

陕北黄土高原地区降水时空变化特征

王涛¹, 于冬雪², 杨强³

(1. 西安科技大学 测绘科学与技术学院, 陕西 西安 710054; 2. 江西信息应用职业技术学院
环境工程系, 江西 南昌 330043; 3. 南京林业大学 土木工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 以位于陕北黄土高原地区的6个气象站点1959–2011年逐日降水数据为基础, 选择降水量、降水强度、日最大降水、有降水日数、中雨日数和大雨日数6个降水指数, 利用线性趋势法、Mann–Kendall突变检验法及IDW空间插值方法, 分析了陕北黄土高原地区近53 a降水时空变化特征。结果表明: ①陕北黄土高原地区有降水日数减少趋势显著, 降水强度增加趋势显著, 其它指数均呈不显著的减少趋势。1960–1969年为陕北黄土高原地区降水多发期, 而1990–1999年为匮乏期。②陕北黄土高原地区降水强度于1984年发生增加突变, 有降水日数于1980年发生减少突变。③陕北黄土高原地区降水强度以延安地区为高值中心, 吴起为低值中心; 其它指数均以洛川为高值中心, 横山为低值中心, 呈自南而北的递减规律, 表现出对季风气候过程的响应。有降水日数持续减少和降水强度持续增加将会导致陕北黄土高原地区土壤侵蚀加剧, 应予以重视。

关键词: 降水指数; 线性趋势; Mann–Kendall检验; 黄土高原

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0024-05

Characteristics of spatial – temporal change of precipitation in loess plateau area of northern Shaanxi

WANG Tao¹, YU Dongxue², YANG Qiang³

(1. College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Department of
Environmental Engineering, Jiangxi Vocational and Technical College of Information Application, Nanchang 330043, China;
3. School of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Based on the data of daily precipitation in 6 meteorological stations at loess plateau area of northern Shaanxi from 1959 to 2011, the paper chose six precipitation indexes including rainfall, intensity of rainfall, the maximum rainfall of day, the number of day rainfall, days of moderate rain and heavy rain, and used methods of linear trend, Mann–Kendall abrupt test, and IDW spatial interpolation to analyze the Characteristics of spatial – temporal change of precipitation in loess plateau area of northern Shaanxi in 53 years. Results show that: ① the number of day rainfall decreases obviously while the intensity of rainfall increases obviously. Other precipitation indexes decrease insignificantly. Precipitation in the area occurred frequently in 1960s and was shortage in 1990s. ② The intensity of precipitation occurred abrupt increase in 1984, while the number of day rainfall happened abrupt decrease in 1980. ③ The high value center of intensity of precipitation is in Yan'an, while low value center is in Wuqi. However, the high value center of other indexes is in Luochuan, while the low value center is in Hengshan. Those value center of precipitation indexes show decreased tendency from south to north, which reflect the response to monsoon process. The decrease of number of rainfall day and the increase of intensity of precipitation will lead to soil erosion in loess plateau which can be taken attention.

Key words: precipitation index; linear trend; Mann–Kendall test; loess plateau

1 研究背景

IPCC 2013 气候变化报告指出, 气候变暖趋势

毋庸置疑, 由气候变暖导致的极端降水事件的增加, 将会给人类生产生活带来危害, 需要加强研究及应对^[1-2]。气温、降水是气候变化研究当中的两个重

要内容,气温的显著增加已经达成共识,也已被很多研究所证实^[3-5]。降水变化得出的结论是降水变率的增加,即强降水事件和严重干旱事件的发生概率增大^[6-7]。与气温变化研究结论具有普遍性不同,由于受到更多因素的影响,如海陆位置、季风强弱、局地地形特征等,降水的变化特征具有很明显的地域特征^[8-11]。

极端降水事件作为降水特征的重要内容,受到广泛的关注。如 Meehl 等^[12]模型模拟结果表明亚洲东部沿海降水强度在增加;余卫东等^[13]研究表明,河南省极端降水频率同样在增加,且南北区域差异显著。李斌等^[14]对澜沧江流域极端降水变化研究表明,流域总体上极端降水频率呈明显增加态势。降水变化对农业生产的影响研究较为丰富,也对人类生产生活具有直接影响。如李萍等^[15]对陕西省宝鸡峡灌区的研究表明,灌区年平均气温显著上升,而降水量持续下降,蒸发量明显增大;曾英等^[16]研究表明,陕西省降水量呈阶段性减小趋势;刘明春等^[17]对石羊河流域的研究同样表明该区域暖干化趋势严重。

