

doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2016.212

刘苏峡, 丁文浩, 莫兴国, 等. 澜沧江和怒江流域的气候变化及其对径流的影响 [J]. 气候变化研究进展, 2017, 13 (4): 356-365

## 澜沧江和怒江流域的气候变化及其对径流的影响

刘苏峡<sup>1,2</sup>, 丁文浩<sup>1,2</sup>, 莫兴国<sup>1,2</sup>, 王 盛<sup>1,2</sup>,  
刘昌明<sup>1</sup>, 罗 贤<sup>3</sup>, 何大明<sup>3</sup>,  
Sagar Ratna Bajracharya<sup>4</sup>, Arun Bhakta Shrestha<sup>4</sup>,  
Nand Kishor Agrawal<sup>4</sup>

1 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及  
地表过程重点实验室, 北京 100101;

2 中国科学院大学资环学院 / 中丹学院, 北京 100049; 3 云南大学, 昆明 650091;

4 International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu 100023, Nepal

**摘 要:** 采用 VIP (Vegetation Interface Processes) 模型和 HIMS (Hydro-Informatic Modeling System) 模型, 模拟分析了 1957—2012 年澜沧江和怒江流域 (简称两江流域) 水资源量的演变。根据 CMIP5 RCP2.6, RCP4.5 和 RCP8.5 情景预测, 模拟了 2030 年代和 2050 年代流域水资源的变化。研究发现, 过去 50 年间, 两江流域的气温都呈升高趋势, 但海拔较高的上游地区升幅大于下游。年总降水量的变化趋势不明显, 但春季降水增加趋势明显。两江流域年总水资源量为 650 亿 ~ 850 亿 m<sup>3</sup>, 水资源总量长期变化趋势不明显, 其中澜沧江的波动性 (1.884, 最大与最小之比) 大于怒江。空间上水资源量呈现北低—南高的格局。在未来, 两江流域气温仍呈增加趋势, 降水呈增加趋势, 径流呈增加趋势, 空间变异性趋小, 但较强的季节性变化对水资源安全仍具有较大的挑战性。

**关键词:** 径流; 气温; 降水; VIP 模型; HIMS 模型

## 引 言

澜沧江流域和怒江流域 (简称两江流域) 是我国西南地区的重要河流, 发源于青藏高原, 跨越我国青海、西藏、云南 3 个省区, 经横断山区, 由云南省流出国境 (图 1)。澜沧江流域 (21.15° ~ 33.82° N, 93.88° ~ 101.85° E) 和怒江流域 (23.10° ~ 32.76° N, 91.15° ~ 100.23° E) 形状均呈条带形, 呈现西北—东南走向, 流域面积分别为 167400 km<sup>2</sup> 和 137800 km<sup>2</sup>; 河流长度分别为 2161 km 和 2013 km。澜沧江河长和面积分别占其所属国际河流的 44.28% 和 20.67%, 怒江河长和面积分别占其所属国际河流

的 62.13% 和 42.40%。两江流域平均高程落差分别为 2.12‰ 和 2.04‰, 流域水能蕴藏量丰富, 是下游地区的“水塔”。两江下游流经东南亚各国, 径流量分别为 760 亿 m<sup>3</sup> (16%) 和 703 亿 m<sup>3</sup> (27.9%), 对下游国家干季河道径流具有调节作用, 其水资源利用和管理具有特殊性, 受到国内外相关组织和政府高度关注。流域上游的青藏高寒区和横断山脉区是全球气候变化最敏感区域之一, 流域生态和水文过程对气候变化的响应强烈, 气候变化影响着水资源总量及其季节分配, 对流域水资源利用、水电开发等方面产生复杂而深远的影响。研究两江流域水资源对气候变化的响应以及未来气候变化情景下水资源

收稿日期: 2016-10-14; 修回日期: 2017-02-06

资助项目: 国家自然科学基金项目 (41471026); 国家重点基础研究发展计划项目 (2012CB957802); 喜马拉雅地区气候变化适应项目 (Himalayan Climate Change Adaptation Programme, HICAP)

作者简介: 刘苏峡, 女, 研究员, liusx@igsrr.ac.cn

的变化, 对制定中国及周边地区的水安全方略至关重要。

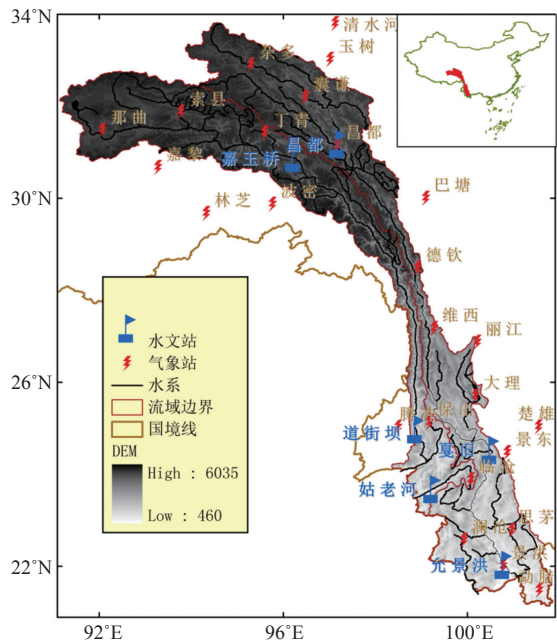


图 1 研究流域水系图  
Fig. 1 The map of the Lancang and Nujiang River Basins

两江流域的气候在过去几十年发生明显变化, 主要表现为气候持续变暖, 随着海拔增加, 增温幅度增大。怒江流域降水量增加不明显<sup>[1]</sup>, 澜沧江降水量有所减少, 极端降水频率增加明显<sup>[2-3]</sup>。气候变化已经影响了流域的径流季节分配和长期变化。据趋势检测, 1960—2005 年澜沧江非汛期径流有下降的

