

4.0

# 降低 热度

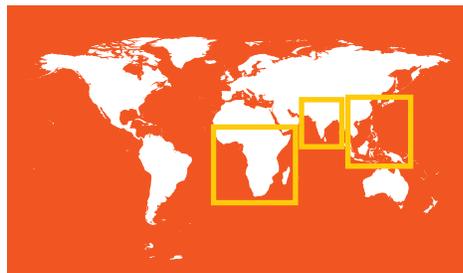
极端气候、区域性影响  
与增强韧性的理由



# 4°

# 降低 热度

极端气候、区域性影响  
与增强韧性的理由



2013 年 6 月

波茨坦气候影响研究和分析学院  
向世界银行提交的报告



© 2013 版权所有国际复兴开发银行 / 世界银行

1818 H Street NW

Washington DC 20433

电话：202-473-1000

网址：www.worldbank.org

本报告由波茨坦气候影响研究和分析学院起草。

报告所述的发现、诠释以及结论未必反映世界银行，其执行董事或他们所代表政府的观点。世界银行不保证本书数据准确无误。

世界银行不保证本书数据准确无误。

本书所附地图的疆界、颜色、名称及其它信息并不表示世界银行对任何地区的法律地位的看法，也不意味着对这些疆界的认可或接受。

#### 权利和许可

本书的材料受版权保护。鉴于世界银行鼓励知识传播，在完整注明本书作者的前提下，可以复制的形式将本书的全部或部分用于非商业目的。

任何其它关于版权和许可证的询问，包括各项附属权利，请联系世界银行出版办公室，地址：1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA；传真：202-522-2422；电子邮件：pubrights@worldbank.org.



## 撒哈拉以南非洲地区： 粮食生产危机

### 区域摘要汇总

撒哈拉以南非洲地区是一个发展迅猛的地区，人口超过 8 亿，共有 49 个国家<sup>1</sup>，生态、气候和文化具备广泛的多样性。该地区的人口 2050 年预计将达 15-19 亿。如果到本世纪末全球升温 4°C，则海平面预计将上升 100 厘米，非洲中南部出现干旱的概率将增大，前所未有的极端高温将给该地区更多的国家造成影响。预测还显示，非洲之角和东非北部的年度降水将上升，但却会集中出现，从而增加了发生洪灾的可能性。大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的上升将使非洲大草原的植被从草本向木本演进，造成草饲料数量的减少，进而给牲畜业带来负面影响。气候变化不仅将造成不利影响而且还会带来严重风险，特别是对农作物生产、牧区和畜牧业系统以及捕鱼业。此外，气候变化亦将给确保粮食安全和消除贫困提出更为艰巨的挑战。

撒哈拉以南非洲地区的农业容易受到气候变化的影响。该地区的农作物生产依靠降雨，因此对降水和温度的变化十分敏感。据预测，整个区域内超干旱和干旱地区的面积将出现净增长，给粮食和畜牧业生产造成不良影响。自二十世纪 50 年代以来，该地区的干旱呈上升趋势且人口脆弱程度很高：例如，2011 年发生在非洲之角的干旱影响到 13 亿人口，造成营养不良率窜升，而其对儿童群体的危害尤甚。根据对未来的预测，中部和南部非洲发生气候变化和干旱的概率会上升，如果二十一世纪 80 年代全球比工业革命前升温 4°C，那么非洲南部的降雨将



减少 40%（基于 2071-2099 年与 1951-1980 年进行比较得出的结论）。

<sup>1</sup> 本报告所述撒哈拉以南非洲地区是指撒哈拉南部的区域。依据 IPCC《管理极端事件和灾害风险，推进气候变化适应》专项报告 (SREX) 对地区的定义，气温、降水、干旱、极端炎热和海平面上升等的预测大致涵盖 15、16 和 17 区。

鉴于畜牧业将受到极度高温、水资源压力、疾病频发和饲料减少的影响，气候变化亦将使牧场体系身处险境。海洋鱼类会随着水温升高向高纬度水域迁移，这一现象或将降低当地的可捕鱼量，使本就因过度捕捞变得非常脆弱的生态系统遭受更大的压力。

极端高温预计将影响到该地区越来越多的人口，给粮食生产系统、生态系统和人类健康带来不良后果。对人类健康的影响可能是直接也可能是间接的，但气候变化造成的城镇化加速趋势很可能会使脆弱性变得更为严重。

## 当前的气候趋势和预计到 2100 年前会发生的气候变化

气候变化会给撒哈拉以南非洲地区的生态系统和主要行业施加压力，并给依赖其生存的人口造成巨大影响。

### 降雨

在降水方面，该地区的年度变化和十年间变化十分明显。次区域的长期发展趋势让人捉摸不定且变化无常：例如，尽管西非在上个世纪经历了年平均降水量下降，但过去十年，在萨赫勒地区的观察却发现降水在增加。针对南部非洲和热带雨林地区，观测未发现长期发展趋势。但是，目前发现南部非洲部分地区降水年度变化的幅度在增大，干旱和暴雨出现的也更为频繁。过去十年，东部非洲部分地区的降水不断上升，与上世纪大多数地区呈现出的干旱趋势背道而驰。

在全球升温 2°C 的情况下，可用水量的现有地区差异将变得更为明显。例如，年度降水量的增长预计将主要出现在非洲之角（会同时产生积极和消极影响），南部和西部非洲部分地区地下水补给率可能会下降 50-70%。在全球升温 4°C 的情况下，预计南部非洲的年度降水会下降 30% 且许多模型预测东部非洲会比今天变得更加湿润，但南部非洲发生干旱的总体风险将会增加。然而，降雨预测中还有一些问题值得注意。首先，预测的不确定性很高，特别是针对东部和西部非洲。其次，即使年度平均降水会上升，其出现形式也是集中降雨而不是在一年中平均分布<sup>2</sup>。

此外，中部和南部非洲出现旱灾的概率明显增大。“大概率”事件的定义为，使用本报告所述建模方法，概率 > 66% 的事件。

### 温度

自二十世纪 60 年代以来，监测显示变暖趋势一直持续至今，南部和西部非洲出现高温的次数在上升。近期的研究发现，人类活动引发的非洲总体升温现象十分明显。自 1961 年起，极端高温便开始肆虐南部非洲。夏季升温趋势可能是在该地区分布最为均匀的趋势。在全球升温 4°C 的情况下，以 30 年的基线期（1951-80 年）为基准，撒哈拉以南非洲地区月度气温将在 2100 年上升 5°C。在全球升温 2°C 的情况下，非洲夏季气温预计将于 2050 年达到峰值，即比基线湿度上升 1.5°C。

随着全球平均气温的上升，异常和史无前例的极端高温<sup>3</sup>将在夏季出现的更加频繁。当二十一世纪 30 年代全球升温达到 1.5°C 时，如今被视为异常或基本不会出现的极端高温，在南半球的夏季将覆盖五分之一的陆地。史无前例的月度高温此时将覆盖陆地面积的 5%。在全球升温 2°C 的情况下，预计上述高温在夏天将覆盖多达 15% 的陆地。当本世纪末全球升温达到 4°C 时，异常夏季高温预计将覆盖绝大多数陆地（85%），其中史无前例高温的覆盖面积将达到 50% 以上。

<sup>2</sup> 东部非洲的不确定性尤甚，其原因有二：一是 GCM 模型是否能够充分反映该地区雨季的动态；二是较高分辨率的气候模型与多数全球性模型的预测结论不同，降水不但不会减少，反而会增加。发生旱灾主要是由于降水异常减少或大幅升温或是二者兼而有之，但这一风险还会受到风速和辐射等其它气候变量的影响。气候模型对升温的预测通常不确定性较低，且降水预测的不确定性会因地区而异。干旱预测的不确定性在非洲南部最小（升温是其主要动因），中部非洲较大（变化信号不明显）而在西部非洲最大（无论在征兆还是幅度方面，各种模型对降水变化的预测均存在巨大差异）。

<sup>3</sup> 在本报告中，异常和史无前例极端温度的定义采用了多种阈值，这些阈值是基于当前地方气候的历史变化。因此，阈值的绝对值取决于基本时段区间内（1951-1980 年）采用标准偏差（sigma）进行采集的年度变化。异常极端温度被定义为 3-sigma 事件。在正态分布的情况下，3-sigma 事件的复现时间为 740 年。2012 年美国的热浪和 2010 年俄罗斯的热浪被归类为 3-sigma 事件。史无前例的酷热被定义为 5-sigma 事件。事件的复现时间为数百万年。月度温度数据并不一定呈正态分布（例如，分布可能存在“长”尾，造成升温事件上升的概率增加），复现时间可能与正态分布预测不同。然而，3-sigma 事件极不可能发生，5-sigma 事件基本从未发生过。

### 物理和生物物理因素可能对气候变化预测产生的影响

降雨、气温和极端事件频率和 / 或强度的变化将会造成直接或间接影响，其影响范围包括：海平面上升、干旱、农作物产量以及农牧系统给相关人口造成影响。

### 干旱趋势预测

由于气温和降雨的变化，此类地区的干旱模式<sup>4</sup> 预计将会发生改变。干旱地区预计将会扩展，特别是在南部非洲和西非的部分地区。与 1986–2005 年相比，超级干旱和干旱区域的总面积预计将增加 10%。干旱增加，则农作物的产量可能会随着耕种季节的缩短而下降。东非的旱情预计将会缓解；但该区域内的变化，不足以补偿其它地区的损失。

### 海平面上升

在热带和亚热带地区，海平面的上升预计将超过全球平均水平。当全球升温达到 1.5°C 时，2060 年撒哈拉以南非洲地区的热带海岸海平面预计将上升 50 厘米，且在更激进的预测中海平面还可能会更高。当全球升温达到 2°C 时，海平面预计将在二十一世纪 80 年代上升 70 厘米且越到南方越高。在全球升温 4°C 的情况下，二十一世纪 90 年代的海平面预计将上升 100 厘米。在全球升温

4°C 与 2°C 情况下，海平面上升的速率与幅度差异将于 2100 年变得愈发明显，其原因就在于高水平升温比 2°C 以下的升温不同，会造成海平面的持续上升。如果全球升温 4°C，海平面的上升将使几内亚比绍和莫桑比克受洪水威胁的人口数量在 2100 年上升约 15%，而在海平面不上升的情况下，该比例预计为 10% 左右；在冈比亚，面临洪水威胁的人口比例将成倍攀升，到 2070 年将占总人口的 10%。

