

1960—2009 年青海省极端降水事件的变化特征

汪宝龙¹, 张明军¹, 魏军林², 王圣杰¹, 马潜¹

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 四川省金科成地理信息技术有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 利用 1960—2009 年青海省 26 个气象站的降水资料, 采用线性倾向估计法、反距离加权法、M—K 突变检测等方法, 研究了青海省 50 a 来极端降水事件变化的空间分布以及时间变化特征。结果发现, 近 50 a 来, 青海省极端降水天数、最大的 1 d 和 5 d 降水总量、中雨天数和逐年平均降水强度均表现为增加(强)趋势, 只有极端降水天数通过了 0.05 的置信度检验; 各极端降水指数变化趋势存在空间差异, 祁连山地区极端降水天数、最大的 1 d 和 5 d 降水总量、中雨天数和逐年平均降水强度增加趋势明显, 青海省东部地区增加不明显或呈微弱减少趋势; 青海省极端降水事件在 0.05 的置信度下发生了明显的突变现象, 且各极端降水指标与年降水总量有很好的相关性。

关键词: 青海省; 极端降水; 空间分布; 年际变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0092-05

中图分类号: P467

Changes of Extreme Precipitation Events in Qinghai Province During 1960—2009

WANG Bao-long¹, ZHANG Ming-jun¹, WEI Jun-lin², WANG Shen-jie¹, MA Qian¹

(1. *Geography and Environment College, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China;*
2. *Sichuan JKC Geographical Information Technologies Co. Ltd., Chengdu, Sichuan 610041, China*)

Abstract: Based on daily and annual precipitation recorded at twenty-six meteorological stations in Qinghai Province from 1960 to 2009, regression analysis, inverse distance weighted method and Mann—Kendall method were employed to analyze the spatial and temporal variability in extreme precipitation events. The results indicated that extreme precipitation days, annual maximum 1 d precipitation, annual maximum consecutive 5 d precipitation, very heavy precipitation days and daily rainfall intensity showed increasing trends in the recent 50 years, and only the extreme precipitation days were significant at the 0.05 level. The spatial change of precipitation extreme events in the study area showed that extreme precipitation days, annual maximum 1 d precipitation, annual maximum consecutive 5 d precipitation, very heavy precipitation days and daily rainfall intensity in Qilian Mountains had statistically increasing trends while they increased or decreased insignificantly in eastern region. In addition, it was also found that abrupt changes presented in precipitation extreme events at the 0.05 level. At the same time, there were significant correlations between annual total precipitation and different precipitation indices.

Keywords: Qinghai Province; precipitation extremes; spatial distribution; inter-annual change

随着社会和经济的日趋发展, 极端气候事件及其衍生灾害对社会和经济的影响力和破坏力越来越严重, 因此关于极端气候事件的评估和预测越来越受到重视。过去关于气候变化的研究很多, 主要集中在温度、降水以及极端天气、气候事件的变化规律等方面。大量的研究已经表明^[1-2], 极端气候事件(如洪水、干旱、台风、高温、低温以及雨雪冰冻等)对社会稳定、经济发展和人民生活等各个层面的影响尤为严重。而近

年来, 全球气候变暖背景下的极端值和极端事件的变化更是引起了公众和学界的广泛关注。因此, 研究极端气候事件的时空演变特征是关系到政治、经济、人民生活等各个方面的重要研究工作。对于降水而言, 在以往研究中, 一般以某个地区季节降水量的多少来定义和分析该地区的旱涝情况。而实际上, 极端降水事件与干旱和洪涝的关系更为密切, 某一降水过程的降水量和强度的变化才真正决定了旱涝的发生和强度。

收稿日期: 2011-05-24

修回日期: 2011-09-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“天山东部地区水循环过程中稳定氢、氧同位素研究”(41161012); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目“天山乌鲁木齐河流域水汽、降水及雪冰中氢、氧稳定同位素研究”(NCET-10-0019); 国家重点基础研究发展计划(973)项目“气候变化对西北干旱区水循环影响机理与水资源安全研究”(2010CB951003)