趋势<sup>[4]</sup>, 怒江下游道街坝水文站径流增加。但由于两江流域跨纬度较广, 径流补给多样, 受到冰雪融水补给影响, 不同海拔高度的站点出现不同变化趋势<sup>[5-8]</sup>。据预测, 在温度持续上升和降水增加不明显的 A1B 气候变化情景下, 澜沧江流域径流将有所减少, 尤其在 3—6 月<sup>[9]</sup>。

本文以两江流域为研究对象, 采用自主开发的分布式 VIP 生态水文动力学模型和 HIMS 模型, 结合流域的下垫面和实测流量信息, 模拟分析流域径流的时空变化特征, 并基于全球 GCM (Global Circulation Model) 模式在未来 3 种碳排放情景, 即典型浓度路径 (Representative Concentration Pathway) RCP2.6, RCP4.5 和 RCP8.5 情景下的气候变化预测集合平均, 通过降尺度, 预测 2030 年代和 2050 年代流域径流对气候变化的响应。

1 数据与方法

1.1 基础数据

水文数据来自水文年鉴, 主要包括澜沧江流域的允景洪、戛旧、昌都, 怒江流域的姑老河、道街坝、嘉玉桥共 6 个水文站 1957—2007 年的日径流数据。由于特殊原因, 部分年限资料缺失, 所获得的资料见表 1。

HIMS 和 VIP 模型驱动的气象数据主要来自中国气象局<sup>①</sup>, 包括流域及附近地区 30 个气象站点

表 1 水文站及其控制流域相关特性表  
Table 1 The feature of hydrological stations and the corresponding basins

流域	水文站	位置	集水面积 /km <sup>2</sup>	数据序列
澜沧江	昌都	(31.18°N, 97.18°E)	48448	1991—1998 年, 2000 年
	戛旧	(24.53°N, 100.50°E)	105660	1957—1959 年
	允景洪	(22.03°N, 100.78°E)	141380	1957—2007 年
怒江	嘉玉桥	(30.88°N, 96.23°E)	69384	1991—2000 年
	道街坝	(24.98°N, 98.88°E)	110224	1960—1963 年, 1965—1985 年
	姑老河	(23.68°N, 99.23°E)	4185	1960—1963 年, 1965—1985 年

① 气象数据来源网址为 <http://cdc.cma.gov.cn/home.do>。

1957—2012 年的逐日平均气温、最高气温、最低气温、水汽压、风速、日照时数及降水数据。水文和气象站点位置如图 1。运行 VIP 模型还用到数字高程模型（来自 United States Geological Survey (USGS) 3 弧秒 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 数据<sup>②</sup>），植被数据<sup>③</sup>（8 天叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI)），土壤质地数据（来自国际粮农组织 (FAO) 网站<sup>[10]</sup>）。

## 1.2 模型简介

VIP 生态水文动力学模型，包含陆地生态系统能量收支、水文循环和植被动态等过程，其中地表产流采用可变土壤蓄水量方法、汇流过程采用一维运动波方程进行模拟<sup>[10-11]</sup>。模型既可用于田间尺度，也可用于区域和流域，模拟自然和农业生态系统的水分收支、生产力和碳循环，以及流域水文过程。按 8 km 网格分辨率，本文将两江流域及其周围气象站的逐日观测值，通过梯度距离平方反比法 (GIDS) 内插到流域的所有网格点上，连续模拟 1981—2012 年该流域水量平衡。

HIMS 水文综合模拟系统<sup>[12]</sup> 具有模块化结构，基于河网的空间拓扑关系，综合考虑土地利用和土壤类型空间分布，将研究区域离散为若干个计算单元，通过产流、汇流关系的演算，最后求得流域各个计算单元及出口断面的径流量。

经过验算，VIP 模型和 HIMS 模型均能较满意地对两江流域开展水文模拟。VIP 模型具有较高的空间分辨率（网格单元为 8 km），详细考虑了植被生长动力学等物理过程，但对研究流域进行模拟，特别是若要同时开展汇流模拟运算量较大。HIMS 模型对研究流域进行子流域划分，汇流运算量较小，但对植被耗水的机理进行了概化。因此本文综合运用两模型的优势，选用 VIP 生态水文动力学模型开展高空间分辨率的植被耗水和地表径流布局的模拟，采用 HIMS 模型开展汇流模拟，旨在综合 VIP 与 HIMS 模型模拟优势，更好地模拟过去 50 年和未来气候情景

下两江流域可利用水资源量的变化。

## 1.3 未来情景数据 Delta 方法尺度下延

未来气候变化数据来自世界气候研究计划 (WCRP) 的耦合模型工作组 (WGCM) 的耦合模式比较计划第 5 阶段 (CMIP5) 产出的、由 PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) 计划公开发布的 23 个 GCM 模式的数值模拟结果。为避免全球尺度的日降水模拟数据可能存在的较大误差，本文直接从国家气候中心网站下载经该中心研究人员整理、分析和惠许使用的上述全球 GCM 多模式的集合数据中 1901—2100 年的月数据。然后用双线性降尺度方法将气候变化月数据 ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ) 降空间尺度到 8 km 分辨率。然后用研究流域的历史日数据叠加降空间尺度到研究流域的全球未来月数据的办法获得研究流域的未来气候变化日数据。各模式的名称见网站<sup>④</sup>。关于气候变化情景，2015 年巴黎气候大会 (COP21) 提出了最新的  $1.5^\circ\text{C}$  温升方案。但限于资料可获得性，本文仍然采用 RCPs 情景。相对于 2000 年 IPCC 在《排放情景特别报告》中定义的 SRES (Special Report on Emissions Scenarios) 排放情景而言，RCPs 增加了应对气候变化的各种政策对未来排放的影响，并考虑了土地利用变化等因素的作用，经 2014 年 IPCC AR5 提出，是一种以未定浓度为特征的较常用气候变化情景。

## 2 结果分析

### 2.1 两江流域 1957—2012 年的水文气候变化特征

1957—2012 年两江流域气温和降水（图 2 和图 3）均从上游地区向下游地区逐渐递增，上游冷干，降水量一般  $<600\text{ mm}$ ，下游暖湿，中游地区交界区存在复杂变化。在 50 多年间，春季两江流域的降水呈明显的增加趋势，夏季只有怒江下游的降水呈减

