

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.03.011

气候变化条件下洪泽湖以上流域水资源演变趋势

王苓如¹,薛联青^{1,2},王思琪¹,张荣³

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098;
2. 石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832003; 3. 泰安市水文局,山东 泰安 271000)

摘要:基于 IPCC 对全球和中国的气候变化趋势,利用 1990—2011 年气象资料,采用增量情景设置方法,分析气候变化情景下洪泽湖以上流域水资源的演变趋势。结果表明:该流域水资源量对降雨变化有较强的敏感性,实际蒸散发对温度变化的敏感性较强。与基准期相比,在气温同等条件、降水增加情景下,流域水资源量呈增加趋势;在降水同等条件、气温升高情景下,流域的实际蒸发会增加,导致水资源量呈减少的趋势。径流年内分配受降水变化影响较大;随着降水增加,径流年内分配更集中,加大年内径流分配差异,可能加大流域湖泊调蓄压力。

关键词:气候变化;水资源演变;SWAT 模型;洪泽湖以上流域

中图分类号:TV211 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)03-0057-06

Evolutionary tendency of water resources in the basin above Hongze Lake under the condition of climate change

WANG Lingru¹, XUE Lianqing^{1,2}, WANG Siqi¹, ZHANG Rong³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Shihezi University, Shihezi 832003, China;
3. Tai'an City Bureau of Hydrology, Tai'an 271000, China)

Abstract: Climate change has caused re-allocation of water resources in the spatial and temporal pattern, leading to more frequent occurrence of extreme hydrological events. Based on the predictions to global and China climate change by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the authors of this paper analyzed the evolutionary tendency of water resources in the basin above Hongze Lake under the condition of climate change by the method of setting incremental scene and using the climatological data of the years of 1990 to 2011. The results show that the catchment runoff was sensitive to precipitation changes; the evaporation was relatively sensitive to temperature changes. Compared with the baseline period, in the scenario of increasing precipitation and the same temperature, the water resources in the basin will be in the tendency of increasing; in the scenario of the same precipitation and temperature rise, the actual evaporation in the basin will increase, causing the tendency of water resources decreasing; the annual distribution of runoff is greatly influenced by the change of precipitation; runoff annual distribution becomes more concentrated with the increase of precipitation, which may result in the increasing the difference of runoff annual distribution, and increasing the regulating pressure of Hongze Lake.

Key words: climate change; evolutionary of water resources; SWAT model; basin above Hongze Lake

气候变化引起了水文循环的变化,导致水资源时空分布上的重新分配及水资源总量的改变,引发了部分流域极端气候及水文事件频率和强度的增加,加剧了洪旱灾害频发的风险^[1-2]。全球气候变化既影响水文与生态系统、经济与生活,甚至影响国家、地区的可持续发展。因此,全球气候变化对水资源

基金项目:国家自然科学基金(41371052, U1203282);江苏省“青蓝工程”及兵团创新团队项目
作者简介:王苓如(1989—),女,硕士研究生,研究方向为水环境保护及水资源演变。E-mail: wanglingru891228@126.com
通信作者:薛联青 教授。E-mail: lqxue@hhu.edu.cn

源的影响已引起国际普遍关注^[3-4]。水文学者一般利用气候模式输出的气温、降水等结果或是气候情景作为输入资料,再通过水文模型来分析流域水资源变化趋势。有许多学者运用 SWAT 模型来研究气候变化的水文效应;Cruise 等^[5]研究不同气候变化条件下,美国东南部现在及未来水资源的变化情况;Stone 等^[6]结合密苏里河流域的历史数据,模拟 CO₂ 浓度增加两倍情况下的水文变化;李道峰等^[7]探讨研究了 SWAT 模型在黄河河源区的适用性,假定了 5 种土地利用变化情景和 24 种气候变化组合情景,研究区域水资源的变化趋势。

