranos, 2004)。魁北克北部的水力发电将可能受益于更大的降水量和更开阔水域条件,但魁北克南部的水电厂可能会受水位更低的影响。流量季节分布变化和结冰时间变化的影响尚不确定(Ouranos, 2004)。[WGII 3.5, 14.4.8]

太阳能资源会受到未来云量变化的影响,北美洲60°N以南的太阳能潜力会略有增加(基于多种模式和A1B排放情景2080-2099年与1980-1999年的对比)。[WGI 图10.10] 然而, Pan等(2004)的预估结果正相反;云量的增加将使光电的潜在输出减少0-20%(在CO<sub>2</sub>增加的理想情景下的HadCM2和RegCM2<sup>24</sup>模式)。[WGII 14.4.8] 由于气候对作物生长和灌溉用水具有直接影响,因此,生物能潜力对气候很敏感。预估生物能作物会以33美元/10<sup>6</sup>克,或约1.83美元/10<sup>9</sup>焦耳的价格成功争得农业用地(Walsh等, 2003)。在美国中部,预计变暖和降水增加会使生物能作物柳枝稷有效地与传统作物竞争(基于RegCM2模式和CO<sub>2</sub>浓度加倍)(Brown等, 2000)。[WGII 14.4.8]

### 5.6.2.3 健康

在北美洲,各种原因引起的水传播疾病爆发有明显的季节性,集中在主要流域,而且与强降水有关(在美国: Curriero等, 2001)或与极端降水和温度升高有关(在加拿大: Thomas等, 2006)。强降雨后的强径流还会污染娱乐用水,且由于更高的细菌数而增加人类患病的风险(Schuster等, 2005)。这种关联通常在河滩地带最强(Dwight等, 2002)。水传播疾病和水质的下降很可能会随着强降水的增多而加剧。食物传播疾病也显示出与温度趋势有某些关系。在艾伯塔省,环境温度与肠道病原体的出现有很强的,但非线性的关系(Fleury等, 2006)。[WGII 14.ES, 14.2.5]

强热带气旋活动可能增加。[WGI SPM] 风暴潮洪水已是墨西哥湾沿岸和北美洲南大西洋沿岸的一个难题。2005年,卡特里纳飓风造成的死亡人数估计为1800人[WGII 6.4.2],有些死亡和许多腹泻病例均与供水污染有关(CDC, 2005; Manuel, 2006)。[WGII 8.2.2; 另见第4.5节关于河岸洪水]

### 5.6.2.4 农业

温和的气候变化将可能增加北美洲雨养农业的产量,但与早前的预估相比,增量较小,空间变率更大(高可信度),自TAR以来的研究支持这一结论(Reilly, 2002)。然而,预计目前许多接近气候阈值的作物,其产量、质量,抑或二者都会下降,即使是适当变暖,也会造成此类结果(中等可信度)(Hayhoe等, 2004; White等, 2006)。[WGII 14.4.4]

北美洲农业对气候变化的脆弱性是多维的,其主导因素在于潜在条件之间的相互影响、气候变化带来的间接压力(如,虫害和水利用率的变化)、农业应对相互影响的多种因素的能力,包括来自其它地区的经济竞争以及改良作物品种和农场管理(Parson等, 2003)。水利用率是限制亚利桑那东南部地区农业的主要因素,但该地区的农民认为,技术和适应,例如作物保险,近来已降低了脆弱性(Vasquez-Leon等, 2003)。边际财务和天然资源地区(例如,美国北部平原)尤其易受气候变化的影响(Antle等, 2004)。不可持续的土地利用方式将会加剧美国大平原地区农业对气候变化的脆弱性(Polsky和Easterling, 2001)。[WGII 14.4.4; 另见第4.2.2节] 在美国西南地区,大量利用地下水系统可能会面临气候变化带来的更多压力,导致回灌减少(高可信度),从而影响农业生产率。[WGII 14.4.1]

<sup>24</sup>见附件I - 模式说明

裸土上的积雪减少和冬雨的增加可能延长侵蚀期并加剧侵蚀,加大农业地区水质影响的可能性。北美洲谷物种植带的土壤管理做法(如,作物秸秆还田,免耕法)也许没有为防范未来强降水及相关径流的侵蚀提供充分的保护(Hatfield和Pruger, 2004; Nearing等, 2004)。[WGII 14.4.1]

#### 5.6.2.5 生物多样性

未来几十年,北美洲的大量物种和生物群落会受到预估的降雨、土壤水分、地表水位和河道流量变化的影响。

例如,湖水和池塘水位的下降会导致两栖动物和鱼类繁殖失败,而物种之间的不同响应可改变水生群落的构成和营养流动。雨型和干旱体系的变化可促使其它类型生态系统的扰动,包括火灾(Smith等, 2000)和外来生物的入侵(Zavaleta和Hulvey, 2004)。[WGII 14.4.2]更耐盐的红树向陆地发展取代多草淡水沼泽(例如20世纪40年代以来的佛罗里达大沼泽地)归因于海平面上升和水资源管理的共同影响,导致地下水位降低(Ross等, 2000)。[WGII 1.3.3.2]海岸带淡水径流的变化能够改变盐度、浊度和其它决定着动植物群落生产率和分布的水质问题。[WGII 6.4]

在高纬度地区,由于森林扩大到苔原地区,加之更长的生长期(Berthelot等, 2002),一些模式模拟了北美洲生态系统会有更高的净初级生产率,这在很大程度上取决于是否有充分增加的降水足以抵消在较暖气候下增加的蒸散量。在树木生长历来受低温和短生长期限制的区域,森林生长似乎在缓慢加速。然而在干旱地区生长愈加缓慢。由于干旱压力加剧,在过去90年,阿拉斯加干燥的南坡蔓延的白云杉减少(Barber等, 2000)。Bachelet等(2001)模拟试验预估:在美国大陆,温度每升高1°C,受干旱影响的生态系统面积将会增加11%。[WGII 14.4]在北美洲草原壶穴地区,模式预估:区域温度升高3°C而且降水出现不同变化,干旱便会加剧,从而导致湿地的大面积丧失,在此繁殖的水鸟种群将会下降。(Johnson等, 2005) [WGII 4.4.10]