陕北黄土高原地区开发历史悠久、人类活动深刻、生态环境脆弱、土壤侵蚀严重,是我国主要的水蚀区^[18-19]。土壤侵蚀变化与降水特征变化具有重要关系。如在其他影响素不变情况下,极端强降水概率的增加,将会导致土壤侵蚀量的增加^[20]。陕北黄土高原地区降水、气温变化研究结果表明该区域气温呈上升趋势,降水量呈下降趋势且空间分布具有区域差异^[21-22]。已有陕北黄土高原地区气候变化研究多侧重于气温、降水的多年平均状态,而对多种形式(指数)的降水特征未作详细地分析。本文以陕北高原6个气象站点1959-2011年逐日降水数据为基础,分析6个降水指数在过去53a的时空变化情况,为加强该地区土壤侵蚀防治及农业生产结构调整提供科学依据。

2 数据来源及处理

2.1 研究区概况

陕北黄土高原地区主要包括陕西省榆林地区(长城沿线为毛乌素沙地边缘地带)和延安地区,位于 $107^{\circ}15'56''\text{E}$ – $111^{\circ}13'10''\text{E}$, $35^{\circ}21'56''\text{N}$ – $39^{\circ}35'06''\text{N}$ 之间。2011年底区域总人口数为554.64万人,土地总面积为 $80\,624\text{ km}^2$,气候属温带大陆性季风气候,年平均温度 9.5°C ,年平均降水量为 506.5 mm ,平均日照时数 $2\,540\text{ h/a}$,无霜期 194 d 。全境

属黄河水系,主要支流有无定河、延河等。

2.2 数据来源

本研究使用数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>),包括位于陕北黄土高原地区的6个气象站点(榆林、吴起、横山、绥德、延安和洛川)1959-2011年逐日降水数据,站点位置见图1。数据质量较好,无缺测降水数据。对于降水为微量的数据,以 0 mm 代替。对于雪(雨夹雪、雪暴)、雨和雪、雾露霜,取其实际数值。本文使用陕北黄土高原地区6个气象站点的算术平均值作为整体值,进行降水指数的计算与分析。

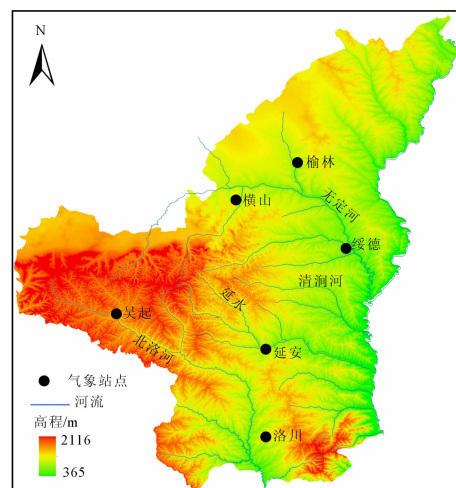


图1 气象站点位置

2.3 处理方法

利用世界气象组织气候变化和气候监测计划WMO-CCL/CLIVAR发布的降水指数,并结合已有研究中使用的多种降水指数^[23-24],得到表1中的降水指数及其定义方法。

综合运用线性倾向估计分析各指数1959-2011年的变化趋势及特征,运用Mann-Kendall非参数突变检验(M-K检验)方法分析各降水指数的突变特征,利用IDW(Inverse Distance Weighted)空间插值方法对6个降水指数进行空间分布特征分析。各方法的具体过程参见相关文献^[25-26],此处不再赘述。

3 结果分析

3.1 陕北黄土高原地区降水变化趋势分析

基于1959-2011年陕北黄土高原地区6个气象站点逐日降水数据,分别提取1959-2011年各站点降水量、有降水日数、日最大降水量、中雨日数和大雨日数,并利用降水量和有降水日数求取降水强

度。以 1959 – 2011 年各站点 6 个降水指数的平均值作为陕北黄土高原地区整体值进行绘图分析,并用线性回归方法分析降水指数随时间变化趋势的显著性,结果见图 2。

