

# 江苏沿海开发地区近 50 年来降水演变特征与趋势

叶正伟<sup>1,2</sup>

(1. 淮阴师范学院 城市与环境学院, 江苏 淮安 223300; 2. 江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室, 江苏 淮安 223300)

**摘要:**利用 1960—2009 年 10 个代表气象站降水资料,采用多方法分析了江苏沿海开发地区的降水特征与趋势。结果表明:年降水量波动频繁,南部较北部略偏多,盐城波动幅最大,南通最小;其年代变化上,南通为持续增加趋势,盐城以 1960s 降水量最多,其后大幅减少,而连云港则总体偏低,且年代际变幅最大。汛期降水量上,沿海北部较南部偏大,波动幅度与年降水量类似;汛期降水年代变化上,南通总体仍呈增加趋势;而盐城则总体减少,以 1970s 最低;连云港以 1980s 为最低值,此前偏高,此后略有增加。2000 年以来的旱涝波动更为频繁,并以涝为主。近 50 a 来南通、盐城的年降水呈较弱的减小趋势,连云港则呈增加趋势,而汛期降水量的变化趋势则与年降水量相反。未来趋势上,南通、盐城、连云港的年降水量仍将分别呈现减少、减少、增加的趋势,汛期降水量也仍将分别表现为增加、增加、减少的趋势。

**关键词:**降水; 旱涝; 趋势分析; 江苏沿海地区

中图分类号: P332.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)01-0176-05

## Precipitation Change and Its Trend in Recent 50 Years in the Coastal Region of Jiangsu Province

YE Zhengwei<sup>1,2</sup>

(1. School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huaiian, Jiangsu 223300, China;

2. Jiangsu Key Laboratory for Eco-Agricultural Biotechnology around Hongze Lake, Huaiian, Jiangsu 223300, China)

**Abstract:** Multiple methods were applied to detect the characteristic of precipitation and its trend in 1960—2009 in the coastal region of Jiangsu Province. Frequent fluctuation can be found in annual precipitation with more rainfall appeared in southern part while less in northern part, and maximum change range occurred in Yancheng while minimum in Nantong. An increasing trend for decadal annual precipitation can be seen in Nantong while Yancheng occurred maximum precipitation in 1980s and it decreased greatly ever since then. Lianyungang was proved to be less decadal precipitation and it had the maximum change range. For precipitation in flood season, it is demonstrated that more precipitation appeared in the northern part while less precipitation in the southern part, but the change range in flood season is similar to that of annual precipitation. However, a continuous increase trend for decadal flood season precipitation can be outlined in Nantong, while minimum precipitation appeared in 1970s and 1980s in Yancheng and Lianyungang, respectively, but the former has a relatively lower decadal precipitation in flood season while the latter has higher value before 1980s and lower value after 1980s. SPI analysis showed that more frequent shift in flood and drought presented in 2000s with more flood dominated implying the effect of the northward advance of the Jianghuai Plum rain belt. A slight decreasing trend can be detected in Nantong and Yancheng for the trend of annual precipitation while increasing trend in Lianyungang, but a reversed trend can be pre-assessed in Nantong, Yancheng and Lianyungang, respectively for precipitation in flood season. R/S analysis reveals that decreasing trend will continue into the near future in Nantong and Yancheng while increasing trend in Lianyungang for annual precipitation, but for precipitation in flood season, increasing trend will continue in Nantong and Yancheng while decreasing trend in Lianyungang.

**Keywords:** precipitation; flood and drought; trend analysis; the coastal region of Jiangsu Province

收稿日期: 2014-04-22

修回日期: 2014-05-18

资助项目: 国家自然科学基金(41471425); 教育部人文社会科学一般项目(10YJC790342); 江苏省教育厅高校哲社科学研究(2011SJB790005); 江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师

第一作者: 叶正伟(1973—), 男, 安徽黄山人, 博士, 副教授, 主要从事水文学气象与自然灾害方面的研究。E-mail: leafyzw@163.com

近百年来,全球气候正经历以变暖为主要特征的显著变化,气候变暖引发极端旱涝事件的增多与加强趋势已成为各国政府和社会各界关注的焦点<sup>[1-3]</sup>。研究表明,2000 年以来江淮梅雨带的位置向北移动了约 2 个纬距,并导致淮河流域的降水增加了 20%<sup>[4]</sup>。而江苏沿海主体上属于淮河流域下游地区,因而其未来降水可能出现更大的波动<sup>[5]</sup>。降水量的多寡是地区与流域旱涝灾害发生的主要因素,并影响区域水资源量的变化。随着“江苏沿海大开发”战略的实施,必将引发快速城镇化发展以及土地利用格局的剧烈变化,导致城镇化过程的负面水文效应凸显。因此,探讨江苏沿海地区降水量特征及变化趋势对沿海大开发战略的实施具有重要意义,可为沿海地区流域生态安全、水资源需求和可持续发展提供重要参考。

