

黄河内蒙古段蒸发皿蒸发量变化特征

崔英¹, 刘廷玺¹, 杜艳霞²

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 巴彦淖尔市水文勘测局, 内蒙古 临河 015000)

摘 要: 采用气候趋势系数和气候倾向率方法, 分析了内蒙古自治区境内 26 个常规气象观测站 1959~2008 年的 20 cm 口径蒸发皿蒸发量观测资料。结果表明, 区域年、季平均蒸发皿蒸发量变化都呈下降趋势; 但站点蒸发量与整个区域的蒸发量变化趋势并不完全一致, 存在波动, 在大部分站点年蒸发量变化趋势中则是春、夏两季的蒸发量变化趋势占主导地位; 蒸发皿蒸发量变化趋势由气象因子综合作用, “蒸发悖论”不适合用来描述黄河内蒙古段蒸发皿蒸发量的变化特点。

关键词: 蒸发皿蒸发量; 气象因子; 黄河

中图分类号: S161.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0252-05

水作为地球生命的载体, 是人类生存和发展的命脉, 其丰盈亏欠对社会经济的可持续发展有着相当大的制约作用。蒸发量既是地表能量平衡的重要组成部分, 又是陆地水量平衡的重要组成部分, 在全球水循环中具有举足轻重的作用。同时, 蒸发量在估算陆地蒸发、作物需水和作物水分平衡等方面具有十分重要的应用价值, 对水资源系统的规划设计、开发利用和运行管理具有重要意义。

政府间气候变化专业委员会(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)的系列报告表明, 在 20 世纪的 100 年中, 全球地面空气温度平均上升了 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ^[1,2]。自 1990 年 IPCC 第一次评估报告以来, 预估结果显示 1990~2005 年全球平均温度升高约为每 10 年 $0.15^{\circ}\text{C} \sim 0.3^{\circ}\text{C}$, 而观测结果为每 10 年约增加 0.2°C ^[3]。一般来说气温升高会使近地表的空气变干, 蒸发量也相应增加, 但目前通过对近 40、50 a 蒸发皿蒸发量分析, 却发现许多区域平均的蒸发皿蒸发量存在持续下降趋势, 观测事实与理论期望存在重大矛盾, 而这种现象则被称为“蒸发悖论”或者“蒸发量佯谬(Pan evaporation paradox)”^[4]。影响蒸发的因素很多^[5~8], 目前对“蒸发悖论”的解释主要可以概括为两种: 一种认为太阳总辐射和净辐射减少是造成蒸发皿蒸发量减少的主要原因; 另一种则认为蒸发皿蒸发量与陆面实际蒸发量之间存在着互补关系。

黄河是我国的第二大河流, 不仅水文情势复杂, 水问题也最为突出。作为内蒙古地区的重要地表水源, 黄河水资源的变化趋势直接关系到当地农业的

可持续发展, 区域生态环境的改善与社会经济的稳步增长。黄河内蒙古段位于干旱、半干旱地区, 在全球气候变暖的情景下, 该地区的水问题将变得更加突出。因此, 以生态环境脆弱的黄河内蒙古段为对象, 研究蒸发皿蒸发量的变化规律, 是区域水循环以及生态恢复与维持研究的重要内容, 对于揭示蒸发量时空演变对全球气候变化的响应具有重要意义; 而且在实践上对于指导黄河洪旱灾害规律的研究、防灾减灾措施的制定、流域水资源开发利用方案的科学编制等方面具有重要参考价值; 同时, 对于保证内蒙古农业、生态、社会经济可持续发展等方面具有重大意义。

1 资料来源与分析方法

1.1 资料来源

数据采用内蒙古自治区境内 26 个常规气象观测站的 20 cm 口径蒸发皿蒸发量观测资料, 时段为 1959~2008 年。对于个别站点缺测的数据, 采用回归分析进行临近站点相关插补。四季资料按照 12 月至次年 1、2 月为冬季, 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月为秋季, 生成逐季蒸发皿蒸发量序列, 并根据研究区域内 26 个气象站点实测值采用反距离权重插值法(IDW, Inverse Distance Weighted)进行空间表面内插建立区域的年、季蒸发皿蒸发量序列, 然后通过区域年蒸发皿蒸发量序列求取平均值, 得到区域年平均蒸发量及相关参数。

1.2 方 法

对已有实测数据处理之后, 利用气候趋势系数

收稿日期: 2010-11-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50669002)

作者简介: 崔英(1986—), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 从事水资源系统模拟、水资源优化配置等方面的研究。E-mail: cuiying808@hotmail.com

