1960－2010 年渭河流域旱涝时空分布特征

毕彩霞[1]，穆兴民[1,2]，赵广举[1,2]，段文明[1]

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所，陕西 杨凌 712100；2. 西北农林科技大学 水土保持研究所，陕西 杨凌 712100)

摘　要：利用 1960—2010 年渭河流域 12 个气象站 5—9 月降水量资料，采用 Z 指数作为划分旱涝等级的标准，分析了渭河流域近 50 a 旱涝时空特征。结果表明，近 50 a 来，流域范围内大旱大涝年份各出现过至少 6 次。大旱出现最多的站点为环县和平凉两站。大涝出现最多的站点为长武和西吉两站。发生大涝的站点基本位于渭河干流的中下游。受大涝(大旱)影响范围较广的年份主要发生在 1965—1970 年和 1980—1985 年(1970—1975 年和 1985—2000 年)，尤其是 1964，1975，1983，1984 和 2003 年(1972，1994，1995 和 1997 年)受大涝(大旱)影响的站点数超过了 50%。1960—2010 年大旱站点比例有明显增加趋势，大涝站点比例有降低趋势。根据累积距平曲线可以看出，全流域在 1960—1968 年和 1977—1985 年年降水量高于均值，在 1970—1974 年和 1992—2001 年年降水量低于均值；对渭河流域区域 Z 指数进行经验正交函数分析，发现渭河流域旱涝主要受流域中心地带(洛川—长武—宝鸡)的旱涝气候控制。受地面高程差异影响，北偏西方向发生旱灾机会增大，而南偏东方向发生涝灾的概率增大。东西差异为东部洛川地区旱灾概率加大，流域西部来水概率增强等，表明渭河流域旱涝分布除受大尺度的气候系统影响和控制外，还受地面高程、局地地形等多种因子影响。

关键词：渭河流域；旱涝；Z 指数；经验正交函数(EOF)分析

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2013)02-0281-04　　**中图分类号**：P468

Spatiotemporal Variations of Droughts/Floods Distributions in Weihe River Basin From 1960 to 2010

BI Cai-xia[1], MU Xing-min[1,2], ZHAO Guang-ju[1,2], DUAN Wen-ming[1]

(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 2. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: Spatial and temporal distributions of droughts/floods were investigated using the precipitation data collected at 12 meteorological stations in the Weihe River basin during the period of 1960—2010. The drought index(Z index) is used to describe the characteristics of droughts/floods. Six large-scale droughts or floods were detected within the whole catchment during the last 51 years. Droughts occurred more frequently at Huanxian and Pingliang station, while more floods events were found at Changwu and Xiji stations. In general, there were more floods in the mid and lower reaches of the Weihe River Basin. The majority of floods were observed in the period of 1965—1970 and 1980—1985, and the droughts were detected mostly in 1970—1975 and 1985—2000. Relative wet period were 1960—1968 and 1977—1985 with higher than average annual precipitation, which was less than average during 1970—1974 and 1992—2001. The Z indices were analyzed by empirical orthogonal function(EOF) method at the climate stations. The results showed that spatial distributions of droughts and floods were mainly influenced by the center of the basin. Due to the topographical effects, the frequency of droughts was higher in the northwest, and that of floods was higher in the southeast. The heterogeneities of droughts/floods were influenced by not only climate changes and large-scale weather system, but also other factors such as geographical location, topography and so on.

Keywords: Weihe River basin; droughts/floods; Z index; EOF transform

收稿日期：2012-07-22　　**修回日期**：2012-10-25

资助项目：中国科学院重点部署项目“黄土高原及周边沙地近代生态环境的演变与可持续性”(KZZD-EW-04)，“黄土高原及周边沙地近代生态环境的演变与可持续性”(KZZD-EW-04-03)；国家自然科学基金项目(41271295；41201266)；中国科学院“西部之光”人才培养计划项目

作者简介：毕彩霞(1987—)，女(汉族)，山东省文登市人，硕士研究生，主要从事水土保持与环境效益研究。E-mail：caixia1220@163.com。

通信作者：穆兴民(1961—)，男(汉族)，陕西省华阴市人，博士，研究员，博士生导师，主要从事生态水文和水土保持方面的研究。E-mail：xmmu@ms.iswc.ac.cn。