作者简介: 汪宝龙(1973—), 男(汉族), 甘肃省张家川县人, 硕士研究生, 主要从事全球环境变化方面的研究。E-mail: wangbaolong689@163.com。
通信作者: 张明军(1974—), 男(汉族), 甘肃省宁县人, 教授, 博士生导师, 主要从事气候变化与冰川研究。E-mail: mjzhang2004@163.com。

其中包括翟盘茂^[3]、严中伟^[4]、刘小宁^[5]等学者对中国降水极值变化特征进行的研究以及龚道溢^[6-7]针对华北农牧交错带降水极值变化特征进行的研究等。

青海省地处青藏高原东北部,在全球气候变暖的背景下,青海地区的气候发生了显著变化,出现了气温升高、蒸发量增大以及夏半年降水减少的气候暖干化趋势^[8-9]。在近年来,该地区气象及其衍生灾害损失愈发严重,其中尤其以极端气候事件影响最为显著。本研究选择青海省实测资料序列最长的26个气象站,对该区1960—2009年极端降水事件的变化特征及区域差异进行分析,以期预测和预防极端事件灾害提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 资料和方法

依据资料的连续性及最长时段性等标准,共选取符合条件的气象站26个(图1)。地面气象站逐日和逐年的降水资料为中国气象局国家气象信息中心提供,并且经过了较为严格的质量控制,包括极值检验和时间一致性检验。为了尽可能保证所有气象站数据资料长度的均一和稳定,气象资料时间跨度一致取为1960年1月1日至2009年12月31日。采用5a趋势滑动和线性倾向估计法分析气候变化趋势,计算采取最小二乘法进行估计,用其线性倾向率来分析要素的年际变化率。在ArcGIS环境下通过反距离加权(inverse distance weighted,简称IDW)插值法绘制出极端降水事件倾向率变化的空间分布图,进行极端降水事件年际变化的空间差异分析。最后运用Mann-Kendall突变检测方法,对青海省极端降水事件进行突变检验。

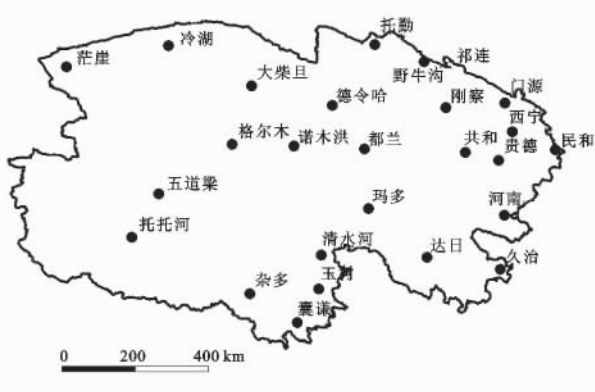


图1 青海省气象站点的分布

从文献^[10-14]中选取5种极端降水指数来研究甘肃省极端降水事件变化(表1)。对极端降水天数的定义为:将1961—2009年逐日降水量序列的第99个百分位值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日降水量超过极端降水事件的阈值时,就称之为一个

极端降水事件^[10]。对阈值的计算,参照了Bonsal等^[15]的计算方法。如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按照升序排序 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$ 。某个值小于或等于 x_m 的概率,由下面的公式确定:

$$P = (m - 0.31) / (n + 0.38) \quad (\text{式中: } m \text{——} x_m \text{的序号})$$

表1 极端降水事件指数的定义

| 极端降水指标 | 定义 |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 极端降水天数/d | 日降水量大于1960—2009年第99个百分位50a平均值 |
| 最大1d降水总量/mm | 最大的1d降水量 |
| 最大5d降水总量/mm | 最大的5d连续性降水量 |
| 中雨天数/d | 日降水量在10.0~24.9mm的天数 |
| 逐年平均降水强度/(mm·d ⁻¹) | 年总降水量与年降水日数的比值 |

