

近 54 年来晋陕蒙地区降水变化特征

殷方圆,殷淑燕

(陕西师范大学旅游与环境学院,陕西 西安 710062)

摘要:以晋陕蒙地区 60 个气象站点 1960—2013 年逐日降水观测资料为基础,分析了晋陕蒙地区近 54 年来年均降水量和极端降水量的时空变化。研究发现,近 54 年来,晋陕蒙 3 个省(区):(1) 年均降水量都在波动中呈缓慢的减少趋势,减少趋势均不显著,晋陕蒙三省(区)减少趋势分别为 14.014 、 10.706 $\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 0.76 $\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$;空间上内蒙古年均降水量呈现出明显的东西差异,由东部 400~500 mm 向西减少到 200 mm 以下,山西年均降水量由东南向西北递减,晋东南在 500~800 mm,而晋西北在 400~500 mm,陕西年均降水量表现为南多北少的特点,陕南地区大于 800 mm,陕北下降到 400~500 mm。(2) 从变化趋势上来看,从东南向西北,降水出现由减少到增多的变化趋势,原来降水多的地区趋于减少,降水少的区域趋于增多,晋陕蒙地区内部降水量差异趋于减小。内蒙古东部减幅为 $0\sim 1$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,而西部增幅为 $0\sim 1$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$ 。山西省南部最大减幅 $1\sim 3$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,而在晋东北减幅在 3 $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$ 以上。陕北和陕南地区减幅较小为 $0\sim 1$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,陕西中部大部分地区减幅较大为 $1\sim 3$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$ 。(3) 200 mm 和 400 mm 降水等值线呈明显年代际波动,1970 年代和 1990 年代偏西偏北,1980 年代和 2000 年代偏东偏南。近年来夏季风影响范围缩小,内蒙古降水趋于减少,晋陕南部略有增加。(4) 年均极端降水量呈不显著增加趋势,变化幅度大部分在 $0\sim 1$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,此时段内极端降水量未发生突变,极端降水量的增加,使本地区降水处于不稳定状态;极端降水强度方面,山西和陕西的极端降水强度明显大于内蒙古,山西和陕西极端降水强度由南向北依次递减,陕西南部大于 50 $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,而北部降低到 $30\sim 40$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,山西省大部分地区在 $40\sim 50$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,只有在北部为 $30\sim 40$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,内蒙古极端降水强度由东向西逐步减少,东部为 $30\sim 40$ $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$,西部在 20 $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$ 以下,极端降水强度的变化趋势内部差异不大;极端降水日数呈弱增长,增长水平不显著,此时段内极端降水日数没有出现剧烈变化。

关键词: 年降水;极端降水;时空变化;晋陕蒙地区

中图分类号: S161.6 **文献标志码:** A

Characteristics of precipitation variation in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia in recent 54 years

YIN Fang-yuan, YIN Shu-yan

(Shaanxi Normal University, College of Tourism and Environment, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Based on the daily measured precipitation data during 1960 to 2013 from 60 meteorological stations in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia, analyzed the spatial-temporal variation of average annual precipitation and the extreme precipitation in recent 54 years of these provinces. The results showed that: (1) The average annual precipitation was presented a slow decrease trend in the fluctuation, but the decrease was not notable. The decrease trend in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia was 14.014 $\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$, 10.706 $\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ and 0.76 $\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$, respectively. In space the precipitation of Inner Mongolia presented the obvious differences between East and West and from 400 to 500 mm in East reduced to less than 200 mm in West. The yearly average precipitation in Shanxi was decreased from Southeast to Northwest. It was 500 to 800 mm in Southeast and 400 to 500 mm in Northwest. The yearly average precipitation in Shaanxi was presented the characteristics more in South and less in North. It was more than 800mm in Southern Shaanxi and 400 to 500 mm in Northern Shaanxi. (2) From Southeast to Northwest, the precipitation appeared the change trend from decrease to increase. The precipitation in former rich area was tended to reduce and less area was tended to increase. The difference of internal precipitation in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia was tended to decrease. The decrease was 0 to 1 $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$ in Eastern Inner Mongolia and the increase was 0 to 1 $\text{mm}\cdot \text{a}^{-1}$ in Western Inner Mongolia. The

收稿日期:2015-05-28

基金项目:国家自然科学基金项目(41471071);中央高校基本科研业务费创新团队项目(GK201301003)

作者简介:殷方圆(1989—),女,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为环境变化与自然灾害研究。E-mail:1312039718@qq.com。

通信作者:殷淑燕(1970—),女,黑龙江木兰人,教授,博士,主要从事环境变化与自然灾害研究。E-mail:yinshy@snnu.edu.cn。

maximal decrease was 1 to 3 mm·a⁻¹ in South Shanxi and was decreased above 3 mm·a⁻¹ in Northeast Shanxi. The decrease was total less than 0 to 1 mm·a⁻¹ in North and South Shaanxi. (3) The precipitation isoclines of 200 mm and 400 mm were obviously presented the decade fluctuation, in 1970s and 1990s were inclined to North and West, in 1980s and 2000s were inclined to East and South. In recent years, the impact range of summer monsoon was reduced, so the precipitation was tended to reduce in Inner Mongolia and slightly increase in southern Shanxi and Shaanxi. (4) The yearly average extreme precipitation was showed no significant increasing trend, most of the changes were 0 to 1 mm·a⁻¹. In these periods, the extreme precipitation did not occur the mutations. The increase of the extreme precipitation, let the precipitation in these regions were presented unstable situation. In the intensity of extreme precipitation, the intensity of Shanxi and Shaanxi was higher than in Inner Mongolia. The intensity of Shanxi and Shaanxi was decreased from south to north. In South Shaanxi was large than 50 mm·a⁻¹, but in North Shaanxi was decreased to 30 to 40 mm·a⁻¹. It was 40 to 50 mm·a⁻¹ in most areas of Shanxi, only in north was 30 to 40 mm·a⁻¹. The intensity of extreme precipitation in Inner Mongolia was gradually reduced from East to West, in East was 30 to 40 mm·a⁻¹ and in West was less than 20 mm·a⁻¹. The change trend of the intensity of extreme precipitation was not big for internal differences. The days for extreme precipitation were weakly increased, but the increasing level was not notable. The extreme precipitation days was not occurred the drastic change in this period.

