

中国北方荒漠区近 50 年降水变化特征分析

徐利岗^{1,3}, 周宏飞^{2,3}, 汤 英^{1,3}

(1. 石河子大学, 新疆 石河子 832000; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;
3. 中国科学院阜康荒漠生态系统观测试验站, 新疆 阜康 831505)

摘 要: 运用水文序列轮次分析理论、极差理论、随机水文理论, 对奇台、和田、酒泉、鄂托克旗、银川等站点 1955~2002 计 48 年降水资料进行分析, 剖析我国北方荒漠区降水的丰枯周期、干旱历时、缺水量的变化特征及其变化规律。结果表明: 河西地区及内蒙古高原降水波动平稳, 丰枯程度不剧烈, 周期也相对稳定; 新疆南部降水丰枯波动大, 历时长, 周期较大。各地平均缺水量占多年平均降水量的 16.7%~33.2%, 发生干旱的概率可达 52%~61%, 干旱历时期望值为 2~3 年。

关键词: 北方荒漠区; 降水; 轮次及极差分析; 随机水文

中图分类号: S165.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0023-06

我国的北方荒漠区主要位于西北内陆河流域、黄河流域及内蒙古高原的温带干旱、半干旱地区^[1]。面积约占全国面积的 1/3。分布有 4 大沙漠(塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴旦吉林沙漠和腾格里沙漠)和 4 大沙地(毛乌素沙地、浑善达克沙地、科尔沁沙地和呼伦贝尔沙地)^[2], 荒漠化严重, 生态条件极为脆弱。高山、高原、丘陵、冲积平原、草原等地面景观分布其间。降水量 50~500 mm, 时空分布极不均匀。随着全球显著变暖、人类活动的影响及水循环的加快, 北方荒漠区的降水规律和趋势也在发生着变化。新疆极端降水事件在 80 年代以后显著增多^[3]、降水量明显增加^[4]; 河西地区降水增多, 气候趋于暖湿^[5] 关中地区不仅容易出现干旱, 而且也易出现异常的连续干旱年^[6]。祁连山区地形对降水影响较大且周期较为复杂^[7]。黄河流域上游地区降水有减少趋势^[8]; 西北东部大部分地区降水量持续减少, 干旱、连旱趋势增加^[9]。王绍武等认为近 50 年是 400 年以来中国西部年降水量最丰沛的时期^[10]; 中国北方有从干旱到湿润转型的迹象^[11]; 同时, 也有学者预测东北科尔沁沙地及其周围地区 2000~2010 年降水将会减少、气温下降, 呈现冷干化的趋势^[12], 而浑善达克沙地地区则呈暖干化趋势^[13]。降水的丰枯变化、极端事件的发生以及区域气候环境的演变逐渐为人们所重视。目前, 对于小范围地区的降水变化已有较深入的了解, 但对于更大尺度下的研究却相对匮乏, 一些新兴的理论相继提出, 但有些却未应用于具体分析之中。

本文采用奇台、和田、酒泉、鄂托克旗、银川及赤峰 1955~2002 年的月降水资料, 运用水文序列轮次分析理论、极差理论、随机水文理论, 分析我国北部荒漠区降水的变化特征。对大尺度区域下降水变化规律做出有益的探讨, 为脆弱的北方荒漠区生态系统的维系与重建及区域水资源合理开发利用提供相关的科学依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

在研究区内的国家基准站和基本观测站中, 按照区域代表性、降水代表性和资料序列的长期可比性等原则, 选取位于新疆塔克拉玛干沙漠西南边缘的和田; 新疆准格尔盆地南缘古尔班通古特东南部的奇台; 巴丹吉林沙漠西侧、河西走廊西端的酒泉; 腾格里沙漠东侧的银川; 毛乌素沙地北缘的鄂托克旗站及科尔沁沙地西部的赤峰, 六个典型站 1955~2002 年计 48 年的月降水资料。资料来源于国家气象数据网: <http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>。

