

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2018. 04. 07

“一带一路”西亚地区降水时空特征及空间均衡分析

王豪杰¹,左其亭^{1,2},郝林钢¹,韩春辉¹,马军霞¹

(1. 郑州大学水利与环境学院,河南 郑州 450001; 2. 郑州大学水科学研究中心,河南 郑州 450001)

摘要:以“一带一路”西亚主体水资源区为研究对象,提取全球高分辨率降水数据集中 1961—2016 年的数据,运用 M-K 秩次相关检验和小波分析等方法,分析了“一带一路”西亚主体水资源区的降水时空变化及其空间均衡特征。结果表明:研究期内,降水量均值大小从高到低分别为土耳其地区、伊朗地区和阿拉伯半岛地区;土耳其地区降水量呈轻微上升趋势,伊朗和阿拉伯半岛地区降水量均呈下降趋势,伊朗地区下降趋势更加明显;土耳其、伊朗分别存在 8~10 a 和 20~25 a 周期变化特征,阿拉伯半岛地区存在 8~10 a 和 22~25 a 两类周期变化特征,其中 8~10 a 周期为主;阿拉伯半岛西部和中东部地区为研究区内降水最缺乏的地区。

关键词:降水;时空变化;空间均衡;“一带一路”;西亚

中图分类号:TV122 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2018)04-0035-07

Anglysis of spatial-temporal characteristics and spatial equilibrium of precipitation in West Asia area of “Belt and Road”

WANG Haojie¹,ZUO Qiting^{1,2},HAO Lingang¹,HAN Chunhui¹,MA Junxia¹

(1. School of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;
2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Taking the main water resource areas of West Asia area in the “Belt and Road” as the research area, the precipitation data of climatic research unit (CRU) dataset from 1961 to 2016 were extracted to analyze the spatial-temporal change and spatial equilibrium characteristics of the precipitation of the research area by using the method of M-K rank correlation test and wavelet analysis. The results show that during the study period, the mean precipitation ranges from high to low are Turkey, Iran, and Arabia Peninsula. The precipitation in Turkey is slightly rising. The precipitation in Iran and Arabia Peninsula shows a decreasing trend, and the decreasing trend in Iran is more obvious. There are 8~10 a and 20~25 a cycle variations in Turkey and Iran. In the Arabia Peninsula, there are 8~10 a and 22~25 a cycle variations, of which 8~10 a is the main cycle variation. The western and middle eastern parts of Arabian Peninsula are the most scare area of precipitation in the research area.

Key words: precipitation; spatial-temporal characteristics; spatial equilibrium; “Belt and Road”; West Asia

“一带一路”倡议是“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的合称。我国政府提出“一带一路”倡议,目的在于促进欧、亚、非大陆的经贸合作关系,形成一个完整的海上、陆路经贸合作圈和利

益共同体。国家发展改革委员会、外交部和商务部在 2015 年联合发布《推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》^[1],标志着我国的“一带一路”倡议进入了全面推进阶段。“一带

基金资助:国家自然科学基金(51779230);郑州大学重大科技项目培育基金(2015ZDPY011)
作者简介:王豪杰(1994—),男,硕士研究生,研究方向为水文学及水资源。E-mail: 1143743304@qq. com
通信作者:左其亭,教授。E-mail: zuoqt@zzu. edu. cn

一路”倡议提出后,受到了国际社会的热烈支持和响应,尤其在西亚地区受到了广泛的支持。

西亚地区位于亚、欧、非三大大陆的交界处,是国家和地区间交流合作的重要廊道,地理位置十分重要。西亚地区自然资源分布极不均衡,拥有世界上最丰富的石油资源,同时也是世界上淡水资源最缺乏的地区,无流区和内流区分布广泛,地面常年干燥缺水,除地中海、黑海沿岸等地区外,年降水量常年在 300 mm 以下,是世界上干旱问题最严重的地区之一^[2]。在“一带一路”倡议实施背景下,西亚地区水资源极度短缺的问题可能会给地区发展带来更加沉重的压力,其水资源安全对西亚地区的发展起着至关重要的作用。

目前,关于西亚地区降水和水资源特征的研究较少,且由于地区降水资料缺乏等因素,涉及西亚地区降水研究的成果多为全球性或区域性的大尺度研究。李若麟^[3]通过分析北半球干旱区的降水转化和再循环特征,得出在过去的 30 余年,随着全球气温的上升,西亚干旱区的降水再循环率呈现出增加趋势,而降水呈现出减少趋势;赵天保等^[4]评估了 CMIP5 对包括西亚在内的全球典型干旱区降水变化特征的模拟,得出西亚地区降水未来变化情景表现出明显减少趋势的结论;常远勇等^[5]基于 1988—2010 年 TRMM(tropical rainfall measuring mission)卫星数据,对全球中低纬度降水时空特征进行了分析,指出中东等地区在全球范围内属于降水偏少区域;马秀卿^[2]总结了西亚地区的水资源问题,并提出了相应的对策建议。现有研究成果缺乏对西亚地区整体及“一带一路”西亚主体水资源区降水时空变化特征的系统分析。基于此,本文通过对西亚地区降水资料的收集和整理,分析“一带一路”西亚主体水资源区的降水时空特征及其趋势变化、周期演变等规律,并对西亚地区的降水空间均衡情况进行定量分析,以期“一带一路”倡议在西亚地区的实施提供支撑。