Keywords: annual precipitation; extreme precipitation; spatial-temporal variation; Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia

据 IPCC 第四次评估报告的内容,在过去的 100 年里,全球平均地表温度上升了 0.74℃,到 2100 年,全球中纬度地区的降水量和水资源进一步减少,中高纬度地区有可能增加^[1]。气候变化必然导致降水要素的变化,降水量的变化对该地区的气候变化有较大影响,尤其是极端降水事件强度和频率的变化,导致气候变化的影响更加明显,如致使洪水频发、土壤侵蚀和干旱加剧等^[2]。不同区域的降水量变化对全球变化的响应是不同的,因此对具体区域的降水要素变化进行研究是十分必要的。

山西、陕西、内蒙古三省(区)是我国重要的地理过渡区域,是典型的生态过渡带和生态脆弱区。晋陕蒙地区地处我国东亚季风的边缘,空间降水变化差异大,极端性强降水也会对该地区有较大影响。张国宏等^[3]的研究表明:东亚季风对山西省年降水量空间分布的影响十分明显,分析夏季降水,发现了更为精细的山西省季风边缘区,20 世纪 70 年代末发生了降水突变,降水存在准 3 a、准 6~7 a 的年际和准 11 a、准 16 a 的年代际周期振荡。白爱娟等^[4]的研究结果表明:陕西省过去 50 a 降水量有显著的北少南多特征,而且陕北区降水量的减少趋势远大于关中和陕南西部区,陕南区在夏季和冬季降水量还略有增加。包刚等^[5]认为内蒙古年平均降水量总体上表现为不显著的下降趋势,东部和中部地区的降水量呈减少趋势,而西部地区降水量呈增加趋势,但变化趋势均不显著。龚道溢等^[6]对华北农牧交错带夏季极端气候趋势分析得出 1956—2001 年暴雨(日降水 50 mm)频数没有显著的线性变化趋势,但

1980 年前后发生了明显的年代际尺度变化,1980 年代到 1990 年代初,频次显著减少,此期间暴雨发生的时间更加分散,严重干燥事件(连续零降水日 10 d)的频数却呈显著增加趋势(+8.3%·10a⁻¹),超过 99% 信度水平。本文在较大时间尺度上对晋陕蒙地区降水和极端降水的变化特征进行详细分析研究,以期为该地区的环境治理、水资源合理利用和预防灾害风险发生提供借鉴参考。

1 研究区概况、数据来源与方法

1.1 研究区概况

晋陕蒙地区,共辖 331 个县(旗、市),总面积 154.58 × 10⁴ km²,总人口 8310 万。北部有大兴安岭、阴山、桌子山,东部有太行山,南部有大巴山、秦岭,中部为吕梁山,本区有世界上著名的黄土高原和内蒙古高原。本区是我国东南季风和西南季风影响的边缘区,易形成暴雨性降水,东西跨湿润、半湿润、半干旱和干旱四个干湿地带,使得该区的植被从东南向西北依次呈现出草原—荒漠草原—荒漠的特征^[7]。同时本区是我国重要的煤炭基地和畜牧业基地,是环境脆弱区和农牧交错带,也是土壤退化最为严重的地区。

1.2 数据来源与方法

本文研究中选取晋陕蒙地区 1960—2013 年逐日降水资料,数据资料来源于中国气象局国家气象信息中心数据应用服务室。由于研究区域的站点建站时间不同,资料长短不一且存在很多缺测,对缺测较多的台站进行了剔除,选取了晋陕蒙省(区)60 个

气象站点资料(图 1),计算了晋陕蒙地区降水量变化以及用百分位法定义了极端降水事件的阈值,本文较详细地分析了晋陕蒙省区的降水变化以及极端降水事件的时空分布与变化。

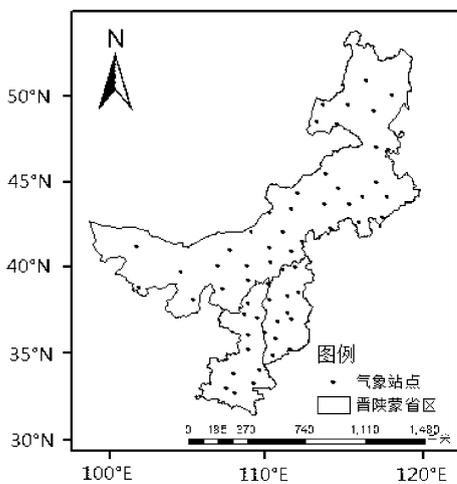


图 1 晋陕蒙地区气象站点分布

Fig.1 The distribution of the meteorological stations in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia

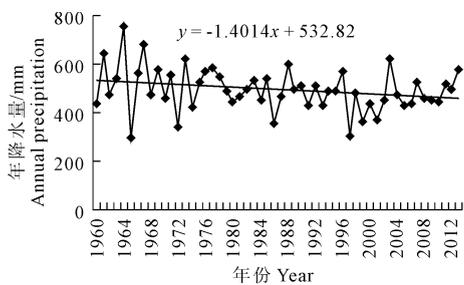
本文研究中运用斜率以及空间差值对晋陕蒙地区近 54 年来的降水量变化进行分析。目前国际上在气候极值变化研究中最多见的是采用某个百分位值作为极端值的阈值,超过这个阈值的值被认为是极值,该事件可以认为是极端事件^[8],其具体方法是:把单站 1960—2013 年逐年日降水量序列的第 99 个百分位值的 54 年平均值定义为极端降水事件的