1.2 研究方法

1) 轮次分析。考虑水文序列 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 和一固定的切割水平 x_0 , 当 X_t 在一个时段内或多个时段内依次小于数值 x_0 , 则出现 X_t 负轮次; 类似地, 当 X_t 依次大于数值 x_0 , 就出现正轮次。一个轮次的特征用其长度及总和描述。对于固定长度的水文序列, 确定了切割水平 x_0 后就会得到若干个轮次。这些轮次组成一个序列叫轮次序列。假定有 M 个轮

收稿日期: 2007-09-07

基金项目: 中国科学院知识创新项目“北方沙漠化带典型生态系统植物水分关系及植被恢复”

作者简介: 徐利岗(1981—), 男, 宁夏人, 硕士, 主要从事水资源调控管理及相关研究。E-mail: xlg9120@163.com.

次,即 $l(1), l(2), \dots, l(M)$; 同样就有 M 个轮次和与之相对应,即 $d(1), d(2), \dots, d(M)$ 。其中,负轮长、负轮和及平均负轮分别表征了干旱持续时间、干旱期缺水总量和干旱期平均缺水量,最大负轮和是水文干旱期最大缺水量^[14]。轮次序列具有下列统计特性:

轮次长平均值

$$I_n = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M l(j) \tag{1}$$

轮次和标准差

$$S_n(d) = \left[\frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (d(j) - \bar{d}_n)^2 \right]^{1/2} \tag{2}$$

若有独立同分布序列 $X_1, X_2, \dots, X_n$, 令 $q = F(x_0) = P(X < x_0)$, $p = 1 - q$ 。则独立水文序列的各项特征参数有:

数学期望,

$$E(l) = \sum_{i=1}^{\infty} l p q^{l-1} = \frac{1}{p} \tag{3}$$

标准差

$$D(l) = E(l^2) - [E(l)]^2 = \frac{q}{p^2} \quad \text{即} \quad S(l) = \frac{\sqrt{q}}{p} \tag{4}$$

式中, X_t 为 t 时刻的观测值(径流量), X_{t+k} 为 $t+k$ 时刻的观测值; n 为样本容量; k 为滞时($k = 1, 2, \dots, m$), 当 $n > 50$ 时, 可取 $m < n/4$, m 常取 $n/10$ 左右值^[1]。

由于随机抽样的波动, 所以估计总存在误差。常用统一的较简单的式子估计 r_k 的容许限。一般选择显著性水平 α 为 5% (容许限水平为 $1 - \alpha = 95\%$) 则有下式:

$$r_k (\alpha = 5\%) = \frac{-1 \pm 1.96 \sqrt{n-k-1}}{n-k} \tag{9}$$

当自相关系数均在容许限内时, 根据假设性检验原理可接受水文序列独立这一假设。反之, 则认为水文序列是相依的。

2 结果与分析

2.1 周期分析

采用年降水量模比系数过程线法验证得资料一致性较好; 滑动平均值过程线法分析各典型站降水系列的周期性(图 1), 累积平均值过程线法分析了

2) 极差分析理论。Hurst 系数在水文序列分析中占有十分重要的地位, 它是随机水文序列是否具有持续性的显著性指标。当给定一个随机序列 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 按下式进行整理, 就可组成一个新序列。

$$S_i = S_{i-1} + X_i - \bar{X}_N \quad (i = 1, 2, \dots, N) \tag{5}$$

式中, S_i 为部分和($S_0 = 0$); $\bar{X}_N$ 为序列的平均值。

Hurst 系数 K 计算如下:

$$R'_N = S_N^+ + |S_N^-|; \quad R_N = \frac{R'_N}{V_N} \tag{6}$$

$$V_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_N)^2}{N-1}}; \quad R_N = \left(\frac{N}{2}\right)^K \tag{7}$$

式中, R'_N 为相对极差; S_N^+ 为正值部分和的总和; S_N^- 为负值部分和的总和; V_N 为序列的标准差; R_N 为序列的极差; K 为赫斯特系数。

