

Prediction of Precipitation and Temperature Change in the Taihu Basin Based on Statistical Downscaling Model

Jing Guo¹, Danying Wang², Hua Chen³, Kaiyu Cheng¹

¹HydroChina Huadong Engineering Corporation, Hangzhou

²Zhejiang Huadong Environment Development Co., Ltd., Hangzhou

³State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan

Email: guojingking@163.com

Received: Nov. 22th, 2013; revised: Dec. 8th, 2013; accepted: Jan. 6th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The observed precipitation series and temperature series from seven national weather stations were used to establish the statistical downscaling model with the NCEP reanalysis data in the Taihu basin, respectively. Then, the output data of HadCM3 under A2 and B2 scenarios were inputted to the established automated statistical downscaling model (ASD) to predict the future precipitation and temperature changes during 2020s(2010-2039), 2050s(2040-2069) and 2080s(2070-2099) periods in the Taihu Basin. The results show that the precipitation will be increased first and then decreased during the three future periods under A2 scenarios. However, under B2 scenarios, the precipitation will be increased during these three periods. For both A2 and B2 scenarios simulated by HadCM3 outputs, the future temperature will also be increased during these three periods, and the increased trend under A2 scenarios is more significant than the trend under B2 scenarios. The research results in this study will be served as a scientific basis for making the future social and economic development plans of the Taihu Basin by the relevant government decision-making.

Keywords

Climate Change, Statistical Downscaling, Precipitation; Temperature, Taihu Basin

基于统计降尺度模型的太湖流域降水气温变化预测

*作者简介: 郭靖, 男(1982-), 博士, 高级工程师, 研究方向: 气候变化下水资源开发利用研究。

郭靖¹, 王丹颖², 陈华³, 程开宇¹

¹中国水电顾问集团华东勘测设计研究院有限公司, 杭州

²浙江华东环境发展有限公司, 杭州

³武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉

Email: guojingking@163.com

收稿日期: 2013年11月22日; 修回日期: 2013年12月8日; 录用日期: 2014年1月6日

摘要

利用太湖流域7个国家气象站实测降水、气温数据和NCEP再分析数据, 分别建立了太湖流域降水、气温统计降尺度模型; 在A2和B2排放情景下应用HadCM3的输出数据, 预测太湖流域未来2020s(2010~2039年)、2050s(2040~2069年)和2080s(2070~2099年)三个时期降水、气温变化情况。研究表明: A2情景下, 未来3个时期太湖流域降水呈先增加后减少趋势, B2情景下, 未来3个时期太湖流域降水呈增加趋势; 两种气候情景下, 未来3个时期太湖流域气温总体呈上升趋势, 其中A2情景比B2情景升温趋势更加显著。本文研究成果可为政府相关决策层制定未来太湖流域社会经济发展规划提供科学的依据。

关键词

气候变化, 统计降尺度, 降水, 气温, 太湖流域

1. 引言

工业革命以来, 大气中的二氧化碳浓度从 280 ppm 增加到 2010 年的 398 ppm, 仍以近 2.0 ppm/a 的速度在继续增长。加上其他一些温室气体也在缓慢增加, 大气成分和辐射发生改变, 气候系统的能量平衡遭到破坏, 气候的变化将改变全球水循环的现状, 从而引起水资源在时空上的重新分配, 并对降水、蒸发、径流、土壤湿度等造成直接或间接的影响。河流湖泊作为全球水循环的重要载体, 首当其冲受到气候变化的影响。研究气候变化在流域尺度上的影响, 对维护流域健康生命, 保障流域水资源可持续利用, 保证流域社会经济可持续发展具有重要的现实意义[1]。

太湖流域面积约 3.69 万 km², 地处长江三角洲核心区域; 北依长江, 南濒杭州湾, 东临东海, 西以茅山、天目山为界, 行政分属江苏、浙江、上海、安徽三省一市。太湖流域地形呈周边高、中间低的碟状分布; 西部为山区, 中部河网密布, 湖泊棋布; 太湖位于流域河流水系的中心, 多年平均水面面积为 2338 km²。太湖流域属于典型的亚热带季风气候区, 受到西太平洋亚热带高压和东南季风的双重影响, 气候特征复杂多变; 流域年平均气温 14.9℃~16.2℃, 自北向南递增; 多年平均降水量为 1177 mm, 其中 60% 的降水集中在 5~9 月。降水年内年际变化较大, 最大与最小年降水量的比值为 2.4 倍; 年径流量年际变化更大, 最大与最小年径流量的比值为 15.7 倍。

本文应用统计降尺度方法分别建立表征气候变化信息的大尺度气候因子与太湖流域气象站点日降水、日气温之间的统计学关系, 预测分析太湖流域未来降水和气温的变化趋势, 为未来太湖流域防洪抗旱及水资源管理提供参考依据。

