

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

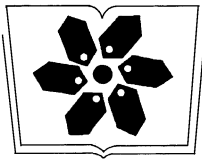
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

中国生态学学会
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33卷第3期

2013年2月 (半月刊)

目次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203030285

张调风, 张勃, 王有恒, 刘秀丽, 安美玲, 张建香. 基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析. 生态学报, 2013, 33(3): 0975-0984.

Zhang T F, Zhang B, Wang Y H, Liu X L, An M L, Zhang J X. Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0975-0984.

基于综合气象干旱指数的石羊河流域 近 50 年气象干旱特征分析

张调风¹, 张 勃^{1,*}, 王有恒^{1,2}, 刘秀丽^{1,3}, 安美玲¹, 张建香¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 西北区域气候中心, 兰州 730020;

3. 忻州师范学院地理系, 忻州 034000)

摘要:借助数理统计理论和 GIS 空间分析技术, 利用综合气象干旱指数 (composite index, *CI*), 根据石羊河流域 5 个气象站 1961—2010 年实测气象资料, 对石羊河流域近 50a 的干旱在时空上的变化特征进行分析。首先计算了各站历年逐日的 *CI* 指数, 统计近 50 a 各站点出现的干旱过程、各时段的干旱事件, 在此基础上分析了石羊河流域干旱发生的频率、覆盖范围和强度和不同等级干旱发生的多年平均日数。分析结果表明: (1) 石羊河流域四季干旱发生频率均呈现北高南低的空间分布规律; 在四季中, 夏季干旱发生频率最高, 冬季频率最低; 极小值都在乌鞘岭, 极大值略有不同: 春、夏、冬季干旱发生频率极大值在民勤, 秋季极大值在武威。(2) 石羊河流域有大范围干旱发生的年份夏季和秋季较多分别有 22 a、11a, 冬季最少只有 4 a。(3) 石羊河流域不同等级干旱日数总体上呈现夏季多冬季少、北部多南部少的规律, 和降水量的空间分布有较好的负相关性。(4) 干旱发生成因除了主要受东亚季风和西南季风的影响外, 还应考虑到径流的影响。研究结果与实际相符, 可为相关部门根据本地区干旱特征制定相应抗旱对策提供理论依据。

关键词: 综合气象干旱指数 (*CI*); 干旱频率; 干旱覆盖范围; 石羊河流域

Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index

ZHANG Tiaofeng¹, ZHANG Bo^{1,*}, WANG Youheng^{1,2}, LIU Xiuli^{1,3}, AN Meiling¹, ZHANG Jianxiang¹

1 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 Northwest Regional Climate Center, Lanzhou, Lanzhou 730020, China

3 China Department of Geography, Xinzhou Teachers University, Shanxi Xinzhou 034000, China

Abstract: The Shiyang River Basin in Gansu Province is located in a semiarid area of northwestern China. In the context of global warming, the intensity and frequency of the drought in the area have experienced significant changes, which brings serious influences to agriculture in the area. The area of the drought in Shiyang River Basin was expanding in the past 50 years. So the drought has become one of the key and hot topics in climate change research, especially in a semiarid area of northwestern China in recent year, and it is necessary to choose a more effective method to analyze temporal and spatial distribution of drought. Based on the observed data of 5 meteorological stations from 1962 to 2010, the method of a series of mathematical statistic theory, GIS spatial analysis techniques and a composite index (*CI*) of the meteorological drought was applied to analyze the temporal and spatial characteristics of the drought in the area. According to the national standard

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40961038); 西北师范大学知识与科技创新工程 (NWNU-KJCXGC-03-66); 生态经济学省级重点学科 (5001-021) 共同资助

收稿日期: 2012-03-03; 修订日期: 2012-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangbo@nwnu.edu.cn

“Classification of Meteorological Drought” (GB/T20481—2006), *CI* was calculated by using the standard precipitation index of the last 30 days (equivalent to monthly scale), the last 90 days (equivalent to seasonal scale) and the relative moisture index of the last 30 days. According to the day-to-day *CI* index, the drought process of the stations and the drought events of different periods during the recent 50 years were calculated, and the occurrence frequency, coverage area intensity, and annual mean days of the drought in each station were analyzed to reveal the temporal and spatial pattern of meteorological droughts in the Shiyang River Basin. The results are as follows: (1) The seasonal occurrence frequencies of the meteorological drought in the area generally decreased from north to south but it was also different. The highest occurrence frequency was in summer, and the lowest was in winter; The minimum frequency in four seasons all occurred in the Wushaoling Station. However, the maximum in spring, summer and winter was observed in the Minqin Station with exception of the Wuwei Station in autumn. (2) The large-area drought in the Shiyang River Basin occurred mostly in summer and autumn but the least one in winter during 1962—2010. Meanwhile, there are 22 years and 11 years of drought in summer and autumn, respectively, whereas there is 3 years in winter. (3) The drought days of different grades which was negatively correlative with precipitation distribution reduced from north to south in general, and were higher in summer and lower in winter in the Shiyang River Basin. (4) In the Shiyang River Basin, drought is mainly controlled by the Eastern Asian Monsoon and Southwest Monsoon, while the runoff factors should also be considered. This study can reflect the fact and provide a reference for developing appropriate measures to reduce droughts in the Shiyang River Basin.