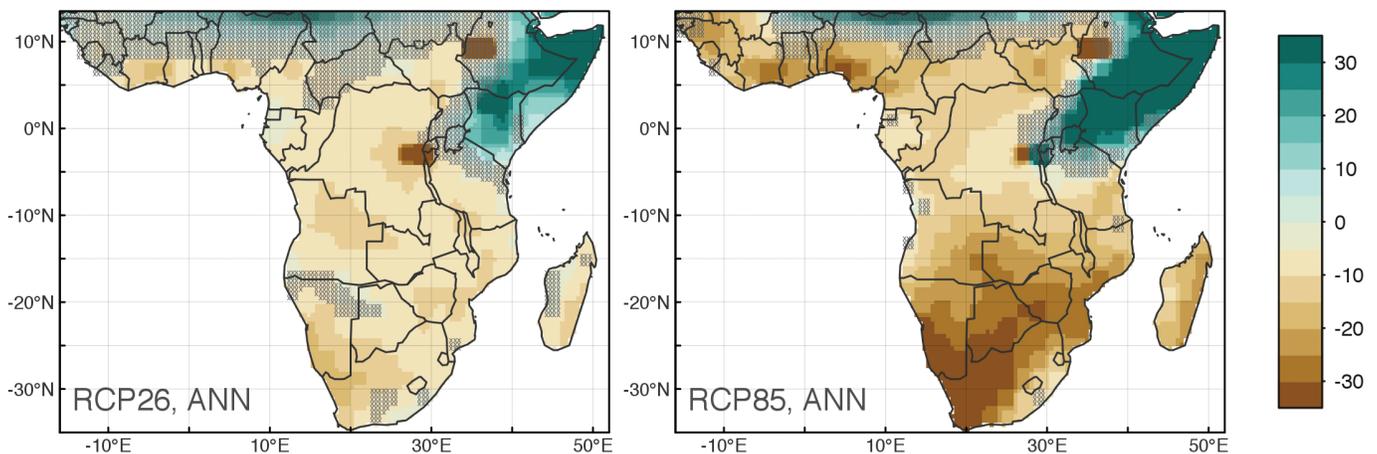
### 按行业和专项对影响进行划分

#### 生态系统

非洲大草原的面积可能会减少，对人们的生计和牧场体系造成影响。当全球升温达到 3°C 时，大草原预计将从当前的面积缩减至非洲陆地面积的七分之一，从而减少了食草动物的饲料供给。气候条件变化和大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的上升均会对非洲生态系统的转变产生影响，改变物种的构成。由于 CO<sub>2</sub> 的施肥效应，

<sup>4</sup> 干旱的特征是结构性降雨不足——即植被和 / 或作物生长缺少必要的降雨——其可能会受到正向反馈机制的影响。在因缺乏降水而造成土壤干旱的地区，炎热无法转化为潜伏热，因而会导致地表升温。这一额外的土地升温，加重了农作物的水分蒸发，进一步放大了降水赤字问题。

**图 3.1** 撒哈拉以南非洲地区——在全球升温 2°C（左）和 4°C（右）的情况下，使用多种模型测出的撒哈拉以南非洲地区 2071–2099 与 1951–1980 年间的干旱指数比例变化平均值



在非阴影区，至少有 4/5 (80%) 的模型结果一致。在阴影区，有 2/5 的模型结果不一致。东非尚存在不确定性，区域气候模型预测降水将会增加，干旱指数将会下降（另见脚注 2）。干旱度的下降并不一定会为农业或畜牧业提供有利条件，因为出现洪水的风险将会上升。

**表 3.1** 对撒哈拉以南非洲地区气候变化影响和风险的总结<sup>a</sup>

风险 / 影响		观测到的脆弱性或变化	约 1.5°C <sup>b,c</sup> (~二十一世纪 30 年代 <sup>d</sup> )	约 2°C (~二十一世纪 40 年代)	约 3°C (~二十一世纪 60 年代)	约 4°C (~二十一世纪 80 年代)
<b>极端高温<sup>e</sup></b> (南半球的夏季)	异常极端高温	基本未出现	20–25% 的陆地	45% 的陆地	70% 的陆地	>85% 的陆地
	史无前例的极端高温	未出现	<5% 的陆地	15% 的陆地	35% 的陆地	>55% 的陆地
<b>干旱</b>		二十世纪 50 年代预测到变旱加剧的趋势	中部和南部非洲很可能出现严重干旱，西非的风险增大，东非可能风险会下降，但西非和东非的预测并不确定	中部和南部非洲很可能出现严重干旱，西非的风险增大，东非可能风险会下降，但西非和东非的预测并不确定	南部非洲很可能出现极度干旱，中部非洲会出现严重干旱，西非的风险增大，东非可能风险会下降，但西非和东非的预测并不确定	南部非洲很可能出现极度干旱，中部非洲会出现严重干旱，西非的风险增大，东非可能风险会下降，但西非和东非的预测并不确定
<b>旱灾</b>		干旱加剧	变化很小	超级干旱和干旱区域的面积将增加 3%		超级干旱和干旱区域的面积将增加 10%。干旱和半干旱地区的总面积增加 5%
<b>海平面比现在有所上升 (1985–2005 年)</b>		到 2009 约为 21 厘米 <sup>f</sup>	二十一世纪 40 年代为 30 厘米 <sup>g</sup> ； 2070 年为 50 厘米； 2080–2100 年为 70 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米； 2070 年为 50 厘米； 2080–2100 年为 70 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米； 2060 年为 50 厘米； 2080–2100 年为 90 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米； 2060 年为 50 厘米； 2080–2100 年为 105 厘米

<sup>a</sup> 在主报告第 3 章结束部分，用表格全面介绍了撒哈拉以南非洲地区面临的影响与风险。

<sup>b</sup> 与工业革命前相比的全球平均升温。

<sup>c</sup> 相关年份是指在不改变的情况下，二十一世纪 80 年代升温超过 4°C 的方案中，超出升温水平的那个十年。

<sup>d</sup> 相关年份是指在不改变的情况下（RCP8.5 方案），超过升温水平的概率在 50% 或更高的那个十年（通常在该十年的开始）。机率更高的情况 (>66%) 通常会出现在该十年的后半段。

<sup>e</sup> 给出了各种气候模型预测的平均极端温度值。不同模型（最低到最高）的不确定性范围显示，在全球升温 4°C 的情况下，异常高温出现概率为 70–100%，而史无前例高温出现的概率为 30–100%。两种情况下，极端高温出现的最高频率均将随着指标值的饱和而接近 100%。

<sup>f</sup> 高于 1880 年预测的全球平均海平面水平。

<sup>g</sup> 比原预期水平高出 20 厘米。

非洲大草原的树木将在竞争中胜过耐阴植物，导致草原面积、牲畜和其它动物的食物来源减少。目前尚不清楚，该地区干旱对树木产生的负面影响是否对森林面积的扩大造成限制。由于气温和降雨的变化，自二十世纪 50 年代起，西萨赫勒的树木密度下降了 20%。

### 农业生产

一些证据显示，农作物产量和粮食生产可能面临严重威胁，给粮食安全造成不利影响，且升温越高风险越大。

- **高温敏感度**阈值对许多重要农作物而言都已在实际观测中得到了确认，例如玉米、小麦、高粱的产量在超过阈值后会大幅下降。小麦和水稻等农作物光合作用（生长和产量的核心要素）的最佳温度范围在 20–32°C 左右。IPCC AR4 报告 (IPCC 2007) 指出，即便只是温和升温 (1–2°C)，也会给

小麦、玉米和水稻等主要谷物的产量造成负面影响；此外，进一步升温将加剧负面影响，如果局部平均温度上升 5°C，则低纬度地区的小麦产量将下降 50%。在全球分别升温 2°C 和 4°C 的情况下，随着温度阈值被超越的愈发频繁，很可能出现严重的农作物减产冲击。

- **宜耕区域的消失或变更。**二十一世纪 30 年代至二十一世纪 40 年代的升温可能会使当前产区玉米、小米和高粱的产量下降约 40–80%。如果升温达到 3°C，减产数量将超过 90%。
- **大幅减产**在相对温和升温的情况下，预计将在近期出现。如果升温 1.5–2°C，预计减产的中值约为 5%，此后，这一数值还将升至 -15%（针对升温 2–2.5°C 的情况，范围在 -5% 至 -27%）<sup>5</sup>。在全球升温 3–4°C 的情况下，

<sup>5</sup> 范围包括以下农作物：谷子、高粱、小麦、木薯和花生。

尽管对潜在产量影响的研究还很有限，但预计各地区的所有农作物产量可能会下降约 15–20% 左右。

- **人均农作物产量**在升温 1.8°C 时（二十一世纪 50 年代末）预计将比不发生气候变化的状况下降 10%。鉴于更高水平的升温会导致进一步减产，此项风险进一步增大；但这还需要定量研究。牲畜生产亦将受到气候变化引发的饲料供应量减少和炎热的影响。
- **农牧系统的多样化方案**（例如，向林牧系统、草饲料灌溉生产、农作物与家畜混合系统转型）。气候变化会降低土地的承载能力和畜牧业的生产力。畜牧业在过去便受到过干旱的影响。例如，在 1995 至 1997 年发生的旱灾期间，埃塞俄比亚南部牧民失去了近 50% 的家畜，40% 左右的绵羊与山羊。
- **CO<sub>2</sub> 施肥效应**仍然不确定。农作物对大气 CO<sub>2</sub> 浓度上升的积极反应，有助于部分抵消升温和降水带来的变化。但非洲的主要农作物，包括玉米、高粱和珍珠粟，对大气 CO<sub>2</sub> 浓度的变化并不敏感。此外，与开放空间 CO<sub>2</sub> 增加 (FACE)<sup>6</sup> 的结果相比，由于各模型中施肥效应被高估，因此这些效应的影响仍不确定。在 CO<sub>2</sub> 施肥效应上升的同时，观测发现单位谷物的营养价值在下降。

