

用随机漫步拟合 1901 年至 1998 年 44 个贝塔世界城市的气温变化*

Fitting Temperature Change in 44 Beta World Cities from 1901 to 1998 Using Random Walk*

严少敏¹, 吴光^{1,2**}

YAN Shao-min¹, WU Guang^{1,2**}

(1. 广西科学院非粮生物质酶解国家重点实验室、国家非粮生物质能源工程技术研究中心、广西生物炼制重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 深圳市追梦科技咨询有限公司, 广东深圳 518054)

(1. State Key Laboratory of Non-food Biomass Enzyme Technology, National Engineering Research Center for Non-food Biorefinery, Guangxi Key Laboratory of Biorefinery, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. DreamSciTech Consulting, Shenzhen, Guangdong, 518054, China)

摘要: 为了进一步证实随机漫步模型能够拟合气温的变化, 获得坚实的科学结论, 继续利用随机漫步模型拟合 44 个贝塔级世界城市 1901 年至 1998 年的气温漫步和记录气温, 得到了很好的拟合效果。拟合结果与我们以前的研究结果相一致。随机漫步模型可以用于描述城市的气温变化。

关键词: 贝塔世界城市 气温变化 随机漫步 模型

中图法分类号: P467 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2013)02-0115-06

Abstract: The random walk model was further used to fit the temperatures of 44 beta world cities from 1901 to 1998, in order to verify that this model can fit temperature change. The results showed that this model can fit both temperature walk and recorded temperature of these cities, which are consistent with our previous results, indicating that the random walk model can be used to describe the temperature change in cities.

Key words: beta world cities, temperature change, random walk, modeling

气候的变化正给生活在地球上的生物带来深刻的影响, 很多学者在此方面进行了深入的研究, 例如冰盖变化^[1]、自然灾害的发生^[2]、环境污染^[3]、物种遗传多样性的改变^[4]、粮食生产的可持续性^[5]、畜牧养殖业的未来^[6]、传染病的暴发^[7]等等。因此气候变化已成为全世界关注的焦点, 有关气候变化的研究也一直是科学研究的热点。

在研究全球气温变化对甲型流感病毒蛋白质进化潜在影响的过程中^[8~13], 我们注意到全球气温的

波动变化不宜用微分方程来解释, 因为微分方程的输出一般是平滑曲线。受此启发, 我们尝试采用随机漫步模型, 拟合了 1850 年至 2009 年全球的气温变化, 得到很好的拟合效果^[14]。之后又发现 Golden 在 1991 年也曾注意到全球气温和随机漫步所产生的曲线之间的相似性^[15]。这进一步激励我们沿着这条思路进行更多的研究。

目前, 用随机漫步拟合气温变化有两个问题需要考虑: (1) 随机漫步模型是否只适用于气温距平; (2) 随机漫步模型是否只适用于全球的气温。显然, 只有通过不断拟合世界各地不同地点的气温才能回答这两个问题。为此我们已经用随机漫步模型分析了 46 个伽玛级别的世界城市气温变化, 并得到肯定性结果^[16]。然而, 要获得坚实的科学结论还必须进行大量的工作, 所以本文继续采用随机漫步模型, 拟合 44

收稿日期: 2013-03-07

作者简介: 严少敏 (1958-), 女, 博士, 研究员, 主要从事计算变异学和模型研究。

* 广西科学基金项目 (12237022、13-051-08、13-051-50 和 2013GXNSFDA019007) 和八桂学者建设工程专项经费资助。

** 通讯作者, E-mail: hongguanglishibahao@yahoo.com.

个贝塔级世界城市 1901 年至 1998 年的气温变化。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

世界城市根据经济、政治、文化、基础设施等特点,分为阿尔法、贝塔、伽马级别^[17]。贝塔级城市代表世界经济的中等经济区域,2010 年 2 月全球 44 个城市被列为贝塔世界城市。我们从橡树岭国家实验室的网站获得这 44 个城市 1901 年至 1998 年的气温记录数据,该数据是基于全球范围的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 经纬度的网格产生的^[18]。城市的经纬度通过 Get Lat Lon 网站获得^[19]。