Key Words: composite index; the occurrence frequency of drought; the coverage area intensity of drought; Shiyang River Basin

干旱是由于阶段性降水减少导致水资源短缺造成的现象^[1-2]。近年来,随着全球气候的变暖,在中国北方干旱、半干旱地区干旱加重的同时,南方和东部多雨区干旱也在扩展和加重,频繁发生的旱灾已成为非常突出的环境问题^[3]。石羊河属河西走廊内陆河流域之一,处于黄土、青藏、蒙新三大高原的交汇过渡带,是生态和环境变化敏感的区域之一^[4-5]。特殊的地理条件和气候特征决定了石羊河流域是一个干旱频繁发生的地区^[6],下游民勤湖区北部地区已出现“罗布泊”景象^[7]。该流域气候近几十年出现了显著变暖趋势,且其增温速率明显大于全球增幅,并可能进一步变暖,同时,石羊河流域气温升高幅度大于降水上升幅度,而气温升高会加快水分循环,加强下垫面和水体的蒸发,有利于干旱趋势发展^[8-10]。为此,及时深入探讨石羊河流域干旱发生特征及其变异规律,可以减少干旱给人类和生态环境带来的影响,也可以为该流域水资源管理、防止植被退化、土地荒漠化提供一定的参考意义。干旱指数是监测、预警、评估干旱的关键参数。《气象干旱等级》国家标准中规定了相对湿润指数(moisture index, *MI*)、标准化降水指数(standard precipitation index, *SPI*)和帕默尔干旱指数(palmer drought severity index, *PDSI*)等单项气象干旱指数和综合气象干旱指数(composite index, *CI*)^[11]。前人引用单项指标做了大量有意义的工作^[12-13],但近几年一些学者引用 *CI* 指数对全国及江苏省、河南省、辽宁省和安徽省等局部地区的干旱特征进行研究^[14-19],结果表明综合气象干旱指数(*CI*)的优势与单纯利用降水量的干旱指数比较具有较大的优越性。本文将引入综合气象干旱指数(*CI*)作为评估干旱的指标,揭示 1962—2010 年石羊河流域干旱覆盖范围、干旱频率和不同等级干旱强度持续时间等方面的时空特征和变化趋势。研究结果对及时调整区域农业等人工管理生态系统管理方式和实现农业的可持续发展具有十分重要的意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

石羊河流域(图 1)位于甘肃省河西走廊东部,祁连山北麓,东以乌鞘岭、毛毛山、老虎山与黄河流域为界,西以大黄山-马营滩与黑河为界,介于 36°29′—39°27′N, 101°41′—104°16′E 之间,流域面积 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域行政区划包括武威市的古浪县、凉州区、民勤县全部及天祝县部分地区,金昌市以及张掖市肃南裕固族自治

县^[4,20]。主要由大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河、西大河等河流组成。该流域地势南高北低,南部为祁连山褶皱,中部为走廊凹陷,北部为阿拉善台地及北山断块,属大陆性温带干旱气候,干旱少雨、太阳辐射强、日照充足、温差大、蒸发强烈、降水少,空气干燥。流域上游年均气温低于 6℃,年降水量 400—600mm,年蒸发量 700—1200mm;中游年均气温低于 6—8℃,年降水量 150—300mm,年蒸发量 1300—2000mm;下游年均气温高于 8℃,年降水量小于 150mm,年蒸发量 2000—2600mm。由于气候变暖、地表能量的传输和水汽交换速率发生显著变化,造成地表能量和水分的收支严重平衡,使干旱和土地沙漠化更加严重^[21]。

1.2 资料来源

资料来源国家气象信息中心 (<http://www.nmic.gov.cn/>) 石羊河流域乌鞘岭、古浪、武威和民勤 5 个气

象站点 1962—2010 年逐日常规观测数据,包括日降水 (mm)、日平均气温 (℃)、10m 处风速 (m/s)、日照时数 (h) 和相对湿度 (%) 等资料。文中所用空间化方法采用 ArcGIS9.3 中空间分析模块的 Kring 插值法实现了 CI 栅格数据的干旱区域面积提取和统计,空间分辨率为 3cm×3cm, Kring 法基于对空间分布的数据线性最优、无偏内插估计,是当前应用最为广泛、插值结果较为准确的插值方法之一^[22]。

1.3 研究方法

1.3.1 综合气象干旱指数计算方法

综合气象干旱指数的计算方法参考《气象干旱等级》国家标准 (GB/T 20481—2006) 中的规定,计算公式为:

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30} \quad (1)$$

式中, a 为近 30d 标准化降水系数,由达轻旱以上等级 Z_{30} 的平均值除以历史出现最小 Z_{30} 的值,平均取 0.4; b 为近 90 d 标准化降水系数,由达轻旱以上等级 Z_{90} 的平均值除以历史出现最小 Z_{90} 的值,平均取 0.4; c 为近 30d 相对湿润指数,由达轻旱以上等级 M_{30} 的平均值除以历史出现最小 M_{30} 的值,取 0.8; Z_{30} 、 Z_{90} 分别为近 30d 和近 90d 的标准化降水指数 SPI 值; M_{30} 为近 30d 的相对湿润度指数 MI ^[13]。

标准化降水指数 SPI 的计算如下:

在 McKee^[23] 等提出的标准化降水指数 SPI 计算中,假设某一时段的降水量 x 服从 γ 分布,其 Γ 分布的概率密度函数为:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (x \geq 0) \quad (2)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (3)$$

式中, α 为形状参数, β 为尺度参数, $\Gamma(\alpha)$ 是 gamma 函数,将其计算得到累积概率密度函数 $G(x)$,通过下式对 $G(x)$ 进行转化:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (4)$$

