文章编号:1674 - 2184(2017)04 - 0034 - 06

未来气候变化情景下长江上游年径流量变化趋势研究

詹万志[1,3],王顺久[2,3]*,岑思弦[2,3]

(1. 四川省气象服务中心,成都 610072;2. 中国气象局成都高原气象研究所,成都 610072;
3. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室,成都 610072)

摘要:依据政府间气候变化委员会(IPCC)第五次评估报告(AR5)未来不同排放情景(RCPs)下的多模式(CMIP5)气温和降水预估结果,构建基于气温和降水的未来径流量预估模型,并以宜昌站为例分析了不同模式不同排放情景下未来 80 年(2020 ~ 2099 年)长江上游年径流量的变化趋势。多模式集合平均预估结果表明:在 99% 的置信水平下,未来 80 年长江上游年径流量在 RCP2. 6 排放情景下呈不显著增加趋势,在 RCP4. 5 排放情景下呈不显著减小趋势,而在 RCP8. 5 排放情景下则呈显著减小趋势;在 RCP2. 6、RCP4. 5 和 RCP8. 5 排放情景下未来 80 年长江上游年径流量预估均值相对于 1961 ~ 2000 年分别减少 6. 42% 、10. 99% 和 13. 25% ;同时,未来 80 年长江上游年径流量变化具有一定的年代际特征,在 RCP2. 6 和 RCP4. 5 排放情景下 21 世纪初期偏多、中期偏少而后期变化并不明显,在 RCP8. 5 排放情景下则是 21 世纪中期以前偏多而中期以后明显偏少。本研究方法可为未来气候变化情景预估分析提供技术参考,本研究成果可供气候变化背景下长江上游乃至长江流域水资源开发利用及对策分析提供决策依据。

关键词:气候变化;排放情景;长江上游;径流预估;IPCC 第 5 次评估报告

中图分类号:P467 **文献标识码**:A doi:10. 3969/j. issn. 1674 - 2184. 2017. 04. 006

引言

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 5 次评估报告(AR5)指出气候变化引起全球很多地区的降水变化和冰雪消融正在改变水文系统,影响到水资源量和水质,且随着温室气体浓度增加,气候变化对淡水资源造成的相关风险也显著增加[1,2]。开展气候变化对水资源影响评估可为水资源开发利用和社会经济发展提供决策依据,气候变化及其对水资源的影响因此也成为当今科学界、政府和社会普遍关注的科学问题之一[3 - 8]。我国学者在气候变化对水文水资源影响方面也开展了大量的研究[9 - 11],特别是在黄河流域[12 - 19]、淮海流域[20,21]、华北平原及西北[22 - 24]等地区取得了丰富的成果。

长江流域作为我国重要的经济带、资源带和产业带,在我国社会经济发展中具有极为重要的战略地位[25],气候变化对长江流域水资源的影响研究也倍受关注。依据 IPCC 第 4 次评估报告(AR4)气候情景预估结果[26],刘波等分析了 2050 年前长江流域地表水资源变化趋势[27],金兴平等开展了未来气候变化对长江流域水资源影响分析[28],鞠琴等开展了气候情景下长江流域径流预测研究[29],曹丽娟等开展了未来气候变化对长江流域极端径流影响的预估研究[30],李林等开展了长江源区地表水资源对气候变化的响应及趋势预测研究[31]。黄金龙等利用德国马普气象研究所 MPI - ESM - LR 模式驱动的 CCLM 数据开展了长江上游流域

收稿日期:2017 - 12 - 10
资助项目:国家自然科学基金项目"青藏高原三江源区气候场与径流场重建研究"(41375116);中国气象局成都高原气象研究所开放基金项目"高原气候变化对水资源影响"(BROP201537)
作者简介:詹万志,工程师,主要从事专业气象服务研究。E-mail:294143278@ qq. com
通讯作者:王顺久,副研究员,主要从事气候变化与水文水资源研究。E-mail:wsjbnu@ 163. com