## 1 研究区概况

江苏沿海开发地区地处苏北沿海平原,包括南通、盐城、连云港三市所辖全部行政区域,2008 年末总人口 1 964 万人,地区生产总值 4 863 亿元,人均地区生产总值 24 760 元。江苏沿海地区陆域面积 3.25 万 km<sup>2</sup>,海岸线长 954 km,有滩涂 68.73 万 hm<sup>2</sup>,占全国 1/4 左右<sup>[5-8]</sup>。气候上,江苏沿海地区处于北亚热带向南暖温带过渡区域,属海洋性气候,冬季偏干旱,夏季偏湿热,受季风降水及江淮梅雨影响显著,年平均降水量 900~1 500 mm,南部雨量偏多,年平均气温 13~15℃<sup>[5]</sup>。江苏沿海地区耕地资源 165.1 万 hm<sup>2</sup>,地跨徐淮平原区、沿海平原区、沿江平原区和里下河平原区 4 个分区<sup>[7-8]</sup>。沿海地区有自然保护区 5 个,其中国家级自然保护区 2 个,分别为盐城珍禽自然保护区和大丰麋鹿自然保护区。沿海地区的主要自然灾害类型包括旱涝、暴雨、风暴潮、龙卷风、海岸侵蚀、海平面上升等<sup>[9-14]</sup>。

## 2 数据与方法

选取江苏沿海地区 10 个具有长期观测资料的代表水文气象站年、汛期(6—8 月)降水量资料进行分析。10 个站点分别是南通市的南通、吕泗、海安站,盐城市的盐城、东台、建湖、阜宁、射阳站,连云港市的连云港、赣榆站,其中,海安、建湖、阜宁、连云港站的

数据来源于水文年鉴,其余数据来源于国家气象局。为保证序列的一致性,数据时段统一为 1960—2009 年,其中来自水文年鉴的年降水量由月降水转化而来,来自国家气象局的降水分别取年、月值。所有数据皆经一致性检验,个别年份数据有所缺失,采用相邻时段数据拟合插值,以保证序列的完整性。

采用算术平均法分别求得江苏沿海三市的年、汛期降水,距平分析基准期为 1971—2000 年,降水变化趋势分析采用 Mann-Kendall 非参数检验方法<sup>[15-16]</sup>。应用标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)方法分析汛期降水量的旱涝等级变化,该计算方法详见文献<sup>[17]</sup>。同时,采用重标极差  $R/S$  分形分析方法(Rescaled Range Analysis,  $R/S$ )判断降水的未来变化趋势,该方法步骤详见有关文献<sup>[18-19]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 年降水量

从年降水量距平变化上看(图 1),江苏沿海三市的降水量波动性较大,在空间上分布和波动幅度上存在较大差异。沿海南通、盐城、连云港地区近 50 a 的多年平均降水量分别为 1 380.6,1 265.6,1 131.7 mm,表现为沿海南部地区的年降水较北部地区略偏多的特征。年降水变化的极值特征上,南通、盐城、连云港地区近 50 a 最大降水量分别为 1 591.1,1 640.7,1 361.9 mm,最小降水量则分别为 554.0,475.8,502.0 mm,波动幅度分别为 1 037.1,1 164.9,860.0 mm。可见,在降水变化的波动幅度上,盐城最大,连云港次之,南通最小。

而年降水量的年代际变化上(图 2a),江苏沿海地区年降水量的年代际变化上亦有较大差异。近 50 a 来,南通年代际降水量处于持续增加的趋势,2000s 是降水量最高的时代,且各年代际降水量也总体较盐城、连云港偏高;而处于沿海中部地区的盐城则以 1960s 降水量最多,其后大幅减少,在 1980s—1990s 转而增加,至 2000s 又相对偏低;而北部的连云港市,年代际降水量亦总体偏低,这与其 50 a 来降水总体较为偏少是一致的,但在年代变化上,波动幅度最大,最小值为 1980s,此前降水量总体相对偏高,但此后降水出现持续增加。