阈值,当该站某日降水量超过极端降水的阈值时,就称之为极端降水事件,本文分别统计了 1960—2013 年来 60 个气象站点的极端降水量、极端降水事件和极端降水强度。

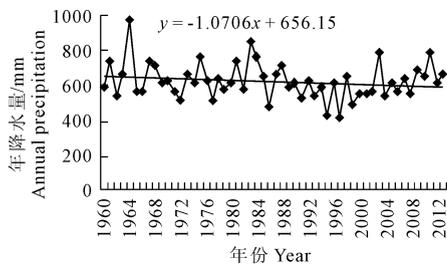
2 结果分析与讨论

2.1 年降水量的时空变化特征

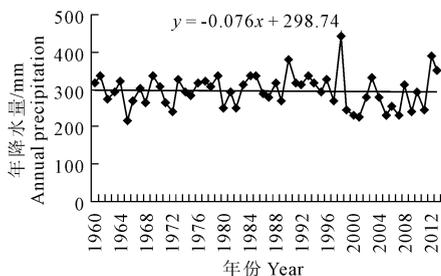
2.1.1 年降水量变化趋势 从年均降水量来看(图 2),近 54 年来 3 个省(区)的年降水量整体上都呈缓慢的减少趋势,减少趋势均不显著。比较三个省(区)降水量年际变化,山西省降水量下降幅度最大,为 $14.014 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,陕西省降水量下降幅度为 $10.706 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,内蒙古降水量下降幅度最小,仅为 $0.76 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,年降水量相对稳定。晋陕蒙地区总平均降水量亦呈不显著下降趋势,减幅较小为 $5.289 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。山西省降水在 20 世纪 60 年代波动较大,1964 年出现最大值(753.75 mm),1965 年出现最小值(296.45 mm),两者相差 457.3 mm;陕西省降水在 1964 年出现最大值(979.29 mm),1997 年出现最小值(423.06 mm)。内蒙古降水在 20 世纪 90 年代波动性较大,1998 年出现最大值(443.78 mm),90 年代为相对丰水期,与包刚等^[5]的研究结果基本一致。晋陕蒙地区年均降水量在 1960—2013 年整体上呈下降趋势。降水量持续下降会使本区西北部的干旱地带出现严重的荒漠化现象,加快生态环境的恶化速度。



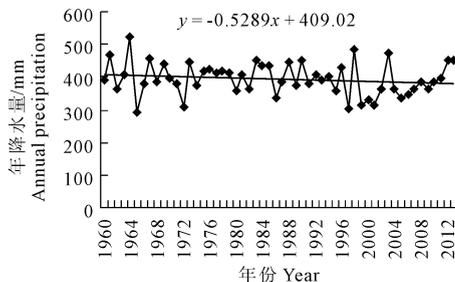
(a) 山西 Shanxi



(b) 陕西 Shaanxi



(c) 内蒙古 Inner Mongolia



(d) 晋陕蒙平均降水

Average precipitation in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia

图 2 晋陕蒙地区年降水量变化图

Fig.2 The variation of annual precipitation in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia

2.1.2 年降水量的空间差异与降水变率 为了更清楚地反映三省(区)降水空间分布规律及变化趋势,将区域年降水量划分了 5 个等级: < 200 mm, 200 ~ 400 mm, 400 ~ 500 mm, 500 ~ 800 mm, > 800 mm; 把年降水变率划分为 4 个等级: < -3 mm·a⁻¹, -3 ~ -1 mm·a⁻¹, -1 ~ 0 mm·a⁻¹, 0 ~ 1 mm·a⁻¹。从三个省(区)的年降水量空间分布可以看出(图 3a), 200 mm 和 400 mm 等降水量线都呈东北-西南走向, 反映出我国降水量由东南向西北减少的特征, 黄土高原作为本区重要的地貌单元, 李志等^[9]研究结果认为黄土高原各气象要素存在梯度分布, 沿西南东北方向分布。内蒙古东部地区年均降水量在 400 ~ 500 mm 之间, 中部在 200 ~ 400 mm 之间而西部最少在

200 mm 以下, 呈现出由东向西减少的变化, 本区是重要的农牧过渡带, 生态环境脆弱; 山西省年均降水量由东南向西北方向递减, 500 mm 等降水量线由东北延伸到西南方向, 晋东南大部分地区年均降水量 500 ~ 800 mm 之间, 晋西北年均降水量在 400 ~ 500 mm 之间, 本区地形复杂, 是水土保持重点区域; 陕西省年降水量南北差异较大, 年降水量呈现由南向北依次递减的特点。陕南地区年降水量 > 800 mm, 向关中地区减少为 500 ~ 800 mm 之间, 陕北下降到 400 ~ 500 mm 之间, 在陕北的个别地区在 400 mm 以下, 本区作为黄土地貌向风沙地貌的过渡地带, 水土流失特别严重, 煤炭资源十分丰富, 但是煤炭资源的开发受到水资源和生态环境的制约。

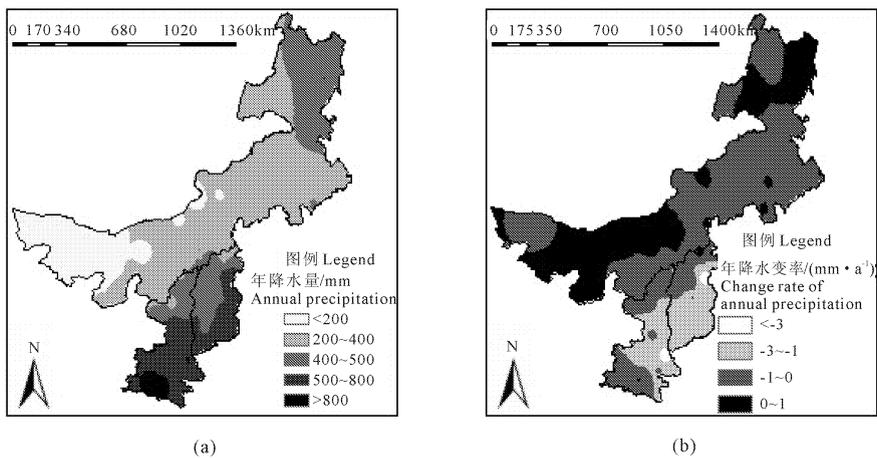


图 3 晋陕蒙地区多年平均降水量(a)及降水量变率(b)的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of the yearly average precipitation (a) and change rate of precipitation (b) in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia Region

