

1960—2011 年西南地区干旱时空格局分析

王东, 张勃, 张调风, 赵一飞, 李小亚, 尹海霞

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 基于西南地区 130 个气象站 1960—2011 年气象资料, 计算了各站不同时间尺度的标准化降水指数(SPI), 并采用 Mann—Kendall 趋势分析法和反距离加权插值等方法, 分析了该区近 52 a 以来干旱发生的时空变化特征。结果表明: (1) 各区域干旱存在明显的年际变化波动且线性变化趋势较为显著, 近 12 a 来干旱次数明显增多。大部分区域干旱指数在春夏秋季均呈减少趋势, 秋季最为明显, 冬季反之。(2) 空间分布方面, 横断山地、广西丘陵、四川盆地东部和贵州高原南部春旱频率较高。夏旱主要发生在横断山地北部, 若尔盖高原, 四川盆地的西部和南部, 云南高原中部和广西丘陵。云南高原南部, 横断山地西南部, 贵州高原和广西丘陵的秋旱频率较高。冬季干旱频率高值区主要集中在若尔盖高原、四川盆地西南部一带。

关键词: 西南地区; 标准化降水指数; 干旱; 时空特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0152-05

中图分类号: P467

Temporal and Spatial Distributions of Droughts in Southwestern China in 1960—2011

WANG Dong, ZHANG Bo, ZHANG Tiao-feng, ZHAO Yi-fei, LI Xiao-ya, YIN Hai-xia

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Based on meteorological data of 130 meteorological stations in the southwest of China from 1960 to 2011, we have calculated standardized precipitation index(SPI) on different time scales, adopted the Mann—Kendall trend analysis method and inverse distance weighted interpolation method, and analyzed the spatio-temporal variation characteristics of drought in the southwest in the past 52 years. The results indicate as follows: (1) In the aspect of annual variation, there was a notable inter-annual fluctuation in the southwest of arid region, and the linear trend was more obvious. Especially the drought frequency has significantly increased in the past 12 years. In most areas, the drought index showed a decreasing tendency, with the most obvious decrease in autumn, while that in winter was opposite. (2) In the spatial distribution of the southwest, the spring drought mainly distributed in Hengduan Mountains, Guangxi Hilly, the east of Sichuan Basin and the southern part of Guizhou Plateau. The summer drought was mainly located in the north of Hengduan Mountains, Zoige Plateau, the western and southern part of Sichuan Basin, the central part of Yunnan Plateau hilly, and Guangxi Hilly. The areas with higher incidence of autumn drought were mainly located in the south of Yunnan Plateau, the southwest of Hengduan Mountains, Guizhou Plateau and Guangxi Hilly. The winter drought mainly concentrated on the Zoige Plateau and the southwest of Sichuan Basin.

Keywords: Southwest China; standardized precipitation index; drought; temporal and spatial characteristics

干旱是全球自然灾害中造成损失最大的灾害, 也是对人类社会影响最为严重的气象灾害之一, 特别是对气候变化敏感的农业影响更加严重, 同时干旱对经济、社会和环境产生重大的影响^[1-3]。西南地区是我

国干旱发生频率较高的地区。2009 年秋季以来, 我国西南大部分地区遭受了罕见的秋冬春连旱, 降水量较多年同期偏少 50% 以上, 部分地区减少 70% ~ 90%, 给农业生产、生活和社会经济造成严重影响, 引

收稿日期: 2013-01-30

修回日期: 2013-03-21

资助项目: 国家自然科学基金资助项目“水资源约束下的黑河流域土地利用/覆盖变化模拟研究”(40961038); 生态经济学省级重点学科(5002-021); 西北师范大学知识与科技创新工程项目(NWNU-KJCXGC-03-66)

作者简介: 王东(1987—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 硕士研究生, 主要从事区域环境与资源开发研究。E-mail: wangdongnwnu@163.com。

通信作者: 张勃(1963—)男(汉族), 甘肃省华池县人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域环境与资源开发研究。E-mail: zhangbo@nwnu.edu.cn。