2. 数据选取

气候变化研究中一般需要三类数据: 气象站点实测地面气象数据、大尺度气候因子观测数据以及全

全球气候模式(GCM)模拟得到的大尺度气候因子在当前和未来气候条件下的输出数据。本文选取太湖流域内常州、溧阳、东山、徐家汇、天目山、杭州、平湖等 7 个国家气象站点的日平均降水和平均气温数据作为实测地面气象数据；其中徐家汇站和天目山站分别采用 1961~1998 年和 1961~1997 年的数据系列，其余站点采用 1961~2001 年的数据系列。将美国环境预报中心(NCEP)全球再分析日数据(1961~2001 年)作为观测的大尺度气候数据，其空间分辨率为 $3.75^\circ \times 2.5^\circ$ 。在与 NCEP 数据相同的空间分布中，采用全球气候模式 HadCM3 在温室气体高排放(A2)和低排放(B2)情景下输出的模拟数据作为当前(1961~2001 年)和未来(2010~2099 年)大尺度气候因子的模拟数据[2] [3]。气候因子输出数据格网基本覆盖整个太湖流域，选择格网范围为：117°30'00"E~121°15'00"E，30°00'00"N~32°30'00"N。本文采用的 NCEP 全球再分析日数据和全球气候模式 HadCM3 数据包含海平面气压、地面气温、500 hPa 和 850 hPa 位势高度场、500 hPa 和 850 hPa 湿度等 26 个大尺度气候因子(详见表 1)，并且经过同化处理，使得两种数据能够匹配。太湖流域位置及气象站点分布见图 1。

3. 模型建立

3.1. 统计降尺度模型

全球气候模式(GCM)是目前研究气候变化与气候变异最重要也是最可行的方法。但是由于 GCM 的水平网格分辨率一般在 $10^4 \sim 10^5$ km，缺少足够的区域尺度下的气候过程，地形情况以及海陆分布情况等因素，所以将其直接应用到区域尺度是非常困难[4]。为了弥补 GCM 在区域气候预测中的不足，水文气象学家提出了尺度降解技术，即将 GCM 输出的大尺度、低分辨率信息转化为区域尺度的地面气候要素信息。降尺度技术主要包括统计降尺度法和动力降尺度法两种。其中，统计降尺度法以其计算量小，节省机时，可以很快地模拟出百年尺度的区域气候信息，可以很容易的应用于不同的 GCM 模式，可以将大尺度气候信息降解到站点尺度上等特点在国内外得到广泛应用[5]-[10]。本文采用自动统计降尺度模型 ASD (Automated Statistical Downscaling model)，将 GCM 输出的大尺度、低分辨率的信息转化为区域尺度的地面气候要素信息。由于篇幅限制，ASD 模型的原理详见参考文献[11]和文献[8]，这里不再赘述。

Table 1. The atmospheric variables for predictors from NCEP and HadCM3
表 1. NCEP 和 HadCM3 输出大尺度气候因子

编号	变量	描述	编号	变量	描述
1	mslp	海平面气压场	14	p5zh	500 hPa 散度场
2	p_f	地表地转气流速度场	15	p8_f	850 hPa 地转气流速度场
3	p_u	地表纬向风速场	16	p8_u	850 hPa 纬向风速场
4	p_v	地表经向风速场	17	p8_v	850 hPa 经向风速场
5	p_z	地表涡度场	18	p8_z	850 hPa 涡度场
6	p_th	地表风向场	19	p850	850 hPa 位势高度场
7	p_zh	地表散度场	20	p8th	850 hPa 风向场
8	p5_f	500 hPa 地转气流速度场	21	p8zh	850 hPa 散度场
9	p5_u	500 hPa 纬向风速场	22	rhum	地表相对湿度场
10	p5_v	500 hPa 经向风速场	23	r500	500 hPa 相对湿度场
11	p5_z	500 hPa 涡度场	24	r850	850 hPa 相对湿度场
12	p500	500 hPa 位势高度场	25	shum	地表比湿场
13	p5th	500 hPa 风向场	26	temp	地表平均气温场