鱼类的生态可持续性和渔业生产率与供水和水温密切相关。气候变化可能将对冷水渔业产生负面影响;暖水渔业将普遍受益;对冷水渔业而言,

其结果具有两面性,北部地区受益而南部地区受损。喜好清冷水域的鲑鱼可能受到的负面影响最大(Gallagher和Wood, 2003)。北极淡水渔业可能受到的影响最大,因为它们将面临最大程度的变暖(Wrona等, 2005)。在伊利湖,河中产卵的鲈鱼,其卵体生长将依赖于温度及流量变化,但由于变暖和湖水水位降低的影响,湖中产卵的鱼类将可能减少(Jones等, 2006)。暖水物种的区域将会北移或迁往较高纬度地区(Clark等, 2001; Mohseni等, 2003)以响应水温的变化。[WGII 14.4]

#### 5.6.2.6 北美洲大流域气候变化影响的案例分析

框5.7和框5.8描述了两个案例,分别展现在北美洲西部地区‘缺水’和‘丰水’环境中(分别是科罗拉多河和哥伦比亚河流域),气候变化带来的潜在影响和对管理提出的挑战。

### 5.6.3 适应

尽管北美洲具备相当大的能力来适应气候变化造成的与水有关的影响,但实际的做法没有能够始终保护人民及其财产免于洪水、干旱、风暴和其它极端天气事件的不利影响。特别是弱势群体,包括土著人和社会或经济状况差的人群。北美洲的传统和机构鼓励采用一个分散响应框架,其适应往往会有反作用且分布不均衡,只着重于应对而非防患未然。仅仅或主要根据气候变化及其对水资源影响的预估来影响人们适应行为的实例在文献中几乎是空白。[WGII 14.5.2]北美洲可持续性的关键先决条件是将气候问题‘纳入’决策过程。[WGII 14.7]

北美洲的脆弱性取决于适应的有效性和应对能力的分布;这两方面目前不均衡,而且未能一直保护弱势群体免于气候变率和极端天气事件的不利影响。[WGII 14.7]美国和加拿大是发达的经济体,拥有大规模的基础设施和成熟的体制,也存在重要的区域和社会经济的差异(NAST, 2000; Lemmen和Warren, 2004)。这些能力已使他们在一系列历史条件下采取适应措施并制定对策,既有成功的也有失败的。多数有关适应战略的研究认为战略的实施要根据以往的经验(Paavola和Adger, 2002)。[WGII 14.5]

在过去十年中,北美的农业易受许多灾害天气事件的影响。更为多变的天气以及从农村地区外迁

### 框 5.7: 科罗拉多河流域的干旱和气候变化

科罗拉多河为美国七个州、墨西哥两个州和三十四个美洲土著部落提供所需的大部分水源 (Pulwarty 等, 2005), 涉及人口达2500万, 而预估到2020年将达到3800万。在过去的100年, 美国受严重干旱或极端气候干旱影响的总面积平均每年大约为14%, 而在1934年, 这一比率高达65%。

人口和经济活动的向西拓展以及对干旱事件的即时响应, 最终带来在半干旱环境中建立起重大的结构性适应措施, 包括数百座水库、灌溉计划和地下水抽取。根据广泛的文献记载, 在400年当中, 科罗拉多河水能够分配到流域内各州是在最湿润的时期(即1905-1925年)。近来, 美国西部经历了持续的干旱, 自1999年以来, 该区域30%-40%遭受严重的干旱, 而从2000-2004年, 科罗拉多河流量出现有史以来连续五年的最低期。同时, 美国西南各州正经历着国家的最快发展, 并伴随着社会、经济和环境方面对水资源的需求, 也随之出现了相关的法律冲突 (Pulwarty等, 2005)。

整个科罗拉多河流域地区, 只是一小部分(大约15%)供应了整个流域的大部分流量(85%)。估算表明, 随着气候变暖及蒸发的加剧, 在21世纪, 其同时出现径流减少30% (Milly等, 2005)。在此情况下, 以及预估到2025年的抽水量仅能满足科罗拉多河协定要求的60%-75% (Christensen等, 2004)。一些研究估算: 到2050年, 美国西南部地区的平均水份条件会与20世纪50年代观测到的条件相同。这些变化的出现是由于温度升高(通过更多的升华、蒸发和土壤水分减少), 即使降水量始终相当稳定。一些研究人员认为, 由于模式选择不同, 这些评估实际上也许低估了未来的下降幅度。

在李斯渡口(将流域的上游和下游隔开), 科罗拉多河流量的多数情景表明, 在20年内, 泄水量可能不足以满足目前的用水需求。近期的经验表明, 该流域已出现‘临界’状况 (Pulwarty等, 2005)。气候变率和变化以及不断增加的发展压力将导致该地区出现比以往更大的干旱影响, 并将加剧水用户之间的冲突。

和经济压力增加了整个农业行业的脆弱性, 引起了对其未来应对更多变气候的能力的关切(加拿大参议院, 2003; Wheaton等, 2005)。然而, 北美洲的农业还有很大潜力。适应多种压力和把握机遇(包括市场和天气的变化)在于农业行业的正常过程。作物的多样化和企业多元化以及水土保持通常用于降低与天气有关的各种风险 (Wall和Smit, 2005)。[WGII 14.2.4]

北美洲的许多城市基于历史经验, 已启动了‘无悔’行动 (MWD, 2005)。[WGII 框14.3] 加拿大和美国的企业还投资于与水资源变化有关的适应措施, 虽然似乎这些适应措施很少是基于未来的气候变化预估。[WGII 14.5.1] 这类适应实例包括:

- 保险公司正投资于防范未来灾害对受保财产损害的研究并调整定价模式研究 (Munich Re, 2004; Mills和Lecompte, 2006)。[WGII 14.2.4]
- 滑雪胜地的经营者正投资安装可到达更高海拔的缆车和造雪设施 (Elsasser等, 2003; 人口调查局, 2004; Scott, 2005; Jones和Scott, 2006; Scott和

Jones, 2006)。[WGII 14.2.4]

- 自20世纪80年代初以来, 纽约耗水总量已减少27%, 人均耗水量减少34% (纽约市, 2005)。[WGII 14.2.4]
- 在洛杉矶地区, 当地供水区的激励和信息计划促进了水资源的保护 (MWD, 2005)。[WGII 框14.3]
- 利用极为详细的天气状况信息, 农民们正在调整作物和选种、灌溉战略和农药施用 (Smit和Wall, 2003)。[WGII 14.2.4]
- 加拿大彼得伯勒市在三年内经历了两次百年一遇的洪水事件; 该市的应对措施是冲刷排水系统和更换主干污水管道系统, 以达到更极端的五年一遇洪水标准 (Hunt, 2005)。[WGII 14.5.1]
- 美国六座主要城市 (包括纽约和洛杉矶) 近期的干旱促使了适应措施的出台, 涉及投资水保护系统和新的供水/配水设施 (Changnon和Changnon, 2000)。[WGII 14.5.1]
- 为应对强降水15%的增长, 伯灵顿、渥太华和安

