

# 西宁市降水量特征及变化趋势分析

王颖华, 张鑫

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**降水是西宁市水资源的主要来源,研究其时间序列的变化规律对其水资源的合理开发利用有重要的作用。选取西宁市西宁站、大通站、湟中站和湟源站 4 个气象站 1960—2005 年逐日降水资料,利用滑动平均值法、线性倾向率法和 M-K 秩次相关法探究了西宁市降水量变化特征与突变点,并建立均生函数模型,对未来降水量的变化趋势进行了预测。结果表明:西宁市降水量年内分配不均匀,主要集中在 5—9 月份,占全年降水量的 80% 左右;降水量年际变化不明显,4 个站年降水量  $C_v$  值均为 0.15~0.20;降水量的丰枯变化存在明显的年代际变化;全市降水量变化趋势均未达到 90% 显著性水平。从全年趋势统计来看,只有西宁站降水达到了 99% 的置信水平,并且全年降水量微有增加趋势,年降水量未发生突变点,未来 10 a 全市降水量呈增加趋势。

**关键词:**降水量;变化趋势;突变;西宁市

中图分类号:P426.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0156-05

## Analysis on the Characteristic and Change Trend of Precipitation in Xi'ning City

WANG Ying-hua, ZHANG Xin

(College of Water Resources and Architecture Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Precipitation is the main source of water resources in Xi'ning City and study on the time series variation plays an important role in the rational development and utilization of their water resources. This paper selects 1960—2005 daily precipitation data of weather stations including Xi'ning station, Datong Station, Huangzhong station and Huangyuan station by using moving average value, linear trend rate law and M-K rank correlation method to explore the characteristics of Xi'ning City mutation of precipitation, and the future trend of precipitation was predicted by means of generating function model. The results showed that in Xi'ning City, uneven distribution of rainfall during the years, mainly occurs from May to September, which accounted for about 80% of annual precipitation; annual precipitation did not change significantly and  $C_v$  values of the annual precipitation of 4 stations were between 0.15~0.20; precipitation abundant dry change exists obvious age border change; the changes in rainfall trend all did not reach 90%, 95% and 99% significant level. Looking at the statistics from the annual trend, only Xi'ning station's rainfall remarkably reached to 99% of the confidence level and annual precipitation slightly increased; annual precipitation did not mutate; precipitation will increase in the coming ten years.

**Key words:** precipitation; change trend; mutation; Xi'ning City

研究区域降水量变化规律,可为降水和水资源的长期预测提供依据,同时也有利于研究气候变化和人类活动对水循环的影响。关于降水量特征和变化趋势的研究国内学者已经取得了很大的进展。这些研究结果表明,20 世纪我国西北地区降水量处于下降趋势,后期中西部降水量有明显的增多趋势,东部降

水量持续偏少,干旱连年发生,西北地区东部和西部降水量的年代际变化有相反的趋势<sup>[1-2]</sup>。青海省年降水量呈微增长的趋势,夏季降水增加幅度大,秋季降水量增长幅度小,在昆仑山、巴颜喀拉山、达板山以北,阿尼玛卿山、日月山以西的地区呈增加的趋势,且以柴达木盆地增幅较大,以东的黄河流域降水略有减

收稿日期:2010-11-19

修回日期:2011-04-04

资助项目:国家“863”计划项目(14110209);“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD11B05);西北农林科技大学博士科研启动基金(01140504);西北农林科技大学科研专项(08080230)

作者简介:王颖华(1987—),女,内蒙古呼和浩特人,在读硕士,主要从事水文水资源研究。E-mail:wyhmario@163.com

通信作者:张鑫(1968—),男,河南浙川人,副教授,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail:zhxin@nwsuaf.edu.cn

少,以南的长江流域变化趋势不明显<sup>[3-4]</sup>。通过对祁连山地区年总降水量进行经验正交展开(EOF)和旋转经验正交展开(REOF)研究其异常的空间结构及其演变规律,结果表明年降水异常在空间上主要表现为整体一致的变化特点,其次表现为东西相反的趋势<sup>[5]</sup>。

