

报告摘要

长江是我国的第一大河，全长 6300 多公里，流域面积约 180 万 km^2 ，占全国的 1/5，包括 18 个省、区；长江流域现有人口约 4.5 亿人，占全国 1/3；该流域覆盖了我国人口较密集、水土资源较丰富的亚热带湿润地区，流域内有江汉平原、洞庭湖平原、鄱阳湖平原及长江三角洲平原四大平原、耕地集中，土地肥沃，是我国重要的农产品商品基地。耕地面积约占全国的 1/4，2007 年长江流域粮食产量 17768.1 万吨，占全国的 35.4%，森林面积为 5495.11 万公顷，占全国的 31.4%；2007 年长江流域经济总量为 10.26 万亿元，占全国的 41.1%。多年平均水资源径流量 9800 多亿 m^3 ，约占全国的 37%，人均水资源量约 2400 m^3 ，高于全国人均水资源量 2100 m^3 。通过以上的数据可以看出长江流域在我国国民经济中的重要地位。

总的来说，长江流域大部分地区水热条件较好、气候资源充沛、对气候波动的抵抗能力较强，与黄河流域和西北干旱区及东北地区相比，长江流域大部分生态系统对气候变化的脆弱性比较低。但是长江流域的季风特点决定了该区域受极端气候事件的影响较大，尤其是洪涝灾害的影响，在过去几十年气候变暖的过程中，尤其是上世纪 90 年代以来，长江流域洪涝灾害发生的频率呈增加趋势，未来的气候变化可能使其进一步加剧。值得注意的是，在气候变暖的过程中，极端严重的冰雪灾害事件及干旱事件并没随着气候变暖和部分地区降雨量的增加而减少，反而有增加的趋势，这对气候变化的适应性管理提出了更高的要求，需要考虑更多的因素，采取双向适应的策略。长江中下游地区气候变化的相对幅度较小，农田、森林等生态系统的管理水平较高，对气候变化的适应性较强；但长江源区各种生态系统和中下游的湿地生态系统对气候变化较敏感，脆弱度比较高；长江河口区受海平面上升引起的海水倒灌及风暴潮的影响较大，加之该区域人口密度大，是我国重要的工业基地，气候变化造成的影响和经济损失远比其它地区大，具有放大效应；但该地区经济比较发达，基础设施比较完善。因此与全国其它地区相比，长江流域对气候变化的适应能力相对较强。

一、长江流域未来气候有持续变暖变干的趋势，而降水的变化趋势不明显，且存在较大的空间异质性，这与未来温室气体排放情景有关；极端气候事件发生的频率呈增加趋势，但未来的不确定性较大。

与全球或全国的气候变暖趋势相似，长江流域近五十年来气温呈明显的增加趋势，尤其

是 90 年代以来，增温明显加速。根据长江流域内 147 个气象站点资料显示，仅 20 世纪 90 年代气温平均就增加 0.33℃，而 2001-2005 年急剧平均升温 0.71℃；1961-2005 年长江流域年降水量变化趋势不显著，只表现出微弱的增加，而季节变化比较明显，整个流域春季降水量变化幅度不大，夏季降水量在 20 世纪 90 年代增加最大，秋季降水量呈减少趋势，冬季呈微弱增加趋势。

根据 ECHAM5 气候模式预估结果，在 3 种排放情景（SRES-A2, A1B, B1）下 21 世纪前 50 年长江流域平均气温均显著升高，3 种排放情景下长江流域年降水量在 21 世纪前 50 年变化趋势不显著，总体上前 40 年降雨量略减少。长江流域降水时空分布不均，故历来是洪涝和干旱多发区。在 1900-2000 年长江流域一共发生了 27 次洪水，其中 1980-2000 年发生了 8 次；而在此期间旱灾一共发生了 9 次，1980-2000 年发生了 3 次旱灾，自 1980 年后长江流域旱灾发生次数增多、频率加快。20 世纪 80 年代以后正是全球气温快速增加的时期，在这个增暖时期洪旱灾害发生次数也增多。并且，随着长江流域气温的增加，气候灾害事件有增加趋势，如 2006 年夏重庆大旱、2007 夏四川盆地暴雨频繁、2008 年南方雪灾、2008 暴雨频繁和 2009 年初大旱。随着全球气候变暖，长江流域夏季高温日数明显增多，高温热浪的频率和强度随之增加。如 2009 年 6 月底，我国的十三省区（包括长江流域大部分地区）遭受了高温热浪席卷，局地最高气温可达 40℃。

