

# 南方农牧交错带降水变化及旱涝多时间尺度特征

张雪茂<sup>1</sup>, 董廷旭<sup>1,2</sup>, 杜华明<sup>1,2</sup>, 邱豪<sup>1</sup>, 严霜<sup>1</sup>

(1. 绵阳师范学院 资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000; 2. 生态安全与保护四川省重点实验室, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** [目的] 分析南方农牧交错带降水变化及旱涝多时间尺度特征, 为该区旱涝灾害防治决策、牧区生态重建及保护提供科学参考。[方法] 基于南方农牧交错带 1960—2017 年 20 个气象站点逐月降水量资料, 采用标准化降水指数(SPI)、反距离权重插值、M-K 突变检验等方法对南方农牧交错带近 58 a 的降水特征及早涝灾害时空格局进行研究。[结果] ①近 58 a 以来南方农牧交错带年平均降水量以 3.98 mm/10 a 的速率在增加, 降水主要集中在夏季, 用 M-K 方法检测出该区域年平均降水量在 1990 年发生突变; ②受气候、大气环流、地形、海拔高差、下垫面等因素的影响, 降水量在空间分布上以维西—理塘—若尔盖为界, 西北部降水量少, 东南部降水量多, 降水量呈现出由东南向西北递减的趋势; ③研究区年降水量的增减变化以松潘—马尔康—新龙—理塘—稻城一线为界线, 该线以东地区的年降水量均呈显著增长趋势发展, 以西地区的年降水量呈显著减少趋势; [结论] 研究区 20 世纪 60—70 年代旱灾发生的频率略高, 80—90 年代涝灾发生的频率较高, 2000 年以来旱涝灾害呈明显的减弱趋势发展。

**关键词:** 标准化降水指数(SPI); M-K 突变检验; 降水特征; 旱涝灾害

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2019)06-0183-07

**中图分类号:** P942

**文献参数:** 张雪茂, 董廷旭, 杜华明, 等. 南方农牧交错带降水变化及旱涝多时间尺度特征[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 183-189. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.027; Zhang Xuemao, Dong Tingxu, Du Huaming, et al. Variation of precipitation and multi-time scale characteristics of drought and flood in farming-grazing transitional zone of South China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 183-189.

## Variation of Precipitation and Multi-time Scale Characteristics of Drought and Flood in Farming-grazing Transitional Zone of South China

Zhang Xuemao<sup>1</sup>, Dong Tingxu<sup>1,2</sup>, Du Huaming<sup>1,2</sup>, Qiu Hao<sup>1</sup>, Yan Shuang<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environment Engineering, Mianyang Teachers' College, Mianyang, Sichuan 621000, China; 2. Ecological Security and Protection Key Laboratory of Sichuan Province, Mianyang, Sichuan 621000, China)

**Abstract:** [Objective] The characteristics of precipitation change and multi-time scale characteristics of drought and flood in the farming-grazing transitional zone of South China was studied in order to provide scientific reference for the decision-making of drought and flood disaster prevention and control, ecological reconstruction and protection in the pastoral area. [Methods] Based on monthly precipitation data of 20 meteorological stations in the farming-grazing transitional zone of South China from 1960 to 2017, the precipitation characteristics, spatial and temporal patterns of drought and flood disasters were studied by using standardized precipitation index (SPI), Inverse Distance Weight Interpolation and M-K mutation test in the farming-grazing transitional zone of South China in recent 58 years. [Results] ① The annual average precipitation in the farming-grazing transitional zone of South China increased at a rate of 3.98 mm/10 a in the past 58 years, precipitation was mainly concentrated in summer. Detected by M-K method, the abrupt change of annual average precipitation was occurred in 1990. ② Due to the influence of climate, atmospheric circulation, topography, altitude, underlying surface and other factors, the spatial distribution of precipitation was bounded by Vici-Litang-

收稿日期: 2019-06-16

修回日期: 2019-07-14

资助项目: 生态安全与保护四川省重点实验室开发基金项目“龙门山区生态安全评价与风险管控”ESP1707(41171125); 绵阳师范学院科研启动项目(QD2016A001); 绵阳师范学院校级自然科学基金项目(MYSY2018T003)

第一作者: 张雪茂(1995—), 女(汉族), 四川省珙县人, 硕士研究生, 研究方向为环境工程。E-mail: 1505006095@qq.com。

通讯作者: 董廷旭(1965—), 男(汉族), 四川省苍溪县人, 教授, 硕士生导师, 主要从事 3S 技术集成应用, 土地利用与区域生态安全, 地质灾害防治与生态修复方面的研究。E-mail: 852798223@qq.com。

Ruoergai, with less precipitation in the northwest and more in the southeast, showed a decreasing trend from southeast to northwest. ③ The annual precipitation in the study area was bounded by Songpan-Malkang-Xinlong-Litang-Daocheng line. The annual precipitation in the east of the line showed a more significant growth trend, while the annual precipitation in the west showed a more significant decrease trend. [Conclusion] In the study area, the frequency of drought was slightly higher in the 1960s—1970s, and the frequency of flooding was higher in the 1980s—1990s. Since 2000, the drought and flood disasters have been weakened obviously.

