

Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Drought in Southwest China in 56a Based on Daily MCI

Feiyang Mao, Xiehui Li

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 413464231@qq.com

Received: Oct. 29th, 2019; accepted: Nov. 13th, 2019; published: Nov. 20th, 2019

Abstract

According to the national standard of meteorological drought classification revised in 2017, the daily MCI index of 86 meteorological stations in Southwest China was calculated, and the spatial interpolation was carried out by ArcGIS, mainly analyzing the drought characteristics of the whole southwest region and Chongqing, Sichuan, Yunnan and Guizhou provinces in 56 years. The results show that most of Yunnan, the west of Sichuan and the north of Chongqing are drought prone areas in Southwest China, while the number of drought days in Central Sichuan and most of Guizhou is relatively small; the drought in Sichuan and Yunnan mainly occurs in spring and winter, the drought in Chongqing mainly occurs in late summer and early autumn, and the drought in Guizhou mainly occurs in summer. From 1962 to 2017, the number of dry days in Southwest China showed an increasing trend, and Chongqing showed the strongest increasing trend, which was 0.97 d/a. In recent 56 years, the frequency of autumn drought is the highest, the intensity of drought is the highest in Yunnan Province, and the lowest in Guizhou Province.

Keywords

MCI Index, Spatiotemporal Distribution Characteristics, Drought Frequency, Drought Days, Southwest China

基于日气象干旱综合指数的56a西南地区干旱时空分布特征

毛飞扬, 李谢辉

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: 413464231@qq.com

收稿日期: 2019年10月29日; 录用日期: 2019年11月13日; 发布日期: 2019年11月20日

摘要

本文依据2017年修订的《气象干旱等级》国家标准, 计算了西南地区86个气象站点的逐日MCI指数, 利用ArcGIS进行空间插值, 主要分析了整个西南地区以及重庆、四川、云南、贵州四省市56年不同季节的干旱特征。结果表明: 云南大部, 四川西部以及重庆北部是西南干旱的多发区, 四川中部, 贵州大部干旱日数相对较少; 四川和云南地区干旱主要出现在春、冬季节, 重庆地区干旱主要发生在夏末秋初, 贵州地区的干旱主要发生在夏季。1962~2017年西南地区干旱日数总体呈增加趋势, 重庆增加趋势最强, 为0.97 d/a。近56a来, 秋旱发生的频率最高, 云南省的干旱强度最高, 而贵州省最小。

关键词

MCI指数, 时空分布特征, 干旱频率, 干旱日数, 西南地区

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

干旱是全球各地区普遍能造成严重影响的自然灾害之一。近几十年来由于全球变暖, 干旱发生的频率以及程度愈来愈严重, 对社会稳定运转以及人民生活水平造成了不可忽视的影响, 因此国内外学者对干旱做了大量的研究[1] [2] [3]。张亚宁等[4]在对我国降水面积的变化特征研究中发现, 我国1961~2015年的年均以及季平均降水量呈经向分布, 内陆地区较东部地区降水量偏少, 而部分学者认为西太平洋副高是半干旱区降水量在8月变化的主要原因[5]。干旱指数作为研究干旱的基础工具, 在干旱的监测以及预测中起着至关重要的作用。目前已投入实际应用的气象干旱指数种类很多, 如熊光洁等[6]以SPEI指数分析了西南地区1961~2012年的干旱变化特征, 发现西南地区的干旱化趋势愈发严重。部分学者[7] [8] [9] [10]在研究中发现, 西南地区干旱在21世纪初发生最严重, 且呈增加趋势。中国气象局在2017年基于2006年发布的标准提出了新的气象干旱综合监测指数MCI (Meteorological drought composite index), 国内学者基于此指数进行了一些研究, 如冯冬蕾等[11]利用MCI指数对东北地区1961~2014年干旱现象进行了时空分析。杨玮等[12]在MCI指数对安徽省的适用性分析中发现, MCI指数能够很大程度上解决干旱监测以及预测业务中存在的问题。同时, 王春学等[13]通过对MCI指数在四川的适用性分析指出, 由于MCI主要体现气象干旱, 而四川水土肥沃, 因此所反映的干旱与实际有些出入。本文基于已有研究通过计算西南地区56年的改进气象干旱指标MCI [14], 通过综合分析1962~2017年西南地区干旱发生的时空分布特征以及变化规律, 总结西南地区干旱的基本特征, 以期能为西南干旱的监测和评估业务提供一定的理论依据和技术支撑。