二、近 50 年来长江流域水资源量无明显变化趋势，未来气候变化对其影响也不大，但未来不同的排放情景对长江流域水资源的空间分布影响较大；长江流域内重大工程的规划和管理应该考虑气候变化所带来的直接和间接影响。

长江流域水资源受流域内降雨的影响较大，在过去气候变暖过程中，长江流域 1961-2005 年年平均流量变化与年降水量的变化基本一致，没有明显增多或减少趋势。随着气候变暖，长江源区冰川将继续退缩，冻土消融加快，短期内有利于水资源的增加。但从长期看来，将会严重减少上游水资源的供应，使源区生态系统向旱化和沙化方向发展。长江源区的冰川面积到 2060 年将比 1970 年减少 11.6%；同期径流将增加 28.5%；零平衡线将上升 50m 左右。季节冻土的冻胀和多年冻土融化下沉将给青藏铁路和南水北调工程西线带来重大的挑战。1961-2000 年，长江流域中部尤其四川盆地呈干旱化的趋势，而长江流域上游和下游的广大地区呈湿润化的趋势。未来（2001-2050 年）不同排放情景下长江流域旱涝格局呈现不相同结果，A2 情景下长江源区和中下游呈湿润趋势，岷江流域、金沙江流域下游呈干旱趋势，A1B 情景下刚好相反，汉江流域、岷江流域呈湿润趋势，长江源区和下游呈干旱化

趋势，尤其在源区，干旱趋势比较明显。而 B1 情景下长江流域大部分地区呈“南早北涝”的趋势，尤其是汉江流域呈比较明显的湿润趋势。

在局部流域尺度上的模拟结果显示（SWAT 模型），气候变化对流域水资源的影响比人类活动引起的土地利用变化的影响还要大；对汉江流域的研究结果表明，21 世纪前五十年该流域的降水量比 1971-2000 年的平均年降水量减少 7%。因此，在长江流域重大工程的规划、运行和管理中应该充分考虑气候变化所带来的风险。例如：在南水北调中线工程中，是否会因为气候变化而加大南北同枯的概率，从而降低工程的效率。

三、如果只考虑气候因素，气候变化使长江流域主要农作物产量显著下降，但大气 CO₂ 浓度增加所带来的施肥效应会有效抵消这种不利因素，大大降低减产幅度，甚至在个别地区有增产的趋势。如果再考虑品种替换等适应性措施，长江流域不仅可以降低和避免气候变化给农业带来的不利影响，甚至还可以发挥气候变化带来的正面效应，从而提高农作物的产量。

长江流域水热条件丰沛，正常情况下可以满足农作物生长的需求，而不会成为限制因素，气候变暖引起的蒸散量的增加也不会对水分供应造成太大的影响。但影响长江流域主要作物产量的首要因素是光照即太阳辐射，例如四川盆地年总辐射量只有 3200MJ/m²，不过温室效应引起的气候变暖并不增加到达地面的太阳短波辐射，反而有下降的趋势。这种情况下增温只能增加作物的呼吸消耗导致产量下降。但在大部分地区，增温可以使生长季延长，这样就增加了整个生长季的辐射量，对作物生长有利。水稻是长江流域最主要的作物，种植面积占全国水稻面积的 60%，而产量占全国水稻产量的 70%。一般来讲，影响水稻产量的主要气候因子是光照，7-8 月份的高温抑制、8 月份花期冷害和秋季的低温伤害。受光照条件的限制，早中稻产量由北向南递减，而晚稻产量正好相反，这是因为晚稻主要受秋季的低温限制，因此秋季升温有利于晚稻增产。近年来，在长江中下游地区，一季中稻受高温热害（7 月下旬-8 月下旬）的危害日益突出，造成大面积减产，在这些地区气候变暖导致的夏季高温将会严重影响中稻的产量。

如果只考虑气候因素的影响，气候变化将使长江流域水稻减产 9%-41%，但如果同时考虑大气 CO₂ 浓度增加所带来的施肥效应，长江流域单季稻的产量总体上将呈现增产的趋势。但对大面积的双季稻来讲，到 2100 年（包括气候变化及 CO₂ 的施肥效应）早稻生育期将平均缩短 4.9 天，晚稻生育期平均缩短 4.4 天，早稻与 1971-2000 的平均单产相比平均减产 3.6%，双季稻平均减产 2.8%。和水稻相似，如果只考虑气候因素，气候变化将使长江流域

的小麦和玉米显著减产，但如果同时考虑 CO₂ 的施肥效应，长江中下游地区冬小麦呈增产趋势，而西南地区仍以减产为主。即使包括 CO₂ 的施肥效应在内，到 2080 年长江流域的玉米仍将普遍减产，其中四川盆地中部减产幅度最大，达 25%-50%。