西宁市是青海省的政治经济文化中心,也是水资源供需矛盾比较突出的地区之一。研究西宁市降水量变化规律,对全市水资源的可持续利用和沿河经济的快速发展具有决定性的作用。为此,本文运用滑动平均值、线性倾向率和 Mann-Kendall 非参数统计法对比分析西宁市降水量特征及其变化趋势,为西宁市未来水资源的合理利用和管理奠定基础。

## 1 西宁市自然地理条件

西宁市属青藏高原东部边缘,黄河支流湟水上游,东经 101°49'17",北纬 36°34'13"。本区地势西北高,东南高,呈现“四山夹三河”的形势分布,即冷龙岭—大通河—大坂山—湟水—拉鸡(脊)山—黄河谷地—黄河南诸山脉。全市总面积是 7 665 km<sup>2</sup>,市区面积是 350 km<sup>2</sup>,建成面积是 75 km<sup>2</sup>,海拔 2 261 m,年平均降水量 380 mm,蒸发量 1 363.6 mm,年平均日照时数为 1 939.7 h,年平均气温 7.6℃,最高气温 34.6℃,最低气温 -18.9℃,属大陆高原干旱气候。夏季平均气温是 17~19℃,气候宜人,是消夏避暑胜地,有“中国夏都”之称。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 资料来源

本文数据来自西宁市西宁站、大通站、湟中站和湟源站 4 个气象站 1960—2005 年的逐日降水资料。为了分析方便,将一年划分为四季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至次年 2 月是冬季,将整个降水量时间序列划分为 5 个时段,即 60 年代、70 年代、80 年代、90 年代和 2000 年以后(2000—2005 年),采用泰森多边形法计算西宁市的降水量,在此基础上分析降水量随时间的变化规律。

### 2.2 研究方法

2.2.1 滑动平均值法 一般地,设滑动计算时段的年数为  $m$  ( $m$  为奇数),则对于一个有  $n$  年数据 ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 的系列有:

$$x_{j,m} = \frac{1}{m} \sum_{k=j}^{j+m-1} x_k \quad (1)$$

$x_k$ ——实测值; $x_{j,m}$ ——第  $j$  个  $m$  年滑动平均值,  $j=1, 2, \dots, n-(m-1)/2$ 。

2.2.2 线性倾向率法 以时间  $t$  为自变量,气象要素为因变量,建立气象要素关于时间的一元线性回归

方程:

$$y(t) = b_0 + b_1 t \quad (2)$$

$$b_1 = dy(t)/dt \quad (3)$$

式中: $b_1$ ——趋势变化率或气象要素的变化倾向率,当  $b_1 > 0$  时气象要素呈上升趋势,当  $b_1 < 0$  时气象要素呈下降趋势,其绝对值越大则变化趋势越明显。

2.2.3 Mann-Kendall 秩次相关法 在 Mann-Kendall 检验中,假设  $H_0$  为时间序列数据  $(X_1, \dots, X_n)$ ,假设  $H_1$  是双边检验,对于所有的  $k, j \leq n$  且  $k \neq j$ ,  $X_k$  和  $X_j$  的分布是不相同的,检验的统计变量  $S$  计算公式为

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (4)$$

$$\text{其中, } \text{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} +1 & (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & (X_j - X_k) < 0 \end{cases}$$

当  $n > 10$  时,标准的正态统计变量公式为

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

这样,在给定的置信水平上,如果  $Z$  的绝对值大于  $Z_{\frac{\alpha}{2}}$  时原假设是不可接受的。对于统计变量  $Z > 0$  时,上升趋势; $Z < 0$  时,下降趋势。 $|Z|$  大于等于 1.28, 1.64, 2.32 时,分别表示通过了置信度 90%, 95% 和 99% 的显著性检验。

当 Mann-Kendall 检验进一步用于检验序列突变时,检验统计量与上述  $Z$  有所不同。

定义统计变量:

$$UF_k = \frac{|S_k - E(S_k)|}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中: $E(S_k) = k(k+1)/4$ ;  $\text{var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72$

若  $|UF_k| > UF_{\alpha/2}$ , 则表明序列存在明显的趋势变化。将时间序列  $X$  按逆序排列,再按照上式计算,同时使

$$\begin{cases} UB_k = -UF_k \\ k = n+1-k \end{cases} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

当曲线  $UF_k$  超过置信线时,如果  $UF_k$  和  $UB_k$  这两条曲线出现交点,且交点在临界直线之间,那么交点对应的时刻就是突变开始的时刻。