法和气候倾向率法^[9]分析研究区域蒸发皿蒸发量的变化特征。

1.2.1 气候趋势系数法

为研究气象要素在气候变化中升降的定量程度,并可对其进行统计检验,计算气候趋势系数 r_{xt} ,该值为正(负)时,表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(降)的趋势。 $r_{xt} \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r_{xt}^2}$ 符合自由度为 $n-2$ 的 t 分布,据此可以检验这种气候变化趋势是否有意义。

1.2.2 气候倾向率 将气象要素的年际变化趋势用一次线性方程表示,即:

$$Y = a_0 + a_1 t, t = 1, 2, 3, \dots, n.$$

式中, Y 为气象要素的拟合值; t 为时间(本文为1959

~2008年); a_0 为常数项; a_1 为线性趋势项, $a_1 \times 10$ 表示气象要素每10 a的变化率。

2 结果与分析

2.1 区域蒸发皿蒸发量的变化特征

黄河内蒙古段近50 a的区域年平均蒸发量为2 129.6 mm,变差系数为6.9%,表1列出了区域蒸发皿蒸发量的年、季特征统计量。从表中可以看出春、夏两季的蒸发量在全年蒸发量中占主要地位,其离散程度也比较小;从气候趋势系数和气候倾向率来看,区域蒸发皿蒸发量的年、季变化都呈下降趋势,年蒸发量下降速率为-47.2 mm/10a。

表 1 黄河内蒙古段近 50 年区域蒸发皿蒸发量的特征统计量

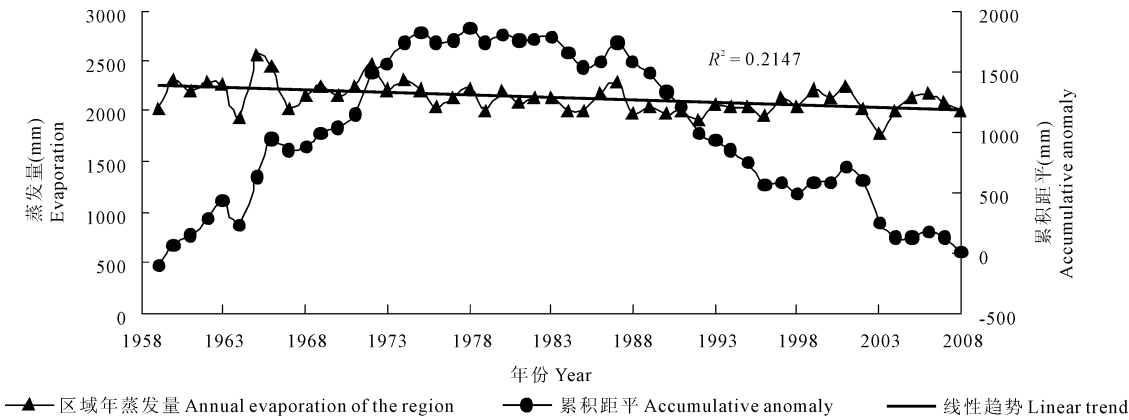
Table 1 The characteristic values of average pan evaporation

项目 Items	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	全年 Year
平均值 $\bar{x}$ (mm)	124.40	723.80	887.80	393.70	2129.60
标准差 σ (mm)	19.70	64.10	81.70	41.90	148.00
变差系数 CV	0.16	0.09	0.09	0.11	0.07
偏态系数 C_s	0.43	-0.49	0.20	0.87	0.49
趋势系数 Trend coefficient	-0.08	-0.20	-0.44	-0.23	-0.46
倾向率 Climatic tendency (mm/10a)	-1.10	-9.00	-24.80	-6.50	-47.20

图1给出了黄河内蒙古段区域蒸发皿蒸发量的年、季变化过程和累积距平曲线,由图可知,四季蒸发皿蒸发量变化趋势均与年变化趋势一致,其中以春、夏两季变化最为明显($P<0.05$)。由累积距平曲线可知,冬季在1966、1980和2004年发生了转折,春季在1982年发生了转折,夏季在1975年发生了转折,而秋季则在1972年发生了转折,与年变化的转折点1978年都不太一致;但是观察年、季蒸发量累积距平曲线,发现春、夏、秋三季的趋势与年变化