未来气候变化及其对径流的影响研究[32]。依据历史观测资料,王顺久开展了长江上游川江段径流变化与气候变化的趋势响应[33],齐冬梅等依据水文气象历史资料开展了长江源区径流变化特征及其气候变化成因分析[34,35],代稳等开展了气候变化对长江中游径流量变化影响分析[36],卢璐等开展了金沙江流域近 60 年气候变化趋势及径流响应关系研究[37]。

长江上游流域面积占整个流域面积的 55.6%,年径流量占整个流域的 47.1%[38],因此,开展气候变化对长江上游径流量变化趋势的影响评估可为气候背景下长江上游乃至长江流域水资源开发利用及对策分析提供决策依据。然而,目前还没有基于 IPCC 最新公开发布的 AR5 结果的长江上游径流量预估分析的相关文献出版。本文依据中国气象局国家气象信息中心提供的 90 ~ 115°E 与 25 ~ 40°N 区域内我国 243 个台站 1961 ~ 2000 年逐日气温和降水观测资料、全球降水气候计划(GPCP)月降水资料以及长江上游水文控制站宜昌站 1890 ~ 2000 年年径流量观测资料,通过评估 IPCC AR5 中的 14 个全球气候模式(GCMs)对降水和气温的模拟性能,选取模拟效果较好的 5 个 GCMs 在不同排放情景下 2020 ~ 2099 年降水和气温预估结果,构建基于降水和气温的径流量预估的非线性回归模型,利用 Mann - Kendall(MK)方法[33]开展未来气候变化情景下长江上游径流量变化趋势研究。

1　气候预估模式及情景选择

本文选用 IPCC AR5 提出的典型浓度路径(RCPs)排放情景中的 RCP2.6(低排放)、RCP4.5(中排放)和 RCP8.5(高排放)等 3 种排放情景进行长江上游未来气候变化预估研究。

比较而言,降水对径流量的影响更大更直接且径流量对降水变化也更为敏感[39],因此本文以 1979 ~ 2005 年 GPCP 降水资料通过空间相关分析对参加 IPCC AR5 的第 5 次耦合模式比较计划(CMIP5)中的 BCC - CSM1.1m、BNU - ESM、CCSM4、CANESM2、FGOALS - S2、GFDL - CM3、GISS - E2 - R、HADGEM2 - AO、IPSL - CM5A - LR、IPSL - CM5A - MR、MIROC5、MIROC - ESM、NORESM1 - M 和 NORESM1 - ME 等 14 个模式进行未来气候变化预估效果评估(各模式的详细情况可参见 http://www.earthsystemgrid.org/search.html),并最终选取空间相关系数(r)较高的 NORESM1 - ME(r = 0.70)、FGOALS - S2(r = 0.73)、CANESM2(r = 0.76)、MIROC5(r = 0.90)、HADGEM2 - AO(r = 0.95)等 5 个模式及 5 模式集合平均(r = 0.88)模拟结果开展长江上游未来降水和气温的预估。

2　径流预估模型构建

流域径流量变化受诸多气候因素影响,然而降水和气温则是最主要因素,故本文选择流域内与宜昌站径流量具有显著相关性(通过 95% 及以上信度检验)的区域降水及同区域平均气温作为宜昌站径流量预估的气候因子。

与此同时,评估分析表明 CMIP5 模式存在降水预估大于观测值、气温预估小于观测值的普遍现象,为消除模式系统影响,本文采用模式某年降水或年平均气温未来预估值(2020 ~ 2099 年)相对于 1961 ~ 2000 年模式预估值的均值的变率来预估未来某年降水或年平均气温即增量预估法,年降水或年平均气温预估计算公式如下,

$$Y = \overline{Y}_{OBS} \times \left(1 + \frac{Y_{SIM}}{Y_{SIM} - \overline{Y}_{SIM}}\right) \tag{1}$$

其中,Y 为未来某年降水或年平均气温预估值,$\overline{Y}_{OBS}$ 为 1961 ~ 2000 年年降水或年平均气温观测值的均值,Y_{SIM} 为未来某年降水或年平均气温模式预估值,$\overline{Y}_{SIM}$ 为 1961 ~ 2000 年年降水或年平均气温模式预估值的均值。

