

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2011.01.006

长江流域 1951—2000 年蒸发皿蒸发量变化趋势

宋萌勃¹, 陈吉琴¹, 张晓健², 张文杰²

(1. 长江工程职业技术学院, 湖北 武汉 430212; 2. 中南电力设计院, 湖北 武汉 430071)

摘要 :以长江流域内 115 个气象站 1951—2000 年逐日气象观测数据为基础,采用线性倾向估计、滑动平均和相关分析等方法对长江流域近 50 年来蒸发皿蒸发量及其主要影响因子进行了相关性及趋势性分析。结果表明,近 50 年来,长江流域 4 个子区域年平均蒸发皿蒸发量呈下降趋势,其中中游下降趋势明显,其他 3 区域呈微弱下降趋势。蒸发皿蒸发量下降的主要原因可能是平均水汽压的增加和日照时间的减少。

关键词 :蒸发皿蒸发量;趋势分析;气象因子;长江流域

中图分类号 :S161.4⁺2 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2011)01-0024-04

Pan evaporation trend in Yangtze River Basin from 1951 to 2000

SONG Meng-Bo¹, CHEN Ji-qin¹, ZHANG Xiao-Jian², ZHANG Wen-Jie²

(1. Changjiang Engineering Vocational College, Wuhan 430212, China; 2. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract :Based on daily meteorological data of 115 observation stations from 1951 to 2000 within the Yangtze River Basin, the correlation and trend of pan evaporation and its relation with meteorological factors in the past fifty years were analyzed by using linear trend estimate, moving average and correlation analysis method. The results demonstrated that the annual average pan evaporation presented a decrease trend in the past fifty years in the four reaches of Yangtze River Basin. The decrease tendency in the middle reach was more obvious and was weak in the other three reaches. The pan evaporation decrease was primarily resulted from increase of average vapour pressure and reduction of sunshine time.

Key words :pan evaporation; trend analysis; meteorological factors; Yangtze River Basin

20 世纪是全球近千年来增暖幅度最显著的时期。政府间气候变化专业委员会(IPCC)第三次评估报告指出,21 世纪全球气候将继续变暖^[1]。随着全球气温升高,水循环加快,将改变全球水资源时空分布,进而影响到生态环境和社会经济的发展^[2]。蒸(散)发作为潜热通量是决定天气与气候的重要因子,是水循环中最直接受土地利用和气候变化影响的一项,全球性蒸(散)发对大气环流和降水均有重要影响^[3]。进行蒸(散)发变化的研究,对深入了解气候变化的规律和探讨气候变化的原因具有十分重要的意义。实际蒸(散)发的测定非常困难,蒸发皿蒸发量虽不能直接代表水面蒸发,但与水面蒸发之间存在很好的相关关系,是水文、气象台站常规观测项目之一,具有观测资料累积序列长、可比性好等优势^[4],长期以来,一直是水资源评价、水利工程设计、

水文研究和气候区划等方面的重要参考指标^[5]。

长江流域是我国社会经济高度发达的地区之一。近些年长江流域洪水频仍发生,除湖泊围垦等人类活动因素外,全球变暖所引发的长江流域气候、水文特征的变化是主要原因^[6]。长江流域的气候变化有着很多研究^[7-8],但是由于它特殊的地理位置,这些研究一直在继续。

笔者以 115 个气象站点的逐日 20 cm 蒸发皿蒸发量资料 and 其余 13 项气象观测资料为基础,统计分析了 1951—2000 年来长江流域蒸发皿蒸发量的变化趋势,并通过与气象因子的相关性分析,探讨影响长江流域各个子区域蒸发能力变化的主要可能因素。

1 资料收集及区域划分

笔者所使用的数据来于中国气象局下属的 115

个基本气象观测站 1951—2000 年的观测资料,从南到北,由西向东,控制整个长江流域的情况。选用的 14 个气象要素分别为:日平均气温、日降水量、日最高气温、日最低气温、日平均地温、日平均相对湿度、日云量、日平均风速、日照时数、日平均气压、日平均水汽压、日总辐射、日净辐射和实测小型蒸发皿蒸发量。

根据常规分析,参考自然和社会两方面的因素,将整个长江流域分为上、中、下游三部分,但由于上游所占区域大,各个站点海拔相差也较大,考虑到高原地区和盆地地区各种气象要素变化的不一致性,所以上游又分为两部分,即上游青藏高原部分和上游的四川盆地部分(图 1)。所分长江流域 4 个子区域为上高(22 个站),上盆(22 个站),中游(58 个站)和下游(13 个站)。