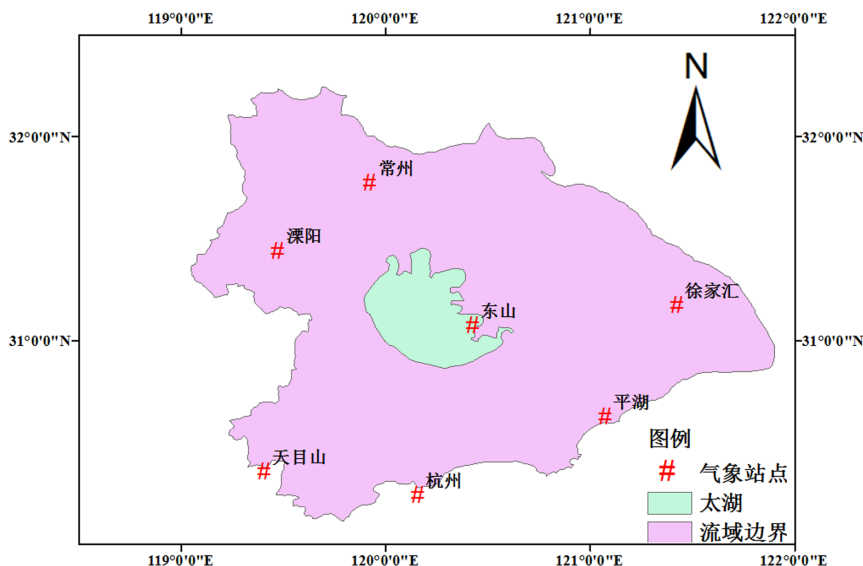


Figure 1. Location of the Taihu Basin and the meteorological stations

图 1. 太湖流域位置及气象站点分布

3.2. 因子选择

本文选择站点所在网格包含如海平面气压、地面气温、500 hPa 和 850 hPa 位势高度场、500 hPa 和 850 hPa 湿度等 26 个因子作为备选因子与每个站点降水、气温分别建立统计降尺度关系(备选因子如表 1 所示)。降尺度预报因子的选择在统计降尺度中是很关键和重要的一步。通过因子选择不仅可以降低预报因子数据集的维数,避免维数灾,提高计算效率,而且可以筛选出代表大尺度气候场的重要物理过程和气候变率,以及与地面气候变量有很强相关性的气候因子。通过因子选择发现,与各站点降水、气温关系比较显著的气候因子一般为风向场、湿度场及风速场等。这也印证了太湖流域地处季风区,降水、气温多受西太平洋亚热带高压和东南季风影响的气候特性。

3.3. 模型率定与检验

利用太湖流域 7 个国家气象站的日降水、气温资料,以及经过因子选择后的 NCEP 大气环流因子,分别建立大尺度环流因子与各气象站日降水和气温之间的统计关系,其中各站均已 1961~1990 年作为率定期。除徐家汇站和天目山站分别以 1991~1998 年和 1991~1997 年作为检验期,其余站点均已 1991~2001 年作为检验期。

为了对 ASD 模型的模拟效果优劣性进行评价,针对降水和气温,本文分别选择 5 个统计指标进行分析。降水系列统计指标包括:日降水系列均值(Mean)、日降水系列标准差(Std)、90%分位数日降水量(Percentile90)、日降水量 ≥ 1.0 mm 天数所占比例(Wet)、最大连续干旱天数(Cdd);气温系列统计指标包括:日气温系列均值(Mean)、日气温系列标准差(Std)、90%分位数日平均气温(Percentile90)、最高日平均气温(Max)、最低日平均气温(Min)。在此基础上,选择模拟系列与实测系列各统计指标的相对误差 RE,均方根误差(RMSE)和均方根误差变差系数($Cv_{(R)}$) 3 个评价指标来评定 ASD 模型所建立的统计关系的优劣性。其中 $Cv_{(R)}$ 是一个用来衡量两列数据之间相对变化程度的统计量,定义如下:

$$Cv_{(R)} = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad (1)$$

式中: RMSE 为模拟数据系列相对于实测系列的均方根误差, \bar{x} 为实测系列的均值。

表 2 和表 3 分别列出了利用 NCEP 数据模拟太湖流域 7 个测站降水、气温的结果。表 2 结果显示，

Table 2 Statistic the simulation results of precipitation for each station in the Taihu basin during calibration and validation periods
表 2 率定期和检验期太湖流域各测站降水模拟结果统计表