调整播种期和选育生长期长的耐高温品种不仅可以抵消气候变化对水稻生产带来的不利影响而且还可以利用气候变暖增加的热量资源。多个模拟试验结果表明：在气候变暖的情况下，作物品种不变，早、晚稻产量将分别下降 16.1%、14.1%，但改种生育期较长的水稻品种后，产量分别增加 17%、2.3%。值得注意的是，以上的模拟试验大多都没有考虑 CO₂ 施肥的饱和效应和病虫害及极端气候事件对长江流域农业产量的影响。

四、长江流域目前森林覆盖率较高，大部分森林为中、幼龄林，林分长势良好对气候变化不脆弱。但未来的气候变化会增加这些森林的敏感性和脆弱性，尤其是长江源区和中下游的江西和湖南林区。

森林是陆地生态系统的主体，具有很高的生物量和生产力以及丰富的生物多样性，而且具有涵养水源、减轻自然灾害、调节气候、孕育和保存生物多样性等生态功能。长江流域森林类型主要为亚热带落叶阔叶林和常绿阔叶林，随着流域内人类活动的增加，森林覆盖率从全新世中期（公元前 6000 年）的 80% 左右降低到公元 2 世纪末的 70%，再到 14 世纪末的不足 40%。到 20 世纪 40 年代森林覆盖率已降至 16% 左右，20 世纪 50 年代后，随着大规模的植树造林活动的开展，森林覆盖率上升到 80 年代初的 18%，到 2003 年森林覆盖率已快速增加到 30.5%，目前大部分森林为次生林和人工林，处于中、幼龄林阶段。

长江流域的各种森林生态系统在过去几十年的气候变暖过程中已经受到不同程度的影响，根据大气-植被相互作用模型（AVIM2）模拟的 1981-2000 年长江流域森林生态系统的主要功能指标来分析这一阶段长江流域森林生态系统的脆弱性和敏感性，发现长江流域大部分森林生态系统的生产力都有不同程度的增加，没有表现出明显的脆弱特征。基于 NPP 计算的敏感性指标比基于植被碳密度和土壤碳密度所计算的敏感性指标的值大的多，说明 NPP 对气候变化响应更强烈，因而是更好的评估指标。基于 NPP 的敏感性指标表明 1981-2000 年间长江源头的森林生态系统对气候变化最敏感，大部分地区的敏感性指数达到了 0.39 以上；次敏感的区域位于江西和湖南境内达到了 0.32-0.39；长江中下游大部分森林的敏感程度在 0.16-0.24 和 0.24-0.32 之间，而在长江上游四川盆地西南部和北部及东北部森林的敏感性最小，在 0.029-0.036 之间。从植被类型看，对气候变化响应的敏感程度依次为：稀疏

灌丛 > 常绿针叶林 > 有林草地 > 落叶阔叶林 > 常绿阔叶林 > 混交林 > 郁闭灌丛。值得注意的是这里的敏感性指数都是正值,说明这一时期的气候变化对森林生态系统的生长是有利的,这里的敏感性指数越大说明气候变化对森林的生长越有利。

与 1981 - 2000 年的敏感性相比,21 世纪前 50 年长江流域森林生态系统对气候变化的敏感性(基于 NPP)显著增加,森林敏感性增加较大的区域有两个,一个位于长江源头,另一个是长江中下游的江西和湖南境内。从植被类型看,落叶阔叶林的敏感性增加最大,其它类型依次是:常绿针叶林、有林草地、混交林、常绿阔叶林、郁闭灌丛、稀疏灌丛。

同样,与 1981 - 2000 年的脆弱性相比,21 世纪前 50 年长江流域森林生态系统对气候变化的脆弱性将显著增加,但大部分森林仍属于轻度脆弱级,脆弱性增加的区域主要分布于长江以南的江西、湖南、云南等林区,脆弱性增加最大的是落叶阔叶林、其他依次是:常绿阔叶林、常绿针叶林、稀疏灌丛、郁闭灌丛、混交林和有林草地。

五、长江源区草地生态系统目前整体上处于退化状态,气候变化是长江源区草地退化的主要驱动力,未来气候变暖将进一步使源区冻土的活动层深度增加,源区大部分草地生态系统向旱生方向演替,导致牧草质量及生产力下降,从而使大部分生态系统变得更脆弱。