### 2.2.4 均生函数模型

设时间序列  $x(t) = \{x(1) \ x(2) \ \dots \ x(n)\}$

式中: $n$ ——样本容量。定义均生函数:

$$\bar{x}_l(i) = \frac{1}{n_l} \sum_{j=1}^{n_l-1} x(i+jl) \quad (8)$$

式中:  $i=1, 2, \dots, l, l=1, 2, \dots, m, n_l = \text{int}(n/l), m = \text{int}(n/2); m$ ——最大周期长度。

对  $\bar{x}_l(i)$  作循环性外推, 构成均生函数周期性外延序列:

$$f_l(t) = \bar{x}_l[t - \text{int}(\frac{t-1}{l})] \quad (9)$$

式中:  $t=1, 2, \dots, n+q; q$ ——预测步长, 从而得到  $M$  个  $n+q$  长度的周期函数序列, 将这些序列作为预报因子, 原始数据作为自变量, 通常采用逐步回归的方法建立回归方程:

$$\hat{x}(n+q) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i f_i(n+q) \quad (10)$$

利用上式可以预测  $q$  年序列值。

### 3 结果与分析

#### 3.1 年降水量变化特征分析

3.1.1 降水量年内分配 表1表明西宁市多年平均年降水量是478 mm, 全年降水量分配不均。降水量主要集中在5—9月, 占全年降水量的82%; 多年连

续最大4个月降水量占71%; 最大月(7月)降水量占20%, 最小月(12月)则不到1%对全年降水量贡献不大。春季(3月、4月)和秋季(10月、11月)降水量贡献较小, 占15%; 冬季(1月、2月、12月)降水量贡献最少占0~3%, 其中湟源地区冬季基本上无降水, 对全年降水量的贡献基本忽略不计。

3.1.2 降水量年际和年代际变化 西宁市年降水量  $C_v$  值是0.15, 极值比是2.01。4个代表站年降水量  $C_v$  值为0.15~0.20, 且相差不大。其中偏离程度最大的是西宁站, 最小的是大通站; 全市降水量出现的最大年份4个代表站都是1967年, 全市极值比范围为2.01~2.76(表2)。全市极值比偏小表明全市降水量变幅较小; 此外, 随着多年平均年降水量的增加,  $C_v$  值和极值比基本上均呈减少趋势, 表明降水量年际变幅小。综上分析表明西宁市降水量年际变化不强烈。由表3可看出, 60年代后期降水量减少, 60年代降水量减少最明显, 平均为-8%; 70年代变化最小, 平均为-1.3%; 80, 90年代距平相对增加, 2000年以后又开始减少。综上分析表明西宁地区降水量总体变化趋势是减少。

表1 西宁市代表站降水量年内分配

站点	项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
西宁站	降水量/mm	1.2	1.9	6.9	20.7	47.5	57.2	82.7	77.6	57.2	22.3	3.7	1.3	380.1
	百分比/%	0	1	2	5	12	15	22	20	15	6	1	0	100
大通站	降水量/mm	2.1	3.6	13.8	29.8	64.6	74.2	102.6	106.7	79.4	30.5	5.9	1.8	515.1
	百分比/%	0	1	3	6	13	14	20	21	15	6	1	0	100
湟中站	降水量/mm	1.2	2.0	7.5	18.6	41.5	48.8	69.0	68.2	50.6	19.6	3.5	1.1	331.8
	百分比/%	1	1	2	6	13	15	20	20	14	6	2	1	100
湟源站	降水量/mm	0.9	1.8	6.8	19.3	49.4	64.9	86.9	90.5	58.5	23.8	5.5	1.0	409.2
	百分比/%	0	0	2	5	12	16	21	22	14	6	1	0	100
西宁市	降水量/mm	1.9	3.3	11.3	26.6	59.7	70.9	97.1	99.8	71.5	28.6	6	1.7	478.2
	百分比/%	0	1	2	6	12	15	20	21	15	6	1	0	100