3) 随机成分判定。随机水文序列可以看成由确定性非周期成分、确定性周期成分、随机成分三部分组成。随机成分一般由相依和独立两部分组成, 而对于不同的序列其随机成分组成也不相同, 因此, 须对实测年降雨序列进行自相关分析判定降雨系列是否独立。自相关系数 r_k 可由下式计算:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} X_t X_{t+k} - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{t=1}^{n-k} X_t \right) \left(\sum_{t=1}^{n-k} X_{t+k} \right)}{\left[\sum_{t=1}^{n-k} X_t^2 - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{t=1}^{n-k} X_t \right)^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{t=1}^{n-k} X_{t+k}^2 - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{t=1}^{n-k} X_{t+k} \right)^2 \right]^{1/2}} \tag{8}$$

样本的代表期, 可知资料的代表性较好。

三年滑动平均值过程线修匀了各时段中间年份的降水值, 从而使系列周期更为明显, 丰枯程度及持续时长更为直观。从图 1(a~f) 分析可得: 奇台站多年平均降雨量为 186.0 mm 自 1957~1970 年丰枯年份交替出现, 近似认为是第一周期, 约为 14 年。但自 1973 年即进入极限干旱期, 历时达 11 年直至 1984 年丰水年的出现。八十年代中后期至今基本均为丰水年。和田站年均降雨量仅为 36.7 mm, 属于极端干旱区。由滑动平均曲线可以看出自 1955 年到 1970 年降雨波动都不大, 基本保持在多年均值附近。自 1971 年以来波动趋势较为明显, 如 1985 年极小值仅为 3.4 mm, 而 1987 年出现极大值为 100.9 mm, 极值比为 29 是当地历史罕见的。酒泉站滑动平均曲线较为平稳, 系列各年份降雨距平值都不大, 在统计的 48 年里仅在 1978~1986 年时段出现了相对显著的波动。其他时段丰枯程度相当。鄂托克旗站多年均降雨为 267 mm 属于半干旱地区, 其周期较短且明显如: 1955~1963, 1963~1971,

1971~1980 等时段均出现规律的丰枯水期,故认为其周期近似为 8~9 年。自九十年代以来降水变化更为平稳。银川站年降雨 1955~1985 这 30 年间波动相对较大,极值比为 3.6。进入八十年代后期波动趋势渐弱,最小降雨量出现在 1993 年为 123.4

mm,最大值 2002 年为 303.6 mm,极值比减小为 2.1。赤峰站多年均降雨量为 369.3 mm。与银川站相似,1980 年以前年降雨波动较小,而八十年代中后期波动较之以前有所增强,丰枯程度、历时、周期均明显增大。