气候变化对源区高寒草地生态系统的影响主要是温度升高导致各类冻土活动层厚度增大,冻土面积萎缩,在过去的 25 年间,活动层厚度增加了 0.5 - 1.2m。活动层厚度的增加导致土壤水分下降,从而使草地植被覆盖度下降,高覆盖草甸、草原和沼泽面积减少,严重退化的沙漠化土地和黑土滩型裸草地面积增加;同时,高寒湿地分布面积急剧萎缩。在引起源区高寒草甸草地退化的众多因素中,气候变化是决定因素,其贡献率为 81%,其次是人为因素,贡献了 18% 的比重。

随着全球气候变暖,在降水量变化不大的情况下,高寒草地地上生物量呈明显降低趋势。如果降水量保持不变,温度增加 $0.44^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,10 年间高寒草甸和高寒草原植被生物量将分别下降 2.73% 和 2.44%;如果在温度增加的同时,降水量增加 $8\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$,高寒草甸和高寒草原地上植被生物量仅分别下降了 1.55% 和 1.37%,说明降水量增加可以缓解气温升高对高寒草甸的影响。长江源区植被的退化显著影响长江上游的水文过程及水资源量。自 20 世纪 80 年代以来,长江源区不断加剧的高寒草甸草地退化使流域径流系数减小、流域常遇径流减少、稀遇洪水径流发生频率增加,这与严重退化草地极易形成暴雨径流有关。

长江源区近 30 年对气候变化的脆弱性在空间上存在较大的异质性,脆弱度较高的区域

位于南部的杂多县、玉树县以及沱沱河流域，北、中部的治多、曲麻莱以及称多县属于中度脆弱区，脆弱度较低的区域位于西部可可西里区和东部巴颜喀拉山区。上述脆弱性区域的分布基本上与源区草地 NPP 减少程度的空间分布一致。未来气候变化将会使源区大部分生态系统变得更脆弱。

六、在气候变化和人类活动的双重压力下长江中下游湿地过去几十年面积急剧萎缩，湿地破碎化程度加剧；水温升高和水位下降已经威胁到湿地的生物多样性，导致鱼类和候鸟的种类和数量下降，同时也改变了湿地植物群落的物种组成及生产力；未来的气候变化将会进一步加剧长江流域湿地生态系统的脆弱性，降低生态系统的服务功能。

20 世纪 50 年代以来，长江中下游的湿地面积明显减少，除了围湖造田等人类活动外，气候变化也是主要原因之一。鄱阳湖区 2000-2005 年湿地面积减少了 1.23%，洞庭湖区 1980-1990 年湿地总面积减少了 5.82%，崇明岛东部 1982-2000 年湿地面积几乎损失了 3/4，其中水体面积减少了 4%，而滩涂面积减少了 69%。同时，湿地的破碎化程度加剧，大量自然湿地转变为人工湿地，如稻田、池塘、水库等。80 年代中期以来，气温呈现比较明显的上升趋势；1991-2001 年气温较 1961-1990 年增加了 0.41℃、2001-2005 年增加了 0.83℃；同期水温也增加明显，水温升高引起长江鱼类越冬期间栖息地向北迁移，可能导致鱼类洄游距离增长，能耗增加，发育缓慢，死亡率增加。鱼类的产卵时间可能提前，如果栖息地和食物不充足，可能导致鱼类的繁殖成功率下降。夏季水温过高，将影响鱼类的摄食能力，使其代谢下降，生产力降低。水温的变化，也可能影响鱼类的洄游路线和周期。若水温升高，超过冷水鱼的耐受能力，可能导致其种类和数量的减少。

鸟类对温度变化较为敏感，冬季的气温变化可能对鸟类的分布产生影响，温度升高后，鸟类的迁飞路线和分布区将发生改变，逐渐北移。原来仅在长江以南各省分布的棕背伯劳、池鹭，以及仅在长江下游分布的震旦雅雀现已出现在山东、黑龙江和天津等地。调查显示气温升高和湖水水位下降等因素会导致水鸟的种类和数量下降，降低水鸟的多样性。气候变化引起的湿地面积减小和水位下降也会降低湿地生态系统植物的多样性和生产力，使湿生物种的丰度下降，而旱生物种的比例增加，从而引起湿地生产力的变化。在水位下降过程中，湿地中储存的大量有机碳会随着温度的升高而加速分解产生大量的温室气体，未来的气候变化可能导致部分湿地生态系统从碳汇转为碳源。

气候变化也会降低长江流域湿地生态系统的调蓄防枯能力。长江中下游湿地对洪涝、干

旱等极端气候事件具有调节功能，鄱阳湖湿地是长江中游最大的天然水量调节器，起着调蓄洪峰、减轻洪水灾害的作用。上游河流注入鄱阳湖的最大流量的多年平均值为 $30,400\text{m}^3/\text{s}$ ，而湖口相应出流的最大流量多年平均为 $15,700\text{m}^3/\text{s}$ ，洪水流量平均被削减 $14,700\text{m}^3/\text{s}$ ，削减百分比为 48.3%。同时也为长江中下游枯水期提供水源补给。但这些能力会因气候变化尤其是极端气候事件的增加而降低。