式中, q 是降水序列中 0 值出现的频率。并通过高斯函数将 $H(x)$ 标准化后得到最终的 SPI 值, α 、 β 的估计方法参照文献 14。

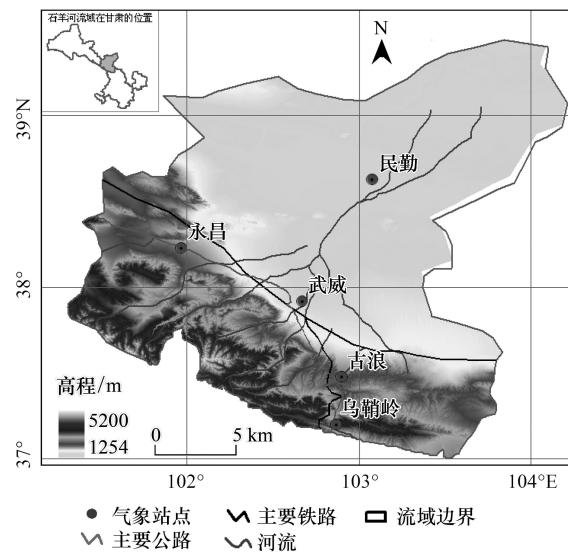


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

相对湿润指数 MI 的计算如下:

$$MI = \sum P / \sum ETo \quad (5)$$

式中, $\sum ETo$ 为近 30 d 潜在蒸散发 (mm), $\sum P$ 为近 30 d 降水量 (mm)。

根据联合国粮农组织推荐的基于 Penman-Monteith 公式的参考蒸散发计算方法可以近似为潜在蒸散发的估计,如下式:

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_s - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (VP_s - VP)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (6)$$

式中, ETo 为参考蒸散发量 (mm/d); R_s 、 G 分别为净辐射和土壤热通量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); γ 、 Δ 分别为干湿常数与饱和水汽压曲线斜率 ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$); U_2 为 2 m 处风速 (m/s); VP_s 和 VP 为饱和水汽压和实际水汽压 (kPa)。计算过程用到的各项参数计算均采用前人推荐标准^[24]。

利用(1)式滚动计算出逐日的综合气象干旱指数 CI ,跟踪干旱发生过程^[13]。根据气象干旱等级(表 1)对 CI 值划分后进行干旱分析评估。

表 1 综合气象干旱指数 (CI) 的干旱等级划分

Table 1 Levels of the compound index of meteorological drought (CI)

等级 Levels	类型 Type	综合气象干旱指数 composite index CI	等级 Levels	类型 Type	综合气象干旱指数 composite index CI
1	无旱	$-0.6 < CI$	2	轻旱	$-1.2 < CI \leq -0.6$
3	中旱	$-1.8 < CI \leq -1.2$	4	重旱	$-2.4 < CI \leq -1.8$
5	特旱	$CI \leq -2.4$			

根据 CI 值可以判断干旱过程及开始和结束日期,其中 CI_{C10} 表示连续 10d CI 值, CI_{F1} 表示第一个 CI 值, CI_{P10} 表示前 10d CI 值, CI_{L1} 表示最后一个 CI 值。具体见表 2。干旱过程开始到结束期间的时间为干旱持续时间。当某一时段内至少出现 1 次干旱过程,并且累积干旱持续时间超过所评价时段的 1/4 时,则认为该时段发生干旱事件,其干旱强度由时段内 CI 值为轻旱以上的干旱等级之和确定^[13]。本文分别以年和季节作为研究时段,季节定义为 1、2 月和上年的 12 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季。

表 2 干旱过程判断标准

Table 2 Standards of the drought processes

干旱过程 Drought Processes	标准 Standards
干旱发生 Drought Occurrence	$0 < CI_{C10} \leq -1.2$ 且 $CI_{F1} \leq -0.6$ 的日期为干旱开始日期
干旱发展 Drought Irresistance	$CI_{F1} - CI_{P10} < -0.6$
干旱持续 Drought Persistence	$ CI_{F1} - CI_{P10} < 0.6$
干旱缓解 Drought Remission	$CI_{F1} - CI_{P10} > 0.6$ 且达不到干旱解除标准
干旱解除 Drought Rescission	$CI_{C10} > -0.6$ 且 $CI_{L1} < -0.6$ 的日期为结束日期

1.3.2 干旱发生频率和覆盖百分率计算

利用公式(7)计算干旱发生频率

$$P = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (7)$$

式中, n 为实际有干旱事件发生的日数, N 为资料年代序列数, 1961—2010 年共 50 a 数据,但由于 CI 指数的计算是向后滚动的,带入资料计算所得的 CI 值是从 1962 年开始,所以 N 取 49。干旱覆盖百分率=每年有干旱事件发生的站点数量/总站点数^[21],并将覆盖百分率超过 90% 以上的干旱定义为大范围干旱。

2 结果与分析

2.1 干旱的时间变化特征

春季,多年平均干旱覆盖范围为 47.8%。近 50 年发生大范围干旱的年份有 9a,分别为 1965、1966、1971、1973、1976、1999、2001、2002、2009 年。研究区干旱以 20 世纪 70 年代最为严重,平均干旱覆盖百分率为 71%,60 年代次之,平均干旱覆盖百分率为 55%,80 年代、90 年代和 2000 年以来的平均干旱覆盖百分率分别为 34%、35% 和 45%,干旱还是较为严重(图 2)。