流域内未来水资源变化将直接影响洪泽湖的调蓄功能,是水资源配置与管理运行的重要依据。笔者以洪泽湖以上流域为研究区,假设其下垫面状况在水文响应预测期内保持不变;根据 IPCC (the Intergovernmental Panel on Climate Change) 第 4 次报告 (the fourth assessment report, AR4),全球大气二氧化碳的含量增加 1 倍,气温增幅为 1~4℃,降水变幅为 20%,设置不同气候变化情景^[8-9];运用 SWAT (soil and water assessment tool) 分布式水文模型模拟分析该流域水资源演变情况。

1 气候、水文变化概况

淮河流域位于东经 112°~121°,北纬 31°~36°,处于北亚热带向暖温带过渡区,属大陆性季风气候。淮河干流至洪泽湖三河闸(中渡)出口为洪泽湖以上流域,汇水面积为 15.8 万 km²。淮河干流为洪泽湖入湖水量的主要来源,约占 87%。流域内降水时空分布不均,极易产生水旱灾害。洪泽湖以上流域年平均气温在 11~16℃,大部分地区气温呈上升趋势;年降水量总体呈上升趋势,增速缓慢,四季降水有增有减,春季和秋季降水量减少,而夏季和冬季降水量增加。1969—2011 年流域径流经 M-K 检验表明:该流域径流总体呈显著减少趋势;年内径流在春夏季节减少明显,在秋冬季节略呈上升趋势。

淮河流域多年平均地表水资源量 595 亿 m³。近几十年来,人均地表水资源量发生锐减,因缺水造成的农业旱灾日益严重。加之水资源时空分配极为不均,导致水资源短缺问题更加突出^[10-11]。洪泽湖当地湖区径流逐渐减少,区域降水和淮河干流水资源时空分配不均,导致湖区地表径流年际、年内分配不均,给洪泽湖调蓄带来较大压力^[12]。

2 资料与方法

2.1 资料说明

以洪泽湖以上流域为研究区,基于数字高程

(图 1)、土地利用(图 2)和土壤类型(图 3)建立 SWAT 模型,输入 19 个气象站点(图 4)1990—2011 年气象数据资料,模拟流域基准期的逐月径流,采用淮河干流控制站蚌埠水文站 1990—2011 年天然径流量进行率定和验证。在率定最佳月径流模拟结果参数的基础上,分析 25 种气候变化组合情景下流域水资源演变趋势。