七、河口城市上海市受海平面上升、极端气候事件和长江中、上游人类活动的影响较大，未来气候变化可能会加剧该区域的脆弱程度。因此，在城市规划、建设和管理方面不仅要考虑气候变化的影响，还需加强对极端气候事件的应急体系建设。

上海城区在近 50 年气温上升了 2.35°C ，气温变化倾向率达 $0.51^\circ\text{C}/10\text{a}$ ，是全国同期升温幅度的 ($0.25^\circ\text{C}/10\text{a}$) 两倍之多，是全球近 50 年增温幅度 ($0.13^\circ\text{C}/10\text{a}$) 的近 4 倍。降水波动较大，六十年代降水量显著下降，七十年代到九十年代末增加明显，最近几年略有下降。上海的降水周期也发生了变化，汛期从原先的 5-10 月提前至 4-9 月，并且汛期降水量有减少的趋势。

近 30 年来，上海沿海海平面上升了 115mm，高于全国沿海平均的 90mm，到 2050 年上海沿海海平面将比 1990 年上升 18cm，加之地面沉降，相对海平面上升幅度更大。海平面上升引起海水倒灌，咸潮入侵的频率在过去几年呈明显的增加趋势，对上海饮水安全构成了极大的威胁。

在气候变化背景下，上海地区的极端气候事件有增加的趋势：上海近 50 年降水灾害概率为 21.1%，比前 50 年上升了 5.3 个百分点；极端最高气温从上世纪 70 年代末期开始上升，尤其是在 2003 出现了 39.6°C 的极端高温；气温、降水和气流的变化加剧了风暴潮产生的可能性，同时风暴潮产生的损失也随之加大。随着未来海平面的上升，海岸区域将遭受洪水泛滥、湿地丧失、海水侵入淡水水源地等事件，盐水入侵会造成生物生境的改变，降低生物多样性，同时海平面上升引起的海岸滩涂的损失还将导致护岸工程安全系数的下降，增加维护成本。

气候变化将不可避免的影响上海的经济社会发展，上海市第一产业占的比例较小，气候变化对农、林、牧、渔业的影响和造成的损失相对较小；由于气候变化引起的极端气候事件增加将对上海的交通及运输业造成较大的损失，并威胁到陆地、海上和空中的交通安全。金融业是上海六大支柱产业之一，气候变化不仅会造成极端灾害事件增加，同时也会增加对其进行风险评估的不确定性，进而增加保险业的损失，影响上海金融保险业的发展和对外部资

金的吸引，最终影响上海的经济的发展；气候变化尤其是极端气候事件的增加将对游客的出行带来不便，这会进一步影响到上海旅游业的发展。

气候变化的脆弱性不仅表现在上海经济社会的各部门，而且在地域空间上也存在较大的异质性；综合脆弱性分析表明：最脆弱的区域主要分布在崇明东滩、东平国家森林公园、佘山国家森林公园及沿岸缓冲区；次脆弱的区域主要分布在崇明岛北部、横沙、长兴两岛、南汇口、杭州湾沿海滩涂湿地和上海的主要水系；其它地区为弱度脆弱区或不脆弱区。进一步分析表明上海的脆弱性指数与温度和降水成正相关，未来气候变暖可能会使上海地区变得更脆弱。