**Keywords:** standardized precipitation index (SPI); Mann-Kendall mutation test; precipitation characteristics; drought and waterlogging disaster

由于全球气候变暖程度加强,水循环的改变导致水资源的时空分布状态发生了一系列的改变,最终导致全球范围内的旱涝灾害的频繁发生,造成重大经济损失,严重阻碍社会经济的可持续发展,引起国内外学者的高度关注,如 Joo-Heon L<sup>[1]</sup>等利用标准化降水指数以及 Mann-Kendall 方法识别韩国五大流域的干旱趋势,以此来说明在极端气候变化下韩国干旱特征的未来变化;Bhuyan 等人<sup>[2]</sup>研究了在欧洲地区多树种年轮生长对不同干旱指标的不同响应;Peters 等人<sup>[3]</sup>利用美国东部树种群落组合和文献评价的抗旱特性,对美国东部森林的干旱条件与物种空间分布及其对干旱的耐受性之间的关系进行了考察,研究发现该区域在近 50 a 来的长期干旱和耐旱性;Abaje 等人<sup>[4]</sup>对卡杜纳州降水量的时间演变和空间特征进行了相关分析。国内众多学者也对此类问题进行了深入的研究,如袁祝香等人<sup>[5]</sup>用 Mann-Kendall、变差系数等方法对松辽流域 1961—2017 年极端降水的空间分布、季节变化以及极端降水的强度展开了一系列的研究,对于提高该流域对于极端降水灾害的防范和应对能力有极大的促进作用;杜华明等人<sup>[6]</sup>利用数理统计方法与 GIS 空间分析技术相结合对岷江流域降水量的时空演变特征及早涝灾害的发展趋势进行相关的分析,得出结论为岷江流域的旱涝灾害特征是涝灾向旱灾转变的趋势明显,在未来一段时间内应做好防旱抗旱工作;杨蓉等人<sup>[7]</sup>基于趋势线拟合、线性倾向估算、普通克里金插值等数理分析方法等对陕甘宁蒙接壤区近 54 a 的降水时空变化特征在空间上和时间上的变化进行了相关探讨;李烁阳等人<sup>[8]</sup>对湖北省降水及早涝时空分布特征通过旱涝 Z 值的 EOF 正交分解分布图发现进行了相关的研究,研究发现利用此类方法能够更好发现旱涝灾害分布的空间规律。以上国内外专家、学者对韩国、欧洲、美国、松辽流域、岷江流域等地的降水时空分布特征以及旱涝灾害的多时间尺度特征进行了相关的研究都对当地的发展和决策的制定起到了一定的参考作用。

南方农牧交错带<sup>[9]</sup>位于 25.55°—34.31°N,98.14°—104.42°E,是青藏高原与四川盆地以及云贵高原三地的农业和畜牧业的过渡地带<sup>[10]</sup>,在生物多样性方面该区域处于农业与牧业地区的交错带,带内不但包含有两个相邻群落中偏爱边缘生境的物种,其特化的生境还会导致出现某种特有种或边缘种,因此对该区域的研究具有十分重要的生态价值。交错带内的海拔高差较大,均海拔大于 3 000 m。地形地貌以山地和高原为主。研究区生态环境较为脆弱,在气候、生物、土壤等自然要素和人类活动的影响中具有过渡性和波动性的特点<sup>[11]</sup>,其对环境条件的变化较相邻的生态系统更加的敏感,尤其是对气候条件的变化其能够显现出更为明显的变化特征,该区域属于高原山地温带、寒温带季风性气候,夏季受来自太平洋的东南暖湿气流和印度洋的湿热气流影响,降水较为丰富,冬季受蒙古—西伯利亚干冷气流的影响,降水较少,是气候变化的敏感区域;该区域地表复杂、岩石破碎,属于高山、亚高山、中山峡谷区域,生态环境脆弱,且大部分地区属于四川省藏区贫困连片区。本文采用标准化降水指数 (SPI)<sup>[12]</sup>、M-K 突变检验法<sup>[13]</sup>、反距离权重插值法<sup>[14]</sup>等方法对南方农牧交错带地区的降水时空变化特征及早涝灾害发生的时间特征和空间格局进行了研究,以期掌握该区域旱涝灾害形成机理和时空演化规律,为旱涝灾害决策支持、牧区生态重建及保护、进一步改善特困区人民的生活状况提供科学参考。

## 1 数据来源和研究方法

### 1.1 数据来源

本文研究的气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网 (<http://data.cma.cn/>),植被覆盖度数据来源于全球地理信息资源目录服务系统 (<http://www.webmap.cn/main.do?method=index>)。该区域内共有 21 个气象站点,经过筛选最终选取了分布于该区域范围内的巴塘、道孚、德格、稻城、甘孜、红原、九龙、康定、理塘、马尔康、木里、若尔盖、色达、松

潘、小金、新龙、盐源、德钦、维西、香格里拉 20 个气象站点 1960—2017 年的逐日降水数据。由于某些站点的数据因某种原因导致缺失,所以本文所用的数据是通过某些缺失月份的数据进行了插值处理之后的数据,从而构建季节、年平均降水量时间序列, SPI3 表示季平均降水量的时间序列,其中 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为冬季,12 月至翌年 1—2 月为春季<sup>[15]</sup>; SPI12 属于年平均降水量的时间序列,以此来开展南方农牧交错带旱涝灾害时空分布特征的研究。