趋势基本一致,其中以春夏两季最为接近。

对黄河内蒙古段近50 a的蒸发皿蒸发量,以10 a为1个时段划分为5个时段,即1959~1968年、1969~1978年、1979~1988年、1989~1998年、1999~2008年5个时段,并统计其年、季蒸发量值见表2。表2数据显示,除了秋季蒸发量持续下降外,年蒸发量以及冬、春、夏3季蒸发量都有起伏变化,而不是持续下降。



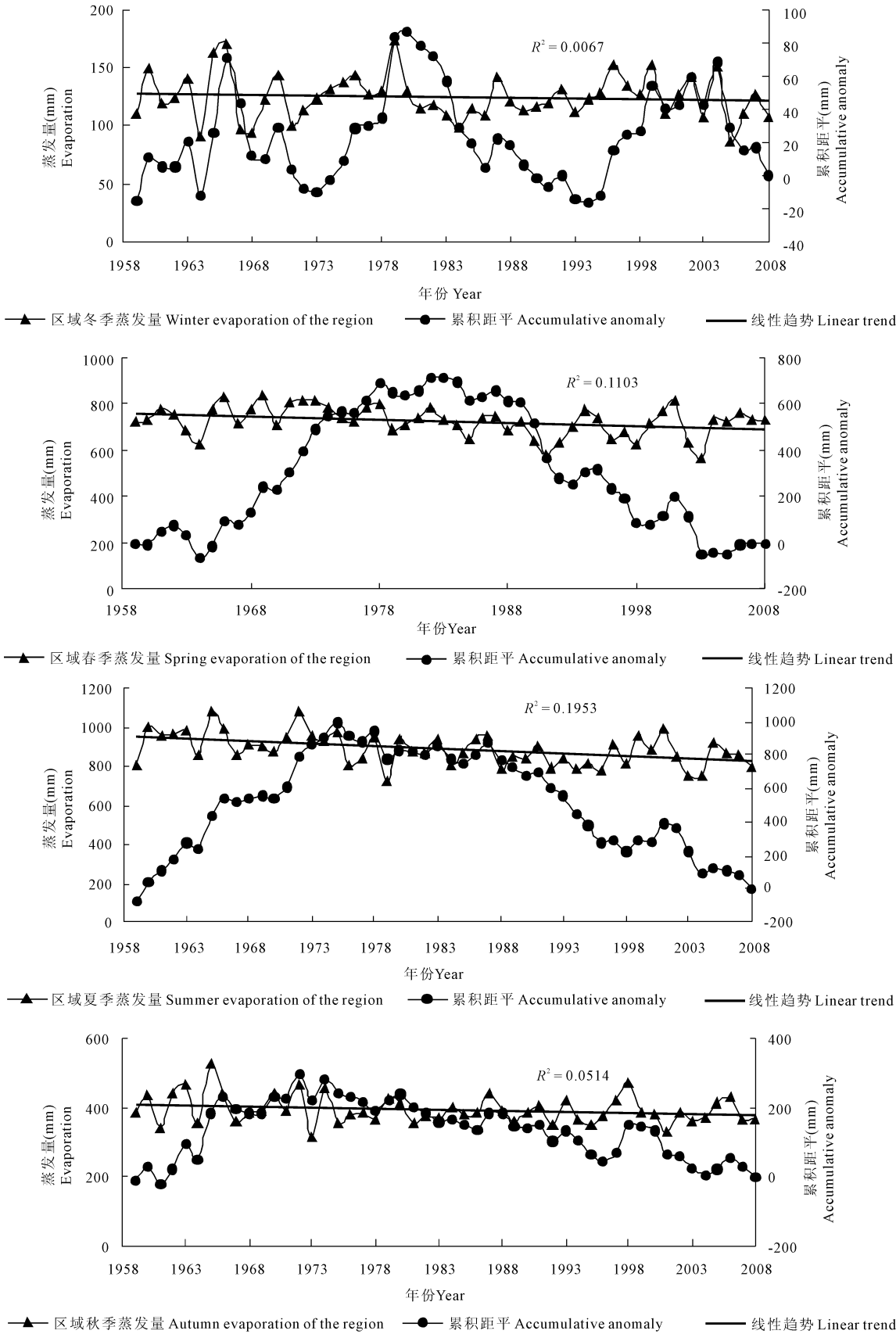


表 2 黄河内蒙古段不同时段区域蒸发皿蒸发量统计(mm)

Table 2 Statistics of average pan evaporation in different decades

时段 The periods	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	全年 Year
1959~1968	125.6	737.1	942.1	412.1	2217.0
1969~1978	126.6	779.2	928.1	394.2	2228.0
1979~1988	122.8	716.0	870.2	393.0	2102.0
1989~1998	125.3	672.0	833.2	390.2	2020.8
1999~2008	121.8	714.9	865.8	378.8	2081.3