② 数字高程模型数据来源网址为 <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>。

③ 植被数据来源网址为 <http://modis.gsfc.nasa.gov>。

④ 全球未来气候变化数据来源模型清单网址为 [http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/CMIP5\\_modeling\\_groups.pdf](http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/CMIP5_modeling_groups.pdf)。



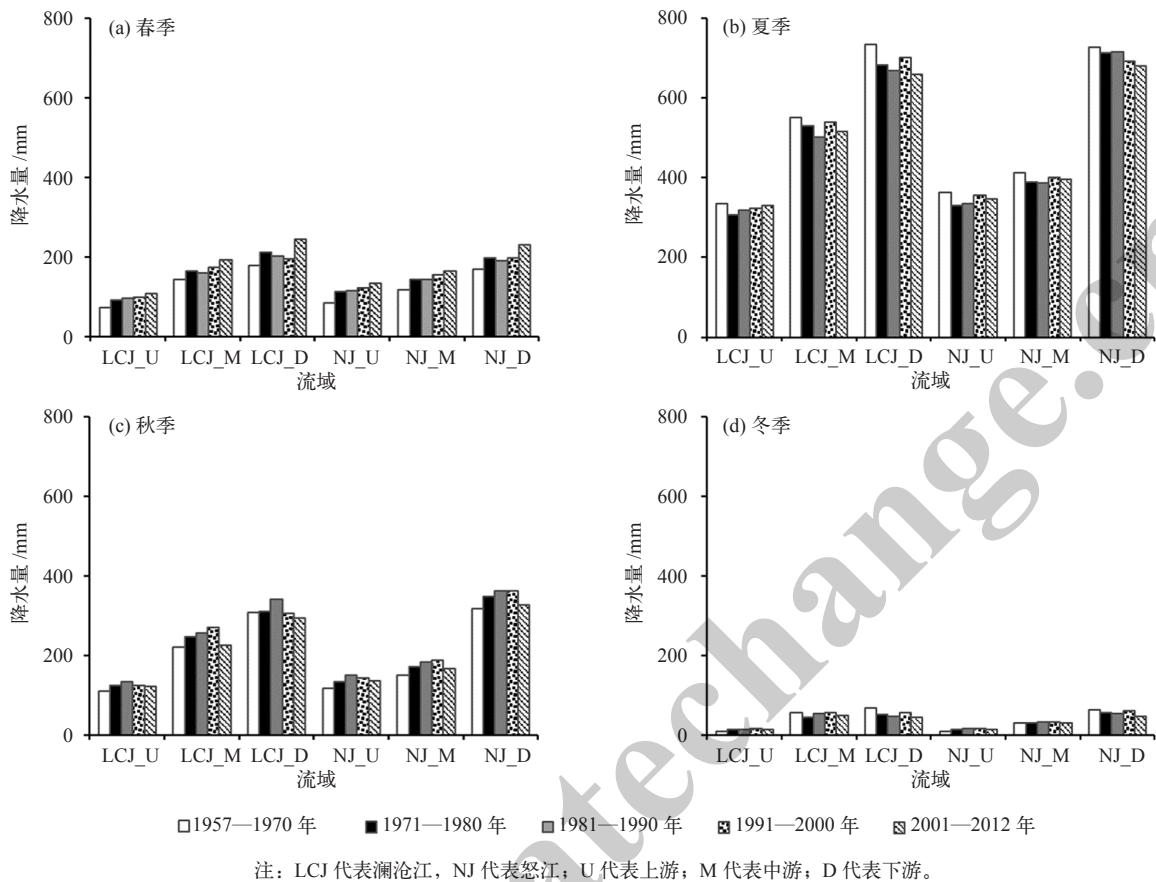


图 2 1957—2012 年两江流域在春、夏、秋、冬四季的降水变化

Fig. 2 The comparison of average precipitation in the four seasons over the period from 1957 to 2012 in the upper (U), middle (M) and downstream (D) of Lancang (LCJ) and Nujiang (NJ) Rivers in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d)

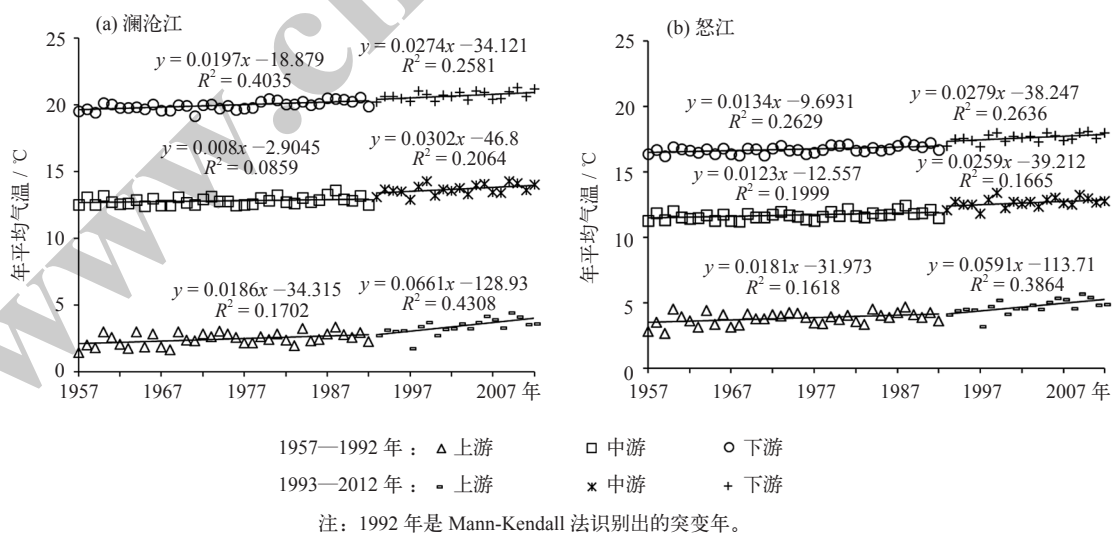


图 3 1957—2012 年两江流域上游、中游和下游气温的年际变化

Fig. 3 The evolution of temperature in the upper, middle and downstream of Lancang (a) and Nujiang Rivers (b) during 1957-2012