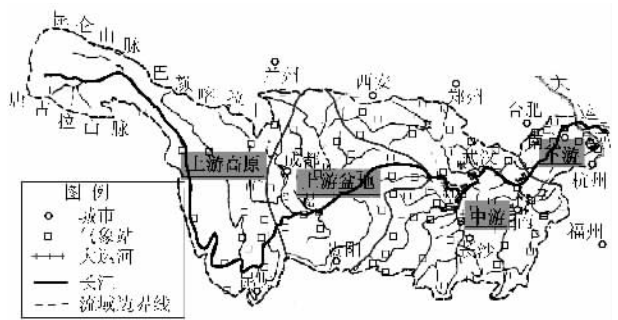
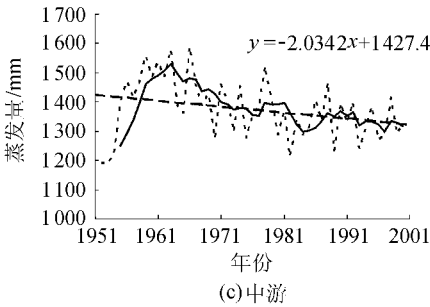
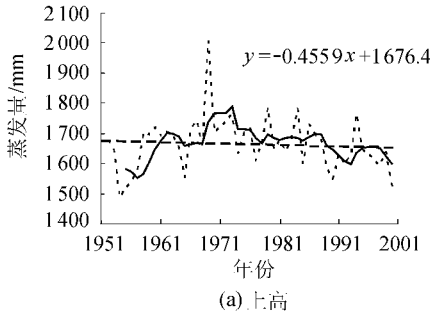


图 1 长江流域及 115 个站点分布

2 研究方法

本研究主要借助线性倾向估计、5 年滑动平均、累积距平等方法对蒸发皿蒸发量变化趋势进行判别,同时利用相关分析确定影响蒸发量的主要要素;



最后采用 t 检验来检验气候倾向率和相关系数的显著性,取 $0.05(t_{0.05})$ 和 $0.01(t_{0.01})$ 两个显著性水平,若检验的临界值 $t_c \leq t_{0.05}$,则关系不显著,若检验的临界值 $t_{0.01} \geq t_c > t_{0.05}$,则关系显著,若检验的临界值 $t_c > t_{0.01}$,则关系特别显著。

2.1 线性倾向估计

线性倾向估计,就是计算各个气候要素的气候倾向率。气候倾向率的算法^[9]为:设气象要素(如降水、气温、蒸发、相对湿度等)序列资料为一个时间序列,可表示为 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$,它可以用 1 个 m 次多项式来表示:

$$x(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_mt^m \quad (m < n)$$

式中 $x(t)$ 为时间 t 的函数, $a_0, a_1, \dots, a_m$ 为待求系数。

用一次直线方程来定量描述某一要素的气候趋势:

$$x(t) = t_0 + a_1t$$

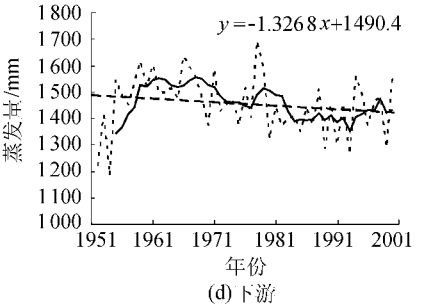
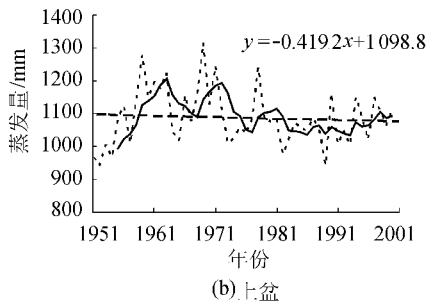
$a_1 > 0$ 表示气象要素随时间 t 增加, $a_1 < 0$ 表示气象要素随时间 t 减少。将 a_1 乘以 10 称作气候倾向率,表示气象要素每 10 年的变化量。