### 框 5.8: 气候变化给哥伦比亚河流域的管理增加了困难[WGII 框 14.2]

哥伦比亚河流域当前的水资源管理需要平衡水力发电、航运、洪水控制、灌溉、城市用水以及维持一些濒危物种种群(如鲑鱼)的复杂而矛盾的需求。当前和预估的这些使用需求超过了现有的水供给。该流域的水资源管理是在一种复杂的机构设置下开展的,涉及到两个主权国家(1964年批准的哥伦比亚河条约)、拥有明确条约权力的土著人口(1974年美国华盛顿州判例‘博尔特判决’)和大量的联邦、州、省和地方政府机构(Miles等, 2000; Hamlet, 2003)。污染(主要是非点源污染)是许多支流的主要问题。在该流域美国部分的西部水法中,时先权先条款使管理复杂化,并且减少了对初级用水户的供水(Gray, 1999; Scott等, 2004)。当流量高或低时,或当受保护的物种位于支流、干流或海洋时,复杂性就扩大到不同的管辖责任区(Miles等, 2000; Mote等, 2003)。

在气候变化背景下,预估的哥伦比亚河年流量变化将会相对很小,但季节流量变化明显,冬季和春季流量较大,夏季和秋季流量较小(Hamlet和Lettenmaier, 1999; Mote等, 1999)。这些流量变化将可能与水需求的增加同时出现,主要是由于区域用水的增长,但也有气候变化的原因。低流量年的用水矛盾本已十分明显,而夏季可用水的减少会加剧这一矛盾(Miles等, 2000)。另预估气候变化也将会影响该流域内的城市供水。例如,预估21世纪40年代的温度将会升高2°C,将使俄勒冈州的波特兰市水需求量增加570万立方米/年,而人口的增长又将会额外增加水需求2080万立方米/年,同时供水量会减少490万立方米/年(Mote等, 2003)。具有充分提前量的气候预报在河流管理中日益受到重视,但程度有限(Hamlet等, 2002; Lettenmaier和Hamlet, 2003; Gamble等, 2004; Payne等, 2004)。在该系统的43个支流流域中,每一个流域都拥有各自的支流流域鱼类和野生动物管理计划,但却没有一个流域在气候变化背景下全面解决夏季流量减少的问题(ISRP/ISAB, 2004)。

由于积雪和季节流量的变化,哥伦比亚河流域水资源管理所面临的挑战可能会随着气候变化而加大(Miles等, 2000; Parson等, 2001; Cohen等, 2003)。在气候变化下,管理者实现各项运行目标的能力(可靠性)可能会显著下降(正如IPCC IS92a排放情景下HadCM2和ECHAM4/OPYC3AOGCM对21世纪20年代和90年代所预估的那样)(Hamlet和Lettenmaier, 1999)。预估到21世纪末,可靠性将会降低25%(Mote等, 1999),并与运行规定要求相互影响。例如,在当前的气候下,“鱼类优先”的规定将使稳定的水力发电可靠性降低10%,并在太平洋十年涛动(PDO)的暖期阶段降低17%。适应措施有可能减缓4月份积雪减少的影响,但会导致稳定的水力发电损失10%-20%,而且流量将会低于目前供鱼类生存的夏季流量(Payne等, 2004)。在开发的初期阶段可把气候变化适应纳入区域规划过程(Cohen等, 2006)。

大略采取了结构性和非结构性措施,包括直接将雨水管引入草坪以促进渗入,并提高洼地和街道的滞洪蓄水能力(Waters等, 2003)。[WGII 14.5.1]

- 自1970年以来,洛杉矶的人口增长超过35%(近100万人),而用水仅增加7%(加利福尼亚区域评估组, 2002),原因在很大程度上是采取了水保护措施。[WGII 框14.3]
- 2004年,不列颠哥伦比亚的中奥肯那根地区为称为特里佩尼尔景观单元的规划区制定了水管理计划,该计划明确针对气候情景、预估的水资源供需变化和适应选择(Cohen等, 2004; 高级环境顾问, 2004)。[WGII 框3.1, 20.8.2]

## 5.7 极地地区

### 5.7.1 背景

两个极地区域是全球预计经历气候引发的某些最早和最深刻变化的地区,主要是因为其广大的冰冻圈部分还支配着极地区域的水文过程和水资源。对北极而言,最为关切的是气候变化对极地区域水资源的影响。对南极而言,重点是主要冰盖的质量平衡及其对海平面的影响,以及在较小程度上引发的一些水生系统的改变。北极蕴含着多种水资源,包括世界上许多最大的河流(勒拿河、鄂毕河、麦肯齐河和叶尼塞河)、大三角洲(勒拿和麦肯齐)、大湖泊(

如, 大熊湖)、幅员广阔的冰川和冰帽以及广阔的湿地。由于人口相对较少(400万: Bogoyavlenskiy和Siggner, 2004)和严酷的气候, 依赖水资源的产业, 如农业和林业, 其规模相当小, 然而却有大量的商业渔业和养殖渔业。尽管在北极的一些国家, 一些游牧民仍有相当数量, 但人口日趋聚集在更大的社区(三分之二的人口目前生活于居民规模在5000以上的居住地), 不过多数社区离主要水路不远, 而且依靠水路运输。例如, 迁居到更大的社区导致更多地使用经处理的供水和现代化的污水处理(Hild和Stordhal, 2004)。[WGI 10.6.4; WGII 15.2.1]

北极水资源的一个重要部分发源于大河流的源区, 经北部地区流入北冰洋。这些河流的流量是重要的水电开发重点, 且保有世界上最大的未开发的水力蕴藏量(例如, Shiklomanov等, 2000; Prowse等, 2004)。鉴于这些河流将热量、泥沙、营养物质、污染物和生物群输送至北部的作用, 在较低纬度地区气候引发的变化对北极的影响很大。此外, 北极所有集水区总流量的变化对北冰洋的淡水平衡、海冰生成以及最终对温盐环流和全球气候的潜在影响至关重要。[WGI 10.3.4; WGII 15.4.1]