测站	Mean (mm/day)			Std (mm/day)			PREC90 (mm/day)			Wet (%)			Cdd (day/month)													
	实测	模拟	RE(%)	RMSE	CV(R)	RE(%)	RMSE	CV(R)	RE(%)	RMSE	CV(R)	模拟	实测	RE(%)	RMSE	CV(R)										
常州	率定	2.92	2.87	-1.90	0.08	0.03	8.09	7.72	-4.60	0.98	0.12	27.47	25.21	-8.21	3.34	0.12	24.41	26.23	7.47	3.34	0.14	11.54	9.99	-13.45	1.88	0.16
	检验	3.15	2.69	-14.70	0.84	0.27	9.12	7.27	-20.30	3.27	0.36	28.00	25.76	-8.01	6.66	0.24	24.08	24.36	1.17	2.94	0.12	11.84	10.67	-9.92	1.66	0.14
溧阳	率定	3.14	3.11	-1.04	0.07	0.02	8.45	8.53	0.84	1.43	0.17	26.90	26.38	-1.93	1.73	0.06	25.76	27.33	6.10	1.61	0.06	11.28	9.77	-13.35	1.75	0.15
	检验	3.18	3.36	5.62	0.91	0.29	8.26	10.19	23.35	6.92	0.84	27.14	27.80	2.43	4.50	0.17	26.01	26.81	3.09	2.77	0.11	11.05	9.96	-9.90	1.62	0.15
东山	率定	3.03	2.98	-1.91	0.14	0.04	8.18	8.09	-1.11	2.35	0.29	26.62	24.76	-6.99	2.46	0.09	26.49	28.10	6.04	1.65	0.06	11.04	9.60	-13.04	1.65	0.15
	检验	3.31	3.16	-4.45	0.82	0.25	8.42	7.83	-6.99	1.84	0.22	29.64	25.88	-12.68	8.47	0.29	26.31	28.33	7.66	4.27	0.16	11.11	9.45	-14.88	1.96	0.18
徐家汇	率定	3.05	2.98	-2.16	0.10	0.03	8.27	7.78	-5.87	0.81	0.10	27.41	25.47	-7.07	3.04	0.11	25.74	27.29	6.05	1.62	0.06	11.11	9.64	-13.17	1.74	0.16
	检验	3.28	3.24	-1.35	1.07	0.33	8.70	8.09	-7.07	2.86	0.33	32.81	27.25	-16.94	12.59	0.38	25.79	27.84	7.93	4.35	0.17	11.44	9.51	-16.84	2.19	0.19
天目山	率定	4.59	4.46	-2.81	0.15	0.03	9.57	9.21	-3.79	0.55	0.06	26.15	25.32	-3.18	2.08	0.08	38.53	39.18	1.69	0.91	0.02	8.75	7.29	-16.64	1.75	0.20
	检验	4.89	4.34	-11.31	1.46	0.30	10.44	9.02	-13.63	3.35	0.32	30.88	25.95	-15.99	9.38	0.30	37.43	37.32	-0.30	4.14	0.11	8.45	7.50	-11.26	1.52	0.18
杭州	率定	3.77	3.71	-1.63	0.10	0.03	9.04	8.58	-5.08	0.83	0.09	27.18	26.54	-2.35	1.43	0.05	31.28	32.31	3.31	1.13	0.04	10.03	8.49	-15.29	1.89	0.19
	检验	4.01	3.57	-10.98	1.38	0.34	9.53	8.30	-12.98	3.33	0.35	32.78	26.72	-18.49	13.46	0.41	30.40	31.06	2.16	4.61	0.15	10.15	8.63	-15.06	2.37	0.23
平湖	率定	3.16	3.12	-1.46	0.12	0.04	8.79	8.11	-7.82	2.34	0.27	26.31	25.23	-4.12	2.00	0.08	27.49	28.94	5.29	1.50	0.05	11.18	9.31	-16.76	2.20	0.20
	检验	3.73	3.22	-13.75	1.34	0.36	9.53	7.89	-17.25	3.59	0.38	30.00	26.27	-12.42	9.39	0.31	28.36	28.98	2.16	3.20	0.11	10.62	9.24	-13.00	2.00	0.19
均值	率定	3.38	3.32	-1.90	0.11	0.03	8.63	8.29	-3.95	1.33	0.15	26.86	25.56	-4.85	2.30	0.09	28.53	29.91	4.85	1.68	0.06	10.70	9.15	-14.46	1.84	0.17
	检验	3.65	3.37	-7.76	1.12	0.31	9.14	8.37	-8.49	3.59	0.39	30.18	26.52	-12.13	9.21	0.31	28.34	29.24	3.18	3.75	0.13	10.67	9.28	-13.01	1.90	0.18

Table 3. Statistic the simulation results of temperature for each station in the Taihu basin during calibration and validation periods
表 3. 率定期和检验期太湖流域各测站气温模拟结果统计表