2.2 5 年滑动平均

此方法是将实测系列每连续 5 年计算平均值,逐年向后推移,最后可得到 1 个新的平滑系列。通过平均,消除了部分起伏部分,能较好地反映实测系列的变化趋势。

3 蒸发皿蒸发量的年际变化趋势分析

图 2 是近 50 年来长江流域各子区域蒸发皿蒸发



注:图中短虚线是实测变化过程,实线是 5 年滑动平均,长虚线是线性回归趋势线,下图同

图 2 长江流域各子区域蒸发皿蒸发量年际变化趋势

量年际变化趋势图。从图中可以看出 4 个子区域的变化趋势基本相同 4 区都呈现下降趋势,有的明显,有的不明显。上高区近 50 年来蒸发皿蒸发量处于微弱的下降趋势,10 年下降幅度为 4.559 mm 20 世纪 50 年代蒸发皿蒸发量较小,60—70 年代增大,随后又较小,22 个站中 8 个显著降低,4 个显著增加(表 1)。上盆区变化趋势与上高变化幅度略同,总体上近 50 年也处于不明显的下降趋势,降幅为 4.192 mm,其中 20 世纪 50—70 年代蒸发皿蒸发量比较大,80 年代后陡然下降,90 年代略微有上升,22 个站中 9 个站点变化显著降低,1 个显著增加,其余 12 个变化不显著。中游的蒸发皿蒸发量 20 世纪 50—60 年代较大,70 年代初陡降,70—90 年代一直处于缓慢下降状态,整体上表现为明显的下降趋势,10 年来平均每年下降 2.034 mm,达到了 0.05 的显著性检验,58 个站点中,显著降低的有 27 个站,其余 31 个变化不明显。下游区 20 世纪 50—80 年代较大,80 年代后陡然下降,随后一直处于微弱的下降趋势,总体上基本上没有变化。

表 1 4 区蒸发皿蒸发量变化

区域(观测站)	显著增加	变化不明显	显著降低
上高(22)	4	10	8
上盆(22)	1	12	9
中游(58)	0	31	27
下游(13)	6	6	1

图 3 是整个长江流域 115 个站平均的蒸发皿蒸发量的变化趋势图,从中可以看出,整个长江流域的蒸发皿蒸发量在过去的 50 年中,呈现微弱下降趋势,平均每 10 年下降 2.62 mm。20 世纪 50 年代初蒸发皿蒸发量较小,但 60—70 年代蒸发皿蒸发量较

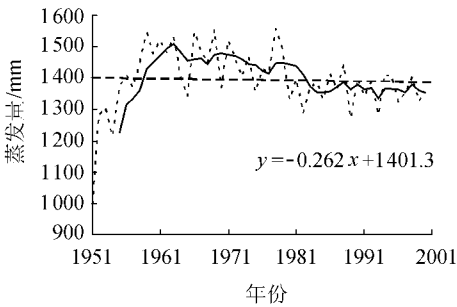


图 3 近 50 a 长江流域蒸发皿蒸发量年际变化趋势

大,80 年代陡降,之后,蒸发量处于缓慢下降状态。从蒸发皿蒸发量的累积距平曲线(图 4)可以看出我国长江流域蒸发皿蒸发量在 1951—2000 年有两个转折点:1957 年和 1979 年。1951—1957 年间蒸发量比 50 年平均水平低,1957—1979 年间蒸发比 50 年平均水平高,而后再低于平均水平,80 年代后表现很明显。

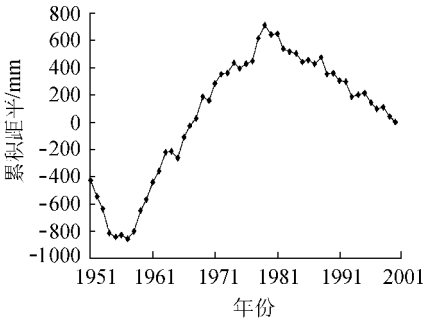


图 4 近 50 a 长江流域蒸发皿蒸发累积距平

4 变化趋势原因分析

4.1 各气象要素的变化趋势

蒸发皿蒸发量是反映蒸发能力的指标,主要受气压、气温、湿度、风力、辐射等气象因素的综合影响^[10]。现以 1951—2000 年 50 年的实测系列为例,具体分析各区气象要素的平均变化趋势及趋势的明显性。计算气候倾向率如表 2^[11]。