表2 西宁市代表站1960—2005年降水量极值统计

站名	多年平均 降水量/mm	$C_v$	最大年		最小年		极值比
			年份	降水量/mm	年份	降水量/mm	
西宁站	380.1	0.20	1967	541.2	1966	196.4	2.76
大通站	515.1	0.15	1967	695.1	1962	330.2	2.11
湟中站	531.8	0.18	1967	801.9	1966	350.8	2.29
湟源站	409.2	0.19	1967	614.4	1966	252.5	2.43
西宁市	478.2	0.15	1967	677.0	1991	336.5	2.01

表3 西宁市代表站不同年代降水量统计

站名	60年代		70年代		80年代		90年代		2000—2005年	
	均值/mm	距平/%	均值/mm	距平/%	均值/mm	距平/%	均值/mm	距平/%	均值/mm	距平/%
西宁站	361.4	-10.6	377.3	-1.7	363.3	-3.6	388.6	-3.0	430.0	-2.2
大通站	506.1	-5.0	517.8	-0.9	529.0	-2.3	509.1	-1.4	512.8	-1.6
湟中站	515.2	-7.4	545.2	-2.0	544.5	-1.4	537.2	-3.3	506.8	-1.2
湟源站	420.9	-6.1	399.5	-1.2	427.0	-3.9	409.4	-3.3	376.0	-2.2
西宁市	472.9	-4.9	478.8	-1.1	490.5	-2.3	476.7	-1.9	468.3	-0.9

3.1.3 降水量丰枯变化 图 1 表明,西宁站降水量曲线较其余三个代表站波动大些,各代表站变化趋势基本一致,其中 1966—1975 年曲线呈波动下降趋势,处于枯水期;1978—1988 年西宁站和大通站处于枯水期,湟中和湟源站为丰水期;1990—1999 年曲线缓慢增长处于丰水期;2000 年以后西宁、大通站曲线呈上升趋势,处于丰水期,湟中、湟源站则下降,处于枯水期;全市的降水量丰枯变化趋势与大通站接近。

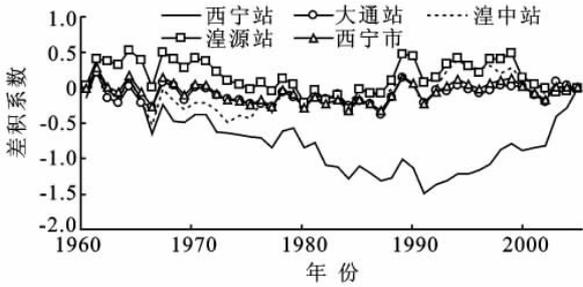


图 1 西宁市差积曲线

3.2 降水量变化趋势分析

应用 Mann-Kendall 秩次相关法计算西宁市 4 个代表站及全市统计量检验值见表 4。全年 4 个代表站检验值  $Z_c$  均大于零,其中西宁站降水量十分显著通过了 99% 的置信水平,其余 3 个站趋势不显著未通过 90%,95% 和 99% 置信水平,全市降水量增长不明显;春季大通站降水通过了 90% 的显著性检验,全市降水量增长趋势不明显;夏季西宁站通过了 95% 的显著性检验,湟源站降水量有减少趋势,全市夏季降水增长不明显;秋季只有西宁站降水量略有增加,其余 3 个站降水量呈减少趋势,全市降水量减少;冬季西宁站和湟源站降水量呈增长趋势且均通过了 95% 的显著性水平,湟中站降水也有增加趋势,大通站降水呈减少趋势,全市降水量呈增加趋势。

表 4 西宁市代表站 Mann-Kendall 检验值

时间	西宁站	大通站	湟中站	湟源站	西宁市
全年	2.2723***	0.3882	0.5776	0.1326	0.587
春季	0.7764	1.3255*	0.3503	0.7953	1.0604
夏季	1.9031**	0.3124	0.7480	-0.2083	0.4545
秋季	0.3030	-0.5776	-0.8616	-0.8521	-0.5492
冬季	1.6569**	-0.1042	1.2592	1.9694**	0.8900

注:\*,\*\*,\*\*\* 分别代表通过 90%,95%,99% 的置信水平。

上述运用 Mann-Kendall 方法不能全面说明西宁市季和年降水变化趋势,下面将结合滑动平均值曲线图和线性倾向率值进行对比得出综合性的结论。

由图 2 分析表明:全市线性倾向率是 1.8 mm/10 a,结合表 4,降水量微有增加趋势。从 11 a 滑动平均值过程线图 2(e) 分析,全市降水 1972 年前降水小于平均值,之后大于平均值,总体来看降水量有增加趋势。以上分析也可结合降水距平,两种方法分析结果

