

杨孟豪,曹连海,夏帆,等.河南省许昌市降雨侵蚀力演变特征研究[J].江苏农业科学,2019,47(17):281-288.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.068

河南省许昌市降雨侵蚀力演变特征研究

杨孟豪¹,曹连海^{1,2},夏帆³,闫安¹,王诗星¹

(1.华北水利水电大学测绘与地理信息学院,河南郑州450046;2.南水北调中线水源地区水安全河南省协同创新中心,河南南阳473061;
3.华北水利水电大学水利学院,河南郑州450046)

摘要:利用许昌市13个降雨量观测点1956—2014年的月降雨量数据,结合线性回归、Mann-Kendall秩相关检验、滑动 t 检验、Morlet小波分析以及克里金空间插值等方法,研究许昌市多时间尺度降雨侵蚀力的演变特征。结果表明,近60年来许昌市降雨侵蚀力在全年、年内时间尺度上的变化趋势均不显著,全年、汛期、春季和夏季时间尺度上呈减少趋势,其余时间尺度上呈增加趋势;全年、汛期降雨侵蚀力的空间分布均呈现由东南向西北递减的趋势,非汛期降雨侵蚀力呈现由西南向东北递减的趋势;许昌市全年、春、夏、秋和冬季降雨侵蚀力分别在1964、1998、1999、1969和1962年发生了突变;许昌市年降雨侵蚀力存在14、22、3年的第1、第2、第3主周期变化,季降雨侵蚀力也同样存在多个时间尺度的周期变化规律。

关键词:降雨侵蚀力;Mann-Kendall秩相关检验;Morlet小波分析;演变特征;许昌市

中图分类号:S157.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)17-0281-07

我国是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一,土壤侵蚀面积高达294.91万 km^2 ,其中因降雨引起的水力侵蚀面积占全部侵蚀面积的比重更是高达43.85%^[1],土壤侵蚀的预防和治理刻不容缓。降雨侵蚀力作为反映降雨对土壤侵蚀潜在能力的指标,同时也是通用土壤侵蚀方程(USLE)^[2]、修正通用土壤侵蚀方程(RUSLE)^[3]和中国土壤侵蚀方程(CSLE)^[4]中的基本因子。因此,分析降雨侵蚀力演变特征,对于区域土壤侵蚀预测、预报以及水土保持措施的制定具有重要意义,也一直是相关学者研究的热点。如章文波等采用其提出的日雨量降雨侵蚀力计算模型分析了全国降雨侵蚀力的空间变化特征,认为我国的降雨侵蚀力与降雨的空间分布类似,呈现自西北向东南递增趋势^[5];刘斌涛等根据我国1960—2009年降雨资料分析了我国降雨侵蚀力的时空变化趋势^[6],得到的降雨侵蚀力空间变化特征与章文波等的研究结果^[5]一致,并识别出了我国降雨侵蚀力变化明显的区域;马良等基于江西省1957—2008年的降雨资料,对该省降雨侵蚀力的时空变化特征进行了分析,并识别出了该省水土流失的重点关注区^[7];戴海伦等研究了贵州省降雨侵蚀力的时空变化趋势,得出了该省降雨侵蚀力由南向北递减分布、降雨侵蚀力时间变化趋势不明显的结论^[8];刘春利等对延河流域降雨侵蚀力的时空变化展开了研究,认为该流域降雨侵蚀力与侵蚀性降雨空间分布一致,且降雨侵蚀力整体呈下降趋势^[9];赖成光等从不同时间尺度、不同视角展开了珠江流域降雨侵蚀力变化特征

研究,并取得了丰硕的研究成果^[10]。诸如此类的研究还有很多,相关研究在支撑降雨侵蚀力的深度解析和土壤侵蚀的防治上发挥着重要作用,但已有的研究多集中在全国、省域以及各个流域,市域尺度上的降雨侵蚀力演变特征研究还相对较少。

许昌市位于河南省中部,地处伏牛山余脉向豫东平原过渡带,属于北方土石山区,土壤侵蚀面积约占全市总面积的24.18%,但区域内有关土壤侵蚀的研究较少,尚未有针对许昌市市域尺度开展降雨侵蚀力相关的研究。鉴于此,本研究从多时间尺度出发,采用多种统计分析方法探讨许昌市降雨侵蚀力的变化趋势、突变情况以及周期变化规律,旨在全面掌握许昌市降雨侵蚀力的演变特征,为许昌市土壤侵蚀防治和水土保持规划提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

许昌市地处河南省中部,介于 $113^{\circ}03' \sim 114^{\circ}19' \text{E}$ 、 $33^{\circ}42' \sim 34^{\circ}24' \text{N}$ 之间,位于伏牛山余脉向豫东平原过渡带,地势由西北向东南倾斜,总面积为4996 km^2 ,山地丘陵区约占总面积的27.2%,平原区约占72.8%。许昌市地处南北气候过渡带,属于大陆性季风气候,热量资源丰富,无霜期长,全市多年平均降雨量为691.2mm,降雨量年际变化大,最大年降雨量为1068.1mm,最小年降雨量为430.6mm,降雨年内分配也极不均匀,其中6—9月降雨集中,占全年降雨量的62%以上,年际、年内多旱、涝等气象灾害。该市土壤类型主要为棕壤、褐土和潮土等,土壤侵蚀面积为1208 km^2 ,约占全市面积的24.18%。

1.2 研究数据

研究采用的数据是许昌水文水资源勘测局提供的多个站点1956—2014年逐月降雨量观测资料,所有数据均经过严格的质量检测。因降雨量观测起始年份的差异,且考虑到许昌

收稿日期:2018-08-06

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:152102210325);华北水利水电大学高层次人才项目(编号:4001/40430)。