表 3 站点实测蒸发皿蒸发量的统计特征

Table 3 The characteristic of measured values of pan evaporation

站点名称 Station	趋势系数 Trend coefficient					倾向率 Climatic tendency				
	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	全年 Year	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	全年 Year
磴口 Dengkou	-0.02	0.37	0.08	0.46	0.31	-0.6	20.0	5.5	15.5	40.0
临河 Linhe	-0.35	-0.20	-0.10	-0.10	-0.22	-7.1	-11.7	-7.8	-3.1	-29.9
五原 Wuyuan	-0.12	0.36	0.04	0.06	0.19	-1.4	15.8	1.8	1.5	17.8
杭锦后旗 Hangjinhouqi	-0.36	-0.22	-0.53	-0.32	-0.54	-6.2	-8.2	-25.4	-7.3	-46.7
乌拉特前旗 Wulateqianqi	-0.21	-0.33	-0.02	-0.08	-0.18	-3.3	-13.7	-1.5	-2.6	-22.6
乌拉特中旗 Wulatezhongqi	-0.29	-0.55	-0.71	-0.50	-0.72	-3.8	-36.8	-79.3	-20.8	-140.6
乌拉特后旗 Wulatehouqi	-0.09	0.00	-0.18	-0.19	-0.18	-1.8	0.0	-14.2	-9.4	-22.5
固阳 Guyang	-0.41	-0.66	-0.62	-0.52	-0.71	-5.7	-43.2	-58.0	-22.9	-130.3
杭锦旗 Hangjinqi	-0.14	-0.52	-0.53	-0.28	-0.57	-2.9	-33.4	-46.9	-13.4	-96.3
呼和浩特 Huhhot	0.53	0.21	0.12	0.23	0.29	8.5	11.0	7.8	7.4	37.1
凉城 Liangcheng	0.11	-0.27	-0.40	-0.36	-0.41	2.0	-15.0	-23.0	-10.0	-45.7
四子王旗 Siziwangqi	-0.06	-0.29	-0.34	-0.26	-0.43	-0.9	-21.1	-21.8	-10.1	-54.0
清水河 Qingshuihe	-0.11	-0.42	-0.48	-0.25	-0.47	-2.3	-31.9	-45.5	-13.1	-92.2
土默特右旗 Tumeteyouqi	-0.18	-0.32	-0.59	-0.25	-0.55	-2.6	-16.6	-38.1	-7.6	-65.0
土默特左旗 Tumetezuqi	0.02	0.06	-0.24	-0.04	-0.09	0.2	3.9	-13.9	-1.1	-10.8
托克托 Tuoketuo	-0.06	-0.27	-0.45	-0.21	-0.41	-0.7	-14.8	-29.1	-6.6	-51.1
武川 Wuchuan	0.29	-0.45	-0.50	-0.34	-0.45	7.5	-30.0	-38.7	-12.6	-73.3
准格尔 Zhunger	-0.09	0.00	-0.38	-0.17	-0.29	-1.1	0.1	-26.9	-6.1	-34.1
卓资 Zhuozi	0.18	-0.25	-0.25	-0.10	-0.27	2.7	-13.2	-13.6	-2.8	-26.8
包头 Baotou	-0.38	-0.66	-0.72	-0.54	-0.76	-5.9	-44.9	-68.4	-22.0	-141.7
察右中旗 Chayouzhongqi	-0.26	-0.48	-0.38	-0.39	-0.49	-5.2	-35.2	-28.2	-15.4	-84.2
达茂 Damao	-0.13	-0.54	-0.57	-0.38	-0.59	-2.5	-43.0	-59.5	-20.5	-124.9
和林格尔 Helinger	0.13	-0.02	-0.15	0.09	-0.05	2.2	-1.2	-10.1	2.6	-6.2
集宁 Jining	-0.27	-0.23	0.04	-0.08	-0.15	-5.6	-15.3	2.2	-2.9	-20.9
东胜 Dongsheng	0.21	0.49	-0.07	0.11	0.16	3.7	26.8	-5.1	4.5	20.1
达拉特旗 Dalateqi	-0.09	-0.03	-0.24	-0.20	-0.21	-1.3	-1.4	-17.0	-7.4	-26.9