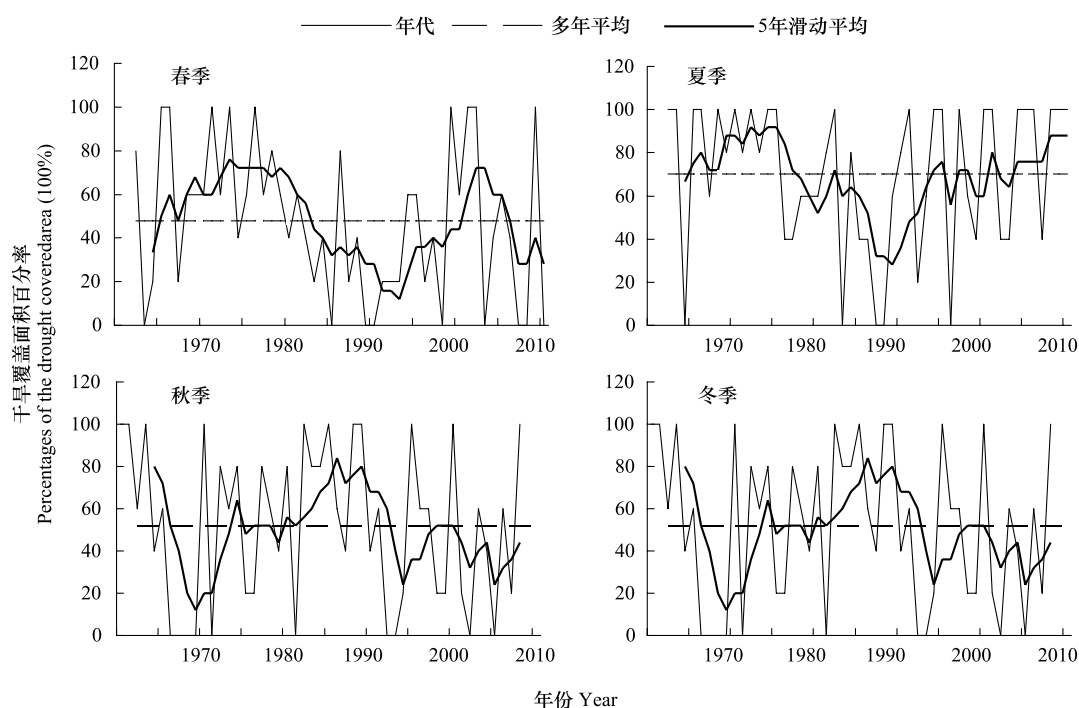


图 2 1962—2010 年四季干旱覆盖百分率

Fig. 2 Annual percentages of the drought covered area for the season in 1962—2010

夏季,多年平均干旱覆盖范围为 70%,比其它季节都大(图 2)。近 50 年中发生大范围干旱的年份有 22a,主要集中在 1976 年以前和 2000 年以后。研究区干旱自 2000 年以后最为严重,平均干旱覆盖百分率为 84%,20 世纪 60 年代次之,平均干旱覆盖百分率为 80%,70 年代和 90 年代平均干旱覆盖百分率分别为 76% 和 66%,80 年代最低,为 46%。

秋季受前期夏季降水较多的影响(图 2),干旱范围明显减小,多年平均干旱覆盖范围不足 60%,有 11a 发生了大范围干旱,阶段性变化不显著,各年代出现的年份在 1—3a 之间,20 世纪 80 年代多年干旱覆盖范围最高,为 64%,60 年代和 90 年代多年干旱覆盖范围分别为 58% 和 54%,而 70 年代和 2000 年以后多年干旱覆盖范围不足 50%,分别为 44% 和 40%。

冬季覆盖范围在各季节中最小(图 2),多年平均覆盖百分率为 37%,其中发生大范围干旱的年份仅有 4 年,分别为 1965、1971、1984、1994 年。20 世纪 80 年代的多年干旱覆盖范围达到 50%,其余年代际的值都小于 50%。对石羊河流域四季干旱覆盖百分率进行置信度水平 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 的 F 显著性检验发现:四季的线性变化趋势均不显著。

综合四季干旱出现年份可以看出,大范围干旱主要集中在 20 世纪的 60 年代和 2000 年以后。其中 1965 年出现了春夏秋冬四季连旱;春夏连旱的年份有 1966、2001、2009 年;夏秋连旱的年份有 6 年,为 1962、1963、1972、1991、1997、2010 年;1984 年为秋冬连旱。20 世纪 80 年代中后期受西北地区蒙古高压反气旋环流增强的影响,祁连山中段南风分量增强,水期增加,从而降水有所增加^[25],同时,80 年代石羊河流域平均径流量增

加最明显,90 年代减少最明显^[26],对于本文研究的时段,80 年代该流域干旱覆盖范围而有所减小,90 年代以来重大旱灾灾害事件发生频率呈现出快速增大趋势。说明由于石羊河流域特殊的地理特征,干旱发生的规律主要受气候系统异常变化和流域径流量双重影响。本文得出的夏季多旱、冬季少旱的规律与前人研究的相关结论一致^[27]。1965 年,流域发生持续干旱,干旱发生程度为 1961 年以来历史同期所罕见,属于异常干旱年份;入秋后降水偏少,气温异常偏高,整个流域受旱面积 $11.33 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。20 世纪 80 年代整个流域受旱面积基本上小于 $80 \times 10^4 \text{ km}^2$,2008—2010 年整个流域受旱面积均在 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,为近 10a 中受旱面积最大的年份。可见,综合气象干旱指数在一定程度上能较好地反映实际干旱受灾情况,适用于该区域气象干旱监测和评估工作。

2.2 干旱的空间分布特征

干旱总体上是由水资源紧缺所造成,影响因素一般变化较快,甚至属于异常或突变。而石羊河流域水资源短缺是由降水稀少引起的水资源短缺,属于气候干旱型水资源短缺^[28]。降水量在时间和空间上均存在不平衡性,加之地貌类型等因素的影响,如图 3 可见,近 50 年来石羊河流域的干旱发生的频率在空间和季节上都有所差异。

