

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 19 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

王麒翔, 范晓辉, 王孟本. 近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征. 生态学报, 2011, 31(19): 5512-5523.

Wang Q X, Fan X H, Wang M B. Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5512-5523.

近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征

王麒翔, 范晓辉, 王孟本*

(山西大学黄土高原研究所, 太原 030006)

摘要:根据黄土高原地区 214 个地面气象站最近 50 年(1961—2010 年)的逐日降水量数据, 采用非参数 Mann-Kendall 和 Mann-Whitney 法, 从黄土高原地区、典型黄土高原和综合治理分区 3 个层面, 对本地区年降水量 (PTOT)、侵蚀性降水量 (R12mm)、汛期降水量 (RJJAS) 和暴雨量 (R50mm) 的时空变化特点进行了研究。结果表明: (1) 在黄土高原地区, PTOT、R12mm 和 RJJAS 变化的空间格局基本一致, 从东南向西北, 其减少幅度逐渐变小, 至西北部和最西部, 其反而略有增加。但是 R50mm 变化的空间趋势不大明显。相比之下, 典型黄土高原 PTOT、R12mm 和 RJJAS 变化的空间趋势更为突出。 (2) 在黄土高原地区, 约 83% 的站点 PTOT 呈减少趋势, 69% 的站点 R12mm 和 RJJAS 呈减少趋势; 其中 20% 的站点 PTOT 减少显著, 10% 的站点 R12mm 和 RJJAS 减少显著。而约 68% 的站点 R50mm 变化率为零。相比之下, 在典型黄土高原, 呈减少或显著减少趋势的站点比例较高, 约 92% 的站点 PTOT 呈减少趋势, 80% 的站点 R12mm 和 RJJAS 呈减少趋势; 其中 24% 的站点 PTOT 减少显著, 12% 的站点 R12mm 和 RJJAS 减少显著。R50mm 变化率为零的站点比例则较低, 约占 62%。 (3) 近 50a 黄土高原地区的 PTOT 和 R12mm 总体上分别呈显著和接近显著减少趋势, 递减率分别为 9.9mm/10a 和 5.9mm/10a; 但是其 RJJAS 和 R50mm 的减少不显著。近 50a 典型黄土高原的 PTOT 和 R12mm 均呈显著减少趋势, 递减率分别为 13.4 mm/10a 和 8.1mm/10a。其 RJJAS 减少趋势接近显著, 递减率为 7.6mm/10a。但是其 R50mm 减少不显著。 (4) 就 5 个综合治理区而言, 第 I 区和第 II 区的 PTOT 总体呈显著减少趋势, 这两个区的 R12mm 分别呈接近显著和显著减少趋势, 而第 III 至 V 区的 PTOT 和 R12mm 总体呈不显著增加趋势。仅第 II 区的 RJJAS 呈显著减少趋势。R50mm 在第 I 区、第 II 区和第 IV 区减少不显著, 在第 III 区和第 V 区变化率为零。 (5) 近 50a PTOT 减少的突变时间在黄土高原地区、典型黄土高原和综合治理第 II 区始于 1986 年, 在第 I 区始于 1991 年。PTOT 在其余 3 个区没有出现突变现象。这些结果表明, 在典型黄土高原, 尤其是其水土保持重点区 (即第 II 区), 近 50a 的年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量明显减少, 但暴雨量却未显著减少。这意味着如果此种趋势继续下去, 尽管因水蚀导致的土壤侵蚀量总体上会有所减少, 但是缺水情形会更为严峻, 因暴雨导致的剧烈水土流失仍不会有明显缓解。

关键词:降水; 时空变化; 黄土高原

Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China

WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben*

Institute of the Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

Abstract: Precipitation change could exert considerable impacts on the soil and water conservation and ecological construction in the Loess Plateau region. In this study a dataset of daily precipitation series (1961—2010) from 214 surface meteorological stations was used to investigate the spatiotemporal change trends in annual precipitation (PTOT), annual erosive rainfall (R12mm), annual flood season rainfall (RJJAS) and annual torrential rainfall (R50mm) over the Loess Plateau region (LPR) during the period 1961—2010. The examination was made at three hierarchical levels: the entire LPR, the Loess Plateau (LP) and the five divisions of integrated management of the LPR, and the Mann-Kendall and Mann-Whitney methods were used to test the monotonic and step trends, respectively. Results showed that (1) a similar

基金项目:山西省研究生优秀创新项目; 山西省回国留学人员科研资助项目

收稿日期:2011-05-30; **修订日期:**2011-08-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mbwang@sxu.edu.cn

spatial pattern of distribution of change trends at all the stations was found for PTOT, R12mm and RJJAS over the LPR, with a decreasing magnitude of negative change from the southeast to the northwest, besides a slightly positive change in the far northwest and far west areas. However, no clear spatial pattern was observed for R50mm over the region. The spatial patterns for PTOT, R12mm and RJJAS were more profound on the LP than on the LPR. (2) On the LPR, approximately 83% of stations showed a negative change in PTOT, and 69% of stations showed a negative change in R12mm and RJJAS, while 20% of stations showed a significant decrease in PTOT, and 10% of stations showed a significant decrease in R12mm and RJJAS. However, approximately 68% of stations showed a zero slope in R50mm. The proportion of stations showing a negative change or a significant negative change on the LP was higher than on the LPR, about 92% of stations showed a negative change in PTOT, and 80% of stations showed a negative change in R12mm and RJJAS, while 24% of stations showed a significant decrease in PTOT, and 12% of stations showed a significant decrease in R12mm and RJJAS. Approximately 62% of stations showed a zero slope in R50mm on the LP. (3) As a whole, a significant negative trend ($P < 0.05$) in PTOT and a nearly significant negative trend ($P < 0.10$) in R12mm were found on the LPR, with a linear trend of $-9.9\text{mm}/10\text{a}$ and $-5.9\text{mm}/10\text{a}$, respectively; while the decrease was not significant for RJJAS and R50mm over the LPR. A significant negative trend for PTOT and R12mm, and a nearly significant negative trend for RJJAS were found on the LP, with a linear trend of $-13.4\text{mm}/10\text{a}$, $-8.1\text{mm}/10\text{a}$ and $-7.6\text{mm}/10\text{a}$, respectively; while the decrease was not significant for R50mm over the LP. (4) The first and the second divisions of the LPR showed a significant negative trend in PTOT, and they showed a nearly significant negative trend and a significant negative trend for R12mm, respectively, while the rest three divisions showed a non-significant positive trend for PTOT and R12mm. A significant negative trend in RJJAS was only found in the second division among the five divisions. The first, second and fourth divisions showed a non-significant decrease in R50mm, while the third and fifth ones showed a zero slope in R50mm. (5) One abrupt change was detected in PTOT for the LPR, LP, and the first and second divisions, but not for the rest three divisions, with a significant decrease occurred since 1986 for the LPR, LP, and the second division, and since 1991 for the first division. Overall, the PTOT, R12mm and RJJAS decreased substantially but the R50mm did not change significantly over the LP, especially over the key area of soil and water conservation of the LPR (i. e. the second division) over the past five decades. These results indicated that if the trends are hold in future, although the soil erosion resulted from R12mm may decrease as a whole, the shortage of water resource will become severer, and the situation of the extremely intense soil and water losses caused by R50mm will not have considerable change.