2. 数据资料与方法

2.1. 研究区概况与数据资料

西南地区位于97°21'~110°11'E, 21°08'~33°41'N之间, 包含了青藏高原东南部, 四川盆地, 云贵高原大部。以亚热带季风气候为主, 降水量在600~2300 mm之间, 且降水的季节分布极其不均匀[15]。基于行政区划, 本文主要选取了西南地区中包括四川、重庆、贵州、云南的四省市共86个气象站点。

2.2. 数据源

计算干旱指标所需的气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)下载的西南地区从1962~2017年的逐日温度和降水等数据, 数据处理前对异常值, 缺测值和缺省值等都进行了检验预处理。

3. 研究方法

3.1. 气象干旱综合指数 MCI

干旱是由于降水长期亏缺和近期亏缺综合效应累加的结果, MCI 考虑了 60 天内的有效降水, 30 天内蒸散以及季节和近半年尺度降水的综合影响, 基于业务服务的需求, 还增加了季节调节系数, 具体计算公式如下[14]:

$$MCI = Ka \times (a \times SPIW_{60} + b \times MI_{30} + c \times SPI_{90} + d \times SPI_{150}) \quad (1)$$

式中, $SPIW_{60}$ 为近 60 天标准化权重降水指数; MI_{30} 为近 30 天相对湿润度指数; SPI_{90} 和 SPI_{150} 分别为近 90 天和近 150 天的标准化降水指数; a 、 b 、 c 、 d 分别为权重系数, 随着地区和季节变化进行调整, 南方地区冬、春季一般取为 0.3, 0.4, 0.3, 0.2, 夏、秋季为 0.5, 0.6, 0.2, 0.1。干旱程度影响基于 GB/T 32135 确定, 划分的气象干旱等级见表 1。文中对季节的划分为春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12 月至次年 2 月)。

Table 1. Drought grade classification of MCI index

表 1. MCI 指数干旱等级划分

| 等级干旱类型 | MCI 阈值范围 |
|--------|----------------|
| 1 | 无旱 > -0.5 |
| 2 | 轻旱(-1.0, -0.5] |
| 3 | 中旱(-1.5, -1.0] |
| 4 | 重旱(-2.0, -1.5] |
| 5 | 特旱 < -2.0 |

3.2. 干旱发生频率

对 56a 西南地区各季至少有 1 次轻旱及以上干旱过程发生的年份进行统计, 利用公式(2)计算干旱发生频率[15]:

$$P = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (2)$$

式中, n 为实际有干旱过程发生的年数, N 为资料年代序列数, 本文用于计算 MCI 指数的数据序列为 1962~2017 年, 因此 N 取 56。

4. 结果与分析

4.1. 中旱及以上干旱日数时空特征分析

4.1.1. 各月不同省市干旱日数分析

表 2 为 1962~2017 年西南 4 省市年内各月中旱及以上干旱平均日数统计。可以看出, 西南地区不同省市中旱及以上干旱日数的年内分布特征差异明显。四川和云南地区干旱主要出现在春、冬季节, 其中

云南地区 1~4 月干旱日数相对较多, 月干旱日数基本在 23 d 左右; 四川地区 1~3 月各月干旱日数在 11 d 以上, 其中 1 月最多, 为 15 d; 重庆地区干旱主要发生在夏末秋初, 正好是当地农业生产的主要时段, 8 月最多, 为 19 d; 贵州地区的干旱主要发生在夏季, 其中 8 和 9 月并列最多, 为 11 d。

Table 2. Average number of days on moderate drought and above in each month in four provinces and cities in southwest China from 1962 to 2017 (units: d)

表 2. 1962~2017 年西南 4 省市年内各月中旱及以上干旱平均日数(单位: d)

| | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 全年 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
| 重庆 | 12 | 8 | 9 | 5 | 1 | 6 | 9 | 19 | 16 | 11 | 9 | 8 | 113 |
| 四川 | 15 | 11 | 14 | 13 | 6 | 7 | 4 | 6 | 5 | 3 | 11 | 13 | 108 |
| 云南 | 24 | 21 | 24 | 24 | 18 | 14 | 8 | 3 | 2 | 6 | 14 | 19 | 177 |
| 贵州 | 5 | 2 | 4 | 4 | 1 | 1 | 3 | 11 | 11 | 10 | 6 | 5 | 63 |

