

# 气候变化与水

## IPCC 技术报告之六



政府间气候变化专门委员会







政府间气候变化专门委员会



# 气候变化与水

编辑

布里森·贝茨  
澳大利亚  
联邦科学和工业研究组织

兹比格纽 W·昆德兹维茨  
波兰 波兰科学院，  
德国 波茨坦气候影响研究所

吴绍洪  
中国 中国科学院

珍妮·帕卢迪科夫  
英国  
英国气象局哈得莱中心

本报告是政府间气候变化专门委员会的一个技术报告，本报告是为响应专门委员会的决定而编写的。

报告中的内容已分别经过专家和政府的评审，但未经专门委员会审议接受或批准。

2008年6月

本报告是在IPCC第二工作组的技术支持小组管理下编写的

---

---

请按以下报告标题摘引本技术报告：

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu 和 J.P. Palutikof, 编辑，2008：气候变化与水。政府间气候变化专门委员会的技术报告，IPCC秘书处，日内瓦，共210页。

© 2008，政府间气候变化专门委员会

ISBN: 978-92-9169-523-2

封面图片：© 西蒙·弗拉西瑟/科学图片库

# 目录

---

序	vii
鸣谢	viii
执行摘要	1
1. 《气候变化与水》的引言	5
1.1 背景	7
1.2 范围	7
1.3 技术报告的背景：社会经济和环境条件	8
1.3.1 观测到的变化	8
1.3.2 预估的变化	9
1.4 概述	11
2. 观测到的和预估的与水有关的气候变化	13
2.1 观测到的与水有关的气候变化	15
2.1.1 降水(包括极端降水)和水汽	15
2.1.2 积雪与陆冰	19
2.1.3 海平面	20
2.1.4 蒸散	20
2.1.5 土壤湿度	21
2.1.6 径流与河流量	21
2.1.7 大尺度变率的型态	22
2.2 水文变化对气候的影响和反馈	23
2.2.1 陆表效应	23
2.2.2 通过海洋环流变化的反馈	24
2.2.3 受水文过程或地球生物化学反馈影响的排放和汇	24
2.3 预估的与水有关的气候变化	24
2.3.1 降水(包括极端降水)与水汽	25
2.3.2 积雪与陆冰	26
2.3.3 海平面	28
2.3.4 蒸散	29
2.3.5 土壤湿度	29
2.3.6 径流与河流量	29
2.3.7 大尺度变率的型态	31
3. 气候变化与水资源的关联：影响和响应	33
3.1 观测到的气候变化影响	35
3.1.1 观测到的冰冻圈变化的影响	35
3.1.2 水文与水资源	35
3.2 未来由于气候变化而导致可用水量和水需求的变化	38
3.2.1 未来淡水系统的气候驱动因子	38
3.2.2 未来淡水系统的非气候驱动因素	43

3.2.3	气候变化对未来可用淡水量的影响	44
3.2.4	气候变化对未来淡水需求的影响	44
3.2.5	气候变化对未来缺水压力的影响	45
3.2.6	气候变化对淡水成本和其它社会经济方面的影响	45
3.2.7	对气候变化非常脆弱的淡水区和行业	47
3.2.8	气候变化对淡水系统影响预估的不确定性	47
3.3	与水有关的气候变化适应措施：概述	48
<b>4.</b>	<b>气候变化与各系统和行业的水资源</b>	<b>53</b>
4.1	生态系统和生物多样性	55
4.1.1	背景	55
4.1.2	预估的水文变化及其对全球生物多样性的影响	55
4.1.3	水文变化对主要生态类型的影响	55
4.2	农业和粮食安全、土地利用和林业	59
4.2.1	背景	59
4.2.2	观测	60
4.2.3	预估	60
4.2.4	适应、脆弱性和可持续发展	63
4.3	人类健康	67
4.3.1	背景	67
4.3.2	观测	69
4.3.3	预估	69
4.3.4	适应、脆弱性和可持续发展	69
4.4	供水与卫生	69
4.4.1	背景	69
4.4.2	观测	69
4.4.3	预估	70
4.4.4	适应、脆弱性和可持续发展	71
4.5	人居环境和基础设施	73
4.5.1	人居环境	73
4.5.2	基础设施	73
4.5.3	适应	74
4.6	经济：保险业、旅游业、工业、交通运输	74
4.6.1	背景	74
4.6.2	社会经济成本、减缓、适应、脆弱性、可持续发展	75
<b>5.</b>	<b>气候变化和水资源的区域方面分析</b>	<b>77</b>
5.1	非洲	79
5.1.1	背景	79
5.1.2	当前的观测	79
5.1.3	预估的变化	81
5.1.4	适应和脆弱性	85
5.2	亚洲	85
5.2.1	背景	85
5.2.2	观测到的气候变化对水的影响	85
5.2.3	气候变化对水的预估影响和关键脆弱性	87
5.2.4	适应和脆弱性	88
5.3	澳大利亚和新西兰	90
5.3.1	背景	90

5.3.2	观测到的变化	90
5.3.3	预估的变化	91
5.3.4	适应和脆弱性	92
5.4	欧洲	93
5.4.1	背景	93
5.4.2	观测到的变化	93
5.4.3	预估的变化	93
5.4.4	适应和脆弱性	95
5.5	拉丁美洲	96
5.5.1	背景	96
5.5.2	观测到的变化	96
5.5.3	预估的变化	98
5.5.4	适应和脆弱性	100
5.6	北美洲	102
5.6.1	背景和观测到的变化	102
5.6.2	预估的变化和后果	102
5.6.3	适应	104
5.7	极地地区	106
5.7.1	背景	106
5.7.2	观测到的变化	107
5.7.3	预估的变化	107
5.7.4	适应和脆弱性	109
5.8	小岛屿	109
5.8.1	背景	109
5.8.2	在岛屿地区观测到的气候趋势和预估	109
5.8.3	适应、脆弱性和可持续性	111
<b>6.</b>	<b>气候变化减缓措施与水</b>	<b>115</b>
6.1	引言	117
6.2	针对行业的减缓	117
6.2.1	二氧化碳的捕获和封存(CCS)	117
6.2.2	生物能源作物	117
6.2.3	生物质电能	119
6.2.4	水力发电	119
6.2.5	地热能	119
6.2.6	建筑物的能源利用	119
6.2.7	土地利用变化与管理	119
6.2.8	耕地管理(水)	120
6.2.9	耕地管理(减耕)	120
6.2.10	造林或再造林	120
6.2.11	避免或减少毁林	121
6.2.12	固体废弃物管理; 污水处理	121
6.2.13	非常规石油	122
6.3	水管理政策和措施对温室气体排放和减排的影响	122
6.3.1	水坝	122
6.3.2	灌溉	122
6.3.3	秸秆还田	122
6.3.4	农田排水	123

6.3.5 污水处理	123
6.3.6 海水淡化	124
6.3.7 地热能	124
6.4 适应与减缓之间潜在的水资源冲突	124
<b>7. 政策和可持续发展的影响</b>	<b>125</b>
7.1 按行业划分的政策影响	127
7.2 按区域划分的与水有关的主要影响预估	128
7.3 对气候减缓政策的影响	130
7.4 对可持续发展的影响	130
<b>8. 知识上的空白以及关于未来工作的建议</b>	<b>133</b>
8.1 观测需求	135
8.2 认识气候预估及其影响	135
8.2.1 认识并预估气候变化	135
8.2.2 与水有关的影响	136
8.3 适应与减缓	136
<b>参考文献</b>	<b>139</b>
<b>附件 1: 关于气候模式的说明</b>	<b>165</b>
<b>附件 2: 术语表</b>	<b>167</b>
<b>附件 3: 缩写、化学符号、科学计量单位</b>	<b>183</b>
<b>附件 4: 作者名单</b>	<b>185</b>
<b>附件 5: 评审人员名单</b>	<b>187</b>
<b>附件 6: 再版许可</b>	<b>191</b>
<b>索引</b>	<b>193</b>

# 序

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 关于《气候变化与水》的技术报告是IPCC技术报告系列中的第六个报告, 本报告是为响应世界气候计划-水 (WCP-水) 秘书处和2002年4月在日内瓦举行的IPCC第19次全会关于水和气候问题对话国际指导委员会的联合建议而编写的。2002年11月在日内瓦召开了一次关于《气候变化与水》的协商会议, 会议建议编写一个关于《气候变化与水》的技术报告, 而不是编写一个有关该议题的特别报告。该报告将主要以IPCC《第四次评估报告》的发现为基础, 但还要以IPCC早先发表的出版物为依据。如同《第四次评估报告》那样, 专门委员会还决定应当把水作为一个交叉性主题予以对待。

本技术报告讨论了淡水问题。报告还涉及到海平面上升, 但仅限于海平面上升可能导致对海岸带地区乃至其它地区的淡水的影响。气候、淡水和各社会经济系统以错综复杂的方式相互影响。因而, 其中某个系统的变化可引发另一个系统的变化。在判定关键的区域和行业脆弱性的过程中, 与淡水有关的问题是至关重要的。因此, 气候变化与淡水资源的关系是人类社会关切的首要问题, 这两者之间的关系还对地球上所有生物物种产生影响。

IPCC三个工作组的主席团选定了一个以主要作者为主的跨学科协作班子, 其目的是实现区域平衡和专题上平衡。如同所有已出版的IPCC技术报告, 本报告也依据以前批准, 接受和通过的其它IPCC报告的素材, 并同时经过专家和政府的评审, 之后又经过一次政府最终评审。IPCC主席团以编委会的身份行事, 以确保在本技术报告的定稿过程中提出的各类评审意见得到主要作者们的充分考虑。

2008年4月在布达佩斯召开的第37次全会期间, IPCC主席团举行了会议, 并审议了在最后一次政府评审期间收到的主要意见。根据主席团的意见和要求, 各主要作者对本技术报告作了最终定稿, 之后, 主席团授权将本报告公布于众。

我们衷心地感谢各主要作者(已在本报告中一一列出), 感谢他们非常慷慨地花费了时间, 并按时间规定完成了技术报告。我们还在此感谢IPCC第二工作组技术支持小组的组长珍妮·帕卢迪科夫博士, 感谢她在编写本报告过程中领导有方。



拉贞德拉 K. 帕乔里  
IPCC主席



瑞娜特·克里斯特  
IPCC秘书



奥斯瓦尔多·坎兹阿尼  
IPCC 第二工作组联合主席



马丁·帕瑞  
IPCC 第二工作组联合主席

# 鸣谢

---

我们感谢第二工作组的技术支持小组，特别感谢Norah Pritchard 和 Clair Hanson，感谢他们在编写本技术报告过程中所付出的辛苦劳动。

加拿大政府友善地同意承办了第二次主要作者会议，我们感谢Terry Prowse为在不列颠哥伦比亚地区的维多利亚市举办上述会议所做的辛苦的组织工作。

美国加利福尼亚州水资源司的Maurice Roos和加拿大马尼托巴省水力发电公司的Bill Girling出席了第二次主要作者会议，并从用户的角度提供了咨询和建议。

Marilyn Anderson 编写了文献索引，Nancy Boston 对印刷前的报告全文作了编辑。

我们还感谢所有的作者，他们的家人、工作单位和所在国的政府，感谢他们使本技术报告的出版成为了现实。

2008年6月23日

布里森·贝茨  
斯比斯切克·昆兹维茨  
吴绍洪  
珍妮·帕卢迪科夫

---

# 气候变化与水

本技术报告是为响应世界气候计划-水、关于水问题对话会议和其它与水供应有关的组织提出的建议并应IPCC全会的要求而编写的。本技术报告也是在IPCC主席R.K. 帕乔里博士支持下编写的。

---

## 主要协调作者

Bryson Bates (澳大利亚), Zbigniew W. Kundzewicz (波兰) 和吴绍洪 (中国)

## 主要作者

Nigel Arnell (英国)、Virginia Burkett (美国)、Petra Döll (德国)、Daniel Gwary (尼日利亚)、Clair Hanson (英国)、BertJan Heij (荷兰)、Blanca Elena Jiménez (墨西哥)、Georg Kaser (奥地利)、Akio Kitoh (日本)、Sari Kovats (英国)、Pushpam Kumar (英国)、Christopher H.D. Magadza (津巴布韦)、Daniel Martino (乌拉圭)、Luis José Mata (德国/委内瑞拉)、Mahmoud Medany (埃及)、Kathleen Miller (美国)、Taikan Oki (日本)、Balgis Osman (苏丹)、Jean Palutikof (英国)、Terry Prowse (加拿大)、Roger Pulwarty (美国/特立尼达和多巴哥)、Jouni Räisänen (芬兰)、James Renwick (新西兰)、Francesco Nicola Tubiello (美国/国际应用系统分析研究所/意大利)、Richard Wood (英国) 和赵宗慈 (中国)

## 撰稿作者

Julie Arblaster (澳大利亚)、Richard Betts (英国)、Aiguo Dai (美国)、Christopher Milly (美国)、Linda Mortsch (加拿大)、Leonard Nurse (巴巴多斯)、Richard Payne (澳大利亚)、Iwona Pinkswar (波兰) 和 Tom Wilbanks (美国)



---

# 执行摘要

---



观测记录和气候预估提供的大量证据表明, 淡水资源是脆弱的并可能受到气候变化的强烈影响, 同时给人类社会和生态系统带来一系列范围更广的后果。

几十年以来观测到的变暖与大尺度水分循环的变化有关联,例如: 不断增加的大气水汽含量; 不断变化的降水型态、强度和极值; 积雪减少和冰的大范围融化; 以及土壤湿度和径流的变化。降水变化表明,存在相当大的空间变率和年代际变率。在20世纪期间,在北半球高纬度陆地地区的降水已普遍增加,而自20世纪70年代以来,在南纬10度至北纬30度地区的降水却主要呈现出减少的趋势。在大多数地区,强降水事件的出现频率(或强降水总降雨量的比例)已经增加(可能<sup>1</sup>)。就全球而言,自20世纪70年代以来,被划分为非常干旱的陆地的面积已增加了一倍(可能)。各山地冰川和北半球积雪的水储量已显著减少。已观测到,靠冰川和融雪供水河流的径流幅度和出现的时间上以及江河湖泊中与冰有关的现象均已发生变化。(高可信度)[2.1<sup>2</sup>]

气候模式针对21世纪的模拟结果与在高纬度地区(很可能)和部分热带地区降水增加,而在一些亚热带地区和较低的中纬度地区(可能)降水减少的预估相一致。在上述地区之外,各模式给出的预估变化的符号和幅度各不相同,从而导致在降水预估中存在相当大的不确定性<sup>3</sup>。因此,与其它区域相比,对于某些区域,未来降水变化的预估是较为确凿的。随着空间尺度不断下降,各模式之间预估的一致性则越来越低。[2.3.1]

到21世纪中叶,预估在高纬度地区和某些热带地区年平均河流径流量和可用水量将因气候变化<sup>4</sup>而增加,而在中纬度区域和热带干旱地区则减少<sup>5</sup>。许多半干旱和干旱地区(如:地中海流域、美国西部、非洲南部和巴西东北部)尤其受到气候变化的各种影响,并预估由于气候变化将遭受水资源减少的影响(高可信度)。[2.3.6]

预估降水强度和变率的增加将加大许多地区发生洪水和干旱的风险。21世纪期间,在大多数地区,强降水事件的出现频率(或强降水总降雨量的比例)将很可能增加,其后果是降雨引发的洪水风险。与此同时,预估随时受到极端干旱影响的土地面积的比例将会增加(可能),此外大陆的内陆地区呈现出逐渐干旱的

趋势,特别是在亚热带、低纬度和中纬度地区。[2.3.1, 3.2.1]

预估在本世纪过程中储存在冰川和积雪中的水的供应将会下降,因此当前全世界六分之一以上人口生活的区域依靠来自大山脉的融水供水,在这些区域暖季和旱季中可用水量不断减少(通过季节性流量变化,冬季流量占年流量的比例增加,而低流量期的水量却减少)(高可信度)。[2.1.2, 2.3.2, 2.3.6]

预估较高的水温和极端事件的变化(包括洪水和干旱)将会影响水质并使许多水污染形式加重——来自沉积物、营养物、溶水有机碳、病源体、杀虫剂和盐的污染以及热污染,并对各生态系统、人类健康和水系统的可靠性和运行成本可能带来负面的影响(高可信度)。此外,预估海平面上升将会扩大地下水和河流出海口的盐化面积,从而导致在海岸带地区可供人类和各种生态系统使用的淡水减少。[3.2.1.4, 4.4.3]

就全球而言,预计未来气候变化对各淡水系统的影响将会超过气候变化所带来的效益(高可信度)。预估到21世纪50年代,由于气候变化而面临越来越大供水压力的土地面积将会是目前受到水逐渐减少压力的土地面积两倍以上。预估径流将会下降的地区面临着水资源服务价值明显下降的局面。预估某些地区的年径流增加将会导致总供水增加。但是,在许多区域,由此带来的效益可能被降水变率的增加和季节性径流和水质变化以及洪水风险产生的负面效应所抵消(高可信度)[3.2.5]

预计气候变化引起的水量和水质的变化将会影响粮食的供给、稳定、获取和使用。预计这将会导致粮食安全的下降和农村贫困农民的脆弱性增加,尤其是在干旱和半干旱的热带地区、亚洲和非洲的大三角洲地区。[4.2]

气候变化影响了现有用水基础设施的功能和运行——包括水利发电、结构性防洪、排涝和灌溉系统——以及影响了水管理的做法。气候变化对淡水系统的不利影响加剧了对其它压力的影响,诸如人口增长、不断变化的经济活动、土地利用变化和城市

<sup>1</sup> 见框1.1。

<sup>2</sup> 方括号中数字是指本技术报告正文中各部分的编号。

<sup>3</sup> 文中考虑的各预估是基于《IPCC排放情景特别报告》(SRES)开发的一系列非减缓情景。

<sup>4</sup> 这一陈述不包括非气候因子的变化,诸如:灌溉。

<sup>5</sup> 这些预估是基于各气候模式的集合,这些模式采用了中间的SRES A1B 非减缓排放情景。对21世纪中叶各SRES情景中一系列气候响应的考虑表明:这一结论适用于所有各类情景。

化(很高可信度)。就全球而言,未来几十年,水的需求将增加,主要是由于人口增长和财富增加;从区域着眼,由于气候变化,预计对灌溉水的需求可能会出现大的变化(高可信度)。[1.3, 4.4, 4.5, 4.6]

当前的水务管理做法也许不具备确凿性,难以应对气候变化对供水可靠性、洪水风险、健康、农业、能源和水生生态系统的影响。在许多地方,水管理甚至不能令人满意地应对当前的气候变率,以至于发生大范围洪水和干旱。作为第一步,把有关当前气候变率的信息融入与水有关的管理,这一融入工作的改进将会有助于适应较长期的气候变化影响。气候和非气候因素,如:人口的增长和潜在的破坏影响可能使未来的各种问题更加严重(很高可信度)。[3.3]

气候变化对传统的设想构成了挑战,传统上认为:过去在水文方面的经验为未来的条件提供了一个良好的指南。气候变化的后果也许会改变当前水管理系统和与水有关的基础设施的可靠性。虽然江河流域尺度的降水、江河水流量和水位的量化预估具有不确定性,但是很可能未来各项水文特征将发生变化。在一些国家和地区,正在建立各种融入具有相关不确定性的水文变化预估的适应过程和风险管理做法。[3.3]

为在平均条件和干旱条件期间保障水供应而设计的各种适应选择均需要供需双方的综合对策。水需求方需要提高用水效率,如通过水回收处理方式。对于节水和重新把水调拨给各种高附加值用途而言,扩大利用经济激励手段仍具有相当大的前景,其中包括按用水量计量和定价,以鼓励对水资源的保护、水市场的开发和虚拟水交易的实施。水供应方的对策一般涉及提高蓄水能力、通过输水渠供水和水的调度。综合水资源管理为在所有社会经济系统、环境系统和行政管理体制中实现各种适应措施提供了一个重要框架。为了取得成效,这种综合途径必须达到适当的规模。[3.3]

减缓措施能够降低全球变暖对水资源影响的幅度,反之,减少了适应需求。但是,这些措施可能有相当大的负面效应,诸如:如果项目选择在不可持续的地点开展,而且项目的设计和管理缺乏可持续性,造林或再造林活动或生物能作物的用水需求将会增加。在另一方面,水管理的政策性措施(如:水坝)能够影响温室气体的排放。水坝是一种可再生能源。尽管如此,水坝本身产生温室气体排放。这类排放幅度取决于具体的环境和运行方式。[第6部分]

水资源管理明显影响许多其它政策领域,如:能源、健康、粮食安全和自然生态保护。因此,需要在多个水依赖行业中对适应选择和减缓选择方案开展跨行业评估。在中期过程中,低收入国家和地区可能依然是脆弱的,与高收入国家相比,可供他们为适应气候变化所作出的选择较少。因此,应当在发展政策、环境政策和健康政策的背景下设计适应对策。[第7部分]

就有关气候变化和水的观测和研究需求而言,在知识上存在几个空白。观测资料和资料的获取是适应气候变化管理工作的前提条件,然而许多观测网络正在不断减少。需要提高对与涉及决策尺度水分循环有关的气候变化的认识水平和模拟水平。关于气候变化与水相关的影响的信息尚不充足—特别是有关水质、各水生生态系统和地下水的信息,其中包括它们的社会经济方面因素。最后,当前可供便于开展多个水依赖行业适应和减缓选择方案跨行业综合评估使用的工具为数不多。[第8部分]

# 1

---

## 《气候变化与水》的引言

---



## 1.1 背景

IPCC出版一个针对水与气候变化的特别报告的想法可追溯到2002年4月在日内瓦召开的IPCC第十九次全会。当时,世界气候计划—水的秘书处和水与气候对话会议的国际指导委员会要求IPCC编写一个有关气候变化和水的特别报告。2002年11月在日内瓦召开的一次关于气候变化与水的咨询会议的结论是:于2005年或2006年编写这样一个报告没有多大价值,因为它将很快被计划于2007年完成的《第四次评估报告》(AR4)所取代。因此,会议建议主要根据《第四次评估报告》编写的一个关于气候变化和水的技术报告还要包括IPCC以前出版物中的素材。

IPCC三个工作组的主席团选定了一个跨学科的写作班子,旨在实现区域的平衡和专题的平衡,并吸收了多个相关学科的代表参加。联合国(UN)机构、非政府组织(NGO)和相关的利益攸关方各界(其中包括私营行业)的代表参与了本技术报告的编写工作和有关的评审过程。

IPCC指导原则要求技术报告应源自:

- (a) IPCC评估报告、特别报告和各报告所引用的各项研究素材中的有关部分;
- (b) 采用各种假设的相关模式和基于各种社会经济假设的情景,因为这些模式和情景曾为各类IPCC报告提供过信息。

在编写本技术报告的过程中遵守了上述指导原

## 1.2 范围

则。

本技术报告仅涉及淡水问题。报告中所涉及到的海洋问题也仅限于海平面上升,因为海平面上升能够影响海岸带地区的淡水;例如,地下水的盐化。在反映文献中焦点的同时,本报告主要讨论了贯穿整个21世纪的气候变化,并认识到:即便温室气体实现了稳定,变暖和海平面上升仍会持续若干个世纪。[WGI SPM]

已普遍认识到淡水对所有生命赖以生存的系统是重要的,在国际背景下能够清晰地看出淡水的重要性(如:21世纪议程、世界水论坛、千年生态系统评

估和世界水发展报告)。对于所有形式的生命,淡水是必不可少的,而且在所有人类活动中需要大量的淡水。气候、淡水、生物系统和社会经济系统以错综复杂的方式相互影响,因而其中任何一个系统的变化必然引发另一个系统的变化。人为气候变化加重了那些已经面临可持续淡水利用问题的国家的压力。与淡水有关的挑战有:水过多、水太少以及水污染过于严重。气候变化可使上述每一个问题加重。在关键的区域和行业脆弱性中,与淡水有关的各种问题起着至关重要的作用。因此,气候变化与淡水资源之间的关系成为了社会关切和关注的首要问题。

迄今为止,在气候变化分析和气候政策制定过程中尚未充分地对待水资源问题。同样,在大多数情况下,尚未利用水资源分析、水资源管理和制定政策的方式充分地处理各种气候变化问题。根据许多专家的建议,水及其可用水量和水质将是受到气候变化影响的各国社会和环境所面临的主要压力,并给这些社会和环境带来一系列问题;因此,有必要提高我们对所触及到的这些问题的认识。

正如IPCC第21次全会—第9号文件所述<sup>6</sup>,本技术报告的宗旨概括如下:

- 一方面,提高我们对自然的与人为引发的气候变化、其影响、适应和减缓应对选择之间关联性的认识;另一方面,提高我们对与水有关问题的认识;
- 向决策者和利益攸关方通报有关气候变化影响和针对水资源的气候变化应对选择,以及各类气候变化情景和气候变化应对选择对水资源产生的意义,其中包括相关的各种协同作用和利弊权衡。

正如IPCC第21次全会—第9号文件所述,本技术报告的范围是评估气候变化对各水循环过程和系统影响以及对淡水资源(其可用水量、水质、水利用和水管理)影响的评估。本技术报告考虑了当前的和预估的各种区域关键脆弱性和适应方面的各种前景。

本技术报告主要面向涉及与淡水资源管理、气候变化、战略研究、空间规划和社会经济发展等相关的所有领域的决策者。但是,本报告还面向从事水和气候变化领域工作的科学界,以及面向更广泛的读者,其中包括非政府组织和新闻媒体。由于有关水和气候变化的素材分散在IPCC《第四次评估报告》和《综合报告》中,因此重点发表关于水和气候变化评

<sup>6</sup>“关于可能的《气候变化与水》技术报告的划定范围的文件”公布在下列网站: <http://www.ipcc.ch/meetings/session21.htm>。

估结果所用素材进行压缩和归纳是有益之举。本技术报告在必要时还提到以前发表的IPCC评估报告和特别报告。本技术报告所增加的价值在于对上述材料进行了提炼,建立了轻重缓急的优先顺序,作了综合和解读。

本技术报告的内容认真遵循了它所依据的各IPCC报告中的内容。本报告体现了它所依据的各报告对各种观点的平衡和客观性,并且凡前者与后者的内容有不同之处,目的在于支持和/或进一步解释有关的IPCC报告的结论。每一个实质性段落均取材于一个IPCC报告。报告内容的出处在方括号内给出,一般标示在段尾处(除非某个段落的出处是不止一个IPCC文件,对于这种情况,相关的IPCC文件的出处则放在所引用的内容之后)。已采用以下惯例。

- 《第四次评估报告》(AR4)是引用最为频繁的IPCC出版物并按以下方式表示,例如:[WGII 3.5],方括号中的内容是指《第四次评估报告》第二工作组的报告,第3章,第3.5节。见IPCC(2007a, b, c, d)。
- 凡素材源自其它的IPCC出处,则采用下列缩写:TAR(《第三次评估报告》:IPCC2001a, b, c)、RICC(《关于气候变化区域影响的特别报告》:Watson等人,1997)、LULUCF(《关于土地利用、土地利用变化和林业的特别报告》:IPCC,2000)、SRES(《关于排放情景的特别报告》:Nakićenović和Swart,2000)、CCB(《技术报告之五-气候变化与生物多样性》:Gitay等人,2002)以及CCS(《关于二氧化碳捕获和封存的特别报告》:Metz等人,2005)。因此,[WGII TAR 5.8.3]是指《第三次评估报告》第二工作组的报告,第5章,第5.8.3节。

### 1.3 技术报告的背景: 社会经济和环境条件

- 其它表示出处的缩写包括ES(执行摘要)、SPM(决策者摘要)、TS(技术摘要)和SYR(综合报告),它们均指《第四次评估报告》,除非另有说明。

原始文献的索引(杂志、著作和报告)位于相关的句子之后,并置于圆括号内。

如IPCC评估报告和特别报告所述,本技术报告探

讨了气候变化与淡水的关系。这些关系并非孤立存在,而是存在于社会经济和环境条件的背景之中,并与这些条件互为影响。在本节中,从这些条件与淡水的关系出发,我们对观测到的和预估的这些条件的主要特征作了描述。

许多非气候驱动因子影响所有尺度的淡水资源,其中包括全球尺度(UN,2003)。就水量和水质而言,水资源关键受到人类活动的影响,其中包括农业和土地利用变化、水库的建造和管理、污染物排放以及水和污水的处理。水利用主要与人口、粮食消耗(包括饮食类型)、经济政策(包括水的定价)、技术、生活方式<sup>7</sup>和社会对淡水生态系统价值的看法的转变直接相关。为了评估气候变化与淡水之间的关系,有必要考虑淡水是如何受到上述非气候驱动因子变化影响的,未来又将受到何种影响。[WGII 3.3.2]

#### 1.3.1 观测到的变化

在全球尺度的评估中,各流域被定义为正在受到缺水的压力<sup>8</sup>,条件是这些流域的人均可用水量低于1,000米<sup>3</sup>/年(按长期平均径流量计算)或汲水量与长期年平均径流量之比大于0.4。1,000米<sup>3</sup>的年人均用水量一般大于家庭、工业和农业所需的用水量。这类面临缺水压力的流域位于非洲北部、地中海地区、中东、近东、南亚、中国北方、澳大利亚、美国、墨西哥、巴西东北部和南美洲西部海岸带(图1.1)。生活在这类面临缺水压力流域内的人口估计在14亿至21亿之间(Vörösmarty等人,2000年;Alcamo等人,2003a, b; Oki等人,2003年; Arnell,2004年)。[WGII 3.2]

用水,特别是灌溉用水,一般随温度的升高而增加并随降水的增加而减少;但是,尚无证据表明过去有与气候有关的长期用水趋势。一方面,这是由于这样一个事实,即:用水主要受到非气候因子的驱动,而另一方面,这是由于一般用水资料的质量差,尤其是时间序列资料的质量不高。[WGII 3.2]

地表水资源或浅地下水井的可用水量取决于河流流量的季节性和年际变率,安全的供水是由季节性低流量所决定的。在以积雪为主要水源的流域中,较高的温度导致河流量下降,因而在夏季供水减少(Barnett等人,2005年)。[WGII 3.2]

在受到缺水压力的地区,人和各生态系统对因气候变化引起的降水减少和变化尤为脆弱。第5部分列举了一些实例。

<sup>7</sup> 在此背景下,使用耗水家用电器,如:洗碗机、洗衣机、草坪喷灌器等。

<sup>8</sup> 缺水压力是指一种描述人如何受到水短缺风险影响的概念。

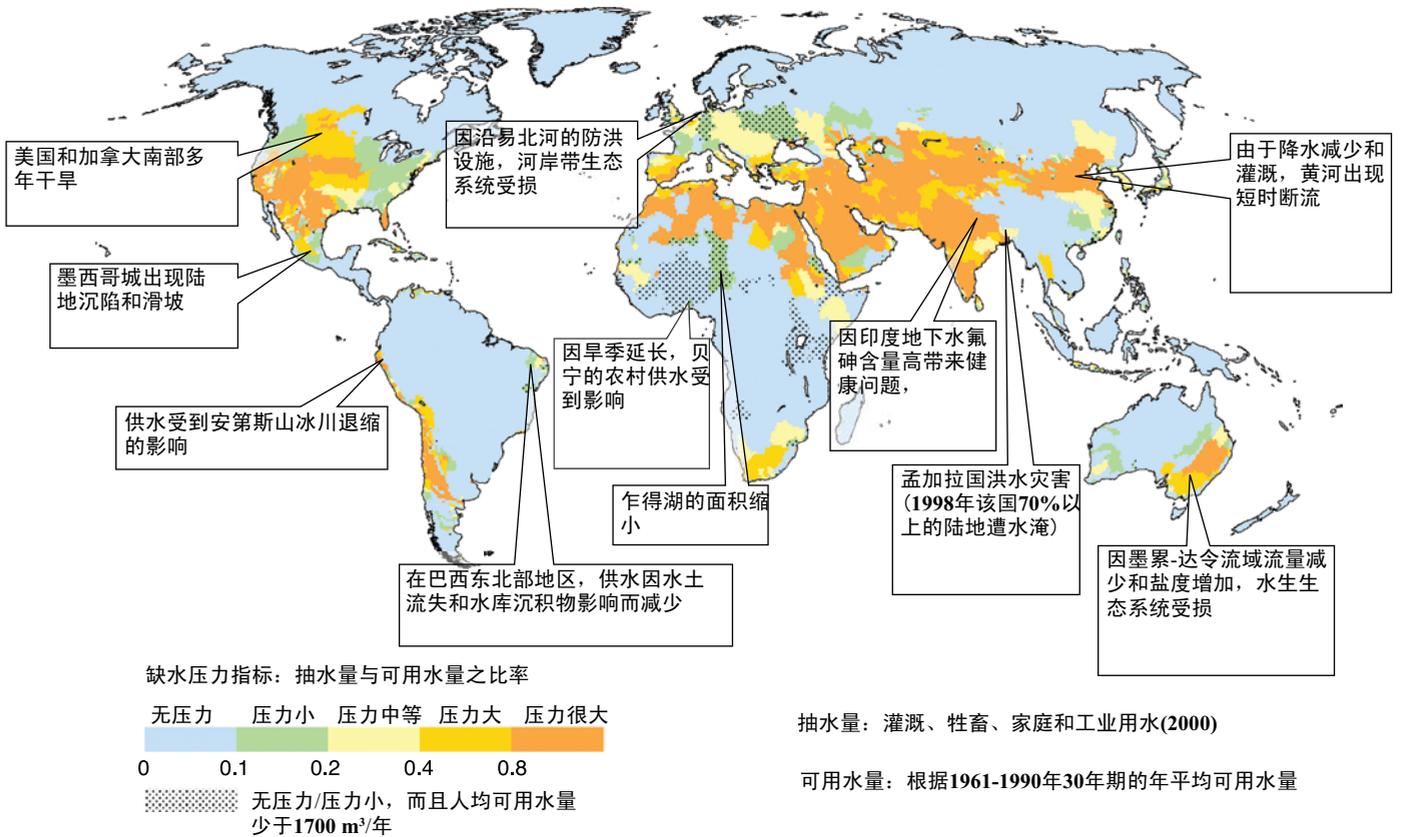


图1.1: 反映淡水资源及其管理的当前脆弱性的实例; 在背景中,根据 WaterGAP(Alcamo等人,2003a)制作的缺水压力图。见与气候变化相关的文字。[WGII F 图3.2]

除少数工业化国家外,在大多数国家,由于人口和经济增长、生活方式的转变以及供水系统的扩大,最近几十年以来用水量已增加,而灌溉用水显然是最重要的原因。灌溉用水占全世界总取水量的70%,而且占消费用水的90%(如:没有可供下游重复使用的水量)。[WGII 3.2] 水浇地产生大约40%的农业总产量(Fischer等人,2006)。自从1960年以来,全球水浇地面积以每年大约2%的速率从1961/1963年的1.4亿公顷持续增加到1997/1999年的2.7亿公顷,大约占当今全球总耕地的18% (Bruinsma,2003)。

虽然区域人口变化率与全球平均值相比有很大的差异,但是全球人口增长率已呈现下降的趋势。也许全球用水的增长是由于发展中国家的经济增长,但目前尚无关于这一增长率的可靠资料。[WGII 3.2, 5.3]

最近几十年以来,地表水和地下水的普遍下降,这主要是由于农业和工业活动增加(UN,2006)。为了应对这个问题,许多国家(如:欧洲联盟和加拿大)已经建立或强化了各项排水标准,并改建了各种污水处理设施(GEO-3,2003)。[WGII 3.3.2,表8.1]

### 1.3.2 预估的变化

#### 1.3.2.1 综合背景

IPCC排放情景特别报告(SRES): Nakićenović 和 Swart,2000年)的四个情节构成了许多开展预估的气候变化和水资源研究的基础,这四个情节考虑了21世纪内人口和经济活动的一系列合理的变化(见图1.2)。一些情景假设将出现一个以全球贸易和联盟占主导地位的世界经济(A1和B1),在这些情景中,预计全球人口将会从当今的66亿继续增长,并于2050年达到87亿的人口增长的峰值,而在那些经济全球化和合作欠缺的情景(A2和B2)中,预计全球人口增长一直持续到2100年,到本世纪末人口将会达到104亿(B2)和150亿(A2)。总之,所有SRES情景描述了一个比当今更加富裕的社会,到2100年国民生产总值(GDP)将会比当前的水平增加10-26倍。在所有SRES情景中,假设世界各区域之间的收入差距逐步缩小 - 如同人口变化和经济发展一样,技术将是一个同等重要的驱动力。[SRES SPM]

#### 1.3.2.2 水资源

无论气候变化与否,对水资源预估的尤为关注是

强调经济发展			
回 答 提 问	A1 情节	A2 情节	强 调 区 域 性
	世界：面向市场 经济：人均增长最快 人口：2050年达到峰值后下降 管理：地域互动强；收入集中 技术：划分为三类： • A1FI：化石能源密集 • A1T：非化石能源 • A1B：各种能源均衡	世界：分化 经济：面向地域；人均增长最慢 人口：持续增长 管理：自给自足且保持当地特色 技术：发展最慢且多数不连续	
强调环境保护			
	B1 情节	B2 情节	
	世界：趋同 经济：基于服务和信息；增长低于A1情节 人口：与A1情节相同 管理：针对经济、社会和环境可持续性的全球解决方案 技术：清洁和资源利用效率高	世界：局地解决方案 经济：发展处于中等水平 人口：以低于A2情节的增长率持续增长 管理：针对环境保护和社会公平性的局地解决方案 技术：比A2情节更为快速，与B1或A1情节相比较为缓慢，更加多样化	

图1.2: 四个SRES情节特征概览(根据Nakićenović和Swart,2000年)[WGII 图2.5]

由于在水坝建造和废弃、供水基础设施、污水处理和再利用、海水脱盐、污染物排放以及土地利用方面可能发生变化,特别是灌溉方面的变化。不考虑气候的变化,预计将在发展中国家建造用于水利发电和供水的新水坝,虽然与现有的45,000个大型水坝相比,新修建的水坝数量可能较少。但是,已考虑到未来可能增加的水力发电需求所产生的各种影响(世界水坝委员会,2000年; Scudder,2005年)。在发达国家,水坝的数量很可能保持稳定,有些水坝将被废弃。因气候变化导致在一定时间尺度上径流变率加大,所以水坝的蓄水量增加也许是有利的,尤其是在年径流量没有显著减少的地区。鉴于环境流量需求可导致水库的运行进一步改变,因此人类对水资源的利用也许受到限制。为实现千年发展目标(MDG,见表7.1)所做的努力应使水资源和卫生条件得到改善。未来,污水回收再利用和海水脱盐处理将可能成为半干旱和干旱区域供水的重要来源。但是,仍有一些令人关切的环境影响问题有待解决,其中包括那些与脱盐流程中的高能耗有关的问题。需要首先考虑其它的选择,如:行之有效的水价政策和具有成本效益的水需求管理战略。[WGII 3.3.2, 3.4.1, 3.7]

预计未来在发达国家和发展中国家污水处理将

会增加,但是在发展中国家营养物、重金属和有机物的点源排流可能增加。鉴于化学物质的生产和消费可能增加(少量剧毒物质除外),在发达国家和发展中国家,有机微污染物(如:内分泌物质)对地表水和地下水的污染也许增加。在这类污染物中有几种物质无法用当前的污水处理技术予以清除。海平面上升对海岸带地区暴雨强降水的排涝作业和污水处理造成的影响可引起水质的改变。[WGII 3.2.2,3.4.4]

来自农业的营养物质和杀虫剂的扩散和排放可能继续成为发达国家的重要问题,并很可能在发展中国家呈现出增加的局面,因此对水质产生严重影响。根据千年生态系统评估(2005a)的四种情景(‘全球协同’、‘实力秩序’、‘适应组合’和‘技术园区’),与2000年的9000万吨的氮肥用量相比,到2050年全球氮肥用量将达到1.1亿–1.4亿吨。在上述三个情景下,到2050年河流中氮的输送量将会增加,而在‘技术园区’情景(类似于IPCC SRES的B1情景)下,河流中氮输送量将会下降(千年生态系统评估,2005b)。[WGII 3.3.2]

驱动用水的最重要的因子包括人口增长和经济发展,但还包括社会对水的价值有着不断改变的看法。后者指家庭和工业供水优先于农业灌溉供水和水的有效利用,其中包括扩大节水技术的应用以及水的定价。在所有四个千年生态系统评估情景中,2050年全世界各区域的人均家庭用水量大体相同,大约为100米<sup>3</sup>/年左右,即:2000年欧洲的平均用水量(千年生态系统评估,2005b)。[WGII 3.3.2]

未来农业灌溉用水的主要非气候变化驱动因子是:灌溉面积的范围、作物种类、作物收获强度和灌溉用水的效率。根据粮农组织(联合国粮食与农业组织)的预估,占全球灌溉面积75%的发展中国家可能把它们灌溉面积每年扩大0.6%,一直持续到2030年;与此同时,预估水浇地的作物收获强度将会每年上升1.27至1.41株作物,而灌溉用水效率将略有提高(Bruinsma,2003)。上述估算不包括气候变化,Bruinsma预计在2030年之前气候变化将不会影响农业。预计灌溉面积的扩大大都出现在已面临缺水压力的地区,诸如:亚洲南部、中国北方、近东和非洲北部。然而,相比之下,所有四个千年生态系统评估情景假设将会扩大的灌溉面积,但却小得多,截止到2050年全球增长率每年仅为0-0.18。在2050年之后,除了‘全球协同’情景(类似于IPCC SRES A1情景)以外,所有情景均假设灌溉面积将会实现稳定或略有下降(千年生态系统评估,2005a)。在另外一项研究中,它采用了一个修改后的A2人口情景和粮农组织的长期预估,该项研究预估到2080年全球水浇地增加超过40%的地区主要在亚洲南部、非洲和拉丁美洲,相当于每年平均增加0.4%(Fischer等人,2006)。[WGII 3.3.2]

## 1.4 概述

本技术报告共分为8个部分。在报告的导言部分(第一部分)之后,第二部分主要基于第一工作组的评估报告,并着眼于气候变化科学,既包括观测到的气候变化,也包括预估的气候变化,因为气候变化与各水文变量有关。第三部分对观测到的和预估的与有关的气候变化影响和可能采取的适应对策作了

一般性概括,内容主要取自第二工作组的评估报告。接着,第四部分对各类系统和各个行业作了详细的分析,而第五部分涉及一种区域方法。在《第三工作组评估报告》的基础上,第六部分讨论与水有关的灌溉方面。第七部分着眼于政策的意义和可持续发展,紧接其后的最后一部分(第八部分)是关于知识上的空白和有关未来工作的建议。本技术报告采用了《第四次评估报告》有关标准不确定性的语言(见框1.1)。

### 框1.1: 当前知识中的不确定性: 在技术报告中不确定性的处理方法 [SYR]

IPCC关于不确定性的指导说明<sup>9</sup>对三个工作组和在本技术报告中处理不确定性的框架作了定义。这是一个概括性框架,因为各工作组所评估的素材来自不同的学科,并包含了引自文献中各种处理不确定性的方法。自然科学中使用的数据、指标和分析的性质一般不同于技术开发评估或社会科学中使用的数据、指标和分析的性质,第一工作组侧重于自然科学,第三工作组着重于技术开发评估或社会科学,第二工作组则兼而有之。

使用三种不同的方法来描述不确定性,每种方法都有着截然不同的语言形式。对于这三种方法的选择,既取决于可用信息的特性,也取决于作者们对当前科学认识的正确性和完整性的专家判断。

如果对不确定性作定性评估,其特点是提供关于证据数量和质量(即:来自理论、观测或模式的信息表明一种信念或定理正确或有效与否)以及一致性程度(即:在文献中对某个特定发现一致认同的水平)的相对判断。第三工作组通过一套不言而喻的术语而使用了这一方法,如:一致性高,证据量充分;一致性高,证据量中等;一致性中等,证据量中等;诸如此类。

如果更定量地评估不确定性,可使用专家对基础数据、模式或分析正确性的判断,因而下述的可信度等级被用来表述经过评估的某项研究发现正确性的机率:很高可信度,至少有九成机会结果正确;高可信度,大约有八成机会结果正确;中等可信度,大约有五成机会结果正确;低可信度,大约有两成机会结果正确;很低可信度,少于一成机会结果正确。

如果评估特定结果的不确定性,则对一堆证据(如:观测资料或模式结果)作出专家判断和统计分析,因而下述的可能性区间被用来表述经过评估的发生概率:几乎确定,>99%;极有可能,>95%;很可能,>90%;可能,>66%;多半可能,>50%;或许可能,33%~66%;不可能,<33%;很不可能,<10%;极不可能,<5%;几乎不可能,<1%。

第二工作组结合使用了可信度和可能性评估,第一工作组则主要使用了可能性评估。

本技术报告沿用了各基本工作组对不确定性的评估。对于那些基于一个以上工作组信息的综合发现,所使用的不确定性描述则与引自各工作组报告各部分的不确定性描述一致。

<sup>9</sup> 见以下网址 <http://www.ipcc.ch/meetings/ar4-workshops-express-meetings/uncertainty-guidance-note.pdf>.



# 2

---

## 观测到的和预估的与水有关的气候变化

---



水涉及到气候系统的所有组成部分(大气圈、水圈、冰冻圈、地表和生物圈)。因此,气候变化通过各种机制影响到水。本部分讨论观测到的与水有关的变量的近期变化,以及预估的未来变化。

## 2.1 观测到的与水有关的气候变化

水分循环与大气温度和辐射平衡的变化紧密联系。近几十年来,气候系统的变暖是毋庸置疑的,目前从全球平均气温和海温升高、大范围雪和冰融化以及全球海平面上升的观测中得到的证据支持了这一观点。气候的人为净辐射强迫估计为正值(变暖效应),2005年最佳估计值为1.6瓦/平方米(相对于1750年工业化前的值)。1906年至2005年全球地表温度的最佳线性趋势估计值为升高0.74°C(可能范围是0.56°C至0.92°C),过去50年的变暖趋势更为迅速。新的分析表明,对流层中、低层的变暖速率类似于地表的变暖速率。归因研究表明,观测到的20世纪中叶以来大部分的全球增温很可能是由于观测到的人为温室气体浓度增加所致。在大陆尺度上,对除南极洲外的各个大陆平均而言,过去50年可能已经发生了重大的人为变暖。对于大范围地区,在过去50年中,冷昼、冷夜和霜冻的发生频率已减少,而热昼、热夜和热浪则变得更加频繁。[WGI SPM]

过去几十年观测到的气候变暖始终与水分循环和水文系统的许多分量的变化相关,诸如:降水的分布、强度和极值发生变化;大范围的雪和冰融化;大气中的水汽增加;蒸发增加;以及土壤湿度和径流发生变化。在年际到年代际时间尺度上,水分循环的所有分量都存在明显的自然变率,这往往掩盖了长期趋势。由于较大的区域差异,并且由于监测网络在空间和时间覆盖范围方面的限制,水文变量的趋势仍然存在相当大的不确定性(Huntington, 2006)。目前,记录海洋上降水的年际变化和趋势仍是一种挑战。[WGI 3.3]

认识观测到的气候变化并作出归因也是一种挑战。对于水文变量如径流,非气候相关因素可能在局地尺度上起着重要作用(例如抽水量的变化)。气候对于强迫因子的响应也很复杂。例如,吸收气溶胶(如黑碳)的效应之一是把热量拦截在气溶胶层内,否则热量将到达地表,驱动蒸发及随后的潜热在地表上方释放。因此,具有吸收作用的气溶胶可能减少局部地区的蒸发和降水。气候模式省略了许

多气溶胶过程,或者以相对简单的方式纳入这些过程。在某些情况下,我们对于气溶胶对局地降水影响的重要性知之甚少。尽管存在上述的不确定性,但在归因观测到的水文变化方面可作一些陈述,并且基于《第四次评估报告》的评估结果,本部分在对各变量的讨论中包括了这些陈述。[WGI 3.3, 7.5.2, 8.2.1, 8.2.5, 9.5.4; WGII 3.1, 3.2]

### 2.1.1 降水(包括极端降水)和水汽

已经使用若干数据集分析了陆地降水的趋势,特别是全球历史气候学网络(GHCN: Peterson和Vose, 1997),以及陆地降水重建(PREC/L: Chen等, 2002)、全球降水气候学计划(GPCP: Adler等, 2003)、全球降水气候中心(GPCC: Beck等, 2005)和气候研究组的数据集(CRU: Mitchell和Jones, 2005)。在20世纪,北纬30度和85度之间的陆地降水普遍增加,但在过去30年至40年里,南纬10度到北纬30度的降水显著减少(图2.1)。在北大西洋和南纬25度以南盐度减小,这表明海洋上发生了类似的降水变化。从1900年到1950年代,北纬10度到30度地区的降水显著增加,但在大约1970年之后降水减少。在南半球热带以外的大陆地区,没有明显的半球尺度的趋势。在编写本报告的时候,对全球降水变化的归因尚不确定,因为降水受到大尺度自然变率分布的强烈影响。[WGI 3.3.2.1]

根据1901年至2005年GHCN作出的全球平均线性趋势在统计学上无显著性(图2.2)。1951年至2005年的趋势估值也无显著性,因为数据集之间存在许多差异,这证明了监测降水这类变量的难度,因为它在空间和时间上都存在很大的变率。全球变化在时间上是非线性的,这表明存在显著的年代际变率,20世纪50年代至20世纪70年代是一个相对多雨的时期,之后降水减少。全球平均值主要受热带和亚热带降水的影响。[WGI 3.3.2.1]

使用GHCN的台站数据内插到 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的纬度/经度网格上,得到年降水量趋势的空间分布,如图2.3所示。自1901年起,在北美和欧亚的大部分地区,过去105年的年降水量增加,与图2.1一致。自1979年以来的时期显示出更为复杂的分布,区域变干明显(如北美洲西南部)。在欧亚的大部分地区,这两个时期显示降水增加的网格数量都多于显示降水减少的网格数量。北欧和地中海之间可能存在相反的变化趋势,这与北大西洋涛动遥相关的变化有关(另见第2.1.7节)。[WGI 3.3.2.2]

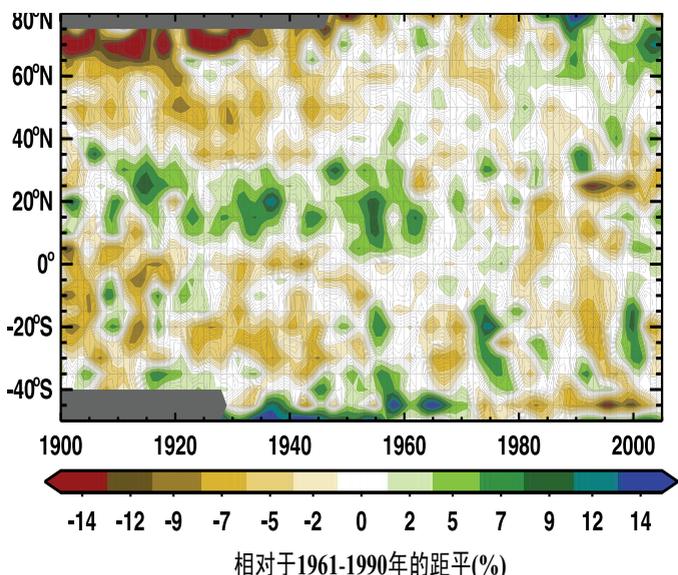


图2.1: 与1961年至1990年平均相比,1900年至2005年陆地降水年平均距平(%)的纬度—时间剖面图。数值为所有经度上的平均值,并通过一个滤波器进行了平滑,以消除小于约6年的扰动。彩色标尺是非线性的,灰色区域表示资料缺失。[WGI 图3.15]

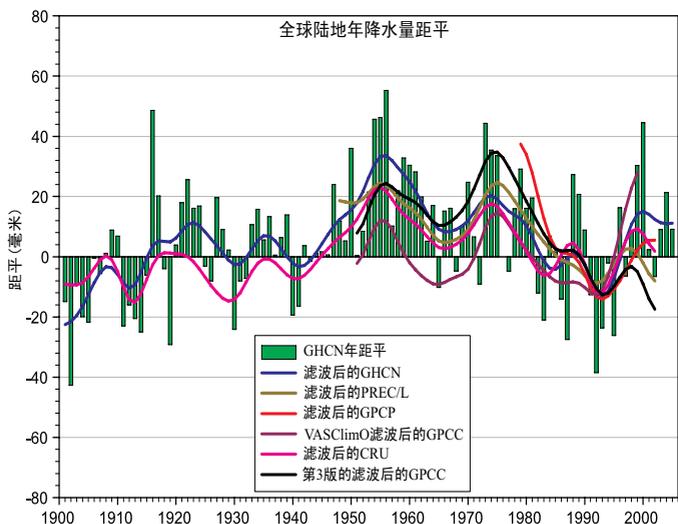


图2.2: 根据GHCN得到的1900年至2005年全球陆地年降水量距平(毫米,相对于1981年至2000年的基准期)的时间序列。对于GHCN、PREC/L、GPCP、GPCC和CRU数据集,给出了平滑后的年代尺度的距平值。[WGI 图3.12]

在整个南美洲,已经观测到亚马逊河流域和南美洲东南部(包括巴塔哥尼亚)越来越湿润,而在智利和大陆西海岸部分地区则观测到年降水量的减少趋势。亚马逊、中美洲和北美洲西部的变化表明了季风特征的纬向变化。[WGI 3.3.2.2]

自1901年以来,在非洲西部和萨赫勒地区观测到年降水量的最大减少趋势(另见第5.1节),而在非洲的许多其它部分地区以及南亚地区存在下降趋势。自1979年以来,在萨赫勒地区和热带非洲的其它地区降水增加,这部分与遥相关型态的变化有关(另见第2.1.7节)。在印度西北部的大部分地区,1901年至2005年期间显示出每百年超过20%的增加,但在同一地区,自1979年以来则显示出年降水量的明显减少。在这两个时期,澳大利亚西北地区显示出年降水量的中度到大幅增加,该地区的环境变得更加湿润,而在遥远的西南地区则有明显的下降趋势,其特征是在1975年左右转为下降。[WGI 3.3.2.2]

一些模式研究表明,辐射强迫(包括人为、火山和太阳强迫)的变化在观测到的平均降水趋势中起了作用。不过,与观测估计值相比,气候模式似乎低估了陆地平均降水的差异。目前尚不清楚这一差异是因为低估了对短波强迫的响应,还是低估了内部的气候变率、观测误差或这些因素的组合。理论研究表明,也许很难检测到温室气体增加对平均降水的影响。[WGI 9.5.4]

已经观测到强降水事件(如大于第95个百分位点)的大范围增加,甚至在那些总降水量减少的地方也是如此。这些增加与大气中的水汽增加有关,并与观测到的变暖相一致(图2.4)。但是,降雨量的统计数据主要受到年际到年代际尺度变化的影响,并且趋势估计值在空间上是不连贯的(如Peterson等,2002;Griffiths等2003;Herath和Ratnayake,2004)。此外,只有少数地区具有质量足够高和序列足够长的资料,以便可靠地评估极值的趋势。在整个欧洲和北美洲已经观测到统计上具有显著意义的强降水发生频率的增加(KleinTank和Können,2003;Kunkel等,2003;Groisman等,2004;Haylock和Goodess,2004)。季节性变化因地点不同而异:在美国,暖季中降水的增加最为显著;而在欧洲,最显著的变化则发生在寒冷季节(Groisman等,2004;Haylock和Goodess,2004)。有关区域变化的进一步讨论见第5部分。[WGI 3.8.2.2]

理论和气候模式研究表明,在由于温室气体增加而导致变暖的气候背景下,与平均降水相比,预计极端降水的增加更大。因此,在极端降水中可能要比在平均降水中更容易检测到人为的影响。这是因为极端降水受可利用水汽量的控制,而平均降水受大气向太空辐射长波能量(作为潜热通过凝结释放)的能力的控制,并且后者受到温室气体增加的限制。综合考虑,观测和模拟研究得出一个总体结论,即强降水事件的发生频率(或者总降水量中强

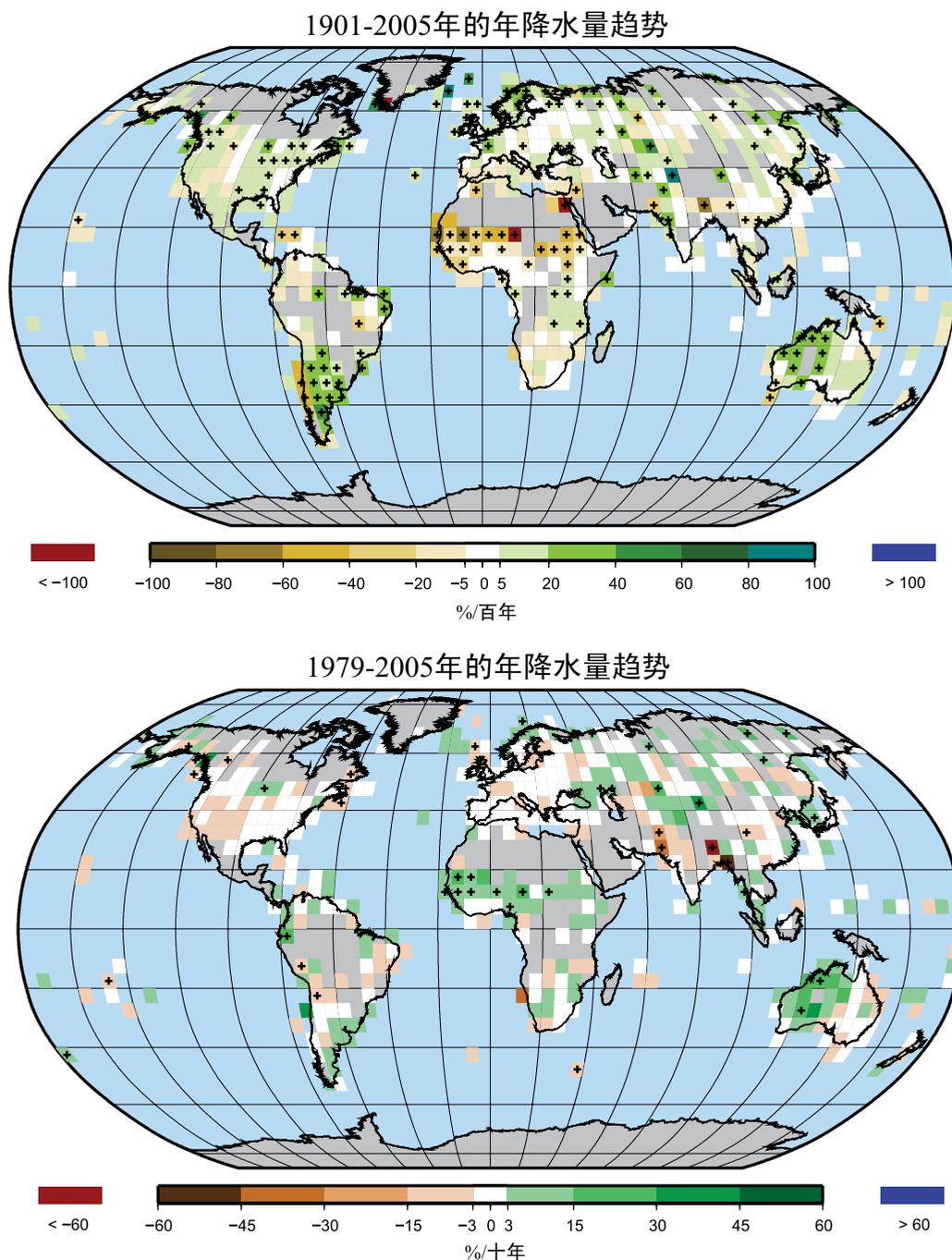


图2.3: 根据GHCN台站资料得到的相对于1961年至1990年平均值百分比的1901年至2005年(上图,每百年%)和1979年至2005年(下图,每十年%)的年降水量趋势。灰色区域的数据不足以产生可靠的趋势。(WGI 图3.13)

降水的比例)在20世纪末的大多数陆地地区可能已经增加,并且这一趋势多半可能包括人为的贡献。目前无法评估人为贡献的大小。[WGI SPM, 9.5.4, 10.3.6, FAQ10.1]

有观测证据表明,大约自1970年以来,北大西洋的强热带气旋活动增加,这与热带海面温度(SST)

上升有关。也有迹象表明在一些其它地区强热带气旋活动增加,但在这些地区人们对资料观测质量更为关切。多年代际变率的存在以及1970年前后常规卫星观测问世之前的热带气旋记录的质量使得对热带气旋活动长期趋势的检测复杂化。每年的热带气旋个数并没有明显的变化趋势。人为因素多半可能对观测到的强热带气旋活动的增加做出了贡献。不

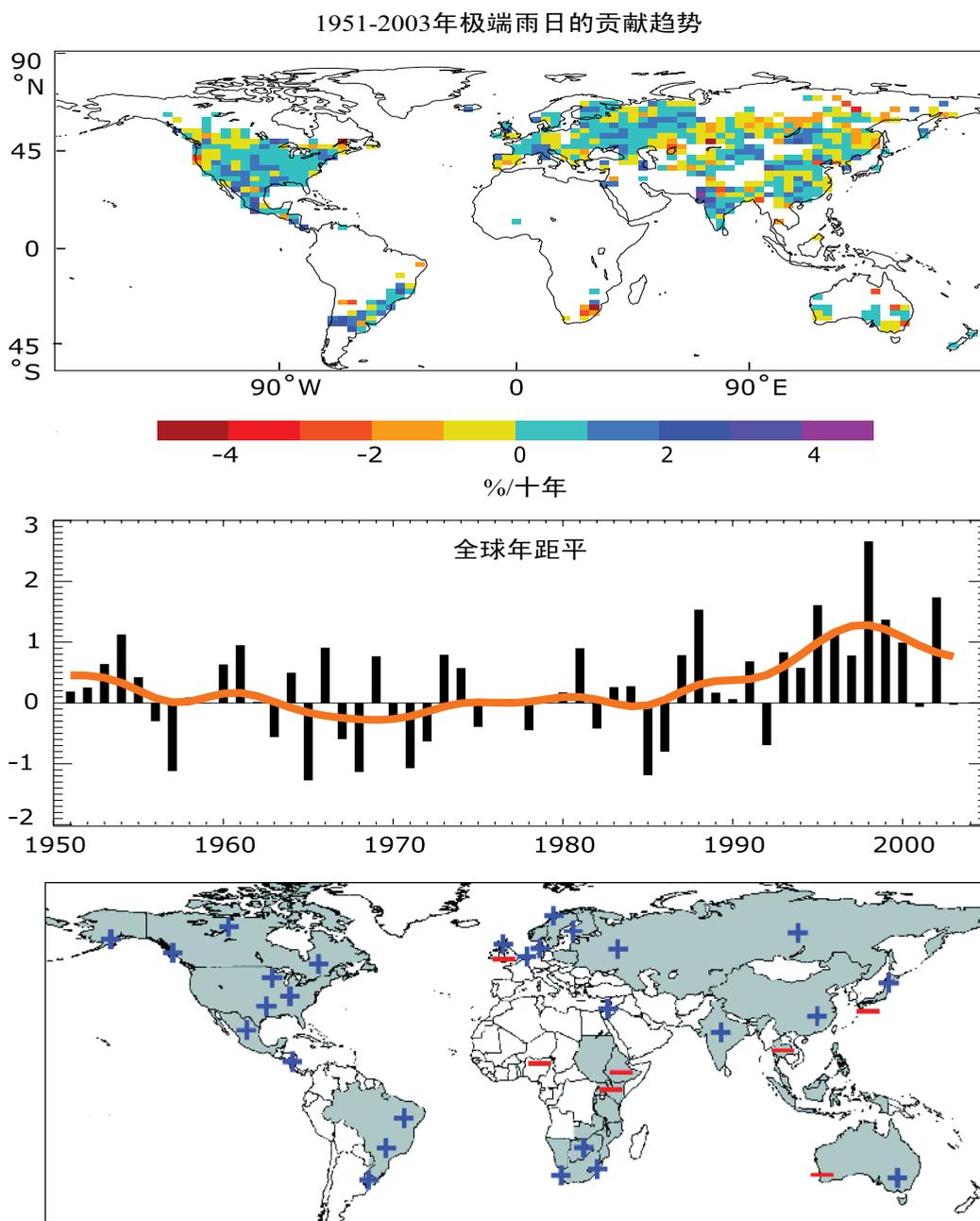


图2.4: 上图表示观测到的1901年至2003年期间极端雨日(第95个百分位点及以上)对年总降水量贡献的趋势(每十年%)。中图表示对于全球年降水量,极端雨日对年总降水量贡献的变化(% ,相对于1961年至1990年22.5%的均值)(在Alexander等之后,2006年)。下图表示与年和/或季节降水变化相比,那些记录到增加(+)或减少(-)的大雨和暴雨非比例变化的区域(根据Groisman等,2005年更新)。[WGI 图3.39]

过,自1970年以来,在一些地区,特强风暴的比例明显增加,要远远大于当前模式对这一时期模拟所得出的结果。[WGI SPM]

已观测到对流层的水汽含量在最近几十年持续增加,这与观测到的变暖和接近常数的相对湿度相一致。从1988年至2004年,全球海洋上空气柱中水汽总量每十年增加 $1.2\% \pm 0.3\%$ ,其分布与海平面温度的变化相一致。许多研究显示近地面大气湿度增

加,但存在区域差异和昼夜差异。至于水分循环的其它分量,年际到年代际尺度的变化很大,但在全球海洋以及北半球一些陆地区域已经观测到显著的上升趋势。由于观测到的SST变暖可能主要是人为原因,因此,这表明人为影响对观测到的海洋上方大气中水汽含量的增加做出了贡献。然而,在编写《第四次评估报告》的时候,尚无可利用的正式归因研究。[WGI 3.4.2, 9.5.4]

## 2.1.2 积雪和陆冰

陆地冰冻圈(包括积雪、冰和冻土)储存了世界上大约75%的淡水。在气候系统中,冰冻圈及其变化与地表能量平衡、水循环和海平面变化有着错综复杂的联系。超过六分之一的世界人口居住在依靠冰川融水或融雪补给的流域(Stern 2007)。*[WGII 3.4.1]* 图2.5显示了冰冻圈的变化趋势,在许多部分中,冰的储量明显下降。*[WGI 第4章]*

### 2.1.2.1 积雪、冻土、湖冰和河冰

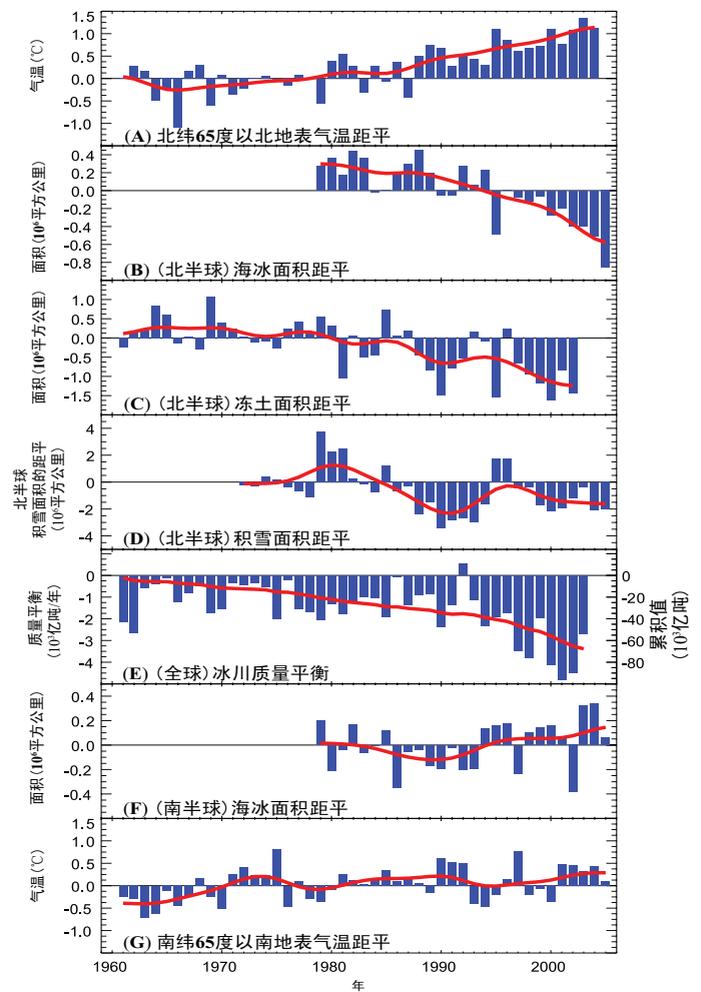
大多数地区的积雪已经减少,特别是在春季和夏季。通过卫星观测发现,1966年至2005年期间,除11月和12月以外,北半球的积雪每个月都在减少。20世纪80年代末期,年平均积雪以5%的速率逐渐下降。在较低的海拔上,北美洲西部山脉及瑞士阿尔卑斯山脉的积雪减少幅度最大。在南半球,现有的为数不多的长期记录或代用资料表明,在过去40年或更长时间内,积雪减少或者无变化。*[WGI 4.2.2]*

多年冻土和季节性冻土的退化正在导致地表特性和排水系统的变化。季节性冻土既包括非多年冻土区的季节性土壤冻融,也包括夏季消融和冬季冻结的多年冻土活动层。从1901年到2002年,北半球非多年冻土区季节性冻土的最大面积已减少了约7%,春季可达15%。自20世纪中叶以来,因冬季变暖和积雪深度增加,欧亚大陆季节性冻土的最大深度已减少了约0.3米。1956年至1990年期间,在俄罗斯31个台站测量到活动层加深了约21厘米,并且这一增加在统计上是显著的。其它地区的记录太短,不足以进行趋势分析。自1980年代以来,北极多年冻土层顶部温度已上升了3°C。多年冻土的变暖和冻土的退化似乎是夏季气温增加以及积雪深度和持续时间的变化的结果。*[WGI 4.7, 第9章]*

河冰和湖冰冻结和消融的日期表现出相当大的空间变率。根据北半球现有的过去150年的资料平均,封冻期每百年推迟 $5.8 \pm 1.6$ 天,而解冻期每百年提前 $6.5 \pm 1.2$ 天。已经发表的有关河冰和湖冰厚度的资料不足,不能进行趋势评估。模拟研究(如Duguay等,2003)指出,最大冰厚及解冻日期的大部分变化受到降雪变化的驱动。*[WGI 4.3]*

### 2.1.2.2 冰川和冰盖

平均而言,在上世纪后半叶,北半球和巴塔哥尼亚的冰川和冰盖在质量循环方面显示出小幅但相



**图2.5:** 极地地表气温(A和E)、北半球(NH)季节性冻土面积(B)、3月至4月NH积雪面积(C)和全球冰川质量平衡(D)的距平时间序列(相对于长期平均值)。D中的红实线表示累积全球冰川质量平衡,其它红实线则代表平滑后的时间序列。*[改编自WGI FAQ 4.1]*

当一致的增加,并伴随着融冰的大幅增加。*[WGI 4.5.2, 4.6.2.2.1]*其结果,全球范围内的大多数冰川和冰盖以日益增加的速率损失了相当多的质量(图2.6):从1960/61年到1989/90年,冰质量损失为 $136 \pm 57$ Gt(十亿吨)/年( $0.37 \pm 0.16$ 毫米/年的海平面当量(SLE)),而在1990/91年至2003/04年期间,损失为 $280 \pm 79$ Gt/年( $0.77 \pm 0.22$ 毫米/年的SLE)。20世纪大范围的退缩似乎暗示了普遍变暖是一个主要原因,尽管在热带地区,大气水汽变化可能做出贡献。有证据表明,这一融冰很可能已经对观测到的海平面上升做出了贡献。*[WGI 4.5, 表4.4, 9.5]*

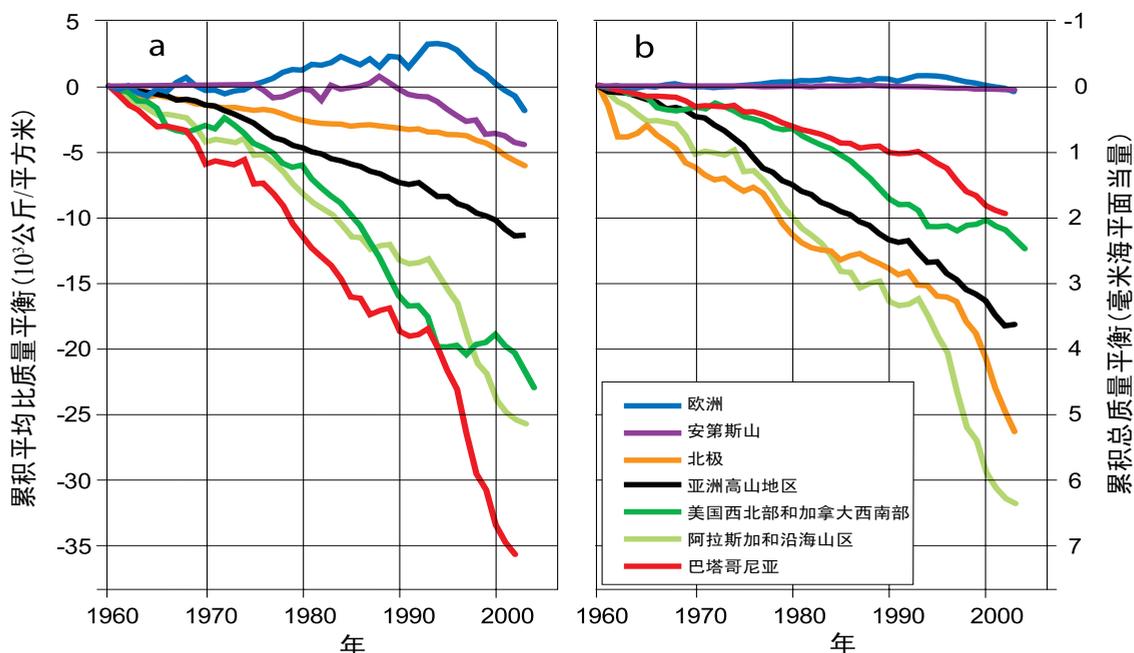


图2.6: 对于大的区域计算的冰川和冰盖的累积平均比质量平衡 (a)和累积总质量平衡 (b)(Dyurgerov和Meier,2005)。冰川质量平衡是指一个水文年期间所有质量增加和损失的总和,平均比质量平衡是指总质量平衡除以该地区所有冰川和冰盖的总表面积,它表示各个区域变化的强度。总质量平衡表示每个区域对海平面上升的贡献。[WGI 4.5.2,图4.15]

湖泊的形成发生在冰川舌从突出的几个陡峭山脉(包括喜马拉雅山脉、安第斯山脉和阿尔卑斯山)的小冰期(LIA)冰碛退缩之时,这些湖泊很可能发生冰川湖突发洪水。[WGII 1.3.1.1,表1.2]

### 2.1.3 海平面

全球平均海平面一直在上升,并且具有高可信度的是,从19世纪中叶到20世纪中叶,海平面的上升速率也在增加。20世纪的平均速率为 $1.7 \pm 0.5$ 毫米/年,1961年至2003年的平均速率为 $1.8 \pm 0.5$ 毫米/年,1993年至2003年的平均速率为 $3.1 \pm 0.7$ 毫米/年。目前尚不清楚1993年至2003年期间的较高速率是由于年代际变率还是由于长期趋势的上升。海平面上升速率的空间变化很不均匀,例如,1993年至2003年期间,一些地区的上升速率是全球均值的数倍,而在其它地区,海平面却在下降。[WGI 5.ES]

在对长期海平面变化的贡献估算存在不确定性。1993年至2003年期间,源自热膨胀( $1.6 \pm 0.5$ 毫米/年)、冰川和冰盖质量损失( $0.77 \pm 0.22$ 毫米/年)以及格陵兰( $0.21 \pm 0.07$ 毫米/年)和南极( $0.21 \pm 0.35$ 毫米/年)冰盖质量损失的贡献总和为 $2.8 \pm 0.7$ 毫米/年。在此期间,这些与气候有关的贡献的总和与上述直接观测

到的海平面上升相一致,未超出观测的不确定性范围。对于1961年至2003年这一更长时期,估计与气候有关的贡献总和小于观测到的总体海平面上升。但是,1993年之前的观测系统不太可靠。对于这两个时期,源自热膨胀和冰川/冰盖的贡献估计要大于来自格陵兰和南极冰盖的贡献。南极较大的误差范围意味着尚无法确定南极对海平面的贡献是正还是负。海平面的上升与变暖相一致,并且模拟研究表明,总体上,对人为强迫的响应很可能为20世纪后半叶的海平面上升做出了贡献。然而,观测的不确定性加上缺乏适当的研究,意味着很难量化人为的贡献率。[WGI SPM, 5.5, 9.5.2]

逐渐上升的海平面潜在地影响沿海地区,但因尚不完全清楚。自1975年以来,全球极端高水位上升与平均海平面上升和大尺度年代际气候变率均有关(Woodworth和Blackman, 2004)。[WGII 1.3.3]

### 2.1.4 蒸散

对于全球陆地实际蒸散的直接测量非常有限,而全球分析产品<sup>10</sup>对于分析的类型很敏感,可能包含较大误差,因而不适合进行趋势分析。因此,几乎没有关于观测到的蒸散趋势的文献,无论是实际蒸

散还是潜在蒸散。[WGI 3.3.3]

#### 2.1.4.1 蒸发皿蒸发

根据美国(Peterson等, 1995; Golubev等, 2001; Hobbins等, 2004)、印度(Chattopadhyay和Hulme, 1997)、澳大利亚(Roderick和Farquhar, 2004)、新西兰(Roderick和Farquhar, 2005)中国(Liu等, 2004; Qian等, 2006b)和泰国(Tebakari等, 2005)关于蒸发皿蒸发(从蒸发皿的开放水面测量的蒸发, 为潜在蒸散的一种代用资料)的稀少记录, 发现其在最近几十年呈下降趋势。蒸发皿的测量资料并不代表实际蒸发(Brutsaert和Parlange, 1998), 其变化趋势可能由于(美国以及欧洲和俄罗斯部分地区)地表太阳辐射的减少和中国日照时数的减少而引起, 后者也许与空气污染和大气气溶胶的增加以及云量的增加有关。[WGI 3.3.3, 框3.2]

#### 2.1.4.2 实际蒸散

《第三次评估报告》指出, 20世纪后半叶, 美国和俄罗斯大部分地区的实际蒸散增加(Golubev等, 2001), 这是由于降水增加及较高温度造成对大气水汽的需求变大, 而使表面水汽供应量增多所致。利用降水、温度和基于云量的地面太阳辐射的观测资料及一个综合陆面模式, Qian等(2006a)发现, 全球陆地蒸散紧随陆地降水的变化。全球降水在20世纪70年代初期达到峰值, 然后有所下降, 但这主要体现了热带地区的情况。在较高纬度的陆地地区, 降水更为普遍地增加。蒸散的变化不仅取决于水汽供应, 而且取决于能量和地面风。[WGI 3.3.3]

其它影响实际蒸散的因素包括大气CO<sub>2</sub>对植物生理的直接效应。虽然已经观测到对径流的影响, 但尚未看到有关这些直接效应(关于观测到的蒸散趋势)的文献。[WGI 9.5.4]

年蒸散量部分地取决于生长季的长度。《第四次评估报告》提出了观测到生长季节正在延长的证据。这些增加与春季晚霜冻的提前以及秋季霜冻日期的推迟有关, 在欧亚大陆温带地区(Moonen等, 2002; Menzel等, 2003; Genovese等, 2005; Semenov等, 2006)及北美大部分地区(Robeson, 2002; Feng和Hu, 2004)很明显。[WGII 1.3.6.1]

### 2.1.5 土壤湿度

实地测量的土壤水分含量的历史记录仅在少数地区可以获得, 并且持续时间通常很短。[WGI 3.3.4] 从各种气候下的600多个台站资料中, Robock等(2000)发现, 具有最长记录台站(主要位于前苏联、中国和美国中部)的地面(深度1米)土壤水分含量在夏季存在长期增加趋势。来自乌克兰的现有最长记录显示地面土壤总体水分增加, 尽管最近几十年的增加不太显著(Robock等, 2005)。估算土壤湿度的初步方法是根据降水和温度观测资料计算帕尔默干旱强度指数(PDSI)值。PDSI变化在第3.1.2.4节中讨论。[WGI 框3.1, 3.3.4]

### 2.1.6 径流与河流量

已有大量研究调查了20世纪从流域到全球尺度流量的潜在趋势。一些研究已检测到某些河流量指标的显著趋势, 并且有些研究已经证实与温度或降水的联系在统计上有显著性。不过, 许多研究并未发现趋势, 或者不能把温度和降水变化的影响从人类对流域干预的影响中分离出来。用来搜索趋势的方法也会影响结果。例如, 不同的统计检验可给出不同的显著性指示; 不同的记录时期(特别是开始和结束期)可得到不同的变化速率; 流域之间不能进行交叉相关可导致高估表现出显著变化的流域的数量。趋势分析的另一个限制是具有一致性的、经过质量控制的数据的有效性。现有的流量计记录仅覆盖了全球约三分之二主动排水的陆地面积, 并且往往包含空白, 且记录长度多变(Dai和Trenberth, 2002)。最后, 人类的干预已经影响到许多流域的河流体系。[WGI 3.3.4, 9.1, 9.5.1; WGII 1.3.2]

有证据表明, 在全球尺度上, 年径流的变化具有广泛、一致的型态, 一些地区(如高纬度地区和美国大部)经历了径流的增加, 而其它地区(如西部非洲的部分地区、欧洲南部和南美洲的最南端)则经历了径流的减少(Milly等, 2005, 以及许多流域尺度的研究)。在全球许多地区, 逐年的流量变化也受到诸如与ENSO、NAO和PNA型相关的大尺度气候型的影响<sup>11</sup>。一项研究(Labat等, 2004)声称, 在20世纪, 温度每升高1℃, 全球总径流量增加4%, 区域变化也接近该趋势, 但围绕这一结论的争论(Labat等, 2004; Legates等, 2005)集中在非气候驱动因素对径流的影响以及少数资料点对结果的影响

<sup>11</sup>“分析产品”是指通过同化各种观测资料进入一个天气预报或者一个气候模式从而对过去气候变化进行的估算, 以一种常规方式进行, 初始化每天的天气预报。由于业务天气分析/预报系统是随着时间推移被开发出来的, 所以开展了许多“再分析”运用, 以便把现有的观测资料同化到单一的系统, 消除任何由于基本系统变化而引起的乱真的突变或趋势。分析系统的一个优势是, 它们产生包括许多不能直接观测的分量的全球场。一个潜在的不利因素是, 所有的场都是观测资料和模拟值的混合, 并且对于那些观测资料很少的区域/变量而言, 可能主要是再现了基本模式的气候状况。

上。Gedney等(2006)把20世纪径流的普遍增加主要归因于CO<sub>2</sub>浓度增加造成的蒸散抑制(影响气孔的传导率),尽管很难为这种关系找到其它证据,但第2.1.4节提出了蒸散增加的证据。[WGII 1.3.2]

径流的趋势并不总是与降水的变化相一致,这可能是由于资料的限制(特别是降水资料的覆盖范围),人类干预如水库蓄水(欧亚大陆主要河流的情况都是如此)的影响,或者降水和温度变化的竞争效应(正如在瑞典那样:见Lindstrom和Bergstrom, 2004)。

然而,更为确凿和广泛的证据表明,在许多冬季降雪的地区,河流径流的时间已经大为改变。较高的温度意味着更大比例的冬季降水是雨而不是雪,并且融雪季节提前开始。在1936年和2000年期间,新英格兰部分地区的融雪提前了1至2个星期(Hodgkins等, 2003),尽管这对于夏季流量几乎没有产生可以辨别出的影响(Hodgkins等, 2005)。[WGII 1.3.2]

### 2.1.7 大尺度变率的型态

气候系统具有若干优先的变率分布,它们对水分循环的各个要素产生直接影响。由于诸如“遥相关”之类的影响,区域气候的变化可能是不协调的。遥相关往往与旱涝有关,并伴随对人类产生重大影响的其它变化。下面简要概述了关键的遥相关型。第一工作组《第四次评估报告》第3.6节作了更完整的讨论。