Key Words: precipitation; spatiotemporal change; the Loess Plateau

黄土高原地区是指太行山以西、日月山—贺兰山以东、秦岭以北、阴山以南的广大国土。地理位置介于 $100^{\circ}54'—114^{\circ}33'$, 北纬 $33^{\circ}43'—41^{\circ}16'$ 之间, 面积约 62.4万 km^2 ^[1-2]。行政区域包括山西省和宁夏回族自治区全部, 陕西省秦岭以北的关中和陕北地区, 甘肃省乌鞘岭以东、甘南自治州以北的陇中和陇东地区, 内蒙古自治区阴山以南的鄂而多斯和河套地区, 青海省的青东地区, 河南省郑州以西的豫西地区。根据最新行政区划, 涉及 7 省(自治区)、44 个地区(市、盟、州)、334 个县(旗、市、区)。

黄土高原地区是世界上水土流失最严重的地区之一。降水是黄土高原地区水资源的主要补给来源, 但是降水(主要是侵蚀性降水)同时会导致土壤水蚀, 尤其是暴雨常导致剧烈水土流失^[2-3]。因此, 在全球气候变化^[4]的大背景下, 人们不禁要问: 黄土高原地区的降水是否发生了变化, 变化情形如何?

近年来一些学者根据自 20 世纪中期以来的降水量实测数据, 从年降水量、季降水量、侵蚀性降水量和极端降水事件等方面, 对黄土高原地区或典型黄土高原的降水变化趋势及其时空特征等进行了研究, 取得了许多重要成果^[5-20]。研究显示, 黄土高原地区降水变化具有明显的空间差异^[15, 20]。从黄土高原地区或典型黄土高原来看, 自 20 世纪中期以来, 年降水量总体呈显著下降趋势^[6, 15, 20], 年降水、秋季降水和植被生长期

(4月至10月)降水减少的突变时间出现在1985年^[7,11],夏季(7—9月)降水减少的突变时间大约出现在1983年^[16]。研究同时显示,多数站点的极端降水频率、极端降水量、严重干旱频率、极端降水强度和年最大日降水量具有单调趋势,但是仅约40%的站点极端降水频率显著降低;约30%的站点极端降水量显著减少而严重干旱频率显著增加;约10%的站点极端降水强度显著上升而年最大日降水量显著减少^[18]。但是强降水、五日最大降水量、日降水强度、最长干旱期和强降水日数等极端降水事件总体上没有显著变化^[19]。

以上研究采用的观测数据普遍较少,所涉及的气象站多介于30—70个之间,个别接近100个。由于黄土高原地区地貌复杂,若能采用全部可利用观测站数据进行研究,所得结果则会更具有代表性。与此同时,若能进一步结合黄土高原地区综合治理开发分区情况对其降水变化进行研究,所得结果将更具有实际参考价值。

鉴于以上两点,本文以黄土高原地区7省(区)214个地面观测站(图1)近50a(1961—2010年)的逐日降水量数据为基础,从黄土高原地区、典型黄土高原和黄土高原地区综合治理开发分区3个层面入手,对本地区降水的时空变化特点进行研究。以加深对区域降水变化特征的认识,为生态建设和农林牧业发展等提供新的更全面的基础信息。

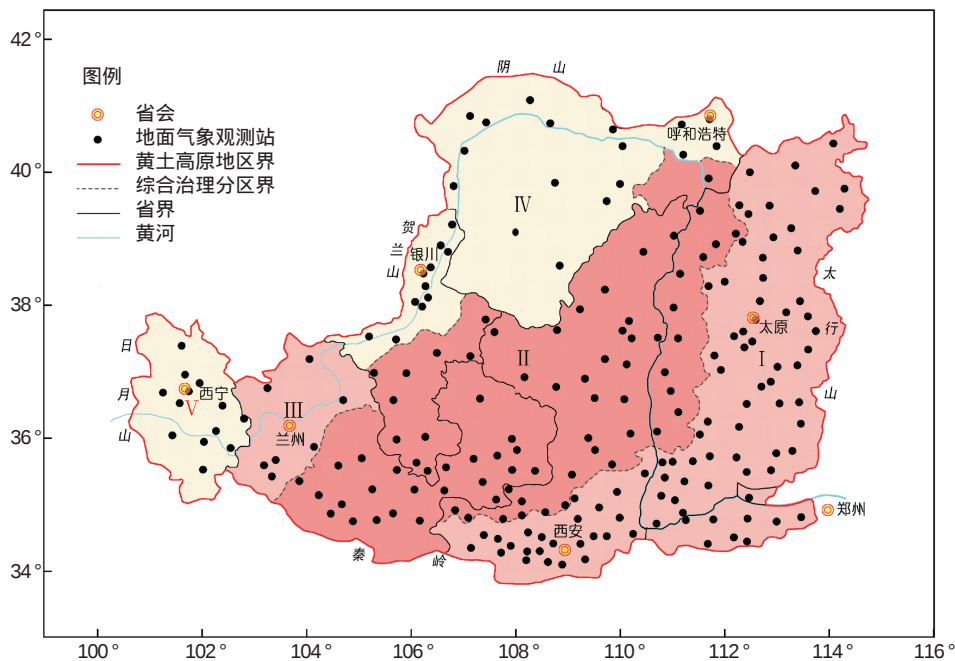


图1 气象站分布和综合治理分区

Fig. 1 Distribution of 214 meteorological stations in the Loess Plateau region and the 5 divisions of integrated management of the region

1 数据和方法

1.1 降水数据

黄土高原地区现有288个地面气象站,其中观测历史较长(至迟在1961年1月份即开始观测记录)的有225个站。这些站近50a(1961—2010年)的逐日降水量数据从国家气象信息中心获得。同时从有关省(自治区)气象信息中心或档案室获得了约110个站的台站站址沿革信息。

1.2 研究方法

1.2.1 分析指标

本文采用4个降水指标,即年降水量、侵蚀性降水量、汛期降水量和暴雨量。以6月至9月总降水量作为汛期降水量。分别以日降水量 ≥ 12 mm为侵蚀性降水划分标准^[21],以日降水量 ≥ 50 mm为暴雨划分标准。

1.2.2 分析层次

以黄土高原地区综合治理开发分区^[2]为基础,同时参照黄土高原水土保持重点区空间分布范围^[2],本研

究将黄土高原地区分为 5 个综合治理区:即晋陕豫河谷平原与土石山区(Ⅰ)、黄土高原水土保持重点区(Ⅱ)、陇中丘陵山地区(Ⅲ)、内蒙宁夏风沙区(Ⅳ)、青东高原区(Ⅴ)(图 1)。以便从黄土高原地区(Ⅰ至Ⅴ)、典型黄土高原(Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ)和综合治理区 3 个层面对上述指标进行分析,以揭示最近 50a 黄土高原地区降水的变化趋势及其空间分异特征。