我国地处东亚，受逐年之间季风不稳定性的影响，旱涝成为我国发生最频繁的自然灾害。仅农田，我国每年受灾面积约为 2.67×10^7 hm^2，其中由旱涝造成的灾害约占受灾面积的 60%～70%[1]，可见旱涝灾害的严重性。渭河是黄河第一大支流，也是黄河中下游的 3 大洪水来源区之一[2]。受大陆性季风气候影响，流域内降水量年际变化较大，且年内分配不均，7—9 月份降水量约占全年的 60%以上[3]。较长时间的连阴雨、连续暴雨或大范围暴雨往往带来洪水灾害。近年来渭河下游泥沙淤积严重，淤积的重心不断向上游延伸，范围也不断向上游扩展[4]，使渭河几乎每年汛期都有不同程度的洪灾出现。渭河流域的农业经济占有很大的比例，因此研究渭河流域旱涝时空分布，对于减少流域内旱涝灾害对人类生存和经济发展的危害具有重要意义。

近年来，关于旱涝指标的确定，众多学者已做过很多研究[5-8]。旱涝指标主要包括标准差指标，降水距平百分率、降水 Z 指数和 Bhalme—Mooley 干旱指标等[9]。已有研究表明[10-12]，Z 指数能较好地反映某一时段的旱涝实况，既考虑了降水服从偏态分布的实际，也进行了正态标准化处理，从而使之适合不同时间尺度的旱涝监测、评价[13]。

1 资料与方法

采用渭河流域西吉、平凉、西峰、长武、洛川、吴旗、环县、天水、宝鸡、武功、西安和华山共 12 个气象站点 1960—2010 年 5—9 月降水实测数据为基本资料。降水数据来自中国气象科学数据共享服务网，对于连续缺测 3 a 的站点予以舍弃，其他缺测数据用插值补全。12 个气象站比较均匀地分布于渭河流域。降水量在不同时间、空间尺度上变化幅度很大，直接用降水量进行比较缺乏科学依据，而且降水分布是一种偏态分布，所以本研究采用 Z 指数来描述降水量的变化。

利用 Z 指数判别法划分旱涝等级的具体做法是：假设某一时段的降水量服从 Person-Ⅲ型分布，通过对降水量进行正态化处理，可将概率密度函数 Person-Ⅲ型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布，计算公式为：

$$Z_i=\frac{6}{C_s}\left(\frac{C_s}{2}+\varphi_i+1\right)^{1/3}-\frac{6}{C_s}+\frac{C_s}{6} \tag{1}$$

式中：φ_i——降水的标准化变量；C_s——偏态系数；二者均可由降水量(X)资料序列计算求得。即：

$$C_s=\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^3}{nS^3},\quad \varphi_i=\frac{X_i-\overline{X}}{S} \tag{2}$$

公式(2)中：

$$S=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2},\quad \overline{X}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}X_i \tag{3}$$

求得 Z 值，并根据文献[7]，将 Z 值划分为 7 个等级，并确定其相应的 Z 界限值作为各级旱涝指标(表 1)。

表 1 Z 指数旱涝等级划分

等级	Z 值	旱涝类型
1	$Z>1.645$	重 涝
2	$1.037<Z\leqslant1.645$	大 涝
3	$0.842<Z\leqslant1.037$	偏 涝
4	$-0.842<Z\leqslant0.842$	正 常
5	$-1.037<Z\leqslant-0.842$	偏 旱
6	$-1.645<Z\leqslant-1.037$	大 旱
7	$Z<-1.645$	重 旱

基于单站旱涝指标，区域旱涝计算公式为：

$$Z=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}Z_j \tag{4}$$

式中：S——降水序列标准差；n——站点数；Z_j——j 站的 Z 指数。

2 渭河流域旱涝时空分布特征

2.1 流域内单站旱涝时间变化

根据渭河流域 12 个站点 1960—2010 年 5—9 月降水实测资料，计算出 Z 指数，从而得出各个站点发生大旱大涝(包含重旱和重涝)的年份，结果详见表 2。