水文水资源系统对气候变化的响应过程十分复杂,并主要体现在径流与温度、降水间的非线性关系中,因此通过建立模型近似地模拟原型仍然是一种合理可行的途径[40-42]。考虑到水文水资源系统与气候变化系统的非线性关系,本文采用幂函数形式来拟合长江上游年径流量 Q(m^3/s)与年降水量 P(mm)和年平均气温 T(℃)之间的关系[38],构建年径流量预估模型,即

$$Q = e^k \cdot P^{\alpha} \cdot T^{\beta} \tag{2}$$

其中 $e = 2.7183$,k、α、β 为待定系数。依据 1961 ~ 2000 年年降水量、年平均气温以及宜昌站年径流量观测值,回归拟合得径流量预估统计模型如下,

$$Q = e^{0.6568} \cdot P^{1.3616} \cdot T^{-0.1583} \tag{3}$$

在对回归方程的显著性检验中,计算得到的检验统计量 $F = 29.54$,而在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时,$F_{0.95}(2,37) = 3.25$,显然 $F_{0.95}(2,37) = 3.25 < F = 29.54$,说明该统计模型较好的体现了径流量与降水和温度的非线性关系,且存在径流量随降水量增大而增大、随温度升高而减小的总体变化趋势。

3 结果分析

表1结果表明,不同排放情景下各种模式预估未来80年长江上游年径流量均值相对于1961~2000年观测值均存在不同程度的减小,并随着排放浓度的增大其减少量也随之增大,其距平百分率变化范围为-24.74%~-0.32%,减幅最大值和最小值分别出现在RCP8.5和RCP2.6排放情景,因此控制温室气体排放是控制长江上游年径流量减小趋势发展的有效措施之一。

MK趋势检验表明,各模式不同情景下长江上游年径流量变化趋势存在一定差异,甚至出现截然相反的结果,这充分体现了模式未来径流量预估的不确定性。总体来说,在99%的置信水平下,未来80年在RCP8.5排放情景下年径流量序列呈显著的减小趋势,而在RCP2.6和RCP4.5排放情景下多数模式预估结果变化趋势并不显著,也仅CANESM2模式在RCP2.6排放情景下表现为显著增加趋势而仅NORESM1-ME模式在RCP4.6排放情景下表现为显著减小趋势。长江上游不同排放情景多模式年径流量预估年变化率为-42.1778~16.7549 m^3/s,同样也是RCP8.5排放情景下减少量最大。

集合平均可在一定程度上减小模式系统误差,结果更具有参考价值。根据集合平均未来80年长江上游年径流量预估结果,在99%的置信水平下,RCP2.6排放情景下年径流量呈不显著增加趋势,年增加率为0.3330m^3/s,年平均径流量预估值为12996.33m^3/s,较1961~2000年观测值减少6.42%;RCP4.5排放情景下,年径流量呈不显著减少趋势,年减少率为4.5590m^3/s,年平均径流量预估值为12360.78m^3/s,较1961~2000年观测均值减少10.99%;RCP8.5排放情景下,年径流量则呈显著减少趋势,年减少率为24.2743m^3/s,年平均径流量预估值为12047.37m^3/s,较1961~2000年观测值减少13.25%。图1给出了不同排放情景下长江上游集合平均年径流量预估时序列变化。

表1 长江上游2020~2099年年径流预估分析

排放情景	分析要素	预估模式					
		CANESM2	FGOALS-S2	HADGEM1-AO	MIRROC5	NORESM1-ME	集合平均
RCP2.6	Q	13554.96	13843.18	12889.10	12405.54	11916.90	12996.33
	Δ	-2.39%	-0.32%	-7.19%	-10.67%	-14.19%	-6.42%
	Z	2.3806	0.9514	-0.8351	-3.7434	-1.0096	0.1039
	β	16.7549	6.2473	-4.2919	-18.0831	-4.9672	0.3330
RCP4.5	Q	13074.88	13482.17	11534.19	12140.09	11088.78	12360.78
	Δ	-5.85%	-2.92%	-16.95%	-12.58%	-20.15%	-10.99%
	Z	0.2119	0.6689	-1.2007	-1.3669	-4.0923	-1.9735
	β	1.9792	4.9640	-3.9397	-8.1617	-22.1445	-4.5590
RCP8.5	Q	13230.95	12713.57	11634.53	11783.05	10451.32	12047.37
	Δ	-4.73%	-8.45%	-16.22%	-15.15%	-24.74%	-13.25%
	Z	0.2202	-5.3886	-7.7568	-2.9124	-6.9757	-8.3052
	β	1.8823	-41.0400	-42.1778	-13.9795	-37.2138	-24.2743