1 研究区概况

西亚又称西南亚,位于亚洲西南部地区,处于东经 74°56′~26°16′,北纬 43°34′~12°35′。主要包括沙特阿拉伯、土耳其、伊朗、伊拉克、叙利亚等国家。气候类型主要为热带沙漠气候、亚热带草原沙漠气候和亚热带地中海气候,除土耳其西部受地中海气候影响,气候温暖湿润,其他地区均为常年炎热干燥气候,水资源极度匮乏,且水资源时空分布不均,除两河流域外,其余地区均为短小河流或无流区,年内降水很少,且地区蒸发强烈,造成水资源短缺情况更

加严重。

“一带一路”主体水资源区是左其亭等^[6-7]基于“一带一路”倡议,通过分析大量文献资料和政策文件确定“一带一路”主体路线后,综合考虑主体路线沿线的地形地貌、水资源情况及行政区划等因素确定的,其中西亚主体水资源区范围见图 1。本文研究区域“一带一路”西亚主体水资源区是“一带一路”主体水资源区位于西亚的部分,包括沙特阿拉伯、也门、阿曼、土耳其、伊朗 5 个国家,涉及面积约为 551.77km²,主要分布在西亚地中海、黑海、红海、波斯湾等沿海地区和国际交通要道。

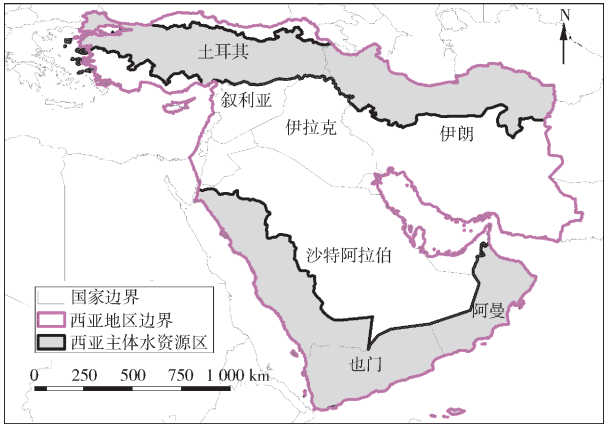


图 1 “一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

数据来源于 CRU (climatic research unit) 全球高分辨率降水数据集中西亚地区的逐月降水数据,分辨率为 0.5°×0.5°。由于西亚地区本身为极度缺水地区,且部分地区由于历史原因缺乏完善的降水资料历史观测记录,导致本文所使用的 CRU 数据集在空间上也存在一定的数据缺失。通过对降水数据的分析,发现整个西亚地区 90% 以上的格点降水数据覆盖了 1961—2016 年的完整降水数据,因此,选取 1961—2016 年的格点降水数据进行分析,针对部分缺乏降水资料的格点,基于克里金插值法,使用 GIS 软件在空间上对其进行插补。

2.2 研究方法

a. 降水集中度。该方法由张录军等^[8]提出,是在降水分析过程中将降水量看作矢量的一种度量降水年内非均匀分配的方法,能够反映总降水量年内非均匀分配特性。降水集中度反映降水总量在研究时段内各个月的集中程度,是一个无量纲数,如果某一年的降水集中度越接近于 1,说明该年降水越集中于某一月,如果某一年的降水集中度越接近于 0,说明降水越不集中,即降水在一年之中接近于平均

分配^[8-10]。

b. M-K 秩次相关检验。在长时期水文时间序列分析研究中,M-K 秩次相关检验是一种被广泛应用的非参数检验方法^[11-12],该方法对水文时间序列要求较低,计算灵活简便,可以挖掘水文时间序列自身内含的特征。通过对 M-K 秩次相关检验的统计变量 Z 值进行分析,可以得出水文序列的长期变化趋势及变化趋势的显著性。

c. 小波分析。该方法最早由 Morlet 在研究地震的时间尺度变化中提出,并于 20 世纪 90 年代由学者引入水文序列分析中^[13],主要用于分析水文序列的时间周期变化特征和周期震荡强度^[14-15]。小波分析法能定量提取出水文时间序列中隐含的周期特征及周期的连续稳定性和强度。

d. 降水空间均衡计算方法。对降水空间均衡进行的分析是基于左其亭等^[16]2017 年提出的水资源分布空间均衡计算方法。空间均衡指空间中任意点或单元相对于空间中平均水平的接近程度。空间均衡系数 C_{SEC} 是对空间均衡程度的量化,取值范围为 $[0,1]$,系数越接近于 1 说明越均衡,反之则越不均衡。西亚地区降水随空间变化较大且空间点较多,因此,选取降水空间均衡系数计算公式为

$$C_{SEC} = \begin{cases} 0 & x_i < \bar{x}_i - \Delta x_i \\ \frac{x_i - \bar{x}_i + \Delta x_i}{\Delta x_i} & \bar{x}_i - \Delta x_i \leq x_i \leq \bar{x}_i \\ \frac{\bar{x}_i - x_i + \Delta x_i}{\Delta x_i} & \bar{x}_i \leq x_i \leq \bar{x}_i + \Delta x_i \\ 0 & x_i > \bar{x}_i + \Delta x_i \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_i 是第 i 个空间点或单元的特征指标值; $\bar{x}_i$ 是