起了社会的广泛关注^[4]。李强子等^[5]采用遥感技术对西南地区2010年春季干旱进行监测,研究发现此次干旱对西南地区农作物产生重大的影响;严建武等^[6]利用植被指数分析了西南地区2009—2010年特大干旱,得出对干旱敏感的植被类型是旱地和草地等;贺晋云等^[7]利用湿润指数从年际、年代际分析了西南地区极端干旱变化特征,指出西南地区干旱区域差异性明显。然而之前的研究主要是侧重于短时间尺度、年际和年代际变化以及利用遥感监测来反映西南地区干旱,且多侧重于极端干旱,从导致干旱的最敏感因素(降水量)、长时间尺度的季节变化和干旱等级方面分析的文献尚不多见。干旱指数是研究干旱情形的重要参数,目前关于干旱研究应用广泛的指数有Palmer干旱指数、相对湿润指数、降水距平百分率、标准化降水指数和综合气象干旱指数。其中最成熟的干旱指数是标准化降水指数(standardized precipitation index, SPI)。SPI指数主要反映的是气象干旱, SPI指数抓住降水这个在干旱形成过程中的决定性因素,并且对干旱反应敏捷,且计算过程简便,经过标准化后在不同时间尺度以及不同区域间都具有可比性,适用于旱涝监测评估。相关研究^[8-12]利用SPI指数对全国及我国南方、西北地区、黄淮海平原和河北省等局部地区干旱时空特征进行了分析,证明了其在干旱监测方面的优越性。西南地区地形复杂,季节性气候特征明显。故在本研究中将西南地区划分为5个地貌单元,分别探讨其干旱特征和变化规律,同时利用标准化降水指数多时间尺度的特点,研究西南地区各区域四季和年际的干旱演变特征,系统地认识该区域干旱时空变化,为该区域的水资源合理利用和干旱监测工作更好地服务。

1 研究资料与方法

1.1 研究区概况

西南地区位于 $91^{\circ}21'—112^{\circ}04' E$ 、 $20^{\circ}54'—34^{\circ}19' N$ 之间,在行政区上包括云南、贵州、广西、四川和重庆5省(市、区),区内有高原、山地、丘陵、盆地、平原等多种地貌,地形复杂,植被垂直地带性特征显著。气候类型以亚热带季风气候为主,降水量介于600~2 300 mm之间,大体呈由东、南向西北减少的分布态势且降水的季节分布极不均匀,每年5—10月降水量,占全年降水的80%~90%,而11月至翌年4月的降水量只占全年的10%~20%^[13]。该区年降水变率在10%~20%,高于国际系数8%。在海温和大气环流异常的影响下,该地区近52 a旱灾发生频繁,干旱现象突出。

1.2 数据来源及方法

数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>),选用西南地区1960—2011年资料序列较长的130个气象站点的月降水量数据,对部分缺测数据进行插补延长,且经过了较为严格的质量控制。为深入研究西南地区不同地形阶梯的干旱变化及分布特征,根据测站海拔高度及地形条件将西南地区分为四川盆地,广西丘陵,云贵高原,横断山地,若尔盖高原共5个区域进行研究分析。

1.2.1 标准化降水指数的计算 标准化降水指数是由Mckee等^[14-15]在评估美国科罗拉多干旱状况时提出的。该指数可以用不同时间尺度来研究干旱状况,即可以根据研究目标选择特定的时间尺度,通常有1, 3, 6, 9, 12, 48个月等时间尺度。SPI的计算为^[16-17]:首先用 Γ 分布概率来描述降水量的变化,然后再经正态标准化求得SPI值, Γ 分布的概率密度函数为:

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

式中: α ——形状参数; β ——尺度参数; x ——降水量; $\Gamma(\alpha)$ ——Gamma函数。用极大似然估计法计算最佳的 α 和 β ,即

$$\hat{\alpha} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad (2)$$

$$\hat{\beta} = \bar{X} / \hat{\alpha} \quad (3)$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (4)$$

式中: x_i ——降水量; \bar{x} ——降水量平均值; n ——计算序列的长度。

计算累积概率函数:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5)$$

考虑到Gamma函数对 $x=0$ 时没有定义,而降水量可能是0值,因此采用公式(6)对 $G(x)$ 进行转换:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (6)$$

式中: q ——降水序列中0值出现的概率。再用高斯函数将 $H(x)$ 标准化,对 Γ 分布概率进行正态标准化处理,近似求解可得:

$$SPI = S \left(t - \frac{2.52 + 0.8t + 0.01t^2}{1 + 1.43t + 0.19t^2 + 0.001t^3} \right) \quad (7)$$

式中: $t = \sqrt{\ln \frac{1}{H(x)^2}}$, $H(x)$ ——公式(6)求得的概率,并当 $H(x) > 0.5$ 时, $S = 1$; 当 $H(x) \leq 0.5$ 时, $S = -1$,此完整过程用于SPI计算。

通过计算研究区130个气象站点1960年1月至

2011 年 12 月的 SPI, 选用 3 个月和 12 个月时间尺度的 SPI 分析研究区季节和年际干旱时空演变特征, 采用国家标准化管理委员会在 2006 年提出的利用标准化降水指数 SPI 值进行干旱等级划分^[18](表 1)。

表 1 利用标准化降水指数 SPI 值进行干旱等级划分

| 等级 | 类型 | SPI 值 |
|----|----|-------------------|
| 1 | 无旱 | -0.5 < SPI |
| 2 | 轻旱 | -1.0 < SPI ≤ -0.5 |
| 3 | 中旱 | -1.5 < SPI ≤ -1.0 |
| 4 | 重旱 | -2.0 < SPI ≤ -1.5 |
| 5 | 特旱 | SPI ≤ -2.0 |