表 1 研究使用的降水指数

降水量/mm	降水强度/(mm · d ⁻¹)	日最大降水/mm	有降水日数/d	中雨日数/d	大雨日数/d
全部雨(雪)日的总降水量	降水总量与降水日数比值	日最大降水量	日降水量 > 0mm	日降水量 > 10mm	日降水量 > 20mm

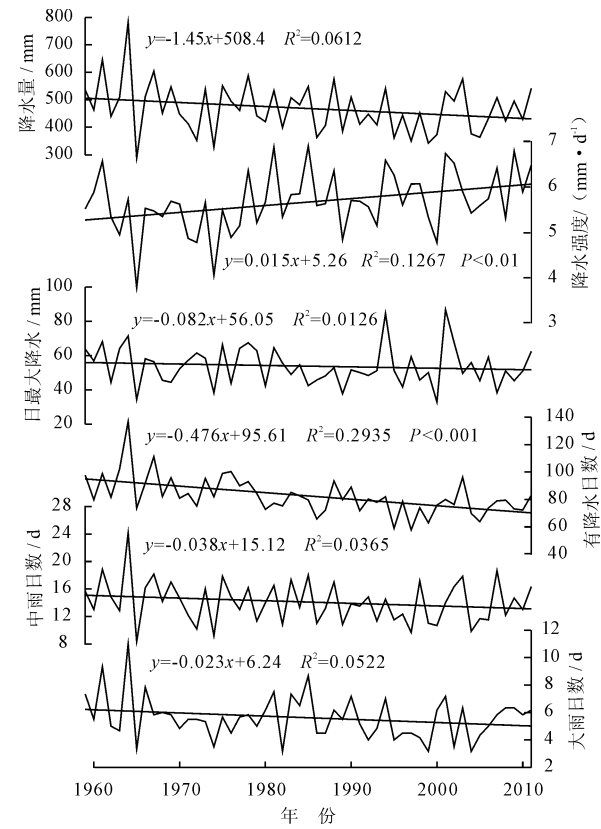


图 2 陕北黄土高原地区降水指数变化趋势

图 2 表明,陕北黄土高原地区降水量呈减少趋势,最大值在 1964 年,最小值在 1965 年,线性倾向率为 $-14.5\text{ mm}/10\text{a}$,对线性倾向率进行 t 检验,未通过 0.05 显著性水平检验 ($P > 0.05$),表明减少趋势不显著,未来降水量变化存在波动。降水强度呈增加趋势,最大值在 1981 年,最小值在 1965 年,线性倾向率为 $0.15(\text{mm}/\text{d})/10\text{a}$,通过 0.05 显著性水平检验 ($P < 0.01$),表明增加趋势显著,未来降水强度仍将持续增加。日最大降水量呈略微的减少趋势,最大值在 2001 年,最小值在 2000 年,线性倾向率为 $-0.82\text{ mm}/10\text{a}$,未通过 0.05 显著性水平检验 ($P > 0.05$),表明减少趋势不显著,未来变化规律不明显。有降水日数呈减少趋势,最大值在 1964 年,最小值在 1997 年,线性倾向率为 $-4.76\text{ d}/10\text{a}$,即每 10 a 有降水日数减少 4.76 d ,通过 0.05 显著性水平检验 ($P < 0.001$),表明未来有降水日数将

呈持续的减少趋势。中雨日数和大雨日数均呈减少趋势,最大值和最小值所在年份分别为 1964 和 1965、1964 和 2004,线性倾向率分别为 $-0.38\text{ mm}/10\text{a}$ 和 $-0.23\text{ mm}/10\text{a}$,但均未通过 0.05 显著性水平检验,表明其未来变化趋势不明显。

对 1960 – 2009 年陕北黄土高原地区降水指数按年代统计(表 2)。结果表明 1960 – 1969 年是陕北黄土高原地区降水多发期,降水量、有降水日数、中雨日数、大雨日数均为各年代中的最大值。1990 – 1999 年是陕北黄土高原地区降水匮乏期,降水量、有降水日数、中雨日数和大雨日数均为各年代中的最小值。值得关注的是,2000 – 2009 年降水强度为各年代中的最大值,且结合前文降水强度和有降水日数变化分析结果,可知未来时间内,陕北黄土高原地区降水强度持续增加、有降水日数持续将少的概率较大,对区域内土壤侵蚀产生严重威胁,需要引起重视。