表 2 渭河流域 12 个站点大旱大涝出现年

站点	大旱年份	大涝年份
华山	1969,1977,1991,1994,1995,1997,2001,2002,2008	1964,1975,1982,1983,1984,2009,2010
西安	1969,1977,1993,1994,1995,1997,2001	1964,1981,1983,1984,1996,2003,2007,2009,2010
洛川	1965,1972,1974,1986,1989,1995,1997,1999	1964,1975,1978,1983,1988,2003,2006
武功	1971,1977,1993,1994,1995,1997,2000,2001	1964,1970,1975,1981,1983,1984,2003
长武	1965,1971,1972,1977,1979,1991,1994,1995,1997	1964,1966,1970,1975,1983,1984,1988,2003,2010
宝鸡	1969,1973,1977,1994,1995,1997	1968,1975,1980,1981,1983,1984,1990,2003
西峰	1965,1972,1986,1987,1994,1995,1997	1964,1966,1970,1975,1981,1988,1990,2003
吴旗	1965,1972,1974,1982,1987,1991,2010	1961,1964,1966,1967,1985,2003
环县	1960,1965,1972,1974,1987,1989,1991,1997,1999,2006	1961,1964,1979,1985,1988,1990
平凉	1971,1972,1982,1986,1991,1997,2000,2007,2008,2009	1964,1966,1975,1981,1996,2003,2010
天水	1969,1973,1982,1986,1994,1995,1996,1997	1964,1967,1968,1984,1985,1990,2003,2005
西吉	1969,1971,1972,1982,1997,2009	1961,1964,1966,19671968,1979,1985,1990,2004

从表 2 中可以看出,近 50 a 来各站点大旱大涝各出现过至少 6 次,其中大旱出现最多的是环县和平凉两站,各 10 次,频率为 19.6%;大涝年份出现最多的站点是长武和西吉两站,各出现 9 次,频率为 17.6%。并且各个站点都出现不同程度连续大旱大涝事件(其中天水站 1994—1997 年连续 4 a 大旱),1994—1995 年大旱范围分布广泛,并且发生大涝的站点基本位于渭河干流的中下游。

图 1 为渭河流域 1960—2010 年发生大旱大涝(包括重旱重涝)的站点所占的百分率。由图 1 可见,研究区受大旱影响较广的年份主要发生在 1970—1975 年和 1985—2000 年。在此时段内多数年份大旱站点比例较高,尤其是在 1972,1994,1995 年和 1997 年受其影响的站点数超过 50%。受大涝影响范围较广的年份主要发生在 1965—1970 年和 1980—1985 年,尤其是 1964,1975,1983,1984 年和 2003 年受大涝影响的站点数超过了 50%。并且 1960—2010 年大旱站点比例有升高趋势,大涝站点所占比例有降低趋势。

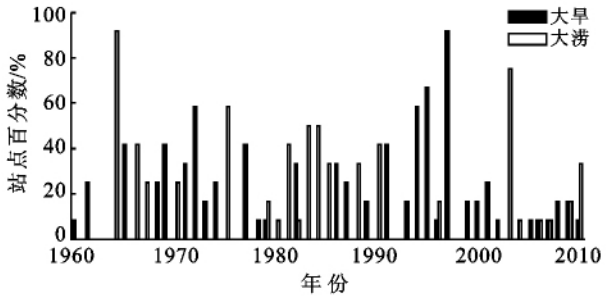


图 1　1960－2010 年渭河流域大旱、大涝站点比例

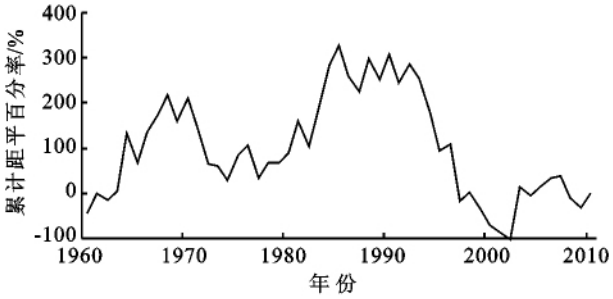


图 2　渭河流域旱涝等级累积距平百分率年际变化

2.2　区域旱涝分析

2.2.1　*旱涝发生的阶段特征*　采用旱涝等级累积距平曲线[14-16]来说明渭河流域区域旱涝的阶段性变化特征,即计算出要素每年的距平值,然后按年序累加,得到距平累积序列,计算期内该要素的距平累积值与多年平均值的比例即为该要素的距平累积百分率。结果如图 2 所示。

根据公式(4)计算出渭河流域近 50 a 的区域旱涝指数,根据旱涝等级标准,计算渭河流域近 50 a 来 5—9 月旱涝频率(表 3),并结合图 2 可看出,全流域在 1960—1968 年和 1977—1985 年年降水量高于均值,其中 1964 年为重涝年,1983 和 1984 年为大涝年;在 1970—1974 年和 1992—2001 年年降水量低于均值,其中 1995 和 1997 年为大旱年。