遥相关被定义为描述变化大小及阶段的空间分布和时间序列。空间分布型态可在一个网格上或通过基于台站观测资料的指数作出定义。例如,南方涛动指数(SOI)完全基于塔希提岛(东太平洋)和达尔文(西太平洋)之间平均海平面气压异常的差异,但它体现出整个热带太平洋大尺度大气环流的大部分变率。遥相关型往往在冬季(特别是在北半球)最为突出,因为此时的平均环流最强。在长时间尺度上,遥相关型的强度及其影响地面气候的方式也发生变化。[WGI 3.6.1]

SOI描述了厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)的大气分量,即全球气候年际变率的最显著模态。ENSO对大气环流、降水和温度具有全球性影响(Trenberth和Caron, 2000)。ENSO与热带太平洋降水的东西向移动有关,并与主要热带辐合带的调制有关。ENSO还与热带以外的大气环流的波状扰动有关,如太平洋-北美型(PNA)和太平洋-南美型(PSA),它们具

有重要的区域气候效应。在年代际尺度上,ENSO事件的强度和频率发生变化,这与太平洋十年振荡(PDO, 也被称为年代际太平洋涛动或IPO)有关,它能调节海洋表面温度的平均状态以及20年或更长时间尺度的热带大气环流。1976/77年的气候快变(Trenberth, 1990)与厄尔尼诺演变的变化有关(Trenberth和Stepaniak, 2001),趋势是发生持续时期更长和更强的厄尔尼诺。尚未正式检测到观测资料中ENSO变率的变化。[WGI 3.6.2, 3.6.3]

在热带以外地区,一个月或更长时间尺度的大气环流变率主要受到急流强度和位置变化的影响,并与风暴路径有关,其特征是北半球和南半球“环状模态”(分别为NAM和SAM: Quadrelli和Wallace, 2004; Trenberth等, 2005)。NAM与北大西洋涛动(NAO)密切相关,虽然后者与大西洋风暴路径及欧洲的气候变化最为相关。NAO表现了大西洋区域的温带和高纬度地区之间反相气压距平的特点。NAO在冬季的信号最强,那时,其正(负)相位表示增强的(减弱的)冰岛低压和亚述尔高压(Hurrell等, 2003)。在大西洋上空,密切相关的NAM也有类似的结构,但更多的是经向对称。NAO对于北半球大部分地区的冬季地表温度以及欧洲和北非的风暴和降水具有强烈的影响,并且在正相位时降水是向极地移动的,而在负相位时则是向赤道移动的。有证据显示,在过去几个世纪,正(负)NAO时期延长(Cook等, 2002; Jones等, 2003a)。在冬季发生了逆转,从20世纪60年代后期的最低指数值转变为20世纪90年代中期最强的正NAO指数值。自那时以来,NAO值已下降到接近其长期均值。归因研究表明,近几十年来NAM的变化趋势可能部分与人类活动有关。然而,气候模式模拟的对自然强迫和人为强迫的响应小于观测到的趋势。[WGI 3.6.4, 9.ES]

南半球环状模态(SAM)与中高纬度地区相反信号的同步气压变化相关,反映了副极地主要西风带的变化。在SAM的正相位,出现增强的南部海洋西风带,这在最近几十年中已变得较为常见,从而导致在绕极槽有更多的气旋(Sinclair等, 1997),降水向极地的移动以及对南极降水更大的贡献(Noone和Simmonds, 2002)。SAM也影响到南极洲(Genthon等, 2003)和南美洲南部(Silvestri和Vera, 2003)降水变率的空间分布。模式模拟表明, SAM的最近趋势已受到温室气体浓度增加的影响,特别是受到平流层臭氧耗损的影响。[WGI 3.6.5, 9.5.3.3]

在器测时期(以及在代用资料重建中),北大西洋的SST显示出大约70年的变化,被称为大西洋多年

<sup>11</sup> 分别地,ENSO表示厄尔尼诺-南方涛动,NAO表示北大西洋涛动,PNA表示太平洋-北美;进一步的解释见第2.1.7节和术语表。

代际涛动(AMO: Kerr, 2000)。1930年至1960年期间为暖相位, 1905年至1925年和1970年至1990年期间是冷相位(Schlesinger和Ramankutty, 1994)。在1990年代中期, AMO似乎已返回到暖相位的开始。AMO可能与温盐环流的强度变化有关(Delworth和Mann, 2000; Latif, 2001; Sutton和Hodson, 2003; Knight等, 2005)。已经把AMO与北美洲的多年降水异常联系起来, 看来像是调节ENSO的遥相关(Enfield等, 2001; McCabe等, 2004; Shabbar和Skinner, 2004), 并在大西洋飓风的形成中也起到作用(Goldenberg等, 2001)。相信AMO是引发萨赫勒干旱、加勒比海降水、北美和欧洲的夏季气候、格陵兰海的海冰浓度以及美国南部、北大西洋和欧洲南部的海平面气压等多年代际变化的一个驱动因子(例如Venegas和Mysak, 2000; Goldenberg等, 2001; Sutton和Hodson, 2005; Trenberth和Shea, 2006)。[WGI 3.6.6]

## 2.2 水文变化对气候的影响和反馈

已经在许多地区观测到温度和降水之间存在一些确凿的相关性。这提供了证据表明, 控制水分循环和温度的过程是密切耦合的。在全球尺度上, 水汽、云和冰的变化改变了地球的辐射平衡, 因而在确定气候对温室气体增加的响应中发挥了主要作用。第一工作组的第四次评估报告第8.6节讨论了这些过程对温度响应的全球影响。在本节中, 我们讨论一些过程, 通过这些过程, 水文变量的变化可对区域气候或对主要温室气体的大气收支产生反馈效应。本节的目的不在于全面讨论这些过程, 而是讨论水文过程与气候系统的其余部分是紧密耦合的。[WGI 3.3.5, 第7章, 8.6]

### 2.2.1 陆表效应

地表水分平衡反映了水和能量的存在。在可用分量高的区域, 蒸散受到大气边界层和地表植被覆盖特性的双重控制。地表水平衡变化可通过水分再循环进入边界层(而不是让水产生径流或渗透到土壤深层)而反馈到气候系统。这种效应的正负及其大小往往充满变数, 取决于当地环境的细节。因此, 虽然在某些情况下, 这些反馈在全球尺度上可能相对较小, 但在较小的空间或时间尺度上可能变得极端重要, 从而导致变率或极值的区域/局地变化。[WGI 7.2]

毁林对气候的影响说明了这种复杂性。一些研究指出, 由于反照率增加、蒸腾和潜热损失, 毁林

可能导致白昼温度降低, 边界层云增加。不过, 这些效应依赖于替代植被及其下土壤/雪地面的特性, 并且在某些情况下, 已经产生了相反的效应。毁林对降水的影响同样也很复杂, 具有负面和正面的影响, 取决于地表和植被的特征。[WGI 7.2, 7.5]

许多研究表明, 在半干旱地区如萨赫勒地区, 通过土壤水分再循环进入大气(从那里水分可以再次降下), 植被的存在可以改进自身的生长条件。这可能会导致这些地区出现多种平衡的可能性, 无论是否有降水和植被; 并且还暗示出现状态突变的可能性, 正如从全新世中期到现代环境条件已经发生的变化。[WGI 第6章, 7.2]

由于土壤水分的热容量以及蒸发所需的潜热, 它是热惯性的一个来源。由于这个原因, 已建议把土壤水分作为诸如对夏季温度和降水的一种重要调节。在干旱和湿润地区之间的过渡区, 土壤湿度、降水和温度之间的反馈特别重要, 但土壤湿度和降水之间的耦合强度在不同气候模式之间的差异可达一个量级, 并且目前受到观测限制不可能减少这种不确定性。[WGI 7.2, 8.2]

对降水的进一步控制起因于通过气孔关闭以响应大气CO<sub>2</sub>浓度的增加。除了因总蒸散量的大幅减少而产生径流增加的趋势以外(见第2.3.4节), 该效应可能会导致一些地区降水的大幅减少。[WGI 7.2]

由于区域变暖, 积雪变化通过反照率变化对温度产生反馈。尽管这一反馈的大小在不同模式之间差异很大, 但最近的研究表明, 春季融雪的速率可能为这种反馈的强度提供了一个良好的、可观察的估算, 从而为减少积雪地区未来温度变化预测的不确定性提供了前景[WGI 8.6]。

### 2.2.2 通过海洋环流变化的反馈

进入海洋的淡水改变了海水盐度, 因而也改变了海水密度。因此, 水分循环的变化可以改变密度驱动的(“温盐”)海洋环流, 然后再对气候产生反馈。一个特别的例子是北大西洋的经向翻转环流(MOC), 该环流对于北大西洋周边地区及更远地区的地表温度、降水和海平面具有重大的影响。预计在21世纪大西洋的MOC将减弱, 并且这种弱化在调节气候变化的整体响应方面很重要。总的来说, 预计减弱的MOC会降低北半球中纬度地区的变暖速率, 但是有一些研究表明, 它也将导致北极地区变暖速率的增加。这些响应也通过大西洋中低纬度地区的蒸发变化而对大尺度降水产生反馈。虽然在许多模式中, MOC弱化的最大驱动力是地表变暖(而不是海水

淡化),但在深水源区,水文变化确实起到了重要作用,并且淡水输入的不确定性对于不同模式在预估MOC响应中出现大范围离散做出了主要贡献。观测到的最近几十年海洋盐度的变化揭示了淡水输入的变化。虽然几乎所有大气—海洋环流模式(AOGCM)的集合都显示出21世纪逐渐减弱的MOC,但是没有模式显示会突变为一种不同的状态。这种事件被认为在21世纪**很可能**发生,但是不可能评估这种事件在更长时期发生的可能性。[WGI 10.3.4]

在目前的气候预估中,降水、蒸发和径流的变化及其对MOC的影响是直接模拟的。可是,只有极少数的气候模式包括了对格陵兰和南极冰盖质量平衡变化的详细表述,而这可能是一个额外的入海淡水来源。到目前为止,为数不多的包括来自格陵兰淡水输入详细模拟的研究并未表明这一额外来源将改变上述宽泛的结论。[WGI 5.2, 8.7, 10.3, 框10.1]

### 2.2.3 受水文过程或地球生物化学反馈影响的排放和汇

水分循环的变化可以通过大气二氧化碳、甲烷及其它通常受生物圈控制的辐射活跃的化学气体收支对气候产生反馈。所涉及到的过程都是复杂的,例如,土壤异养呼吸作用(二氧化碳的一种来源)对温度升高的响应强烈地依赖于土壤水分含量。新一代的气候模式考虑了植被和碳循环对气候变化的响应,因而首次允许对其中的一些过程进行探讨。所有的模式都表明,气候变化对全球碳循环有一个正反馈,导致在变暖的气候下,有更多的人为二氧化碳排放保留在大气中。然而,不同模式之间总反馈的大小差异很大,陆地净初级生产力的变化尤其不确定,这反映了在区域降水变化预估中存在着离散。[WGI 7.3]

甲烷的一些源和汇,例如湿地、多年冻土和水稻农业(源)以及土壤氧化(汇),对于水文变化很敏感。其它活跃的化学气体如臭氧也被证明对气候很敏感,通常也是通过复杂的地球生物化学机制。大气气溶胶的收支直接对降水敏感(如通过抑制地面沙尘源以及湿沉降作为一种汇的重要性),并且气溶胶通过作为凝结核而对降水产生反馈,因而影响云的降水效率。这些反馈的大小仍不确定,并且目前的气候模式如果包括这些反馈,通常也只是以简单的方式。[WGI 7.4]

## 2.3 预估的与水有关的气候变化

与《第三次评估报告》的考虑相比,气候变化预估的一项主要进展是从有更多的气候模式中针对各种排放情景得到的大量可用的模拟结果。模式预估的最佳估值表明,在有人类居住的各个大陆,到2030年,十年平均变暖幅度对SRES情景的选择并不敏感,并且**很可能**至少是相应模式估算的20世纪自然变率的两倍(大约每十年 $0.2^{\circ}\text{C}$ )。在SRES非减缓情景下,以等于或高于当前的速率持续排放温室气体,这会导致进一步变暖,并引发21世纪全球气候系统的许多变化,这些变化**很可能**大于20世纪的观测结果。在SRES的解释性标志情景下,预估的2090年至2099年的全球平均温度变化(相对于1980年至1999年)范围从B1情景的 $1.8^{\circ}\text{C}$ (最佳估算值,可能范围为 $1.1^{\circ}\text{C}$ 至 $2.9^{\circ}\text{C}$ )到A1FI情景的 $4.0^{\circ}\text{C}$ (最佳估算值,可能范围为 $2.4^{\circ}\text{C}$ 至 $6.4^{\circ}\text{C}$ )。预计陆地上和大多数北半球高纬度地区的变暖最为显著,而南大洋和北大西洋部分地区的变暖最弱。热极端事件和热浪的发生频率**很可能**将会持续增加。[WGI SPM, 第10章]

### 水文预估的不确定性

在预估水文系统变化方面的不确定性起源于气候系统的内部变率,未来温室气体和气溶胶排放的不确定性,这些排放通过全球气候模式转化为气候变化,以及源于水文模式的不确定性。到21世纪末,在A1B情景下,不同气候模式降水预估值之间的差异是比内部变率更大的不确定性来源。这也意味着,在许多情况下,模拟的年平均降水变化超过目前(模拟的)内部变率。随着空间尺度缩小,不同模式预估值之间的一致性也愈来愈差。[WGI 10.5.4.3] 在高纬度地区和热带部分地区,所有或几乎所有的模式都预估降水会增加,而在一些亚热带地区和较低的中纬度地区,所有或几乎所有的模式都预估降水会减少。即使在降水确凿增加和减少的地区之间,降水变化的符号在目前的所有模式中也是不一致的。[WGI 10.3.2.3, 10.5.4.3] 至于水分循环的其它方面,如蒸发、土壤湿度和径流的变化,预估的相对差异类似于或者大于降水的变化。[WGI 10.3.2.3]

水文预估的另外一些不确定性起源于当前气候模式的结构。一些过程的例子充其量只是第2.2节中给出的在气候模式中被简单描述的那些过程。当前模式通常不包括从植被变化到气候变化的一些反馈。大多数(虽然不是全部)用来推导气候预估的模拟也不包括土地覆盖的人为变化。在大多数气候模

式中，对人为气溶胶强迫的处理相对简单。虽然有些模式包括了宽范的人为气溶胶种类，但大多数的AR4模拟缺乏具有潜在重要性的种类如黑碳(见第2.1节中有关观测到的变化归因的讨论)。一半以上的AR4模式也不包括气溶胶对云的间接效应。当前气候模式的分辨率也限制了对热带气旋和暴雨的适当再现。[WGI 8.2.1, 8.2.2, 8.5.2, 8.5.3, 10.2.1]

起源于把气候模式结果用于淡水研究而产生的不确定性是由于以下两个原因：全球气候模式和水文模式具有不同的空间尺度，以及针对当前气候的全球气候模式所计算的长期平均降水存在偏差。一些方法已被用来解决尺度上的差异，从对气候模式结果进行简单插值，到动力或统计降尺度方法，但所有这些方法都把不确定性带入预估中。模拟的平均降水偏差往往是通过把模拟的距平值加入到降水观测值中来解决，从而获得水文模式的驱动数据集。因此，在大多数水文影响研究中，并未考虑气候参数的年际变化或逐日变率，这导致低估了未来洪水、干旱和灌溉用水的需求。[WGII 3.3.1]

在气候变化对水资源、干旱和洪水影响方面的不确定性源自各种原因，如经济发展的不同情景、温室气体排放、气候模拟和水文模拟。不过，至今尚无一项目研究评估不同的水文模式如何对相同的气候变化信号作出反应。[WGII 3.3.1]自《第三次评估报告》以来，通常使用多模式集合来考虑气候模式对淡水评估的预估的不确定性。正式的概率评估仍然罕见。[WGII 3.3.1, 3.4]

尽管存在这些不确定性，但仍可得到一些确凿的结果。在《第四次评估报告》的基础上，后面各节讨论了预估变化的不确定性。

## 2.3.1 降水(包括极端降水)与水汽

### 2.3.1.1 平均降水

多模式集合的气候预估显示，在21世纪，全球平均的水汽、蒸发和降水增加。模式表明，在热带降水的区域极大值地区(如季风区，特别是热带太平洋地区)和高纬度地区，降水普遍增加；而在亚热带地区普遍减少。[WGI SPM, 10.ES, 10.3.1, 10.3.2]

冬季和夏季高纬度地区的降水增加在所有模式中具有高度一致性(见图2.7)。在热带海洋地区和一些季风区如夏季南亚季风区(六月至八月)和夏季澳大利亚季风区(十二月至翌年二月)的降水增加是显著的，但在局地并不一致，发现在热带地区较大的尺度上存在相当大的一致性。中纬度地区的夏季降水普遍减少，除了在东亚地区降水增加。根据多模式

集合的平均，在许多亚热带地区，降水明显减少，模式之间变化方向的一致性通常很高——特别是在一些地区，如中美洲热带地区—加勒比地区和地中海地区。[WGI 10.3.2] 有关区域变化的进一步讨论见第5部分。

在SRES的A1B情景下，2080年至2099年的年平均降水变化的全球分布如图2.8所示，一些其它的水文量值来自15个模式的集合。年降水量超过20%的增加大多出现在高纬度地区，以及非洲东部、中亚北部和赤道太平洋地区。降水达20%的大幅度减少出现在地中海和加勒比地区以及各大陆亚热带西海岸地区。总体而言，陆地降水约增加5%，而海洋降水增加4%。陆地降水的净变化占全球降水平均增加的24%。[WGI 10.3.2]

根据气候模式对21世纪的预估，全球平均蒸发变化几乎抵消了全球降水变化，但在区域尺度上，由于大气中水汽输送的变化，这种关系并不明显。在大部分海洋上，年平均蒸发量增加，其空间变化趋于和地表变暖相关。在赤道海洋和高纬度地区，大气中的水汽辐合增加。在陆地上，降雨的变化常常被蒸发和径流所抵消。在全球尺度上，预计由于温度升高，大气中的水汽含量将增加，但相对湿度大致保持恒定。这些水汽增加提供了对气候变暖的正反馈，因为水汽是一种温室气体。与此相关的是大气温度垂直廓线(“直减率”)的变化，它部分地抵销了正反馈。最近，来自模式和观测的证据强烈支持水汽/递减率对气候的联合反馈，其强度可与在气候环流模式中发现的相比。[WGI 8.6, 10.ES, 10.3.2]

### 2.3.1.2 极端降水

强降水事件很可能将更为频繁。预计降水事件的强度将增加，特别是在平均降水增加的热带和高纬度地区。中纬度大陆地区夏季趋于变干，这表明在这些地区发生干旱的风险增大。在大多数热带和中高纬度地区，极端降水的增加超过平均降水的增加。[WGI 10.3.5, 10.3.6]

正如在《第三次评估报告》中指出的那样，来自全球耦合模式的长期结果预计中纬度地区夏季变干的可能性增加，这就增加了干旱的相关风险(图2.8)。15个AOGCM在未来变暖气候下的最近试验结果表明，在北半球亚热带和中纬度的大部分地区，夏季将变干燥，但各模式之间夏季干燥的幅度范围很大。与这种夏季干燥相关的干旱可能会导致区域植被的枯死，从而对任一时间遭受干旱的土地面积的百分比增加做出了贡献。例如，在A2情景下，极端干旱从目前土地面积(按定义)的1%增加到2100年

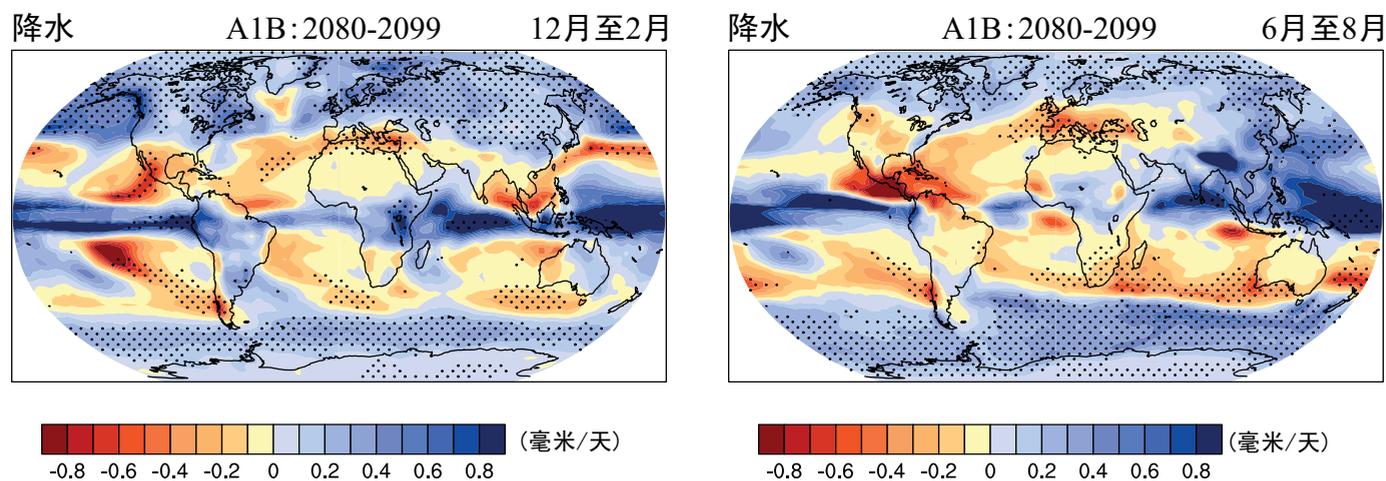


图2.7:15个模式平均12月至2月(左图)和6月至8月(右图)降水变化(单位:毫米/天)。这些变化是指在SRES A1B情景下,2080年至2099年期间降水相对于1980年至1999年降水的变化。小点表示那些多模式集合的平均值超过模式标准偏差的地区。[WGI图10.9]

的30%。变干的土壤条件也有助于产生更严重的热浪。[WGI 10.3.6]

此外,与干燥风险相关的是,预计强降水和洪涝的风险将增加,虽然这与直觉有点相反,这是因为预计降水将集中在更强的降水事件中,而较长的时期里只有较少的降水(进一步解释见第2.1.1节)。因此,伴随着高径流量的强降雨事件点缀在相对长的蒸散增加的干燥时期中,特别是在亚热带地区。不过,根据用来确定这类事件的阈值,干燥日数频率的增加并不一定意味着极端强降雨事件频率的减少。这些变化的另一个方面则与平均降水的变化相关,在平均降水增加的许多地区,降雨的极值变得更大,而在平均降水减少的地区,极端干燥变得更为严重。[WGI 10.3.6]

对于21世纪的多模式气候预估显示,在许多地区,降水强度和连续干旱的日数均增加(图2.9)。几乎各地的降水强度均增加,但特别是在平均降水也增加的中高纬度地区。然而,在图2.9(下图)中,在亚热带和较低的中纬度地区,各个降水事件之间的干旱日数增加,但在平均降水增加的较高的中纬度地区和高纬度地区,干旱日数减少。[WGI 10.3.6.1]

由于在多模式平均中存在降水事件之间的连续干旱日数增加和减少的区域(图2.9),因此全球平均的变化趋势较小,并且各模式之间不太一致。一个模式的扰动物理集合表明,7月的雨日频率仅在有限区域一致地增加。在这一集合中,降水极值的变化相对于控制集合平均值(与对温度极值更一致的响应相比)的变化更大。这表明,与温度极值相比,对降水

极值的响应通常不太一致。[WGI 10.3.6, FAQ10.1]

基于各种模式,未来热带气旋的强度可能增强,热带海面温度的不断增加会带来更大的峰值风速和更强的降水。具有较低可信度的是,预计全球热带气旋的数量将减少。[WGI SPM]

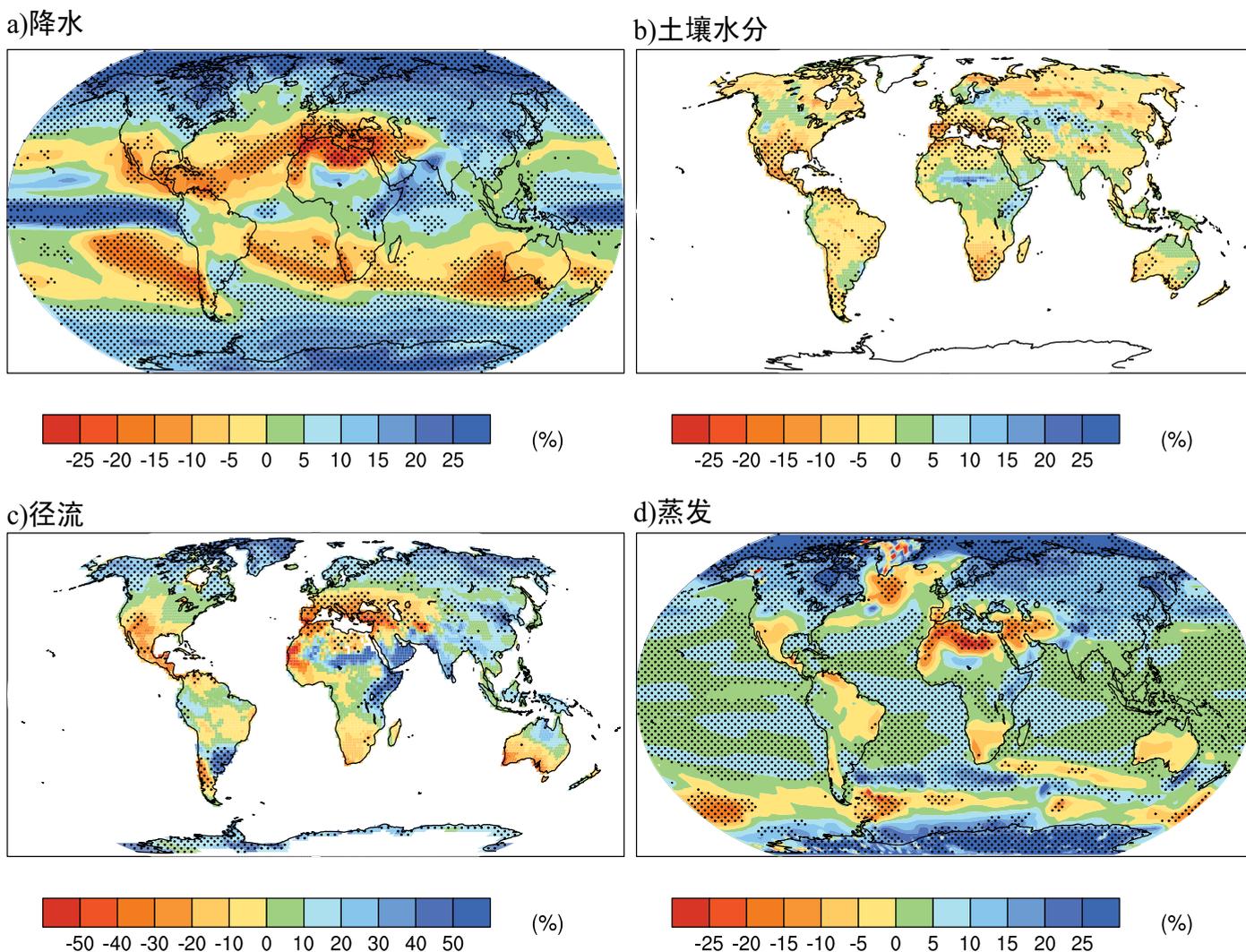
## 2.3.2 积雪与陆冰

随着气候变暖,预计积雪将退缩和减少,并且由于夏季融化的增加将大于冬季降雪的增加,冰川和冰盖的质量将减少。由于气候变暖,预计在大多数多年冻土区,解冻深度将普遍增加。[WGI SPM, 10.3.3]

### 2.3.2.1 积雪、冻土、湖冰和河冰的变化

积雪是对温度和降水的综合响应,在大多数具有季节性积雪的地区,它表现出与气温强烈的负相关。由于这种温度相关,模拟结果预计在整个21世纪积雪普遍减少,尽管有一些结果预计在较高纬度地区积雪增加。例如,在北极气候影响评估(ACIA)中使用的气候模式预计,在B2情景下,到本世纪末,北半球年平均积雪覆盖范围将减少9%至17%。一般而言,预计积雪季节将推迟开始,而融雪季节将提前开始,并且雪季期间的积雪覆盖范围将缩小。[WGI 10.3.3.2, 第11章]

用各种IPCC气候情景强迫的模式结果表明,到21世纪中叶,北半球多年冻土面积可能要缩小20%至35%。预计季节性解冻深度的变化无论在空间上还是在时间上都是不一致的。在未来30年里,大部



**图2.8:** 15个模式的(1)降水(%); (2)土壤水分含量(%); (3)径流(%) and (4)蒸发(%)的平均变化。为了指出变化方向的一致性,那些用点描绘的区域表示至少80%的模式一致同意其平均变化的方向。这些变化是指在SRES A1B情景下,2080年至2099年期间的年平均变化(相对于1980年至1999年)。在那些至少具有10个模式的有效数据的陆地点上才显示土壤湿度和径流的变化。(基于WGI图10.12)

分多年冻土区的活跃层深度可能是目前深度的10%至15%;到本世纪中叶,季节性解冻的深度可能平均增加15%至25%,在最北端的地方,增加50%或更多;到2080年,在所有的多年冻土区,可能增加30%至50%或更多。[WGII 15.3.4]

预计变暖将造成河冰和湖冰的减少。不过,由于南北温度以及相关水文和物理梯度的区域差异的缩小,预期这种对一些向北流动的大河的影响将被抵销。[WGII 15.4.1.2]

### 2.3.2.2 冰川和冰盖

随着整个21世纪气候的变暖, 预计冰川和冰盖将损失质量, 原因是夏季融化超过冬季降水的增加。基于对不同地区11个冰川的模拟结果, 预计到2050年这些冰川的体积将损失60%(Schneeberger等, 2003)。一项包括7个GCM在大气CO<sub>2</sub>加倍条件下的模拟的比较研究推断, 由于平衡线高度的增加, 许多冰川可能完全消失(Bradley等, 2004)。这些冰体的消失远远快于潜在的重新形成冰川的几百年时间, 因此, 在一些地区这些消失可能是不可逆转的。[WGI 10.7.4.2, 框10.1] 21世纪的全球预估显示, 冰川和冰盖的退缩相当于0.07米至0.17米的海平面(SLE), 而目前估算的冰川和冰盖的质量为0.15米至0.37米的SLE。[WGI 第4章, 表4.1; 第10章, 表10.7]

### 2.3.3 海平面

由于目前我们对于驱动海平面上升的一些重要影响的了解非常有限, 所以《第四次评估报告》既未评估海平面上升的可能性, 也未提供海平面上升的最佳估值或者上限。预估结果既不包括气候—碳循环反馈的不确定性, 也不包括冰川流变化的全部影响。因此, 变化范围的高值不能被视为海平面上升的上限。模式预计, 从20世纪后期(1980年至1999年)到本世纪末(2090年至2099年), 全球平均海平面大约上升0.18米至0.59米, 这是基于AOGCM的各种模拟结果和不同的SRES情景, 但不包括上述升幅的不确定性。在所有的SRES标志性情景(除了B1情景)下, 21世纪海平面上升的平均速率很可能超过1961年至2003年的平均速率(1.8±0.5毫米/年)。热膨胀是最大的分量, 对所有情景预估结果的中间估值的贡献率为70%至75%。预计冰川、冰盖和格陵兰冰川也将对海平面上升做出正的贡献。GCM表明, 总体而言, 南极冰川将有更多降雪, 而地表融化不会大幅度增加, 因此将获得质量, 从而对海平面做出负的贡献。预计21世纪的海平面上升具有相当大的地理变率。[SYR3.2.1; WGI SPM, 10.6.5, TS 5.2] 格陵兰和/或南极冰川的部分损失可能意味着数米的海平面上升、海岸线的重大变化和低洼地区的海水侵蚀, 对河流三角洲和低洼岛屿的影响最大。目前的模拟表明, 在千年时间尺度上, 这种变化对于格陵兰是可能的, 但由于目前对这两个冰川的动力冰流过程的了解甚少, 不能排除更迅速的百年时间尺度的海平面上升。[WGI SPM; WGII 19.3]

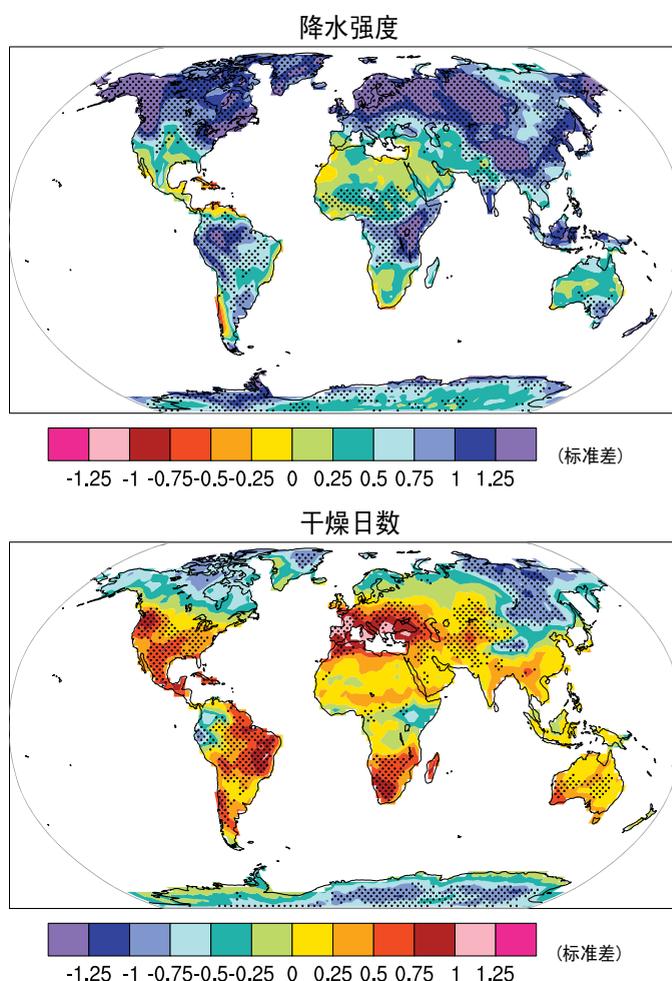


图2.9: 在A1B情景下, 基于9个全球耦合气候模式模拟的2080年至2099年相对于1980年至1999年的极值变化。降水强度(定义为每年的总降水量除以降水日数)空间分布的变化(上图); 以及干燥日数(定义为每年连续干燥日数的最大数量)空间分布的变化(下图)。点是指这样一些地区, 在9个模式中至少有5个模式同意所确定的变化在统计学上具有显著意义。仅对陆地计算了极端指数。变化是以标准差为单位给出的。[WGI图10.18]

### 2.3.4 蒸散

预计几乎所有地区的蒸发需求或“潜在蒸发”都将增加，这是因为大气的持水能力随着温度升高而增加，而相对湿度预计不会发生显著变化。因此，正如蒸发速率的变化一样，大气中的水汽亏损将增加(Trenberth等，2003)。**[WGI 图10.9和图10.12; WGII 3.2, 3.3.1]** 开放水域的实际蒸发预计将增加，例如大部分海洋 **[WGI图10.12]** 和湖泊，其空间变化趋于和地表变暖的空间变化相关。**[WGI 10.3.2.3, 图10.8]** 陆地蒸散的变化受到降水变化和辐射强迫变化的控制，并且这些变化反过来将影响包括径流、土壤水分、水库水、地下水水位和浅含水层的盐碱化在内的水平衡。**[WGII 3.4.2]**

大气中二氧化碳富集对于植被蒸散具有两种潜在的相反影响。一方面，较高的CO<sub>2</sub>浓度可以减少蒸腾，因为这时为了吸收相同量的CO<sub>2</sub>进行光合作用，叶片气孔(植物通过气孔进行蒸腾)需要张开的程度减小(见Gedney等，2006，虽然关于这种关系的其它证据很难发现)。相反，较高的CO<sub>2</sub>浓度可以促进植物生长，导致叶面积增加，从而增加了蒸腾。这两种效应的相对大小因植物种类以及对其它影响因素如养分供应、温度和水分供应变化的影响的响应而不同。要考虑CO<sub>2</sub>富集对蒸散的影响，需要引入动力植被模式。目前，少量模式正在这样做(Rosenberg等，2003; Gerten等，2004; Gordon和 Famiglietti，2004; Betts等，2007)，但通常是在全球而不是流域尺度上。尽管用平衡植被模式进行的研究表明，叶面积的增加可能会抵消气孔的关闭(Betts等，1997; Kergoat等，2002)，但用全球动力植被模式进行的研究指出，气孔关闭的影响超过叶面积增加的影响。考虑到CO<sub>2</sub>引起的植被变化，已经模拟出CO<sub>2</sub>加倍的气候下，由于CO<sub>2</sub>富集本身造成的蒸散减少，全球平均径流大约增加5%(Leipprand和Gerten，2006; Betts等，2007)。**[WGII 3.4.1]**

### 2.3.5 土壤湿度

土壤湿度的变化不仅依赖于降水量和降水时间的变化，而且依赖于蒸发量和蒸发时间的变化(这可能受到植被变化的影响)。因此，土壤湿度变化的地理分布稍微不同于降水变化的分布，较高的蒸发可能要多于对降水增加的抵消。模式以不同的方式模拟地表上层数米的水分，并且对土壤湿度含量的评估仍存在困难。对年平均土壤水分含量的预估(图2.8b)普遍显示，在亚热带和地中海地区，土壤水分减少，但在东非、中亚和其它一些降水增加的地区，土壤水分增加。在积雪减少的高纬度地区，土壤水分也出现减少(第2.3.2节)。尽管变化的大小

常常是不确定的，但在许多这些地区，变化的方向是一致的。季节变化也有着类似的变化型态。**[WGI 10.3.2.3]**

### 2.3.6 径流与河流量

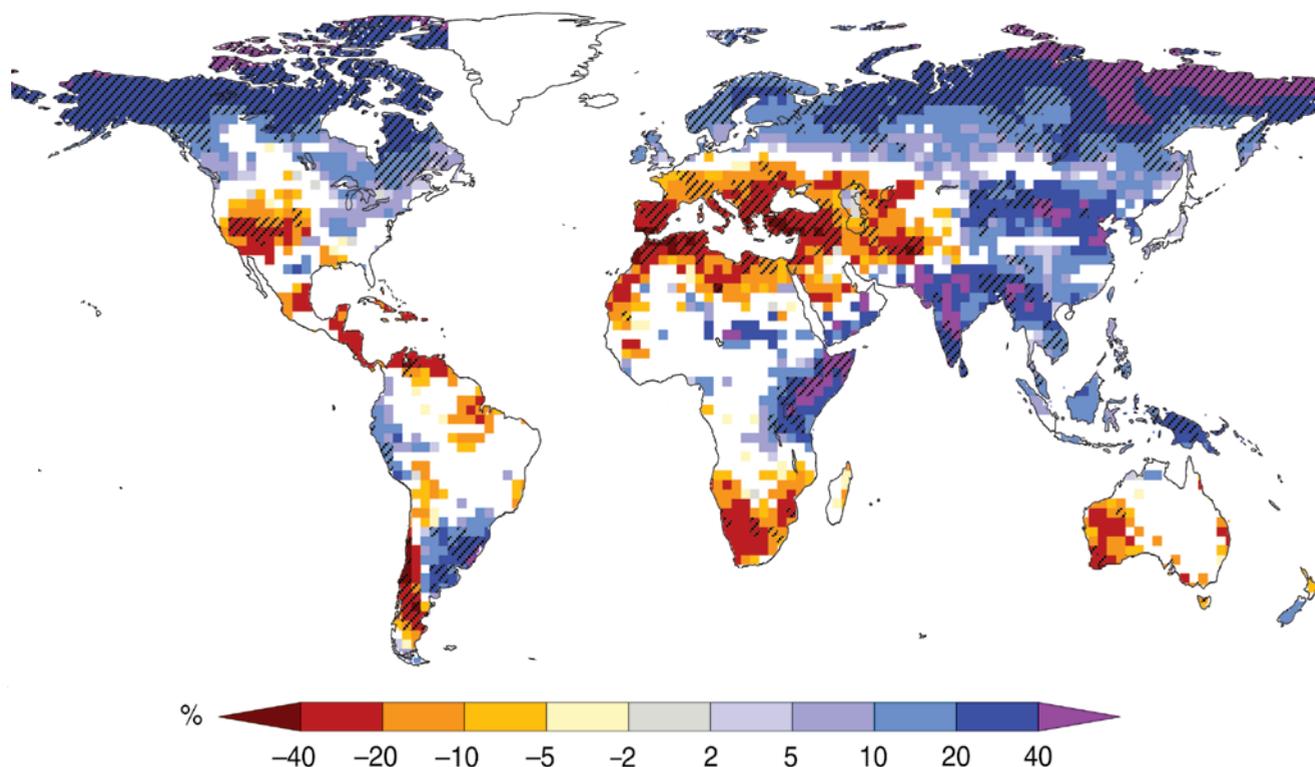
由于气候变化引起的河流量的变化以及湖泊和湿地水位的变化，主要取决于降水量和降水时间的变化，并且最重要的是，无论降水是雪还是雨。蒸发的变化也影响河流量。有关气候变化对河流量潜在影响的数百项研究已经在科学杂志上发表，更多的研究则出现在内部报告中。研究重点着眼于欧洲、北美和大洋洲，少量研究来自亚洲。几乎所有的研究都使用基于气候模式模拟结果的情景来驱动流域水文模式，并且几乎所有的研究都是在流域尺度上。已经使用直接由气候模式模拟的径流(WGI 10.3.2.3)和水文模式单独模拟的径流(WGII 3.4)进行了为数不多的全球尺度的研究，研究表明，在高纬度地区和潮湿热带地区，径流增加；在中纬度地区和干旱热带部分地区，径流减少。图2.8c给出了A1B情景下集合平均的径流变化。在欧洲南部，径流明显减少；在东南亚和高纬度地区，径流明显增加；不同模式之间变化的方向存在一致性(尽管变化的大小不太一致)。较大的变化达到1980年至1999年模拟值的20%或更多，从较潮湿地区的1毫米/日至5毫米/日，到沙漠地区的低于0.2毫米/日。高纬度地区的河流量增加，而中东、欧洲和中美洲的主要河流量趋于减少。**[WGI 10.3.2.3]** 不过，变化的大小随气候模式而变，在一些地区如南亚，径流可能增加，也可能减少。正如第2.2.1节所指出的那样，CO<sub>2</sub>富集的影响可能导致蒸发减少，从而引起径流量的较大增加或小幅减少。**[WGI 7.2]**

图2.10显示了2090年至2099年期间年径流量相对于1980年至1999年的变化。数值表示采用SRES A1B情景的12个气候模式的中值。阴影和涂白分别被用来标明在变化方向上模式一致或者不一致的那些地区，注意到有很大一片区域，其变化方向是不确定的。这幅全球年径流量的图只阐明了大尺度的变化，并不准备解释在小时间(如季节)和空间尺度上的变化。在那些降雨和径流极少的地区(如沙漠地区)，很小的径流变化可能导致很大的百分率变化。在一些地区，预估的径流变化的方向不同于最近观测到的趋势(第2.1.6节)。在预估径流将增加的一些地区，预计将出现不同的季节影响，如雨季径流增加，旱季径流减少。**[WGII 3.4.1]**

一个非常确凿的发现是，变暖将导致河流量季节性的变化，在那些大多数冬季降水目前是雪的地区，由于融雪减少或者提前，春天的流量将减少。这一情形已经在欧洲阿尔卑斯山、斯堪的纳维亚半岛和波罗的海附近地区、俄罗斯、喜马拉雅山以及北美洲的西部、中部和东部地区出现。影响最大的是较低海拔地区，那里的降雪比较有限，在许多情形下，到21世纪中叶，洪峰流量将至少提前一个月出现。在那些很少或者没有降雪的地区，径流的变化更多地依赖于降雨的变化而不是温度的变化。在这些地区进行的大多数研究预计，流量的季节性增加，在洪峰流量季节通常具有较高的流量，而在低流量的季节或者延长的旱季则具有较低的流量。[WGII 3.4.1]

许多流经冰川覆盖地区(特别是亚洲高山脉和南美洲安第斯山脉)的河流，是通过暖干时期的冰川融化来维持的。由于全球变暖引起的这些冰川的后退将导致短期内河流流量的增加，但在未来几十年里，冰川融化的贡献率会逐渐减小。[WGII 3.4.1]

湖泊水位的变化反映了河流流入量的季节分布、降水和蒸发的变化，在某些情形下，反映了多年的综合变化。因此，湖泊可能以一种完全非线性的方式对于流入量的线性变化作出响应。对北美洲大湖地区和里海的研究表明，到本世纪末，水位的变化量级为数十厘米，有时候为若干米。[WGII 3.4.1]



**图2.10:** 2090年至2099年期间年径流量相对于1980年至1999年的大尺度变化。白色区域表示那些12个模式集合关于变化方向的一致性小于66%的地区,阴影区域表示那些模式关于变化方向的一致性大于90%的地区(Milly等,2005)。(基于SYR图3.5和WGII图3.4)

### 2.3.7 大尺度变率的型态

基于《第四次评估报告》的全球气候模式，预估在亚热带和中纬度地区海平面气压将增加，在高纬度地区海平面气压将减小。这些变化与哈德莱环流的扩大以及北半球环状模态/北大西洋涛动(NAM/NAO)和南半球环状模态(SAM)的增加趋势有关。由于这些变化，预估风暴路径将向极地方向移动，引起热带以外地区的风、降水和温度的相应变化，从而延续过去半个世纪所观测到的普遍的变化趋势。[WGITS, 10.3.5.6, 10.3.6.4]

未来的热带气旋可能将变得更强，带来更大的峰值风速和更强的降水，这与热带SST的不断升高有关。[WGISPM, 10.3.6.3]

预估东赤道太平洋的海面温度将高于西赤道太平洋的海面温度，降水也相应东移。所有模式均表明，未来厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)的年际变化将继续，但不同模式在预估的厄尔尼诺幅度变化和模拟的厄尔尼诺固有的多年代时间尺度变率方面存在大的差异，这不可能明确地预估ENSO变率的趋势。[WGITS, 10.3.5.3, 10.3.5.4]

预估在北半球温带地区的寒冷季节，月平均地表气温的年际变率将减小；在低纬度和北半球中纬度地区的温暖季节，年际变率将增大。前者可能是由于海冰和雪随着温度升高而减少，后者则是由于中纬度地表夏季土壤水分的减少。预估在大多数地区，无论是绝对值(标准偏差)还是相对值(变异系数)，月平均降水变率都将会增加。然而，这些变率变化预估值的显著性水平却很低。[WGI 10.3.5.1]



# 3

---

## 气候变化与水资源的关联： 影响和响应

---



### 3.1 观测到的气候变化影响

#### 3.1.1 观测到的冰冻圈变化的影响

冰冻圈变化的影响已有文献刊载，涉及几乎所有冰冻圈部分，有确凿证据表明总体上冰冻圈的变化是对因变暖增强，雪冰物质减少的响应。

##### 3.1.1.1 山地冰川和冰帽、冰盖和冰架

山地冰川和冰帽的变化效应已在文献中记载，如在径流方面(Kaser等，2003年；Box等，2006年)，在改变灾害条件方面(Haerberli和Burn，2002年)和在海洋淡化方面(Bindoff等，2007年)。也有新的证据表明由于最近阿拉斯加冰川融化使得目前地壳出现抬升(Larsen等，2005年)。融化加强，以及冰川融化季节延长，首先可导致江河径流和流量峰值增加，而在较长时间(十年至百年尺度)内，预计冰川径流将减少(Jansson等，2003年)。最近几十年因冰川融化加剧造成径流增加的证据已在安第斯山脉热带地区和阿尔卑斯山脉地区被检测到。[WGI 4.6.2; WGII 1.3.1.1]

随着几个陡峭山脉的冰川从突出的小冰期(LIA)冰碛退缩而正在形成冰川湖，包括喜马拉雅山脉(见框5.4)、安第斯山脉和阿尔卑斯山脉。埋藏冰的解冻还威胁小冰期冰碛的稳定。这些湖泊因此很有可能引起冰川湖洪水的爆发(GLOF)。各国政府机构开展了广泛的安全工作，有几个湖泊现在加固堤坝，或排水泄洪；但需要不断保持警惕，因为喜马拉雅山地区(Yamada，1998年)和安第斯山地区(Ames，1998年)仍存在数以十计有潜在危险的冰川湖，同时在世界其它山脉地区还有多个类似的湖泊。[WGII 1.3.1.1]

冰川退缩对景观造成了惊人的变化，影响了世界上许多山地地区的生活条件和当地旅游业(Watson和Haerberli，2004年；Mölg等，2005年)。图5.10是Chacaltaya冰川退缩对当地景观和滑雪产业的影响。气候变暖使得冰川的春夏融化加剧，特别是在消融地区，同时季节性积雪的损失使表面冰隙更多地暴露，例如，这反过来又可以影响冰雪跑道的运营，正如“南极半岛”的报道所述(Rivera等，2005年)。[WGII 1.3.1.1]

##### 3.1.1.2 积雪和冻土

由于积雪范围在时空上均有减少，过去65年期间北美洲和欧亚大陆北部地区春季江河流量高峰发生时间提前了1-2周。也有证据表明欧亚北部地区和北美洲冬季基流有所增加，以及根据测量结果，

低高度地区积雪有减少的趋势，从而影响了滑雪区。[WGII 1.3.1.1]

季节性冻土和多年冻土面积的缩小以及活跃层厚度的增加已导致了：

- 湖泊因多年冻土中的水被排出而消失，已在阿拉斯加(Yoshikawa和Hinzman，2003年)和西伯利亚(见图5.12)(Smith等，2005年)检测到这种后果；
- 阿拉斯加冻土公路上车辆能够行驶的天数减少；
- 对北极地区海岸侵蚀有所增加(例如Beaulieu和Allard，2003年)。[WGII 1.3.1.1，第15章]

#### 3.1.2 水文与水资源

##### 3.1.2.1 地表水系和地下水系的变化

自《第三次评估报告》以来，关于20世纪江河流量趋势方面已有过许多研究，尺度从集水区到全球不等。部分此类研究在江河流量某些指标中检测到显著的趋势，部分研究表明在统计上，与温度或降水有着显著联系；但是没有得到全球均一性趋势的报告。然而，许多研究没有发现趋势，或已无法区分温度和降水变化的影响与人类干预集水区所产生的影响，诸如土地利用变化和水库建设。江河流量的逐年变化在某些区域还受到大尺度大气环流型态的强烈影响，这些环流型态与ENSO、NAO和其它变率系统有关，这些系统的时间尺度是从十年到几十年不等。[WGII 1.3.2.1]

在全球尺度，有证据表明年径流变化型态有广泛的一致性，部分区域有所增加(Tao等，2003年a、b，中国；Hyvarinen，2003年，芬兰；Walter等，2004年，美国本土)，特别是在高纬度地区，而其它地区有所减少，如西非部分地区、欧洲南部和拉美南部(Milly等，2005年)。Labat等(2004年)认为在20世纪期间温度每升高1°C，全球径流总量则增加4%，区域变化也是围绕着这一趋势，但是这一观点受到了质疑，因为非气候驱动因素对径流有影响，资料点数量较少会造成偏差(Legates等，2005年)。Gedney等(2006年)提供了第一个临时证据，表明CO<sub>2</sub>强迫可导致径流增加，因为CO<sub>2</sub>浓度上升可对植物生理产生影响，虽然其它表明这种关系的证据还难以找到。探索趋势所用的方法也能影响结果，因为忽略江河集水区之间交叉相关性的影响可导致对表明显著趋势的集水区数量的过高估计(Douglas等，2000年)。[WGII 1.3.2.1]

浅含水层的地下流量是水分循环的一部分，而且因水回灌过程(Chen等，2002年)而受到气候变率和变化的影响，此外还受到许多地方人类干预的影响(Petheram等，2001年)。<sup>[WGII 1.3.2.1]</sup>世界各地许多蓄水层的地下水位表明在过去几十年中呈下降趋势<sup>[WGII 3.2, 10.4.2]</sup>，但是这一般是由于地下水的抽取超过了地下水的回灌速度，而不是由于气候原因造成的地下水回灌减少。也许在有些区域，如澳大利亚西南部，地下水抽取量的增加不仅是因为需水量的增加，而且是因为气候造成了从地表水向地下回灌量减少(西澳大利亚政府，2003年)。在加拿大温尼伯附近的碳酸盐含水层上层，浅井流量仪观测表明无明显的趋势，但是展现了与年温度和降水相关的3–4年的变化(Ferguson和George，2003年)。由于缺乏资料，以及地下水系对回灌条件变化的响应非常缓慢，因此尚未观测到与气候有关的地下水回灌变化。<sup>[WGII 1.3.2, 3.2]</sup>

目前，尚未发现湖泊水位有全球一致的趋势。虽然蒙古和中国(新疆)的一些湖泊水位因雪冰融化增加而有所上升，但是中国(青海)、澳大利亚、非洲(津巴布韦、赞比亚和马拉维)、北美洲(北达科他)和欧洲(意大利中部)的其它湖泊水位由于干旱、变暖和人类活动的综合影响而有所下降。在北极多年冻土区，最近因气候变暖发生融化而临时形成了湖泊，又因多年冻土退化而迅速出现冰的流失(例如Smith等，2005年)。北极冰架上形成的一个湖泊(即冰架湖<sup>12</sup>)。有报告指出了类似的影响，冰架崩塌后，该湖便消失了(Mueller等，2003年)。Le Treut等对多年冻土和冰架湖作了详细的论述(2007)。<sup>[WGII 1.3.2.1]</sup>

### 3.1.2.2 水质

近几十年的观测表明湖泊与江河水温变暖与气候有关。<sup>[WGII 1.3.2]</sup>因此，淡水生态系统在物种组成、生物丰度、生产力和物候变迁(包括鱼类迁移提前)发生了变化。<sup>[WGII 1.3.4]</sup>另外，由于变暖，许多湖泊呈现出长期的层结，表层养分浓度下降<sup>[WGII 1.3.2]</sup>，深层的耗氧期延长。<sup>[WGII Box 4.1]</sup>由于强烈的人为影响与气候变化无关，因此尚无证据显示湖泊、江河和地下水中其它水质参数出现与气候有关的一致性趋势(例如：盐度、病原体或养分)。<sup>[WGII 3.2]</sup>

#### 湖泊的热结构

有报告指出，响应于较暖的环境，湖泊水温有所升高(表3.1)。冰盖期有所缩短，河冰、湖冰厚度有所下降，在第2.1.2节和Le Treut等(2007年)对此作了

论述。浮游植物动力学和初级生产力随着湖泊的物理变化也已改变。<sup>[WGII 1.3.4.4, 图1.2, 表1.6]</sup>自1960年以来，欧洲、北美洲和亚洲湖泊、河面水温度已升高0.2°C至2.0°C。自1900年以来，随着地表水变暖，东非大的湖泊(Edward、Albert、Kivu、Victoria、Tanganyika和Malawi)的深水温度(可反映长期趋势)升高了0.2°C至0.7°C。水温升高，无冰期延长，对湖泊的热层结和内部流体力学产生了影响。在温暖年份，地表水温度升高，可蒸发水的损失增加，夏季层结出现时间提前，温跃层变浅。在欧洲和北美的几个湖泊中，层结期提前了20天，延长了2–3周，同时热稳定性有所增加。<sup>[WGII 1.3.2.3]</sup>

#### 化学

层结增加可减少整个温跃层的水运动，抑制上涌和混合，影响对食物链的基本养分供应。欧洲和东非湖泊中，地表水养份下降，深水浓度相应上升，这是因为热稳定性加大而使上涌减少所致。许多湖泊、江河的集水区出现了硫酸盐、盐基离子和二氧化硅等浓度的增加，加大了碱度和电导率，因为硅酸盐、钙和镁硫酸盐或碳酸盐岩增加了风化过程。相比之下，当温度升高，促进一些较高山地生态系统的植被生长和土壤发育时，由于有机酸输入的增加，碱度有所下降(Karst-Riddoch等，2005年)。冰川融化增加了有机氯(已经通过大气传输到冰川并储存其中)向加拿大亚高山湖的输入(Blais等，2001年)。<sup>[WGII 1.3.2.3]</sup>

温度升高还影响到湖中化学过程(表3.1；关于已观测到的其它化学特性的变化，另见WGII 表SM1.3)。浮游植物生产力有所增加，溶解的无机氮已下降(Sommaruga-Wograth等，1997年；Rogora等，2003年)，湖中碱度生成加强，软水湖中pH值上升(Psenner和Schmidt，1992年)。温度升高，溶解度下降可促使铝浓度显著下降11%–13%(Vesely等，2003年)，而湖泊水温升高，汞甲基化过程加剧，鱼的汞含量上升(Bodaly等，1993年)。俄罗斯贝加尔湖中与区域气候变暖有关的硅含量减少并已有文件记载。日本27条河流的水质资料也表明由于气温升高，其化学和生物特性均恶化。<sup>[WGII 1.3.2.3]</sup>

#### 侵蚀和沉积

在世界许多地区，水侵蚀有所增加，这主要是由于人为改变土地利用所带来的后果。由于缺乏资料，没有证据可以支持或反对过去出现的侵蚀和输沙变化与气候有关。<sup>[WGII 3.2]</sup>

<sup>12</sup>位于冰架下的水体，主要是淡水。

### 3.1.2.3 洪水

各种气候和非气候过程影响着洪水过程，导致江河洪涝、山洪暴发、市区洪涝、污水漫溢、冰川湖突发洪水(GLOF，见框5.4)和海岸带洪水。这些致洪过程包括强降水和/或持续降水、融雪、溃坝、由于冰凌或滑坡或风暴造成的水输送量减少。洪水取决于降水强度、降水量、降水时间、降水相(雨或雪)，取决于江河的前期条件及其排水流域(如雪/冰的存在、土壤特性和现状(冻结与否、是否饱和)、湿度、雪/冰融化速度和时间、城市化、(是否建有堤防、水坝和水库)。人类对洪泛平原的侵占，以及缺乏防洪应急计划，增加了破坏潜力。[WGII 3.4.3] 已观测到的降水强度增加及所观测到的其它气候变化，如：欧洲冬季西风天气型态的增加，导致了多雨的低气压系统，常常引发洪水(Kron和Berz, 2007年)，这表明气候变化可能已经影响了洪水的强度和频率。[WGII 3.2] 《第四次评估报告》第一工作组的决策者摘要的结论是20世纪后期大部分地区强降水事件的频率可能增加，并且多半可能人类对这一趋势做出了贡献。[WGI 表SPM-2]

在全球，过去10年(1996-2005)的内陆洪水灾害数量是1950年至1980年期间每十年发生洪水数量的两倍，同时相关的经济损失增加了五倍(Kron和

Berz, 2007年)。洪水损失增加趋势的主驱动力是社会经济因素，如经济增长、人口增多和财富增长并集中在脆弱地区以及土地利用变化。洪水是许多地区报道最多的自然灾害事件，每年平均受灾人口为1.4亿(WDR, 2003年, 2004年)。在孟加拉国，在1998年发生洪水期间，大约70%的国土被淹(而平均值为20–25%)(Mirza, 2003年；Clarke和King, 2004年)。[WGII 3.2]

由于洪水损失的增长速度比人口或经济增长速度快，所以必须考虑其它因素，包括气候变化(Mills, 2005年)。有举足轻重的观测证据表明水分循环正在加速(Huntington, 2006年)。[WGII 3.4.3] 强降水事件的频率有所增加，这与气候变暖以及与所观测到的大气水汽增加相一致。[WGI SPM, 3.8, 3.9] 但是，在高流量趋势文献中却无有关各处均出现增加的记录。虽然Milly等(2002年)根据对大流域资料所作的分析发现，全球大部分地区“大”洪水频率明显增加(重现期>100年)，后续研究所提供的证据则没有如此广泛。Kundzewicz等(2005年)发现(27个地方)大洪水有所增加，(31个地方)有所减少，全球范围所研究的195个集水区中余下的137个未发现变化趋势。[WGII 1.3.2.2]

表3.1: 径流/溪流、湖泊水位和洪水/干旱变化观测。[WGII 表1.3]

环境因素	观测到的变化	时间段	地点
径流/溪流	每年增加5%，冬季增加25–90%，冬季基流增加是由于多年冻土融化、解冻增加	1935–1999	北极地区排水流域：Ob, Lena, Yenisey, Mackenzie
	高峰溪流提前1–2周，由于气候变暖驱动融雪提前	1936–2000	北美西部、新英格兰、加拿大、欧亚大陆北部
洪水	灾害性洪水频率增加(0.5–1%)，由于河冰破裂和大雨提前	近些年	俄罗斯北极地区河流
干旱	干旱年最大日溪流量下降29%，由于温度升高，蒸发增加，降水未变	1847–1996	加拿大南部
	由于与近年热带太平洋西部和热带印度洋西部变暖有关的夏季干燥，异常温暖	1998–2004	美国西部
水温	湖泊温度升高0.1–1.5°C	40年	欧洲、北美、亚洲(100个台站)
	湖泊温度(深水)升高0.2–0.7°C	100年	东非(6个台站)
水化学	湖泊和河流分层增加，生长期延长，养分减少	100年	北美、欧洲、东欧、东非(8个台站)
	增加了湖泊和河流集水区的风化或内部处理	10–20年	北美、欧洲(88个台站)

### 3.1.2.4 干旱

干旱一词可指气象干旱(降水量远低于平均值)、水文干旱(江河、湖泊和地下水的低流量和低水位)、农业干旱(土壤水分含量低)和环境干旱(上述现象总合)。干旱的社会经济影响可由于自然条件与人类因素之间的相互作用而发生,如改变土地用途、改变土地覆盖以及改变需水量及用途。过量抽水可加剧干旱的影响。[WGII 3.4.3]

自20世纪70年代以来,干旱已变得更为常见,特别是在热带和亚热带地区。《第四次评估报告》第一工作组的决策者摘要的结论是自20世纪70年代以来,受干旱影响的面积可能已增加,这一趋势多半可能是人为因素所致。[WGI 表SPM-2] 陆地降水减少,温度增加,从而加强了蒸散,减少了土壤水分,这些是造成更多地区出现干旱的重要因素,如同按Palmer干旱严重程度指数(PDSI)测量的结果(Dai等,2004b)。[WGII 3.3.4]

发生干旱的区域似乎在很大程度上是由海面温度变化所确定的,尤其是在热带地区,而海面温度变化又与大气环流和降水变化有关。在美国西部,积雪减少及其后的土壤水分减少也似乎成为因素。在澳大利亚和欧洲,伴随最近发生的干旱所出现的高温和热浪具有极端性,与全球气候变暖有着直接联系。[WGI 3.ES, 3.3.4]

Dai等(2004b)使用PDSI发现北半球陆地自20世纪50年代中期以来出现大面积干旱的趋势,欧亚大陆大部、非洲北部、加拿大和阿拉斯加普遍变得干旱(图3.1)。在南半球,陆地表面在20世纪70年代湿润,而在20世纪60年代和90年代相对干旱,1974年到1998年出现干旱趋势,虽然1948年至2002年整个时期的干旱趋势不大。近几十年的陆地降水减少是造成干旱趋势的主要原因,虽然过去20-30年大范围地表变暖可能已助长了这种干旱。就全球而言,自20世纪70年代以来,非常干旱的地区(定义是陆地地区PDSI小于-3.0)增加了一倍以上(从~12%至30%),由于ENSO原因,陆上降水减少,80年代初期有大幅度增加,其后的降水增加主要是由于地表变暖所致(Dai等,2004b)。[WGI 3.3.4]

干旱影响雨养农业生产以及生活、工业和农业供水。一些干旱、半干旱和半湿润地区,如澳大利亚 [WGII 11.2.1]、美国西部和加拿大南部 [WGII 14.2.1]以及萨赫勒地区(Nicholson, 2005年)更多地发生了为时多年、更大的干旱。[WGII 3.2]

2003年发生在欧洲的热浪可归因于全球气候变暖(Schär等,2004年),同时造成年降水量下降达300毫米。这次干旱估计造成欧洲陆地生态系统的初级生产力总值下降了30%(Ciais等,2005年)。许多主要河流(如波河、莱茵河、卢瓦尔河和多瑙河)达到创纪录的低水位,导致内河航运、灌溉及电厂冷却等的中断(Beniston和Diaz,2004年; Zebisch等,2005年)。阿尔卑斯山地区冰川极度融化未使多瑙河和莱茵河水流量降至更低(Fink等,2004年)。[WGII 12.6.1]

## 3.2 未来由于气候变化而导致可用水量和水需求的变化

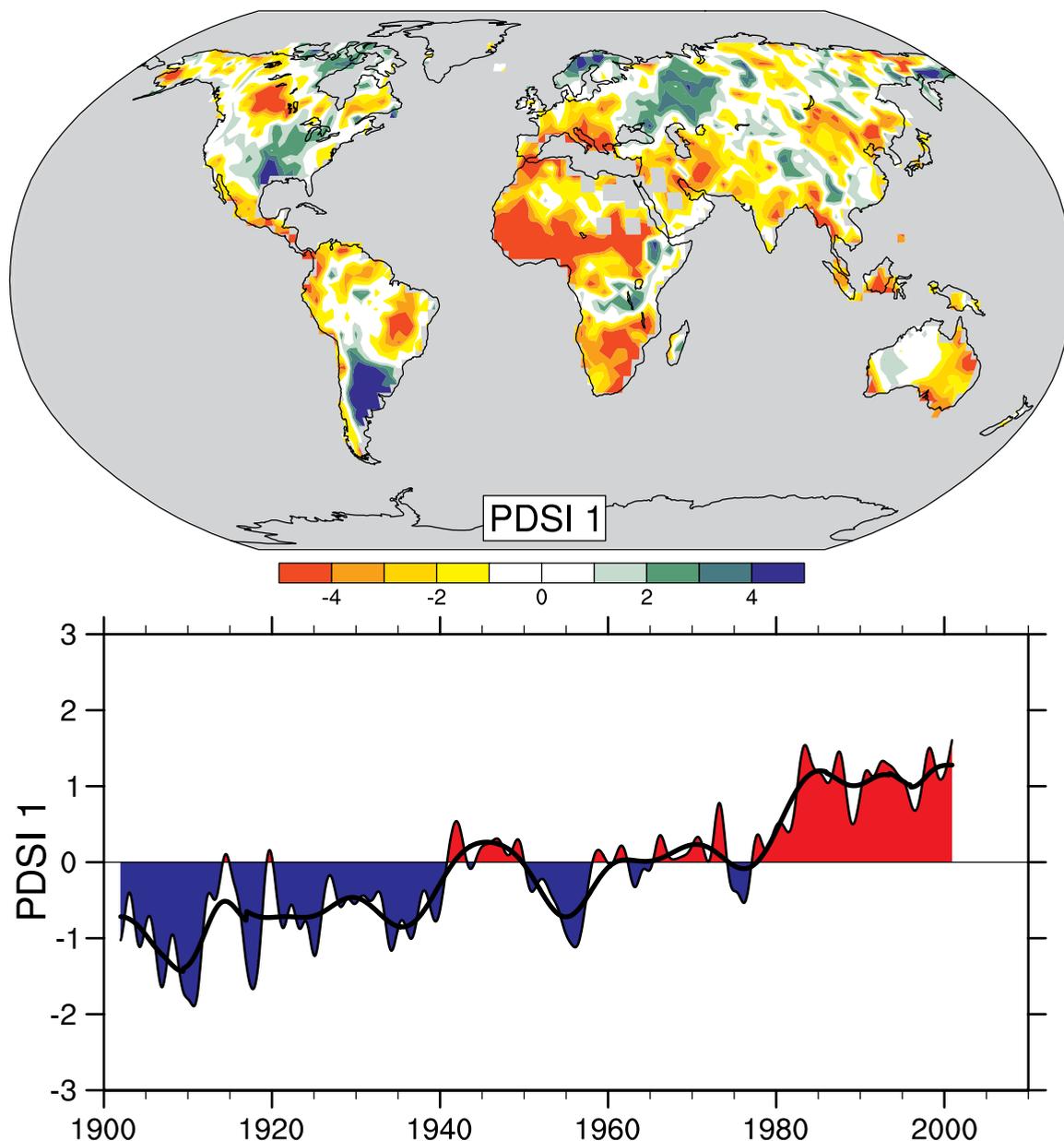
### 3.2.1 未来淡水系统的气候驱动因子

可用水量的最主要气候驱动因子是降水、温度和蒸发量(取决于地面净辐射、大气湿度、风速和温度)。温度对积雪为主的流域和海岸带地区尤为重要,对海岸带地区之所以重要是由于温度对海平面的影响。(由于水的热膨胀作用,海平面可整体上升)。[WGII 3.3.1]

关于预估的水平衡中上述分量的变化,见第2.3节。简言之,预估每年整个陆地江河总径流量将会增加,尽管是有些区域径流量显著增加,有些地区显著减少。但是对增加的径流量却无法充分利用,除非是有足够的基础设施能收集和存储额外的水。在海洋上,预估“蒸发减去降水”项将会有净增加。

#### 3.2.1.1 地下水

气候变化影响地下水的回灌率(即:可再生的地下水资源)和地下水位的深度。然而,对发达国家和发展中国家当前的回灌和水位情况了解不多;有关气候变化对地下水的未来影响或有关地下水与地表水的相互作用的研究甚少。在高纬度地区,多年冻土的解冻可使地下水水位和水质发生变化,因为与地表水的耦合有所增加。[WGII 15.4.1] 由于许多地下水变成地表水,又从地表水回灌成地下水,因此预计地表水流系将影响地下水。在湿润地区,降水变率增加可减少地下水的回灌量,因为强降水事件频率的增加可使土壤透支其渗透能力的频率相应增加。



**图3.1：**1900至2002年月平均Palmer干旱严重程度指数(PDSI)的最重要空间型态(主分量分析的第一个分量；上图)。PDSI是一个干旱的显著度指数，用于衡量地表水分的累计亏值(相对于局地平均条件)，该指数把以往的降水量和进入大气的水分估值(根据大气温度)纳入水文统计系统<sup>13</sup>。下图显示自1900年以来，这一型态的正负值和强度的变化。当下图给出数值为正值(或负值)时，上图中的红色和橙色区域表示相对于平均值为少雨(或多雨)区，而蓝色和绿色区域则表示多雨(或少雨)区。平滑后的黑色曲线表示年代际变化。时间序列与某个趋势大致呼应，就全球陆地面积而言，这一型态及其变化占1900至2002年期间PDSI线性趋势的67%。因此，这一趋势的特征是非洲干旱逐渐普遍增加，例如：特别是萨赫勒地区。还请注意多雨地区，特别是北美和南美东部地区及欧亚大陆北部地区(Dai等，2004b)。[WGI FAQ 3.2]

<sup>13</sup>注意在积雪含降水的区域(如极地地区)，PDSI指数并非实际模拟该区域的干旱。

但是，在干旱和半干旱地区，降水变率增加可增加地下水的回灌，因为只有高强度降雨才能够快速渗透，不至蒸发，而冲积含水层的回灌主要是靠洪水。[WGII 3.4.2]

根据全球水文模式的结果(见图3.2)，经过全球平均后，地下水回灌的增加量小于总径流量(少2%，而到21世纪50年代将少9%，即ECHAM4的气候变化对SRES A2情景的响应：Döll和Flörke, 2005年)。对所有四个气候变化情景(ECHAM4和HadCM3 GCM采

用了SRES A2和B2排放情景<sup>14</sup>)作了研究，经计算，到21世纪50年代地下水回灌量在下列区域将减少70%以上：巴西东北部、非洲西南部和地中海南岸一带。不过，由于这项研究未考虑到预计增加的日降水率，因此对回灌量减少的估计也许有些过高。在水深度增加，地下水回灌减少的地方，依赖含水层的湿地受到损害，旱季江河的基本径流量减少。经计算，到21世纪50年代地下水回灌量将增加30%以上的地方包括萨赫勒、近东、中国北部地区、西伯利亚和美国西部。在地下水位已经很高的地区，回灌量

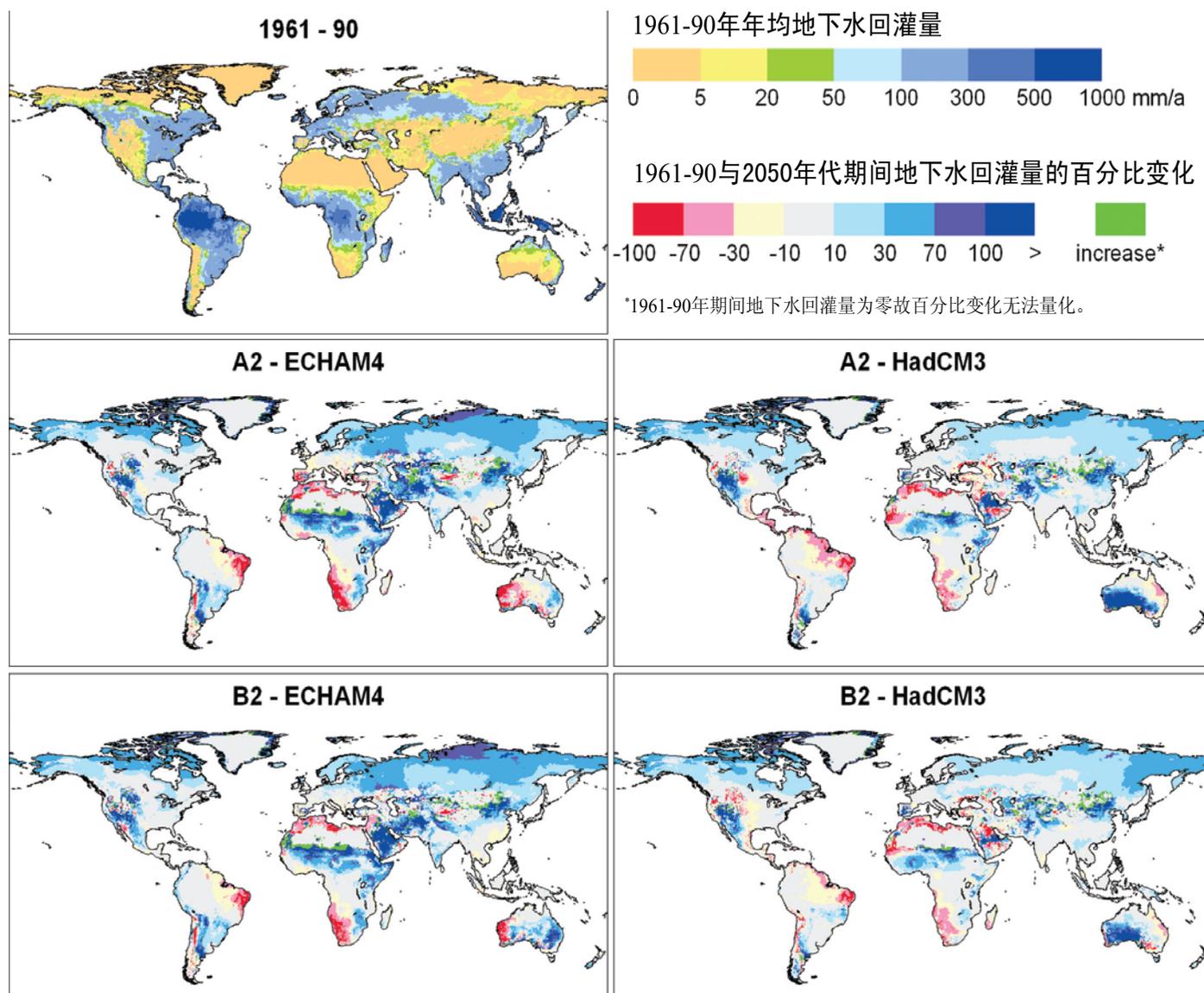


图3.2：气候变化对长期平均年扩散性地下水回灌的影响的模拟结果。当前(1961–1990)至21世纪50年代(2041–2070)期间30年地下水平均回灌量的百分比变化，用全球水文模式WGHM的计算，采用了四个不同的气候变化情景(基于ECHAM4和HadCM3气候模式和SRES A2和B2排放情景)(Döll和Flörke, 2005年)。[WGII 图3.5]

<sup>14</sup> 模式描述见附件I。

的增加也许因土壤盐碱化和土壤涝渍而使城镇和农业出现问题。[WGII 3.4.2]

在气候变化对个别含水层地下水影响方面所作的研究甚少，研究表明对于某些地点和气候模式的结果有很强的针对性(如，Eckhardt和Ulbrich，2003年，欧洲中部地区低山脉的集水区；Brouyere等，2004年，比利时的白垩纪含水层)。例如，在奥加拉拉(Ogallala)含水层区域，预估天然地下水回灌量会减少20%以上，气候变暖2.5°C以上时，各模拟的结果均是如此(Rosenberg等，1999年)。[WGII 14.4] 由于气候变化，世界上许多含水层春季回灌转向冬季回灌，而夏季回灌有所下降。[WGII 3.4.2]

### 3.2.1.2 洪水

如第2.3.1节所述，预估在整个21世纪大多数区域强降水事件将会变得更加频繁。这会影响到山洪暴发和城市发生洪水的风险。[WGI 10.3.5, 10.3.6; WGII 3.4.3] 表3.2给出了一些潜在的影响。

通过多模式分析，Palmer和Räisänen(2002年)预估欧洲中部和北部大部分地区出现甚多降水冬季的风险大大增加，这是由于与中纬度风暴有关的强降水增加所致。北半球冬季降水总量超过正常以上两个标准偏差的概率，由于欧洲大部分地区CO<sub>2</sub>出现倍加，因此预估该降水概率将会大大增加(五至七倍)，可能造成冬季洪水的后果。另预估在降水多的亚洲季风季节风险将会加大(Palmer和Räisänen，2002年)。据Milly等的研究(2002年)，如果CO<sub>2</sub>增加四倍，预估在全世界16个大流域中有15个将会经常突破月平均江河流流量百年一遇洪峰。预估在一些地区，目前百年一遇的洪水(在控制运算中)将会更频繁地发生，甚至每2-5年发生一次，虽然这些预估具有大的不确定性。在许多温带地区，融雪对春季洪水所起的作用可能下降(Zhang等，2005年)。[WGII 3.4.3]

根据气候模式，预估全球温度升高2°C，孟加拉国发生洪水的地区将会至少增加23%-29%(Mirza，2003年)。[WGII 3.4.3]

**表3.2:** 根据到21世纪中叶乃至后期的预估，因与极端降水有关的天气和气候事件引发的气候变化可能产生影响的实例。这些实例未考虑适应能力的任何变化或发展。第2栏给出了针对第1栏所列现象的可能性估计。现象的趋势方向和可能性是根据IPCC SRES情景预估的气候变化。[WGI 表SPM-2; WGII 表SPM-2]

现象 <sup>a</sup> 和趋势方向	利用SRES情景 预估21世纪 未来趋势的可 可能性	按行业划分的主要预估影响实例			
		农业、林业和生态 系统[4.4, 5.4]	水资源 [3.4]	人类健康 [8.2]	工业、人居环境和社会 [7.4]
强降水 事件：多数 地区发生频率 增加	很可能	农作物受损；土壤 侵蚀，土壤渗透导 致无法耕种	对地表水和地下水 的水质有不利影响； 供水受到污染； 水短缺或许缓解	造成死亡、伤害， 引起传染病、呼 吸道疾病和皮肤 病	洪水破坏人居环境、 商业、交通运输和 社会；对城乡基础 设施造成压力； 财产损失
受干旱影响 的地区增加	可能	土地退化、 产量降低/农作物 受损和歉收； 牲畜死亡增加； 野火风险增大	面临更大范围的 缺水压力	粮食和水短缺的 风险增大；营养 不良的风险增大； 患水源性和食源 性疾病的风险增 大	人居环境、工业和 社会的水短缺；水 力发电潜力降低； 潜在的人口迁移
强热带 气旋活动 增加	可能	农作物受损； 树木被风刮倒； (连根拔起) 珊瑚礁受损	停电造成 公共供水 中断	造成死亡、伤害、 患水源性和食源 性疾病的风险增 大；创伤后患抑 郁失调症的风险 增大	遭受洪水和强风的破坏； 在脆弱地区，私营保险 公司撤出保险范围；潜 在的人口迁移；财产损 失；

<sup>a</sup> 关于更详细的定义，见第一工作组第四次评估报告的表3.7。

气候变暖引起冰川上的常年积雪<sup>15</sup>覆盖厚度减少，使融水径流迅速加强，并使冰川河流发生洪水。[WGII 3.4.3]

英国各地洪水发生频率的未来变化估值有一定程度的不确定性。气候变化对洪水状况(大小和频率)的影响可能是正面的，也可能是负面的，这取决于所用的气候模式，融雪的作用大小，集水区的特点和位置，特别指出：在气候变化影响中仍存在这一不确定性(Reynard等，2004年)。[WGII 3.4.3]

### 3.2.1.3 干旱

受干旱影响的地区可能增加。[WGI SPM] 中部

大陆地区夏季出现干旱趋势，表明这些地区干旱风险加大。

[WGI 10.ES] 在对全球干旱频率的单一模式研究中，在SRES A2情景下，预估到21世纪90年代任何一个时间点上的极端干旱的地表比例、极端干旱事件的频率和平均干旱时段将会分别增加10至30倍、2倍和6倍(Burke等，2006年)。[WGI 10.3.6; WGII 3.4.3] 伴随着温度升高(蒸发量加大)，欧洲南部和中部的夏季降水减少将会不可避免地导致夏季土壤水分减少(参见Douveille等，2002年；Christensen等，2007年)，并增加干旱的频率和强度。[WGII 3.4.3] 如图3.3所示，预估到21世纪70年代，在西班牙和葡萄牙部分地区、法国西部、波兰维斯杜拉河流域和土耳其西

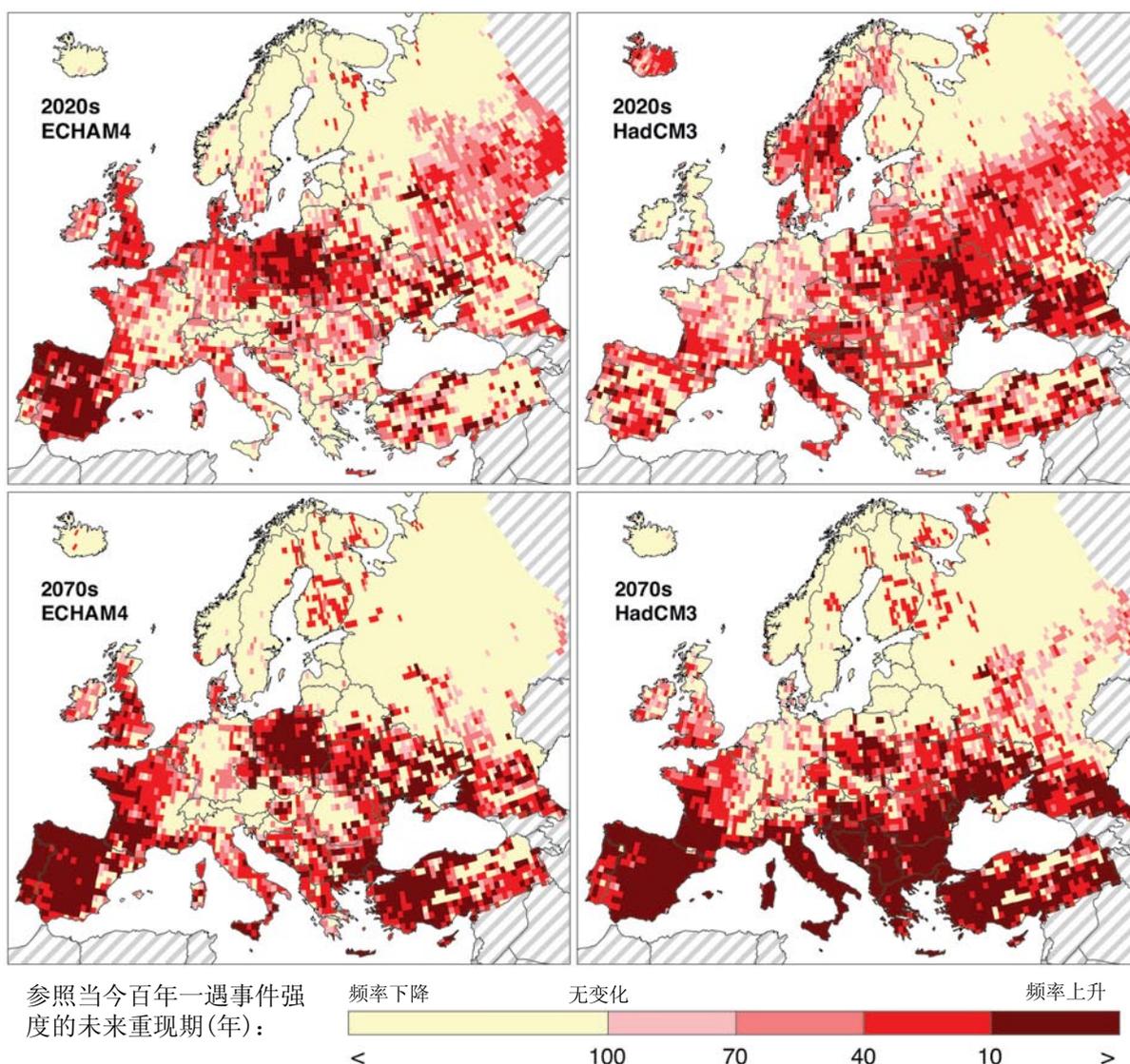


图3.3: 未来百年一遇的干旱重现率的变化，根据对1961–1990年期间气候与水利用的比较(Lehner等，2005年)。[WGII 图 3.6]