少趋势,其他部分的变化无规律。秋季和冬季的变化无明显趋势。

通过对两江流域多个站点的长期变化采用 Mann-Kendall 方法进行检验,发现 1992 年为变化的突变点,由此将 1957—2012 年分为前 35 年(1957—1992 年)和后 20 年(1993—2012 年)。相比 1957—1992 年,近 20 年澜沧江流域上游的气温上升趋势更强,其上升速率为  $0.661\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,是前 35 年的 3.5 倍,上游的气温上升强于中游和下游。怒江的气温变化情形与澜沧江类似,其 1993—2012 年上游上升速率为  $0.591\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,是前 35 年的 3.3 倍,上游的气温上升趋势强于中游和下游地区。

## 2.2 两江流域径流模拟验证

分别设计 1965 年 1 月 1 日至 1977 年 12 月 31 日为 HIMS 模型参数率定期、1978 年 1 月 1 日至 1985 年 12 月 31 日为模型参数校核期,模型采用粒子群参数优化算法进行参数率定。模拟得出,澜沧江允景洪站参数率定期 Nash-sutcliffe 效率系数(简称效率系数,又称确定性系数)为 0.884,体积误差(模拟值的均值与实测值的均值之差与实测值的均值的百分比)为  $-0.7\%$ ,参数校核期效率系数为 0.831,体积误差为  $1.0\%$ ;怒江道街坝站参数率定期效率系数为 0.863,体积误差为  $-8.1\%$ ,参数校核期效率系数为 0.829,体积误差为  $-9.7\%$ ,得出澜沧江、怒江流域对应模型参数,如表 2 所示。参数率定期和参数校核期径流过程,如图 4 所示。

以此组参数为基准,利用降水、气温等数据输入 HIMS 模型,分别模拟澜沧江和怒江上 6 座水文站 1957—2012 年日尺度径流过程,所得日尺度径流过程模拟结果如表 3 所示。

模拟结果表明,模拟效率系数均超过 0.7,体积

误差大体在  $-10\%$  左右,能够比较真实地反映实际径流过程。模拟径流基本反映了实测径流的变化态势,只是在各年间,模拟径流略小于实测径流,这是由于在澜沧江、怒江地区,河川径流的组成一部分来自冰雪融水,尤其在冬、春季节,冰雪融水占径流比例较大,而本文采用的 HIMS 水文模型,是基于降水驱动模型,没有模拟出冰雪融水带来的径流量,因而结果中出现了模拟径流小于实测径流的现象。

VIP 生态水文动力学模型含有多个参数,大多数参数具有物理意义,根据研究区的实际情况预先确定。少量敏感参数如地下水参数和产流参数,根据物理规律进行手动率定。率定和验证方法采用水量平衡法,见 Mo 等<sup>[13]</sup>。比较了允景洪站的实测年径流量和模拟径流量(该站以上的流域平均降水与 VIP 模拟得到蒸发和土壤蓄水量之差),其效率系数为 0.57。VIP 模拟是基于网格尺度的分布式模拟,顾及了各植被类型的蒸散的模拟准确性,参数率定的目标不仅仅考虑模拟径流尽可能与实测径流一致,还综合考虑了其他水文要素的模拟精度。

## 2.3 两江流域径流的时间和空间变化特征

根据西南诸河水资源公报中澜沧江、怒江部分资料,得到 1998—2012 年澜沧江、怒江流域水资源总量(图 5),两江流域年平均水资源总量为 650 亿~850 亿  $\text{m}^3$ 。在统计年内,澜沧江—怒江流域水资源总量的极值比分别为 1.884 和 1.664,表明澜沧江流域水资源的变率高于怒江流域。

利用 HIMS 水文模型模拟得到澜沧江、怒江流域 6 个水文断面的 1957—2012 年的完整径流系列。发现两江流域径流呈明显的季节变化(图 6),上游区域的昌都站和嘉玉桥站在 7 月份达到年间径流的

表 2 HIMS 水文模型运行参数

Table 2 The parameters used in HIMS hydrological model

流域	$C_1$	$C_2$	$W_{sm}$	$R$	$r$	$L_a$	$R_c$	$\varepsilon$	$K_b$
澜沧江	0.27	0.74	90.45	1.50	0.16	0.23	0.48	0.86	0.01
怒江	0.17	0.66	108.26	1.07	0.19	0.13	0.57	0.72	0.01

注:  $C_1$ 、 $C_2$  为马斯京根系数;  $W_{sm}$  为非饱和土壤层持水能力的土壤蓄水容量;  $R$ 、 $r$  为产流系数;  $L_a$  为壤中流系数;  $R_c$  为地下水补给系数;  $\varepsilon$  为实际蒸散发系数;  $K_b$  为基流系数。