## 渔业

在部分地区，依赖渔业和其它生态系统的服务可能会遭受影响，某些重要物种可能会从本地消失。西部非洲海岸渔获的水平到二十一世纪 50 年代可能会下降 50%（与 2000 年的水平相比），而鱼类占动物蛋白质消耗量的 50% 左右。预计在其它地区，如撒哈拉以南非洲地区的东部和东南沿海地区的产量将会上升。

## 健康

营养不良将以造成儿童发育迟缓或提高其它疾病患病率的形式，对健康产生间接影响。在全球升温 1.2–1.9°C 的情况下，由于农作物产量和营养质量的下降，营养不良水平将根据地区的不同，上升 15–65%。五岁以下儿童的中度发育迟缓发生率预计为 16–22%，重度发育迟缓的比例为 12–20%。如果不发生

气候变化，中度儿童发育迟缓的发生率将与当前水平持平（占该地区的 21–30%）但重度的比例将下降 40%。

## 撒哈拉以南非洲气候变化的综合影响

撒哈拉以南非洲地区面临的气候变化风险将对该地区的社会和经济产生深远影响。即使将升温限制在 2°C 以下，风险和可能造成的破坏仍然很大，随着气温上升至 4°C，这些问题只会进一步加剧。

### 预计气候变化将增加贫困和疾病的风险

贫困在该地区可能会随着气候影响而加剧。以气候敏感型农作物为生活来源的贫困家庭受到的气候变化影响分布不均，且大量人口仍然依赖农业作为食品安全和收入的保障。在全球升温不足 2°C 的情况下，粮食的生产和安全性将出现巨大的区域性风险；如果适应措施不得力而 CO<sub>2</sub> 的施肥效应又较弱，则这些风险将被放大。在马拉维、乌干达、赞比亚等国遭受了严重的粮食减产冲击后，贫困上升了一个百分点。随着升温接近 4°C，各行各业受到的影响均会上升。

营养不良是粮食生产不足造成的后果，它降低了人口对疾病的抵抗力，使该地区的总体健康风险所有增加。因营养不良而引起的儿童发育迟缓体现在认知能力下降和学校表现不佳。农作物产量的损失和对粮食生产的不良影响，造成了现实收入下降，进而使卫生条件和营养不良状况更加恶化；随着气候变化下疟疾和其它疾病更加横行无忌，其必将给儿童教育带来不良影响。

因气候变化而给撒哈拉以南非洲地区造成威胁的疾病，包括通过病菌和水体传播的疾病，例如：疟疾、裂谷热和霍乱。由于气温和降雨模式的变化，使有利病菌和病原体生长的面积在扩大，加剧了这些疾病传播的风险。此外，由于极度高温和洪水等极端事件，发病率和死亡率等也将随之升高。

<sup>6</sup> FACE 试验测量开放空间大气 CO<sub>2</sub> 浓度上升产生的影响，因此不包括实验室中可能给试验结果造成影响的因素。

### 气候变化预计将对城市发展、基础设施和教育形成挑战

撒哈拉以南非洲地区的**城镇化**趋势会因气候变化给人口造成的压力而加速。这些压力部分来自农业生产，而正是这一产业为该地区 60% 的劳动力提供了生计来源。向城区移民提供了新的谋生机遇，但却又使这些移民暴露在新的风险之下。人口过度集中、水源缺乏、排污不畅和卫生设施不足等城市贫民区典型特征，为通过病菌和水体传播的疾病打开了方便之门。鉴于许多城市都修建在沿海地区，因此容易受到海平面上升造成的沿海洪水的影响。穷困的城市居民聚居于容易受灾的地点，例如洪泛区和陡峭的山坡附近，受到极端气象事件影响的风险更大。城区不易感受到的影响，在这些社区却并不罕见。例如，农业生产遭受冲击后带来的食粮价格暴涨，将给这些社区造成灾难性后果。

海平面上升给**基础设施造成的影响**会波及人类和经济社会的发展，其中包括给人类健康、港口基础设施和旅游业造成伤害。例如，2009 年发生在肯尼亚塔纳三角洲的洪水切断了约 100,000 居民的医疗服务；如果 2070 年海平面上升 70 厘米，作为国际贸易枢纽的坦桑尼亚达累斯萨拉姆港的基建设施，势必受到损害，从而将 100 亿美元的资产和该市 10% 以上的 GDP 置于风险之下（Kebede 和 Nicholls 2011 年）。达累斯萨拉姆港遭受的破坏还将造成更大的经济影响，因为该港是其几个内陆邻国的出海口。

研究显示，气候变化给满足儿童的教育需求的能力，特别是满足易受灾地区儿童的教育需求的能力造成了破坏。农作物产量的减少和气候变化对粮食生产造成的不良影响，将使卫生条件和营养不良现象更加恶化；随着疟疾和其它疾病因气候变化而更加猖獗，必将给儿童的教育造成不利影响。因营养不良而引起的儿童发育迟缓体现在认知能力下降和学校表现不佳。未来几十年间可能出现的极端月度高温，亦将给师生们的学习条件带来负面影响。

总之，撒哈拉以南非洲地区的人口预计将面临来自粮食生产体系、气温上升、极端高温、干旱、降水模式改变、海平面上升和其它极端事件的威胁。营养不良增加会给健康造成更大的影响，甚至会给人类发展造成深远的影响。当升温不足 2°C 时，大幅减产便会给易受灾群体的粮食安全造成强大冲击，这其中就包括许多发展中的城区。此类灾害和对基础设施的影响，可能会给该地区的经济发展与减贫工作带来负面效应。全球升温 4°C 预计将造成大幅减产，严重影响粮食安全，致使干旱严重程度和极端高温增加，供水减少，重要的生态系统灭绝或发生畸变。这些影响不仅会给人类及其生计造成严重不良后果，而且还可能会遏制该地区的发展。



## 东南亚： 沿海地区和生产力面临的风险

### 区域总结

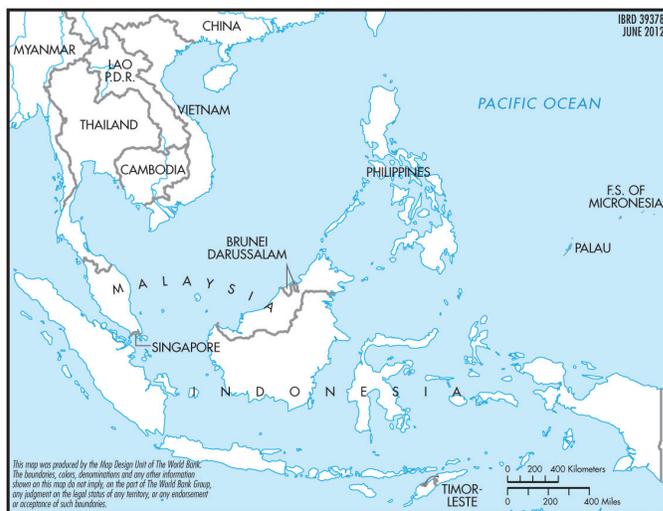
本报告中的东南亚由 12 国构成<sup>7</sup>，2010 年的人口约 5.9 亿。2050 年，预计东南亚地区人口将达到 7.6 亿，其中 65% 居住在城市和沿海地区。

如果升温 1.5–2°C，该地区及其自然资源将遭受严重打击，珊瑚礁受到威胁，与其相关的旅游业及渔业也会受到影响，另外由于海平面上升，三角洲地区的农业生产水平也会下降。例如，到二十一世纪 40 年代，如果海平面上升 30 厘米，则该地区的主要水稻产区 – 湄公河三角洲 – 将每年减产 260 万吨，即降至 2011 年产量的 11% 左右。此外，由于海洋升温和酸化，预计二十一世纪 50 年代菲律宾南部的最大渔获量也将下降约 50%。

如果全球升温 4°C，则珊瑚顶枯病将造成严重的海岸侵蚀。二十一世纪 90 年代，海平面预计将上升 100 厘米；与之相伴的是该地区强热带飓风登陆次数的增加。此外，夏季（六、七、八月）史无前例的极端高温将覆盖 90% 的陆地面积，造成极为恶劣的影响。

### 当前的气候趋势和预计到 2100 年前会发生的气候变化

由于东南亚地区的地形复杂，在大陆，半岛和岛屿内既包括高山、峡谷也包含沿海地区，因此气候预测极具挑战性；区域内的海洋



与陆地会产生交互影响；大量的互动性气候驱动因素会给当地气候造成影响。

### 温度

在全球升温 2°C 的情况下，二十一世纪 40 年代该地区的夏季平均温度约会上升 1.5°C (1.0–2.0°C)，到 2100 年，在全球升温 4°C 的情况下，东南亚夏季陆地平均温度约会上升 4.5°C (3.5–6°C)。这比全球平均陆地地表升温水平要低很多，因为该

<sup>7</sup> 文莱、柬埔寨、印度尼西亚、老挝、马来西亚、缅甸、巴布亚新几内亚、菲律宾、新加坡、泰国、东帝汶、越南。

地区受海面气温影响更甚，所以与陆地面积更大的其它地区相比，升温较慢。

但是，在东南亚的热带地区，极端高温将不断刷新纪录，经常会超过自然气候变化的温度范围。例如，在全球升温 2°C 的方案中，如今的夏季异常极端高温<sup>8</sup> 预计那时将会覆盖将近 60-70% 的陆地面积。史无前例的极端高温则会侵占 30-40% 的陆地。在全球升温 4°C 的情况下，如今称为史无前例的气候将成为新的正常气候，在北半球的夏季影响近 90% 的陆地。更为重要的是，东南亚是预计近期月度极端高温将有所上升的两个地区（另一个是亚马逊）之一，酷热<sup>9</sup> 的时间将从全球升温 2°C 时的 45-90 天 / 年，变为 4°C 时的约 300 天 / 年。

### 降雨

由于亚洲和澳洲季风会对东南亚造成影响且各独立模型之间依然存在巨大差异，因此使用气候模型来预测东南亚的降雨情况特别困难。在全球升温 4°C 的情况下，人们对东南亚的各种气候模型取得的预测结果无法达成共识。其原因就在于，或者这些变化不具统计意义，或者其对季风降雨的预测范围在 -5% 至 +10% 之间。尽管存在这些差异，但最新模型预测显示，严重降水事件的强度和频率均呈大幅上升之势。极端降雨事件<sup>10</sup> 将随着全球变暖而迅速增加，在全球升温 2°C 的情况下将占年度降雨总量的 10% 以上，而在全球升温 4°C 的情况下，该比例将变为 50%。与此同时，测量干旱的指标之一，即连续干旱的最长持续时间，预计亦将有所上升。这意味着，最小和最大降水极值都会被推向极端。