作者简介:杨孟豪(1993—),男,河南襄城人,硕士研究生,主要从事水文水资源及土壤侵蚀研究。E-mail:1021426129@qq.com。

通信作者:曹连海,博士,教授,主要从事水文水资源及水土保持研究。E-mail:caolianhai@ncwu.edu.cn。

市降雨量观测点的迁移、撤销等问题,为了建立时间长度一致、观测稳定的降雨量序列,在综合考虑许昌市山地、丘陵和岗地、平原等地形区域分布差异的情况下,最终选取许昌市

13个降雨量观测点的月降雨量数据作为本研究的基础数据,降雨量观测点的空间分布情况如图1所示。

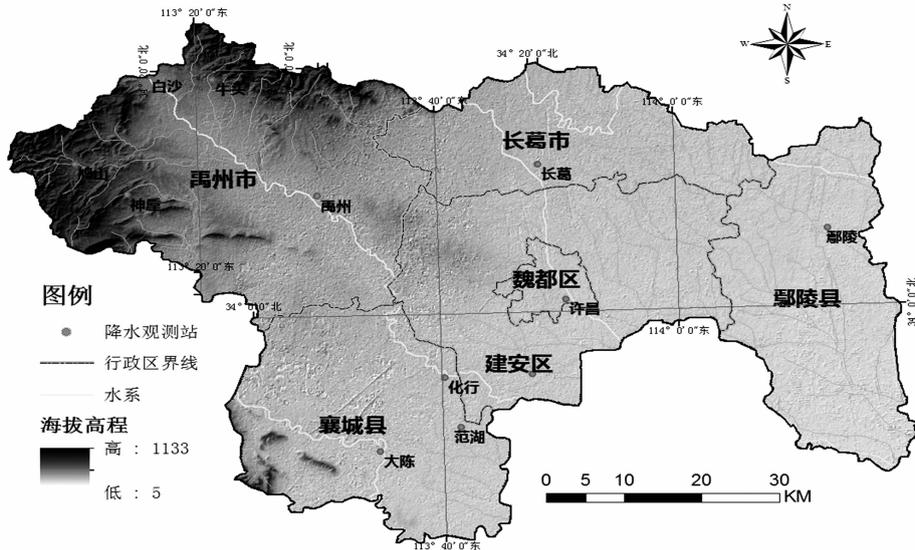


图1 许昌市降雨量观测点的空间分布

1.3 研究方法

1.3.1 降雨侵蚀力计算方法 考虑到资料获取的限制,本研究采用 Wischmeier 等提出的基于月平均降雨量和年平均降雨量求取降雨侵蚀力的经验公式^[11]:

$$R = \sum_{i=1}^{12} R_i = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \lg \frac{P_i}{P} - 0.8188)} \quad (1)$$

式中: R 为年降雨侵蚀力, $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; R_i 为第 i 月降雨侵蚀力, $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; P_i 为第 i 月平均降雨量, mm ; P 为年平均降雨量, mm 。

1.3.2 分析方法 本研究对降雨侵蚀力演变特征的分析主要包含变化趋势分析、突变检验分析、周期性分析。其中,采用线性回归^[12]、Mann-Kendall 秩相关检验法^[13-14](以下简称 M-K 法)对许昌市年际和年内降雨侵蚀力进行趋势分析和突变状况检验,并结合滑动 t 检验法^[12]剔除可能存在的伪突变时间点,确定符合实际的降雨侵蚀力突变情况,本研究中选定的显著性水平为 $\alpha = 0.05$;利用目前运用广泛的 Morlet 小波分析法^[12,15]研究许昌市降雨侵蚀力的周期性变化规律,提取降雨侵蚀力变化的主周期,揭示多时间尺度降雨侵蚀力变化的复杂结构;借助 ArcGIS 10.2 软件平台的地统计工具,利用克里金空间插值法生成连续分布的许昌市多年平均降雨侵蚀力空间分布图,揭示降雨侵蚀力的空间变化特征。其中,年内时间尺度划分标准如下:汛期(6—9月)、非汛期(10月至翌年5月);春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12月至翌年2月)。

2 结果与分析

2.1 降雨侵蚀力变化趋势分析

利用公式(1)计算许昌市降雨侵蚀力,进而通过线性回归法和 M-K 法对许昌市全年、汛期、非汛期和季节降雨侵蚀力进行趋势分析,结果如图2和表1所示。

由图2可知,许昌市的全年、汛期和非汛期降雨侵蚀力均呈现明显的波动变化趋势,其中全年、汛期的降雨侵蚀力分别以 16.11 、 $16.49 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot 10 \text{ 年})$ 的速率呈现减少趋势,非汛期的降雨侵蚀力以 $0.38 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot 10 \text{ 年})$ 的速率呈现微弱增加趋势,若不考虑趋势变化方向,发现许昌市不同时间尺度降雨侵蚀力的变化速率由大到小依次为汛期 > 全年 > 非汛期。结合 M-K 法的趋势检验结果(表1)发现,无论是在变化趋势上还是在变化速率上,M-K 法的检验结果与线性回归法得到的结果一致,即全年、汛期的降雨侵蚀力呈现不显著的减少趋势,未通过 $\alpha = 0.05$ 显著水平检验,其中汛期降雨侵蚀力减少趋势 (-0.75) 较年降雨侵蚀力 (-0.63) 明显,非汛期降雨侵蚀力呈现不显著的增加趋势,M-K 值的绝对值相比全年 ($| -0.63 |$)、汛期 ($| -0.75 |$) 更小。