4.1.2. 各地区干旱日数年际变化分析

图 1 为 1962~2017 年西南 4 省市整体年均中旱及以上干旱日数年际变化及线性趋势图。

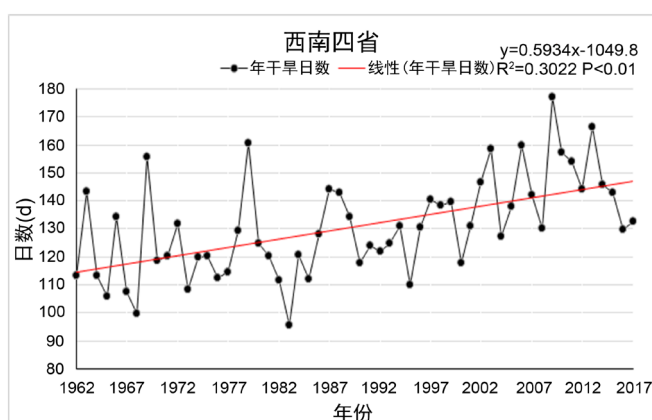


Figure 1. Interannual variation and trend of average annual drought days on moderate drought and above in Southwest China from 1962 to 2017

图 1. 西南地区 1962~2017 年年均中旱及以上干旱日数年际变化与趋势

可以看出, 56a 间西南地区年均中旱及以上干旱日数总体呈增加趋势, 线性变化趋势为 0.59 d/a, 其中 2009 年最多, 为 177 d, 1983 年最少, 只有 95 d, 二者相差达 82 d。干旱日数的年代际变化特征明显, 呈现持续增加的趋势, 年际之间干旱日数差异较大, 其中 20 世纪 60~80 年代, 年均中旱及以上干旱日数在 123 d 左右, 90 年代持续增加, 为 127 d, 21 世纪以来又有所增加, 为 145 d。

图 2 为 1962~2017 年西南 4 省市分别年均中旱及以上干旱日数年际变化及线性趋势图。

可以看出, 56a 间, 重庆、云南、贵州、四川年均中旱及以上干旱日数总体呈增加趋势, 线性变化趋势分别为 0.97 d/a、0.69 d/a、0.77 d/a、0.36 d/a。其中重庆在 1988 年最多, 为 178 d, 1982 年最少, 只有 57 d, 二者相差达 121 d; 云南在 2009 年最多, 为 260 d, 1983 年最少, 只有 145 d, 二者相差达 115 d; 贵州在 2011 年最多, 为 111 d, 1967 年最少, 只有 29 d, 二者相差达 82 d; 四川在 1979 年最多, 为 158 d, 1989 年最少, 只有 84 d, 二者相差达 74 d。四省市中年均中旱及以上干旱日数最多天数的是云南省, 最少天数的是贵州省, 最多天数和最少天数相差最大的是重庆市。