表 3　渭河流域 1960－2010 年旱涝等级的频率和频数

等级	频数	频率/%	发生年份
重涝	1	2	1964
大涝	3	6	1983,1984,2003
偏涝	3	6	1966,1981,1988
正常	37	72	1960—1963,1967—1970,1972—1976,1978—1980,1982,1987,1989—1993,1996,1998—2002,2004—2010
偏旱	5	10	1965,1971,1977,1986,1994
大旱	2	4	1995,1997

2.2.2　*旱涝的空间特征*　对渭河流域区域 Z 指数进行经验正交函数分析(EOF)[17-19],计算各特征向量方差贡献率(表 4)。

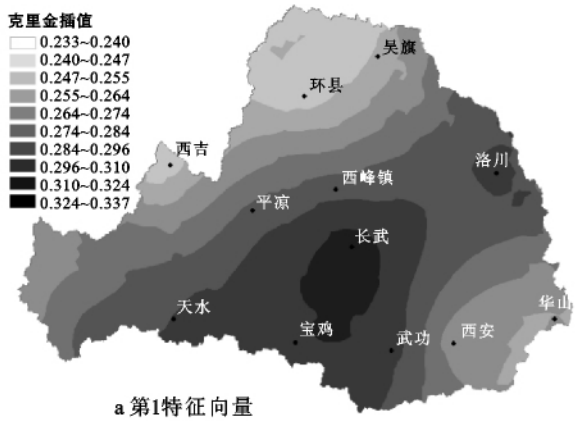
其中,前 3 个特征向量的方差贡献率分别为 55.53%,18.39%和 5.63%,累计达到79.56%,第 3 个特征向量以后,各向量的方差贡献较小。此外,前 3 个载荷向量也通过了 North 等[20]提出的特征向量显著性检验,说明其是有显著物理意义的信号。这表明,前 3 个特征向量场能较好地反映流域气象要素空间变化的主要特征。

表 4　渭河流域 5－9 月降水 EOF 分析的前 7 个模态的方差贡献　　%

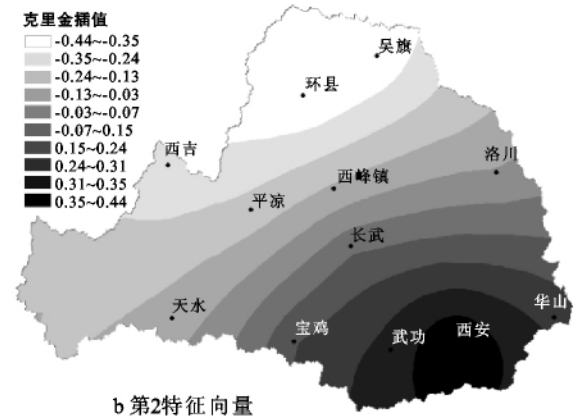
项目	第 1 特征向量	第 2 特征向量	第 3 特征向量	第 4 特征向量	第 5 特征向量	第 6 特征向量	第 7 特征向量
方差贡献率	55.53	18.39	5.63	5.11	3.91	2.54	2.25
累计方差贡献率	55.53	73.92	79.56	84.67	88.58	91.12	93.37

图 3 给出近 50 a 来全流域 Z 指数的经验正交函数分解(EOF)的前 3 个特征向量场的空间分布。由图 3a 可以看出,流域旱涝主要受以流域中心地带(洛川—长武—宝鸡)的旱涝气候控制,渭河流域旱涝变

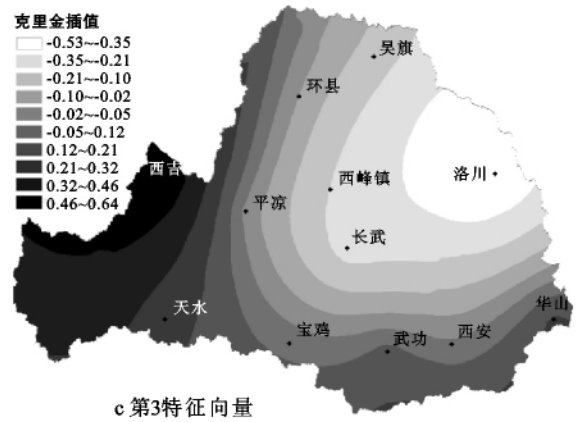
化呈现整体一致性正值，表明渭河流域旱涝变化基本同步，表现为全流域一致多雨或者少雨。