1.2.3 分析方法

数据处理和分析采用的主要方法有数据序列均一性检验、自相关检验与校正,以及 Mann-Kendall 线性趋势检验和 Mann-Whitney 突变趋势检验。

利用 RHtest V3 软件对数据序列均一性进行检验^[22]。基本步骤是:首先对每个数据序列进行均一性检验,然后根据检验结果对少数可疑数据序列进行逐一排查,即借助已知台站站址沿革信息,尤其是与相邻站点检验结果的对比,最终确定并剔除明显具有不连续性的数据序列。研究中,参考了对逐日气温数据序列的均一性检验结果,删除了 11 个具有不连续性的数据序列。因此,本研究实际选用了 214 个气象站的 1961—2010 年的逐日降水数据。

采用自行研发的 AUCOTEAD_MAKESENS (Autocorrelation test and adjust, and Mann-Kendall test and Sen's slope estimates) 软件,对各个数据序列进行自相关检验、校正与变化趋势检验(Z 值显著性检验)和变化率(Q)估计。关于自相关校正的数学原理可以从参考文献^[23]的附录 A 中找到。利用自行研发的 MWSTT (Mann-Whitney step trend test) 软件对近 50a 的降水突变趋势进行分析^[24-25]。

在下文中,除另有说明以外,统计检验结果分别以通过 0.05 和 0.10 置信度为显著和接近显著。为了便于进行比较,在统计各个站点的降水变化趋势时,将不同类型的站点数按其占总站点数的百分比将其归为以下 8 个级别之一,即极少数(<10%)、极少数(10%—25%)、少数(>25%—45%)、半数(约半数)(50±5)%、多数(>55%—75%)、大多数(>75%—90%)、绝大多数(>90%)或全部(100%)。

2 研究结果

2.1 黄土高原地区和典型黄土高原的降水变化特点

2.1.1 黄土高原地区降水变化

黄土高原地区年降水量的地理分布总趋势是南多北少,东多西少,自东南向西北递减。年降水量等值线大致均呈东北—西南走向,400mm 等值线经由内蒙呼和浩特,陕西神木、榆林,甘肃环县、会宁一线(图 2A₁)。其年侵蚀性降水量、汛期降水量的空间分布趋势(图 2B₁和图 2C₁)与年降水量很相似。

由图 2A₂可以看出,近 50a 本地区年降水量变化的空间格局大致为自东南向西北减少率逐渐变小,至西北部和西端,年降水量甚至略有增加。其年侵蚀性降水量和汛期降水量变化的空间分布趋势(图 2B₂和图 2C₂)与年降水量变化十分相似。

就站点比例而言,在 214 个站点中,大多数站点年降水量呈减少趋势,而极少数站点呈增加趋势。其中极少数站点降水显著减少,仅 1 个站点降水显著增加(表 1)。与此同时,多数站点侵蚀性降水量(汛期降水量)呈减少趋势,少数站点呈增加趋势。其中极少数站点侵蚀性降水(汛期降水)显著减少,仅 1 个站侵蚀性降水(汛期降水)显著增加(表 1)。

从总体上看,近 50a 黄土高原地区的年降水量呈显著减少趋势,递减率为 9.9mm/10a (图 3LPR_a)。其侵蚀性降水量变化的减少趋势接近显著,递减率为 5.9mm/10a (图 3LPR_b)。但是其汛期降水量减少趋势不显著(图 3LPR_c)。

与以上 3 个指标不同的是,尽管年暴雨量的地理分布总趋势(图 2D₁)同样是自东南向西北递减,但是其变化率的空间分布趋势却不大明显(图 2D₂)。近 50a 多数站点暴雨量没有变化(Q=0),极少数站呈现出增加或减少趋势,其中显著增加或减少的站点极少(表 2)。另有 4 个站由于在近 50a 内仅出现了 1 次暴雨,因而无法计算其暴雨变化趋势(表 2)。总体而言,近 50a 年暴雨量减少趋势不显著(图 3LPR_d)。

2.1.2 典型黄土高原降水变化

典型黄土高原(Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ)为黄土高原地区东南部大半个区域(图 1),与整个黄土高原地区相比,其历年

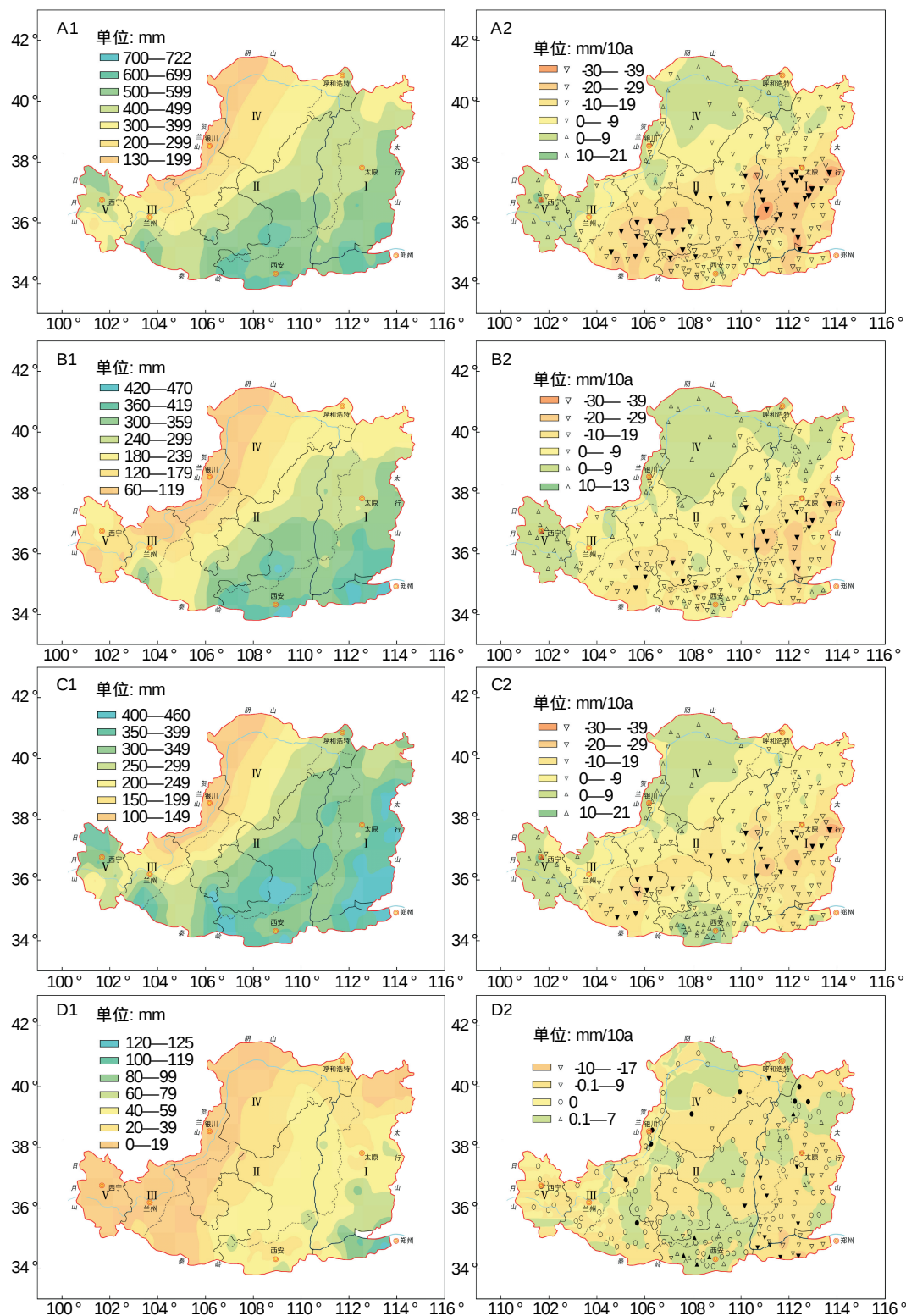


图2 黄土高原地区近50a年均降水量、侵蚀性降水量、汛期降水量和暴雨量的空间分布(A₁—D₁),以及同期年降水量、侵蚀性降水量、汛期降水量和暴雨量变化趋势的空间分布(A₂—D₂)