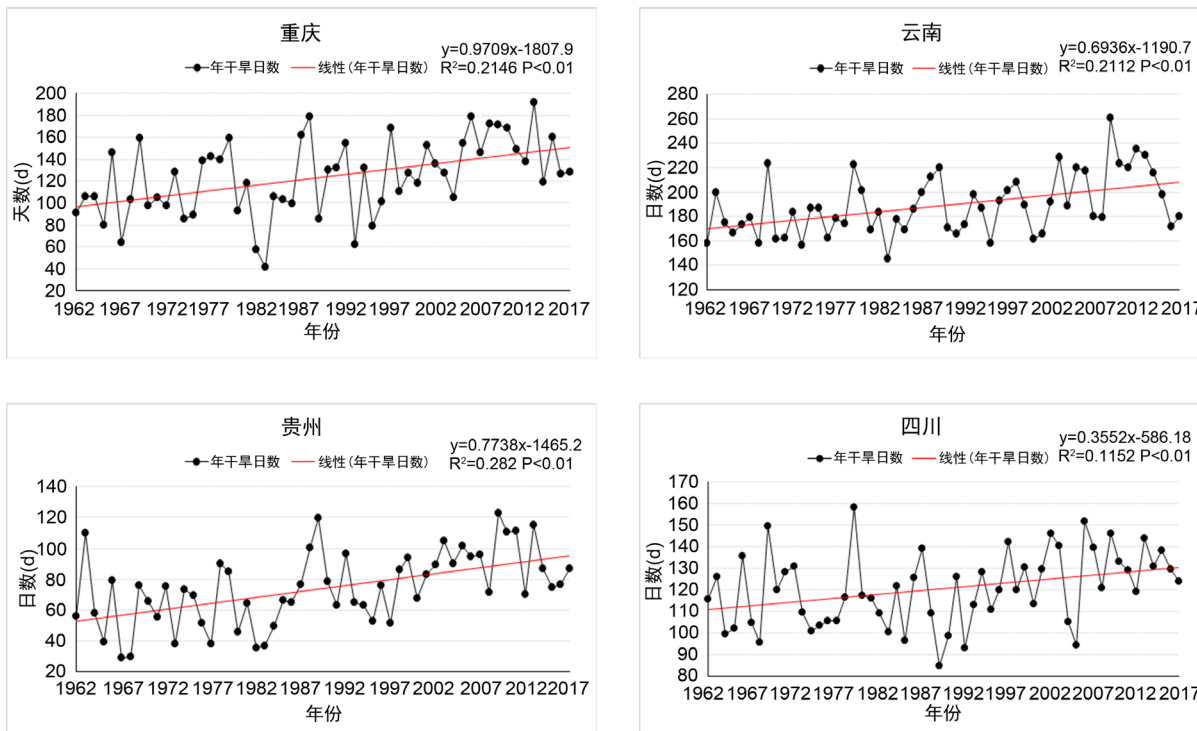


Figure 2. Interannual variation and trend of average annual drought days on moderate drought and above in four provinces and cities in southwest China from 1962 to 2017

图 2. 西南 4 省市 1962~2017 年年均中旱及以上干旱日数年际变化与趋势

4 省市中旱及以上干旱日数的年代际变化都呈现持续增加的趋势, 但年际之间干旱日数差异较大。其中重庆在 20 世纪 60~80 年代, 年均干旱日数在 110 d 左右, 90 年代增加为 119 d, 21 世纪以来又有所增加, 为 144 d; 云南在 20 世纪 60~80 年代, 年均干旱日数在 181 d 左右, 90 年代增加为 184 d, 21 世纪以来增加到 200 d; 贵州在 20 世纪 60~80 年代, 年均干旱日数在 63 d 左右, 90 年代增加为 72 d, 21 世纪以来增加到 88 d。四川在 20 世纪 60~80 年代, 年均干旱日数在 115 d 左右, 90 年代增加到 118 d, 21 世纪以来持续增加为 128 d。综上可知, 4 个省市的年均中旱及以上干旱日数年代际变化呈现出不断增加的趋势, 特别是进入 21 世纪以来, 在全球变暖背景下, 极端干旱事件的增加趋势更为明显。

4.1.3. 年均干旱日数空间分析

图 3 为利用 ArcGIS 软件进行空间插值后得到的 1962~2017 年西南地区年均中旱及以上干旱日数的空间分布图。可以得出, 云南大部, 四川东部和南部, 以及重庆北部是西南干旱的多发区, 年均干旱日数普遍在 150 d 以上。其中云南中部, 四川东部和南部部分地区在 200 d 以上, 四川西北部和中部, 贵州中东部在 100 d 以下。就 4 省市平均而言, 云南地区年均干旱日数最多, 达 187.7 d, 重庆和四川地区相差不多, 分别为 122.4 d 和 119.5 d, 贵州地区相对最少, 为 72.4 d。

4.1.4. 各季节干旱日数空间分析

利用 ArcGIS 软件进行空间插值可以得到 1962~2017 年西南地区不同季节中旱及以上干旱日数的平均空间分布图 4。可以看出, 四个季节中, 春季, 云南大部以及四川东部和南部干旱日数较多, 普遍在 60 d 以上, 而贵州地区干旱日数相对较少, 普遍在 15 d 以下; 夏季, 西南地区中旱及以上干旱日数大值区主要分布在云南中部、四川东部和重庆北部, 普遍在 60 d 以上, 而四川西北部和贵州东部是夏旱少发区, 干旱日数平均在 0~30 d; 秋季, 西南地区干旱日数大值区主要分布在四川东部、贵州西部、重庆大部和