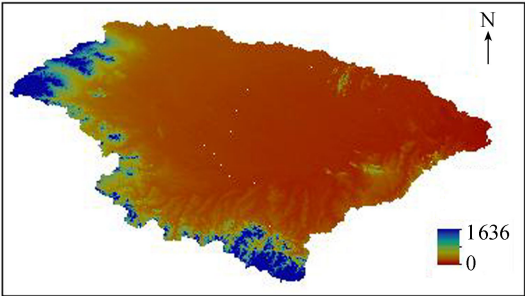


图 1 洪泽湖以上流域 DEM

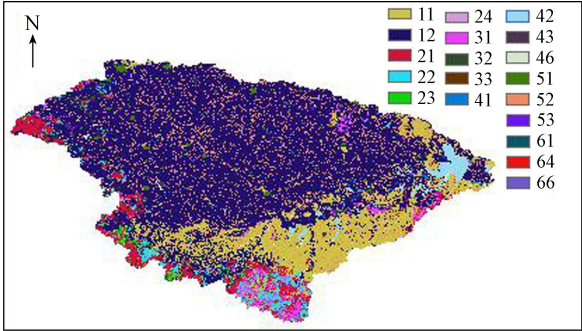


图 2 研究区土地利用分布

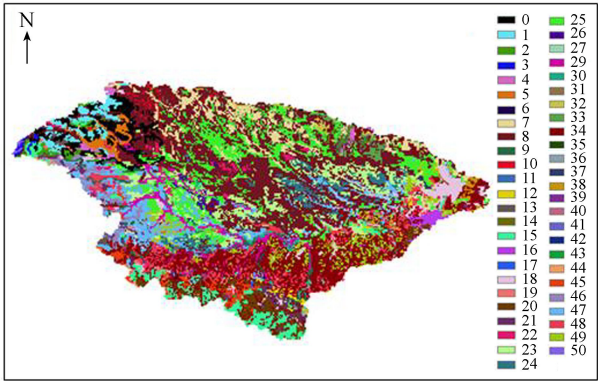


图 3 研究区土壤分布

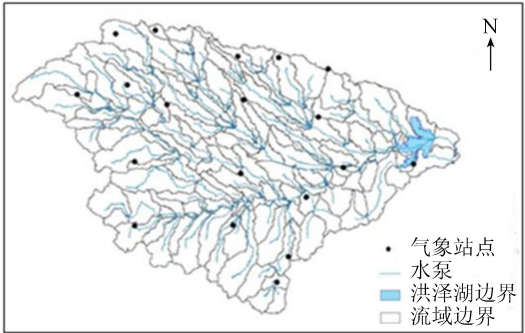


图 4 研究区水文气象站点分布

其中研究区土地利用图参照 SWAT 模型中美国土地利用参数库,将其重分类分为 10 类(详见 GB_T2010—2007《土地利用现状分类》);将土壤分布图按照模型要求及数据说明整理(详见世界土壤数据库中国土壤数据集),建立 SWAT 模型土壤数据库。

由于模型中天气发生器为月尺度,为了便于进行气候变化情景模拟,笔者将日降水数据、最高和最低气温数据、湿度数据以及辐射数据通过 EGNmaker 4.1 软件进行时间上的降尺度处理,得到月降水数据及相关气象参数。

2.2 水文要素敏感性定义

水文要素敏感性分析是在定量研究气候变化情景下(如降水变化 0,±10%,±20%;气温变化 0℃, +1℃, +2℃, +3℃, +4℃),通过水文要素的变化率来表征不同气候情景相对于基准期气候情景(即 ΔT=0,ΔP=0)的水资源变化趋势。其中水文要素的变化率采用式(1)计算:

η_{ΔP,ΔT} = \frac{W'_{P,T} - W_{P,T}}{W_{P,T}} \tag{1}

式中:η_{ΔP,ΔT}为在降水量变化 ΔP、气温变化 ΔT 情景下的水文要素变化率;W'_{P,T}为在降水量变化 ΔP、同时气温变化 ΔT 情景下的水文要素;W_{P,T}为现状水文要素。

气候变化幅度相同的情况下,水文要素的变化率越大表明其敏感性越强。敏感性可以揭示流域不同水文要素对气候相应的机理和差异。

3 SWAT 模型的适用性

3.1 模型概述

SWAT 模型在流域水系基础上根据阈值划分出子流域,在各个子流域内运用传统概念模型推求净雨、计算汇流,得出各子流域出口断面径流。该模型主要用于水文方面的模拟,具有很强的物理基础,适用于多土地利用和土壤类型的大型流域。至今,SWAT 模型被广泛应用于模拟流域水文过程对气候变化、下垫面条件变化的响应,评价人类活动对流域生态环境的影响,为流域水资源的规划管理提供依据^[13]。

3.2 模型模拟方法的选择

在模型模拟时选择“日降雨数据\SCS 径流曲线数方法\以日为时间单位”方法进行径流演算。选择“Priestly-Taylor”方法计算流域的潜在蒸发量,相关研究表明该方法适用于湿润地区的潜在蒸发量计算^[14]。降雨量分布模拟方法选择偏正态分布,河道演算采用马斯京根法。模型输出选择月时间尺度,选取相关指标对参数率定进行评价。