1.2 极端降水事件指数验证

研究发现极端降水指数与该地区年降水总量有很好的相关性^[14]。为了解青海省极端降水事件与总降水量的关系,验证选取的极端降水事件指数是否对降水有指示作用,对极端降水事件指数与总降水量的相关系数进行了计算(表2)。

表2 总降水量与各极端降水指数相关系数

| 项目 | 极端降水天数 | 最大1d降水总量 | 最大5d降水总量 | 中雨天数 | 逐年平均降水强度 |
|------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 相关系数 | 0.73** | 0.50** | 0.60** | 0.89** | 0.49** |

注:*,**分别表示通过0.05,0.01的置信度检验。

从表2可以发现,各极端降水事件指数与总降水量之间存在非常好的相关性,而且所有相关系数都通过了0.01的置信度检验,其中极端降水天数、中雨天数的相关性最好,相关系数分别为0.73和0.89;其次是最大的5d降水总量,相关系数为0.60;最大的1d降水总量相关系数为0.50;逐年平均降水强度最差,相关系数为0.49。由此可以发现,所选的极端降水事件指数对青海省的降水均有很好的指示作用,极端降水事件指数的增加(减少)将反映出降水量的增加(减少)。

2 结果分析

2.1 极端降水总阈值和极端降水事件的多年平均特征的空间分布

由2图中可以发现,祁连山区极端降水天数、最大的1和5d降水总量、中雨天数等4种极端降水事件指数空间分布特征基本相似,均呈现由东南向西北渐次减少(减弱),与年降水量的空间分布极为相似。

极端降水阈值变化范围为1~25mm(图2a),东南部极端降水阈值最高,其中久治县达到22.7mm,西北部极端降水阈值最低,最低值在冷湖,为1.93

mm。最大的 1 d 降水总量变化范围为 5~35 mm(图 2b),最高值在河南地区,为 34.29 mm,最低值在冷湖,为 5.92 mm。最大的 5 d 降水总量变化范围为 6~78 mm(图 2c),最高值在久治,为 70.30 mm,最低值在冷湖,为 6.84 mm。