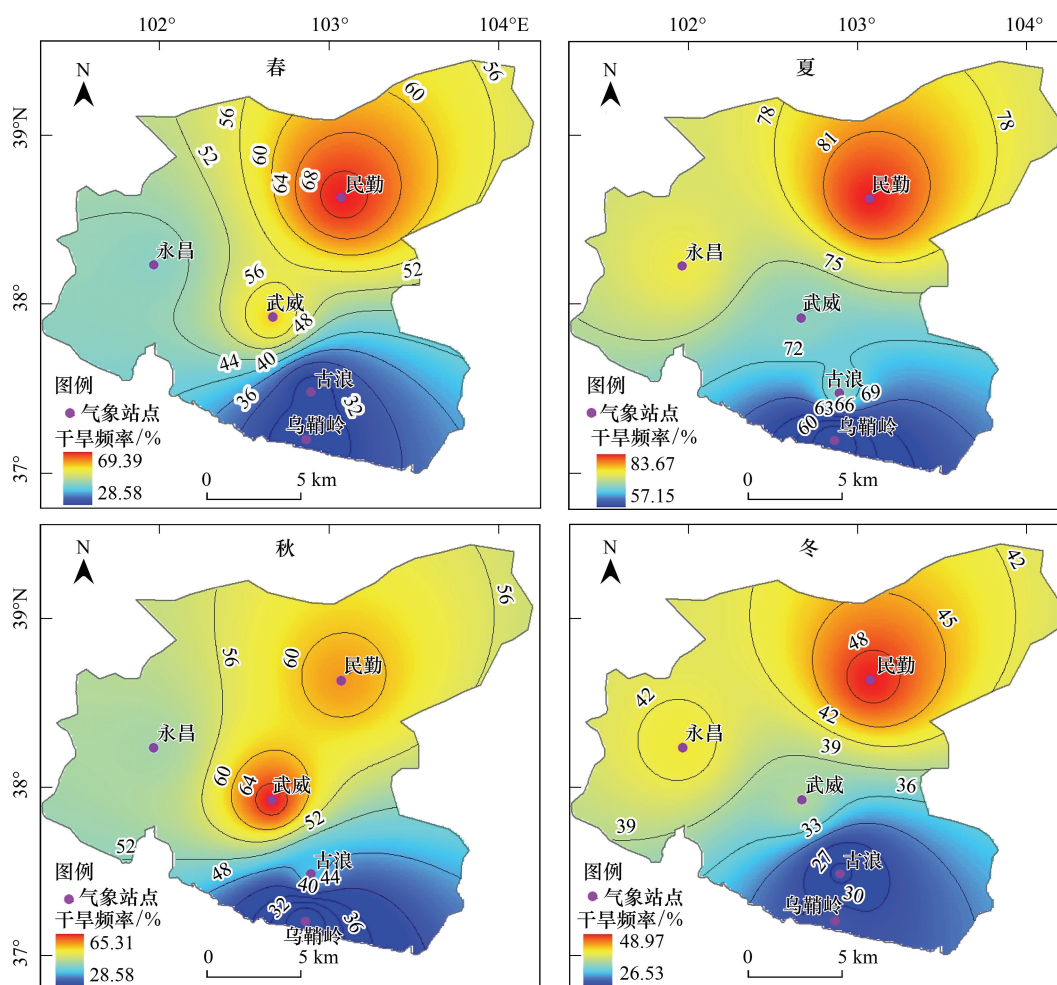


图 3 1962—2010 年干旱发生频率分布

Fig. 3 Spatial distribution of drought occurrence frequencies in 1962—2010

石羊河流域的干旱频率,春、夏季的分布较为相似,呈现出明显的北高南低特征,低值中心在乌鞘岭地区,而在北部低山丘陵区及荒漠区的民勤有一高值中心,但夏季出现干旱的频率(57.15%—83.6%)远大于春季(28.58%—69.39%)。秋季的干旱频率高于冬季、低于夏季,发生频率高值中心转移到中游地区的武威一

带,干旱频率为 28.57%—65.31%。冬季发生频率为 26.53%—48.97%,比其他任何季节都低,干旱分布特征与春夏季相似,不同的是低值中心转移到古浪地区(图 3)。

为了更深的分析石羊河流域干旱的分布规律,统计了各季节中旱和重特旱出现的多年平均天数。由图 4 可见,春季,民勤一带发生中旱的多年平均天数最多为 23d,乌鞘岭一带最少为 7d,夏季全流域的多年平均天数较多,除过乌鞘岭一带为 8d,其余地区的多年平均天数大于 10d;秋季武威和民勤地区的天数最多为 18d,乌鞘岭一带为 7d;由图 4 可见,春、秋季,上游和中游地区民勤—武威一带多年重特旱平均天数大于 10d,下游乌鞘岭地区小于 7d,夏季,民勤一带多年平均天数高达 26d,武威次之,达到 22d,而永昌地区多年平均天数最少为 12d。从季节上来看,夏季出现干旱的多年平均天数最多,重特旱天数大于中旱的天数;从地域上看,从上游到下游多年各等级干旱多年平均天数依次减少。