表 2 年代际降水指数统计结果

年份	降水量/ mm	降水强度/ (mm · d ⁻¹)	日最大 降水/mm	有降水 日数/d	中雨 日数/d	大雨 日数/d
1960 – 1969	<u>525.0</u>	5.43	54.4	<u>95.6</u>	<u>15.8</u>	<u>6.4</u>
1970 – 1979	<u>462.4</u>	<u>5.21</u>	<u>57.2</u>	88.6	13.5	5.1
1980 – 1989	462.9	5.89	<u>49.3</u>	78.6	14.2	6.0
1990 – 1999	427.4	5.80	53.4	<u>73.5</u>	<u>13.0</u>	<u>4.9</u>
2000 – 2009	458.0	<u>5.92</u>	53.2	76.9	13.7	5.4

注:下划线为最大值, 为最小值。

3.2 陕北黄土高原地区降水突变分析

以 1959 – 2011 年陕北黄土高原地区 6 个降水指数逐年数据为基础,进行 Mann – Kendall 非参数突变检验,用于分析降水指数的变化趋势及突变特征,结果见图 3。Mann – Kendall 突变检验结果图由 UF 和 UB 两条曲线及显著性水平线构成, UB 统计量曲线无实际含义,主要用于求算突变点; UF 曲线可以反映指标的变化趋势,以及达到显著性水平的时间。

陕北黄土高原地区 1959 – 2011 年降水量呈减少趋势,但不显著, UF 曲线仅在 2000 年前后超过了 0.05 显著性水平(图 3a)。降水强度以 1979 年为界,呈先减少后增加的变化过程,且整体呈增加趋

势,于1984年发生增加突变,但在2009年才超过0.05显著性水平(图3b)。日最大降水量呈减少趋势,但未发生突变,且在研究时段内均未超过0.05显著性水平(图3c)。有降水日数整体呈极显著的

减少趋势,在1980年发生减少突变,至1985年超过0.05显著性水平(图3d)。中雨日数和大雨日数呈减少趋势,但均不显著,且在研究时段内均未发生突变(图3e,图3f)。