1.2 研究方法

用随机漫步模型拟合 44 个贝塔级世界城市 1901 年至 1998 年的气温变化,主要步骤如下:(1)气温漫步。由于气温是随着时间过程记录的,而我们使用的模型是一维随机漫步,即从零开始,每一步移动 ± 1 的概率相等^[20]。这种最简单的随机漫步可被视为抛掷一枚均匀硬币的连续结果,当头面朝上记录为 1,当头面朝下记录为 -1 ,然后沿着时间的推移将结果叠加。为此我们先将气温转换为气温漫步,如表 1 所示。当某个时间点记录的气温比其前一个时间点高,就归类为 1,反之则归类为 -1 (表 1 第 3 列),然后将它们叠加如同随机漫步(表 1 第 4 列)。(2)生成随机漫步。利用 SigmaPlot 生成不同种子的随机序列^[21],从技术上讲,随机漫步的生成很简单:先产生介于 -1 到 1 的随机数,如果生成的随机数比其前一个随机数大就归类为 1,反之归类为 -1 (表 1 第 6 列),然后相加成为随机漫步(表 1 第 7 列)。(3)寻找种子。生成一个非常接近于气温漫步的随机漫步需要合适的种子,这相当于寻找随机漫步模型的模型参数,即收敛观测数据和随机漫步产生的数据之间的差异。据我们所知,还没有现成算法用于寻找适当的种子,因此,根据各种算法寻找最佳拟合的传统过程就成为寻找一切可能种子的方法。我们按照此方法找到能生产与气温漫步有最小平方差的随机漫步的种子。(4)扩展随机漫步。由于随机漫步来源于抛掷双面硬币,我们将这个概念扩展为掷骰子,但这骰子不是只有 6 个面,而是根据需要确定。因此,可以利用这个多面骰子来拟合记录气温。先用程序产生一个随机数序列,然后将它们叠加形成随机气温,最后与记录气温进行比较。(5)比较。选取 0 到 10 之间的随机数作为种子,以 0.00001 为间隔对每个城市的气温漫步和记录气温进行拟合,即每种拟合进行 10^6 次,并采用最小二乘法评估气温漫步和随机漫步、记

录气温和随机气温之间的拟合结果。

表 1 1901 年至 1998 年巴塞罗那的气温转换为气温漫步并生成气温的随机漫步

Table 1 Conversion of recorded temperature into temperature walk and generation of random walk for temperature in Barcelona from 1901 to 1998

年份 Year	记录气温 Recorded temperature	气温步伐 Temperature step	气温漫步 Temperature walk	产生的随机数* Generated random number	随机数步伐 Random number step	随机漫步 Random walk
1901	13.475		0	-0.971		0
1902	13.975	1	1	-0.926	1	1
1903	14.208	1	2	-0.189	1	2
1904	14.550	1	3	-0.963	-1	1
1905	13.700	-1	2	-0.101	1	2
1906	13.767	1	3	0.536	1	3
1907	13.817	1	4	-0.989	-1	2
1908	14.117	1	5	-0.596	1	3
1909	13.567	-1	4	-0.253	1	4
1910	13.842	1	5	0.643	1	5
...
1991	15.825	-1	10	0.809	1	10
1992	15.583	-1	9	-0.330	-1	9
1993	15.558	-1	8	0.795	1	10
1994	16.725	1	9	-0.168	-1	9
1995	16.583	-1	8	0.722	1	10
1996	15.992	-1	7	-0.025	-1	9
1997	16.975	1	8	0.672	1	10
1998	16.325	-1	7	0.606	-1	9

* 随机数是 SigmaPlot 程序用 7.15131 为种子生成的。

The random number is generated by SigmaPlot with the seed of 7.15131.

