

宝鸡市生产建设项目降雨侵蚀力算式及应用研究

俱战省^{1,2,3}, 张一澜⁴, 周旗^{1,2,3}

(1. 宝鸡文理学院 地理与环境学院, 陕西 宝鸡 721013; 2. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013; 3. 宝鸡市水土保持学会, 陕西 宝鸡 721000; 4. 四川省生态环境监测总站, 四川 成都 610014)

摘要: 加强生产建设项目水土流失防护是新时代水利部门工作的重点。利用 2016–2018 年宝鸡市周边 30 个气象站点日降雨数据, 基于《生产建设项目土壤流失量测算导则》给出的 R_r 、 R_m 和 R_n 3 种降雨侵蚀力算式, 分别评价不同算式的计算精度并给出推荐次序, 在此基础上, 分析宝鸡市生产建设项目降雨侵蚀力时空分布特征。结果表明: 水土保持方案编制单位应优先选择 R_n 算式, 其次是 R_r 算式, 不宜使用 R_m 算式; 利用本研究提出的 $R_n - R_r$ 混合算式计算得到了年降雨侵蚀力等值线图 and 查找表, 可分别满足线型和点型生产建设项目的需求; 2016–2018 年宝鸡市年降雨侵蚀力值在 $887.94 \sim 4\,276.88 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 之间变化, 且均从北向南逐渐增大; 宝鸡市降雨侵蚀力存在两个高值区和两个低值区。本研究成果可为宝鸡市乃至关中天水经济区水土保持方案编制提供科学依据。

关键词: 生产建设项目; 水土保持方案; 降雨侵蚀力; 算式; 宝鸡市

中图分类号: TV131.4; S157

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)01-0082-07

Research and application of rainfall erosivity equations for the production and construction projects in Baoji City

JU Zhansheng^{1,2,3}, ZHANG Yilan⁴, ZHOU Qi^{1,2,3}

(1. College of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Disasters Monitoring & Mechanism Simulation, Baoji 721013, China; 3. Baoji Society of Soil and Water Conservation, Baoji 721000, China; 4. Sichuan Ecological Environment Monitoring Station, Chengdu 610014, China)

Abstract: Soil erosion control for production and construction projects has become the focus of water conservancy entities in new era. Based on the daily rainfall data of 30 weather stations in Baoji and its neighbouring regions from 2016 to 2018, we calculated rainfall erosivity using R_r , R_m and R_n equations, which were introduced from *Guidelines for Measurement and Estimation of Soil Erosion in Production and Construction Projects*. Then the recommending order of the equations was given on the basis of the prediction precision, and the temporal and spatial distribution characteristics of rainfall erosivity of Baoji production and construction projects was analyzed. Results showed that R_n equation was recommended as the first option in the design of water and soil conservation schemes, whereas R_m equation was the least favorable, thus R_r fell in between R_n and R_m . The combination equation of $R_n - R_r$ was then proposed to obtain the contour line and lookup table of rainfall erosivity, in order to meet the demands of the production and construction projects of linear and point types respectively. Rainfall erosivity during 2016–2018 ranged between 887.94 and $4\,276.88 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$, which showed an increasing trend from north to south in Baoji City. There were two high value zones and two low value zones of rainfall erosivity distributing in Baoji City. This study can provide some reference for the design of water and soil conservation scheme for Baoji and Guanzhong–Tianshui economic zone.

Key words: production and construction project; soil and water conservation scheme; rainfall erosivity; equation; Baoji City

收稿日期: 2020-01-19; 修回日期: 2020-07-06

基金项目: 陕西省教育厅 2019 年度专项科学研究计划项目 (19JK0041); 宝鸡文理学院校级重点项目 (ZK16063); 国家自然科学基金项目 (41701032, 41771215); 宝鸡市科学技术协会 2020 年度调研课题 (KXDYTM202016)