从表 2 中可以看出近 50 年各气象要素的变化趋势为:①蒸发量在 4 区都表现为下降趋势,其中中游下降趋势显著,气候倾向率为 -20.342 mm。②平均相对湿度、平均云量、日较差和日照时间在四区都表现为下降趋势,其中平均相对湿度在下游下降特别显著,平均云量在中游下降显著,日较差除下游下降不显著外,其余 3 区下降显著,而日照时间在除上高区外,其余 3 区下降特别显著。由此可以简单推测这些因子的下降有可能是引起蒸发下降的原因。③平均水汽压和最低气温在 4 区都表现为升高的趋势,且平均水汽压升高趋势明显,由此可以简单推测平均水汽压的升高可能是蒸发皿蒸发量减少的水分因子,最低气温的增加可能是蒸发量减少的热力因子。④其余几个因子可能受地形影响比较大,在 4 区的变化趋势不尽相同。

表 2 各区气象要素近 50 年的变化数据

区域	蒸发量 变化量/ mm	地温 变化量 /℃	降水量 变化量/ mm	平均风速 变化量/ (m·s ⁻¹)	平均气压 变化量/ hPa	平均水汽 压变化量/ hPa	平均温 度变化 量/℃	平均相对 湿度变化 率/%	平均云 量变化 量/成	日较差 变化 量/℃	日照时 间变化 量/h	最低气 温变化 量/℃	最高气 温变化 量/℃
上高	-4.559	0.238	3.616	0.005	-2.235	0.109	-0.042	-0.254	-0.257	-0.185	-4.797	0.003	-0.167
上盆	-4.192	-0.192	-26.593	-0.053	0.618	0.226	-0.005	-0.047	-0.360	-0.075	-40.323	0.007	-0.073
中游	-20.342	-0.068	3.110	-0.112	-1.359	0.274	0.037	-0.293	-0.540	-0.085	-55.090	0.006	-0.038
下游	-13.268	0.049	5.962	-0.150	0.148	0.264	0.147	-0.588	-0.977	-0.015	-68.436	0.119	0.104

注:表中各气象要素变化数值均为 10 年变化量,负值表示下降趋势。

表 3 各气象因子与蒸发皿蒸发量的相关系数及显著性

气象要素	区域及显著性							
	上高	显著性	上盆	显著性	中游	显著性	下游	显著性
地温变化量/℃	0.247	不显著	0.818	特别显著	0.814	特别显著	0.520	特别显著
降水量变化量/mm	-0.878	特别显著	-0.846	特别显著	-0.838	特别显著	-0.610	特别显著
平均风速变化量/(m·s ⁻¹)	-0.005	不显著	-0.311	显著	0.035	不显著	-0.448	特别显著
平均气压变化量/hPa	-0.903	特别显著	0.548	特别显著	-0.790	特别显著	0.420	特别显著
平均水汽压变化量/hPa	-0.391	特别显著	0.783	特别显著	0.756	特别显著	0.534	特别显著
平均温度变化量/℃	-0.425	特别显著	0.079	不显著	-0.609	特别显著	0.539	特别显著
平均相对湿度变化率/%	-0.089	不显著	-0.874	特别显著	-0.927	特别显著	-0.896	特别显著
平均云量变化量/成	-0.686	特别显著	-0.420	特别显著	-0.941	特别显著	-0.832	特别显著
日较差变化量/℃	-0.084	不显著	-0.731	特别显著	-0.041	不显著	0.510	特别显著
日照时间变化量/h	0.766	特别显著	0.615	特别显著	0.537	特别显著	0.520	特别显著
最低气温变化量/℃	-0.395	特别显著	0.303	显著	-0.901	特别显著	0.198	不显著
最高气温变化量/℃	-0.311	显著	-0.740	特别显著	-0.662	特别显著	0.388	特别显著

注:表中各气象要素变化量均为 10 年变化量。

4.2 蒸发皿蒸发量减少的主要影响因素

为了进一步研究分析蒸发皿蒸发量与各个气象要素之间的相关程度,利用 50 年长系列的实测资料,分别计算蒸发量与其他气象因子之间的相关关系,其计算公式为:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中:r 为 2 个变量的相关系数;x_i与 y_i为 2 个变量对应系列的平均值; $\bar{x}$ 与 $\bar{y}$ 为 2 个变量整个系列长度的平均值^[12]。计算结果如表 3 所示。