2 基于随机漫步模型的气温变化拟合结果

2.1 气温漫步拟合结果

以 7 个贝塔级城市为例,用随机漫步模型拟合气温漫步的结果。由于每个气温漫步都是与其前一年的气温相比较,升高为 1 而降低为 -1 ,因此气温漫步可以代表气温变化的趋势(黑线)。从图 1 可以看出,气温漫步的变化呈现多样性,如洛杉矶(Los Angeles)、里约热内卢(Rio de Janeiro)表现为持续上升,巴塞罗那(Barcelona)、广州(Guangzhou)为震荡上升,而开罗(Cairo)、墨尔本(Melbourne)呈震荡下降,约翰内斯堡(Johannesburg)则表现为先升后降。值得注意的是灰色的随机漫步曲线穿行于黑色的气温漫步曲线,表明随机漫步模型可以拟合气温漫步。尽管这 44 个城市气温漫步的走势多种多样,但随机漫步模型均给出了良好的拟合结果,所用的种子和比较结果列于表 2 中的第 3、4 列。

表 2 用随机漫步模型拟合 44 个贝塔世界城市 1901 年至 1998 年气温变化的结果

Table 2 Results for fitting temperature change in 44 beta world cities of Asia from 1901 to 1998 using random walk model

贝塔世界城市 Beta World Cities	拟合气温漫步 Fitting of temperature walk		拟合记录气温 Fitting of real temperature	
	种子 Seed	平方和 Sum of Squares	种子 Seed	平方和 Sum of Squares
墨尔本 Melbourne	1.05160	138	0.30642	20.59122
巴塞罗那 Barcelona	7.15131	140	2.18899	34.22988
洛杉矶 Los Angeles	1.25087	148	0.10829	44.63769
约翰内斯堡 Johannesburg	4.24198	153	1.17852	20.51017
马尼拉 Manila	0.78109	118	0.29091	11.27945
波哥大 Bogota	2.13756	164	4.88200	16.30542
新德里 New Delhi	0.57113	120	0.19284	28.29181
亚特兰大 Atlanta	0.56738	152	4.38130	49.04654
华盛顿特区 Washington D. C.	9.67998	144	0.32423	50.18224
特拉维夫 Tel Aviv	2.69142	160	1.75198	36.90105
布加勒斯特 Bucharest	2.77533	128	2.35377	56.90507
旧金山 San Francisco	0.70479	112	2.01831	30.64189
赫尔辛基 Helsinki	3.56841	112	0.40301	143.69975
柏林 Berlin	2.50122	116	2.48303	65.95118
迪拜 Dubai	2.01867	140	0.48578	20.77641
奥斯陆 Oslo	1.13712	144	0.53868	91.77823
日内瓦 Geneva	2.1714	140	0.85450	33.35956
利雅得 Riyadh	1.39207	124	1.55582	46.20014
哥本哈根 Copenhagen	3.47979	116	2.72178	80.68584
汉堡 Hamburg	0.01394	108	2.72178	63.87414
开罗 Cairo	1.42543	136	0.41410	31.51978
班加罗尔 Bangalore	4.74512	168	2.48052	8.40130
吉达 Jeddah	0.21468	132	2.13907	28.58669
科威特 Kuwait	5.42852	136	1.55582	30.02430

续表 2

Continue table 2

贝塔世界城市 Beta World Cities	拟合气温漫步 Fitting of temperature walk		拟合记录气温 Fitting of real temperature	
	种子 Seed	平方和 Sum of Squares	种子 Seed	平方和 Sum of Squares
卢森堡 Luxembourg	2.05819	116	3.18016	51.04456
慕尼黑 Munich	0.68749	108	2.68343	55.19392
基辅 Kiev	2.59783	108	1.88721	98.51313
达拉斯 Dallas	0.90554	132	1.03233	65.83333
利马 Lima	0.48056	172	0.88146	87.19549
波士顿 Boston	3.44285	112	3.33953	48.54909
迈阿密 Miami	6.01094	128	0.75372	23.61362
索菲亚 Sofia	1.55489	126	1.43115	37.99569
杜塞尔多夫 Düsseldorf	0.56913	116	2.48474	46.90516
休斯顿 Houston	2.31509	122	0.32423	38.21940
贝鲁特 Beirut	1.12089	132	2.01257	26.25788
广州 Guangzhou	0.11843	171	5.95931	15.39790
尼科西亚 Nicosia	1.9281	115	0.93386	31.49248
卡拉奇 Karachi	0.02733	152	0.88146	16.28399
蒙得维的亚 Montevideo	1.44443	152	1.19254	29.70280
里约热内卢 Rio de Janeiro	2.86924	116	0.96278	26.15529
内罗毕 Nairobi	0.72019	148	0.99104	15.54811
布拉迪斯拉发 Bratislava	0.48891	108	2.48303	54.44060
蒙特利尔 Montreal	2.54442	136	2.28057	85.30570
胡志明市 Ho Chi Minh City	4.13255	108	3.10271	13.05599