空间均衡系数为 1 时的特征指标值; Δx_i 的值可以根据具体选取的特征指标的性质及取值范围确定^[16],此时认为 $\Delta x_i = \bar{x}_i$ 。式(1)中 $\bar{x}_i - \Delta x_i$ 为特征指标值小于 $\bar{x}_i$ 、均衡系数等于 0 时的特征指标值临界点; $\bar{x}_i + \Delta x_i$ 为特征指标值大于 $\bar{x}_i$ 、均衡系数等于 0 时的特征指标值临界点。

3 结果与分析

3.1 多年平均降水量特征分析

a. 多年平均降水量空间分布特征。利用 GIS 软件,绘制的“一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区多年平均降水量空间分布图(图 2)。由图 2 可知,“一带一路”西亚地区降水量呈现出明显的空间差异性,表现出明显的从西北向东南递减的趋势,这是由于西亚西北部位处于地中海和黑海沿岸,属于地中海气候,而其他地区多为热带沙漠气候和亚热带草原沙漠气候,气候炎热干燥,降水稀少。

对“一带一路”西亚主体水资源区进行分析,综合考虑地区间的降水差异性、受气候带影响情况和国家地区划分等因素,将“一带一路”西亚主体水资源区分为土耳其地区、伊朗地区和阿拉伯半岛地区,各子地区之间降水和气候特性都有较明显差异。其中,土耳其地区降水量相对比较充足,多年平均降水量范围为 300 ~ 900 mm,地区多年平均降水量 704.2 mm,降水量分布呈由周边地区向中心递减的趋势,这是由于土耳其地区毗邻地中海,周边沿海地区主要受地中海气候控制,降水相对比较充沛。阿拉伯半岛地区主要受热带沙漠气候影响,终年炎热干燥,多年平均降水量最低,为 0 ~ 295 mm,地区多年平均

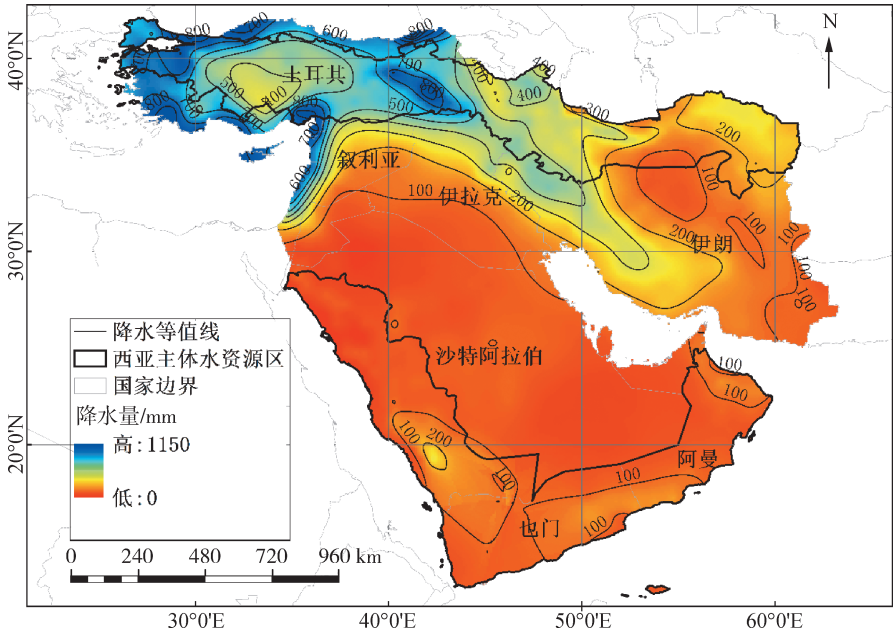


图 2 “一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区多年平均降水量空间分布

降水量 162 mm,在研究区乃至全球范围内都处于极低水平。伊朗地区位于多个气候带交汇处,气候条件复杂,受温带大陆性气候、热带沙漠气候和地中海气候的共同影响,导致多年平均降水量介于土耳其和阿拉伯地区之间,为 68 ~ 503 mm,地区多年平均降水量为 397.8 mm,在空间上呈由西向东递减的趋势。

b. 多年平均降水集中度。根据 1961—2016 年的月尺度格点降水数据,得到研究区内各格点的多年平均月降水量,根据降水集中度计算方法,得出各格点的多年平均降水集中度,绘制“一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区多年平均降水集中度分布图(图 3)。由图 3 可以看出,“一带一路”西亚主体水资源区内降水集中度差异较大,最低值为 0.12,位于土耳其北部地区,最高值为 0.74,位于伊朗东部,在空间上表现为距离海岸线越远,降水集中度越高的变化趋势;相比非主体水资源区,主体水资源区降水集中度整体较低,降水年内分配相对平均;土耳其地区降水集中度基本在 0.4 以下,降水年内分配相对平均,整体表现出显著地受地中海气候影响的降水模式;阿拉伯半岛地区降水集中度低值主要分布在沙特阿拉伯,该地区位于沙特阿拉伯塞拉特山脉,降水受山地地形、地中海气候和热带沙漠气候的共同影响。

3.2 降水变化趋势特征分析

根据 CRU 降水数据集,使用 M-K 秩次相关检验法分析每个格点的降水数据的时间变化趋势,计算降水的 M-K 秩次相关检验统计量 Z 值,并利用 GIS 软件,绘制“一带一路”西亚地区及西亚主体水