从年降水量变化趋势的空间差异看出(图 3b), 近 54 年来晋陕蒙地区大部分地区年降水量都表现为下降趋势, 下降幅度表现出明显的区域差异。内蒙古东部年降水量减幅为 0 ~ 1 mm·a⁻¹, 而西部增幅为 0 ~ 1 mm·a⁻¹。山西省大部分区域年均降水量表现出减少趋势, 南部减幅最大为 1 ~ 3 mm·a⁻¹, 而在晋东北的喇叭状减幅最明显在 3 mm·a⁻¹ 以上。陕西省年均降水量都表现为下降趋势, 陕北和陕南地区减幅较小为 0 ~ 1 mm·a⁻¹, 中部大部分地区减幅较大为 1 ~ 3 mm·a⁻¹, 其中个别地区减幅达到 3 mm·a⁻¹ 以上。整体来说, 本区域降水量变化趋势从东南向西北部由减少逐渐转为增加, 内蒙古东北部和西部略有增加, 山西、陕西呈减少趋势, 由西北向东南方向, 下降幅度增大。即从变化趋势来看, 晋陕蒙地区向西和向北有湿润化趋势, 向东向南方向为干旱化趋势, 相比较于图 3a 可以发现, 原来降水多的地区降水趋于减少, 降水少的区域降水趋于增多, 晋

陕蒙地区内部降水量差异趋于减小。

2.1.3 不同年代际降水量空间差异与降水量等值线变化 晋陕蒙地区作为我国季风区与非季风区、半湿润与半干旱区的分界区域, 为进一步比较三个省区降水量在不同年代际的空间分布变化, 分别计算了 4 个年代际的降水量, 结果如图 4 所示。

20 世纪 70 年代降水量 < 200 mm 区域主要分布在内蒙古西部, 200 mm 等降水量线主要沿阿拉善左旗中部向北延伸穿过乌拉特后旗的中部, 在杭锦旗西北边缘、临河市、乌拉特后旗和磴口县形成 200 mm 闭合等值线, 降水量 > 400 mm 的区域主要分布在内蒙古的东部和晋陕蒙交接地带的南部, 400 mm 等降水量线在内蒙古东部呈南北向, 由南部的科尔沁右翼中旗到北部的额尔古纳左旗, 同时 400 mm 等降水量线在晋陕蒙交接地带, 南界为安塞县, 北界为土默特左旗; 80 年代降水量 < 200 mm 区域范围扩大, 向东部延伸, 200 mm 闭合等值线消失, 200 mm

等降水量线沿阿拉善左旗边缘、鄂托克旗、杭锦旗、五原县和乌拉特中旗边缘一线分布, > 400 mm 的降水区域在内蒙古东部趋于增大, 东部局部区域降水超过 500 mm。在晋陕蒙交接地带 400 mm 等降水量线南移, 由最北端的土默特左旗南移到广灵县, 等值线呈西南 - 东北走向; 90 年代降水量 < 200 mm 区域较 80 年代有所减小, 200 mm 等降水量线与 70 年代接近重合, 主要穿过阿拉善左旗中部和乌拉特后旗的中部, 200 mm 等降水量线在磴口县、杭锦旗、临河市和杭锦后旗形成闭合等值线, 但降水量 > 400 mm 降水区域继续扩大, 内蒙古东部 400 mm 等降水量线

向西延伸, 从南向北依次经过克什克腾旗、林西县、西乌珠穆沁旗、东乌珠穆沁旗、新巴尔虎左旗、鄂温克族自治县、海拉尔市和陈尔虎旗, 晋陕蒙地区交接地带 400 mm 等降水量线向北延伸, 呈西南 - 东北走向; 21 世纪降水量 < 200 mm 区域向东延伸, 200 mm 等降水量线沿阿拉善左旗、鄂托克旗、杭锦旗、临河市和乌拉特后旗分布, 200 mm 等降水量闭合线消失, 降水量 > 400 mm 降水区域明显减少, 尤其是内蒙古东部形成小片 400 mm 降水等降水量闭合线, 干旱化趋势明显。晋陕蒙地区交界地带 400 mm 等降水量线向东南方向移动, 晋陕南部降水量略有增多。