测站	Mean (°C)		Std (°C)		PREC90 (°C)		Max (°C)		Min (°C)																	
	模拟	实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟	实测																
常州	率定	15.50	-0.012	0.005	0.000	3.15	3.15	0.087	0.006	0.002	19.51	19.60	0.469	0.181	0.009	25.35	25.13	-0.868	1.218	0.048	5.93	6.10	2.823	0.797	0.134	
	检验	16.30	16.20	-0.639	0.205	0.013	3.08	3.09	0.310	0.103	0.034	20.17	20.15	-0.090	0.152	0.008	24.93	24.88	-0.207	1.528	0.061	7.75	7.84	1.161	1.118	0.144
溧阳	率定	15.36	15.36	0.012	0.005	0.000	3.14	3.15	0.119	0.006	0.002	19.36	19.47	0.536	0.182	0.009	25.05	25.07	0.080	1.289	0.051	5.57	6.12	9.940	1.470	0.264
	检验	16.05	15.97	-0.501	0.224	0.014	3.04	3.08	1.446	0.094	0.031	19.88	19.93	0.221	0.236	0.012	24.78	24.69	-0.377	1.559	0.063	7.78	7.67	-1.318	1.169	0.150
东山	率定	15.93	15.93	0.001	0.002	0.000	3.06	3.07	0.148	0.005	0.002	19.80	19.94	0.657	0.223	0.011	25.22	25.30	0.330	1.079	0.043	6.88	6.85	-0.327	0.829	0.121
	检验	16.45	16.55	0.594	0.220	0.013	2.96	3.00	1.282	0.090	0.030	20.13	20.41	1.398	0.362	0.018	24.64	24.89	1.021	1.291	0.052	8.23	8.39	2.026	1.067	0.130
徐家汇	率定	15.78	15.78	0.003	0.003	0.000	3.03	3.03	0.102	0.005	0.002	19.64	19.73	0.453	0.207	0.011	25.04	25.13	0.353	0.979	0.039	7.04	6.87	-2.450	0.477	0.068
	检验	16.87	16.31	-3.324	0.598	0.035	2.96	2.96	0.058	0.144	0.049	20.62	20.13	-2.422	0.586	0.028	24.59	24.61	0.088	1.351	0.055	8.71	8.64	-0.794	1.011	0.116
天目山	率定	8.83	8.83	-0.004	0.005	0.001	3.94	3.95	0.121	0.007	0.002	13.90	13.93	0.211	0.095	0.007	18.65	19.78	6.059	1.458	0.078	-3.52	-3.67	4.360	0.597	-0.170
	检验	9.08	9.18	1.044	0.153	0.017	3.79	3.83	1.007	0.138	0.036	14.00	14.11	0.813	0.436	0.031	17.71	18.92	6.828	1.549	0.087	-1.41	-1.30	-7.751	0.695	-0.494
杭州	率定	16.22	16.22	0.006	0.004	0.000	3.23	3.23	0.122	0.006	0.002	20.41	20.47	0.266	0.195	0.010	26.10	26.31	0.805	1.422	0.054	6.88	6.84	-0.473	0.643	0.094
	检验	16.91	16.83	-0.476	0.260	0.015	3.14	3.18	1.249	0.140	0.045	20.91	20.94	0.107	0.324	0.015	25.68	25.93	0.960	1.031	0.040	8.33	8.27	-0.820	1.044	0.125
平湖	率定	15.69	15.69	0.004	0.003	0.000	3.15	3.16	0.207	0.007	0.002	19.77	19.83	0.305	0.162	0.008	25.08	25.22	0.545	0.946	0.038	6.80	6.43	-5.429	0.804	0.118
	检验	16.19	16.22	0.190	0.229	0.014	3.13	3.08	-1.395	0.090	0.029	20.23	20.21	-0.122	0.364	0.018	24.68	25.10	1.719	1.553	0.063	8.02	7.96	-0.759	0.843	0.105
均值	率定	14.76	14.76	-0.001	0.000	0.000	3.24	3.25	0.159	0.01	0.002	18.91	19.00	0.430	0.18	0.009	24.36	24.56	0.838	1.20	0.049	5.08	5.08	-0.075	0.80	0.158
	检验	15.41	15.32	-0.568	0.27	0.018	3.16	3.18	0.627	0.11	0.036	19.42	19.41	-0.055	0.35	0.018	23.86	24.14	1.193	1.41	0.059	6.77	6.78	0.151	0.99	0.147

率定期和检验期，除去 Cdd 统计指标以外，各测站其余降水统计指标的模拟相对误差(RE)基本在±10%以内；率定期各测站降水统计指标的均方根误差(RMSE)均在 3.5 以内，均方根误差变差系数(C_{V(R)})均在 0.3

以内；检验期各测站降水统计指标的均方根误差(RMSE)均大于率定期，均方根误差变差系数($C_{V(R)}$)控制在 0.9 以内。表 3 结果显示，率定期和检验期，各测站气温统计指标的模拟相对误差(RE)基本控制在 $\pm 5\%$ 以内；率定期各测站气温统计指标的均方根误差(RMSE)均在 1.5 以内，均方根误差变差系数($C_{V(R)}$)除最低日平均气温(Min)以外均控制在 0.1 以内；检验期各测站气温统计指标的均方根误差(RMSE)均大于率定期，除最低日平均气温(Min)以外均方根误差变差系数($C_{V(R)}$)也均在 0.1 以内。