从表 3 中可以看出蒸发皿蒸发量和许多气象因子之间存在相关性,并且相关性的 大小也随地点而改变^[12],分析如下:

上高:蒸发皿蒸发量与日照时间存在着显著的正相关关系,但是变化趋势却不明显;蒸发皿蒸发量与降水、平均气压、平均水汽压、平均温度、平均云量、最低气温和最高气温存在着显著的负相关关系,在这些因素中只有平均水汽压有显著的升高趋势,所以此区平均水汽压的升高可能是导致蒸发降低的原因。

上盆:蒸发皿蒸发量与地温、平均气压、平均水汽压、日照时间和最低气温这些气象因素存在显著的正相关关系,其中地温和日照时间的降低趋势也通过了显著性检验,因此这两项因子可以认为是蒸发降低的可能原因;蒸发皿蒸发量与降水、平均风速、平均相对湿度、平均云量、日较差和最高气温间存在着显著的负相关关系,但是这些因素却都表现为下降趋势,所以不是导致蒸发降低的可能原因。

中游:蒸发皿蒸发量与地温、平均水汽压和日照时间存在着显著的正相关关系,其中只有日照时间表现为显著的下降趋势,所以此因素可能是蒸发下降的原因;蒸发皿蒸发量与降水、平均气压、平均温度、平均相对湿度、平均云量、最低气温和最高气温存在着显著的负相关关系,但在这些因子中没有显

著升高的因子所以可能不是导致蒸发降低的原因。
下游:引起下游蒸发减少的可能原因是日照时间的减少。

5 结 论

综上所述,通过对长江流域 1951—2000 年 20 cm 蒸发皿蒸发量及其影响因子的变化趋势分析和讨论,可以得到如下结论:

- a. 4 个子区域的蒸发皿蒸发量的变化趋势基本相同,都呈下降趋势。其中上高区和上盆区下降趋势十分微弱,10 年下降幅度分别为 4.56 mm 和 4.19 mm;中游为明显的下降趋势,10 年下降 20.342 mm,达到了 0.05 的显著性检验;下游为微弱的下降趋势,10 年下降幅度为 13.268 mm。
- b. 逐个对各个子区域的情况进行具体分析后发现,导致长江流域上高地区在过去 50 年蒸发皿蒸发量下降的最可能原因是平均水汽压的增加;导致长江流域上盆地区在过去 50 年蒸发皿蒸发量下降的最可能原因是地温的降低和日照时间的增加;导致长江流域中游和下游地区在过去 50 年蒸发皿蒸发量下降的最可能原因都是日照时间的减少。

参考文献:

[1] HOUGHTON J T, DING Y H, G RIGGS D G, et al. Climate change 2001: the science basis. contribution of working group 1 to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. UK: Cambridge Cambridge Press, 2001.
[2] 江涛, 陈永勤, 陈俊合, 等. 气候变化对我国水文水资源影响的研究[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2000(S2): 151-157.
[3] 孙岚, 吴国雄. 陆面蒸散对气候变化的影响[J]. 中国科学 D 辑, 2001, 31(1): 59-69.
[4] 曾燕, 邱新法, 刘昌明, 等. 1960—2000 年中国蒸发皿蒸发的气候变化特征[J]. 水科学进展, 2007, 18(3): 3-10.

(下转第 33 页)

减轻和防止地下水污染起到了显著的效果。

4 结论与建议

a. 根据垃圾场勘探试验、垃圾浸泡淋滤试验及地下水水流、溶质运移模型的预测成果,结合垃圾淋滤液的污染物在非饱和带中的运移规律,初步提出了南水北调工程受水区不同水文地质单元中非正规垃圾填埋场的控高水位,并优选出相应的控高水位,可为北京市科学调控南水北调工程受水区地下水位提供了技术支持。

b. 通过模型预测,在控高方案下,典型区地下水水质将得到很大的改善,地下水控高方案的实施对减轻和防止地下水污染起到了显著的效果。

c. 浸泡实验工作主要获得了淋溶浸泡作用下垃圾所产生的污染情况,考虑到地下水污染往往是多种因素共同作用的结果,应进一步开展模拟实验工作,查明地下水与垃圾之间水岩作用的生物、化学机理,掌握垃圾场对地下水污染的贡献程度,为垃圾污染预测及垃圾治理提供更可靠的实验数据和依据。

d. 今后应针对垃圾填埋污染羽的水平 and 垂向分布范围的确定、原位修复技术的精确选取及相关模型的运行参数等的精确确定做深入研究,建立垃

圾填埋场的污染组分对地下水影响的预测预警系统,为北京市地下水资源的精细化管理提供支撑。

参考文献:

[1]北京市地质调查研究院.北京市垃圾处置的地质生态环境评价报告[R].北京:北京地质调查研究院,2000.