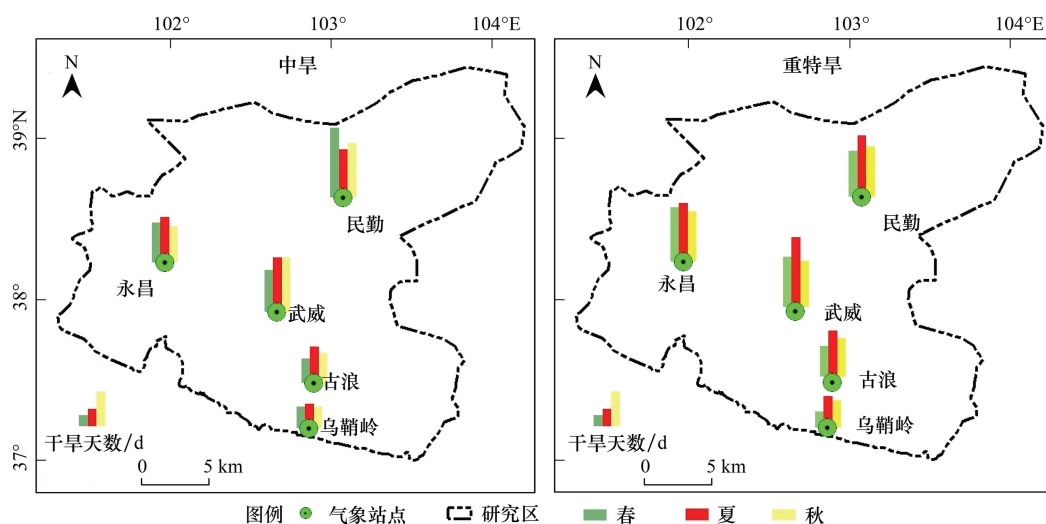


图 4 各季节中旱、重特旱年均干旱日数分布

Fig. 4 Yearly average distribution of moderate drought, severe and extreme drought in different season from 1962 to 2010

根据石羊河流域农业种植结构,近年流域主要作物有春小麦、玉米、棉花等,水热条件的季节性差异使作物生长期表现出较强的季节性规律^[29]。春季至秋季是当地作物生长成熟期和麦田的收摘期,同时也是水库、水窖的蓄水期,地面蒸发和作物蒸腾比较旺盛,作物对水分需求也相对较多,该阶段发生的干旱将直接影响到作物的生长状况和产量。根据对石羊河流域近 50 年的干旱演变形势分析,近 50 年来夏季干旱覆盖范围和干旱频率均处于年内最严重水平。因此,农业生产中对夏旱必须给予最充分的重视和对待。同时,也要密切注意对秋旱的实时监测,秋旱不但影响到当年的粮食产量,而且造成农田土壤水分储存量减少,地下水位下降,可能引起来年的春旱,而将影响到春播生产等。农业生产部门在指导干旱防控时,大力研究节水型种植结构、调亏灌溉、免耕覆盖种植、设施农业等适应干暖气候条件下的高效节水农业调控体系^[30]。另外,根据资料分析,流入民勤县境内水量已由 20 世纪 50 年代的 $4.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 较少到 90 年代的 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$;1988 年石羊河流域积雪面积为 430.5 km^2 ,2005 年面积减少为 305.0 km^2 ,减少了约 30% 左右,上中游农业灌溉用水量、工业用水量、生活用水量等不断增加,进而影响进入下游的径流量^[31]。鉴于上中游已有较好的灌溉条件,而下游灌溉条件相对较差且干旱较为严重,应适当加快农业节水技术的推广和转化,以土壤水分的调控为中心,在下游充分利用当前灌溉设施的基础上,进一步加强中、小型水库等水利配套设施建设,做好夏季和秋季水库储水工作,同时,政府等相关部门应采取相应措施调控上中游地区对水资源的过度开采,从而实现石羊河水资源的可持续发展,从整体上提高流域的防旱水平。

4 结论

通过各站历年逐日 CI 值的计算,揭示了石羊河流域近 50 年来干旱发生频率、覆盖范围、以及不同等级干

旱多年平均天数,研究得到以下结论:

在季节变化上,主要受到东亚季风和西南季风的影响,夏季干旱发生频率最高,最高值达到 84%,中旱和重特旱多年平均日数最多,均大于 13d;春秋两季相似,介于 29%—70% 之间,中旱和重特旱多年平均日数介于 10—13d 之间;冬季频率最低,为 27%—43%。春、夏、冬季干旱发生频率高值区主要集中在流域下游民勤一带,秋季主要集中在武威一带,四季低值中心在上游乌鞘岭一带。

在年代际变化方面,由于受到气候系统异常变化和流域径流量的双重作用,春季干旱以 20 世纪 70 年代最为严重,平均干旱覆盖百分率为 71%,大范围干旱年份有 9a;夏旱以 2000 年以来最严重,平均干旱覆盖百分率 70%,大范围干旱年份有 22a;秋季干旱以 80 年代最为严重,平均干旱覆盖百分率不足 60%,大范围干旱年份有 11a;冬季干旱以 80 年代最为严重,平均干旱覆盖百分率达到 50%,大范围干旱年份仅有 4a。与灾情统计资料具有较好的一致性,能在一定程度上反映实际的受旱情况。

根据石羊河流域近 50 年干旱时空分布特征,当地农业生产部分应充分重视春季到秋季的干旱,尤其是夏旱的发生情况,合理调控上游地区人类对水资源的过度开发,加强和改进下游地区农田的灌溉系统,从而实现流域水资源的可持续发展。虽然综合气象干旱指数 CI 同时考虑了降水和蒸发能力因子,与单纯利用降水量的干旱指数比较具有较大的优越性,蒸发能力的计算也比较简便,滚动计算后能较好地反映干旱的发生、发展、缓解和结束过程,但以天为时间单位进行计算,没有考虑干旱跨季度发生的延续性,同时也未考虑当地土壤墒情、灌溉、耕作、社会经济等因素,因此不能完全反应实际干旱对当地农业生产、人民生活的影响。但是,本文得到该流域干旱长期变化趋势与前人根据降水量和其他干旱指数变化分析获得的结果基本相近^[32-33],说明上述结论具有比较高的可信度。综合气象干旱指数可以用于该典型区域气象干旱监测业务和干旱变化研究。本文分析得出结果也可作为相关部门制定减缓和适应干旱灾害的科学依据。