2.2 记录气温拟合结果

从图 2 可以看出,不同城市的气温随着时间的变化呈现多样性震荡变化(黑线),其回归线代表了气温变化的趋势(虚线)。而就上世纪近百年的气温变化而言,巴塞罗那、约翰内斯堡、洛杉矶、里约热内卢呈现上升趋势,广州、墨尔本无明显变化,开罗呈下降趋势,而图 2 中的灰线完美地体现了这些变化。说明,随机漫步模型确实很好地拟合了 44 个城市记录气温的震荡变化(灰线),拟合所用的种子见表 2 第 5 列。第 6 列是记录气温和随机气温之间的比较结果。

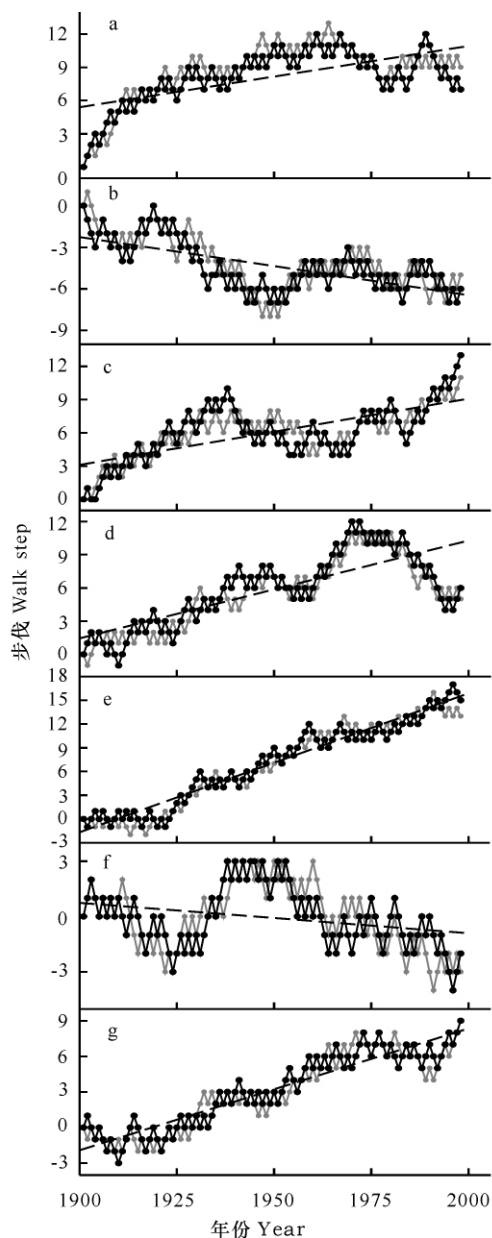


图 1 1901 年至 1998 年 7 个贝塔世界城市的气温漫步和随机漫步的比较。

Fig. 1 Comparison of temperature walk with random walk in 7 beta world cities from 1901 to 1998.

a. 巴塞罗那, b. 开罗, c. 广州, d. 约翰内斯堡, e. 洛杉矶, f. 墨尔本, g. 里约热内卢.

a. Barcelona, b. Cairo, c. Guangzhou, d. Johannesburg, e. Los Angeles, f. Melbourne, g. Rio de Janeiro.