### 物理和生物物理因素可能对气候变化预测产生的影响

#### 海平面上升

到二十一世纪末，东南亚沿海地区的海平面上升预计将高出全球平均值 10-15%。在全球升温 4°C 的情况下，2060 年地区海平面上升<sup>11</sup> 的数值可能会超出当前值<sup>12</sup> 50 厘米，而 2090 年则将超出 100 厘米，其中马尼拉将成为最易受灾的地区。在全球升温 2°C 的情况下，尽管各地海平面上升的水平明显偏低，但到 2090 年依然会上升 75 (65-85) 厘米。由于自然或人为因素造成的地方性陆地沉降，将提升特定地点海平面上升的相对高度。

#### 热带飓风的风险

据预测，在东南亚登陆的强热带风暴<sup>13</sup> 及与之相伴的强降雨均会大幅上升。如果北太平洋西部盆地比工业革命前升温约 3.5°C，则热带飓风的最大表面风速将上升 7-18%，但活动的中心预计将向东、北方向移动。东南亚大陆和菲律宾热带飓风登陆的最大风速将分别上升 6% 和 9%，但登陆飓风的总次数却分别下降了 35% 和 10%。随着海洋表面温度上升，飓风引发的降雨预计会上升三分之一，增加了低地和沿海地区发生洪灾的风险。

#### 盐水入侵

就几个东南亚国家而言，沿海地区的盐水入侵将大幅增加。例如，以印尼的 Mahaka 河流域为例，如果 2100 年海平面上升 100 厘米，那么在全球升温 4°C 的情况下，盐水入侵的频率预计将增加 7-12%。在湄公河三角洲，二十一世纪 50 年代预计在全球升温 2°C 和 4°C 的情况下，海平面上升 30 厘米的现象将比如今盐水入侵伤害的总面积增加 30% 以上（130 万公顷）。

#### 珊瑚礁的损失与退化

珊瑚礁生长对温度的容忍范围相对较小，因此极易受海表温度上升的影响；升温与海洋酸化将共同使珊瑚礁感受到更为严重的热应力效应，从而引发白化事件。海表温度上升已在过去几十年间造成了重大的破坏性珊瑚白化事件<sup>14</sup>。如果气温上升 1.5°C，该地区可能早在 2030 年就会出现每年都发生珊瑚白化事件的情况（50% 的概率）。预测指出，如果升温高出工业革命前水平 1.5°C-2°C，则所有珊瑚礁在 2050 年可能都会感受到

<sup>8</sup> 极端温度的定义是基于如今地方自然年均温度变化约为 1°C，且即便是低水平的平均升温，亦可能被经常超过的情况。“史无前例 = 在整个测量记录阶段出现的破记录的情况。”

<sup>9</sup> 根据历史变化进行定义，与排放采用的方案无关，与当今气候的差异度超过了 90%。

<sup>10</sup> 作为年度降雨总量的比例加以评估。

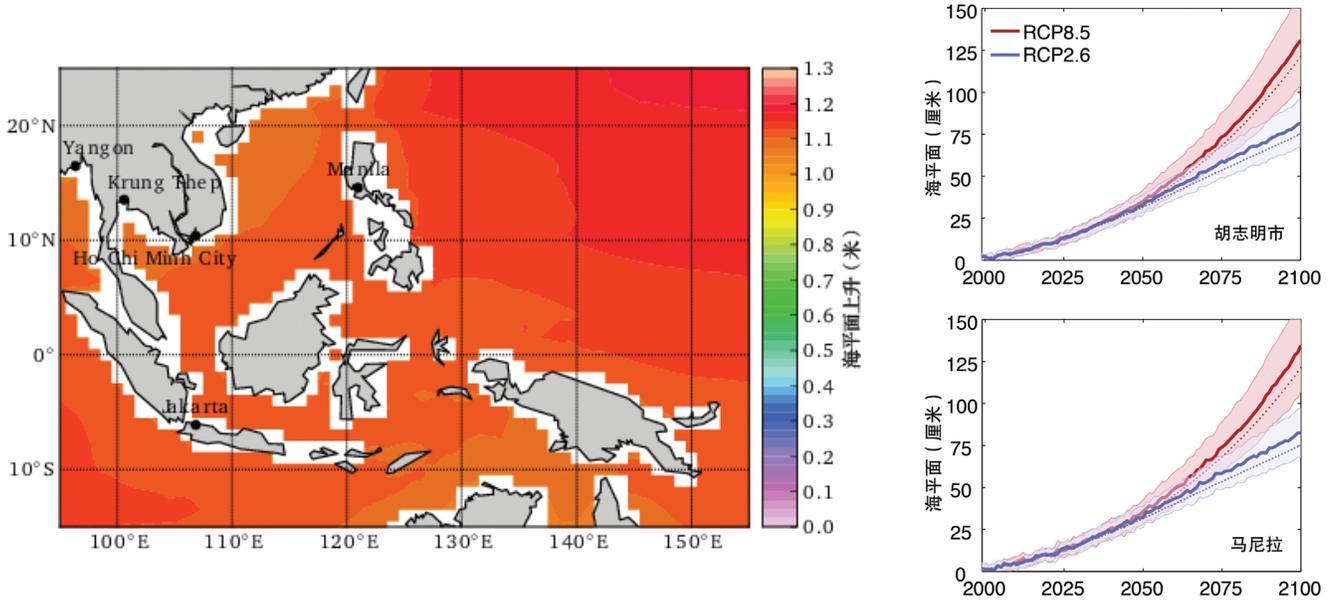
<sup>11</sup> “可能”的定义为，在采用本报告所用模型的情况下，机率大于 > 66%。

<sup>12</sup> 1986-2005 年的水平。

<sup>13</sup> 在萨菲尔——辛普森风力评级体系中为类别 4 或 5。

<sup>14</sup> 当温度超过区域性季节高温 1°C 四周以上时，就会发生珊瑚白化事件，超过区域性温度阈值的温度越高或时间越长，则珊瑚白化事件就会越严重。尽管有些珊瑚能够在白化事件中存活下来，但其死亡率很高且恢复需要几年的时间。如果白化事件出现的过于频繁或严重，则珊瑚礁可能永远无法恢复。

**图 4.1** 东南亚——在全球升温 4°C 的情况下，地区海平面上升的模式（左图；RCP8.5）。预测采用了本报告中的半经验性方法，针对该地区两个选定城市（右图）在 RCP2.6（全球升温 2°C）和 RCP8.5（全球升温 4°C）方案中的海平面上升，按时间进行了推测。



升温带来的压力。在全球升温 2°C 的情况下，珊瑚礁将受到严重威胁，在全球升温达到 4°C 前，大多数珊瑚礁可能都会消失。与之相关的海洋渔业和旅游业也会消亡，且保护沿海免受海平面上升和风暴潮影响的设施亦将荡然无存。

### 按行业和专项对影响进行划分

**河流三角洲** 作为每年自然水文循环的组成部分，湄公河三角洲每年定期都会出现洪水。此类洪水在该地区的三角洲扮演着重要的经济和文化角色。海平面上升和热带飓风强度加大，再辅之以人为造成的土地沉降，将使人们暴露于更高的风险之下，例如：洪水泛滥、盐水入侵和海岸侵蚀。尽管三角洲地区对水面变化和盐水入侵有一定的适应力，但这些后果仍然不可避免。湄公河、伊洛瓦底江和湄南河三角洲均有大量陆地高出海平面不足 2 米，极易受到这些风险因素的威胁。

**沿海城市** 将有越来越多的人口和财产暴露于气候引发的风险之下，其中包括热带风暴强度的上升，海平面的长期上升以及河流和沿海洪水突发。鉴于海平面上升预测固有的不确定性，再加上人口与经济增长的方式不同，评估受海平面上升影响人口的数

量十分困难。曼谷<sup>15</sup>、雅加达、胡志明市和马尼拉最易受到气候变化的侵袭。曼谷和胡志明市的数百万居民到二十一世纪 70 年代均会受到海平面上升 50 厘米<sup>16</sup> 的影响。城镇人口和 GDP 的高水平增长使这些地区更易受到气候变化的影响。由于建筑物密度大和城市面积的原因，城市热岛效应不可避免，该效应将使极端高温在城市变得更为明显，从而使城市的死亡率与发病率高于农村。农村贫困人口受到的环境压力最大；海平面上升造成的洪水和风暴潮会给非正式定居点的居民带来洪水和卫生方面的威胁。2005 年，越南约有 40% 的人口居住在非正式定居点，而在菲律宾这一比例为 45%。

**农业生产** 该地区（特别是湄公河三角洲的水稻生产）由于海拔高度较低，易受海平面上升的影响。海平面上升 30 厘米（最早可能于 2040 年发生）预计将导致湄公河三角洲的种植面积损失约 12%，其中洪水造成的损失占 5%，盐水入侵造成的

<sup>15</sup> 如果不采取适应性行动，曼谷预计将因极端降水事件和海平面上升而饱受洪灾之苦。在海平面上升 15 厘米的情况下，约有 40% 的面积将受灾（可能在二十一世纪 30 年代出现），在海平面上升 88 厘米的情况下，约有 70% 的面积将受灾（可能在二十一世纪 80 年代出现，全球升温 4°C）。

<sup>16</sup> 假设本地沉降为 50 厘米。

表 4.1 对东南亚气候影响和风险的总结<sup>a</sup>

风险 / 影响		观测到的脆弱性或变化	约 1.5°C <sup>b</sup> (二十一世纪 30 年代 <sup>c</sup> )	约 2°C (二十一世纪 40 年代)	约 3°C (二十一世纪 60 年代)	约 4°C (二十一世纪 80 年代)
<b>区域性升温</b>		自二十世纪 60 年代以来南中国海便以每十年 0.3–0.4°C 的平均速率升温。自 1971 年以来，越南每十年升温 0.3°C，高出全球平均水平两倍。	炎热夜晚出现的频率上升	如今的炎热夜晚已成为新的正常现象		几乎所有夜晚 (~95%) 均是如今的炎热夜晚
<b>极端高温 (在北半球夏季)<sup>d</sup></b>	异常极端高温	基本未出现	50–60% 的陆地	60–70% 的陆地	85% 的陆地	> 90% 的陆地
	史无前例的极端高温	未出现	25–30% 的陆地	30–40% 的陆地	70% 的陆地	> 80% 的陆地
<b>海平面上升 (高于当前水平)</b>		到 2010 年约为 20 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米 二十一世纪 60 年代为 50 厘米 2080–2100 年为 75 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米 二十一世纪 60 年代为 50 厘米 2080–2100 年为 75 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米 二十一世纪 60 年代为 50 厘米 2080–2100 年为 95 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米 二十一世纪 60 年代为 50 厘米 2080–2100 年为 110 厘米
<b>珊瑚礁</b>		异常白热化事件	早在二十一世纪 30 年代，就很可能出现年度白化事件 (50% 的概率)	几乎所有珊瑚礁预计都将受到严重白化事件的影响		