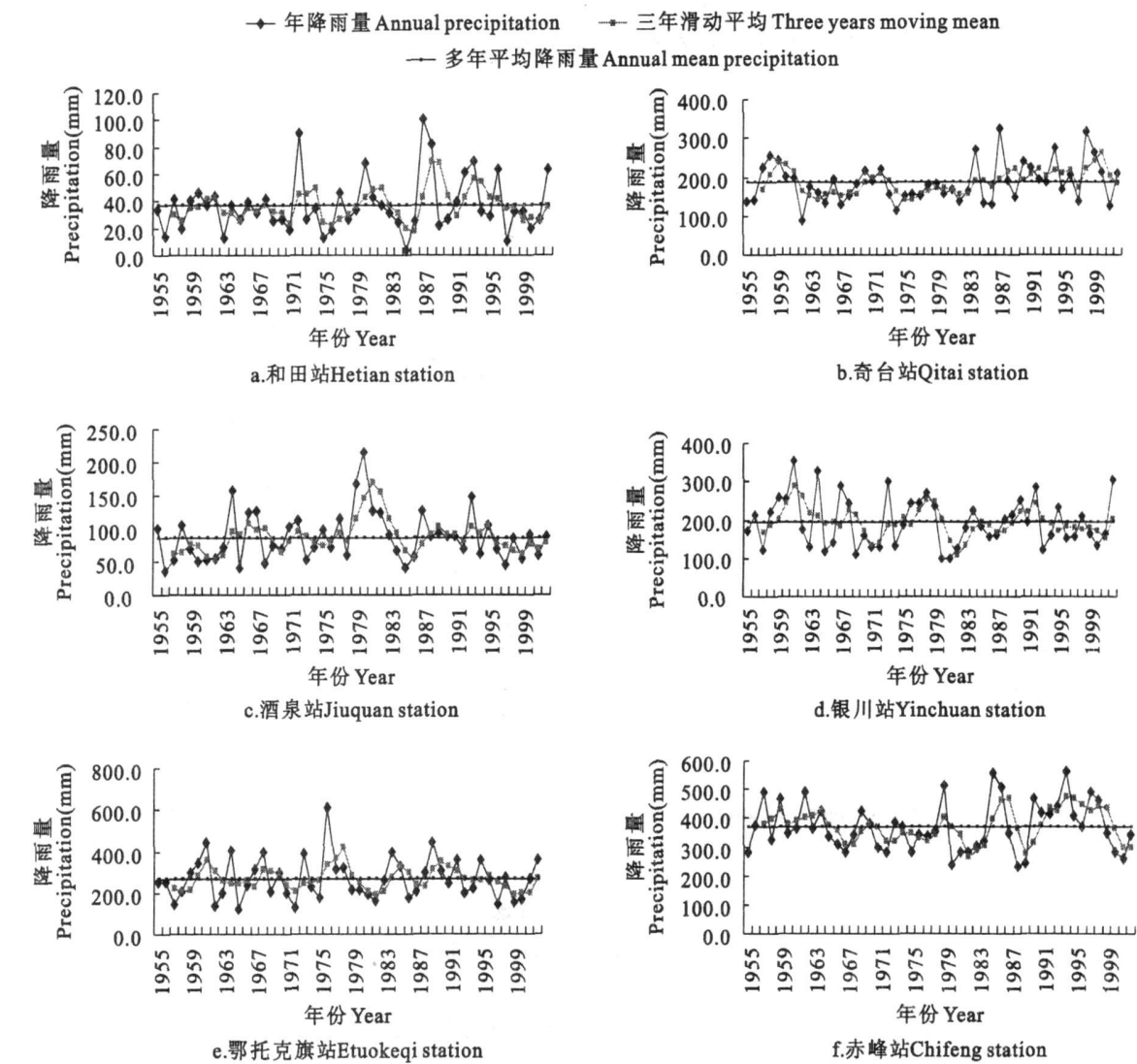


图 1 降水 3 年滑动平均值过程线

Fig. 1 Three moving-mean polyline of precipitation

综上,据滑动平均过程线,统计期内,河西地区、内蒙古高原波动最为平稳,丰枯程度不剧烈,周期也相对稳定。发生特别严重或罕见灾情的概率较小。新疆南部及河套地区波动相对较大年降雨极值比大,丰枯程度严重,历时较长,周期相应变大。究其原因,可能是由地理纬度、地形地貌、区域气候、下垫面条件等因素的不同造成的。

2.2 轮次及极差分析

据式(8)、(9),分别计算出年降水系列的自相关

系数及其上下限,并将其绘于同一图内(图 2)。

由奇台、和田、酒泉、鄂托克旗、银川及赤峰六个沙漠测站年降雨系列的自相关图可以看出,各站年降雨序列自相关系数均处于允许限内,根据假设性检验原理可接受降雨序列独立这一假设。在对各站年降雨系列分析时,按照独立系列的性质进行。运用轮次分析及极差分析理论对各站年降雨系列进行轮次分析及极差分析,得到各特征参数见表 1(表中 P_i 为实测年降水量; P 为多年平均降水量)。