—○—: 随机漫步, —●—: 气温漫步, ---: 回归
 —○—: Random walk, —●—: Temperature walk, ---: Regression

3 讨论

本研究采用随机漫步模型拟合 44 个贝塔世界城市的气温漫步和记录气温, 得到了很好的拟合效果, 所得结果与我们以前的工作相一致, 进一步证明随机漫步模型不仅适于描述全球的气温变化^[14], 也可用

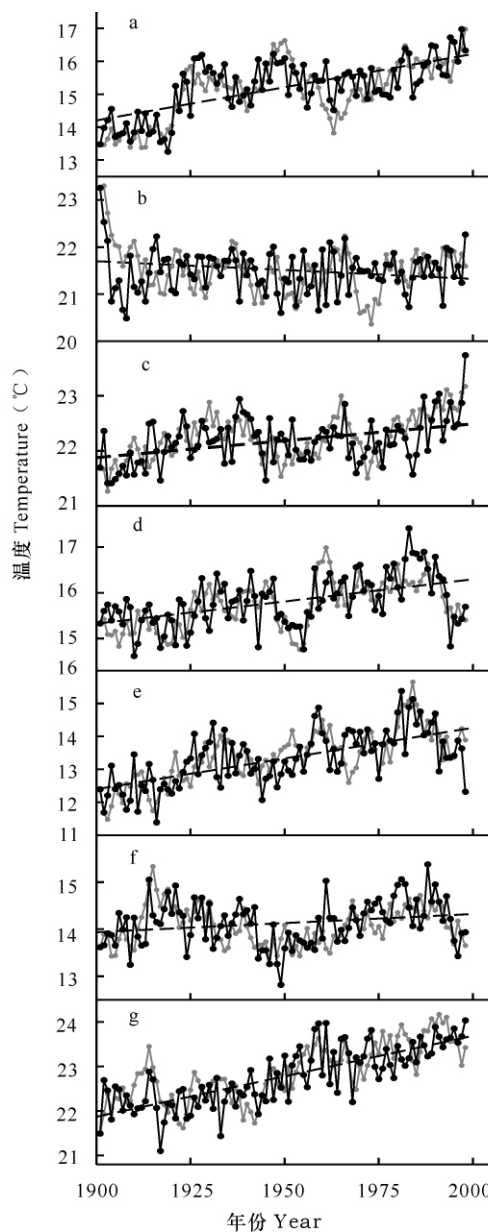


图 2 1901 年至 1998 年 7 个贝塔世界城市的记录气温和随机气温的比较。

Fig. 2 Comparison of recorded temperature with random temperature in 7 beta world cities from 1901 to 1998.

a. 巴塞罗那, b. 开罗, c. 广州, d. 约翰内斯堡, e. 洛杉矶, f. 墨尔本, g. 里约热内卢.

a. Barcelona, b. Cairo, c. Guangzhou, d. Johannesburg, e. Los Angeles, f. Melbourne, g. Rio de Janeiro.

—○—: 随机气温, —●—: 记录气温, ---: 回归
 —○—: Random temperature, —●—: Recorded temperature, ---: Regression

于描述城市的气温变化^[16]。由于人类无法创造另一个没有人为作用的地球作为对照, 来找出影响气温变化的真正原因, 因此研究气温变化的原因主要是通过数学模型来确定, 即在数学模型中不断加入各种因素, 直至模拟结果达到与实际观测气温的最佳拟合。不同的模型从不同的角度认识自然, 但模型本身也存