Fig. 2 Spatial patterns of mean annual precipitation, erosive rainfall, flood season rainfall and torrential rainfall (A₁—D₁), and the change trends of annual precipitation, erosive rainfall, flood season rainfall and torrential rainfall at 214 meteorological stations (A₂—D₂) during the period 1961—2010 in the Loess Plateau region

表 1 近 50a 黄土高原地区 214 个气象站年降水量 (PTOT)、侵蚀性降水量 (R12mm) 和汛期降水量 (RJJAS) 变化趋势的统计结果

Table 1 Statistics of the change trends of annual precipitation (PTOT), erosive rainfall (R12mm) and flood season rainfall (RJJAS) series (1961—2010) at all the 214 stations selected for this study over the Loess Plateau region

指标 Index	区号	PAS	PBNS	合计% Total	NAS	NBNS	合计% Total	总站数 No. of stations
PTOT	I		4 (4.4)	4.4	20 (22.2)	66 (73.3)	95.6	90
	II		7 (9.2)	9.2	22 (28.9)	47 (61.8)	90.8	76
	III		3 (42.9)	42.9		4 (57.1)	57.1	7
	IV		13 (46.4)	46.4		15 (53.6)	53.6	28
	V	1 (7.7)	8 (61.5)	69.2		4 (30.8)	30.8	13
	LP		14 (8.1)	8.1	42 (24.3)	117 (67.6)	91.9	173
	LPR	1 (0.5)	35 (16.4)	16.8	42 (19.6)	136 (63.6)	83.2	214
R12mm	I		20 (22.2)	22.2	9 (10.0)	61 (67.8)	77.8	90
	II		13 (17.1)	17.1	11 (14.5)	52 (68.4)	82.9	76
	III		2 (28.6)	28.6		5 (71.4)	71.4	7
	IV		20 (71.4)	71.4		8 (28.6)	28.6	28
	V	1 (7.7)	11 (84.6)	92.3		1 (7.7)	7.7	13
	LP		35 (20.2)	20.2	20 (11.6)	118 (68.2)	79.8	173
	LPR	1 (0.5)	66 (30.8)	31.3	20 (9.4)	127 (59.3)	68.7	214
RJJAS	I		23 (25.6)	25.6	7 (7.8)	60 (66.7)	74.4	90
	II		12 (15.8)	15.8	14 (18.4)	50 (65.8)	84.2	76
	III		3 (42.9)	42.9		4 (57.1)	57.1	7
	IV		17 (60.7)	60.7		11 (39.3)	39.3	28
	V	1 (7.7)	10 (76.9)	84.6		2 (15.4)	15.4	13
	LP		38 (22.0)	22.0	21 (12.1)	114 (65.9)	78.0	173
	LPR	1 (0.5)	65 (30.4)	30.9	21 (9.8)	127 (59.3)	69.1	214

I 至 V 分别代表黄土高原地区的第 1 至第 5 个综合治理区; LP 和 LPR 分别代表典型黄土高原 (I + II + III) 和黄土高原地区 (I + II + III + IV + V); PAS, PBNS, NAS 和 NBNS 分别表示增加且显著、增加但不显著、减少且显著、减少但不显著。圆括号中的数字表示该类站数占总站数的百分比

年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量,以及同期年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量变化的空间分布趋势不仅与黄土高原地区相似,而且更为突出(图 2)。与黄土高原地区相比,典型黄土高原年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量呈减少趋势的站点比例明显提高。其中呈显著减少趋势的站点比例亦均有所提高。与之相对应,年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量呈增加趋势的站点比例均明显减少,且增加趋势均不显著(表 1)。然而,与黄土高原地区类似,多数站年暴雨量没有变化,极少数站增加(减少),其中显著增加(减少)的站点极少(表 2)。

在总体上,典型黄土高原的年降水量和侵蚀性降水量变化均呈显著减少趋势,递减率分别为 13.4 mm/10a 和 8.1 mm/10a。其汛期降水量减少趋势接近显著,递减率为 7.6 mm/10a;暴雨量减少趋势则不显著(图 3LP_a—LP_d)。

由此可以看出,典型黄土高原年降水量和年侵蚀性降水量的递减幅度明显大于整个黄土高原地区,分别比后者高 35.1% 和 37.9%。前者的汛期降水量变化幅度亦较后者更为明显。

2.2 综合治理区的降水变化特点

2.2.1 第 I 区和第 II 区降水变化

晋陕豫河谷平原与土石山区 (I) 和黄土高原水土保持重点区 (II) 分别位于黄土高原地区东南部和中心区域。前者的历年年均降水量 (525.6 mm) 高于后者 (485.0 mm)。在第 I 区,年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量变化呈减少趋势的站点分别占绝大多数、大多数和多数,其中显著减少站分别占极少数和极少数。相比之下,这 3 个指标变化呈增加趋势的站点则分别占极少数、极少数和少数(表 1)。在这个区半数站点的历年暴雨量没有变化。其余半数站点中,少数站点暴雨量呈减少趋势,其中极少数站点显著减少。另有很少站

点暴雨量有增加倾向,其中极少数显著增加(表2)。这个区的年降水量总体呈显著减少趋势,递减率为13.6mm/10a。其侵蚀性降水量总体减少趋势接近显著,递减率为8.1mm/10a。而其年汛期降水量和暴雨量总体减少趋势均不显著(图3 I_a—I_d)。

表2 近50a黄土高原地区214个气象站暴雨量(R50mm)变化趋势的统计结果

Table 2 Statistics of the change trends of torrential rainfall (R50mm) series (1961—2010) at all the 214 stations selected for this study over the Loess Plateau region

区号 Division No.	PAS	PBNS	合计% Total	NAS	NBNS	合计% Total	ZAS	ZBNS	合计% Total	<i>n</i>
I	3(3.3)	9(10.0)	13.3	7(7.8)	26(28.9)	36.7	3(3.3)	42(46.7)	50.0	90
II	2(2.6)	8(10.5)	13.2	3(3.9)	8(10.5)	14.5	2(2.6)	53(69.7)	72.4	76
III								7(100.0)	100.0	7
IV				1(3.7)	1(3.7)	7.4	4(14.8)	21(77.8)	92.6	27
V								10(100)	100.0	10
LP	5(2.9)	17(9.8)	12.7	10(5.8)	34(19.7)	25.4	5(2.9)	102(59.0)	61.8	173
LPR	5(2.4)	17(8.1)	10.5	11(5.2)	35(16.7)	21.9	9(4.3)	133(63.3)	67.6	210