[2]杨艳,王全九.层状土溶质运移特征及其参数分析[J].灌溉排水学报,2005,24(6):19-21.

[3]邵洪强,樊延恩,丁文萍等.生活垃圾填埋场对地下水的污染研究[J].水资源保护,2009,25(5):61-64.

[4]董维红,林学钰.浅层地下水氮污染的影响因素分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34(2):231-235.

[5]魏秀琴.河南省平原地区浅层地下水总硬度的分布及演化趋势[J].水资源保护,2009,25(4):37-39.

[6]董少刚,唐仲华,马腾,等.太原盆地地下水数值模拟[J].水资源保护,2009,25(2):25-27.

[7]董维红.浅层地下水中氮的分布规律及污染机理研究:以松嫩盆地松花江北部为例[D].长春:吉林大学,2001.

[8]李旭华,王心义.包气带中污染物迁移转化规律研究[J].西部探矿工程,2006,18(2):239-241.

[9]刘春平,邵明安.土壤溶质锋运移的解析解[J].水土保持学报,2001,15(4):82-86.

(收稿日期:2009-11-19 编辑:高渭文)

(上接第23页)

参考文献:

[1]戴薇,汪群,王华.太湖流域水资源承载力研究[J].水利经济,2005,23(6):11-15.

[2]李娟,纪昌明.水资源承载力理论探析与研究发展趋势[J].人民长江,2004,35(10):41-45.

[3]曹红军.浅评DPSIR模型[J].环境科学与技术,2005,28(1):110-111.

[4]陈洋波,陈俊合,李长兴,等.基于DPSIR模型的深圳市水资源承载力评价指标体系[J].水利学报,2004(7):98-103.

(上接第27页)

[5]邱新法,刘昌明,曾燕.黄河流域近40年蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J].自然资源学报,2003,18(4):54-59.

[6]王艳君,姜彤,许崇育.长江流域蒸发皿蒸发量及影响因素变化趋势[J].自然资源学报,2005,20(6):70-76.

[7]ZHANG Qiang, JIANG Tong, GENMMER M, et al. Precipitation temperature and runoff analysis from 1950 to 2002 in the Yangtze basin, China[J]. Hydrological Sciences Journal, 2005, 50(1):62-80.

[8]SU Bu-da, JIANG Tong, SHI Ya-feng, et al. Observed precipitation trends in the Yangtze River Basin from 1951—2002[J]. Journal of Geographical Science, 2004, 14(2):204-

[5]王好芳,董增川.区域水资源可持续开发评价的层次分析法[J].水力发电,2002,28(7):12-14.

[6]王好芳,龚实,郭乐.东江流域水资源承载力评价[J].水资源保护,2009,25(1):40-43.

[7]水利部太湖流域管理局.太湖流域2000-2006年水资源公报[R].上海:水利部太湖流域管理局,2000-2006.

[8]陈洋波,李长兴,冯智瑶,等.深圳市水资源承载力模糊综合评价[J].水力发电,2004,30(3):10-14.

[9]崔广柏,陈星,余钟波.太湖流域富营养化控制机理研究[EB/OL].中国科技论文在线,http://211.68.23.123/was40/search,2007,2(6):424-429.

(收稿日期:2009-09-22 编辑:高渭文)

208.

[9]洪霞,陈建平.江西省1960年以来气温和降水变化趋势分析[J].江西气象科技,2004,27(2):20-22.

[10]谢新民,郭洪宇,尹明万,等.我国华北地区蒸发能力及其变化趋势[J].水利规划与设计,2001(4):24-27.

[11]陈吉琴.近50年来长江流域气象因素分析及蒸发变化原因初探[D].南京:河海大学,2007.

[12]刘波.近四十年中国蒸发皿蒸发变化与气候变化的关系及潜在蒸散的估算[D].南京:南京信息工程大学,2005.

(收稿日期:2009-12-24 编辑:高渭文)