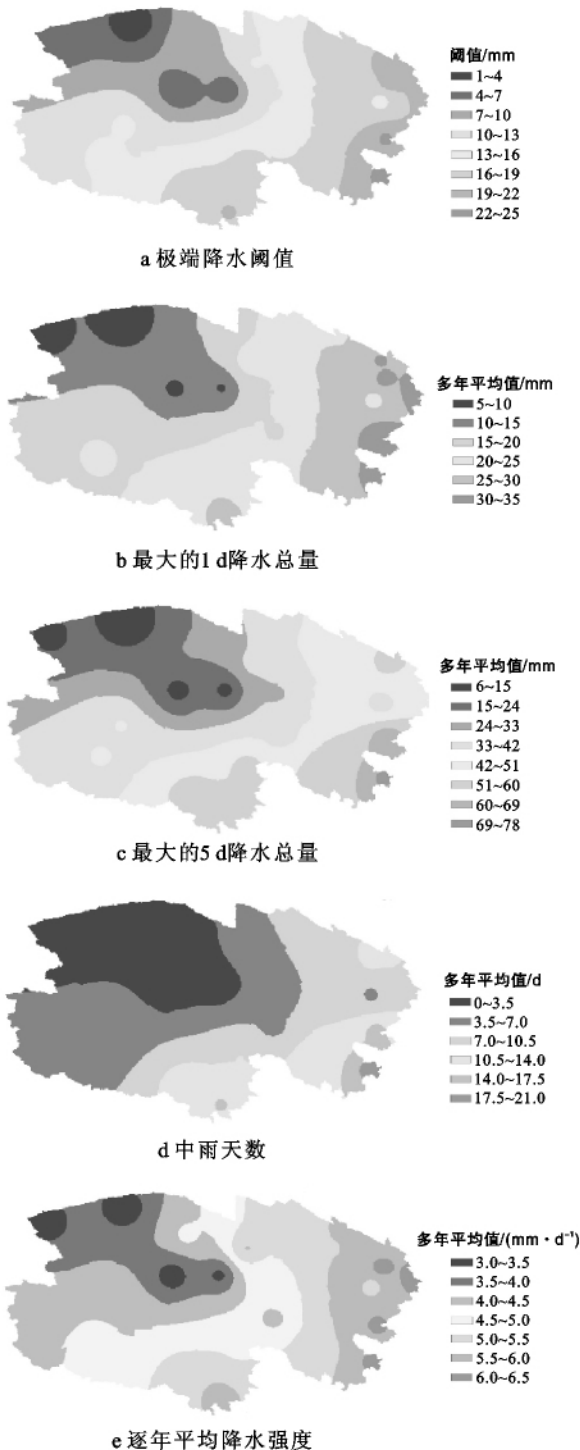


图 2 青海省极端降水事件阈值和多年平均特征的空间分布

中雨天数变化范围为 0~21 d(图 2d),最高值在久治,为 19.42 d,最低值在冷湖,为 0.14 d,在柴达木盆地的大多数站点,平均中雨天数不超过 1 d,说明这

些地区极其干旱;强度是衡量极端降水的另一要素,强度越大越可能造成灾害,青海省逐年平均降水强度变化范围在 3~6.5 mm/d 之间(图 2e),最高值在民和县,为 6.22 mm/d,最低值在格尔木,为 3.21 mm/d。结合阈值分布,说明阈值较小的冷湖,逐年平均降水强度并非最小,阈值最大的东南部,降水强度并不是最大的,降水量与降水强度分布的不一致性,表明后者受地形的影响比前者要大^[16],由于干旱半干旱地区的生态环境系统比较脆弱,暴雨以下量级的较强降水也可能给这些地区造成灾害,因此对当地来说也应当被确定为极端降水事件^[11]。研究发现,持续时间长,区域范围大的极端降水事件最易导致洪涝灾害的发生,并且若极端降水持续性较好,就容易出现连续几天的极端(较强)降水事件,从而增加发生洪涝灾害的机率^[17]。因此,研究最大的 1 和 5 d 降水总量的时空变化具有重要意义。

2.2 年际变化的空间分布

由附图 1—5 可见,近 50 a 来青海省极端降水天数的年际变化表现为明显的增加趋势,增幅在 0~0.06 d/a,但也表现出了不同的空间差异,祁连山地区的大部分地区增加趋势最为明显,增幅在 0.04~0.06 d/a,其中托勒增加幅度最大;玉树和久治县呈减少趋势,减幅在 -0.04~0 d/a 之间。最大的 1 d 降水总量的年际变化在绝大部分地区呈增加趋势,增幅在 0~0.20 mm/a,其中祁连山地区和玉树藏族自治州的大部分地区增加趋势明显;其他大部分地区呈减少趋势,减幅在 -0.20~0 mm/a,以黄河源区的东南部减少幅度较大。最大的 5 d 降水总量的年际变化在绝大部分地区呈增加趋势,增幅在 0~0.45 mm/a,其中祁连山地区增加趋势明显;东部边缘的地区减少趋势较为明显,减幅在 -0.60~0 mm/a。中雨天数的年际变化在 27% 的站点呈减少趋势,久治县减少幅度最大;其他站点都表现为增加趋势,增幅在 0.~0.09 d/a,以祁连山地区增加趋势明显。逐年平均降水强度的年际变化 70% 的站点表现为增强趋势,增幅在 0~0.03 m/(d·a),祁连山地区增加趋势明显;青海西北和东南部呈减少趋势,减幅在 -0.02~0 m/(d·a)。分析可知,祁连山区极端降水天数、最大的 1 和 5 d 降水总量、中雨天数、日降水强度增加趋势明显,可能与祁连山处于气候显著转型有关,即气候从暖干向暖湿转型;青海东部地区增加不明显,且有些地区呈减少趋势,可能与其处于气候未转型有关,即仍处于干旱的低降水期^[18]。