## 1.2 研究方法

1.2.1 反距离权重插值 (IDW) IDW 是一种常用而简便的空间插值方法,它以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大<sup>[14]</sup>。其原理是 IDW 通过对临近区域的每个采样点值平均运算获得内插单元值,其是一个均分过程,这一方法要求离散点均匀分布,并且密集程度足以满足在分析中反映局部表面变化<sup>[15]</sup>,表达式为:

$$Z_{s_0} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{(s_i)} \quad (1)$$

式中:  $Z_{s_0}$ ——在  $s_0$  处的预测值;  $N$ ——预测过程中要使用的预测点周围样点的数量;  $\lambda_i$ ——在预测过程中使用的各样点的权重,该值随着样点与预测点之间的距离的增加而减少;  $Z_{(s_i)}$ ——指在  $s_i$  处获得的预测值。

1.2.2 M-K 突变检验 Mann-Kenda (M-K) 突变检验法是一种非参数统计检验方法,以时间序列平稳为前提,变量不受正态分布特征的限制。本文选用了该方法对研究区的年平均降水量进行了突变检验,具体的计算步骤参照参考文献<sup>[16]</sup>。

1.2.3 标准化降水指数 (SPI) 标准化降水指数 (SPI) 是 McKee 等<sup>[17]</sup> 提出的表征某时段降水量出现概率多少的指标,适用于月以上尺度相对当地气候状况的干旱监测与评估,能较好地反映干旱强度和持续时间。SPI 指数首先利用  $\Gamma$  分布概率来描述降水量的变化,再将此频率进行正态标准化处理,最终用标准化后的降水累积频率分布来划分干旱等级<sup>[18]</sup>。标准化降水指数的具体计算步骤见参考文献<sup>[18]</sup>。干旱等级划分结果详见表 1。

## 2 结果与分析

### 2.1 降水量时间变化

2.1.1 降水量的年际变化 图 1 为南方农牧交错带年均降水量时间分布图。由图 1 可知,该区域近 58 a

来的年平均降水量为 709.3 mm; 降水量最多的年份是 1998 年,降水量达到 862.35 mm,比平均值高出了 21.5%,降水量最少的年份是 1967 年,降水量为 612.58 mm,两者之间相差了 249.77 mm,降水量的年际变化较大。从图 1 还可以看出,在 58 a 来,南方农牧交错带的降水量呈递增的趋势发展,增长率为 3.98 mm/10 a。从变化阶段看,1983—1998 年降水量呈明显的上升趋势,20 世纪 60 年代前期、90 年代的降水量明显高于多年降水量的平均值,降水较为丰沛,相比较而言在该时间段内为该区域的多雨期;而在 20 世纪 60 年代后期到 80 年代前期的大部分年份、2006 和 2011 年的降水量明显低于平均水平,可以看出其降水量值为 58 a 中的最低值,说明在该时间段内,该区域的降水量较少,为较明显的枯水期。从图 1 南方农牧交错带年平均降水量变化的 5 a 滑动平均曲线可以得出,年平均降水量呈现出阶段性变化特征。20 世纪 60—70 年代中期降水量的变化幅度较大,降水量呈急剧减少的趋势;70 年代中期至 90 年代降水量呈较为平缓的波动增长状态,进入 21 世纪以来,降水波动幅度显现出急剧减少的态势,在 2010 年之后呈稳步上升的状态。

表 1 标准降水指数 (SPI) 与旱涝等级

标准降水指数 (SPI)	旱涝等级
$\leq -2.0$	极度干旱
$-2.0 < \text{SPI} \leq -1.5$	重度干旱
$-1.5 < \text{SPI} \leq -1.0$	中度干旱
$-1.0 < \text{SPI} \leq -0.5$	轻度干旱
$-0.5 < \text{SPI} < 0.5$	正常
$0.5 \leq \text{SPI} < 1.0$	轻度洪涝
$1.0 \leq \text{SPI} < 1.5$	中度洪涝
$1.5 \leq \text{SPI} < 2.0$	重度洪涝
$\geq 2.0$	极度洪涝

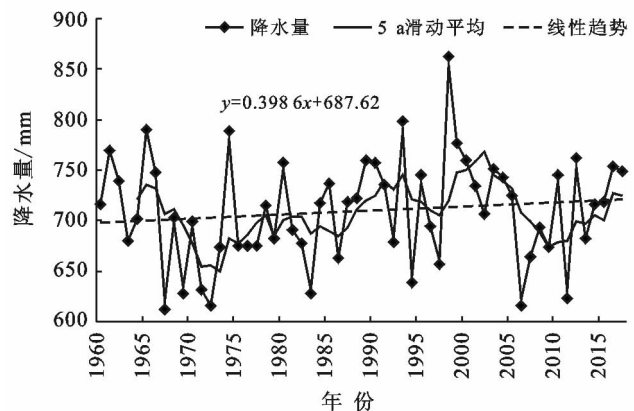


图 1 南方农牧交错带年平均降水量变化趋势

2.1.2 降水量的季节变化 图 2 为南方农牧交错带地区近 58 a 来的季平均降水量分布图。从图 2 中可以得出,该地区的降水量在季节分布上差异较为显著,春、夏、秋、冬四季在 58 a 以来的平均降水量分别为 123.16, 396.98, 162.77 和 17.45 mm,其在全年的降水量占比分别为 18.63%, 55.96%, 22.84% 和 2.46%,降水量主要集中在夏季,该季节的降水量占比超过全年总降水量的 1/2。其次,从季节降水量变化趋势进行分析可以得出,春、秋、冬三季的降水均呈增长趋势,增长率分别为 3.72, 0.60 和 0.223 mm/10 a,其中只有春季降水的增长倾向率通过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验,说明春季降水的增长趋势最为明显;夏季的降水量呈减少的趋势,减少倾向率为 0.50 mm/10 a。根据降水的季节变化可以得出,南方农牧交错带的近 58 a 的降水量呈增加的趋势主要是以春季降水的显著增长为特点。