从降雨侵蚀力的季节分配(表1)来看,夏季是许昌市降雨侵蚀力最大的季节,冬季是降雨侵蚀力最小的季节;综合季节降雨侵蚀力的气候倾向率和 M-K 法的检验结果来看,春季和夏季的降雨侵蚀力呈现减少趋势,秋季和冬季的降雨侵蚀力呈现增加趋势,但降雨侵蚀力的增减趋势均不显著。4个季节相比,夏季的变化趋势更加明显,减少速率高达 $18.77 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot 10 \text{ 年})$,在全年、年内时间尺度上的变化速率最高,其他季节的变化趋势很微弱。

为了解降雨侵蚀力的空间变化趋势,基于 ArcGIS 10.2 软件 Geostatistical Analyst 工具中的克里金空间插值法,对许昌市各个站点全年、年内时间尺度的多年平均降雨侵蚀力进行插值,绘制出许昌市降雨侵蚀力空间变分布图(图略),发现许昌市多年平均降雨侵蚀力在全年、年内时间尺度上的空间分布均存在着明显的地区差异。由图3可知,以许昌市多年平均全年、汛期和非汛期为例,许昌市年降雨侵蚀力和汛期降雨侵蚀力在空间分布特征上类似,呈现自东南往西北方向

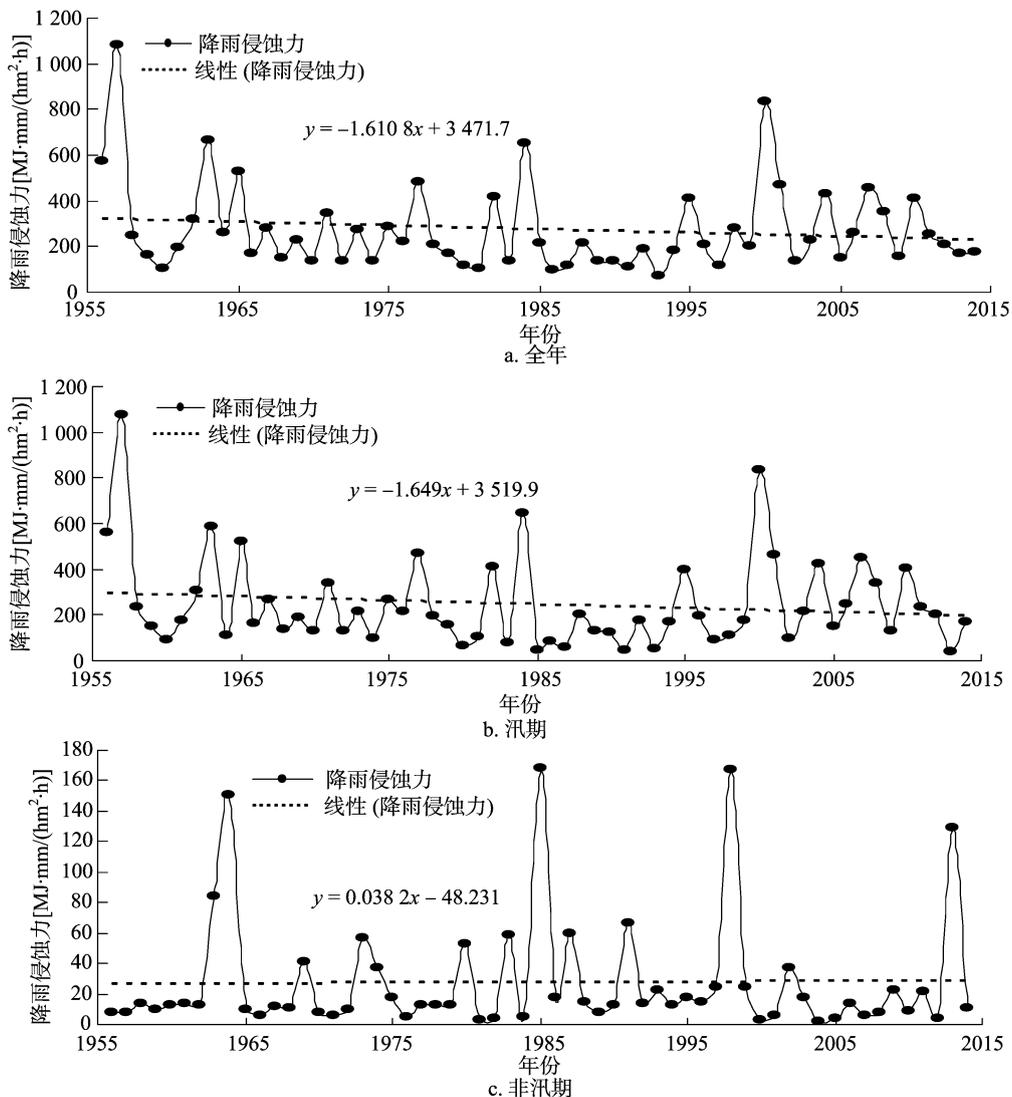


图2 近60年许昌市降雨侵蚀力变化曲线

表1 近60年许昌市降雨侵蚀力的变化情况

时间尺度	平均值 [MJ·mm/(hm ² ·h)]	气候倾向率 [MJ·mm/(hm ² ·h·10年)]	M-K值	变化趋势	是否显著
全年	274.34	-16.11	-0.63	减少	否
汛期	246.71	-16.49	-0.75	减少	否
非汛期	27.62	0.38	0.20	增加	否
春季	21.58	-0.31	-0.27	减少	否
夏季	224.17	-18.77	-1.01	减少	否
秋季	28.19	2.52	0.76	增加	否
冬季	0.40	0.45	0.58	增加	否

降雨侵蚀力递减的分布格局,这是因为许昌市90%左右的年降雨侵蚀力[236.87~310.02 MJ·mm/(hm²·h)]都集中在汛期[213.58~275.76 MJ·mm/(hm²·h)],因此两者的空间分布比较相似;而非汛期的空间分布特征则存在一定的变异,整体呈现由西南向东北递减的分布格局,分布范围介于20.67~34.26 MJ·mm/(hm²·h)之间,降雨侵蚀力小且数值相对集中。