<sup>a</sup> 本章结束时用表格全面介绍了东南亚地区面临的影响与风险。

<sup>b</sup> 相关年份是指在不做改变的情况下，二十一世纪 80 年代升温超过 4°C 的方案中，超出升温水平的那个十年。

<sup>c</sup> 相关年份是指在不做任何改变的情况下，气温上升超出一定水平的年代。在对升温加以限制的缓解方案中 (将温度限制在特定水平以下)，气温将不会升至这一水平，因为在此方案中升温达到该水平的年份将始终为 2100 年，甚至根本不会出现。

<sup>d</sup> 给出了各种气候模型预测的平均极端温度值。不同模型 (最低到最高) 的不确定性范围显示，在全球升温 4°C 的情况下，异常高温的出现概率为 70–100%，而史无前例高温出现的概率为 30–100%。两种情况下，极端高温出现的最高频率均将随着指标值的饱和而接近 100%。

损失为 7%。尽管一些水稻品种的适应能力比其它品种更强，但有证据表明，所有水稻都易受突发性洪水的影响。如果洪水持续数天，构成洪灾，则会超出适应能力相对较强的水稻的敏感性阈值，对产量造成严重影响。在水稻生长的关键阶段 (分蘖、开花、灌浆)，如果温度超过阈值，可能会进一步影响生产率。

**水产养殖业** 是东南亚增长迅速且具有重要经济价值的产业，易受气候变化的影响。例如，越南的水产养殖业便增长迅速；在 GDP 中的占比从 2000 年的约 3% 上升至 2011 年的 5% 左右。其他东南亚国家也出现了快速的水产业增长。水产养殖业还为东南亚地区提供了近 40% 的膳食动物蛋白质 (源自鱼类)，因此对于该地区的食品安全具有至关重要的意义。预计海平面上升引发的日趋严重的热带飓风和盐水入侵将对水产养殖场造成破坏，尤其是淡水和半盐水养殖场。此外，气温上升可能会超过

对该地区具有重要意义的养殖品种的容忍阈值。热带飓风和沿海洪灾等极端天气事件已对东南亚的水产养殖活动造成了影响。例如，2006 年，第 4 类台风“象神”在越南摧毁了 1200 余公顷水产养殖区域，而印尼的“文森特” (第 4 类) 和“苏拉” (第 2 类) 给大约 3000 家水产养殖户造成了不利影响，导致渔业部门损失超过 900 万美元 (新华社，2012 年)。

**渔业，尤其是珊瑚礁渔业** 预计将受到大气和海洋中二氧化碳浓度上升引起的海平面上升、海水变暖以及海洋酸化的影响。渔获的预期将大幅度下降。预计捕捞潜力变化极端情况为：越南海域下降 16%，而菲律宾北部周边增加 6–16%。此外，菲律宾南部海洋的捕鱼产量 (与珊瑚生态系统没有直接关联) 预计将下降 50%。捕捞潜能的变化可能会给该地区渔民的生计提出更多挑战。

## 东南亚地区气候变化的综合影响

东南亚正在受到越来越严重的双重压力，一方面是海平面上升、海洋变暖和酸化、珊瑚白化等慢性危害及其诱发的生物多样性丧失，另一方面则是热带飓风和极端高温的突袭。一旦这些影响形成共振，很可能同时对多个行业造成打击。气温升高和海平面上升让该地区更多地暴露于气候变化的影响之下，慢性危害的累积效应可能会破坏该地区应对更多极端天气事件的复原能力，加重其脆弱性。

### 三角洲地区的居民、生计和粮食生产正面临着与日俱增的风险

面对海平面上升、更加频繁的强降雨事件以及热带飓风引发的风暴潮所造成的风险，河流沿岸和三角洲附近的人口，相关的种植业和渔业系统以及渔民的生计，预计将受到严重影响。

例如，湄公河及其支流对于越南的水稻生产具有举足轻重的意义。湄公河三角洲的 12 个省，被称为越南的“粮仓”；这里居住着约 1700 万人口，其中 80% 从事水稻种植。湄公河三角洲的产量占该国总产量的 50% 左右，为越南的水稻出口做出了重大贡献。该地区因气候变化造成的水稻歉收不仅会对越南的经济和食品安全造成影响，还会波及国际水稻市场。

湄公河三角洲还是越南最重要的渔业产区。这里拥有越南将近一半的海洋捕捞渔船，鱼类产量占越南水产养殖系统总产量的三分之二。盐碱化和气温上升预计将使水产养殖等重要产业的成本增加，损失加重。据观察，该地区三角洲内居民的灾害抵御能力非常低：当热带飓风纳尔吉斯<sup>17</sup>于 2008 年袭击缅甸伊洛瓦底河流三角洲时，导致 8 万余人死亡，80 万人流离失所，大片耕地被淹没，粮食产量和储量遭受重大损失。

盐水入侵对健康造成的影响很可能会增加。海平面上升和热带飓风可能会增加盐水入侵，从而污染淡水资源——这种效应可持续数年之久。最常见的健康危害是高血压；但洗浴、饮水和烹饪过程中盐份的增加，可能还会诱发一系列更广泛的疾病，其中包括流产、皮肤疾病、急性呼吸道感染和腹泻。

### 沿海城市和城区面临的压力越来越大

此问题在东南亚尤为明显，沿海城市聚集了越来越多的人口，其财产正面临着气候变化的风险。这些风险包括热带风暴出现的频率加快，海平面呈现长期上升的趋势，以及沿海地区洪水的突袭。如果不采取适应性行动，曼谷预计将因极端降水事件和海平面上升而饱受洪灾之苦。在海平面较目前的水平上升 15 厘米的情况下，约有 40% 的面积将受灾（可能在二十一世纪 30 年代出现），在海平面上升 88 厘米的情况下，约有 70% 的面积将受灾（可能在二十一世纪 80 年代出现，全球升温 4°C）。由于城市热岛效应，极度高温效应在城区尤为明显，这将导致城市人口的死亡率与致病率上升。这些风险在菲律宾和越南尤为严重。这些地区有近 40% 的人口居住在非正式定居点，卫生和供水设施的缺乏与损坏可能迅速加剧健康威胁。高人口密度亦会造成这些风险的进一步恶化。

预计未来几十年的海平面上升会导致珊瑚礁退化和丧失，鱼类产量减少，从而给其它近岸农业生产造成压力，导致沿海和三角洲地区的谋生手段消失殆尽。越来越多的居民已经开始迁移到城市地区。农村人口向城市迁移，可能会导致东南亚受灾城市人口的上升，并将特别危及到那些涌入人口本已十分稠密的非正式定居点的新移民。

### 旅游业和其他行业面临多重风险

据预测，海平面上升、热带飓风强度的增加，珊瑚礁退化和损失的进一步加剧，将对该地区的基础设施和自然资源及资产造成破坏，降低该地区作为旅游目的地的吸引力，从而对旅游业造成严重打击。研究表明，热带飓风的威胁将影响游客出行目的地选择，其程度可与恐怖袭击和政治危机相匹敌。

据预测，侵蚀作用将对沿海资产损失产生推波助澜的效果。海平面上升直接加剧了红河三角洲及其它地区的海岸侵蚀。如果海平面在 2100 年上升 100 厘米，则预计湄公河三角洲的海岸侵蚀将显著增加。据预测，菲律宾圣费尔南多湾地区的海滩损失，将给沿海资产以及大量民宅造成严重影响。

<sup>17</sup> 登陆风力可达“萨菲尔——辛普森飓风”体系中的第 4 级。

珊瑚白化以及珊瑚礁退化和损失在未来 10-20 年内非常有可能加速；因此，潜水和钓鱼带来的收入将在短期内受到影响。珊瑚礁的退化可能导致渔业受损，珊瑚礁保护海岸的能力下降和游客流失——而这些产业通常是沿岸人口生活和经济的支柱。

气候变化引起的升温将导致东南亚大片地区遭受史无前例的极端高温，海平面将在二十一世纪 50 年代上升 50 厘米，

在 2100 年上升 75 厘米以上。预计造成的生态和物理损失包括：珊瑚礁面积锐减，海洋食品生产大幅减少，热带飓风更加频繁并伴有风暴潮和洪水。海平面上升预计将导致重要水稻产区的农业生产蒙受重大损失，给沿海各大城市造成重大的洪灾风险。此外，旅游业和水产养殖业预计也会遭受严重打击。



## 南亚： 极度缺水与水量过大

### 区域总结

在本报告中，南亚地区由七国<sup>18</sup>构成，2010年人口约为16亿，2050年预计将超过22亿。到二十一世纪90年代，在全球升温4°C的情况下，预计海平面上升将超过100厘米，季风降雨将变得更加反复无常，导致灾难性洪水和干旱频发。冰川溶解和积雪损失可能非常严重，夏季（六、七、八月）的异常极端高温预计将影响70%的陆地。此外，农业生产很可能因水供应不稳定、海平面上升以及气温升高等因素而遭受多重打击。近年来，该地区的经济增长强劲，但贫穷仍然普遍存在，这些气候效应可能会对农村经济和农业造成严重影响。同时，密集的城市人口特别容易遭受极端高温、洪水和疾病的侵袭。

### 当前的气候趋势和预计到2100年前会发生的气候变化

南亚拥有独特和多样化的地理环境，因地球上最高的山脉——喜马拉雅山脉和青藏高原而产生了由印度河、恒河和雅鲁藏布江构成的庞大河流体系。该地区的气候以季风为主：南亚降水量最大的季节出现在夏天的季风季。例如，印度80%的降雨发生在这一时段。夏季季风及时、有规律的降临，对南亚的农村经济和农业至关重要。