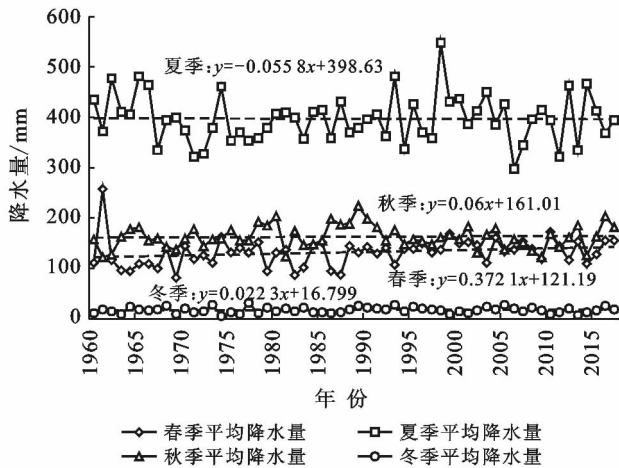


图 2 南方农牧交错带地区季平均降水量分布

## 2.2 降水量突变 Mann-Kendall(M-K)检验

本文以南方农牧交错带年平均降水量序列为基础,利用 DPS 数据处理系统对南方农牧交错带近 58 a 来的年平均降水量进行了 M-K 检验(图 3),图中 UF 表示正向时间序列统计值,UB 表示逆向时间序列统计值,从中可以得出,UF 和 UB 曲线存在 4 个交点,分别为 1960, 1962, 1966 和 1990 年。从图 3 可以看出,60 年代存在 3 个微弱的突变点,说明 60 年代的年平均降水量波动变化明显,年际分配不均;而 90 年代的突变最为明显,根据 UF 和 UB 曲线的交点,可以确定该区域的年平均降水量在 1990 年发生突变,1990 年以来降水量显著增多。通过对突变前后年平均降水量的分析发现,1960—1989 年的年平均降水量为 699.61 mm;1990—2017 年的年平均降水量为 718.44 mm。

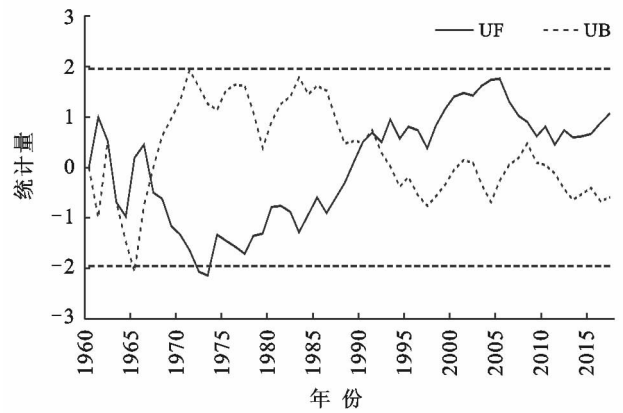


图 3 南方农牧交错带年平均降水量 M-K 检验

## 2.3 年平均降水量空间变化

附图 3 为南方农牧交错带年均降水量空间分布图及变化倾向率空间分布图。从降水量空间分布图中可以得出,该区域年降水量在 539.68~867.03 mm,降水量最大值与最小值之间相差 330 mm 左右,降水量空间分异显著,且呈现出由东南向西北递减的趋势。年均降水量大致以维西—理塘—若尔盖为分界线,该界线西部地区的降水量为 500~690 mm,该界线东部地区的降水量在 690~870 mm,其中南部和东部某些地区的年降水量 >800 mm,降水较为丰富。该区域年均降水量存在两个高值中心和一个低值中心,高值中心分别为“木里—九龙”、“维西”,其中“木里—九龙”的降水量高达 915.06 mm,“维西”的降水量高达 823.94 mm;降水量低值中心出现在“巴塘”,低值中心的降水量低至 483.48 mm。该研究成果与胡浩然等人<sup>[19]</sup>对于青藏高原东部近 50 a 来降水的时空变化特征的研究结论一致,研究均发现南方农牧交错带和青藏高原东部降水量发展趋势都呈现出由东南向西北递减的趋势,其降水量的高值区集中在川西高原的九龙、木里等地。

从变化倾向率空间分布图可以得出,南方农牧交错带地区的年降水量的增减变化以松潘—马尔康—新龙—理塘—稻城一线为界线。该线以东地区的年降水量都呈较为显著的增长趋势,降水的增长倾向率变化范围在 3.07~24.79 mm/10 a 之间变化,其中康定的年降水量呈最为明显增长的态势,增长率达到了 24.79 mm/10 a;其次新龙、道孚、理塘、甘孜、马尔康、松潘、木里等 7 个地区的年降水量呈较为明显的增长,年降水量的增长倾向率在 7.56~14.22 mm/10 a 之间;稻城、德格、德钦、小金、维西等地的降水量则呈轻微的增长态势,年降水量增长倾向率在 0.27~6.32 mm/10 a 之间,年降水量增长不是很明显。该线以西地区的年降水量则呈减少的趋势,年降水量的