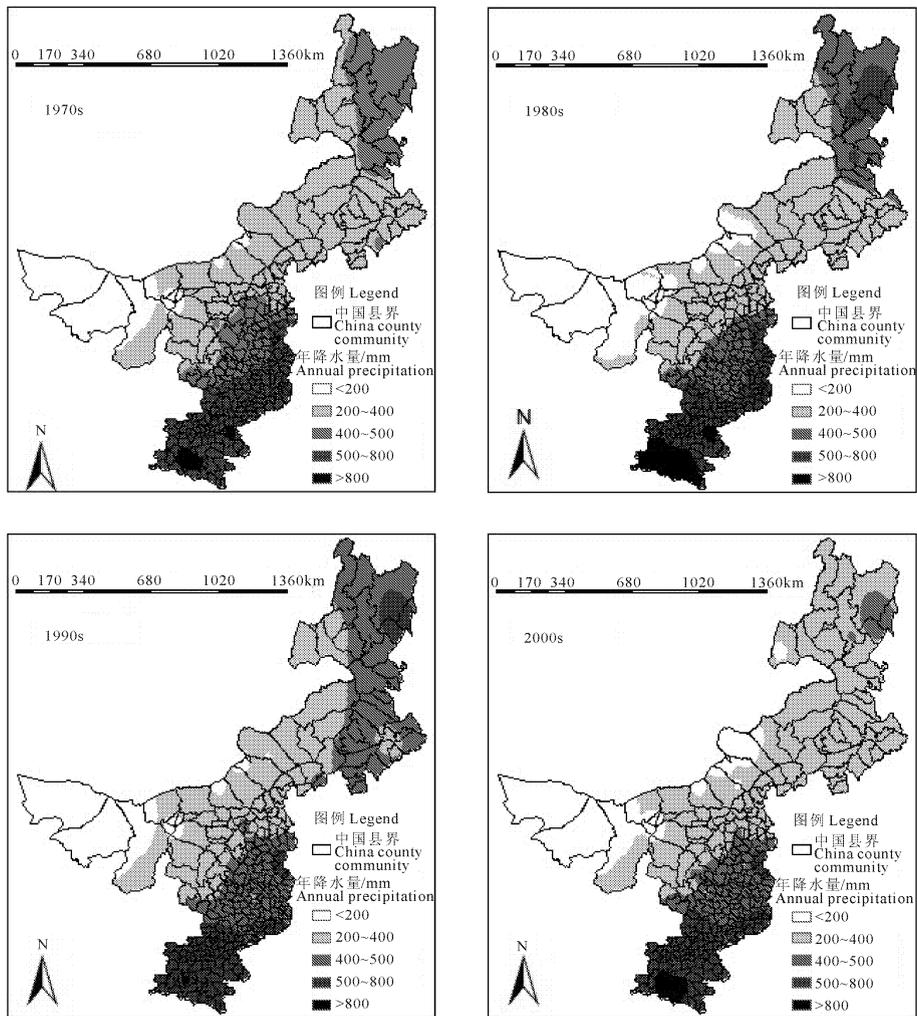


图 4 晋陕蒙地区不同年代际降水量空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the precipitation in different decades in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia Region

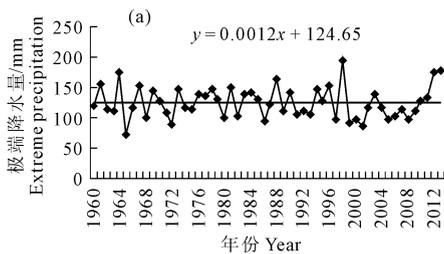
400 mm 等降水量线穿过 3 省(区)接壤区, 是我国东部半湿润区与西北半干旱区的分界线, 形成重要的农牧分界线, 400 mm 等降水量线主要分布在内蒙古东部和晋陕蒙接壤地带, 但是在 4 个不同的年代际变化中, 400 mm 等降水量线表现出东西和南北移动。400 mm 等降水量线基本上呈西南 - 东北走

向, 反映了我国降水量由东南向西北减少的特点。80 年代 < 200 mm 范围扩大, 内蒙古西部降水较少, 东部 400 mm 等降水量线虽然变化不大, 但东部降水量增多, 夏季风到达位置偏东偏南; 90 年代 400 mm 等降水量线出现明显变化, 与朱利凯等^[11]和陈海等^[12]的研究认为北方农牧交错带地区从 90 年代出

现转折点的结论一致,90 年代 400 mm 等降水量线位置变化最大,向西向北移动,夏季风影响的范围增大。21 世纪 200 mm 和 400 mm 等降水量线向东向南移动,说明夏季风逐渐减弱,到达北方的范围较小,内蒙古干旱化趋势明显,而晋陕南部降水量略有增多。段建军等^[10]对黄土高原地区研究表明,黄土高原地区 1952—2001 年间 200、400、600 mm 降水量等值线不断南移,800 mm 降水量等值线不断南移并趋于消失,与本文的研究结果都说明了干旱化区域加大。

2.2 极端降水变化特征分析

2.2.1 年极端降水量变化趋势 近 54 年来,晋陕蒙地区年极端降水量呈不明显的增加趋势(图 5a),



但波动特征明显,极端降水量在 1998 年出现最大值 193.85 mm,在 1965 年极端降水量达到最小值 73.4 mm,MK 检验结果(图 5b)表明,极端降水量在 1972 年以前以下降趋势为主,1972—1990 年以上升趋势为主,1990—2009 年呈下降趋势,2009 年以后又呈上升趋势,但 UF 序列值未超过显著性水平 0.05,可见此时段变化并不显著,但是 UF 和 UB 序列在 0.05 显著性水平内有多个交点,此时段年极端降水量出现转折,但未发生突变,没有出现剧烈变化,对比本区域总降水量下降的趋势,而极端降水量呈增加趋势,说明本区降水处于不稳定状态,暴雨性降水增多,洪涝灾害频繁发生,生态环境加剧恶化。

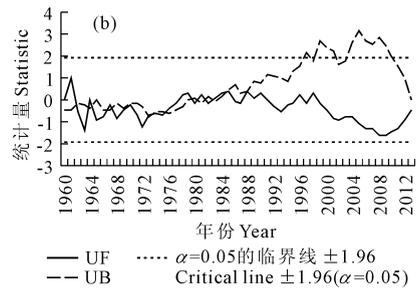


图 5 晋陕蒙地区极端降水量年际变化(a)和极端降水量 Mann-Kendall 检验曲线(b)

Fig.5 The interannual variation of extreme precipitation (a) and Mann-Kendall test curve (b)

in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia

从晋陕蒙地区极端降水量的空间分布来看(图 6a),近 54 年来极端降水量的空间分布在内蒙古自西向东增加,山西和陕西极端降水量自南向北减少,与年降水量的空间分布基本一致。内蒙古东部和南部极端降水量在 100~150 mm 之间,西部在 100 mm 以下,呈现明显的东西差异。山西南部的极端降水量在 150~200 mm 之间,北部在 100~150 mm 之间,呈现明显的南北差异。陕西极端降水量南部大于 200 mm,中部减少为 150~200 mm,北部减少至 100~150 mm,由南向北依次递减。