资源区 Z 值分布图(图 4)。由图 4 可知,“一带一路”西亚地区降水整体上表现出明显的地区差异性。降水呈增加趋势的区域大多分布在沿海地区,且增加趋势强度逐渐向内陆递减;降水呈减少趋势的区域在整个西亚地区广泛分布,在数量和强度上均占据主导优势地位;降水显著减少区域在西亚中部地区集中分布,在伊拉克东部和伊朗西部地区大面积呈现出超过 99% 显著性水平的减少趋势,最小 Z 值达到 -3.16。西亚地区降水呈现出大面积减少趋势,部分地区减少趋势特别显著,对西亚地区特别是西亚中部水资源短缺地区将会带来更加严峻的压力。

对“一带一路”西亚主体水资源区进行分析,降水变化趋势比较复杂,土耳其地区中部及北部呈上升趋势,并在中北部和东部少数地区出现显著上升趋势,其余地区均呈现出非显著的下降趋势,土耳其地区整体多年平均降水量的 Z 值为 0.5018,为非显著上升趋势。伊朗地区降水变化则呈现出整体下降的趋势,在西部地区和东北部地区达到 95% 显著下降水平,并在西南部地区达到 99% 的显著下降水平,仅在中部部分地区有轻微的上升趋势,伊朗地区整体多年平均降水量的 Z 值为 -1.8446,达到 90% 置信水平,并接近 95% 显著性下降水平,整体降水量呈现出明显的下降趋势。阿拉伯半岛地区降水量长期趋势变化情况比较复杂,沙特阿拉伯地区东部及也门西部位于阿拉伯半岛塞拉特山脉,降水演变呈非显著上升趋势,沙特阿拉伯西部及阿曼东部等地区呈非显著下降趋势,位于也门中部的地区降水变化为显著下降趋势,阿拉伯半岛地区整体的 Z 值