2.3 极端降水的年际变化

青海省极端降水天数的年际变化率为 0.014 0

d/a(图 3a),且通过了 0.05 的置信度检验(表 3),表明在全球变暖背景下,该省的极端降水天数总体上呈增加趋势;从极端降水天数波动分析表明,在 20 世纪 80 年代初期之前呈波状增加趋势,之后变化平稳,2000 年之后呈大幅度增加趋势。

表 3 青海省极端降水事件的年际变化显著性检验

| 项目 | 极端降水天数 | 最大 1 d 降水总量 | 最大 5 d 降水总量 | 中雨天数 | 逐年平均降水强度 |
|-----|---------|-------------|-------------|---------|----------|
| p 值 | 0.012 5 | 0.053 6 | 0.205 8 | 0.087 9 | 0.070 2 |

最大的 1 d 降水总量的年际变化率为 0.037 4 mm/a(图 3b),相关系数为 0.275,未通过 0.05 的置信度检验(表 3),表明该省的最的 1 d 降水总量总体上增加趋势不那么显著;在 20 世纪 70 年代初期之前呈波状增加趋势,之后呈波状减少趋势,20 世纪 80 年代初期之后呈波状增加趋势。最大的 5 d 降水总量的年际变化率为 0.048 9 mm/a(图 3c),与年份相关性不十分明显,且未通过 0.05 的置信度检验(表 3),表明青海省最大的 5 d 降水总量总体上呈不明显的增加趋势;在 20 世纪 70 年代中期之前呈波状增加趋势,之后呈波状下降趋势,2000 年初期之后又呈明显的增加趋势。中雨天数的年际变化率为 0.018 1 d/a(图 3d),相关系数为 0.244,未通过了 0.05 的置信度检验(表 3),表明在全球变暖背景下,该省的极端降水天数总体上呈不明显的增加趋势,相当于近 50 a 青海省中雨天数增加了 3.15 d;在 20 世纪 70 年代初期之前变化平稳,之后呈明显波状增加趋势,80 年代中后期呈明显波状下降趋势,90 年代中期之后呈波状增加趋势。逐年平均降水强度以 0.004 m/(a·d)的趋势在增加(图 3e),但未通过了 0.05 的置信度检验(表 3);在 20 世纪 80 年代初期之前呈波状增强趋势,之后呈波状减弱趋势,90 年代中后期呈波状增强趋势。

2.4 极端降水的突变分析

图 4 为 1960—2009 年青海省极端降水天数 Mann—Kendall 突变检验,取显著性水平 $\alpha=0.05$,临界线 $U=\pm 1.96$,用原气象序列构造统计量 UF,用原气象序列的反序列构造统计量 UB。可以得出,极端降水天数的 UF 和 UB 曲线相交于 2003 年左右(图 4),UF 和 UB 相交后 UF 也同时于 2006 年超过负临界值(-1.96),说明青海省极端降水天数在 2003 年发生了突变,从 2003 年开始极端降水天数逐渐增加;最大的 1 d 降水总量近 50 a 来表现为波动变化(图略),大约在 1996 年发生了突变;最大的 5 d 降水总量在 20 世纪 70 年代中期之前表现为波动变化(图略),之后变化平稳,2005 年后呈明显增加趋势,大约在 2005 年发生突变;中雨天数在 20 世纪 60 年代中期开始表现为明显的增加趋势(图略),80 年代后期又开始下降,于 90 年代中后期又开始增加,大约在 2005 年发生突变;逐年平均降水强度在 20 世纪 70 年代初期之后呈波状增加趋势,80 年代末期到 90