一致;春季、夏季和冬季降水量增加,秋季降水量减少。

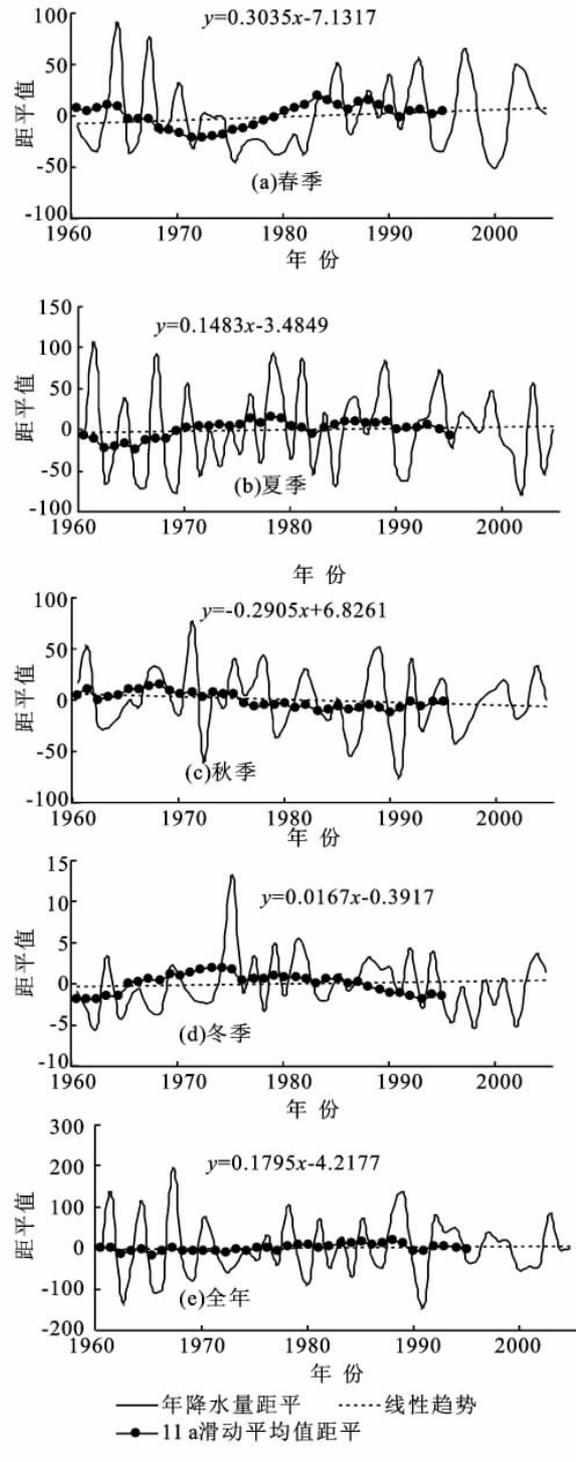


图 2 西宁市四季及全年降水趋势

3.3 降水量突变分析

采用 Mann-Kendall 突变性检验法对西宁市年降雨量突变特性进行分析并绘制 UF 和 UB 曲线,结果见图 3 所示。取置信度  $\alpha=0.05$ ,虽然两条线之间也有一些交点,但是 UF 没有超过置信度线,说明在 0.05 的显著性水平下,西宁市年降水量增长不显著,未发生突变。

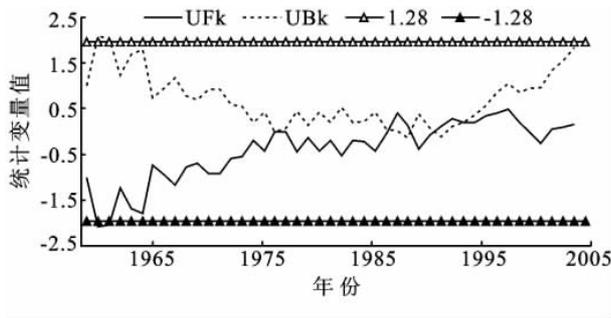


图 3 西宁市降水量突变分析

### 3.4 未来 10 a 降水量变化趋势预测

建立均生函数<sup>[6-7]</sup>模型对西宁市 2006—2015 年 10 a 年降水量进行预测。预测结果如图 4 所示。结果表明未来 10 a 西宁市地区降水量呈缓慢增长趋势。