云南东南部, 普遍在 60 d 以上, 而四川西北部和中部, 贵州东部和云南大部为秋旱少发区, 干旱日数在 15~30 d, 部分地区在 15 d 以下; 冬季, 云南大部、重庆北部, 四川南部和中东部地区干旱日数较多, 普遍在 60 d 以上, 而贵州地区、四川西北部地区干旱日数相对较少, 普遍在 15 d 以下。

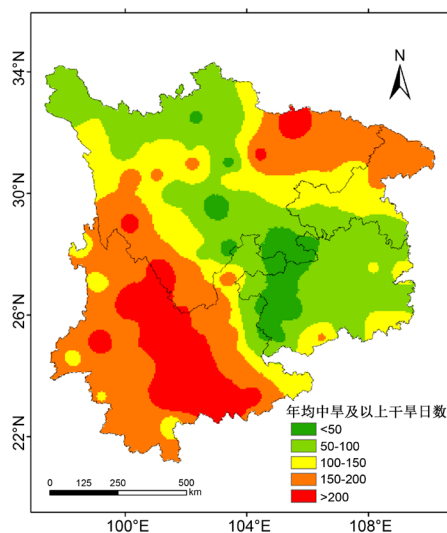


Figure 3. Spatial distribution of average annual drought days on moderate drought and above in four provinces and cities in southwest China from 1962 to 2017

图 3. 西南地区 1962~2017 年年均中旱及以上干旱日数空间分布

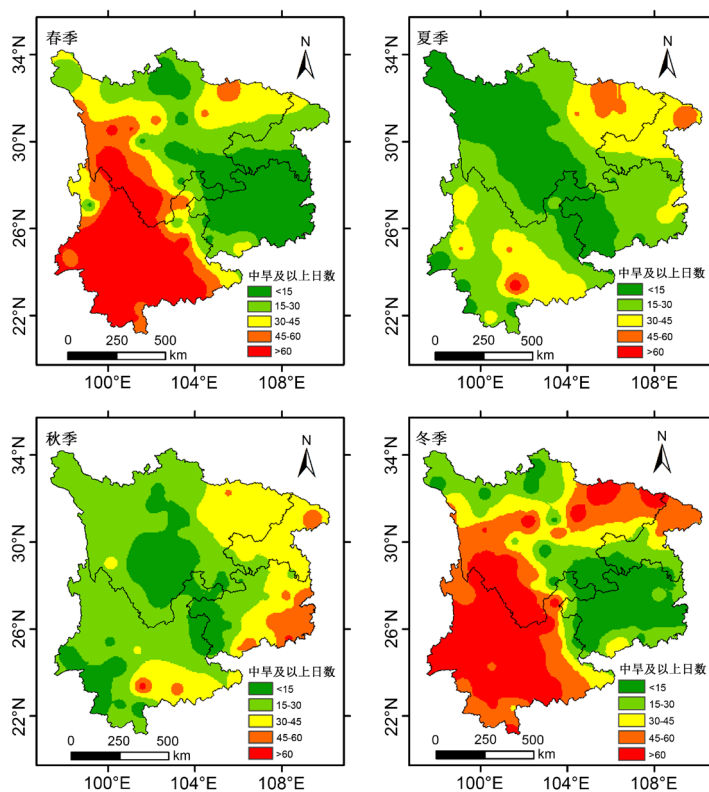


Figure 4. Spatial distribution of average each season drought days on moderate drought and above in southwest China from 1962 to 2017

图 4. 西南地区 1962~2017 年各季中旱及以上干旱日数平均空间分布

4.2. 干旱频率分析

表 3 为 1962~2017 年西南 4 省市年均和各季节平均干旱频率统计。可以看出, 各季干旱发生频率分布特征差异明显, 四川和云南省干旱容易在秋季发生, 其中云南省秋旱发生频率最高, 为 74%, 重庆地区夏旱频率最高, 达 64%, 其次为春旱, 为 40%; 贵州地区夏旱频率较高, 为 72%, 其次为秋旱频率, 为 37%。