综上所述,许昌市全年降雨侵蚀力的绝大部分都集中在汛期,两者无论是在时间变化上还是空间变化上都存在高度

相似性,同时研究全年、汛期降雨侵蚀力演变特征意义不大,因此,以下研究暂不考虑降雨侵蚀力在汛期、非汛期时间尺度上的演变特征。

2.2 降雨侵蚀力突变特征分析

通过M-K法对全年、春、夏、秋和冬季的降雨侵蚀力时间序列进行突变检验,并配以滑动t检验来进行伪突变点的剔除,结果如图4所示。

2.2.1 年降雨侵蚀力突变 年降雨侵蚀力的正序列UFk曲线在1957—2014年整体呈现下降趋势,在1987—1999年的

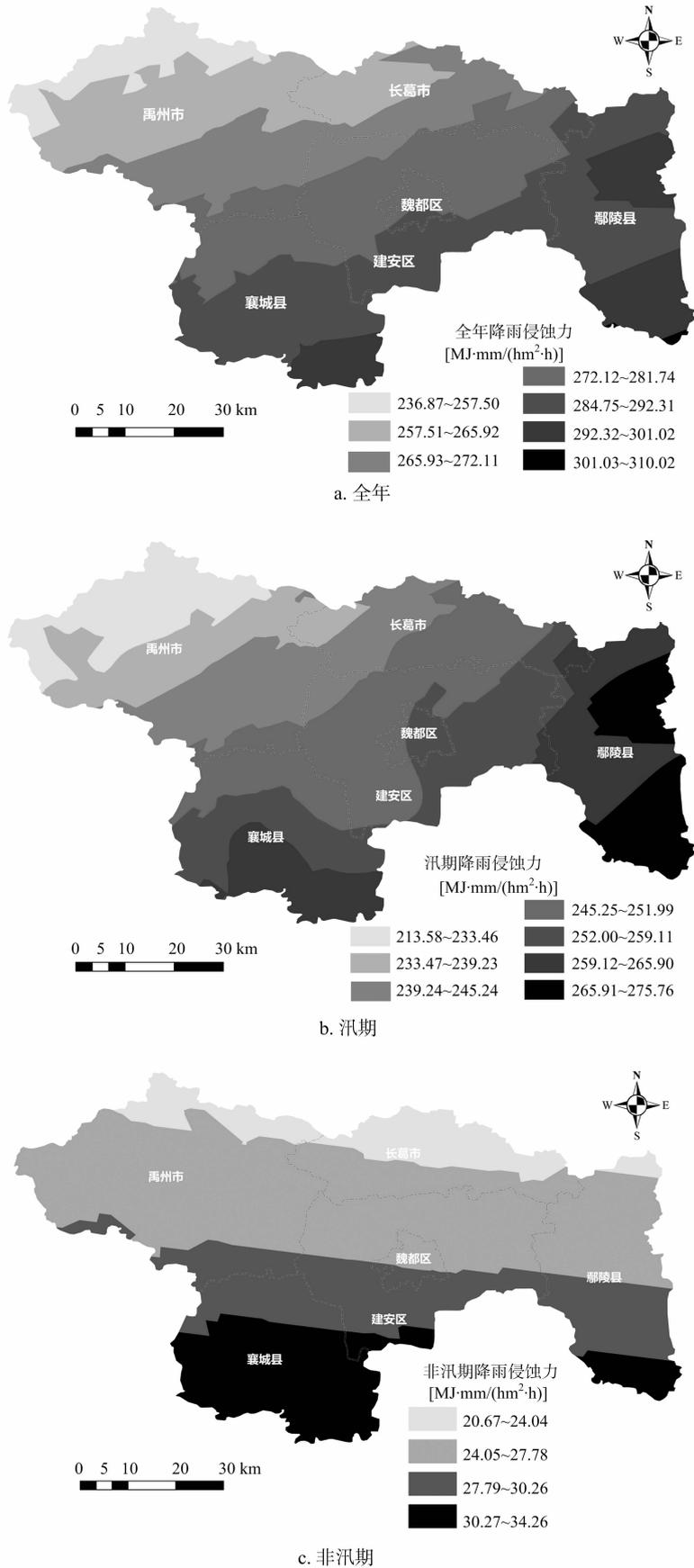


图3 许昌市多年平均降雨侵蚀力的空间分布

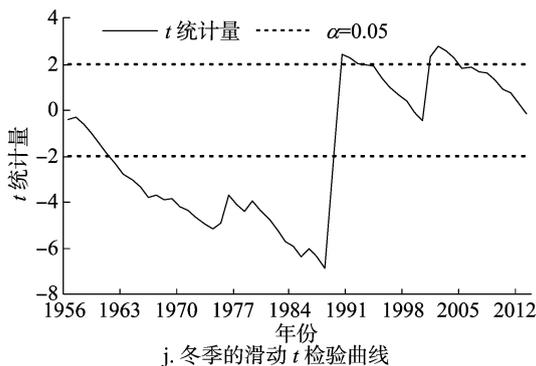
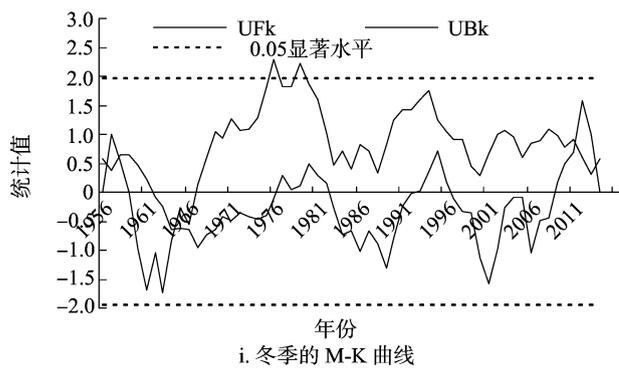
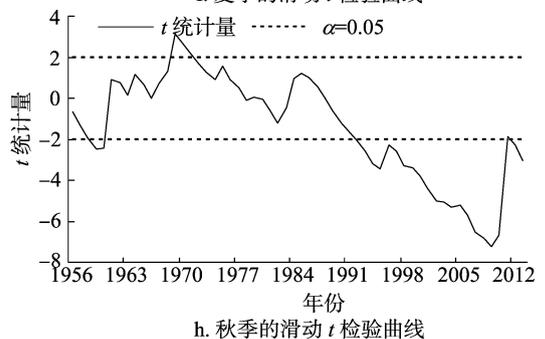
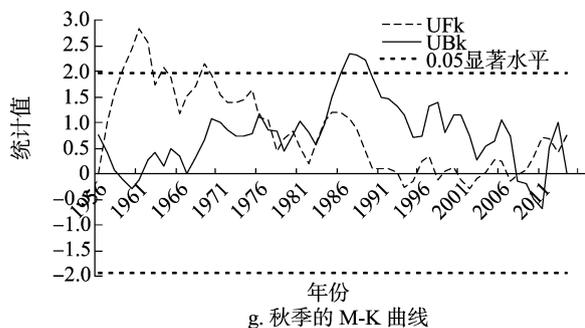