1.2.2 Mann—Kendall 趋势检验法 干旱强度变化趋势及显著性采用气象及水文学中常用的 Mann—Kendall 趋势分析法, Mann—Kendall 趋势分析法(简称 M—K)是一种用于检验时间序列变化趋势的非参数检验方法, 优点在于它允许缺测值的存在, 且无需证明资料服从一定的分布。

$X_n (n=1, 2, \dots)$ 为时间序列变量, 先确定其序列的对偶数 $(X_i < X_j, i, j=1, 2, \dots)$ 的个数 p , 再确定 $\text{var}(\tau)$ 和 U , 公式为:

$$\tau = \frac{4p}{[n(n-1)-1]} \quad (8)$$

$$\text{var}(\tau) = \frac{[2(2n+5)]}{[9n(n-1)-1]} \quad (9)$$

$$U = \frac{\tau}{\text{var}(\tau)^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

M—K 统计量 U 的取值范围为 $-\infty$ 到 $+\infty$ 。 $U > 0$, 表示时间序列为上升趋势; $|U| < 0$, 表示时间序列为下降趋势; 给定信度水平 α , $|U| > U_\alpha$ 时, 则序列趋势变化显著; $|U| < U_\alpha$, 趋势不显著。 $|U|$ 越大, 在一定程度上可以说明序列的趋势性变化(增加或减小)越显著^[19]。

2 结果与分析

2.1 西南地区干旱时间变化特征

2.1.1 SPI 指数年际变化特征 从 SPI 年际变化趋势(图 1)中可以看出, 近 52 a 西南地区 SPI 总体呈现下降趋势, 线性倾向率为 $-0.049/10 \text{ a}$, 各区域也呈现不同的变化趋势, 除横断山区 SPI 呈现轻微的上升趋势, 线性倾向率为 $0.036/10 \text{ a}$, 即干旱程度减小, 四川盆地、广西丘陵、云贵高原、若尔盖高原 SPI 均呈现下降趋势, 线性倾向率分别为 $-0.09/10 \text{ a}$, $-0.043/10 \text{ a}$, $-0.082/10 \text{ a}$ 和 $-0.059/10 \text{ a}$, 表明这些区域近 52 a 来干旱程度呈增加趋势, 其中四川盆地最为明显, 其次是广西丘陵区。

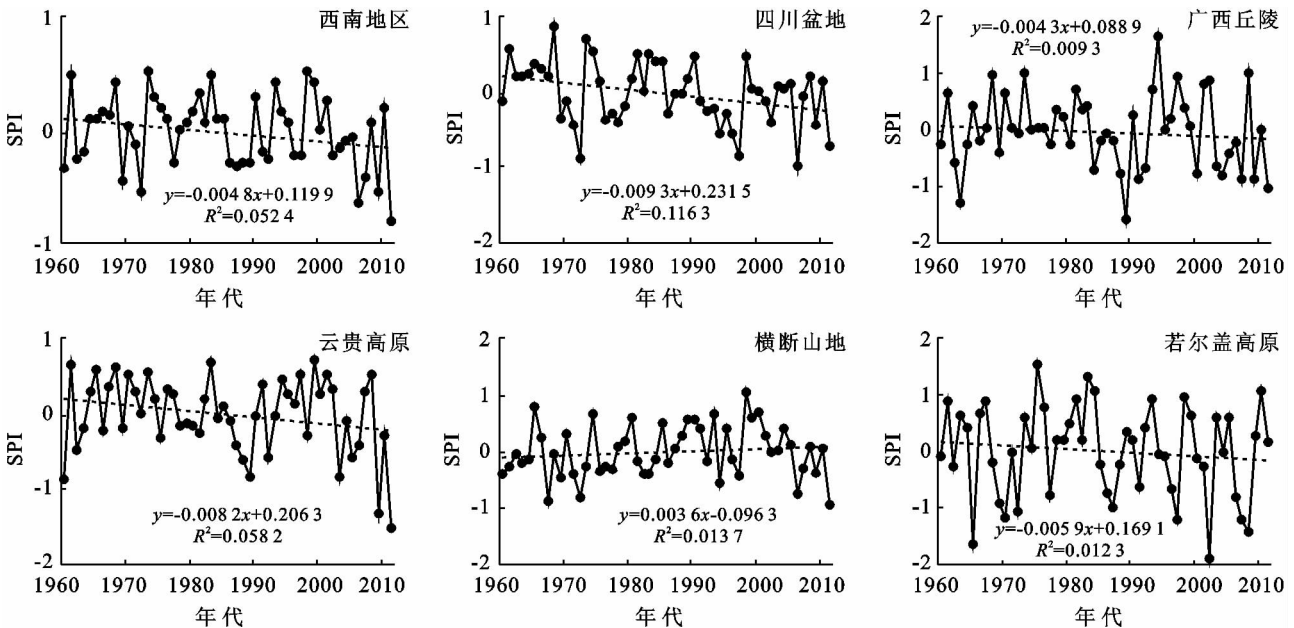


图 1 1960—2011 年西南地区 SPI 值变化

四川盆地在 20 世纪 60 年代和 80 年代, SPI 都大于 -0.5 , 发生干旱次数较少, 自 80 年代以来 SPI 下降趋势明显, 干旱呈增加趋势, 以 1998 和 2006 年最为明显。主要是由于 60 年代和 80 年代是多雨年, 90