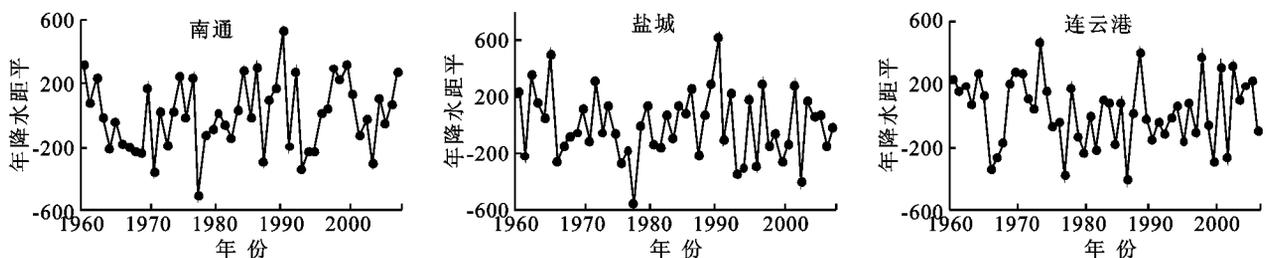


图 1 江苏沿海地区年降水量距平变化

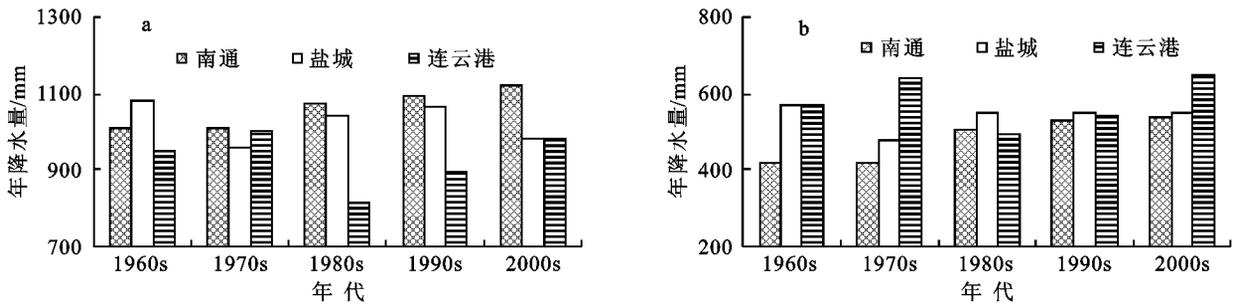


图 2 江苏沿海地区年、汛期降水量的年代际变化

南通、盐城、连云港地区近 50 a 汛期平均降水量分别为 481.8, 538.3, 578.8 mm, 与年降水量相反, 呈现沿海北部地区较南部地区偏大的空间差异。汛期降水量极值上, 南通、盐城、连云港地区的最大值分别为 875.2, 1 162.3, 1 012.1 mm, 以盐城最大, 而南通最小。沿海地区南通、盐城、连云港汛期降水最小值分别为 165.1, 222.4, 259.5 mm, 波动幅度分别为 710.2, 940.0, 752.5 mm, 仍然以盐城最大, 南通最小, 这与年降水量的空间分布特征存在显著的差异。由此可见, 尽管沿海南部地区的南通总体年降水量偏多, 但汛期降水量相对偏少, 且波动幅度亦小, 其早涝风险较小, 而盐城地区汛期降水量存在较大的波动幅

度, 其早涝风险的可能性亦较大。

而汛期降水量的年代际变化上(图 2b), 南通地区汛期降水量仍然总体呈现增加趋势, 2000s 为降水量最高的时代; 而盐城汛期降水量年代际变化上总体趋于减少, 以 1970s 最低; 连云港的汛期降水量存在较大的波动, 与其年降水量的年代际变化特征类似, 1980s 为最低值, 此前偏高, 此后略有增加, 1970s 是其汛期降水量最高的时代。