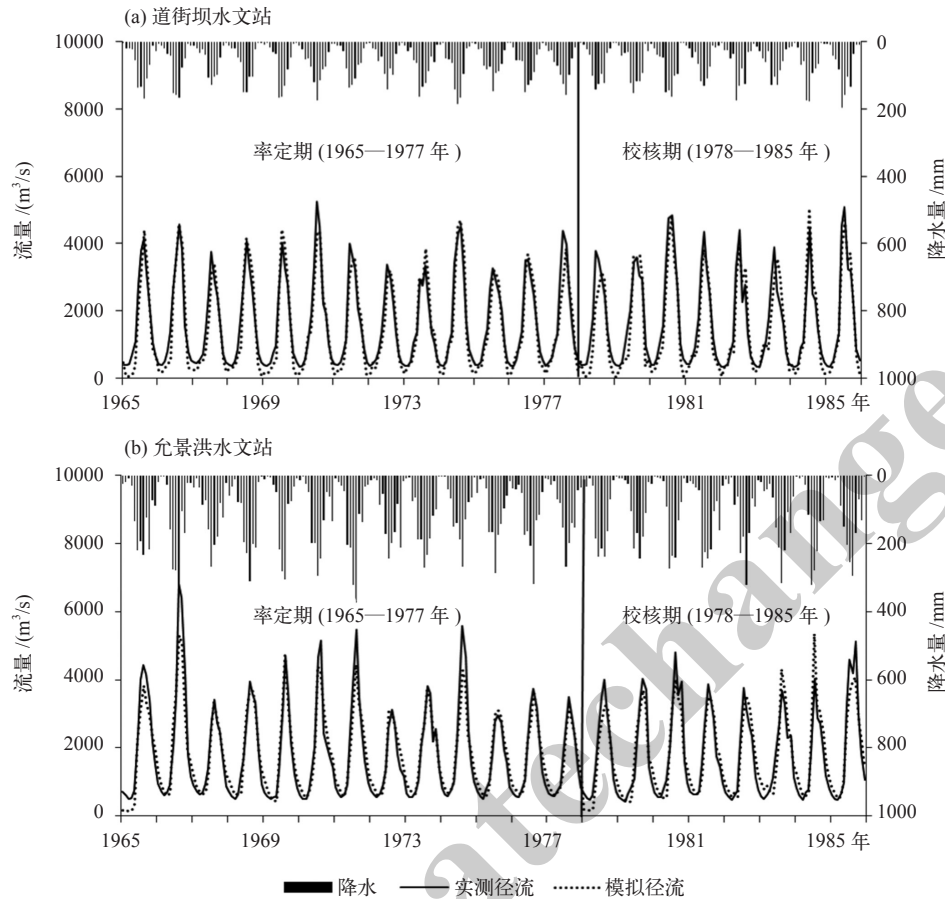


图 4 参数率定期和参数校核期模拟径流与实测径流

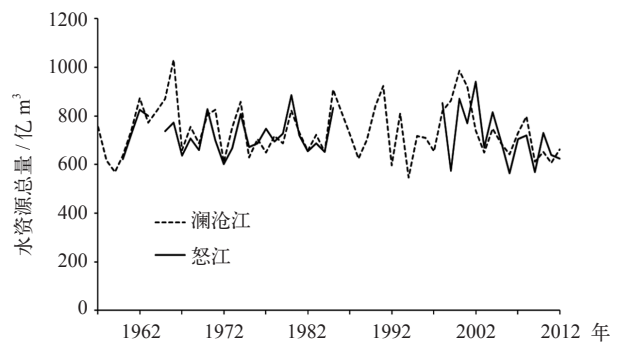
Fig. 4 The simulated and observed runoff during the parameter calibration and verification periods

表 3 HIMS 模型模拟径流相关指标

Table 3 Indexes of the simulated runoff with HIMS model

流域	水文站	效率系数	体积误差 /%	标准均方差 /(m³/s)
澜沧江	昌都	0.82	-9	170.17
	戛旧	0.80	-13	369.36
	允景洪	0.83	-5	588.62
怒江	嘉玉桥	0.83	-12	337.28
	道街坝	0.85	-6	552.47
	姑老河	0.75	-4	45.97

高峰值, 中下游地区的允景洪站、戛旧站和姑老河站的最大流量值分布在 8 月份, 怒江中下游的道街坝站最大径流出现在 7 月份。这表明上游地区水文相似性比较高, 而在下游地区水文相似性各具特征。怒江流域上游与下游地区水文一致性较高, 澜沧江下游地区水文受到上游径流的节制性较小, 表现出



注: 空白表示资料缺失。

图 5 1957—2012 年研究流域水资源总量

Fig. 5 Total water resources in the study area (Blank refers to data missing)

与上游地区不一致的水文径流过程。进而可以得出, 怒江上游地区的气候变化将直接影响全流域的水资源变化, 而澜沧江流域上游气候变化敏感区的异动对下游水资源的影响程度相对较小。

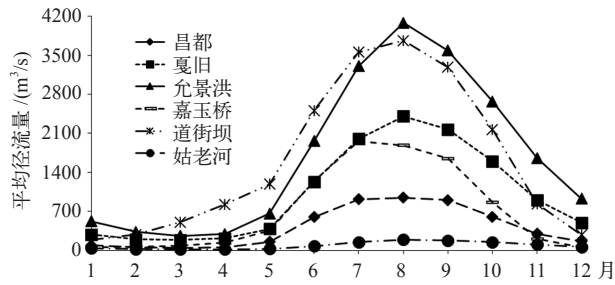


图 6 1957—2012 年控制水文站平均月径流量  
Fig. 6 Multi-year average monthly runoff in six control hydrological stations during 1957–2012

采用 VIP 模型模拟出地表径流的空间分布 (图 7)。可见上游的径流深要低于下游, 年平均径流深为 250 ~ 3000 mm。1980—2012 年流域径流深呈现北低—南高的空间分布态势, 与降水分布较为一致。格点尺度上径流的年际变异系数在上游的高原区较高, 在下游高产水区的变异性系数较低。

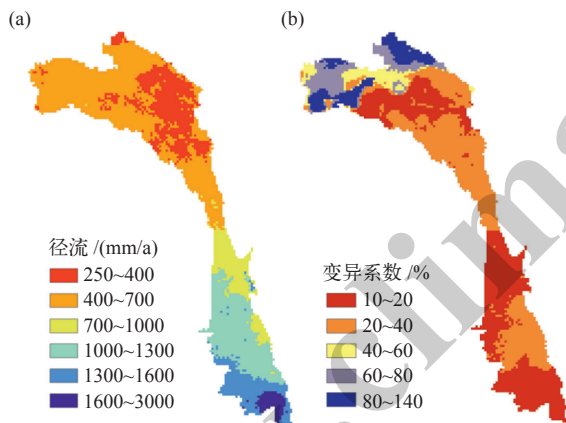


图 7 VIP 模拟的径流分布及其时间变异分布  
Fig. 7 The distribution of simulated runoff and its coefficient of variation by VIP model