注:Q-长江上游2020~2099年年径流量预估均值(m^3/s),Δ-长江上游2020~2099年年径流量预估均值相对于1961~2000年年径流量观测均值的距平百分率,Z-长江上游2020~2099年年径流量预估时间序列MK趋势检验统计量,β-长江上游2020~2099年年径流量预估时间序列MK趋势检验年变化率(m^3/s)。

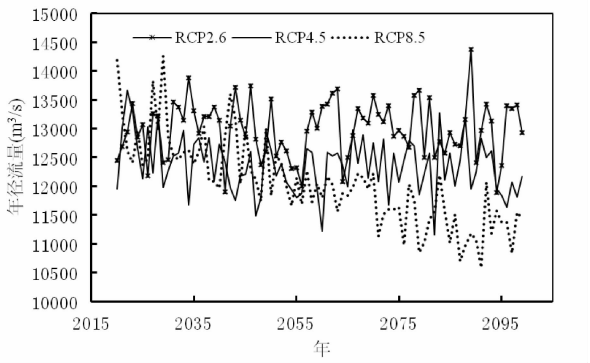

图 1　不同排放情景下集合平均 2020 ~ 2099 年长江上游年径流量时序列变化

表 2 给出了不同模式不同排放情景下 2020 ~ 2099 年长江上游年径流量距平百分率,可以看出,未来 80 年长江上游年径流量变化具有明显的年代际特征,在 21 世纪初期(2020 ~ 2039 年)以偏多为主而在中后期(2040 ~ 2069 年及 2070 ~ 2099 年)以偏少为主,且减小幅度随排放浓度的增大而增大。

表 2　2020 ~ 2099 年长江上游年径流量距平百分率

排放情景	预估模式	年代		
		2020 ~ 2039	2040 ~ 2069	2070 ~ 2099
RCP26	CANESM2	-5.67%	1.57%	2.21%
	FGOALS - S2	-0.43%	-0.58%	0.87%
	HADGEM1 - AO	3.41%	-2.72%	0.45%
	MIRROC5	4.40%	0.64%	-3.57%
	NORESM1 - ME	2.87%	-1.99%	0.07%
	集合平均	0.36%	-0.53%	0.29%
RCP45	CANESM2	0.21%	-0.64%	0.50%
	FGOALS - S2	0.25%	-2.01%	1.85%
	HADGEM1 - AO	1.38%	0.17%	-1.09%
	MIRROC5	1.93%	0.93%	-2.22%
	NORESM1 - ME	8.78%	-2.27%	-3.58%
	集合平均	1.98%	-0.81%	-0.52%
RCP85	CANESM2	-0.77%	0.54%	-0.02%
	FGOALS - S2	9.12%	3.67%	-9.76%
	HADGEM1 - AO	10.81%	1.60%	-8.81%
	MIRROC5	4.46%	0.68%	-3.65%
	NORESM1 - ME	13.22%	-0.62%	-8.20%
	集合平均	6.49%	1.18%	-5.51%

图 2 ~ 4 给出了不同排放情景下长江上游集合平均年径流量预估距平百分率变化情景,可以看出,以长江上游年径流量变化确实具有明显的年代际变化特征。在 RCP2.6 排放情景下,年径流量在 21 世纪 30 年代中期以前呈增加趋势,21 世纪 30 年代中期 ~ 50 年代初呈下降趋势,21 世纪 50 年代初期 ~ 70 年代中期呈增加趋势,而其后到 21 世纪末则在均值附近波动变化。在 RCP4.5 排放情景下,年径流量在 21 世纪 50 年代初之前呈下降趋势,21 世纪 50 年代初期 ~ 60 年代中期呈增加趋势,而在 21 世纪 80 年代中后期 ~ 21 世纪末又呈现下降趋势。在 RCP8.5 排放情景下,年径流量在 2020 ~ 2099 年期间则呈现持续的下降趋势。另一方面,RCP2.6 排放情景下年径流量在 21 世纪 40 年代中期 ~ 50 年代末年径流量以偏小为主,RCP4.5 排放情景下年径流量自 21 世纪 40 年代初 ~ 60 年代中期径流量也以偏小为主,RCP8.5 排放情景下年径流量在 21 世纪 50 年代中期以前普遍偏大而在其后则普遍偏小。