### 3.2 汛期降水量

与年降水量的多年变化类似, 江苏沿海地区汛期降水量的变化和波动亦十分频繁, 具有较大的离散性特征(图 3), 但汛期多年平均降水量存在较大的差别。

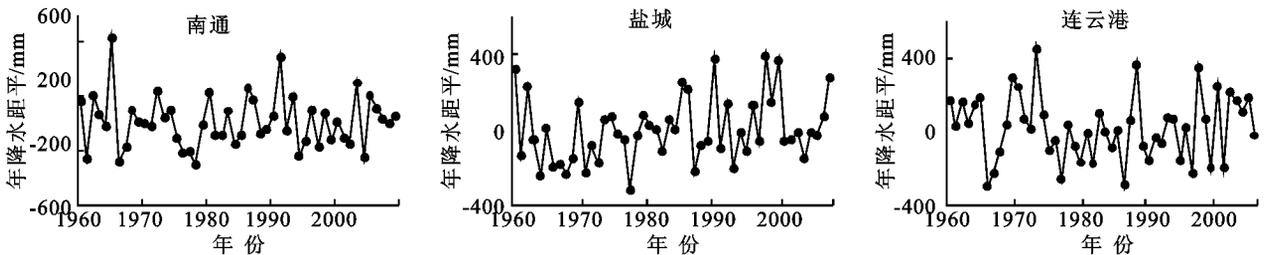


图 3 江苏沿海地区汛期降水量的距平变化

### 3.3 基于降水的 SPI 旱涝等级分析

由于江苏沿海地区地处我国东部季风区, 而我国东部旱涝主要出现在夏季汛期<sup>[2]</sup>。因此, 基于沿海三市汛期降水量, 采用标准化降水指数分析其旱涝等级特征。沿海地区南通、盐城、连云港三市的汛期标准化降水指数分析结果见图 4。由图可见, 沿海地区旱涝指数在时间变化上差异较大, 且不同时代旱涝指数

亦存在较显著的区别。南通 1960s—1970s 间总体以偏旱为主, 1980s 以来以偏涝为主; 盐城 1970s 间以偏旱为主, 而其余年代则旱涝更替频繁; 连云港在 1970s 后期到 1980s 间以偏旱为主, 其余年代则旱涝波动较大, 且 2000s 以涝居多, 这同胡娅敏和丁一汇所指出的 2000 年以来, 我国东部江淮雨带向北推移导致淮河流域降水异常的结论是一致的<sup>[4]</sup>。

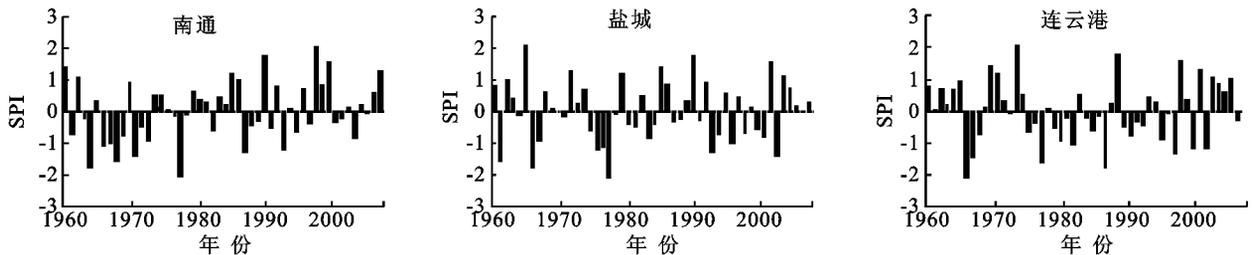


图 4 江苏沿海地区汛期降水的标准化降水指数变化

而从旱涝年份上来看, 参照标准化降水指数 SPI 旱涝等级标准, 当 SPI 绝对值大于等于 1 时, 可判定为中等以上的旱涝, SPI 值正负分别表示涝、

旱<sup>[19]</sup>。由此, 得到沿海地区中等级以上的 SPI 值及旱涝年份, 见表 1。

由表 1 可知, 中等级及以上的涝年在沿海地区不

同时代的分布中差异较大,总体而言,1980s 以来偏涝年较以前居多,且 2000 年以来涝年明显增加。沿海地区 2000 年以来偏涝年频次为 8 a,占中等级以上涝年的 33%以上,尤其连云港 2000 年以来就出现 4 次涝年,显示了洪涝偏多的趋势,也反映了雨带北移的效应<sup>[4]</sup>。而相应的,中等级以上的旱年中,1966 年

出现了沿海地区全范围的旱年,且旱年主要集中在 1980s 以前,频次为 17 a,占中等级以上旱年的 71%,其中,偏南的南通、盐城地区更为明显。而连云港则在各年代中分布较为均匀,其 2000 年以来出现旱年 2 次,结合连云港涝年增加的趋势也表明,其 2000 年以来的旱涝波动更为频发,且以涝为主。