### 5.7.2 观测到的变化

自20世纪30年代以来, 观测到的北极水资源最显著的变化是来自六条最大的欧亚河流的总流量增加(近7%: Peterson等, 2002)。而且还注意到, 在20世纪后期, 绕极冰川、冰帽和格陵兰冰盖流入北冰洋的径流增加, 增量可与最大的泛北极河流总流量的增加相比(Dyrgerov和Carter, 2004)。冰体的质量平衡变化是对降水和温度变化的综合响应, 导致了相反的区域趋势, 如在格陵兰冰盖的边缘和某些内陆部分之间出现的趋势(Abdalati和Steffen, 2001; Johannessen等, 2005; Walsh等, 2005)。在欧亚河流量增加案例中, 潜在的控制因素, 如, 多年冻土层的融冰、森林火灾和水坝蓄水量变化的影响已经被排除作为响应因子(McClelland等, 2004), 而一项模拟研究表明, 人为气候强迫因子起到了某种作用。评价气候及其它因子对北美洲最大的北极活水河(麦肯齐河)的影响是尤为困难的, 因为大湖泊和水库的自然蓄水-泄水效应对流量有大的抑制作用(如, Gibson等, 2006; Peters等, 2006)。[WGI 9.5.4; WGII 15.4.1.1]

降水对径流的影响难以确定, 在很大程度上是由于北极降水网络的不足和稀疏, 但可以确信这种影响正在以每十年近1%的速度缓慢增加(McBean等, 2005; Walsh等, 2005)。目前已经观测到北极主要河流冬季流量的幅度变化, 而在勒拿河, 这种变化是与变暖加剧和冬季降水有关(Yang

等, 2002; Berezovskaya等, 2005), 虽然此前还认为鄂毕河和叶尼塞河冬季流量变化是气候引发的, 但也受到水力发电的调节作用(Yang等, 2004a, b)。这些变化也发生在春汛期(北极河流的主要流量事件), 但在过去的60年, 这些变化没有空间分布上的一致性, 临近北极的西伯利亚河流表明, 春汛有提前(勒拿河: Yang等, 2002)和滞后(叶尼塞河: Yang等, 2004b)两种趋势。淡水浮冰也主导着北极河流和湖泊的季节动力, 特别是洪水系统, 虽然尚无有关冰引发洪水的频率或量级变化的报告, 但大部分近北极地区的封冻期已经缩短(Walsh等, 2005)。[WGII 15.2.1, 15.4.1.1]

上个世纪下半叶, 北极地区的多年冻土层发生了显著变化(Walsh等, 2005), 鉴于冻土在主导水流通道方面的作用, 多年冻土层的融化可影响季节降水径流的响应(Serreze等, 2003; Berezovskaya等, 2005; Zhang等, 2005)。在20世纪末的三十年期间, 多年冻土层的融化以及地层透水性的相应增加, 也可能造成西伯利亚某些地区湖水丰度的变化(Smith等, 2005; 见图5.12)。在较高纬度地区, 认为最初的融化使地表蓄水和湖水丰度增加, 而在较低纬度地区, 湖水丰度已经下降, 因为更大范围和更深的融化使存水流入地下水系统。在北极的广大地区, 湖水和池塘水生群落的生物构成已对年平均温度和夏季气温增高变化以及对热力层/稳定性和冰封期等相关变化做出了响应(Korhola等, 2002; Ruhland等, 2003; Pienitz等, 2004; Smol等, 2005; Prowse等, 2006)。[WGI 第4章; WGII 15.4.1.1]

南极的淡水水生生态系统也对气候变化, 特别是气温变化做出了很大响应, 不过在整个南极大陆, 此类趋势各不相同。例如, 在旱谷(Dry Valleys)已观测到, 湖泊的生产率随着气温的下降而降低(如Doran等, 2002)。相反, 在近南极海面的西格尼岛, 气温升高已使其湖水温度产生了南半球迄今有文件记录以来最快和最大的响应(Quayle等, 2002)。此外, 变暖对积雪和冰盖的影响已对生态系统产生了一系列干扰(Quayle等, 2003)。[WGII 15.2.2.2]

### 5.7.3 预估的变化

预估北极的水文变化, 进而预估水资源变化仍存在问题, 因为GCM模式中降水的季节性变率和空间分布型态的变率很大。尽管多数预测降水径流会增加, 但由于该地区变暖或存在其它湿源, 因而划定雨雪与海冰退缩之间的比例问题使得很难对降水径流作出预估。然而, 总之, 北极主要集水区的最新径流预估表明将总体增加10%-30%。不过,

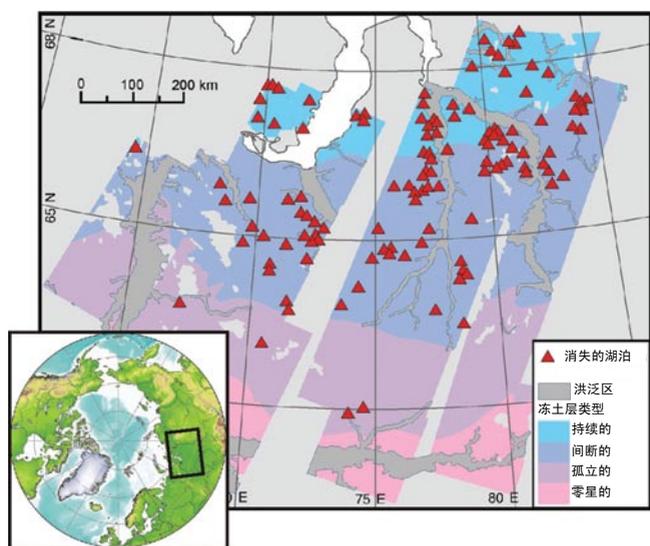


图 5.12: 在三十年土壤和空气温度升高之后, 已消失的西伯利亚各湖泊的位置(从20世纪70年代初到1997-2004年, 卫星图像记录的变化), 涵盖了各类多年冻土层。湖泊消失的空间分布型态表明, 多年冻土层的融化导致了所观测到的这类湖泊的消失。源自Smith等, (2005)。经AAAS许可再次引用。[WGII 图15.4]

一个未被纳入此类预估的因素是蒸腾的增加, 这种情况将在主要陆地植被从非蒸发苔原地衣变为各种木本物种时出现(如, Callaghan等, 2005), 不过它可能会被CO<sub>2</sub>引发的蒸腾减少所抵消(如, Gedney等, 2006)。同样未被纳入当前径流预估的因素有未来多年冻土层融化和活动层加深的影响(Anisimov和Belolutskaia, 2004; Instanes等, 2005), 此类影响与地表和地下水流动系统的关联将逐渐增加, 导致季节水文过程出现大的变化。伴随苔原的湿润或干旱以及气候变暖和活动层厚度的增加将决定苔原的碳和甲烷通量的源/汇状况。预计多年冻土层的融化和流量的增加还会导致河流输沙量增加(Syvitski, 2002), 并给渠网带来潜在的重大改变(Bogaart和van Balen, 2000; Vandenbergh, 2002)。[WGI第10章; WGII 15.4.2.3, 15.4.1.2]