<sup>15</sup>常年积雪：处在变为冰川积冰(无渗透性)中间阶段的多年积雪(仍有渗透性)。

<sup>16</sup>每年，超过百年一遇洪水的机率为1%，而超过十年一遇洪水的机率为10%。

部，目前程度的百年一遇的大旱<sup>16</sup>将会重现，发生更频繁，不到10年出现一次(Lehner等, 2005年)。[WGII 3.4.3]

干旱地区扩大带来的部分影响见表3.2。预估融雪时间将会提前，融雪期的融雪量将会减少，这将会加大靠融雪供水的流域在流量偏低季节—夏季和秋季的干旱风险。预估加大干旱风险的区域将是那些在很大程度上旱季主要依赖于冰川融水供水的地区(Barnett等, 2005年)。在安第斯山脉, 冰川融水在漫长的旱季维持着河流量和数以千万计人口的供水。预计许多小冰川, 如位于玻利维亚、厄瓜多尔和秘鲁的冰川(参见Ramírez等, 2001年; 框5.5), 在未来几十年内将会消失。兴都库什山脉和喜马拉雅山脉的冰川和积雪融水是中国、巴基斯坦和印度的亿万人民所赖以生存的水资源, 这些地区将受到不利影响(Barnett等, 2005年)。[WGII 3.4.3]

#### 3.2.1.4 水质

预估水温升高, 降水强度增加, 低流量期延长将会加剧许多形式的水污染, 包括沉积物、营养物质、可溶有机碳、病原体、农药、盐和热污染等。这将促进藻华大量繁殖(Hall等, 2002年; Kumagai等, 2003年), 并增加细菌和真菌含量(加拿大环境部, 2001年)。反之, 这又将影响生态系统、人类健康和供水系统的可靠性及运营成本。[WGII 3.ES]

由于热稳定性增加, 混合型态发生变化, 温度升高可能降低湖泊的水质, 从而减少含氧量, 增加沉积物的磷释放量。例如, 安大略湖湾磷含量夏季已经很高, 如果水温升高 $3^{\circ}\text{C}$ – $4^{\circ}\text{C}$ , 磷含量可能会增加一倍(Nicholls, 1999年)。不过, 温度升高也可以改善冬季/春季水质, 因为冰融时间提前, 氧含量相应增加, 冬季鱼的死亡减少。[WGII 4.4.8, 14.4.1]

降雨强度加大将导致湖泊和水库中悬浮固体物(浊度)增加, 因为水土流失流入江河(Leemans和Kleidon, 2002年), 同时污染物也将流入(Mimikou等, 2000年; Neff等, 2000年; Bouraoui等, 2004年)。降水强度预估会有所加大, 预计将导致水质恶化, 因为加大了病原体和其它可溶污染物向地表水和地下水的输送(如农药); 水土流失增加, 进而引发吸附污染物的污染, 如磷和重金属。此外, 强降水事件频率增加将使污水系统不堪重负, 使水厂和污水处理厂更频繁地超负荷运行。[WGII 3.4.4] 水流偏低情况发生次数增加将使污染物稀释能力下降, 从而增加了污染物含量, 包括病原体。[WGII 3.4.4, 14.4.1] 在径流整体下降的地区(如许多半干旱地区), 水质将恶化。

在半干旱和干旱地区, 气候变化可能增加浅层地下水的盐碱化, 因为蒸散量会有所增加。[WGII 3.4.2] 预估许多半干旱地区的河流量将会减少, 河流和河口的盐度将会增加。[WGII 3.4.4] 例如, 预估到2050年澳大利亚默里-达令流域水源的盐度将会增加13%–19%(Pittock, 2003年)。一般而言, 地下水回灌的减少会使地下盐分的流动减少, 因此可以平衡江河与河口盐分因稀释下降所带来的影响。[WGII 11.4]

在沿海地区, 海平面上升可对雨水排水和污水处理造成负面影响[WGII 3.4.4] 并增加了咸水侵入海岸带蓄水层地下淡水的可行性, 从而对地下水资源造成不利影响。[WGII 3.4.2] 对于两个位于印度沿海附近面积不大、地势平坦的珊瑚岛, 如果海平面只上升0.1米, 经计算淡水透镜体的厚度则分别从25米下降到10米, 从36米下降到28米(Bobba等, 2000年)。地下水回灌的任何减少将加大海平面上升的影响。在内陆蓄水层, 地下水回灌的减少可导致盐水侵入邻近咸水含水层(Chen等, 2004年)。[WGII 3.4.2]

#### 3.2.1.5 水土流失和沉积

所有关于水土流失的研究均表明预计降雨强度会有所增加, 从而加大流失速率。[WGII 3.4.5]此外, 冬季降水将从侵蚀性小的降雪向侵蚀性大的降雨转移, 因为冬季温度升高可加强侵蚀作用, 例如可给农业地区的水质带来负面影响。[WGII 3.4.5, 14.4.1]

多年冻土的融化可导致之前的非侵蚀性土壤变成可侵蚀状态。[WGII 3.4.5] 气候变化对侵蚀的进一步间接影响与气候变化及有关适应行动所引起的土壤和植被变化有关。[WGII 3.4.5] 关于气候变化对沉积物输送的影响所作的为数甚少的研究表明, 由于侵蚀作用增加, 输送过程有所加强, 特别是在径流增加的地区。[WGII 3.4.5]

#### 3.2.2 未来淡水系统的非气候驱动因素

许多非气候驱动因素可在全球范围内对淡水资源产生影响(联合国, 2003年)。水资源的数量和质量均受到土地利用变化、水库建设和管理、污染物排放以及水和废水处理等影响。用水取决于人口、粮食消费、经济(包括水价)、技术、生活方式和社会对淡水生态系统价值的看法等方面的变化。淡水系统对气候变化的脆弱性还取决于国内和国际层面的水管理。可以预计在世界范围内将越来越多地遵循‘水

资源综合管理'(IWRM)<sup>17</sup>模式(联合国, 2002年; 世界银行, 2004a; 世界水事理事会, 2006年), 这一运作有可能将水问题既定为资源, 又定为生态系统, 使之处在决策的中心。这有可能减少淡水系统受气候变化的影响程度。环境流量需求的考虑可导致对水库运行的改变, 从而可节制人类对这类水资源的利用。[WGII 3.3.2]

### 3.2.3 气候变化对未来可用淡水量的影响

关于供水, 就全球而言, 气候变化的成本很可能将超过效益。原因之一是降水变率很可能增加, 洪水和干旱频率预期会有所增加, 有关论述见第2.1.6节和第2.3.1节。融雪养流域在枯水季节的干旱风险将有所增加, 有关论述见第3.2.1节。洪水和干旱的影响可以通过基础设施投资和改变对水利及土地利用的管理而得到缓解, 但是此类措施的实施将涉及费用(美国全球变化研究计划, 2000年)。在当前条件下建立的水利基础设施、水利用模式和管理体制已经发展了。洪水/干旱频率方面的任何重大变化, 或供水量和质量或季节时间上的任何重大变化将需要做出调整, 而费用可能是高昂的, 不仅是在资金方面, 而且在社会和生态影响方面也是如此, 包括还需要管理不同利益集团之间可能发生的利益冲突(Miller等, 1997年)。[WGII 3.5]

水文变化可对某些方面产生正面影响, 而对其它方面可产生负面影响。例如, 年径流量增加也许使可再生水资源增加, 从而可为各种生态和非生态用水带来效益, 但是可同时因增加洪水风险而造成危害。最近几十年, 部分南美洲南部地区出现多雨趋势, 扩大了洪涝面积, 但是也提高了阿根廷潘帕斯地区的作物产量, 并提供了新的商业性捕鱼机会(Magrin等, 2005年)。[WGII 13.2.4] 径流量增加还可能破坏地下水位浅的地区。在这些地区, 地下水位上升可影响农业用水, 并破坏城区建筑。例如, 在俄罗斯, 当前每年由浅地下水位造成的损失估计为50-60亿美元(Kharkina, 2004年), 而且未来损失可能增加。此外, 如果增加的径流集中在丰水期, 年径流量的增加并不一定会增加现有水资源的效益。[WGII 3.5]

降水强度增加可导致地表水源浊度和养分及病原体增加。纽约市供水机构已将强降水事件确定为其面临的与气候变化有关的重大关切问题之一, 因为此类事件可使该市部分主要水库的浊度上升, 使其超过水源质量法定限度高达上百倍, 故需要增加大量处理和监测成本(Miller和Yates, 2006年)。[WGII 3.5.1]

### 3.2.4 气候变化对未来淡水需求的影响

温度升高, 降水变率增加一般会导致灌溉用水增加, 即使降水总量在生长季节保持不变。气候变化对最佳生长期的影响和对产量最大化的灌溉用水的影响已作过模拟, 但假设灌溉面积和/或气候变率均无变化(Döll, 2002年; Döll等, 2003年)。应用两个气候模式在IPCC SRES A2和B2情景下, 模式预估到2020年中国和印度这两个世界上灌溉面积最大的国家对灌溉净需求的变化分别为: 中国+2%到+15%, 印度-6%到+5%, 具体预估值取决于排放情景和气候模式(Döll, 2002年; Döll等, 2003年)。不同的气候模式对灌溉净需求的全球变化的预估结果均不相同, 估计增长幅度不等, 到21世纪20年代为1%-3%, 到21世纪70年代为2%-7%。灌溉净需求全球最大增幅来自基于B2排放情景的气候模式。[WGII 3.5.1]

在利润最大化条件下, 对伊利诺斯州玉米灌溉作了研究, 结果发现年降水量减少25%对灌溉可盈利性的影响与年降水减少15%的影响相同, 但后者加上了增加一倍的日降水标准差(Eheart和Tornil, 1999年)。该项研究还表明利润最大化的灌溉用水对降水变化的反应比产量最大化用水的反应更为强烈, 而且大气CO<sub>2</sub>加倍的影响却不大。[WGII 3.5.1]

由于气候变化, 家庭用水需求的增加(如通过增加花园浇水)和工业用水需求的增加可能相当小, 例如到21世纪50年代在一些选择的地方小于5%(Mote等, 1999年; Downing等, 2003年)。次要影响是电力需求有所增加, 用于建筑物制冷, 这往往会增加抽水量, 以供热电厂冷却所用。对纽约市用水作的统计分析表明, 在温度高于25°C 以上天数内, 人均日用水量每升高1摄氏度增加11升(约为目前人均日用水量的2%)(Protopoulos等, 2000年)。[WGII 3.5.1]

<sup>17</sup> 关于水资源管理的主要概念, 尚无明确的定义。IWRM是基于四项原则, 是由1992年在都柏林召开的国际水事与环境大会制定的: (1) 淡水是一种有限的和脆弱的资源, 是维持生命、发展和环境所不可缺少的; (2) 水的开发和管理应基于参与方法, 涉及各级用户、规划者和决策者; (3) 妇女在水的供应、管理和保护方面发挥着核心作用; (4) 水在其所有用水竞争中具有经济价值, 应被视作一种经济物品。

### 3.2.5 气候变化对未来缺水压力的影响

对全球生活在面临缺水压力地区的人口数量，一些研究的估计差别很大(Vörösmarty等, 2000年; Alcamo等, 2003a,b,2007年; Oki等, 2003年; Arnell, 2004年)。然而, 气候变化只是许多影响未来缺水压力因素中的一个; 人口、社会经济和技术等变化在大部分时间和大多数区域可能要发挥更重要的作用。到21世纪50年代, 四个IPCC SRES情景中人口预估的差异对生活在面临缺水压力的流域人口数量的影响大于气候情景中的差异对人口数量的影响(Arnell, 2004年)。生活在有缺水压力的流域人口数量将显著增加(表3.3)。预计到21世纪50年代之后面临缺水压力的人口数量变化在很大程度上取决于所采用的SRES情景。预估在A2情景下将会大幅增加, 而在A1和B1情景下, 增速较低, 因为全球可再生淡水资源增加, 而人口略有减少(Oki和Kanae, 2006年)。应当指出, 利用人均可用水指标, 气候变化似乎减少了全球总体缺水压力。这是因为增加的径流多集中于世界各地人口最多的地方, 主要是东亚和东南亚。但是, 鉴于增加的径流主要发生在丰水季节(Arnell, 2004年), 如果对额外的水不加储存, 也许无法减轻枯水季节的问题; 不会缓解世界其它地区的缺水压力。季节型态的变化和极端事件概率的不断增长可抵消每年现有淡水资源增加的影响以及人口变化的影响。[WGII 3.5.1]

如果对缺水压力的评估不仅随人口和气候变化而变, 而且还随用水变化而异, 非气候驱动因素(收入、用水效率、水生产力和工业生产)的重要性则会增加(Alcamo等, 2007年)。收入增长对用水量增加和缺水压力加大的影响有时大于人口增长所带来的影响(用抽水量表示: 水资源比)。根据模拟结果, 到21世纪50年代, 全球陆地面积20%–29%的缺水压力将有所减少, 而62%–76%的地区缺水压力将有所增加(考虑了两个气候模式和SRES情景A2和B2)。因降

**表3.3: 2050年前后人口增长和气候变化对生活在面临缺水压力的流域(定义为人均可再生水资源少于1,000 m<sup>3</sup>/年)人口数量的影响。[WGII 表3.2]**

	2050年面临缺水压力的流域内人口数量估值(单位: 10亿)	
	Arnell (2004年)	Alcamo等 (2007年)
1995: 基线情景	1.4	1.6
2050: A2 排放情景	4.4–5.7	6.4–6.9
2050: B2 排放情景	2.8–4.0	4.9–5.2

估值基于几个气候模式运行的排放情景。范围是根据被用于将排放转化为气候情景的各种气候模式和模式运行

水增加而加大了供水量, 这是缺水压力减少的主要原因, 而抽水量的增加则是缺水压力增加的主要原因。收入增加刺激家庭用水量增加, 是显著的发现(Alcamo等, 2007年)。[WGII 3.5.1]

### 3.2.6 气候变化对淡水成本和其它社会经济方面的影响

现有可抽水量随径流量、地下水回灌量、含水层条件(例如隔离度、深度、厚度和边界)、水质和供水基础设施(如水库、泵水井和配水网络)变化。饮用水的安全更多地取决于供水基础设施的水平, 而不取决于径流量。但是, 有些地区的径流量和/或地下水回灌量因气候变化而减少, 对这些区域提高获取饮用水安全性这一目标将更难以实现。此外, 气候变化会增加供水的成本, 如, 由于水位变化, 影响了供水基础设施, 从而使供水服务无法惠及到更多的人。反之, 这又增加了社会经济影响及后续成本, 特别是在有些地区, 由于气候变化, 缺水压力更加突出。[WGII 3.5.1]

就可用水量而言, 气候变化引起的季节径流体系和年际径流变率的变化是重要因素, 其重要程度能够与长期年平均径流量的变化相同(美国全球变化研究计划, 2000年)。在以融雪为水源的流域, 冬季积雪储量减少, 生活在这些流域的人也许会因夏秋流量减少而受到不利影响(Barnett等, 2005年)。例如, 到21世纪50年代, 莱茵河夏季枯水期流量也许下降5%–12%, 这将给供水带来不利影响, 特别是影响热电厂(Middelkoop等, 2001年)。对易北河流域所作研究表明到21世纪50年代, 预估实际蒸散将会增加(Krysanova和Wechsung, 2002年), 而河流量、地下水回灌量、作物产量和弥漫性水源污染可能减少(Krysanova等, 2005年)。[WGII 3.5.1]

在中国西部, 春季融雪提前, 冰川退缩可能减少农业灌溉的可用水量。为了保障在气候变化的条件下可靠地供水, 需要增加水井和水库, 已对中国在此方面的投资和运行成本作了估算。对于当前缺水压力较低的流域(如长江), 成本较低, 对于缺水压力较高的流域(如黄河)(Kirshen等, 2005a), 成本较高。此外, 气候变化未来供水成本的影响将有所增加, 这不仅是因为气候变化程度加强, 而且还由于水需求量不断增加。[WGII 3.5.1]

对于德克萨斯的某个含水层, 预估到21世纪30年代, 农民的净收入将会减少16%–30%, 到21世纪90年代将会减少30%–45%, 这是由于灌溉供水减少, 而灌溉用水需求增加。预估用水(市政用水和工业用水为主)的总净效益同期将会减少不到2%(Chen

等, 2001年)。[WGII 3.5.1]

如果由于气候变化, 淡水供应必须由淡化水取而代之, 那么气候变化的成本则包括海水淡化的平均成本, 目前约为1.00美元/m<sup>3</sup>海水, 0.60美元/m<sup>3</sup>咸水(Zhou和Tol, 2005年)。淡水加氯的成本大约是0.02美元/m<sup>3</sup>。在埃及、中国、孟加拉国、印度和东南亚人口稠密的海岸带地区(FAO, 2003年), 海水淡化的成本可能会过高。在这些地区, 特别是在埃及, 需要研发新的海水淡化技术以降低成本, 尤其是通过使用非传统能源, 从而降低温室气体的排放。此外, 咸水的淡化可提高此类项目的经济性(见第4.4.4节)。[WGII 3.5.1]

未来洪水会造成什么样的损失在很大程度上将取决于居住模式, 土地利用的决策, 洪水预报、警报和应急响应系统的质量, 以及脆弱地区的建筑物和其它财产的价值(Mileti, 1999年; Pielke和Downton, 2000年; Changnon, 2005年), 并取决于气候变化本身, 如热带气旋频率的变化(Schiermeier, 2006年)。[WGII 3.5.2]

气候变化对洪水损失的影响可根据模式进行预估, 即模拟当前20年一遇或百年一遇洪水重现期的变化, 并结合根据水位流量关系和详细财产数据确定当前事件造成的洪水损失。利用这种方法, 对澳大利亚三大流域年平均直接洪水损失作了预估, 结果是在CO<sub>2</sub>倍增条件下增加了四至十倍(Schreider等, 2000年)。[WGII 3.5.2]

Choi和Fisher(2003年)对部分美国地区洪水损失的预期变化作了估算, 在两个气候变化情景下, 其年平均降水增加量分别是13.5%和21.5%, 年降水量标准差要么不变, 要么相对于均值按比例增加。利用结构计量经济学(回归)模式, 以洪涝损失的时间序列为基础, 加上人口、财富指标及年降水预测因子, 如果年平均降水量和标准差增加13.5%, 预估洪涝损失的平均值及标准差将会增加140%以上。这一估值表明洪水损失主要是与缺乏社会基础设施而使人民面临自然灾害有关, 因为模式在纳入人口和财富之后的解释能力为82%, 虽然加上降水后可使该解释能力提高到89%。[WGII 3.5.2]

另外一项研究通过采用加拿大气候中心针对美国东北部波士顿城区的模式和IS92a情景(Kirshen

等, 2005b)调查极端降水事件变化对潜在洪水损失的影响。这项研究发现如果在适应方面不给予投资, 到2100年, 洪水造成的财产损失数量和洪水损失的总成本均会增加一倍, 这是相对于在未发生气候变化的条件下预料的结果。还发现与洪水有关的交通运输的延误将会在本世纪逐渐成为突出问题。该研究的结论是, 这些损失的经济规模可能相当高, 足以证明在适应战略方面大量投入是合理的, 如洪泛区普遍开展防汛。[WGII 3.5.2]

这些研究结果还得到下列情景研究的支持: 到21世纪80年代英格兰和威尔士河流及沿海洪涝造成的损失。该项研究将四个排放情景与四个社会经济变化情景相结合, 采用了类似SRES的框架(Hall等, 2005年)。在所有情景下, 预估洪水损失将会增加, 除非当前防汛管理政策、做法和基础设施均有所改变。预估到21世纪80年代, 每年损失可达到50亿英镑, 这是按B1类情景假设的世界, 与目前相比的损失为10亿英镑, 而在出现大概相同程度的气候变化情况下, 如按B2型假设的世界, 损失则只有15亿英镑。如果对这些预估值按国内生产总值进行归一化处理, B1和B2情景均给出了大致类似的结果。在A1类世界中, 到21世纪50年代, 每年损失会达到150亿英镑, 到21世纪80年代会达到210亿英镑(Evans等, 2004年; Hall等, 2005年)。[WGII 3.5.2]

未来洪水期增多会更频繁地扰乱船舶的航行, 并对船舶荷载带来限制的低流量条件也许增加。例如, 莱茵河上的船舶荷载限制也许从当前气候条件下的19天增加到21世纪50年代的26–34天(Middelkoop等, 2001年)。[WGII 3.5.1]

气候变化可能改变江河流量, 对河流的可用水量造成重要影响, 特别是水力发电。对欧洲水力发电的影响, 利用宏观尺度水文模式作了估测。结果表明到21世纪70年代, 20世纪末斯堪的纳维亚和俄罗斯北部现有水力发电厂的发电潜力将增加15%–30%(假设维持在IS92a排放量), 这些地区当前水力发电的比例是19%(芬兰)和接近100%(挪威)(Lehner等, 2005年)。葡萄牙、西班牙、乌克兰和保加利亚会减少20%–50%以上, 这些国家当前水力发电的比例是10%(乌克兰、保加利亚)到39%(Lehner等, 2005年)。对于整个欧洲(水电占20%), 预估到21世纪70年代水电潜力将会减少7%–12%。[WGII 3.5.1]

在北美洲，五大湖流出量可能减少，这会造成重大经济损失，因为尼亚加拉和圣劳伦斯河两处水力发电量会减少(Lofgren等，2002年)。CGCM1模式预估全球变暖2°C的情况下，安大略省的尼亚加拉和圣劳伦斯的水力发电量会下降25%–35%，按2002年价格计算，每年损失2.4–3.5亿加元(Buttle等，2004年)。但是，根据HadCM2<sup>18</sup>气候模式，水电潜力却有小幅增长(+3%)，每年价值约2500万加元。另外一项研究调查了一系列气候模式情景，研究结果发现在全球变暖2°C的情况下，圣劳伦斯河的水力发电量可减少1%–17%(LOSLR，2006年)。[WGII 3.5.1]

### 3.2.7 对气候变化非常脆弱的淡水区和行业

在世界许多区域，气候变化对淡水资源的影响也许影响可持续发展，例如，还可能使扶贫事业、减低儿童死亡率等工作面临无法实现的风险。即使对水资源进行最佳管理，也很可能无法避免对可持续发展带来的负面影响。图3.4给出了世界上的一些关键案例，在这些地区与淡水有关的气候变化影响对受影响地区可持续发展构成了威胁。‘可持续的’

水资源管理一般是力求通过水资源综合管理来实现(IWRM：定义见脚注17)。但是，对该术语的确切解释却差别很大。所有的定义大致都包括这样的概念：维持和改善环境，特别是水环境，考虑水竞争用户、河道生态环境和湿地。还要考虑水资源政策的更广泛的环境影响，如水资源管理政策对土地管理的影响，反之，土地管理政策对水资源管理的影响。水资源管理制度是水资源管理的一个重要组成部分，有助于根据一系列政治、社会经济和行政管理实现水资源的可持续性(GWP，2002年；Eakin和Lemos，2006)。[WGII 3.7]

### 3.2.8 气候变化对淡水系统影响预估的不确定性

气候变化对水资源影响的不确定性主要是由于降水量输入值的不确定性，其次才是由于温室气体排放的不确定性(Döll等，2003年；Arnell，2004年)、气候敏感性的不确定性(Prudhomme等，2003年)，或水文模式本身的不确定性(Kaspar，2003年)。有关气候变化对淡水系统影响的预估不确定性的其它来源则是与规划的干预措施的性质、程度和相对成功

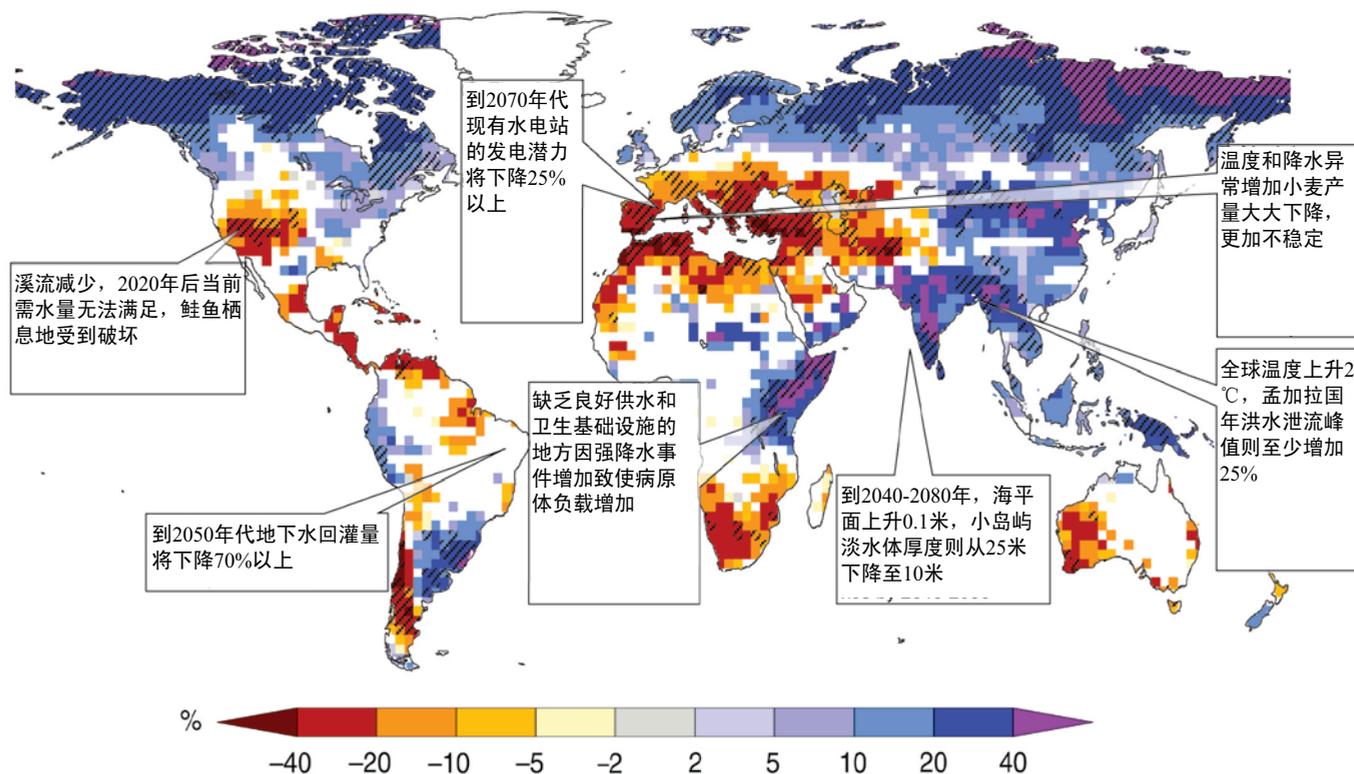


图3.4：未来气候变化对淡水影响的注释图，该图描述了受影响地区的可持续发展受到的威胁。1：Bobba等(2000年)，2：Barnet等(2004年)，3：Döll和Flörke(2005年)，4：Mirza等(2003年)，5：Lehner等(2005年)，6：Kistemann等(2002年)，7：Porter和Semenov(2005年)。背景图，见图2.10：当前(1980–1999)至2090–2099期间SRESA1B排放情景年径流量的平均综合变率(%) (根据Milly等，2005年)。蓝色(红色)地区表示年径流有所增加(减少)。[基于WGII图3.8和SYR图3.5]

<sup>18</sup>有关模式的描述，见附件1。

性有关。图3.4给出的影响可通过不同方式实现，这将取决于所采取的适应措施。气候变化的适应措施的反馈在当前的未来预测中尚未得到充分考虑，如作物生长期延长，河流量调节加大，水库库容量增加。通过对英国两个集水区水灾统计中不同来源的不确定性作了比较(Kay等, 2006a)得出的结论是：不确定性的最大来源是GCM结构，其次是排放情景和水文模拟过程。关于大不列颠月平均流量和低流量的统计，Prudhomme和Davies(2006年)得出了类似的结论。[WGII 3.3.1]

在评估气候变化对水资源影响的不确定性时，多模式概率方法比只用一个气候模式的输出结果效果要好。自《第三次评估报告》以来，针对水文影响开展的几项研究使用了全球尺度和流域尺度的多模式气候输入(如Arnell(2004年)和Jasper等(2004年))，但是纳入概率评估的研究却甚少。[WGII 3.3.1]

在许多影响研究中，气候观测值的时间序列是通过利用气候变量的变化计算进行调整，以获得符合当前条件的情景。这些调整目的在于尽量减少对GCM气候模拟误差的影响，假设气候模拟偏差对当前和未来时间跨度具有相同的量级。这对于降水预估尤为重要，因为观测值和气候模式计算值之间的差是相当可观的。[WGII 3.3.1]

气候变量的年际变率或日变率变化在水文影响研究中往往被忽略。这使得对未来洪水和干旱，对可用水量和灌溉需水量均估计偏低。[WGII 3.3.1] 量化气候变化对淡水资源影响的指标和阈值是选定的，这也是不确定性的来源。

为了克服GCM和水文循环过程之间空间格点尺度不匹配问题，已开发了一些技术将GCM输出结果的尺度降至更细的空间(时间)分辨率。[WGI TAR 第10章] 这些技术的主要假设条件是针对当前气候确定的统计关系将在未来条件发生变化的情况下仍保持有效。降尺度技术允许模式开发人员将日变率插入未来变化(如Diaz- Nieto和Wilby, 2005年)，并利用概率框架制作未来河流量信息，用于水资源规划(Wilby和Harris, 2006年)。这些方法有助于对不同来源、影响水资源预估的不确定性作了比较。[WGII 3.3.1]

气候变化对水资源的经济影响的量化努力因缺乏资料而受阻，并受到以下事实的影响，即各项估值对估算方法和所采用的不同假设均十分敏感，而这些假设关系到如何将可用水量的变化分配给各种用水类别，如农业用水、城市用水或河道用水(Changnon, 2005年；Schlenker等, 2005年；Young, 2005年)。[WGII 3.5]

### 3.3 与水有关的气候变化适应措施：概述

水管理者早已着手应对不断变化的水资源需求。迄今为止，水管理者通常假定自然资源的基数是一个中期内合理常数，因此，水文方面的以往经验对未来条件是一个很好的指导。气候变化对这些传统假设提出了挑战，并可改变水资源管理系统的可靠性。[WGII 3.6.1] 在管理上应对气候变化包括开发新的系统评估和设计方法，并且通过诸如欧洲联盟水框架指令这类机制开发非结构性方法。[WGII 12.2.2]

表3.4概括了一些供水方和需水方的适应选择，以在平均条件和干旱条件下确保水供应。供水方的选择一般涉及库容增加或水道抽水量增加，因此，可能会对环境造成不良后果。需水方的选择也许会缺乏实际效果，因为这些选择依赖于个人的累积作用。有些选择也许与减缓措施不一致，因为这些选择涉及高能耗，如海水淡化、抽水等。

自发性适应和有计划的适应常常是有区别的。自发性适应是那些对气候激励政策无意识响应的适应，但来自为满足已改变的需求、目标和预期所产生的变化，这种适应不是刻意应对气候变化，但是可以减轻气候变化的后果。此类适应在水行业是广泛存在的，虽然在对付气候变化的成效却各不相同(见表3.5)。[WGII 3.6.1] 在拉丁美洲，一些自发性适应措施已落实到位，包括利用跨流域调水管理和优化用水。[WGII 13.5.1.3] 在非洲，当地社区和农民制定了适应方案，利用积累的经验预报降雨。萨赫勒地区的农民还利用传统的集水系统补充灌溉措施。[WGII 9.6.2.1, 9.5.1, 表9.2]

有计划的适应是刻意的决策结果，具体而言就是考虑气候变化和变率，而且迄今为止未经常实施。少数几个国家的水管理者包括荷兰、澳大利亚、英国、德国、美国和孟加拉国，已开始直接将气候变化影响纳入其防洪、供水管理标准规范。[WGII 3.2, 3.6.5, 17.2.2] 这类适应措施一般是以改变方法和程序的形式，如设计标准并计算气候变化补贴。例如，英国和荷兰已为防洪备灾实施了此类适应(Klijn等, 2001年；Richardson, 2002年)，在英国的供水过程中得到实施(Arnell和Delaney, 2006年)，并在孟加拉国的水规划中普遍实施。[WGII 3.6.5, 17.2.2] 水行业专门并纯粹为适应气候变化所采取‘具体’行动的实例非常罕见。一部分原因是气候变化也许只是许多影响战略和投资计划的驱动因素之一(而且在短期规划内也许不是最重要的因素)，另

表3.4：供水方和需水方的某些适应选择(本表并非完整)。[WGII 表3.5]

供水方	需水方
勘探和抽取地下水	通过水的回收再利用提高水利用率
建设水库和水坝增加水储量	通过改变种植时间、作物结构、灌溉方法和种植面积降低灌溉水需求量
海水淡水	通过进口农产品(即虚拟水)降低灌溉水需求量
扩大雨水储量	促进因地制宜的做法，实现可持续用水
清除从河岸带地区外来的非本土植被	扩大利用水市场，为高价值用途分配用水
调水	扩大利用经济手段，包括计量和定价，以鼓励节约用水

一部分原因是未来的水文变化预估存在不确定性。

针对可用水量 and 水质变化，无论是水管理机构，还是各水环境用户都不得不采取适应变化的措施。它们将包括工业、农民(尤其是灌溉者)和个人消费者。虽然在适应不断变化的水需求和立法变化方面有了很多经验，但是对于此类团体和个人将如何适应气候变化目前却知之甚少。

表3.5概述了部分适应措施，既有计划的，也有自发性的，都是目前世界各地已采用的措施，如第二工作组《第四次评估报告》中有关区域章所述。表3.5并非详尽无遗，许多个别措施也能够许多地方采用。

有**高可信度**表明，适应能够减少脆弱性，特别是在短期内。[WGII 17.2, 18.1, 18.5, 20.3, 20.8] 但是，适应能力与社会、经济发展有着密切联系，而且这种能力在整个社会和社会内部并非均匀分布。穷人、老人、妇女、病人和土著居民通常能力偏低。[WGII 7.1, 7.2, 7.4, 17.3]

关于适应气候变化的影响，可确定五种不同类型的限制因素。[WGII 17.4.2]

- (a). **物理或生态因素**：无论是通过技术手段还是通过体制变革或许都无法防止气候变化的不利影响。例如，可能无法适应河流完全干涸的情况。[WGII 3.6.4]
- (b). **技术、政策或社会因素**：例如，或许难以找到可接受的兴建新水库的地点，或者很难让用户减少用水。[WGII 3.6.4]
- (c). **经济因素**：与某项适应对策或其实施所取得的效益相比也许过于昂贵。

(d). **文化观念和体制因素**：这些因素包括水管理运作的体制背景、对水管理重视不够，机构之间缺乏协调，不同尺度间的紧张程度，管理无效果，以及未来气候变化有不确定性(Ivey等，2004年；Naess等，2005年；Crabbe和Robin，2006年)；所有这些因素均对采取适应措施构成了体制障碍。[WGII 3.6.4]

(e). **认识和信息因素**：例如，水管理者或许没有认识到气候变化的挑战，或者与其它挑战相比也许认为次要。信息方面的一个关键障碍是缺乏获得方法的渠道，从而无法一贯地、严格地应对气候变化。[WGII 17.4.2.4]

气候变化对水管理带来了一个概念性挑战，即引入了未来水文条件的不确定性。检测某个来之有因的趋势也许很困难(Wilby，2006年)，这意味着在弄清水文体系实际变化的规律之前不得不出作出采取适应措施的决策。因此，面对气候变化，水管理需要采用基于情景式的方法(Beuhler，2003年；Simonovic和Li，2003年)。这一方法正在一些国家得到实际运用，如英国(Arnell和Delaney，2006年)和澳大利亚(Dessai等，2005年)。但是，仍存在两个问题。第一，各情景之间在影响程度上往往有很大的差异，需要在几种情景基础上开展分析。第二，一些国家的水管理者要求获得有关正在发生的结果详细的信息，以便作出基于风险的决策(如Jones和Page，2001年)因此，正在开发各种技术，用于建立某些特定结果的概率分布，这需要影响不确定性的关键驱动因素的概率分布作出假设(如Wilby和Harris，2006年)。[WGII 3.6.4]

应对不确定性的第二种方法称为‘适应性管理’(Stakhiv，1998年)，该方法涉及加大采用水管理措施，即采用那些就不确定性而言相对确凿的管理措施。此类工具包括减少水需求量的措施，被称为

表3.5：部分适应实践实例。

地区	适应措施	来源
非洲	<ul style="list-style-type: none"> <li>季节预报，其制作，发布，吸收和融入基于模式的决策支持系统</li> <li>通过改善有形基础设施，并通过改善目前的雨养耕作制度，增强抵御未来干旱压力期的承受能力，包括：集水系统、水坝建设、水源保护/节水和农耕做法、滴灌、培育抗旱和早熟作物品种和替代作物和杂交品种</li> </ul>	WGII 9.5, 表 9.2
亚洲	改善农业基础设施，包括： <ul style="list-style-type: none"> <li>牧场供水</li> <li>灌溉系统及其运行效率</li> <li>雨水和雪水的利用/储存</li> <li>国内、区域内和国际上关于新技术的信息交流系统</li> <li>牧民、渔民和农民获得及时的天气预报（雨量和温度）</li> <li>城市污水的回收再利用，如新加坡</li> <li>减少水的跑冒滴漏，利用市场化方法减少用水浪费现象</li> </ul>	WGII 10.5, 表 10.8  WGII 10.5.2
澳大利亚和新西兰	<ul style="list-style-type: none"> <li>全国用水计划/倡议</li> <li>水处理厂供应循环水</li> <li>减少渠道渗漏和水源保护措施</li> <li>以管道取代露天灌渠</li> <li>提高用水效率和水质</li> <li>抗旱准备，制定新的水价</li> <li>安装雨水罐</li> <li>海水淡化</li> </ul>	WGII 11.2, 表 11.2, 框 11.2; 见本卷表 5.2
欧洲	<ul style="list-style-type: none"> <li>水需求方的对策，如家庭、工业和农业等节水措施，修复高地地区市政和灌溉水库和低洼地区堤坝，以防漏水</li> <li>扩大的泛洪平原地区、应急防洪水库、洪水蓄水区 and 洪水预警系统，特别是在山洪区</li> <li>水供应方措施，如河水冲刷作用形成的河中水库，污水回收再利用和海水淡化系统和制定水价</li> <li>将区域和流域适应气候变化的对策融入水资源综合管理计划</li> </ul>	WGII 12.5.1
拉丁美洲	<ul style="list-style-type: none"> <li>雨水集水区和储水系统</li> <li>改善特别贫困社区供水系统的‘自我组织’方案</li> <li>水源保护措施，水的回收再利用，改变工业流程实现水循环利用以及优化用水</li> </ul>	WGII 13.2.5.3, 框 13.2, 13.5.1
北美洲	<ul style="list-style-type: none"> <li>改善水源保护/节水和保持土壤水分的土地耕作</li> <li>投资于水源保护/节水系统和新的供水和配水设施</li> <li>改变美国国家水灾保险政策，减少多重水灾索赔风险</li> <li>提出双重水灾索赔的家庭现在需要的条件是高于百年一遇洪水水位2.5厘米，或者被迫搬迁</li> <li>冲刷排水系统，取代污水干渠系统，以达到更为极端的五年一遇防洪标准</li> <li>将屋顶径流引入草坪，促进渗透，并提高凹地和街道滞蓄能力</li> </ul>	WGII 14.2.4 WGII 14.5.1
极地地区	<ul style="list-style-type: none"> <li>已成功地运用一项适应对策，抵消三角洲池塘的干化效应，该项对策涉及水库放水管理，可增加冰凌形成和有关的浸水效应</li> <li>用于水力发电的流量调节，集水对策和饮用水的获取方法</li> <li>应对淡水灾害增加/减少的对策（如用于降低洪水风险或为水生系统增加洪水的防护结构）</li> </ul>	WGII 15.6.2  WGII 15.2.2.2
小岛屿	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水淡化厂</li> <li>大储量水库，改进型集水</li> <li>保护地下水，增加雨水收集和储水能力，利用太阳能蒸馏，雨水管理并在岛内划定地下水回灌区</li> </ul>	WGII 16.4.1  框 16.5

任一系统面临气候变化风险最小化的手段(如在加利福尼亚: Beuhler, 2003年)。同样, 一些防洪管理的弹性对策, 例如: 允许江河暂时泛滥并降低洪水损失风险, 相对于不确定性而言, 这比传统的防洪措施有更大的确凿性(Klijn等, 2004年; Olsen, 2006年)。[WGII 3.6.4]

### 3.3.1 水资源综合管理

水资源综合管理(IWRM: 见脚注17)应是一种探索气候变化适应措施的手段, 但迄今为止仍处于萌芽状态。除了包括其它内容以外, 成功的水资源综合管理战略还包括: 领悟社会观点, 重新建立规划过程, 协调土地和水资源管理, 认识到水量和水质的联系, 通盘利用地表水和地下水, 保护和恢复自然系统, 并考虑气候变化。此外, 综合对策要明确地解决信息流通中存在的障碍。并非总是需要一套完全整合的方法, 而是整合规模是否妥当将取决于这一方法在多大程度上有助于针对具体需要采取行之有效的行动(Moench等, 2003年)。尤其是, 水管理综合方法可有助于解决用户之间为争水而发生

的利益冲突。在美国西部几个地方, 水管理者和各利益集团已尝试一些方法来促进以共识为基础的决策。这些努力包括地方上围绕流域提出有关倡议和由州牵头或由联邦政府发起的活动, 旨在使利益攸关方参与规划的过程(如美国内务部, 2005年)。这些举措可促进在利益竞争的集团之间进行谈判, 使问题得到双方都满意的解决结果, 使一系列因素均得到充分考虑。对于大流域, 如科罗拉多河流域, 这些因素跨越了多个时空尺度(表3.6)。[WGII 3.6.1, 框14.2]

表3.6: 科罗拉多河流域水综合管理的跨尺度问题(Pulwarty和Melis, 2001年)。[WGII 表3.4]

时间尺度	问题
悬而未决	保护濒危物种所需的必要流量
长期	流域内水分配和流经各州之间的水分配
十年	流域上游供水义务
年	鲍威尔湖补水义务, 达到与米德湖水储量的相同水平
季	高峰取暖和制冷月份
日到月	洪水控制作业
小时	西部地区电业局的发电
空间尺度	
全球	气候影响, 大峡谷国家公园
区域	事先划拨(如科罗拉多河上游委员会)
州	针对州内外各区水销售的不同协议
市区和社区	浇水时间表, 污水处理, 家庭用水



# 4

---

## 气候变化与各系统和行业的水资源

---



## 4.1 生态系统和生物多样性

### 4.1.1 背景

温度和水分状况是决定动植物分布、生长、生产力和繁殖的关键变量。水文方面的变化能以各种方式影响物种，将水分可用性与控制新陈代谢及生殖过程的固有阈值联系起来的过程最容易被人们充分理解(Burkett等, 2005年)。预计未来数十年的气候变化对水分可用性将产生以下不同的影响, 如河川径流的时间和流量发生变化、许多湿地的水位将降低、北极热喀斯特湖的扩大以及在热带山地森林中可用薄雾水分的减少。

WGI AR4第3章总结了在过去一个世纪期间观测到的全球降水、湿度、干旱和径流的趋势。上世纪的降水变化表明其区域变化相当大 [WGI 图3.14], 但它们也显示出一些重要而显著的趋势。1900—2005年期间, 北半球的降水普遍增加, 但在热带和南半球的许多较大区域, 尤其是非洲萨赫勒地区和南部非洲、中美洲、南亚和澳大利亚东部地区, 干旱的程度及影响的范围在日益增加。[WGI 3.3.5]

### 4.1.2 预估的水文变化及其对全球生物多样性的影响

IPCC第四次评估报告在SRES的B1、A1和A2情景下对全球变暖的估值范围如下: 到2030年南半球增温0.5°C, 北半球极区则增温2°C, B1情景显示的增温幅度最大。虽然模式模拟出全球平均降水在增加, 但在时空上却存在很大的变化。根据大气环流模式(GCM)的预估, 高纬度地区的降水将增加, 但各种模式预估的降水增加量各不相同, 且位于南北半球副热带和中纬度许多地区的降水在减少。[WGI 图10.8和10.12]预计未来数十年的降水更加集中在更强烈的极端事件之中, 期间没有降水的时间则更长。[WGI 10.3.6.1] 预计北美洲和中美洲、加勒比地区、南美洲东北部和西南部、欧洲南部和地中海、南部非洲和澳大利亚西部地区连续干旱天数的增加最为明显。[WGI 图10.18] 在热带和副热带地区, 变暖的影响和降水分布的变化对全球生物多样性具有重要影响, 因为物种的多样性随距离赤道的远近变化而普遍降低。

根据WGI AR4的预估, 21世纪的水文变化(参见第2部分)将**很可能**影响各个大洲的生物多样性。世界上多数地区已检测到对物种的这些影响。[WGII 1.3, 4.2] Root等(2003年)对143篇已发表的研究结果进行了评估, 结果表明动植物已显示出可辨别的与20世纪气候趋势一致的变化。大约80%的

变化与观测到的温度变化相一致, 但应该认识到的是, 通过水分可用性的变化, 温度也能对物种产生影响。[WGII 1.4.1]

生态系统对水文变化的响应往往涉及生物和非生物过程之间复杂的互动。在生态群落中, 物种的集合反映以下事实, 即这些互动和响应常常是非线性的, 这增加了对具体生态结果进行预估的难度。由于不同分类群的物种的响应时间往往是不同步的, 所以物种有可能从其食物来源中分离, 即破坏了各个物种之间的共生关系或促进关系, 并有可能改变各个物种之间的竞争关系。由于各个物种和互动(从理论上讲有可能在食物链网的任何一点发生)之间不同响应的组合, 所以目前现有的一些生态群落在未来很容易崩溃(Root和Schneider, 2002年; Burkett等, 2005年)。[WGII 1.3.5.5, 4.2.2, 4.4]

由于受温度和水分压力的综合影响, 预计哥斯达黎加、西班牙和澳大利亚的一些两栖类动物和其它水生物种将灭绝(Pounds等, 2006年)。[WGII 表4.1] 萨赫勒地区湿地的变干将影响鸟类的成功迁徙, 因为这些鸟类在向北半球繁殖区迁徙过程中将萨赫勒地区的湿地作为中途停留的地方。在南部非洲, 预计动植物物种将以空前的规模灭绝。[WGII 表9.1] 在山地森林中, 许多物种依靠薄雾作为它们的水源。全球变暖将提高云底高度, 并影响那些依靠该水源的物种。[WGII 13.4.1] 但是, 在所有的生态系统中, 由于气候变化的影响, 淡水水生生态系统的物种似乎遭受灭绝的比例最高(千年生态系统评估, 2005b)。[WGII 3.5.1]

### 4.1.3 水文变化对主要生态系统类型的影响

#### 4.1.3.1 湖泊与河流

全球变暖对湖泊的影响包括: 高纬度地区生长期变长、地表水层结和养分丧失的加剧、在很深的分层湖泊中下层滞水带(温跃层之下)的氧气减少、入侵水生杂草的范围扩大。预计高纬度地区湖泊的水位将上升, 因为气候模式显示这里的降水将增加; 同时预估中低纬度的水位将降低。内陆(终端或封闭性)湖泊最容易受到气候变化的影响, 因为它们对进水量和蒸发量之间的差额变化很敏感。流入这些湖泊的水量变化能产生非常重大的影响, 且在某些气候条件下, 这些湖泊有可能完全消失。例如, 由于上游提取灌溉水的增加, 咸海的面积已显著缩小。由于流域降水的减少, 中国的青海湖面积也已缩小。[WGII TAR 4.3.7]

在过去的一个世纪中, 北半球中高纬度湖泊和河流的冰盖持续时间减少了大约2周。[WGI TAR

SPM]夏季水温的升高能使层结湖更加缺氧,提高湖底层积物释放磷的速度,并产生一些能改变水生食物链网的藻华。[WGII 4.4.8]与温度更低的湖泊相比,热带湖泊的温度升高一个单位就会造成相对应的更高的密度差。因此,预估的热带温度 [WGI第10和11章] 将造成更强烈的热力层结,使湖泊深层区域缺氧以及浅层湖泊水营养耗竭。氧气浓度的降低往往会使水生物种的多样性减少,尤其是当水质受到富营养化破坏的时候。[CCB 4.4]

氧气浓度的减少往往要改变生物组合、生物地球化学以及湖泊和河流的整体生产力水平。在中高纬度的许多冷水分群中,最适宜的温度低于20°C。当夏季高温和缺氧状态消灭深层冷水区域的残遗种保护区之时,预计物种将灭绝。在美国南部大平原地区,对当地河流中的许多鱼而言,水温已接近致命的范围。有机物质的分解速度随温度的升高而加快,因此缩短了水生无脊椎动物获取腐质的时间。[CCB 6.2] 外来入侵物种对当地水生生态系统的生物多样性构成了重大威胁。[WGII 4.2.2] 全球温度的升高往往会将许多入侵水生植物(比如*凤眼莲*和*槐叶萍*)的范围延伸到极地。[RICC 2.3.6]

在湿润地区,变暖对河流系统产生的影响可能最大,因为这里的水流少变,且生物方面的相互作用控制了有机体的丰富程度。由于对水生生境的限制以及日益严重的缺氧和污染物浓度所导致的水质下降,长时期干枯的河床与河流有可能降低生态系统的生产力。在世界上的一些半干旱地区,季节性河川径流的减少和湖泊的完全干涸(如在非洲萨赫勒地区)对生态系统的养护包括生物多样性的维护产生了深刻影响。[CCB 6.7]

目前,在中欧的淡水系统中,物种的丰富度是最高的。由于受定期干旱和盐碱化的影响,物种的丰富度在中欧的北部和南部有所下降(Declerck等,2005年)。IPCC AR4的GCM模拟集合结果指出了降水的南北对比关系,其中北方降水增加而南方降水减少。[WGI 11.3.3.2]预估的径流量将增加,干旱的风险将降低,这可能对北欧水生系统动物群是有益的,而南方可用水量的减少则可能造成相反的影响(Álvarez Cobelas等,2005年)。[WGII 12.4.6]

#### 4.1.3.2 淡水湿地

湿地系统的结构呈现高度的变化特点,这主要是由各个系统独特的水文情况决定的,如高纬度北方森林的泥炭沼泽、热带季风湿地(如澳大利亚的卡卡杜湿地)、西藏和安第斯山脉的高海拔湿地。气候变化通过降水的改变、更频繁或更强烈的扰动事

件(干旱、暴风雨、洪水),将对内陆淡水湿地产生最显著的影响。在降水变率方面相对较小的增加能对处于生命周期不同阶段的湿地动植物产生较大的影响(Keddy,2000年)。[WGII 4.4.8] 一般而言,预计气候变暖将使湿地生态系统变干趋势。气候变化在很大程度上造成的这种间接影响改变了水位,这将是改变湿地生态系统的主要动因,并将使北方和亚北极地区泥炭地的温度升高和生长季变长所产生的影响显得不那么重要(Gorham,1991年)。季风地区在短暂的雨季内更可能受到更猛烈的暴雨影响,使积水区的洪水和侵蚀以及湿地本身的状况更加糟糕。[WGII TAR 5.8.3]

多数湿地过程取决于积水区的水文状况,而土地利用变化和地面水资源管理规范可以改变湿地过程。[WGII TAR 5.ES] 还有一些关键因素包括当地和区域地下水系统的补给、与当地地形有关的湿地的位置以及更大的区域地下水系统的梯度,这些关键因素决定了那些降水量并未显著超过蒸发量的气候带的湿地中水分储藏的变化特点和稳定性(Winter和Woo,1990年)。在不断变化的气候条件下,外部对湿地的补给变化对湿地可能很重要,这与直接降水和蒸发的变化对湿地本身一样重要(Woo等,1993年)。[WGII TAR 5.8.2.1] 因此,如果可能的话,适应预估的可用水量的变化结果将非常困难。[WGII TAR 5.8.4] 在某种程度上,由于湿地的适应能力有限,所以在生态系统中,湿地被认为最容易受到气候变化的影响。[WGII 4.4.8]

湿地常常是生物多样性的热点问题。许多湿地拥有世界级的保护地位(拉姆萨尔地,世界遗产地)。湿地的丧失可能导致重大的物种灭绝,尤其是两栖动物和水生爬行动物。[WGII 4.4.8] TAR认为,在北极和亚北极地区,具有小型积水区的雨养(“云养”)沼泽和低洼湿地是对气候变化最脆弱的水生系统。[WGII TAR 5.8.5] 然而,最近的AR4认为,许多其它类型的湿地(比如印度和澳大利亚的季风湿地、北方泥炭地、北美洲的草原坑洼湿地和非洲大湖湿地)也具有非常高的脆弱性。[WGII 4.4.8, 4.4.10] 许多湿地物种将不得不改变其季节性迁徙模式和路线,否则某些物种将受到灭绝的威胁。[WGII 4.4.8] 对最重要的栖息地而言,如果有足够的水,那么就可能小规模地恢复这些栖息地。[WGII TAR 5.8.4]

由于与大气变暖有关的水文方面的变化,某些地区的湿地栖息地面积已经增加。在北极地区,多年冻土的融化正形成新的湿地。[WGII 1.3] 在多年冻土区,由于地下冰融化所形成的热喀斯特地貌,能通过过饱和或干燥的作用,取代北极生物区(Hinzman等,2005年;Walsh等,2005年)。

在临近阿拉斯加卡瑟尔的北美地区(Yoshikawa和Hinzman, 2003年)和雅库特中部地区(Gavriliiev和Efremov, 2003年),发现热喀斯特地貌处于广泛的发展之中。[WGI 4.7.2.3],最初,多年冻土融化形成新的低洼的湿地和池塘,这些湿地和池塘通过新的排水地貌而相互连通。随着多年冻土的进一步融化,地表水排入地下水系统,导致淡水栖息地的丧失。[WGII 15.4.1.3]变暖可能已造成湿地的丧失,因为育空三角洲上的湖泊在过去的一个世纪内扩大了(Coleman和Huh, 2004)。[WGII 15.6.2]

季节降水特征变率的微小增加能对湿地植物和动物造成显著的影响(Keddy, 2000年; Burkett和kusler, 2000年)。降水和土壤湿度的变化能对诸如春季池塘等季节性湿地的生物多样性造成显著的影响(Bauder, 2005)。在季风地区,正如凯奥拉德奥国家公园经历的情况那样,长期的干旱促进湿地的陆域化(Chauhan和Gopal, 2001年)。[WGII 4.4.8]

#### 4.1.3.3 海岸和河口

淡水径流在时间和数量方面的变化将影响盐度、沉积物和养分的有效性以及沿海生态系统的水分状况。通过改变降水和本地驱动的径流,或者更为重要的是,通过改变排入海岸带的流域径流,气候变化能影响每一个变量。[WGII 6.4.1.3]水文状况对沿海湿地植物群落的分布具有强烈的影响,它通常沿着向内陆方向按盐类物种、苦咸物种和淡水物种进行分类。[WGII 6.4.1.4]

由于海平面上升的速度在空间上是不一致的[WGI 5.5.2],并由于某些沿海地区因不受气候变化进程的影响而产生地势抬升或沉降,所以海平面上升对海岸地形的影响在各个沿海地区各不相同。这种进程包括地下水的抽取、石油和天然气的开采和地壳均衡(按照地质时间尺度,调整地球表面并使其适应表面质量的变化;如由于在上次冰川消失之后冰盖质量发生的变化)。除了沿海海拔变化之外,一些内陆因素能影响海平面上升对沿海生态系统的净效应。流域内的自然生态系统破裂,并破坏了下游的水流、沉积物和沿海的营养物(Nilsson等, 2005年)。除局部影响之外,土地利用的变化和人为改变地表水对下游产生了影响,包括人类发展对海岸的影响。侵蚀增加了到达海岸的输沙量,比如在过去2,000年期间,黄河的悬浮物增加了2—10倍(Jiongxin, 2003年)。相比之下,筑坝和渠道化通过在堤坝内保留沉积物的方式,大大减少了沉积物向其它河岸的输送(Syvistki等, 2005年),且这种影响有可能在21世纪期间处于优势地位。[WGII 6.4]

Milly等运行的气候模式集合(2005年)表明,未来50—100年的气候变化将增加排放到北极、阿根廷北部、巴西南部、印度次大陆和中国部分沿海水域的流量,同时排放到阿根廷南部和智利、澳大利亚西部、非洲西部和南部沿海水域以及地中海盆地的流量将减少。[WGII 6.3.2; 参见该卷图2.10]如果径流量减少,预计沿海河口和湿地的盐度将增加,而输送到沿海的沉积物和营养物的数量将减少。在河川径流量减少的沿海地区,盐度往往会沿逆流方向增加,从而改变植物和动物种类的分區以及可供人类使用的淡水。自1950年以来,由于沿海水域的盐度增加,造成佛罗里达州的棕榈林(Williams等, 1999年)和路易斯安那州的落羽松林(Krauss等, 2000)减少。在过去50年期间,在红树林向佛罗里达埃弗格来兹的临近沼泽地扩展(Ross等, 2000年)以及向整个东南澳大利亚扩展(Saintilan和Williams, 1999)的过程中,盐度增加发挥了一定的作用。[WGII 6.4.1.4]在本世纪内,预计因海平面上升、河川径流减少和干旱频率增加所造成的海水入侵将改变非洲、澳大利亚和亚洲部分地区依靠河口的沿海渔业。[WGII 6.4.1.3, 9.4.4, 10.4.1, 11.4.2]

三角洲海岸特别容易受到径流和泥沙输送的影响,这影响三角洲在应对气候变化物理影响方面的能力。在亚洲,过去人类活动造成主要河流的沉积物增加,目前上游水坝的建设正在消耗输送给许多三角洲的沉积物,造成的普遍后果是沿海侵蚀越来越严重(Li等, 2004年; Syvitski等, 2005年; Ericson等, 2006年)。[WGII 6.2.3, 6.4.1]在路易斯安那州东南部正在下沉的密西西比河三角洲平原,在三角洲形成过程中因人为干预造成沉积物缺乏,同时海岸沼泽的盐度和水位也同时上升,这一切发生得如此之快,以至于在1978—2000年期间,1,565平方公里的潮间带海岸沼泽和临近的沿海低地被改造成开阔的水面(Barras等, 2003年)。[WGII 6.4.1]

气候变化对河口造成的一些最大的潜在影响可能源于淡水径流变化造成的物理混合特征的变化(Scavia等, 2002年)。流入河口的淡水影响水滞留的时间、营养输送、垂直成层结构、盐度以及浮游植物生长速度的控制(Moore等, 1997年)。流入浅水近岸海洋环境的河流径流量将引起混浊度、盐度、分层和养分有效性的变化(Justic等, 2005年)。[WGII 6.4.1.3]

#### 4.1.3.4 山区生态系统

温度和土壤湿度影响山区梯度生态系统的区划。最近的研究(Williams等, 2003年; Pounds和

Puschendorf, 2004年; Andreone等, 2005年; Pounds等, 2006年)表明,山区生态系统尤其是特有品种存在极大的灭绝风险。[WGII 4.4.7]许多两栖动物、小型哺乳动物、鱼类、鸟类和植物非常容易受到正在发生的和预估的气候变化的影响,上述气候变化将改变这些动植物所特有的山区生境。[WGII 1.3.5.2, 4.4.7, 9.4.5]

在许多依靠融雪补给的流域中,温度升高改变了水文事件的数量和时间。在北美洲和欧亚大陆,观测到以下趋势,即春季河川径流的峰值出现更早,且冬季的基本径流日益增加。[WGII 1.3.2]对美国西部山区天气台站1949—2004年期间观测资料的研究发现,有74%的台站,更多部分的年降水量是以雨而不是雪的形式降下的(Knowles等, 2006)。自20世纪70年代以来,加拿大冬季积雪深度和春季积雪量已减少,特别是在西部地区,那里的空气温度一直在增加(Brown和Braaten, 1998年)。在美国西部地区,春季和夏季的积雪量在不断下降(Groisman等, 2004年)。自1950年以来,在北美洲西部山区,4月1日的雪水当量(SWE)下降了15—30%,尤其是在春季的低海拔地区,这主要是因为变暖而非降水的变化(Mote等, 2005年)。在主要依靠融雪补给的美国西部山区,2002年的河川径流量峰值比1948年提前1—4周到来(Stewart等, 2005)。[WGII 14.2.1]

对许多高山生态系统而言,通常与平均温度和降水相关联的积雪时间及深度(Keller等, 2005年; Monson等, 2006年)是一个关键因素(Körner, 1999年)。由于缺少积雪,使动植物遭受霜冻的影响,并影响春季的水资源供应(Keller等, 2005年)。正如在科罗拉多州发现的那样,如果不断变化的积雪分布干扰了动物的运动(Inouye等, 2000),则野生动物和环境之间的不匹配有可能增加野生动物的死亡率。[WGII 4.4.7]在欧洲阿尔卑斯山的中等海拔地区,温度每升高1°C,预计积雪持续的时间将减少几个星期。几乎肯定的是,欧洲高山植物群将发生重大变化以应对气候变化,与温度对动物新陈代谢所产生的直接影响相比,积雪持续时间的变化是一个更重要的驱动因子。[WGII 12.4.3]

冰川融化使径流量不断变化,这对生态系统保护具有显著的影响。在那些靠冰川融化补给的小流域溪流中的生物群很容易被灭绝。[WGII 1.3.1, 3.2, 3.4.3]

#### 4.1.3.5 森林、热带大草原和草地

随着气候变暖,可用水量是调节森林和草地系统的一个关键因素。众所周知,气候变化将改变日益增加的林火的规模和频率,同时也将引发树木的应力,这就间接地加剧了这些干扰所产生的影响。在热带、高纬度和高海拔地区,许多森林生态系统正日益受到干旱以及与此相关的火灾、虫害及疾病变化的影响。[WGII 第4章, 5.1.2, 13.4]估计多达40%的亚马逊森林有可能受到降水量轻微减少的影响(Rowell和Moore, 2000年)。使用多种GCM模式对未来100年南美洲的降水变化进行模拟,结果显示亚马逊河流域在6月、7月和8月的降水大幅减少(20%或者更多),但是在12月、1月和2月的降水则略微增加(大约5%)。[WGI 11.6.3.2]预估的降水变化再加上温度升高,预示着亚马逊河流域的一些森林将被某些生态系统取代,这些生态系统在应对因温度升高、干旱和火灾引起的综合应力面前具有更强的抵抗力。[WGII 13.4.2]

在若干地区(欧洲、拉丁美洲部分地区)的生长季期间,预估干旱的增加将引起夏季温度的升高和降水的减少,并对森林的净生态系统生产力产生广泛的影响。干旱对森林的影响包括:因疾病、干旱胁迫和虫害引起的死亡,恢复能力的下降,以及各地不同的生物反馈。[WGII 4.4.5]在某些地区,预估森林将代替诸如苔原和草地等其它植被类型,而可用水量恰好与温度和二氧化碳富集对光合作用的影响一样重要。[WGII 4.4.3, 4.4.5]

许多研究评价了对优势林和草地产生的直接的二氧化碳施肥和变暖的影响。对许多木本和草本物种的研究表明,预估的二氧化碳施肥将有助于增强光合作用,该过程取决于可用的水量。[WGII 4.4.3]在森林和热带大草原中,二氧化碳施肥的高阶效应对水资源具有重要的反馈作用。例如,大气中二氧化碳的施肥可对河流中垃圾的营养价值产生不利的影响(Tuchman等, 2003年),而在大多数草地类型中,二氧化碳浓度的升高可严重影响土壤中的水分平衡。[WGII 4.4.10]草地和热带大草原的生产力对降水变率高度敏感。在评估高秆草大草原的生产力方面,例如降雨变率的增加比降雨量本身更加重要,同时干旱期延长50%,可造成净初级生产力下降10%(Fay等, 2003a)。[WGII 4.4.3]

## 4.2 农业和粮食安全、土地利用和林业

### 4.2.1 背景

农业、林业和渔业系统的生产力关键取决于降水量和蒸发量的时空分布，尤其是对农作物而言，其生产力取决于可用于灌溉的淡水资源的数量。[WGII 5.2.1] 在气候变化背景下，边缘地区的水资源生产系统面临更高的气候变率和风险，其中的影响因素包括：如土壤侵蚀造成的土地资源退化、过度抽取地下水和相关的盐碱化、在干旱地区过度放牧(FAO, 2003)。[WGII 5.2.2] 这种边缘地区的小农经济尤其容易受到气候变化和变率的影响，而社会经济的应激响应常常使环境状况更加恶化。[WGII 5.2.2, 表5.2, 框5.3] 在林区，与极端事件频率有关的火灾和虫害的爆发已经证明了其气候脆弱性的不断增加。在渔场，水质污染和水资源的变化也增加了脆弱性和风险。[WGII 5.2.2]

#### 4.2.1.1 农业与粮食安全

水在区域及全球粮食生产中发挥关键的作用。一方面，全球80%以上的农业用地为雨养型，在这些地区，作物的生产力完全取决于是否拥有足够的降水，以满足蒸发和有关的土壤水分分布需求(FAO, 2003)。[WGII 5.4.1.2] 在这些变量受到气候限制的情况下，比如在热带和亚热带的干旱和半干旱地区以及欧洲的地中海型气候地区、澳大利亚和南美洲地区，农业生产非常容易受到气候变化的影响(FAO, 2003年)。另一方面，全球粮食生产不仅取决于降水形式的水，而且也取决于现有的用于灌溉的水资源。实际上，水浇地只占全球农业用地的18%，但每年却生产10亿吨粮食，这大约相当于全世界粮食总供应量的一半，这是因为平均而言，灌溉作物的产量是雨养作物产量的2—3倍以上<sup>19</sup>(FAO, 2003年)。

水太少会使生产变得脆弱，水太多也可能对农作物的生产力产生有害的影响，比如，通过损害植物生长的方式对土壤特性产生直接的影响；或者通过损害或延迟必要的农场作业方式来产生间接的影响。强降水事件、过高的土壤湿度和洪水破坏了全球的粮食生产和农村人口的生计(Rosenzweig等, 2002年)。[WGII 5.4.2.1]

水，除了是食品加工过程的必需品之外，还对农作物生产力和粮食生产产生重大的影响，从而在

粮食安全方面发挥关键的作用。目前，全世界有8.5亿人仍然营养不良(FAO, 2003年)。[WGII 5.3.2.1, 5.6.5] 在未来几十年内，社会经济压力将使灌溉需求与非农业部门需求之间的竞争加剧，并可能减少粮食生产所需的水资源的数量和质量。[WGII 3.3.2] 最近的研究表明，到2015年不太可能实现消除饥饿的千年发展目标。[WGII 5.6.5] 与此同时，在本世纪内，由于预估的温度和降水状况发生的平均变化，以及由于预估的诸如干旱和洪水等极端事件频率的增加，气候变化可能进一步减少全世界可用于粮食生产的水量。(Rosenzweig等, 2002年)。[WGII 5.6.5]

一般来说，针对粮食生产进行的气候影响评估关键取决于所使用的具体的GCM降水预估。[WGII 5.4.1.2] 目前存在各种各样的降水情景。一般而言，使用区域降水减少的情景进行评估会给农作物生产带来消极的信号，反之亦然。在一些地中海型环境(欧洲、澳大利亚和南美洲)、贫瘠的干旱和半干旱热带地区，尤其是在撒哈拉沙漠以南的非洲，预估上述地区的干旱将加剧，在各种模式中，这种预估似乎令人信心十足(参见图2.10)。正如图4.1所示，在气候变化背景下，这些地区的脆弱性将日益增加。[WGII 5.3.1]

#### 4.2.1.2 土地利用和森林生态系统

森林生态系统大约占用了40亿公顷的土地，此面积与农作物和草地共同占用的面积相当。在这片土地上，全世界大约仅有2亿公顷土地用于商业性林木的生产(FAO, 2003年)。[WGII 4.4.5, 5.1.1, 5.4.5]

在发展中国家和发达国家，森林是决定供水、水质和水量的最重要的决定性因素。作为分水岭的森林在未来几十年后可能变得更加重要，因为淡水资源日益缺乏，尤其是在发展中国家(高山议程, 1997年；Liniger和Weingartner, 1998年)。[LULUCF 2.5.1.1.4; WGII 4.1.1]

森林有助于促进区域水循环，且土地利用变化对当地和区域的气候可能造成巨大影响(Harding, 1992年；Lean等, 1996年)。另一方面，保护森林可以减少干旱和洪水，尤其是在热带地区(Kramer等, 1997年；Pattanayak和Kramer, 2000年)。[LULUCF 2.5.1.1.6]

造林和再造林有可能增加湿度、降低温度并增加受影响地区的降雨(Harding, 1992年；Blythe等, 1994年)；而砍伐森林却能造成当地降雨量的

<sup>19</sup>关于灌溉、气候变化和地下水补给之间关系的讨论，参见第1.3节。(关于非洲的)5.1.3节和(关于亚洲的)5.2.3节也提到了此事。

减少和温度升高。在亚马逊河流域和亚洲，砍伐森林可能形成不适合热带雨林物种成功再生的新的气候环境(Chan, 1986年; Gash和Shuttleworth, 1991年; Meher-Homji, 1992年)。[LULUCF 2.5.1.1.6]

森林生态系统对气候变化的敏感程度各不相同(如Kirschbaum和Fischlin, 1996年; Sala等, 2000年; Gitay等, 2001年), 同时受温度影响的生物群落对变暖的影响比较敏感, 受水影响的生物群落对日益增加的干旱比较敏感。诸如对火有依赖性的一些生态系统有可能迅速改变以适应气候和其它环境变化(Scheffer等, 2001年; Sankaran等, 2005年)。[WGII 4.1, 4.4.5]

由于社会经济压力、土地利用和气候变化的综合影响, 非洲的森林生态系统和与之有关的生物多样性可能尤其面临风险。[WGII 4.2] 到2100年, 在大约25%的非洲(尤其是南部非洲和西部非洲)地区, 负面影响有可能降低水质以及生态系统的产品和保护。[WGII 4.ES, 4.4.8]事实上, 已监测并记录到多种生态系统所发生的变化, 尤其是在南部非洲地区。[WGII 9.2.1.4]

## 4.2.2 观测

### 4.2.2.1 气候影响和水

虽然已知道农业和林业高度依赖气候条件, 但观测到的与区域气候变化特别是与水有关的变化事实却难以找到。农业和林业也受到非气候因素的强烈影响, 尤其是在地方和区域尺度上, 受到管理规范 and 科学技术进步(Easterling, 2003年)、与补贴有关的市场价格和政策的强烈影响。[WGII 1.3.6]

由于多种非气候驱动力和适应的影响, 所以难以确定人类系统对最近气候变化的响应, 但已发现对林业和少数农业系统所产生的影响。在人类健康系统的某些方面的变化与最近的变暖有关。正在开始对最近变暖的适应进行系统的记录。与其它因素相比, 最近的变暖对农业和林业带来了有限的结果。然而, 对北半球很大一部分地区的农业和林业而言, 已观测到物候学方面的重大进展, 但农作物管理方面的响应是有限的。在许多地区, 观测到生长期的延长有助于提高森林生产力; 同时在北美洲和地中海盆地, 那里温暖干旱的气候条件在一定程度上降低了森林的生产力并增加了森林火灾的危险。农业和林业在最近发生的热浪、干旱和洪水面前表现出一定的脆弱性。[WGII 1.3.6, 1.3.9, 5.2]

### 4.2.2.2 大气二氧化碳和水分动态

大气中二氧化碳增加对植物功能的影响有可能对水资源产生重要影响, 因为与目前的浓度相比, 由于气孔阻力增加, 结果叶片的用水效率提高。对C<sub>3</sub>植物物种(包括多数粮食作物)而言, 与那些被很好地进行灌溉的农作物相比, 二氧化碳对那些处于水分应力的农作物所产生的影响相对来说更大。[WGII TAR 5.3.3.1]

不过, 二氧化碳和水相互作用(比如在森林冠层、野外和区域层面)所产生的大范围影响是非常不确定的。一般而言, 人们认识到, 在更温暖的条件下, 二氧化碳增加对植物水分关系所产生的积极影响将被蒸发量的增加所抵消。[WGII TAR 5.3.3.1]

最近许多研究证实并将TAR的结果推广开来, 即未来几十年温度和降水的变化将改变并常常限制二氧化碳对植物的直接影响。例如, 通过减少谷物的籽粒、大小和质量的方式, 开花期间的高温有可能减小二氧化碳的影响(Thomas等, 2003年; Baker等, 2004年; Caldwell等, 2005)。同样, 在变暖条件下, 需水量的增加有可能减小预期的二氧化碳的影响。在二氧化碳浓度为450ppm条件下生长的雨养小麦证明, 如果温度升高0.8°C, 则粮食产量增加, 但如果温度升高超过1.5°C, 则粮食产量下降, 需要进行另外的灌溉以抵消这些负面的影响。[WGII 5.4.1.2]

最后, 植物生理学家和农作物模拟专家都同样认识到, 二氧化碳增加所产生的效应是在实验室环境下测量、并在模式中实现的, 有可能高估了实际大田和农场水平的响应。这是因为在大田水平下通常存在许多限制性因素, 比如虫害、杂草、对资源的竞争、土壤水分和空气质量。这些关键因素在大规模的实验室环境中缺乏研究, 因此不能被很好地纳入主要的植物生长模式。理解这些描述二氧化碳增加与气候、土壤、水质、虫害、杂草和疾病之间的相互关系以及气候变率和生态系统脆弱性的关键动态, 仍然是理解未来气候变化对管理系统影响的优先考虑事项。[WGII 5.4.1, 5.8.2]

## 4.2.3 预估

在21世纪气候变化背景下的需水量和可用性的变化将显著影响农业活动和粮食安全、林业和渔业。一方面, 在没有气候变化的基准条件下, 蒸发与降水比率的变化将改变植物的需水量。另一方面, 修正后的流域尺度降水和蓄水周期的型式将改变陆地和水生农业生态系统用水的季节变化、年变化和年际变化(FAO, 2003年)。由于温度升高导致降水减少和蒸发增加, 所以气候变化增加了世界上

大部分地区的灌溉需求。[WGII 5.8.1]

除平均变量变化本身所造成的影响外，预计极端气候事件的频率和严重程度的预估变化，比如热应力、干旱和洪水的频率增加将对粮食、林业(及森林火灾的风险)和其它农业生态系统的生产产生重大影响。[WGII 5.ES]尤其是，90%以上的模拟都预计，到21世纪末，亚热带地区的干旱将增加 [WGI SPM]，而在南亚、东亚、澳大利亚东部和北欧的主要农业生产区，极端降水事件将增加。[WGI 11.3, 11.4, 11.7]应当注意的是，有关粮食、森林产品和纤维制品的气候变化影响模式不包括最近这些有关预估的降水变化型式的结果。一旦将极端事件对生产力的影响包括进来，预计负面影响比目前计算的结果更加严重。[WGII 5.4.1, 5.4.2]

年平均径流量的百分比变化可以表示植被覆盖的平均可用水量。对从现在到2100年期间 [WGII 第3章] 变化的预估显示出一些一致的模式：在高纬度和潮湿的热带地区增加；在中纬度和某些干燥的热带地区减少(图4.1b)。可用水量的减少表明水分胁迫的增加，尤其说明在生产用水已成为稀缺商品的地区(比如地中海盆地、中美洲、非洲和澳大利亚的副热带地区，参见图4.1b)的形势在恶化。[WGII 5.3.1]

最后，重要的是要认识到，在未来数十年里，社会经济和气候驱动因子之间的相互作用将共同影响生产系统和水资源。例如，在农业方面，对灌溉用水需求的增加将取决于变化了的气候条件以及日

益增加的人口对粮食需求的增加。此外，用于森林生产力的可用水量将取决于气候驱动因子和关键的人为影响，尤其是在热带地区砍伐森林。例如，在亚马逊河流域，除了气候信号之外，森林砍伐和日益破碎化有可能引发严重的干旱，并导致火灾的危险增加。[WGII 5.3.2.2]

#### 4.2.3.1 作物

一般而言，高纬度地区的适度变暖将有利于提高农作物和牧草的产量。而在低纬度地区或季节性干旱地区，即使是轻微的变暖，都将对产量产生有害的影响。在一系列地点进行的模拟得出的结果表明，在高纬度地区，当地温度适度到中等增加(1—3°C)以及有关的二氧化碳增加和降雨量的变化，将对农作物产量产生很小的有利影响。但是，在低纬度地区，即使适度的温度升高(1—2°C)也可能对主要谷物的产量产生负面影响。进一步变暖将对所有地区产生日益严重的负面影响。[WGII 5.ES]

主要由于土壤贫瘠、水资源短缺和农村贫困的原因，目前在那些以农业为边际企业的地区，由于气候变化对水的影响，这些地区有可能受到越来越大的影响。因此，即使很小的气候变化也将使遭受饥饿的人数增多，目前在非洲撒哈拉沙漠以南地区，这种影响尤其严重。[WGII 5.ES]

气候极端事件频率的增加有可能超出平均气候变化的影响而降低农作物产量。TAR以来的模拟研究考虑了在气候变化情景范围内不断增加的气候变

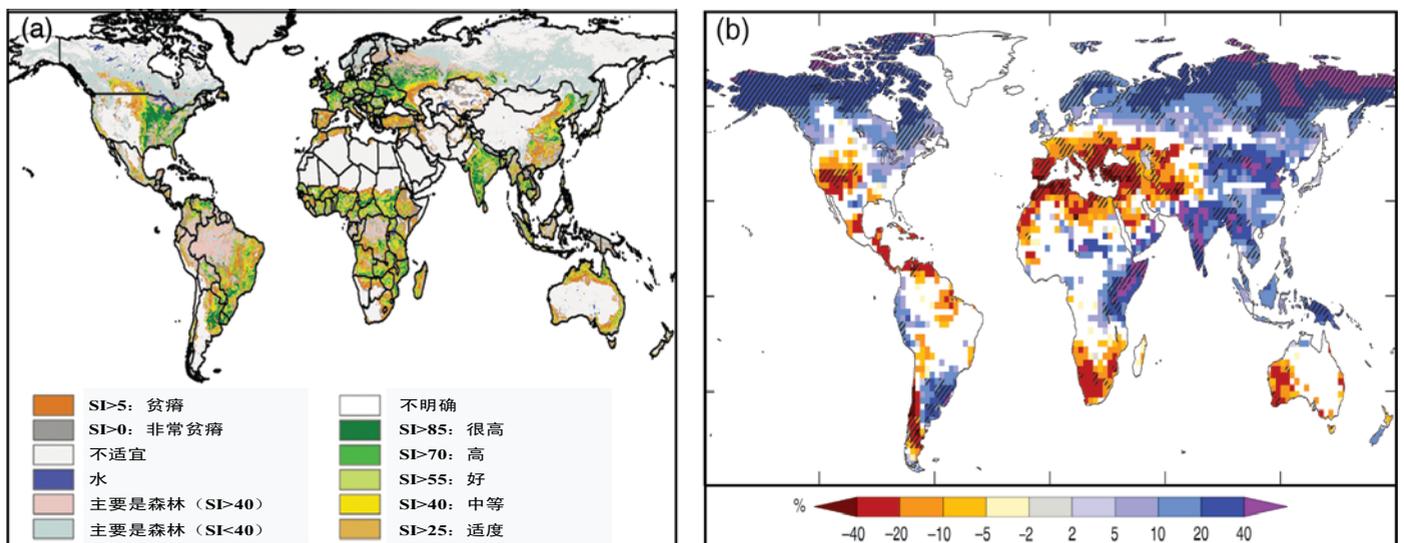


图4.1: (a)目前对雨养农作物(不包括森林生态系统)的适宜性(在Fischer et al., 2002b之后)。SI=适宜性指数[WGII图5.1a];(b)目前(1980–1999年)和2090–2099年之间，预估的年平均径流量的集合平均百分比变化。[基于SYR图3.5]

率的具体内容。根据Rosenzweig等(2002年)的计算结果,在强降水增强的情景下,美国因土壤湿度过大(目前已经很大)造成的生产损失在2030年将是原来的两倍,达到30亿美元/年。在孟加拉国,由于在气候变化背景下发生洪水的频率更高,预估农作物受到损失的风险将增加。最后,那些将更大的降雨强度包括在内的气候变化影响研究指出,在干旱、半干旱地区土壤侵蚀的风险增大。由于经过作物根系区损失的水分在增加,所以较大的降雨强度有可能与具有更大可能性的盐渍化相关。[WGII 5.4.2.1]

气候变化对灌溉水需求的影响可能很大。少数新的研究进一步量化了气候变化对区域和全球灌溉需求的影响,但不考虑二氧化碳增多对农作物用水效率的正面影响。Döll(2002年)研究了气候变化对农作物蒸发需求的直接影响,但没有研究二氧化碳的直接影响,并估计到2070年全球农作物灌溉的净需求(即蒸腾的净损失)将增加5%至8%,而东南亚的区域需求更大(如+15%)。[WGII 5.4.2.1]

Fischer等(2006年)在包括二氧化碳对农作物用水效率的正面影响的研究中计算出,到2080年全球灌溉的净需求将增加20%。由于在气候变化背景下,蒸发需求增加且生长期变长,所以与发展中地区相比,发达地区所受的影响更大。Fischer等(2006年)和Arnell等(2004年)还预估中东和东南亚地区的水分胁迫(将灌溉抽水量与可再生水资源之间的比率作为衡量标准)将增加。最近的区域研究同样强调了在诸如北非(灌溉需求增加;Abou-Hadid等,2003年)和中国(需求下降;Tao等,2003a)等重要灌溉地区的关键的气候变化/水分动态。[WGII 5.4.2.1]

在国家层面开展了一些综合性研究。在美国,农业部门适应气候变化的两项模拟研究(即在灌溉生产和雨养生产之间进行轮作)预计,在各种气候情景下,2030年之后的灌溉面积和抽水量都将减少(Reilly等,2003年;Thomson等,2005a)。这与灌溉农业和雨养农业之间不断下降的产量差距有关,这或者是因为温度升高导致灌溉农作物的产量下降,或者因为降水增加导致雨养农作物的产量增加。这些研究没有考虑日降水变率的增加,因此或许过高估计了雨养农作物的产量。[WGII 3.5.1]

对发展中国家而言,FAO的一份没有考虑气候变化影响的研究报告预计,到2030年灌溉水的抽取量将增加14%(Bruinsma,2003年)。但是,根据四个千年生态系统评估情景的预估,全球灌溉水抽取量的增加要小得多,因为他们假定到2030年灌溉面积仅增加0%至6%,到2050年仅增加0%至10%。[WGII 3.5.1]

民用和工业部门在用水方面的增加可能是最多的,抽水量到2050年将增加14%至83%(千年生态系统评估,2005a,b)。这是基于以下设想,即供民用和工业部门使用的水的价值要高得多,这在水分胁迫的环境下尤其真实。[WGII 3.5.1]

在局地尺度上,灌溉农业有可能面临与河川径流时空分布有关的新问题。例如,在低纬度地区,尤其是在东南亚,早期的融雪有可能造成春汛,并造成夏季灌溉用水的不足。[WGII 5.8.2]