八、长江流域应对气候变化的适应性对策：

气候系统本身的非线性特征及其与生态系统和社会经济系统之间复杂的相互作用和反馈机制决定了气候变化研究和应对气候变化管理对策的复杂性、长期性和艰巨性。受各种因素的制约，目前人类对气候变化各生态过程产生的影响、认识和对未来气候变化的预测都存在很大的不确定性，可以说不确定性是气候变化研究领域最显著的特征，气候变化的适应性管理就是在各种不确定性因素下的风险决策管理，管理对策的有效性取决于对该系统基础研究知识的积累、监测数据的获取与分析能力。长江流域过去针对气候变化脆弱性和适应性的研究比较少且比较分散，缺乏长时间序列的监测数据，而气候变化与各种生态系统和社会经济系统紧密耦合、相互作用、不可分割，因此气候变化的适应性管理措施不能只局限于气候本身，要与经济社会等具体问题相结合，这样的建议措施才更有可行性。鉴于气候变化的复杂性和不确定性，对气候变化的适应性措施应该首先采取“无悔”的策略，在不增加额外成本的前提下，尽量采取那些考虑了气候变化因素的措施；其次采取“顺便”的策略，在其它经济社会活动中所采取的措施兼顾到了适应气候变化的效果，适应气候变化在这里并不是直接的目的，只是“副产品”；再次适应性措施应该要重视对过去气候变化所取得的经验教训进行总结，尤其是从生产管理第一线取得的“本土经验”，要与现代科学技术相结合，并加以提炼、总结、完善与推广，降低“误适应”（mal-adaptation）的风险；此外，气候本身是动态的过程，气候变化适应性措施也不是一成不变的，我们要用变化、发展的眼光看待气候变化的适应性，随着未来科学技术的发展和对气候变化的进一步认识，目前采取的各项适应性措施在未来要做及时的调整与完善以达到动态优化的目的；本报告在集成分析前期研究的基础上结合长江流域气候变化和生态系统的特点，针对流域内不同生态系统和部门提出以下具体适应性管理对策：

1、加强流域内基础设施建设，提高经济发展水平，提升应对气候变化的能力建设。

气候变化是环境问题，但从根本上讲是发展问题，只有提高流域内的经济发展水平和管理水平才能从根本上提升应对气候变化的能力。尤其是在贫困地区，发展经济脱贫致富与应对气候变化相结合。具体来讲，首先，加强长江沿岸经济规划与布局，促进产业结构调整，提升社会经济的可持续发展能力；其次是加强流域内的基础设施建设，包括能源电力系统、交通运输系统和水利工程及相关配套设施建设，例如：长江大堤及沿海提防工程的加固、农田水利基本建设等；再次是增强公众意识，加强环境教育，通过加强气候变化方面的宣传、教育和培训以在全社会传播气候变化方面的知识，促进个人、家庭、社区和当地政府共同采取应对气候变化的行动。

2、改进长江流域水资源综合管理体系，并对重大工程运行方案进行优化调整。

气候变化将会影响长江流域水资源的格局和旱涝灾害，因此，需要加强流域综合管理。在长江流域综合规划修编中应充分考虑气候变化的影响，考虑与水资源有关的产业结构调整，将长江流域应对气候变化纳入到长江流域发展规划中。从技术层面上讲，应采用以市场为导向的水资源优化配置与管理模式，合理调整水价，以提高全社会公众的节水意识；加快跨流域调水工程建设，实现多流域水资源的优化配置和利用。在气候变化背景下，重大工程的原有运行调度方案需要进一步优化调整，提高应对重大旱涝灾害的能力，充分满足栖息地的生态需求，确保流域环境流，以充分发挥工程对流域水资源的配置作用以及保证工程本身在新的气候条件下能够安全运行。

3、合理调整农业种植制度，优化种植结构，培育和改良适应气候变化的新品种以及改善农田管理措施。

研究表明，随着大气 CO₂ 浓度的升高和相应的气候变暖会显著降低玉米和部分地区小麦的产量，但对水稻的产量影响较小。因此，从宏观上来讲，应该压缩长江流域玉米的面积、适当保留小麦的面积、逐步扩大水稻的面积；随着气候变暖，流域内的热量资源逐步增加，故应尽量改一熟制为两熟制或两熟制为三熟制，以充分利用增加的热量资源、提高粮食产量。在熟制无法增加的地区，随着未来气温的升高应以引进和培育生长季长且耐高温、抗病虫害的品种为主要适应措施，以充分利用气候变化所带来的正面效应，在培育出新品种之前可以推迟原品种的播种期，以降低气候变暖带来的不利影响。据模型预测未来气候变化使长江流

域发生洪涝和干旱灾害的频率增加。因此，改善灌溉排水条件等农田管理措施是适应未来气候变化的关键。这种对农田生态系统的综合适应性管理措施，在过去几十年的气候变化过程中于长江流域已经取得了显著成效，作物生长模型的估算结果表明，在不考虑品种替换等适应性管理措施的情况下，长江流域水稻的单产从1980-2005年之间应呈现显著下降的趋势，但实际产量表明长江流域水稻的单产在这一时期是显著增加的（图1），这足以证明适应性在应对气候变化中重要性。