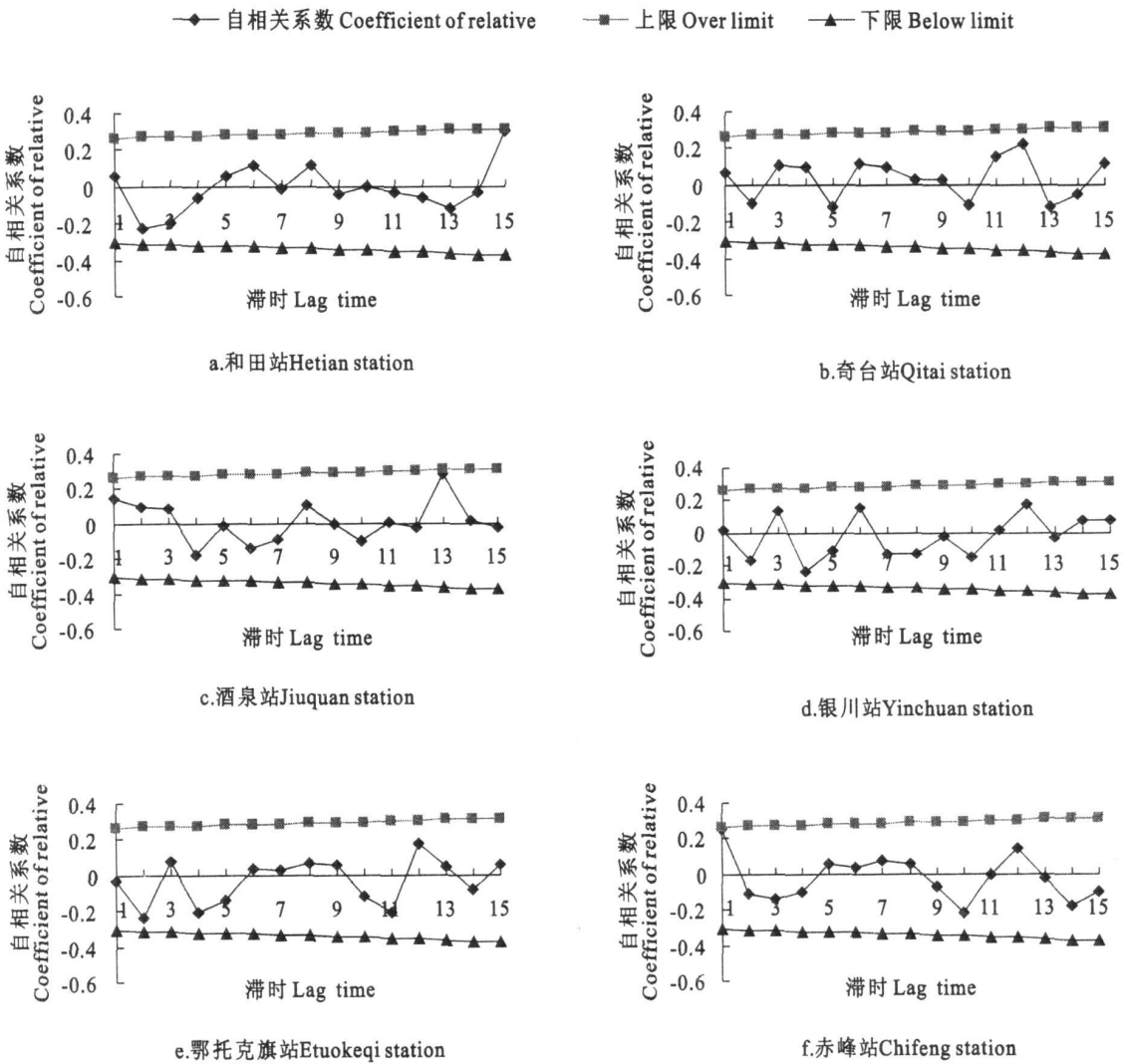


图 2 自相关系数及阈值
Fig. 2 Coefficient of relative and limits

以奇台、和田、酒泉、鄂托克旗、银川及赤峰六个典型站实测降水系列为样本，估计了当地降水系列总体的相关特征参数。认为，我国北方荒漠区发生干旱的年份较多，南疆和田地区 48 年中有 29 年属干旱年，最少的河西走廊酒泉地区也达 25 年，其概率分别为 61%和 52%。和田、酒泉地区干旱年均降水量达到多年均降水量的 1/3。各地极限干旱历时期望值 5 年至 11 年不等，这对我国北方脆弱的生态环境及生态重建与植被恢复都是巨大的威胁。Hurst 系数为 0.506~0.743 均大于 0.5 可以判定所采用的降水系列具有长持续性特征，样本系列与总体各项参数吻合良好，本文所做出的分析可以代表当地干旱状况长期的发展趋势。为了更直观地表示样本系列与总体轮长均值与标准差的代表程度，做出二者的柱状图(图 3)。