作者简介: 俱战省 (1985-), 男, 陕西咸阳市人, 博士, 讲师, 研究方向为水土保持与 3S 技术。

1 研究背景

2018 年我国水土流失面积为 273.69 万 km^2 , 占全国国土面积(不含港澳台地区)的 28.6%, 且主要集中在西部地区, 其水土流失面积占全国水土流失总面积的 83.7%^[1]。同时, 国家对西部地区的投资力度持续增强, 生产建设项目(如公路、铁路、城镇建设、农林开发和冶金化工等)造成的人为水土流失问题十分突出。水土保持方案是生产建设项目人为水土流失预防、治理及监管的重要基础^[2-3]。虽然 1996-2016 年我国西部地区批复的水土保持方案数量最多, 占全国水土保持方案批复数量的 41%^[4], 但是方案编制质量参差不齐。生产建设项目水土流失量预测的准确性是影响方案编制质量的重要因素, 依据准确的预测结果可以给水土流失防治和监测提供有价值的指导意见。

2018 年 10 月 23 日水利部发布了《生产建设项目土壤流失量测算导则》(SL 773-2018)(以下简称《导则》), 并定于 2019 年 1 月 23 日开始实施^[5]。该《导则》基于中国土壤流失方程预测生产建设项目土壤流失量, 在实际工作中, 笔者发现许多水土保持方案编制单位不重视气象数据的收集与分析, 束缚了降雨侵蚀力算式的实践应用; 另外, 虽然《导则》中有基于日、月和年降雨资料的降雨侵蚀力计算公式, 但是哪一个公式可以优先使用, 还有待进一步探讨。

降雨侵蚀力是衡量降雨导致土壤侵蚀的潜在能力的指标^[6]。基于长时间序列降雨资料估算在全国、区域或流域降雨侵蚀力的研究成果非常丰富。如刘斌涛等^[7]利用中国 590 个气象站逐日降雨资料研究全国 1960-2009 年降雨侵蚀力的时空变化趋势; 操玥等^[8]基于逐月降雨资料, 计算中国西南地区 1901-2016 年的降雨侵蚀力; 邵祎婷等^[9]采用秦巴山区及周边地区 63 个气象站 1961-2016 年的逐日降雨量数据, 分析了秦巴山区降雨侵蚀力的时空变化特征; 范俊甫等^[10]对黄河流域近 36 年的降雨侵蚀力时空变化进行了探讨; 王万忠等^[11]、殷水清等^[12]和芦鑫等^[13]也有大量的研究成果。已有工作多以长时间、大范围尺度开展研究, 然而生产建设项目建设周期短、土石方挖填量大、弃渣土堆积体多^[14-15], 如何计算适用于生产建设项目的降雨侵蚀力的研究鲜见报道。综上所述, 本研究主要解决两个问题: (1) 对于《导则》中给出的降雨侵蚀力算式, 水土保持方案编制单位优先选择哪一个? (2) “十

三五”以来宝鸡(三区九县)生产建设项目降雨侵蚀力的时空分布特征是什么?

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

陕西宝鸡是关中平原城市群重要节点城市、关中-天水经济区副中心城市。位于我国西部地区, 下辖 3 区(渭滨区、金台区和陈仓区)9 县, 东西长 156.6 km、南北宽 160.6 km, 总面积 $1.81 \times 10^4 \text{ km}^2$, 全市水土流失面积 12 060.8 km^2 ^[16]。东连咸阳和杨凌示范区, 南接汉中市, 西北与甘肃省的天水市和平凉市毗邻, 常住人口 377.1×10^4 人(2018 年末)。宝鸡属于暖温带半干旱半湿润的大陆性季风气候, 多年平均气温和平均降水量分别为 13.2 $^{\circ}\text{C}$ 和 650.8 mm。境内海拔高度相差高达 3 000 m 以上, 山地丘陵占总面积的 82.5%。

“十三五”以来, 宝鸡市持续实施项目带动战略, 但在工业、农业、文化旅游、现代物流、交通体系、基础设施、社会民生和生态环保八大类项目实施过程中, 容易造成较严重的人为水土流失, 给水土资源利用、城镇生态环境保护工作带来了较大压力。

2.2 数据来源

本研究选取了 2016-2018 年宝鸡境内 11 个气象站以及其周边地区 19 个气象站的逐日降水量数据, 各气象站分布见图 1。由于宝鸡市 3 区 9 县中仅金台区无气象站点, 所以宝鸡市气象站数据为渭滨区和金台区的降水数据。以上共 30 个气象站数据来源于中国气象科学数据共享服务网平台(<http://data.cma.cn/>); 宝鸡境内的生产建设项目数据来自宝鸡市水土保持工作站。