表 1 江苏沿海地区中等级以上旱涝年份及其 SPI 值

地区		旱涝 SPI								
南通	涝	年份	1960	1962	1986	1987	1991	1999	2001	2009
		SPI	1.416	1.0928	1.1869	1.0074	1.7603	2.0624	1.5651	1.293
	旱	年份	1964	1966	1967	1968	1971	1978	1988	1994
		SPI	-1.7603	-1.0928	-1.0074	-1.5651	-1.416	-2.0624	-1.293	-1.1869
盐城	涝	年份	1962	1965	1972	1980	1986	1991	2003	2005
		SPI	1.0074	2.0624	1.293	1.1869	1.416	1.7603	1.5651	1.0928
	旱	年份	1961	1966	1976	1977	1978	1994	1997	2004
		SPI	-1.5651	-1.7603	-1.1869	-1.0928	-2.0624	-1.293	-1.0074	-1.416
连云港	涝	年份	1970	1971	1974	1990	2000	2003	2005	2008
		SPI	1.416	1.1869	2.0624	1.7603	1.5651	1.293	1.0928	1.0074
	旱	年份	1966	1967	1978	1983	1988	1999	2002	2004
		SPI	-2.0624	-1.416	-1.5651	-1.0074	-1.7603	-1.293	-1.1869	-1.1869

### 3.4 降水变化趋势

江苏沿海地区年降水量 Mann-Kendall 非参数单调趋势检验结果显示,南通、盐城、连云港地区年降水的检验统计量值分别为 -0.80, -0.62, 1.00, 年降水变化倾向率分别为 22.288 mm/10 a, -16.386 mm/10 a, -11.429 mm/10 a。这表明,南通、盐城地区近 50 a 的年降水呈较弱的减小趋势,但其统计量值的绝对值小于 1.96,拒绝显著性假设,说明年降水量的减少趋势不显著;而连云港的统计量为 1.00,表明其降水量呈增加趋势,且增加趋势不显著。同样,南通、盐城、连云港地区汛期降水的检验统计量分别为 1.81, 0.03, -0.11, 降水变化倾向率分别为 29.155 mm/10 a, 2.635 mm/10 a, -2.004 mm/10 a, 其与年降水量趋势呈相反的特征,也即,南通、盐城两市的汛期降水量呈不显著的增加趋势,而连云港则呈不显著的减少趋势,且降水倾向率也仅南通偏大。

为分析未来降水变化的可能性,采用重标极差 R/S 分形方法,应用双对数拟合求解其 Hurst 指数  $H$  值,以探讨降水未来变化趋势。Hurst 指数  $H$  具有以下特点<sup>[18-19]</sup>:(1) 当  $H=0.5$  时,表明过去和未来的增量之间不存在任何联系,增量的波动是一个随机过程;(2)  $0.5 < H < 1$  时,增量的变化具有持续性效应, $H$  值越接近 1,持续性效应越强。(3)  $0 < H < 0.5$  时,增量的变化具有反持续性效应, $H$  值越接近零,反持续性效应越强。

通过计算得到江苏沿海地区南通、盐城、连云港年降水量的 Hurst 指数  $H$  值分别为 0.605, 0.564 5,

0.669 9, 汛期降水量 Hurst 指数  $H$  值分别为 0.680 6, 0.522 3, 0.681 5, 所有  $H$  值皆大于 0.5, 表明年、汛期降水量的未来变化趋势与过去降水量变化趋势存在联系,并具有持续性和长程记忆效应,也即未来降水量仍将持续原降水序列的变化趋势。结合 Mann-Kendall 检验的南通、盐城、连云港年降水量分别减少、减少、增加趋势,因此可判定南通、盐城、连云港未来年降水量仍将分别呈现减少、减少、增加的趋势。而类似的,南通、盐城、连云港未来汛期降水量也仍将分别表现为增加、增加、减少的趋势。

## 4 结论

(1) 江苏沿海地区年降水量波动频繁,南部地区较北部略偏多,其波动幅度上,盐城最大,南通最小。年代变化上,南通处于持续增加的趋势,而盐城则以 1960s 降水量最多,其后大幅减少;而连云港总体偏低,且年代际变幅最大。汛期降水量上,沿海北部较南部偏大,波动幅度与年降水量类似。年代变化上,南通总体呈增加趋势;而盐城则总体减少,以 1970s 最低;连云港以 1980s 为最低值,此前偏高,此后略有增加。

(2) 汛期旱涝等级上,南通 1980s 以前以偏旱为主,其后以偏涝为主;盐城 1970s 间以偏旱为主,而其余年代则旱涝更替频繁;而连云港在 1970s 后期到 1980s 间以偏旱为主,且 2000s 以涝居多。中等级以上的涝年中,1980s 以来偏涝年较以前偏多,且 2000 年以来涝年明显增加。中等级以上旱年主要集中在