除了ZAS和ZBNS分别表示斜率为零且显著,斜率为零但不显著之外,其余同表1

第Ⅱ区是黄河泥沙及其粗泥沙主要来源区^[2]。其年降水量和侵蚀性降水量变化呈减少趋势的站点亦分别占绝大多数和大多数,但是与第Ⅰ区相比,年降水量和侵蚀性降水量呈显著减少趋势的站点则相对增加。其汛期降水量变化呈减少趋势的站点占大多数,呈显著减少趋势的站点比例明显增加(表1)。这个区多数站点的年暴雨量没有变化。暴雨量呈减少和增加趋势的站点分别占少数和很少数,其中极少数站点显著减少或显著增加(表2)。这个区的年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量总体上均呈显著减少趋势,递减率分别为15.0mm/10a、8.8mm/10a和9.3mm/10a,但是其年暴雨量减少趋势亦不显著(图3 II_a—II_d)。

2.2.2 第Ⅲ区、第Ⅳ区和第Ⅴ区降水变化

陇中丘陵山区(Ⅲ)、内蒙宁夏风沙区(Ⅳ)和青东高原区(Ⅴ)分别位于黄土高原地区的西部、西北部和最西端。其历年年均降水量依次为392.8mm、241.7mm和409.4mm。第Ⅳ区多年平均降水量最低。这3个区气象站的平均海拔分别为1932.9m、1138.4m和2360.9m。第Ⅲ和第Ⅴ区的海拔明显高于黄土高原地区平均海拔(800—1500m)。

在这3个区,年降水量、侵蚀性降水量或汛期降水量呈减少趋势的站点比例依次减少。在第Ⅲ区,多数站点年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量呈减少趋势,在第Ⅳ和第Ⅴ区,年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量仅半数、少数、很少或极少数站点呈减少趋势,且减少趋势均不显著。与此相对应,在这3个区,年降水量、侵蚀性降水量或汛期降水量变化呈增加趋势的站点比例则依次增多,尽管仅有第Ⅴ区1个站的年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量显著增加。这3个区全部或绝大多数站点的历年暴雨量没有变化,仅第Ⅴ区有1个站的汛期降水量变化呈显著增加趋势(表1)。从总体上看,这3个区的年降水量、侵蚀性降水量、汛期降水量和暴雨量的变化趋势均不显著(表3)。

表3 黄土高原地区第Ⅲ—Ⅴ综合治理区近50a(1961—2010)年降水量(PTOT)、侵蚀性降水量(R12mm)、汛期降水量(RJJAS)和暴雨量(R50mm)变化趋势(mm/10a)的Mann-Kendall检验结果

Table 3 Monotonic trends for the time series (1961—2010) of annual precipitation (PTOT), erosive rainfall (R12mm), flood season rainfall (RJJAS) and torrential rainfall (R50mm) over the third, fourth and fifth divisions of the Loess Plateau region based on the Mann-Kendall test

区号 Division no.	PTOT		R12mm		RJJAS		R50mm	
	<i>Z</i> *	<i>Q</i>	<i>Z</i>	<i>Q</i>	<i>Z</i>	<i>Q</i>	<i>Z</i>	<i>Q</i>
III	0.164	1.12	0.715	3.00	-0.164	-0.79	0.026	0.00
IV	0.026	0.28	0.509	2.30	-0.351	-2.12	-0.937	-1.22
V	0.871	4.63	1.440	4.92	1.233	4.04	-0.930	0.00

*表中*Z*值均不显著,亦均未达到接近显著水平;Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ的含义同表1

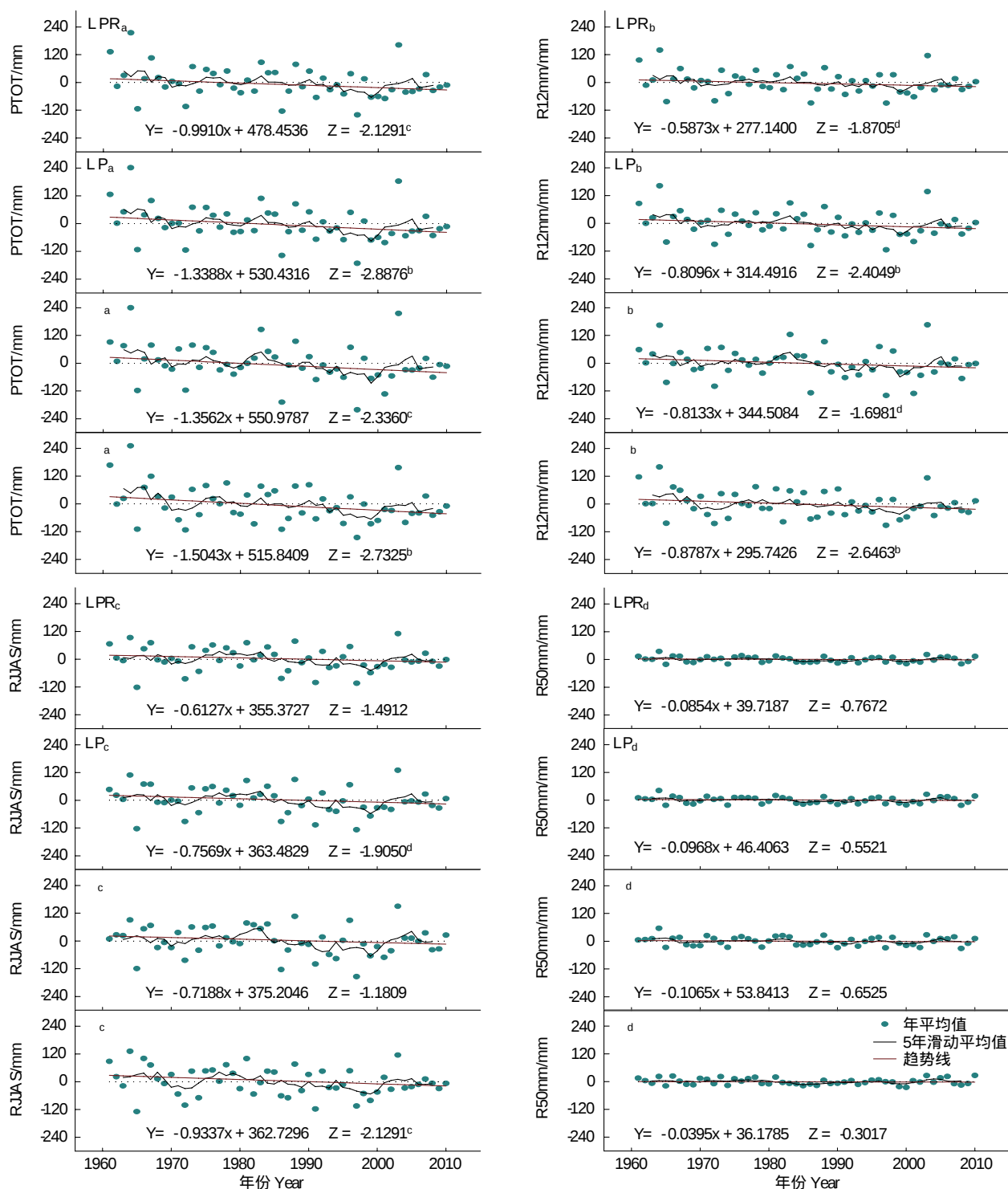


图 3 近 50a (1961—2010) 黄土高原地区 (LPR)、典型黄土高原 (LP) 和黄土高原地区综合治理第 I 区和第 II 区年降水量 (PTOT)、侵蚀性降水量 (R12mm)、汛期降水量 (RJAS) 和暴雨量 (R50mm) 的变化趋势