年代以后降水量呈下降趋势^[20]。从图 1 可以看出, 广西丘陵干旱严重的年份有 1963, 1989 和 2011 年, SPI 分别为 -1.31 , -1.6 和 -1.02 , 主要是由于这 3 a 是降水异常年, 1963 和 1989 年是大气环流异常所

致,2011 年是在大气环流和海温异常共同作用下导致干旱^[21-22]。云贵高原 20 世纪 90 年代以前发生干旱次数较少,近 10 a 发生干旱频繁,以 2009 年(SPI = -1.32)和 2011 年(SPI = -1.53)最为典型,且都达到中旱水平以上。横断山地近 52 a 来主要以轻旱为主,未发生特别严重的极端干旱,以 2011 年(SPI = -0.97)较为突出。若尔盖高原是干旱频发区,尤其在 20 世纪 90 年代以后干旱发生次数明显增多,主要是由于近 30 a 来若尔盖高原表现出气温升高、降水量减少、蒸发量增大的暖干化趋势,并且在 20 世纪 90 年代后期变化趋势更加明显^[23]。

2.1.2 SPI 季节变化特征 利用 M—K 检验方法计算 1960—2011 年西南地区春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12—次年 2 月)四季 SPI 指数变化趋势,并在 ArcGIS 9.3 软件中使用反距离加权法进行插值,得出西南地区 SPI 季节变化空间分布图(附图 3)。

从附图 3 可以看出,每个季节干旱变化趋势的显著性及空间格局存在着明显差异。春季若尔盖高原、横断山地及云南高原干旱指数的 M—K 统计量为正值,表明该区域近 52 a 春季有变湿的倾向,除以上区域外的其它地区春季干旱指数 M—K 统计量均为负值,通过 0.05 显著性水平的有横断山地、云南高原南部地区、贵州高原中部地区,说明这些地区干湿变化趋势明显;夏季,横断山地东北部、四川盆地中东部、贵州高原和广西丘陵的东部呈现出局部的湿润化趋势,未达到显著性水平,说明湿润化趋势不明显,其它地区均呈现出干旱化趋势,这与熊光洁等^[24]研究基本一致;秋季除横断山地外,其它区域则表现出一致的干旱化趋势,四川盆地中部、云南高原东北部和广西丘陵东北部干旱化趋势均达到 0.05 显著性水平,主要是由于西南地区东部秋季在大气热源异常且在南海及孟加拉湾附近激发异常气旋性环流和通过加强哈德莱环流,使西南地区东部处于异常下沉区,致使降水显著减少,且易形成干旱^[25]。冬季除云南高原南部、贵州高原西北部、四川盆地南部小部分地区外,其它地区干旱指数的 M—K 统计量为正值,即有变湿的趋势。总体而言,云贵高原和广西丘陵干旱化趋势最明显,这与刘晓云等^[26]的研究结果一致,同时也证明了本研究的必要性。

2.2 西南地区干旱的空间分布特征

西南地区降水量在空间方面存在不均衡性,加之受地貌因素的影响,其干旱频率在空间分布上也呈现出一定的复杂性。附图 4 为近 52 a 西南地区不同季节干旱频率分布图。

从附图 4 可以看出,西南地区不同季节干旱易发区在空间分布上表现出较大差异性。(1)春季。西南地区南北两部春旱发生频率比较高,但南部低与北部。北部主要分布在横断山地和四川盆地东部,春旱率可达 15%以上。南部主要分布在广西丘陵大部 and 贵州高原南部,干旱频率达 10%以上。(2)夏季。其干旱发生的频率较春旱有所增加,主要是由于欧亚中高纬位势高度异常是影响西南地区夏季降水的异常所致^[27]。夏旱概率为 20%~30%的地区主要分布在横断山地北部、若尔盖高原和四川盆地南部、云南高原中部和广西丘陵大部分地区。秋季,西南地区各区域干旱严重且发生概率最高,其主要是是秋季降水偏少所导致的^[28]。研究区秋旱大部分区域发生概率在 15%以上,其中包括横断山地西南部、云南高原南部、若尔盖高原、四川盆地的东部、贵州高原和广西丘陵。(3)冬季。干旱发生频率较其他季节偏低,该区干旱分布规律极较为显著。在若尔盖高原、四川盆地西南部一线发生频率高,云南高原西南部、贵州高原南部、广西丘陵西南等小块区域冬旱频率也比较高,根据蒋兴文等^[29]的研究,西南冬季气候异常是北半球环状模(NAM,AO)和 ENSO 的作用。