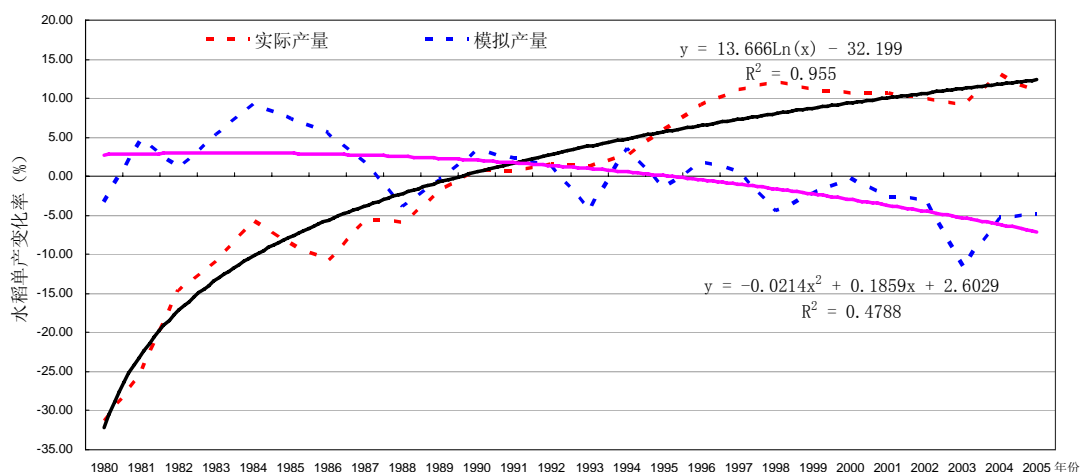


图1 1980-2005年水稻实际单产和模拟单产的变化（相对于26年多年平均值）

4、把气候变化的适应性管理纳入流域森林培育和经营管理的总体规划方案中，建立和完善流域生态补偿机制；在森林经营管理过程中，以保护天然林和恢复重建地带性植被为主，加强人工林管理，优化林分结构，并在人工林经营和植物恢复过程中兼顾到气候变暖过程中引起的“南种北移”现象，有针对性的采取逐步推进和驯化的策略。

长江流域森林生态系统种类繁多，随着未来气候变化这些生态系统的敏感性和脆弱性都会增加，但不同类型之间差异较大。因此，要提高整个长江流域森林生态系统对气候变化的适应能力，就必须从全流域的角度来规划和管理这些森林资源。在分析现有森林生态系统脆弱性和敏感性的基础上，综合自然、社会和经济等因素，对整个流域森林生态系统的主体功能进行区划，并充分考虑其在未来气候变化下的动态。结合林权制度改革，建立和完善流域内生态补偿机制，提高生态补偿标准，切实提高林分尺度的森林经营水平，提高森林生态系统适应能力。从脆弱性和敏感性分析结果来看，长江流域分布面积最大的地带性森林植被常绿阔叶林和落叶阔叶林的敏感性和脆弱性较低，在全球气候变化背景下，这些地带性森林类

型适应极端气候事件的能力也较强，因此应加大力保护天然林，恢复地带性森林植被，并在生态恢复过程中适度考虑因气候变暖引起的树种分布范围向北或向高海拔迁移。在造林时既要发挥南方树种的速生优势，又要充分考虑极端气候波动可能带来的风险，在南种北移过程中采取逐步推进、逐渐驯化的策略。

5、在气候变化主导区以保护冻土和生物多样性为主，减少人类活动干扰；在人类活动主导区，调整畜牧业结构，提高综合经济效益；加强草场管理，引进和培育适合气候变暖的新草种，严格控制载畜量，防止草场超载；建立牧草储备系统，加强对极端气候事件的预警和应对能力。

长江源区草地生态系统目前退化的主要原因是气候变化和人类活动双重作用的结果，其中气候变化占主导因素的地区大多位于无人区或人类活动稀少的地区，区内地势高亢，平均海拔4,500m以上。该区域集中了长江源区绝大多数冰川资源，河流水系均以冰川融水补给为主，湖泊众多，冰缘湿地分布广泛；除河谷线状融区外，多年冻土连续分布；植被以高寒草甸和高寒沼泽草甸为主，在山坡地带分布高寒草原草甸和高寒草原。该区域也是目前气候变化最脆弱的地区之一，应该以生态保护为主，减少捕猎等人类活动的干扰，加强生物多样性保护。