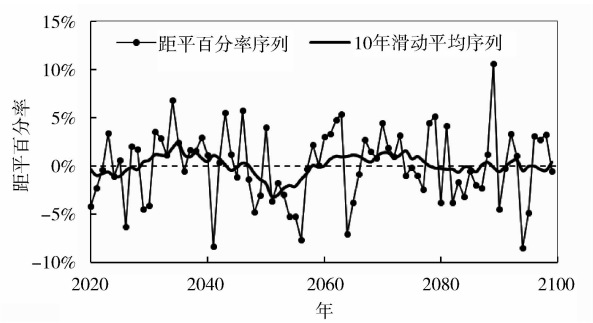

图 2　RCP2.6 排放情景下集合平均长江上游年径流量距平百分率变化

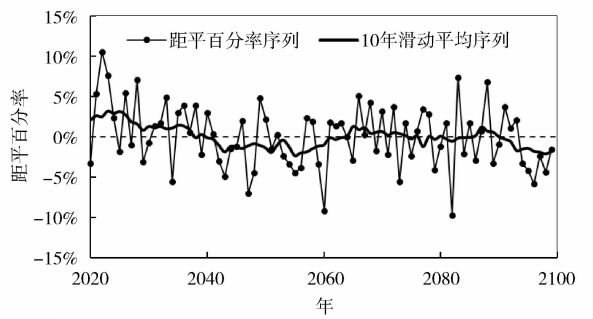

图 3　RCP4.5 排放情景下集合平均长江上游年径流量距平百分率变化

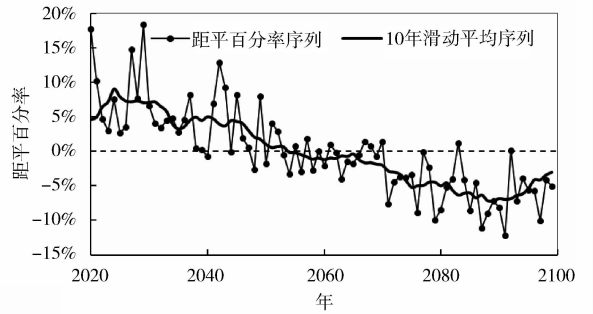

图 4　RCP8.5 排放情景下集合平均长江上游年径流量距平百分率变化

4 结论

根据 IPCC AR5 不同排放情景下多模式降水和气温预估结果,建立了基于降水和气温的长江上游年径流量预估模型,较为系统的分析了多模式不同排放情景下 2020 ~ 2099 年长江上游年径流量的变化趋势。

多模式集合平均年径流预估结果分析表明,在 99% 的置信水平下,未来 80 年长江上游年径流量在 RCP2.6 排放情景下呈不显著增加趋势,在 RCP4.5 排放情景下呈不显著减小趋势,而在 RCP8.5 排放情景下则呈现出显著减小趋势;在 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 排放情景下未来 80 年长江上游年径流量较 1961 ~ 2000 年分别减少 6.42%、10.99% 和 13.25%。与此同时,未来 80 年长江上游年径流变化具有明显的年代际特征,在 21 世纪初期偏多而在后期偏少,且排放浓度越高年径流量减少量越多,因此有效控制温室气体排放是改变长江上游年径流量减小趋势发展的有效措施之一。

本研究运用增量预估法处理未来降水和气温预估值与实际观测值之间的系统差异性,可供不同排放情景下气候要素预估分析提供技术参考。与此同时,本研究进一步表明,各模式不同情景下预估长江上游年径流量变化趋势存差异性,甚至出现截然相反的结果,这充分体现了依据未来气候预估未来径流量的模式不确定性,相对于单模式预估结果而言,本研究采用多模式集合平均的方法预估年径流量的思路可以在一定程度上减小模式预估的不确定性,其分析结果具有更高的可靠性。