3.3 模型参数的率定

本次采用 SWAT-CUP 2012 软件中 SUFI-2 优化

算法进行参数率定。SWAT 模型中的参数众多,由于本文侧重流域的径流模拟,故参数选择主要是径流参数。在参数率定时遵循“从上游至下游;先调整水量平衡,再调整径流过程;先调整径流,后调整蒸发”的原则。由于没有流域实测蒸散发资料,故本次研究中仅进行径流校准。考虑到模型中参数数量较多且模型结构复杂,故本次参数率定将手动优化与自动优化相结合,根据流域参数敏感性,来率定和验证模型。

3.4 模拟结果评价

本文选用决定系数 R²、Nash 效率系数 N_{NS} 和相对误差 r 这 3 个指标来评价该模型在洪泽湖以上流域的适用性。

R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \tag{3}

N_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (Q_{m,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^m (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2} \tag{4}

r = \frac{|\sum_{i=1}^m Q_{s,i} - \sum_{i=1}^m Q_{m,i}|}{\sum_{i=1}^m Q_{m,i}} \cdot 100\% \tag{5}

式中:Q_{m,i}为第 i 月径流观测值,i=1,2,⋯,12;m 为径流观测值总数;Q_{s,i}为第 i 月径流模拟值;Q̄_m为径流观测值的均值;Q̄_s为径流模拟值的均值;n 为模拟时段数。

运用淮河控制站—蚌埠(吴家渡)水文站 1990—2003 年月径流资料进行模型参数率定,2004—2011 年月径流资料用来模型检验(表 1,图 5)。结果表明:分布式水文模型 SWAT 在洪泽湖以上游流域适用于径流模拟,为探讨气候变化对流域水资源影响奠定了基础。

表 1 1990—2011 年模拟验证期月径流评价

时 期	N _{NS}	r/%	R ²
率定期(1990—2003 年)	0.86	1.3	0.86
验证期(2004—2011 年)	0.81	5.28	0.81

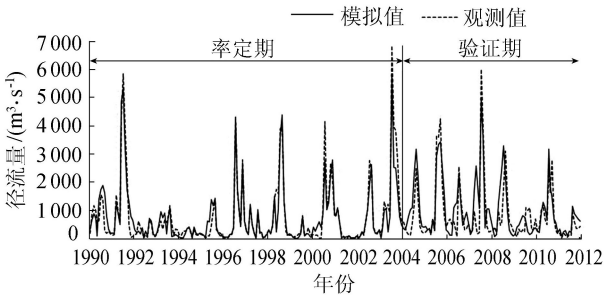


图 5 1990—2011 年模拟验证期月径流模拟值与实测值比较

4 研究区水资源对未来气候变化的响应分析

根据 IPCC 提出的气候变化预测结果和研究区可能出现的气候变化条件,假定 25 种气候变化组合情景(表 2),即在研究区 22 年平均日气温和降水的基础上,将温度增加 0℃、1℃、2℃、3℃、4℃ 和降水变化 0、±10%、±20% 进行两两组合。假定在水文响应期内下垫面条件不变,分别对 25 种气候变化情景进行月径流模拟,得到每种情景下的月平均径流量。

表 2 气候变化情景类型

$\Delta T/^\circ\text{C}$	$\Delta P/\%$				
	-20	-10	0	+10	+20
0	S1	S2	S3	S4	S5
+1	S6	S7	S8	S9	S10
+2	S11	S12	S13	S14	S15
+3	S16	S17	S18	S19	S20
+4	S21	S22	S23	S24	S25

经计算得到每种气候情景下研究区年水资源量和蒸发量相对于基准期模拟值的变化率(表 3、表 4),其中蚌埠站变化率表示淮河干流水资源变化,三河闸(中渡)变化率表示研究区水资源整体变化。