#### 4.2.3.2 草地和畜牧

世界上许多牧场都位于半干旱地区并容易受到水分亏缺的影响;水资源的进一步减少将极大地影响承载能力。结果,气候变率和干旱的增加有可能导致牲畜的损失。具体而言,由于天气型式变率的增加所造成的对动物生产力的影响可能比平均气候条件的变化所产生的影响大得多。由于没有预先适应各种天气事件,所以在空间有限的家畜饲养场容易发生最频繁的灾难性损失,因家畜生产力降低所带来的经济损失是家畜死亡所带来的经济损失的数倍。[WGII 5.4.3.1]

世界上许多牧场受到厄尔尼诺和南方涛动(ENSO)事件的影响。在与ENSO有关的干旱事件的影响下,在干旱地区,土壤和植被的退化与降雨量的减少之间存在正反馈的风险,结果导致牧场和耕地的丧失。[WGII 5.4.3.1] 虽然WGI TAR指出在气候变化背景下ENSO频率存在增大的可能性,但是WGIAR4没有发现ENSO和气候变化之间存在相关性。[WGI TAR SPM; WGI 10.3.5.4]

对全球实验数据进行的一项调查表明,通常轻微的变暖会提高草地的生产力,在高纬度地区提高得最多。牧场植物物种的生产力和组成与降水密切相关。此外,最近的发现(参见图4.1)预估一些主要草地和牧场(如南美洲、南部和北部非洲、西亚、澳大利亚和欧洲南部)的降雨将减少。[WGII 5.4.3.2]

大气中二氧化碳浓度的升高能减少不同的天然和半天然温带和地中海草原的土壤水分消耗。但是,降雨变率的增加、温度的升高和气候变化有可能对土壤湿度造成更加严厉的限制,并因此降低生产力,抵消二氧化碳的有利作用。对牲畜造成的其它影响则直接通过热负荷的增加来实现。[WGII 5.4.3.2]

#### 4.2.3.3 渔业

气候变化对水产养殖和淡水渔业造成的不利

#### 框4.1: 气候变化和湄公河下游的渔业—人类活动对大三角洲渔业系统造成多重压力的范例 [WGII 框5.3]

渔业对人们的生活十分重要，特别是对那些生活在湄公河下游国家的农村贫困人口。该流域六千万人口的三分之二都在以某种方式积极从事渔业活动，这大约相当于柬埔寨和老挝人民民主共和国 (PDR) GDP的10%。湄公河大约有1,000种常见的鱼，还有更多的海洋浮游生物，使其成为全世界拥有最丰富、最多样化动物群的流域之一 (MRC, 2003)。最近的估算表明，仅捕捞渔业每年的捕获量就超过250万吨 (Hortle和Bush, 2003年)，其中湄公河三角洲的捕获量占30%以上。

由于不断变化的降水型式、融雪和海平面上升，气候变化将产生直接影响，从而影响到水文和水质。有可能改变食物链并增加土壤侵蚀的植被格局的变化将产生间接影响。人类对渔业的影响 (源于人口增长、防洪、抽水量的增加、土地利用变化和过度捕捞) 可能比气候产生的影响更大，但是各种压力是密切相关的。

有关气候变化情景对湄公河流量的影响分析 (Hoanh等, 2004年) 估计，该流域最大月流量增加35%—41%，三角洲最大月流量增加16%—19% (较低值是相对于1961—1990年水平的2010—2038年期间的值，较高值则为2070—2099年期间的值)。估计该流域最小月流量将下降17%—24%，三角洲最小月流量将下降26%—29%。洪水增加将肯定影响渔业的产量，但旱季栖息地的减少有可能减少某些物种的补充。但是，对水资源管理进行有计划的干预 (主要是水坝) 将对水文产生相反的影响，即略微减少雨季的流量，并大大增加旱季的流量 (世界银行, 2004b)。

各种模型表明，即使海平面仅上升20厘米，也将在湄公河三角洲的洪水期造成水位等高线向内陆移动25公里，并在旱季使海水进一步向上游推进 (但被限制在运河之内) (Wassmann等, 2004年)。海水在内陆的运动将显著改变渔业的物种组成，但对整个渔业的产量不太可能有害。

影响包括：由于温度升高和需氧量增加以及pH值下降造成的胁迫；未来水质和水量的不确定性；极端天气事件；疾病和有毒事件频率的增加；海平面上升以及与海防需求之间的利益冲突；未来来自捕捞渔业的鱼粉和油类供应的不确定性。框4.1包括一个有关影响发展中国家渔业的多重压力的案例研究。[WGII 5.4.6.1]

积极的影响包括：生长速度和食物转化效率的提高、生长期变长、分布区的扩大以及冰盖缩小后对新地区的使用。[WGII 5.4.6.1]

#### 4.2.4 适应、脆弱性和可持续发展

在未来数十年，面对气候和社会经济压力，水管理是适应各种不同情况和环境的一个关键组成部分。以下因素的综合影响将驱动水利用的变化，即可用水量的变化、土地和其它竞争性行业 (包括城市) 用水需求的变化以及水管理的变化。

在未来气候变化背景下，那些提高灌溉用水生产力 (也就是单位用水量的农作物产量) 的做法有可能为所有的土地生产系统提供重大的适应潜力。同时，对粮食生产以及人类和环境的竞争性需求而

言，提高灌溉效率对确保可用水量至关重要。[WGII 3.5.1]

一些模拟研究认为，在低至适度变暖的情况下，适应对土地行业有可能产生相对效益。但随着变暖的增加，一些响应战略有可能给水和其它环境资源带来额外的压力。自发适应行动是指那些拟由单个的农民、农村社区和/或农民组织所作出的响应，这些响应是基于未来数十年感知的或实际的气候变化，且不受地方政府、国家政府和国际协议的干预和/或协调。为此，不良适应 (如开垦边际土地的压力，或因为产量下降而采取不可持续的耕作方法) 有可能使土地更加退化，并危及野生物种和驯养物种的生物多样性，今后还可能削弱在本世纪晚些时候应对更大气候风险的能力。因此，需要有计划的适应，包括在政策、制度和专用基础设施方面的变化，以帮助实现气候变化适应性响应的长期效益，并使这种效益扩大到最大限度。[WGII 5.5]

##### 4.2.4.1 自发适应

自发适应可供选择的措施主要是扩大或强化现有的风险管理和提高产量的活动，因此，农民和社区已经拥有这些措施。这些有关水的适应选择包

括:

- 采用那些能更好地抵抗热冲击和干旱的品种/物种;
- 改进灌溉技术, 包括灌溉的数量、时间或者技术;
- 采用节水技术以“收获”水, 保存土壤湿度(如保留农作物的残留物)以及减少淤积和海水入侵;
- 改进水资源管理以防止水涝、侵蚀和沥滤;
- 修改作物历法, 即耕种活动的时间或地点;
- 实施季节气候预报。

其它的适应战略可能包括: 利用改良后的农业气候条件来改变土地利用。[WGII 5.5.1]

少数的模拟研究表明, 灌溉用水是降低气候变化影响的一种重要的适应技术。但是一般而言, 各种预估表明, 在低至适度变暖的条件下, 适应将带来最大的相对效益。随着变暖和蒸发量的增加, 实际上那些涉及灌溉用水量增加的适应措施有可能给水和环境资源造成额外的压力。[WGII 5.8.1]

此外, 还在除种植业之外的关键生产部门探索了许多适应性战略, 但没有直接着眼于水问题。尽

管如此, 对畜牧系统而言, 有可能影响水利用的适应战略包括牧场轮换、更改放牧次数、改变饲料和动物物种/品种、改变对混合禽畜/农作物系统的整合(包括使用适合的饲料作物); 并努力确保充足的水供应、使用补充饲料和精料。框4.2讨论了位于半干旱、干旱地区的肯尼亚和埃塞俄比亚南部地区牧民的应对策略。[WGII 5.4.7]

林业的适应战略可能包括管理力度、物种组合和轮伐期的改变, 对木材尺寸及质量变化的适应, 以及消防管理体系的调整。[WGII 5.5.1]

关于海洋生态系统, 除水产养殖和一些淡水渔业之外, 自然鱼类种群的开发不允许采取那些针对农作物、畜牧和林业部门的气候变化管理适应战略。因此, 适应措施集中在改变可捕鱼的规格和力度。由于开始实施有关渔业和海洋生态系统开发的规章制度, 所以自发适应的范围受到越来越多的限制。[WGII 5.5.1]

若被广泛采用, 生产系统的适应战略在抵消气候变化负面影响和利用积极因素方面拥有很大的潜力。但是, 鉴于决策的复杂性、整个地区响应的多样性、实施的时间延迟以及在经济、制度和文化方

#### 框4.2: 肯尼亚北部和埃塞俄比亚南部牧民的应对策略 [WGII 框5.5]

非洲畜牧业已发展到能够适应具有非常高的降水时空变率的恶劣环境(Ellis, 1995年)。最近的一些研究(Ndikumana等, 2000年; Hendy和Morton, 2001年; Oba, 2001年; McPeak和Barrett, 2001年; Morton, 2006年)集中针对最近在肯尼亚北部和埃塞俄比亚南部发生的干旱期间牧民所采取的应对策略, 以及支撑这些策略的长期适应措施。

- *流动性*是牧民适应降雨时空变化的最重要的方式。在干旱年份, 许多居民利用因距离、土地使用权的限制、动物疾病或冲突原因所造成的在“正常”旱季所没有使用的低效放牧区。但是, 公共放牧地的侵蚀和个体化、为获取公共事业和粮食援助而定居的愿望严重限制了牧民的流动性。
- 牧民参加 *畜群聚集*活动, 目前许多证据表明这是对付干旱的一种合理的保险形式。
- 目前, 比例较小的一部分牧民在银行账户持有他们的一些财富, 而其他人则通过店主使用非正式储蓄和信贷机制。
- 作为一种应对策略, 牧民也给牲畜使用购买的或者从树上割下的 *补充饲料*。他们依靠本土的科学技术来加强对 *动物疾病的管理*。他们支付费用以便从动力井眼获得水源。
- 远离该地区畜牧业的 *生计多样化*的主要表现形式是转向低收入职业或者是环境方面不可持续的职业比如木炭生产, 而不是采取适应战略以 *有意识地减少脆弱性*。
- 人们通过许多 *社区内的机制*将畜牧产品和活体动物分发给贫困人群, 但由于社区内存在很高的共变风险, 所以这些机制似乎不管用。

面对变化可能造成的障碍，所以几乎没有对这些适应措施的有效性和运用范围进行评估。例如，贫穷的维持生计农业/放牧社区的实际适应能力通常很低。同样，大面积的森林得到了人类最低限度的直接管理，限制了适应的机会。即使对被强化管理的森林而言，尽管适应活动有可能更为可行，但植树和收获之间较长的时间延迟可能使有效适应战略的采用事宜变得复杂化了。[WGII 5.1.1]

#### 4.2.4.2 有计划的适应

有计划的适应解决方案应侧重于开发新的基础设施、政策和制度，用于支持、促进、协调和使新的管理和土地利用安排的效益最大化。大体上可通过改善治理来实现该目标，包括在发展计划中应对气候变化，增加灌溉基础设施的投入和有效的水利用技术，确保适当的运输及储藏基础设施，修改土地占有的制度安排(包括注意要清楚地界定财产权)，为产品、投入(包括水的定价策略)和金融服务(包括保险)建立方便和有效运作的市场。[WGII 5.5]

在多个机构中开展有计划的适应和政策协调对促进气候变化的适应可能是必要的，尤其是产量下降给开垦边际土地或采用不可持续的耕作方法带来压力，使土地更加退化并增加对资源包括水的使用。[WGII 5.4.7]

在全球、国家和流域层面开展的许多适应性评估表明，一般而言，半干旱和干旱流域对于水分胁迫最为脆弱。如果降水减少，则灌溉用水需求将使满足所有其它的需求成为不可能。预估萨克拉门托—圣约昆和科罗拉多河流域的河川径流变化表明，即使采取适应性管理措施，到2020年就不能满足目前对水的需求。灌溉的增加将减少径流和下游的流量(Eheart和Tornil, 1999年)。[WGII 3.5.1]

通过市场机制或通过增加规章制度和改善治理的方式，那些对提高灌溉效率进行奖励的政策是在区域层面提高适应能力的一个重要工具。意想不到的后果可能是上游用水量增加，导致下游的用户失去本应再次回流到河流中的水资源(Huffaker, 2005年)。[WGII 3.5.1]

除目前已提供给农民和土地管理者的技术之外，需要通过现今拟规划和实施的专门研发工作提供新的技术选择，以增加在未来几十年应对气候变化的整体能力。加强研发的技术选择包括更好地应对气候应力(如在农作物、饲料、畜牧、森林和渔业物种方面的干旱和洪水)的传统育种和生物技术(框4.3)。

#### 框4.3: 生物技术能给农业和林业的适应提供帮助吗? [WGII 框5.6]

生物技术和常规育种可能有助于开发具有更好地适应气候变化条件的增强性状的新的栽培品种，这包括对于干旱和高温胁迫的抵抗力，以及对病虫害、盐分和水涝的抵抗力。对新的栽培品种而言，其它机会包括改变物候学或者对二氧化碳增加作出更好的响应。关于水的问题，许多研究都记载了对主要作物品种(如玉米和大豆)进行的基因改变，从而提高这些品种忍受水分亏缺的能力(正如Drennen等, 1993年; Kishor等, 1995年; Pilon-Smits等, 1995年; Cheikh等, 2000年所评述的)，但这种做法可能不能推广到更广泛的作物。总的来说，目前在实际的农业和林业应用中，尚不知道如何通过改变基因来获得所想要的性状(Sinclair和Purcell, 2005年)。

#### 4.2.4.3 粮食安全和脆弱性

粮食安全包含的全部四个方面是：粮食供应(生产和贸易)、粮食获取、粮食供应的稳定性和粮食利用(食品加工和消费所涉及的实际过程)，这四个方面有可能受到气候变化的影响。重要的是，粮食安全不仅取决于气候和社会经济对粮食生产的影响，而且也(并且同样关键)取决于贸易流量、库存和粮食援助政策的变化。尤其是，气候变化对粮食生产的影响将是多种多样的，在不同地区的影响也各不相同，因此，对粮食的获取也将产生影响。热带地区的许多发展中国家缺乏土地和水资源，并面临严重的粮食不安全，所以这些国家尤其容易受到气候变化的影响。[WGII 5.6.5]

干旱和洪水频率及强度的变化将影响粮食供应的稳定性以及对关键粮食供应的获取。降雨不足能显著影响半干旱热带地区的作物产量和牲畜的数量。由于低洼地区洪水和海岸侵蚀的影响，耕地和沿海养鱼场的丧失将使粮食不安全和丧失生计的形势更加恶化。[WGII 5.6.5]

气候变化可能通过对环境资源的影响而影响粮食利用，并带来其它严重的健康问题。[WGII 第8章]例如，在缺水地区尤其是亚热带地区，供水的减少对食品加工和消费产生了直接的负面影响。相反，由于沿海地区海平面上升和强降水的增加使人类居住区发生洪水的风险加大，这有可能增加食品污染

和疾病的爆发。[WGII 5.6.5]

#### 4.2.4.4 水质问题

在发展中国家，由于缺乏卫生设备和适当的处理方法，且卫生状况较差(Lipp等，2001年；Jiménez, 2003年；Maya等，2003年；WHO, 2004)，所以水的微生物质量较差。气候变化有可能给水质施加额外的应力，尤其是在发展中国家(Magadza, 2000年；Kashyap, 2004年；Pachauri, 2004年)。迄今为止，还没有侧重探讨在气候变化背景下与发展中国家的微生物生活周期有关的研究，包括非常需要研究用于灌溉的处理不当的废水的影响，及其与各地方蠕虫病爆发之间的关系(WHO/UNICEF, 2000)。[WGII 3.4.4]

全世界大约有10%的人口(主要是在非洲、亚洲和拉丁美洲的发展中国家)消耗的是未经处理或处理不当的废水灌溉生长的作物。随着人口和粮食需求的增加，预计这个数字还将增加。[WGII 8.2.5] 因此，为应对缺水 and 有关的健康问题，一项策略是在灌溉中要增加使用经适当处理的废水。[WGII 3.4.4]

#### 4.2.4.5 农村社区、可持续发展和水资源冲突

在分享共用资源的一些大的区域中，跨界水的合作被认为是改进水管理的一种有效的政策和管理工具。未来几十年的气候变化和需水量的增加将对这种框架协议提出更多的挑战，并增加地区冲突的可能性。例如，为适应与气候变化有关的缺水所采取的单边措施会加剧对水资源的竞争。此外，土地生产力的改变有可能催生一系列对维持生产所必须的新的或改变后的农业制度，包括一些强化的做法。后者继而造成额外的环境压力，使栖息地丧失、生物多样性减少、产生淤积、土壤侵蚀和土壤退化。[WGII 5.7]

预计采取的用生物燃料替代化石燃料的措施，比如欧洲生物质能行动计划，也有可能对贸易、经济和环境发展以及土地利用产生影响。生物燃料的大规模生产就提出了如下若干问题，包括化肥和农药需求、养分循环、能量平衡、生物多样性的影响、水文和侵蚀、与粮食生产的冲突以及所需的财政补贴程度。事实上，未来数十年新出现的挑战包括在粮食、林业和能源部门争夺土地和原材料之间寻找平衡，比如在最大限度地满足能源需求和减缓气候变化的同时，设计一些确保粮食和本地农村发展权利的解决方案。[LULUCF 4.5.1]

在北美洲，大陆内部的干旱可能会增加且生产区域可能向北移动(Mills, 1994年)，尤其是对玉米

和大豆生产而言(Brklacich等，1997年)。[WGII TAR 15.2.3.1] 在墨西哥，由于适合玉米栽培的农业生态区的减少，所以生产方面的损失可能主要是干旱造成的(Conde等，1997年)。[WGII TAR 14.2.2.1] 由于社会、政治、地理和环境方面的原因，干旱在整个澳大利亚是一个重要问题。在目前澳大利亚的干旱政策计划下，由于降雨减少和蒸发需求增大，趋于更干状况的气候变化将使干旱变得更加频繁或者持续时间更长。[WGII TAR 12.5.6]

在非洲的家庭、农业和工业用水方面，水资源的脆弱性是最主要的。对共享的河流流域而言，需签署区域合作议定书以尽量减少不利影响和潜在的冲突。例如，乍得湖的表面面积从旱季的20,000平方公里变为雨季的50,000平方公里。虽然乍得、尼日利亚、喀麦隆和尼日尔之间建立了精确的边界，但从未确定那些位于该流域并向乍得湖排泄污水的这些边界附近的部门。洪水消退和水资源的减少使问题更加复杂。博茨瓦纳和纳米比亚之间的卡万戈河出现的类似问题引发了军事对抗。[WGII TAR 10.2.1.2]

日益严重的水资源短缺、人口的不断增加、共用淡水生态系统的退化、对分布在如此广大区域并涉及众多国家的不断减少的自然资源的竞争性需求，有可能带来双边和多边冲突。在半干旱的非洲，畜牧业是主要的经济活动，畜牧社区(包括跨国移民)在寻找季节性牧场。在发生干旱的情况下，这些牧民可能会与固定的农业系统发生冲突。[WGII TAR 10.2.1.2]

亚洲在世界水产养殖业方面占优势，仅中国一个国家生产的养殖鱼类、虾和贝类就占全世界总量的70%(FAO, 2006年)。鱼是食用蛋白的一个重要来源，对亚洲许多国家的粮食安全至关重要，对沿海贫困社区尤其如此。鱼类养殖需要土地和水，这两种资源在亚洲许多国家已经供应不足。在泰国的沿海地区，为养虾池引水明显降低了地下水的水位。[WGII TAR 11.2.4.4]

亚洲至少拥有14条主要国际河流的流域。流域管理正在挑战那些人口密度很高的国家，这些国家往往把流域中最脆弱和最不适合的地区用于耕作、居住和其它的密集活动。结果，尤其是在孟加拉国、尼泊尔、菲律宾、印度尼西亚和越南等许多国家，许多流域的森林遭到严重砍伐、土地被随意流转、土壤遭受过度侵蚀和土地生产率下降。如果缺乏适当的适应策略，这些流域极易受到气候变化的影响。[WGII TAR 11.2.3.2]

#### 4.2.4.6 减缓

可以在农业和林业部门同时采取适应对策和减缓行动，其功效将取决于未来数十年发生的气候变化型式。这些要素(气候变化、适应和减缓)之间产生的相互作用经常与水资源有关。[WGIII 8.5, 表 8.9]

当适应和减缓/战略这两个行动相辅相成时，则表现出协同增效作用，要不二者就产生相反的效果。关于水，那些减少减缓选择的适应性战略的例子主要涉及灌溉，这与供水的能源成本和额外的温室气体排放(可能与改变后的耕作方法相关)有关。不过，利用可再生能源开采和提供水资源有助于消除这种冲突。同样，某些减缓战略可能产生负面的适应性后果，比如日益依赖能源作物，而这些作物有可能争夺水资源，减少生物多样性，从而增加对气候极端事件的脆弱性。[WGIII 12.1.4, 12.1.4]

另一方面，从本质上讲，涉及减少耕作、增加作物覆盖和使用改进后的轮作制度的许多固碳措施构成一并且实际上开始发展为一“良好做法”的混农林业，使生产系统更加适应气候变率，从而在水土资源面临更大压力的情况下提供较好的适应(Rosenzweig和Tubiello, 2007年)。[WGII 5.4.2; WGIII 8.5]

## 4.3 人类健康

### 4.3.1 背景

包括身体健康、社会福利和心理健康的**人类健康**取决于充足的饮用水供应和安全的环境。人类通过天气型式(更加激烈和频繁的极端事件)直接受到气候变化的影响，并通过水、空气、食品质量和数量、生态系统、农业、生计和基础设施的变化间接受到气候变化的影响。[WGII 8.1.1]由于遭受影响的人数可能很多，所以营养不良和缺水可能是气候变化造成的最重要的健康问题(参见第4.2节和4.4节)。[WGII 8.4.2.3]

人口健康在过去50年期间得到了显著的改善，但各国内部和不同国家之间存在大量的健康不平等问题。在某些发展中国家，到2015年**不太可能**实现将5岁以下儿童死亡率降低三分之二的千年发展目标(MDG)。健康欠佳导致脆弱性增加并降低个人和团

体适应气候变化的能力。具有很高比率疾病和缺陷的人口不太容易成功地应对各种胁迫，包括与气候变化有关的胁迫。[WGII 8.1.1]

根据目前世界卫生组织(WHO)和UNICEF联合监测计划的估计，有11亿人(占全球人口的17%)缺乏对水资源的获取，此处获取的定义是：每人每天能从1公里之内改善后的水源地获取至少20升水。改善后的水源地是指提供“安全”水源的地方，比如家庭水管或者井眼。在亚洲几乎三分之二的人口尚未获得安全水源。在次撒哈拉非洲，42%的人口不能获取改善后的水源。根据WHO的估计，每年因供水不足以及落后的卫生设备和保健共造成170万人死亡。在许多国家，与供水和卫生设备有关的健康结果是人们对气候变化关注的焦点。在脆弱地区，粮食和饮水不安全造成的风险聚集在一起，使得任何极端天气(如洪水和干旱)对受影响家庭所造成的影响尤其严重。[WGII 9.2.2]

气候极端事件的变化有可能对人类健康造成严重影响。预计洪水将随着气候变化而变得更加凶猛，这将对人类健康造成影响。如果拥有适当的基础设施来清除固体垃圾、管理废水并供应饮用水，则将减少洪水造成的影响。[WGII 8.2.2]

目前全世界疾病所造成的重大负担源于缺乏卫生所需的水源。可将该负担中无法量化的一小部分归因于气候变率或者气候极端事件。“缺水”与多种不良的健康结果有关，包括被排泄物和其它有害物质(如寄生虫)污染的水所引起的疾病。

虽然护理方面得到了改进，并使用了口服补液疗法，但在低收入国家尤其是次撒哈拉非洲地区，因腹泻导致的儿童死亡率和发病率仍然很高。预计气候变化将使缺水更加严重，但在家庭层面，很难评估这对供水意味着什么，因此也很难评估这对健康和卫生意味着什么。缺乏将大规模气候变化模拟与对人口或者家庭产生的小规模影响联系起来的信息。此外，任何有关供水变化对未来健康影响的评估都需要考虑未来在获取“安全”水源方面得到的进一步改善。[WGII 8.2.5, 8.4.2.2]

#### 4.3.1.1 对饮用水质的影响

正如下文针对管道供水和与地表水直接接触

所进行的讨论，降水、河川径流和供水污染之间的关系十分复杂。如果河川径流因降雨量的减少而减少，那么它们稀释排放物的能力也将下降，结果造成病原体或者化学负荷的增加。这意味着人类将面临更大的风险，或者表明拥有管道供水的地方将增加，也意味着水处理厂将面临更大的风险。在2003年干旱的夏季期间，荷兰的枯水期使水质发生明显的变化(Senhorst和Zwolsman, 2005年)。可能由于池塘中病原体浓度较高，所以亚马逊河流域霍乱爆发表现出的明显季节性与旱季中河流的低流量有关。[WGII 8.2.5]

排水和暴雨水管理对低收入城市社区很重要，因为淤塞的排水管能引发洪水并增加病媒对疾病的传播(Parkinson和Butler, 2005年)。具有合流制下水道溢流的城市在洪水期间要面临更多的污水污染。[WGII 8.2.5]

在高收入国家中，降雨和径流事件可能会增加河道和饮用水水库中微生物的总负荷，但与人类疾病案例之间的关系不够明确，因为污染物的浓度被稀释了。在北美洲和欧洲初春时节发生的地表水季节性污染事件说明，诸如隐孢子虫病和弯曲菌病等通过水传染的偶发疾病存在一定的季节性。有相当比例被通报的通过水传染的疾病的爆发与强降水事件相关，且往往治疗失败。[WGII 14.2.5, 8.2.5]

淡水有害藻华(赤潮)的产生能引发人类疾病的毒素。由于温度升高，地表水中的这种藻华可能增多。然而，它对人类健康的威胁却很小，因为与藻华的直接接触通常是受到限制的。藻毒素对供水造成污染的风险较低，但对人类健康的影响是不确定的。[WGII 8.2.4, 3.4.4]

在供水基础设施较差的地区，肠道病原菌的传播在雨季达到最高峰。此外，发现气温升高与腹泻增加有关(Checkley等, 2000年; Singh等, 2001年; Vasilev, 2003; Lama等, 2004年)。这些疾病潜在的发病率与卫生条件差和缺乏安全饮用水有关。[WGII 8.2.5]

#### 4.3.1.2 灾害，包括风暴和洪水

前几节描述了气候变化将如何影响与水有关的灾害，包括冰川湖突发洪水(GLOF)、风暴潮强度的增加和洪水风险的变化(参见第3.2节)，包括山洪和城市洪水，以及春季融雪洪水风险的降低。[WGII 3.4.3] 就死亡人数和疾病所造成的负担而言，就洪水对卫生基础设施所造成的损害而言，洪水对健康具有相当大的影响。[WGII 8.2.2] 在高收入国家，虽然

洪灾之后爆发传染病的风险普遍较低，但对基础设施较差且传染病带来较重负担的人口而言，他们在洪灾之后往往要经历更高的腹泻病发病率。有关气候灾害影响心理健康的证据越来越多，受洪水影响的人们要经历长期的焦虑和抑郁。[WGII 8.2.2, 16.4.5]

洪水和强降雨可能使储存的化学物质、重金属或其它有害物质污染水源，或者使环境中的化学物质(如农药)污染水源。在那些受自然灾害影响的地区，人口密度的增加和工业发展的加快将增加未来发生灾害的概率，并使人们在这些事件期间遭受大量有害物质影响的可能性增加。[WGII 8.2.2]

#### 4.3.1.3 干旱和传染性疾病

对少数传染病而言，有一种确定的降雨因果关系，这与饮用水(质量或数量)的消费或节肢动物媒介没有关系。非洲萨赫勒地区(流行性)脑膜炎球菌的空间分布、强度和季节性与气候和环境因素尤其是干旱有关，但人们尚未很好地认识到其中的因果机制。近年来，西非脑膜炎的地理分布有所扩大，这可能归因于土地利用变化和区域气候变化引起的环境变化。[WGII 8.2.3.1]

#### 4.3.1.4 沙尘暴

风从非洲沙漠地区、阿拉伯半岛、蒙古、中亚和中国吹起的沙尘能影响遥远地区的空气质量和人体健康。与无沙尘天气条件相比，沙尘能携带高浓度的可吸入颗粒物，影响人类健康的微量元素，以及真菌孢子和细菌。[WGII 8.2.6.4]

#### 4.3.1.5 由病媒传染的疾病

气候影响那些通过病媒(如疟疾)传播的疾病的空间分布、传播的强度和季节性，也影响将水蜗形虫作为中间宿主的疾病(如血吸虫病)的空间分布、传播的强度和季节性。[WGII 8.2.8] 虽然蚊子的活动在干旱季节有所减少，但如果传播显著下降，则非免疫人群的数量可能增加。从长远来看，诸如疟疾等由蚊子传染的疾病将减少，因为蚊子的数量在减少，但是当出现合适的气候条件时，则仍将爆发流行病。[WGII 8.2.3.1]

在某些地区，血吸虫病(一种将水蜗形虫作为中间寄生宿主的与水有关的寄生虫病)的分布将受到气候因素的影响。例如，观测到的过去十年期间中国血吸虫病分布的变化有可能部分反映最近变暖的趋势。如果没有实施适当的控制措施，事实表明，灌溉系统也可能增加血吸虫病的发生。[WGII 8.2.8.3]

### 4.3.2 观测

有许多驱动力能影响并改变气候变化对人类健康成果的影响。由于气候因素和疾病之间关系的复杂性，通常不可能将特定疾病类型的变化归因于观测到的气候变化。而且，很少将具有合格质量和长度的健康数据序列用于这种研究。尚无已发表的有关水对健康造成影响的研究结果，这些影响描述了由观测到的气候变化所引起的疾病型式。不过，水资源部门有一些旨在降低气候变化影响的适应性响应报告。[WGII 第7章]

将在别处讨论观测到的与水有关灾害(洪水、风暴)的趋势和气候变化的作用。[WGII 1.3]

### 4.3.3 预估

预计气候变化将在水和卫生基础设施不足以满足当地需求的地方对人口产生一系列的不利影响。获取安全饮用水仍然是全世界一个极其重要的健康问题。全世界20多亿人居住在干旱地区，且这些人比其他人更加容易受到营养不良、婴儿死亡率和与污水有关疾病或缺水的影响。缺水严重制约了可持续发展(Rockstrom, 2003)。[WGII 8.2.5, 8.4.2.2]

### 4.3.4 适应性、脆弱性和可持续发展

对数以亿计的人而言，脆弱的公共卫生体系和有限的初级卫生保健导致很高的脆弱性和较低的适应能力。[WGII 8.6] 低收入国家存在一些基本的限制条件，在那里，人口的健康将取决于卫生、供水、农业、运输、能源和住房部门的改善情况。贫穷和治理薄弱是进行有效适应的最严重的障碍。尽管经济取得了发展，低收入国家在中期内可能仍然很脆弱，在适应气候变化方面比高收入国家的机会更少。因此，如果要适应战略取得成效，应在目标区域的发展、环境和健康政策背景下设计适应战略。许多能用于减少未来脆弱性的选择对适应当前气候具有一定的价值，并也能用于实现其它的环境和社会目标。[WGII 8.6.3]

应在实施战略之前评估任何适应战略可能对健康产生的不良影响。例如，微型水坝和灌溉系统被证明可能增加当地疟疾的死亡率。[WGII 8.6.4] 例如为应对缺水而将未经处理的废水或经过部分处理的

废水用于灌溉等措施也可能对人类健康造成影响。目前，灌溉是诸如疟疾和血吸虫病等传染病传播的一个重要的决定因素(Sutherst, 2004年)。针对废水灌溉制定的严格的水质指标旨在预防病原微生物对健康造成的风险，并确保庄稼的质量(Steenvoorden和Endreny, 2004年)。有些疾病(如蠕虫病)是因为消耗了被污水和废水灌溉的庄稼而传播的。在大多数低收入国家的农村和城市周边地区，使用污水和废水进行灌溉的这种常见做法是粪-口疾病传播的一个来源。目前，全世界至少有十分之一的人口消耗的是废水灌溉的庄稼。然而，日益严重的缺水和粮食需求再加上卫生条件差，将促进对低质水的使用。如果要控制这些问题，那么就需要制定有关废水处理和废水回用的计划。[WGII 8.6.4, 3.4.4]

## 4.4 供水与卫生

有关观测到的气候变化对水资源数量和质量的影响已在第4.2和4.3节进行了详细讨论。本节总结了一些要点，并描述了它们对供水和卫生服务的影响。

### 4.4.1 背景

第4.3.1节提供了有关目前获取安全饮用水的统计数据。目前，获取安全的饮用水被视为一种普遍的人权。但是，在供水服务方面，全世界正面临越来越多的问题，特别是在发展中国家。这方面的原因有若干个，但不一定与气候变化有关。缺乏可利用的水、人口增长密集地区对水更高的和更不平衡的需求，城市化的发展、为改善大众福利而对水更多的使用、在改进治水方面所面临的挑战，这些可变因素已对提供满意的供水服务提出了巨大的挑战。在此背景下，气候变化仅仅是给自来水公司，或者是给那些提供供水服务的其它组织在满足客户需求方面带来了一个额外的负担。很难确定气候变化对当地产生的影响，但观测到的影响和各种预估结果为今后的准备工作奠定了基础。

### 4.4.2 观测

表4.1总结了气候变化和供水服务之间的可能联系。

表4.1:观测到的气候变化结果及观测到的/可能的对供水服务的影响 [WGII 第3章]

观测到的结果	观测到的/可能的影响
气温升高	<ul style="list-style-type: none"> <li>正如在沿南美洲安第斯山脉的一些城市进行观测所获得的结果那样，那些依靠正在退缩的冰川补给的流域的可用水量在减少(Ames, 1998年; Kaser和Osmaston, 2002年)</li> </ul>
表水温升高	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶解氧含量、混合方式和自我净化能力的下降</li> <li>藻华增加</li> </ul>
海平面上升	<ul style="list-style-type: none"> <li>沿海地下蓄水层的盐渍化</li> </ul>
降水分布的变化	<ul style="list-style-type: none"> <li>因降水变化而使可用水量发生变化和其它有关现象(如地下水的补给、蒸散)</li> </ul>
年际降水变率的增加	<ul style="list-style-type: none"> <li>汛期防洪和水库利用的难度加大</li> </ul>
蒸散加大	<ul style="list-style-type: none"> <li>可用水量减少</li> <li>水资源的盐渍化</li> <li>地下水水位降低</li> </ul>
更加频繁和激烈的极端事件	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水影响水质和水利基础设施的完整性并增加河流的侵蚀，这给水资源带来不同种类的污染物</li> <li>干旱影响可用水量和水质</li> </ul>

#### 4.4.3 预估

可用量的减少可能因为:

- 依靠不断退缩的冰川补给的流域的流量减少、旱季的持续时间更长且更加频繁;
- 夏季降水减少，使那些靠季节性河流补给的水库的蓄水减少(du Plessis等，2003年);
- 降水的年际变率和河川径流的季节性变化;
- 内陆地下水位的下降;
- 蒸散增加，这是因为温度升高、生长季变长和灌溉用水的增加;
- 盐渍化(Chen等，2004年)。

根据预估，面临用水日益紧张的人数到2020年将达到4亿至17亿，2050年达到10亿至20亿，2080年达到11亿至32亿(Arnell, 2004年)，这种变化范围是由于使用了不同的SRES情景。[WGII 3.2, 3.5.1]

在某些地区，可用水量较少将导致地下水的过度开采，因而增加了供水的成本，因为需要用泵来抽取更深更远的水。此外，在某些情况下，地下水的过度开采可能导致水质恶化。在印度、孟加拉国、中国、北非、墨西哥和阿根廷的某些地区，有1亿多人神中毒和氟中毒(因过度消费饮用水中的氟化物而导致的一种牙齿或骨骼疾病)(联合国，

2003年)。如果人们因为缺乏可靠的地表水源而被迫使用更多的地下水，这可能使情况更加糟糕。[WGII 3.4.4]

日益严重的缺水加上粮食需求的增加和/或因温度升高造成的灌溉用水增加可能使污水回用增加。在卫生设施较差的地区，可能发现正在进行(作为一种新的活动或者在更大程度上)不受控制的污水回用(指利用被污染的水甚至废水)。[WGII 3.3.2, 8.6.4]

流量变化导致水质恶化。预计在水资源减少的情况下，稀释能力的降低将导致水中污染物浓度的升高。[WGII 3.4.4, 14.4.1] 同时，水流量的增加将以河流侵蚀的方式，将不同化合物从土壤转移并运送到水中。[WGII 3.4]

同样，因为适于饮用的水供应不足，且在极端降水事件期间的高水流量将输送更多的病原体，所以在更加潮湿和干旱的情景下，预计水传染疾病的发病率和死亡率将增加(Kovats等，2005年; Ebi等，2006)。降水增加也可能使水的混浊度和养分载荷增加。纽约市自来水公司已将强降水确定为与气候变化有关的主要事件之一，因为它们将该市一些主要水库的混浊度升高达100倍，这是自来水公司水源质量的法律限度，需要花费大量额外的处理和监测成本(Miller和Yates, 2006年)。[WGII 3.5.1]

**径流增加。**考虑到目前全球水资源的状况，某些地区的人们将拥有更多的水，通常而言这是有益的。为了朝着对世界有利的方向使用这些水资源，需要制定有关规章。例如，考虑到缺乏资金进行新的库容投资以积蓄额外的水源以便能在旱季时使用，虽然预计东亚和南亚的径流量将因气候变化而增加，但可能却无法解决这些地区的缺水问题。[WGII 3.5.1]

城市中的强降水可能会影响排水系统的性能。不受控制的过多污水可能会给水资源带来微生物和化学污染物，而这很难利用常规的饮用水处理过程去处理。一些研究表明，对氯化反应具有耐受力的肠道病原菌(比如**隐性芽胞虫菌**)在雨季期间的传染率很高(Nchito等，1998；Kang等，2001年)。这种情况在发展中国家可能被扩大，因为那里的健康水平更低，且废水中的病原体含量较高(Jiménez，2003年)。此外，引发洪水的极端降水事件使水利基础设施处于危险之中。在洪水泛滥期间，供水设施和废水处理设备往往不能使用，使人们没有卫生防护。[WGII 3.2，3.4.4，8.2.5]

**高温破坏水的质量。**温暖的天气加上湖泊和水库中较高的磷的浓度促进藻华的生长。通过不受欢迎的颜色、气味和味道以及对人类、牲畜和野生动物可能具有的毒性，藻华可能破坏水质。利用现有技术对这种被污染的水进行处理的成本较高，即使对发达国家的自来水公司而言也是这样(加拿大环境部，2001年)。高水温也将使挥发性和半挥发性污染物(氨、汞、PCB(多氯化联二苯)、二恶英、农药)更易从水和废水中传播到空气中。[WGII 3.4.4]

**盐碱化加强。**因海平面上升而导致沿海含水层的供水盐碱化是一个重要问题，因为全世界大约四分之一的人口生活在沿海地区，那里通常缺水且人口增长很快(Small和Nicholls，2003年；千年生态系统评估，2005b)。由于地下水补给的减少，所以盐碱化也能影响内陆的含水层。[WGII 3.2，3.4.2]

气候变化对供水服务影响最大的人口位于非洲、地中海地区、近东、南亚、中国北部、澳大利亚、美国、墨西哥中部和北部、巴西东北部、南美洲西海岸等水资源业已紧张的流域。那些尤其处于危险之中的人口生活在严重依赖地下水的大城市和农村地区、小岛屿和靠冰川或融雪补给的流域(全世界超过六分之一的人口生活在融雪流域)。那些经济

不景气地区的问题将更为重要，那里的社会经济因素将增加水的压力(Alcamo和Henrichs，2002；Ragab和Prudhomme，2002年)。[WGII 3.3.2，3.5.1]

#### 4.4.4 适应、脆弱性和可持续发展

鉴于上文所设想的问题，对处于危险地区的自来水公司而言，重要的是制定相应的规划。大部分供水系统都能够很好地应付未来数十年将发生的相对小的平均气温和降水变化，除了气候变化要求对系统设计或所使用技术进行改变的边缘地区，例如降水减少的地区需要建造更多的水库(Harman等，2005年)；或者气候变化使盐分入侵河流下游或需要新的水处理系统以清除盐分的边缘地区。最近一个有关适应的例子是在南部非洲(Ruosteenoja等，2003年)。莫桑比克的贝拉市正将其50公里长的泵送管道再向内陆延长5公里，以确保获得淡水。[WGII 7.4.2.3.1]

通常利用工程系统提供供水服务，这些系统的设计采用了各种安全因素，其预期寿命为20—50年(水库的寿命甚至更长)。依靠观测到的情况对供水系统的适应能力和水利基础设施的性能进行了审查。对气候预估的使用情况也应进行审议，尤其是防洪抗旱系统。

**可用水量的减少。**除少数工业化国家之外，由于人口和经济增长、生活方式的改变和供水系统的扩大，全世界水的利用正不断增多。[WGII 3.3]重要的是要在可用水量可能减少的地区实施有效的用水方案，因为可能需要在修建新的水库或使用替代水源方面进行大量的投资，以确保充足的供水。减少用水可能会推迟或甚至取消对更多基础设施的需求。增加可用水量最快的途径之一是将城市网络和灌溉系统中水的损失减至最低。减少新的供水需求的其它方法包括收集雨水和水的控制回用。[WGII 3.5，3.6]

**水流变化造成水质降低。**保护水资源是处理未来水质问题的一个重要而有效的战略。对一些国家而言，虽然这是一个常见的做法，但全世界在水质管理领域仍需要新的创新办法。根据WHO的建议(2005年)，其中一种办法是实施水安全计划(WSP)，以便对积水区可能给消费者带来的风险进行全面的评估和管理。此外，应定期审议自来水和废水处理厂的设计和运行，尤其是在脆弱地区，以确保或

增加其应对不确定的水流变化的可靠性和能力。

**脱盐。**对一些处于危险之中的地方，比如那些依靠对海水入侵比较敏感的含水层的高度城市化的沿海地区，水处理方法是应对盐分含量越来越高的一种方案。目前，现有的技术主要是基于薄膜，这比处理淡水供应的传统方法更加昂贵。估计海水淡化的成本大约为1美元/立方米，微咸水的淡化成本为0.60美元/立方米(Zhou和Tol, 2005年)，而淡水氯化消毒的成本为0.02美元/立方米。幸运的是，脱盐的成本一直在下降，但它对能源的需求仍然较高。需要将获得淡水的脱盐成本与延长管道并最终搬迁水处理工程所需的成本进行比较。作为一项粗略的工作规则，为解决城市住区供水而修建水的提取和处理工程以及泵送管道所需的成本大约占整个系统成本的一半。[WGII 7.5] 但是，在埃及、中国、孟加拉国、印度和东南亚人口稠密的沿海地区，海水淡化成本可能仍然很高。[WGII 3.5.1] 如果未来增加脱盐的使用，需要解决对环境造成的副作用，比如海水淡化工厂对海洋生物的妨碍和卷挟，对浓度很高的包含其它化学物质的卤水进行安全处理。[WGII 3.3.2]

**更多的处理废水的不同方法。**对下水道和污水处理厂而言，需要处理更快和更加多变的水流的策略。这些策略包括以下新的办法，如使用分散系统，建设单独的污水管，处理下水道的各种溢流(即城市污水和径流的混合物)，以及将雨水注入下层土壤。鉴于增加城市污水处理厂的能力需要的成本较高，应准备好适当的资助方案来考虑当地的情况。农村地区的卫生设备普遍较差，需使用低成本技术来制定地方行动计划，这取决于当地的情况并需要社区的参与。[WGII 7.4.2.3]

**更好地管理水资源。**应将已讨论过的适应性措施、水资源综合管理(包括气候变化这个额外的变量)作为一个有效的工具。可用水量的减少、增加或更大变率将造成用水者(农业、工业、生态系统和民居)之间的冲突。负责水资源配置的机构在决定可用水量的变化对社会造成的全面影响以及在社会不同部门的损益分配方面将发挥主要作用。机构设置需使用诸如公平和效率等各种原则来寻找分配水资源的更好办法—这在政治方面可能难于实施。这些设置还需要考虑对国际流域、地表水和地下水流域的管理。[WGII 3.5.1]

为应对气候变化带来的额外压力，公众参与水利规划是必要的，尤其是有关水的价值的不同看

法，未来污水回用的价值和作用，以及社会愿意对减缓与水有关的影响所做出的贡献。

为了在水资源综合管理原则的基础上实施政策，不同的政府实体应进行更好的协调，并应该对制度和法律框架进行审议，以促进适应措施的实施。参与水管理进程的所有利益攸关方(包括用户)都深深体会到气候变化的影响。因此，所有各方都应意识到对系统可能产生的影响，从而作出适当的决定并准备支付有关费用。就废水处理规范而言，例如，可能需要对所使用的整体战略进行审议，只要该战略是以地表水的自我净化能力为基础，但温度升高将降低这种能力。[WGII 3.4.4]

**发达国家。**发达国家的饮用水在被提供给消费者之前进行了大量的处理，且污水处理水平很高。在未来气候变化的背景下，需维持这种益处以及对水资源进行适当的保护，即使将增加额外的成本，例如增加额外的水处理要求。对小型社区或农村地区而言，拟考虑的措施可能包括水源保护，这是一种更好的成本—效益方案。

**发展中国家。**遗憾的是，一些国家可能没有足够的财源来应对气候变化带来的挑战。穷国需要额外的资金来克服基础设施不足的困难，所以他们更易遭受预估的对水量和水质的影响，除非有低成本的选择和负担得起的融资方案。

由于一些已经确定的适应和减缓方案完全不可行，预计发展中国家可能不得不采用不可持续的做法来进行适应，比如更加过度开采地下水，或重复使用更多的未经处理的废水。这些“解决方案”具有吸引力，因为这便于个人实施。因此，需要制定低成本的安全方案，这并不一定就意味着是传统的解决方案，在很多情况下，尤其是为那些甚至没有正式的自来水公司的贫穷社区提供供水服务。遗憾的是，几乎没有关于这个问题的研究。[WGII 3.4.3, 8.6.4]

总之，气候变化能对供水服务产生积极的和消极的影响。因此，重要的是要各地意识到它的后果并制定相应的计划。目前，仅少数国家(包括荷兰、英国、加拿大和美国)的一些自来水公司开始在防洪和供水管理的背景下考虑气候变化的影响。[WGII 3.6]

## 4.5 人居环境和基础设施

在驱使气候变化对人居环境和基础设施产生影响方面, 预计可用水量、水质和降水特征的变化以及洪水事件的可能性和重要性将发挥主要作用 (Shepherd等, 2002年; Klein等, 2003年; 伦敦气候变化伙伴关系, 2004年; Sherbinin等, 2006年)。这些影响在各个地区将有所不同。此外, 这些影响将在很大程度上取决于地球物理环境、社会经济发展水平、负责水资源配置的机构、当地经济基础的性质、基础设施的特点和其他压力源, 包括污染、生态系统退化、地面沉降(或者因为多年冻土的丧失、自然均衡进程, 或者因为诸如地下水使用等类活动)和人口增长 (UNWWAP, 2003年, 2006年; Faruqui等, 2001年; UNDP, 2006年)。就全球范围而言, 气候变化对淡水供应影响最大的地区包括: 小岛屿、干旱和半干旱的发展中国家、靠冰川融化或季节性融雪补给河流并由这些河流提供淡水的地区、沿海低地和沿海大城市所占比例很高的国家, 尤其是亚太地区 (Alcamo和Henrichs, 2002年; Ragab和Prudhomme, 2002年)。[WGII 6.4.2, 20.3]

在诸如沿海和沿河等的高风险地区, 人口密度的加大**很可能**更易受到与水有关的气候变化的影响, 其中包括洪水和暴风雨造成的破坏以及因海水入侵导致的水质退化。[WGII 6.4.2, 7.4.2.4] 如果人居区的经济与对气候敏感的且依靠供水的活动(比如灌溉农业、与水有关的旅游和滑雪)密切相关, 那么该社区**可能**特别容易受到气候变化造成的水资源的影响 (Elsasser和Burki, 2002年; Hayhoe等, 2004年)。[WGII 7.4.3, 12.4.9]

与人居环境有关的基础设施包括建筑物、交通运输网络、沿海设施、供水、处理废水的基础设施和能源设施。基础设施的影响既包括直接损失, 例如由于洪水事件或降雨侵蚀造成的结构不稳定性, 或者地下水位的变化以及对设施的性能、成本和适应性的影响, 不过这些设施不是针对预估的未来气候条件进行设计的。[WGII 3.4.3, 3.5, 7.4.2.3]

### 4.5.1 人居环境

人类的许多居住环境目前无法获得充足、安全的供水。根据世界卫生组织的估计, 全世界有11亿人缺乏安全的饮用水; 24亿人无法获得足够的卫生设施 (WHO/UNICEF, 2000年)。城市贫困家庭经常无法获得自来水, 因此特别容易受到饮用水成本上升的影响 (UN-HABITAT, 2003年; UNCHS, 2003年, 2006年; UNDP, 2006年)。例如, 在雅加达, 一些没有定期自来水供应的家庭据说在饮水方面花

费高达25%的收入。在1998年炎热的夏季期间, 约旦安曼难民营那些没连接市政供水系统的居民在用水方面比其它家庭花费更多 (Faruqui等, 2001年)。气候变化对可用水量和水源质量的影响**很可能**使这些问题的解决越来越困难, 特别是在那些因径流量减少而人口增加导致用水更加紧张的地区。[WGII 3.5.1] 在发展中国家的半干旱地区, 迅速发展的人居区, 尤其是适应能力有限的贫困社区特别容易受到可用水量的减少和获取可靠供水的成本不断增加的影响 (千年生态系统评估, 2005b)。[WGII 7.4]

在发达国家和发展中国家, 预计一些沿海城市的人口将继续快速增长, 这将使人们更易受到因飓风和其它海岸风暴引起的洪水和相关暴风雨的影响。[WGII 7.4.2.4] 正是这种发展造成那些能缓冲暴风雨影响的三角洲湿地的丧失。[WGII 6.4.1.2] 此外, 大部分的增长发生在相对缺水的沿海地区, 从而加剧需水量和可用水量之间的不平衡 (Small和Nicholls, 2003年; 千年生态系统评估, 2005b)。

### 4.5.2 基础设施

#### 4.5.2.1 交通运输网络

某些地区海平面上升和极端天气事件(如暴风雨和飓风)的强度增强所造成的洪水给交通运输网络造成威胁。这些威胁包括部分街道洪水泛滥, 地铁系统进水, 洪水和滑坡对桥梁、公路和铁路造成的损害。例如, 对于拥有世界上最古老地铁系统的伦敦而言, 预计更多的强降雨事件将增加地铁和公路的洪水风险。这将迫使对这些网络的排水系统进行改善 (Arkell和Darch, 2006年)。同样, 最近有关波士顿市区地面交通运输系统的研究预示, 洪水的增加将造成更多的行程被迫延误和取消, 这将导致工作日、销售和生产的损失 (Suarez 等, 2005年)。但是, 这些成本与洪水对波士顿运输基础设施造成的损失相比将会很小 (Kirshen等, 2006年)。[WGII 7.4.2.3.3] 目前, 降水强度增加使脆弱性增加的一个实际例子是, 印度的康坎铁路每年在雨季期间因山体滑坡造成的损失大约为100万美元 (Shukla等, 2005年)。[WGII 7.4.2.3.3]

#### 4.5.2.2 建设环境

洪水、山体滑坡和严重的暴风雨(如飓风)对发达国家和发展中国家的建筑物构成最大的损害风险, 因为住房和其他资产越来越多地建在沿海地区、斜坡上、沟壑中和其他风险易发地点 (Bigio, 2003年; 联合国人居署, 2003年)。发展中国家城市地区的非正式住区尤其脆弱, 因为它们往往建设在容易受到洪水、山体滑坡和其它气候灾害

影响的相对危险的地方(红十字会, 2001年; 联合国人居署, 2003年)。[WGII 7.4.2.4]

对建筑物的其它影响包括: 因降水强度和暴风雨频率的增加导致的风化加剧(如Graves和Phillipson, 2000年), 因地下水位下降和沉降导致的结构破坏的增多(如Sanders和Phillipson, 2003年), 或者因地下水位升高所引起的更多结构性破坏(Kharkina, 2004)。[WGII 3.5]

另一个令人关切的领域是排水系统在未来的性能。在那些受日益猛烈的暴风雨影响的地区, 需提高这些系统的能力以预防局部洪水, 以及对建筑物和其它基础设施造成的损害(英国水产业研究, 2004年)。[WGII 7.6.4]

#### 4.5.2.3 沿海基础设施

沿海低洼地区的基础设施容易受到海平面上升、洪水、飓风和其它暴风雨的影响。由于沿海城市的持续增长和诸如加勒比地区旅游业的扩大, 处在危险中的沿海基础设施的保有量正快速增长(如Hareau等, 1999年; Lewsey等, 2004年; Kumar, 2006年)。某些地区对海平面上升造成的损害成本进行了估算, 且这些损害往往很大。例如, 在波兰, 由于对城市地区、下水道、港口和其它基础设施造成的影响, 到2100年海平面上升1米所造成的损失估计为300亿美元(Zeidler, 1997年)。同一研究还估计, 如果越南的海平面上升1米, 则将使1700万人遭受洪灾, 并将造成高达170亿美元的损失, 同时这些巨大影响还将超越沿海地区波及内陆。[WGII 6.3, 6.4, 6.5]

#### 4.5.2.4 能源基础设施

水文变化将直接影响水电设施(那些目前存在的设施和未来可能的项目)的潜在产出。水电开发的程度存在巨大的区域差异。非洲大陆的水电潜力几乎没有得到开发, 在对赞比西河巴托卡峡谷水力发电系统进行的气候变化模拟预计, 河川径流将显著减少(如月平均流量从 $3.21 \times 10^9$ 立方米降低到 $2.07 \times 10^9$ 立方米)且电力生产将减少(如月平均电力产量从780千兆瓦小时降低到613千兆瓦小时)(Harrison和Whittington, 2002年)。预计在河川径流减少的其它地方和时期, 水力发电也将减少(如Whittington和Gundry, 1998年; Magadza, 2000年)。在其它一些地区, 预估水力发电将增加。例如根据IS92a排放情景, 对21世纪70年代的估计表明, 20世纪末斯堪的纳维亚半岛和俄罗斯北部地区现有水电厂的发电潜力将增加15%–30%, 上述地区19%(芬兰)到几乎100%(挪威)的电力依靠水力发电(Lehner等, 2005

年)。[WGII 3.5] 其它能源基础设施(如输电线路、海上钻探装置和管道)可能容易受到洪水和更猛烈的暴风雨事件的损害。[WGII 7.5] 此外, 冷却水供应问题(因水量减少或水温升高)会对热电厂和核电厂的能源生产产生不利的影响, 从而破坏能源供应(EEA, 2005年)。

#### 4.5.3 适应

如果对基础设施进行适当的投资并改变水和土地利用的管理, 可能有助于减缓洪水和干旱频率变化所造成的影响, 或有助于减缓可用水的数量、质量或季节性变化所造成的影响。统筹规划可能是十分宝贵的, 因为许多事实表明, 对不同基础设施造成的各种影响之间是相互作用的。例如, 防洪失败能中断电力供应, 这相应地会使供水和污水泵站停止运转。

如果将目前的气候变率更好地纳入与水有关的管理, 这将使未来的气候变化适应工作更加容易(很高的可信度)。[WGII 3.6] 例如, 通过保持城市环境中河流周围的绿地面积和自然缓冲带管理目前的洪水风险, 也将有助于减少未来更猛烈的暴雨径流所造成的负面影响。然而, 就货币成本和社会影响而言, 任何这些响应措施都将需要成本, 包括需要管理不同利益集团之间的潜在冲突。[WGII 3.5]

## 4.6 经济: 保险业、旅游业、工业、交通运输

### 4.6.1 背景

气候和水资源影响诸如保险、工业、旅游和交通运输等经济的第二、第三产业。气候变化对这些行业造成的与水有关的影响可以是积极的, 也可以是消极的, 但是极端气候事件和其它突然变化往往比逐步的改变对人类系统造成的影响更加严重, 部分原因是它们提供的适应时间更短。[WGII 7.1.3]

全球损失迅速地揭示了自20世纪70年代以来, 与极端天气有关的事件造成的成本在增加。有一项研究发现, 一旦所受到的损失正常化, 虽然占主导地位的信号仍然显示损失成本在显著增加, 但根本的上升趋势仍然存在。对于特定的区域和风险而言, 包括在某些最大河流上发生的最极端的洪水, 有证据表明这些风险在增加。[WGII 1.3.8.5]

为证明气候变率对保险损失所造成的巨大影响, 在全世界与天气有关的保险损失中, 洪水造成的损失约占其中的10%。干旱也产生一定的影响,

英国的数据显示与沉降有关的保险索赔成本和(较小的)夏季降雨之间存在滞后关系。然而,在发展中国家,极端事件所造成的损失更多的是用人的生命而不是保险来衡量。例如,尽管萨赫勒地区的干旱非常严重,但由于保险的渗透率较低,所以干旱对正规的金融部门仅产生较小的影响。[WGII TAR 8.2.3]

#### 4.6.2 社会经济成本、减缓、适应、脆弱性、可持续发展

在对交通运输造成的与水有关的各种可能影响之中,洪水造成的损失成本最大。与对基础设施和其它财产造成的损失相比,延误和脱班造成的损失相对较小(Kirshen等,2006年)。在过去10年期间,洪水对城市地铁系统造成损失超过1千万英镑(1300万美元)的案例有四个,而损失较小的案例则为数众多(Compton等,2002年)。[WGII 7.4.2.3.3]

工业部门通常被认为不如农业等部门受气候变化的影响大,但位于气候敏感地区(如洪泛平原)的工业设施和那些取决于气候敏感商品的部门(如食品加工)是一些主要的例外。[WGII 7.4.2.1]

以往灾难所造成的影响将决定一个国家现有具体的保险风险覆盖面。由于特大洪水造成的损失非常集中,私营部门的洪水保险通常受到限制(或者无法使用),以至于某些国家政府制定了由国家支持的其它洪水保险计划(瑞士再保险公司,

1998年)。[WGII 7.4.2.2.4]

对金融部门而言,与气候变化有关的风险日益被“易受影响”的具体部门(比如水电项目、灌溉和农业、旅游)予以考虑(UNEP/GRID-Arendal,2002)。[WGII 7.4.2.2]

气候变化对旅游业的影响包括可用水量的变化,这种影响可能是积极的或消极的(Braun等,1999年;Uyarra等,2005年)。更温暖的气候使那些充满异国情调的环境(如西欧的棕榈树)的扩大成为可能,一些游客可能认为这是积极的影响,但这种环境的扩大可能使那些通过水和病媒传染的疾病在空间上进行延伸和扩大。干旱和干旱环境的扩大(以及极端天气事件的影响)可能会阻碍游客,但并不完全清楚他们认为不能接受的是什么。[WGII 7.4.2.2.3]那些依靠可用雪量的地区(如为开发冬季旅游)最易遭受全球变暖的影响。[WGII 11.4.9.12.4.9.14.4.7]

通过诸如莱茵河等内陆水道对散装货物的运输在洪水和干旱期间可能遭到中断。[WGII 7.4.2.2.2]

保险可以分散风险并协助进行适应,而保险资金的管理对减缓具有一定的影响。[WGII 18.5]以更有限的方式对运输基础设施的适应成本和效益进行了评估。[WGII 17.2.3]



# 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]

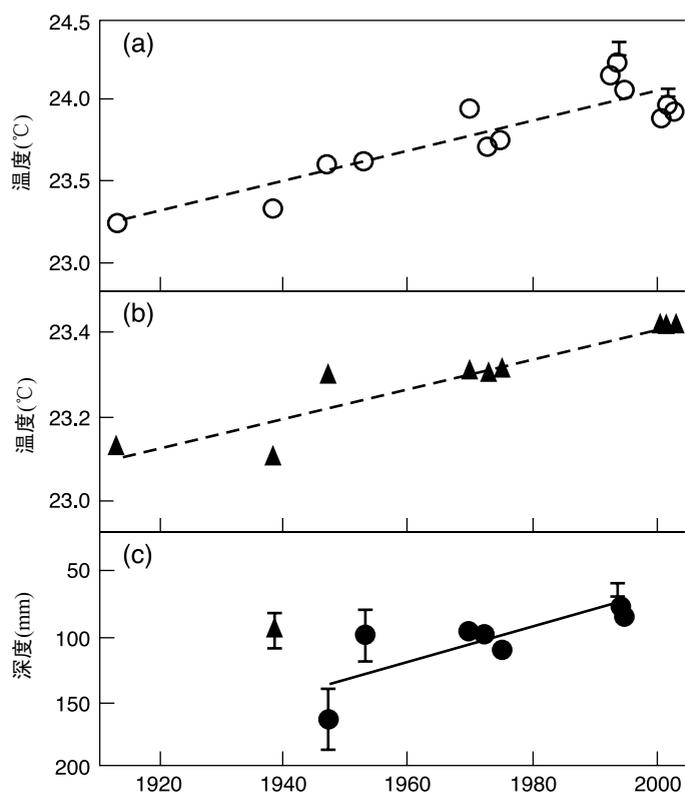


图5.1: 东非坦噶尼喀湖的历史观测和近期测量结果: (a) 上部混合层(水面)温度; (b)深水(600米)温度; (c)上部混合层的深度。三角形表示用不同方法收集的资料。误差线表示标准误差。承蒙麦克米兰出版有限公司同意后复制[《自然》](O'Reilly等, 2003), 2003版权。[WGII 图1.2]

### 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

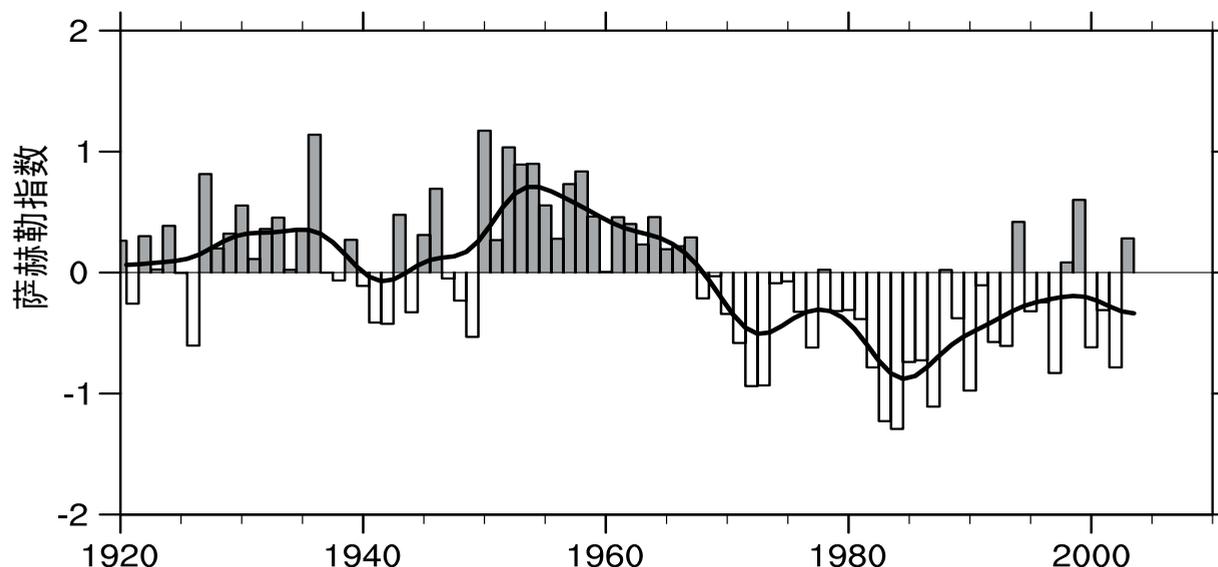


图5.2: 根据对台站归一化距平进行格点处理然后用面积加权平均求出的1920-2003年萨赫勒(10°N-20°N, 18°W-20°E)区域降雨(4-10月)的时间序列(根据Dai等人的结果作了调整, 2004a)。正值(阴影条)表示气候条件比长期平均值湿润, 负值(空白条)表示气候条件比长期平均值干旱。黑色平滑曲线表示年代际变化。[WGI 图3.37]

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)。

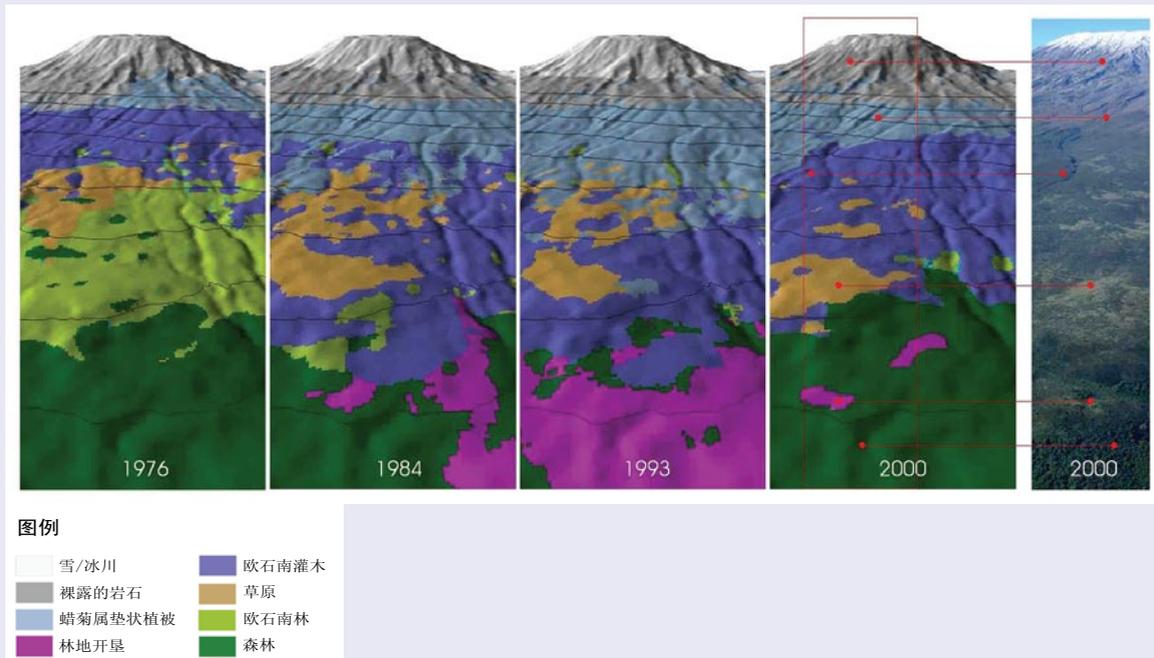


图 5.3: 土地综合利用和气候的相互影响，导致乞力马扎罗山的土地覆盖发生变化(Hemp, 2005)。布莱克威尔出版有限公司同意再印刷。

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

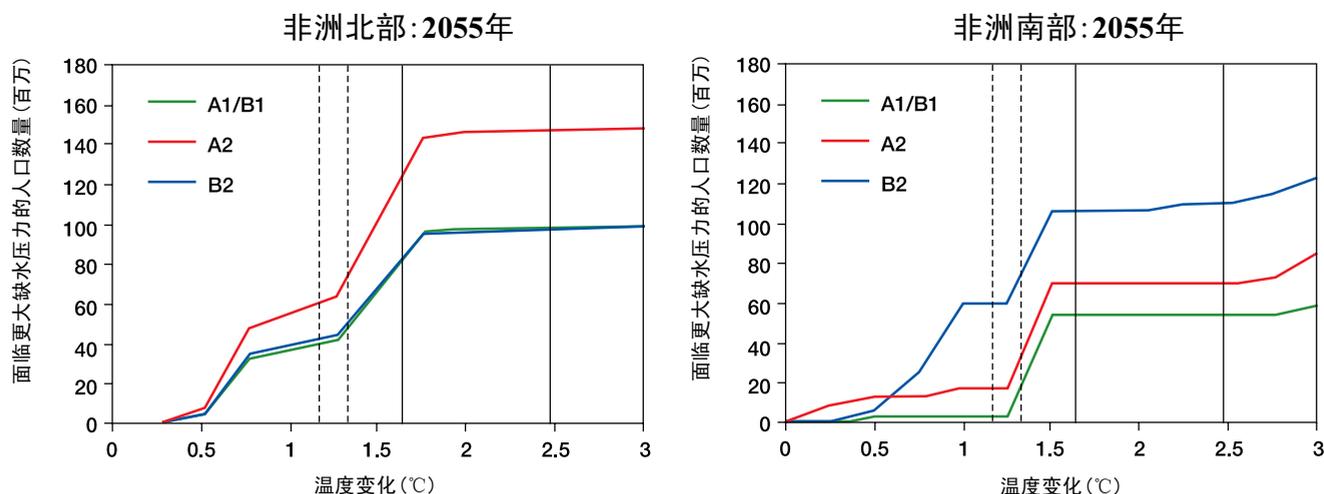


图 5.4: 与1961-1990年相比, 流域地区面临更大缺水压力的人口数量(单位: 百万)(Arnell, 2006b)。由于气候变化, 缺水流域的径流低于 $1000\text{m}^3/\text{人}/\text{年}$ , 而当径流大幅减少时, 人口面临着更大的缺水压力。图中情景是根据HadCM3反演的, 红、绿和蓝线表示不同的人口预估; 注意: 在某些区域, 不同气候模式预估的水文变化有很大的不同。由于更多的流域面临径流大幅减少, 因此出现了函数阶梯。[WGII 图9.3]

## 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;Kajiwar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

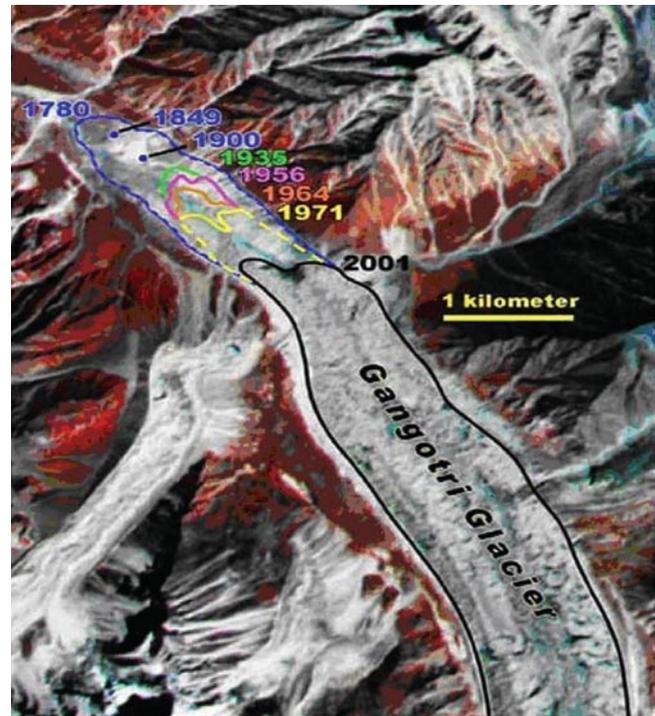


图 5.5: 图为自1780年以来甘戈特里冰川(恒河之源,位于印度北阿肯德邦)末端退缩情况的合成卫星图像(2001年9月9日,承蒙NASA EROS资料中心许可)。[WGII 图 10.6]

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。

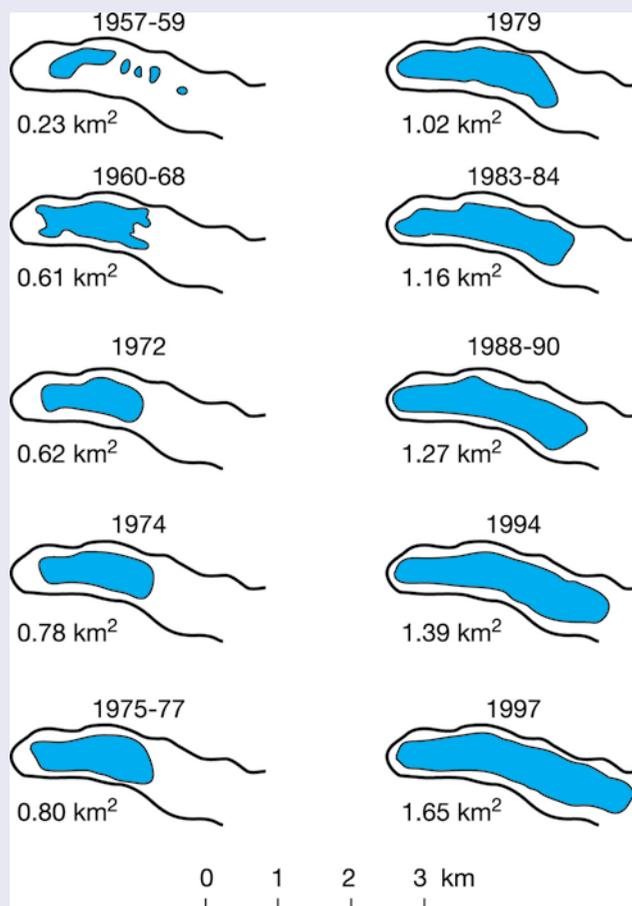


图5.6: Tsho Rolpa湖面积随时间推移发生的变化。

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]

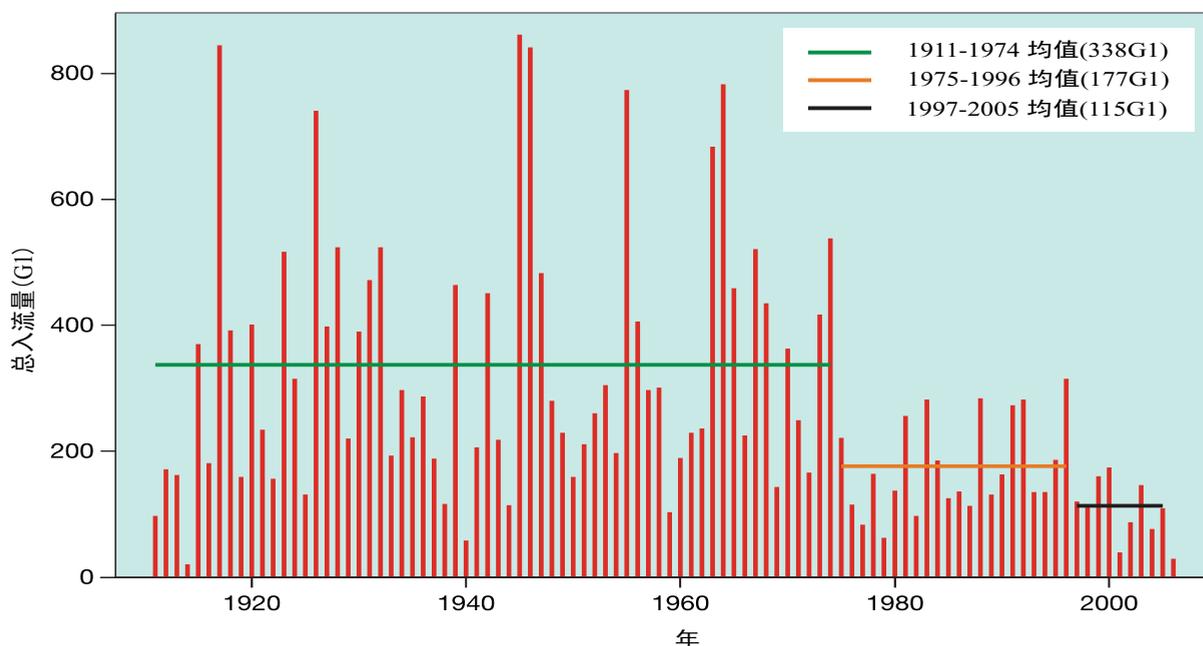


图5.7: 珀斯供水系统1911-2006年的年流入量。水平线表示平均值。出处: [http://www.watercorporation.com.au/D/dams\\_streamflow.cfm](http://www.watercorporation.com.au/D/dams_streamflow.cfm) (承蒙西澳大利亚水务公司许可)[WGII 图11.3]

### 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*很可能会*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 (Norrant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Schneebeli, 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]

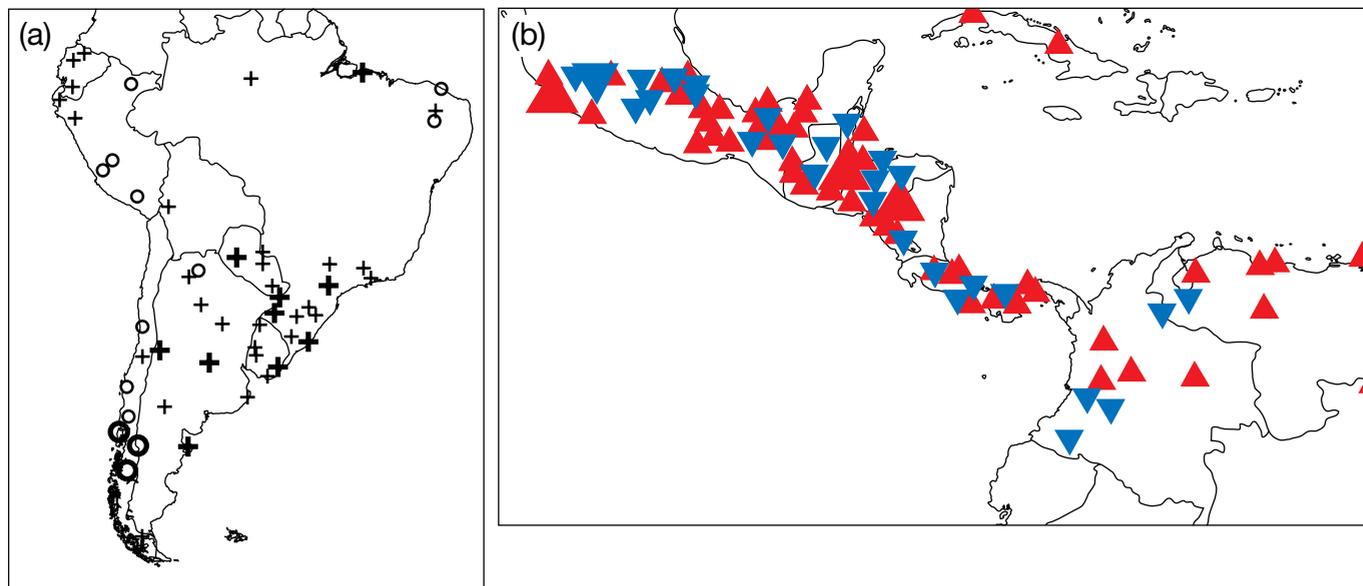


图 5.8: (a)图为南美洲年降雨量趋势(1960-2000年)。加号表示增加、圆圈表示减少;粗体表示P的显著性 $\leq 0.05$ (经美国气象学会许可,引自Haylock等(2006))。(b)图为中美洲和南美洲北部(1961-2003年)。大红三角形表示正的显著性趋势,小红三角形表示正的非显著性趋势,大蓝三角形表示负显著性趋势,小蓝三角形表示负的非显著性趋势(经美国地球物理协会许可,引自Aguilar等(2005))。[WGII 图13.1]

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)。

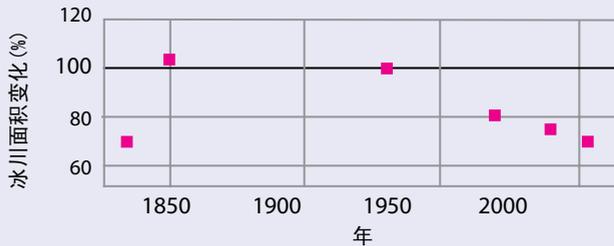


图5.9: 与1925年前后的面积(=100)相比, 秘鲁热带布兰卡山的冰川总面积(%) (Georges, 2004)。1990年, 布兰卡山的冰川面积为620平方公里。[摘自WGI图 4.16]

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)。

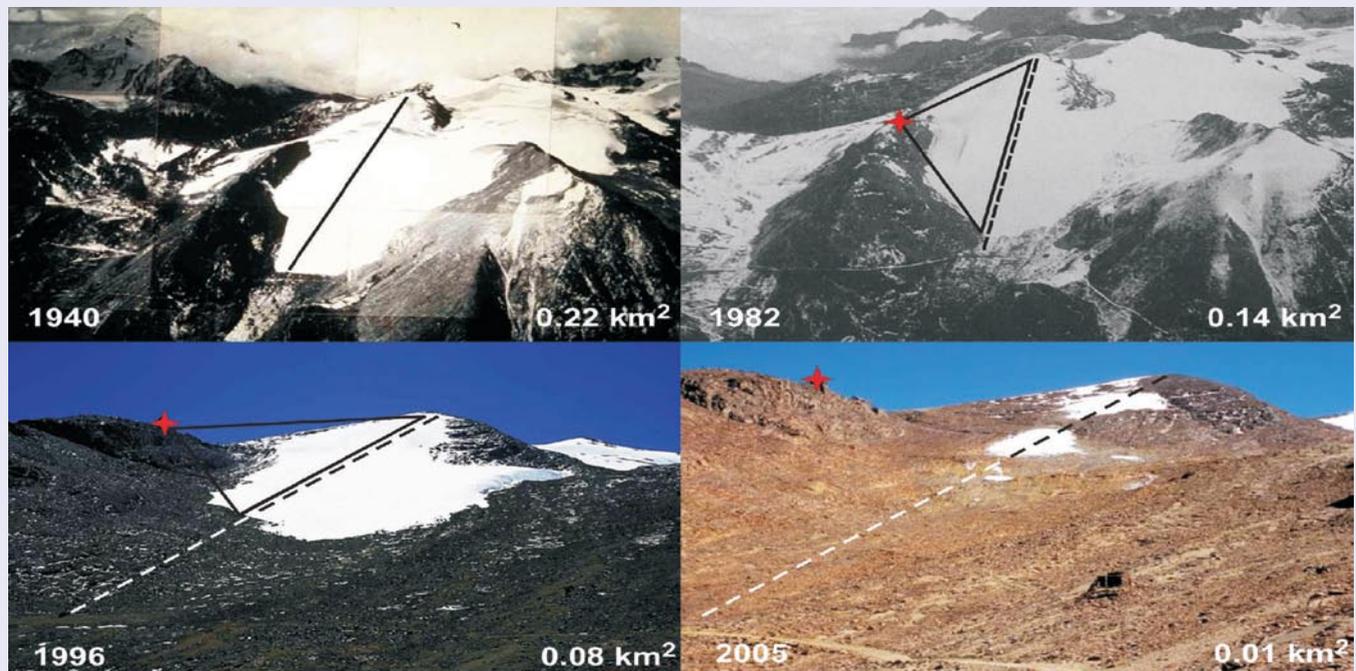


图5.10: 从1940年至2005年, 玻利维亚查卡塔亚冰川的面积范围。到2005年, 该冰川已分裂为三个面积不等的小冰体。滑雪棚的位置(1940年时没有)以红色十字表示。1940年, 滑雪缆车的长度大约是800米, 而在1996年时, 其长度大约为600米(1940年时用实线表示, 其它各图用虚线表示), 而且缆车通常是在降水季节期间安装。2004年后, 滑雪已不再可能。照片说明: Francou和Vincent(2006)及Jordan(1991)。[WGII 图1.1]

**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人类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,

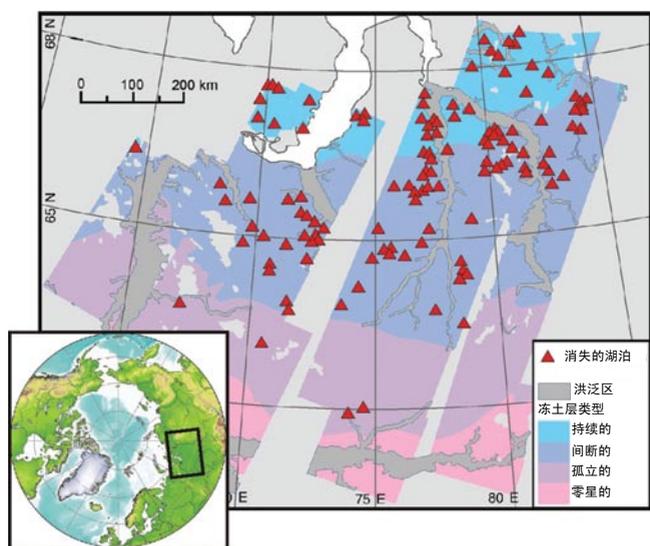


图 5.12: 在三十年土壤和空气温度升高之后, 已消失的西伯利亚各湖泊的位置(从20世纪70年代初到1997-2004年, 卫星图像记录的变化), 涵盖了各类多年冻土层。湖泊消失的空间分布型态表明, 多年冻土层的融化导致了所观测到的这类湖泊的消失。源自Smith等, (2005)。经AAAS许可再次引用。[WGII 图15.4]