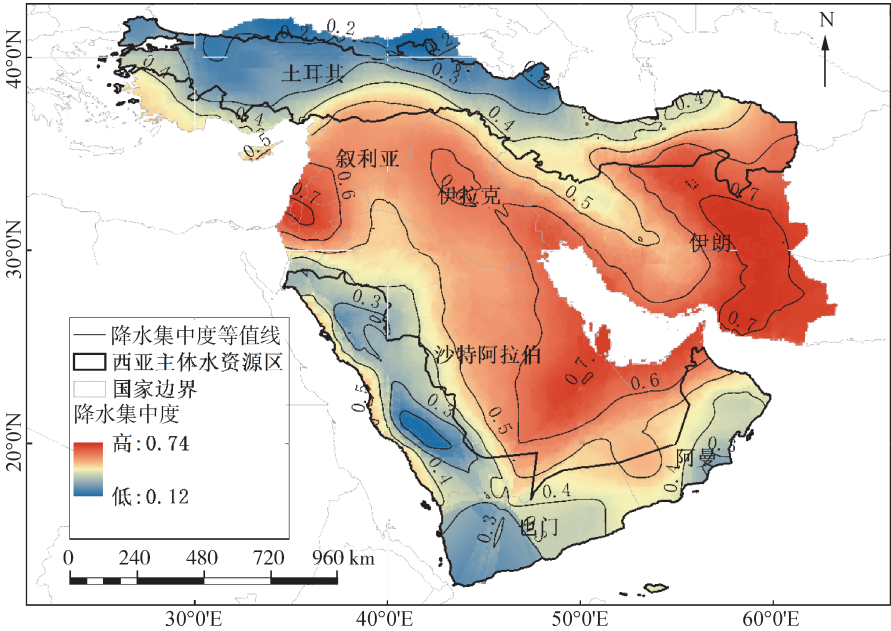


图 3 “一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区多年平均降水集中度分布

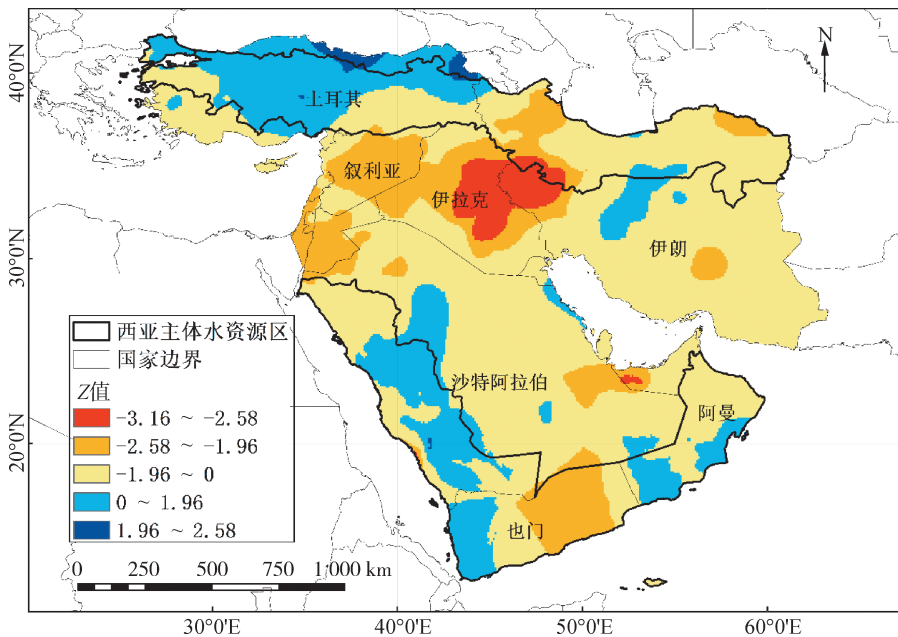


图4 “一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区 Z 值分布

为 -0.9541 , 为非显著下降水平。对“一带一路”西亚主体水资源区像元尺度计算所得的 Z 值进行统计, 并根据不同显著性水平绘制柱状图(图5)。由图5可见, “一带一路”西亚主体水资源区的降水, 整体有64%的像元呈减少趋势, 其中有10%左右达到显著下降水平, 有36%的像元为增加趋势, 其中仅有1%呈显著增加趋势; 伊朗地区降水超过95%的像元均呈现出减少的趋势, 有近30%的像元为显著减少趋势, 且减少趋势显著性水平达到99%的像元均分布在伊朗地区内, 说明伊朗地区的未来整体降水量将呈明显的减少趋势, 且在西部地区减少趋势更加严重; 土耳其地区降水变化呈增加趋势的像元约为60%, 呈显著增加趋势的像元约占土耳其地区总像元的3%, 整体呈现出并不显著的增加趋势; 阿拉伯半岛地区降水变化趋势与土耳其地区相反, 呈减少趋势的像元约占60%, 整体呈现减少趋势但并不显著。

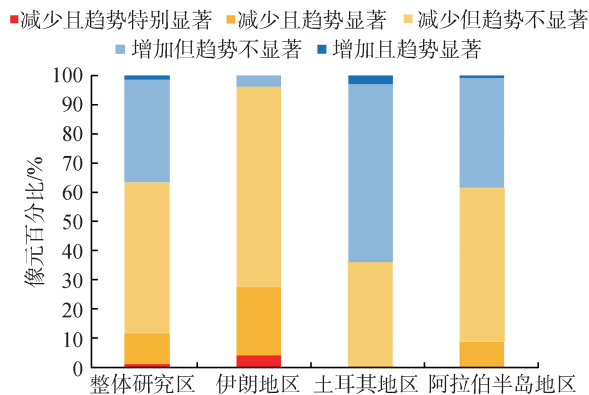


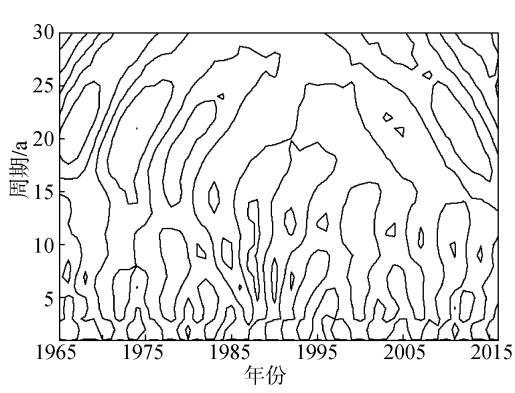
图5 “一带一路”西亚主体水资源区降水变化趋势像元百分比分布

3.3 降水周期特征分析

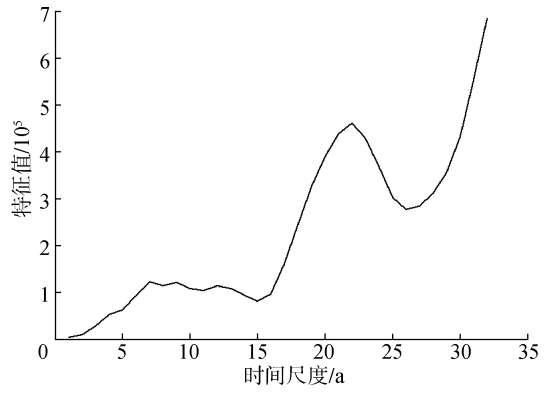
针对“一带一路”西亚主体水资源区3个分区, 采用小波分析法分别进行周期性检验, 使用 matlab 软件分析其周期演变特征, 并绘制各分区小波变换系数实部方差图和小波变换方差图(图6)。从图6可看出, “一带一路”西亚主体水资源区内各分区均存在不同尺度的周期演变特征。土耳其地区存在20~25 a的周期变化特征, 但周期在整个研究期内较不稳定, 1961—1985年20~25 a周期稳定存在, 1985—2005年周期有向10~15 a演变的趋势, 又在2005年之后重新回到20~25 a周期; 伊朗地区存在稳定的8~10 a周期的变化特征, 且周期一直贯穿于整个研究期内; 阿拉伯半岛地区存在8~10 a和22~25 a两类周期变化特征, 且周期特征表现均较稳定, 其中8~10 a周期变化对降水序列的方差贡献程度最大, 是阿拉伯地区降水变化的第一主周期, 22~25 a周期为第二周期。