参考文献

[1] IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014

[2] 姜彤,李修仓,巢清尘,等.《气候变化 2014: 影响、适应和脆弱性》的主要结论和新认知[J]. 气候变化研究进展, 2014,10(3):157 - 166

[3] 王顺久. 全球气候变化对水文与水资源的影响[J]. 气候变化研究进展, 2006,2(5):223 - 227

[4] 徐宗学,李景玉. 水文科学研究进展的回顾与展望[J]. 水科学进展, 2010,21(4):450 - 459

[5] 张翔,夏军. 气候变化对地表水资源可利用量影响的不确定性分析 - 以汉江上游为例[J]. 资源科学, 2010,32(2):255 - 260

[6] 林凯荣,何艳虎,陈晓宏. 气候变化及人类活动对东江流域径流影响的贡献分解研究[J]. 水利学报, 2012,43(11):1312 - 1321

[7] 刘春蓁,占车生,夏军,等. 关于气候变化与人类活动对径流影响研究的评述[J]. 水利学报, 2014,45(4):379 - 386

[8] 徐宗学,刘浏,刘兆飞. 气候变化影响下的流域水循环[M]. 北京: 科学出版社, 2015,1 - 447

[9] 傅国斌. 全球变暖对华北水资源影响的初步分析[J]. 地理学与国土研究, 1991,7(4):22 - 26

[10] 符淙斌,安芷生,郭维栋. 我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(Ⅰ): 主要研究成果[J]. 地球科学进展, 2005,20(11):1157 - 1166

[11] 马龙,刘廷玺,马丽,等. 气候变化和人类活动对辽河中上游径流变化的贡献[J]. 冰川冻土, 2015,37(2):470 - 479

[12] 王国庆,王云璋,康玲玲. 黄河上中游径流对气候变化的敏感性分析[J]. 应用气象学报, 2002,13(2):117 - 121

[13] 王国庆,王云璋,尚长昆. 气候变化对黄河水资源的影响[J]. 人民黄河, 2000,22(9):40 - 41,45

[14] 李春晖,杨志峰. 气候变化对黄河流域水资源系统影响研究进展[J]. 地学前缘, 2002,9(1):34

[15] 李林,汪青春,张国胜,等. 黄河上游气候变化对地表水的影响[J]. 地理学报, 2004,59(5):716 - 722

[16] 蓝永超,丁永建,朱云通,等. 气候变暖情景下黄河上游径流的可能变化[J]. 冰川冻土, 2004,26(6):668 - 673

[17] 张建云,王国庆,贺瑞敏,等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应[J]. 水科学进展, 2009,20(2):153 - 158

[18] 富强,马冲,张徐杰,等. 气候变化下兰江流域未来径流的变化规律[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016,37(5):22 - 27

[19] 王欢,李栋梁. 黄河源区径流量变化特征及其影响因子研究进展[J], 高原山地气象研究, 2013,33(2):93 - 99

[20] 袁飞,谢正辉,任立良,等. 气候变化对海河流域水文特性的影响[J]. 水利学报,2005,36(3):274 - 279

[21] 高超,陆苗,张勋,等. 淮河流域上游地区径流对气候变化的响应分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016,37(5): 28 - 32

[22] 施雅风. 气候变化对西北华北水资源的影响[M]. 济南:山东科学技术出版社,1995

[23] 何新林,郭生练. 气候变化对新疆玛纳斯河流域水文水资源的影响[J]. 水科学进展, 1998,9(1):77 - 83

[24] 王守荣,郑水红,程磊. 气候变化对西北水循环和水资源影响的研究[J]. 气候与环境研究, 2003,8(1):43 - 51

[25] 陶辉,黄金龙,翟建青,等. 长江流域气候变化高分辨率模拟与 RCP4.5 情景下的预估[J]. 气候变化研究进展, 2013,9(4):246 - 251