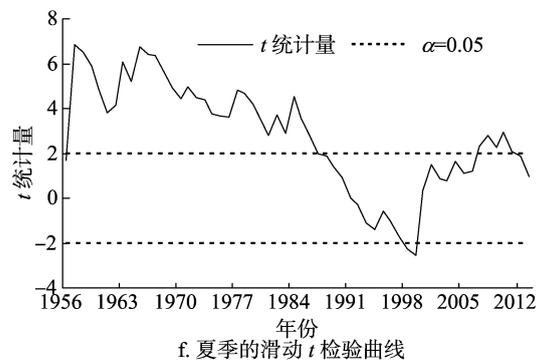
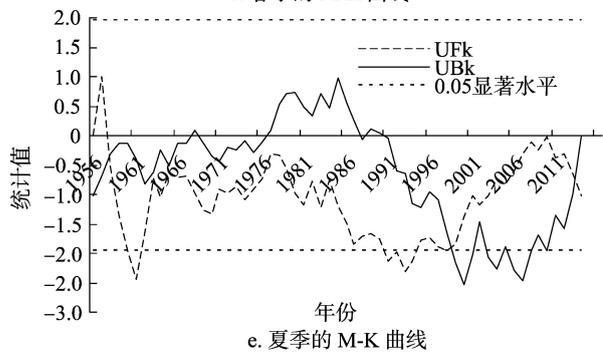
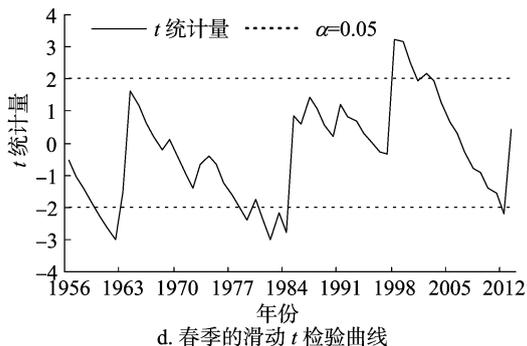
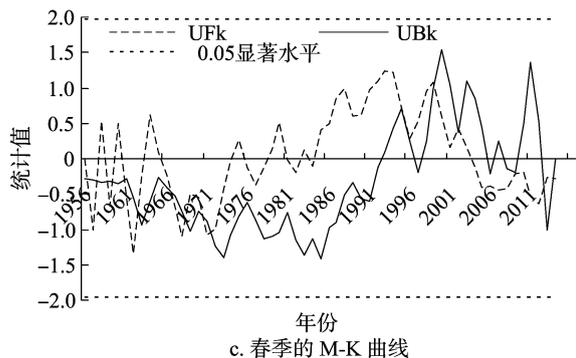
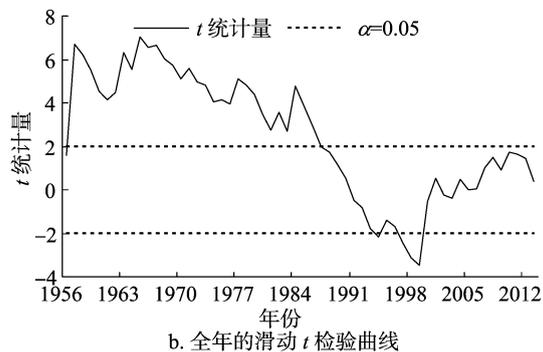
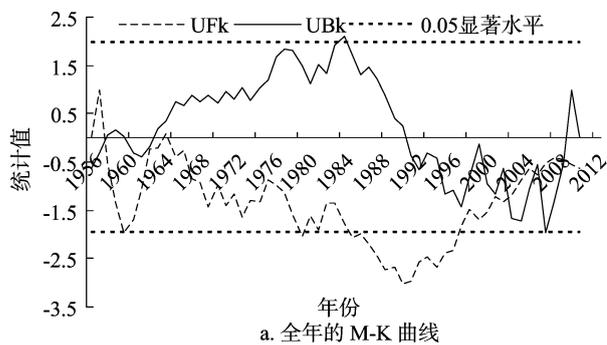


图4 许昌市全年、季降雨侵蚀力 M-K 曲线和滑动 t 检验曲线

下降趋势超过了 $\alpha = 0.05$ 显著水平线,并在 1957—1958 年、1962—1964 年、2005—2006 年、2008—2013 年与 UBk 曲线在显著水平线内多次相交,表明这段时间的年降雨侵蚀力发生了突变,但若将这些点全部作为突变点显然不合适。再根据滑动 t 检验剔除可能存在的伪突变点,确定年降雨侵蚀力在 1964 年发生了突变。