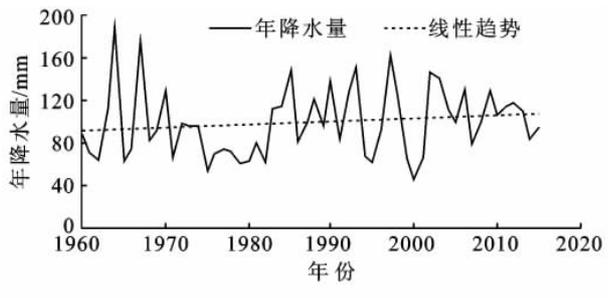


图 4 西宁市降水量预测变化趋势

## 4 结论

西宁市多年平均降水量年内分配不均,降水量主要集中在 5—9 月;降水量最大月是 7 月,最小月为 12 月。全市降水量年际变化不强烈,46 a 来降水量有减少的趋势。全市降水丰枯变化基本上是 60 年代处于

枯水期,70,80 年代湟中、湟源地区开始变为丰水期,而大通、西宁仍是枯水期,90 年代开始后全市都进入了丰水期,但是 2000 年以后湟中湟源地区变为了枯水期,大通西宁地区仍是丰水期。这种空间上的降水量分布不均主要还是由于西宁市的下垫面、气候等条件因自然或人为活动发生变化,影响了降水量在时间上分布不同的缘故。将参数检验和非参数检验法结合分析,综合得到全市春季降水变化相比其它季节变化明显,且呈上升趋势,秋季降水量呈下降趋势,冬季降水量略有下降趋势,全年降水量有增加趋势,但是不显著;年降水量增长趋势不明显,未发生突变;2006—2015 年未来十年西宁市年降水量呈上升趋势。

### 参考文献:

- [1] 陈冬冬,戴永久.近五十年我国西北地区降水强度变化特征[J].大气科学,2009,33(5):923-935.
- [2] 宋连春,张存杰.20 世纪西北地区降水量变化特征[J].冰川冻土,2003,25(2):143-149.
- [3] 朱元福,田辉春.青海省共和地区近 50 年气候变化特征分析[J].安徽农业科学,2008,36(21):9189-9191.
- [4] 燕华云,贾绍凤.近 50 a 来青海水文要素变化特征分析[J].冰川冻土,2003,25(2):193-199.
- [5] 张晓明,魏锋,陆燕,祁连山近 45 年降水异常的气候特征[J].干旱气象,2006,24(3):35-42.
- [6] 魏凤英,曹鸿兴.长期预测的数学模型及其应用[M].北京:气象出版社,1990:1-12.
- [7] 汤成友,官学文,张世明.现代中长期水文预报方法及其应用[M].北京:中国水利水电出版社,2008.

(上接第 155 页)

- [2] 郑景明,马克平.植物群落多样性与可入侵性关系研究进展[J].应用生态学报,2006,17(7):1338-1343.
- [3] 于法展,尤海梅,李保杰,等.苏北地区代表性森林土壤理化特性的比较研究[J].地理与地理信息科学,2007,23(2):87-90.
- [4] 阎传海.徐州连云港地区城镇绿化策略研究[J].海南师范学院学报:自然科学版,2002,15(3):47-49.
- [5] 阎传海.苏北低山丘陵森林植被多样性研究[J].山地研究,1997,15(3):157-161.
- [6] 李慧蓉.生物多样性和生态系统功能研究综述[J].生态学杂志,2004,23(3):109-114.
- [7] 冯耀宗.物种多样性与人工生态系统稳定性探讨[J].应用生态学报,2003,14(6):853-857.
- [8] 刘鸿雁,黄建国.缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J].应用生态学报,2005,16(11):2041-2046.
- [9] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [10] 李双喜,朱建军,张银龙.人工马褂木林下草本植物物种多样性与林分郁闭度的关系[J].生态与农村环境学报,2009,25(2):20-24.
- [11] 江小雷,张卫国,严林,等.植物群落物种多样性对生态系统生产力的影响[J].草业学报,2004,13(6):8-13.