3 结论

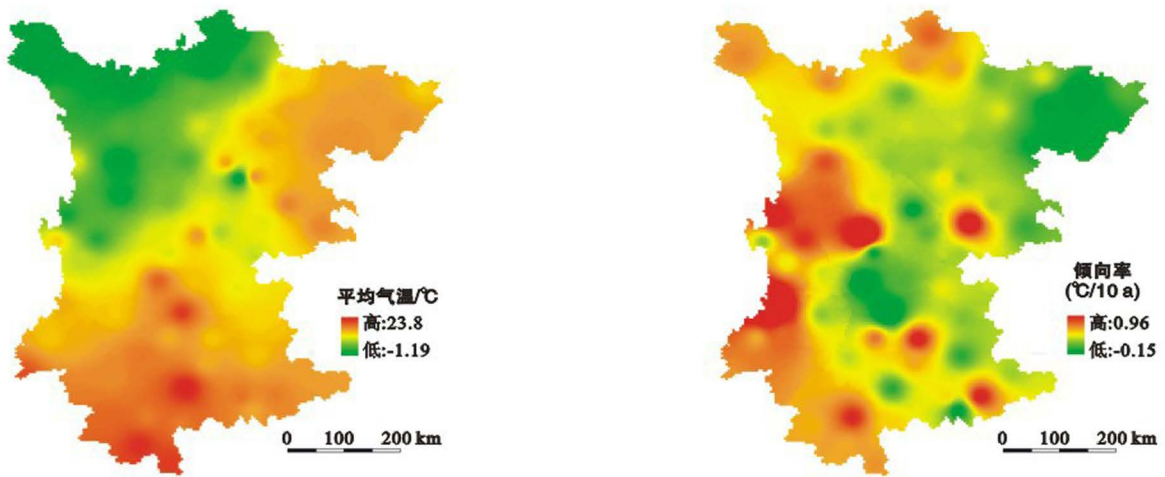
(1) 年际变化方面,西南地区的 SPI 指数近 52 a 以来呈下降趋势,即干旱化增强。干旱在 20 世纪 60 年代较为频繁,80 年代较 70 年代有所缓解,近 22 a 该区干旱发生又有增强趋势;就区域而言,除横断山地,其他区域干旱均呈增加趋势,以四川盆地和广西丘陵最为明显。季节变化上,大部分区域的干旱指数在春夏秋冬均呈减少趋势,表现为干旱化趋势,秋季最为明显,冬季反之。

(2) 空间分布方面,该区春旱发生频率较高,易旱区分布在横断山地、广西丘陵、四川盆地东部和贵州高原南部。夏旱频率增加,集中在横断山地北部、若尔盖高原、四川盆地西部和南部、云南高原中部和广西丘陵。秋旱频率最高,主要在云南高原南部、横断山地西南部、贵州高原和广西丘陵。冬旱发生频率最低,干旱易在若尔盖高原、四川盆地西南部一带发生。

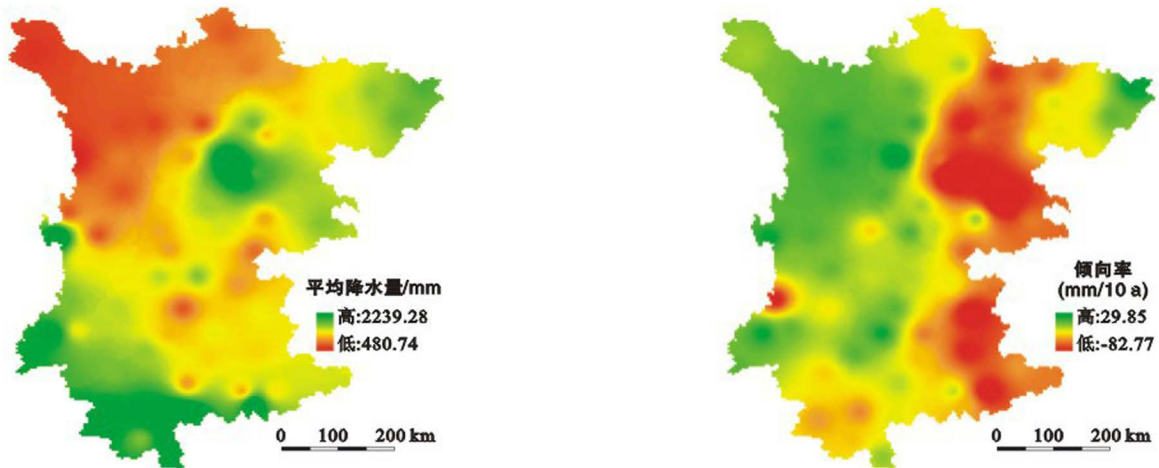
(3) 西南地区是我国干旱频率发生较高的区域,且近年来愈加严重。农业由于受自身生长特点的制约而极易受旱灾影响^[30]。作为我国粮食、油料、糖类等重要农产品的生产区,干旱是制约西南地区农业发展的重要因素。从本研究结果可以看出,夏秋干旱对西南地区农业生产影响最大,故有关部门应充分重视和对待夏秋干旱对农业生产造成的损失和影响。