通过以上分析可以看出，由 NCEP 大尺度气候因子率定的降尺度统计关系能够较好地反映太湖流域降水和气温的特征，比较客观的模拟太湖流域降水和气温的变化过程，其中气温模拟结果优于降水。

4. 太湖流域降水和气温预测分析

为了分析未来太湖流域面均降水和气温的变化情况，以 1961~1990 年作为基准期，将未来气候分为 3 个时期：2020s(2010 年~2039 年)、2050s(2040 年~2069 年)以及 2080s(2070 年~2099 年)。应用全球气候模式 HadCM3 输出的 A2 和 B2 气候情景，输入经过验证的 ASD 统计降尺度模型，分别生成太湖流域 7 个测站的降水和气温序列。通过对以上降水、气温面均系列分析来研究未来太湖流域的气候变化情况。

图 2 和图 3 分别给出了未来 3 个时期的年内降水、气温相对于基准期的变化情况。为了消除模型系

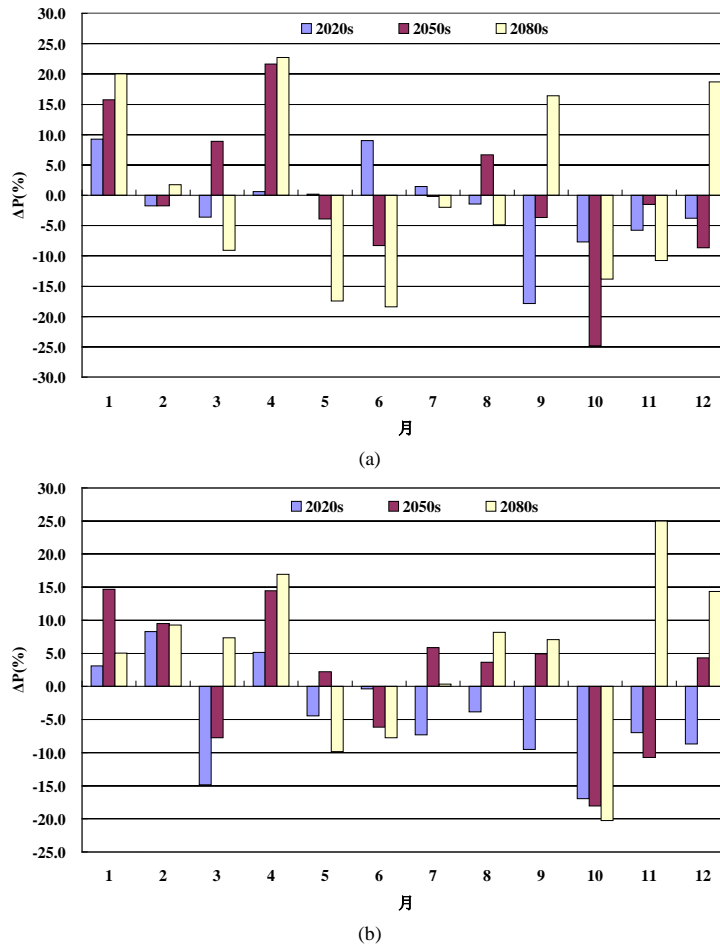


Figure 2. Relative changes of the areal-averaged monthly precipitation corresponding to the base period and future periods in the Taihu basin; (a) A2 Scenario; (b) B2 Scenario