格陵兰和南极的冰川、冰帽和冰盖的消融将使

两个极区的径流增加, 不过有些冰盖和冰原的融水大部分直接流入了其周围的海洋。对陆地水资源而言, 更为重要的是散布在整个北极的各个冰川, 预估它们会随时间的推移而显著退缩。虽然初期会增加流量, 但逐渐消失或冰川在小范围内建立新的平衡最终将导致出现更低流量的状况, 特别是在更干旱的夏末, 即北极水生生物群的关键时期。[WGI 第10章; WGII 15.4.1.3]

预估的变暖还意味着河流和湖泊封冻晚和解冻早的近期趋势将会持续(Walsh等, 2005)和冰层厚度减小, 这将导致湖泊热流结构、冰下栖息地质量/数量发生变化, 并对河冰凌汛和相关洪涝产生影响(Beltaos等, 2006; Prowse等, 2006)。后者作为一种灾害, 对于依河而建的许多北方居住区具有重要影响, 但也对维持岸栖生态系统的生态健康至关重要, 因为岸栖生态系统依赖于春季洪水、沉积物和养分(Prowse等, 2006)。[WGII 15.4.1.2, 15.6.2]

上述对北极寒冷区域水文的重要改变, 将使水生物多样性、生产率、季节性栖息地的存在和物种的地理分布发生变化, 包括供渔业捕捞的主要种群(Prowse等, 2006; Reist等, 2006a, b, c; Wrona等, 2006)。北极地区从事生计经济和商业经济的居民, 从淡水生态系统中受益良多(如, 可捕获的生物), 而且此类资源的丰度、补充、可用量和可获取性的变化将改变当地的资源使用和传统的生活方式(Nuttall等, 2005; Reist等, 2006a)。[WGII 15.4.1.3]

鉴于预估北极会普遍‘更湿润’, 一些水文过程将影响北极水生系统的路径, 并增加该系统的污染物负荷(如, 长效有机污染物和汞)(MacDonald等, 2003)。水生营养结构和食物链的变化(Wrona等, 2006)很可能会改变具有生物放大作用的化学物质累积。对依靠当地传统食物源的北方居民的健康尤为关切。河水流量和可用地表水的季节性和幅度变化也令许多北方社区关切, 因为他们依赖往往未经处理地表水和/或地下水作饮用水(美国环境保护局, 1997; Martin等, 2005)。污染的风险还会随物种和相关病害的北移而增加, 同时由于海平面上升, 沿岸带社区的地下水储量会被海水污染(Warren等, 2005)。[WGII 15.4.1]

大量的开发和基础设施往往集中在靠近北极的淡水系统,它们将会受到北方水文系统变化的强烈影响。重要实例包括:运输设备和通往北方社区的冰路减少;社区和企业的可用地表水和地下水发生变化;多年冻土层下的北方湖泊失去了冻土封闭采矿废弃物的安全性;以及增加的流量和冰灾会涌入钻井平台和水力发电水库(世界水坝委员会,2000;Prowse等,2004;Instanes等,2005)。尽管尚未对整个北极地区未来的电力生产进行评估,但在IS92a排放情景下,已根据20世纪末的电厂数量估算,斯堪的纳维亚和俄罗斯北部的水力发电潜力将增加15%-30%。[WGII 3.5.1, WGII 15.4.1.4]

#### 5.7.4 适应和脆弱性

北极大量淡水资源对气候变化的整体脆弱性与水从固态向液态变化的突变有关,而这种固态到液态的变化将会在许多冰冻圈水文系统中出现。北极淡水生态系统历来能够适应气候的大变化,但是要历经漫长的时期(如,Ruhland等,2003)。然而,预估下个世纪的变化速率将会超过一些生物群的适应能力(Wrona等,2006),并导致对淡水生态系统的负面影响大于正面影响(Wrona等,2005)。[WGII 15.2.2.2]

从人类使用的角度,潜在的适应措施多种多样,从促进水资源使用措施(如,冰路修建做法的改变、无冰水上运输的增加、水力发电的流量调节、捕捞对策以及饮用水获取的方法)到应对增加的/减少的淡水灾害的适应战略(如,降低洪水风险或增加水生系统所需流量的防护结构;Prowse和Beltaos,2002)。然而,一些北方居民的水资源传统使用方式与文化和社会紧密相关,这可能使某些适应战略的采取过程变得复杂化(McBean等,2005;Nuttall等,2005)。[WGII 15.2.2.2]

## 5.8 小岛屿

### 5.8.1 背景

TAR(第17章;IPCC,2001b)指出:小岛屿国家拥有许多相似之处(如,陆地面积、易发自然灾害和极端气候、经济的极度开放性、风险分担和适应能力低),这些因素将加剧它们脆弱性,并降低它们对气候变率和变化的弹性。尽管不同的岛屿有其不同的侧重点和行业优先重点,但面临三个共同的主题。

1. 所有小岛屿国家的国家通讯<sup>25</sup>都强调适应行动的紧迫性和支持此类行动的资金。
2. 淡水的水质和水量都被视为小岛屿国家的重要问题。
3. 许多小岛屿国家,包括所有小岛屿发展中国家(SIDS),都认为需要更长期的流域综合规划和管理。

[WGII TAR 第17章]

水是多种行业之源,涉及人民生活 and 生计的方方面面,包括安全。供水的可靠性目前被视为许多岛屿的关键问题,而在未来是一个紧迫性将不断增加的问题。强有力的证据表明,在多数气候变化情景下,小岛屿国家的水资源可能受到严重危害(很高可信度)。多数小岛屿的供水有限,而且这些岛屿的水资源对未来降雨的变化和分布尤为脆弱。在考虑之中的各种适应措施和确定的优先重点均与各国的重要社会经济行业、其对关键环境问题的关切和处在气候变化影响(如海平面上升)风险最大的领域密切相关。[WGII 16.ES, 16.5.2]