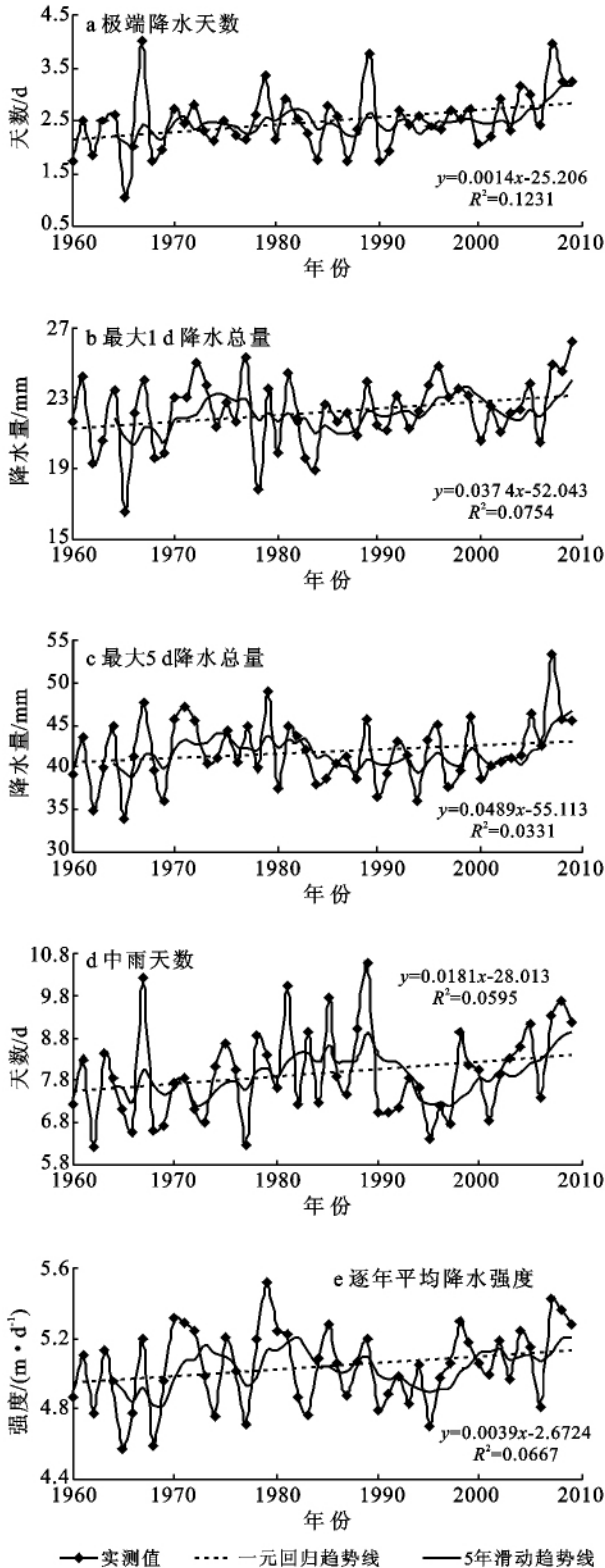


图 3 青海省极端降水事件的年际变化

年代中期表现为下降趋势,之后又呈明显的增强趋势(图略),大约在 2005 年发生突变。

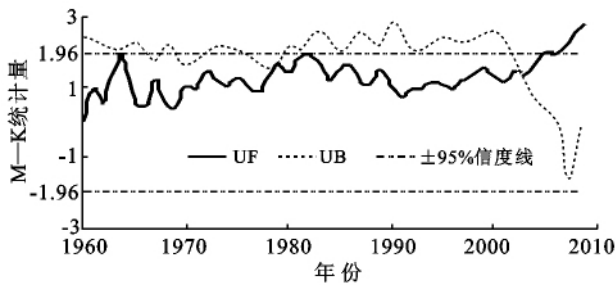


图 4 青海省极端降水事件变化的突变检测

3 结论

(1) 青海省极端降水总阈值和最大的 1 和 5 d 降水总量、中雨天数的多年平均特征空间分布自东南向西北减少,表现出非常显著的空间差异,这与青海省降水量从东南向西北减少基本一致。降水量的最大(小)区与降水强度的最强(弱)区分布的不一致性,表明后者受地形的影响比前者要大。

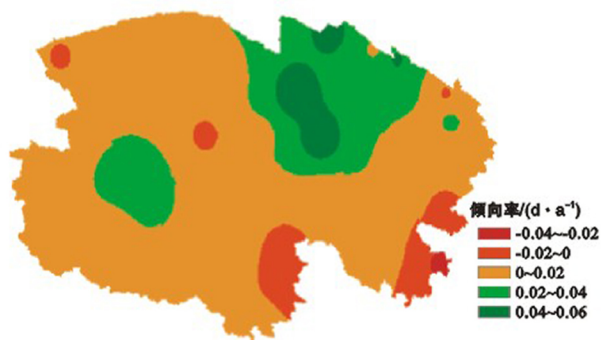
(2) 祁连山地区极端降水天数、最大的 1 和 5 d 降水总量、中雨天数和逐年平均降水强度增加趋势明显,青海东部地区增加不明显或呈微弱的减少趋势。

(3) 近 50 a 来,青海省极端降水天数、最大的 1 和 5 d 降水总量、中雨天数和逐年日降水强度都表现为增加(强)趋势,只有极端降水天数通过了 0.05 的置信度检验。青海省极端降水事件在 0.05 的置信度下发生了明显的突变现象。

(4) 青海省各极端降水事件指数与总降水量之间存在非常好的相关性,其中极端降水天数和中雨天数与总降水量之间的相关性最好。极端降水事件指数对青海省的降水均有很好指示作用。

[参 考 文 献]

- [1] Changnon S A, Roger A, Pielk J, et al. Human factors explain the increased loss from weather and climate extremes[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, 81(3): 437-442.
- [2] Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, 81(3): 417-425.
- [3] 翟盘茂,任福民,张强. 中国降水极值变化趋势检测[J]. *气象学报*, 1999, 57(2): 208-216.
- [4] 严中伟,杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. *气候与环境研究*, 2000, 5(3): 267-272.
- [5] 刘小宁. 我国暴雨极端事件的气候变化特征[J]. *灾害学*, 1999, 14(1): 54-59.
- [6] 龚道溢,史培军. 华北农牧交错带夏季降水变率及其与下垫面热力状况的关系[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(3): 211-215.