[26] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007

[27] 刘波,姜彤,任国玉,等. 2050 年前长江流域地表水资源变化趋势

[J]. 气候变化研究进展, 2008,4(3):145 - 150

[28] 金兴平,黄艳,杨文发,等. 未来气候变化对长江流域水资源影响分析[J]. 人民长江, 2009,40(8):35 - 38

[29] 鞠琴,郝振纯,余钟波,等. IPCC AR4 气候情景下长江流域径流预测[J]. 水科学进展, 2011,22(4):462 - 469

[30] 曹丽娟,董文杰,张勇. 未来气候变化对黄河和长江流域极端径流影响的预估研究[J]. 大气科学, 2013,37 (3): 634 - 644

[31] 李林,戴升,申红艳,等. 长江源区地表水资源对气候变化的响应及趋势预测[J]. 地理学报, 2012,67(7):941 - 950

[32] 黄金龙,王艳君,苏布达,等. RCP4.5 情景下长江上游流域未来气候变化及其对径流的影响[J]. 气象, 2016,42(5):614 - 620

[33] 王顺久. 长江上游川江段气温、降水及径流变化趋势分析[J]. 资源科学, 2009,31(7):1142 - 1149

[34] 齐冬梅,李跃清,陈永仁,等. 气候变化背景下长江源区径流变化特征及其成因分析[J]. 冰川冻土, 2015,37(4) :1075 - 1086

[35] 齐冬梅,张顺谦,李跃清. 长江源区气候及水资源变化特征研究进展[J]. 高原山地气象研究, 2013,33(4):89 - 96

[36] 代稳,吕殿青,李景保,等. 气候变化和人类活动对长江中游径流量变化影响分析[J]. 冰川冻土, 2016,38(2):488 - 497

[37] 卢璐,王琼,王国庆,等. 金沙江流域近 60 年气候变化趋势及径流响应关系[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(5):16 - 21

[38] 王顺久. 青藏高原东部气候变化及其对长江上游水资源的可能影响[J]. 高原山地气象研究, 2008,28(1):42 - 46

[39] 宋雯雯,郭洁. 大渡河流域积雪特征及其与气候要素和径流的关系[J]. 高原山地气象研究, 2017,37(2):45 - 49

[40] 蓝永超,丁永建,朱云通,等. 气候变暖情境下黄河上游径流的可能变化[J]. 冰川冻土,2004,26(6):668 - 673

[41] 刘春蓁,田玉英. 用改进的非线性水量平衡模型研究气候变化对径流的影响[J]. 水科学进展, 1991,2(2):120 - 126

[42] 张一驰,李宝林,程维明,等. 开都河流域径流对气候变化的响应研究[J]. 资源科学,2004,26(6):69 - 76

Trends Variability of Annual Runoff in the Upper Reaches of Yangtze River under Future Climate Change Scenarios

ZHAN Wanzhi[1,3], WANG Shunjiu[2,3], CEN Sixian[2,3]

(1. *Sichuan Meteorological Service Centre*, *Chengdu* 610072, *China*;

2. *Institute of Plateau Meteorology*, *China Meteorological Administration*, *Chengdu* 610072, *China*;

3. *Heavy Rain and Drought - Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province*, *Chengdu* 610072, *China*)

Abstract: According to the air temperature and precipitation from the projection of IPCC fifth assessment report (AR5), an estimation model of annual runoff is presented in this paper. As an example, the variabilities of annual runoff in the upper reaches of Yangtze River are studies under the different future climate change scenarios of 5 GCMs, which have been analyzed and applied in the IPPC AR5. The results show that the annual runoff time series is a non - significant tendency under the RCP2.6and RCP4.5 scenario, while there is a significant deceasing trend for the annual runoff time series under the RCP8.5 scenario during the period of 2020 ~ 2099 at the 99% confidence level. On the other hand, under the RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenario, the decrease in average annual runoff from 2020 to 2099 is 6.42%, 10.99% and 13.25% respectively compared with that of 1961 ~ 2000. The work aids understanding of the climate of the upper reaches of Yangtze River under global warming and provides information for regional planning and management of water resources.

Key words: climate change, emission scenario, the upper reaches of Yangtze River, runoff prediction, IPCC AR5