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过处理地表水和/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。研究和开发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]

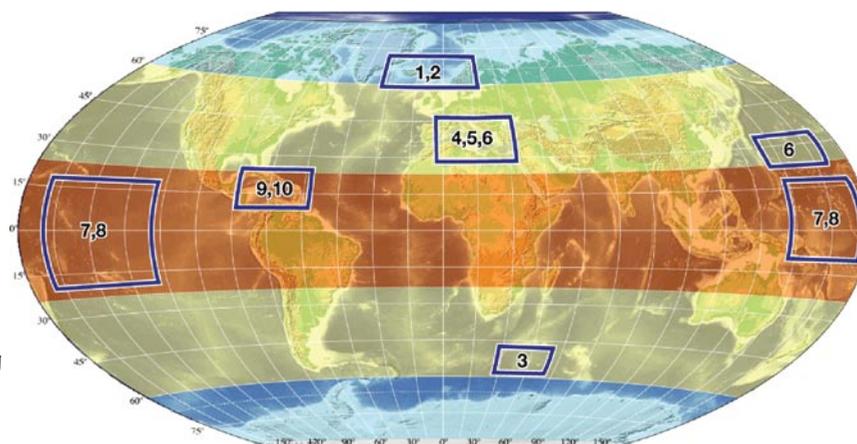
## 5.8.3 适应、脆弱性和可持续性

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]



# 6

---

## 气候变化减缓措施与水

---



## 6.1 引言

气候变化减缓措施与水之间是一种互惠的关系。减缓措施能够影响水资源及其管理，而且在制定和评估减缓选择方案时认识到这种关系是重要的。另一方面，水资源的管理政策和措施影响温室气体(GHG)排放，因此影响相关行业的减缓措施；当对气候变化减缓进行评价时对水系统的干预也许会起到反作用。

IPCC第三工作组的第四次评估报告(减缓主题)在涉及减缓的问题时讨论了下列七个行业：能源供应、交通及其基础设施、民用和商用建筑、工业、农业、林业和废弃物管理。由于水问题并不是该报告的重点，所以仅仅提及了水与气候变化减缓的一般关系，而且大部分内容都是定性的。不过IPCC的其它报告，如《第三次评估报告》也包括关于这一问题的信息。

具体行业的减缓措施对水有不同的影响，以下各节将对这些影响作了解释(另见表6.1)。各小节标题中括号内的数字对应的是表6.1中各种做法或针对具体行业的减缓选择。

## 6.2 针对行业的减缓

### 6.2.1 二氧化碳的捕获和封存(CCS)(见表6.1的(1)项)

二氧化碳(CO<sub>2</sub>)捕获和封存(CCS)是将CO<sub>2</sub>从与工业和能源有关的来源中分离出来，输送到某个封存地并长期与大气隔离的过程。将CO<sub>2</sub>注入可渗透地层的空隙和断层可取代原位液，或CO<sub>2</sub>可溶解于原位液或与之混合或与矿物颗粒发生化学反应，或也许是上述综合过程。由于CO<sub>2</sub>在地层中流动，其中一些将会溶解到地下水中。一旦CO<sub>2</sub>溶解于地下液体，它将随区域地下水流动。来自泄漏的注入井、废弃矿井和整个断层的泄漏以及无效俘获层造成的CO<sub>2</sub>泄漏可能会降低地下水质量；CO<sub>2</sub>重新释放到大气中也可能造成局地的健康和安全问题。[CCS SPM, 5.ES]

应当指出，在这一点上，对这种碳固化概念的实用性、后果或无意的后果尚无全面而深入的见解。要避免或减轻上述影响，则需要认真选址、有效的规范性监督管理、相关的监测计划和实施补救方法，以终止或控制CO<sub>2</sub>的泄漏。[CCS 5.ES, 5.2]

### 6.2.2 生物能源作物(2)

生物能通过使用替代化石燃料可产生减缓效益。[LULUCF 4.5.1] 但是，大规模生物燃料生产在若干问题上产生了疑问，其中包括对化肥和农药的需求、营养物循环、能量平衡、对生物多样性的影响、水文与水土流失、与粮食生产发生冲突以及所需财政补贴水平。[LULUCF 4.5.1] 特定能源作物的能源生产和GHG 减排潜力均取决于土地的可用量，还必须满足粮食需求以及满足自然保护、土壤和水储量可持续管理的需求以及其它可持续性标准。各种研究得到不同的有关生物质对未来全球能源供应的贡献潜力，在2050年其范围从不到100 EJ/年一直到400 EJ/年不等(Hoogwijk, 2004年; Hoogwijk等, 2005年; Sims等, 2006年)。Smeets等(2007年)指出，考虑到预估的农牧业科技进步，在不影响世界粮食供应的情况下，在目前的农业用地上种植能源作物的最终技术潜力将达到800 EJ/年以上。各项研究的差异主要集中在对土地可用量、能源作物产量和农业效率变化的假设。那些给出最大预估潜力的研究假设，不仅仅利用退化的/多余的土地，还利用现有用于粮食生产的耕地，包括牧场用地(如Smeets等, 2007年)[WG III 8.4.4.2]。

在某些情况下，旨在减少温室气体的农业耕作方式会加大用水，因而减少了河流量或地下水储量(Unkovich, 2003; Dias de Oliveira等, 2005年)。例如，高生产率的、四季常青的、根深的生物能作物的水用量一般高于它们所替代的原地表植物(Berndes和Börjesson, 2002年; Jackson等, 2005年)。由于施用的用药和化肥增加，某些耕作方式也许会影响水质(Machado和Silva, 2001年; Freibauer等, 2004年)[WG III 8.8]

农业将产品转为它用(如生物能源作物)的减少温室气体的做法也许会导致其它地方的森林变为耕地。反之，提高现有耕地的生产率也许能够使某些森林或草原“免遭”厄运(West和Marland, 2003年; Balmford 等, 2005年; Mooney等, 2005年)。此类在生物多样性的取舍和其它生态系统服务的净效应尚未完全量化。(Huston和Marland, 2003年; Green等, 2005年)。[WG III 8.8]

如果生物能作物种植选址合理、设计和管理得当，也许能够减少营养物渗透和土壤流失，并产生额外的环境条件，例如，土壤碳积累，改良土壤肥力，以及从土壤或者废弃物中去掉铬和其它重金

**表 6.1:** 针对具体行业的减缓选择(或其后果)对水质, 水量和水位的影响。对水的有利影响用[+] 表示; 不利影响用[-]表示; 影响不确定用[?]表示。圆括号中的数字既指注释的编号, 也指第6.2节中各小节的编号。

水方面	能源	建筑业	工业	农业	林业	废弃物
<b>水质</b>						
化学/生物	CCS <sup>(1)</sup> [?] 生物燃料 <sup>(2)</sup> [+/-] 地热能源 <sup>(5)</sup> [-] 非常规油 <sup>(13)</sup> [-]		CCS <sup>(1)</sup> [?] 污水处理 <sup>(12)</sup> [-] 生物质发电 <sup>(3)</sup> [-/?]	土地利用变化和管理 <sup>(7)</sup> [+/-] 耕地管理(水) <sup>(8)</sup> [+/-]	造林(汇) <sup>(10)</sup> [+]	固体废弃物管理; 污水处理 <sup>(12)</sup> [+/-]
温度	生物质发电 <sup>(3)</sup> [+]			耕地管理(减耕) <sup>(9)</sup> [+/-]		
<b>水量</b>						
可用水量/需求	水力发电 <sup>(4)</sup> [+/-] 非常规石油 <sup>(13)</sup> [-] 地热能源 <sup>(5)</sup> [-]	建筑耗能 <sup>(6)</sup> [+/-]		土地利用变化和管理 <sup>(7)</sup> [+/-] 耕地管理(水) <sup>(8)</sup> [-]	造林 <sup>(10)</sup> [+/-] 避免、减少毁林 <sup>(11)</sup> [+]	污水处理 <sup>(12)</sup> [+]
流量/径流/回灌	生物燃料 <sup>(2)</sup> [+/-] 水力发电 <sup>(4)</sup> [+/-]			耕地管理(减耕) <sup>(9)</sup> [+]		
<b>水位</b>						
地表水	水力发电 <sup>(4)</sup> [+/-]			土地利用变化和管理 <sup>(7)</sup> [+/-]		
地下水	地热能源 <sup>(5)</sup> [-]			土地利用变化和管理 <sup>(7)</sup> [+/-]	造林 <sup>(10)</sup> [-]	

- 注:
- (1) 地下的碳捕获和封存(CCS)对地下水的水质构成潜在的风险; 深海存储(水深3,000米和几百米泥沙以下)似乎是最安全的选择。
  - (2) 扩大生物能源作物和森林可能会造成负面影响, 如水需求增加, 地下水受污染和促进土地利用的变化, 从而间接影响水资源; 和/或通过减少养分流失、土壤流失, 径流和下游淤积而产生有利的影响。
  - (3) 生物质发电: 总体而言, 提高可再生能源的比例(与化石燃料发电厂相比)意味着减少冷却水排入地表水。
  - (4) 任何特定的发展需要考虑环境影响和水力发电的多种效应, 它们可能是有利的或是负面的影响。
  - (5) 地热能源的使用可能会造成污染, 地面沉降, 在某些地区甚至需要现有水资源。
  - (6) 采用不同的方法和措施(有利和不利的的影响皆有)可降低建筑业的能耗。
  - (7) 土地利用变化和管理能够影响地表水和地下水的数量(如, 通过增加或降低养分和农药的溢出)和(局地)水分循环(如, 用水量增加)。
  - (8) 出于减缓的农业耕作方式可对水保护及水质有正负两方面的影响。
  - (9) 减耕可以促进用水效率的提高。
  - (10) 造林一般可提高地下水的水质和降低土壤流失。这影响了流域和区域水分循环(平滑水文曲线, 从而减少径流和洪水)。一般而言, 造林有更好的流域保护作用, 但以牺牲地表水量和含水层回灌为代价, 这在干旱和半干旱地区是至关重要的。
  - (11) 停止/减少毁林和森林退化可保护水资源和防止洪水, 减少径流, 控制水土流失, 减少河流的泥沙淤积。
  - (12) 各种废弃物管理和污水控制和处理技术既可减少温室气体排放量, 同时对环境产生积极的影响, 若设施设计或管理不当, 它们可能造成水污染。
  - (13) 由于传统石油供应逐渐稀缺和开采成本增加, 非传统液体燃料将变得更有经济吸引力, 但是这被更大的环境成本(水需求高; 卫生费成本)所抵消。

属。它们也许也能增加营养物的再循环，有助于处理富营养的污水和污泥，并提供在农业背景下的生物多样性栖息地(Berndes和Börjesson,2002年; Berndes等,2004年; Börjesson和Berndes,2006年)。[WG III 8.8]在获得生物燃料的植树造林情况下，通过适当的项目设计可避免对环境产生的不利影响。环境效益包括减少土壤退化，水径流，下游泥沙淤积和俘获受到污染农业径流等。[LULUCF表 4.21]

### 6.2.3 生物质电能 (3)

非水力可再生能源供应技术，尤其是太阳能、风能、地热和生物质能源目前只占全球供热和供电总量的很小一部分，但是增长是最快的，尽管起步较低。由于成本以及社会、经济和环境障碍限制了生物质发电的发展。[WG III 4.ES]就生物质发电的特殊情况而言，所有生物质发电均需要有农业和林业作物的秸秆[WG III 第8章和第9章]的生物质需要有目的的种植，因此可能会受到可用土地和可用水量的限制。虽然存在很大的不确定性，但是根据分析预计，到2030年所有地区应该有充足生产来满足432 TWh/年的新增需求。[WG III 4.4.4]总体来看，生物质发电替代化石燃料发电将会降低排放到地表水流的冷却水的用量。

### 6.2.4 水力发电 (4)

像水力发电这类可再生能源系统能够对能源供应安全和环境保护做出贡献。但是，建造水电厂也许会对现有江河的生态系统和渔业造成生态影响，这是由于河流体系(自记水位计)发生变化和蒸发造成的水损失(水坝电站)所致。而且社会干扰也是一种影响。最后，用于航运的可用水量(水深)可能出现问题。有利的影响包括水流调节、防洪、旱季提供灌溉用水。另外，水力发电不需要冷却水(而热电厂则需要冷却)，或像生物燃料作物生长需要水那样。全球75%的水库用于灌溉、防洪和城市供水方案，许多水库能够进行小规模水力发电改造，而不会影响环境。[WG III 4.3.3]

大型(>10 MW)水力发电系统在2004年的消费能源中超过2,800 TWh，占全球发电量的16%(占可再生能源的90%)。在建的水力发电项目一旦完工可使水力发电量增加约4.5%的份额，部署新项目能够在经济上再增加6,000 TWh/年或更高的电力，主要是在发展中国家。利用更强和更高效的涡轮机设计改造现有电厂对任何规模的电厂都是有成本效益的。[WG III 4.3.3.1]

小型(<10MW)和微型(<1MW)水力发电系统通常是河流发电方案，这类系统为发展中国家许多农村

社区提供电力，如尼泊尔。它们目前的发电量是不确定的，预测从4 TWh/年到250 TWh/年之间不等，占水力发电总量的9%。全球小型和微型水力发电的技术潜力约为150-200 GW，因为仍然有许多尚未开发的地点资源。[WG III 4.3.3.1]

在任何具体的开发时需要对水力发电的许多效益进行评估，其中包括灌溉和水供应资源的形成、高峰或间歇性可再生能源对电网需求波动的迅速响应、休闲湖泊、洪水控制以及负面影响等。[WG III 4.3.3.1]

### 6.2.5 地热能 (5)

地热资源早已被直接抽取用于城市供热，工业加工，民用水和场所供热，娱乐和浴疗的应用。[WG III 4.3.3.4]

天然蒸汽的地热场所很稀少，大部分是蒸汽和热水的混合水，这要求单或双闪蒸系统分离出热水，然后可以在二元厂或直接供热使用。重新注入水流保持水库的恒定压力，从而延长场所使用寿命，并降低了对环境造成影响的关切。[WG III 4.3.3.4]

与地面沉降，热提取率超过自然补充(Bromley和Currie, 2003年)，化学物质(如砷)污染水道，以及相关的二氧化碳的排放已导致一些地热发电厂许可证被拒绝。这些问题通过重新注水技术可能在一定程度予以解决。更深层的钻探技术可以帮助发展广为丰富的干热岩，在岩石中将水注入人为开凿岩体，从蒸汽中提取热量。然而，这意味着需要利用现有的水资源。[WG III 4.3.3.4]

### 6.2.6 建筑物的能源利用 (6)

蒸发制冷作为一项减缓措施意味着可以大幅度减少居民住宅的年度制冷能耗。但是这类制冷会给现有水资源带来更大的压力。可以通过不同措施降低建筑物制冷耗能，例如，通过建筑物造型和朝向降低制冷负荷。如果是在用水制冷的情况下减少这些能耗就意味着降低了水的需求。[WG III 6.4.4]

### 6.2.7 土地利用变化与管理 (7)

根据IPCC的LULUCF良好做法指南，有6个尽可能广泛的土地利用类别：林地，耕地，草原，湿地，居住地以及其它用地。土地利用变化(如退耕还草)会造成碳储量的净变化和对水资源的不同影响。对于退耕还林以外的土地利用变化(如第6.2.10节所述)，IPCC以前的文件几乎没有提到它们对水

资源的影响。恢复湿地是农业中的一个主要减缓做法[WG III 8.4.1.3]，它会改善水的质量和减少洪涝灾害。[LULUCF 表 4.10] 搁置是第三工作组确定的另一个减缓做法，它可能对水源保护和水质有正面的影响。[WG III 表 8.12]

旨在减缓气候变化的土地管理做法也可能会对水资源产生不同的影响。许多为了保护土壤碳的做法(减耕，增加植被，更多地利用多年生作物)也可以防止水土流失，对改善水和空气质量产生可能的效益(Cole等，1993年)。这些做法也可能有其它潜在的不利影响，至少在某些地区或条件下。可能造成的影响包括：在减耕情况下由于养分或农药渗透造成地下水污染加剧(Cole等，1993年；Isensee和Sadeghi，1996年)。但这些可能产生的不利影响没有得到广泛的证实或量化，以及这些不利影响也许抵消碳固化产生环境效益的范围是不确定的。[WG III TAR 4.4.2]

一套被称为农业集约化做法(Lal等，1999年；Bationo等，2000年；Resck等，2000年；Swarup等，2000年)，其中包括加强生产和植物源残留物对土壤的投入(轮作休耕，减少裸露耕地，覆盖作物，高产品种，病虫害综合管理，充分施肥，有机肥补偿，灌溉，水表管理，定点管理等)具有许多附加效益，其中最重要的是提高和维护粮食生产。环境效益包括控制水土流失，水源保护，提高水质，减少水库和水道的淤积。不加区别地利用农业投入和灌溉用水可使土壤和水质量受到不利影响。[LULUCF 事实 4.1]

旨在有效使用化肥的养管理对水质有正面的影响。[WG III 表 8.12] 此外，减少氧化亚氮排放的做法往往提高这些和其它来源(如粪肥)氮的利用效率，从而也减少了化肥产生的GHG排放，避免氮污染物对水和空气质量的不利影响(Dalal等，2003年；Paustian等，2004年；Oenema等，2005年；Olesen等，2006年)。[WG III 8.8]

农林系统(在耕地上植树)可提供多种效益，包括给农村社区的能源与可持续发展之间的协同作用和温室气体减排。[LULUCF 4.5.1] 然而，农林业可能对水源保护产生不利的影。[WG III 表 8.12]

## 6.2.8 耕地管理(水)(8)

推动减缓GHG的农业做法对水的养护及水质有消极和积极的影响。凡是促进用水效率(如，减耕)的措施均可带来潜在效益。但是，在某些情况下，这些做法可加大水的使用强度，从而减少地面径流量或地下水储备(Unkovich，2003年；Dias de Oliveira等，2005年)。通过减少污水化学污染量，水稻管理一般对水质有积极的影响。[WG III 表 8.12]

## 6.2.9 耕地管理(减耕)(9)

水分保持耕作是一个通用术语，包括了众多的耕作方式，其中包括耩犁，垄耕，块耕，覆耕和免耕(CTIC，1998年)。通过水分保持耕作有许多附带效益。其中重要的效益是控制水侵蚀和风蚀，水源保护，提高土壤的持水能力，减少土壤板结，提高土壤对化肥和农药的适应能力，提高土壤和空气的质量，加强土壤的生物多样性，减少能源使用，提高水质，减少水库和水道淤积，以及可能双季耕作。在一些地区(如澳大利亚)，水分保持耕作加大了土壤持水量渗透后可导致下坡盐碱化。[LULUCF，事实 4.3] 采用水分保持耕作的重要次生效益包括减少水土流失，改善水质，提高燃油效率，并增加了作物产量。[LULUCF 4.4.2.4] 耕作/秸秆管理对水源保护有正面的影响。[WG III 表 8.12]

## 6.2.10 造林或再造林(10)

一般而言，预计森林比作物、草或自然矮小植被消耗更多的水(树冠拦截的蒸腾和蒸发总和)。这种效应发生在受到造林或再造林影响的土地上，该效应也许与增大的拦截损失有关，尤其是当全年大部分时间的树冠湿润时(Calder，1990年)，或在更干旱的区域则与更大范围的根系发展有关，这种根系可以在延长的旱季利用地下水汲取水分。[LULUCF 2.5.1.1.4]

全年有大范围绿叶面积的森林的拦截损失最大。因此，这种损失往往是常绿林比落叶林更大(Hibbert，1967年；Schulze，1982年)，可以预计速生林的碳储率高，但与生长缓慢的森林相比拦截损失更大。因此，在非林地开展速生针叶林的造林通常会降低集水区水的流动，并可能造成干旱期水的短

缺(Hibbert, 1967年; Swank和Douglass, 1974年)。例如, Vincent(1995年)发现, 种植需水量大的松树树种来恢复退化的泰国流域与过去的原始落叶林相比旱季河川流量会明显减少。虽然森林降低了平均流量, 但是它们可能会降低峰值流量和增加旱季期间的流量, 因为林地往往有更好的渗透能力和较高的持水能力(Jones和Grant, 1996年)。森林也在改善水质方面发挥了重要作用。[LULUCF 2.5.1.1.4]

在世界许多区域, 森林生长在浅咸水以上的水位, 毁林后减少水的使用可能导致水位上升, 从而将盐带到地表(Morris和Thomson, 1983年)。在这种情况下, 林木的高用水量(如通过造林或再造林)是有益的(Schofield, 1992年) [LULUCF 2.5.1.1.4]

在热带干旱地区, 森林种植通常比矮小植被用水更多, 因为树木可在更深的地方获取水, 而且蒸发的水分超过拦截的水分。新种植的树林因吸收地下储存的水, 因此其用水量(通过蒸腾和拦截)大于年降雨量(Greenwood等, 1985年)。因此, 在热带干旱地区广泛造林或再造林会对地下水和河流水流量产生严重影响。但是, 尚不太清楚, 在不改变树种根深或气孔活动规律的情况下, 用人工林甚至用外来物种取代天然林是否会增加热带地区的耗水量。在印度的干旱带, 人工桉树林的耗水情况与原有的干燥落叶林相似: 这两类树林基本上消耗了所有的年降雨量 (Calder, 1992年)。[LULUCF 2.5.1.1.4]

像保护森林一样, 造林和再造林也会产生有益的水文效应。在潮湿地区造林后, 直接径流量最初会迅速下降, 之后逐渐稳定, 基准流量会随着树林逐渐成熟缓慢增加(Fukushima, 1987年; Kobayashi, 1987年), 这说明再造林和造林可以帮助减少洪水泛滥和加强水源保护。在水源有限的区域内, 植树造林, 尤其是种植需高耗水的树种可能会导致流量显著减少, 从而影响了流域的栖息地(Le Maitre和Versfel, 1997年), 并且逐渐减少水流入其它生态系统和河流, 因此影响含水层和回灌(Jackson等, 2005年)。此外, 一些土壤性质可能发生的变化在很大程度上受水文变化的驱动。造林带来的水文效益也许需要在每个地点逐一进行评估。[WG III TAR 4.4.1]

积极的社会经济利益, 如财富或就业机会的创造, 必须权衡因可用水量、放牧, 自然资源和农业用地减少而造成的福利损失。在过去受到水土流失影响或由于其它原因造成土地退化的土地上造林可能对环境有正面的影响; 在水量大的集水区或尚

未大量使用的集水区, 流量减少也许并非至关重要。[LULUCF 4.7.2.4]

### 6.2.11 避免或减少毁林 (11)

阻止或放缓毁林和森林退化(碳密度损失)以及森林的可持续管理也许会为避免排放做出显著贡献, 也许会保护水资源, 防御洪水泛滥, 减少径流, 控制水土流失, 降低河流淤积, 以及保护渔业和水力发电设施的投资; 同时, 保护生物多样性(Parrotta, 2002年)。[WG III 9.7.2]

保护森林能够保护水资源和防止洪水泛滥。例如, 飓风米奇之后在中美洲发生的洪水损失显然因森林覆盖减少而加剧。森林通过减少径流能够控制水土流失和盐碱化。因此, 保持森林覆盖率能够降低河流淤积, 从而保护渔业和对水力发电基础设施的投资(Chomitz和Kumari, 1996年)。[WG III TAR 4.4.1]

毁林和集水区上游土地的退化可能会干扰水文系统, 这会使洪水和干旱机制取代下游地区的全年水流量(Myers, 1997年)。虽然在通过造林、再造林和毁林(ARD)活动增加碳储量与其它理想的相关影响之间通常具有协同作用, 但没有可适用的通用规则; 具体案例的影响必须具体评估。相关影响往往非常显著, 具体ARD活动的总体预期结果可在很大程度上受制于其它相关影响。[LULUCF 3.6.2]

### 6.2.12 固体废弃物管理; 污水处理 (12)

可控制的垃圾填埋(附带或不附带气体回收利用)能够控制和减少GHG排放, 但是在管理不善的地点也许会对水质产生负面影响。有氧生物处理(堆肥)和厌氧生物处理(厌氧分解)均存在上述情况。回收、再利用和最大程度减少废弃物可能不利于露天倾倒地场的废弃物清理, 因为可能造成水污染的后果。[WG III表10.7]

如果应用有效, 污水的运输和处理技术可减少甚至消除GHG的产生和排放。此外, 通过防止未处理污水排入地表水、地下水、土壤和海岸带地区, 污水管理有助于水源保护, 因此减少了污染量, 并需要处理相对少量的污水。[WG III 10.4.6]

处理后的污水可再利用或排出, 但是对于农业和园艺灌溉、渔业养殖、人工回灌含水层、或工业应用而言, 再利用是最好的选择。[WG III 10.4.6]

### 6.2.13 非常规石油 (13)

由于常规石油日益稀少，开采成本增加，因此非常规液体燃料在经济上越来越有吸引力，虽然这会被更高的环境成本所抵消(Williams等，2006年)。开采和提炼油页岩和油砂需要大量的水。沥青砂开采技术包括在矿床足够浅的地方采用包括露天(表层)采矿，或在原位矿井注入蒸汽，以减少开采之前的石油粘度。采矿过程每使用大约4公升的水会生产一公升的石油，但生产出可提炼的产品。在原位矿井开采过程每使用大约两公升水可生产一公升的石油，但杂物比重很高重油产品需要在炼油厂进行清洁和稀释(通常使用石脑油)或需要传送到一个提炼装置)以生产大约75%能效的合成原油(NEB，2006年)。油砂提炼能效大约是75%。开采油砂会留下大量的污染物和被大面积受到干扰的土地。[WG III 4.3.1.4]

## 6.3 水管理政策和措施对GHG排放和减排的影响

如前一节所述，各行业气候变化减排方式也许对水资源产生影响。反之，水管理政策和措施能够对不同行业的GHG排放产生影响，因此会对它们各自的减排措施产生影响。(表 6.2)。

### 6.3.1 水坝 (1)

全球约75%的水库用于灌溉、防洪和城市水供应。温室气体排放取决于水库的地点、功率密度(注满单位面积电量)、流速并取决于电厂是否是水坝式还是河流式。近期，水力发电的水库的温室气体足迹受到质疑。有些水库表明水面吸收二氧化碳，但是由于在自然碳循环中水输送碳，因此大部分水库排放少量的温室气体。在高原类型的热带水库的浅水处记录到甲烷的高排放量，这些水库的自然碳循环的排放量最高，而深水水库显示排放量较低。如果被淹没在一个新水库中，那么源自天然泛洪平原和湿地的甲烷也许受到抑制，因为甲烷在通过水体上升时会被氧化。甲烷在淡水中的形成涉及伴随产生的碳化合物(酚类物质和腐殖酸)，它们会有效地吸收相关的碳。对于热带的浅水水库，需要进一步研究，以确定水库增加甲烷排放的范围。[WG III 4.3.3.1]

因腐烂的植被和碳从集水区流入水库而造成水库温室气体排放是最近发现的生态系统对水坝的影响。这对传统的看法是一个挑战，即：与常规发

电来源相比，水力发电只对大气产生积极的影响(如减少二氧化碳和氮氧化物的排放)(世界水坝委员会，2000年)。

在《第四次评估报告》发表时对现有水力发电项目使用期限所作的评估表明，总体温室气体净排放量低。鉴于对淡水水库造成人为排放增加的测量仍然不确定，UNFCCC执行委员会已将水储量大的大型水力发电项目排除在清洁发展机制(CDM)之外。[WG III 4.3.3.1]

### 6.3.2 灌溉 (2)

世界约18%的耕地目前通过灌溉补充水(千年生态系统评估，2005a, b)。扩大这一灌溉面积(如果水储量允许)，或采取更有效的灌溉措施可通过提高单产和秸秆还田提高在土壤中的碳储量(Follett，2001年；Lal，2004年)。然而，其中部分效益也许会被供水所需能源产生的二氧化碳(Schlesinger，1999年；Mosier等，2005年)，或被较高湿度和使用氮肥所产生氧化亚氮排放(Liebig等，2005年)所抵消，尽管后者的影响尚未得到广泛测量。[WG III 8.4.1.1.d]。扩大水稻面积也可导致土壤中甲烷排放增加(Yan等，2003年)。[WG III 8.4.1.1.e]

### 6.3.3 秸秆还田 (3)

杂草争水是世界各地农作物歉收或减产的一个重要原因。目前杂草控制方法和农业机械的进步使许多农作物以最少的耕作(减耕)或无需耕作(免耕)的方式生长。这些耕作方式因保留土壤表面的作物秸秆从而避免了水分蒸发损失，所以目前世界各地正在越来越多地采用这种耕作方式(如Cerri等，2004年)。由于腐质分解增强和水土流失，土壤扰动趋于刺激土壤中碳的损失(Madari等，2005年)，而减耕或免耕农业往往增加土壤碳，但并不总是如此(West和Post，2002年；Alvarez，2005年；Gregorich等，2005年；Ogle等，2005年)。采用减耕或免耕也许还会影响N<sub>2</sub>O的排放，但净效应却不一致，并在全球范围未充分量化(Cassman等，2003年；Smith和Conen，2004年；Helgason等，2005年；Li等，2005年)。减耕对N<sub>2</sub>O的排放可能取决于土壤和气候条件：在一些地区减耕促进了N<sub>2</sub>O排放；其它地区可能会减少排放或无可测量的影响(Marland等，2001年)。此外，免耕系统可减少使用能源产生的二氧化碳排放(Marland等，2003年；Koga等，2006年)。保留作物秸秆的耕作制度还趋于增加土壤有机碳，因为这些秸秆是土壤有机物的前体物，它是土壤的主要碳储物质。避免秸秆焚烧(如甘蔗收割机械化，无需收割前焚烧；Cerri等，2004年)，也避免焚烧产生

**表 6.2:** 水管理对各行业温室气体排放的影响。温室气体排放增加用[-]表示, (因为这意味着负面影响), 而温室气体排放减少用[+]。圆括号内的数字是指注释的编号, 也指6.3节中各小节的编号。

行业	水质		水量		水位	
	化学/ 生物	温度	平均需求	土壤湿度	地表水	地下水
能源		地热能源 <sup>(7)</sup> [+]	水坝 <sup>(1)</sup> [+/-] 灌溉 <sup>(2)</sup> [-] 地热能源 <sup>(7)</sup> [+] 海水淡化 <sup>(6)</sup> [-]		水坝 <sup>(1)</sup> [+/-]	
农业			水坝 <sup>(1)</sup> [-]	灌溉 <sup>(2)</sup> [+/-] 秸秆还田 <sup>(3)</sup> [+]		耕地排水 <sup>(4)</sup> [+/-]
废弃物	污水处理 <sup>(5)</sup> [+/-]					

注:

- (1) 水力发电不需要化石燃料, 它是一种重要的可再生能源。然而, 最近水力发电水库的温室气体足迹受到了质疑。特别是, 甲烷是一个问题。
- (2) 采用更有效的灌溉措施可通过提高单产和秸秆还田提高土壤中的碳储量, 但其中部分效益也许被供水能耗产生的二氧化碳排放所抵消。灌溉也许还会引发更多的甲烷和氧化亚氮排放, 这取决于具体案例的情况。
- (3) 为了提高土壤的持水能力, 秸秆还田将通过增加作物产量, 减少土壤呼吸而使碳固化。
- (4) 湿润地区的农田排水可提高生产力(因此增加土壤的有机碳), 或许还通过改善通气抑制氧化亚氮的排放。但是, 任何通过排水造成的氮流失也许造成氧化亚氮的释放。
- (5) 在废弃物处置源头的阶段均能发生或多或少的甲烷和氧化亚氮排放(主要是源自污水的GHG排放), 这要取决于设施的设计和管理(污水处理和处理净化技术); 但在实践中, 大部分排放发生在废弃物处置的上游。
- (6) 咸水淡化需要使用能源, 从而产生温室气体排放。
- (7) 利用地热能源供暖不产生GHG排放, 如同采用其它方法生产能源那样。

的气溶胶和温室气体排放, 虽然使用燃料也许会增加二氧化碳排放。[WG III 8.4.1.1.c]

#### 6.3.4 农田排水 (4)

在湿润地区农田排水能够提高生产力(因而提高了土壤有机碳含量), 或许还可通过改善通风抑制N<sub>2</sub>O排放(Monteny等, 2006年)。但是, 任何排水造成的氮流失也许造成N<sub>2</sub>O的释放(Reay等, 2003年)。[WG III 8.4.1.1.d]

#### 6.3.5 污水处理 (5)

废弃物行业最大的温室气体排放源即垃圾填埋场的甲烷在废弃物处置几十年后会继续排放, 因此排放趋势的估计需要包括时间趋势的模型。在污水运输、污水处理以及废弃物或污水污泥的厌氧处理泄漏过程中也排放甲烷。N<sub>2</sub>O的主要来源是人类污水和污水处理。[WG III 10.3.1]

预计仅从污水中排放的甲烷从1990年到2020年将增加近50%, 特别是在东亚和南亚地区快速发展的国家。对源自污水的全球N<sub>2</sub>O排放估计并不完整而且仅仅基于人类污水处理的情况, 但这些估计表明在1990年至2020年将增加25%。但是, 应当强调, 这

些估计是按照常排放的情景得出的结果, 如果更多措施到位, 实际排放量可能要低得多。未来废弃物行业的减排将部分取决于2012年之后京都机制的存在, 如清洁发展机制。[WG III 10.3.1]

在发展中国家, 由于迅速的人口增长和城市化进程, 而污水基础设施并未得到同步发展, 源自污水的甲烷和N<sub>2</sub>O排放一般均高于发达国家。通过审查1990年源自污水和人类污水的甲烷和N<sub>2</sub>O的排放量估计和到2020年的趋势预估可以看出这一情况。[WG III 10.3.3]

虽然目前源自污水的温室气体排放低于废弃物的排放, 但是认识到, 当前的估值未能量化相当大的排放量, 尤其是发展中国家来自化粪池、公厕、未经控制排泄的排放。发展中国家分散的‘自然’处理过程和化粪池也许造成相对大的甲烷和氧化亚氮排放, 尤其是在中国, 印度和印度尼西亚。发展中国家露天污水渠或非正式形成的污水池塘通常导致失控排入河流和湖泊, 造成随着经济发展污水量迅速增加的局面。另一方面, 低耗水马桶(3-5升)和生态卫生方法(包括生态马桶)正在墨西哥, 津巴布韦, 中国和瑞典得到采用, 在这些地区养分可安全回收进入生产农业和环境。这些做法也可适用于许多发

展中国家和发达国家，尤其是在水短缺，水供应不稳定，或需要额外措施来保护水资源的地方。所有这些措施鼓励更小的养分负荷低和GHG排放相对低的污水处理厂。[WG III 10.6.2] 总之，为了维持和提高饮用水的质量以及其它公共卫生和保护环境的效益，许多国家污水收集和处理量越来越大。同时，相对于未来的污水收集和处理增加，源自污水的GHG排放将减少。[WG III 10.6.2]

### 6.3.6 海水淡化 (6)

在水匮乏的地区，水供应可能采取(部分)海水淡化。这一过程需要能源，并意味着在利用化石燃料的情况下产生温室气体排放。[WG II 3.3.2]

### 6.3.7 地热能 (7)

利用地热能源供暖不会产生温室气体排放，如同采用其它方法生产能源那样(另见第6.2.5节)。

## 6.4 适应与减缓之间潜在的水资源冲突

适应与减缓之间可能发生水资源的冲突。现有为数不多的研究(如Dang等，2003年)表明减缓对

适应的影响和适应对减缓的影响在全球层面大都很小，虽然在区域尺度这些影响也许是显著的。在气候变化将引发水文系统重大变化的地区，水力发电仍具有潜力，特别是如果适应气候变化的努力在各行业得到落实，这将会增加水的竞争(如为应对气候变化对农业的影响需要灌溉与饮用水需求增加和电力行业冷却用水需求增加之间出现的地表水资源竞争)。这确认了江河流域综合土地和水管理战略的重要性，以确保优化配置匮乏的自然资源(土地、水)。此外，必须同时对减缓和适应进行评估，明确取舍，以优化经济投资，并促进可持续发展。[WG II 18.8, 18.4.3]

一些研究证实在不断变化的气候和水文条件下供水、防洪、水力发电和最低河川流量(满足生态和水质的需要)之间存在潜在的冲突(Christensen等，2004年；Van Rheenen等，2004年)。[WG II 18.4.3]

适应不断变化的水文系统和可用水量也需要持续增加能源的投入。在水匮乏地区，不断增加污水处理后再利用和相关处理、深井抽水，尤其是大规模海水淡化将增加水行业的能源使用(Boutkan和Stikker，2004年)，从而产生温室气体排放，除非采用‘清洁能源’以便产生必要的能源投入。[WG II 18.4.3]

# 7

---

## 对政策和可持续发展的影响

---



气候变化普遍向水资源管理者、水资源用户(如, 农业)和决策者提出了一个重要的观念性挑战, 因为认为过去的气候和水文条件未来将会继续存在, 这种认识已不再正确了。水资源管理显然影响许多其它政策领域(如能源, 卫生, 粮食安全, 自然保护等)。因此, 需要在跨多个依赖水的行业内对各种适应和减缓选择作出评估。

很多与水有关的变量在近几十年的观测中出现了实质性变化, 但是目前尚不可能把观测到的变化清晰地正式归因于自然或人为原因。对区域尺度的未来降水、土壤湿度和径流的预估还有很大的不确定性。在很多区域, 各模式对预估变化的符号也不一致。但是, 在各气候模式间发现了一些确凿的型态。在高纬度和一些潮湿的热带地区(包括东亚和东南亚人口密集地区)降水(和河流量)很可能增加, 而在大部分中纬度和干旱的热带地区很可能减少[WGII图3.4]。对不确定性的解释和量化近期有所提高, 而且正在开发描述其特征的方法(如集合方法)[WGII 3.4, 3.5]。尽管如此, 对流域尺度降水、河流量和水位变化的定量预估仍存在不确定性, 因此只能在这种不确定性的背景下策划与气候变化有关的决策。[WGII TS, 3.3.1, 3.4]

在各种时间和空间尺度上有效地适应气候变化, 包括把在响应气候变率中获得的经验教训融入到更长期的减少脆弱性的努力并纳入到社区、流域以及国际协议的管理机制中。单凭历史的经验, 而不是针对预估的未来条件(包括变率和变化)继续为适应投资, 这很可能会增加许多行业对气候变化的脆弱性。[WGII TS, 14.5]

## 7.1 按行业划分的政策影响

### 水资源管理

- 以季节性积雪为主的集水区经历着春季高峰流量的提前, 预计在气候较暖的情况下这个变化会持续。在低纬度地区, 冬季降水将会以降雨形式出现而不是降雪。在很多山区, 如热带的安第斯山脉和许多亚洲山脉, 预计储存在冰川和积雪的水将会减少, 而在这些地区冰川为显著干旱季节的主要径流提供了水源。当冰川不断退缩时, 暖季和旱季的径流加强, 但在冰川消失之后径流将大幅度下降。[WGII 3.4.1]
- 受干旱影响的地区可能增加; 极端降水事件(出现频率和强度很可能增加)将加大洪水的风险。全世界多达20%的人口生活各流域内, 随着气候变化, 到21世纪80年代这些流域可能受到更多

洪水的影响。[WGII 3.4.3]

- 干旱和半干旱地区特别容易受到气候变化对淡水的影响。许多地区(如地中海盆地, 美国西部, 非洲南部, 巴西东北部, 澳大利亚南部和东部)将因气候变化而遭受水资源减少的影响。[WGII 框 TS.5, 3.4, 3.7] 在某些缺水区域 [WGII 3.4.2], 为抵消因降水变率增加导致可用地表水量减少的努力将受到以下事实的影响, 即: 预估地下水回灌量将会大大减少, 并由于用水需求增加而这一局面加剧。[WGII 3.5.1]
- 水温升高, 降水强度增加和低流量期延长加剧了许多形式的水污染, 对生态系统, 人类健康以及水系的可靠性和经营成本造成影响。[WGII 3.2, 3.4.4, 3.4.5]
- 预估径流将会下降的地区将面临水资源所提供的服务价值降低的局面。在其它一些地区由于年径流增加所带来的有利影响将经受因降水变率增加和季节性径流变化对供水, 水质和洪水风险负面影响的考验。[WGII 3.4, 3.5]
- 在全球层面, 气候变化对淡水系统的不利影响超过了有利的影响。[WGII 3.4,3.5]气候对淡水系统的不利影响加剧了对其它压力的影响, 如人口增长, 土地利用变化和城市化。[WGII 3.3.2,3.5]
- 就全球而言, 在未来几十年水需求将增长, 这主要是由于人口增长和生活更加富裕。[WGII 3.5.1]
- 气候变化影响现有水利基础设施的功能、运作和水管理规范。目前的水管理规范很可能不足以减少气候变化对供水可靠性, 洪水风险, 卫生, 能源和水生生态系统的负面影响, 。[WGII TS, 3.4, 3.5, 3.6]
- 在一些国家和地区(如加勒比, 加拿大, 澳大利亚, 荷兰, 英国, 美国和德国), 正在为水行业制定适应的程序和风险管理规范, 这些程序和规范认识到预估的水文变化的不确定性, 但需要制定有关评价成效的标准。[WGII 3.6]

### 生态系统

- 很多生态系统的弹性及其自然适应能力可能到2100年被史无前例的在气候变化、相关干扰(如洪涝、干旱、野火)和其它全球变化驱动因子(如土地利用变化, 污染, 资源过度开发)等综合后果所超过。[WGII TS]

- 降雨变率的加大可能通过水位的出现时间，维持时间和深度变化影响湿地。[WGII 4.4.8]
- 在所有生态系统中，淡水生态系统因气候变化而面临物种灭绝威胁的比例最高。[WGII 4.4.8]
- 当前的保护做法普遍准备不足，难以适应预估的未来几十年水资源的变化。[WGII 4.ES]
- 保护生物多样性和其它生态系统服务的有效的适应响应实施起来可能代价不菲，但除非将水保护需求纳入到适应战略，否则许多自然生态系统及其维持的物种将减少。[WGII 4.ES, 4.4.11, 表4.1, 4.6.1, 4.6.2]

### 农业，森林

- 干旱和洪涝灾害发生频率上升会严重影响作物产量和牲畜业，这种影响比单独使用平均变量变化预测的影响要大，要早。[WGII 5.4.1, 5.4.2] 干旱和洪涝灾害发生频率上升将会对局地生产，尤其是低纬度地区维持生计的行业带来负面影响。[WGII SPM]
- 气候变化对灌溉用水需求的影响也许较大。[WGII 5.4] 无论是地表还是地下的新增水储量可缓解缺水状况，但并非总是可行的。[WGII 5.5.2]
- 农民可通过改变每年的作物品种和/或种植日期以及通过采取其它对策进行部分调节。在设计新的灌溉供水系统以及在改造旧系统时应当考虑水需求增加的可能性。[WGII 5.5.1]
- 采取措施应对缺水，如污水在农业中的回收再利用需要认真管理以避免对职业健康及食品安全产生负面影响。[WGII 8.6.4]
- 由于气候变化而单方面采取应对水短缺的措施可能导致对水资源的竞争。需要采用国际和区域方法，以便制定联合解决方案。[WGII 5.7]

### 海岸带系统和低洼地区

- 海平面上升将扩大地下水及河口盐碱化的面积，从而导致淡水供应减少。[WGII 3.2, 3.4.2]
- 低洼沿海带地区适应能力低和/或高风险的居住环境面临洪水和海平面上升的风险增加。这些地区包括河流的三角洲，特别是亚洲大三角洲地区(如孟加拉国的恒河-布拉马普特拉河和西孟加拉邦)和地势低洼的沿海城市，特别是容易遭受自然或人为因素引起的地势沉降和热带风暴登陆的地区(如新奥尔良州、上海)。[WGII 6.3, 6.4]

### 工业、居住环境和社会

- 像城市供水系统这类基础设施是脆弱的，特别是在海岸带地区，很容易受到海平面上升和区域降水减少的影响。[WGII 7.4.3, 7.5]
- 极端降水事件预估将会增加，这将对基础设施产生重要影响：暴雨排水、道路排水沟和桥梁、堤防和洪水控制工程的设计，包括拦洪水库的规模。[WGII 7.4.3.2]
- 规划的规范可防止洪水高风险地区的发展(如洪泛平原)，包括住房，工业发展及垃圾填埋场的选址。[WGII 7.6]
- 由于基础设施的发展超前并需要大量投资，因此把气候变化信息纳入发展将从中受益。[WGII 14.5.3, 图14.3]

### 卫生和人类健康

- 气候变化对水产生的影响通过水质和可用水量的变化对人类健康构成了威胁。虽然供水和卫生设施的享有主要取决于非气候因素，但在一些人群中气候变化预计会加剧家庭在享有上述设施方面所遇到的各种问题。[WGII 8.2.5]
- 需要适当的灾害规划和防御，以应对因气候变化增加的洪涝风险并减少对健康和卫生体系的影响。[WGII 8.2.2]

### 气候信息需求

深入认识气候对水循环产生的影响取决于资料共享的改善程度。时间相对较短的水文记录可能会低估自然变率的总体范围。在数量和质量上与与水有关的变量进行综合监测能够支持决策，也是在气候变化条件下开展适应管理的先决条件。[WGII 3.8]

## 7.2 按区域划分的与水有关的主要影响预报

### 非洲

- 气候变化在非洲的影响可能最大，因为在非洲气候变化的影响会与一系列其它压力共同发生(人口增长、获得资源的不平等、无法享有足够的水和卫生设施[WGII 9.4.1]、粮食安全[WGII 9.6]、卫生体系不完善[WGII 9.2.2, 9.4.3])。这些压力和气候变化将加大非洲许多人的脆弱性。[WGII 9.4]
- 根据一系列气候变化情景预估到21世纪80年代非洲的干旱和半干旱土地将会增加5%-8%(6-9千万公顷)。[WGII 9.4.4]

- 农业产量逐步下降可能是由于干旱和土地退化，尤其是在边缘地区。萨赫勒地区的混合雨养灌溉系统将会受到气候变化的影响。五大湖地区和东非其它地区的
- 雨养和高原常年混合系统在也将受到严重影响。[WGII 9.4.4, 框 TS.6]
- 非洲当前面临的缺水压力可能因气候变化而增加，在未来非洲缺水压力评估中还必须考虑水治理和水流域的管理。预估到21世纪50年代东非地区径流将会增加(洪涝事件风险增加)，其它地区径流将会减少(干旱风险增加)(如南部非洲)。[WGII 9.4.1, 9.4.2, 9.4.8]
- 大湖泊初级生产力的任何变化将对当地的粮食供应产生重要影响。当前坦噶尼喀湖为周边的人口提供25%-40%的动物蛋白摄入量，而气候变化可能减少初级生产量和可能减少大约30%的鱼产量[WGII 9.4.5, 3.4.7, 5.4.5]。加上人为管理决策不当(包括过度捕捞)可能将进一步减少湖泊的鱼产量。[WGII 9.2.2, 框TS.6]

#### 亚洲

- 预计到2025年由于人口增长和气候变化的共同影响，印度的人均淡水供应量将从当前的1,820 m<sup>3</sup>下降到1,000 m<sup>3</sup>以下。[WGII 10.4.2.3]
- 季风期间更强的降雨和更频繁的山洪将导致径流比例上升，地下水的比例下降。[WGII 10.4.2]
- 预计东亚干旱和半干旱区域的农业灌溉需求量将每升高1°C而增加10%。[WGII 10.4.1]
- 在海岸带地区，特别是人口稠密的亚洲大三角洲地区将面临因海水倒灌造成洪涝的风险最大，并造成河水泛滥。[WGII 6.4, 10.4.3]
- 喜马拉雅山的积雪变化、冰川融化以及雪线抬升将影响到径流的季节性变化，造成干旱的夏季水短缺。四分之一的中国人口和数亿印度人口将受到影响。(斯特恩报告，2007年)[WGII 3.4.1, 10.4.2.1]

#### 澳大利亚和新西兰

- 澳大利亚南部和东部，新西兰北岛和一些东部地区目前出现的水安全问题很可能加剧(例如，到2030年维多利亚径流的跌幅为0-45%，到2050年澳大利亚的墨累达令流域的流量将减少10%-25%)。[WGII 11.4.1]
- 重大基础设施的风险可能因气候变化而加大。到2030年，针对极端气候事件很可能更频繁地超出基础设施的设计标准。这些风险包括泛洪平原的堤坝和城市排水系统失效，靠近江河的

沿海城镇发生洪涝。[WGII 11.ES, 11.4.5, 11.4.7]

- 预估到2030年澳大利亚南部和东部大部地区和新西兰的东部部分地区的农业和林业生产将会下降，其原因包括干旱增加。然而，由于降雨量增加，预估在新西兰西部和南部地区以及靠近主要河流地区在初期会产生效益。[WGII 11.4]

#### 欧洲

- 随着CO<sub>2</sub>加倍，预估到21世纪80年代在英国和欧洲北部部分地区超过常年值两个标准偏差的冬季极端降水概率将会高达五倍。[WGII 12.3.1]
- 预估到21世纪70年代欧洲北部的年径流将会增加，而欧洲南部地区的径流将会减少高达36%，在IS92a情景下夏季低流量将会减少80%。[WGII 12.4.1, T12.2]
- 属于严重缺水类别(抽水量与可用水量的比率大于0.4)的流域面积的百分比预计将从目前的19%增加到21世纪70年代的34%-36%。[WGII 12.4.1]
- 到21世纪80年代，生活在西欧国家17个缺水流域的人口可能增加1600万至4400万(HadCM3气候模式的结果)。[WGII 12.4.1]
- 到21世纪70年代，整个欧洲的水电潜力预计将下降6%，但区域差异很大，地中海地区潜力下降20%-50%，欧洲北部和东部增加15%-30%。[WGII 12.4.8]
- 根据一系列排放情景，到2050年不同区域的小山地冰川将会消失，而较大冰川的体积将减少30%-70%，同时春季和夏季的流量相应减少。[WGII 12.4.3]

#### 拉丁美洲

- 未来阿根廷、智利和巴西的干旱和半干旱地区降雨任何减少可能导致严重水短缺。[WGII 13.4.3]
- 在SRES的A2排放情景下，预估到2020年由于气候变化和人口增长，居住在缺水流域的人口数量将会达到3700万至6600万(在无气候变化情况下，估计为5600万)。[WGII 13.4.3]
- 拉丁美洲严重缺水的地区包括中美洲东部、平原、莫塔瓜谷地和危地马拉太平洋坡地、萨尔瓦多东部和西部、哥斯达黎加中央谷地及濒临太平洋的地区、洪都拉斯的北部、中部和西部山间地区以及巴拿马的阿苏埃罗半岛)。在这些地区，供水和水力发电量可能会受到气候变化的严重影响。[WGII 13.4.3]

- 预计冰川退缩将加剧在气候变暖情况下旱季的缺水状况，并对玻利维亚、秘鲁、哥伦比亚和厄瓜多尔可用水量和水力发电造成不利后果。预计雨季洪水风险将增大。[WGII 13.2.4, 13.4.3]

#### 北美洲

- 预估到21世纪中叶西部山区的气候变暖很可能造成积雪大幅减少，雪融化提前，冬季降雨事件增多，冬季流量高峰加大和洪涝增多，夏季流量减少。[WGII 14.4.1]
- 供水减少，加上需求增加可能加剧现已过度分配的水资源竞争。[WGII 14.2.1, 框 14.2]
- 预估本世纪前几十年气候的小幅变化将会使雨养农业总产量增加5%-20%，但不同区域存在重大差异。预估对靠近适宜生长的温暖期的后期阶段的作物，或高度依赖于水资源的作物提出了巨大挑战。[WGII 14.4.4]
- 气候变化的脆弱性可能集中在特定群体和区域，包括土著居民和其他依赖于有限资源基地的人群，城市中的穷人和老人。[WGII 14.2.6, 14.4.6]

#### 极区

- 北到2050年，半球多年冻土面积可能减少20%-35%。在一系列SRES情景下，预估到2050年大部分地区的季节性解冻深度将会增加15%-25%，在最北部地区将会增加50%，甚至更高。[WGII 15.3.4] 在北极，预计生态系统会因此受到干扰。[WGII 15.4.1]
- 预计江河湖泊冰盖将进一步退缩，因此影响其热结构、冰下生物栖息地的质量/数量以及北极地区的冰凌和相关洪水的发生时间和严重程度。预计淡水变暖将影响水生物种的生产力和分布，尤其是鱼类，导致鱼类资源发生变化，而且喜寒的鱼类减少。[WGII 15.4.1]
- 洪水发生频率和严重程度增加，多年冻土流失和崩溃威胁着北极群落、工业基础设施和供水。[WGII 15.4.6]

#### 小岛屿

- 有力的证据表明，在大多数气候变化情景下，小岛屿的水资源可能受到严重影响[WGII 16.ES]。大多数小岛屿供水有限，这些岛屿的水资源特别容易受到未来降雨变化和分布的影响。加勒比地区的许多岛屿可能因气候变化的影响而面临加大的缺水压力。在所有SRES情景下，预估这一区域的夏季降雨将会减少，而少雨期的水需求不可能得到满足。由于水储量不

足和暴雨事件造成的大径流量，冬季增加的雨量不可能补偿。[WGII 16.4.1]

- 平均雨量减少将会导致淡水透镜体面积的缩小。在太平洋地区，平均雨量减少10%(到2050年)将会导致塔拉瓦环礁和基里巴斯的淡水透镜体面积缩小20%。雨量减少，再加上抽取量增加，海平面上升和随之而来的海水入侵将加重这一威胁。[WGII 16.4.1]
- 一些小岛屿国家(如巴巴多斯，马尔代夫，塞舌尔和图瓦卢)已开始实施适应战略投资，包括海水淡化，以抵消当前和预估的水资源短缺。[WGII 16.4.1]

### 7.3 对气候变化减缓政策的影响

实施重要的减缓选择，如造林，水力发电和生物燃料也许对淡水资源有正面和负面的影响，这取决于具体地点的情况。因此，需要对具体地点的减缓措施(的效果)和与水有关的影响进行联合评估和优化。

灌溉面积和利用水坝发电的扩大可能导致相关的减缓潜力的效果降低。关于灌溉，由于抽水所需能源消耗产生的CO<sub>2</sub>排放和稻田的甲烷排放可部分抵消任何缓解效应。用于水利发电的淡水水库可产生一些温室气体排放，因此，需要对具体地点的温室气体最终收支作出总体评估。[WGIII 4.3.3.1, 8.4.1.1]

### 7.4 对可持续发展的影响

从中期角度，预计低收入国家和区域将依然脆弱，与高收入国家相比，可供前者做出选择较少。因此，应在发展、环境和卫生政策的背景下设计各项适应对策。有许多可用于减少未来脆弱性的方法，而且这些选择对于适应当前气候是有价值的，并能用于实现其它环境和社会目标。

在全球许多区域，气候变化对淡水资源的影响可影响到可持续发展，并会使减少贫困和降低儿童死亡率的目标无法实现(表 7.1)。很可能无法避免日益频繁和严重的水涝和干旱对可持续发展产生的负面影响[WGII 3.7]。然而，除了重大极端事件外，气候变化在很少情况下会成为对可持续性造成压力的主要因素。气候变化的意义在于它与变化和胁迫的其它来源相互作用，因此应当在多因素背景下考虑气候变化的影响。[WGII 7.1.3, 7.2, 7.4]

表 7.1: 水行业为实现千年发展目标的贡献潜力。[WGII 表 3.6]

目标	与水的直接关系	与水的间接关系
目标 1: 消除极端贫困 和饥饿	在很多生产活动中（如，农业、畜牧业、家庭手工业），水是一个因素 鱼类、木本作物和其它食物的可持续性生产带来了共同的财产资源	低生态系统恶化情况可改善局地可持续发展 通过更可靠的供水获取较廉价的食物减少城市 饥饿人口
目标 2: 实现普及教育		通过提高健康水平和减少挑水负担提高入学率，尤其是女童的入学率
目标 3: 促进性别平等， 赋予妇女权利	制定性别敏感的水管理计划	通过改善水服务减少浪费的时间并降低卫生负担最终获得更多增加收入的时间和促进性别平衡
目标 4: 降低儿童死亡率	提高饮水的普及，水量更多，水质更高，卫生条件改善，以降低低龄儿童患病率和死亡率的主要因素	
目标 6: 抗击艾滋病、 疟疾和其它疾病，	提高水和卫生条件的普及，以支持受艾滋病影响的家庭，同时扩大卫生项目的影响疟疾和其它疾病，改进的水管理可减少蚊子的栖息地并降低疟疾传播的风险	
目标 7: 确保环境的 可持续性	改进的水管理可减少水的消耗和回收营养物和有机物 采取行动，以确保贫困家庭获得更好、甚至丰富的生态卫生  条件 采取行动，以改进贫困社区的供水和卫生服务 采取行动，以减少污水排放和提高贫民窟环境卫生	建立运行、维护和成本回收体系，以便确保服务提供的可持续性



# 8

---

## 知识上的空白以及关于未来工作的建议

---



大量来自观测记录和气候预估的证据表明淡水资源是脆弱的，并且有可能受到气候变化的强烈影响。但是，由于评估过程各阶段存在不确定性，因此对水文变量未来变化及其对各系统和行业的影响进行量化的能力受到了限制。不确定性源自社会发展情景的范围、在某个特定情景下气候模式预估的范围、气候影响降至局地/区域尺度的过程、影响评估以及适应和减缓活动的反馈。在观测和认识方面的局限性限制了我们当前减少这些不确定性的能力。需要在这种不确定性的背景下进行决策。在这些不确定的基础上建立评估风险的确凿方法正处于初期开发阶段。

减缓气候变化并适应其影响的能力受到了适宜技术的具备程度和经济可行性的影响，以及受到多个利益攸关方之间牢靠的决策协作过程和各项管理标准的限制。对具体选择的成本和效益(包括可避免的损害)的了解非常匮乏。适应气候变化的管理战略需要足够的观测网络，以便向各利益攸关方通报有关信息。为了将适应的主流融入发展计划，以减少与水有关的脆弱性，必须有法律和体制框架以及需求方的统计数据，目前对这些框架和数据的认识有限，对金融资本作为适应投资流向水行业的相关渠道却认知甚少。

本部分提出了一些与上述需求有关的关键知识上的空白。

## 8.1 观测需求

为了更好地认识正在发生的变化以及为了更好地控制模式预估的结果，必须有更好的观测资料和资料的获取方式，这是在气候变化条件下适应管理的前提条件。知识水平的提高取决于更完善的资料可提供性。目前某些观测网络却正在萎缩。相对短的观测记录也许无法揭示自然变率的整个范围，并影响检测气候变化的研究，而长期的气候重建则能够在更宽阔的背景下看待近期趋势和极端事件。已找出了以下一些与淡水和水分循环有关的气候变化观测方面的主要空白[WGI TS.6; WGII 3.8]:

- 在量化全球和区域趋势过程中令人关切的方面是降水测量有难度。海洋上空降水测量(通过卫星)仍处在开发阶段。需要确保现有的卫星监测，开发反演降水的可靠的统计数据。[WGI 3.3.2.5]
- 对很多水文气象变量(如流量，土壤湿度和实际蒸腾)的测量不足。一般通过诸如太阳辐射，相对湿度和风速这样的参数计算潜在的蒸腾。观测记录

通常很短，而且仅限于少数几个区域，这阻碍了对干旱变化的全面分析。[WGI 3.3.3, 3.3.4]

- 在一些区域也许有拯救江河流域资料的机会。在没有观测资料的地方，应当考虑建立新的观测网络。[WGI 3.3.4]
- 地下水监测不尽人意，在许多区域地下水的损耗和回灌过程尚未得到很好的模拟。[WGI 3.3.4]
- 需要有关水质，用水和泥沙输送过程的监测数据。
- 关于积雪，冰和冻土的清单尚不完整。对变化的监测在时间和空间上分布不均。南半球普遍缺乏资料。[WGI TS 6.2, 4.2.2, 4.3]
- 需要更多的有关植物蒸腾对不断增加的大气CO<sub>2</sub>不断升高的温度和逐渐上升的大气水汽含量等综合影响做出反应的资料，以便更好地认识大气中CO<sub>2</sub>增加的直接影响与水分循环变化之间的关系。[WGI 7.2]
- 当不同机构和国家在一个区域或集水区持续监测时，质量保证，数据集的均一化，以及方法和程序的相互标定是重要的。

## 8.2 认识气候预估及其影响

### 8.2.1 认识并预估气候变化

在认识和模拟与水分循环有关的气候变化方面存在以下一些主要不确定性[SYR; WGI TS.6]:

- 气候的某些辐射驱动因子的变化尚未得到完全量化和充分认识(如，气溶胶及其对云特性的影响、甲烷、臭氧、平流层水汽、土地利用变化、过去的太阳变化)。
- 将某些观测到的气候变化现象归因于人为或自然过程的可信度水平既受到辐射强迫不确定性的限制，也受到各种过程和观测不确定性的限制。在较小的空间和时间尺度上归因则难度更大，认识降水量变化的可信度低于温度变化的可信度。极端事件变化的归因研究甚少。
- 在模拟某些气候变率模态以及某些强降水和小降水分布的过程中依然存在大的不确定性。在许多区域，平均降水量变化预估在不同模式之间也有很大差异，甚至在变化的符号也是如此。必须更好地认识不确定性的来源。
- 在许多区域，凡是在地形产生精细气候空间尺度

的地区，有关在这些尺度上如何体现气候变化的信息却不充分。

- 气候模式受到以下因素的限制：空间分辨率、目前计算机资源所能达到的集合规模、需要将一些其它过程纳入模式以及在模拟某些反馈过程中存在不确定性(如云和碳循环反馈)。
- 由于对冰盖和冰架过程的认知有限，导致了在对未来冰盖质量平衡预估的不确定性无法量化，反之，导致了海平面上升的预估存在不确定性。

### 8.2.2 与水有关的影响 [WGII 3.5.1, 3.8]

- 由于相关的不确定性，需要用概率方法来帮助水资源管理者分析气候变化产生的风险。正在开发各种技术以建立具体结果的概率分布。需要进一步推动这一研究，开发传播研究成果的技术，并将研究成果的应用传至用户界。
- 需要进一步开展针对当前水文变化的检测和归因工作；特别是水资源的变化和极端事件发生概率的变化。作为这种努力的一部分，需要建立气候变化对淡水影响的指标并建立监测指标的业务系统。
- 在大尺度气候模式与流域尺度(对水资源管理最为重要的尺度)模式之间仍然存在尺度不匹配的问题。因此，需要具有更高分辨率、更好的地表特性和相互作用的气候模式，以获取与水资源管理相关的更多信息。统计和物理降尺度能够为此做出贡献。
- 大多数关于气候变化对各国缺水压力的影响每年都应对水的供求作出评估。最好能够以月为尺度或以更高时间分辨率开展分析，因为季节型态的变化和极端事件的概率也许会抵消可用水资源增加的正面影响。
- 气候变化对积雪、冰和冻土(水循环中敏感的水储量变量)的影响是高度非线性的，更是针对物理过程和自然过程的模拟，以及需要开展特定的大气降尺度模拟。由于在不同的气候区域冰川、积雪，雨雪转换和冻土不断变化，所以对径流变化尚缺乏详尽的认识。
- 需要改进方法，使之能够评估不断变化的气候变率对淡水资源的影响。特别是需要开发局地尺度的数据集和与气候相关联的计算机运行的简单流域模式，使水资源管理者能够在考虑了未来气候预估不确定性范围的情况下评估影响并评价其管理系统的功能和适应性。
- 应当更全面地分析土地利用与气候变化(包括植被变化和人为活动，如灌溉和水库建设等)之间的反馈；例如，气候与土地利用耦合模拟。
- 需要改善对不同气候政策和发展途径产生的与水有关的后果的评估。
- 无论是发展中国家还是发达国家对气候变化对水质的影响认识甚少，尤其是对极端事件影响的认识。
- 在与水资源有关的气候变化影响的社会经济方面的研究结果相对较少，包括气候变化对水需求的影响。
- 气候变化对水生生态系统(不仅是温度，还应包括改变后的流量系统、水位和冰盖)的影响尚未有充分的认识。
- 尽管地下水很重要，但是与地表水资源相比，在气候变化影响评估过程中对地下水的重视程度还远远不够。

## 8.3 适应与减缓

- 水资源管理显然会影响其它许多政策领域(如能源预估，土地利用，粮食安全和自然保护)。现有工具不足以促进评价跨依赖水行业的适应和缓解选择方案，包括采用提高用水效率的技术和做法。
- 在缺乏对未来水文变量变化作出可靠预估情况下，在尚无准确预估时能够有效地推行各种适应过程和方法，如提高的用水效率和改进的水需求管理提供了应对气候变化的无悔选择。[WGII 3.8]
- **生物多样性。**需要确定水资源，以便保持环境的价值和服务，特别是与三角洲生态系统、湿地和足够河道流量有关的价值和服务。
- **碳捕获和封存：**需要更好地认识泄漏过程，因为地下水水质有可能下降。这需要提高监测和检验地质封存的二氧化碳流动的能力。[CCS, TS, 第10章]
- **水力发电/水坝建设：**鉴于存在多种不同的利益(洪水控制、水力发电、灌溉、城市供水、生态系统、渔业和通航)，需要采取一项综合方法，旨在获得可持续的解决方案。必须估计甲烷的排放。此外，必须评估受影响地区碳-收支的净效应。
- **生物能源：**对于大规模种植生物能源作物产生的水需求及其后果需要有深入的认识。[WGIII 4.3.3.3]
- **农业：**需要更好地认识更有效的灌溉对GHG收支

的净效应(通过提高产量和秸秆还田提高土壤中的碳储量,因供水所需的能源系统排放的CO<sub>2</sub>,或因湿度增加和化肥施撒排放的N<sub>2</sub>O可抵消上述净效应)。[WGIII 8.4.1.1]

- **林业:** 需要更好地认识大规模植树造林对水分循环形成过程的影响,如:降雨、蒸腾、径流、渗

透和地下水回灌。[WGIII 9.7.3]

- **污水与水回收再利用:** 需要更深入认识发展中国家分散处理过程和未经控制的污水排放所产生的排放。需要认识妥善再利用中水对缓解和适应战略的影响并对影响实现量化。



## 参考文献

- Abdalati, W. and K. Steffen, 2001: Greenland ice sheet melt extent: 1979–1999. *J. Geophys. Res.*, **106**(D24), 33983–33988.
- Abeku, T.A., G.J. van Oortmarssen, G. Borsboom, S.J. de Vlas and J.D.F. Habbema, 2003: Spatial and temporal variations of malaria epidemic risk in Ethiopia: factors involved and implications. *Acta Trop.*, **87**, 331–340.
- Abou-Hadid, A.F., 2006: *Assessment of Impacts: Adaptation and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources*. Washington, DC, 127 pp. [http://www.aiaccproject.org/Final%20Reports/Final%20Reports/FinalRept\\_AIACC\\_AF90.pdf](http://www.aiaccproject.org/Final%20Reports/Final%20Reports/FinalRept_AIACC_AF90.pdf).
- Abou-Hadid, A.F., R. Mougou, A. Mokssit and A. Iglesias, 2003: *Assessment of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources*. AIACC AF90 Semi-Annual Progress Report, 37 pp.
- Abu-Taleb, M.F., 2000: Impacts of global climate change scenarios on water supply and demand in Jordan. *Water International*, **25**(3), 457–463.
- ACIA (Arctic Climate Impact Assessment), 2004: *Impacts of a Warming Arctic: Synthesis Report of the Arctic Climate Impact Assessment*, Policy Document prepared by the Arctic Council and presented at the Fourth Arctic Council Ministerial Meeting, Reykjavik, 24 November 2004, 140 pp.
- ACIA (Arctic Climate Impact Assessment), 2005: *Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, 1042 pp.
- ADB (Asia Development Bank), 1994: *Climate Change in Asia: Vietnam Country Report*. Asia Development Bank, Manila, 103 pp.
- Adler, R.F. and Co-authors, 2003: The version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *J. Hydrometeorol.*, **4**, 1147–1167.
- AEMA, 2002: *Uso sostenible del agua en Europa. Gestión de la demanda*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 94 pp.
- Agarwal, P.K., S.K. Bandyopadhyay, H. Pathak, N. Kalra, S. Chander and S. Kumar, 2000: Analysis of yield trends of the rice–wheat system in north-western India. *Outlook on Agriculture*, **29**(4), 259–268.
- Agoumi, A., 2003: *Vulnerability of North African Countries to Climatic Changes: Adaptation and Implementation Strategies for Climatic Change*, IISD. [http://www.cckn.net/pdf/north\\_africa.pdf](http://www.cckn.net/pdf/north_africa.pdf).
- Aguilar, E., T.C. Peterson, P. Ramírez Obando, R. Frutos, J.A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. González García and co-authors, 2005: Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J. Geophys. Res.*, **110**, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.
- Alcamo, J. and T. Henrichs, 2002: Critical regions: a model-based estimation of world water resources sensitive to global changes. *Aquat. Sci.*, **64**, 352–362.
- Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch and S. Siebert, 2003a: Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrol. Sci. J.*, **48**, 317–338.
- Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch and S. Siebert, 2003b: Global estimates of water withdrawals and availability under current and future “business-as-usual” conditions. *Hydrol. Sci. J.*, **48**, 339–348.
- Alcamo, J. and Co-authors, 2004: A new perspective on the impacts of climate change on Russian agriculture and water resources. *Proc. World Climate Change Conference*, 29 September–3 October, 2003, Moscow, 324–335.
- Alcamo, J., M. Flörke and M. Marker, 2007: Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic change. *Hydrol. Sci. J.*, **52**, 247–275.
- Aldhous, P., 2004: Borneo is burning. *Nature*, **432**, 144–146.
- Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci and J.L. Vazquez-Aguirre, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, **111**, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Allen Consulting Group, 2005: *Climate Change Risk and Vulnerability: Promoting an Efficient Adaptation Response in Australia*. Report to the Australian Greenhouse Office by the Allen Consulting Group, 159 pp. <http://www.greenhouse.gov.au/impacts/publications/risk-vulnerability.html>.
- Alvarez, R., 2005: A review of nitrogen fertilizer and conservative tillage effects on soil organic storage. *Soil Use Manage.*, **21**, 38–52.
- Álvarez Cobelas, M., J. Catalán and D. García de Jalón, 2005: Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*, J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 113–146.
- Ames, A., 1998: A documentation of glacier tongue variations and lake development in the Cordillera Blanca, Peru. *Z. Glet. Glazialgeol.*, **34**(1), 1–26.
- Andréasson, J., S. Bergström, B. Carlsson, L.P. Graham and G. Lindström, 2004: Hydrological change: climate impact simulations for Sweden. *Ambio*, **33**(4–5), 228–234.
- Andreone, F., J.E. Cadle, N. Cox, F. Glaw, R.A. Nussbaum, C.J. Raxworthy, S.N. Stuart and D. Vallan, 2005: Species review of amphibian extinction risks in Madagascar: conclusions from the Global Amphibian Assessment. *Conserv. Biol.*, **19**, 1790–1802.
- Anisimov, O.A. and M.A. Beloutskaia, 2004: Predictive modelling of climate change impacts on permafrost: effects of vegetation. *Meteorol. Hydrol.*, **11**, 73–81.
- Antle, J.M., S.M. Capalbo, E.T. Elliott and K.H. Paustian, 2004: Adaptation, spatial heterogeneity, and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO<sub>2</sub> fertilization: an integrated assessment approach. *Climatic Change*, **64**, 289–315.
- Aparicio, M., 2000: *Vulnerabilidad y Adaptación a la Salud Humana ante los Efectos del Cambio Climático en Bolivia*. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal. Programa Nacional de Cambios Climáticos. PNUD/GEF.

- Arkell, B.P. and Darch, G.J.C., 2006: Impact of climate change on London's transport network. *Proc. Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, **159**(4), 231–237.
- Arnell, N.W., 2003: Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future streamflows in Britain. *J. Hydrol.*, **270**, 195–213.
- Arnell, N.W., 2004: Climate change and global water resources: SRES emissions and socio economic scenarios. *Global Environmen. Chang.*, **14**, 31–52.
- Arnell, N.W., 2006a: Global impacts of abrupt climate change: an initial assessment. Working Paper 99, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, 37 pp.
- Arnell, N.W., 2006b: Climate change and water resources: a global perspective. *Avoiding Dangerous Climate Change*, H.J. Schellhuber, W. Cramer, N. Nakićenović, T. Wigley and G. Yohe, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 167–175.
- Arnell, N.W. and E.K. Delaney, 2006: Adapting to climate change: public water supply in England and Wales, *Climatic Change*, **78**, 227–255.
- Amell, N.W., M.J.L. Livermore, S. Kovats, P.E. Levy, R. Nicholls, M.L. Parry and S.R. Gaffin, 2004: Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environ. Chang.*, **14**, 3–20.
- Ashton, P.J., 2002: Avoiding conflicts over Africa's water resources, *Ambio*, **31**(3), 236–242.
- Attaher, S., M.A. Medany, A.A. Abdel Aziz and A. El-Gindy, 2006: Irrigation-water demands under current and future climate conditions in Egypt. *Misr. Journal of Agricultural Engineering*, **23**, 1077–1089.
- Auer, I. and Co-authors, 2007: Histalp - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region 1760–2003. *Int. J. Climatol.*, **27**, 17–46.
- Bachelet, D., R.P. Neilson, J.M. Lenihan and R.J. Drapek, 2001: Climate change effects on vegetation distribution and carbon budget in the United States. *Ecosystems*, **4**, 164–185.
- Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeida, L. Arroyo, A. Di Fiore, T. Erwin, N. Higuchi, and Co-authors, 2004: Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B*, **359**, 353–365.
- Balmford, A., P. Crane, A. Dobson, R.E. Green and G.M. Mace, 2005: The 2010 challenge: data availability, information needs and extraterrestrial insights. *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B*, **360**, 221–228.
- Barber, V.A., G.P. Juday and B.P. Finney, 2000: Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature*, **405**, 668–673.
- Barnett, T.P., R. Malone, W. Pennell, D. Stammer, B. Semtner and W. Washington, 2004: The effects of climate change on water resources in the West: introduction and overview. *Climatic Change*, **62**, 1–11.
- Barnett, T.P., J.C. Adam and D.P. Lettenmaier, 2005: Potential impacts of warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, **438**, 303–309.
- Barras, J., S. Beville, D. Britsch, S. Hartley, S. Hawes, J. Johnston, P. Kemp, Q. Kinler, A. Martucci, J. Porthouse, D. Reed, K. Roy, S. Sapkota and J. Suhayda, 2003: *Historical and Projected Coastal Louisiana Land Changes: 1978–2050*. Open File Report 03-334. U.S. Geological Survey. 39 pp.
- Barreira, A., 2004: *Dams in Europe. The Water Framework Directive and the World Commission on Dam Recommendations: A Legal and Policy Analysis*. <http://assets.panda.org/downloads/wfdamsineurope.pdf>
- Basán Nickisch, M., 2002: Sistemas de captación y manejo de agua. Estación Experimental Santiago del Estero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/agua/0001res\\_sistemas.htm](http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/agua/0001res_sistemas.htm).
- Batima, P., 2003: Climate change: pasture–livestock. Synthesis Report. *Potential Impacts of Climate Change, Vulnerability and Adaptation Assessment for Grassland Ecosystem and Livestock Sector in Mongolia*. Admon Publishing, Ulaanbaatar, 36–47.
- Batima, P., Batnasan N. and Lehner B., 2004: *The Freshwater Systems of Western Mongolia's Great Lakes Basin: Opportunities and Challenges in the Face of Climate Change*. Admon Publishing, Ulaanbaatar, 95 pp.
- Batima, P., T. Ganbaatar, D. Tumerbaatar, B. Erdenetsetseg, B. Bolortsetseg, B. Gantsetseg, G. Sanjid and S. Khudulmur, 2005: Climate change impacts on environment. *Climate Change Impacts*, P. Batima and B. Bayasgalan, Eds., Admon Publishing, Ulaanbaatar, 59–115.
- Bationo, A., S.P. Wani, C.L. Biielders, P.L.G. Velk and A.U. Mokwunye, 2000: Crop residues and fertilizer management to improve soil organic carbon content, soil quality and productivity in the desert margins of West Africa. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 117–146.
- Bauder, E.T., 2005: The effects of an unpredictable precipitation regime on vernal pool hydrology. *Freshw. Biol.*, **50**, 2129–2135.
- Beare, S. and A. Heaney, 2002: *Climate change and water resources in the Murray Darling Basin, Australia; impacts and adaptation*. Conference Paper 02.11, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 33 pp. <http://www.abarepublications.com/product.asp?prodid=12389>.
- Beaulieu, N. and M. Allard, 2003: The impact of climate change on an emerging coastline affected by discontinuous permafrost: Manitousun Strait, northern Quebec. *Can. J. Earth Sci.*, **40**, 1393–1404.
- Beck, C., J. Grieser and B. Rudolph, 2005: A New Monthly Precipitation Climatology for the Global Land Areas for the Period 1951 to 2000. DWD, *Klimastatusbericht 2004*, 181–190.
- Beltaos, S. and Co-authors, 2006: Climatic effects on ice-jam flooding of the Peace-Athabasca Delta. *Hydrol. Process.*, **20**(19), 4031–4050.
- Benhin, J.K.A., 2006: *Climate change and South African agriculture: impacts and adaptation options*. CEEPA Discussion Paper No.21. Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa. The Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 78 pp.
- Beniston, M. and H.F. Díaz, 2004: The 2003 heatwave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global Planet. Change*, **44**, 73–81.
- Beniston, M., D.B. Stephenson, O.B. Christensen, C.A.T. Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, T. Holt, K. Jylhä, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schöll, T. Semmler and K. Woth, 2007: Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, **81**(Suppl. 1), 71–95.
- Berezovskaya, S., D.Q. Yang and L. Hinzman, 2005: Long-term annual water balance analysis of the Lena River. *Global Planet. Change*, **48**(1–3), 84–95.
- Berger, T., J. Mendoza, B. Francou, F. Rojas, R. Fuertes, M. Flores, L. Noriega, C. Ramallo, E. Ramirez and H. Baldovieso, 2005: Glaciares Zongo – Chacaltaya – Charquini Sur – Bolivia 16°S. Mediciones Glaciológicas, Hidrológicas y Meteorológicas, Año Hidrológico 2004–2005. *Informe Great Ice Bolivia, IRD-IHH-SENMAHI-COBEE*, 171.
- Berndes, G. and P. Börjesson, 2002: Multi-functional biomass production systems. <http://www.brdisolutions.com/pdfs/bcota/abstracts/6/70.pdf>.
- Berndes, G., F. Fredrikson, and P. Borjesson, 2004: Cadmium accumulation and Salix-based phytoextraction on arable land in

- Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **103**, 207-223.
- Berthelot, M., P. Friedlingstein, P. Ciais, P. Monfray, J.L. Dufresne, H.L. Treut and L. Fairhead, 2002: Global response of the terrestrial biosphere and CO<sub>2</sub> and climate change using a coupled climate-carbon cycle model. *Global Biogeochem. Cy.*, **16**, doi:10.1029/2001GB001827.
- Betts, R.A., P.M. Cox, S.E. Lee and F.I. Woodward, 1997: Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. *Nature*, **387**, 796-799.
- Betts, R.A., O. Boucher, M. Collins, P.M. Cox, P.D. Falloon, N. Gedney, D.L. Hemming, C. Huntingford, C.D. Jones, D. Sexton and M. Webb, 2007: Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature*, **448**, 1037-1041.
- Beuhler, M., 2003: Potential impacts of global warming on water resources in southern California. *Water Sci. Technol.*, **47**(7-8), 165-168.
- Bhadra, B., 2002: Regional cooperation for sustainable development of Hindu Kush Himalaya region: opportunities and challenges. Keynote paper presented at *The Alpine Experience – An Approach for other Mountain Regions*, Berchtesgaden, Germany, June 26-29.
- Bidegain, M., R.M. Caffera, F. Blixen, V.P. Shennikov, L.L. Lagomarsino, E.A. Forbes and G.J. Nagy, 2005: Tendencias climáticas, hidrológicas y oceanográficas en el Río de la Plata y costa Uruguay. *El Cambio Climático en el Río de la Plata*, V. Barros A. Menéndez and G.J. Nagy, Eds., Proyectos AIACC, 137-143.
- Bigio, A., 2003: Cities and climate change. *Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk*, A. Kreimer, M. Arnold and A. Carlin, Eds., World Bank, Washington, DC, 91-100.
- Bindoff, N., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C.L. Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L. Talley and A. Unnikrishnan, 2007: Observations: oceanic climate change and sea level. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 385-432.
- Blais, J.M., D.W. Schindler, D.C.G. Muir, M. Sharp, D. Donald, M. Lafreniere, E. Braekevelt and W. M.J. Strachan, 2001: Melting glaciers: a major source of persistent organochlorines to subalpine Bow Lake in Banff National Park, Canada. *Ambio*, **30**, 410-415.
- Blythe, E.M., A.J. Dolman and J. Noilhan, 1994: The effect of forest on mesoscale rainfall: an example from HAPEX-MOBILHY. *J. Appl. Meteorol.*, **33**, 445-454.
- Bobba, A., V. Singh, R. Berndtsson and L. Bengtsson, 2000: Numerical simulation of saltwater intrusion into Laccadive Island aquifers due to climate change. *J. Geol. Soc. India*, **55**, 589-612.
- Bodaly, R.A., J.W.M. Rudd, R.J.P. Fudge and C.A. Kelly, 1993: Mercury concentrations in fish related to size of remote Canadian shield lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**, 980-987.
- Bogaart, P.W. and R.T. van Balen, 2000: Numerical modeling of the response of alluvial rivers to Quaternary climatic change. *Global Planet. Change*, **27**, 124-141.
- Bogoyavlenskiy, D. and A. Siggner, 2004: Arctic demography. *Arctic Human Development Report (AHDR)*, N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson and O.R. Young, Eds., Steffansson Arctic Institute, Akureyri, 27-41.
- Börjesson, P. and G. Berndes, 2006: The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, **30**, 428-438.
- Bouma, M.J., 2003: Methodological problems and amendments to demonstrate effects of temperature on the epidemiology of malaria: a new perspective on the highland epidemics in Madagascar, 1972-1989. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **97**, 133-139.
- Bouraoui, F., B. Grizzetti, K. Granlund, S. Rekolainen and G. Bidoglio, 2004: Impact of climate change on the water cycle and nutrient losses in a Finnish catchment. *Climatic Change*, **66**, 109-126.
- Boutkan, E. and A. Stikker, 2004: Enhanced water resource base for sustainable integrated water resource management. *Nat. Resour. Forum*, **28**, 150-154.
- Bou-Zeid, E. and El-Fadel, M., 2002: Climate change and water resources in Lebanon and the Middle East. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, **128**(5), 343-355.
- Box, J.E. and Co-authors, 2006: Greenland ice-sheet surface mass balance variability (1988-2004) from calibrated polar MM5 output. *J. Clim.*, **19**(12), 2783-2800.
- Bradley, R.S., F.T. Keimig and H.F. Diaz, 2004: Projected temperature changes along the American cordillera and the planned GCOS network. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L16210, doi:10.1029/2004GL020229.
- Bradley, R.S., M. Vuille, H. Diaz and W. Vergara, 2006: Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*, **312**, 1755-1756.
- Braun, O., M. Lohmann, O. Maksimovic, M. Meyer, A. Merkovic, E. Messerschmidt, A. Reidel and M. Turner, 1999: Potential impact of climate change effects on preferences for tourism destinations: a psychological pilot study. *Clim. Res.*, **11**, 2477-2504.
- Briers, R.A., J.H.R. Gee and R. Geoghegan, 2004: Effects of North Atlantic oscillation on growth and phenology of stream insects. *Ecography*, **27**, 811-817.
- Brkklacich, M., C. Bryant, B. Veenhof and A. Beauchesne, 1997: Implications of global climatic change for Canadian agriculture: a review and appraisal of research from 1984-1997. *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Environment Canada, Toronto, ON, 220-256.
- Bromley, C.J. and S. Currie, 2003: Analysis of subsidence at Crown Road, Taupo: a consequence of declining groundwater. *Proc. 25th New Zealand Geothermal Workshop*, Auckland University, 113-120.
- Brouyere, S., G. Carabin and A. Dassargues, 2004: Climate change impacts on groundwater resources: modelled deficits in a chalky aquifer, Geer basin, Belgium. *Hydrogeol. J.*, **12**(2), 123-134.
- Brown, R.A., N.J. Rosenberg, C.J. Hays, W.E. Easterling and L.O. Mearns, 2000: Potential production and environmental effects of switchgrass and traditional crops under current and greenhouse-altered climate in the central United States: a simulation study. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **78**, 31-47.
- Brown, R.D. and R.O. Braaten, 1998: Spatial and temporal variability of Canadian monthly snow depths. *Atmos.-Ocean*, **36**, 37-54.
- Bruinsma, J., 2003: *World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective*. Earthscan, London, 444 pp.
- Brutsaert, W. and M.B. Parlange, 1998: Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. *Nature*, **396**, 30.
- Bunn, S.E. and Arthington, A.H., 2002: Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environ. Manage.*, **30**, 492-507.
- Burger, R.L., 1992: *Chavin and the Origins of Andean Civilization*. Thames and Hudson, London, 240 pp.
- Burke, E.J., S.J. Brown, and N. Christidis, 2006: Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21 st century with the Hadley Centre climate model. *J. Hydrometeorol.*, **7**, 1113-1125.
- Burke, L. and J. Maidens, 2004: *Reefs at Risk in the Caribbean*. World Resources Institute, Washington, DC, 81 pp. [http://archive.wri.org/publication\\_detail.cfm?pubid=3944](http://archive.wri.org/publication_detail.cfm?pubid=3944).
- Burke, L., E. Selig and M. Spalding, 2002: *Reefs at Risk in Southeast Asia*. World Resources Institute, Washington DC, 37 pp. [http://www.wri.org/biodiv/pubs\\_description.cfm?PubID=3144](http://www.wri.org/biodiv/pubs_description.cfm?PubID=3144).
- Burkett, V.R. and J. Kusler, 2000: Climate change: potential impacts and interactions in wetlands of the United States. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **36**, 313-320.