References:

- [1] Liu C M. Study of some problems in water cycle changes of the Yellow River Basin. *Advances in Water Science*, 2004, 15(5): 608-614.
- [2] Yeh T C, Wetherald R T, Manabe S. A model study of the short-term climatic and hydrologic effects of sudden snow-cover removal. *Monthly Weather Review*, 1983, 111(5): 1013-1024.
- [3] Liu X Y, Li D L, Wang J S. Spatiotemporal characteristics of drought over China during 1961—2009. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(2): 473-483.
- [4] Wei W, Shi P J, Zhao J, Wang X F. Spatial relationship between elevation, vegetation cover and landscape types in Shiyang River Basin. *Arid Land Geography*, 2012, 35(1): 91-98.
- [5] Xiao D N, Li X Y, Song D M. Landscape changes and ecological reconstruction in Minqin Huqu oasis. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2476-2483.
- [6] Liu M C. Analysis and assessment of climatic dry and wet conditions in Shiyang River Basin. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 880-884.
- [7] Li X Y, Xiao D N. Dynamics of water resources and land use in oases in middle and lower reaches of Shiyang River watershed, Northwest China. *Advances in Water Science*, 2005, 16(5): 643-648.
- [8] Zhang L P, Zhang R B, Ni H B. Evolution trend and formation background of eco-environment with world climatic variation in Northwest China. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2005, 16(2): 88-92.
- [9] Li Y H, Sun G W, Zhang Q, Ye Q. The analysis of environmental creeping problems in Central Asia and Northwest China. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 609-613.
- [10] Ren Z X, Yang D Y. Study on the division and trends of temperature variation in Northwest Arid Area of China in recent 50 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(1): 99-103.
- [11] Yao Y B, Dong A X, Wang Y R, Zhang X Y, Yang J H. Compare research of the regional arid characteristic base on Palmer drought severity index in spring over China. *Arid Land Geography*, 2007, 30(1): 22-29.
- [12] Wei J, Ma Z G. Comparison of Palmer drought severity index, percentage of precipitation anomaly and surface humid index. *Journal of Geographical Science*, 2003, 58(Suppl): 117-124.
- [13] Zhang Q, Zou X K, Xiao F J. Classification of meteorological drought, GB/T20481—2006. Beijing: Standards Press of China, 2006: 1-17.

- [14] Zou X K, Ren G Y, Zhang Q. Drought variations in China based on a compound index of meteorological drought. *Climatic and Environmental Research*, 2010, 15(4): 371-378.
- [15] Bao Y X, Meng C L, Shen S H, Qiu X F, Gao P, Liu C. Temporal and spatial patterns of droughts for recent 50 years in Jiangsu based on meteorological drought composite index. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 599-608.
- [16] Li S Y, Liu R H, Shi L K, Ma Z H. Analysis on drought characteristic of He'nan in recent 40 years based on meteorological drought composite index. *Arid Meteorology*, 2009, 27(2): 97-102.
- [17] Cao Y Q, Zhang L X, Zhang Y J, Ma J, Sun X. Analysis of drought characteristics of Liaoning province based on the CI index. *Resources Science*, 2010, 34(2): 265-272.
- [18] Zhang J, Liang S B, Xu X G, Zhang J M, Yu Z Q, Liu W R. Temporal and spatial distribution characteristics of droughts for recent 50 years in Hebei province based on meteorological drought composite index. *Resources Science*, 2012, 34(6): 1089-1094.
- [19] Xie W S, Tian H. Analysis of the spatial-temporal characteristics of drought in Anhui province in recent 50 Years. *Journal of Catastrophology*, 2011, 26(1): 94-96.
- [20] Su X L, Kang S Z, Tong L. A dynamic evaluation method and its application for the ecosystem service value of an inland river basin; a case study on the Shiyanghe River Basin in Hexi Corridor of Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 2011—2019.
- [21] Wang R Y, Zhang Q, Wang Y L, Yang X G, Han Y X, Yang Q G. Response of corn to climate warming in arid areas in Northwest China. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(12): 1387-1392.
- [22] Goovaerts P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 2000, 228(1/2): 113-129.
- [23] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. Boston: American Meteorological Society, 1993: 179-1841.
- [24] Liu C M, Zhang D. Temporal and spatial change analysis of the sensitivity of potential evapotranspiration to meteorological influencing factors in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 579-588.
- [25] Yu Y X, Wang J S, Li C Y. Spatial and temporal distribution of water vapor and its variation trend in atmosphere over Northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(2): 149-154.
- [26] Liu L P, Liu M C. Changing trend and features of the runoff from mountain areas of rivers in Shiyang river drainage basin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(1): 58-63.
- [27] Zhang C J, Xie J N, Li D L, Guo H. Effect of East-Asian monsoon on drought climate of Northwest China. *Plateau Meteorology*, 2002, 21(2): 193-198.
- [28] Zhang Q, Zhang L, Cui X C, Zeng J. Progress and challenges in drought assessment and monitoring. *Advance in Earth Sciences*, 2011, 26(7): 763-778.
- [29] Yan F, Wang Y J, Wu B. Spatial and temporal distributions of drought in Henbei Province over the 50 years. *Geographical Research*, 2010, 29(3): 423-430.
- [30] Luo Y Z, Cheng Z Y, Guo X Q. The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 221-229.
- [31] Zhang Q, Zhao Y D, Zhang C J, Li Y H, Sun G W, Gao Q Z. ISSUES about hydrological cycle and water resource in arid region of Northwest China. *Arid Meteorology*, 2008, 26(2): 1-8.
- [32] Wang X M, Zhang B, Zhang K, Zhang T F, Dai S P, Wang Y M, Li D. The spatial and temporal characteristics of extreme drought events in Shiyang river basin. *Progress in Geography*, 2011, 30(3): 299-305.
- [33] Zhou J J, Shi P J, Shi W. Temporal and spatial characteristics of climate change and extreme dry and wet events in Shiyang river basin from 1960 to 2009. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(1): 143-153.