a 第1特征向量



b 第2特征向量



c 第3特征向量

图 3 渭河流域 Z 指数的第 1，第 2 和第 3 特征向量场的空间分布

已有研究表明[21]，造成黄河流域旱涝的直接原因是大气环流的异常。很多学者具体分析了暴雨、长连阴雨和干旱的环流特征和主要影响系统。出现这种分布特征与大尺度的天气系统所带来的降水量变化具有明显相关性[22-23]。从降水的气候特征看，渭河流域地处大陆性季风气候，主要受西太平洋副热带高压和蒙古高压系统的影响。其中心位置位于长武地区，反映了该区域的旱涝等级变化相对显著，属于旱涝异常敏感区域；由图 3b 可以看出，洛川—长武—天水为分界线，呈现出渭河流域南北旱涝格局的差异，即南北差异型。负值区位于分界线以北，中心位置位于环县—吴旗地区，正值区位于分界线以南，中心位置位于西安地区。由于地面高程差异影响，北偏西方向发生旱灾机会增大，而南偏东方向发生涝灾概率增大；由图 3c 可以看出，以环县—平凉—西安为分界线，呈现出渭河流域东西旱涝格局的差异，即东西差异型。东西差异为东部洛川旱灾概率加大、流域西部来水概率增强等。此两类特征场分布同时表明，渭河流域旱涝特征变化分布除受大尺度的天气系统影响和控制外，还受地面高程、局地地形等多种因子影响。

3 结 论

（1）通过对渭河流域单站 Z 指数分析发现，近 50 a来各站点大旱大涝年份各出现过至少 6 次，其中大旱出现最多的是环县和平凉两地，各 10 次，频率为 19.6%；大涝年份出现最多的是长武和西吉两站，各出现 9 次，频率为 17.6%。并且发生大涝的站点基本位于渭河干流的中下游。

（2）受大涝影响范围较广的年份主要发生在 1965—1970 年和 1980—1985 年，尤其是 1964，1975，1983，1984 和 2003 年受大涝影响的站点数超过了 50%；受大旱影响较长的年份主要发生在 1970—1975 年和 1985—2000 年，尤其是 1972，1994，1995 和 1997 年受其影响的站点数超过 50%。1960—2010 年大旱站点比例有明显升高，大涝站点比例有降低趋势，但趋势并不显著

（3）通过对渭河流域区域 Z 指数做累积距平曲线发现，全流域 1960—1968 年和 1977—1985 年为偏涝期，其中 1964 年为重涝年，1983 和 1984 年为大涝年；1970—1974 年和 1992—2001 年为偏旱期，其中 1995 和 1997 年为大旱年。

（4）对渭河流域区域 Z 指数进行 EOF 分析发现，渭河流域旱涝分布存在总体一致型、南北差异型和东西差异型 3 种分布形态。表明流域旱涝分布除受大尺度的天气系统影响和控制外，还受地面高程、局地地形等多种因子影响。

[参 考 文 献]

[1] 杨振怀. 加强防洪抗旱、减轻水旱灾害[J]. 中国减灾，1992，2(4)：8-10.

（下转第 290 页）

省土地整治规划的实施，加大基础性生态用地的保护，优化各类型用地结构和规模。同时，将土地生态价值纳入经济核算的制度，逐步完善土地生态补偿机制，使土地利用朝着生态环境与社会经济协调可持续的方向发展。

[参 考 文 献]

[1] 刘勇，刘友兆，许萍. 区域土地资源生态安全评价：以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学，2004，26(3)：69-75.

[2] 李玉平，蔡运龙. 河北省土地生态安全评价[J]. 北京大学学报：自然科学版，2007，2(3)：784-789.

[3] 李波，张俊飚. 区域土地资源生态安全评价与影响因素研究：基于湖北省 1999—2005 年数据的实证[J]. 湖北社会科学，2009(1)：64-67.

[4] 张建新，刑旭东. 湖南土地资源可持续利用的生态安全评价[J]. 湖南地质，2006，21(2)：119-121.

[5] 王庆日，谭永忠，薛继斌，等. 基于优度评价法的西藏土地利用生态安全评价研究[J]. 中国土地科学，2010，24(3)：48-54.

[6] 罗贞礼. 土地利用生态安全评价指标的系统聚类分析[J]. 湖南地质，2002，21(4)：252-254.

[7] 鲍艳，胡振琪，柏玉，等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报，2006，22(8)：87-90.

[8] 刘飞跃，万哨凯. 基于主成分分析法的吉安市土地利用的生态安全评价研究[J]. 安徽农业科学，2010，38(1)：5788-5790.