在局限性^[22],需要不断开发新模型,完善人类对自然的认识。

随机漫步模型对全球及不同城市气温变化的良好拟合,为气温建模提供了一种替代办法。从技术上讲,该模型非常简单,只有两个模型参数(初始点和种子),与具有复杂参数的其它气候模型相比,显著降低了模型的不确定性^[23],而且不需要考虑各种人为因素(如二氧化碳的排放)和非人为因素(如太阳)的影响。在一些已有气温建模中,随机因素被视为次要影响因素^[24];而随机漫步模型的不同点是该模型以随机机制为核心。如果由计算机程序产生的随机漫步与气温漫步接近、随机气温与记录气温接近,则可以认为随机机制能够解释气温的变化趋势。从理论上讲,该模型有深刻的物理背景和复杂的数学背景。气温记录的“物理原因”是天气,天气是具有高度复杂边界条件的大气纳维叶-斯托克斯方程(Navier-Stokes Equations)的一个高度多维吸引子,是一个具有至少两个周期(日和年)的强制非自治系统,每年的测量是对每日彭加勒影射(Poincare Map)的平均。鉴于我们所知道的天气,整个吸引子是非常混沌的,其每年的彭加勒影射可能具有分维的性质,这些影射的不变测度就像一个分维筛,每个位置是双曲线点。而这种影射的每年反复就像掷硬币^[25]。这与随机漫步模型的原理是一致的,而且我们以前得到的全球气温漫步结果已引起了世人的广泛关注,捷克共和国总统瓦茨拉夫·克劳斯(Václav Klaus)曾在2010“全球变暖政策研究基金会”年会上高度评价了我们的模型研究^[26]。

遗憾的是橡树岭国家实验室基于 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 经纬度的全球范围的气温只有1901年至1998年的数据,我们期待新数据的出台,得以研究近期的气温变化。另外,我们无法得到其它气候模型所使用的拟合数据,因此,还不能与其它模型进行比较,尚不能进行各种测试以确定最好的拟合,仍需大量的努力来提高人类对自然本质的认识。

参考文献:

- [1] Joughin I, Alley RB, Holland DM. Ice-sheet response to oceanic forcing[J]. *Science*, 2012, 338: 1172-1176.
- [2] Sauerborn R, Ebi K. Climate change and natural disasters - integrating science and practice to protect health [J]. *Global Health Action*, 2012, 5: 1-7.
- [3] Kumar P, Imam B. Footprints of air pollution and changing environment on the sustainability of built infrastructure[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 444C: 85-101.

- [4] Pauls S U, Nowak C, Bálint M, et al. The impact of global climate change on genetic diversity within populations and species[J]. *Molecular Ecology*, 2013, 22: 925-946.
- [5] Smith P, Gregory P J. Climate change and sustainable food production[J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2013, 72: 21-28.
- [6] Gauly M, Bollwein H, Breves G, et al. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe—a review[J]. *Animal*, 2012, 20: 1-17.
- [7] Sinkala Y, Pfeiffer D, Kasanga C, et al. Foot-and-mouth disease control in Zambia: A review of the current situation[J]. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 2012, 79: E1.
- [8] Yan S, Wu G. What these trends suggest [J]. *American Journal of Applied Sciences*, 2009, 6: 1116-1121.
- [9] Yan SM, Wu G. Trends in global warming and evolution of polymerase basic protein 2 family from influenza A virus [J]. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 2009, 2: 458-464.
- [10] Yan SM, Wu G. Trends in global warming and evolution of matrix protein 2 family from influenza A virus [J]. *Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences*, 2009, 1: 272-279.
- [11] Yan SM, Zuo WP, Zhu QX, et al. Trends in global warming and evolution of neuraminidases from influenza A viruses since 1918 [J]. *Guangxi Sciences*, 2010, 17: 80-84.
- [12] Yan S, Wu G. Trends in global warming and evolution of nucleoproteins from influenza A viruses since 1918 [J]. *Transboundary and Emerging Diseases*, 2010, 57: 404-413.
- [13] Yan S, Wu G. Evidence for possible impact of global warming on evolution of hemagglutinins from influenza A virus [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2011, 24: 62-67.
- [14] Yan S, Wu G. Modeling of global temperature change from 1850 to 2009 using random walk[J]. *Guangxi Sciences*, 2010, 17: 148-150.
- [15] Gordon A H. Global warming as a manifestation of a random walk[J]. *Journal of Climate*, 1991, 4: 589-597.
- [16] Yan S, Wu G. Application of random walk model to fit temperature in 46 gamma world cities from 1901 to 1998[J]. *Natural Science*, 2010, 2: 1425-1431.
- [17] Wikimedia Foundation, Inc. Wikipedia, the free encyclopedia [EB/OL]. 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Global_city.
- [18] New M, Hulme M, Jones P. Representing twentieth-

century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate[J]. Journal of Climate, 2000, 13: 2217-2238.