图 2. 太湖流域未来面均月降水相对基准期变化情况；(a) A2 情景；(b) B2 情景

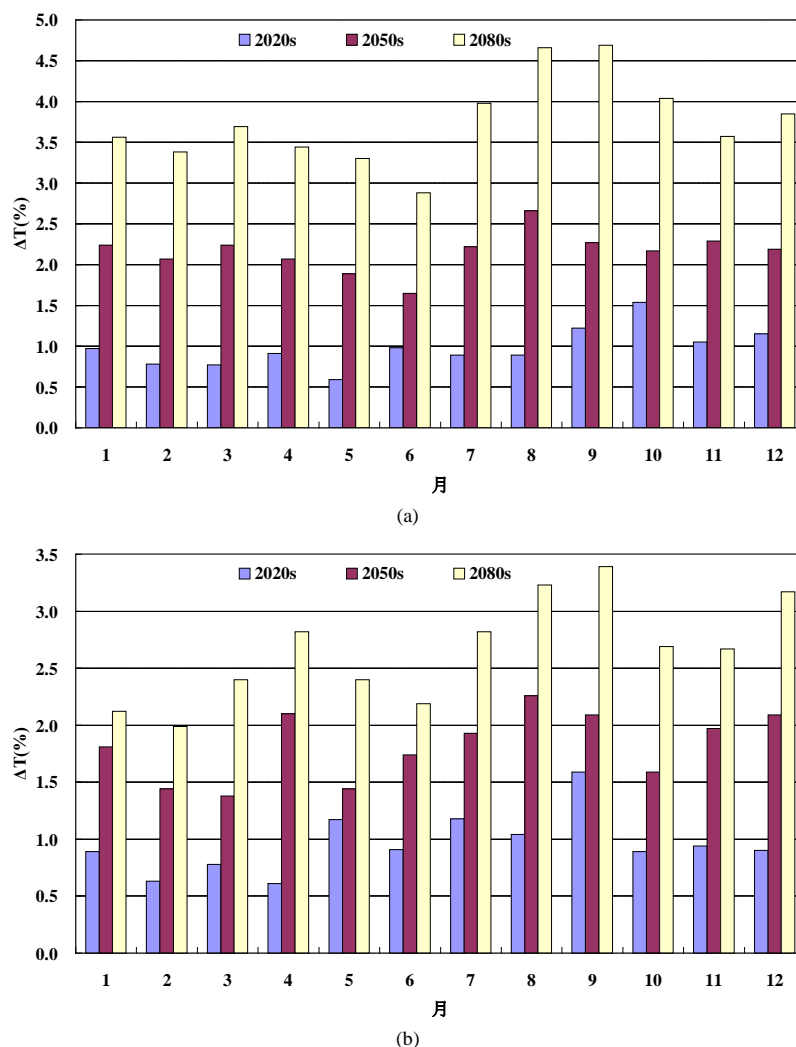


Figure 3. Relative changes of the areal-averaged monthly temperature corresponding to the base period and future periods in the Taihu basin; (a) A2 Scenario; (b) B2 Scenario

图 3. 太湖流域未来面均月气温相对基准期变化情况; (a) A2 情景; (b) B2 情景

统误差，使得基准期和未来降水、气温能在相同的模型误差下进行比较，本文基准期的降水量、气温均采用 GCM 资料模拟成果。由图 2 可知，在 A2 情景下，未来 3 个时期太湖流域月降水量在 1、4 月以增加为主，其余月份以减少为主；B2 情景下，未来 3 个时期太湖流域月降水量在 1、2、4、7、8、9 和 12 月等 7 个月份以增加为主，其余月份以减少为主。图 3 结果显示，两种气候情境下未来 3 个时期太湖流域各月平均气温均呈增加趋势；其中 A2 情景和 B2 情景的月最大增加幅度分别为 4.7℃和 3.4℃，均发生在 2080s 时期的 9 月份。比较两种情景下月内气温变化情况可以看出，A2 情景基本大于 B2 情景，可见 A2 情景气温变化更加剧烈。

表 4 列出了 A2、B2 情景下太湖流域未来 3 个时期多年平均面均降水量、气温及其相对于基准期的变幅。降水变化预测中，A2 情景下，2020s、2050s 和 2080s 时期年均降水量分别比基准期减少 2.24%、0.38%和 1.20%；B2 情景下，2020s 时期比基准期减少 5.00%，2050s 和 2080s 时期分别比基准期增加 1.06%和 3.78%。从 3 个时期降水变化趋势看，A2 情景下，太湖流域降水是先增加后减少趋势，2050s 时期达

Table 4. The prediction results of areal-averaged precipitation and temperature under A2 and B2 scenarios
表 4. A2、B2 情景下太湖流域未来面均降水、气温预测结果

统计量	A2 情景				B2 情景			
	基准期	未来			基准期	未来		
		2020s	2050s	2080s		2020s	2050s	2080s
年均降水量(mm)	1674	1637	1668	1654	1674	1590	1692	1737
ΔP (%)		-2.24	-0.38	-1.20		-5.00	1.06	3.78
年均气温($^{\circ}\text{C}$)	14.8	15.7	16.9	18.5	14.8	15.7	16.6	17.4
ΔT ($^{\circ}\text{C}$)		1.0	2.2	3.7		1.0	1.8	2.7

注: ΔP 为与基准期降水模拟值相比的相对变幅; ΔT 为与基准期气温模拟值相比的变幅。

到峰值; B2 情景下, 太湖流域降水呈增加趋势。气温变化预测中, A2 情景下, 2020s、2050s 和 2080s 时期年均气温分别比基准期增加 1.0 $^{\circ}\text{C}$ 、2.2 $^{\circ}\text{C}$ 和 3.7 $^{\circ}\text{C}$; B2 情景下, 2020s、2050s 和 2080s 时期分别比基准期增加 1.0 $^{\circ}\text{C}$ 、1.8 $^{\circ}\text{C}$ 和 2.7 $^{\circ}\text{C}$; 两种气候情景下, 未来 3 个时期气温总体呈上升趋势, 其中 A2 情景比 B2 情景升温更加显著。