26 个站点年实测蒸发量气候倾向率的极端值分别为 40.0 mm/10a 和 -141.7 mm/10a,前者不到后者的 1/3,而且在 26 个站点中下降站点数占到 84.6%,可见下降幅度要比上升大得多;各站点的季蒸发量则基本与年蒸发量变化趋势一致,在大部分站点年蒸发量变化趋势中则是春、夏两季的蒸发量变化趋势占主导地位。

2.2 站点实测蒸发皿蒸发量的变化特征

对 26 个站点蒸发皿蒸发量实测值进行分析结果见表 3,虽然区域整体平均年、季蒸发皿蒸发量呈下降趋势,但局部区域与整个区域的气候变化趋势并不完全一致,其中存在个别站点呈上升趋势。表 3 数据显示,包头、乌拉特中旗、固阳三站蒸发量呈明显的下降趋势,气候趋势系数均超过 0.7 ($P<0.01$);而磴口、呼和浩特、东胜和五原四个站则呈现较为显著的上升趋势 ($P<0.05$)。

2.3 影响蒸发皿蒸发量的气象因子

蒸发皿蒸发量作为反映蒸发能力的指标,受辐射、气温、湿度、风速等多种要素的影响。对呼和浩特、达拉特旗和杭锦旗三站的降水量、蒸发量、平均气温、相对湿度、平均风速、日照时数等气象因子进行气候趋势分析,并对 3 个站点的各气象因子与蒸发量进行线性相关分析,结果见表 4。对比分析 3

个站点气象因子的气候变化趋势以及各因子与蒸发量的线性相关系数,可以看出,影响呼和浩特气象站蒸发量的主要因素是平均气温,其次是相对湿度和降水量;在达拉特旗蒸发量影响因子中平均风速占主导,平均气温次之;平均风速是影响杭锦旗的主要因素。蒸发皿蒸发量受气象因子的综合影响,而由

于站点地理条件各异,影响其变化的主要因子也不一样。呼和浩特站蒸发皿蒸发量随平均气温的升高而增大,达拉特旗、杭锦旗蒸发量的降低则主要是由于平均风速的影响,所以尽管黄河内蒙古段蒸发皿蒸发量大体呈下降趋势,但是“蒸发悖论”不能用来描述黄河内蒙古段蒸发皿蒸发量的变化特点。

表 4 站点气象因子的气候趋势系数及线性相关系数

项目 Items	气候趋势系数 Trend coefficient			与蒸发量的相关系数 Linear correlation coefficient		
	呼和浩特	达拉特旗	杭锦旗	呼和浩特	达拉特旗	杭锦旗
	Huhhot	Dalateqi	Hangjinqi	Huhhot	Dalateqi	Hangjinqi
蒸发量 Evaporation	0.29	−0.21	−0.57	1.00	1.00	1.00
降水量 Precipitation	−0.14	0.02	−0.02	−0.46	−0.63	−0.50
平均气温 Average temperature	0.81	0.78	0.68	0.51	−0.14	−0.06
相对湿度 Relative humidity	−0.49	−0.26	−0.19	−0.60	−0.63	−0.32
平均风速 Average wind speed	0.02	−0.93	−0.80	0.18	0.29	0.50
日照时数 Sunshine hours	−0.64	−0.05	−0.17	0.01	0.72	0.24

3 结 论

本文利用内蒙境内 26 个站点 1959~2008 年的实测以及区域年和季节蒸发皿蒸发量观测资料,分析了黄河内蒙古段蒸发量的变化特征及其与气象因子的关系,得到如下结论:

1) 黄河内蒙古段近 50 年的区域年平均蒸发皿蒸发量为 2 129.6 mm,春、夏两季的蒸发量在全年蒸发量中占较大比重;区域蒸发皿蒸发量的年、季变化都呈下降趋势,年蒸发量下降速率为 −47.2 mm/10a。四季蒸发皿蒸发量变化趋势均与年变化趋势一致,其中以春夏两季最为接近。

2) 对黄河内蒙古段近 50 a 的区域年、季蒸发皿蒸发量序列,以 10 a 为一时段划分为 5 个时段,除了秋季蒸发量持续下降外,年蒸发量以及冬、春、夏三季蒸发量都有起伏变化,而不是持续下降。

3) 对 26 个站点蒸发皿蒸发量实测值进行分析,虽然区域整体平均年、季蒸发皿蒸发量呈下降趋势,但局部区域与整个区域的变化趋势并不完全一致,其中包头、乌拉特中旗、固阳三站蒸发量呈明显的下降趋势 ($P<0.01$);而磴口、呼和浩特、东胜和五原 4 个站则呈现较为显著的上升趋势 ($P<0.05$)。各站点的季蒸发量与年蒸发量变化趋势基本一致,在大部分站点年蒸发量变化趋势中则是春、夏两季的蒸发量变化趋势占主导地位。