[9] 范瑞锭，陈松林，戴菲，等. 福建省土地利用生态安全评价[J]. 福建师范大学学报：自然科学版，2010，26(5)：97-101.

[10] 张小虎，雷国平，袁磊，等. 黑龙江省土地生态安全评价[J]. 中国人口·资源与环境，2009，19(1)：88-93.

[11] 余敦，陈文波. 鄱阳湖生态经济区土地生态安全研究[J]. 水土保持研究，2011，18(4)：107-111.

[12] 曲衍波，齐伟，商冉，等. 基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价[J]. 中国土地科学，2008，22(4)：38-44.

[13] 谢花林. 基于 GIS 的典型农牧交错区土地利用生态安全评价[J]. 生态学杂志，2008，27(1)：135-139.

[14] 孙云鹏. 全球变化背景下辽宁省土地利用生态安全情景分析[J]. 安徽农业科学，2010，28(24)：13150-13153.

[15] 曲福田，赵海霞，朱德明. 江苏省土地生态安全问题及对策研究[J]. 环境保护，2005(2)：57-59.

[16] 李静，李子君，吕建树. 聊城市土地生态安全评价[J]. 水土保持通报，2011，31(2)：98-102.

(上接第 284 页)

[2] 王云璋，王国庆，王昌高. 近十年渭河流域降水特点及其对径流影响的初步分析[J]. 人民黄河，1998(10)：4-6.

[3] 刘燕，胡安焱. 渭河流域近 50 年降水特征变化及其对水资源的影响[J]. 水文干旱区资源与环境，2006，20(1)：85-87.

[4] 曾庆华，周文浩，杨小庆. 渭河淤积发展及其与撞关卡口、黄河洪水倒灌的关系[J]. 泥沙研究，1956(3)：13-28.

[5] Kite W. Frequency and Risk Analysis in Hydrology [M]. Colorado: Water Resources Publication, 1997.

[6] 孙安健，高波. 华北平原地区夏季严重旱涝特征诊断分析[J]. 大气科学，2000，24(3)：393-402.

[7] 王革丽，杨培才，王咏青，等. 中国北方地区旱涝的年代际预测分析研究[J]. 高原气象，2007，26(1)：68-69.

[8] 刘庚山，郭安红，安顺清，等. 帕默尔干旱指标及其应用研究进展[J]. 自然灾害学报，2004，13(4)：21-27.

[9] 姚玉璧，张存杰，邓振镛，等. 气象、农业干旱指标综述[J]. 干旱地区农业研究，2007，25(1)：185-211.

[10] 鞠笑生，杨贤为. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝等级划分的研究[J]. 应用气象学报，1997，8(1)：26-32.

[11] 高波，陈乾金，任殿东. 江南南部—华南北部前汛期严重旱涝诊断分析[J]. 应用气象学报，1998，10(2)：219-226.

[12] 张存杰，王宝灵. 西北地区旱涝指标的研究[J]. 高原气象，1998，17(4)：381-389.

[13] 张强，鞠笑生，李淑华. 三种干旱指标的比较和新指标的确定[J]. 气象科技，1998，26(2)：48-52.

[14] 王飞，穆兴民，焦菊英，等. 基于含沙量分段的人类活动对延河水沙变化的影响分析[J]. 泥沙研究，2007(4)：8-13.

[15] 宋小燕，穆兴民，高鹏，等. 松花江哈尔滨站近 100 年来径流量变化趋势[J]. 自然资源学报，2009，24(10)：1803-1809.

[16] 穆兴民，李靖，王飞，等. 黄河天然径流量年际变化过程分析[J]. 干旱区资源与环境，2003，17(2)：1-5.

[17] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京：气象出版社，2004：121-140，213-215.

[18] 鞠笑生，邹旭凯，张强. 气象旱涝指标方法及其分析[J]. 自然灾害学报，1998，7(3)：52-55.

[19] 董文林. 一种改进的旱涝指数计算方法[J]. 四川气象，1999，19(2)：40-41.

[20] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京：气象出版社，2002：143-159.

[21] 黄河流域及西北片水旱灾害编委会. 黄河流域水旱灾害[M]. 河南 郑州：黄河水利出版社，1996.

[22] 李一寰. 一九八二年八月黄河洪水的暴雨天气形势和主要天气系统特征[J]. 人民黄河，1983(1)：8-11.

[23] 高治定，慕平. 黄河中游大面积日暴雨特性及其对洪水的影响[J]. 人民黄河，1991(6)：13-18.