3.4 降水空间均衡分析

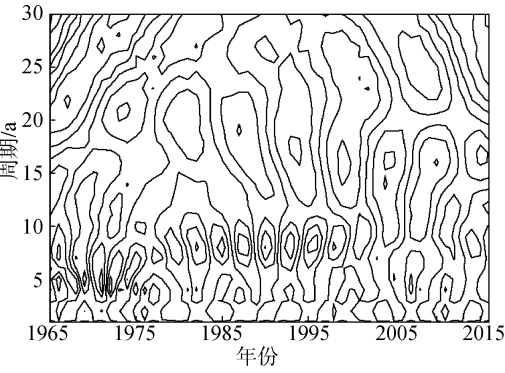
计算“一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区多年平均降水空间均衡系数, 并绘制降水空间均衡系数分布图(图7)。根据空间均衡计算原理, 空间均衡系数越接近于1, 说明该点的降水量越接近于平均值, 而系数越接近于0, 则该点降水量偏离降水平均值的程度越高, 此时的降水量可能偏大或偏小, 导致易发生洪涝干旱等水灾害。由图7可以看出, 西亚地区降水最均衡的地区分布在伊朗地区附近, 伊朗部分地区均衡系数接近于1, 说明伊朗地区的多年平均降水量在整个西亚地区范围内处于平均水平; 阿拉伯半岛地区降水空间均衡系数



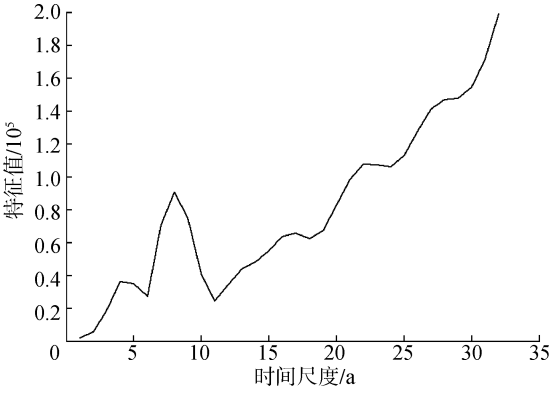
(a) 土耳其地区小波变换系数实部方差



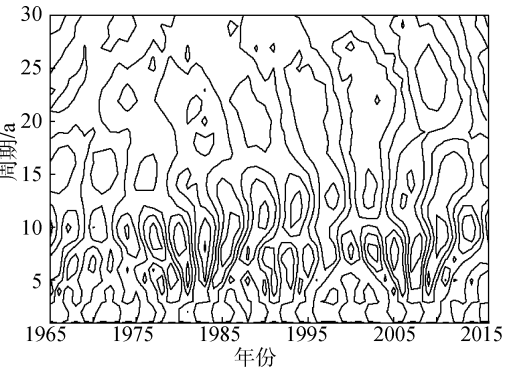
(b) 土耳其地区小波变换方差



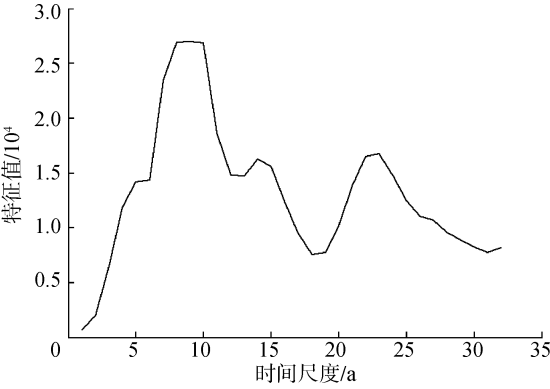
(c) 伊朗地区小波变换系数实部方差



(d) 伊朗地区小波变换方差



(e) 阿拉伯半岛地区小波变换系数实部方差



(f) 阿拉伯半岛地区小波变换方差

图6 “一带一路”西亚主体水资源区各分区小波分析结果

除少部分沿海地区外均在 0.4 以下,并在阿拉伯半岛西部地区和中东部地区形成两个降水空间均衡系数低值中心,结合阿拉伯地区降水特征,说明阿拉伯半岛地区的降水在西亚地区处于较低水平,而在阿拉伯半岛西部和中东部地区降水量最低,且呈集中式分布;土耳其地区降水空间均衡系数呈由中心向四周递减的趋势,且随距离递减速度加快,结合地区降水特征,说明土耳其地区周边地区降水量偏离平均值较大,且向中心处降水量快速衰减。

4 结 论

a. 将“一带一路”西亚主体水资源区分为土耳

其地区、伊朗地区和阿拉伯半岛地区,3 个分区降水空间差异明显,土耳其地区降水最充足,阿拉伯半岛地区降水最稀少。

b. 在趋势变化方面,土耳其地区 Z 值为 0.5018,降水呈非显著上升趋势;伊朗地区 Z 值为 -1.8446,降水呈明显的下降趋势,达到 90% 置信水平;阿拉伯半岛地区 Z 值为 -0.9541,降水呈非显著的下降趋势。

c. 周期变化方面,土耳其地区存在不稳定的 20 ~ 25 a 周期变化特征,伊朗地区存在稳定的 8 ~ 10 a 周期变化特征,阿拉伯地区存在 8 ~ 10 a 和 22 ~ 25 a 两类周期变化,且 8 ~ 10 a 周期为第一主周期。