Fig 3 Trends in annual precipitation (PTOT), erosive rainfall (R12mm), flood season rainfall (RJAS) and torrential rainfall (R50mm) over the Loess Plateau region (LPR), Loess Plateau (LP), and the first and second divisions (I and II respectively) of the LPR during the period 1961—2010

上标字母 b, c 和 d 分别表示达 0.01、0.05 和 0.10 显著水平

从以上对 5 个区 4 个指标总体变化趋势的分析可以看出,黄土高原水土保持重点区 (II) 的年降水量、侵

蚀性降水量和汛期降水量变化最为明显,递减趋势显著,递减率最大。其次为晋陕豫河谷平原与土石山区(Ⅰ),其年降水量和侵蚀性降水量递减趋势分别为显著和接近显著,递减率次之。但是其汛期降水量递减趋势不显著。这两个区的年暴雨量减少趋势均不显著。其余3个区的年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量和暴雨量的变化趋势则均不显著。这进一步说明,在黄土高原地区,历年来降水变化的空间差异很明显,尤以前两个区与后3个区的差异最为明显。

2.3 黄土高原地区降水的突变趋势

以上对近50a黄土高原地区年降水量、侵蚀性降水量、汛期降水量和暴雨量的线性变化趋势及其空间分布格局进行了分析。对各季降水线性变化趋势的进一步分析显示,在黄土高原地区和典型黄土高原,以及黄土高原地区的第Ⅰ区和第Ⅱ区,春、夏、秋3季降水均呈减少趋势,但是冬季降水却略有增加。其中秋季降水减少幅度达春季和夏季的2倍以上。但是值得指出的是,各季降水减少或增加趋势均不显著。在其余3个区,第Ⅲ区春、夏、冬3季降水均呈增加趋势,秋季降水略有减少。第Ⅳ区春、秋、冬季降水略有增加,夏季降水略有减少。第Ⅴ区各季降水均略有增加。这3个区的4季降水变化趋势同样均不显著。

由于近50a各季降水量变化趋势均不显著,本文主要对年降水量的突变趋势进行了分析。结果显示,在黄土高原地区,典型黄土高原,以及黄土高原地区第Ⅰ区和第Ⅱ区,历年年降水量在1986年或1991年出现了突变。自1986年始,黄土高原地区、典型黄土高原和第Ⅱ区的降水量明显减少,自1991年始,第Ⅰ区的降水量明显减少(表4)。其余3个区的历年年降水量则不存在自然突变。

从近50a降水的各年代均值来看,在黄土高原地区、典型黄土高原,以及黄土高原地区第Ⅰ区和第Ⅱ区,均为20世纪90年代降水量最少,21世纪最初10a降水量次之。近50a年降水量突变出现在1986年或1991年,与自20世纪90年代以来的降水减少直接相关。

表4 黄土高原地区近50a(1961—2010)年降水量的突变趋势的Mann-Whitney(MW)检验结果

Table 4 Step trends in annual precipitation time series (1961—2010) over the Loess Plateau region based on the Mann-Whitney (MW) test

区号 Division no.	子序列号 Sub-series no.	时段 Period	年限 Year	均值 Mean	标准差 Std Dev	变异系数 CV	MW 检验	
							Z	P
Ⅰ *	1	1961—1990	30	543.9	78.8	0.145	2.772	0.006
	2	1991—2010	20	498.2	80.3	0.161		
Ⅱ	1	1961—1985	25	510.0	84.3	0.165	2.241	0.025
	2	1986—2010	25	459.9	65.7	0.143		
PL	1	1961—1985	25	526.9	74.5	0.141	2.668	0.008
	2	1986—2010	25	478.2	70.5	0.147		
PLR	1	1961—1985	25	482.2	70.5	0.146	2.435	0.015
	2	1986—2010	25	442.6	62.0	0.140		

* Ⅰ、Ⅱ、LP和LPR的含义同表1

3 讨论

3.1 空间格局相似性与相关性

上述分析首先表明,在黄土高原地区,其年均降水量与年均侵蚀性降水量、汛期降水量和暴雨量的空间分布格局很相似,均具有从东南向西北逐渐降低的特点(图2A₁、图2B₁、图2C₁和图2D₁)。其年降水量变化的空间分布格局与侵蚀性降水量和汛期降水量变化的空间分布格局很相似,其变化幅度(绝对值)具有从东南向西北逐渐变小,至西北部和最西部又略有变大的特征(图2A₂、图2B₂和图2C₂)。

通过进一步计算各指数及其变化率之间的Pearson相关系数,发现,在黄土高原地区,其214个站点的年降水量与侵蚀性降水量、汛期降水量或暴雨量之间的相关性极显著。这些站点的年降水量变化率与侵蚀性降水量变化率或汛期降水量变化率之间的相关性亦极显著(表5)。这说明以上两个空间分布格局相似性,分别与其各指标之间和其各指标变化率之间的高度相关性具有一定关系。

正是由于年暴雨量变化的空间分布规律不大明显(图 2D₂),因而暴雨量变化率与年降水量变化率之间的相关性显著程度相对较低(表 5)。

此外,相关分析同时显示,在黄土高原地区,其 214 个站点的年均降水量或年均侵蚀性降水量与其变化率之间具有显著负相关性。在典型黄土高原,其 173 个站点的年均降水量或年均侵蚀性降水量与其变化率之间亦具有显著负相关性。由此可见,在黄土高原地区(典型黄土高原),降水量(侵蚀性降水量)越大,其趋势斜率值越小,即递减幅度越大。由此亦可见,上述降水量变化(侵蚀性降水量变化)的空间分异现象在总体上与降水量(侵蚀性降水量)大小具有密切相关。

表 5 年降水量(PTOT)与侵蚀性降水量(R12mm)、汛期降水量(RJJAS)、暴雨量(R50mm)之间,PTOT 变化率(Q_{PTOT})与 R12mm、RJJAS 和 R50mm 变化率(Q_{R12mm} 、 Q_{RJJAS} 、 Q_{R50mm})之间的 Pearson 相关系数

Table 5 Pearson correlation coefficients between annual precipitation (PTOT) and erosive rainfall (R12mm), flood season rainfall (RJJAS) and torrential rainfall (R50mm), and between the change rate of PTOT (Q_{PTOT}) and the change rates of R12mm, RJJAS and R50mm (Q_{R12mm} , Q_{RJJAS} and Q_{R50mm})