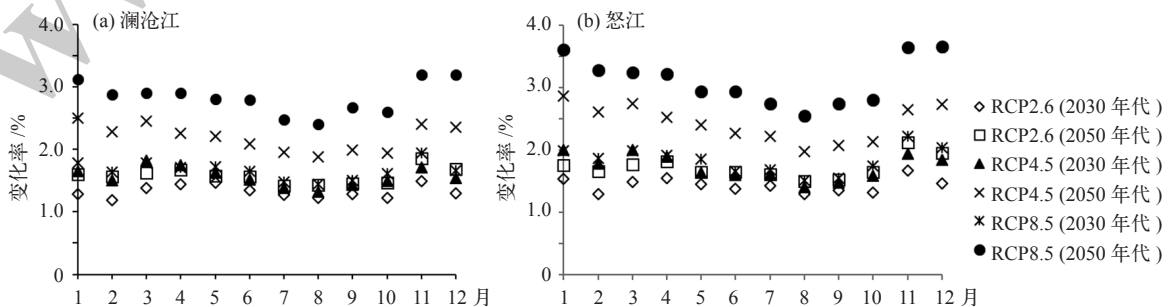


图 8 澜沧江、怒江未来气温变化率  
Fig. 8 The change rate of temperature in Lancang River and Nujiang River

## 2.4 两江流域未来气候变化特征

相对于基准期 (1990—1999 年), 澜沧江、怒江流域在 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情景下, 不同年代气温的变化率如图 8 所示。

图 8 中, RCP 2.6 情景下澜沧江 2030 年代和 2050 年代气温均有明显波动, 其中 2050 年代的波动要高于 2030 年代; 在月变化中, 各个月份变化率状态基本一致。地区方面, 怒江流域气温变化率要高于澜沧江, 在月份间变动幅度也高于澜沧江, 但在各个月份的变化趋势上基本一致。对于 RCP4.5 情景下, 2030 年代和 2050 年代的气温变化率均高于 RCP2.6 情景下的变化率, RCP8.5 情景下气温变化率最大。

在未来情景中 (图 9), 两江流域各年代降水均呈现增加趋势; 澜沧江流域降水增幅相对弱于怒江流域的降水增幅。

## 2.5 两江流域径流对未来气候变化的响应

在未来情景中 (图 9), 怒江流域各年代径流均呈增加趋势; 澜沧江流域径流在 2030 年代出现下降趋势, 对情景响应比较敏感, 增减幅度波动比较大; 怒江流域响应比较平稳, 稳中有升。

不同情景、不同年代的径流变化呈明显季节变化特征, 冬季出现较多下降趋势, 夏季则呈现普遍增加趋势, 如图 10 所示。在澜沧江流域, 2030 年代除夏季外, 其他月份普遍出现下降趋势, 2050 年代则是普遍呈现增加趋势; 在怒江流域, 2030 年代出现下降趋势的月份仅在冬季较冷月份, 其他月份出现增加趋势, 而 2050 年代也出现和 2030 年代一样趋势, 这与澜沧江流域在 2050 年代的表现不一致。在



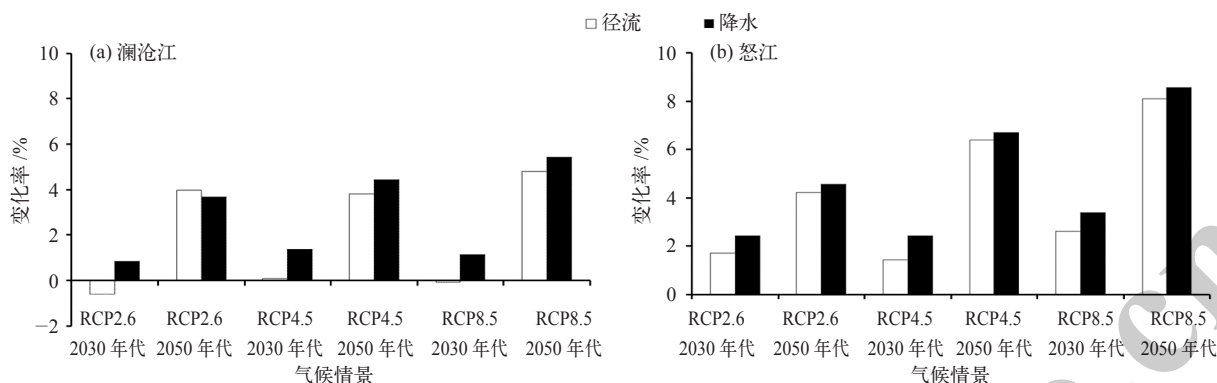


图9 澜沧江、怒江流域不同情景下年降水和径流的变化

Fig. 9 The yearly change of precipitation and runoff under different scenarios in Lancang and Nujiang Rivers

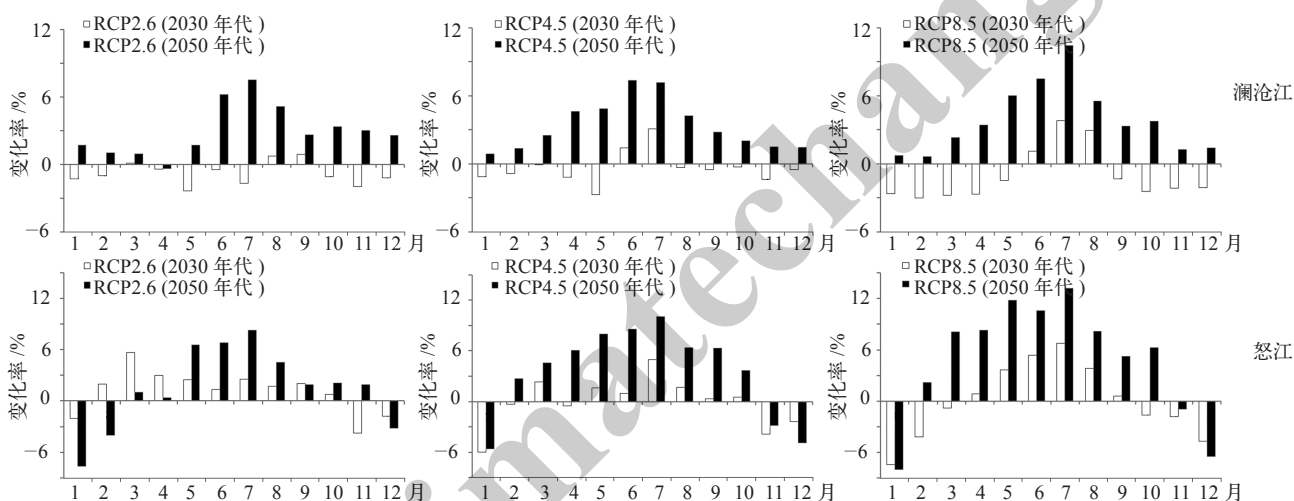


图10 澜沧江、怒江流域不同情景下月径流变化

Fig. 10 The monthly change of runoff under different scenarios in Lancang and Nujiang Rivers