减少倾向率在  $-2.48 \sim -12.13 \text{ mm}/10 \text{ a}$  范围之间变化,其中若尔盖、盐源和色达的年降水量减少最为显著,减少倾向率分别为  $12.13, 8.60$  和  $5.14 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。总之研究区域的年降水量东部地区呈增长的态势发展,西部地区呈减少的态势发展。

## 2.4 影响因素分析

首先,南方农牧交错带的降水量主要集中在夏季,降水由于受来自太平洋的暖湿的东南气流和印度洋湿热西南气流的影响。夏季,东南暖湿气流影响区域降水量丰富,青藏高原东部边缘区域由于受地形抬升作用的影响,降水量梗充沛,如九龙、康定、木里等地降水较高,而德格、色达、甘孜等地处于青藏高原东部的高原面上,东南暖湿气流受到青藏高原的阻挡,导致其降水量少。农牧交错带西南部分主要受来自印度洋湿热气流的控制,降水量丰富,如维西地区降水量较高,由于青藏高原的分流作用,使得西南湿热气流对南方农牧交错带西北部的影响削弱,因而西北部的降水量较少。冬季南方农牧交错带主要受蒙古西伯利亚干冷气流的影响,降水少。总之夏季降水丰沛主要受海洋湿热气团的控制,而冬季降水偏少主要受大陆气团影响;维西、九龙一木里位于青藏高原东南缘与川东盆地向青藏高原的过渡地带,主要受东南季风的影响,降水量相对丰富,形成降水量高值中心。巴塘、德格等由于西藏的屏障作用,使得西南季风在到达该区域西北部的时候,影响就被极大的削弱,从而导致该区域西北部的降水较少,因此就形成了在该地区东南地区降水较为丰富,西北地区降水较少的局面。

其次,海拔高度也是影响降水量多少的一个关键性因素,通过对该区域 20 个站点的多年平均降水量及其站点相对应的海拔高度进行相关分析得出的结果发现  $p = -0.33$ ,降水量与海拔高度之间的关系呈明显的负相关,即海拔高度高的区域降水量少;海拔高度相对较低的研究区,降水量丰沛。从 DEM 图中可以看出,南方农牧交错带地区的海拔为东南地区的海拔高度要低于西北地区的海拔,因此研究区域的降水呈现出由东南向西北递减的趋势。

最后,下垫面因素如地形起伏、植被盖度、土壤性质、地质条件等也会对研究区域的降水产生一定的影响,其主要是通过改变大气中的水汽含量来实现的,影响该区域降水量多少的主要的下垫面因素是地表植被覆盖度,地表植被覆盖度较高的地区,其的蒸发量就会增大,从而空气中的湿度就会有所增大,最终导致其降水量就会有所增加,从图 4 可以看出,维西、九龙一木里所形成的两个降水量的高值中心处的植被覆盖度形成降水量的两个高值中心都在  $80\% \sim$

$100\%$ 之间;而地表植被遭到破坏或者是植被覆盖原本就比较少的区域,其蒸发量就相对较小,空气中的湿度就相对会减少,降水量也会随之减少,从图 4 可以看出研究区域降水量的低值中心位于巴塘,年平均降水量在  $483.57 \sim 604.09 \text{ mm}$  之间,相较于研究区域的其他地区来说,降水量偏少,而该地区的植被覆盖率也在  $10\% \sim 30\%$  的范围内,与其他的地区相比植被覆盖率相对而言较小,因此可以得出植被覆盖率高的高低与降水量的多少大致呈正比例关系。

## 2.5 南方农牧交错带旱涝灾害多时间尺度分析

本文以南方农牧交错带 1960—2017 年逐月降水数据为基础,分别计算了 3 个月、12 个月时间尺度的 SPI 值(分别用 SPI3, SPI12 表示),如图 5 所示,以此来表征该区域的旱涝发生的时间特征与旱涝灾害的严重程度。其中 SPI3 是较短时间周期内旱涝尺度分析,受短时间内的降水影响较大,数值波动较为频繁,能够较好的反应较短时间内的旱涝变化情况。从 SPI3 序列图中可以看出,在 1961 年的夏季、1968 年的冬季、1969 年春季、1972 年的夏季、1983 年的夏季、1986 年的夏季、2006 年的夏季和秋季、2013 年的冬季、2015 年的秋季 SPI 值为  $-2.11$ ,表明在几个年份的该季节旱涝程度达到了极端干旱的程度,旱情严重;而在 1961 年夏季、1989 年秋季与冬季、1993 年秋季、1994 年春季、1998 年夏季与秋季、2005 年冬季、2008 年冬季、2016 年春季的 SPI 值为  $2.11$ ,表明在这些年份的季节中涝情严重,达到了重涝的程度,降水量极为丰富从而导致极端湿润。因此从关于 SPI3 的旱涝情况分析中可以看出, SPI3 能够很好地反映旱涝发生的季节变化特征。