在人类活动占主导因素的地区，首先，应加强畜牧业结构调整，提高综合经济效益，推进产业的升级转化，延长产业链条，发展适合区域新兴产业、源区的优势产业和区域特色产业，调整牧业内部结构，促使农牧业协调发展；其次，强化草场管理，引进和培育适合气候变暖的新草种，严格控制载畜量，防止草场超载。长江源区未来气候变化仍将以变暖为主，而降水量变化不大。大量研究表明，增温将导致这些冻土地区高寒草地生态系统生物多样性迅速下降，从而导致草场生产力和载畜量的下降。因此，要培育和推广适合气候变暖的新牧草品种，以降低气候变化的不利影响；再次，应该建立牧草储备体系，加强不同区域和不同季节草场的互补性，提高整个系统牧草供应的稳定性。过去的经验表明对长江源区牧业生产和牧民生活影响最大的是雪灾等极端气候事件，导致大量牲畜死亡，造成巨大的经济损失，而这些极端事件可能会随着未来的气候变暖而增加，牧草储备体系可有效减缓这种灾害天气带来的损失。此外，还应该通过现代通讯技术加强对极端气候灾害事件的预报和预警能力，改进对重大气象灾害预报的准确率和时效性，提高牧民的防范意识和应对能力。

6、增加河湖连通性，改善环境流，增强湖泊调洪防旱能力，将湿地保护纳入到流域综

合规划管理中；优化长江流域水利工程运行管理，保障湿地基本的生态水文功能；加固海岸堤防工程，加强沿海防护林体系建设，以降低气候变化对滨海和河口湿地的影响；加强对湿地生态过程及其与气候变化相互作用的研究，提高对湿地生态系统的长期监测及数据收集能力；加强应对气候变化的适应性对策研究。

在长江流域的各种生态系统中湿地生态系统对气候变化比较敏感、脆弱，该流域湿地生态系统的大部分问题是气候变化和人类活动共同作用的结果，故湿地生态系统的适应性管理措施应该考虑上游各类生态系统和人类活动，尤其是水利工程的运行管理关系；过去几十年长江流域已经修建了大量的水利工程，这些工程把湖泊与长江干流的连系隔断，造成湿地面积减小、自净能力下降、水生生物资源锐减。加强江湖连通性、优化水利工程运行管理方案，改善环境流，才能逐步保证下游的基本生态用水，改善湿地的水文条件，保障栖息地的生态需求；鉴于湿地生态系统和上游各类生态系统与人类活动的密切关系，长江中下游的湿地保护与管理应该纳入到整个长江流域的综合规划管理中。气候变化导致的海平面上升和风暴潮的加剧，会引起海水倒灌，加重滨海及河口湿地的盐渍化，改变湿地的物种组成，造成外来物种入侵，降低湿地生物多样性和鸟类栖息地的质量。因此，需要加强沿海堤防工程建设，加强沿海防护林和海岸红树林的建设，以降低气候变化对湿地带来的危害；与长江流域其它生态系统相比，湿地生态系统的研究较为薄弱，缺乏系统、长期的监测数据，对湿地生态水文过程及其与气候变化的相互作用机制的认识还不够深入，今后需要加强在这些方面的研究，以提高未来气候变化背景下湿地的管理水平。

7、将气候变化纳入区域可持续发展战略规划中；加强城市基础设施建设，提升应对气候变化的能力；调整产业结构和经济发展模式，大力发展低碳经济，探索节能减排与适应气候变化相结合的发展道路；建立有效的气候灾害预警预报与应急响应机制；加强气候变化的教育和宣传，提高公众意识，倡导对环境和气候友好的生活方式。

以上海市为例，气候变化将对上海市的自然、经济和社会等系统带来各种不利影响，因此，在上海市的产业结构调整、能源发展战略、生态建设与保护等涉及到可持续发展战略的规划中，应充分考虑气候变化因素，将气候变化的影响与适应纳入相关规划中，从而在可持续发展框架下应对气候变化问题。

首先，将调整经济发展模式、能源结构和发展低碳经济作为气候变化背景下可持续发展战略的重要内容，城市是温室气体的主要排放源，发展清洁能源和低碳技术既是适应气候变化的措施，又能起到减排作用；其次，加强城市基础设施的建设，缓解气候变化主要是海平

面上升及极端气候（如暴雪、暴风潮等）对上海带来的不利影响。例如提高防洪墙、海岸防护工程和海堤的设计标准。加强城市生态环境建设，提高市区植被覆盖率，缓解城市热岛效应和气候变化带来的极端高温热浪的影响；加强水资源的管理，保护和开发新的水源地，降低气候变化对上海饮水安全的威胁；再次，随着上海超大城市的快速扩张以及人口和经济总量的迅猛增长，相同强度的气候灾害（如台风、暴雨、暴风潮、雪灾等）造成的损失将被显著放大，因此加强对极端气候事件的预报预警能力，制定应急预案及其实施办法，完善灾害应急和响应机制，提高公众的防范意识和应对能力。借助现代传媒等宣传手段，普及气候变化知识，加强公众的环境保护意识，倡导节约型社会、培养气候友好的生活方式。