增加幅度方面, 2050年代的增幅均高于2030年代。

利用VIP模型模拟得到未来情景下的地表径流深(图11)。结果表明, 在未来不论哪种浓度排放路径情景, 2030年代径流的空间格局呈现干燥的北部变湿润、湿润的南部变干的趋势。而在2050年代, 全流域都呈更湿润的趋势。

### 3 结论和讨论

利用VIP生态水文模型和HIMS模型, 模拟预测了澜沧江和怒江流域(两江流域)的径流时空变化及其对气候变化的响应。结果表明, 从1957年以来, 一直到未来2030年代和2050年代, 两江流域的气

温将一直保持上升的趋势, 海拔较高的上游地区增幅更大(图3)。近20年间, 澜沧江流域上中下游的平均气温每10年上升 $0.412^{\circ}\text{C}$ , 怒江流域每10年上升 $0.376^{\circ}\text{C}$ 。在未来情景下, 在澜沧江流域, 无论是2030年代还是2050年代, 流域气温跟基准期(1990—1999年)气温相比, 增幅要略低于过去20年的增幅。但怒江流域的未来气温增幅与过去20年的增幅持平(图3和图8)。考虑到过去50年间, 怒江上游气温高于澜沧江上游, 而怒江中游和下游气温低于澜沧江中游和下游气温(图3), 在上述未来增温背景下, 怒江上游气温会比澜沧江上游更高, 而怒江中游和下游气温将可能增加至与澜沧江持平。

在过去50年间, 两江流域的降水变化趋势不明



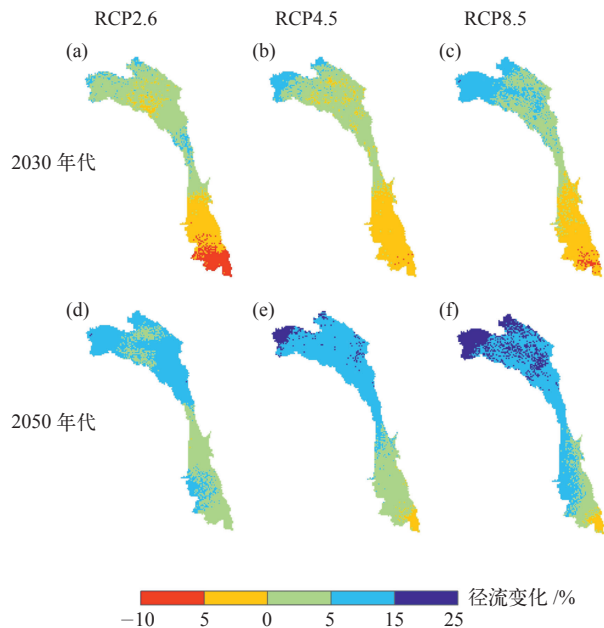


图 11 未来气候变化下径流相对于基准年（2000 年）变化的空间分布

Fig. 11 The distributions of the runoff changes under future climate changes relative to 2000

显，只有在春季均呈增加趋势，怒江的下游夏季降水呈减少趋势，澜沧江中游四季降水均大于怒江（图 2）。在未来情景中，两江降水均呈增加趋势，但怒江的降水增加率要高于澜沧江（图 9），两江流域的降水差异趋于缩小。径流方面，两江流域年总水资源量 650 亿 ~ 850 亿  $\text{m}^3$ ，在空间上，可利用水资源量呈现北低 - 南高的分布格局。长期变化均较为平稳（图 5），相对说来，澜沧江的波动性大于怒江。两江径流在年内均呈现明显的季节变化（图 6）。怒江的上下游水文一致性要高于澜沧江（图 6），这种特性使得怒江的径流对降水响应的一致程度要高于澜沧江，既表现在年总径流方面（图 9），也表现在季节分配方面（图 10）。对怒江流域而言，当未来降水增加，所有的气候变化情景下夏季径流将增加，使得年总径流增加。而在澜沧江流域，在未来 2030 年代，虽然降水都呈增加趋势，其各月的径流在气候变化情景响应中有增有减，反映了流域本身较强的水文

不一致性，2050 年代较高的降水增幅，对这种不一致性有明显的遮盖作用。

怒江流域冬季径流在未来呈减小趋势的原因，值得做进一步探索，其中，模型冬季径流模拟精度低可能是其中原因之一。但由于冬季径流占全年的年总径流比例较小，所以若有误差，该误差未能影响其年总径流对降水的一致呼应。未来气候变化情景下，径流空间变异性趋小。由于两江流域径流具有显著的季节变异性，即使径流呈增加和空间均一性趋势，未来流域水资源安全保障和下游水资源利用的综合协调仍具有挑战性。