- [7] 龚道溢,韩晖. 华北农牧交错带夏季极端气候的趋势分析[J]. *地理学报*, 2004, 59(2): 230-238.
- [8] 王江山. 青海天气气候[M]. 北京:气象出版社, 2004: 97-99.
- [9] 汪青春,秦宁生,张占峰,等. 青海高原近 40 年降水变化特征及其对生态环境的影响[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 153-158.
- [10] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端降水事件变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(S): 1-10.
- [11] 王志福,钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. *水科学进展*, 2009, 20(1): 1-9.
- [12] 游庆龙,康世昌,闫宇平,等. 近 45 年雅鲁藏布江流域极端气候事件趋势分析[J]. *地理学报*, 2009, 64(5): 592-600.
- [13] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 2006, 111(3): D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
- [14] You Qinglong, Kang Shichang, Aguilar E, et al. Changes in daily climate extremes in China and its connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003[J]. *Climate Dynamics*, 2011, 36(11/12): 2399-2417.
- [15] Bonsal B R, Zhang X, Vineent L A, et al. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada[J]. *Journal of Climate*, 2001, 5(14): 1959-1976.
- [16] 杜军,马玉才. 青藏高原降水变化趋势的气候分析[J]. *地理学报*, 2004, 59(3): 375-383.
- [17] 闵岫,钱永甫. 中国极端降水事件的区域性和持续性研究[J]. *水科学进展*, 2008, 19(6): 763-771.
- [18] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(2): 152-163.