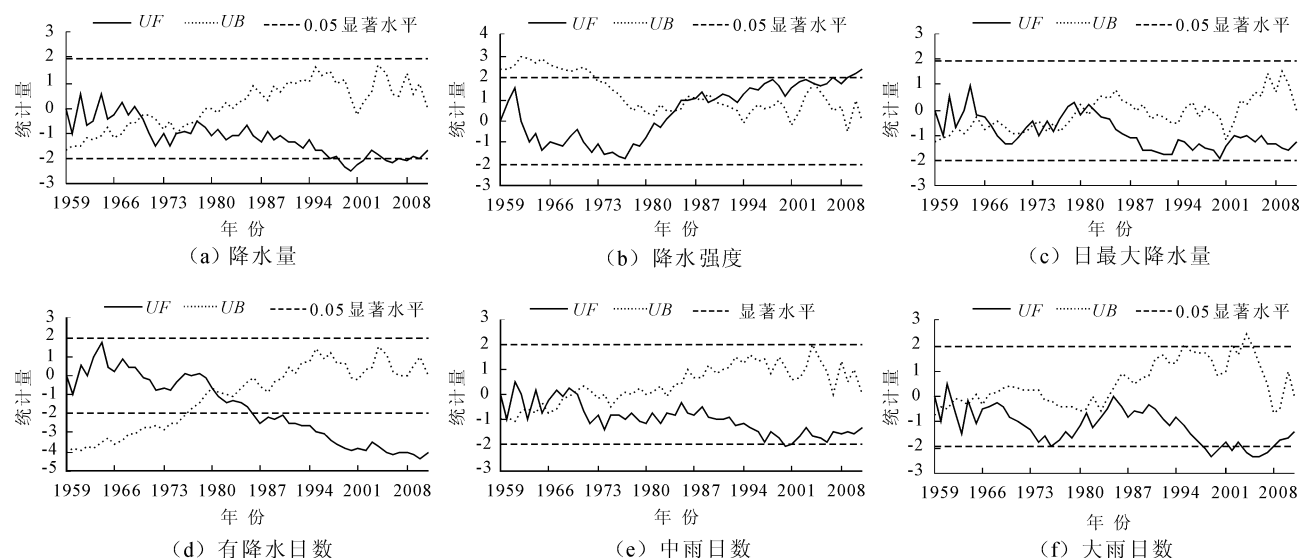


图3 1959-2011年陕北黄土高原地区降水指数突变分析结果

3.3 陕北黄土高原地区降水空间分布特征

以1959-2011年陕北黄土高原地区6个气象站点降水指数的多年平均值为基础,进行IDW插值,获取降水量、降水强度、日最大降水强度、有降水日数、中雨日数和大雨日数的空间分布结果,见图4。陕北黄土高原地区降水量空间分布形成洛川高值中心($>600\text{ mm/a}$)和横山低值中心($<375\text{ mm/a}$),总体呈自南而北递减趋势,且在绥德以北地区,降水量又呈现出自东而西的递减趋势(图4a)。降水量的空间分布特征与我国季风分布、强弱、行进路线等具有较为密切的关系。我国总体可划分为季风区和非季风区,陕北黄土高原地区属于季风区向非季风区的过渡区域,受季风的影响较大。陕北黄土高原地区降水量主要集中于夏季风时期,夏季风的行进路线及区域内各站点的地理位置决定了其降水量的空间分布状况。

降水强度空间分布呈延安高值中心($>6.3\text{ mm/d}$)和吴起低值中心($<5.2\text{ mm/d}$),形成一个自东向西的递减过程(图4b),延安作为陕北黄土高原地区降水强度最高的区域,土壤侵蚀问题的严重性显而易见。日最大降水量呈洛川高值中心($>99\text{ mm}$)和横山、榆林两个低值中心($<72\text{ mm}$),形成自南而北的递减过程(图4c)。有降水日数呈洛川高值中心($>59\text{ d}$)和横山低值中心($<48\text{ d}$),形成自

南而北的减少过程(图4d)。中雨日数和大雨日数的空间分布结果相近,以洛川为高值中心,横山为低值中心(图4e,图4f)。

4 结 语

基于陕北黄土高原地区6个气象站点1959-2011年逐日降水数据,选择降水量、降水强度、日最大降水、有降水日数、中雨日数和大雨日数6个降水指数,利用线性趋势法、Mann-Kendall非参数突变检验法及IDW空间插值方法,分析了陕北黄土高原地区近53a降水时空变化特征,结果表明:

(1)陕北黄土高原地区降水变化趋势表现为降水量、日最大降水量、有降水日数、中雨日数和大雨日数呈减少趋势,但仅有有降水日数的减少趋势显著,且降水强度呈显著的增加趋势。过去53a中,陕北黄土高原地区降水在1960-1969年为多发期,而在1990-1999年为匮乏期。有降水日数的减少和降水强度的增加,使得陕北黄土高原地区土壤侵蚀形势严峻。

(2)陕北黄土高原地区6个降水指数中,仅降水强度和有降水日数发生突变。降水强度于1984年发生增加突变,但直到2009年才超过0.05显著性水平;有降水日数于1980年发生减少突变,1985年超过0.05显著性水平。