区号 Division no.	PTOT/ R12mm	PTOT/ RJJAS	PTOT/ R50mm	$Q_{PTOT}/$ Q_{R12mm}	$Q_{PTOT}/$ Q_{RJJAS}	$Q_{PTOT}/$ Q_{R50mm}	总站数 No. of stations
I	0.982 a	0.788 a	0.725 a	0.780 a	0.772 a	0.197 d	66
II	0.960 a	0.964 a	0.623 a	0.727 a	0.509 b	0.244 c	76
III	0.990 a	1.000 a	0.840 c	0.322	0.933 a		31
IV	0.997 a	0.996 a	0.918 a	0.297	0.726 a	-0.224	28
V	0.966 a	0.995 a	0.236	0.653 c	0.921 b		13
LP	0.965 a	0.908 a	0.698 a	0.755 a	0.769 a	0.213 b	173
LPR	0.959 a	0.959 a	0.711 a	0.813 a	0.664 a	0.193 b	214

I 至 V, LP 和 LPR 含义同表 1;上标字母 a、b、c 和 d 分别表示显著性达 0.001、0.01、0.05 和 0.10 置信度水平

3.2 空间分异及其原因

上述研究结果同时显示,各个降水指标的变化趋势存在明显空间分异。主要表现在前两个综合治理区与后 3 个综合治理区之间存在明显差异。

就这 5 个综合治理区来看,第 I 区的年降水量与其侵蚀性降水量、汛期降水量或暴雨量之间,以及前者变化率与后三者变化率之间均具有显著相关性。第 II 区与第 I 区的情形基本一致。然而,在第 III 区、第 IV 区和第 V 区,情形则显然不同。主要表现在年降水量变化率与侵蚀性降水量变化率或暴雨量变化率之间的相关性多不显著,甚至因各站点暴雨量变化率均为零而计算不出它与年降水量变化率之间的相关性(表 5)。这从另一个侧面说明,前两个区与后 3 个区之间具有明显差异。

出现以上空间分异现象,其原因比较复杂,可能与东亚季风和青藏高原季风对各个区的影响强弱不同有关。因为黄土高原地区的降水水汽主要源于东亚季风,而东亚季风主要对其东南部大半个区域产生影响。因为第 IV 区基本上位于非季风区,所以其历年年均降水量最少(241.7mm),其降水变化亦与第 I 区和第 II 区明显不同。而第 III 区和第 V 区,因其靠近青藏高原,不仅海拔明显高于黄土高原地区平均水平,青藏高原对其气候的影响亦更为明显。因此,第 IV 区降水变化如此不同,很可能与东亚季风对其影响甚小有关。而第 III 区和第 V 区降水变化如此不同,则很可能与青藏高原季风对其影响较大有关。

3.3 变化幅度差异及其原因

本研究发现,在黄土高原地区,其近 50a 的年降水量和侵蚀性降水量总体上分别呈显著和接近显著减少趋势,递减率分别为 9.9mm/10a 和 5.9mm/10a。但是其年暴雨量的减少趋势却不显著。在典型黄土高原,近 50a 的年降水量和侵蚀性降水量变化均呈显著减少趋势,递减率分别为 13.4 mm/10a 和 8.1mm/10a。其汛期降水量减少趋势接近显著,递减率为 7.6mm/10a;暴雨量减少趋势则不显著。

从全国平均状况来看,我国 1956—2002 年的年降水量总体呈小幅增加趋势^[26]。但是由于降水的空间持续性较低,空间差异十分明显。研究显示,自 1961—2000 年,典型黄土高原的年降水量总体呈现下降趋势,递

减率为 20.9mm/10a^[6]。相比之下,本研究结果明显较低。

最近研究显示,自 1956—2008 年,黄土高原地区的年降水量和侵蚀性降水量均呈显著减少趋势,递减率分别为 14.0mm/10a 和 9.7mm/10a^[20]。因此,本研究所得的年降水量和侵蚀性降水量递减幅度均较小。

之所以出现以上差异,其原因可能有:(1)本研究所采用的降水量数据的时间跨度与以前研究有所不同,(2)本研究所使用的气象站覆盖度比以前研究大(尽管覆盖范围与先前研究基本没有差别),(3)本研究对数据序列进行了非参数自相关校正。

4 结论

本研究从黄土高原地区、典型黄土高原和综合治理分区 3 个层面,对本区年降水量、侵蚀性降水量、汛期降水量和暴雨量等 4 个降水指标的时空变化特点进行了研究。结果表明,在黄土高原地区,近 50a 年降水量变化与年侵蚀性降水量和汛期降水量变化的空间分布总趋势基本一致,从东南向西北,降低幅度逐渐变小,至西北部和最西部甚至呈微弱增加趋势。而其年暴雨量变化的空间趋势则不大明显。前 3 个降水指标变化的空间分布趋势同时反映了本地区降水变化的空间差异。

按站点计算,近 50a 大多数站年降水量呈减少趋势,多数站侵蚀性降水量和汛期降水量呈减少趋势,但是仅极少数或极少数站减少显著。而多数站的年暴雨量没有变化。从黄土高原地区平均来看,近 50a 的年降水量和侵蚀性降水量分别呈显著和接近显著减少趋势,递减率分别为 9.9mm/10a 和 5.9mm/10a;但是其汛期降水量和暴雨量的减少趋势均不显著。

与黄土高原地区相比,典型黄土高原年降水量、侵蚀性降水量和汛期降水量呈减少趋势的站点比例明显较高。呈显著减少趋势的站点比例亦均有所提高。然而,与黄土高原地区一样,多数站点年暴雨量没有变化。其近 50a 的年降水量和侵蚀性降水量总体呈显著减少趋势,递减幅度明显大于整个黄土高原地区平均值。其汛期降水量总体减少趋势接近显著,递减幅度亦较大。但是其年暴雨量总体减少趋势亦不显著。

在黄土高原地区,典型黄土高原,以及黄土高原地区综合治理第 I 区和第 II 区,历年降水量在 1986 年或 1991 年出现了突变。自 1986 年始,黄土高原地区、典型黄土高原和第 II 区的降水量明显减少,自 1991 年始,第 I 区的降水量明显减少。而其余 3 个区的历年年降水量变化则不存在自然突变。

黄土高原地区降水变化具有明显空间分异,同时表现在其第 I 区和第 II 区的年降水量和侵蚀性降水量的总体变化趋势与第 III 区、第 IV 区和第 V 区的总体变化趋势明显不同。前两个区呈显著(接近显著)减少趋势,后 3 个区反而呈微弱增加趋势。

总之,在黄土高原地区和典型黄土高原,以及黄土高原地区综合治理第 I 区和第 II 区,近 50a 的年降水量和侵蚀性降水量总体呈显著(接近显著)减少趋势。但是它们的年暴雨量却未显著减少。这意味着如果此种趋势继续下去,尽管因水蚀导致的土壤侵蚀总体上会有所减少,但是缺水情形会更为严峻,因暴雨导致的剧烈水土流失则不会有明显缓解。这必然会对黄土高原生态建设和农林牧业发展等产生重要影响。