从晋陕蒙地区极端降水变率的空间分布来看(图 6b),近 54 年来晋陕蒙地区极端降水量变化差异不大,内蒙古东部极端降水量主要呈减少趋势,减幅在 0~1 mm·a⁻¹,中西部主要呈增加趋势,增幅在 0~1 mm·a⁻¹,与内蒙古年降水量变化趋势基本一致,可能是由于年降水量与极端降水事件的指标具有强相关性,丰水年发生的极端降水事件偏多而枯水年极端降水事件的频率更低^[13]。山西省极端降水量以减少趋势为主,减幅在 0~1 mm·a⁻¹,只有在西北部呈现微弱的增加趋势,与年降水量变率差别不大。陕西省极端降水量以增加趋势为主,北部和南部增幅为 0~1 mm·a⁻¹,陕南地区增幅最大,大于

1 mm·a⁻¹,只在中部小部分地区出现减少趋势,极端降水量的变化趋势和降水量变化趋势相反,即使平均总降水减少,强降水量及降水频数也在增加^[14-15],说明陕西省降水分布不均匀,而极端降水量增多,使得该时期该地区的水土流失较严重。

2.2.2 极端降水强度与日数 近 54 年来山西和陕西极端降水强度自南向北逐步减小(图 7a),呈阶梯状依次递减,陕西南部极端降水强度 > 50 mm·a⁻¹,陕西中部在 40~50 mm·a⁻¹,陕西北部降低到 30~40 mm·a⁻¹,山西省极端降水强度大部分地区在 40~50 mm·a⁻¹,只有在北部为 30~40 mm·a⁻¹,内蒙古极端降水强度自东向西逐步减小,东部为 30~40 mm·a⁻¹,个别地区达到 40~50 mm·a⁻¹,中部地区为 20~30 mm·a⁻¹,中部黄河边缘地区为 30~40 mm·a⁻¹,西部地区达到最小在 20 mm·a⁻¹ 以下。总体上极端降水强度的空间分布与极端降水量的空间分布一致,呈现出由东南向西北递减的趋势。李志等^[16]对黄土高原极端降水事件研究表明极端降水事件的空间分布具有东南-西北方向的梯度变化特征,极端降水量和强度均从东南向西北递减,而研究区大部分位于黄土高原范围内,与本文的结果基本一致。

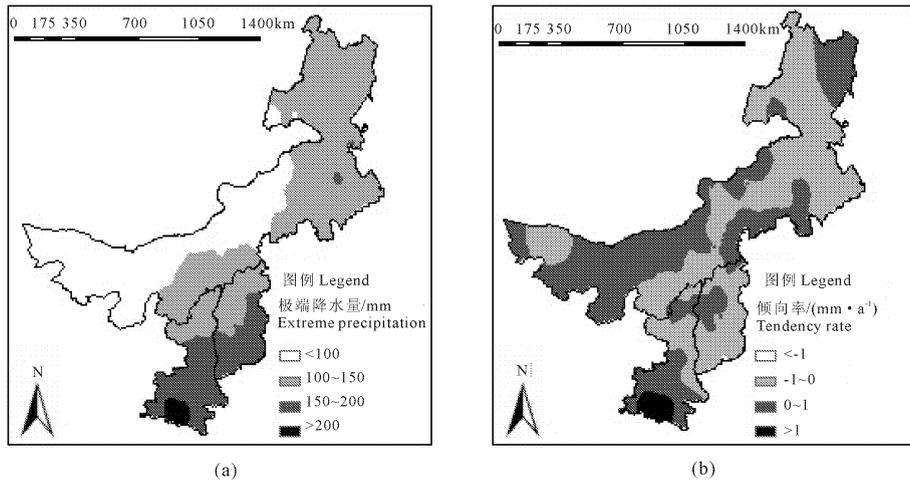


图 6 晋陕蒙地区极端降水量(a)和极端降水变率(b)空间分布

Fig.6 Spatial distribution of the extreme precipitation(a) and its change rate (b) in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia

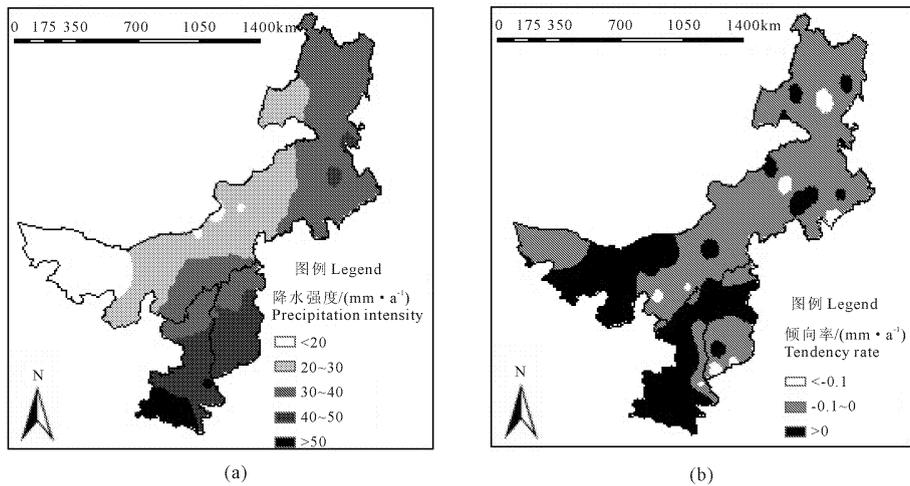


图 7 晋陕蒙地区极端降水强度空间分布(a)和变化趋势(b)

Fig.7 Spatial distribution of the intensity of the extreme precipitation(a) and its change trends(b) in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia

极端降水强度变化趋势差别不大(图 7b),极端降水强度呈增加趋势的主要是在内蒙古的西部、陕西省的西部和南部和山西省的北部,其它地区大部分呈减少趋势,减少幅度最大的出现在晋陕蒙省(区)的个别地区。