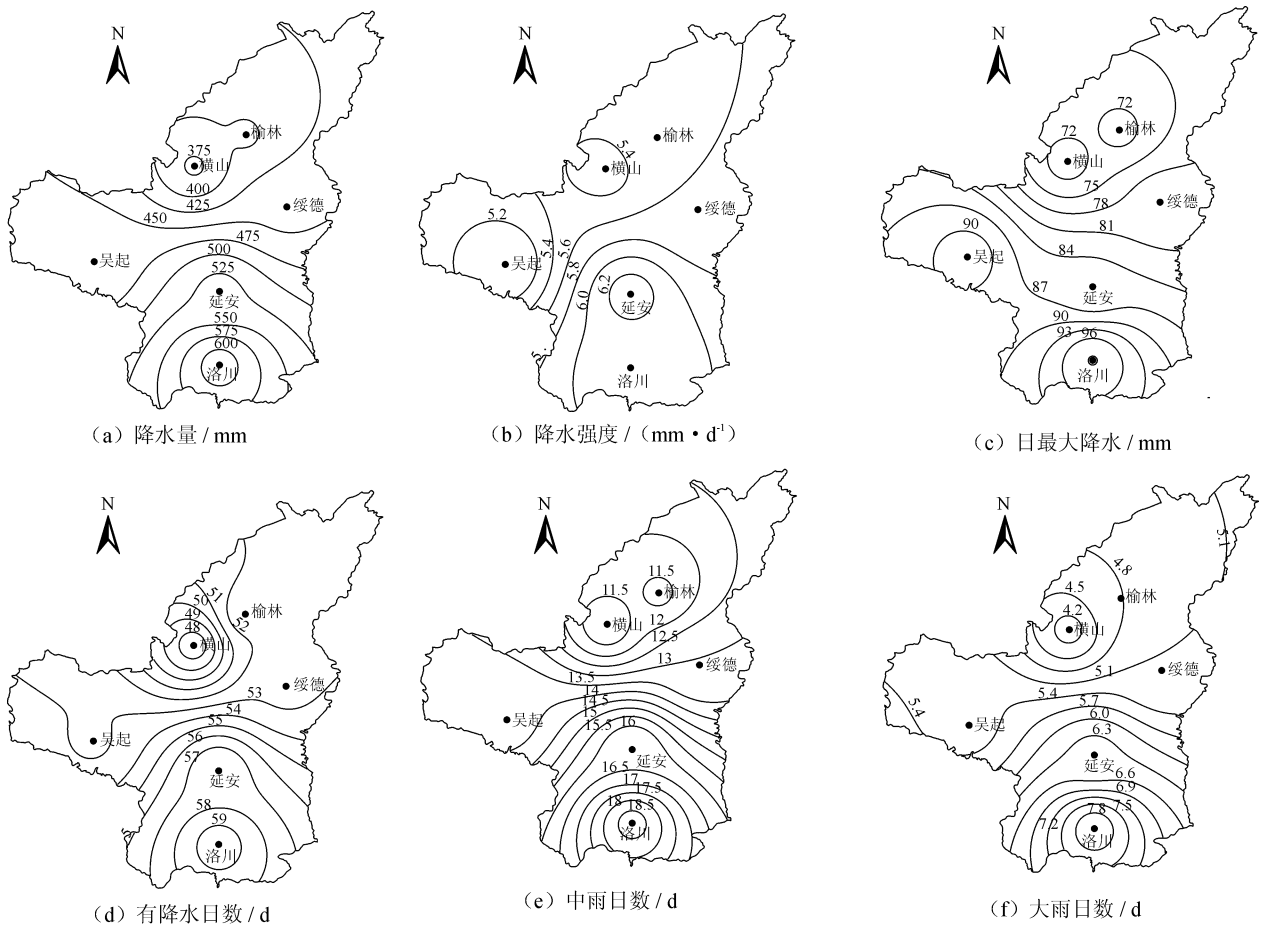


图4 陕北黄土高原地区降水指数空间分布

(3)陕北黄土高原地区6个降水指数空间分布结果反映出,降水量、日最大降水量、有降水日数、中雨日数和大雨日数均以洛川为高值中心,以横山为低值中心,呈自南而北的递减规律,表现出对季风气候过程的响应。降水强度空间分布以延安为高值中心,反映出延安地区土壤侵蚀面临严重威胁。

参考文献:

[1] IPCC. In: Climate Change 2013: The physical basis. Summary for policymakers [C] // . Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

[2] 孙军, 湛芸, 杨舒楠, 等. 北京721特大暴雨极端性分析及思考(二) 极端性降水成因初探及思考[J]. 气象, 2012, 38(10): 1267-1277.

[3] 赵宗慈, 王绍武, 徐影, 等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 808-817.

[4] 李庆祥, 董文杰, 李伟, 等. 近百年中国气温变化中的不确定性估计[J]. 科学通报, 2010, 55(16): 1544-1554.

[5] Lea Berrang - Ford, James D Ford, Jaclyn Paterson. Are we adapting to climate change[J]. Global Environmental Change, 2011, 21(1): 25-33.

[6] 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.

[7] Allan R P, Soden B J. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes [J] Science, 2008, 321(5895): 1481-1484.

[8] Emori S, Brown S J. Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate [J]. Geophysical research letters, 2005, 32, L17706, doi:10.1029/2005GL023272.

[9] 王涛, 陶辉, 杨强. 南通地区1960年-2007年气温与降水的年际和季节变化特征[J]. 资源科学, 2011, 33(11): 2080-2089.

[10] 唐国平, 李秀彬, Guenther Fischer, 等. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 129-138.