- [19] Willison S. Get Lat Lon[EB/OL]. 2012. <http://www.getlatlon.com/>.
- [20] Wikimedia Foundation, Inc. Wikipedia, the free encyclopedia[EB/OL]. 2012. http://en.wikipedia.org/wiki/Random_walk.
- [21] SPSS Inc. SigmaPlot for Windows Version 8.02 [CP]. 2002.
- [22] NIPCC reports. Climate models and their limitations [EB/OL]. 2011. <http://www.nipccreport.org/reports/2011/pdf/01ClimateModels.pdf>.
- [23] Cawley G C, Janacek G J, Haylock M R, et al. Predictive uncertainty in environmental modelling[J]. Neural Networks, 2007, 20: 537-549.
- [24] Williams P D. Modelling climate change: the role of unresolved processes [J]. Philosophical Transactions of

the Royal Society A, 2005, 363: 2931-2946.

- [25] Tekhasski A. AMAZON Science forum: Random walk model suggests that the global warming could be mainly attributed to random mechanism[EB/OL]. 2010. http://www.amazon.com/tag/science/forum/ref=cm_cd__pg__pg7?__encoding=UTF8&cdForum=FxZ58KVEERY5E&cdPage=7&cdSort=oldest&cdThread=Tx3TXP04WUSD4R1&displayType=tagsDetail.
- [26] Václav Klaus. The climate change doctrine is part of environmentalism, not of science [EB/OL]. 2010. <http://www.hrad.cz/en/president-of-the-cr/current-president-of-the-cr-vaclav-klaus/selected-speeches-and-interviews/178.shtml>.

(责任编辑: 尹 闯)

(上接第 114 页 Continue from page 114)

响因素是多种多样的,可能是全球的气候变化,也可能是研究区域的下垫面的改变,如某项工程项目的建设、植被覆盖程度的变化等。可见,人类活动也是降水量略微增加的影响因素之一。由于数据资料和分析方法有限,对于桂林市降水结构、各种强度降水、降水极值的变化发生的原因问题还有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 施能,黄先香,杨扬. 1948~2000 年全球陆地年降水量场趋势变化的时空特征[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 971-982.
- [2] 严中伟,杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 267-272.
- [3] Han H, Gong D Y. Extreme climate events over northern China during the last 50 years[J]. Journal of Geographical Sciences, 2003, 13(4): 469-479.
- [4] 翟盘茂,邹旭恺. 1951~2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 16-18.

- [5] 杨宏青,陈正洪,石燕,等. 长江流域近 40 年强降水的变化趋势[J]. 气象, 2005, 31(3): 66-68.
- [6] 中国天气网. 桂林城市介绍[EB/OL]. <http://www.weather.com.cn/html/cityintro/101300501.shtml>.
- [7] 广西百科信息网. 广西降雨分布情况[EB/OL]. <http://gxi.zwbk.org/infoshow.aspx?inid=1946>, 2011-11-29.
- [8] 赵华荣,夏北成,江学顶. 桂林市近 50 年降雨变化特征分析[J]. 桂林理工大学学报, 2011, 31(2): 202-206.
- [9] 任国玉. 气候变化与中国水资源[M]. 北京, 气象出版社, 2007.
- [10] 郑梦琪,赵华荣,郭纯青. 1957~2007 年桂林气象站降雨资料变化分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(27): 16828, 16912.
- [11] 张小明,杨金虎,高伟东,等. 甘肃省近 50a 夏季极端强降水量的气候特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(2): 48-52.
- [12] 中国国家标准化管理委员会. GB/T20481-2006 气象干旱等级[S]. 中华人民共和国国家标准, 2006.

(责任编辑: 尹 闯)