根据未来的气候变化趋势预测，高于正常季风降雨量的年份以及降雨极端不足年份出现的频率将增加。这可能会导致灾难性



的洪水和干旱。由于冰川融化和积雪损失，该地区的恒河、印度河和雅鲁藏布江，容易受到气候变化的影响。其结果是对该地区

<sup>18</sup> 孟加拉国、不丹、印度、马尔代夫、尼泊尔、巴基斯坦和斯里兰卡。依据《管理极端事件和灾害风险，推进气候变化适应》报告(SREX)对地区的定义，该区域不包括阿富汗。

稳定、可靠的水资源造成重大风险，诱发峰值水流上升带来的  
洪灾风险和旱季水流的减少，进而对农业生产构成威胁。

在过去几十年里，南亚开始出现气候变暖趋势（尤其是在  
印度），这似乎与人类活动引起的气候变化预期影响相一致。  
近期，或许是受人为气溶胶（特别是炭黑）的影响，季风季降  
雨总量的观测显示降雨量有所下降。除这些现象外，据观察，  
最严重的极端降水事件以及干早期发生的频率均有所增加。

### 降雨

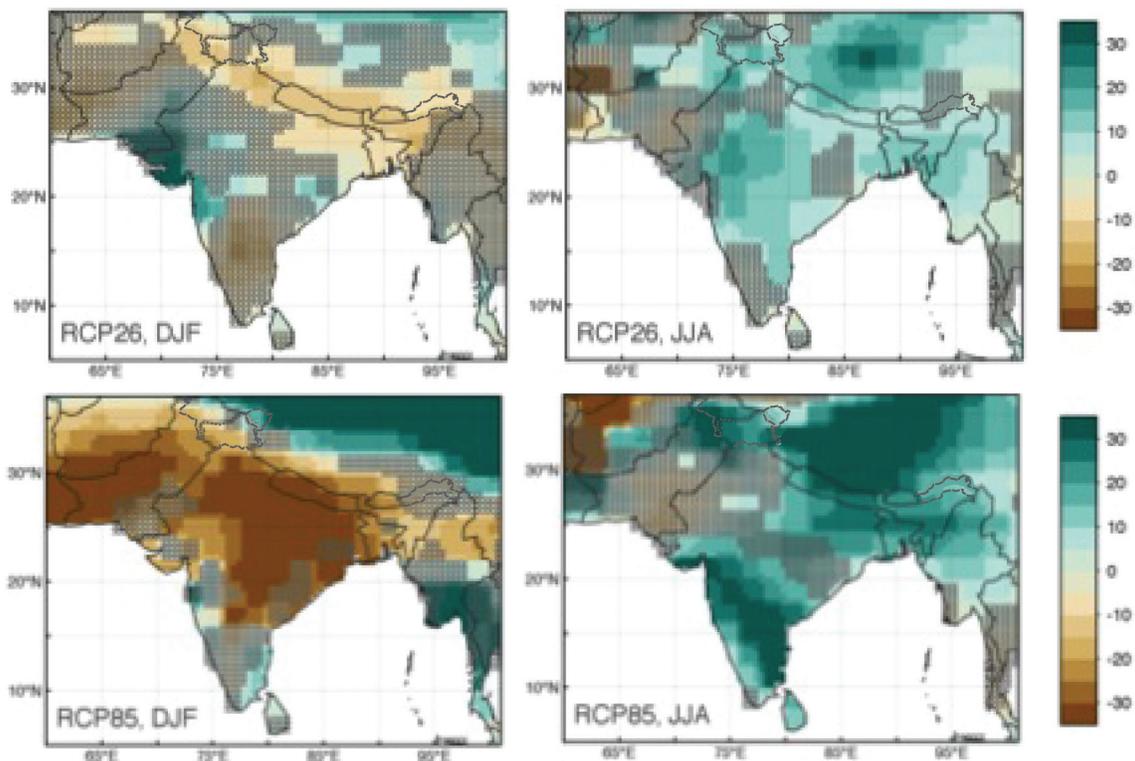
最近几十年中，据观察，严重极端降水事件发生的频率有所  
增加。在全球升温 4°C 的情况下，年度降水量预计将会  
上升 30%，季节降水分布不均的现象预计将更为严重，旱季的  
降水将下降 30% 而雨季的降水将增加 30%。

### 温度

在全球升温 4°C 的情况下，南亚的夏季气温预计将增加 3°C，  
到 2100 年增加近 6°C，巴基斯坦的升温趋势最为明显。在全球  
升温 2°C 的情况下，如果这种模式保持不变，该地区的西北部  
将升温 2°C，而其它部分将上升 1°C 到 2°C。在当地气温上升  
1.5°C 时，该地区目前气候中被视为异常的或根本未出现过的  
极端高温，预计将在夏季覆盖 15% 的陆地面积。

在全球升温 2°C 的情况下，覆盖 20% 陆地面积的异常极  
端高温预计将在北半球的夏季月份出现，而将影响约 5% 陆  
地面积的史无前例的极端高温则主要出现在南部。在全球升温  
4°C 的情况下，印度的西海岸和南部以及不丹和孟加拉国北部  
预计将出现新的高温气候。据预测，异常高温将在北半球夏季  
60-80% 时间内，笼罩该地区大部分的陆地。另外，一些地区

图 5.1: 南亚——在 RCP2.6（全球升温 2°C；上图）和 RCP8.5（全球升温 4°C；下图）方案中，使用多种模型测出的南亚地区 2071-2099 年间和 1951-1980 年间的旱季（DJF，左图）和雨季（JJA，右图）降水指数比例变化平均值。



阴影部分表示不确定区域——在变化趋势判定方面，5 个模型中有 2 个的结论与其余 3 个不一致。

表 5.1 对南亚气候变化影响和风险的总结<sup>a</sup>

风险 / 影响		观测到的脆弱性或变化	约 1.5°C <sup>b</sup> (二十一世纪 30 年代 <sup>g</sup> )	约 2°C (二十一世纪 40 年代)	约 3°C (二十一世纪 60 年代)	约 4°C (二十一世纪 80 年代)
<b>区域性变暖</b>		2011 年, 印度的最高温度在记录中排名第 9。2009 年的最高温度比 1961–1990 年的平均温度高出 0.9°C		高温期延长 20–45 天。高温夜晚出现的频率达到 40%		高温期延长 150–200 天。高温夜晚出现的频率达到 85%
<b>极端高温 (北半球的夏季)<sup>d</sup></b>	异常极端高温	基本未出现	15% 的陆地	20% 的陆地	>50% 的陆地	>70% 的陆地 在南部, 几乎整个夏季都将经受异常高温的折磨
	史无前例的极端高温	未出现	基本未出现	<5% 的陆地	20% 的陆地	>40% 的陆地
<b>降雨 (包括季风)</b>		南亚季风降雨量自二十世纪 50 年代以来有所下降, 但极端降雨事件发生的频率上升	降雨变化不确定	降雨变化不确定; 极端雨天降雨量占年降雨总量的比例上升了 20% <sup>e</sup>	夏季 (雨季) 降雨增加约 5%	夏季 (雨季) 降雨量增加约 10%。季风降雨的季节内变化上升了约 15%。极端雨天降雨量占年降雨总量的比例上升了 75% <sup>f</sup>
<b>干旱</b>		短期干旱频率增加			该地区的西北部干旱加剧, 尤其是巴基斯坦	根据印度东部和孟加拉国连续干旱天数测出的干旱期延长
<b>海平面比现在有所上升:</b>		到 2010 年约为 20 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米; 2070 年为 50 厘米; 2080–2100 年为 70 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米; 2070 年为 50 厘米; 2080–2100 年为 70 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米; 2060 年为 50 厘米; 2080–2100 年为 90 厘米	二十一世纪 40 年代为 30 厘米; 2060 年为 50 厘米; 2080–2100 年为 105 厘米, 马尔代夫高出 10 厘米

<sup>a</sup> 第 5 章结尾处提供了一张综合表格, 列出了东南亚所面临的影响和风险。

<sup>b</sup> 相关年份是指在不改变的情况下, 二十一世纪 80 年代升温超过 4°C 的方案中, 超出升温水平的那个十年。

<sup>c</sup> 相关年份是指在不改变的情况下, 二十一世纪 80 年代升温超过 4°C 的方案中, 超出升温水平的那个十年。

<sup>d</sup> 给出了各种气候模型预测的平均值。不同模型 (最低到最高) 的不确定性范围显示, 在全球升温 4°C 的情况下, 异常高温出现概率为 70–100%, 而史无前例高温出现的概率为 30–100%。两种情况下, 极端高温出现的最高频率均将随着指标值的饱和而接近 100%。

<sup>e</sup> 50% 的不确定性, 范围在 8–12% 之间。

<sup>f</sup> 50% 的不确定性, 范围在 65–85% 之间。

将在超过一半的夏季时间内感受到史无前例的高温, 这其中包括斯里兰卡和不丹。从长期来看, 可以通过将升温控制在 2°C 以下, 大幅限制极端高温天气增多对南亚造成的影响。

### 物理和生物物理因素可能对气候变化预测产生的影响

针对降雨、温度和极端事件频率和 / 或强度预估的变化将会造成直接或间接影响, 其影响范围包括: 季风活动、干旱、冰川萎缩、积雪水平、河水流量、地下水资源和海平面上升。

### 季风

据预测, 季风性降雨的年度与季节性差异将会明显拉大。

如果全球平均升温接近 4°C, 那么与二十世纪上半叶的正常值相比, 年度平均季风发生频率预计会上升 10%, 印度夏季季风降雨的年度变化可能会上升 15 个百分点。综合这些因素, 上述变化意味着当前百年一遇的超强湿度季风在本世纪末可能会变成十年一遇。

发生在印度河流域山区的一系列异常强烈季风降雨事件，是2010年巴基斯坦毁灭性洪灾的主要诱因之一。该事件导致超过1,900人死亡，2000多万人受灾。在受灾最为严重的农村地区，农场和桥梁等关键基础设施被洪水冲垮。降雨事件本身仅是一系列灾难的开端，导致下游地区出现长期、大规模的洪灾，其中许多因素是由人类活动造成。灌溉水坝、堰坝、河堤、内陆盆地的河流改道严重加剧了上游集水区的极端降雨事件给下游造成洪灾的风险。