2.2.2 季降雨侵蚀力突变 (1)春季。春季的降雨侵蚀力 Ufk 和 UBk 曲线一直处于 $\alpha = 0.05$ 显著水平线之间,说明其变化不显著。Ufk 曲线在 1985—2013 年 > 0 ,说明这段时间春季降雨侵蚀力增加,而其他时间则处于“增加—减少”的波动变化中,并在研究期内频繁与 UBk 曲线在显著水平线内相交。再配以滑动 t 检验法来分析,确定许昌市春季降雨侵蚀力的突变年份为 1998 年。(2)夏季。夏季降雨侵蚀力 Ufk 曲线与年降雨侵蚀力的 Ufk 曲线相似,整体 < 0 ,表明夏季降雨侵蚀力也呈现为减少的趋势,其中在 1958 年前后、1999 年前后、2013 年前后与 UBk 曲线在 2 条显著水平线之间 3 次相交,根据滑动 t 检验法最终确定夏季降雨侵蚀力在 1999 年发生了突变。(3)秋季。秋季降雨侵蚀力 Ufk 曲线总体变化比较平缓,但整体呈现降雨侵蚀力增加的趋势,1970 年以后,增加趋势越来越不明显,在 2 条显著水平线之间于 1957 年前后、1976—1985 年以及最近几年与 UBk 曲线多次相交,表明这些时期的降雨侵蚀力可能发生了突变,滑动 t 检验结果显示,其在 1969 年和 1992 年发生了突变,显然,这是 M-K 法和滑动 t 检验法方法自身的缺陷造成的误差。结合降雨侵蚀力数据制作累计距平图发现,秋季降雨侵蚀力的累积峰值在 1969 年。综合以上分析,最终确定 1969 年为秋季降雨侵蚀力的突变年份。(4)冬季。由冬季降雨侵蚀力 Ufk 曲线看出,降雨侵蚀力在 1967 年之前以减少为主,但是之后,降雨侵蚀力一直表现为增加趋势,并在 1958 年前后、1961—1965 年以及最近几年与 UBk 曲线在 2 条显著水平线之间出现交点。再用滑动 t 检验法分析得出,许昌市冬季降雨侵蚀力发生突变的年份为 1962 年。

2.3 降雨侵蚀力的周期变化特征分析

借助 MATLAB 7.0 软件操作平台,利用 Morlet 小波分析法对许昌市近 60 年的全年、春、夏、秋和冬季降雨侵蚀力的周期性变化特征进行分析,如图 5 所示,其中正值区域代表降雨侵蚀力偏高,负值区域表明降雨侵蚀力偏低。

2.3.1 年降雨侵蚀力周期 许昌市年降雨侵蚀力存在着不同时间尺度的变化周期,年降雨侵蚀力的小波系数实部等值线在 3、14、22 年这 3 个时间尺度上比较密集,即许昌市年降雨侵蚀力的整体变化过程存在着 3 个显著的周期变化特征。结合小波方差曲线,按周期振荡程度由大到小分别对应 14、22、3 年的时间尺度,说明许昌市年降雨侵蚀力周期变化的第 1、第 2、第 3 主周期分别为 14、22、3 年的时间尺度,其中 14 年时间尺度的周期变化对许昌市降雨侵蚀力序列的方差贡献最大,即近 60 年来许昌市年降雨侵蚀力存在着 14 年的强周期变化特征。结合 14 年的强显著周期特征发现,在 2014 年处于降雨侵蚀力负相位未闭合状态,可以预测在 2014 年之后的一段时期内,许昌市的年降雨侵蚀力仍将处于相对偏低时期。

2.3.2 季降雨侵蚀力周期 (1)春季。春季降雨侵蚀力的周期变化特征明显,也主要存在 3 个明显的时间尺度,按周期

振荡程度由大到小排列分别为 20、9、3 年时间尺度,即 20 年时间尺度为第 1 强显著主周期,9、3 年时间尺度分别为第 2、第 3 主周期。从 20 年第 1 主周期和 9 年第 2 主周期来看,许昌市春季降雨侵蚀力小波实部在 2014 年均处于正相位未闭合状态,以此推测许昌市春季降雨侵蚀力在 2014 年之后仍将处于相对偏高时期。(2)夏季。夏季降雨侵蚀力的周期变化特征与全年降雨侵蚀力的周期变化特征整体相似,同样存在着 14、22、3 年时间尺度的第 1、第 2、第 3 主周期,夏季降雨侵蚀力在 2014 年之后也仍将处于相对偏低的时期,这是因为许昌市全年的降雨侵蚀力在夏季比较集中,两者在变化上具有一定程度的同步性。(3)秋季。秋季降雨侵蚀力的变化周期存在 5、11、25 年 3 个时间尺度,结合小波方差曲线来看,最大峰值对应的时间尺度为 11 年,即为许昌市秋季降雨侵蚀力变化的第 1 主周期,第 2、第 3 峰值对应的时间尺度分别为 25、5 年,依次为秋季降雨侵蚀力变化的第 2、第 3 主周期。(4)冬季。冬季降雨侵蚀力占全年降雨侵蚀力的比重很小,主要存在 6、9、18 年 3 个时间尺度的变化周期,根据周期振荡程度由大到小排列分别为 18、9、6 年时间尺度,即分别对应着许昌市冬季降雨侵蚀力的第 1、第 2、第 3 主周期。

3 结论

本研究利用许昌市 1956—2014 年的降雨量数据,开展了许昌市不同时间尺度的降雨侵蚀力变化趋势、突变特征及周期变化规律的研究,得到的主要结论如下:

(1)许昌市近 60 年来降雨侵蚀力在年际、年内变化趋势均不显著,在全年、汛期、春季和夏季时间尺度上分别以 $16.11、16.49、0.31、18.77 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot 10 \text{ 年})$ 的速率不显著减少,在非汛期、秋季、冬季分别以 $0.38、2.52、0.45 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot 10 \text{ 年})$ 的速率不显著增加;多年平均降雨侵蚀力的空间变化特征明显,全年、汛期降雨侵蚀力都表现出由东南往西北方向递减的趋势,非汛期降雨侵蚀力较小,整体呈现由西南向东北递减的趋势。

(2)M-K 法联合滑动 t 检验法突变检验表明,许昌市年降雨侵蚀力在 1964 年出现突变现象;春、夏、秋和冬季降雨侵蚀力也同样存在着突变现象,其中,春季降雨侵蚀力的突变时间为 1998 年,夏季降雨侵蚀力的突变时间为 1999 年,秋季和冬季降雨侵蚀力发生突变的年份分别为 1969 年和 1962 年。

(3)许昌市年降雨侵蚀力存在 14、22、3 年的第 1、第 2、第 3 主周期变化,在 2014 年后仍将处于相对偏低时期;各个季节降雨侵蚀力的周期特征差异较大,其中春季降雨侵蚀力存在 20、9、3 年的第 1、第 2、第 3 主周期变化,夏季周期变化与年降雨侵蚀力一致,秋季存在 11、25、5 年的第 1、第 2、第 3 主周期变化,冬季降雨侵蚀力存在 18、9、6 年的第 1、第 2、第 3 主周期变化。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 第一次全国水利普查水土保持情况公报[J]. 中国水土保持, 2013(10): 2-3, 11.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains: a guide to conservation planning [M]// Agriculture Handbook. Washington D C: USDA, 1978: 17-34.

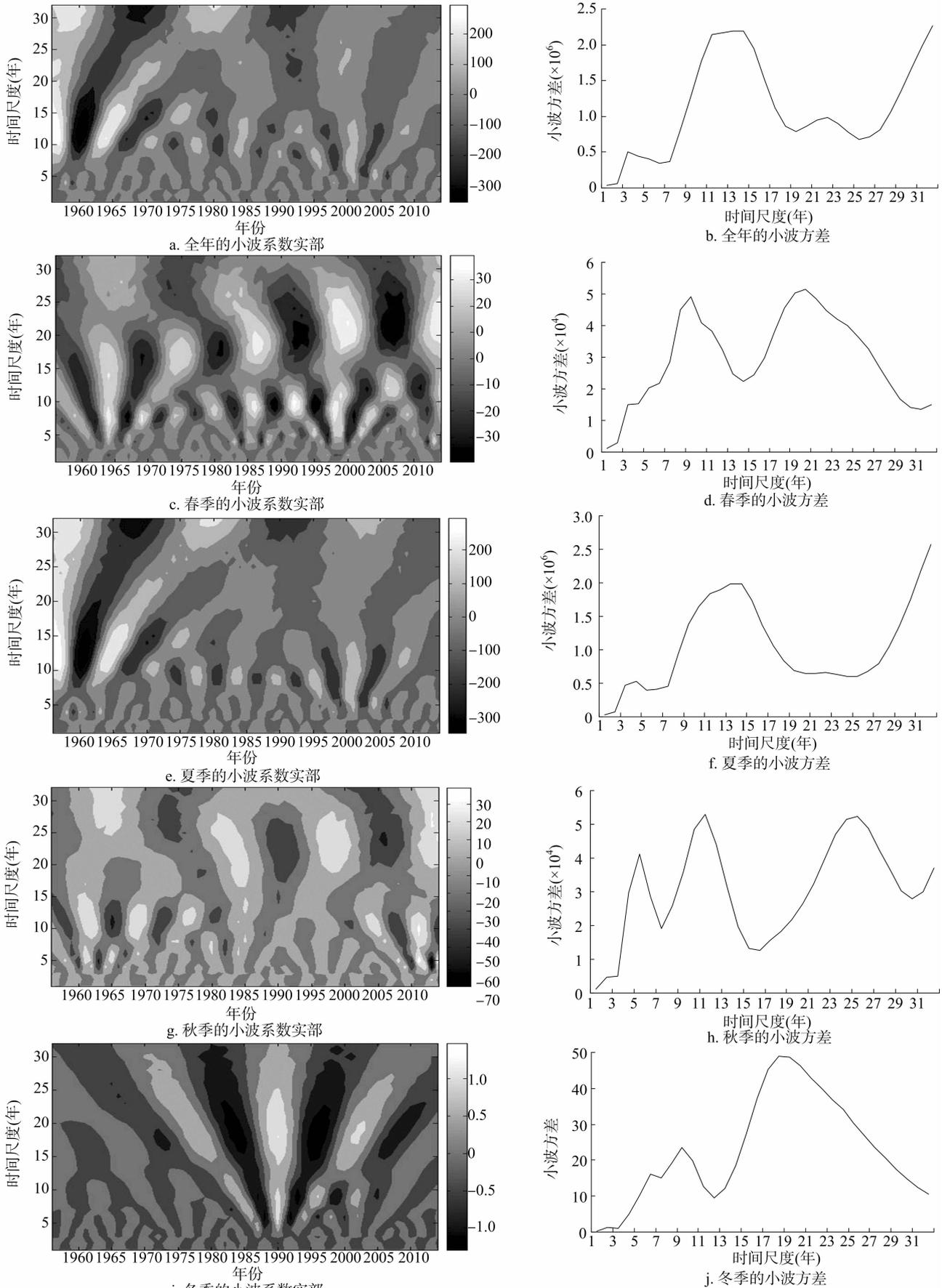


图5 许昌市年、季降雨侵蚀力小波系数实部和小波方差

袁春营,孟阳,吴佩佩,等.一株高产淀粉酶放线菌的筛选鉴定及产酶条件优化[J].江苏农业科学,2019,47(17):288-291.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.069