References:

- [1] Integrated Survey Team of Chinese Academy of Sciences (CAS) of the Loess Plateau. Dataset of Resources, Environment and Society for the Loess Plateau Region. Beijing: China Economic Publishing House, 1992.
- [2] Li R, Yang W Z, Li B C, Yang Q K, Yu C Z, Zou H Y, Zhang Z Z, Zhou P H, Jia H Y, Liang Y M, Peng L, Xie Y S. Research and Prospect on the Loess Plateau of China. Beijing: Science Press, 2008.
- [3] Qian L Q. Climate of Loess Plateau. Beijing: China Meteorological Press, 1991.
- [4] Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Ye Y H, Guo J Y, Wang F. The climatic feature of spring precipitation on the Loess Plateau. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22 (1): 11-17.
- [6] Yao Y B, Li Y H, Wang Y R, Zhang X Y, Li Y B, Wei F. Effects of the climate and climatic productivity in the Loess Plateau of China on global climate change. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(2): 202-208.
- [7] Wang Y R. Study on response of rainfall spatial pattern during vegetation growth period in China Loess Plateau to Global Change. Journal of Shanxi

- University: Natural Science Edition, 2005, 28(2): 214-219.
- [8] Gong J J, Wang Y R. Response of climate in Loess Plateau in China to global change. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(6): 6-11.
- [9] Wang W T, Zhang T F, Yang M, Shi Y, Huang B, Wang Y L. Climate change characters of precipitation in autumn among decades and years on Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(4): 187-193.
- [10] Liu X Q, Zhao J B, Yu X F. Study on the climatic warming-drying trend in the Loess Plateau and the countermeasures. *Arid Zone Research*, 2006, 23(4): 627-631.
- [11] Lin S, Wang Y R. Spatial temporal evolution of precipitation in China Loess Plateau. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(3): 502-508.
- [12] Wang Y R, Lu S H. Sensitivity analysis of the response of precipitation to climate change over China Loess Plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30(1): 43-51.
- [13] Li Z C, Wei Z G, Wen J, Fu R. Analyses on climate variation characteristics over the Loess Plateau in recent 50 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(3): 57-62.
- [14] Fu Z, Wang Y R. Response of monthly precipitation in the Loess Plateau in China to global climate change. *Arid Zone Research*, 2008, 25(3): 447-451.
- [15] Xin Z B, Xu J X, Ma Y X. Spatio-temporal variation of erosive precipitation in Loess Plateau during past 50 years. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(1): 98-104.
- [16] Lu A G. Spatial and temporal precipitation variation on the Loess Plateau in the past half century. *Ecology and Environment*, 2009, 18(3): 957-959.
- [17] Duan J J, Wang X L, Gao Z L, Zhang C X. Dynamics and trends analysis of annual precipitation in the Loess Plateau Region for 50 years. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(5): 143-146.
- [18] Li Z, Zheng F L, Liu W Z. Analyzing the spatial-temporal changes of extreme precipitation events in the Loess Plateau from 1961 to 2007. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(2): 291-299.
- [19] Li Z, Zheng F L, Liu W Z, Flanagan D C. Spatial distribution and temporal trends of extreme temperature and precipitation events on the Loess Plateau of China during 1961—2007. *Quaternary International*, 2010, 226(1/2): 92-100.
- [20] Xin Z B, Yu X X, Li Q Y, Lu X X. Spatiotemporal variation in rainfall erosivity on the Chinese Loess Plateau during the period 1956—2008. *Regional Environmental Change*, 2011, 11(1): 149-159.
- [21] Xie Y, Liu B Y, Zhang W B. Study on standard of erosive rainfall. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(4): 6-11.
- [22] Klein Tank A M G, Zwiers F W, Zhang X B. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO-TD No 1500. WMO, 2009.
- [23] Wang X L, Swail V R. Changes of extreme wave heights in Northern Hemisphere oceans and related atmospheric circulation regimes. *Journal of Climate*, 2001, 14(10): 2204-2220.
- [24] Conover W J. *Practical Nonparametric Statistics*. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons, 1999.
- [25] Fan X H, Wang M B. Change trends of air temperature and precipitation over Shanxi Province, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 2011, 103(3/4): 519-531.
- [26] Editing Committee of China's National Assessment Report on Climate Change. *China's National Assessment Report on Climate Change*. Beijing: Science Press, 2007.

参考文献:

- [1] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区资源环境社会经济数据集. 北京: 中国经济出版社, 1992.
- [2] 李锐, 杨文治, 李壁成, 杨勤科, 余存祖, 邹厚远, 张仲子, 周佩华, 贾恒义, 梁一民, 彭琳, 谢永生. 中国黄土高原研究与展望. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 钱林青. 黄土高原气候. 北京: 气象出版社, 1991.
- [5] 叶燕华, 郭江勇, 王凤. 黄土高原春季降水的气候特征分析. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(1): 11-17.
- [6] 姚玉璧, 李耀辉, 王毅荣, 张秀秀, 李耀邦, 魏锋. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(2): 202-208.
- [7] 王毅荣. 黄土高原植被生长期降水对全球气候变化的响应. *山西大学学报: 自然科学版*, 2005, 28(2): 214-219.
- [8] 龚建福, 王毅荣. 黄土高原气候响应全球变化的敏感区. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(6): 6-11.
- [9] 王位泰, 张天锋, 杨民, 石英, 黄斌, 王燕凌. 黄土高原秋季降水年际和年代际气候变化特征. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(4): 187-193.
- [10] 刘晓清, 赵景波, 于学峰. 黄土高原气候暖干化趋势及适应对策. *干旱区研究*, 2006, 23(4): 627-631.
- [11] 林纾, 王毅荣. 中国黄土高原地区降水时空演变. *中国沙漠*, 2007, 27(3): 502-508.
- [12] 王毅荣, 吕世华. 黄土高原降水对气候变暖响应的敏感性研究. *冰川冻土*, 2008, 30(1): 43-51.
- [13] 李振朝, 韦志刚, 文军, 符睿. 近 50 年黄土高原气候变化特征分析. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(3): 57-62.
- [14] 傅朝, 王毅荣. 中国黄土高原月降水对全球变化的响应. *干旱区研究*, 2008, 25(3): 447-451.
- [15] 信忠保, 许炯心, 马元旭. 近 50 年黄土高原侵蚀性降水的时空变化特征. *地理科学*, 2009, 29(1): 98-104.
- [16] 卢爱刚. 半个世纪以来黄土高原降水的时空变化. *生态环境学报*, 2009, 18(3): 957-959.
- [17] 段建军, 王小利, 高照良, 张彩霞. 黄土高原地区 50 年降水时空动态与趋势分析. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 143-146.
- [18] 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. *自然资源学报*, 2010, 25(2): 291-299.
- [21] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 6-11.
- [26] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongnan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platyclus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow and pin ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

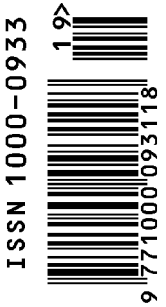
编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元