表 3 不同气候变化情景下水资源变化率

站名	$\Delta T/^\circ\text{C}$	水资源变化率/%				
		$\Delta P=-20\%$	$\Delta P=-10\%$	$\Delta P=0$	$\Delta P=+10\%$	$\Delta P=+20\%$
蚌埠站	0	-47.8	-24.8	0	27.0	55.5
	+1	-52.6	-31.2	-7.4	18.8	46.7
	+2	-55.3	-36.1	-11.2	12.1	39.2
	+3	-58.5	-40.2	-18.4	6.1	32.5
	+4	-60.8	-43.9	-23.1	0.6	26.3
三河闸	0	-44.3	-23.3	0	4.1	52.7
	+1	-48.6	-28.8	-6.1	13.7	45.7
	+2	-51.0	-32.6	-28.8	13.7	39.5
	+3	-54.1	-36.0	-14.9	8.7	34.0
	+4	-56.0	-39.1	-18.6	4.3	29.1

a. 不同气候变化情景下研究区水资源量变化差异明显。水资源量减少最多的气候情景是降水减少 20%、气温增加 4℃ 的情景方案(S21);增加最多的气候情景是降水增加 20%、气温不变的情景方案(S5)。

b. 不同气候变化情景下研究区实际蒸散发变化没有水资源量变化明显。实际蒸散发对气温变化的敏感性强,其减少最多的气候情景是气温不变、降水减少 20% 的情景方案(S1);增加最多的气候情景是气温增加 4℃、降水增加 20% 的情景方案(S25)。

c. 降水增加或气温降低都会导致研究区水资源量的增加。流域水资源量变化与降水变化呈正相关,与气温变化呈负相关;其对降雨变化的敏感性强,对气温变化的敏感性相对较弱。说明洪泽湖以上流域未来径流变化主要受到降水的影响,受气温

影响相对较小。
d. 淮河干流水资源对气候变化响应的敏感性强于流域水资源。即在同一气候变化情景下,洪泽湖来水量的增加或减少程度比下泄水量的增加或减少程度要大。在气候变化较大的情景(如 S4 或 S22)下,可能会导致洪泽湖发生洪涝或干旱事件,需要提前做好防护措施。

表 4 不同气候变化情景下研究区实际蒸散发变化率

$\Delta T/^\circ\text{C}$	蒸散发变化率/%				
	$\Delta P=-20\%$	$\Delta P=-10\%$	$\Delta P=0$	$\Delta P=+10\%$	$\Delta P=+20\%$
0	-5.0	-1.5	0	23.4	0.5
+1	-0.6	3.9	5.7	12.6	6.9
+2	3.6	9.0	4.0	12.6	12.9
+3	6.3	13.9	16.6	18.1	18.9
+4	9.1	18.5	21.7	23.4	24.4

降水、气温的变化除了导致流域年际径流的变化,也将影响其年内径流分布。由图 6 可知:

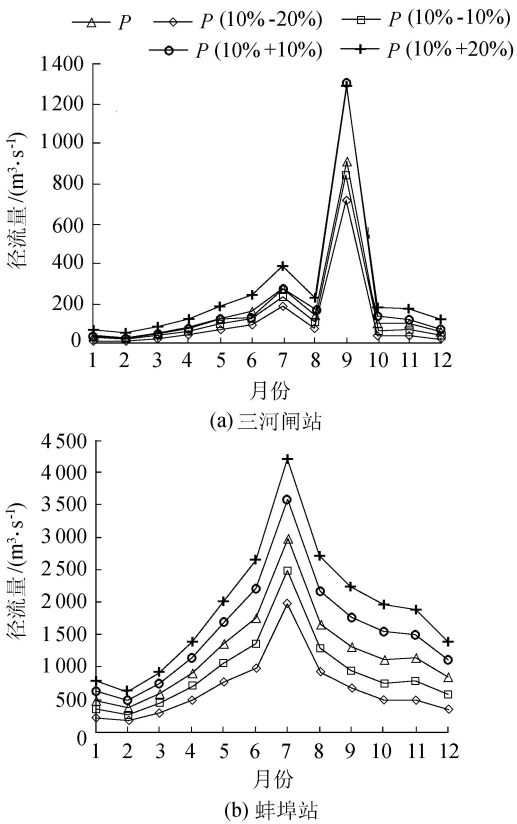


图 6 气温不变、降水变化情景下研究区径流年内分布

a. 在相同气温、降水变化情景下,随着降水增加,年内各月径流与降水变化趋势一致,但月增幅各不相同,在秋季增加最多。流域径流在夏季随着降水增加,变幅十分明显;在 1-6 月除降水增加 20% 情况下变化明显外,其余降水变化情景下变化趋势一致。

b. 在相同气温、降水变化情景下,淮河干流径流受降水变化影响比流域出口径流变化大;淮河干

流径流在夏秋两季增加明显;研究区出口径流只在降水增加 20% 的气候变化情景下增幅明显。在气温相同,降水变化情景下,降水增加会导致流域径流分配更集中,年内各月径流分配差异加大;洪泽湖在夏秋两季来水量可能增加明显,下泄量变化较小,加大了洪泽湖调蓄压力。

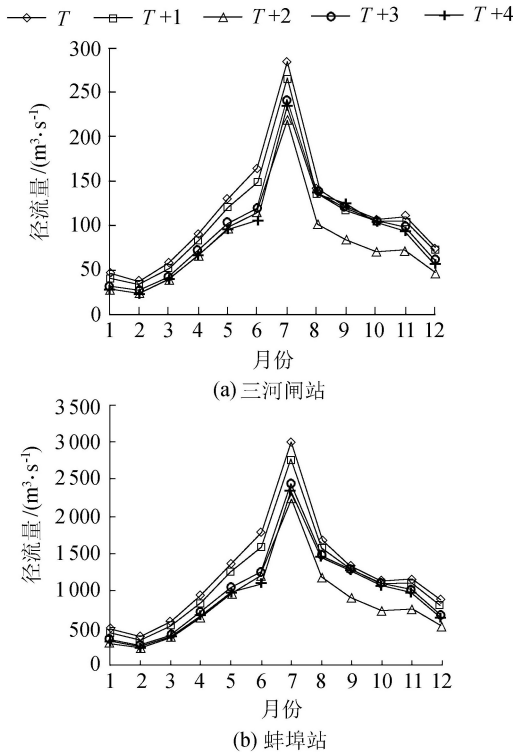


图 7 降水不变、气温变化情景下研究区径流年内分布

由图 7 可知:

a. 在降水相同、气温变化情景下,随着温度升高,各月径流均呈减小趋势;其中在气温增加 2℃ 的情景下,流域径流在秋季减少最多。原因可能是当温度升高超过一定水平时,蒸发量增大到一定程度后,空气中水气含量增加,云层增厚,导致蒸发能力降低。研究区在气温增加 2℃ 时,实际蒸发较大,使得径流值减小。

b. 气温对径流的影响主要是通过蒸发体现,其对年内径流分配的影响程度小于降水变化。其中冬季径流减少程度最小,造成该现象的原因很复杂,可能是由于在降水相同条件下,气温上升导致蒸发随着温度升高而增加,造成径流减少。

4 总结与讨论

a. 运用 SWAT 模型模拟洪泽湖以上流域月径流过程,模拟精度达到了评价标准,表明该模型适用于洪泽湖以上流域径流模拟,为分析未来气候变化下淮河流域流域水资源演变规律奠定基础。

b. 不同气候组合情景下,流域径流变化比实际

蒸散发变化明显。降水对径流的影响要明显大于温度对径流的影响。温度对流域实际蒸散发的影响大于降水变化对流域蒸散发的影响。随着降水条件的变化,流域实际蒸散发变化差异较大,其中降水变化 ±20% 时对蒸散发影响最大。

c. 由于没有流域的月蒸散发实测资料,故在模型模拟研究中没有用实测月蒸散发数据对模拟结果进行校准和验证。希望在下一步的研究中可以对此作出改善。

d. 降水相同、气温变化情景下,流域径流年内分布在气温增加 2℃ 时减小明显,具体原因还有待进一步验证。

e. 运用 SWAT 模型模拟未来气候变化下流域月径流时,没有考虑未来下垫面变化可能对流域水资源的影响,使气候情景模拟的预测结果具有一定的不确定性。

参考文献:

[1] 邓慧平,吴正方,唐来华. 气候变化对水文和水资源影响研究综述[J]. 地理学报,1996,51(增刊):161-170. (DENG Huiping, WU Zhengfang, TANG Laihua. A review of the studies of the impacts of climate change on hydrology and water resources [J]. Journal of Acta Geographica Sinica, 1996, 51 (sup): 161-170. (in Chinese))

[2] 夏军,刘春蓁,任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展,2011,26(1):1-12. (XIA Jun, LIU Chunzhen, REN Guoyu. Opportunity and challenge of the climate change impact on the water resource of China[J]. Journal of Advances in Earth Science,2011,26(1):1-12. (in Chinese))

[3] 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. (YUAN Fei, XIE Zhenghui, REN Liliang, et al. Hydrological variation in Haihe River Basin due to climate change[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2005,36(3):274-279. (in Chinese))

[4] 张利平,秦琳琳,胡志芳,等. 南水北调中线工程水源区水文循环过程对气候变化的响应[J]. 水利学报,2010,41(11):1261-1271. (ZHANG Liping, QIN Linlin, HU Zhifang, et al. Simulated hydrologic responses to climate change of water source area in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2010,41(11):1261-1271. (in Chinese))

[5] CRUISE J F, LIMAYE A S. Assessment of impacts of climate change on water quality in the southeastern United States [J]. Journal of the American Water Resources Association,1999,35(6):1539-1550.

[6] STONE FELT M C, FONTAME T A, HOTCHKISS R H.

- Impacts of climate change on Missouri river basin water yield [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2001, 37: 1119-1129.
- [7] 李道峰, 田英, 刘昌明. 黄河河源区变化环境下分布式水文模拟 [J]. 地理学报, 2004, 59 (4) : 565-573. (LI Daofeng, TIAN Ying, LIU Changming. Distributed hydrological simulation of the source region of the Yellow River under environment changes [J]. Journal of Acta Geographica Sinica, 2004, 59 (4) : 565-573.)
- [8] IPCC. IPCC forth report of assessment of climate change [R]. Cambridge, United Kingdom and New York; Cambridge University Press, 2007.
- [9] 夏智宏, 周月华, 许红梅. 基于 SWAT 模型的汉江流域水资源对气候变化的响应 [J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19 (2) : 158-163. (XIA Zhihong, ZHOU Yuehua, XU Hongmei. Water resources responses to climate changes in Hanjiang River Basin based on SWAT model [J]. Journal of Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19 (2) : 158-163. (in Chinese))
- [10] 费永法, 张炎斋. 淮河流域水资源问题及对策 [J]. 水利规划与设计, 2005 (1) : 23-25. (FEI Yongfa, ZHANG Yanzhai. Questions and suggestions on water resources in Huaihe River Basin [J]. Journal of Water Resources Planning and Design, 2005 (1) : 23-25. (in Chinese))
- [11] 胡瑞, 左其享, 窦明, 等. 淮河流域水资源承载力研究 [C] // 四川大学. 第六届中国水论坛: 河流开发、保护与水资源可持续利用. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 347-352.
- [12] 楚恩国. 洪泽湖水资源现状分析及对策 [J]. 中国水利, 2007 (23) : 33-35. (CHU Enguo. Anaysis of present situation of water resources in Hongze Lake and its counter measures [J]. Journal of China Water Resources, 2007 (23) : 33-35. (in Chinese))
- [13] 肖军仓, 周文斌, 罗定贵, 等. 非点源污染模型-SWAT 用户应用指南 [M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- [14] 彭世彰, 徐俊增. 参考作物蒸发蒸腾量计算方法的应用比较 [J]. 灌溉排水学报, 2004, 23 (6) : 5-9. (PENG Shizhang, XU Junzeng. Comparision of reference crop evapotranspiration computing methods [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2004, 23 (6) : 5-9. (in Chinese))
- (收稿日期: 2014-09-28 编辑: 徐 娟)