d. 在降水空间均衡方面,伊朗地区降水空间均

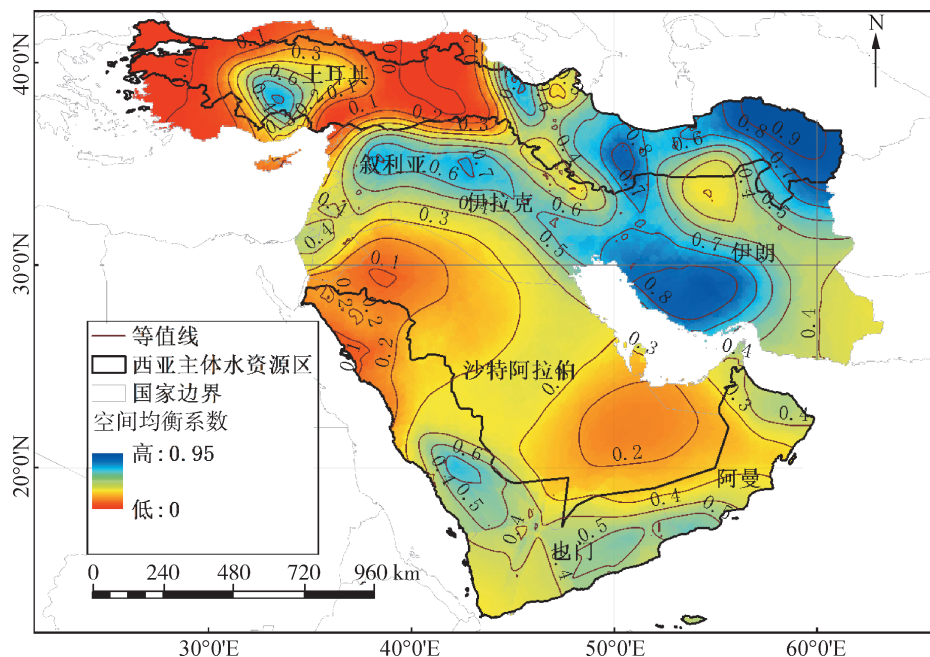


图7 “一带一路”西亚地区及西亚主体水资源区多年平均降水空间均衡系数分布

衡系数最高,降水在研究区内处于平均水平,阿拉伯半岛地区降水空间均衡系数较低,且在西部和中东部地区呈集中式分布。

参考文献:

[1] 国家发展改革委员会,外交部,商务部. 推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动 [EB/OL]. (2015-03-30) [2017-09-06]. http://www.sdpc.gov.cn/gzdt/201503/t20150328_669091.html.

[2] 马秀卿. 西亚国家的水资源问题及其对策[J]. 西亚非洲,1989(4):41-46. (MA Xiuqing. Water resources in Western Asian countries and its countermeasures [J]. West Asia and Africa,1989(4):41-46. (in Chinese))

[3] 李若麟. 北半球干旱区降水转化和再循环特征及其在全球变暖背景下的变化[D]. 兰州:兰州大学,2017.

[4] 赵天保,陈亮,马柱国. CMIP5 多模式对全球典型干旱半干旱区气候变化的模拟与预估[J]. 科学通报,2014,59(12):1148-1163. (ZHAO Tianbao, CHEN Liang, MA Zhuguo. Simulation of historical and projected climate change in arid and semiarid areas by CMIP5 models[J]. Chinese Science Bulletin,2014,59(12):1148-1163. (in Chinese))

[5] 常远勇,侯西勇,毋亭,等. 1998—2010 年全球中低纬度降水时空特征分析[J]. 水科学进展,2012,23(4):475-484. (CHANG Yuanyong, HOU Xiyong, WU Ting, et al. On spatial-temporal dynamics of precipitation in global mid-low latitudes from 1998 to 2010 [J]. Advances in Water Science,2012,23(4):475-484. (in Chinese))

[6] 左其亭,郝林钢,马军霞,等. “一带一路”分区水问题及借鉴中国治水经验的思考[J]. 灌溉排水学报,2018,37(1):1-7. (ZUO Qiting, HAO Lingang, MA Junxia, et

al. “Belt and Road” water problem in regionalization and reflections on drawing lessons from China’s water management experiences [J]. Journal of Irrigation and Drainage,2018,37(1):1-7. (in Chinese))

[7] 左其亭,韩春辉,郝林钢,等. “一带一路”主体路线及主体水资源区研究[J]. 资源科学,2018,40(5):1006-1015. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, HAO Lingang, et al. The main route and the main water resources areas of the “Belt and Road” [J]. Resources Science,2018,40(5):1006-1015. (in Chinese))

[8] 张录军,钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. 地球物理学报,2004,47(4):622-630. (ZHANG Lujun, QIAN Yongfu. A study on the feature of precipitation concentration and its relation to flood-producing in the Yangtze River Valley of China [J]. Chinese Journal of Geophysics,2004,47(4):622-630. (in Chinese))

[9] 姜爱军,杜银,谢志清,等. 中国强降水过程时空集中度气候趋势[J]. 地理学报,2005(6):129-136. (JIANG Aijun, DU Yin, XIE Zhiqing, et al. Climatic trends of heavy precipitation spatial and temporal concentration in China [J]. Acta Geographica Sinica,2005(6):129-136. (in Chinese))

[10] 孔锋,方佳毅,刘凡,等. 1951—2012 年中国降水集中度和集中期的时空格局[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2015,51(4):404-411. (KONG Feng, FANG Jiayi, LIU Fan, et al. Variations in the spatiotemporal patterns of precipitation concentration degree and precipitation concentration period from 1951 to 2012 in China [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science),2015,51(4):404-411. (in Chinese))

(下转第 79 页)

research on arsenic adsorption by modified ceramic granule[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(2): 72-76. (in Chinese))