### 5.8.2 在岛屿地区观测到的气候趋势和预估

与大陆情况相比,小岛屿的水文条件、供水和用水带来了差异相当大的研究和适应问题。这些都必须针对岛屿的类型(包括不同的地质、地形和土地覆盖)加以研究和模拟,并且要根据最新的气候变化情景和预估。[WGII 16.7.1] 自TAR以来,对地表和洋面平均温度的最新观测和再分析表明,在1901-2004年期间,所有小岛屿地区均出现同样的变暖趋势。然而,这种趋势不是线性的,因缺少历史记录严重阻碍了趋势分析。[WGII 16.2.2.2]

近期研究表明,自1910年以来,在整个南太平洋的大部分地区和南太平洋辐合带(SPCZ)<sup>26</sup>西南部地区,年度和季节洋面及岛屿气温增加了0.6°C-1.0°C,而自20世纪70年代以来,此时开始有资料记录,普遍认为SPCZ东北部地区年温度每十年增加0.3°C-0.5°C,在此之前的20世纪40年代之后有某种程度的变冷(Salinger,2001;Folland等,2003)。对加勒比、印度洋和地中海地区的分析表明,在1971-2004年期间,每十年变暖0.24°C-0.5°C。一些高纬度地区,包括加拿大北极群岛西部,经历了高于全球平均速率的变暖(McBean等,2005)。[WGII 16.2.2.2]

在1961-2003年期间,整个南太平洋的极端日

<sup>25</sup> 根据联合国气候变化框架公约(UNFCCC),要求各国就减少GHG净排放、颁布的政策和措施以及需求评估方面的进展提供定期的国家通讯。

<sup>26</sup> SPCZ是ITCZ的一部分,是一个低层辐合带,云量和降水从西太平洋暖池向东南方向法属玻利尼西亚延伸。

降雨和温度趋势表明, 每年的暖昼和暖夜的数量增加, 而每年的冷昼和冷夜的数量减少, 特别是在厄尔尼诺爆发后的若干年, 一般而言在空间分布上极端降雨趋势的一致性小于极端温度趋势 (Manton 等, 2001; Griffiths 等, 2003)。在加勒比地区, 自 20 世纪 50 年代以来, 很暖的最低或最高温度的天数比例显著增加, 而低温天数的比例下降 (Petersen 等, 2002)。[WGII 16.2.2.2]

对于加勒比地区, 预估全球气温上升 1.5°C-2°C 将会通过以下情况影响该地区 [WGII TAR 第 17 章]:

- 蒸发损失增加,
- 降水减少(该地区的某些地方观测到降雨量持续下降的趋势),
- 雨季期缩短 - 到 2050 年下降 7-8%,
- 干旱期延长 - 到 2050 年上升 6-8%,
- 暴雨频率增加 - 到 2050 年上升 20%,
- 海岸带地区的侵蚀和污染加剧。

在许多小岛屿区域, 热带气旋和温带气旋、飓风和台风的变化受 ENSO 和十年变率的支配。这导致热带风暴及其路径的重新分布, 以致一个流域的增加常常是由于其它流域的减少来补偿。例如, 在厄尔尼诺事件期间, 在大西洋和远西太平洋及澳大拉西亚地区, 飓风的发生率显著减小, 而在太平洋的中部、北部和南部, 特别是在西北太平洋台风地区, 飓风的发生率增加。有观测证据表明, 大约从 1970 年以来, 北大西洋的强热带气旋活动增加, 这与热带 SST 的上升有关。在其它资料质量更令人关切的地区, 也有证据表明强热带气旋活动增加。大约 1970 年以前的多个十年变率和资料记录质量使长期趋势研究复杂化。对热带气旋潜在破坏性的预估表明, 自 20 世纪 70 年代中期以来, 已出现了显著的上升趋势。[WGI TS, 3.8.3; WGII 16.2.2.2]

对太平洋海域周边各台站至少 25 年的每小时海平面记录的分析表明, 相对海平面上升平均总值为 0.7mm/年 (Mitchell 等, 2001)。而重点分析有 50 多年资料的岛屿台站 (仅四个地点) 时, 发现海平面上升 (相对于地球表面) 的平均值为 1.6mm/年。[WGI 5.5.2]

### 5.8.2.1 水

根据 7 个 GCM 并在一系列 SRES 排放情景下, 表 5.8 按区域对预估的小岛屿降水变化作了对比。在加

勒比地区, 由于气候变化, 预计许多小岛屿会面临加剧的缺水压力, 同时所有的 SRES 情景预估该地区夏季的降雨将会减少。在低雨量期, 不可能满足水需求。在北半球冬季, 由于暴雨期间蓄水能力不足以及高径流量, 增加的降雨不可能起到补偿作用。[WGII 16.3.1]

**表 5.8: 按区域预估的小岛屿降水变化 (%)。七个 AOGCM 模式在 SRES B1、B2、A2 和 A1F1 情景下得出的估值范围。[WGII 表 16.2]**

地区	2010-2039	2040-2069	2070-2099
地中海	-35.6 到 +55.1	-52.6 到 +38.3	-61.0 到 +6.2
加勒比	-14.2 到 +13.7	-36.3 到 +34.2	-49.3 到 +28.9
印度洋	-5.4 到 +6.0	-6.9 到 +12.4	-9.8 到 +14.7
北太平洋	-6.3 到 +9.1	-19.2 到 +21.3	-2.7 到 +25.8
南太平洋	-3.9 到 +3.4	-8.23 到 +6.7	-14.0 到 +14.6

在太平洋, 平均降雨减少 10% (到 2050 年), 将导致基里巴斯的塔拉瓦环礁的淡水透镜体的面积减少 20%。降雨的减少以及海平面上升将会加大供水可靠性的风险。[WGII 16.4.1]

许多小岛屿已开始投资适应对策的实施, 包括海水淡化, 以抵消目前和预估的水短缺。然而, 却没有充分考虑海水淡化厂本身对环境的影响, 也没有全面满足环境用水需求。[WGII 16.4.1]

由于飓风的高发生率和影响, 干旱却未得到研究和规划人员的足够重视, 虽然这些却可能导致增加地下水抽取量, 并且增加海水入侵近岸含水层的可能性。例如, 在巴哈马, 淡水透镜体是唯一可利用的地下水资源。由于过度抽取和过分蒸散, 这些透镜体受到盐水入侵的周期性影响。在多数情况下, 地下水流动缓慢, 因此, 严重减少的地下水储量恢复缓慢, 而且可能是不可逆转的; 年可用水量变率通常不像地表水资源那样极端; 水质的下降和污染具有长期的影响, 且无法迅速予以弥补。[WGII 16.4.1]