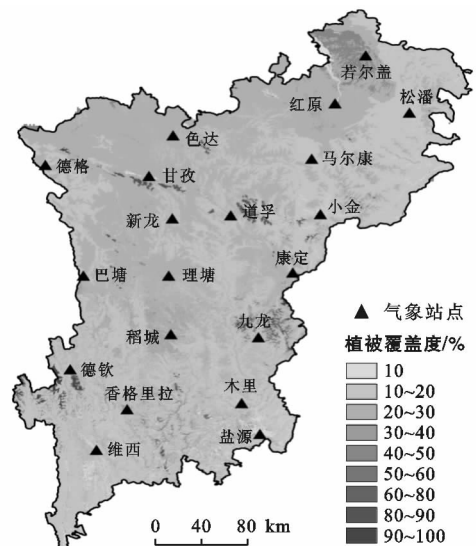


图 4 南方农牧交错带气象站点的植被覆盖度分析

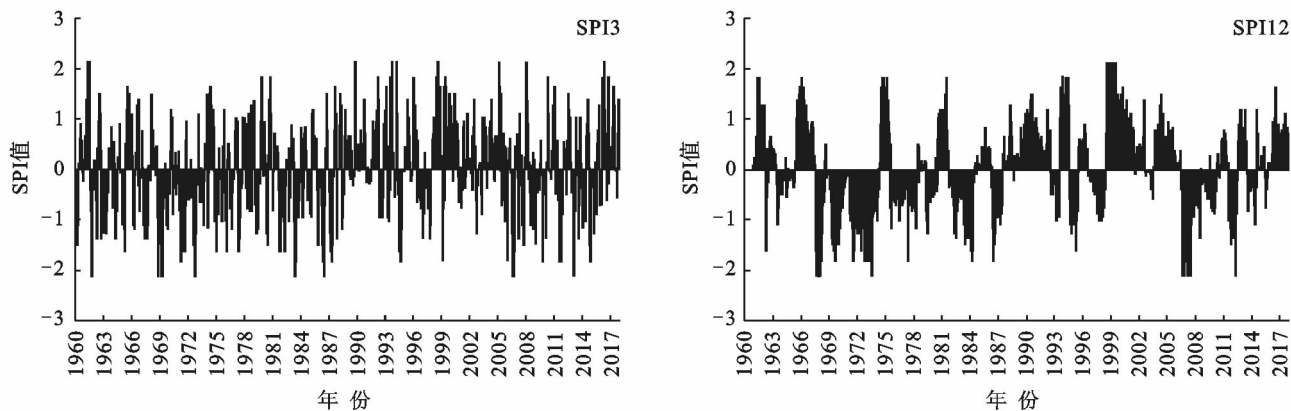


图 5 南方农牧交错带 1960—2017 年 3、12 个月时间尺度的 SPI 变化过程

SPI12 是较长时间尺度下的旱涝变化情况,在此种较长时间尺度下旱涝的周期变化特征较为明显。由 SPI12 序列图可以得知,南方农牧交错带地区 20 世纪 80、90 年代偏涝,在该时间段内涝灾发生的频率较高;20 世纪 70 年代偏旱,在该时间段内旱灾发生的频率较高;20 世纪 60 年代、90 年代旱涝灾害交替出现,但是 60 年代发生的旱灾频率要高于涝灾频率,90 年代发生涝灾的频率要高于旱灾的频率,所以 60 年代整体偏旱,干旱化趋势明显,90 年代整体偏涝;进入 21 世纪之后旱涝发生的频率有所减少,2006、2007、2009 和 2011 年处于偏涝年份、2000、2003、2010、2017 年处于偏旱年份,其于年份发生旱涝灾害的程度从 SPI12 的指示状态来看都属于正常的年份,表明进入 21 世纪,南方农牧交错带地区的旱涝灾害发生的频率有所减少,降水量趋于正常,这种现象的发生是由于多种因素影响而形成的。通过对 SPI12 序列图的分析发现,SPI12 对长时间尺度内的旱涝灾害程度的变化具有良好的判断作用,其不仅能够较为准确的判断出旱涝变化情况的年际变化特征,还能够很好的反映研究区域内旱涝灾害的发展趋势,对于预防旱涝灾害有一定的指导作用。从 SPI12 序列值可以看出,南方农牧交错带地区总体在 21 世纪之前偏涝,在 2000 年之后的前几年涝灾减少,发生旱灾的频率增加,但是在 2010 年之后的 SPI12 指数值趋于正常,且保持平稳,旱涝灾害减少,指数趋于平稳。

由于每年夏季风进退时间不一致,导致该区域年际降水量差别很大,最高年平均降水量(862.35 mm)是最低年平均降水量(612.58 mm)的 1.4 倍,降水量年际变化很大;该区域降水量主要集中在夏季,夏季年平均降水量达 396.98 mm 占全年降水量的 55.96%,降水量的年内分配极不均衡,因此降水量的年际、年内分配不均是造成区域旱涝灾害发生的主要因素。

### 3 讨论与结论

(1) 南方农牧交错带地区在 58 a 来年的降水量时间变化上整体呈现出增加的趋势,年平均降水量平均递增率为 3.98 mm/10 a;春季降水的增长趋势最为明显,降水增长率为 3.72 mm/10 a;降水主要集中在夏季,夏季均降水达到了 396.98 mm。用 M-K 方法检测出研究区域年平均降水量在 1960、1962、1966 和 1990 年存在突变点,其中 60 年代的年平均降水量波动变化明显,年际分配不均;突变最为明显突变最为明显的年份为 1990 年。