- Burkett, V.R., D.A. Wilcox, R. Stottlemeyer, W. Barrow, D. Fagre, J. Baron, J. Price, J. Nielsen, C.D. Allen, D.L. Peterson, G. Ruggerone and T. Doyle, 2005: Nonlinear dynamics in ecosystem response to climate change: case studies and policy implications. *Ecological Complexity*, **2**, 357–394.
- Buttle, J., J.T. Muir and J. Frain, 2004: Economic impacts of climate change on the Canadian Great Lakes hydro-electric power producers: a supply analysis. *Can. Water Resour. J.*, **29**, 89–109.
- Calder, I.R., 1990: *Evaporation in the Uplands*. John Wiley and Sons, Chichester, 148 pp.
- Calder, I.R., 1992: Water use of eucalyptus – a review. *Growth and Water Use of Forest Plantations*, I.R. Calder, R.L. Hall and P.G. Adlard, Eds., John Wiley and Sons, Chichester, 167–179.
- Caldwell, C.R., S.J. Britz and R.M. Mirecki, 2005: Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] grown in controlled environments. *J. Agr. Food Chem.*, **53**(4), 1125–1129.
- California Regional Assessment Group, 2002: *The Potential Consequences of Climate Variability and Change for California: The California Regional Assessment*. National Center for Ecological Analysis and Synthesis, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, California, 432 pp. [http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/CA\\_Report.pdf](http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/CA_Report.pdf).
- Callaghan, T.V., L.O. Björn, F.S. Chapin III, Y. Chernov, T.R. Christensen, B. Huntley, R. Ims, M. Johansson, D.J. Riedlinger, S. Jonasson, N. Matveyeva, W. Oechel, N. Panikov and G. Shaver, 2005: Arctic tundra and polar desert ecosystems. *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA): Scientific Report*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 243–352.
- Camilloni, I., 2005: Tendencias climáticas. *El Cambio Climático en el Río de la Plata*, V. Barros, A. Menéndez and G.J. Nagy, Eds., CIMA/CONICET-UBA, Buenos Aires, 13–19.
- Canziani, O.F. and L.J. Mata, 2004: The fate of indigenous communities under climate change. UNFCCC Workshop on impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. *Tenth Session of the Conference of Parties (COP-10)*, Buenos Aires, 3 pp.
- Caran, S.C. and J.A. Nelly, 2006: Hydraulic engineering in prehistoric Mexico. *Sci. Am. Mag.*, **October**, 8 pp.
- Carey, M., 2005: Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Global Planet. Change*, **47**, 122–134.
- Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walters and H. Yang, 2003: Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, **28**, 315–358.
- CCME, 2003: *Climate, Nature, People: Indicators of Canada's Changing Climate*. Climate Change Indicators Task Group of the Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian Council of Ministers of the Environment Inc., Winnipeg, Canada, 51 pp.
- CDC (Centers for Disease Control), 2005: Vibrio illnesses after Hurricane Katrina: multiple states, August–September 2005. *MMWR–Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, **54**, 928–931.
- Census Bureau, 2004: (*U. S. Census Bureau*), *NP-T1. Annual Projections of the Total Resident Population as of July 1: Middle, Lowest, Highest, and Zero International Migration Series, 1999 to 2100*. Population Division, U.S. Census Bureau, Washington, D.C. 20233, Washington DC. <http://www.census.gov/population/projections/nation/summary/np-t1.txt>.
- Cerri, C.C., M. Bernoux, C.E.P. Cerri and C. Feller, 2004: Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use Manage.*, **20**, 248–254.
- Chan, N.W., 1986: Drought trends in northwestern peninsular Malaysia: is less rain falling? *Wallaceana*, **4**, 8–9.
- Chang, H., C.G. Knight, M.P. Staneva and D. Kostov, 2002: Water resource impacts of climate change in southwestern Bulgaria. *GeoJournal*, **57**, 159–168.
- Changnon, S.A., 2005: Economic impacts of climate conditions in the United States: past, present, and future – an editorial essay. *Climatic Change*, **68**, 1–9.
- Changnon, S.A. and D. Changnon, 2000: Long-term fluctuations in hail incidences in the United States. *J. Climate*, **13**, 658–664.
- Chappell, A. and C.T. Agnew 2004: Modelling climate change in West African Sahel rainfall (1931–90) as an artifact of changing station locations. *Int. J. Clim.*, **24**(5), 547–554.
- Chattopadhyay, N. and M. Hulme, 1997: Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. *Agric. For. Meteorol.*, **87**, 55–73.
- Chauhan, M. and B. Gopal, 2001: Biodiversity and management of Keoladeo National Park (India): a wetland of international importance. *Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation*. Volume 2. Backhuys Publishers, Leiden, 217–256.
- Checkley, W., L.D. Epstein, R.H. Gilman, D. Figueroa, R.I. Cama, J.A. Patz and R.E. Black, 2000: Effects of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children. *Lancet*, **355**, 442–450.
- Cheikh, N., P.W. Miller and G. Kishore, 2000: Role of biotechnology in crop productivity in a changing environment. *Global Change and Crop Productivity*, K.R. Reddy and H.F. Hodges, Eds., CAP International, New York, 425–436.
- Chen, C., D. Gillig and B.A. McCarl, 2001: Effects of climatic change on a water dependent regional economy: a study of the Texas Edwards Aquifer. *Climatic Change*, **49**, 397–409.
- Chen, M., P. Xie, and J.E. Janowiak, 2002: Global land precipitation: a 50-yr monthly analysis based on gauge observations. *J. Hydrometeorol.*, **3**, 249–266.
- Chen, Z., S. Grasby and K. Osadetz, 2004: Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. *J. Hydrol.*, **290**(1–2), 43–62.
- Chiew, F.H.S., T.I. Harrold, L. Siriwardenena, R.N. Jones and R. Srikanthan, 2003: Simulation of climate change impact on runoff using rainfall scenarios that consider daily patterns of change from GCMs. *MODSIM 2003: Proc. International Congress on Modelling and Simulation*, D.A. Post, Ed., Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Canberra ACT, Townsville, 154–159.
- Choi, O. and A. Fisher, 2003: The impacts of socioeconomic development and climate change on severe weather catastrophe losses: Mid-Atlantic Region MAR and the U.S. *Climatic Change*, **58**(1–2), 149–170.
- Chomitz, K.M. and K. Kumari, 1996: *The domestic benefits of tropical forests: a critical review emphasizing hydrological functions*. Policy Research Working Paper, World-Bank, No. WPS1601, 41 pp.
- Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2003: Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, **421**, 805.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Koli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V.M. Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional climate projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 847–940.
- Christensen, N.S., A.W. Wood, N. Voisin, D.P. Lettenmaier and R.N. Palmer, 2004: The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Climatic Change*, **62**(1–3), 337–363.

- Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogee, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, et al., 2005: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, **437**, 529–533.
- City of New York, 2005: New York City's Water Supply System. The City of New York Department of Environmental Protection, New York, New York. <http://www.ci.nyc.ny.us/html/dep/html/watersup.html>.
- Clark, M.E., K.A. Rose, D.A. Levine and W.W. Hargrove, 2001: Predicting climate change effects on Appalachian trout: combining GIS and individual-based modeling. *Ecol. Appl.*, **11**, 161–178.
- Clarke, R. and J. King, 2004: *The Atlas of Water*. Earthscan, London, 128 pp.
- Cohen, S., D. Neilsen and R. Welbourn, Eds., 2004: *Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan Basin, British Columbia*. Final Report 1 January 2002 to 30 June 2004. <http://www.ires.ubc.ca/aird/documents/Okanagan2004-final.pdf>.
- Cohen, S.J., R. de Loë, A. Hamlet, R. Herrington, L.D. Mortsch and D. Shrubsole, 2003: *Integrated and cumulative threats to water availability. Threats to Water Availability in Canada*. National Water Research Institute, Burlington, Ontario, 117–127. [http://www.nwri.ca/threats2full/ThreatsEN\\_03web.pdf](http://www.nwri.ca/threats2full/ThreatsEN_03web.pdf).
- COHIFE, 2003: Principios rectores de Política Hídrica de la República Argentina. *Acuerdo Federal del Agua, Consejo Hidrico Federal*, COHIFE 8, August 2003, Argentina.
- Cole, C.V., K. Flach, J. Lee, D. Sauerbeck and B. Stewart, 1993: Agricultural sources and sinks of carbon. *Water Air Soil Poll.*, **70**, 111–122.
- Coleman, J.M. and O.K. Huh, 2004: *Major World Deltas: A Perspective from Space*. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. <http://www.geol.lsu.edu/WDD/PUBLICATIONS/introduction.htm>
- Compton, K., T. Ermolieva, and J.C. Linnerooth-Bayer, 2002: Integrated Disaster Risk Management: Megacity Vulnerability and Resilience, *Proc. Second Annual IIASA-DPRI Meeting*, IIASA Laxenburg, 20 pp.
- Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villareal and C. Gay, 1997: Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Clim. Res.*, **9**, 17–23.
- Conway, D., 2005: From headwater tributaries to international river: observing and adapting to climate variability and change in the Nile basin. *Global Environ. Chang.*, **15**, 99–114.
- Cook, E.R., R.D. D'Arrigo and M.E. Mann, 2002: A well-verified, multiproxy reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation index since A.D. 1400. *J. Clim.*, **15**, 1754–1764.
- Cortazar, P.F., 1968: Documental del Perú, Departamento del Cusco, S.A. Ioppe. Ed., February 1968.
- Cosgrove, W., R. Connor and J. Kuylenstierna, 2004: Workshop 3 (synthesis): climate variability, water systems and management options. *Water Sci. Techn.*, **7**, 129–132.
- Coudrain, A., B. Francou and Z.W. Kundzewicz, 2005: Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources: Editorial. *Hydrol. Sci. J.*, **50**(6), 925–932.
- Crabbe, P. and M. Robin, 2006: Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in Eastern Ontario. *Climatic Change*, **78**(1), 103–133.
- Craig, M.H., I. Kleinschmidt, D. Le Sueur and B.L. Sharp, 2004: Exploring thirty years of malaria case data in KwaZulu-Natal, South Africa. Part II. The impact of non-climatic factors. *Trop. Med. Int. Health*, **9**, 1258–1266.
- Cross, J., 2001: Megacities and small towns: different perspectives on hazard vulnerability. *Environmental Hazards*, **3**, 63–80.
- CTIC, 1998: *17<sup>th</sup> Annual Crop Residue Management Survey Report*. Conservation Technology Information Center, West Lafayette, IN. <http://www.ctic.purdue.edu>.
- Cullen, P., 2002: Living with water: sustainability in a dry land. *Adelaide Festival of Arts, Getting it Right Symposium, 1–12 March, 2002*.
- Curriero, F., J.A. Patz, J.B. Rose and S. Lele, 2001: The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994. *Am. J. Public Health*, **91**, 1194–1199.
- Cury, P. and L. Shannon, 2004: Regime shifts in upwelling ecosystems: observed changes and possible mechanisms in the northern and southern Benguela. *Prog. Oceanogr.*, **60**, 223–243.
- CWC (Central Water Commission), 2001: *Water and related statistics*, Report of the Ministry of Water Resources, New Delhi.
- DAFF, 2006a: *National Water Initiative*. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Australia. [http://www.pmc.gov.au/water\\_reform/nwi.cfm](http://www.pmc.gov.au/water_reform/nwi.cfm).
- DAFF, 2006b: *Contours*. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australia, 24 pp. [http://www.daff.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0020/98201/contours-dec-06.pdf](http://www.daff.gov.au/_data/assets/pdf_file/0020/98201/contours-dec-06.pdf).
- Dai, A. and K.E. Trenberth, 2002: Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *J. Hydrometeorol.*, **3**, 660–687.
- Dai, A., P.J. Lamb, K.E. Trenberth, M. Hulme, P.D. Jones and P. Xie, 2004a: The recent Sahel drought is real. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1323–1331.
- Dai, A., K.E. Trenberth and T. Qian, 2004b: A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 1117–1130.
- Dalal, R.C., W. Wang, G.P. Robertson and W.J. Parton, 2003: Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian J. Soil Res.*, **41**, 165–195.
- Dang, H.H., A. Michaelowa and D.D. Tuan, 2003: Synergy of adaptation and mitigation strategies in the context of sustainable development: the case of Vietnam. *Clim. Policy*, **3**, S81–S96.
- DaSilva, J., B. Garanganga, V. Teveredzi, S. Marx, S. Mason and S. Connor, 2004: Improving epidemic malaria planning, preparedness and response in Southern Africa. *Malaria J.*, **3**, 37.
- Davis, J.R., Ed., 1997: *Managing Algal Blooms. Outcomes from CSIRO's Multi-Divisional Blue-Green Algae Program*. CSIRO Land and Water, Canberra, 113 pp.
- de Wit, M. and J. Stankiewicz, 2006: Changes in surface water supply across Africa with predicted climate change. *Science Express*, doi:10.1126/science.1119929. <http://www.scienceexpress.org>.
- Declerck, S., J. Vandekerckhove, L.S. Johansson, K. Muylaert, J.M. Conde-Porcuna, K. van der Gucht, C. Pérez-Martínez, T.L. Lauridsen, K. Schwenk, G. Zwart, W. Rommens, J. López-Ramos, E. Jeppesen, W. Vyverman, L. Brendonck and L. de Meester, 2005: Multi-group biodiversity in shallow lakes along gradients of phosphorus and water plant cover. *Ecology*, **86**, 1905–1915.
- Delworth, T.L. and M.E. Mann, 2000: Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere. *Clim. Dyn.*, **16**, 661–676.
- Dessai, S., X. Lu and J.S. Risbey, 2005: On the role of climate scenarios for adaptation planning. *Global Environ. Chang.*, **15**, 87–97.
- DEUS, 2006: *NSW Government Water Savings Fund*. Department of Energy, Utilities and Sustainability, 17 pp. <http://www.deus.nsw.gov.au/Publications/WaterSavingsFundR3Guide.pdf>.
- Dias de Oliveira, M.E., B.E. Vaughan, and E.J. Rykiel, Jr., 2005: Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *BioScience*, **55**, 593–602.
- Diaz-Nieto, J. and R. Wilby, 2005: A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impact on low flows in the river Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, **69**, 245–268.
- Dinesh Kumar, P.K., 2006: Potential vulnerability implications of sea level rise for the coastal zones of Cochin, southwest coast of India. *Environ. Monit. Assess.*, **123**, 333–344.

- DNPC, 2005/2006: Informe de las lluvias caídas en Venezuela en los meses de Febrero y marzo de 2005 y Febrero 2006. Dirección Nacional de Protección Civil, República Bolivariana de Venezuela.
- Döll, P., 2002: Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change*, **54**, 269–293.
- Döll, P. and M. Flörke, 2005: Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge. *Frankfurt Hydrology Paper 03*, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt.
- Döll, P., M. Flörke, M. Mörker and S. Vassolo, 2003: Einfluss des Klimawandels auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf: eine globale Analyse unter Berücksichtigung neuer Klimaszenarien (Impact of climate change on water resources and irrigation water requirements: a global analysis using new climate change scenarios). *Klima-Wasser-Flussgebietsmanagement – im Lichte der Flut*, H.-B. Kleeberg, Ed., *Proc. Tag der Hydrologie 2003 in Freiburg, Germany, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 11–14.
- Donevska, K. and S. Dodeva, 2004: Adaptation measures for water resources management in case of drought periods. *Proc. XXII<sup>nd</sup> Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Brno, 30 August–2 September 2004, CD-edition.
- Doran, P.T. and Co-authors, 2002: Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response. *Nature*, **415**, 517–520.
- Dore, M. and I. Burton, 2001: *The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Regions – Social Infrastructure*. Climate Change Laboratory, Brock University, St Catharines, ON, 117 pp.
- Douglas, E.M., R.M. Vogel and C.N. Kroll, 2000: Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *J. Hydrol.*, **240**(1–2), 90–105.
- Dourojeanni, A., 2000: *Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable*. ECLAC, Santiago, 376 pp.
- Douville, H., F. Chauvin, S. Planton, J.F. Royer, D. Salas-Melia and S. Tyteca, 2002: Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. *Clim. Dyn.*, **20**, 45–68.
- Downing, T.E., R.E. Butterfield, B. Edmonds, J.W. Knox, S. Moss, B.S. Piper, E.K. Weatherhead and the CCDeW Project Team, 2003: *Climate change and the demand for water, Research Report*. Stockholm Environment Institute, Oxford Office, Oxford.
- DPMC, 2004: *Water Reform*. Department of Prime Minister and Cabinet, Australia. <http://www.dPMC.gov.au/nwi/index.cfm>.
- Drennen, P.M., M. Smith, D. Goldsworthy and J. van Staten, 1993: The occurrence of trahaolose in the leaves of the desiccation-tolerant angiosperm *Myronthamnus flabellifolius* Welw. *J. Plant Physiol.*, **142**, 493–496.
- du Plessis, C., D.K. Irurah and R.J. Scholes, 2003: The built environment and climate change in South Africa. *Build. Res. Inf.*, **31**(3–4), 240–256.
- Duguay, C.R. and Co-authors, 2003: Ice-cover variability on shallow lakes at high latitudes: model simulations and observations. *Hydrol. Process.*, **17**, 3465–3483.
- Duong, L.C., 2000: Lessons from severe tropical storm Linda, Workshop Report: “The Impact of El Niño and La Niña on Southeast Asia”, 21–23 February, Hanoi.
- Dwight, R.H., J.C. Semenza, D.B. Baker and B.H. Olson, 2002: Association of urban runoff with coastal water quality in Orange County, California. *Water Environ. Res.*, **74**, 82–90.
- Dyurgerov, M. and M.F. Meier, 2005: *Glaciers and Changing Earth System: A 2004 Snapshot*. 58, INSTAAR, Boulder, CO.
- Dyurgerov, M.B. and C.L. Carter, 2004: Observational evidence of increases in freshwater inflow to the Arctic Ocean. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **36**(1), 117–122.
- Eakin, H. and M.C. Lemos, 2006: Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity – building under globalization. *Global Environ. Chang.*, **16**, 7–18.
- Easterling, W.E., 2003: Observed impact of climate change in agriculture and forestry. *IPCC Workshop on the Detection and Attribution of the Effects of Climate Change*, GISS, New York, 54–55.
- Ebi, K.L., D.M. Mills, J.B. Smith and A. Grambsch, 2006: Climate change and human health impacts in the United States: an update on the results of the US National Assessment. *Environ. Health Persp.*, **114**(9), 1318–1324.
- ECF (European Climate Forum) and Potsdam Institute, 2004: *Report on the Beijing Symposium on Article 2*, September, 2004.
- Eckhardt, K. and U. Ulbrich, 2003: Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *J. Hydrol.*, **284**(1–4), 244–252.
- EEA, 2004: *Impacts of Europe’s changing climate: an indicator-based assessment*. EEA Report No 2/2004, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC), 107 pp.
- EEA, 2005: *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. EEA Technical Report No. 7/2005, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC).
- Eheart, J.W. and D.W. Tornil, 1999: Low-flow frequency exacerbation by irrigation withdrawals in the agricultural Midwest under various climate change scenarios. *Water Resour. Res.*, **35**, 2237–2246.
- Eid, H.M., S.M. El-Marsafawy and S.A. Ouda, 2006: *Assessing the Impacts of Climate Change on Agriculture in Egypt: a Ricardian Approach*. Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA) Discussion Paper No. 16, Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 1–33.
- Eisenreich, S.J., Ed., 2005: *Climate Change and the European Water Dimension*. Report to the European Water Directors. European Commission-Joint Research Centre, Ispra, 253 pp.
- Eitzinger, J., M. Stastna, Z. Zalud and M. Dubrovsky, 2003: A simulation study of the effect of soil water balance and water stress in winter wheat production under different climate change scenarios. *Agric. Water Manage.*, **61**, 195–217.
- El-Gindy, A., A.A. Abdel Azziz and E.A. El-Sahaar, 2001: *Design of Irrigation and Drainage Networks*. Faculty of Agriculture lectures, Ain Shams University, 28 pp (in Arabic).
- Ellis, J., 1995: Climate variability and complex ecosystem dynamics; implications for pastoral development. *Living with Uncertainty: New Directions in Pastoral Development in Africa*, I. Scoones, Ed., Intermediate Technology Publications, London, 37–46.
- Elpiner, L.I., 2004: Scenarios of human health changes under global hydroclimatic transformations. *Proc. Climate Change and Public Health in Russia in the XXI Century*. April 5–6, 2004, Publishing Company “Adamant”, Moscow, 195–199 (in Russian).
- Elsasser, H. and R. Burki, 2002: Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Clim. Res.*, **20**, 253–257.
- Elsasser, H., R. Bürki and B. Abegg, 2003: *Fifth World Conference on Sport and the Environment*, IOC/UNEP, Turin. [http://www.unep.org/sport\\_env/Documents/torinobuerki.doc](http://www.unep.org/sport_env/Documents/torinobuerki.doc).
- Enfield, D.B., A.M. Mestas-Nuñez and P.J. Trimble, 2001: The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental US. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2077–2080.
- Environment Canada, 2001: *Threats to sources of drinking water and aquatic ecosystems health in Canada. National Water Research Report No.1*. National Water Resources Research Institute, Burlington, Ontario, 72 pp.
- EPIQ (Environmental Policy and Institutional Strengthening Indefinite

- Quantity, Water Policy Reform Activity, Agricultural Policy Reform Programme and Market-Based Incentives Team), 2002: Economic Instruments for Improved Water Resources Management in Egypt, Prepared for the United States Agency for International Development/Egypt, No. PCE-I-00-96-00002-00, 173 pp.
- Ericson, J.P., C.J. Vorosmarty, S.L. Dingman, L.G. Ward and M. Meybeck, 2006: Effective sea-level rise and deltas: causes of change and human dimension implications. *Global Planet. Change*, **50**, 63–82.
- Etchevers, P., C. Golaz, F. Habets and J. Noilhan, 2002: Impact of a climate change on the Rhone river catchment hydrology. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4293, doi:10.1029/2001JD000490.
- Evans, E., R. Ashley, J. Hall, E. Penning-Rowsell, A. Saul, P. Sayers, C. Thorne and A. Watkinson, 2004: *Foresight. Future Flooding. Scientific Summary: Volume 1. Future Risks and their Drivers*. Office of Science and Technology, London.
- Falconer, I.R., 1997: Blue-green algae in lakes and rivers: their harmful effects on human health. *Australian Biologist*, **10**(2), 107–110.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2003: *World Agriculture Towards 2015/2030*. [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/004/y3557e/y3557e00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/004/y3557e/y3557e00.htm).
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2004a: *Yearbook of Fishery Statistics 2002*. Capture Production, Vol. 94/1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 654 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2004b: *Yearbook of Fishery Statistics 2002*, Aquaculture production, Vol. 94/2, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 206 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2004c: *Data Base*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2006: Third Session of the Sub-Committee on Aquaculture: Committee on Fisheries (COFI). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), New Delhi, India, 4-8 September.
- Faruqi, N.I., A.K. Biswas and M.J. Bino, Eds., 2001: *Water Management in Islam*. United Nations University Press, Tokyo, 149 pp.
- Fay, M., F. Ghesquiere and T. Solo, 2003b: Natural disasters and the urban poor. *IRDB En Breve*, **32**, The World Bank, 4 pp.
- Fay, P.A., J.D. Carlisle, A.K. Knapp, J.M. Blair and S.L. Collins, 2003a: Productivity responses to altered rainfall patterns in a C-4-dominated grassland. *Oecologia*, **137**(2), 245–251.
- Fedorov, A. and P. Konstantinov, 2003: Observations of surface dynamics with thermokarst initiation, Yukechi site, Central Yakutia. *Proc. VII International Permafrost Conference*, Switzerland, 21–25 July, 139–243.
- Feng, S. and Q. Hu, 2004: Changes in agro-meteorological indicators in the contiguous United States: 1951-2000. *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 247-264.
- Ferguson, G. and S.S. George, 2003: Historical and estimated ground water levels near Winnipeg, Canada and their sensitivity to climatic variability. *J. Am. Water Resour. As.*, **39**, 1249-1259.
- Fink, A.H., T. Brücher, A. Krüger, G.C. Leckebusch, J.G. Pinto, and U. Ulbrich, 2004: The 2003 European summer heatwaves and drought: synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, **59**, 209–216.
- Fischer, G., M. Shah and H.V. Velthuizen, 2002a: *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 152 pp.
- Fischer, G., H. van Velthuizen, M. Shah and F.O. Nachtergaele, 2002b: *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*. Research Report RR-02-02. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 119 pp and CD-Rom.
- Fischer, G., F.N. Tubiello, H. van Velthuizen and D. Wiberg, 2006: Climate change impacts on irrigation water requirements: global and regional effects of mitigation, 1990–2080. *Tech. Forecasting Soc. Ch.*, **74**, doi:10.1016/j.techfore.2006.05.021.
- Fish, M.R., I.M. Cote, J.A. Gill, A.P. Jones, S. Renshoff and A. Watkinson, 2005: Predicting the impact of sea level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conserv. Biol.*, **19**(2), 482–491.
- Fleury, M.D., D. Charron, J. Holt, B. Allen and A. Maarouf, 2006: The role of ambient temperature in foodborne disease in Canada using time series methods *Int. J. Biometeorol.*, **50**, doi:10.1007/s00484-00006-00028-00489.
- Folland, C. K., J.A. Renwick, M.J. Salinger, N. Jiang and N.A. Rayner, 2003: Trends and variations in South Pacific islands and ocean surface temperatures. *J. Climate*, **16**, 2859–2874.
- Follett, R.F., 2001: Organic carbon pools in grazing land soils. *The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. R.F. Follett, J.M. Kimble and R. Lal, Eds., Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 65-86.
- Fosaa, A.M., M.T. Sykes, J.E. Lawesson and M. Gaard, 2004: Potential effects of climate change on plant species in the Faroe Islands, *Global Ecol. Biogeogr.*, **13**, 427–437.
- Francou, B. and C. Vincent, 2006: Les glaciers à l'épreuve du climat. IRD/BELIN, Paris, 274 pp.
- Francou, B., M. Vuille, P. Wagnon, J. Mendoza and J.-E. Sicart, 2003: Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. *J. Geophys. Res.*, **108**, doi:10.1029/2002JD002959.
- Frauenfeld, O.W., T. Zhang, R.G. Barry and D. Gilichinsky, 2004: Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia. *J. Geophys. Res.*, **109**, doi:10.1029/2003JD004245.
- Freibauer, A., M. Rounsevell, P. Smith and A. Verhagen, 2004: Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, **122**, 1-23.
- Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G.K. Tank and T. Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, **19**, 193–212.
- Frolov, I., G. Alekseev and A. Danilov, 2004: Climate change in polar areas. *Proc. World Climate Change Conference*, Moscow, 29 September–3 October 2003, 484–490.
- Fukushima, Y., 1987: Influence of forestation on mountainside at granite highlands. *Water Sci.*, **177**, 17-34.
- Gagnon, A.S., K.E. Smoyer-Tomic and A. Bush, 2002: The El Niño Southern Oscillation and malaria epidemics in South America. *Int. J. Biometeorol.*, **46**, 81-89.
- Gallagher, P. and L. Wood, 2003: *Proc. World Summit on Salmon*, June 10-13, 2003, Vancouver, British Columbia. <http://www.sfu.ca/cstudies/science/summit.htm>.
- Gardner, T.A., I. Cote, G. Gill, A. Grant and A. Watkinson, 2003: Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*, **301**, 958–960.
- Gash, J.H.C. and W.J. Shuttleworth, 1991: Tropical deforestation: albedo and the surface energy balance. *Climatic Change*, **19**, 123-133.
- Gavriliev, P.P. and P.V. Efremov, 2003: Effects of cryogenic processes on Yakutian landscapes under climate warming. *Proc. VII International Permafrost Conference*, Switzerland, 21–25 July, 277–282.
- GDE (General Directorate of Environment, Comoros), 2002: *Initial National Communication on Climate Change*, Union des Comoros, Ministry of Development, Infrastructure, Post and Telecommunications.
- Gedney, N., P.M. Cox, R.A. Betts, O. Boucher, C. Huntingford and P.A. Stott, 2006: Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*, **439**(7078), 835–838.
- Genovese, G., C. Lazar and F. Micale, 2005: Effects of observed climate fluctuation on wheat flowering as simulated by the European

- crop growth monitoring system (CGMS). *Proc. Workshop on Adaptation of Crops and Cropping Systems to Climate Change, 7-8 November 2005, Dalam Landbrugsskole, Odense, Denmark*. Nordic Association of Agricultural Scientists, 12 pp.
- Genthon, C., G. Krinner and M. Sacchettini, 2003: Interannual Antarctic tropospheric circulation and precipitation variability. *Clim. Dyn.*, **21**, 289–307.
- GEO-3, 2003: *Global Environmental Outlook*. United Nations Environmental Program, 279 pp. [http://www.unep.org/geo/pdfs/GEO\\_lac2003English.pdf](http://www.unep.org/geo/pdfs/GEO_lac2003English.pdf).
- Georges, C., 2004: The 20th century glacier fluctuations in the Cordillera Blanca (Perú). *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **36**(1), 100–107.
- Geres, D., 2004: Analysis of the water demand management. *Proc. XXII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Brno, 30 August–2 September 2004. CD-edition.
- Gerolamo, M. and M.F. Penna, 1999: Os primeiros cinco anos da setima pandemia de cólera no Brasil. *Informe Epid. SUS*, **8**(3), 49–58.
- Gerten, D., S. Schaphoff, U. Haberlandt, W. Lucht and S. Sitch, 2004: Terrestrial vegetation and water balance: hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *J. Hydrol.*, **286**(1–4), 249–270.
- Gibson, J.J., T.D. Prowse and D.L. Peters, 2006: Partitioning impacts of climate and regulation on water level variability in Great Slave Lake. *J. Hydrol.*, **329**, 196–206.
- Gilman, E., H. Van Lavieren, J. Ellison, V. Jungblut, L. Wilson, F. Ereki, G. Brighthouse, J. Bungitak, E. Dus, M. Henry, I. Sauni, M. Kilman, E. Matthews, N. Teariki-Ruatu, S. Tukia, K. Yuknavage, 2006: Pacific island mangroves in a changing climate and rising sea. *UNEP Regional Sea Reports and Studies*, **179**, United Nations Environment Programme, Regional Sea 44 Programme, Nairobi, 45 pp.
- Giorgi, F., X. Bi and J. Pal, 2004: Mean, interannual variability and trend in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios 2071–2100. *Clim. Dyn.*, **23**, doi:10.1007/s00382-004-0467-0.
- Gitay, H., S. Brown, W. Easterling and B. Jallow, 2001: Ecosystems and their goods and services. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 237–342.
- Gitay, H., A. Suárez, R.T. Watson and D.J. Dokken, Eds., 2002: *Climate Change and Biodiversity*. IPCC Technical Paper V, IPCC, Geneva, 85 pp.
- Githeko, A.K. and W. Ndegwa, 2001: Predicting malaria epidemics in Kenyan highlands using climate data: a tool for decision makers. *Global Change Human Health*, **2**, 54–63.
- Glantz, M.H., Ed., 2001: *Once Burned, Twice Shy? Lessons Learned from the 1997–98 El Niño*, United Nations University, 294 pp.
- Gnadlinger, J., 2003: *Captação e Manejo de Água de Chuva e Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Brasileiro - Uma Visão Integrada*, 4º Simpósio Brasileiro de captação e Manejo de água de chuva. 9-12/07/2003. Juazeiro, BA, 2003.
- Goldenberg, S.B. and Co-authors, 2001: The recent increase in Atlantic hurricane activity: causes and implications. *Science*, **293**, 474–479.
- Golubev, V.S. and Co-authors, 2001: Evaporation changes over the contiguous United States and the former USSR: a reassessment. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2665–2668.
- Gonzalez, P., 2001. Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Clim. Res.*, **17**, 217–228
- Good, P., L. Bärring, C. Giannakopoulos, T. Holt and J. Palutikof, 2006: Non-linear regional relationships between climate extremes and annual mean temperatures in model projections for 1961–2099 over Europe. *Clim. Res.*, **31**, 19–34.
- Gordon, W. and J.S. Famiglietti, 2004: Response of the water balance to climate change in the United States over the 20th and 21st centuries: results from the VEMAP phase 2 model intercomparisons. *Global Biogeochem. Cy.*, **181**, GB1030.
- Gorham, E., 1991: Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.*, **1**, 182–195.
- Government of South Australia, 2005: *Water Proofing Adelaide: A Thirst for Change 2005–2025*. Government of SA, 64 pp. [http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/pdf/wpa\\_Strategy.pdf](http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/pdf/wpa_Strategy.pdf).
- Government of Western Australia, 2003: *Securing our Water Future: A State Water Strategy for Western Australia*. Government of WA, 64 pp. [http://dows.lincdigital.com.au/files/State\\_Water\\_Strategy\\_complete\\_001.pdf](http://dows.lincdigital.com.au/files/State_Water_Strategy_complete_001.pdf).
- Government of Western Australia, 2006: *Draft State Water Plan*. Government of WA, 88 pp. <http://dows.lincdigital.com.au/files/Draft%20State%20Water%20Plan.pdf>.
- Graham, N.A.J., S.K. Wilson, S. Jennings, N.V.C. Polunin, J.P. Bijoux and J. Robinson, 2006: Dynamic fragility of oceanic coral reef ecosystems. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 8425–8429.
- Graves, H. M. and M. C. Phillipson, 2000: Potential implications of climate change in the built environment. *FBE Report 2*. Building Research Establishment Press, London, 74 pp.
- Green, R.E., S.J. Cornell, J.P.W. Scharlemann and A. Balmford, 2005: Farming and the fate of wild nature. *Science*, **307**, 550–555.
- Greenwood, E.A.N., L.B. Klein, J.D. Beresford and G.D. Watson, 1985: Differences in annual evaporation between grazed pasture and eucalyptus species in plantation on a saline farm catchment. *J. Hydrol.*, **78**, 261–278.
- Gregorich, E.G., P. Rochette, A.J. van den Bygaart and D.A. Angers, 2005: Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil and Tillage Res.*, **83**, 53–72.
- Griffiths, G.M., M.J. Salinger and I. Leleu, 2003: Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *J. Climatol.*, **23**, 847–869.
- Gritti, E.S., B. Smith and M.T. Sykes., 2006: Vulnerability of Mediterranean Basin ecosystems to climate change and invasion by exotic plant species. *J. Biogeogr.*, **33**, 145–157.
- Groisman, P.Y., R.W. Knight, T.R. Karl, D.R. Easterling, B. Sun and J.H. Lawrimore, 2004: Contemporary changes of the hydrological cycle over the contiguous United States: trends derived from *in situ* observations. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 64–85.
- Groisman, P.Y. and Co-authors, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *J. Clim.*, **18**, 1326–1350.
- Gruza, G. and E. Rankova, 2004: Detection of changes in climate state, climate variability and climate extremity, in *Proc. World Climate Change Conference*, 29 September–3 October, 2003, Moscow, 90–93.
- Gueye, L., M. Bzioul and O. Johnson, 2005: Water and sustainable development in the countries of Northern Africa: coping with challenges and scarcity. *Assessing Sustainable Development in Africa*, Africa’s Sustainable Development Bulletin, Economic Commission for Africa, Addis Ababa, 24–28.
- Guo, Q.X., J.L. Li, J.X. Liu and Y.M. Zhang, 2001: The scientific significance of the forest vegetation ecotone between Daxing’an and Xiaoxing’an Mountains to global climate change study. *J. Forestry, Northeast University*, **29**(5), 1–4.
- Gupta, S.K. and R.D. Deshpande, 2004: Water for India in 2050: first-order assessment of available options. *Current Sci.*, **86**(9), 1216–1224.
- Gutiérrez Teira, B., 2003: Variaciones de las comunidades y poblaciones de macroinvertebrados del tramo alto del río manzanares a causa de la temperatura. Posibles efectos del cambio climático. *Tesis*

- Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- GWP (Global Water Partnership), 2002: *Dialogue on Effective Water Governance*, GWP, 6 pp.
- Haeberli, W. and C. Burn, 2002: Natural hazards in forests - glacier and permafrost effects as related to climate changes. *Environmental Change and Geomorphic Hazards in Forests*, R.C. Sidle, Ed., IUFRO Research Series, 9, 167-202.
- Hales S., N. de Wett, J. Maindonald and A. Woodward, 2002: Potential effect of population and climates change models on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet*, **360**, 830-834.
- Hall, C.J. and C.W. Burns, 2002: Mortality and growth responses of *Daphnia carinata* to increases in temperature and salinity. *Freshw. Biol.*, **47**, 451-458.
- Hall, G., R. D'Souza and M. Kirk, 2002: Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire? *Med. J. Australia*, **177**, 614-618.
- Hall, J.W., P.B. Sayers and R.J. Dawson, 2005: National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. *Nat. Hazards*, **36**, 147-164.
- Hamlet, A.F., 2003: The role of transboundary agreements in the Columbia River Basin: an integrated assessment in the context of historic development, climate, and evolving water policy. *Climate, Water, and Transboundary Challenges in the Americas*, H. Diaz and B. Morehouse, Eds., Kluwer Press, Dordrecht, 263-289.
- Harding, R.J., 1992: The modification of climate by forests. *Growth and Water Use of Forest Plantations*, I.R. Calder, R.L. Hall and P.G. Adlard, Eds., John Wiley and Sons, Chichester, 332-346.
- Hareau, A., R. Hofstadter and A. Saizar, 1999: Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities. *Clim. Res.*, **12**, 185-193.
- Harman, J., M. Gawith and M. Calley, 2005: Progress on assessing climate impacts through the UK Climate Impacts Programme. *Weather*, **60**, 258-262.
- Harrison, G.P. and H.W. Whittington, 2002: Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *J. Hydrol.*, **264**(1-4), 230-241.
- Hartmann, J., K. Ebi, J. McConnell, N. Chan and J.P. Weyant, 2002: Stable malaria transmission in Zimbabwe under different climate change scenarios. *Global Change and Human Health*, **3**, 2-14.
- Hatfield, J.L. and J.H. Pruger, 2004: Impacts of changing precipitation patterns on water quality. *J. Soil Water Conserv.*, **59**, 51-58.
- Hay, S.I., D.J. Rogers, S.E. Randolph, D.I. Stern, J. Cox, G.D. Shanks and R.W. Snow, 2002a: Hot topic or hot air? Climate change and malaria resurgence in East African highlands. *Trends Parasitol.*, **18**, 530-534.
- Hay, S.I., J. Cox, D.J. Rogers, S.E. Randolph, D.I. Stern, G.D. Shanks, M.F. Myers and R.W. Snow, 2002b: Climate change and the resurgence of malaria in the East African highlands. *Nature*, **415**, 905-909.
- Hay, S.I., G.D. Shanks, D.I. Stern, R.W. Snow, S.E. Randolph and D.J. Rogers, 2005: Climate variability and malaria epidemics in the highlands of East Africa. *Trends Parasitol.*, **21**, 52-53.
- Hayhoe, K. and Co-authors, J.H., 2004: Emissions pathways, climate change, and impacts on California. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 12422-12427.
- Haylock, M.R. and C.M. Goodess, 2004: Interannual variability of extreme European winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *Int. J. Climatol.*, **24**, 759-776.
- Haylock, M.R., T. Peterson, L.M. Alves, T. Ambrizzi, Y.M.T. Anunciação, J. Baez, V.R. Barros, M.A. Berlato and Co-authors, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, **19**, 1490-1512.
- Helgason, B.L., H.H. Janzen, M.H. Chantigny, C.F. Drury, B.H. Ellert, E.G. Gregorich, Lemke, E. Pattey, P. Rochette and C. Wagner-Riddle, 2005: Toward improved coefficients for predicting direct N<sub>2</sub>O emissions from soil in Canadian agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **71**, 7-99.
- Helms, M., B. Büchele, U. Merkel and J. Ihringer, 2002: Statistical analysis of the flood situation and assessment of the impact of diking measures along the Elbe (Labe) river. *J. Hydrol.*, **267**, 94-114.
- Hemp, A., 2005: Climate change-driven forest fires marginalize the impact of ice cap wasting on Kilimanjaro. *Glob. Change Biol.*, **11**, 1013-1023.
- Hendy, C. and J. Morton, 2001: Drought-time grazing resources in Northern Kenya. *Pastoralism, Drought and Planning: Lessons from Northern Kenya and Elsewhere*, J. Morton, Ed., Natural Resources Institute, Chatham, 139-179.
- Herath, S. and U. Ratnayake, 2004: Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts: a case study from Sri Lanka (1964-1993). *Global Environ. Change*, **14**, 71-79.
- Herron, N., R. Davis and R. Jones, 2002: The effects of large-scale afforestation and climate change on water allocation in the Macquarie River catchment, NSW, Australia. *J. Environ. Manage.*, **65**, 369-381.
- Hewitt, K., 2005: The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the "elevation effect", Karakoram Himalaya. *Mountain Research and Development*, **25**(4), 332-340.
- Hibbert, A.R., 1967: Forest treatment effects on water yield. *Forest Hydrology. Proc. International Symposium on Forest Hydrology*, W.E. Sopper and H.W. Lull, Eds., Forest hydrology, Pergamon Press, London, 527-543.
- Higashi, H., K. Dairaku and T. Matuura, 2006: Impacts of global warming on heavy precipitation frequency and flood risk. *Jour. Hydrosience and Hydraulic Engineering*, **50**, 205-210.
- Hild, C. and V. Stordhal, 2004: Human health and well-being. *Arctic Human Development Report (AHDR)*. N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson and O.R. Young, Eds., Steffanson Arctic Institute, Akureyri, 155-168 pp.
- Hinzman, L., N. Bettez, W. Bolton, F. Chapin, M. Dyrugerov, C. Fastie, B. Griffith, R. Hollister and Co-authors., 2005: Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other Arctic regions. *Climatic Change*, **72**, 251-298.
- Hoanh, C.T., H. Guttman, P. Droogers and J. Aerts, 2004: Will we produce sufficient food under climate change? Mekong Basin (South-east Asia). *Climate Change in Contrasting River Basins: Adaptation Strategies for Water, Food, and Environment*, Aerts, J.C.J.H. Aerts and P. Droogers, Eds., CABI Publishing, Wallingford, 157-180.
- Hobbins, M.T., J.A. Ramirez, and T.C. Brown, 2004: Trends in pan evaporation and actual evapotranspiration across the conterminous U.S.: Paradoxical or complementary? *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L13503, doi:10/10029/2004GL019846.
- Hock, R., P. Jansson and L. Braun, 2005: Modelling the response of mountain glacier discharge to climate warming. *Global Change and Mountain Regions: A State of Knowledge Overview*. Advances in Global Change Series, U.M. Huber, M.A. Reasoner and H. Bugmann, Eds., Springer, Dordrecht, 243-252.
- Hodgkins, G.A., R.W. Dudley and T.G. Huntington, 2003: Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th century. *J. Hydrol.*, **278**(1-4), 244-252.
- Hodgkins, G.A., R.W. Dudley and T.G. Huntington, 2005: Summer low flows in New England during the 20th century. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **41**(2), 403-412.
- Hoelzle, M., W. Haeberli, M. Dischl and W. Peschke, 2003: Secular glacier mass balances derived from cumulative glacier length

- changes. *Global Planet. Change*, **36**, 295–306.
- Holden, N.M., A.J. Brereton, R. Fealy and J. Sweeney, 2003: Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agric. For. Meteorol.*, **116**, 181–196.
- Hood, A. and Co-authors, 2002: Options for Victorian Agriculture in a “New” Climate: *A Pilot Study Linking Climate Change Scenario Modelling and Land Suitability Modelling*. Volume One - *Concepts and Analysis*. 62 pp. Volume Two - *Modelling Outputs*. Department of Natural Resources and Environment – Victoria, Australia, 83 pp.
- Hoogwijk, M., 2004: *On the Global and Regional Potential of Renewable Energy Sources*. PhD thesis, Copernicus Institute, Utrecht University, Utrecht, 256 pp.
- Hoogwijk, M., A. Faaij, B. Eickhout, B. de Vries and W. Turkenburg, 2005: Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, **29**, 225–257.
- Hooijer, M., F. Klijn, G.B.M. Pedroli and A.G. van Os, 2004: Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins: synopsis of the findings of IRMA-SPONGE. *River Res. Appl.*, **20**, 343–357.
- Hortle, K. and S. Bush, 2003: Consumption in the Lower Mekong Basin as a measure of fish yield. *New Approaches for the Improvement of Inland Capture Fishery Statistics in the Mekong Basin*, T. Clayton, Ed., FAO RAP Publication 2003/01, Bangkok, 76–88.
- Howe, A.D., S. Forster, S. Morton, R. Marshall, K.S. Osborn, P. Wright and P.R. Hunter, 2002: *Cryptosporidium* oocysts in a water supply associated with a cryptosporidiosis outbreak. *Emerg. Infect. Dis.*, **8**, 619–624.
- Howe, C., R.N. Jones, S. Maheepala and B. Rhodes, 2005: *Implications of Potential Climate Change for Melbourne’s Water Resources*. CSIRO Urban Water, CSIRO Atmospheric Research and Melbourne Water, Melbourne, 26 pp.
- Hu, D.X., W.Y. Han and S. Zhang, 2001: *Land–Ocean Interaction in Changjiang and Zhujiang Estuaries and Adjacent Sea Areas*. China Ocean Press, Beijing, 218 pp (in Chinese).
- Huang, H.J., F. Li, J.Z. Pang, K.T. Le and S.G. Li, 2005: *Land–Ocean Interaction between Huanghe Delta and Bohai Gulf and Yellow Sea*. China Science Press, Beijing, 313 pp (in Chinese).
- Huang, Z.G. and Xie X.D., 2000: *Sea Level Changes in Guangdong and its Impacts and Strategies*. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou, 263 pp.
- Huffaker, R., 2005: Finding a modern role for the prior appropriation doctrine in the American West. *Water Institutions: Policies, Performance and Prospects*, C. Gopalakrishnan, C. Tortajada and A.K. Biswas, Eds., Springer, Berlin, 187–200.
- Hunt, M., 2005: *Flood Reduction Master Plan*, Presented to the City of Peterborough City Council, Peterborough, Canada.
- Hunter, P.R., 2003: Climate change and waterborne and vector-borne disease. *J. Appl. Microbiol.*, **94**, 37S–46S.
- Huntington, T.G., 2006: Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *J. Hydrol.*, **319**, 83–95.
- Hurrell, J.W. and Co-authors, 2003: An overview of the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, J.W. Hurrell and Co-authors, Eds., Geophysical Monograph 134, American Geophysical Union, Washington, DC, 1–35.
- Hurtado-Díaz, M., H. Riojas-Rodríguez, S.J. Rothenberg, H. Gomez-Dantés and E. Cifuentes-García, 2006: Impacto de la variabilidad climática sobre la incidencia del dengue en México. *International Conference on Environmental Epidemiology and Exposure*, Paris.
- Huston, M.A. and G. Marland, 2003: Carbon management and biodiversity. *J. Environ. Manage.*, **67**, 77–86.
- Hyvarinen, V., 2003: Trend and characteristics of hydrological time series in Finland. *Nordic Hydrol.*, **34**, 71–91.
- Iafiazova, R.K., 1997: Climate change impact on mud flow formation in Trans-Ili Alatau mountains. *Hydrometeorology and Ecology*, **3**, 12–23 (in Russian).
- ICID (International Commission on Irrigation and Drainage, New Delhi), 2005: *Water Policy Issues of Egypt*, Country Policy Support Programme, 36 pp.
- Iglesias, A., T. Estrela and F. Gallart, 2005: Impactos sobre los recursos hídricos. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España for Efecto del Cambio Climático*, J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 303–353.
- Inouye, D.W., B. Barr, K.B. Armitage and B.D. Inouye, 2000: Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **97**(4), 1630–1633.
- Instanes, A. and Co-authors, 2005: Infrastructure: buildings, support systems, and industrial facilities. *Arctic Climate Impact Assessment, ACIA*. C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 907–944.
- IOCI, 2002: *Climate Variability and Change in SouthWest Western Australia*. Indian Ocean Climate Initiative. Perth, Australia, 36 pp. [http://www.ioci.org.au/publications/pdf/IOCI\\_CVCSW02.pdf](http://www.ioci.org.au/publications/pdf/IOCI_CVCSW02.pdf).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000: *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo and D. J. Dokken, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 375 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001a: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 881 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001b: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 1032 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001c: *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. Davidson, R. Swart and J. Pan, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 760 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007b: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007c: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave and L. Meyer, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 851 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007d: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, R.K. Pachauri and A. Reisinger, Eds., IPCC, Geneva, 102 pp.
- IRDB, 2000: *Gestión de los Recursos Hídricos de Argentina*.

- Elementos de Política para su Desarrollo Sustentable en el siglo XXI. Oficina Regional de América Latina y Caribe. Unidad Departamental de Argentina y los Grupos de Finanzas, Sector Privado y Infraestructura, y Medio Ambiente y Desarrollo Social Sustentable. Informe No. 20.729-AR. August 2000.
- Iensee, A.R. and A.M. Sadeghi, 1996: Effect of tillage reversal on herbicide leaching to groundwater. *Soil Sci.*, **161**, 382-389.
- Ivanov, B. and T. Maximov, Eds., 2003: *Influence of Climate and Ecological Changes on Permafrost Ecosystems*. Yakutsk Scientific Center Publishing House, Yakutsk, 640 pp.
- Ivey, J.L., J. Smithers, R.C. de Loe and R.D. Kreutzweiser, 2004: Community capacity for adaptation to climate-induced water shortages: linking institutional complexity and local actors. *Environ. Manage.*, **33**(1), 36-47.
- Izrael, Y.A. and Y.A. Anokhin, 2001: Climate change impacts on Russia. *Integrated Environmental Monitoring*, Nauka, Moscow, 112-127 (in Russian with an English abstract).
- Izrael, Y.A., Y.A. Anokhin and A.V. Pavlov, 2002: Permafrost evolution and the modern climate change. *Meteorol. Hydrol.*, **1**, 22-34.
- Jackson, R.B., E.G. Jobbágy, R. Avissar, S. Baidya Roy, D. Barrett, C.W. Cook, K.A. Farley, D.C. le Maitre, B.A. McCarl and B.C. Murray, 2005: Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, **310**, 1944-1947.
- Jansson, P., R. Hock and T. Schneider, 2003: The concept of glacier storage: a review. *J. Hydrol.*, **282**, 116-129.
- Jasper, K., P. Calanca, D. Gyalistras and J. Fuhrer, 2004: Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine rivers. *Clim. Res.*, **26**, 113-125.
- Jenkins, B., 2006: Overview of Environment Canterbury water issues. managing drought in a changing climate. *Royal Society of New Zealand Drought Workshop, 10 April 2006*, Christchurch, NZ. [http://www.rsnz.org/advisory/nz\\_climate/workshopApr2006/](http://www.rsnz.org/advisory/nz_climate/workshopApr2006/).
- Jepesen, E., J.P. Jensen and M. Søndergaard, 2003: Climatic warming and regime shifts in lake food webs: some comments. *Limnol. Oceanogr.*, **48**, 1346-1349.
- Jiménez, B., 2003: Health risks in aquifer recharge with recycle water. *State of the Art Report Health Risk in Aquifer Recharge using Reclaimed Water*, R. Aertgeerts and A. Angelakis, Eds., WHO Regional Office for Europe, 54-172.
- Jin, Z.Q., C.L. Shi, D.K. Ge and W. Gao, 2001: Characteristic of climate change during wheat growing season and the orientation to develop wheat in the lower valley of the Yangtze River. *Jiangsu J. Agric. Sci.*, **17**(4), 193-199.
- Jiongxin, X., 2003: Sediment flux to the sea as influenced by changing human activities and precipitation: example of the Yellow River, China. *Environ. Manage.*, **31**, 328-341.
- Johannessen, O.M., Khvorostovsky, K., Miles, M.W. and Bobylev, L.P., 2005: Recent ice-sheet growth in the interior of Greenland. *Science*, **310**(5750), 1013-1016.
- Johnson, W.C., B.V. Millett, T. Gilmanov, R.A. Voldseth, G.R. Guntenspergen and D.E. Naugle, 2005: Vulnerability of northern prairie wetlands to climate change. *BioScience*, **55**(10), 863-872.
- Jones, B. and D. Scott, 2006: Implications of climate change to Ontario's provincial parks. *Leisure*, **30** (1), 233-261.
- Jones, J.A. and G.E. Grant, 1996: Peak flow response to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. *Water Resour. Res.*, **32**, 959-974.
- Jones, M.L., B.J. Shuter, Y.M. Zhao and J.D. Stockwell, 2006: Forecasting effects of climate change on Great Lakes fisheries: models that link habitat supply to population dynamics can help. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **63**, 457-468.
- Jones, P.D., T.J. Osborn and K.R. Briffa, 2003a: Pressure-based measures of the North Atlantic Oscillation (NAO): A comparison and an assessment of changes in the strength of the NAO and in its influence on surface climate parameters. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, Hurrell, J.W. and Co-authors, Eds., Geophysical Monograph 134, American Geophysical Union, Washington, DC, 51-62.
- Jones, P.D., D.H. Lister, K.W. Jaggard and J.D. Pidgeon, 2003b: Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change*, **58**, 93-108.
- Jones, R. and P. Durack, 2005: *Estimating the Impacts of Climate Change on Victoria's Runoff using a Hydrological Sensitivity Model*. Consultancy Report for the Victorian Department of Sustainability and Environment, 50 pp.
- Jones, R.N. and C.M. Page, 2001: Assessing the risk of climate change on the water resources of the Macquarie River catchment. *Integrating Models for Natural Resources Management Across Disciplines: Issues and Scales*, F. Ghassemi, P.H. Whetton, R. Little and M. Littleboy, Eds., Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Canberra, 673-678.
- Jordan, E., 1991: *Die gletscher der bolivianischen Anden: eine photogrammetrisch-kartographische Bestandsaufnahme der Gletscher Boliviens als Grundlage für klimatische Deutungen und Potential für die wirtschaftliche Nutzung (The Glaciers of the Bolivian Andes, A Photogrammetric-Cartographical Inventory of the Bolivian Glaciers as a Basis for Climatic Interpretation and Potential for Economic Use)*. Erdwissenschaftliche Forschung 23, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 401 pp.
- Jorgenson, M.T., C.H. Racine, J.C. Walters and T.E. Osterkamp, 2001: Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in central Alaska. *Climatic Change*, **48**(4), 551-571.
- Justic, D., N.N. Rabalais and R.E. Turner, 2005: Coupling between climate variability and coastal eutrophication: evidence and outlook for the northern Gulf of Mexico. *J. Sea Res.*, **54**(1), 25-35.
- Kabat, P., R.E. Schulze, M.E. Hellmuth and J.A. Veraart, Eds., 2002: *Coping with Impacts of Climate Variability and Climate Change in Water Management: a Scoping Paper*. DWC Report No. DWCSSO-01(2002), International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen.
- Kajiwaru, M., T. Oki and J. Matsumoto, 2003: *Inter-annual Variability of the Frequency of Severe Rainfall in the Past 100 Years over Japan*. Extended abstract for a bi-annual meeting of the Meteorological Society of Japan (in Japanese).
- Kanai, S., T. Oki and A. Kashida, 2004: Changes in hourly precipitation at Tokyo from 1890 to 1999. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 241-247.
- Kane, R.P., 2002: Precipitation anomalies in southern America associated with a finer classification of El Niño and La Niña events. *Int. J. Climatol.*, **22**, 357-373.
- Kang, G., B.S. Ramakrishna, J. Daniel, M. Mathan and V. Mathan, 2001: Epidemiological and laboratory investigations of outbreaks of diarrhoea in rural South India: implications for control of disease. *Epidemiol. Infect.*, **127**, 107.
- Karst-Riddoch, T.L., M.F.J. Pisaric and J.P. Smol, 2005: Diatom responses to 20th century climate-related environmental changes in high-elevation mountain lakes of the northern Canadian Cordillera. *J. Paleolimnol.*, **33**, 265-282.
- Kaser, G. and H. Osmaston, 2002: *Tropical Glaciers*. UNESCO International Hydrological Series. Cambridge University Press, Cambridge, 207 pp.
- Kaser, G. and Co-authors, 2003: The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *J. Hydrol.*, **282**, 130-144.
- Kashyap, A., 2004: Water governance: learning by developing adaptive capacity to incorporate climate variability and change. *Water Sci. Technol.*, **19**(7), 141-146.
- Kaspar, F., 2003: *Entwicklung und Unsicherheitsanalyse eines globalen hydrologischen (Model Development and Uncertainty Analysis of*

- a *Global Hydrological Model*). University of Kassel, Kassel, PhD thesis.
- Kaste, Ø., K. Rankinen and A. Leipistö, 2004: Modelling impacts of climate and deposition changes on nitrogen fluxes in northern catchments of Norway and Finland. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **8**, 778–792.
- Kay, A., V. Bell and H. Davies, 2006a: *Model Quality and Uncertainty for Climate Change Impact*. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford.
- Kay, A., N.A. Reynard and R.N. Jones, 2006b: RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *J. Hydrol.*, **318**, 163–172.
- Keddy, P.A., 2000: *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, 614 pp.
- Keller, F., S. Goyette and M. Beniston, 2005: Sensitivity analysis of snow cover to climate change scenarios and their impact on plant habitats in alpine terrain. *Climatic Change*, **72**(3), 299–319.
- Kergoat, L., S. Lafont, H. Douville, B. Berthelot, G. Dedieu, S. Planton and J.-F. Royer, 2002: Impact of doubled CO<sub>2</sub> on global-scale leaf area index and evapotranspiration: conflicting stomatal conductance and LAI responses. *J. Geophys. Res.*, **107**(D24), 4808.
- Kerr, R., 2000: A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. *Science*, **288**, 1984–1985.
- Kerr, S.A., 2005: What is small island sustainable development about? *Ocean Coast. Manage.*, **48**, 503–524.
- Khan, T.M.A., O.P. Singh and M.S. Rahman, 2000: Recent sea level and sea surface temperature trends along the Bangladesh coast in relation to the frequency of intense cyclones. *Marine Geodesy*, **23**(2), 103–116.
- Kharkina, M.A., 2004: Natural resources in towns. *Energia*, **2**, 44–50.
- Kirschbaum, M. and A. Fischlin, 1996: Climate change impacts on forests. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change.*, R. Watson, M.C. Zinyowera and R.H. Moss, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 95–129.
- Kirshen, P., M. McCluskey, R. Vogel and K. Strzepek, 2005a: Global analysis of changes in water supply yields and costs under climate change: a case study in China. *Climatic Change*, **68**(3), 303–330.
- Kirshen, P., M. Ruth and W. Anderson, 2005b: Responding to climate change in Metropolitan Boston: the role of adaptation. *New Engl. J. Public Pol.*, **20**(2), 89–104.
- Kirshen, P., M. Ruth and W. Anderson, 2006: Climate's long-term impacts on urban infrastructures and services: the case of Metro Boston. *Regional Climate Change and Variability: Impacts and Responses*, M. Ruth, K. Donaghy and P.H. Kirshen, Eds., Edward Elgar Publishers, Cheltenham, 190–252.
- Kishor, P.B.K., Z. Hong, G. Miao, C. Hu and D. Verma, 1995: Overexpression of  $\Delta 1$ -pyrroline-5-carboxylase synthase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *J. Plant Physiol.*, **108**, 1387–1394.
- Kistemann, T., T. Classen, C. Koch, F. Dagendorf, R. Fischeder, J. Gebel, V. Vacata and M. Exner, 2002: Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Appl. Environ. Microbiol.*, **68**(5), 2188–2197.
- Kjellström, E., 2004: Recent and future signatures of climate change in Europe. *Ambio*, **23**, 193–198.
- Klanderud, K. and H.J.B. Birks, 2003: Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *Holocene*, **13**(1), 1.
- Klein, R.J., T.J. Nicholls, and J. Thomalla, 2003: The resilience of coastal mega cities to weather-related hazards in building safer cities: *The Future of Climate Change*, A. Kreimer, M. Arnold and A. Karlin, Eds., World Bank, Washington, DC, 101–121.
- Klein Tank, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Konnen, R. Bohm, G. Demaree, A. Gocheva, M. Miletta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Muller-Westermeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Palsdottir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. VanEngelen, E. Forland, M. Miletus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. López, B. Dahlstrom, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander and P. Petrovic, 2002: Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.*, **22**, 1441–1453.
- Klein Tank, A.M.G. and G.P. Können, 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999. *J. Clim.*, **16**, 3665–3680.
- Klijn, F., J. Dijkman and W. Silva, 2001: *Room for the Rhine in the Netherlands. Summary of Research Results*. RIZA Report 2001.033, Rijkswaterstaat, Utrecht.
- Klijn, F., M. van Buuren and S.A.M. van Rooij, 2004: Flood-risk management strategies for an uncertain future: living with Rhine river floods in the Netherlands? *Ambio*, **33**(3), 141–147.
- Knight, C.G., I. Raev, and M. P. Staneva, Eds., 2004: *Drought in Bulgaria: A Contemporary Analog of Climate Change*. Ashgate, Aldershot, Hampshire 336 pp.
- Knight, J. and Co-authors, 2005: a signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L20708, doi:10.2929/2005GL024233.
- Knowles, N., M.D. Dettinger and D.R. Cayan, 2006: Trends in snowfall versus rainfall for the western United States, 1949–2004. *J. Climate*, **18**, 1136–1155.
- Ko, A., R.M. Galvão, D. Ribeiro, C.M. Dourado, W.D. Johnson Jr. and L.W. Riley, 1999: Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil, Salvador. Leptospirosis Study Group. *Lancet*, **354**, 820–825.
- Kobayashi, K., 1987: Hydrologic effects of rehabilitation treatment for bare mountain slopes. *Bull. Forestry Forest Products Res. Instit.*, **300**, 151–185.
- Koga, N., T. Sawamoto and H. Tsuruta 2006: Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, **52**, 564–574.
- Korhola, A. and Co-authors, 2002: A multi-proxy analysis of climate impacts on recent ontogeny of subarctic Lake Sannajarvi in Finnish Lapland. *J. Paleolimnol.*, **1**, 59–77.
- Körner, C., 1999: *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer, Berlin, 343 pp.
- Kosek, M., C. Bern and R.L. Guerrant, 2003: The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000. *Bull. World Health Organ.*, **81**, 197–204.
- Kovats, R.S. and C. Tirado, 2006: Climate, weather and enteric disease. *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*, B. Menne and K.L. Ebi, Eds., Springer, Darmstadt, 269–295.
- Kovats, R.S., Campbell-Lendrum D. and Matthies, F., 2005: Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease. *Risk Analysis*, **25**(6), 1409–1418.
- Kramer, R., D. Richter, S. Pattanayak and N. Sharma, 1997: Economic and ecological analysis of watershed protection in eastern Madagascar. *J. Environ. Manage.*, **49**, 277–295.
- Krauss, K.W., J.L. Chambers, J.A. Allen, D.M. Soileau Jr and A.S. DeBosier, 2000: Growth and nutrition of baldcypress families planted under varying salinity regimes in Louisiana, USA. *J. Coast. Res.*, **16**, 153–163.
- Kriticos, D.J., T. Yonow and R.C. McFadyen, 2005: The potential distribution of *Chromolaena odorata* (Sim weed) in relation to climate. *Weed Research*, **45**, 246–254

- Kron, W. and G. Berz, 2007: Flood disasters and climate change: trends and options – a (re-)insurer's view. *Global Change: Enough Water for All?* J.L. Lozán, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel and C.-D. Schönwiese, Eds., University of Hamburg, Hamburg, 268-273.
- Krüger, A., U. Ulbrich and P. Speth, 2002: Groundwater recharge in Northrhine-Westfalia by a statistical model for greenhouse gas scenarios. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, **26**, 853–861.
- Krysanova, V. and F. Wechsung, 2002: Impact of climate change and higher CO<sub>2</sub> on hydrological processes and crop productivity in the state of Brandenburg, Germany. *Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management*, M. Beniston, Ed., Kluwer, Dordrecht, 271–300.
- Krysanova, V., F. Hattermann and A. Habeck, 2005: Expected changes in water resources availability and water quality with respect to climate change in the Elbe River basin (Germany). *Nordic Hydrol.*, **36**(4-5), 321–333.
- Kumagai, M., K. Ishikawa and J. Chunmeng, 2003: Dynamics and biogeochemical significance of the physical environment in Lake Biwa. *Lakes Reserv. Res. Manage.*, **7**, 345-348.
- Kumar, P.K., 2006: Potential vulnerability implications of sea level rise for the coastal zones of Cochin, southwest coast of India. *Environ. Monitor. Assess.*, **123**, 333–344.
- Kundzewicz, Z.W., U. Ulbrich, T. Brücher, D. Graczyk, A. Krüger, G. Leckebusch, L. Menzel, I. Pińskwar, M. Radziejewski and M. Szwed, 2005: Summer floods in Central Europe climate change track? *Nat. Hazards*, **36**(1/2), 165–189.
- Kundzewicz, Z.W., M. Radziejewski and I. Pińskwar, 2006: Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res.*, **31**, 51–58.
- Kunkel, K.E. and Co-authors, 2003: Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895–2000. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1900, doi:10.1029/2003GL018052.
- Kupek, E., M.C. de Sousa Santos Faversoni and J.M. de Souza Philippi, 2000: The relationship between rainfall and human leptospirosis in Florianópolis, Brazil, 1991–1996. *Braz. J. Infect. Dis.*, **4**, 131-134.
- La Nación, 2002: Buenos Aires, 13 March.
- Labat, D. and Co-authors, 2004: Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Adv. Water Resources*, **27**, 631–642.
- Lal, M., 2002: *Global climate change: India's monsoon and its variability*, Final Report under “Country Studies Vulnerability and Adaptation” Work Assignment with Stratus Consulting's Contract of the U.S. Environmental Protection Agency, September 2002, 58 pp.
- Lal, R., 2003: Offsetting global CO<sub>2</sub> emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry. *Land Degradation and Dev.*, **14**, 309–322.
- Lal, R., 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, **304**, 1623-1627.
- Lal, R., J.M. Kimble and R.F. Follett, 1999: Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil. *Recommendation and Conclusions of the International Symposium*, 19-23 July 1999, Columbus, OH, 12 pp.
- Lama, J.R., C.R. Seas, R. León-Barúa, E. Gotuzzo and R.B. Sack, 2004: Environmental temperature, cholera, and acute diarrhoea in adults in Lima, Peru. *J. Health Popul. Nutr.*, **22**, 399–403.
- Larsen, C.F., R.J. Motyka, J.T. Freymueller, K.A. Echelmeyer and E.R. Ivins, 2005: Rapid uplift of southern Alaska caused by recent ice loss. *Geophys. J. Int.*, **158**, 1118-1133.
- Latenser, M. and M. Schneebeli, 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *Int. J. Climatol.*, **23**, 733–750.
- Latif, M., 2001: Tropical Pacific/Atlantic Ocean interactions at multi-decadal time scales. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 539–542.
- Le Maitre, D.C. and D.B. Versfeld, 1997: Forest evaporation models: relationships between stand growth and evaporation. *J. Hydrol.*, **193**, 240-257.
- Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007: Historical overview of climate change science. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 93-128.
- Lean, J., C.B. Buntoun, C.A. Nobre and P.R. Rowntree, 1996: The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. *Amazonian Deforestation and Climate*, J.H.C. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts and T.L. Victoria, Eds., John Wiley and Sons, Chichester, 549-576.
- Leary, N., J. Adejuwon, W. Bailey, V. Barros, M. Caffera, S. Chinvarno, C. Conde, A. De Comarmond, A. De Sherbinin, T. Downing, H. Eakin, A. Nyong, M. Opondo, B. Osman, R. Payet, F. Pulhin, J. Pulhin, J. Ratnasiri, E. Sanjak, G. von Maltitz, M. Wehbe, Y. Yin and G. Ziervogel, 2006: For whom the bell tolls: vulnerabilities in a changing climate. *AIACC Working Paper No. 30*, International START Secretariat, Washington, DC, 31 pp.
- Leemans, R. and A. Kleidon, 2002: Regional and global assessment of the dimensions of desertification. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* J.F. Reynold and D.S. Smith, Eds., Dahlem University Press, Berlin, 215-232.
- Legates, D.R., H.F. Lins and G.J. McCabe, 2005: Comments on “Evidence for global runoff increase related to climate warming” by Labat et al. *Adv. Water Resour.*, **28**, 1310-1315.
- Lehner, B., G. Czigis and S. Vassolo, 2005: The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energ. Policy*, **33**, 839–855.
- Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, T. Henrichs and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, **75**, 273–299.
- Leipprand, A. and D. Gerten, 2006: Global effects of doubled atmospheric CO<sub>2</sub> content on evapotranspiration, soil moisture and runoff under potential natural vegetation. *Hydrol. Sci. J.*, **51**, 171–185.
- Lemmen, D. S. and F. J. Warren, Eds., 2004: *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*. Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, 201 pp, [http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective\\_e.asp](http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective_e.asp).
- Lenderink, G., A. vanUlden, B. van den Hurk and E. van Meijgaard, 2007: Summertime inter-annual temperature variability in an ensemble of regional model simulations: analysis of the surface energy budget. *Climatic Change*, **81**, S233-S247.
- Lewsey, C., Gonzalo, C. and Kruse, E., 2004: Assessing climate change impacts on coastal infrastructure in the Eastern Caribbean. *Marine Policy*, **28**, 393–409.
- Li, C., S. Frolking and K. Butterbach-Bahl, 2005: Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. *Climatic Change*, **72**, 321-338.
- Li, C.X., D.D. Fan, B. Deng and V. Korotaev, 2004: The coasts of China and issues of sea level rise. *J. Coast. Res.*, **43**, 36–47.
- Liebig, M.A., J.A. Morgan, J.D. Reeder, B.H. Ellert, H.T. Gollany and G.E. Schuman, 2005: Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. *Soil and Tillage Res.*, **83**, 25-52.
- Lincoln Environmental, 2000: *Information on Water Allocation in New Zealand*. Report No. 4375/1, prepared for Ministry for the Environment by Lincoln Ventures Ltd, Canterbury, New Zealand. <http://www.mfe.govt.nz/publications/water/water-allocation-apr00.pdf>.
- Lindstrom, G. and S. Bergstrom, 2004: Runoff trends in Sweden

- 1807–2002. *Hydrol. Sci. J.*, **49**(1), 69–83.
- Liniger, H. and R. Weingartner, 1998: Mountains and freshwater supply. *Unasylva*, **195**(49), 39–46.
- Lipp, E. and Co-authors, 2001: The effects of seasonal variability and weather on microbial faecal pollution and enteric pathogens in a subtropical estuary. *Estuaries*, **24**, 226–276.
- Liu, B.H. and Co-authors, 2004: A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955–2000. *J. Geophys. Res.*, **109**, D15102, doi:10.1029/2004JD004511.
- Liu, C.Z., 2002: Suggestion on water resources in China corresponding with global climate change. *China Water Resources*, **2**, 36–37.
- Liu, S.G., Li, C.X., Ding, J., Li, X.Z. and Ivanov, V.V., 2001: The rough balance of progradation and erosion of the Yellow River delta and its geological meaning. *Marine Geology and Quaternary Geology*, **21**(4), 13–17.
- Liu, Y.B. and Y.N. Chen, 2006: Impact of population growth and land-use change on water resources and ecosystems of the arid Tarim River Basin in western China. *Int. J. Sust. Dev. World*, **13**, 295–305.
- Llasat, M.C., 2001: An objective classification of rainfall intensity in the Northeast of Spain. *Int. J. Climatol.*, **21**, 1385–1400.
- Lofgren, B., A. Clites, R. Assel, A. Eberhardt and C. Luukkonen, 2002: Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios of two GCMs. *J. Great Lakes Res.*, **28**(4), 537–554.
- London Climate Change Partnership, 2004: *London's Warming: A Climate Change Impacts in London Evaluation Study*, London, 293 pp.
- LOSLR (International Lake Ontario–St. Lawrence River Study Board), 2006: *Options for Managing Lake Ontario and St. Lawrence River Water Levels and Flows*. Final Report to the International Joint Commission. <http://www.losl.org/reports/finalreport-e.html>.
- Luoto, M., R.K. Heikkinen and T.R. Carter, 2004: Loss of palaeo mires in Europe and biological consequences. *Environ. Conserv.*, **31**, 30–37.
- MacDonald, R., T. Harner, J. Fyfe, H. Loeng and T. Weingartner, 2003: Influence of Global Change on Contaminant Pathways to, within and from the Arctic. *ANAO Assessment 2002*. Arctic Monitoring and Assessment Programme. Oslo, 65 pp.
- Machado, P.L.O.A. and C.A. Silva, 2001: Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **61**, 119–130.
- Madari, B., P.L.O.A. Machado, E. Torres, A.G. Andrade and L.I.O. Valencia, 2005: No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Fhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, **80**, 185–200.
- Magadza, C., 2000: Climate change impacts and human settlements in Africa: prospects for adaptation. *Environ. Monit. Assess.*, **61**(1), 193–205.
- Magrin, G.O., M.I. Travasso and G.R. Rodríguez, 2005: Changes in climate and crops production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change*, **72**, 229–249.
- Manton, M.J., P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, D.A. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T.S. Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T. Lwin, L. Maitrepierre, N. Ouprasitwong, C.M. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Tran, B. Trewin, I. Tibig and D. Lee, 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific; 1961–1998. *Int. J. Climatol.*, **21**, 269–284.
- Manuel, J., 2006: In Katrina's wake. *Environ. Health Persp.*, **114**, A32–A39.
- Marengo, J.A., 2004: Interdecadal variability and trends of rainfall variability in the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 79–96.
- Mark, B.G. and G.O. Seltzer, 2003: Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Perú. *J. Glaciol.*, **49**, 271–281.
- Marland, G., B.A. McCarl and U.A. Schneider, 2001: Soil carbon: policy and economics. *Climatic Change*, **51**, 101–117.
- Marland, G., T.O. West, B. Schlamadinger and L. Canella, 2003: Managing soil organic carbon in agriculture: the net effect on greenhouse gas emissions. *Tellus*, **55B**, 613–621.
- Martin, D., Belanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C. and Dery, S., 2005: *Climate change, Drinking Water, and Human Health in Nunavik: Adaptation Strategies*. Final Report submitted to the Canadian Climate Change Action Fund, Natural Resources Canada. CHUL Research Institute, Quebec, 111 pp.
- Martin, E. and P. Etchevers, 2005: Impact of climatic change on snow cover and snow hydrology in the French Alps. *Global Change and Mountain Regions (A State of Knowledge Overview)*, U.M. Huber, H. Bugmann, and M.A. Reasoner, Eds., Springer, New York, 235–242.
- Mata, L.J., M. Campos, E. Basso, R. Compagnucci, P. Fearnside, G. Magri, J. Marengo, A.R. Moreno, A. Suaez, S. Solman, A. Villamizar and L. Villers, 2001: Latin America. *Climate Change 2001, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J. J. McCarthy, O. Canziani, N. Leary, D. Dokken and K. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 691–734.
- Maya, C., N. Beltran, B. Jimenez and P. Bonilla, 2003: Evaluation of the UV disinfection process in bacteria and amphizoic amoebae inactivation. *Water Science and Technology*, **3**(4), 285–291.
- Mazhitova, G., N. Karstkarel, N. Oberman, V. Romanovsky and P. Kuhty, 2004: Permafrost and infrastructure in the Usa Basin (Northern European Russia): possible impacts of global warming. *Ambio*, **3**, 289–294.
- McBean, G. and Co-authors, 2005: Arctic Climate: past and present. *Arctic Climate Impacts Assessment (ACIA)*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 21–60.
- McCabe, G.J., M. Palecki and J.L. Betancourt, 2004: Pacific and Atlantic Ocean influences on multi-decadal drought frequency in the United States. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 4136–4141.
- McClelland, J.W., R.M. Holmes and B.J. Peterson, 2004: Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **109**, D18102, doi:10.1029/2004JD004583.
- McKerchar, A.I. and R.D. Henderson, 2003: Shifts in flood and low-flow regimes in New Zealand due to inter-decadal climate variations. *Hydrol. Sci. J.*, **48**(4), 637–654.
- McMichael, A. and Co-authors, Eds., 2003: *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*. WHO, Geneva, 322 pp.
- McPeak, J.G. and C.B. Barrett, 2001: Differential risk exposure and stochastic poverty traps among East African pastoralists. *Am. J. Agr. Econ.*, **83**, 674–679.
- MDBC, 2006: *Basin Statistics*. Murray Darling Basin Commission. [http://www.mdbc.gov.au/about/basin\\_statistics](http://www.mdbc.gov.au/about/basin_statistics).
- Meehl, G.A. and C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, **305**, 994–997.
- Meher-Homji, V.M., 1992: Probable impact of deforestation on hydrological process. *Tropical Forests and Climate*, N. Myers, Ed., Springer, Berlin, 163–174.
- Melbourne Water, 2006: Eastern Treatment plant: treating sewage from Melbourne's south-eastern and eastern suburbs. [http://www.melbournewater.com.au/content/sewage/eastern\\_treatment\\_plant/eastern\\_treatment\\_plant.asp?bhcp=1](http://www.melbournewater.com.au/content/sewage/eastern_treatment_plant/eastern_treatment_plant.asp?bhcp=1).
- Melnikov B.V. and A. L. Revson, 2003: Remote sensing of northern regions of West Siberia. *Cryosphere of Earth*, **4**, 37–48 (in Russian).
- Mendelsohn, R., M. Morrison, M. Schlesinger and N. Andronova,

- 2000a: Country-specific market impacts from climate change, *Climatic Change*, **45**, 553–569.
- Mendelsohn, R., A. Dinar and A. Dalfelt, 2000b: *Climate change impacts on African agriculture*. Paper prepared for the World Bank, Washington, DC, 25 pp
- Menzel, A., G. Jakobi, R. Ahas, H. Scheifinger and N. Estrella, 2003: Variations of the climatological growing season (1951–2000) in Germany compared with other countries. *Int. J. Climatol.*, **23**, 793–812.
- Menzel, L. and G. Bürger., 2002: Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *J. Hydrol.*, **267**(1–2), 53–64.
- Mercier, F., A. Cazenave and C. Maheu, 2002: Interannual lake level fluctuations (1993–1999) in Africa from Topex/Poseidon: connections with ocean-atmosphere interactions over the Indian Ocean, *Global Planet. Change*, **32**, 141–163.
- Metz, B., O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos and L. Meyer, Eds., 2005: *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press, Cambridge, 431 pp.
- Middelkoop, H. and J.C.J. Kwadijk, 2001: Towards an integrated assessment of the implications of global change for water management: the Rhine experience. *Phys Chem Earth, Part B Hydrology, Oceans and Atmosphere*, **26**(7–8), 553–560.
- Middelkoop, H., K. Daamen, D. Gellens, W. Grabs, J.C.J. Kwadijk, H. Lang, B.W.A.H. Parmet, B. Schädler, J. Schulla and K. Wilke, 2001: Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *Climatic Change*, **49**, 105–128.
- Miettinen, I., O. Zacheus, C. von Bonsdorff and T. Vartiainen, 2001: Waterborne epidemics in Finland in 1998–1999. *Water Sci. Technol.*, **43**, 67–71.
- Miles, E.L., A.K. Snover, A. Hamlet, B. Callahan and D. Fluharty, 2000: Pacific Northwest Regional Assessment: the impacts of climate variability and climate change on the water resources of the Columbia River Basin. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, **36**, 399–420.
- Mileti, D., 1999: *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. National Academy Press, Washington, DC, 376 pp.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005a: *Ecosystems and Human Well-being: Volume 2 – Scenarios*. Island Press, Washington, DC, 515 pp.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005b: *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 155 pp.
- Miller, K.A. and D. Yates, 2006: *Climate Change and Water Resources: A Primer for Municipal Water Providers*. AWWA Research Foundation, Denver, CO, 83 pp.
- Miller, K.A., S.L. Rhodes and L.J. MacDonnell, 1997: Water allocation in a changing climate: institutions and adaptation. *Climatic Change*, **35**, 157–177.
- Miller, M.G. and A. Veltman, 2004: Proposed Canterbury Natural Resources Plan for river and groundwater allocation policies and the implications for irrigation dependent farming in Canterbury. *Proc. New Zealand Grassland Association*, **66**, 11–23.
- Mills, E., 2005: Insurance in a climate of change. *Science*, **309**, 1040–1044.
- Mills, E. and E. Lecomte, 2006: *From Risk to Opportunity: How Insurers Can Proactively and Profitably Manage Climate Change*. Ceres, Boston, MA, 42 pp.
- Mills, P.F., 1994: The agricultural potential of northwestern Canada and Alaska and the impact of climatic change. *Arctic*, **47**(2), 115–123.
- Milly, P.C.D., R.T. Wetherald, K.A. Dunne and T.L. Delworth, 2002: Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, **415**, 514–517.
- Milly, P.C.D., K.A. Dunne and A.V. Vecchia, 2005: Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, **438**(7066), 347–350.
- Mimikou, M., E. Blatas, E. Varanaou and K. Pantazis, 2000: Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *J. Hydrol.*, **234**, 95–109.
- Min, S.K., W.T. Kwon, E.H. Park and Y. Choi, 2003: Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia. *Int. J. Climatol.*, **23**, 223–233.
- Ministry for the Environment, 2004: *Climate Effects and Impacts Assessment: a Guidance Manual for Local Government in New Zealand*. Prepared by David Wratt, Brett Mullan and Jim Salinger (NIWA), Sylvia Allen and Tania Morgan (MWH New Zealand Ltd.) and Gavun Kenny (Earthwise Consulting). Ministry for the Environment Report ME 513, Wellington, 153 pp.
- Mirza, M.M.Q., 2002: Global warming and changes in the probability of occurrence of floods in Bangladesh and implications. *Global Environ. Chang.*, **12**, 127–138.
- Mirza, M.M.Q., 2003: Three recent extreme floods in Bangladesh: a hydro-meteorological analysis. *Nat. Hazards*, **28**, 35–64.
- Mirza, M.M.Q., 2004: *Climate Change and the Canadian Energy Sector: Report on Vulnerability and Adaptation*. Adaptation and Impacts Research Group, Atmospheric Climate Science Directorate, Meteorological Service of Canada Downsview, Ontario, 52 pp.
- Mirza, M.M.Q., R.A. Warrick and N.J. Erickson, 2003: The implications of climate change on floods of the Ganges, Brahmaputra and Meghna Rivers in Bangladesh. *Climatic Change*, **57**, 287–318.
- Mitchell, T.D. and P.D. Jones, 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.*, **25**, 693–712.
- Mitchell, W., J. Chittleborough, B. Ronai and G.W. Lennon, 2001: Sea level rise in Australia and the Pacific. *Proc. Science Component. Linking Science and Policy*. Pacific Islands Conference on Climate Change, Climate Variability and Sea Level Rise. 3–7 April 2000, Rarotonga, Cook Islands, National Tidal Facility, The Flinders University of South Australia, Adelaide, 47–58.
- Moench, M., A. Dixit, S. Janakarajan, M.S. Rathore and S. Mudrakartha, 2003: *The Fluid Mosaic: Water Governance in the Context of Variability, Uncertainty and Change – A Synthesis Paper*. Nepal Water Conservation Foundation, Kathmandu, 71 pp.
- Mohseni, O., H.G. Stefan and J.G. Eaton, 2003: Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams. *Climatic Change*, **59**, 389–409.
- Mölg, T., D.R. Hardy, N. Cullen and G. Kaser, 2005: Tropical glaciers in the context of climate change and society: focus on Kilimanjaro (East Africa). *Contribution to Mountain Glaciers and Society Workshop*. California University Press, Wengen, 28 pp.
- Monson, R.K., D.L. Lipson, S.P. Burns, A.A. Turnipseed, A.C. Delany, M.W. Williams and S.K. Schmidt, 2006: Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition. *Nature*, **439**(7077), 711–714.
- Monteny, G.-J., A. Bannink and D. Chadwick, 2006: Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agri. Ecosys. Environ.*, **112**, 163–170.
- Mool, P.K., D. Wangda and S.R. Bajracharya, 2001: *Inventory of Glaciers, Glacial Lakes and Glacial Lake Outburst Floods: Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region: Bhutan*. ICIMOD, Kathmandu, 227 pp.
- Moonen, A.C., L. Ercoli, M. Mariotti and A. Masoni, 2002: Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agr. Forest Meteorol.*, **111**, 13–27.
- Mooney, H., A. Cropper and W. Reid, 2005: Confronting the human dilemma. *Nature*, **434**, 561–562.
- Moore, M.V., M.L. Pace, J.R. Mather, P.S. Murdoch, R.W. Howarth, C.L. Folt, C.Y. Chen, H.F. Hemond, P.A. Flebbe and C.T. Driscoll,