在全球变暖的背景下，印度夏季季风的基本特征仍让人捉摸不定。例如，在更加干燥、降雨量较低的状态下，季风的突然变化可能会在南亚引发重大危机。2002年的异常季风印证了这一点，此次季风造成了该区域近代最为严重的干旱（降雨量较长期正常值低209%，粮食产量比前十年的平均水平减少了约10-15%）。目前，人们已针对这种转变提出了合理的物理预测机制，且据目前的气候模型预测，热带大气变化可能会使季风变得更为干燥。

### 干旱

预计中的降水季节性变化主要是指干旱天数的上升，而干旱会给人类生活造成不利影响。据预测，干旱会给这一区域内的部分地区（尤其是巴基斯坦）带来日益严重的风险，预计印度南部的湿度也将不断上升。印度北部的变化趋势尚不确定。在上个世纪，根据受影响人数确定的全球十大严重干旱灾难中，六个发生在印度，受灾人数高达3亿。例如，印度1987年和2002/2003年度的干旱影响了全国50%以上的农作物种植，2002年的粮食产量与上一年同期相比减少了2900万吨。据估计，在哈尔肯德邦、奥里萨邦和恰蒂斯加尔邦，大约每隔五年发生一次大规模干旱，约40%的农业产量会受到负面影响。

### 冰川损失、积雪减少和河流流量变化

在过去一个世纪，喜马拉雅山大多数冰川均出现了萎缩。目前，有7.5亿人口需要从印度河和雅鲁藏布江流域获取淡水资源，鉴于这些河流依靠冰川供水，因此水资源供应的减少会显著降低

这些流域内的粮食产量。这些河流严重依赖积雪和冰川融化带来的水资源，极易受到气候变化引发的冰川和积雪融化的影响。据预测，在二十一世纪50年代之前，这里的温度将比工业革命前升高约2.5°C。这表明在夏季和春末，印度河和雅鲁藏布江的流量在上升一段时间后，存在大幅下降的风险。灌溉水的供应在很大程度上取决于这类水资源，在旱季尤其如此。

- 由于春季冰川融化和融雪增加，预计河流水量将上升，但在春末和夏季季风来临前可用径流量会减少。
- 对印度河三角洲而言，如果升温2°C，最高水流量预计将增加约75%。如峰值河水流量上升，会使居住在人口稠密的河流三角洲地区的居民面临洪水频发、海平面上升以及热带飓风增强等多重风险。

### 地下水资源

补给主要来自降水和地表水。这一资源预计也将受到气候变化的影响。南亚地区，特别是印度和巴基斯坦，对地下水补给的减少极为敏感。这些国家早已饱受缺水之苦，灌溉用水在很大程度上依赖地下水的供应。例如，在印度，60%的灌溉用水要依靠地下水，而该国包括印度河流域在内的约15%的地下水已被过度开采。地下水资源对于减轻干旱以及对农业和食品安全造成的相关影响尤为重要。据预测，水资源短缺和干旱的持续期会延长，地下水资源对于农业的重要性可能会升高，从而对资源造成更大压力。季风降雨的可变性和季节性预计会增加，这在雨季会影响地下水补给，而在旱季则会导致过度开采。

### 海平面上升

由于南亚海岸线靠近赤道，与高纬度地区相比，预计其海平面上升幅度更大。与1986-2005年相较，到二十一世纪90年代，在全球升温4°C的情况下，预计其海平面上升约为100-115厘米；到二十一世纪末，在全球升温2°C的情况下，预计其海平面上升约为60-80厘米，海平面上升的最大值将出现在马尔代夫。这通常比全球平均上升幅度高出约5-10%（高出10厘米以上），而海平面上升50厘米将很可能在2060年前发生。

## 按行业和专项对影响进行划分

**水资源** 据多数风险评估研究认为，这一资源在人口稠密的南亚已经危机四伏。一项研究指出，如果到二十一世纪 80 年气温比工业革命前上升约 3°C，则可能会因南亚人口增加和气候变化等多种因素造成人均可用水量下降 10%。即使是升温 1.5–2°C，亦需要对储水能力加大投资力度，充分利用季节性径流对旱季进行补偿，改善全年的供水情况。

淡水的质量可能也会遭受潜在气候变化的影响。沿海地区和三角洲地区的海平面上升和风暴潮会导致盐水入侵，从而降低地下水的品质。盐水入侵造成的饮用水污染可能会导致腹泻病增加。鉴于霍乱弧菌在盐水中存活的时间更长，霍乱的暴发可能会更加频繁。孟加拉国沿海地区约有 2000 万人已经受到了饮用水盐化的影响。

**农作物产量** 易受到该地区一系列气候因素的影响，其中包括季节性缺水、气温上升和海平面上升造成的盐水入侵。温度的上升和降雨模式的变化降低了亚洲最为重要的农作物——水稻的相对产量，特别是在旱作区。观察发现，栽培作物对温度上升也很敏感。研究在对二十世纪 80 年代以来气候变化的历史轨迹进行追踪之后发现，生长季平均温度每上升 1°C，水稻和小麦的产量就会下降 8%。另一项研究发现，生长季夜晚的变暖和降水的减少，将造成印度稻米大幅减产；如果气候条件不发生变化，产量至少会高 6%。

尽管过去几十年间粮食总产量在上升，但在过去十年，印度粮食产地的大部分地区均出现了滞涨等令人担忧的信号。2020 年极端高温将影响约 10% 的土地并在 2030 年达到 15% 的预测，给农作物产量造成了巨大威胁。如果升温范围在 1.5–2.0°C，预计农作物的产量就会大幅下降；如果出现了明显的 CO<sub>2</sub> 施肥效应，且升温仅高于工业化革命前 2°C 左右，则通过低成本的适应措施或许能够抵消部分负面影响。如果升温在 3–4.5°C，则农作物产量预计会下降约 10–30%，在 CO<sub>2</sub> 施肥效应较弱的情况下，减产最为严重。

**农作物总产量** 在没有气候变化的条件下，预计会出现大幅增长 (60%) 但价格压力也会上行。另外一些趋势性因素还包括技术进步、研发的开展、市场扩容及基础设施。如果二十一世纪 50 年代全球升温 2°C，则产量增长至少会下降 12%，

为满足人均需求，进口总量将会翻番。因此，人均可用卡路里的数量将大幅下降。粮食提供量的下降将造成包括儿童发育迟缓在内的严重健康问题。与不发生气候变化相较，该问题到 2050 年将上升 35%。

**能源安全** 预计将因气候给水资源造成的影响而面临愈来愈大的压力。该地区的两种主要发电形式是水力和热力发电（例如，化石燃料、核能与聚合太阳能），而这两种方式均会受到供水不足的影响。由于气温和水温的上升，热力发电亦会受到冷却系统承压的影响。

## 气候变化对南亚地区的综合影响

**水资源动态：**给南亚地区人口造成气候风险和潜在影响的威胁，大多可追溯到水循环所发生的变化——超强降雨、极端干旱，以及喜马拉雅山降雪减少和冰川消退导致的河水流量下降。此外，其它因素还包括沿海地区海平面上升和热带飓风密度的加大。由于雪盖消失，季节性降水可能会加大洪水的严重程度，延长干旱的时间。极端高温更是火上浇油，给农作物产量造成负面影响。如果这些趋势和模式得以延续，中近期必将出现大幅减产。降雨量和地理分布的预期变化，很可能会给农业、能源和洪灾风险造成深远的影响。

即便是在全球升温低于 2°C 的情况下，由于受旱地区大且洪泛区广，该地区仍然显现出高度的脆弱性。此外，据预测二十一世纪 70 年代海平面上升将达 70 厘米，给农作物产量和水资源造成的风险会影响到该地区大量人口。

**三角洲地区和沿海城市** 的人口将暴露在气温上升、河流洪水频发、海平面上升和热带飓风增加等多重风险之下。印度和孟加拉国因飓风而死亡的人数目前占全球的 86%，尽管只有 15% 的热带飓风会影响到这一地区。

- **孟加拉国** 现已成为受影响的热点地区，面临着不断升级的多重挑战：严重的河流洪水、强力热带飓风、海平面上升、极端高温和农作物产量下降。河流洪水与热带飓风造成的潮涌，使贫困人口聚居区发生洪灾的概率大增。预计到二十一世纪 40 年代，海平面上升将达 27 厘米，再加上类似“锡德”这类飓风所产生的 10 年一遇的暴风潮，被淹土地将比如今类似灾害事件淹没的土地面积增加 80%。

- **加尔各答和孟买** 极易受到海平面上升、热带飓风和河流洪水的影响。洪水与干旱均会影响到人们的健康，造成腹泻等疾病，而该疾病正是目前亚太地区造成儿童死亡主要罪魁祸首。

气候变化给季节性可用水量造成的冲击，可能会向当地人口提出多重挑战，即如何能够获得安全的饮用水、足够的灌溉用水，以及如何为热电厂提供充分的降温能力。

无论将来的温室气体排放将走向何方，预测显示，异常炎热和极端酷热夏季的出现频率在未来二十年均会成倍增加。死亡率的显著上升可能与此类极端高温密不可分，相关案例在过去已经出现。

预测显示，严重的河流洪水、强力热带飓风、海平面上升和极端高温将会带来更多的风险和恶劣影响。如果严重洪水和其它事件继续不断发生，则目前在洪水高发区定期出现的人口迁移，仍将延续。农业生产将受到气温上升、季节性供水减少和海平面上升等多种因素的影响。

尽管未来的经济发展与增长可能会降低南亚大量贫困人口的脆弱性。但是，气候变化的预测指出，各地区的脆弱性及其对社会产生的影响，依然可能会挥之不去。升温将会大幅延缓减贫的速度。该地区的许多气候影响，在全球升温 1.5-2°C 这种相对温和的状态下已显现出严重性，因此将给发展提出严峻的挑战。为应对这种程度的升温造成的不良影响，需要在基础设施、抗洪救灾、开发抗高温和抗旱农作物方面进行重点投资，并努力完善可持续性的做法，例如：地下水的开采。