(2) 南方农牧交错带地区的年平均降水量在空间上的分布其大致以维西—理塘—若尔盖为分界线,呈现出一种由东南向西北递减的趋势;研究区域的年平均降水量存在高、低值中心,其中降水量高值中心存在两个,即“九龙—木里”、“维西”降水量高值中心,年平均降水量的低值中心出现在川西高原的“巴塘。气候、大气环流、地形、海拔高差、下垫面等因素是影响该区域降水量空间分布不均的主要因素。

(3) 研究区域的年降水量的增减变化以松潘—马尔康—新龙—理塘—稻城一线为界线。该线以东地区的年降水量都呈较为显著的增长趋势,增加倾向率在 3.07~24.79 mm/10 a 之间变化,以西地区的年降水量呈较为显著的减少趋势,减少倾向率在 -2.48~-12.13 mm/10 a 范围之间变化。

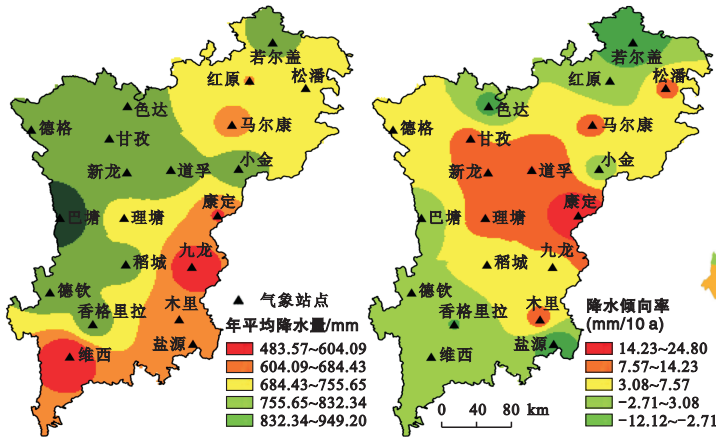
(4) 南方农牧交错带地区旱涝灾害进行多时间尺度分析发现其具有一定的时间阶段特征,20 世纪 80—90 年代偏涝,涝灾发生的频率较高;在 20 世纪 70 年代偏旱,旱灾发生的频率较高;20 世纪 60、90 年代旱涝灾害交替出现,但是 60 年代以旱灾为主,进入 21 世纪之后,研究区旱涝灾害发生大的频率有所减少。

目前由于气候变化导致全球变暖的趋势有所增

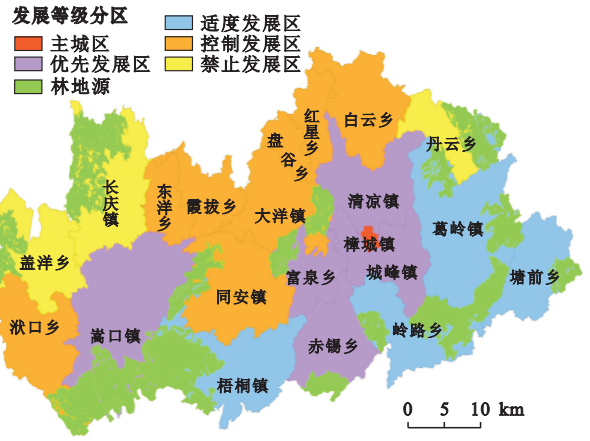
强,并且对全球的水循环造成了一定的影响,发生的灾害性天气等对人们的生产生活等活动造成了一定程度上的破坏。本文探讨了变化环境下南方农牧交错带的降水变化规律、旱涝发生的情况等进行了研究,该研究对区域水资源利用及防洪抗旱具有一定的借鉴价值。但由于篇幅限制,本文所用研究方法稍显简单,研究深度有待于加强,仅从降水、大气环流、植被盖度等方面对降水时空分布及旱涝灾害的影响进行了分析,没有考虑下垫面性质、降雨日数、人类生产生活、土地利用类型与方式、地质地貌特征等方面进行分析,有待于对影响干旱的因素进行更进一步的研究。