参考文献:

- [1] 刘昌明. 黄河流域水循环演变若干问题的研究. *水科学进展*, 2004, 15(15): 608-614.
- [3] 刘晓云, 李栋梁, 王劲松. 1961—2009 年中国区域干旱状况的时空变化特征. *中国沙漠*, 2012, 32(2): 473-483.
- [4] 魏伟, 石培基, 赵军, 王旭峰. 石羊河流域海拔、植被覆盖与景观类型空间关系研究. *干旱区地理*, 2012, 35(1): 91-98.
- [5] 肖笃宁, 李小明, 宋冬梅. 石羊河尾间绿洲的景观变化与生态恢复对策. *生态学报*, 2005, 25(10): 2476-2483.

- [6] 刘明春. 石羊河流域气候干湿状况分析及评价. 生态学杂志, 2006, 25(8): 880-884.
- [7] 李小玉, 肖笃宁. 石羊河流域中下游绿洲土地利用变化与水资源动态研究. 水科学进展, 2005, 16(5): 643-648.
- [10] 任朝霞, 杨达源. 近 50a 西北干旱区气温分区及其变化趋势研究. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 99-103.
- [11] 姚玉璧, 董安祥, 王毅荣, 张秀云, 杨金虎. 基于帕默尔干旱指数的中国春季区域干旱特征比较研究. 干旱区地理, 2007, 30(1): 22-29.
- [12] 卫捷, 马柱国. Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较. 地理学报, 2003, 58(增刊): 117-124.
- [13] 张强, 邹旭凯, 肖风劲. GB/T20481—2006 气象干旱等级. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1-17.
- [14] 邹旭凯, 任国玉, 张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 371-378.
- [15] 包云轩, 孟翠丽, 申双和, 邱新法, 高萍, 刘聪. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律. 地理学报, 2011, 66(5): 599-608.
- [16] 李树岩, 刘荣花, 师丽魁, 马志红. 基于 CI 指数的河南省近 40 年干旱特征分析. 干旱气象, 2009, 27(2): 97-102.
- [17] 曹永强, 张兰霞, 张岳军, 马静, 孙雪. 基于 CI 指数的辽宁省气象干旱特征分析. 资源科学, 2010, 34(2): 265-272.
- [18] 张婧, 梁树柏, 许晓光, 张金满, 于智强, 刘伟荣. 基于 CI 指数的河北省近 50 年干旱时空分布特征. 资源科学, 2012, 34(6): 1089-1094.
- [19] 谢五三, 田红. 安徽省近 50 年干旱时空特征分析. 灾害学, 2011, 26(1): 94-96.
- [20] 栗晓玲, 康绍忠, 佟玲. 内陆河流域生态系统服务价值的动态估算方法与应用——以甘肃河西走廊石羊河流域为例. 生态学报, 2006, 26(6): 2011-2019.
- [24] 刘昌明, 张丹. 中国地表潜在蒸散发敏感性的时空变化特征分析. 地理学报, 2011, 66(5): 579-588.
- [26] 李玲萍, 刘明春. 石羊河流域出山口河流流量的变化趋势及特性分析. 水土保持学报, 2011, 25(1): 58-63.
- [27] 张存杰, 谢金南, 李栋梁, 郭慧. 东亚季风对西北地区干旱气候的影响. 高原气象, 2002, 21(2): 193-198.
- [28] 张强, 张良, 崔显成, 曾剑. 干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战. 地球科学进展, 2011, 26(7): 763-778.
- [29] 闫峰, 王艳姣, 吴波. 近 50 年河北省干旱时空分布特征. 地理研究, 2010, 29(3): 423-430.
- [30] 罗永忠, 成自勇, 郭小芹. 近 40 年甘肃省气候生产潜力时空变化特征. 生态学报, 2011, 31(1): 221-229.
- [31] 张强, 赵映东, 张存杰, 李耀辉, 孙国武, 高前兆. 西北干旱区水循环与水资源问题. 干旱气象, 2008, 26(2): 1-8.
- [32] 王兴梅, 张勃, 张凯, 张调风, 戴声佩, 王亚敏, 李丹. 石羊河流域极端干旱事件的时空变化特征. 地理科学进展, 2011, 30(3): 299-305.
- [33] 周俊菊, 石培基, 师玮. 1960—2009 年石羊河流域气候变化及极端干湿事件演变特征. 自然资源学报, 2012, 27(1): 143-153.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

- Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
- Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
- Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP) LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
- Progress and perspectives of ecosystem services management ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
- Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
- Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
- Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
- Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
- Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
- Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
- Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
- Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
- Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
- Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
- Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

- The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation DONG Ying, SHI Lei (809)
- Ecological protection and well-being LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
- An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

- Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
- The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
- Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
- Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of *Eucalyptus* ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
- Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Pterocarya stenoptera* seedlings to submergence and drought alternation WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 33 卷 第 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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 90.00 元