## 缩略语表

°C	摄氏度	IPCC	政府间气候变化专业委员会
3-sigma events	超出历史平均值三个标准差以上的事件	ISI-MIP	部门间影响模式比较计划
5-sigma events	超出历史平均值五个标准差以上的事件	JJA	六七八月
AI	干旱度指数	MAGICC	温室气体引发气候变化的评估模型
ANN	年度	MGIC	山地冰川和冰帽
AOGCM	大气海洋环流模型	NH	北半球
AR4	政府间气候变化专业委员会第四次评估报告	OECD	经济合作与发展组织
AR5	政府间气候变化专业委员会第五次评估报告	PDSI	帕默尔干旱指数
BAU	不做改变	ppm	百万分之
CaCO <sub>3</sub>	碳酸钙	RCP	具有代表性的浓度排放途径
CAT	气候追踪系统	SCM	简单气候模型
CM IP5	耦合模式比较计划第 5 期	SLR	海平面上升
CO <sub>2</sub>	二氧化碳	SRES	IPCC 排放方案专项报告
DIVA	动态交互脆弱性评估	SREX	关于“管理极端事件和灾害风险，推进气候变化适应”的 IPCC 专项报告
DJF	十二月一月二月	SSA	撒哈拉以南非洲地区
ECS	平衡气候敏感度	UNEP	联合国环境规划署
GCM	大气环流模型	UNFCCC	联合国气候变化框架公约
GDP	国内生产总值	UNRCO	联合国驻地协调员办公室
FPU	食品生产单位	USAID	美国国际开发署
GFDRR	全球减灾和灾后恢复框架	WBG	世行集团
IAM	综合评估模型		
IEA	国际能源署		



## 术语表

**C3/C4 植物：**指两类光合作用的生化“转换方式”。C3 植物包括地球上 85% 的植物（例如，大多数树木、小麦、水稻、山药和土豆），这些植物适应湿润的气候和大气中二氧化碳浓度的上升。C4 植物（例如，大草原的草类、玉米、高粱、黍和甘蔗）属于对水和能量需求较低的作物，在炎热和干旱的条件下的表现胜过 C3 植物。

**CAT：**气候追踪系统 (CAT) 是一项独立的科学评估系统，用于跟踪各国对排放承诺的遵守和采取的行动。根据本评估对未来排放做出的预测，可用来分析在当前政策基础上制定的升温方案：(a) CAT 参照 BAU 方案：是一种对当前排放‘不做改变’(BAU) 的方案，其内容包括现行政策，但并不对未来的减排做出承诺；和 (b) CAT 的现有承诺：一种包括各国现行国际减排承诺的方案。

**CM IP5：**耦合模式比较计划第 5 期 (CM IP5) 聚集了 20 个当代 GCM 研究组，生成了大量可供对比的气候预测数据。本项目为协调气候变化实验提供了一个框架，其中包括为 IPCC 的 AR5 评估开展仿真实验。

**CO<sub>2</sub> 施肥效应：**CO<sub>2</sub> 的施肥效应主要能够 C3 植物的光合作用水平，提升水资源的使用效率，因此 C3 农作物的质量和 / 或数量都会上升。此效应可在一定程度上抵消气候变化的不

利影响，但粮食的蛋白质水平会下降。长期影响尚不确定，因为这些影响与 CO<sub>2</sub> 上升给生物带来的长期生理影响，以及包括土壤营养成分、水和光照在内的多项其它限制因素息息相关。

**GCM：**大气环流模型 (General Circulation Model) 是最为先进的气候变化预测模型，用于预测因温室气体浓度上升、气溶胶以及外力变化（例如，太阳活动和火山喷发）造成的气候变化。这些模型中包括全球三维网格中的大气、海洋、冰冻圈和陆地表面各种物理过程的数学表达式。当代 GCM 的典型水平分辨率为 100 至 300 公里。

**GDP（国内生产总值）：**是指某经济体所有常住生产者产出的总价值，其中包括产品税但要扣除产品价值中不包括的补贴。计算中未扣除制造的资产折旧或自然资源的枯竭和退化等因素。

**IPCC AR4, AR5：**政府间气候变化专业委员会 (IPCC) 是全球气候变化评估的主导机构。该委员会由全球上百名科学家组成，定期发表评估报告，全面介绍有关气候变化的最新科学、技术和经济社会信息及其可能产生的影响。第四次评估报告 (AR4) 于 2007 年发表。第五份评估报告 (AR5) 即将于 2013/2014 完成。

**ISI-MIP:** 首个跨行业影响模型对比计划 (ISI-MIP) 是一种社区驱动型建模计划，在新制定的气候 [具有代表性的浓度排放途径 (RCP)] 和社会经济方案的基础上，开展跨行业的全球影响评估。此前，五大行业（农业、水资源、生物群系、卫生和基础设施）的 30 多个模型参加了此次建模演练。

**MAGICC:** “复杂性有所降低”的碳循环 / 气候模型在此被应用于概率分析，以提供全球平均升温的“最佳预测”，不确定性的范围囊括了碳循环、气候系统和气候敏感性等不存定因素。本模型仅以对南北半球陆地 / 海洋温度观测的历史数据和以往对海洋升温所做评估为依据。与复杂程度很高的碳循环模型相比，能够可靠地判定大气中 CO<sub>2</sub> 的浓度，并根据 GCM 的估测，预测出全球地表变暖的平均水平。

**RCP:** 具有代表性的浓度排放途径 (RCP) 以一批精选方案为基础，致力于研究综合评估建模、气候建模，以及影响的建模与分析。此项工作列举了大量新经济数据、新兴技术信息，以及环境因素的观测结果，例如土地使用和地面覆盖的变化。RCP 并非通过详细的社会经济事例推导出排放状态，而是将辐射情况（主要因大气构成变化造成大气层进出辐射发生改变）做为气候建模的唯一输入内容。辐射变化不仅与社会经济或排放水平相关，而且还是经济、技术、人口、政策和制度等多方面因素的综合产物。

**RCP2.6:** RCP2.6 是一种旨在将全球平均升温控制在高于工业革命前温度 2°C 以下的典型气候缓解方案。IPCC 第五次评估报告正在开展评估的多项研究均采用了这一排放路径。另外，此方案亦是本报告其它部分在影响评估中采用的一种低水平排放方案。本报告将 RCP2.6 称为“升温 2°C 的世界”。

**RCP8.5:** RCP8.5 是一种无气候政策基线且温室气体排放水平相对较高的方案，IPCC 第五次评估报告 (AR5) 正在开展评估的多项研究均使用了这一方案。另外，此方案亦是本报告其它部分在影响评估中采用的一种高水平排放方案。本报告将 RCP8.5 称为“比工业革命前升温 4°C 的世界”。

**SRES:** IPCC 在 2000 年出版的排放方案专项报告 (SRES) 中介绍了政府间气候变化专业委员会第四次评估报告 (AR4) 对气候变化做出的预测。预测内容并不包括气候缓解方面的假设。SRES 研究对 40 种方案分别加以考量，每种方案均就未来温室气体排放的推动因素做出了不同假设。依据排放水平的差异，方案被分为四类。

**SREX:** 2012 年，IPCC 发布了一系列有关管理极端事件和灾害风险，推进气候变化适应 (SREX) 的报告。本报告对造成气候灾害的物质与社会因素做出了评估，概要阐述了如何有效实施灾害管理。

**超干旱:** 干旱指标 (AI) 非常低的地区，通常出现在大沙漠。目前没有关于超干旱的统一标准，本报告将 0 至 0.05 间的数值定义为超干旱。

**干旱度指数 (干旱 Index):** 干旱度指数 (AI) 是用于确定地区结构性“干旱”，即长期平均降水量偏低地区干旱程度的指标。AI 的计算是用年度降水量除以可能的蒸发量得出，后者用于衡量典型农作物在温度、照射和风速作用下一年生长所需的用水量，是一种标准化水需求测量方式。

**工业化前的水平 (目前已升温 0.8°C 的含义):** 仪表测量的地表温度记录显示，1986–2005 年间的全球 20 年平均地表气温比 1851–1879 年的平均值上升了 0.6°C。但是，这一数据中的各年之间存在着巨大的变化和不确定性。此外，1986–2005 这 20 年间的平均温度上升，并不一定与当今的升温情况相同。从 1901 至 2010 年的线性趋势不难看出，从“工业化早期”到现在，地球升温了 0.8°C。自 1850 年起，人们就开始用仪表测量记录全球地表平均气温。早期，测量站的数量较少，但将随着时间的推移测量站的规模快速扩大。1850 至 1900 年间，工业化已然兴起。因此将 1851–1879 年作为基本区间，或将 1901 年作为线性趋势分析的起点，可能会导致对当前和未来变暖形势的低估。但在十九世纪末，全球温室气体排放规模不大，因而此前气温变化的不确定性较高。

**人均 GDP (PPP)** 是用国内生产总值购买力平价除以人口计算得出。请注意：经合组织国家 (OECD) 的购买力平价估测相当可靠，但发展中国家的 PPP 估算往往采用粗略的近似值。

**生物群系 (Biome)**：生物群落是指由不同植物和动物种群构成的大片地理区域，是动植物有限的主要栖息地之一，其分类是依据气候和主要植被类型。生物群系包括草原，沙漠、常绿或落叶森林和苔原。每个广义的生物群落都存在许多不同的生态系统，这些系统分享该生物群落特定范围内的气候和环境条件。

**严重和极端**：指不正常的（负面）影响。这两个术语通常与其它一些定量术语，如“异常”或“史无前例”相关。这些术语均有具体的量化规定（见“异常和史无前例”）。

**异常和史无前例**：本报告提及的“史无前例的异常酷热”是基于当前地区气候的历史变化和使用的阈值。因此阈值的绝对值取决于基本周期（1951–1980 年）内的自然年度变化、其捕获方式是利用标准差 ( $\sigma$ )。异常酷热被定义为 3-sigma 事件。在正态分布的情况下，3-sigma 事件的复现时间为 740 年。2012 年美国的热浪和 2010 年俄罗斯的热浪被归类为 3-sigma 事件。史无前例的酷热被定义为 5-sigma 事件。事件的复现时间为数百万年。月度温度数据并不一定呈正态分布（例如，分布可能存在“长”尾，造成升温事件上升的概率增加），复现时间可能与正态分布预测不同。然而，3-sigma 事件极不可能发生，5-sigma 事件基本从未发生过。