[参 考 文 献]

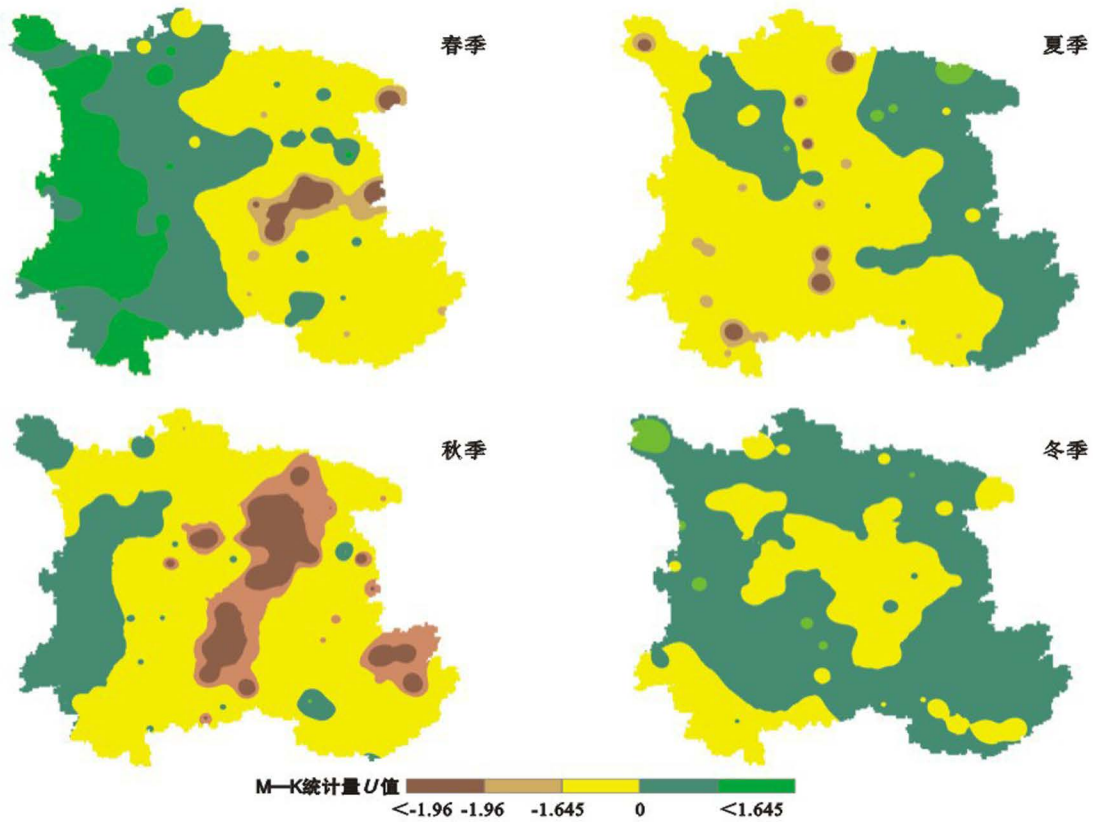
- [1] Woodhouse C A, Jonathan T. 2000 years of drought variability in the central United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(12): 2693-2714.
- [2] 和宛琳,徐宗学. 渭河流域干旱特征及干旱指数计算方法初探[J]. 气象, 2006, 32(1): 24-29.
- [3] Wilhite D A. Drought: A Global Assessment[M]. New York: Routledge, 2000: 89-104.
- [4] 张家发,唐文坚,李少龙. 中国西南易旱地区识别的探讨[J]. 中国水利, 2012(5): 18-21.
- [5] 李强子,闫娜娜,张飞飞,等. 2010年春季西南地区干旱遥感监测及其影响评估[J]. 地理学报, 2010, 65(7): 771-780.
- [6] 严建武,陈报章,房世峰,等. 植被指数对旱灾的响应研究:以中国西南地区 2009—2010 年特大干旱为例[J]. 遥感学报, 2012, 16(4): 729-737.
- [7] 贺晋云,张明军,王鹏,等. 近 50 年西南地区极端干旱气候变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1179-1190.
- [8] 祁海霞,智协飞,白永清. 中国干旱发生频率的年代际变化特征及趋势分析[J]. 大气科学学报, 2011, 34(4): 447-455.
- [9] 白永清,智协飞,祁海霞,等. 基于多尺度 SPI 的中国南方大旱监测[J]. 气象科学, 2010, 30(3): 292-230.
- [10] 翟禄新,冯起. 基于 SPI 的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 849-857.
- [11] 赵林,武建军,吕爱锋,等. 黄淮海平原及其附近地区干旱时空动态格局分析:基于标准化降雨指数[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 468-476.
- [12] 车少静,李春强,申双和. 基于 SPI 的近 41 年(1965—2005)河北省旱涝时空特征分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(1): 137-143.
- [13] 赵济. 中国自然地理[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [14] Mckee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]// Eighth Confon Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., Anaheim, California, 1993: 179-184.
- [15] Mckee T B, Doesken N J. Drought monitoring with multiple time scales[C]// Ninth Confon Applied Climatology, Dalas, TX, Amer. Meteor. Soc., Boston, 1995: 233-236.
- [16] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523-529.
- [17] 袁云,李栋梁,安迪. 基于标准化降水指数的中国冬季干旱分区及气候特征[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 917-925.
- [18] 张强,邹旭恺,肖风劲,等. 气象干旱等级[M]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1-17.
- [19] 覃爱基,陈雪英,郑艳霞. 宜昌径流时间序列的统计分析[J]. 水文, 1993, 13(5): 15-21.
- [20] 陈超,庞艳梅,潘学标. 近半个世纪以来四川盆地气温和降水的变化特征[J]. 中国农业气象, 2010, 31(S1): 27-31.
- [21] 程瑞諒. 关于 1963 年广西特大干旱的初步分析[J]. 水利水电技术, 1964(5): 38-42.
- [22] 吴富康. 浅谈广西一九八九年的特大旱灾[J]. 广西水利水电科技, 1990(1): 19-22.
- [23] 郭洁,李国平. 若尔盖气候变化及其对湿地退化的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 422-428.
- [24] 熊光洁,王式功,尚可政,等. 中国西南地区近 50 年夏季降水的气候特征[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2012, 48(4): 45-52.
- [25] 沙天阳. 中国西南地区东部夏秋干旱的环流特征[D]. 江苏南京:南京信息工程大学, 2012.
- [26] 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[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 473-483.
- [27] 王伟,周洁. 1951—2008 年西南地区夏季旱涝的环流特征[J]. 高原气象, 2012, 32(2): 47-50.
- [28] 王晓梅. 中国干旱化趋势及西南极端干旱成因研究[D]. 江苏南京:南京信息工程大学, 2012.
- [29] 蒋兴文,李跃清. 西南地区冬季气候异常的时空变化特征及其影响因子[J]. 地理学报, 2010, 65(11): 1325-1335.
- [30] 闫峰,王艳姣,吴波. 近 50 年河北省干旱时空分布特征[J]. 地理研究, 2010, 39(3): 423-430.