对近 54 年来晋陕蒙省(区)极端降水日数(图 8a)的趋势分析,表明本区域极端降水日数呈弱增长,增长水平不显著,但波动频繁。MK 检验结果表明(图 8b),极端降水日数主要以下降趋势为主,但 UF 序列值未超过显著性水平 0.05,可见此时段年极端降水日数变化并不显著,但 UF 和 UB 序列在 0.05 显著性水平内有多个交点,此时段年极端降水日数出现转折,但未发生突变,没有出现剧烈变化,本区域极端降水量的变化主要受到极端降水日数变化的影响,极端降水日数的增加,使得本地区极端事件频发,灾害性天气增多。

2.3 降水变化特征原因分析

通过对晋陕蒙地区近 54 年来降水变化特征分析,整个区域降水变化整体上表现出由东南向西北减少的趋势,与我国降水量从东南向西北减少的趋势一致,内蒙古年降水量和极端降水量呈现东南差异,山西和陕西年降水量和极端降水量呈现南北差异。晋陕蒙地区降水量的这种变化特点与当地的地理位置和地形地貌等有关。本区域处于季风的边缘地带,东南和西南是两条降水通道,内蒙古中西部深居内陆,远离海洋,同时受青藏高原地形的影响,降水稀少^[17]。东部和南部处于季风影响的边缘区,降水量较多,极端降水事件发生频繁。陕西省南北高、中部低,北部是陕北高原,中部是关中平原,秦岭以南为秦巴山区^[18]。秦岭山脉东西分布,由于秦岭山脉的阻挡,水汽在秦岭南坡产生较强的降雨过程,而北坡降水稀少^[19],特殊的地形使得陕西省降水量由

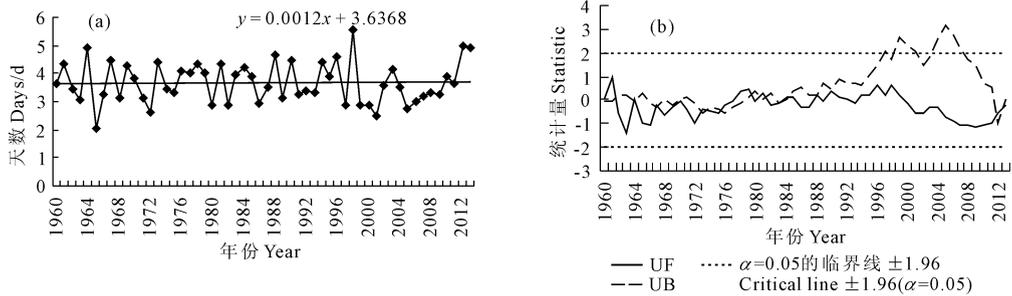


图 8 极端降水日数 (a) 及 Mann-Kendall 检验曲线 (b)

Fig. 8 The days of extreme precipitation (a) and Mann-Kendall test curve (b)

南向北递减,南部是极端降水事件的频发区。山西处于东亚季风的边缘带,当夏季风偏早北进至山西省,且影响范围偏北时,山西省降水偏多;反之则偏少^[3],西太平洋副高加强北抬西进,并于日本海附近断裂成独立小高压,加强的高压将西南暖湿水汽输送至黄河流域^[20],为该省带来丰沛的降水。因此山西省降水量表现出西南向东北的倾斜线,降水变化在两个区域表现出明显差异。近 54 年来,晋陕蒙地区年均降水量都在波动中呈缓慢的下降趋势,这种变化趋势与全球气候变化密切相关,而降水变化趋势差异与大气环流的变化有关,特别是季风的减弱和西风带气流的增强变化。东亚夏季风强度分别在 20 世纪 60 年代中期和 70 年代中期出现了两次明显的减弱过程,1976 年开始,东亚夏季风强度进一步减弱,此后的 33 年中,始终维持负距平^[21],夏季风的减弱使得本区降水量减少,而西风的增强对内蒙古的降水影响较大,因此内蒙古降水量的下降幅度最小。晋陕蒙地区极端降水量和极端降水日数呈不显著增加,在全球变暖背景下,温室气体过度排放导致地表温度连年升高,降水会增加,使得极端气候事件发生的频率和强度都在增加。降水量持续下降会使本区西北部的干旱地带出现严重的荒漠化现象。极端降水增加会使得本区水土流失更加严重,生态环境恶化加剧。

3 结 论

本文以晋陕蒙地区 60 个气象站点 1960—2013 年逐日降水观测资料为基础,选取了降水量值和极端降水量阈值,对晋陕蒙省区降水量的时空变化和极端降水量的各项指标进行研究,主要结论:

(1) 近 54 年来,晋陕蒙 3 个省(区)年均降水量都在波动中呈缓慢的下降趋势,下降趋势均不显著,山西省年降水量下降幅度最大,内蒙古年降水量下降幅度较小;空间上,内蒙古年均降水量呈现出明显

的东西差异,山西年均降水量由东南向西北递减,陕西年均降水量表现为南多北少的特点。从空间和时间分析结果来看,降水从东南向西北出现逐渐由减少到增多的变化趋势,降水少的区域降水趋于增多,晋陕蒙地区内部降水量差异趋于减小。200 mm 和 400 mm 降水等值线呈明显年代际波动,70 年代和 90 年代偏西偏北,80 年代和 21 世纪偏东偏南。近年来夏季风影响范围缩小,降水趋于减少。

(2) 近 54 年来,晋陕蒙 3 个省(区)年均极端降水量呈增加趋势,但增加趋势不明显,极端降水量 1792 年以前以下降趋势为主,1972—1990 年以上升趋势为主,1990—2009 年以后以下降趋势为主,2009 年以后又呈上升趋势,此时段内极端降水量未发生突变。空间分布上,极端降水量在内蒙古自西向东减少,山西和陕西极端降水量自南向北减少,年极端降水量变化差异不大。

(3) 山西和陕西的极端降水强度明显大于内蒙古极端降水强度,山西和陕西由南向北依次递减,内蒙古由东向西逐步减少,总体上极端降水强度的空间分布与极端降水量的空间分布一致,呈现出由东南向西北递减的趋势,极端降水强度的变化趋势差异不大。近 54 年来,本区域年均极端降水日数呈弱增长,增长水平不显著。降水日数的增加使极端事件增加,增加了灾害事件发生的频率。

参 考 文 献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge, United Kingdom New York, US: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Parry M L, et, al. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, U K; Cambridge University Press, 2007.
- [3] 张国宏,郭慕萍,赵海英. 近 45 年山西省降水变化特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(6): 858-862.