4) 对比分析呼和浩特、达拉特旗和杭锦旗 3 个站点气象因子的气候变化趋势以及各因子与蒸发量的线性相关系数,可以看出各站点蒸发皿蒸发量的变化不是随着温度的升高而降低,是由气象因子综合作用,所以尽管黄河内蒙古段区域蒸发皿蒸发量大体呈下降趋势,但是“蒸发悖论”不适合用来描述黄河内蒙古段蒸发皿蒸发量的变化特点。

参 考 文 献:

[1] IPCC. Climate Change 1995. Impacts, Adaptation, and Mitigation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

[2] IPCC. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

[3] IPCC. Climate Change 2007. The Physical Science Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[4] 谢 平,陈晓宏,王兆礼,等. 东江流域实际蒸发量与蒸发皿蒸发量的对比分析[J]. 地理学报, 2009, 64(3): 270—277.

[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): 437—442.

[6] 王艳君,姜 彤,许崇育. 长江流域 20 cm 蒸发皿蒸发量的时空变化[J]. 水科学进展, 2006, 17(6): 830—833.

[7] 王国庆,张建云,贺瑞敏,等. 黄河中游气温变化趋势及其对蒸发能力的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(4): 32—36.

[8] 杜 军,翁海卿,李春燕,等. 1971~2006 年珠穆朗玛峰地区蒸发皿蒸发量的变化及其影响因素[J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 597—604.

[9] 范伶俐,郭品文,管 勇,等. 广东蒸发皿蒸发量的变化特征及成因[J]. 地理学报, 2010, 65(7): 863—872.

(英文摘要下转第 262 页)

Trend and sustainability analysis of air temperature and precipitation in Fukang oasis from 1971 to 2009

TANG Jin¹, LI Xia¹, LU Lei^{2,3}

(1. College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjaing 830052, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The trend, period and abrupt change of annual temperature and precipitation in Fukang oasis were analyzed with methods of linear analysis, annual anomalies, moving t test and wavelet analysis. The results indicate that: (1) The annual temperature and precipitation trend is in decrease in nearly 40 years. The average temperature trend is $0.44^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ and the correlation coefficient is 0.61. The average precipitation trend is $14.04\text{ mm}/10\text{a}$ and the correlation coefficient is 0.26. (2) There is an obvious periodic of 7 and 18 years for the annual temperature series during nearly 40 years. At the scale of 7 years, there are 8 high frequency periods and 9 latent periods for the annual temperature series; At the scale of 18 years, there are 4 high frequency periods and 4 latent periods for annual temperature series. There is an obvious periodic of 5 and 18 years for the annual precipitation series during nearly 40 year. At the scale of 5 years, there are 13 high frequency periods and 14 latent periods for the annual precipitation series; At the scale of 18 years, there are 1 high frequency periods and 2 latent periods for the annual precipitation series. The wavelet analysis indicates that the annual temperature will keep an increasing trend in the coming years, while the annual precipitation may show a decreasing change in the coming years. (3) The trend of annual anomalies shows that the annual temperature and precipitation changes in 1983 and 1997, which passed the significance test at 0.10 level. The study on climate change may provide a basis for ecological monitoring, climate projections and agricultural development in Fukang oasis.

Keywords: air temperature and precipitation; wavelet analysis; abrupt change; moving t test; Fukang oasis

(上接第 256 页)

Analysis of pan evaporation of Inner Mongolia in the Yellow River Basin

CUI Ying¹, LIU Ting-xi¹, DU Yan-xia²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. Hydrological Survey Bureau of Bayannaoer City, Linhe, Inner Mongolia 010050, China)

Abstract: The variation of 20 cm pan evaporation in Inner Mongolia in the Yellow River Basin was analyzed based on 20 cm pan evaporation data of 26 weather stations from 1959~2008 by using the method of climate tendency coefficient and climatic trend rate. The results showed that the average annual and average seasonal pan evaporation declined. But the variation of annual evaporation sequences of 26 weather stations was not completely consistent with average pan evaporation of the whole region, it was in fluctuation, and in which spring and summer were the majors. The meteorological elements had different performance in pan evaporation of different regions, “pan evaporation paradox” was not absolutely correct.

Keywords: pan evaporation; meteorological elements; Yellow River Basin