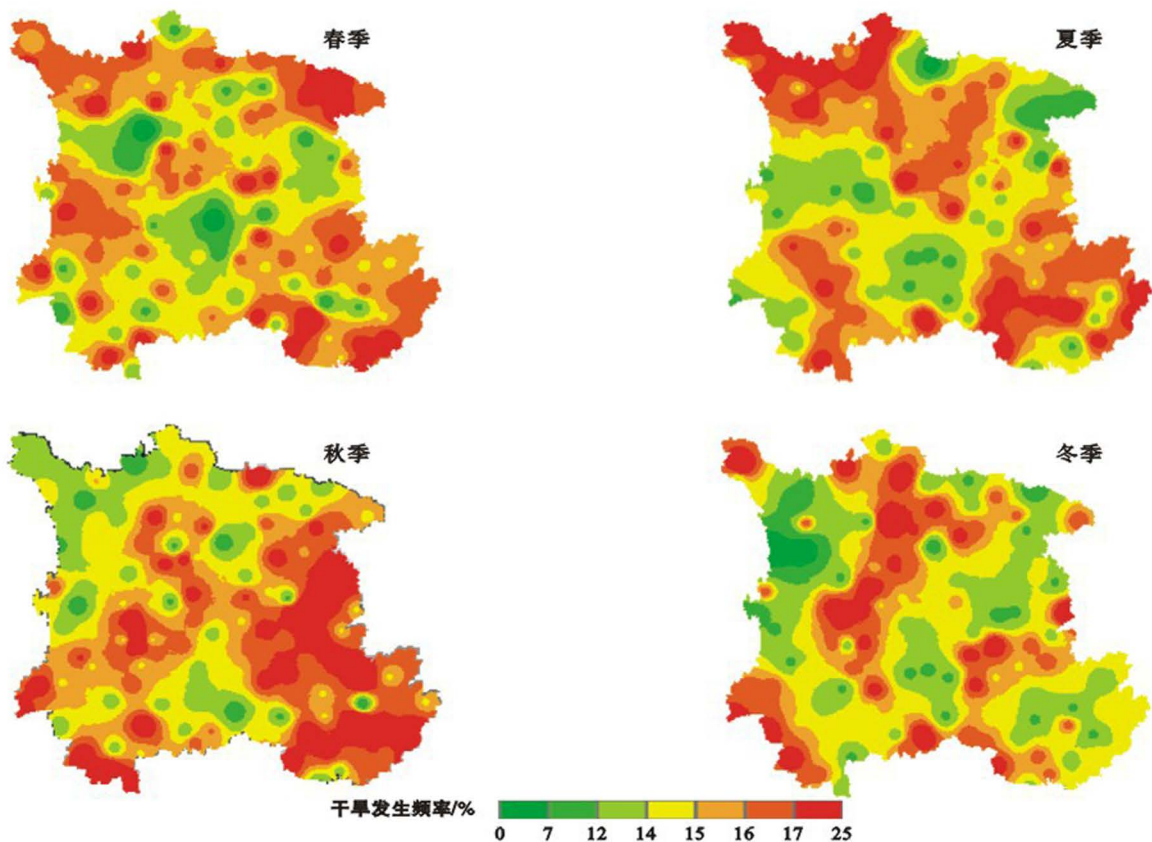
附图1 川滇地区地区年平均气温及变化趋势空间分布



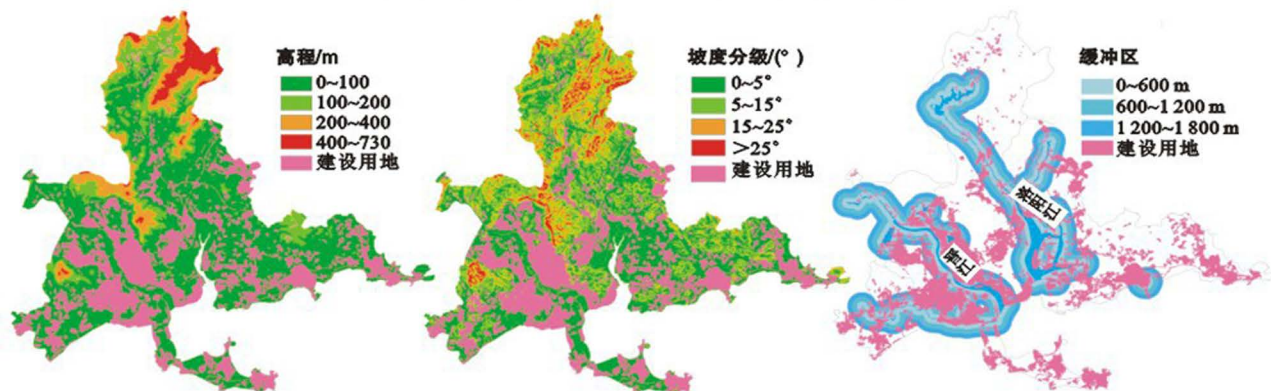
附图2 川滇地区年均降水量及变化趋势空间分布



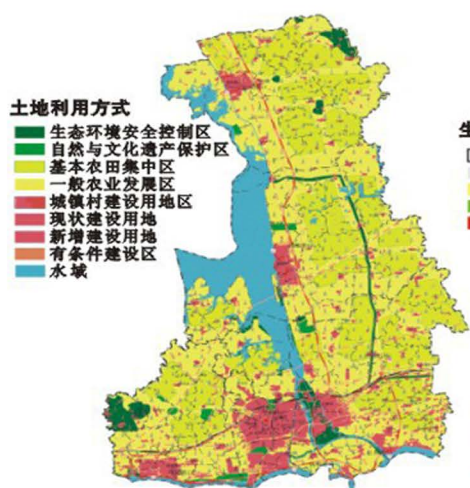
附图3 1996—2011年西南地区四季干旱指数变化趋势