#### 参考文献

- [1] 国家气候中心. 中国地区气候变化预估数据集 3.0 版 [R/OL]. 2012 [2016-08-20]. <http://www.tianqi.com/news/10059.html>
- [2] 樊辉, 何大明. 怒江流域气候特征及其变化趋势 [J]. 地理学报, 2012, 67 (5): 621-630
- [3] 刘波, 肖子牛. 澜沧江流域 1951—2008 年气候变化和 2010—2099 年不同情景下模式预估结果分析 [J]. 气候变化研究进展, 2010, 6 (3): 170-174
- [4] 李斌, 李丽娟, 李海滨, 等. 1960—2005 年澜沧江流域极端降水变化特征 [J]. 地理科学进展, 2011, 30 (3): 290-298
- [5] 周婷, 于福亮, 李传哲, 等. 1960—2005 年湄公河流域径流量演变趋势 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38 (6): 608-613
- [6] 姚治君, 段瑞, 刘兆飞. 怒江流域降水与气温变化及其对跨境径流的影响分析 [J]. 资源科学, 2012, 34 (2): 202-210
- [7] 张万诚, 肖子牛, 郑建萌, 等. 怒江流量长期变化特征及对气候变化的响应 [J]. 科学通报, 2007 (S2): 135-141
- [8] 尤卫红, 吴湘云, 郭志荣. 纵向岭谷区的怒江跨境径流量变化特征 [J]. 山地学报, 2008, 26 (1): 22-28
- [9] 杜军, 翁海卿, 袁雷, 等. 近 40 年西藏怒江河谷盆地的气候特征及变化趋势 [J]. 地理学报, 2009, 64 (5): 581-591
- [10] FAO, IIASA, ISRIC, ISSCAS, JRC. 2012: harmonized world soil database: version 1.2 [R]. FAO and IIASA, accessed 15 March 2014
- [11] 吴迪, 赵勇, 裴源生, 等. 气候变化对澜沧江 - 湄公河上中游径流的影响研究 [J]. 自然资源学报, 2013, 28 (9): 1569-1582
- [12] Mo X G, Liu S X, Lin Z H. Evaluation of an ecosystem model for wheat-maize double cropping system over the North China Plain [J]. Environmental Modelling & Software, 2012, 32 (32): 61-73
- [13] Mo X G, Liu S X, Lin Z H, et al. Simulation the spatial and temporal variation of evapotranspiration in the Lushi Catchment [J]. Journal of Hydrology, 2004, 285 (1): 125-142

## Climate Change and Its Impact on Runoff in Lancang and Nujiang River Basins

Liu Suxia<sup>1, 2</sup>, Ding Wenhao<sup>1, 2</sup>, Mo Xingguo<sup>1, 2</sup>, Wang Sheng<sup>1, 2</sup>, Liu Changming<sup>1</sup>, Luo Xian<sup>3</sup>, He Daming<sup>3</sup>, Sagar Ratna Bajracharya<sup>4</sup>, Arun Bhakta Shrestha<sup>4</sup>, Nand Kishor Agrawal<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; <sup>2</sup> College of Resources and Environment/Sino-Danish Centre, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; <sup>3</sup> University of Yunnan, Kunming 650091, China;

<sup>4</sup> International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu 100023, Nepal

**Abstract:** The VIP eco-hydrological model and HIMS model were used to simulate hydrological processes from 1957 to 2012. Based on the ensemble projections of CMIP5 RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, the runoff in the two basins were predicted. The results show that in the past 50 years air temperatures in the two basins were continually increasing and the rates over the upstream plateau were higher than the lower downstream. The tendency of annual precipitation was not significant, while the precipitation in spring season was increasing. The total water resources were around 65 billion to 85 billion m<sup>3</sup> and no noticeable tendency was detected. Spatially, the water resources kept the pattern of “higher in south and lower in north”. The variability of water resources in Lancang River was more significant than that of Nujiang River. In the future climate scenarios, it will become warmer and wetter, the runoff will increase with lower spatial variability. Being with high seasonal variability, there will still be challenges in the water resources security over the whole basins.

**Key words:** runoff; temperature; precipitation; VIP eco-hydrological model; HIMS model

### “喜马拉雅地区气候变化适应项目”中国研究概述

### 信息与动态

兴都库什—喜马拉雅地区 (HKH) 由于其高寒偏远和巨大的冰川储量被称为“地球第三极”，由于其高原湖泊和湿地巨大的蓄水功能也被称作“亚州水塔”。然而该地区还有 1/3 的人口生活在贫困线以下，该地区也是全球变化的敏感区和典型生态脆弱区。气候变化和极端气候事件加剧了当地的灾害风险，增加了农牧民生计的脆弱性。喜马拉雅地区的山地原住民对气候变化适应性研究越来越重视。

国际山地综合发展中心 (ICIMOD) 启动了为期 6 年 (2012—2017 年) 的“喜马拉雅地区气候变化适应项目 (HICAP)”。项目开发了跨学科、跨区域的气候变化适应性研究框架，旨在评估本地区社区和原住民面对气候变化冲击的脆弱性，研究当地原住民适应气候变化的机会与潜力，帮助当地农牧民，尤其是妇女，提升应对气候变化的能力。项目在 HKH 区域内选择 4 个项目区域，包括印度河上游 (巴基斯坦)、科西河 (尼泊尔)、布拉马普特拉河 (印度)，以及中国怒江和澜沧江流域上游部分。

中国怒江和澜沧江流域气候变化适应研究由来自中国科学院昆明植物研究所、云南大学、云南省

社会科学院、中国科学院地理科学与资源研究所、云南省环境科学研究院、中国科学院成都生物研究所及四川大学等 7 个项目合作单位以及 ICIMOD 的自然科学和社会科学的研究人员共同参与完成。这些研究通过采用数据模型分析、实地调研、问卷调查和访谈等方法，从不同角度对该区域的气候变化情景、水资源状况、生态系统服务、粮食安全、脆弱性和适应能力以及气候变化适应中的性别问题等进行了探讨。

本期刊登的《外出务工对山区农民适应旱灾能力的影响——云南保山的案例》《澜沧江和怒江流域的气候变化及其对径流的影响》两篇文章是 HICAP 的一部分。该项目由挪威和瑞典政府支持，是 ICIMOD、联合国环境署全球资源信息数据库阿伦达尔中心 (Grid-Arendal) 和奥斯陆国际气候与环境研究中心 (CICERO) 以及当地伙伴联合开展的合作项目。更多信息参见：[http://lib.icimod.org/record/30036/files/HICAP\\_FlyerCh.pdf](http://lib.icimod.org/record/30036/files/HICAP_FlyerCh.pdf)。

苏宇芳, Nand Kishor Agrawal