3 结论与讨论

通过对我国北方荒漠化地区 48 年来的降水资料分析，得出：

1) 我国北方各荒漠区降水丰枯程度及其周期各异。河西地区及内蒙古高原降水波动平稳，丰枯程度不剧烈，周期也相对稳定；新疆南部降水丰枯波动及年降雨极值比相对较大，丰枯历时长，周期相应变大。各地区虽同属荒漠化地区但由于其地理纬度、区域气候、环境、下垫面条件等因素的不同其周期及丰枯规律亦有所差异。

2) 各地多年均降雨量 36.71~369.30 mm 不等，降水变差系数为 0.5~1.0，极值比 2.39~9.52。降水在时间与空间上分配极不均匀。总体表现为研究区内西部降水最少、中部次之，东部内蒙古高原中

表 1 各站特征参数表
Table 1 Parameters of each stations

特征值 Parameter	和田 Hetian	奇台 Qitai	酒泉 Jiuquan	银川 Yinchuan	鄂托克旗 Etuokeqi	赤峰 Chifeng
多年平均降水量(mm) Average precipitation	36.71	185.95	86.47	194.63	267.03	369.30
变差系数 Coefficient of variation	0.50	0.26	0.40	0.34	0.36	0.25
年最小降水量(mm) Annual lowest precipitation	10.60	89.30	36.00	98.20	125.20	233.60
极值比 Extremum ratio	9.52	3.65	5.93	3.61	4.88	2.39
$P_i < P$ 的概率 Probability of drought	0.61	0.54	0.52	0.54	0.56	0.56
合计干旱历时(a) Total of drought period	29	26	25	26	27	27
极限干旱历时(a) Max of drought period	5	11	5	4	5	5
最大负轮次和 Max sum of run	62.90	317.50	135.80	276.20	293.10	423.90
平均缺水量(mm) Annual locking quantity	12.27	37.19	27.32	49.86	70.30	61.57
Hurst 系数 Hurst coefficient	0.643	0.743	0.671	0.578	0.506	0.684

■ 实测负轮长均值 Average of negative run ■ 总体期望 Expectation of collectivity

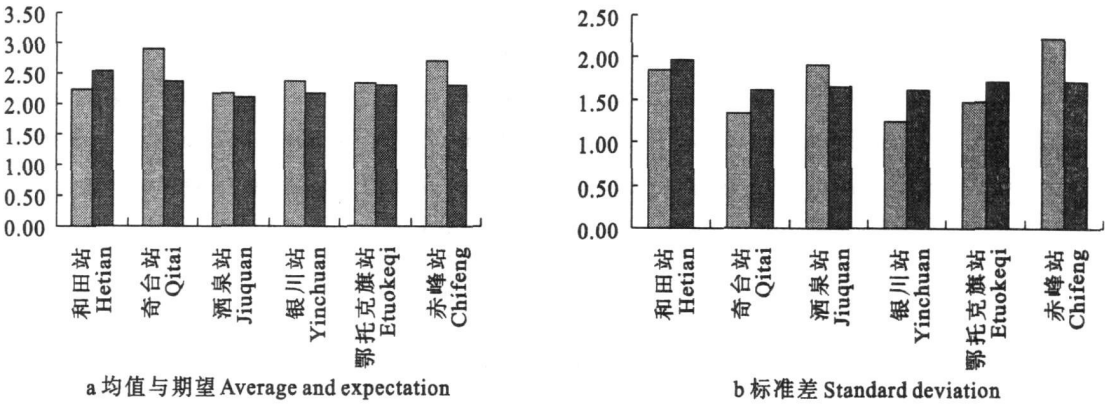


图 3 样本与总体参数对比

Fig.3 Comparison with simple and collectivity

东部相对丰富。其中和田地区 1985 年年降雨量仅为 3.4 mm 是罕见的极端干旱年。但有些专家已提出我国西北部的气候将由暖干转变为暖湿,因此,对于该地区的降水等气候要素的研究仍将是一个热点。