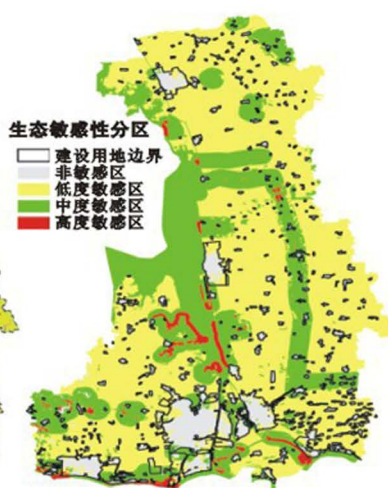
附图4 1962—2011年西南地区四季干旱发生频率分布



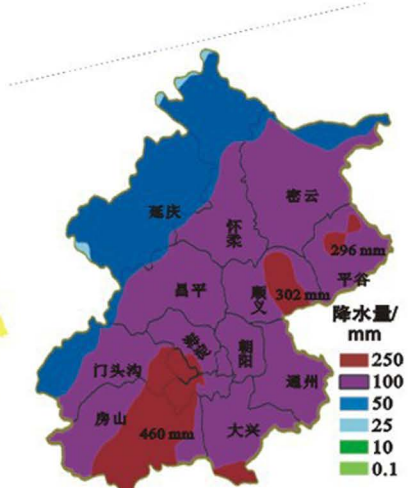
附图5 泉州市中心城区建设用地自然驱动因素



附图6 扬州市土地利用总体规划



附图7 扬州市土地利用生态敏感性分区



附图8 北京市“7·21”暴雨雨量分布图