- [35] 邓天天,李晗晟,胡烨,等. 覆铁石英砂对 As 的固化机理及影响因素[J]. 水资源保护,2017,33(6):102-108. (DENG Tiantian, LI Hansheng, HU Ye, et al. Study on curing mechanisms and influence factors of arsenic by iron oxide coated sand[J]. Water Resources Protection,2017,33(6):102-108. (in Chinese))
- [36] 卢金锁,程云,郑琴,等. 西安市暴雨强度公式的推求研究[J]. 中国给水排水,2010,26(17):83-84. (LU Jinsuo, CHENG Yun, ZHENG Qin, et al. Inference for storm intensity formula in Xi'an [J]. China Water and Wastewater,2010,26(17):83-84. (in Chinese))
- [37] 刘增超,李家科,蒋春博,等. 生物滞留槽快速设计方法及实例研究[J]. 西安理工大学学报,2017,33(2):145-151. (LIU Zengchao, LI Jiak, JIANG Chunbo, et al.

(上接第 11 页)

- [14] 谭红兵,金犇,王若安,等.平凉黄土土地带气候变化、人类活动与水资源问题[J].水资源保护,2015,31(6):45-51. (TAN Hongbing, JIN Ben, WANG Ruolan, et al. Climate change, human activity and water resources issues in loess hilly areas in Pingliang [J]. Water Resources Protection, 2015, 31(6): 45-51. (in Chinese))
- [15] 袁瑞强,王亚楠,王鹏,等.降水集中度的变化特征及影响因素分析:以山西为例[J].气候变化研究进展,2018,14(1):11-20. (YAUN Ruiqiang, WANG Yanan, WANG Peng, et al. An analysis of precipitation concentration variation characteristics and influential

(上接第 41 页)

- [11] 叶磊,周建中,曾小凡,等.水文多变量趋势分析的应用研究[J].水文,2014,(6):33-39.(YE Lei,ZHOU Jianzhong,ZENG Xiaofan,et al. Application of hydrological multivariate trend analysis[J]. Journal of China Hydrology,2014,(6):33-39.(in Chinese)).
- [12] 汤洁,王宪泽,李青山,等.第二松花江流域1956—2006年降水量时空变化特征分析[J].水资源保护,2011,27(6):14-18.(TANG Jie,WANG Xianze,LI Qingshan,et al. Temporal and spatial characteristics of precipitation over second tributary of Songhua River Basin from 1956 to 2006[J]. Water Resources Protection,2011,27(6):14-18.(in Chinese))
- [13] KUMAR P,FOUFOULA-GEORGIOU E. A multicomponent decomposition of spatial rainfall fields:1. segregation of large-and small-scale features using wavelet transforms[J]. Water Resources Research,1993,29(8):2515-2532.
- [14] 桑燕芳,王中根,刘昌明.小波分析方法在水文学研究

Rapid design of bioretention tank and examples [J].
Journal of Xi'an University of Technology, 2017, 33 (2):
145-151. (in Chinese))

- [38] 袁宏林,陈海清,林原,等. 西安市降雨水质变化规律分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2011,43(3):391-395. (YUAN Honglin, CHEN Haiqing, LIN Yuan, et al. Analysis on the changing law of rainfall quality in Xi'an [J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology (Natural Science Edition), 2011,43(3):391-395. (in Chinese))
- [39] 陈莹,赵剑强,胡博,等. 西安市城市主干道路面径流污染负荷研究[J]. 安全与环境学报,2011,11(4):129-132. (CHEN Ying, ZHAO Jianqiang, HU Bo, et al. Study on runoff pollution load of urban main road in Xi'an [J]. Journal of Safety and Environment, 2011, 11(4):129-132. (in Chinese))

(收稿日期:2018-01-16 编辑:彭桃英)

factors in Shanxi Province, China[J]. Advances in Climate Change Research, 2018, 14(1): 11-20. (in Chinese))

- [16] 吕振豫,穆建新. 基于 Copula 函数的流域内降雨丰枯遭遇研究[J]. 水资源保护, 2016, 32(6): 62-69. (LYU Zhenyu, MU Jianxin. Study on wetness-dryness encountering probability of basin precipitation based on Copula function[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(6): 62-69. (in Chinese))
- [17] 史念海. 黄土高原历史地理研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.

(收稿日期:2018-03-30 编辑:彭桃英)

中的应用现状及展望[J]. 地理科学进展, 2013(9): 1413-1422. (SANG Yanfang, WANG Zhonggen, LIU Changming. Applications of wavelet analysis to hydrology: status and prospects[J]. Progress in Geography, 2013(9): 1413-1422. (in Chinese)).

- [15] 刘健,林琳,陈学群,等. 黄河三角洲地区降水时序变化特征研究[J]. 水资源保护,2012,28(1):22-28. (LIU Jian, LIN Lin, CHEN Xuequn, et al. Characteristics of variation of precipitation time series in Yellow River Delta [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1): 22-28. (in Chinese))
- [16] 左其亭,纪耀芯,韩春辉,等. 基于 GIS 分析的水资源分布空间均衡计算方法及应用[J]. 水电能源科学,2018, 36(6):33-36. (ZUO Qiting, JI Yingxin, HAN Chunhui, et al. The spatial equilibrium calculation method and application in regional water resource distribution based on GIS analysis [J]. Water Resources and Power, 2018, 36 (6): 33-36. (in Chinese))

(收稿日期:2018-02-28 编辑:王 芳)