有些岛屿国家, 例如马耳他 (MRAE, 2004), 突出强调需要采取适应措施的潜在经济行业, 包括发电、运输和污水管理; 而科摩罗 (GDE, 2002)、瓦努阿图 (瓦努阿图共和国, 1999)、圣文森特和格林纳达 (NEAB, 2000) 的国家通信中则突出强调农业和人类健康。在这些案例中, 并未将海平面上升视为最重要的问题, 尽管这是低地环礁国家 (例如基里巴斯、图瓦卢、马绍尔群岛和马尔代夫) 所面临的最重要的问题。[WGII 16.4.2]

### 5.8.2.2 能源

在多数小岛屿国家,利用可靠和经济的能源是一个重要因素,而高成本能源被视为实现可持续发展目标的障碍。有些岛屿国家,例如加勒比地区的多米尼加,依靠水力发电作为其能源供给的重要部分。研究和发展能源效率及适合小岛屿国家的方案,如太阳能和风能,可有助于适应和减轻战略,同时,促进实现可持续发展的远景。[WGII 16.4.6, 16.4.7]

### 5.8.2.3 健康

许多小岛屿国家位于热带或温带,天气条件易于传播多种疾病,例如,疟疾、登革热、丝虫病、血吸虫病以及食物和水传播的疾病。由于种种原因,其中许多疾病的发病率在小岛屿国家日益增加,包括公共卫生事业落后、基础设施不足、污水管理技术落后、国际游客增多和气候条件的变化(WHO, 2003)。在加勒比地区,在ENSO周期的暖年期间,登革热的发病率上升(Rawlins等, 2005)。因为登革热传播风险最高时期是在每年的潮湿季节,因此为了减少疾病负担,病媒控制计划应针对这些时期。腹泻的发病率与年平均温度有关(Singh等, 2001) [WGII 8.2, 8.4],而与太平洋的可用水量成反比(Singh等, 2001)。因此,气候变化引起的温度上升和可用水量减少会增加一些小岛屿国家腹泻及其它传染病的负担。[WGII 16.4.5]

### 5.8.2.4 农业

预估的气候变化影响包括干早期延长,另一方面,由于增加的降水,使土壤肥力丧失和土壤退化,这将对农业和粮食安全产生负面影响。在对选定的太平洋岛屿国家所作的气候变化和变率的社会经济影响研究中,世界银行(2000)认为:由于缺乏适应措施,在SRES A2和B2情景下,到2050年,海拔高的岛屿,如斐济的维提岛,将会遭受每年2300万-5200万美元的损失(相当于2002年斐济GDP的2%-3%),而一些低洼岛屿(如基里巴斯的塔拉瓦岛)将会面临每年超过800万-1600万美元的损失(相当于2002年基里巴斯GDP的17%-18%)。在许多加勒比岛屿国家,粮食供给的50%依靠进口农产品,而产品本身就包括原产地国家的生产用水。[WGII 16.4.3]

### 5.8.2.5 生物多样性

Burke等(2002)和Burke及Maidens(2004)指出,东南亚大约50%的群礁、加勒比地区45%的群礁被列为高危-很高危类别(见Graham等, 2006)。然而,在大陆和小岛屿环境下,对珊瑚礁构成威胁的规模和类型有

很大的地方和区域差异。[WGII 16.4.4]

在近几十年中,较大岛屿的陆地生态系统和多数岛屿的海岸带生态系统都遭受到日益严重的退化和破坏。例如,对珊瑚礁近三十年的调查分析表明,在加勒比地区,三十年来,群礁上的珊瑚覆盖率已下降80%,主要是由于污染、沉淀物、海洋疾病和过度捕鱼(Gardner等, 2003)。来自陆地的径流以及大雨事件带来的淡水直接流入可对礁石质量和疾病易感性产生重大影响。[WGII 16.4.4]

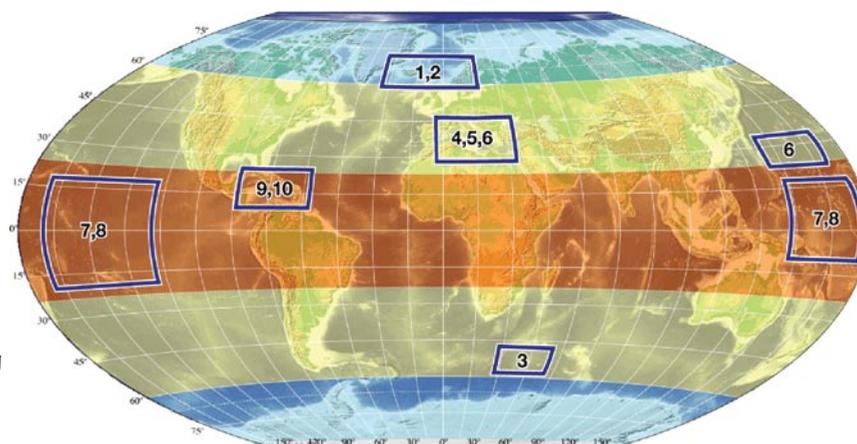
## 5.8.3 适应、脆弱性和可持续性

可持续发展常被确定为小岛屿国家管理战略的目标。但很少会明确考虑在气候变化的背景下岛屿可持续发展的内涵(Kerr, 2005)。早已众所周知的是,规模小和孤立、专门化经济、全球化和地方化的对立等问题可能意味着小岛屿国家目前的发展就长期而言是不可持续的。[WGII 16.6]

在气候造成的潜在物理影响不确定的条件下,适应预计的气候变化影响的选择范围偏窄会带来危险。表5.9概括了从目前至2100年对岛屿环境的一些基于情景的影响研究结果,即:一些已在发生的影响。表中提供了可能加剧缺水压力的其它潜在气候影响的范围。阈值也许源于社会及环境过程。此外,面临的挑战是要了解过去采用的适应战略及其对未来规划和实施的效益和限制。[WGII 16.5]

尽管自《第三次评估报告》以来,对海平面的区域预估已取得了显著进展,但此类预估尚未充分用于小岛屿国家,因为与当地的具体情况有较大的不确定性,与全球预估相反。为小岛屿国家制定可靠的气候变化情景必须要有基于更高分辨率产品的可靠和可信的预估以及当地的资料。这些方法可产生更完善的脆弱性评估以及确定在岛屿范围和气候影响的整个时间尺度上更适合的适应选择。[WGII 16.7.1]