[11] 孙杨, 张雪芹, 郑度. 气候变暖对西北干旱区农业气候资源的影响[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1153-1162.

为 1.17 元/m³,与实际情况相符,验证了本文基于成本加成的再生水阶梯定价方法的准确性与实用性,此价格与自来水价格相比,具有很大的优势。但在实际调查中发现,再生水的利用情况很不乐观,利用率不足设计值的 20%。一些距离水厂较远、用水量较少的用户,使用再生水的成本价格较高,此时,单一的价格体制不能形成有效的市场价格调节机制,无法合理地配置资源。因此,再生水产业在今后的发展建设中,应遵循市场调节、就近供水、阶梯定价的原则。

参考文献:

[1] 郭毅,王彩芹,龚洁,等. 西安市再生水利用存在问题及预测分析研究[J]. 环境科学与管理,2013,38(5):79-82.

[2] 刘小英. 城市污水再生回用费用模型与成本分析[D]. 西安:西安建筑科技大学,2003:39-42.

[3] 张仁田,童利忠. 全成本水价制定中有关问题的探讨[J]. 江苏水利,2002(5):45-46.



(上接第 28 页)

[12] Meehl G A, Arblaster J M, Tebaldi C. Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations [J]. Geophysical research letters, 2005, 32:L18719.

[13] 余卫东,柳俊高,常军,等. 1957-2005 年河南省降水和温度极端事件变化[J]. 气候变化研究进展,2008,4(2):78-83.

[14] 李斌,李丽娟,李海滨,等. 1960-2005 年澜沧江流域极端降水变化特征[J]. 地理科学进展,2011,30(3):290-298.

[15] 李萍,魏晓妹. 气候变化对灌区农业蓄水量的影响研究[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):81-85.

[16] 曾英,黄祖,张红娟. 气候变化对陕西省冬小麦种植区的影响[J]. 水土保持通报,2007,27(5):137-140.

[17] 刘明春,张强,邓振镛,等. 气候变化对石羊河流域农业生产的影响[J]. 地理科学,2009,29(5):727-732.

[18] 信忠保,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学 D 辑,2007,37(11):1504-1514.

[19] 孙建国,王涛,颜长珍. 气候变化和人类活动在榆林市

[4] 段涛. 城市污水资源化中再生水的定价理论与方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2005:13-17.

[5] 王济干,舒欣. 水价构成要素分析与系统设计[J]. 水利水电技术,2003,34(3):60-63.

[6] 尹敬东. 质量差异成本与产品差异的均衡定价分析[J]. 数量经济技术经济研究,2001,18(2):83-86.

[7] 张秋菊,王铂铎,崔晨,等. 西安市再生水回用浅析[J]. 地下水,2011,33(2):95-97.

[8] 强宇明. 城市污水资源化中再生水项目需求分析[D]. 西安:西安建筑科技大学,2005:19-27.

[9] 段涛,刘晓君. 城市再生水的需求分析[J]. 生态经济,2007(4):151-153.

[10] 李梅,黄廷林. 再生水资源成本价格模型的构建[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2004,36(2):160-162.

[11] 田一梅,赵新华,张雅君. 城市自来水与中水系统综合规划的优化研究[J]. 给水排水,2001,27(5):23-27.

[12] 刘晓君,丁超. 再生水定价模型构建及应用——以西安市为例[J]. 价格理论与实践,2012(9):26-27.

荒漠化过程中的相对作用[J]. 中国沙漠,2012,32(3):625-630.

[20] Yang Dawen, Kanae S, Oki T, et al. Global potential soil erosion with reference to land use and climate change[J]. Hydrological Processes, 2003, 17(14), 2913-2928.

[21] 蔡新玲,王繁强,吴素良. 陕北黄土高原近 42 年气候变化分析[J]. 气象科技,2007,35(1):45-48.

[22] 刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析[J]. 干旱区研究,2007,24(1):49-55.

[23] 何书樵,郑有飞,尹继福. 近 50 年长江中下游地区降水特征分析[J]. 生态环境学报,2013,22(7):1187-1192.

[24] 李丽平,章开美,王超,等. 近 40 年华南前汛期极端降水时空演变特征[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):443-450.

[25] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

[26] 刘贤赵,张安定,李嘉竹. 地理学数学方法[M]. 北京:科学出版社,2009.