一株高产淀粉酶放线菌的筛选鉴定及产酶条件优化

袁春营,孟阳,吴佩佩,崔青曼

(天津市海洋环境保护与修复技术工程中心/天津市海洋资源与化学重点实验室/天津科技大学海洋与环境学院,天津 300457)

摘要:利用透明圈法和摇瓶发酵法从对虾养殖池塘底泥中筛选出1株淀粉酶高产菌株,扫描电子显微镜观察菌株的亚显微形态,生化方法测定了菌株的生理生化指标,分子生物学方法分析了菌株的16S rRNA序列,同时响应面法优化了该菌株的产酶条件。结果表明,根据菌株的亚显微形态、生理生化特征和16S rRNA序列比对,确定该菌株为卢森坦拟诺卡氏菌(*Nocardiopsis lucentensis*);该菌株的最适产酶条件为初始pH值8.8、盐度60‰、温度40℃。筛选到的淀粉酶高产菌株,能够为工业生产提供耐盐碱淀粉酶储备菌株。

关键词:淀粉酶;卢森坦拟诺卡氏菌;亚显微形态;生理生化特征;RNA序列对比;产酶条件;响应法

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)17-0288-04

淀粉酶是水解淀粉和糖原的一类酶的统称,其产量约占工业酶总产量的85%以上。淀粉酶在食品、焙烤、发酵、纺织、轻工业、畜牧业生产及医药产业中得到广泛应用^[1-5]。但是在工业化生产中高盐、碱性等严苛条件制约着淀粉酶的应用。在此条件下,淀粉酶的稳定性下降,酶活力大幅度损失或者完全丧失,因此开发具有高稳定性的生物酶,使其能够适应高盐、碱性等工业环境,成为近年来亟待解决的重要难题。嗜盐细菌对外界自然环境的盐度具有极强的适应性,是一类重要的极端微生物资源。嗜盐菌可以在较高的盐度环境中生长,其最适盐浓度一般为0.5%~36.0%^[6]。为了适应高盐度环境,这类细菌产生的各种酶往往具有一些独特的生物学特性,如耐盐、耐高或低pH值、耐碱等。因此,筛选高效耐盐碱淀粉酶产生菌株,并将其应用于工业化生产,具有重要的科

学意义与实践价值。

1 材料与与方法

1.1 试验材料

试验菌株从天津市汉沽南美白对虾养殖池塘底泥中筛选得到。

1.1.1 培养基 改良察氏培养基:NaNO₃ 3.00 g、K₂HPO₄ 1.00 g、MgSO₄ 0.50 g、KCl 0.50 g、FeSO₄ 0.01 g、可溶性淀粉30.00 g、蒸馏水1.00 L,pH值7.2~7.4,固体培养基添加琼脂粉1.8%,121℃高压蒸汽灭菌20 min。改良LB培养基:蛋白胨10 g、NaCl 15 g、可溶性淀粉10 g、蒸馏水1 L,pH值7.2~7.4,固体培养基添加琼脂粉1.8%,121℃高压蒸汽灭菌20 min。

DNA提取试剂盒,购自天根生化科技(北京)有限公司;化学试剂均为分析纯,购自北京索来宝生物科技有限公司。

1.1.2 试验仪器 立式双层小容量恒温培养摇床(上海新苗医疗器械制造有限公司);全温型多振幅轨道摇床(上海智城分析仪器制造有限公司);立式蒸汽灭菌器(上海博迅实业

收稿日期:2018-05-17

基金项目:天津市现代农业产业技术体系创新团队项目(编号:ITFRS2017006)。

作者简介:袁春营(1965—),男,河北保定人,教授,主要从事海洋生物资源开发利用技术研究。E-mail:ycy201388@163.com。

[3] Renard K G, Ferreira V A. RUSLE model description and database sensitivity[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22(3): 458-466.

[4] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An empirical soil loss equation[C]// *Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference*, Beijing: Qingshua University Press, 2002: 21-25.

[5] 章文波,谢云,刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. *山地学报*, 2003, 21(1): 33-40.

[6] 刘斌涛,陶和平,宋春风,等. 1960—2009年中国降雨侵蚀力的时空变化趋势[J]. *地理研究*, 2013, 32(2): 245-256.

[7] 马良,姜广辉,左长清,等. 江西省50余年来降雨侵蚀力变化的时空分布特征[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(10): 61-68.

[8] 戴海伦,苑爽,张科利,等. 贵州省降雨侵蚀力时空变化特征研究[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(1): 37-41.

[9] 刘春利,杨勤科,谢红霞. 延河流域降雨侵蚀力时空分布特征[J]. *环境科学*, 2010, 31(4): 850-857.

[10] 赖成光,陈晓宏,王兆礼,等. 珠江流域1960—2012年降雨侵蚀力时空变化特征[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(8): 159-167.

[11] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: a guide to conservation planning[M]. *USDA Agricultural Handbook*, 1965: 282.

[12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2007: 43-47.

[13] Huang J, Zhang J C, Zhang Z X, et al. Spatial and temporal variations in rainfall erosivity during 1960—2005 in the Yangtze River basin[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2013, 27(2): 337-351.

[14] 奚圆圆,黄晓荣,李晶晶. 金沙江流域降水量变化特征分析[J]. *人民长江*, 2017, 48(23): 50-55, 65.

[15] 王若晨. 丹江口水库入出库径流多时间尺度变化特征分析[J]. *人民长江*, 2016, 47(22): 47-50.