- 1997: Potential effects of climate change on freshwater ecosystems of the New England/Mid-Atlantic region. *Hydrol. Process.*, **11**, 925–947.
- Morris, J.D. and L.A.J. Thomson, 1983: The role of trees in dryland salinity control. *Proc. Roy. Soc. Victoria*, **95**, 123–131.
- Morton, J., 2006: Pastoralist coping strategies and emergency livestock market intervention. *Livestock Marketing in Eastern Africa: Research and Policy Challenges*, J.G. McPeak and P.D. Little, Eds., ITDG Publications, Rugby, 227–246.
- Mosier, A.R., A.D. Halvorson, G.A. Peterson, G.P. Robertson and L. Sherrod, 2005: Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **72**, 67–76.
- Moss, B., D. Mckee, D. Atkinson, S.E. Collings, J.W. Eaton, A.B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes and D. Wilson, 2003: How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *J. Appl. Ecol.*, **40**, 782–792.
- Mote, P., A.F. Hamlet, M.P. Clark and D.P. Lettenmaier, 2005: Declining mountain snowpack in western North America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, doi: 10.1175/BAMS-1186-1171-1139.
- Mote, P.W., D.J. Canning, D.L. Fluharty, R.C. Francis, J.F. Franklin, A.F. Hamlet, M. Hershman, M. Holmberg, K.N. Gray-Ideker, W.S. Keeton, D.P. Lettenmaier, L.R. Leung, N.J. Mantua, E.L. Miles, B. Noble, H. Parandvash, D.W. Peterson, A.K. Snover and S.R. Willard, 1999: *Impacts of Climate Variability and Change, Pacific Northwest*, 110 pp. <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/pnw.pdf>.
- Mote, P.W., E.A. Parson, A.F. Hamlet, W.S. Keeton, D. Lettenmaier, N. Mantua, E.L. Miles, D.W. Peterson, D.L. Peterson, R. Slaughter and A.K. Snover, 2003: Preparing for climatic change: the water, salmon, and forests of the Pacific Northwest. *Climatic Change*, **61**, 45–88.
- Moulton, R. and D. Cuthbert, 2000: Cumulative impacts/risk assessment of water removal or loss from the Great Lakes–St. Lawrence River system. *Can. Water Resour. J.*, **25**, 181–208.
- Mountain Agenda, 1997: *Mountains of the World: Challenges of the 21st Century*. Mountain Agenda, Bern, 36 pp.
- MRAE (Ministry of Rural Affairs and the Environment, Malta), 2004: *The First Communication of Malta to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Ministry for Rural Affairs and the Environment, Malta.
- MRC, 2003: *State of the Basin Report: 2003*. Mekong River Commission, Phnom Penh, 300 pp.
- Mueller, D.R., W.F. Vincent and M.O. Jeffries, 2003: Break-up of the largest Arctic ice shelf and associated loss of an epishelf lake. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2031, doi:10.1029/2003GL017931.
- Mullan, A.B., A. Porteous, D. Wratt and M. Hollis, 2005: *Changes in Drought Risk with Climate Change*. NIWA Report WLG2005. <http://www.mfe.govt.nz/publications/climate/drought-risk-may05/drought-risk-climate-change-may05.pdf>.
- Munich Re, 2004: *Annual Review of Natural Catastrophes 2003*. Munich, 8 pp. [http://www.munichre.com/app\\_resources/pdf/ts/geo\\_risks/topicsgeo\\_2003\\_siebert\\_en.pdf](http://www.munichre.com/app_resources/pdf/ts/geo_risks/topicsgeo_2003_siebert_en.pdf).
- MWD, 2005: *The Family of Southern California Water Agencies. Metropolitan Water District of Southern California*. <http://www.bewaterwise.com/index.html>.
- Myers, N., 1997: The world's forests and their ecosystem services. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. G.C. Daily, Ed., Island Press, Washington, DC, 215–235.
- Naess, L.O., G. Bang, S. Eriksen and J. Vevatne, 2005: Institutional adaptation to climate change: flood responses at the municipal level in Norway. *Global Environ. Chang.*, **15**, 125–138.
- Nagy, G.J., R.M. Caffera, M. Aparicio, P. Barrenechea, M. Bidegain, J.C. Jiménez, E. Lentini, G. Magrin and Co-authors, 2006: *Understanding the Potential Impact of Climate Change and Variability in Latin America and the Caribbean*. Report prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change, 34 pp. <http://www.sternreview.org.uk>.
- Nakićenović, N. and R. Swart, Eds., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, 599 pp.
- Namjou, P. and Co-authors, 2006: The integrated catchment study of Auckland City (New Zealand): long-term groundwater behaviour and assessment. *Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2006*, R. Graham, Ed., May 21–25, 2006, Omaha, Nebraska, doi:10.1061/40856(200)311.
- NAST, 2000: *Climate Change Impacts in the United States, Overview*. Report for the U.S. Global Change Research Program. National Assessment Synthesis Team Members (NAST), 154 pp.
- Natsagdorj, L., P. Gomboluudev and P. Batima, 2005: Climate change in Mongolia. *Climate Change and its Projections*, P. Batima and B. Myagmarjav, Eds., Admon Publishing, Ulaanbaatar, 39–84.
- NC-Colombia, 2001: *1st National Communication to the UNFCCC*, 267 pp. [http://unfccc.int/national\\_reports/non-annex\\_i\\_natcom/items/2979.php](http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php).
- NC-Ecuador, 2000: *1st National Communication to the UNFCCC*, 128 pp. [http://unfccc.int/national\\_reports/non-annex\\_i\\_natcom/items/2979.php](http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php).
- NC-Nicaragua, 2001: *Impacto del Cambio Climático en Nicaragua*. Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, PNUD/MARENA, 127 pp.
- NC-Perú, 2001: *1st National Communication to the UNFCCC*, 155 pp. <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc1.pdf>.
- Nchito, M., P. Kelly, S. Sianongo, N.P. Luo, R. Feldman, M. Farthing and K.S. Baboo, 1998: *Cryptosporidiosis* in urban Zambian children: an analysis of risk factors. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **59**, 435–437.
- Ndikumana, J., J. Stuth, R. Kamidi, S. Ossiya, R. Marambii and P. Hamlet, 2000: *Coping Mechanisms and their Efficacy in Disaster-prone Pastoral Systems of the Greater Horn of Africa: Effects of the 1995–97 Drought and the 1997–98 El Niño Rains and the Responses of Pastoralists and Livestock*. ILRI Project Report. A-AARNET (ASARECA-Animal Agriculture Research Network), Nairobi, Kenya, GL-CRSPLEWS (Global Livestock-Collaborative Research Support Program Livestock Early Warning System), College Station, Texas, USA, and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, 124 pp.
- NEAB (National Environment Advisory Board, St Vincent and the Grenadines), 2000: *Initial National Communication on Climate Change*, National Environment Advisory Board and Ministry of Health and the Environment, 74 pp.
- Nearing, M.A., F.F. Pruski and M.R. O'Neal, 2004: Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *J. Soil Water Conserv.*, **59**, 43–50.
- NEB, 2006: *Canada's Oil Sands: Opportunities and Challenges to 2015: An Update*. National Energy Board, Calgary, Alberta, 85 pp.
- Neff, R., H. Chang, C. Knight, R. Najjar, B. Yarnal and H. Walker, 2000: Impact of climate variation and change on Mid-Atlantic Region hydrology and water resources. *Climate Res.*, **14**, 207–218.
- Nelson, F.E., 2003: (Un)frozen in time. *Science*, **299**, 1673–1675.
- New, M., 2002: Climate change and water resources in the southwestern Cape, South Africa. *S. Afri. J. Sci.*, **96**, 369–373.
- Nicholls, K.H., 1999: Effects of temperature and other factors on summer phosphorus in the inner Bay of Quinte, Lake Ontario: implications for climate warming. *J. Great Lakes Res.*, **25**(5), 250–262.
- Nicholson, S., 2005: On the question of the “recovery” of the rains in

- the West African Sahel. *J. Arid Environ.*, **63**, 615–641.
- Nicholson, S.E. and J.C. Selato, 2000: The influence of La Niña on African rainfall. *Int. J. Climatol.*, **20**, 1761–1776.
- Nicholson, S.E., B. Some and B. Kone, 2000: An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña years. *J. Clim.*, **13**, 2628–2640.
- Nilsson, C., C.A. Reidy, M. Dynesius and C. Revenga, 2005: Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, **308**, 405–408.
- NLWRA, 2001: *Australian Water Resources Assessment 2000*. National Land and Water Resources Audit, Land and Water Australia.
- NOAA, 2005: *Hazards/Climate Extremes*. National Climatic Data Center, U.S. Department of Commerce, <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/aug/hazards.html>. Flooding.
- Noone, D. and I. Simmonds, 2002: Annular variations in moisture transport mechanisms and the abundance of  $\delta^{18}\text{O}$  in Antarctic snow. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4742, doi:10.1029/2002JD002262.
- Norrant, C. and A. Douguédroit, 2006: Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean. *Theor. Appl. Climatol.*, **83**, 89–106.
- Nurse, L. and Co-authors, 2001: Small Island States. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O. F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 843–876.
- Nuttall, M., F. Berkes, B. Forbes, G. Kofinas, T. Vlassova and G. Wenzel, 2005: Hunting, herding, fishing and gathering: indigenous peoples and renewable resource use in the Arctic. *Arctic Climate Impacts Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 649–690.
- O'Reilly, C., S. Alin, P. Plisnier, A. Cohen and B. McKee, 2003: Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, **424**, 766–768.
- Oba, G., 2001: The importance of pastoralists' indigenous coping strategies for planning drought management in the arid zone of Kenya. *Nomadic Peoples*, **5**, 89–119.
- OECD, 2003: *Development and climate change in Nepal: focus on water resources and hydropower*. COM/ENV/EPOC/DCD/DAC(2003)1/FINAL, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 64 pp.
- Oenema, O., N. Wrage, G.L. Velthof, J.W. van Groenigen, J. Dolfing and P.J. Kuikman, 2005: Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **72**, 51–65.
- Ogle, S.M., F.J. Breidt and K. Paustian, 2005: Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochem.*, **72**, 87–121.
- Oki, T. and S. Kanae, 2006: Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, **313**, 1068–1072.
- Oki, T., Y. Agata, S. Kanae, T. Saruhashi and K. Musiaka, 2003: Global water resources assessment under climatic change in 2050 using TRIP. *Water Resources: Systems Water Availability and Global Change*, S.W. Franks, G. Böschl, M. Kumagai, K. Musiaka and D. Rosbjerg, Eds., IAHS Publication, 124–133.
- Olesen, J.E. and M. Bindi, 2002: Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European J. Agronomy*, **16**, 239–262.
- Olesen, J.E., T.R. Carter, C.H. Díaz-Ambrona, S. Fronzek, T. Heidmann, T. Hickler, T. Holt, M.I. Minguéz, P. Morales, J. Palutikov, M. Quemada, M. Ruiz-Ramos, G. Rubæk, F. Sau, B. Smith, B. and M. Sykes, 2006: Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, **81**(Suppl. 1), doi: 10.1007/s10584-006-9216-1.
- Olsen, J.R., 2006: Climate change and floodplain management in the United States, *Climatic Change*, **76**, 407–426.
- Oltechev, A., J. Cermak, J. Gurtz, A. Tishenko, G. Kiely, N. Nadezhkina, M. Zappa, N. Lebedeva, T. Vitvar, J.D. Albertson, F. Tatarinov, D. Tishenko, V. Nadezhdin, B. Kozlov, A. Ibrom, N. Vygodskaya and G. Gravenhorst 2002: The response of the water fluxes of the boreal forest region at the Volga source area to climatic and land-use changes. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, **27**, 675–690.
- Opopol, N., R. Corobov, A. Nicolenco and V. Pantya, 2003: Climate change and potential impacts of its extreme manifestations on health. *Curier Medical*, **5**, 6–9.
- Orlove, B.S., J.C.H. Chiang and M.A. Cane, 2000: Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of El Niño on Pleiades visibility. *Nature*, **403**, 68–71.
- Osman-Elasha, B., N. Goutbi, E. Spanger-Siegfried, B. Dougherty, A. Hanafi, S. Zakieldein, A. Sanjak, H.A. Atti and H.M. Elhassan, 2006: *Adaptation Strategies to Increase Human Resilience Against Climate Variability and Change: Lessons from the Arid Regions of Sudan*. AIACC Working Paper No. 42, Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change in Multiple Regions and Sectors Programme, 42 pp.
- Osterkamp, T.E., L. Vierek, Y. Shur, M.T. Jorgenson, C. Racine, A. Doyle and R.D. Boone, 2000: Observations of thermokarst and its impact on boreal forests in Alaska, U.S.A. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **32**, 303–315.
- Ouranos, 2004: *Adapting to Climate Change*. Ouranos, Montreal, ON, 91 pp. <http://www.ouranos.ca/cc/climang5.pdf>.
- Paavola, J. and W. Adger, 2002: *Justice and Adaptation to Climate Change*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, 24 pp. [http://www.tyndall.ac.uk/publications/working\\_papers/wp23.pdf](http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp23.pdf).
- Pabón, J.D., 2003: El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos Geograf.*, **12**, 111–119.
- Pachauri, R., 2004: Climate change and its implications for development: the role of IPCC assessments. *Inst. Devel. Stud. Bull.*, **35**, 11.
- PAGASA (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration), 2001: *Documentation and Analysis of Impacts of and Responses to Extreme Climate Events*. Climatology and Agrometeorology Branch Technical Paper No. 2001-2, 55 pp.
- PAHO, 2003: *Status Report on Malaria Programs in the Americas*. 44th Directing Council, 55th Session of the Regional Comité. Pan American Health Organization, Washington, DC.
- Palmer, T.N. and J. Räisänen, 2002: Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, **415**, 512–514.
- Pan, X.L., W. Deng and D.Y. Zhang, 2003: Classification of hydrological landscapes of typical wetlands in northeast China and their vulnerability to climate change. *Res. Environ. Sci.*, **16**(1), 14–18.
- Pan, Z.T., M. Segal, R.W. Arritt and E.S. Takle, 2004: On the potential change in solar radiation over the US due to increases of atmospheric greenhouse gases. *Renew. Energ.*, **29**, 1923–1928.
- Parkinson, A.J. and J.C. Butler, 2005: Potential impacts of climate change on infectious diseases in the Arctic. *Int. J. Circumpolar Health*, **64**, 478–486.
- Parrotta, J.A., 2002: Restoration and management of degraded tropical forest landscapes. *Modern Trends in Applied Terrestrial Ecology*, R.S. Ambasht and N.K. Ambasht, Eds., Kluwer Academic/Plenum Press, New York, 135–148.
- Parry, M., C.A. Rosenzweig, M. Iglesias, M. Livermore and G. Fisher, 2004: Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environ. Chang.*, **14**(1), 53–67.

- Parry, M.L., Ed., 2000: *Assessment of potential effects and adaptations to climate change in Europe: The Europe Acacia Project*. Report of concerted action of the environment programme of the Research Directorate General of the Commission of the European Communities, Jackson Environmental Institute, University of East Anglia, Norwich, 320 pp.
- Parson, E.A., P.W. Mote, A. Hamlet, N. Mantua, A. Snover, W. Keeton, E. Miles, D. Canning and K.G. Ideker, 2001: Potential consequences of climate variability and change for the Pacific Northwest. *Climate Change Impacts on the United States - The Potential Consequences of Climate Variability and Change-Foundation Report*, National Assessment Synthesis Team, Ed., Cambridge University Press, Cambridge, 247-280.
- Parson, E.A., R.W. Corell, E.J. Barron, V. Burkett, A. Janetos, L. Joyce, T.R. Karl, M. MacCracken, J. Melillo, M.G. Morgan, D.S. Schimel and T. Wilbanks, 2003: Understanding climatic impacts, vulnerabilities and adaptation in the United States: building a capacity for assessment. *Climatic Change*, **57**, 9-42.
- Pascual, M., J.A. Ahumada, L.F. Chaves, X. Rodo and M. Bouma, 2006: Malaria resurgence in the East African highlands: temperature trends revisited. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 5829-5834.
- Pattanayak, S. and R. Kramer, 2000: Worth of watersheds: a producer surplus approach for valuing drought control in eastern Indonesia. *Environment and Development Economics*, **6**, 123-146.
- Patz, J.A., 2002: A human disease indicator for the effects of recent global climate change. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **99**, 12506-12508.
- Patz, J.A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway and J.A.N. Foley, 2005: Impact of regional climate change on human health. *Nature*, **438**, 310-317.
- Paustian, K., B.A. Babcock, J. Hatfield, R. Lal, B.A. McCarl, S. McLaughlin, A. Mosier, C. Rice, G.P. Robertson, N.J. Rosenberg, C. Rosenzweig, W.H. Schlesinger and D. Zilberman, 2004: *Agricultural Mitigation of Greenhouse Gases: Science and Policy Options*. CAST (Council on Agricultural Science and Technology) Report, R141 2004, Ames, Iowa, 120 pp.
- Payne, J.T., A.W. Wood, A.F. Hamlet, R.N. Palmer and D.P. Lettenmaier, 2004: Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. *Climatic Change*, **62**(1-3), 233-256.
- Penalba, O.C. and W.M. Vargas, 2004: Interdecadal and interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1565-1580.
- Peters, D.L., T.D. Prowse, A. Pietroniro and R. Leconte, 2006: Establishing the flood hydrology of the Peace-Athabasca Delta, northern Canada. *Hydrol. Process.*, **20**, 4073-4096.
- Petersen, T.C., M.A. Taylor, R. Demeritte, D.L. Duncombe, S. Burton, F. Thompson, A. Porter, M. Mercedes, E. Villegas, R. Semexant Fils, A. Klein Tank, A. Martis, R. Warner, A. Joyette, W. Mills, L. Alexander and B. Gleason, 2002: Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *J. Geophys. Res.*, **107** D21, 4601, doi:10.1029/2002JD002251.
- Peterson, A.T. and J. Shaw, 2003: *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *Int. J. Parasitol.*, **33**, 919-931.
- Peterson, A.T., C. Martínez-Campos, Y. Nakazawa and E. Martínez-Meyer, 2005: Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *T. Roy. Soc. Trop. Med. H.*, **99**, 647-655.
- Peterson, B.J., R.M. Holmes, J.W. McClelland, C.J. Vorosmarty, R.B. Lammers, A.I. Shiklomanov, I.A. Shiklomanov and S. Rahmstorf, 2002: Increasing river discharge to the Arctic Ocean. *Science*, **298**, 2172-2173.
- Peterson, T.C. and R.S. Vose, 1997: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **78**, 2837-2848.
- Peterson, T.C., V.S. Golubev and P.Y. Groisman, 1995: Evaporation losing its strength. *Nature*, **377**, 687-688.
- Petheram, C., G. Walker, R. Grayson, T. Thierfelder and L. Zhang, 2001: Towards a framework for predicting impacts of land-use on recharge. *Aust. J. Soil Res.*, **40**, 397-417.
- Pielke, R.A., Jr and M.W. Downton, 2000: Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932-97. *J. Climate*, **13**, 3625-3637.
- Pienitz, R., M.S.V. Douglas and J.P. Smol, 2004: *Long-term Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes*. Springer Verlag, Berlin, 562 pp.
- Pilon-Smits, E.A.H., M.J. Ebskamp, M. Ebskamp, M. Paul, M. Jeuken, P. Weisbeek and S. Smeekens, 1995: Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiol.*, **107**, 125-130.
- Pittock, B., 2003: *Climate Change: An Australian Guide to the Science and Potential Impacts*. Australian Greenhouse Office, Canberra, 239 pp.
- Polemio, M. and D. Casarano, 2004: *Rainfall and Drought in Southern Italy (1821-2001)*. UNESCO/IAHS/IWHA, Pub. 286.
- Polsky, C. and W.E. Easterling, 2001: Adaptation to climate variability and change in the US Great Plains: a multi-scale analysis of Ricardian climate sensitivities. *Agr. Ecosyst. Environ.*, **85**, 133-144.
- Porter, J.R. and M.A. Semenov, 2005: Crop responses to climatic variation. *Philos. Trans. R. Soc. B: Biological Sciences*, **360**, 2021-2035.
- Pounds, J.A. and R. Puschendorf, 2004: Ecology: clouded futures. *Nature*, **427**, 107-109.
- Pounds, J.A., M. R. Bustamante, L.A. Coloma, J.A. Consuegra, M.P.L. Fogden, P.N. Foster, E. La Marca, K.L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S.R. Ron, G.A. Sanchez-Azofeifa, C.J. Still and B. E. Young, 2006: Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, **439**(7073), 161-167.
- Premier of Victoria, 2006: Ballarat's future water supplies secured by major Bracks government action plan. Media release, 17 October 2006. [http://www.premier.vic.gov.au/newsroom/news\\_item.asp?id=978](http://www.premier.vic.gov.au/newsroom/news_item.asp?id=978).
- Protopapas, L., S. Katchamart and A. Platonova, 2000: Weather effects on daily water use in New York City. *J. Hydrol. Eng.*, **5**, 332-338.
- Prowse, T.D. and S. Beltaos, 2002: Climatic control of river-ice hydrology: a review. *Hydrol. Process.*, **16**, 805-822.
- Prowse, T.D., F.J. Wrona and G. Power, 2004: *Threats to Water Availability in Canada*. Environment Canada, NWRI Scientific Assessment Report No. 3, 9-18.
- Prowse, T.D. and Co-authors, 2006: Historical changes in Arctic freshwater ecosystems. *Ambio*, **35**(7), 339-346.
- Prudhomme, C. and H. Davies, 2006: Comparison of different sources of uncertainty in climate change impact studies in Great Britain. Hydrological Processes: Special Issue of International Workshop "Climatic and Anthropogenic Impacts on Water Resources Variability". *Technical Document in Hydrology No. 80 / Document technique en hydrologie No. 80*, UNESCO, Paris / UMR 5569, HydroSciences Montpellier, 2007, 183-190. <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001502/150251M.pdf>.
- Prudhomme, C., D. Jakob and C. Svensson, 2003: Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *J. Hydrol.*, **277**, 1-23.
- Psenner, R. and R. Schmidt, 1992: Climate-driven pH control of remote Alpine lakes and effects of acid deposition. *Nature*, **356**, 781-783.
- Pulwarty, R., K. Jacobs and R. Dole, 2005: The hardest working river: drought and critical water problems on the Colorado. *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management*, D. Wilhite Ed., Taylor and Francis Press, Boca Raton, FL, 249-285.

- Pulwarty, R.S. and T.S. Melis, 2001: Climate extremes and adaptive management on the Colorado River: lessons from the 1997–1998 ENSO event. *J. Environ. Manage.*, **63**, 307–324.
- Qian, T. and Co-authors, 2006a: Simulation of global land surface conditions from 1948–2004. Part I: Forcing data and evaluations. *J. Hydrometeorol.*, **7**, 953–975.
- Qian, Y. and Co-authors, 2006b: More frequent cloud-free sky and less surface solar radiation in China from 1955 to 2000. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01812, doi:10.1029/2005GL024586.
- Qin, D.H., 2002: *Assessment of Environment Change in Western China, 2nd Volume, Prediction of Environment Change in Western China*. Science Press, Beijing, 64, 73, 115, 132, 145–154, 160–161.
- Quadrelli, R. and J.M. Wallace, 2004: A simplified linear framework for interpreting patterns of Northern Hemisphere wintertime climate variability. *J. Climate*, **17**, 3728–3744.
- Quayle, W.C., L.S. Peck, H. Pet, J.C. Ellis-Evans and P.R. Harrigan, 2002: Extreme responses to climate change in Antarctic lakes. *Science*, **295**(5555), 645–645.
- Quayle, W.C., P. Convey, L.S. Peck, J.C. Ellis-Evans, H.G. Butler and H.J. Peat, 2003: Ecological responses of maritime Antarctic lakes to regional climate change. *Antarctic Peninsula Climate Variability: Historical and Palaeoenvironmental Perspectives*. E. Domack, A. Leventer, A. Burnett, R. Bindschadler, P. Convey and M. Kirby, Eds., American Geophysical Union, Washington, DC, 159–170.
- Queensland Government, 2005: *Queensland Water Plan 2005-2010*. Queensland Government, 27 pp. [http://www.nrw.qld.gov.au/water/pdf/qld\\_water\\_plan\\_05\\_10.pdf](http://www.nrw.qld.gov.au/water/pdf/qld_water_plan_05_10.pdf).
- Ragab, R. and C. Prudhomme, 2002: Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosys. Engineering*, **81**, 3–34.
- Räsänen, J., Hansson, U., Ullerstieg, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelson, P. and Willén, U., 2004: European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Clim. Dyn.*, **22**, 13–31.
- Ramírez, E., B. Francou, P. Ribstein, M. Desclotres, R. Guérin, J. Mendoza, R. Gallaire, B. Pouyaud and E. Jordan, 2001: Small glaciers disappearing in the tropical Andes: a case study in Bolivia: the Chacaltaya glacier, 16°S. *J. Glaciol.*, **47**, 187–194.
- Rawlins, S. C., A. Chen, M. Ivey, D. Amarakoon and K. Polson, 2005: The impact of climate change/variability events on the occurrence of dengue fever in parts of the Caribbean: a retrospective study for the period 1980–2002. *West Indian Med. J. Suppl.*, **53**(2), 54.
- Reay, D.S., K.A. Smith and A.C. Edwards, 2003: Nitrous oxide emission from agricultural drainage waters. *Global Chang. Biol.*, **9**, 195–203.
- Reilly, J. and Co-authors, 2003: U.S. agriculture and climate change: new results. *Climatic Change*, **57**, 43–69.
- Reilly, J.M., Ed., 2002: *Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 136 pp.
- Reist, J.D. and Co-authors, 2006a: General effects of climate change on arctic fishes and fish populations. *Ambio*, **35**(7), 370–380.
- Reist, J.D. and Co-authors, 2006b: An overview of effects of climate change on selected arctic freshwater and anadromous fishes. *Ambio*, **35**(7), 381–387.
- Reist, J.D. and Co-authors, 2006c: Effects of climate change and UV radiation on fisheries for arctic freshwater and anadromous species. *Ambio*, **35**(7), 402–410.
- Republic of Vanuatu, 1999: *Vanuatu National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, 55 pp.
- Resck, D.V.S., C.A. Vasconcellos, L. Vilela and M.C.M. Macedo, 2000: Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 169–195.
- Reynard, N., S. Crooks, R. Wilby and A. Kay, 2004: Climate Change and Flood Frequency in the UK. *Proc. 39th DEFRA Flood and Coastal Management Conference*, York. Defra, London, 11.1.1–11.1.12.
- Richardson, D., 2002: Flood risk: the impact of climate change. *Proc. Inst. Civil Engineers-Civil Engineering*, **150**, 22–24.
- Riebsame, W.E., K.M. Strzepek, J.L. Wescoat, Jr, R. Perrit, G.L. Graile, J. Jacobs, R. Leichenko, C. Magadza, H. Phien, B.J. Urbiztondo, P. Restrepo, W.R. Rose, M. Saleh, L.H. Ti, C. Tucci and D. Yates, 1995: Complex river basins. *As Climate Changes: International Impacts and Implications*, K.M. Strzepek and J.B. Smith, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 57–91.
- Rivera, A., G. Casassa, R. Thomas, E. Rignot, R. Zamora, D. Antúnez, C. Acuña and F. Ordenes, 2005: Glacier wastage on Southern Adelaide Island and its impact on snow runway operations. *Ann. Glaciol.*, **41**, 57–62.
- Robeson, S.M., 2002: Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change*, **52**, 219–238.
- Robock, A. and Co-authors, 2000: The global soil moisture data bank. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1281–1299.
- Robock, A. and Co-authors, 2005: Forty five years of observed soil moisture in Ukraine: no summer desiccation (yet). *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L03401, doi:10.0129/2004GL021914.
- Rockstrom, J., 2003: Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rain-fed agriculture. *Philos. Trans. Roy. Soc. London - Series B*, **358**, 1997–2009.
- Roderick, M.L. and G.D. Farquhar, 2004: Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1077–1090.
- Roderick, M.L. and G.D. Farquhar, 2005: Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s. *Int. J. Climatol.*, **25**, 2031–2039.
- Rogora, M., R. Mosello and S. Arisci, 2003: The effect of climate warming on the hydrochemistry of Alpine lakes. *Water Air Soil Pollut.*, **148**, 347–361.
- Ronchail, J., L. Bourrel, G. Cochonneau, P. Vauchel, L. Phillips, A. Castro, J.L. Guyot and E. Oliveira, 2005: Inundations in the Mamoré Basin (south-western Amazon-Bolivia) and sea-surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Hydrol.*, **302**, 223–238.
- Root, T.L. and S.H. Schneider, 2002: Climate change: overview and implications for wildlife. *Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies*, S.H. Schneider and T.L. Root, Eds., Island Press, Washington, DC, 1–56.
- Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig and J.A. Pounds, 2003: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, **421**(6918), 57–60.
- Rosenberg, N.J., D.J. Epstein, D. Wang, L. Vail, R. Srinivasan and J.G. Arnold, 1999: Possible impacts of global warming on the hydrology of the Ogallala aquifer region. *Climatic Change*, **42**, 677–692.
- Rosenberg, N.J., R.A. Brown, C. Izaurralde and A.M. Thomson, 2003: Integrated assessment of Hadley Centre HadCM2 climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States. I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agri. Forest Meteorol.*, **117**(1–2), 73–96.
- Rosenzweig, C. and F.N. Tubiello, 2007: Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12**, 855–873.
- Rosenzweig, C., F.N. Tubiello, R. Goldberg, E. Mills and J. Bloomfield, 2002: Increased crop damage in the US from excess precipitation

- under climate change. *Global Environ. Chang.*, **12**, 197–202.
- Ross, M.S., J.F. Meeder, J.P. Sah, P.L. Ruiz and G.J. Telesnicki, 2000: The southeast saline Everglades revisited: 50 years of coastal vegetation change. *J. Vegetation Sci.*, **11**, 101–112.
- Rowell, A. and P.F. Moore, 2000: *Global Review of Forest Fires*. WWF/IUCN, Gland, 66 pp. [http://www.iucn.org/themes/fcp/publications/files/global\\_review\\_forest\\_fires.pdf](http://www.iucn.org/themes/fcp/publications/files/global_review_forest_fires.pdf).
- Ruhland, K.M., A. Priesnitz and J.P. Smol, 2003: Paleolimnological evidence from diatoms for recent environmental changes in 50 lakes across Canadian Arctic treeline. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **35**, 110–123.
- Ruosteenoja, K., T.R. Carter, K. Jylhä, and H. Tuomenvirta, 2003: *Future Climate in World Regions: An Intercomparison of Model-Based Projections for the New IPCC Emissions Scenarios*. The Finnish Environment **644**, Finnish Environment Institute, Helsinki, 83 pp.
- Ruth, M., B. Davidsdottir and A. Amato, 2004: Climate change policies and capital vintage effects: the case of U.S. pulp and paper, iron and steel, and ethylene. *J. Environ. Manage.*, **70**, 235–252.
- Saintilan, N. and R.J. Williams 1999: Mangrove transgression into saltmarsh environments in south east Australia. *Global Ecol. Biogeogr.*, **8**(2), 117–124.
- Sala, O.A., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker and D.H. Wall, 2000: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**, 1770–1774.
- Salewicz, A., 1995: Impact of climate change on the operation of Lake Kariba hydropower scheme on the Zambezi River. *Water Resources Management in the Face of Climatic and Hydrologic Uncertainties*, Z. Kaczmarek, Ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 395 pp.
- Salinger, M. J., 2001: Climate variation in New Zealand and the Southwest Pacific. *The Physical Environment. A New Zealand Perspective*, A. Sturman and R. Spronken-Smith, Eds., Oxford University Press, Victoria, 35 pp.
- Sanders, C. and M. Phillipson, 2003: UK adaptation strategy and technical measures: the impacts of climate change on buildings. *Build. Res. Inf.*, **31**(3–4), 210–221
- Sand-Jensen, K. and N.L. Pedersen, 2005: Broad-scale differences in temperature, organic carbon and oxygen consumption among lowland streams. *Freshw. Biol.*, **50**, 1927–1937.
- Sankaran, M., N.P. Hanan, R.J. Scholes, J. Ratnam, D.J. Augustine, B.S. Cade, J. Gignoux, S.I. Higgins, X. le Roux, F. Ludwig, J. Ardo, F. Banyikwa, A. Bronn, G. Bucini, K.K. Caylor, M.B. Coughenour, A. Diouf, W. Ekaya, C.J. Feral, E.C. February, P.G.H. Frost, P. Hiernaux, H. Hrabar, K.L. Metzger, H.H.T. Prins, S. Ringrose, W. Sea, J. Tews, J. Worden and N. Zambatis, 2005: Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, **438**, 846–849.
- Santos, F.D., K. Forbes and R. Moita, Eds., 2002: *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. SIAM Project Report, Gradiva, Lisbon, 456 pp.
- Sanz, J.J., T.J. Potti, J. Moreno, S. Merion and O. Frias, 2003: Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region. *Global Change Biol.*, **9**, 461–472.
- Scaife, A., J. Knight, G. Vallis and C.K. Folland, 2005: A stratospheric influence on the winter NAO and North Atlantic surface climate. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L18715, doi: 10.1029/2005GL023226.
- Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R. Buddemeier, D.R. Cayan, V. Burkett, M. Fogarty, M. Harwell, R. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, T.C. Royer, A.H. Sallenger and J.G. Titus, 2002: Climate change impacts on U.S. coastal and marine ecosystems. *Estuaries*, **25**, 149–164.
- Schallenberg, M., C.J. Hall and C.W. Burns, 2003: Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine Ecol. Prog. Ser.*, **251**, 181–189.
- Schär, C., P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M.A. Liniger and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, **427**(6972), 332–336.
- Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke and B. Walker, 2001: Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, **413**, 591–596.
- Schiermeier, Q., 2006: Insurers' disaster files suggest climate is culprit. *Nature*, **441**(7094), 674–675.
- Schijven, J.F. and A.M. de Roda Husman, 2005: Effect of climate changes on waterborne disease in the Netherlands. *Water Sci. Technol.*, **51**, 79–87.
- Schlenker, W., W.M. Hanemann and A.C. Fisher, 2005: Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. *American Economic Review*, **95**, 395–406.
- Schlesinger, M.E. and N. Ramankutty, 1994: An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. *Nature*, **367**, 723–726.
- Schlesinger, W.H., 1999: Carbon sequestration in soils. *Science*, **284**, 2095.
- Schneeberger, C., H. Blatter, A. Abe-Ouchi and M. Wild, 2003: Modelling changes in the mass balance of glaciers of the northern hemisphere for a transient 2× CO<sub>2</sub> scenario. *J. Hydrol.*, **282**(1–4), 145–163.
- Schofield, N.J., 1992: Tree planting for dryland salinity control in Australia. *Agroforestry Sys.*, **20**, 1–23.
- Schreider, S.Y., D.I. Smith and A.J. Jakeman, 2000: Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change*, **47**(1–2), 91–115.
- Schröter D., W. Cramer, R. Leemans, I.C. Prentice, M.B. Araújo, N.W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T.R. Carter, C.A. Gracia, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendining, J.I. House, S. Kankaanpää, R.J.T. Klein, S. Lavorell, M. Linder, M.J. Metzger, J. Meyer, T.D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabaté, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle and B. Zierl, 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, **310**, 1333–1337.
- Schulze, E.-D., 1982: Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations. *Physiology and Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation*, O.L. Lange, C.B. Osmond and H. Ziegler, Eds., Springer-Verlag, Berlin, 615–676.
- Schuster, C.J., A. Ellis, W.J. Robertson, J.J. Aramini, D.F. Charron and B. Marshall, 2005: Drinking water related infectious disease outbreaks in Canada, 1974–2001. *Can. J. Public Health*, **94**, 254–258.
- Scott, D., 2005: Ski industry adaptation to climate change: hard, soft and policy strategies. *Tourism and Global Environmental Change*, S. Gossling and M. Hall, Eds. Routledge, Oxford. 265–285.
- Scott, D. and B. Jones, 2006: *Climate Change and Seasonality in Canadian Outdoor Recreation and Tourism*, Climate Change Action Fund, University of Waterloo, Faculty of Environmental Studies, Waterloo, ON, 33 pp.
- Scudder, T., 2005: *The Future of Large Dams*. Earthscan, London, 408 pp.
- Semenov, S.M., V.V. Yasukevich and E.S. Gel'ver, 2006: *Identification of Climatogenic Changes*. Publishing Centre, Meteorology and Hydrology, Moscow, 325 pp.
- Senate of Canada, 2003: *Climate change: We are at Risk*. Final Report, Standing Senate Committee on Agriculture and Forestry, Ottawa.
- Senhorst, H.A. and J.J. Zwolsman, 2005: Climate change and effects on water quality: a first impression. *Water Sci. Technol.*, **51**, 53–59.
- Seo, S. N. and R. Mendelsohn, 2006: Climate change impacts on animal husbandry in Africa: a Ricardian analysis. *CEEPA Discussion Paper No.9*. Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa. The Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 42 pp.

- Serreze, M.C. and Co-authors, 2003: Large-scale hydro-climatology of the terrestrial Arctic drainage system. *J. Geophys. Res.*, **108**(D2), 8160.
- Shabbar, A. and W. Skinner, 2004: Summer drought patterns in Canada and the relationship to global sea surface temperatures. *J. Clim.*, **17**, 2866–2880.
- Shanks, G.D., S.I. Hay, D.I. Stern, K. Biomndo and R.W. Snow, 2002: Meteorologic influences on *Plasmodium falciparum* malaria in the highland tea estates of Kericho, western Kenya. *Emerg. Infect. Dis.*, **8**, 1404-1408.
- Shen, X.T., Z.C. Mao and J.R. Zhu, 2003: *Saltwater Intrusion in the Changjiang Estuary*. China Ocean Press, Beijing, 175 pp (in Chinese).
- Sherbinin, A., A. Schiller and A. Pulsipher, 2007: The vulnerability of global cities to climate hazards. *Environ. Urbaniz.*, **12**(2), 93–102.
- Shiklomanov, I.A., Shiklomanov, A.I., Lammers, R.B., Peterson, B.J. and Vorosmarty, C.J., 2000: The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean. *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*, E.L. Lewis, E.P. Jones, T.D. Prowse and P. Wadhams, Eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 281–296.
- Shrestha, A.B., C.P. Wake, J.E. Dibb and P.A. Mayewski, 2000: Precipitation fluctuations in the Nepal Himalaya and its vicinity and relationship with some large-scale climatological parameters. *Int. J. Climatol.*, **20**, 317–327.
- Shrestha, M.L. and A.B. Shrestha, 2004: *Recent Trends and Potential Climate Change Impacts on Glacier Retreat/Glacier Lakes in Nepal and Potential Adaptation Measures*. ENV/EPOC/GF/SD/RD(2004)6/FINAL, OECD, Paris, 23 pp.
- Shukla, P.R., M. Kapshe and A. Garg, 2005: Development and climate: impacts and adaptation for infrastructure assets in India. *Proc. OECD Global Forum on Sustainable Development: Development and Climate Change*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 38 pp.
- Silander, J., B. Vehviläinen, J. Niemi, A. Arosilta, T. Dubrovin, J. Jormola, V. Keskiarja, A. Keto, A. Lepistö, R. Mäkinen, M. Ollila, H. Pajula, H. Pitkänen, I. Sammalkorpi, M. Suomalainen and N. Veijalainen, 2006: *Climate Change Adaptation for Hydrology and Water Resources*. FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute Mimeographs 336, Helsinki, 54 pp.
- Silvestri, G.E. and C.S. Vera, 2003: Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2115, doi:10.1029/2003GL018277.
- Simonovic, S.P. and L.H. Li, 2003: Methodology for assessment of climate change impacts on large-scale flood protection system. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, **129**(5), 361–371.
- Sims, R.E.H., A. Hastings, B. Schlamadinger, G. Taylor and P. Smith, 2006: Energy crops: current status and future prospects. *Global Change Biol.*, **12**, 1-23.
- Sinclair, M.R., J.A. Renwick and J.W. Kidson, 1997: Low-frequency variability of Southern Hemisphere sea level pressure and weather system activity. *Mon. Weather Rev.*, **125**, 2531–2543.
- Sinclair, T.R. and L.C. Purcell, 2005: Is a physiological perspective relevant in a 'genocentric' age? *J. Exp. Bot.*, **56**, 2777-2782.
- Singh, R.B.K., S. Hales, N. de Wet, R. Raj, M. Hearnden and P. Weinstein, 2001: The influence of climate variation and change on diarrhoeal disease in the Pacific Islands. *Environ. Health Persp.*, **109**, 155–1594.
- Small, C. and R.J. Nicholls, 2003: A global analysis of human settlement in coastal zones. *J. Coastal Res.*, **19**, 584–599.
- Smeets, E.M.W., A.P.C. Faaij, I.M. Lewandowski and W.C. Turkenburg, 2007: A bottom up quickscan and review of global bio-energy potentials to 2050. *Prog. Energy Comb. Sci.*, **33**, 56-106.
- Smit, B. and E. Wall, 2003: *Adaptation to Climate Change Challenges and Opportunities: Implications and Recommendations for the Canadian Agri-Food Sector*; Senate Standing Committee on Forestry and Agriculture, Ottawa, Canada. <http://www.parl.gc.ca/37/2/parlbus/commbus/senate/Com-e/agri-e/power-e/smith-e.htm>.
- Smith, K.A. and F. Conen, 2004: Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use Management.*, **20**, 255-263.
- Smith, L.C., Y. Sheng, G.M. MacDonald and L.D. Hinzman, 2005: Disappearing Arctic lakes. *Science*, **308**, 1429.
- Smith, S.D., T.E. Huxman, S.F. Zitzer, T.N. Charlet, D.C. Housman, J.S. Coleman, L.K. Fenstermaker, J.R. Seemann and R.S. Nowak, 2000: Elevated CO<sub>2</sub> increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature*, **408**, 79 - 82.
- Smith, V.R., 2002: Climate change in the sub-Antarctic: an illustration from Marion Island. *Climatic Change*, **52**(3), 345–357.
- Smol, J.P. and Co-authors, 2005: Climate driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **102**(12), 4397–4402.
- SOE, 2001: *Australia State of the Environment 2001*, Independent Report to the Commonwealth Minister for the Environment and Heritage. Australian State of the Environment Committee, CSIRO Publishing on behalf of the Department of the Environment and Heritage, 129 pp. <http://www.ea.gov.au/soe/2001>.
- Solanes, M. and A. Jouravlev, 2006: *Water Governance for Development and Sustainability*. Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago, 84 pp.
- Somlyódy, L., 2002: *Strategic Issues of the Hungarian Water Resources Management*. Academy of Science of Hungary, Budapest, 402 pp (in Hungarian).
- Sommaruga-Wograth, S., K.A. Koinig, R. Schmidt, R. Sommaruga, R. Tessadri and R. Psenner, 1997: Temperature effects on the acidity of remote alpine lakes. *Nature*, **387**, 64-67.
- Sorensen, I., P. Stone and B. Rogers, 2000: Effect of time of sowing on yield of a short and a long-season maize hybrid. *Agronomy New Zealand*, **30**, 63–66.
- SRA, 2005: Sequía en el Chaco genera fuerte pérdidas. Comunicado de prensa de la Sociedad Rural Argentina. <http://www.ruralarg.org.ar/>.
- Stakhiv, E.Z., 1998: Policy implications of climate change impacts on water resource management. *Water Policy*, **1**, 159–175.
- Steenvoorden, J. and T. Endreny, 2004: *Wastewater Re-use and Groundwater Quality*. IAHS Publication 285, 112 pp.
- Stern, N., 2007: *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge, 692 pp.
- Stewart, I.T., D.R. Cayan and M.D. Dettinger, 2005: Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *J. Climate*, **18**, 1136–1155.
- Stige, L.C., J. Stave, K.S. Chan, L. Ciannelli, N. Pettoirelli, Glantz, P., H.R. Herren and N.C. Stenseth, 2006: The effect of climate variation on agro-pastoral production in Africa. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 3049–3053.
- Straile, D., D.M. Livingstone, G.A. Weyhenmeyer and D.G. George, 2003: The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph, 134. American Geophysical Union, Washington, DC, 279 pp.
- Suarez, P., W. Anderson, V. Mahal and T.R. Lakshmanan, 2005: Impacts of flooding and climate change on urban transportation: a systemwide performance assessment of the Boston Metro Area. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, **10**(3), 231–244.
- Summit Environmental Consultants, 2004: *Trepanier Landscape Unit (Westside) Water Management Plan*. Regional District of Central Okanagan and British Columbia, Ministry of Sustainable Resource Management, Kelowna, 300 pp.
- Sutherland, K., B. Smit, V. Wulf, and T. Nakalevu, 2005: Vulnerability

- to climate change and adaptive capacity in Samoa: the case of Saoluafata village. *Tiempo*, **54**, 11–15.
- Sutherst, R.W., 2004: Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. *Clin. Microb. Rev.*, **17**, 136–173.
- Sutton, R.T. and D.L.R. Hodson, 2003: Influence of the ocean on North Atlantic climate variability 1871–1999. *J. Clim.*, **16**, 3296–3313.
- Sutton, R.T. and D.L.R. Hodson, 2005: Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science*, **290**, 2133–2137.
- Swank, W.T. and J.E. Douglass, 1974: Streamflow greatly reduced by converting deciduous hardwood stands to pine. *Science*, **185**, 857–859.
- Swarup, A., M.C. Manna and G.B. Singh, 2000: Impact of land use and management practices on organic carbon dynamics in soils of India. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 261–282.
- Swiss Re, 1998: *Floods: An Insurable Risk*, Swiss Reinsurance Company, Zurich, 51 pp.
- Syvitski, J.P.M., 2002: Sediment discharge variability in Arctic rivers: implications for a warmer future. *Polar Res.*, **21**(2), 323–330.
- Syvitski, J.P.M., C.J. Vorosmarty, A.J. Kettner and P. Green, 2005: Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, **308**, 376–380.
- Szolgay, J., K. Hlavcova, S. Kohnová and R. Danihlik, 2004: Assessing climate change impact on river runoff in Slovakia. *Characterisation of the Runoff Regime and its Stability in the Tisza Catchment. Proc. XXII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Brno, 30 August–2 September 2004. Brno, 2004. CD-edition.
- Tao, F., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2003a: Changes in agricultural water demands and soil moisture in China over the last half-century and their effects on agricultural production. *Agri. Forest Meteorol.*, **118**, 251–261.
- Tao, F., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2003b: Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China. *Agri. Eco. Environ.*, **95**, 203–215.
- Tao, F., M. Yokozawa, Z. Zhang, Y. Hayashi, H. Grassl and C. Fu, 2004: Variability in climatology and agricultural production in China in association with the East Asia summer monsoon and El Niño South Oscillation. *Clim. Res.*, **28**, 23–30.
- Tao, F.L., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2005: A perspective on water resources in China: interactions between climate change and soil degradation. *Climatic Change*, **68**(1–2), 169–197.
- Tebakari, T., J. Yoshitani, and C. Suvanpimol, 2005: Time-space trend analysis in pan evaporation over kingdom of Thailand. *J. Hydrol. Eng.*, **10**, 205–215.
- Thanh, T.D., Y. Saito, D.V. Huy, V.L. Nguyen, T.K.O. Ta and M. Tateishi, 2004: Regimes of human and climate impacts on coastal changes in Vietnam. *Reg. Environ. Change*, **4**, 49–62.
- The Water Page, 2001: BPD business partners for development water and sanitation clusters. <http://www.africanwater.org/bpd.htm>.
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira and Co-authors, 2004: Extinction from climate change. *Nature*, **427**, 145–148.
- Thomas, J.M.G., K.J. Boote, L.H. Allen Jr., M. Gallo-Meagher and J.M. Davis, 2003: Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. *Crop Science*, **43**(4), 1548–1557.
- Thomas, M.K., D.F. Charron, D. Waltner-Toews, C. Schuster, A.R. Maarouf and J.D. Holt, 2006: A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975–2001. *Int. J. Environ. Health Res.*, **16**, 167–180.
- Thomson, A.M., N.J. Rosenberg, R.C. Izaurralde and R.A. Brown, 2005a: Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment Part 5. Irrigated agriculture and national grain crop production. *Climatic Change*, **69**, 89–105.
- Thomson, M.C., S.J. Mason, T. Phindela and S.J. Connor, 2005b: Use of rainfall and sea surface temperature monitoring for malaria early warning in Botswana. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **73**, 214–221.
- Thomson, M.C., F.J. Doblas-Reyes, S.J. Mason, R. Hagedorn, S.J. Connor, T. Phindela, A.P. Morse and T.N. Palmer, 2006: Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature*, **439**, 576–579.
- Thornton, P.K., P.G. Jones, T.M. Owiyo, R.L. Kruska, M. Herero, P. Kristjanson, A. Notenbaert, N. Bekele and A. Omolo, with contributions from V. Orindi, B. Otiende, A. Ochieng, S. Bhadwal, K. Anantram, S. Nair, V. Kumar and U. Kulkar, 2006: *Mapping Climate Vulnerability and Poverty in Africa*. Report to the Department for International Development, ILRI, Nairobi, 200 pp.
- Treacy, J.M., 1994: *Las Chacras de Copaque: Andenes y Riego en el Valle de Colca*. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, 298 pp.
- Trenberth, K.E., 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **71**, 988–993.
- Trenberth, K.E. and J.M. Caron, 2000: The Southern Oscillation revisited: sea level pressures, surface temperatures and precipitation. *J. Clim.*, **13**, 4358–4365.
- Trenberth, K.E. and T.J. Hoar, 1997: El Niño and climate change. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 3057–3060.
- Trenberth, K.E., and D.J. Shea, 2006: Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L12704, doi:10.1029/2006GL026894.
- Trenberth, K.E. and D.P. Stepaniak, 2001: Indices of El Niño evolution. *J. Clim.*, **14**, 1697–1701.
- Trenberth, K.E., A.G. Dai, R.M. Rasmussen and D.B. Parsons, 2003: The changing character of precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **84**, 1205–1217.
- Trenberth, K.E., D.P. Stepaniak and L. Smith, 2005: Interannual variability of the patterns of atmospheric mass distribution. *J. Clim.*, **18**, 2812–2825.
- Trnka, M., M. Dubrovski and Z. Zalud, 2004: Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic Change*, **64**, 227–255.
- Tuchman, N.C., K.A. Wahtera, R.G. Wentzel and J.A. Teeri, 2003: Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> alters leaf litter quality for stream ecosystems: an *in situ* leaf decomposition study. *Hydrobiologica*, **495**, 203–211.
- Tumerbaatar, D., 2003: *Annual report on permafrost: potential impacts of climate change, vulnerability and adaptation assessment for grassland ecosystem and livestock sector in Mongolia*, AIACC Project Report.
- UCV, 2005: Análisis de las lluvias diarias y acumuladas durante Febrero de 2005 en la región central capital. Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- UK Water Industry Research, 2004: *Climate Change and the Hydraulic Design of Sewerage Systems: Summary Report*. Report 03/CC/10/0, UKWIR, London.
- UN, 2002: *CEO Briefing on Climate Change and the Financial Services Industry*. Environment Programme Finance Initiatives (UNEP FI).
- UN, 2003: *World Water Development Report: Water for Life, Water for People*. UNESCO, Paris and Berghahn Books, Barcelona, 36 pp.
- UN, 2006: *World Water Development Report 2: Water, a Shared Responsibility*. UNESCO, Paris, 601 pp.
- UNCHS, 2003: *Local Action for Global Goals: Water and Sanitation in the World's Cities 2003*. Earthscan, London.
- UNCHS, 2006: *Meeting Development Goals in Small Urban Centres:*

- Water and Sanitation in the World's Cities 2006*. Earthscan, London, 273 pp.
- UNDP, 2006: *Beyond Scarcity: Power, Poverty, and the Global Water Crisis*. Human Development Report 2006. United Nations Development Program, New York.
- UNEP/GRID-Arendal, 2002: *Vital Climate Graphics*. United Nations Environment Programme. <http://www.grida.no/climate/vital/index.htm>.
- UN-HABITAT, 2003: *The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003*, Earthscan Publications, London, 310 pp.
- United States Environmental Protection Agency, 1997: Need for American Indian and Alaska Native water systems. *Drinking Water Infrastructure Needs Survey First Report to Congress*. EPA 812-R-97-001, UNEPA, Washington, DC, 27-33. [http://www.epa.gov/ogwdw/needssurvey/pdfs/1997/report\\_needssurvey\\_1997\\_findings-tribal.pdf](http://www.epa.gov/ogwdw/needssurvey/pdfs/1997/report_needssurvey_1997_findings-tribal.pdf)
- Unkovich, M., 2003: Water use, competition, and crop production in low rainfall, alley farming systems of south-eastern Australia. *Australian J. Agri. Res.*, **54**, pp. 751-762.
- UNMSM, 2004: Calor intenso y largas sequías. Especiales, Perú. <http://www.unmsm.edu.pe/Destacados/contenido.php?mver=11>.
- UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2003: *Water for People, Water for Life - UN World Water Development Report*, UNESCO, Paris, and Berghahn Books, Oxford, 688 pp.
- UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2006: *Water: A Shared Responsibility*. UNESCO, Paris, and Berghahn Books, Oxford, 600 pp.
- US Department of the Interior, 2005: *Water 2025: Preventing Crises and Conflict in the West*. Water 2025 Status Report, Washington, DC, 36 pp. <http://www.doi.gov/water2025>.
- US Global Change Research Program, 2000: *Water: the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Water Resources of the United States*. National Water Assessment Group, U.S. Global Change Research Program, 160 pp. <http://www.gcrio.org/NationalAssessment/water/water.pdf>.
- Uyarra, M., I. Cote, J. Gill, R. Tinch, D. Viner and A.L Watkinson, 2005: Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states. *Environ. Cons.*, **32**(1), 11-19.
- van Lieshout, M., R.S. Kovats, M.T.J. Livermore and P. Martens, 2004: Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environ. Chang.*, **14**, 87-99.
- Van Rheeën, N.T., A.W. Wood, R.N. Palmer and D.P. Lettenmaier, 2004: Potential implications of PCM climate change scenarios for Sacramento-San Joaquin River Basin hydrology and water resources. *Climatic Change*, **62**, 257-281.
- Vandenbergh, J., 2002: The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary. *Quaternary Int.*, **91**, 17-23.
- VanRheenen, Vasilev, V., 2003: Variability of *Shigella flexneri* serotypes during a period in Israel, 2000-2001. *Epidemiol. Infect.*, **132**, 51-56.
- Vásquez, O.C., 2004: *El Fenómeno El Niño en Perú y Bolivia: Experiencias en Participación Local*. Memoria del Encuentro Binacional Experiencias de prevención de desastres y manejo de emergencias ante el Fenómeno El Niño, Chiclayo, Peru. ITDG, 209 pp.
- Vasquez-Leon, M., C.T. West, and T.J. Finan, 2003: A comparative assessment of climate vulnerability: agriculture and ranching on both sides of the US-Mexico border. *Global Environ. Chang.*, **13**, 159-173.
- Venegas, S.A. and L.A. Mysak, 2000: Is there a dominant timescale of natural climate variability in the Arctic? *J. Clim.*, **13**, 3412-3434.
- Vesely, J., V. Majer, J. Kopacek and S.A. Norton, 2003: Increasing temperature decreases aluminium concentrations in Central European lakes recovering from acidification. *Limnol. Oceanogr.*, **48**, 2346-2354.
- Vic DSE, 2006: *Wimmera Mallee Pipeline*. Department of Sustainability and Environment, Victoria.
- Villagrán de León, J., J. Scott, C. Cárdenas and S. Thompson, 2003: *Early Warning Systems in the American Hemisphere: Context, Current Status, and Future Trends*. Final Report. Hemispheric Consultation on Early Warning, Antigua, 15 pp.
- Vincent, J.R., 1995: Timber trade, economics and tropical forest management. *Ecology, Conservation and Management of Southeast Asia Rainforests*, B.R. Primack and T.E. Lovejoy, Eds., Yale University Press, New Haven, CN, 241-261.
- Viner, D., M. Sayer, M. Uyarra and N. Hodgson, 2006: *Climate Change and the European Countryside: Impacts on Land Management and Response Strategies*. Report prepared for the Country Land and Business Association, CLA, Norwich, 180 pp.
- Viney, N.R., Bates, B.C., Charles, S.P., Webster, I.T., Bormans, M. and Aryal, S.K., 2003: Impacts of climate variability on riverine algal blooms. *Proc. International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM 2003 14-17 July*, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc., 23-28. <http://mssanz.org.au/modsim03/Media/Articles/Vol%201%20Articles/23-28.pdf>.
- Vörösmarty, C.J., P.J. Green, J. Salisbury and R.B. Lammers, 2000: Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, **289**, 284-288.
- Vörösmarty, C.J., E.M. Douglas, A.A. Green and C. Ravenga, 2005: Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa. *Ambio*, **34**(3), 230-236.
- Vuille, M., R.S. Bradley, M. Werner and F. Keimig, 2003: 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Climatic Change*, **59**, 75-99.
- Wahab, H.M., 2005: The impact of geographical information system on environmental development. *Unpublished MSc Thesis*, Faculty of Agriculture, Al-Azhar University, Cairo, 149 pp.
- Wall, E., and B. Smit, 2005: Climate change adaptation in light of sustainable agriculture. *J. Sustainable Agric.*, **27**, 113-123.
- Walsh, J.E. and Co-authors, 2005: Cryosphere and hydrology. *Arctic Climate Impacts Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 183-242.
- Walsh, M.E., D.G. de la Torre Ugarte, H. Shapouri and S.P. Slinsky, 2003: Bioenergy crop production in the United States. *Environ. Res. Econ.*, **24**, 313-333.
- Walter, M.T., D.S. Wilks, J.Y. Parlange and B.L. Schneider, 2004: Increasing evapotranspiration from the conterminous United States. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 405-408.
- Wang, T., 2003: Study on desertification in China. Contents of desertification research. *J. Desert Res.*, **23**(5), 477-482.
- Warren, J., J. Berner and J. Curtis, 2005: Climate change and human health: infrastructure impacts to small remote communities in the North. *Int. J. Circumpolar Health*, **64**(5), 498.
- Warren, R., N. Arnell, R. Nicholls, P. Levy and J. Price, 2006: *Understanding the Regional Impacts of Climate Change*. Research Report prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 90, UEA, Norwich, 223 pp.
- Wassmann, R., X.H. Nguyen, T.H. Chu and P.T. To, 2004: Sea-level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. *Climatic Change*, **66**, 89-107.
- Water 21, 2002: Joining forces. *Magazine of the International Water Association*, **October**, 55-57.

- Water Corporation, 2006: *Planning for New Sources of Water*. West Australian Water Corporation. [http://www.watercorporation.com.au/W/water\\_sources\\_new.cfm](http://www.watercorporation.com.au/W/water_sources_new.cfm).
- Waters, D., W.E. Watt, J. Marsalek and B.C. Anderson, 2003: Adaptation of a storm drainage system to accommodate increased rainfall resulting from climate change *J. Environ. Plan. Manag.*, **46**, 755–770.
- Watson, R.T. and W. Haeberli, 2004: Environmental threats, mitigation strategies and high mountain areas. Mountain Areas: A Global Resource. *Ambio*, **13**, 2–10.
- Watson, R.T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss, Eds., 1997: *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, 517 pp.
- WDR, 2003: *World Disaster Report: Focus on Ethics in Aid*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.
- WDR, 2004: *World Disaster Report: Focus on Community Resilience*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.
- Webster, P.J., V.O. Magana, T.N. Palmer, J. Shukla, R.A. Tomas, M. Yanagi and T. Yasunari, 1998: Monsoons: processes, predictability and the prospects for prediction. *J. Geophys. Res.*, **103**, 14451–14510.
- Werritty, A., 2001: Living with uncertainty: climate change, river flow and water resources management in Scotland. *Sci. Total Environ.*, **294**, 29–40.
- West, T.O. and G. Marland, 2003: Net carbon flux from agriculture: carbon emissions, carbon sequestration, crop yield, and land-use change. *Biogeochem.*, **63**, 73–83.
- West, T.O. and W.M. Post, 2002: Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **66**, 1930–1946.
- Wheaton, E., V. Wittrock, S. Kulshretha, G. Koshida, C. Grant, A. Chipanshi and B. Bonsal, 2005: *Lessons Learned from the Canadian Drought Years of 2001 and 2002: Synthesis Report*. Saskatchewan Research Council Publication No. 11602-46E03, Saskatoon, Saskatchewan. <http://www.agr.gc.ca/pfra/drought/info/11602-46E03.pdf>.
- White, M.A., N.S. Diffenbaugh, G.V. Jones, J.S. Pal and F. Giorgi, 2006: Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 11217–11222.
- Whittington, H. and S.W. Gundry, 1998: Global climate change and hydroelectric resources. *Eng. Sci. Ed. J.*, **7**, 29–34.
- WHO (World Health Organization), 2003: *Report of Synthesis Workshop on Climate Change and Health in Small Islands States*, 1–4 December 2003, Republic of the Maldives. World Health Organization, Geneva, 95 pp.
- WHO (World Health Organization), 2004: *Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 1: Recommendations*, Third Edition, WHO, Geneva, 366 pp.
- WHO (World Health Organization), 2005: *Water Safety Plans: Managing Drinking Water Quality from Catchment to Consumer*. Prepared by A. Davison and Co-authors, WHO/SDE/WSH/05.06, WHO, Geneva, 235 pp.
- WHO/UNICEF, 2000: *Global water supply and sanitation assessment 2000 report*. World Health Organization with UNICEF, Geneva, 79 pp. [http://www.who.int/docstore/water\\_sanitation\\_health/Globassessment/GlobalTOC.htm](http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/Globassessment/GlobalTOC.htm) WHO/UNICEF.
- Wijeratne, M.A., 1996: Vulnerability of Sri Lanka tea production to global climate change. *Water Air Soil Poll.*, Historical Archive, 87–94.
- Wilby, R.L., 2006: When and where might climate change be detectable in UK river flows? *Geophys. Res. Lett.*, **33**(19), L19407, doi:10.1029/2006GL027552.
- Wilby R.L. and I. Harris, 2006: A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resour. Res.*, **42**, W02419, doi:10.1029/2005WR004065.
- Williams, K.L., K.C. Ewel, R.P. Stumpf, F.E. Putz and T.W. Workman, 1999: Sea-level rise and coastal forest retreat on the west coast of Florida. *Ecology*, **80**, 2045–2063.
- Williams, R.H., E.D. Larson and H. Jin, 2006: Synthetic fuels in a world of high oil and carbon prices. *Proc. 8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Trondheim, Norway, June.
- Williams, S.E., E.E. Bolitho and S. Fox, 2003: Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *P. Roy. Soc. Lond. B Bio.*, **270**, 1887–1892.
- Winter, T.C. and M.K. Woo, 1990: Hydrology of lakes and wetlands. *Surface Water Hydrology*, M.G. Wolman and H.C. Riggs, Eds., Geological Society of America, Boulder, CO, Vol. 0-1, 159–188.
- Woo, M.K., R.D. Rowsell and R.G. Clark, 1993: *Hydrological Classification of Canadian Prairie Wetlands and Prediction of Wetland Inundation in Response to Climatic Variability*. Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa, ON, 23 pp.
- Woodruff, R.E. and Co-authors, 2002: Predicting Ross River virus epidemics from regional weather data. *Epidemiology*, **13**, 384–393.
- Woodruff, R.E., C.S. Guest, M.G. Garner, N. Becker and M. Lindsay, 2006: Early warning of Ross River virus epidemics: combining surveillance data on climate and mosquitoes. *Epidemiology*, **17**(5), 569–575.
- Woods, R.A. and C. Howard-Williams, 2004: Advances in freshwater sciences and management. *Freshwaters of New Zealand*, J.S. Harding, M.P. Mosley, C.P. Pearson and B.K. Sorrell, Eds., New Zealand Hydrological Society Inc. and New Zealand Limnological Society Inc., Christchurch, 764 pp.
- Woodworth, P.L. and D.L. Blackman, 2004: Evidence for systematic changes in extreme high waters since the mid-1970s. *J. Climate*, **17**, 1190–1197.
- World Bank, 2000: *Cities, Seas and Storms: Managing Change in Pacific Island Economies. Vol. IV, Adapting to Climate Change*. The World Bank, Washington, DC, 72 pp.
- World Bank, 2002: *World Development Indicators*, CD-ROM, The World Bank, Washington, DC.
- World Bank, 2004a: *Water Resources Sector Strategy: Strategic Directions for World Bank Engagement*. Pub. No. 28114, The World Bank, Washington, DC, 88 pp.
- World Bank, 2004b: *Modelled Observations on Development Scenarios in the Lower Mekong Basin*. Mekong Regional Water Resources Assistance Strategy, prepared for the World Bank with Mekong River Commission cooperation, Washington, DC and Vientiane, 142 pp. [http://www.mrcmekong.org/free\\_download/report.htm](http://www.mrcmekong.org/free_download/report.htm).
- World Commission on Dams, 2000: *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*. Earthscan, London, 442 pp.
- World Water Council, 2006: *Final Report of the 4th World Water Forum*. National Water Commission of Mexico, Mexico City, 262 pp.
- World Water Forum, 2000: *The Africa Water Vision for 2025: Equitable and Sustainable Use of Water for Socioeconomic Development*. World Water Forum, The Hague, 30 pp.
- Wright, K.R. and A. Valencia Zegarra, 2000: *Machu Picchu: A Civil Engineering Marvel*. American Society of Civil Engineers Press, Reston, Virginia, 144 pp.
- Wrona, F.J. and Co-authors, 2005: Freshwater ecosystems and fisheries. *Arctic Climate Impact Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 353–452.
- Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Lévesque

- and W.F. Vincent, 2006: Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function. *Ambio*, **35**(7), 359–369.
- WWF, 2005: *An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China*. WWF Nepal Programme, 79 pp. <http://assets.panda.org/downloads/himalayaglacierson2005.pdf>.
- Xu, C.X., 2003: *China National Offshore and Coastal Wetlands Conservation Action Plan*. China Ocean Press, Beijing, 116 pp (in Chinese).
- Yamada, T., 1998: *Glacier Lake and its Outburst Flood in the Nepal Himalaya*. Monograph No. 1, March 1998, Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, Tokyo, 96 pp.
- Yan, X., T. Ohara and H. Akimoto, 2003: Development of region-specific emission factors and estimation of methane emission from rice field in East, Southeast and South Asian countries. *Global Change Biology*, **9**, 237–254.
- Yang, D., B. Ye and A. Shiklomanov, 2004a: Discharge characteristics and changes over the Ob River watershed in Siberia. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 595–610.
- Yang, D., B. Ye and D.L. Kane, 2004b: Streamflow changes over Siberian Yenisei River basin. *J. Hydrol.*, **296**, 59–80.
- Yang, D.Q., D.L. Kane, L.D. Hinzman, X. Zhang, T. Zhang and H. Ye, 2002: Siberian Lena River hydrologic regime and recent change. *J. Geophys. Res.*, **107**(D23), 4694, doi:10.1029/2002JD002542.
- Yin, Y.Y., Q.L. Miao and G.S. Tian, 2003: *Climate Change and Regional Sustainable Development*. Science Press, Beijing, 224 pp.
- Yoshikawa, K. and L.D. Hinzman, 2003: Shrinking thermokarst ponds and groundwater dynamics in discontinuous permafrost. *Permafrost Periglac. Proc.*, **14**(2), 151–160.
- Young, R.A., 2005: *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods*. Resources for the Future Press, Washington, DC, 300 pp.
- Zavaleta, E.S. and K.B. Hulvey, 2004: Realistic species losses disproportionately reduce grassland resistance to biological invaders. *Science*, **306**, 1175–1177.
- Zebisch, M., T. Grothmann, D. Schroeter, C. Hasse, U. Fritsch and W. Cramer, 2005: *Climate Change in Germany: Vulnerability and Adaptation of Climate Sensitive Sectors*. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Dessau, 205 pp.
- Zeidler, R.B., 1997: Continental shorelines: climate change and integrated coastal management. *Ocean Coast. Manage.*, **37**(1), 41–62.
- Zhai P. and X. Pan, 2003: Trends in temperature extremes during 1951–1999 in China. *Geophys. Res. Lett.*, **30**(17), 1913, doi:10.1029/2003GL018004.
- Zhai, P.M., 2004: Climate change and meteorological disasters. *Sci. Techn. Rev.*, **193**(7), 11–14.
- Zhai, P.M., A. Sun, F. Ren, X. Liu, B. Gao and Q. Zhang, 1999: Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, **42**, 203–218.
- Zhang, T.J., O.W. Frauenfeld, M.C. Serreze, A. Etringer, C. Oelke, J. McCreight, R.G. Barry, D. Gilichinsky, D.Q. Yang, H.C. Ye, F. Ling and S. Chudinova, 2005: Spatial and temporal variability in active layer thickness over the Russian Arctic drainage basin. *J. Geophys. Res.*, **110**(D16), D16101, doi:10.1029/2004JD005642.
- Zhang, Y., W. Chen and J. Cihlar, 2003: A process-based model for quantifying the impact of climate change on permafrost thermal regimes. *J. Geophys. Res.*, **108**(D22), 4695 doi:10.1029/2002JD003354.
- Zhou, G., N. Minakawa, A.K. Githeko and G. Yan, 2004: Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 2375–2380.
- Zhou, Y. and R.S.J. Tol, 2005: Evaluating the costs of desalination and water transport. *Water Resour. Res.*, **41**, 1–10.
- Zierl, B. and H. Bugmann, 2005: Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resour. Res.*, **41**(2), 1–13.



# 附件1: 关于气候模式的说明

模式	模式原创组织	分辨率 (纬度/经度)	模式说明的参考文献 (见下文)
<b>CGCM1</b>	加拿大气候模拟分析中心	大气分量: ~3.7° x 3.7° 海洋分量: ~1.8° x 1.8°	Flato等, 2000年
<b>HadCM2</b>	英国气象局哈德利中心	2.5° x 3.75°	Johns等, 1997年
<b>HadCM3</b>	英国气象局哈得莱中心	2.5° x 3.75°	Gordon等, 2000年 Pope等, 2000年
<b>RegCM2</b>	美国国家大气研究中心	~50 km	Giorgi等, 1993年a, b
<b>ECHAM4 (with OPYC3)</b>	德国马克斯·普朗克气象学研究所和德国气候中心	~2.8° x 2.8°	Roeckner等, 1996年

## 参考文献:

- Flato, G.M., G.J. Boer, W.G. Lee, N.A. McFarlane, D. Ramsden, M.C. Reader and A.J. Weaver, 2000: The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis global coupled model and its climate. *Clim. Dyn.*, 16, 451-467.
- Johns, T.C., R.E. Carnell, J.F. Crossley, J.M. Gregory, J.F.B. Mitchell, C.A. Senior, S.F.B. Tett and R.A. Wood, 1997: The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation. *Clim. Dyn.*, 13, 103-134.
- Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H.T. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell and R.A. Wood, 2000: The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Clim. Dyn.*, 16, 147-168.
- Pope, V., M.L. Gallani, P.R. Rowntree and R.A. Stratton, 2000: The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3. *Clim. Dyn.*, 16, 123-146.
- Giorgi, F., M.R. Marinucci and G. T. Bates, 1993: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon. Weather Rev.*, 121, 2794-2813.
- Giorgi, F., M.R. Marinucci, G. T. Bates and G. DeCanio, 1993: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon. Weather Rev.*, 121, 2814-2832.
- Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Christoph, M. Claussen, L. Dümenil, M. Esch, M. Giorgetta, U. Schlese and U. Schulzweida, 1996: *The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate*. Max-Planck Institute for Meteorology, Report No.218, Hamburg, Germany, 90 pp.