对选定的小岛屿国家进行的脆弱性研究(Nurse等, 2001)表明:基础设施和居住区防灾的成本占GDP的很大比例,通常大大超过许多小岛屿国家的财政收入;大陆国家的岛屿通常不存在这一问题。近期更多的研究已确定了主要的适应领域,包括水资源和流域管理、岛礁保护、农业和森林管理、生物多样性保护、能源安全、再生能源的进一步开发和优化能耗。研究目前及未来社会脆弱性并包含了整合气候科学、社会科学和通信的各种方法在内的框架为适应能力的建设奠定了基础。[WGII 框16.7] 这种研究要求社会成员确定与其相关的气候条件,并评估目前和潜在的适应战略。其中一种整合方法在萨摩亚得到了检验,此方法始于一个村庄(索卢阿法塔



\*黑体字与地图上标示的区域相对应。

表 5.9: 小岛屿国家的未来影响和脆弱性的范围。[WGII框16.1]

有风险的地区 和系统	情景和参考文献	变化的参数	影响和脆弱性
1. 冰岛和斯瓦尔巴群岛的北极孤立岛屿以及法罗群岛: 海洋生态系统和植物物种	SRES A1和B2 ACIA(2005)	预估的温度上升	<ul style="list-style-type: none"> <li>物种丧失和替代的失衡导致多样性的最初丧失。矮灌木和以树为主的植被向北扩展至稀少的地方性物种丰富的地区, 导致此物种丧失。</li> <li>冰岛毛鳞鱼存量大量减少或甚至完全消失, 会对大部分经济鱼类存量、鲸鱼和海鸟造成显著的负面影响。</li> </ul>
2. 高纬度岛屿(法罗群岛): 植物物种	情景I/II: 温度上升/下降 2°C Fosaa等(2004)	土壤温度、积雪的变化和增加的度-日	<ul style="list-style-type: none"> <li>情景I: 主要受变暖影响的物种局限于山顶地带。对其它物种而言, 影响主要是向上迁移。</li> <li>情景II: 受变冷影响的物种是那些较低纬度的物种。</li> </ul>
3. 近南极马里恩群岛: 生态系统	欧文情景 Smith (2002)	预估的温度和降水变化	<ul style="list-style-type: none"> <li>变化将直接影响本地生物群。更大的威胁在于更暖的气候将使外来物种更容易入侵岛屿。</li> </ul>
4. 地中海流域五个岛屿: 生态系统	SRES A1FI和B1 Gritti等(2006)	气候和干扰情景下, 外来植物入侵	<ul style="list-style-type: none"> <li>在许多模拟海洋生态系统中, 气候变化影响可忽略不计。</li> <li>入侵岛屿生态系统的问题日趋严重。长期而言, 不论扰动率, 生态系统将由外来植物成为主导。</li> </ul>
5. 地中海: 候鸟(花斑鹑-斑姬鹑)	无 (GLM/ STATISTICA模式) Sanz等(2003)	温度上升, 水位和植被指数的变化	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧洲南端的两支繁殖种群中, 某些成年花斑鹑受到气候变化的影响, 而且对花斑鹑的繁殖力产生不利影响。</li> </ul>
6. 太平洋和地中海: 香泽兰(飞机草)	无 (CLIMEX模式) Kriticos等(2005)	水分、冷、热和干旱应力增加	<ul style="list-style-type: none"> <li>太平洋岛屿面临香泽兰入侵的风险。</li> <li>地中海半干旱和温带气候预计不适于入侵。</li> </ul>
7. 太平洋小岛屿: 沿岸侵蚀、水资源和人类居住区	SRES A2和B2 世界银行(2000)	温度和降雨的变化以及海平面上升	<ul style="list-style-type: none"> <li>沿岸侵蚀的加快、盐水入侵淡水透镜体以及海水泛滥的加剧, 将对人类居住区产生巨大影响。</li> <li>降雨量少以及海平面加速上升对水资源构成威胁; 到2050年, 平均降雨减少10%可能会使基里巴斯塔拉瓦环礁淡水透镜体面积相应地减少20%。</li> </ul>
8. 美属萨摩亚; 15个其它太平洋岛屿: 红树	到2100后 海平面上升0.88 m Gilman等(2006)	预估的海平面上升	<ul style="list-style-type: none"> <li>美属萨摩亚的红树面积减少50%; 其它15个太平洋岛屿的红树面积减少12%。</li> </ul>
9. 加勒比(博奈尔岛、荷属安的列斯群岛): 海滩侵蚀和海龟筑巢栖息地	SRES A1, A1FI, B1, A2, B2 Fish等(2005)	预估的海平面上升	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均而言, 随着海平面上升0.5米, 目前海滩总面积的38%(±24%SD)会消失, 而较窄的低洼海滩最为脆弱, 海龟的筑巢栖息地减少三分之一。</li> </ul>
10. 加勒比(博奈尔岛、巴巴多斯): 旅游业	无 Uyarra等(2005)	对海洋野生生物、健康、陆地特征和海况的改变	<ul style="list-style-type: none"> <li>气候变化会通过巴巴多斯的海滩侵蚀和博奈尔岛的珊瑚白化, 对巴巴多斯的海滩旅游业和博奈尔岛的潜水生态旅游造成负面影响。</li> </ul>

村)：见Sutherland等, 2005)。在这个案例中, 当地居民确定了一些适应措施, 包括修建海堤、排水系统、水箱、禁止伐木、搬迁以及现有基础设施的加固等。[WGII16.5]

IPCC《第四次评估报告》确定了在气候变化对小岛屿影响的同步研究中代表性不足的一些关键领域和差距。[WGII 16.7] 其中包括：

- 海岸带生态系统(例如, 红树、珊瑚礁和海滩)在自然防御海平面上升和风暴方面的作用；
- 建立陆地高地和内陆生态系统对平均温度和降雨变化的响应, 以及对极端温度和降雨的响应；
- 考虑气候变化和相关非气候因素会如何对商品农业、林业和渔业, 以及生计农业、人工捕鱼和

粮食安全产生影响；

- 通过国家和区域的研究, 扩大小岛屿国家有关气候敏感型疾病的知识 — 不仅是病媒传播的疾病, 还有皮肤、呼吸和水传播的疾病；
- 鉴于“岛屿类型”的多样性和位置, 根据岛屿类型, 确定最脆弱的系统和行业。

与该评估报告中的其它区域相比, 还缺乏对小岛屿国家可靠的人口统计情景和社会经济情景及预估。因此小岛屿国家社会经济条件的未来变化在现有的评估中未能得到充分体现。例如, 在没有适应或减缓的情况下, 海平面上升、更强的风暴及其它气候变化的影响将会更加显著, 这表明到2100年, 一些岛屿和低洼地区也许变得不适宜居住。[WGII 16.5]