1980s以前,南通、盐城地区更为明显。总体上,2000年以来的旱涝波动更为频发,且以涝为主。

(3)近50 a变化趋势上,南通、盐城地区的年降水量呈较弱的减小趋势,连云港则呈增加趋势,而汛期降水量的变化趋势则与年降水量相反。而未来变化趋势上,南通、盐城、连云港年降水量仍将分别呈现出减少、减少、增加的趋势,汛期降水量也仍将分别表现为增加、增加、减少的趋势。

#### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis: summary for policy makers [M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [3] 张强,孙鹏,陈喜,等. 1956—2000年中国地表水资源状况: 变化特征、成因及影响[J]. 地理科学, 2011, 31(12): 1430-1436.
- [4] 胡娅敏,丁一汇. 2000年以来江淮梅雨带北移的可能成因分析[J]. 气象, 2009, 35(12): 37-43.
- [5] 单树模,王庭槐,金其铭. 江苏省地理[M]. 南京: 江苏教育出版社, 1986.
- [6] 杨山,潘婧,季增民. 耗散结构视角下连云港港城系统演进机理及规律研究[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 781-787.
- [7] 王千,金晓斌,周寅康. 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5903-5909.
- [8] 周生路,李如海,王黎明. 江苏省农用地资源分等研究

[M]. 南京: 东南大学出版社, 2004.

- [9] 戴亚南,张鹰. 江苏沿海地区海洋灾害类型及其防治探讨[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1417-14201.
- [10] 谭丽荣,陈珂,王军,等. 近20 a来沿海地区风暴潮灾害脆弱性评价[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1111-1117.
- [11] 石勇,许世远,石纯,等. 沿海区域水灾脆弱性及风险的初步分析[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 853-857.
- [12] 张忍顺,陆丽云,王艳红. 江苏海岸侵蚀过程及其趋势[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 469-479.
- [13] 杨桂山,施雅风,季子修,等. 江苏沿海地区的相对海平面上升及其灾害性影响研究[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 88-97.
- [14] 叶正伟,许有鹏,徐金涛. 江苏里下河地区洪涝灾害演变趋势与成灾机理分析[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 880-885.
- [15] Mann H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945, 13(3): 245-259.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [17] Lloyd-Hughes B, Saunders M A. A drought climatology for Europe[J]. Int. J. Climatol., 2002, 22(13): 1571-1592.
- [18] Hurst H E. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. Transactions of the American Society of Civil, 1951, 116: 770-808.
- [19] Mandelbr B B, Wallis J R. Robustness of rescaled range R/S in measurement of noncyclic long run statistical dependence[J]. Water Resources Research, 1969, 5(5): 967-988.

(上接第175页)

- [7] 钱云,郝毓灵. 新疆绿洲[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000.
- [8] 满苏尔·沙比提,阿里木江·卡斯木,帕尔哈提. 渭干河—库车河三角洲绿洲人口动态变化及其带来的问题[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 71-76.
- [9] 臧淑英,梁欣,张思冲. 基于GIS的大庆市土地利用生态风险分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 141-145.
- [10] 许学工,林辉平,付在毅,等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 北京大学学报, 2001, 37(1): 111-120.
- [11] 孙奇奇,宋戈,齐美玲. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 234-238.
- [11] 吴莉,侯西勇,徐新良,等. 山东沿海地区土地利用和景观格局变化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 207-216.
- [13] 吴文婕,石培基,胡巍. 基于土地利用/覆被变化的绿洲城市土地生态风险综合评价: 以甘州区为例[J]. 干旱

区研究, 2012, 29(1): 122-128.

- [14] 高宾,李小玉,李志刚,等. 基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3441-3450.
- [15] 王介勇,赵庚星,杜春先. 基于景观空间结构信息的区域生态脆弱性分析[J]. 干旱区研究, 2005, 22(3): 317-321.
- [16] 巫丽芸,黄义雄. 东山岛景观生态风险评价[J]. 干旱区研究, 2005, 24(1): 35-42.
- [17] 李晓燕,张树文. 基于景观结构的吉林西部生态安全动态分析[J]. 干旱区研究, 2005, 2(1): 57-62.
- [18] 黄海,刘长城,陈春. 基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 193-201.
- [19] 杨春红,张正栋,田楠楠,等. 基于P-R-S模型的汕头市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 209-214.