5. 结论

本文利用太湖流域的 7 个国家气象站实测降水、气温数据和 NCEP 再分析大尺度气候因子数据, 建立了太湖流域降水、气温统计降尺度 ASD 模型, 在此模型基础之上, 采用 A2 和 B2 情景下的 HadCM3 输出数据, 预测太湖流域未来降水、气温变化情况, 主要结论如下:

1) ASD 统计降尺度模型能够较好地抓住太湖流域降水和气温特征, 比较客观的模拟太湖流域的降水和气温变化过程, 其中气温模拟结果优于降水。

2) 降水模拟结果显示, A2 情景下, 未来 3 个时期太湖流域降水呈先增加后减少趋势, 2050s 时期达到峰值; B2 情景下, 未来 3 个时期太湖流域降水呈增加趋势。

3) 气温模拟结果显示, 两种气候情景下, 未来 3 个时期气温总体呈上升趋势, 其中 A2 情景比 B2 情景升温趋势显著。

4) 由于全球气候模式、气候排放情景及尺度降解技术均存在不确定性, 因此本文预测的降水、气温变化结果, 仅作为相关决策的参考。

参考文献 (References)

- [1] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007. Committee of "China's National Assessment Report on Climate Change". China's national assessment report on climate change. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)
- [2] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 近 30 年人类活动对东亚地区气候变化影响的检测与评估[J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 513-525. XU Ying, DING Yihui and ZHAO Zongci. Detection and evaluation of effect of human activities on climatic change in East Asia in recent 30 years. Journal of Applied Meteorological Science, 2002, 13(5): 513-525. (in Chinese)
- [3] 施小英, 徐祥德, 徐影. 中国 600 个站气温和 IPCC 模式产品气温的比较[J]. 气象, 2005, 31(7): 49-53. Shi Xiaoying, Xu Xiangde and Xu Ying. Comparison of temperature between six hundreds stations in china and output of IPCC models. Meteorological Monthly, 2005, 31(7): 49-53. (in Chinese)
- [4] BATE, B. C., KUNDZEWICZ, Z. W., WU, S. and PALUTIKOF, J. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Geneva: IPCC Secretariat, 2008, 210 p.
- [5] 范丽军, 符淙斌, 陈德亮. 统计降尺度法对未来区域气候变化情景预估的研究进展[J]. 地球科学进展, 2005,

- 20(3): 320-329.
FAN Lijun, FU Congbin and CHEN Deliang. Review on creating future climate change scenarios by statistical downscaling techniques. *Advance in Earth Science*, 2005, 20(3): 320-329. (in Chinese)
- [6] 赵芳芳, 徐宗学. 统计降尺度方法和 Delta 方法建立黄河源区气候情景的比较分析[J]. *气象学报*, 2007, 65(4): 653-662.
ZHAO Fangfang, XU Zongxue. Comparative analysis on downscaled climate scenarios for headwater catchment of Yellow River using SDS and DELTA methods. *Acta Meteorological Sinica*, 2007, 65(4): 653-662. (in Chinese)
- [7] 陈华, 郭靖, 郭生练, 陈桂亚, 张俊. 应用统计学降尺度方法预测汉江流域降水变化[J]. *人民长江*, 2008, 39(14): 51-55.
CHEN Hua, GUO Jing, GUO Shenglian, CHEN Guiya and ZHANG Jun. Application of statistical downscaling method in precipitation prediction in the Hanjiang river basin. *Yangtze River*, 2008, 39(14): 51-55. (in Chinese)
- [8] 郭家力, 郭生练, 郭靖, 陈华. 鄱阳湖流域未来降水变化预测分析[J]. *长江科学院院*, 2010, 27(8): 20-24.
GUO Jiali, GUO Shenglian, GUO Jing and CHEN Hua. Prediction of precipitation change in poyang lake basin. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2010, 27(8): 20-24. (in Chinese)
- [9] CHU, J.T., XIA, J., XU, C.-Y. and SINGH, V.P. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 99(1-2): 149-161.
- [10] GUO, J., CHEN, H., XU, C.-Y., GUO, S.L. and GUO, J.L. Prediction of variability of precipitation in the Yangtze River Basin under the climate change conditions based on automated statistical downscaling. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2012, 26(2): 157-176.
- [11] HESSAMI, M., GACHON, P., OUARDA, T.B.M.J. and STHILAIRE, A. Automated regression-based statistical downscaling tool. *Environmental Modeling and Software*, 2008, 23(6): 813-834.