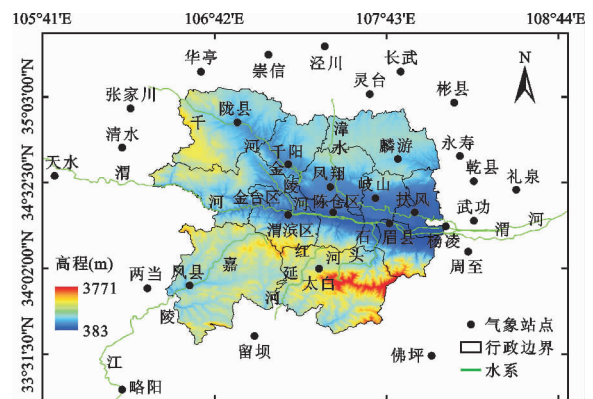


图 1 宝鸡市及其周边气象观测站点分布

本文降雨数据虽然年限较短(3 a), 但具有一定的代表性和典型性: (1) 宝鸡市长时间序列(50 a 左

右)年平均降水量和年平均侵蚀性降雨量分别为 650.8 mm 和 366.4 mm^[17-18],2016-2018 年宝鸡市年均降水量和年均侵蚀性降雨量分别为 623.6 mm 和 358.6 mm,所选取的短时间序列数值接近长时间序列平均数值,可间接体现数据的时序完整性,具有代表性;(2)短时间序列与生产建设工期基本吻合,且 2016、2017 和 2018 年降水量数据分别代表枯水年、丰水年和平水年,更能客观地反映生产建设项目需求,时段选择具有典型性。

2.3 研究方法

2.3.1 降雨侵蚀力计算方法 本研究采用《导则》中给出的 3 种降雨侵蚀力计算方法,具体如下^[19]:

(1)基于日降雨资料的降雨侵蚀力计算方法,记为 R_r 算式:

$$R_r = \alpha(P_r)^\beta \quad (1)$$

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891} \quad (2)$$

$$\beta = 0.836 + 18.144P_{d12}^{-1} + 24.455P_{y12}^{-1} \quad (3)$$

式中: R_r 为第 r 日的降雨侵蚀力因子, $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; P_r 为第 r 日的日降雨量, mm , 需单日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$, 否则按 0 计; α 、 β 为计算降雨侵蚀因子统计系数; P_{d12}^{-1} 为日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的日均雨量, mm ; P_{y12}^{-1} 为日降雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的年均雨量, mm 。

(2)基于月降雨资料的降雨侵蚀力计算方法,记为 R_m 算式:

$$R_m = 0.183P_m^{1.996} \quad (4)$$

式中: R_m 为第 m 月的降雨侵蚀力因子, $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; P_m 为第 m 月的降雨量, mm 。

(3)基于年降雨资料的降雨侵蚀力计算方法,记为 R_n 算式:

$$R_n = 0.053P_n^{1.655} \quad (5)$$

式中: R_n 为年降雨侵蚀力因子, $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; P_n 为年降雨量, mm 。

按公式(1)、(2)和(3)计算逐日降雨侵蚀力因子,累加后得到年降雨侵蚀力因子 R_1 ;按公式(4)计算逐月降雨侵蚀力因子,累加后得到年降雨侵蚀力因子 R_2 ;按公式(5)可直接计算得到年降雨侵蚀力因子 R_3 。

2.3.2 相对偏差系数 本研究采用相对偏差系数 (RE_r) 来评价 3 种降雨侵蚀力算式计算结果的精度,计算公式为:

$$RE_r = \left(\frac{\sum R_{ij}}{3} - R_c \right) \times 100/R_c \quad (6)$$

式中: R_{ij} 为某种降雨侵蚀力算式计算的某年降雨侵蚀力, $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; i 为 1,2,3; j 为 2016、2017 和 2018 年; R_c 为《导则》附录 C 给出的研究区县级行政单元多年平均年降雨侵蚀力值, $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。

2.3.3 GIS 空间插值 利用宝鸡及周边地区共 30 个气象站数据所计算的降雨侵蚀力值,基于 ArcGIS10.4 平台的 Kriging 插值(克里金插值)方法绘制宝鸡降雨侵蚀力空间分布图。克里金插值法是目前地统计学应用最广泛、最优内插值方法,其核心是根据样本点来确定某一变量随空间位置而变化的规律,以变异函数去推算未知点的属性值,在许多研究中已证明采用该函数插值精度可靠^[20]。