#### [参 考 文 献]

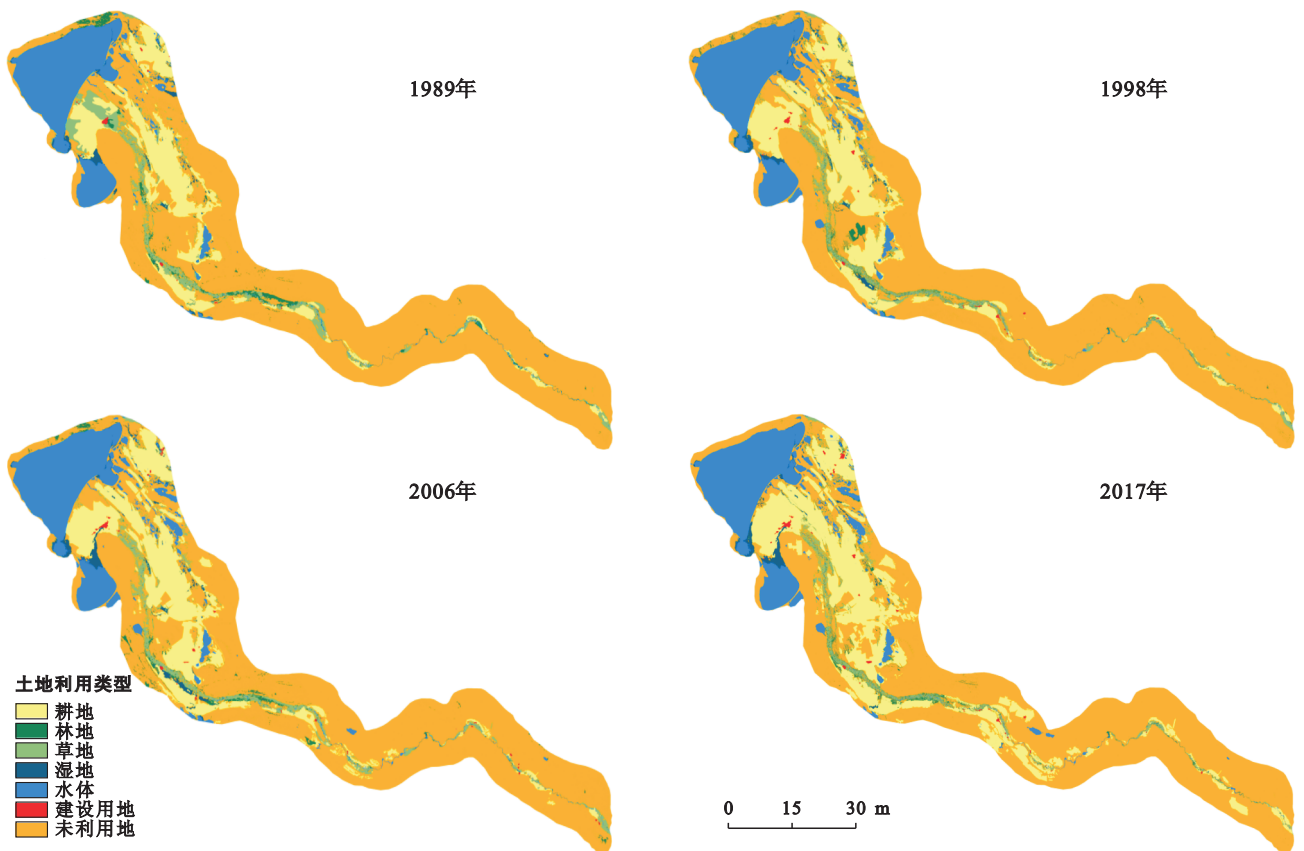
- [1] Joo-Heon L, Hyun-Han K, Ho-Won J, et al. Future Changes in Drought Characteristics under Extreme Climate Change over South Korea[J]. *Advances in Meteorology*, 2016, 2016(1):1-19.
- [2] Bhuyan U, Zang C, Menzel A. Different responses of multispecies tree ring growth to various drought indices across Europe[J]. *Dendrochronologia*, 2017, 44(6): 1-8.
- [3] Peters M P, Iverson L R, Matthews S N. Long-term droughtiness and drought tolerance of eastern US forests over five decades[J]. *Forest Ecology and Management*, 2015, 345(6):56-64.
- [4] Abaje I B, Achiebo P J, Matazu M B. Spatio-Temporal Analysis of Rainfall Distribution in Kaduna State, Nigeria[J]. *Ghana Journal of Geography*, 2018, 10(1):1-21.
- [5] 袭祝香,杨雪艳,刘玉汐,等. 松辽流域 1961—2017 年极端降水变化特征[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(3): 199-203, 212.
- [6] 杜华明,贺胜英. 岷江流域降水特征与旱涝灾害趋势分析[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(1):153-157.
- [7] 杨蓉,赵多平. 气候变暖背景下陕甘宁蒙接壤区 1961—2015 年降水变化响应特征[J]. *水土保持通报*, 2018, 38(3):269-274, 353.
- [8] 李烁阳,刘小燕,杨贵羽,等. 湖北省降水及早涝时空分布特征分析[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(2):202-207.
- [9] 吴贵蜀. 农牧交错带的研究现状及进展[J]. *四川师范大学学报:自然科学版*, 2003, 17(1):108-110.
- [10] 赵唯茜,杜华明,董廷旭,等. 2005—2014 年南方农牧交错带净初级生产力时空分布特征[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(6):236-241.
- [11] 傅伯杰. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [12] 孙德亮,吴建峰,李威,等. 基于 SPI 指数的近 50 年重庆地区干旱时空分布特征[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(4):197-203.
- [13] 刘艳伟,王淑莹,屠星磊,等. 元谋干热河谷区近 60 年干湿状况和气温变化特征分析[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(2):172-178.
- [14] 汤国安. ArcGIS 地理信息系统空间分析试验教程[M]. 第 2 版. 北京:科学出版社, 2012.
- [15] 潘雪萍. 基于 GIS 的气象要素插值方法比较研究[J]. *科技风*, 2018(26):226.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社, 1999.
- [17] Bonaccorso B, Bordi I, Cancelliere A, et al. Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily[J]. *Water Resources Management*, 2003, 17(4):273-296.
- [18] 李虹雨,马龙,刘廷玺,等. 基于标准化降水指数的内蒙古地区干旱时空变化特征[J]. *水文*, 2018, 38(5):47-51, 90.
- [19] 胡豪然,梁玲. 近 50 年青藏高原东部降水的时空变化特征[J]. *高原山地气象研究*, 2013, 33(4):1-7, 15.



附图3 南方农牧交错带年均降水量及变化倾向率空间分布(第186页)



附图4 福建省永泰县综合发展等级分布(第203页)



附图5 乌伦古河流域1989—2017年土地利用类型空间分布(第226页)



附图6 陕西省关中平原城市群生态安全格局(第236页)