- 387:253-260.
- [3] Carins J. Protecting the delivery of ecosystem services[J]. *Ecosystem Health*, 1997, 3(3): 185-194.
- [4] Pimental D, Wilson C, Mc Culum A. Economic and environmental benefits of biodiversity[J]. *Bioscience*, 1997, 47: 747-757.
- [5] Turner R, Bergh, Jereon C, et al. Ecological economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy[J]. *Ecological Economics*, 2000, 35: 7-23.
- [6] Loom J, Kent P, Strange L, et al. Measuring the economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey[J]. *Ecological Economics*, 2000, 33: 103-117.
- [7] Lal P. Economic valuation of mangroves and decision-making in the Pacific[J]. *Ocean&Coastal Management*, 2003, 46: 823-846.
- [8] Mendona M, Sachsida A, Loureiro P. A study on the valuing of biodiversity: the case of three endangered species in Brazil[J]. *Ecological Economics*, 2003, 46: 9-18.
- [9] Pauutanayak S K. Valuing watershed services: concepts and empirics from Southeast Asia[J]. *Agriculture Ecosystems&Environment*, 2004, 104: 171-184.
- [10] Bandara R, Tisdell C. The net benefit of saving the Asian elephant: a policy and contingent valuation study[J]. *Ecological Economics*, 2004, 48: 93-107.
- [11] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. *地理学报*, 1996, 51(6): 553-558.
- [12] 白晓飞, 陈焕伟. 土地利用的生态服务价值——以北京市平谷区为例[J]. *北京农学院学报*, 2003, 18(2): 109-111.
- [13] 王宗明, 张 柏, 张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(1): 55-60.
- [14] 吴大千, 刘 建, 贺同利, 等. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 256-261.
- [15] 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. *热带地理*, 2010, 30(6): 603-608.
- [16] 王友生, 余新晓, 贺康宁, 等. 基于土地利用变化的怀柔水库流域生态服务价值研究[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(5): 246-251.
- [17] 谢余初, 巩 杰, 赵彩霞, 等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应——以甘肃省金塔县为例[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(2): 165-170.
- [18] 张蓉珍, 魏志超, 陈西蕊, 等. 西安市土地利用变化及其生态系统服务价值研究[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(3): 254-262.
- [19] 李 正, 王 军, 白中科, 等. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(5): 577-582.
- [20] 胡金龙, 王金叶, 周志翔, 等. 桂林市土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(10): 89-93.
- [21] 李 忠. 对西部大开发中青海面临生态危机的思考[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2002, 20(1): 74-76.
- [22] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- [23] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.

(上接第 220 页)

- [4] 白爱娟, 施 能, 方建刚. 陕西省降水量变化的区域特征分析[J]. *高原气象*, 2005, 24(4): 635-641.
- [5] 包 刚, 吴 琼, 阿拉腾图雅, 等. 近 30 年内蒙古气温和降水量变化分析[J]. *内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版)*, 2012, 41(6): 668-674.
- [6] 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.
- [7] 任培贵, 张 勃, 张调风, 等. 基于 SPEI 的中国西北地区气象干旱变化趋势分析[J]. *水土保持通报*, 2014, 2(1): 182-192.
- [8] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(增刊): 1-10.
- [9] 李 志, 赵西宁. 1961—2009 年黄土高原气象要素的时空变化分析[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(2): 287-299.
- [10] 段建军, 王小利. 黄土高原地区 50 年降水时空动态与趋势分析[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 143-146.
- [11] 朱利凯, 蒙吉军. 内蒙古中部地区近 40 年来降水时空变化[J]. *干旱区研究*, 2010, 27(4): 536-544.
- [12] 陈 海, 梁小英, 李立新. 近 40 年中国北方农牧交错带气候时空分异特征[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2007, 37(8): 653-656.
- [13] Malcolm H, Neville. Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910—1998[J]. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(13): 1533-1541.
- [14] Manton M J, Della - Marta P M, Haylock M R, et al. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific 1961—1998[J]. *International Journal of Climatology*, 2001, 21: 269-284.
- [15] Buffoni L, Maugeri M, Nanni T. Precipitation in Italy from 1833 to 1996[J]. *Theoretical Applied Climatology*, 1999, 63: 33-40.
- [16] 李 志, 郑粉莉, 刘文兆. 1961—2007 年黄土高原极端降水事件的时空变化分析[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(2): 291-299.
- [17] 包 云, 李晓兵, 黄玲梅, 等. 1961—2007 年内蒙古降水时空分布[J]. *干旱区地理*, 2011, 34(1): 52-61.
- [18] 聂树人. 陕西自然地理[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1981: 1-433.
- [19] 宋进喜, 宋令勇, 惠泱河, 等. 陕西省降水时空变化特征及资源化研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2009, 45(5/6): 575-581.
- [20] 王 楠, 李栋梁, 张 杰. 黄河中上游流域夏季异常降水的变化特征及环流分析[J]. *干旱区地理*, 2012, 35(5): 754-763.
- [21] 张国宏, 李智才, 宋 燕, 等. 中国降水量变化的空间分布特征与东亚夏季风[J]. *干旱区地理*, 2011, 34(1): 34-42.