Table 3. Average annual and seasonal drought frequencies in four provinces and cities in southwest China from 1962 to 2017
表 3. 西南 4 省市 1962~2017 年年均和各季节平均干旱频率

| | 省市干旱频率(%) | | | | |
|----|-----------|----|----|----|----|
| | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 | 年均 |
| 重庆 | 40 | 64 | 25 | 26 | 74 |
| 四川 | 23 | 39 | 64 | 15 | 59 |
| 云南 | 10 | 16 | 74 | 13 | 69 |
| 贵州 | 40 | 72 | 37 | 34 | 68 |

图 5 为 1962~2017 年西南地区年和各个季节的平均干旱发生频率分布图。可以看出, 年尺度上, 除四川中部, 云南东部, 贵州西部外, 其他各区发生干旱的频率高于 60%, 贵州东部和云南西南部甚至达到 80% 以上; 春季, 西南地区整体发生干旱的频率较低, 其中云南大部, 四川西部发生干旱的频率低于 20%; 夏季, 贵州东部, 重庆南部和四川中东部地区发生干旱的频率较高, 云南西部, 四川西北部发生干旱的频率较低; 秋季, 云南西部, 四川西部发生干旱的频率较高, 重庆地区, 四川东部, 贵州大部发生干旱的频率较低; 冬季, 西南地区整体发生干旱的频率较低, 除贵州和四川中东部部分地区发生干旱的频率高于 40% 外, 其他地区发生干旱的频率均低于 40%, 其中四川西部, 北部, 云南北部发生干旱的频率低于 10%。

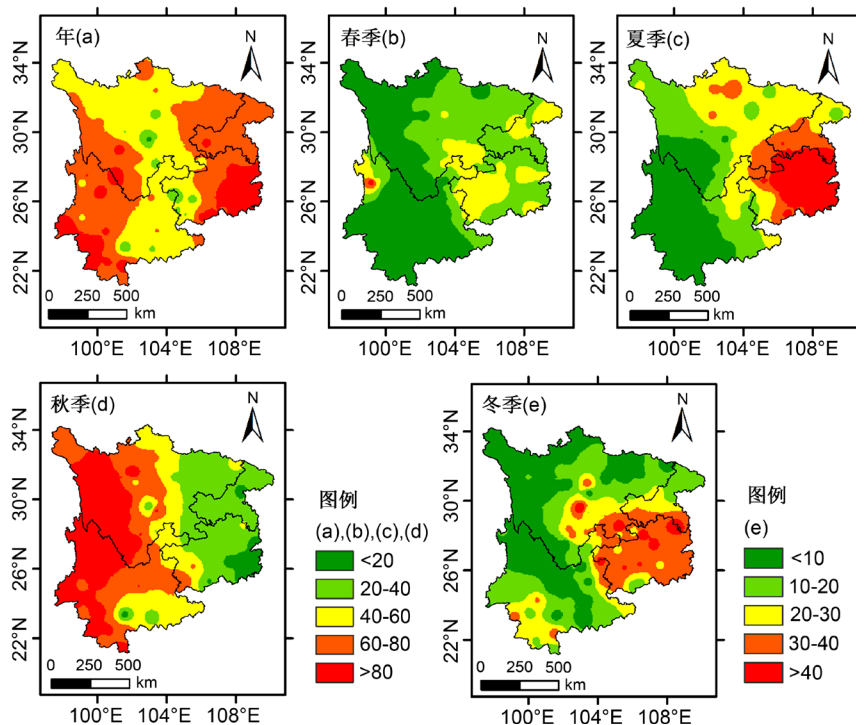


Figure 5. Spatial distribution of average annual and seasonal drought frequencies in southwest China from 1962 to 2017
图 5. 西南地区 1962~2017 年年均和各季平均干旱频率空间分布

5. 结论与讨论

1) 云南大部, 四川西部以及重庆北部是西南干旱的多发区, 平均年干旱日数普遍在 150 d 以上。其中云南中部, 四川少部等地在 200 d 以上, 四川中部, 贵州大部干旱日数相对较少。春季和冬季更容易出现大范围干旱。