附图1 青海省极端降水天数年际变化空间分布



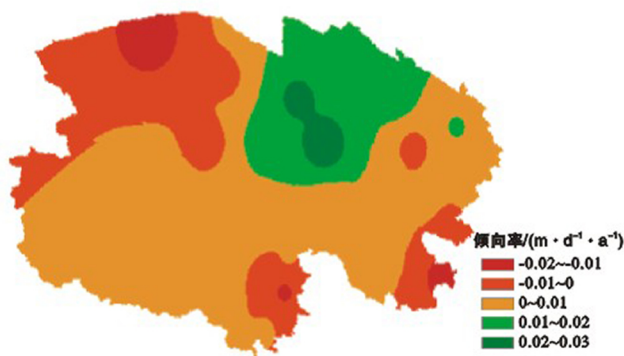
附图2 青海省最大1 d降水量年际变化空间分布



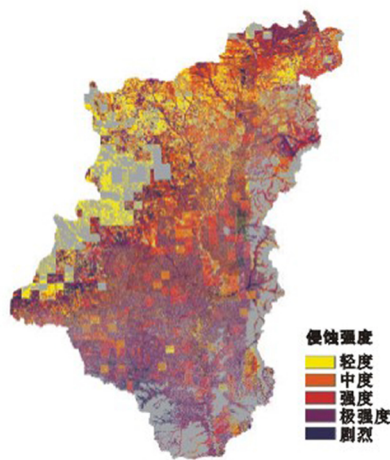
附图3 青海省最大5 d降水量年际变化空间分布



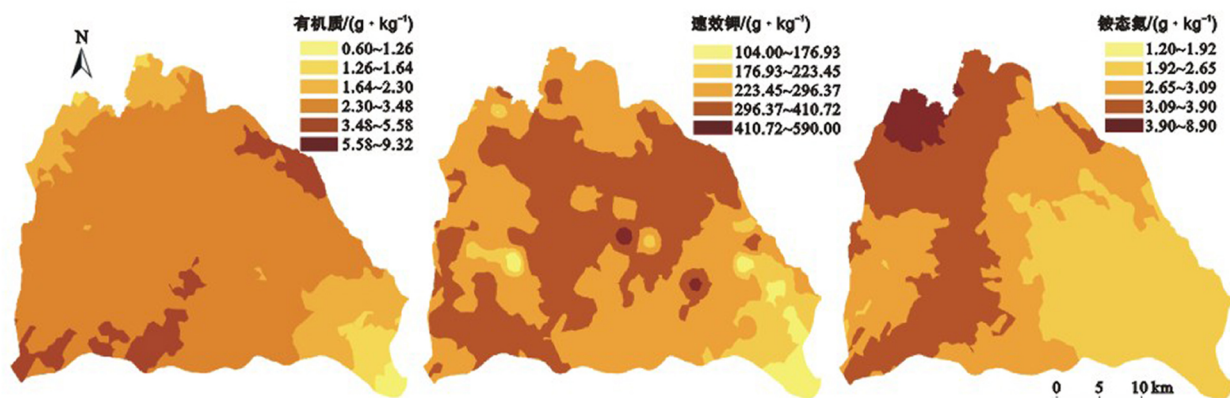
附图4 青海省中雨天数年际变化空间分布



附图5 青海省逐年平均降水强度年际变化的空间分布



附图6 河龙区间土壤侵蚀强度分级



附图7 河南省封丘县土壤养分含量空间变异特征图谱