3) 发生干旱的概率可达 52%~61%,干旱历时期望值为 2~3 年(发生连续 2~3 年的枯水年),干旱年均缺水 12.27~70.30 mm 是多年均降水量的 1/6~1/3, 缺水量较大。在北方荒漠区,极端事件的发生加剧了该地区生态环境的恶化,而在降水时空

差异最大的新疆,这种现象发生的频率却在增加,如何更加准确地预测极端事件的发生及其危害程度也将是一个需要关注的热点。

综上,我国北方荒漠化地区降水的丰枯差异较大,连续枯水年份较多,这对当地人民群众生活、农业生产及自然生态的维系都造成严重威胁。水利工作的重点应着重解决连续枯水年,特别是 2~3 年连续枯水情况下能够保证供水。在进行当地区域水资源规划及水资源开发利用时应考虑这些不利因素。

参 考 文 献:

[1] 徐淑英. 中国干旱气候划分及其特征[J]. 地理科学, 1991, 11(1): 1—9.

[2] 朱震达, 吴 正, 刘 恕, 等. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980. 22—31.

[3] 杨莲梅. 新疆极端降水的气候变化[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 577—583.

[4] 姜逢清, 朱 诚, 胡汝骥. 1960~1997 年新疆北部降水序列的趋势探测[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 669—672.

[5] 陈仁升, 康尔泗, 蓝永超, 等. 河西地区近 50 a 来年径流、降水和气温变化趋势分析[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(4): 51—56.

[6] 蔡明科. 关中地区水文、气象干旱特征对比研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(6): 33—37.

[7] 张小明, 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—41.

[8] 杨志峰, 李春晖. 黄河流域上游降水时空结构特征[J]. 地理科学进展, 2004, 23(2): 27—33.

[9] 谢金南, 周嘉陵. 西北地区中、东部降水趋势的初步研究[J]. 高原气象, 2001, 20(4): 362—367.

[10] 王绍武, 董文杰. 中国西部年降水量的气候变化[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 415—422.

[11] 王 英, 曹明奎, 陶 波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031—1040.

[12] 张永民, 王云霞, 席桂萍. 科尔沁沙地及其周围地区降水与气温变化的多时间尺度分析[J]. 内蒙古农业大学学报, 2006, 27(2): 30—33.

[13] 刘树林, 王 涛. 浑善达克沙地地区的气候变化特征[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 557—562.

[14] 丁 晶, 刘权授. 随机水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.

Analysis on precipitation change characteristics of desertification
in North China during recent 50 years

XU Li-gang^{1,3}, ZHOU Hong-fei^{2,3}, TANG Ying^{1,3}

(1. Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 3. Fukang Desert Ecosystem Observation and Experiment Station, Chinese Academy of Sciences, Fukang, Xinjiang 831505, China)

Abstract: In accordance with run and extremum deviation theory and stochastic hydrological theory, analysis was made of the characteristics of precipitation variation on period and transfer regularity between ample water and low water and amount of locking water etc., making use of the precipitation data of Qitai station, Hetian station, Jiuquan station, Etuokeqi station, Yinchuan station etc for 48 years during 1955~2002. The results showed that the period and fluctuation of precipitation kept relatively stable in Hexi area and Inner Mongolia tableland, while that in south Xinjiang presented an opposite situation. The amount of deficiency in these areas took 16.7%~33.2% of the annual precipitation, while the probability of drought was 52%~61% and the expected value of drought period is two or three years.

Keywords: desertification in the northern China; precipitation; analysis by run and extremum deviation; stochastic hydrological theory