# 附件2: 术语表

编辑: 珍妮·帕卢迪科夫(英国)  
联合编辑: 科莱尔·汉森(英国), 布瑞森·贝茨(澳大利亚)

本术语表基于IPCC《第四次评估报告》公布的术语表。

术语表中的斜体字具有以下含义: *术语表词条索引*; 术语表二级索引(即包含在IPCC《第四次评估报告》三个工作组报告中的术语, 或在本术语表的某个词条中已作出定义的术语)。

## A. 气候突变

*气候系统*的非线性可导致气候突变, 有时称之为快速气候变化、突发事件或甚至称之为意外事件。突发这个术语通常指这些事件的时间尺度快于产生强迫的典型时间尺度。然而, 并非所有的气候突变需要受到*外界强迫*。已提出的一些可能的突发事件包括温盐环流的彻底重组, 冰川的快速消融, *多年冻土*的大面积融化或土壤呼吸作用增加导致*碳循环*变化加快。其它事件也许确实无法预料, 它们是某个非线性系统的强烈、快速变化的强迫作用所引起的。

## 活动层

*多年冻土*所在地区的地面表层每年会融化和冻结。

## 适应

针对实际的或预计的*气候变化*影响所采取的举动和措施, 以降低自然系统和人类系统的脆弱性。存在各种类型的适应, 如: 提前适应和被动适应、私人适应和公共适应、自发适应和有计划地适应。例如: 水位上涨的河流或海堤、用耐温和抗热性强的植物取代对温度敏感的植物等。

## 适应能力

某个国家或*区域*采取有效的*适应*措施所需的能力、资源和机构的总和。

## 气溶胶

空气中固态或液态颗粒的聚集体, 通常大小在0.01微米至10微米(百万分之一米)之间, 能在大气中

驻留至少几个小时。气溶胶有自然的和*人为*的两种来源。气溶胶可通过几种途径对*气候*产生影响: 通过散射和*吸收*辐射产生直接影响; 通过在云形成过程中作为云凝结核或改变云的光学性质和生命期而产生间接影响。

## 造林

在历史上没有树林(至少50年没有树林)的土地上种植新的树林。关于*森林*及相关术语, 如造林、*再造林*和*毁林*, 见《IPCC土地利用、土地利用变化和林业特别报告》(IPCC, 2000)。

## 反照率

*太阳辐射*被某个表面或物体所反射的比率, 常以百分率表示。雪覆盖的表面具有高反照率; 土壤的反照率由高到低不等; 植被表面和海洋的反照率低。地球行星反照率主要因不同的云量、冰、雪、植被叶面积和地表覆盖状况的变化而异。

## 藻华

江河、湖泊或海洋中的藻类大量繁殖。

## 高山带

林木线以上的山坡, 以蔷薇草本植物和生长缓慢的低矮灌木植物为主的地理生物带。

## 附件一国家

《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)附件一(1998年修订)所包括的国家集团, 其中含1990年时的经济合作与发展组织中的所有国家和经济转型国家。根据公约第4.2(a)条和第4.2(b)条, 附件一国家承诺在2000年之前单独或共同将*温室气体*排放控制在

1990年的水平。由于未列入其中，其它国家则统称为非附件一国家。

## 附件二国家

《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)附件二所包括的国家集团，包括1990年时的所有经济合作与发展组织的国家。根据公约第4.2 (g)条，期待这些国家为发展中国家提供资金，以帮助发展中国家履行义务，如：准备国家报告。期待附件二国家促进环境无害化技术向发展中国家的转让。

## 附件B国家

《京都议定书》附件B所包括的国家，这些国家已就其温室气体排放的目标达成一致，其中包括除土耳其和白俄罗斯之外的所有附件一国家(1998年修订)。见《京都议定书》。

## 环状模态

大气环流变化的最常见的型态，相当于纬向平均的中纬度西风带的变化。**北半球环状模态**在北大西洋有一个偏差，但与**北大西洋涛动**有很大的相关性。**南半球环状模态**发生在南半球。中纬度西风带的变率被视为纬向气流(或风)波动，并通过纬向指数确定其波动的幅度。[WGI 框3.4]

## 人为的

起因于人类的或由人类产生的。

## 水产养殖

以捕获为目的的经人工管理的水生植物或动物(如鲑鱼或贝类)的养殖。

## 含水层

含水的可渗透的岩石层。一个非封闭型含水层直接由局地降水、河流和湖泊进行回灌，回灌速率将受到下层岩石和土壤渗透率的影响。

## 干旱区域

降雨量少的陆地区域，所谓‘少’，普遍接受的定义是年降水量小于250毫米。

## 大西洋多年代际震荡 (AMO)

北大西洋的一个多年代际(65年到75年)波动，在此期间**海表温度**大致在1860年至1880年和1930年至1960年期间为暖相位，而在1905年至1925年和1970年至1990年期间是冷相位，温度变化量级为0.4°C。

## 大气

围绕地球的空气包络层。干大气几乎完全由氮(占体积混合比的78.1%)和氧(占体积混合比的20.9%)构成，还包括一些微量气体，如氩(占体积混合比的

0.93%)、氦、以及对辐射有影响的温室气体，如**二氧化碳**(占体积混合比的0.035%)和**臭氧**。此外，大气还包括水汽(水汽量变化很大，典型的体积混合比为1%)。大气还包括云和**气溶胶**。

## 大气边界层

邻近地表的大气层，它受边界表层摩擦力的影响，并可能受到地表热量输送和其它变量的影响(AMS, 2000)。在边界层的最低10米左右的范围，以产生机械性湍流为主，该层被称之为地表边界层或地表面层。

## 归因

见**检测与归因**。

## B.

### 障碍

在实现某个目标、**适应**或**减缓**潜力的过程中，通过一项政策、计划或措施能够克服或消弱的任何障碍。清除障碍包括直接纠正市场的失误或减少公共部门和私营行业的交易成本，例如，通过提高体制能力、降低风险和不确定性、金融市场交易以及加强法规政策的执行力度等手段。

## 基线

量的衡量基准，根据基准能够衡量某个替代结果的量，如：在干预情景的分析中，用一个无干预**情景**作为基准。

## 流域

溪流、江河或湖泊流经的地区。

## 生物多样性

各种空间尺度(从基因到整个**生物群系**)上所有生物和生态系统的总体多样性。

## 生物能

从生物质中获取的能源。

## 生物燃料

用有机物质制造的燃料或用植物生产的燃油。生物燃料的原料包括：酒精、造纸流程产生的黑液、木材和豆油。

## 生物质

给定面积或体积中生物的质量总和；近期死亡的植物可按死亡生物量计入。生物质的量用干重表示，或按**能源**、碳或氮含量表示。

## 生物群系

生物群系是**生物圈**中一个主要和有明显区别的

区域要素, 通常是由若干生态系统(如某个**区域**内的**森林**, 河流, 池塘, 沼泽)组成。生物群系的典型特征是植物群落和动物群落。

### (陆地和海洋)生物圈

地球系统的一部分, 由**大气**、陆地(陆地生物圈)、海洋(海洋生物圈)中的所有**生态系统**和生物组成, 包括反演的已死亡生物物质, 如枯枝、土壤有机物和海洋腐质。

### 生物群

一个地区所有生命的有机物; 植物群和动物群被视为一个单位。

### 黑碳

业务上根据光线吸收计量、化学反应和/或热力稳定性等条件定义的**气溶胶**类, 包括煤烟、木炭和/或吸收光线的耐火有机物。

### 沼泽

**泥炭**积累的酸性**湿地**。

### 北方森林

从加拿大东海岸向西延伸到阿拉斯, 然后从西伯利亚向西穿过整个俄罗斯到欧洲平原, 由松树、云杉、冷杉、落叶松构成的森林。

### 边界层

见**大气边界层**。

## C.

### C3植物

在**光合作用**过程中产生3个碳原子的化合物的植物, 包括大多数的树木和农作物, 如水稻、小麦、大豆、马铃薯和蔬菜。

### C4植物

在**光合作用**过程中产生4个碳原子的化合物的植物, 主要是原产自热带, 包括草和重要的农作物玉米、甘蔗、小米和高粱。

### 碳(二氧化碳)捕获和封存

将**二氧化碳**从工业源和与能源有关的源中分离, 输送到封存地并与**大气**长期隔离的过程。

### 碳循环

用于描述**大气**、海洋、陆地**生物圈**和岩石圈中碳流动(各种形式的碳, 如**二氧化碳**)的术语。

### 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)

一种自然生成的气体, 也是从化石碳沉积物提炼的化石燃料(如: 石油、天然气和煤)和**生物质**燃烧

后、以及**土地利用变化**和其它工业流程产生的次生物。它是影响地球**辐射平衡**的主要**人为温室气体**。它是衡量其它温室气体的基准气体, 其**全球增暖潜势**指数为1。

### 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)浓度增加

见**二氧化碳(CO<sub>2</sub>)肥化作用**。

### 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)肥化作用

大气中**二氧化碳**浓度增加导致植物生长加快。由于依赖于**光合作用**机制, 某些种类的植物对大气二氧化碳浓度的变化更敏感。

### 碳固化

吸收含碳物质, 尤其是**二氧化碳**。见**固化**。

### 集水区

一个吸纳和排除雨水的区域。

### 霍乱

一种由细菌(霍乱弧菌)污染后的水引起的肠道传染病, 可引发频繁的腹泻、腹部绞痛, 并最终因脱水 and 休克而衰竭。

### 清洁发展机制(CDM)

根据**《京都议定书》**第12条的定义, 清洁发展机制欲达到两个目标: (1)协助未列入**附件一**的缔约方实现**可持续发展**并为实现《公约》的最终目标做出贡献; (2)协助附件一所列缔约方实现其量化的限排和减排的承诺。由非附件一国家承担的、旨在限制或减少温室气体排放量的清洁发展项目出具的经认证的减排单位, 一旦得到缔约方大会/缔约方会议指定的运作实体的认证, 便能够作为**附件B**缔约方的投资者(政府或工业)的减排量进行累计。经认证的项目活动产生的收入的一部分可用于行政管理支出, 也可用于帮助那些极易受**气候变化**不利影响的发展中国家缔约方满足**适应**成本。

### 气候

狭义而言, 气候通常被定义为“天气的平均状况”, 或更严格而言, 气候在某个时期内对相关量的均值和变率的统计描述, 而这一时期的长度从几个月至几千年甚至几百万年不等。通常求各变量平均值的时期是世界气象组织(WMO)定义的30年期。这些相关量一般指地表变量, 如温度、降水和风。更广义而言, 气候是**气候系统**的状态, 包括统计意义上的描述。

### 气候变化

气候变化指**气候**状态的变化, 而这种变化可以通过其特征的平均值和/或变率的变化予以判别(如运

用统计检验), 这种变化会持续一个时期, 通常为几十年或更长的时间。气候变化的原因可能是由于自然的内部过程或**外部强迫**, 或由于大气成分和土地利用中持续的人为变化。注意《**联合国气候变化框架公约**》(UNFCCC)第一条将“气候变化”定义为“在可比时期内所观测到的除自然气候变率之外的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”。因此, UNFCCC对可归因于人类活动改变大气成分后的“气候变化”与可归因于自然原因的“气候变率”作了明确的区分。另见“**气候变率**”; **检测与归因**。

### 气候反馈

**气候系统**中各种物理过程间的一种相互作用机制。当一个初始物理过程触发了另一个过程中的变化, 而这种变化反过来又对初始过程产生影响, 这样的相互作用被称为气候反馈。正反馈增强最初的物理过程, 负反馈则使之减弱。

### 气候模式

**气候系统**的数值表述, 它是建立在气候系统各部分的物理学、化学和生物学特征及其相互作用和**反馈**过程的基础上, 以解释已知的全部或部分特征。气候系统可用不同复杂程度的模式进行描述。即: 对于任何一个分量或分量组合, 能够用模式的谱或格点层进行识别, 但在某些方面有区别, 如: 空间分布的数量, 所代表的物理、化学或生物过程的重现; 或经验参数化的应用程度。大气/海洋环流耦合模式(AOGCMs)给出靠近当前谱终点的有关气候系统的一个综合表述。目前有一种朝着化学和生物相互作用和更复杂模式方向发展的趋势(见WGI第八章)。气候模式不仅用作一种研究和模拟**气候**的工具, 而且还有业务用途, 包括月、季、年际气候预测。

### 气候预估

对**气候系统**响应**温室气体**和**气溶胶**的**排放**或浓度情景或响应**辐射强迫**情景所作出的**预估**, 通常建立在**气候模式**模拟的基础上。之所以把气候预估与**气候预测**区分开, 这是为了强调气候预估依赖于所采用排放/浓度/辐射强迫情景, 而情景建立在相关的各种假设的基础上, 例如: 也许会或也许不会实现未来的社会经济和技术发展, 因此具有相当大的**不确定性**。

### 气候情景

在一组具有内部一致性气候学关系的基础上, 对未来**气候**作出的一种合理的和通常简化的表述, 而已建立的各种气候学关系通常作为输入因子应用于影响模型, 以研究**人为气候变化的**潜在后果。**气**

**候预估**经常作为建立各气候情景的原始材料, 但是气候情景通常还需要其它信息, 如: 观测到的当前气候状况。一个气候变化情景是某个气候情景与当前气候之间的差。

### 气候系统

该系统由五个主要部分组成的高度复杂的系统:**大气**、**水圈**、**冰雪圈**、地表和**生物圈**, 以及它们之间的相互作用。气候系统随时间演变的过程受到自身内部动力学的影响, 也受到**外部强迫**的影响, 如: 火山喷发、太阳活动变化, 还受到**人为强迫**的影响, 如不断变化的大气成分和**土地利用变化**。

### 气候变率

气候变率指在所有**空间和时间尺度**上**气候**平均状况和其它统计值(如标准偏差, 极值出现率等)的变化, 该变率超出了任何单一天气事件的变率。气候变率也许由于**气候系统**内的自然过程(内部变率), 或由于自然或**人为外部强迫**(外部变率)所致。另见**气候变化**。

### CO<sub>2</sub>

见**二氧化碳**。

### CO<sub>2</sub>-肥化

见**二氧化碳(CO<sub>2</sub>)肥化作用**。

### 可信度

在本报告中, 使用引言中的标准术语表述可信度水平。另见**可能性**; **不确定性**。

### 控制运算

为提供一个**基线**而进行的模式运算, 该基线用于与气候变化试验进行比较。控制运算采用当今或**工业化之前**由于**温室气体**引起的**辐射强迫**常数。

### 珊瑚

珊瑚这个术语有若干个含义, 但它通常指常用名石珊瑚。所有珊瑚都具有石灰石骨架, 并分为造礁和非造礁珊瑚; 或分为冷水珊瑚和暖水珊瑚。见**珊瑚礁**。

### 珊瑚礁

**珊瑚**所建立的岩石般的石灰石(碳酸钙)结构, 分布在沿岸(岸礁)或浅水区、水下岸滩或大陆架的上部(堡礁、环礁), 在热带和亚热带海洋最为明显。

### 成本

资源消耗(如劳动时间、资本、材料、燃料等)作为一项行动的后果。在经济学上, 所有资源按机

会成本体现其价值, 这是最有价值的资源可替代利用的价值。成本的定义有多种并取决于影响其价值的各种假设。成本类型包括: 行政成本; 由于**气候变化**的负面影响, 对生态、经济和人造成的损失成本。现有规章制度不断改变、能力建设、信息、培训教育等的实施成本。由个人、公司或其它私营实体开展行动所承担的私人成本, 其中社会成本还包括为环境和整个社会支出的外部成本。与成本相反的是效益(有时也称为负成本)。成本减去效益就是净成本。

### 冰冻圈

**气候系统**的组成部分, 由地球陆地表面和海洋表层上部和下部的所有积雪、冰、**冻土**(包括**多年冻土**)组成。另见**冰川**和**冰盖**。

### D.

#### 毁林

指森林转变为非森林。有关**森林**这个术语和与之相关术语, 如**造林**、**再造林**和毁林的讨论, 见《IPCC关于土地利用、土地利用变化与林业特别报告》(IPCC, 2000)。

#### 登革热

由蚊子传染的**病毒性传染病**, 因表现为以严重的关节和后背疼痛为特征的发烧而常被称为骨痛热。该病毒的并发感染可能导致登革出血热(DHF)以及登革休克综合症(DSS), 这或许是致命的。

#### 沙漠

降雨量很低的区域, 所谓‘很低’普遍是指年降雨量少于100毫米。

#### 荒漠化

在干旱、半干旱地区及半湿润偏旱区因各种因素, 其中包括气候变化和人类活动导致的土地退化。《联合国防治荒漠化公约》把土地退化定义为: 干旱、半干旱地区、及半湿润偏旱地区减少或失去生物或经济生产力和雨养耕地、灌溉耕地、或牧场、草地、森林 以及林地等复合体, 这是由于土地利用或由于一个过程或综合过程所致, 其中包括人类活动和居住模式引起的过程, 诸如: (1) 风蚀或水蚀造成的土壤**流失**; (2) 土壤在物理、化学、生物或经济特性恶化; (3) 长期失去天然植被。

#### 检测与归因

**气候**在所有时间尺度上持续变化。**气候变化的检测**是在某种统计意义的定义下揭示气候已发生变化的过程, 而不提供对这种变化的原因解释。气候

变化归因则是对已检测到的气候变化确定其最可能的原因的过程, 并达到某种已定义的**可信度**水平。

#### 发展路径或途径

基于一系列技术、经济、社会、体制、文化和生物物理特性的演变, 这些特性决定了**人类系统**和自然系统之间的相互作用, 其中包括在某一特定尺度上所有国家的生产和消费模式。可替代的发展路径是指不同的但可能的发展轨迹, 延续当前的趋势仅仅是许多路径之一。

#### 干扰体系

干扰的频度、强度和类型, 如火灾、昆虫或虫害的爆发、水灾和**干旱**。

#### 降尺度

降尺度是一种从大尺度模式或资料分析中反演为局域至区域尺度(10到100公里)的方法。主要有两种方法: 动力降尺度和经验/统计降尺度。动力学方法利用区域**气候模式**、具有可变空间分辨率的全球模式或高分辨率全球模式的结果。经验/统计方法建立大尺度大气变量与局域/区域气候变量之间的统计关系。在所有情况下, 降尺度产品的质量取决于驱动模型的质量。

#### 干旱

干旱一般是“长期缺乏或明显缺少降水”, “由于降水不足引起的一些活动或某些群体缺水”, 或“由于缺少降水, 异常干燥的天气持续, 足以造成严重水分失衡的时期”(Heim, 2002)。干旱以不同种方式定义。农业干旱指在土壤最上层1米左右(作物根部区)水分不足影响了作物的生长; 气象干旱主要指长期降水不足; 水文干旱是指低于正常值的流量、湖泊和地下水位。久旱 指持续时间长而普遍的干旱, 比一般干旱持续时间更长, 通常为十年或更长时间。

#### 堤坝

人类为防止低洼地区发生洪涝而在沿岸建造的坝体或堤岸。

#### 动力学全球植被模式(DGVM)

模拟在**气候**和其它环境变化驱动下随空间和时间变化的植被生长和动力学过程的模式。

#### 动力冰溢流

由于冰盖或冰帽的动力作用, **冰盖**或**冰帽**产生的冰体溢流(如冰川流、冰流和不断崩塌的冰山), 而不是溶化或**径流**引起的。

**E.****生态群落**

以典型的物种集合及其丰富程度为特征的植物和动物的群落。另见 **生态系统**。

**生态系统**

一个由多种相互作用的生物及其自然环境组成的系统。称之为生态系统的边界存在某种任意性，这取决于关注或研究的重点。因此，生态系统的范围可从非常小的空间尺度开始，最终可遍及整个地球。

**厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)**

厄尔尼诺最初用于描述一个周期性的沿厄瓜多尔和秘鲁海岸流动的暖水流，它干扰了当地的渔业。自那时起已经发现它使国际日期变更线以东的热带太平洋流域的海水变暖。这一海洋事件与全球尺度的热带和亚热带地面气压型态的波动(称之为南方涛动)有关。这种时间尺度为2-7年的**大气-海洋耦合现象**统称为厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)。通常用达尔文与塔希提岛之间地面气压的距平差以及赤道太平洋中部和东部海表温度进行测量。在厄尔尼诺事件发生期间，盛行的信风减弱，上涌海流减少，海流改变，以至于海面温度升高，信风进一步减弱。这一事件对赤道太平洋上空的风场、海面温度和降水型态产生很大影响，并且通过全球遥相关对整个热带太平洋**区域**和世界其它许多地区产生气候影响。ENSO的冷相位称为拉尼娜。

**排放情景**

一种关于对辐射有潜在影响的物质(如：**温室气体**，**气溶胶**)未来排放趋势的合理表述。它基于连贯的和内部一致的一系列有关驱动力(如：人口增长、社会经济发展、技术变化)及其主要相关关系的假设。从排放情景反演出的**浓度情景**用作**气候模式**的输入数据，以计算**气候预估**结果。见**SRES情景**。

**地方病的**

仅限于某个地区的或区域所特有的。关于人类健康，地方病可指一直流行于某些人口或某个地理区域的一种疾病或病源体。

**能源**

已完成的做工量或热量。能源分为多种类型，并且当能源从一个地方流到另一个地方或从一种类型转化成另一种类型时，对于达到人类的目的很有用。一次能源(也称能源)是自然资源(如煤、原油、天然气、铀)的能量，这类能源未经过任何人为转换。它通过清洁(天然气)、精炼(石油产品中的油)过

程，或通过转换为电或热而变成二次能源。当二次能源交付给终端使用设施时，称为最终能源(如：墙壁插座处的电)，即成为可用能源(如：照明)。每天，太阳供应大量的能量：如：雨、风、照射等。部分能源是储存在生物质或河流中，可供人类开发利用。有些能源可直接使用，如：日光、通风或环境热量。可再生能源是从持续或反复的能量中获取的，它存在于自然环境中，并包括非碳技术，如：太阳能、水力、风能、潮汐、海浪和地热，以及碳中性技术，如：生物质。物化能源是用于生产某种材料物质(如金属加工或建筑材料)的能源，同时考虑到用在制造设备的能源(零阶)以及用于生产制造设备使用的材料的能源(一阶)等。

**集合**

一组模式用于**气候预估**并行模拟。各集合成员模拟结果的差异可给出有关一个**不确定性的**估算。利用相同的模式进行集合多次运算，每次只采用不同的初始条件，这能够描述与内部**气候变率**相关的不确定性特征，而多模式集合，其中包括几个模式的模拟，也包括了有关模式差异的影响。扰动参数集合的目的在于对模拟不确定性作出比传统的多模式集合更客观的估算。在扰动参数集合中，模式的参数发生系统变化。

**流行病的**

发病率明显超出正常预期的突发的疾病，特指传染病，但也指任何其它疾病、伤害或与健康有关的事件的突然发生。

**平衡线**

**冰川**区域中冰物质的年净损失区(消融区)以及年净增加区(积累区)之间的边界线。该边界的高度称之为平衡线高度。

**水土流失**

土壤和岩石因风化、质量损耗以及河流、**冰川**、波浪、风和地下水的作用而失去和移至异地的过程。

**富营养化**

水体(常为浅水)中的可溶解养分变得(自然的或污染而造成)丰富并造成季节性溶解氧缺乏的过程。

**蒸发**

从液态变为气态的转变过程。

**蒸腾**

地球表面蒸发过程和植被水分蒸发的综合过程。

**外部强迫**

外部强迫指在**气候系统**之外引起气候系统变化的强迫因素。火山喷发、太阳变化和**人为改变大气成分**以及**土地利用变化**均属于外部强迫。

**灭绝**

某种物种在全球内整体消失。

**毁灭**

某个物种从其范围内部分消失；局部**灭绝**。

**极端天气事件**

极端天气事件是一种在特定地区和时间(一年内)的罕见事件。罕见的定义有多种,但极端天气事件的罕见程度一般相当于观测到的概率密度函数的10%或小于90%。根据定义,在绝对意义上,极端天气特征因地区不同而异。单一的极端事件不能简单地直接归因于**人为的气候变化**,因为总是有一个有限的机率:极端事件可能会自然发生。当一种极端天气型态持续一定的时间,如一个季节,它可归类于一个极端气候事件,尤其是如果该事件产生一个平均极值或总极值(如:一个季节的**干旱**或暴雨)。

**F.****反馈**

见**气候反馈**。

**食物链**

如果几个物种以彼此为食,则形成**营养-关系链**。见**食物网**。

**粮食安全**

人民有保障地获得足够数量的、安全的、营养的食物来维持正常生长、发展和积极而健康生活的一种状况。食物缺乏、购买力不足、分配不合理或家庭使用的食物不足等可能造成粮食不安全。

**食物网**

在涉及若干相互关联的**食物链**的**生态群落**中的**营养关系网**。

**强迫**

见**外部强迫**。

**森林**

以树林为主的植被类型。目前世界上关于森林的定义有多种,这些定义反映了地理生物条件、社会结构和经济的差异。特别是**《京都议定书》**采用的标准。关于森林的讨论以及相关的术语,如**造林**、**再造林**、和**毁林**,见《IPCC关于土地利用、土地利用变化和林业特别报告》(IPCC, 2000)。

**化石燃料**

由碳化石沉积形成的碳基燃料,包括煤、石油和天然气。

**《气候变化框架公约》**

见**《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)**。

**淡水透镜体**

在海岛下面的一个透镜式的淡水水体。咸水位于其上。

**冻土**

部分或全部空隙水已冻结的土壤或岩石。冻土包括**多年冻土**。每年都冻结后又融化的土层称为季节性冻土。

**G.****大气环流模式**

见**气候模式**。

**冰川湖**

由**冰川**融化的水形成的湖泊,或位于冰川的前方(所谓冰川前缘湖泊),或位于冰川的表面(冰上湖),或位于冰川内部(冰内湖)或位于冰床上(冰下湖)。

**冰川**

陆地冰体,受重力影响沿山坡向下流动(通过内部形变和/或在底基上滑动),并受到内部应力以及底基和山体两侧摩擦力的制约。冰川靠高处的积雪维持,并靠低处冰物质的融化或溢入海洋而达到平衡。见**冰物质平衡**。

**全球变暖**

全球变暖是指由于人为排放造成的辐射强迫的后果之一,观测到的或预估的全球表面温度呈逐渐上升的趋势。

**全球化**

通过数量和种类日益增多的商品和服务的跨境交易,国际资本的自由流动,以及技术、信息和文化更加快速广泛的传播,全世界各国变得更加一体化并具有相互依赖性。

**管理**

近几十年以来,为响应社会、经济和技术变化,认为政府的管理方式已发生变化。已有从民族国家严格定义的政府向更具包容性的管理概念相应转变,同时既承认各级(全球、国际、区域、当地)政府的贡献,也承认私营部门、非政府机构以及民间团体的作用。

## 温室效应

**温室气体**有效地吸收地球表面、**大气**自身(由于相同的气体)和云散射的热红外辐射。大气辐射朝所有方向散射,包括向地球表面的散射。温室气体将热量俘获在地表—**对流层**系统内。这称为“温室效应”。对流层中的热红外辐射与其散射高度上的大气温度强烈耦合。在对流层中,温度一般随高度的增加而降低。从某一高度射向空间的红外辐射一般产生于平均温度为-19℃的高度,并通过射入的净太阳辐射达到平衡,从而使地球表面保持在高得多的平均为+14℃的温度上。温室气体浓度的增加导致大气红外辐射浊度上升,从而导致有效辐射从温度较低但位势较高的高度逸入太空。这就形成了一种**辐射强迫**,因而导致温室气体效应增强,即所谓的“增强的温室效应”。

## 温室气体(GHG)

温室气体指**大气**中自然或**人为**产生的能够吸收并释放地表、大气和云反射的热红外辐射光谱特定波长辐射的气体成分。该特性导致**温室效应**。水汽(H<sub>2</sub>O)、**二氧化碳**(CO<sub>2</sub>)、**氧化亚氮**(N<sub>2</sub>O)、**甲烷**(CH<sub>4</sub>)和**臭氧**(O<sub>3</sub>)是地球大气中的主要温室气体。此外,大气中还有许多完全由人为产生的温室气体,如蒙特利尔协议所涉及的卤烃和其它含氯和含溴的物质。除CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>外,《**京都议定书**》将六氟化硫(SF<sub>6</sub>)、氢氟碳化物(HFC)和全氟化碳(PFC)定为温室气体。

## 国内生产总值(GDP)

国内生产总值(GDP)是一个国家产生的所有商品和服务的货币价值。

## 国民生产总值(GNP)

国民生产总值(GNP)是一个国家的经济所产生的全部商品和服务的货币价值,包括国内居民在国外的收入,但不包括外国人产生的收入。

## 总初级生产力

通过**光合作用**,由植物固化的碳总量。

## 地下水回灌

外部水进入**蓄水层**饱和区的过程,既可直接流入一个地层构造,也可通过另一个构造间接流入。

## H. 栖息地

一种特定植物、动物或一群密切相关的生物生存的地方或天然家园。

## 哈得莱环流

一种在**大气**中受热力驱动的直接翻转环流,它

包括**对流层**上层的极向气流,下沉后进入亚热带的反气旋,在近地表层作为信风的一部分开始回流,最终气流在赤道附近(即所谓的热带辐合带区)抬升。

## 草本

开花的非木本植物。

## 异养呼吸

通过除植物以外的有机物质将有机成分转换为**二氧化碳**。

## 全新世

全新世是指从11600年前至今的地质时代。

## 人类系统

指人类组织起主要作用的**系统**。经常但并不总是为‘社会’或‘社会系统’等术语的同义词,如农业系统、政治体系、技术系统、经济体系。

## 水分循环

在该循环中水分从海洋和地表蒸发,作为水汽被带入地球大气环流,凝结成云,又以雨或雪的形式落下,被树木和植被截获,在地表产生**径流**,渗入土壤,地下水回灌,流入河流中,最终流入大海,又从海洋再次蒸发(AMS, 2000)。涉及水分循环的各类系统通常被称作水文系统。

## 水文系统

见**水分循环**。

## 水圈

**气候系统**的一部分,它由海洋、河流、淡水湖、地下水等地上流体和地下水等组成。

## 下层滞水带

指湖泊中**温跃层**以下的部分,该部分由停滞的和温度基本均一的水组成,但翻转期的水除外。

## I.

### 冰帽

覆盖在高地上的、范围比**冰盖**小得多的穹状冰体。

### 冰盖

陆地冰体,其深度足以覆盖下面的大部分基岩地形,其形状主要取决于它的动力学过程(由于内部挤压形变引起冰体的流动和/或在基底上滑动)。冰盖从一个小的平均斜坡面上的冰覆盖高原中心向外流动。两侧边缘通常为陡坡,冰大都通过快速流动的**冰流**或溢出的**冰川**发生溢流,在某些情况下流入海洋或流入飘浮在海上的**冰架**。世界上当今仅存三大

冰盖, 一个位于格陵兰岛, 其余两个在 南极, 即: 被南极山脉分为东部和西部南极冰盖。在冰川期, 还有其它冰盖。

### 冰架

海岸延伸的、有相当厚度的、飘浮着的冰块(经常具有很大的水平范围或略为起伏的冰面); 通常存在于冰盖沿岸的海湾中。几乎所有的冰架在南极洲。

### (气候变化)影响

气候变化对自然系统和人为系统的影响。可分为潜在影响和剩余影响, 这取决于是否考虑适应。

- 潜在影响: 不考虑适应, 某一预估的气候变化所产生的全部影响。
- 剩余影响: 采取适应措施后, 气候变化仍将产生的影响。

另见市场影响和非市场影响。

### 土著人

国际上没有公认的有关土著人的定义。国际法以及被联合国机构通常用一些共同的特征来辨别土著人, 其中包括: 在地理独特的传统居住地和祖传地域及其自然资源; 保持文化和社会特征; 社会、经济、文化和政治制度与主流或主流社会和文化脱离; 人口群体的后裔居住在一个特定的地区, 通常在建立现代国家或领地以及在划定当前的边界之前业已存在; 自身独特性成为土著文化群体的一部分并有保护其独特文化的愿望。

### 间接气溶胶效应

气溶胶可通过作为云凝结核或通过改变云的光学特性和生命期, 对气候系统产生间接的辐射强迫效应。这一效应分为两种:

云反照率效应: 因人为气溶胶的增加而引起的辐射强迫。气溶胶使云滴增加, 但变小, 从而导致云反照率的增加。

云生命期效应: 人为气溶胶增加而引起得强迫。气溶胶造成云滴缩小, 降低了降水效率, 因而改变了液态水含量、云的厚度和云的生命期。

除了上述间接效应外, 气溶胶也许还有半直接效应。指通过具有吸收作用的气溶胶吸收太阳辐射, 使空气加热并趋于增加相对于地表的静力稳定性。这一效应也许还造成云滴的蒸发。

### 传染病

任何从一个人传给另一个人或者从动物传给人的由微生物引起的疾病。这些疾病可通过身体直接接触、触及沾染传染性生物的物体而发病, 或通过病原媒介物、污染的水、咳嗽或呼出到空气中的感

染的微滴进行传播而发病。

### 基础设施

一个组织、城市或国家的发展、运转和增长所必须的基础设备、设施、生产企业、装备和服务设施。

### 综合水资源管理(IWRM)

尚未对目前盛行的水资源管理概念作出明确的定义。IWRM以1992年在都柏林举行的国际水和环境大会制定的四项原则为基础: (1)淡水是一种有限而又脆弱的资源, 对维持生命、发展和环境是不可缺少的; (2)水资源的开发和管理应以参与途径为基础, 其中涉及各层面的用户、计划制定者和决策者; (3)妇女在提供、管理和保护水资源方面发挥主要的作用; (4)水在其所有的竞争性用途方面具有经济价值, 因此将水视为一种经济物品。

### 太平洋年代际震荡 (IPO)

也成为太平洋年代震荡(PDO)。见北太平洋指数。[有关更多细节, 见框3.4]

### 内部变率

见气候变率。

### 灌溉用水效率

灌溉用水效率指按单位灌溉用水所产生的生物质的量或果实产量, 通常是每使用100毫米的水产生大约1吨的干物质。

### IS92情景

见排放情景。

### 地壳均衡性

地壳均衡性指岩石圈和地幔对地表负荷变化做出的回弹响应。当岩石圈和/或地幔负荷因陆地冰质量、海洋质量、沉积作用、水土流失或造山运动发生变化而改变, 于是出现垂直地壳均衡调整, 以便达到适应新负荷的平衡。

## K.

### 京都议定书

《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)的《京都议定书》于1997年在日本京都召开的UNFCCC缔约方大会第三次会议上通过。该议定书包含了除UNFCCC之外的具有法律约束力的义务。议定书附件B中所列出的国家(多数为“经济合作和发展组织”的成员国和经济转型国家)同意减少人为温室气体(二氧化碳, 甲烷, 氧化亚碳, 氢氟碳化物, 全氟化碳和六氟化硫)的排放量, 在2008年至2012年的承诺期内排放量至少比1990年水平低5%。《京都议定书》于

2005年2月16日起生效。

## L.

### 拉尼娜

见 **厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)**。

### 土地利用和土地利用变化

土地利用是指某种土地覆盖类型上的所有安排、活动、和采取的措施(一整套人类行为)。该术语还指出于社会和经济目的所管理的土地(如放牧、木材开采和保护)。

土地利用变化指人类改变的土地利用和管理, 可导致土地覆盖的变化。土地覆盖和土地利用变化会对 **反照率**、**蒸腾**、**温室气体的源和汇**及 **气候系统**的其它性质产生 **辐射强迫**和/或影响局地或全球 **气候**。另见《IPCC关于土地利用、土地利用变化和林业的特别报告》(IPCC, 2000)。

### 填埋

指固体废弃物的填埋地点, 废弃物通常埋在地下, 堆放在地上或高于地表层。仅限于采用覆盖材料的、可控制的废弃物放置以及可对液体和气体进行管理的工程化填埋场地。不包括不可控制的废弃物处置。

### 山体滑坡

大量的物质受重力作用滑向山下, 通常当物质饱和时受水的推动; 大量的土壤、岩石或碎块沿斜坡向下快速移动。

### 递减率

一个大气变量的改变率, 通常温度随高度变化。当变量随高度减小时, 递减率为正。

### 潜热通量

从地球表面进入 **大气**的热通量, 与地表水蒸气的蒸发或凝结有关; 它是地表能量收支的一部分。

### 淋失

由于水在土壤中流动, 土壤元素或施撒的化学成分流失。

### 可能性

发生某个事件、后果或结果的可能性, 可按概率进行估算, 在本技术报告中用一个标准术语表述可能性, 并在框1.1中作了定义。另见 **不确定性**; **可信度**。

### 小冰期(LIA)

大约公元1400年至1900年之间的一段时期, 这

段时期北半球的温度普遍比现在低得多, 特别是在欧洲。

## M.

### 疟疾

由虐原虫(原虫)引起并由疟蚊类蚊子传播的地方性或流行性寄生虫病, 它导致高烧和全身功能紊乱, 全世界每年约有300万人感染并导致大约200万人丧生。

### 市场影响

能够按货币单位量化的 **影响**, 直接影响到 **国内生产总值**, 如: 一个国家的国内总收入), 如农业投入和/或物品的价格的变化。另见 **非市场影响**。

### (冰川、冰帽和冰盖的)冰物质平衡

冰物质增加(积累)与冰物质损失(消融、冰山的崩塌)之间的平衡。冰物质平衡这个术语包括以下内容:

**物质比平衡**: 在 **水分循环**周期内在 **冰川**表面某一点上冰物质的净损失或净增加。

**(冰川的)总物质平衡**: 物质比平衡按整个冰川面积进行空间积分后的量值; 在水分循环期内某个冰川增加或损失的总物质量值。

**平均物质比平衡**: 冰川单位面积的总物质平衡。如果确定了面积(面积比物质平衡等), 则不考虑冰流的贡献; 否则, 冰物质平衡还要包括冰流和冰山崩塌的贡献。面积比物质平衡值在积累区为正值, 在消融区为负值。

### 脑膜炎

脑膜(大脑覆盖物的一部分)发炎, 通常由细菌、病毒或真菌感染。

### 经向翻转环流(MOC)

海洋中纬向平均的经向(南-北向)翻转环流。在大西洋中, 此类环流向北输送相对温暖的上层海水, 同时向南输送相对寒冷的深层海水。湾流形成大西洋环流的一部分。

### 甲烷(CH<sub>4</sub>)

甲烷是《**京都议定书**》要求减缓的六种 **温室气体**之一。它是天然气的主要成分并与碳氢燃料、畜牧业和农业相关。煤层甲烷是一种存在于煤层中的气体。

### 千年发展目标(MDG)

在2000年联合国千年峰会上达成的一系列有时间限制的和可衡量的目标, 包括消除贫困、饥饿、

疾病、文盲、歧视妇女和环境退化等问题。

### 泥沼

由**泥炭**堆积而成的湿地。见**藓泽**。

### 减缓

旨在减少资源投入和单位产出排放的技术变化和替代方式。虽然一些社会、经济和技术政策可产生减排,但就**气候变化**而言,减缓则意味着落施有关减少**温室气体**排放并增加**汇**的各项政策。

### 季风

季风是热带及亚热带的季节性逆转的海面风和降水,它是大陆尺度的陆地及与其毗邻的海洋之间的热量差造成的。季风降雨主要发生在夏季的陆地上。

### 山区的

由位于亚高山带之下的相对潮湿、凉爽的上坡山地形成的地理生物带,其特征在低海拔处是混合的落叶植物而高海拔处则是松类常青植物。

### 发病率

人群中疾病发生或其它健康状况失调的比率,并考虑进特定年龄段的发病率。发病率指标包括慢性病的发病和患病、住院率、初期诊疗率、丧失能力天数(既不能工作的天数)和患病征兆等。

### 死亡率

人群中死亡发生率;死亡率的计算考虑特定年龄段人口的死亡比率并可由此获得预期寿命和过早死亡的度量。

## N.

### 净生态系统生产量 (NEP)

净生态系统生产量是同一区域内**生态系统中净初级生产量**与**异养呼吸**(大都指死亡有机物的分解)之间的差。

### 净初级生产量(NPP)

净初级生产量是同一区域内**初级生产总量**减去由自养**呼吸量**,即植物生长和维持新陈代谢过程之和。

### 氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)

它是《**京都议定书**》限制的六种**温室气体**之一。氧化亚氮的主要人为来源是农业(土壤和动物粪便管理),但是污水处理、化石燃料燃烧和化工流程也是重要的来源。氧化亚氮也从土壤和水中的多种生物源自然产生,特别是潮湿的热带森林中微生物

的活动。

### 无悔政策

无论是否发生**人为气候变化**,都可以产生净社会和/或经济效益的政策。

### 非政府组织(NGO)

为了实现特定的社会和/或环境目标,或为特定组织机构服务而在政治体制结构之外成立的非营利性团体或协会。

### 非线性

一个在因果之间没有简单比例关系的过程被称之为非线性过程。**气候系统**包含许多这类非线性过程,使该系统的变化规律变得非常复杂。

### 非市场影响

**影响生态系统**或人类福利的后果,但不易按货币表述,如增加过早死亡的风险,或增加面临饥饿的人数。另见**市场影响**。

### 北大西洋涛动(NAO)

北大西洋涛动包括冰岛和亚速尔群岛附近气压的相反方向变化。因此它相当于跨大西洋进入欧洲的主西风带强度的一次波动,因而也相当于隐嵌气旋及其相关锋面系统的波动。见WGI框3.4。

### 北太平洋指数(NPI)

北大西洋指数是指阿拉斯加湾上阿留申低压的平均海平面气压异常(30°N-65°N, 160°E-140°W)。它是**太平洋年代际震荡**的指数(页称为**太平洋年代际震荡**)。有关细节,见WGI框3.4。

## O.

### 油砂和油页岩

多孔疏松砂,含沥青材料的砂岩和页岩,可开采并转化为液体燃料。

### 雨养沼泽

一种酸性泥炭堆积而成的湿地,湿地上是雨水(而不是地下水)因此营养尤为匮乏。

### 臭氧(O<sub>3</sub>)

含三个氧原子的氧(O<sub>3</sub>),臭氧是一种气态**大气**成份。在**对流层**中,它既能自然产生,也能在人类活动(烟雾)中通过光化学反应产生。对流层臭氧是一种**温室气体**。在**平流层**中,通过太阳的紫外辐射与氧分子(O<sub>2</sub>)相互作用产生。平流层臭氧对于平流层辐射平衡具有决定性作用。其浓度在臭氧层最高。

## P.

**太平洋年代震荡(PDO)**

也称为**太平洋年代际震荡(IPO)**。见**北太平洋指数**。[WGI 框 3.4]

**太平洋—北美(PNA)型态**

一种大尺度大气波的类型，其特征是从亚热带西太平洋延至北美东海岸上空存在一个对流层高压和低气压距平的序列。[WGI 框3.4]

**泥炭**

泥炭是由死亡的植物腐烂后形成的，通常是泥炭藓类，其中只有部分由于一直淹没在水中以及由于有保存物质(如腐植酸)的存在才会分解。

**泥炭地**

典型的湿地，如缓慢地堆积**泥炭**的**泥沼**。

**百分位点**

一个百分位点是在100内的某个值，它表示在数据集各值中分别等于或小于该值的百分比。百分位点通常被用来估算一种分布的各种极值。例如，第90个(第10个)百分位点分别指极值的上限(下限)的阈值。

**多年冻土**

至少连续两年保持温度在0°C 或0°C 以下的土层(土壤或岩石并且包括冰和有机物)。另见**冻土**。

**pH值**

pH值是一个测定水(或任何溶液)酸度的无因次度量。纯净的水的pH值等于7。酸性溶液的pH值小于7，而碱性溶液的pH值大于7。pH值是根据对数标度进行测量。因此，pH值降低一个单位相当于氢离子酸度增加10倍。

**物候学**

研究周期性重复发生的自然现象(生长阶段和迁移)以及与**气候**和结节性变化的关系。

**光合作用**

植物从空气(或水中的碳酸氢盐)中吸收**二氧化碳**，产生碳水化合物，并释放出氧气的过程。有几种光合作用的途径，分别对大气中CO<sub>2</sub>浓度有不同的响应。另见**二氧化碳肥化作用**。

**浮游生物**

生活在水系上层的微生物。区别于浮游植物，因为浮游植物靠光合作用为其提供能量，而浮游生物是靠食浮游植物生存。

**政策**

在《**联合国气候变化框架公约**》(UNFCCC)中，政府采取或强制推行的各项政策，通常与本国的或其它国家的商业和工业结合起来，以加快落实**减缓**和**适应**措施。例如碳税或能源税、机动车的燃料效率标准等政策。通用的和协调一致的政策或和谐政策指缔约方联合采取的政策。

**初级生产**

植物完成的所有形式的生产，也称为初级生产者。另见**总初级生产量**，**净初级生产量**和**净生态系统生产量**。

**预估**

预估是一个量或若干量未来潜在的演变结果，通常借助于模式进行计算。预估与“预测”是有区别的，旨在强调预估涉及相关的假设，如：未来的社会经济发展和技术进步可能实现也可能不能实现，因此具有很大的**不确定性**。另见**气候预估**。

**代用资料**

一个**气候**指标的代用资料是利用物理学和生物学原理作出解释的记录，以表示过去与气候有关的某些综合变化。用这种方法反演的与气候有关的资料统称为代用资料。如花粉分析、树木年轮、珊瑚特征以及各种从冰芯中获取的资料。

## R.

**辐射强迫**

辐射强迫是由于**气候变化**的外部驱动因子发生变化，如：**二氧化碳**浓度或太阳辐射的变化等造成**对流层顶**净辐照度(向上辐射与向下辐射的差，单位用Wm<sup>-2</sup>表示)发生变化。用固定在未受扰动值上的所有**对流层**特性计算辐射强迫；若受到扰动，则在**平流层**温度重新调整到辐射动力平衡之后再行计算。在不考虑平流层温度变化的情况下，辐射强迫被称为瞬时强迫。在本技术报告中，辐射强迫被进一步定义为相对于1750年的变化，除非另有说明，它指一个总值和年平均值。

**草原**

非人工管理的草原、灌木地、**稀树大草原**和**苔原**。

**重现**

利用各**气候**指标来帮助确定(一般指过去)气候的状态。

**再造林**

在以前曾是森林，但已转作它用的土地上重新造林。关于**森林**和有关的一些术语，如**造林**、再造

林和**毁林**的讨论, 见《IPCC关于土地利用、土地利用变化与林业的特别报告》(IPCC, 2000)。

## 体征

体征指**气候系统**的最众状态, 通常代表气候变率中最突显的型态或气候变率模态的一个相位。

## 区域

一个区域指一个具有特定地理和气候特征的地域。一个区域的**气候**受区域和局域尺度强迫的影响, 如地形、**土地利用**特征、湖泊等, 它还受其它区域遥相关的影响。

## 水库

人造或自然的储存水的地方, 如湖、池塘或**蓄水层**, 可以从库中抽水用于灌溉和供水。

## 弹性

一个社会系统或生态系统吸收各种干扰的同时保持相同的基本结构和功能方式的能力, 自我组织的能力以及适应压力和变化的能力。

## 呼吸

生物体将有机物质转化为**二氧化碳**, 同时释放出能量并消耗氧分子的过程。

## 河岸的

涉及或居住或位于天然水道(如河流)的河岸或有时指湖泊或潮水的岸。

## 径流

降水中未蒸发和未蒸腾的部分, 但是在地表流动并重新成为水体的一部分。见**水分循环**。

## S.

### 盐渍化

土壤中盐分的积累。

### 盐水入侵

由于盐水密度较大, 地表淡水或地下水被入侵的盐水所取代。这一般发生在海岸带和河口地区, 因为陆地影响(如**径流**和相关地下水回灌减少, 或过量抽取蓄水层的水)减弱或海洋影响不断增强(如相对**海平面上升**)

### 稀树大草原

分布着灌木、零星树木或一个非常开放树冠的树木的热带或亚热带草原或林地生物群系, 其特征为干燥的(干旱、半干旱或半湿润)**气候**。

## 情景

一种关于未来如何发展的一种合理但通常简化

的描述, 它基于连贯的和内部一致的一系列有关驱动力和主要关系的假设。情景可从**预估**中反演, 但通常根据其它来源的补充信息。另见**SRES情景**、**气候情景**和**排放情景**。

## 海冰

海上因海水冻结后出现的任何形式的冰。海冰可能是被风或海流(积冰)移动的漂浮在海面上不连续的冰块(浮冰), 或与海岸联为一体的静止不动的冰体(陆缘固冰)。

### 海冰生物群系

由生活在极地海洋的漂浮海冰(冻结的海水)内部或上部的所有海洋生物组成的**生物群系**。

### 海平面变化/海平面上升

全球和区域海平面都能发生变化, 由于(1)洋盆形状改变, (2)海水总质量改变, (3)海水密度改变。在全球变暖情况下导致海平面上升的因素包括由于陆地冰雪融水引起海水总质量增加, 以及由于海水温度升高和盐度变化而引起海水密度变化。相对海平面上升是指海平面相对于陆地的局部上升, 这可能是由于海面上升和/或地面下沉所致。

### 海平面当量(SLE)

如果将一定量的水或冰加入海洋中或从海洋中取出, 全球平均海平面将发生的变化。

### 海面温度(SST)

海面温度是海洋表层几米内海面的主体温度, 是通过船只、固定浮标和漂移浮标测量的。船只使用的水采样桶测温于20世纪40年代大都被发动机入水口测温所取代。卫星运用红外线测量表层温度(最表层; 一毫米深度部分), 卫星也运用微波测量表层1厘米深度的温度, 但是必须进行调节, 以便具有与主体温度的可比性。

### 季节性冻土

见**冻土**。

### 半干旱区域

降雨量平均较低的区域, 这些区域生产力不高; 一般归类于**草原**。“平均较低”被普遍认为年降水量在100毫米到250毫米之间。见**干旱区域**。

### 敏感性

敏感性是指某个系统受**气候变率**或**变化**影响的程度, 包括不利的和有利的影影响。影响也许是直接的(如: 作物产量因响应平均温度、温度范围或温度变率而下降)或是间接的(如: 由于**海平面上升**, 沿海地区洪水频率增加所造成的破坏)。

## 固化

在陆地或海洋**库**中的碳储存。生物固化包括通过**土地利用变化、造林、再造林、填埋**中的碳存储以及加强农业土壤碳吸收的做法直接清除大气中的CO<sub>2</sub>。

## 造林学

**森林**的培育、发展和养护。

## 汇

从**大气**中清除**温室气体、气溶胶**或其前体物质的任何过程、活动或机制。

## 积雪场

融化缓慢的积雪的季节性积累。

## 雪水当量

如果某个特定雪体或冰体融化可产生的同等容量/质量的水。

## 土壤湿度

储存在土壤中或地表的**蒸发**的水分。

## 源

源通常是指任何向**大气**中释放**温室气体、气溶胶**或其前体物质的过程、活动和机制。源还可指，例如一种**能源**。

## 南方涛动指数 (SOI)

见**厄尔尼诺—南方涛动**。

## 空间和时间尺度

**气候**可在一个大的空间和时间尺度范围内发生变化。空间尺度的范围可从局域尺度(小于10万平方公里)，至区域尺度(10万至1000万平方公里)，乃至大陆(1000万至1亿平方公里)不等。时间尺度可从季节尺度至地质年代(可长达几亿年)不等。

## SRES情景

由Nakićenović和Swart(2000在)制定的并得到采用的“排放情景特别报告”的**排放情景**，并在《第四次评估报告》等报告中采用，作为**气候预估**的基础。下面一些相关术语有助于更好地理解SRES情景组的结构和使用：

- **情景族**：具有相似的人口统计、社会、经济、技术变化的情节的情景组合。四个情景族构成了SRES情景组合：A1，A2，B1和B2。
- **解释性情景**：针对Nakićenović和Swart(2000年)的决策者摘要中的6组情景的每一组做出解释的一个情景。包括分别针对A1B，A2，B1和B2情

景组的四个修订的情景标志 和针对A1FI和A1T组的两个附加情景。所有情景组均同样可靠。

- **标志情景**：最初以草案形式贴在SRES网站上的一种情景，以代表一个给定的情景族。标志的选择是根据初始量化最佳地体现出情节以及特定模式的特征。标志的可能性不会超过其它情景，但这些标志被SRES编写组视为对某个特定情节具有解释性。标志经修改后纳入Nakićenović和Swart的报告中(2000年)。这些情景受到整个编写组的最仔细审查并在经历了SRES的开放评审过程。还选择了一些情景，以解释其它两个情景组。
- **情节**：对一个情景(或情景族)的叙述性描述，以突出情景的主要特征和关键驱动力与演变动力之间的关系。

## 利益攸关方

在一个项目或实体中，具有合法利益或会受到某个特定行动或**政策**影响的任何个人或组织。

## 风暴潮

由于极端气象条件(低气压或强风)在某一特定地点引起的海水高度暂时上升。风暴潮被定义为在该时间和地点超出了预期的潮汐水位。

## 风暴路径

最初，这个术语指单个气旋天气系统的路径，但现在一般指由于有了一系列低气压(气旋)和高气压(反气旋)系统因而才出现热带扰动主要路径的**区域**。

情节

对一个情景(或情景族)的叙述性描述，以突出情景的主要特征和关键驱动力与演变动力之间的关系。

## 平流层

**大气**中**对流层**之上较高的层结区，其高度从10公里(高纬度约为9公里，热带地区平均为16公里)处一直向上延伸至50公里左右。

## 流量

河道中的水流量，以米/秒为单位。同义词为河流量。

## 补贴

为实施政府希望鼓励的做法，政府直接支付给某个私营实体的款项，或减免税收。通过减少那些因增加排放而产生温室气体效应的现有补贴，例如对化石燃料利用的补贴，或给减排增汇(如隔热建筑或植树)的活动提供补贴，以激励减少**温室气体排放**。

**多肉植物**

多肉植物如仙人掌，它们具有储水的器官因此可在**干旱**的条件下生存。

**可持续发展**

满足当代人的文化、社会、政治和经济需求，而不危及后代满足他们自己需求能力的发展。

**T.****针叶林带**

毗邻北极**苔原**的**北方森林**最北端的地带。

**技术**

实际应用知识，通过技术手段(硬件、仪器)和(社会)信息(‘软件’，生产技能和制造物)完成各项特定的任务。

**遥相关**

广泛分布在世界各地的**气候变化**之间的关联性。在物理意义上，遥相关通常是大尺度波运动的结果，而在波运动中能量从各源区出发沿众值突显的路径在**大气**中转移。

**热膨胀**

与**海平面上升**有关，它指由于海水变暖所产生的体积增加(密度减小)。海洋增温导致海洋体积的膨胀，从而使海平面升高。见**海平面变化**。

**温跃层**

在世界海洋中的区域，通常在1公里的深度，在这个区域温度随着深度快速下降，它代表地表与海洋之间的边界。

**温盐环流(THC)**

海洋中的大尺度环流，即：低密度上层海水向较高密度的中层及深层海水输送的并将这些海水在带回海洋上层。这种环流是非对称的，它在高纬度有限区域转换为密度高水并返回海面，这涉及跨大尺度地理区域的缓慢上涌过程和扩散过程。温盐环流受到表层或邻近表层高密度水驱动，而密度本身是低温和/或高盐度造成的，但尽管其通用名称表达了上述含义，它也受到由机械力驱动，如：风和潮汐。通常，温盐环流被作为**经向翻转环流(MOC)**的同义词。

**冰融喀斯特**

起伏不平的地形，布满浅坑、波伏地和经常灌满水洼地(水塘)，这是由于地下冰或**多年冻土**融化而形成的。冰融喀斯特过程是受变暖驱动的过程，最终形成这一地貌。

**阈值**

一个系统过程所达到的变化强度水平，在这一水平上会发生突然或快速的变化。当达到一点或水平时，生态、经济或其它系统中出现新的特性，使建立在适用于较低水平的数学关系基础上的预测失效。

**蒸腾**

通过气孔从植物叶片表面**蒸发**的水气。见**蒸腾**。

**趋势**

在本报告中，“趋势”指一种变化，一般是某个变量值随时间的单一变化。

**营养关系**

当一种物种以另一种物种为食时产生的生态关系。

**对流层**

**大气**的最低部分，在中纬度地区，从地面至海拔约10公里高处(高纬度为9公里，热带地区平均为16公里)，云和天气现象均发生于其中。对流层内，温度随高度的增加而降低。

**苔原**

北极和亚北极地区的无树的、平坦的或略微起伏的平原，其特征是低温和短生长季节。

**U.****不确定性**

对于某一变量(如未来**气候系统**状况)未知程度的表述。不确定性可源于缺乏有关已知或可知事物的信息或对其认识缺乏一致性。主要来源有许多，如从资料的可量化误差到概念或术语定义的含糊，或者对人类行为的不确定**预估**。因而，不确定性能够量化(如不同模式计算值的一个变化范围)或进行定性描述，如体现一个专家组的判断。另见**可能性；可信度**。

**联合国气候变化框架公约(UNFCCC)**

该公约于1992年5月9日在纽约通过，并在1992年里约热内卢召开的地球峰会议上，由150多个国家以及欧共体共同签署。其最终宗旨是“将大气中温室气体浓度稳定在一个水平上，使气候系统免受危险的人为干涉”。公约包括所有缔约方的承诺。在该公约下，附件一中的缔约方(所有OECD国家及经济处于转型的国家)的共同目标是在2000年前将未受**蒙特利尔议定书**控制的**温室气体**排放量恢复到1990年的水平。该公约1994年3月生效。另见**京都议定书**。

## 城市化

将土地由自然状态或经管理的自然状态(如农业)转变为城市; 这是一个受从农村向城市净移民驱动的过程, 在此过程中, 任何一个国家或区域的越来越高比例的人口逐渐居住到被定义为市中心的聚居地。

## V. 传病媒介

能将病菌由一个寄主传给另外一个寄主的一种生物, 如某种昆虫。

## 传病媒介传播的疾病

由作为传病媒介的生物(如蚊子和扁虱)在寄主之间传播的疾病, 如疟疾、登革热和利什曼病。

## 脆弱性

脆弱性是指某个系统易受到**气候变化**(包括**气候变率**和极端气候事件)的不利影响, 但却没有能力应对不利影响的程度。脆弱性随一个系统所面临的气候变化和变异的特征、幅度和速率、**敏感性**及其**适应能力**而变化。

## W. 水耗量

在用水过程中不可避免的水损耗量(蒸发和商品生产)。水耗量等于抽水量减去回流量。

## 用水安全

足够数量和质量可靠的供水, 来维持人类健康、生计、生活和环境。

## 缺水压力

如果相对于抽水量而言一个国家可用淡水供应量对发展构成重要限制, 该国则面临缺水压力。抽水量超过可用水量的20%作为缺水压力的一项指标。

如果土壤中作物可用水量和实际**蒸腾量**小于潜在蒸腾需求量, 作物则受到缺水压力。

## 水分利用效率

在**光合作用**下按**蒸腾**过程中单位水分损失量计算的碳增加量。短期可以表示为每个单位水分蒸腾损失量的在光合作用下碳增加率, 或在季节时间尺度上可以表示为**净初级生产力**或农业产量与可用水量之比。

## 湿地

一种过渡性、经常涝的、排水差的土壤区域, 通常介于水生生态系统和陆地**生态系统**之间; 靠雨水、地表水或地下水补给。湿地的特征是分布着适合在饱和土壤条件下生存的植被。

## 参考文献:

- AMS, 2000: *AMS Glossary of Meteorology*, 2nd Edition. American Meteorological Society Boston, MA. <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse>.
- Heim, R.R., 2002: A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 83, 1149-1165.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000: *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo and D. J. Dokken, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 375 pp.
- IUCN, 1980: *The World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development*. IUCN/UNEP/WWF, Gland.
- Nakićenović, N. and R. Swart, Eds., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, 599 pp.

## 附录3: 缩略语、化学符号、科学计量单位

### 3.1 缩略语和化学符号

ACIA	北极气候影响评估	NAO	北大西洋涛动
AIDS	获得性免疫缺陷综合症	NASA	美国国家航空航天局
AMO	大西洋年代际震荡	NGO	非政府组织
AOGCM	大气海洋环流模式	NH	北半球
AR4	第四次评估报告 (IPCC)	OECD	经济合作与发展组织
ARD	造林、再造林和毁林	PCBs	多氯联苯
CCS	碳捕获和封存	PDO	太平洋年代震荡
CDM	清洁发展机制	PDR	人民共和国
CH <sub>4</sub>	甲烷, 见术语表	PDSI	帕默尔干旱指数
CO <sub>2</sub>	二氧化碳, 见术语表	pH	见术语表中的术语pH
CRU	气候研究组	PNA	太平洋-北美形态
DJF	十二月、一月、二月	ppm	百万分之几, 见附录3.2
ECLAC	拉丁美洲和加勒比地区经济委员会	PREC/L	陆地降水重建
ENSO	厄尔尼诺-南方涛动	PSA	太平洋-南美型态
EROS	地球资源观测和科学	SAM	南方环状模态
ES	执行摘要	SAR	第二次评估报告 (IPCC)
EU	欧盟	SD	标准差
FAO	粮食和农业组织	SI	适宜性指数
FAQ	常问的问题	SIDS	小岛屿发展中国家
FAR	第一次评估报告 (IPCC)	SLE	海平面当量
GCM	大气环流模式	SM	辅助材料
GDP	国内生产总值	SOI	南方涛动指数
GHCN	全球历史气候网络	SPCZ	南太平洋辐合区
GHG	温室气体	SPM	决策者摘要
GLOF	冰川湖崩决洪水	SRES	排放情景特别报告
GNP	国民生产总值	SST	海面温度
GPCC	全球降水气候中心	SWE	雪水当量
GPCP	全球降水气候项目	SYR	第四次评估报告综合报告 (IPCC)
HABs	有害藻华	TAR	第三次评估报告 (IPCC)
HIV	人类免疫缺陷病毒	TS	技术摘要
IIASA	国际应用系统分析研究所	UK	英国
IPCC	政府间气候变化专门委员会	UN	联合国
IPO	太平洋年代际震荡	UNDP	联合国开发计划署
IUCN	国际自然和自然资源保护联盟 (世界自然保护联盟)	UNFCCC	联合国气候变化框架公约
JJA	六月、七月、八月	UNICEF	联合国儿童基金会
LIA	小冰期	US\$	美元
LULUCF	土地利用、土地利用变化和林业	USA	美国
MARA/ARMA	非洲疟疾风险图	WCP	世界气候计划
MDG	千年发展目标	WGI	IPCC第一工作组
MOC	经向翻转环流	WGII	IPCC第二工作组
N <sub>2</sub> O	氧化亚氮, 见术语表	WGIII	IPCC第三工作组
NAM	北方环状模态	WHO	世界卫生组织
		WSP	饮水安全计划

## 3.2 科学计量单位

SI (国际计量体系) 单位					
物理量	单位名称		符号		
长度	米		m		
质量	公斤		kg		
时间	秒		s		
热力学温度	开氏度		K		
能量	焦耳		J		
分数和倍数					
分数	前缀	符号	倍数	前缀	符号
$10^{-1}$	deci	d	10	deca	da
$10^{-2}$	centi	c	$10^2$	hecto	h
$10^{-3}$	milli	m	$10^3$	kilo	k
$10^{-6}$	micro	$\mu$	$10^6$	mega	M
$10^{-9}$	nano	n	$10^9$	giga	G
$10^{-12}$	pico	p	$10^{12}$	tera	T
$10^{-15}$	femto	f	$10^{15}$	peta	P
$10^{-18}$	atto	a	$10^{18}$	exa	E
非国际计量单位、量和相关缩略语					
$^{\circ}\text{C}$	摄氏度( $0^{\circ}\text{C} = \text{大约}273\text{ K}$ ): 温度差也用 $^{\circ}\text{C}$ ( $=\text{K}$ ) 来表示, 而不是更正确的形式“摄氏度”				
ppm	混合比 (温室气体浓度度量单位): 容量的百万分之几(106)				
watt	功率或辐射通量: 1 瓦特= 1焦耳 / 秒= 1公斤平方米 /秒 <sup>3</sup>				
yr	年				

## 附件4: 作者名单

---

**Bates, Bryson**

联邦科学与工业研究组织  
澳大利亚

**Kundzewicz, Zbigniew W.**

波兰科学院，波兰以及  
波茨坦气候影响研究所，德国

**吴绍洪**

中国科学院  
地理科学与资源研究所  
中国

**Arnell, Nigel**

里丁大学沃克尔气候系统研究所  
英国

**Burkett, Virginia**

地质调查局  
美国

**Döll, Petra**

法兰克福大学  
德国

**Gwary, Daniel**

迈杜古里大学  
尼日利亚

**Hanson, Clair**

英国气象局哈得莱中心  
英国

**Heij, BertJan**

博根达科学通信  
荷兰

**Jiménez, Blanca Elena**

墨西哥国立大学  
墨西哥

**Kaser, Georg**

因斯布鲁克大学  
奥地利

**Kitoh, Akio**

日本气象厅  
日本

**Kovats, Sari**

伦敦卫生与热带医学院  
英国

**Kumar, Pushpam**

利物浦大学  
英国

**Magadza, Christopher H.D.**

津巴布韦大学  
津巴布韦

**Martino, Daniel**

卡博苏尔咨询公司  
乌拉圭

**Mata, Luis José**

南北发展研究中心  
德国/委内瑞拉

**Medany, Mahmoud**

农业气候中心实验室  
埃及

**Miller, Kathleen**

国家大气研究中心  
美国

**Oki, Taikan**

东京大学  
日本

**Osman, Balgis**

环境与自然资源高等理事会  
苏丹

**Palutikof, Jean**

英国气象局哈得莱中心  
英国

**Prowse, Terry**

加拿大环境部和维多利亚大学  
加拿大

**Pulwarty, Roger**

NOAA/CIRES/气候诊断中心  
美国/特里尼达和多巴哥

**Räsänen, Jouni**

赫尔辛基大学  
芬兰

**Renwick, James**

国家水和大气研究所  
新西兰

**Tubiello, Francesco Nicola**

哥伦比亚大学  
美国/国际应用系统分析研究所/意大利

**Wood, Richard**

英国气象局哈得莱中心  
英国

**赵宗慈**

中国气象局  
中国

**Arblaster, Julie**

国家大气研究中心, 美国以及  
澳大利亚气象局, 澳大利亚

**Betts, Richard**

英国气象局哈得莱中心  
英国

**Dai, Aiguo**

国家大气研究中心  
美国

**Milly, Christopher**

美国地质调查局  
美国

**Mortsch, Linda**

加拿大环境部  
加拿大

**Nurse, Leonard**

西印度群岛大学, 洞窟山校园  
巴巴多斯

**Payne, Richard**

澳大利亚西澳州农业部  
澳大利亚

**Pinkswar, Iwona**

波兰科学院  
波兰

**Wilbanks, Tom**

橡树岭国家实验室  
美国

## 附件5: 评审人员名单

---

**Andressen, Rigoberto**

洛斯安第斯大学  
委内瑞拉

**Asanuma, Jun**

筑波大学  
日本

**Bandyopadhyay, Jayanta**

印度管理学院  
印度

**Bayoumi, Attia**

埃及水资源与灌溉部  
埃及

**Bergström, Sten**

瑞典气象水文研究所  
瑞典

**Bernstein, Leonard**

国际石油工业环境保护协会  
英国

**Bidegain, Mario**

乌拉圭

**Bojariu, Roxana**

国家气象局  
罗马尼亚

**de Loë, Rob**

圭尔夫大学  
加拿大

**Diaz Morejon, Cristobel Felix**

古巴科技与环境部  
古巴

**Elgizouli, Ismail**

环境与自然资源高等理事会  
苏丹

**Fobil, Julius**

加纳大学，勒贡  
加纳

**Folland, Chris**

英国气象局哈得莱中心  
英国

**Gallart, Francesc**

高等研究委员会  
西班牙

**Gerten, Dieter**

波茨坦气候影响研究所  
德国

**Gillett, Nathan**

东安格利亚大学  
英国

**Ginzo, Héctor**

阿根廷外交部  
阿根廷

**Grabs, Wolfgang**

世界气象组织  
瑞士

**Hatfield, Jerry**

美国农业部  
美国

**Jacob, Daniela**

马克斯·普朗克气象研究所  
德国

Jacobs, Katharine  
亚利桑那大学  
美国

Jeffrey, Paul  
克兰菲尔德大学  
英国

Jouzel, Jean  
皮埃尔-西蒙·拉普拉斯研究所  
法国

Byung-bok, Jin  
环境管理公司  
韩国

Kadaja, Jüri  
爱沙尼亚农业研究所  
爱沙尼亚

Kaser, Georg  
因斯布鲁克大学  
奥地利

Kimball, Bruce  
美国农业部  
美国

Knutson, Thomas  
普林斯顿大学  
美国

Komen, Gerbrand  
荷兰皇家气象研究所  
荷兰

Kotwicki, Vincent  
科威特科学研究院  
科威特

Lal, Murari  
气候、能源和可持续发展中心  
印度

Lapin, Milan  
柯美纽斯大学  
斯洛伐克

Leon, Alejandro  
智利大学  
智利

刘春蓁  
水利部  
中国

Mares, Constantin  
罗马尼亚技术科学研究院  
罗马尼亚

Mares, Ileana  
罗马尼亚技术科学研究院  
罗马尼亚

Mariotti, Annarita  
国家新技术、能源和环境厅  
意大利

Morgenschweis, Gerd  
水资源管理  
德国

Müller, Lars  
气候战略  
欧盟 (德国)

Momodou, Njie  
蓝金方案咨询公司  
冈比亚

Noda, Akira  
全球变化前沿研究中心  
日本

Parry, Martin  
IPCC第二工作组联合主席  
英国

Ragab, Ragab  
生态和水文中心  
英国

任国玉  
国家气候中心  
中国

Robock, Alan  
鲁特格斯大学  
美国

Roy, Rene  
气候变化问题乌兰诺斯集团  
加拿大

Savard, Martine M.  
加拿大国家自然资源部  
加拿大

Schipper, Lisa  
国立朱拉隆功大学  
泰国

Şen, Zekai  
伊斯坦布尔理工大学  
土耳其

Sherwood, Steve 耶鲁大学  
美国

Shim, Kyo-moon  
国家农业科学技术研究所  
韩国

Sorooshian, Soroosh  
加州大学欧文分校  
美国

Szolgay, Jan  
斯洛伐克理工大学  
斯洛伐克

Tabet-Aoul, Mahi  
人类学社会与文化研究  
中心(CRASC)  
阿尔及利亚

Trenberth, Kevin  
国家大气研究中心  
美国

van Walsum, Paul  
瓦格宁根大学研究中心  
荷兰

Wojciech, Majewski  
波兰气象和水管理研究所  
波兰

Wratt, David  
国家水与大气研究所  
新西兰

Wurzler, Sabine  
北莱茵-威斯特法伦州自然、环境和  
消费者保护厅  
德国

Yabi, Ibouaïma LECREDE/DGAT/FLASH/UAC  
贝宁共和国

赵宗慈  
中国气象局  
中国



## 附件6: 再版许可

---

已获得以下版权持有人的出版许可:

**图3.2:** 承蒙Petra Döll许可再版。

**图3.3:** 承蒙Lehner, B和共同作者许可再版, 2005年: 估算全球变化在欧洲对洪水和干旱影响的风险: 大陆综合评估, 《气候变化》, 75, 273-299, 承蒙施普林格出版社和商业媒体许可再版。

**图4.1(a):** 摘自Fischer, G.和共同作者, 2002年: 21世纪农业全球农业生态评估报告: 方法和结果, 研究报告RR-02-02, 国际应用系统分析研究所(IIASA), 奥地利拉克森堡。承蒙IIASA许可再版。

**图5.1:** 承蒙麦克米伦出版有限公司许可再版, 《自然》: O'Reilly, C.M.和共同作者, 2003年: 气候变化降低了非洲坦噶尼喀湖水生生态系统生产率, 《自然》, 424, 766-768, 2003年版权所有。

**图5.3:** 摘自Hemp, A., 2005年: 气候变化驱动的森林火灾使乞力马札罗山冰帽损耗的影响边缘化, 《全球变化生物学》, 11, 1013-1023。承蒙布莱克威尔出版有限公司许可再版。

**图5.4:** 摘自Arnell, N.W., 2006b: 气候变化和水资源: 全球视角, *避免危险的气候变化*, 167-175。H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakićenović, T. Wigley和G. Yohe, Eds., 剑桥大出版社, 剑桥。承蒙剑桥大学出版社许可再版。

**图5.8 (a):** 摘自Haylock, M.R. 和共同作者, 2006年: 1960-2000年南美总降雨量和极端降雨事件的趋势及其与海面温度的联系, 《气候杂志》, 19, 1490-1512。承蒙美国气象学会许可再版。

**图5.8(b):** 摘自Aguilar, E.和共同作者, 2005年: 中美洲和南美洲北部降水和温度极端事件的变化, 1961-2003年, 《地球物理研究杂志》, 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119。美国地球物理学会版权所有(2005年)。承蒙美国地球物理学联合会许可再版。

**图 5.12:** 摘自Smith, L.C.和共同作者, 2005年: 正在消失的北极湖泊, 《科学》, 308, 1429。承蒙美国科学进步协会许可再版。



# 索引

注：粗体的页码表示页码跨度整个章节。斜体的页码是指表、图和框内的材料。

## A

**适应**, 4, 48-51

自发的, 48, 63

实例, 50

限制, 49

减缓, 潜在的冲突, 124

有计划的, 48-49, 63

供方和需求方的选择, 48, 49

对可持续发展的影响, 130

减少脆弱性, 49

另见减缓

**适应、脆弱性和可持续发展**, 125-131

非洲, 50, 85

农业, 63-67

亚洲, 88-90

澳大利亚和新西兰, 50, 92-93, 92

经济、保险、旅游、工业和交通, 75

欧洲, 50, 95-96

人类健康, 69

拉丁美洲, 50, 100-102, 101

北美洲, 50, 104-106

极地区域, 50, 109

居住地与基础设施, 74

小岛屿, 50, 110, 111-113

供水与卫生, 71-73

**气溶胶过程**, 15

**造林**, 4, 59, 118, 120-121

**非洲**, 79-85, 128-129

适应和脆弱性, 50, 85

当前的观测, 79-81, 79-80

**森林生态系统**, 60

乞力马扎罗山, 82

湖泊和河流, 36, 129

牧民应对策略, 64

降水, 16, 25, 59

预估的变化, 81-85, 128-129

径流, 21-22, 35

脆弱性, 66, 128

**农业**, 59-67, 128

适应、脆弱性和可持续发展, 63-67

生物技术, 65, 65

农田排水, 123, 123

农田管理(减少耕作) 118, 120, 122-123

农田管理(水), 118, 120

农作物, 61-62

化肥使用, 10, 120

强化, 120

灌溉用水需求, 4, 10, 61, 62, 128

减缓措施与水, 118, 120

模拟, 59

观测, 60, 61

预估, 60-63, 128

秸秆还田, 122-123, 123

水管理和温室气体排放, 123

水质, 影响, 10

另见农业: 区域方面; 灌溉

**农业: 区域方面**

非洲, 81, 83, 84

亚洲, 87, 88

澳大利亚和新西兰, 91

欧洲, 95

拉丁美洲, 97, 100

北美洲, 103-104

小岛屿, 111

**农林业**, 119

**藻华**, 56, 68, 71

**高山带生态系统**, 58

**两栖动物**, 55, 58, 98

**环状模态**, 22-23, 31

**水产养殖**, 66

**干旱和半干旱区域**

- 观测到的变化, 38
- 预估的变化, 62, 127, 128
- 脆弱性, 3, 127
- 另见干旱

**亚洲, 85-90, 129**

- 适应和脆弱性, 50, 88-89
- 洪水, 37, 86
- 冰川, 86, 86, 129 湖泊和河流, 36
- 观测到的影响, 85-87
- 降水, 16, 25
- 预估的影响和脆弱性, 87-88, 129
- 径流, 20, 29, 45-46
- 供水, 43, 129

**气候变化的归因 15, 16-17****澳大利亚和新西兰, 90-94, 129**

- 适应和脆弱性, 50, 92-93, 92
- 干旱, 38, 66
- 地下水, 36
- 基础设施, 129
- 观测到的变化, 90-91, 90
- 降水, 16, 59
- 预估的变化, 91-92, 129

**B****生物能作物, 4, 117-119, 118****生物多样性, 55, 128**

- 非洲, 81, 84-85, 84
- 亚洲, 87
- 澳大利亚和新西兰, 91-92
- 欧洲, 95
- 拉丁美洲, 97-98, 100
- 北美洲, 104
- 极地地区, 108
- 小岛屿, 111

**生物燃料, 66****生物地球化学反馈, 24****生物质发电, 118, 119****生物技术, 65, 65****建筑物, 74, 118, 119****C****弯曲菌病, 68****碳循环, 反馈, 24****二氧化碳和水动力学, 60**

- 另见温室气体(GHG)排放

**二氧化碳捕获和封存(CCS), 117-123, 118****二氧化碳肥化, 58****碳汇, 24****加勒比地区, 25, 110**

- 另见小岛屿

**恰卡塔雅冰川, 35, 99****气候**

- 响应的复杂性, 15
- 反馈与水分循环, 15, 23-24
- 模式 (见气候模式)
- 观测到的变化, 15-23
- 预估的变化, 24-31
- 变率, 大尺度型态, 22-23, 31

**气候变化, 13-31**

- 其它压力的加剧, 4, 130
- 归因, 15, 16-17
- 对可持续发展的影响, 47, 125-131
- 对水资源的影响, 35-47, 47, 125-131
- 减缓措施 (见减缓)
- 另见气候变化与水资源的联系

**气候变化与水, 5-11**

- 背景、范围和背景, 7-11
- 与气候相关的淡水系统的驱动因子, 24-31, 38-43
- 气候变化与水资源的联系, 33-51
- 负面影响与效益, 全球, 3, 127
- 观测到的变化, 8-9, 35-38
- 预估的变化, 38-48
- 不同区域的预估影响, 77-113, 128-130
- 不同行业的预估影响, 59-74, 127-128
- 不同系统的预估影响, 55-58
- 摘要, 1-4

**气候模式, 3, 24-31, 48, 179**

- 多模式概率方法, 26-27, 48
- 观测需求, 135
- 预估, 24-31, 135-136
- 情景/情节, 9-10, 10, 24

**海岸带地区**

- 未来的影响, 43, 57-58, 128
- 人类居住地与基础设施, 73, 74

**科罗拉多河流域, 51, 51, 105****哥伦比亚河流域, 106****可信度水平. 见不确定性****成本与社会经济方面, 45-47, 74-75****冰冻圈**

- 观测到的变化, 3, 19-20, 19-20, 35
- 预估的变化, 27-28

隐孢子虫病, 68, 71

气旋, 热带

观测到的变化, 17-18

预估的变化, 27, 31, 41, 103

## D

水坝

修建和退役, 9-10, 136

温室气体排放, 4, 122, 123, 130

蓄水, 10

毁林, 23, 59, 61

可避免/减少, 118, 121

三角洲, 预估的影响, 57, 99, 128

咸水淡化, 10, 46, 72, 130

温室气体排放, 123, 124

饮用水质量, 45, 67-68, 72

干旱

100年一遇的发生频率, 预估, 42

人类健康, 68

观测到的变化, 37, 38, 39

预估的变化, 26-27, 41-42, 42-43, 127

另见具体区域

干旱地区. 见干旱和半干旱区域

沙尘暴, 68

## E

经济增长, 用水及, 9

经济, 74-75

生态系统, 55-58, 127-128

埃及, 农业, 83, 84

厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO), 22, 31, 85

能源

非洲, 80, 82

亚洲, 88

澳大利亚和新西兰, 91

欧洲, 95

基础设施, 74

拉丁美洲, 96, 98

减缓措施与水, 118

北美洲, 103

小岛屿, 111

水管理与温室气体排放, 123

ENSO. 见厄尔尼诺-南方涛动

侵蚀, 土壤, 43, 57

欧洲, 93-96, 129

适应和脆弱性, 50, 95-96

干旱, 38, 94-95, 94

洪水, 灾害预估, 46

热浪 2003, 38

山地生态系统, 58

观测到的变化, 93, 93

降水, 25, 42, 59

预估的变化, 29, 42, 93-95, 129

径流, 21-22, 29, 35, 45, 129

面临缺水压力的地区, 129

蒸腾

反馈, 23

观测到的变化, 20-21

预估的变化, 25-26, 27, 29

灭绝, 55, 56-57, 84, 91, 98, 128

另见生物多样性

## F

气候和水分循环的反馈, 23-24

排放与汇, 24

地表效应, 23

海洋环流, 24

渔业, 62-63, 66, 130

适应战略, 64

湄公河流域实例, 63

洪水

未来影响的成本, 46, 75

在欧洲, 94-95, 94

100年一遇的洪水发生频率, 预估, 41

人类健康及, 68

对交通和基础设施的影响, 73-74

保险, 75

观测到的变化, 37-38, 37

预估的变化, 26, 41-42, 41, 127

粮食供应/安全, 3, 59, 60-63, 65-66

森林/林业, 59-60, 60, 128

适应战略, 64-65

农林业, 119

生物技术, 65, 65

变为农田, 117

生态系统, 58

减缓措施与水, 118

冻土

观测到的变化, 19, 19, 35, 107

预估的变化, 27-28, 43, 108, 130

未来研究需求, 4, 133-137

## G

甘戈特里冰川, 86, 86

知识空白, 4, 133-137

地热能源, 118, 119

温室气体排放, 123, 124

冰湖崩决洪水 (GLOF), 20, 35, 68

防御项目, 88, 89

## 冰川

亚洲, 45, 86, 86, 129

恰卡塔雅冰川, 35, 99

欧洲, 129

拉丁美洲, 35, 97, 99, 129-130

观测到的变化, 19-20, 19-20, 35, 97

预估的变化, 28, 43, 129

草原, 58, 62

## 温室气体(GHG) 排放

水力发水坝, 4, 122, 123, 130

水管理政策, 122-124, 123

## 地下水

减缓措施, 118

观测到的变化, 9, 35-36

预估的变化, 38-41, 40

盐碱化 of, 3, 43

## H

健康. 见人类健康

## 热浪

欧洲 (2003), 38

观测到的变化, 15, 38, 60

预估的变化, 24, 26, 95

蠕虫病, 66, 69

人类健康, 67-69

适应、脆弱性和可持续发展, 69

非洲, 80-81, 83

澳大利亚和新西兰, 91

欧洲, 95

拉丁美洲, 96-97, 98-100

北美洲, 103

观测, 69

预估, 69, 128

小岛屿, 111

水质, 66

人类居住区, 73-74, 128

饥饿, 59

另见粮食供应/安全

## 水分循环

根据过去的经验假设, 4

反馈与气候, 15, 23-24

预估的变化, 3-4, 25-31, 38-48

不确定性, 24-25

变率, 15

另见水文学; 有关水的条目

## 水文

观测到的变化, 35-36

预估的变化, 38-47

预估的对生态系统和生物多样性的影响, 55-58

水力发电, 46, 118, 119, 136

非洲, 82

欧洲, 46, 129

温室气体排放, 4, 122, 123, 130

基础设施, 74

北美洲, 47

另见水坝; 能源

## I

### 冰

观测到的变化, 3, 19-20, 19-20

预估的变化, 27-28, 130

### 冰盖

引起海平面上升, 20, 24, 28-29

观测到的变化, 35

工业, 74-75, 118, 128

基础设施, 4, 73-74, 128

保险, 74-75, 105

综合水资源管理(IWRM), 44, 51, 124

### 灌溉

适应做法, 63-65, 122, 123, 128

灌溉土地面积, 9, 10

温室气体排放, 122, 123

用水, 观测到的变化, 8-9

用水, 预估的变化, 4, 10, 44, 61, 62, 128

## K

乞力马扎罗., 82

## L

### 湖泊

缺氧和藻华, 56

化学, 36

土地流失和淤积, 37

观测到的变化, 36-37

预估的变化, 43, 55-56, 129

热结构, 36, 56

地表效应, 23-24

土地利用, 59-60

适应, 64

生物能作物, 117

- 土地利用变化和管理, 118, 119-120
- 拉丁美洲, 96-102, 129-130
- 适应和脆弱性, 50, 100-102, 101
  - 冰川, 35, 97, 99, 129-130
  - 观测到的变化, 96-98, 97
  - 史前哥伦比亚适应, 101
  - 降水, 16, 97-98
  - 预估的变化, 98-100, 129-130
  - 径流, 21-22, 30, 35
  - 缺水压力, 96, 98, 100, 129
  - 钩端螺旋体病, 97
- 气候变化与水资源的关系, 33-51
- 适应气候变化, 与水有关的, 48-51
  - 由于气候变化引起的未来水变化, 38-48
  - 观测到的气候变化影响, 35-38
  - 另见变化和水资源的具体方面
- 牲畜业, 62, 64
- M**
- 疟疾, 80-81, 100
- 湄公河, 63
- 脑膜炎, 68
- 经向翻转环流 (MOC), 24
- 甲烷
- 水电站、水力发电站, 122
  - 填埋/污水, 123 源与汇, 24, 130
- 千年发展目标, 水行业门及, 131
- 减缓, 115-124, 130
- 造林/再造林, 118, 120-121
- 可避免/减少毁林, 118, 121
  - 效益和负面的附带影响, 4, 67, 130
  - 生物能作物, 117-119, 118
  - 生物质发电, 118, 119
  - 建筑, 能源利用, 118, 119
  - 二氧化碳捕获和封存 (CCS), 117, 118
  - 农田排水, 123, 123
  - 农田管理, 118, 120
  - 咸水淡化, 123, 124
  - 未来的资料需求, 136-137
  - 地热能源, 118, 119, 123, 124
  - 温室气体 (GHG) 排放, 122-124, 123
  - 水力发电水坝, 122, 123
  - 水电, 水力发电 118, 119
  - 灌溉, 122, 123
- 土地利用变化和管理, 118, 119-120
- 政策影响, 130
- 与水的关系, 117
- 秸秆还田, 122-123, 123
- 与适应具有协同作用, 67
- 非常规石油, 118, 122
- 废弃物/污水管理, 118, 121, 123-124, 123
- 水资源管理政策, 122-124, 123, 130
- 另见适应
- 模式 见气候模式
- 季风系统, 25
- 山地生态系统, 58
- N**
- Nasca水采集系统, 101
- 新西兰 见澳大利亚和新西兰
- 尼罗河, 79, 84
- 氮肥的使用, 10, 120
- 水资源的非气候驱动因素, 8, 10, 43-44
- 北美洲, 102-106, 130
- 适应, 50, 104-106
  - 气候变化影响案例研究, 104, 105-106
  - 干旱, 38, 66
  - 湖泊和河流, 热结构, 36
  - 观测到的变化, 102
  - 降水, 16
  - 预估的变化和结果, 102-104, 102, 130
  - 径流, 21-22
- 北大西洋涛动 (NAO), 15, 22, 31
- O**
- 观测到的变化
- 气候, 15-23
  - 对水资源的影响, 8-9, 35-38
  - 摘要, 3-4
  - 另见特定区域和行业
- 海洋
- 环流, 气候反馈, 24
  - 盐度, 15, 24
  - 另见海平面上升
- 石油, 非传统, 118, 122
- P**
- 牧民应对策略, 64
- 多年冻土。见冻土; 冰
- 物候学, 60

极地区域, 106-109, 130

适应和脆弱性, 50, 109

观测到的变化, 107, 108

预估的变化, 108-109, 130

## 政策

气候变化的影响, 125-131

水资源管理, 122-124, 123

另见适应, 脆弱性和可持续发展

## 人口增长

海岸带地区, 73, 74

水需求, 4, 8, 9

在面临缺水压力的地区, 45, 45

## 降水, 15-19, 25-27

人类活动的归因, 16-17

极端事件, 26-27, 28

强降水事件, 3, 16-17, 18, 41, 41

强降水事件, 农业成本, 61

强降水事件, 人类健康, 70-71, 128

平均值, 25-26

季风系统, 25

观测到的变化, 3, 15-19, 16-18

预估的变化, 3, 25-27, 26-27, 41-42, 41, 127

变率, 3, 15

另见气旋, 热带; 干旱

## 预估的变化

气候, 9, 24-31

摘要, 3-4

水资源, 9-10, 38-48

另见特定区域和行业

## R

### 草原, 62

另见草地、草原

造林, 4, 59, 118, 120-121

区域影响, 77-113, 128-129

另见具体区域

秸秆还田, 122-123, 123

河流, 36, 55-56

预估的影响, 56, 57-58

河川流量, 45-46, 57-58

另见径流

### 径流

减缓措施, 118

观测到的变化, 3, 21-22, 35-36, 37

利用.....的规划 71

预估的变化, 3, 27, 29-30, 30, 61, 61, 127

## S

### 盐渍化

沿海水域, 57

地下水, 3, 43, 71

另见咸水淡化

卫生设施。见人类健康

稀树大草原, 58

情景, 9-10, 10

另见气候模式

血吸虫病, 68-69, 97

### 海平面上升

引起, 20, 28-29

观测到的变化, 20

预估的变化和影响, 3, 28-29, 43

水质, 10, 43

半干旱区域. 见干旱和半干旱区域

居住地与基础设施, 73-74, 128

小岛屿, 109-113, 130

适应, 50, 110, 111-113

观测到的变化和预估, 109-111, 112, 130

缺水压力, 130

### 积雪

气候的反馈, 23-24

观测到的变化, 3, 19, 19-20, 35

预估的变化, 27-28

淡水的社会经济方面, 45-47, 74-75

土壤流失, 43, 57

### 土壤湿度

反馈, 23

观测到的变化, 21

预估的变化, 27, 29

南美洲. 见拉丁美洲

SRES情景, 9, 10, 24

情节, 9, 10

可持续发展, 125-131

未来气候变化影响的威胁, 47, 130

千年发展目标, 水行业, 131

农村社区和水资源冲突, 66

另见适应, 脆弱性和可持续发展

## T

沥青砂 118, 122

遥相关, 22

### 温度

观测到的变化, 15

预估的变化, 24, 31

冰融喀斯特发展, 57

- 旅游业, 35, 74-75  
 交通运输行业, 73-75  
 热带气旋。见气旋, 热带,  
 Tsho Rolpa降低风险项目, 89
- U**  
 不确定性, 11, 11  
   另见知识空白
- V**  
 变率, 大尺度模式, 22-23, 31  
 传病媒介传播的疾病, 68-69  
 脆弱性: 水资源, 3-4, 9, 47, 47  
   另见适应、脆弱性和可持续发展; 供水
- W**  
 废弃物, 118, 121, 123  
 废弃物回收再利用, 10  
 废弃物处理, 9, 72  
   温室气体排放, 123-124, 123  
   减缓措施, 118, 121  
   水质, 10  
 供水  
   减缓措施, 118  
   观测, 69, 70  
   预估, 44, 70-71  
 水媒介传播的疾病, 68, 70, 81, 103  
 水化学, 36, 37  
 水需求  
   用于灌溉, 预估的, 4, 10, 61, 62, 128  
   人口, 4, 8, 9  
   预估的变化, 4, 38-47, 44-45  
 水管理  
   适应做法, 48-51, 49-50  
   适应管理, 51  
   在农业中, 63-67  
   根据过去的经验假设, 4  
   气候变化及, 4, 43-44, 127  
   温室气体排放, 117  
   对其它地区的影响, 4, 43-44, 47  
   水资源综合管理(IWRM), 44, 51, 124  
   政策, 对温室气体排放和减缓的影响, 122-124,  
   123  
   基于情景的方法, 51  
   另见适应  
 水质  
   适应, 71-72  
   饮用水, 45, 67-68, 72  
   流量变化, 70-71  
   微污染物, 10  
   减缓措施, 118  
   观测到的变化, 9, 36-37  
   预估的变化, 3, 10, 43, 66, 70-72  
   温度, 71
- 水资源**  
 适应, 概述, 48-51, 49-50  
 管理, 72, 127  
 与气候相关的驱动因素, 24-31, 38-43  
 冲突, 潜在的, 124  
 反馈与气候, 23-24  
 高度脆弱的区域和行业, 47, 47  
 重要性, 7  
 与气候变化的联系, 33-51  
 减缓措施和 (见减缓)  
 非气候驱动因子, 8, 10, 43-44  
 观测到的气候变化影响, 35-38  
 预估的气候变化影响, 38-47  
 摘要, 3-4  
 预估影响的不确定性, 47-48  
 另见脆弱性; 水资源:  
   区域方面; 以及具体水资源
- 水资源: 区域方面**  
 非洲, 80, 81-82  
 亚洲, 85-88  
 澳大利亚和新西兰, 91  
 欧洲, 93-95  
 拉丁美洲, 96, 98  
 北美洲, 102-104, 102  
 小岛屿, 110, 110
- 蓄水**  
 水坝拦截的, 10  
 冰川和积雪中的, 3
- 缺水压力**  
 非洲, 83, 129 定义, 8  
 欧洲, 129  
 未来气候变化的影响, 45, 45  
 拉丁美洲, 96, 98, 100, 129  
 地图, 9  
 在小岛屿, 130  
 脆弱性, 8
- 供水与卫生, 69-73**  
 适应、脆弱性和可持续发展, 4, 71-73

观测, 69, 70

预估, 70-71

**水温**

减缓措施和, 118

观测到的变化, 36, 37

预估的变化, 127

**用水**

观测到的变化, 8-9

预估的变化, 43-44, 62

**水汽**

观测到的变化, 16, 18-19

预估的变化, 25-26, 29

**流域管理**, 66-67

**湿地**, 56-57, 119



观测记录和气候预估提供的大量证据表明，淡水资源是脆弱的并可能受到气候变化的强烈影响，同时给人类社会和生态系统带来一系列范围更广的后果。

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 关于《气候变化与水》的技术报告汇集并评价了有关气候变化对水文过程、水文系统和淡水资源影响的IPCC《评估报告》和《特别报告》中的信息-淡水资源的可用水量、水质、使用和管理。本报告考虑了当前和预估的区域关键脆弱性、适应方面和减缓气候变化与水的关系。本报告的宗旨如下：

- 一方面提高对自然和人为引起的气候变化及其影响与适应和减缓选择之间联系的认识，另一方面提高对上述气候变化及其影响与水相关问题之间联系的认识；
- 向决策者和利益攸关方通报在这方面已提高的认识。

本技术报告的文字审慎地沿用了作为其基础的IPCC报告，特别是《第四次评估报告》中的文字。本报告体现了有关报告的平衡观点和客观性，凡是文字有出入之处，仅仅是出于支持和/或进一步解释有关报告的结论之目的。每一个实质性段落均摘自IPCC的某个报告。

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 由世界气象组织和联合国环境规划署共同创建，旨在提供一个关于科学认识气候变化的权威性国际评估。《气候变化与水》是IPCC迄今为止编写的六个技术报告之一。本报告是应世界气候计划-水和关于水和气候问题对话国际指导委员会的要求而编写的。