2) 西南地区不同省份干旱的季节性特征差异明显, 其中四川和云南地区干旱主要出现在春、冬季节; 重庆地区干旱主要发生在夏末秋初; 贵州地区的干旱主要发生在夏季。

3) 西南地区干旱日数总体呈增加趋势, 线性趋势为 0.59 d/a, 其中重庆的增加趋势最明显, 为 0.97 d/a; 四川的增加趋势最弱, 为 0.36 d/a。

4) 西南地区干旱发生频率, 从空间上, 重庆, 贵州中东部, 云南中西部, 四川西南部发生频率最高; 从时间上, 秋旱发生的频率最高。

由分析结果可知, 虽然 MCI 较之前的 CI 取得了较大进步, 但是 MCI 主要考虑的是气象因子, 对农业, 社会经济等方面反应不够, 还有待后续进一步的改进。文中对于西南地区近 56 年的统计分析结果与廖要明, 李军和贾艳青等[16] [17] [18]的结论一致, 均表明西南地区干旱在 21 世纪初发生最严重, 多出现在冬春两季且呈增加趋势, 但干旱季节化的结果与王东[8]所得结果有所不同, 他们认为秋季干旱最严重, 而作者认为冬季和春季干旱最严重。对于 MCI 指数, 组成其的各指数系数是根据国标[14]进行分配的, 尽管本文参考了王素萍等[19]的季节调节系数, 但其判别标准是否可以根据西南地区的具体气候特征进行调整还有待进一步考究。

基金项目

四川省科技厅项目(2017ZR0043, 2015GZ0238)。

参考文献

- [1] Woodhouse, C.A. and Jonathan, T. (1998) 2000 Years of Drought Variability in the Central United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 2693-2714.
[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<2693:YODVIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<2693:YODVIT>2.0.CO;2)
- [2] 张强, 韩兰英, 张立阳. 论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 88-91.
- [3] 王劲松, 李耀辉, 王润元. 我国气象干旱研究进展评述[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 497-508.
- [4] 张亚宁, 张明军, 王圣杰, 等. 1961-2015 年中国降水面积变化特征研究[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 762-773.
- [5] 刘洁, 王宁练, 花婷. 1960-2016 年中国北方半干旱区盛夏降水时空变化及其水汽输送特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(3): 257-269.
- [6] 熊光洁, 张博凯, 李崇银. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961-2012 年干旱变化特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(3): 192-198.
- [7] 贾艳青, 张勃. 基于日 SPEI 的近 55a 西南地区极端干旱事件时空演变特征[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 474-483.
- [8] 王东, 张勃, 安美玲. 基于 SPEI 的西南地区近 53a 干旱时空特征分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(6): 1003-1016.
- [9] 牛凯杰, 梁川, 赵璐. 西南地区干旱时空变化特征[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3): 1-6.
- [10] 韩兰英, 张强, 姚玉璧. 近 60 年中国西南地区干旱灾害规律与成因[J]. 地理学报, 2014, 69(5): 632-639.
- [11] 冯冬蕾, 程志刚, 吴琼. 基于 MCI 指数的东北地区 1961-2014 年气象干旱特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10): 118-124.
- [12] 杨玮, 谢五三, 王胜, 等. 气象干旱综合监测指数在安徽省的适用性分析[J]. 气象科技, 2018, 46(5): 988-998.
- [13] 王春学, 张顺谦, 陈文秀, 等. 气象干旱综合指数 MCI 在四川省的适用性分析及修订[J]. 中国农学通报, 2019, 35(9): 115-121.

- [14] 气象干旱等级(GB/T20481-2017)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 成青燕, 高晓清, 林纾. 基于 MCI 指标的甘肃省近 50 年干旱特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 211-218.
- [16] 廖要明, 张存杰. 基于 MCI 的中国干旱时空分布及灾情变化特征[J]. 气象, 2017, 43(11): 1402-1409.
- [17] 李军, 王兆礼, 黄泽勤, 等. 基于 SPEI 基于的西南农业区气象干旱时空演变特征[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7): 1142-1149.
- [18] 贾艳青, 张勃, 马彬. 1960-2015 年中国西南地区持续性干旱事件时空演变特征[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(5): 171-176.
- [19] 王素萍, 王劲松, 张强. 几种干旱指标对西南和华南区域月尺度干旱监测的适用性评价[J]. 高原气象, 2015, 34(6): 1616-1624.