+++++
(上接第 56 页)

- [2] 傅德黔, 傅强, 舒俭民. 长江河源水环境理化特征分析 [J]. 中国环境监测, 1998, 14 (3) : 2-4. (FU Deqian, FU Qiang, SHU Jianmin, et al. The analysis about physical and chemical chatacteristic of water environmental in the soure area of Yangtze River [J]. Environmental Monitoring in China, 1998, 14 (3) : 2-4. (in Chinese))
- [3] 孙鸿烈. 长江上游地区生态与环境问题 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [4] 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. (QI Dongmei, ZHANG Shunqian, LI Yueqing. Research progress on variations of the climate and water resources in the source region of the Yangtze River [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2013, 33 (4) : 89-96. (in Chinese))
- [5] 张立成, 章申, 董文江, 等. 江河源水环境地球化学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [6] 石丽娜, 赵旭东, 倪天茹, 等. 青海省三江源黄河源区地表水水质状况 [J]. 贵州农业科学, 2012, 40 (4) : 220-223. (SHI Lina, ZHAO Xudong, NI Tianru, et al. Quality of surface water in Yellow River headwater area of the origin of three rivers in Qinghai Province [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40 (4) : 220-223. (in Chinese))
- [7] 卢素锦, 石红霄, 李鹏, 等. 三江源长江地表水水环境现状评价 [J]. 环境与健康杂志, 2009, 26 (7) : 604-605. (LU Sujin, SHI Hongxiao, LI Peng, et al. Environmental assessment for water of Yangtse River of source area of Lantsang, Yellow and Yangtse River [J]. Journal of Environment and Health, 2009, 26 (7) : 604-605. (in Chinese))
- [8] 李茜, 张建辉. 长江流域地表水水质区域污染特征研究 [J]. 三峡环境与生态, 2011, 33 (6) : 5-8. (LI Qian, ZHANG Jianhui. The study on the characteristics of regional surface water pollution of Yangtze River [J]. Environment and Ecology in the Three Gorges, 2011, 33 (6) : 6-12. (in Chinese))
- [9] 环保部. 环办 [2011] 22 号文件 [S]. 地表水环境质量评价办法 (试行), 2011.
- [10] 侯佳辛. 基于内梅罗污染指数法的区域水环境评价 [J]. 内蒙古水利, 2012 (5) : 8-9. (HOU Jiaxin. Environmental assessment for surface water based on Nemero indexes [J]. Inner Mongolia Water Resources, 2012 (5) : 8-9. (in Chinese))
- [11] 卞玮. 1960-2005 年来玛纳斯河水质评价及趋势分析 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (5) : 1443-1444, 1446. (BIAN Wei. Evaluation and trend analysis of water quality in Manasi River in recent ten years [J]. Journal of Anhui Agricul Sciences, 2007, 35 (5) : 1443-1444, 1446. (in Chinese))
- [12] 王冰冰, 荣艳淑, 白路遥. 长江源区和黄河源区降水量变化分析 [J]. 水资源保护, 2013, 29 (6) : 6-12. (WANG Bingbing, RONG Yanshu, BAI Luyao. Analysis of precipitation variation in source regions of Yangtze River and Yellow River [J]. Water Resources Protection, 2013, 29 (6) : 6-12. (in Chinese))
- (收稿日期: 2014-06-09 编辑: 高渭文)