3 结果与分析

3.1 不同降雨侵蚀力算式推荐次序分析

3.1.1 不同降雨侵蚀力算式的结果比较 以宝鸡及周边 30 个气象站 2016-2018 年逐日观测降雨数据为基础,分别采用 R_r 、 R_m 和 R_n 3 种算式计算降雨侵蚀力指标。图 2 为基于不同算式采用克里金插值法得到的 2016-2018 年年均降雨侵蚀力空间分布图。分析图 2 可得: R_r 、 R_m 和 R_n 算式计算的宝鸡年均降雨侵蚀力分布范围分别为 1 137.94 ~ 2 503.85、8 201.14 ~ 20 247.58 和 1 671.05 ~ 3 630.65 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; 空间分布的均值依次为 1 742.00、11 411.61 和 2 279.97 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。基于 R_m 算式计算的降雨侵蚀力值最大, R_r 算式计算的结果最小; R_n 算式计算结果介于两者之间,但与 R_r 算式计算的降雨侵蚀力值更为接近。

3.1.2 不同算式计算结果精度分析 通过图 2 计算可知,基于 R_m 算式计算的降雨侵蚀力空间分布的均值分别是 R_r 算式和 R_n 算式计算结果的 6.55 倍和 5.00 倍,说明采用不同算式计算的降雨侵蚀力差异较大,也进一步说明在《导则》中选择降雨侵蚀力算式时,须对算式计算结果的精度进行评价,否则计算结果可能存在较大误差。以《导则》附录 C 给出的 30 个气象站所在县级行政区多年平均(长时间序列)降雨侵蚀力作为参考值 R_c (如图 3(a)所示)对各算式计算结果的精度进行评价,其原因如下:(1)本研究短时间序列降雨资料具有代表性和典型性;(2)30 个县级行政区多年平均降雨侵蚀力值大多在 1 500.00 ~ 3 000.00 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 之间;根据刘斌涛等^[7]和殷水清等^[12]绘制的全国多年平均年降雨侵蚀力等值线图,宝鸡多年平均降雨侵蚀力因子也基本在 1 500.00 ~ 3 000.00 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 范

围变化,说明 R_c 数值可信度高。

采用公式(6),分别计算不同算式 2016 - 2018

年降雨侵蚀力平均值计算结果的相对偏差系数

RE_r , 其空间分布变化如图 3(b) ~ 3(d) 所示。

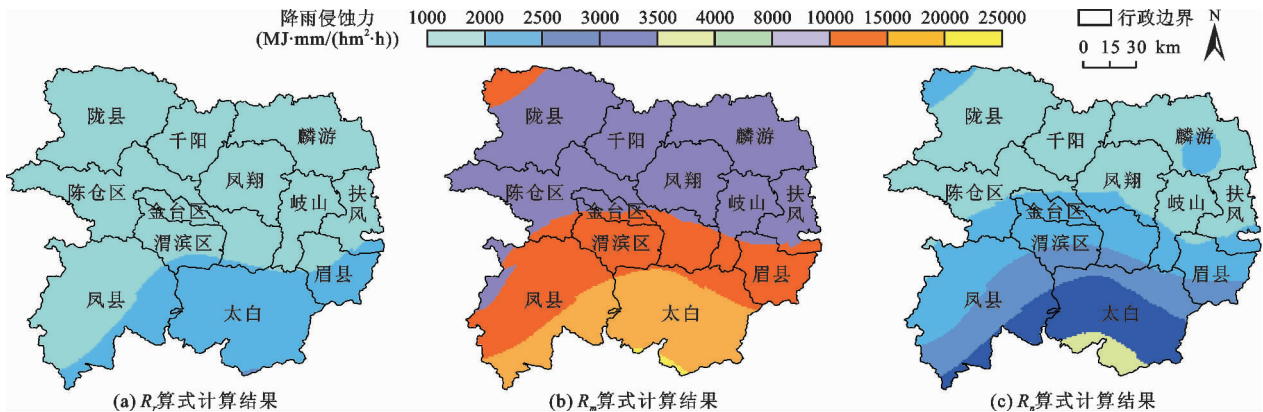


图 2 基于不同算式的 2016 - 2018 年宝鸡市年平均降雨侵蚀力空间分布

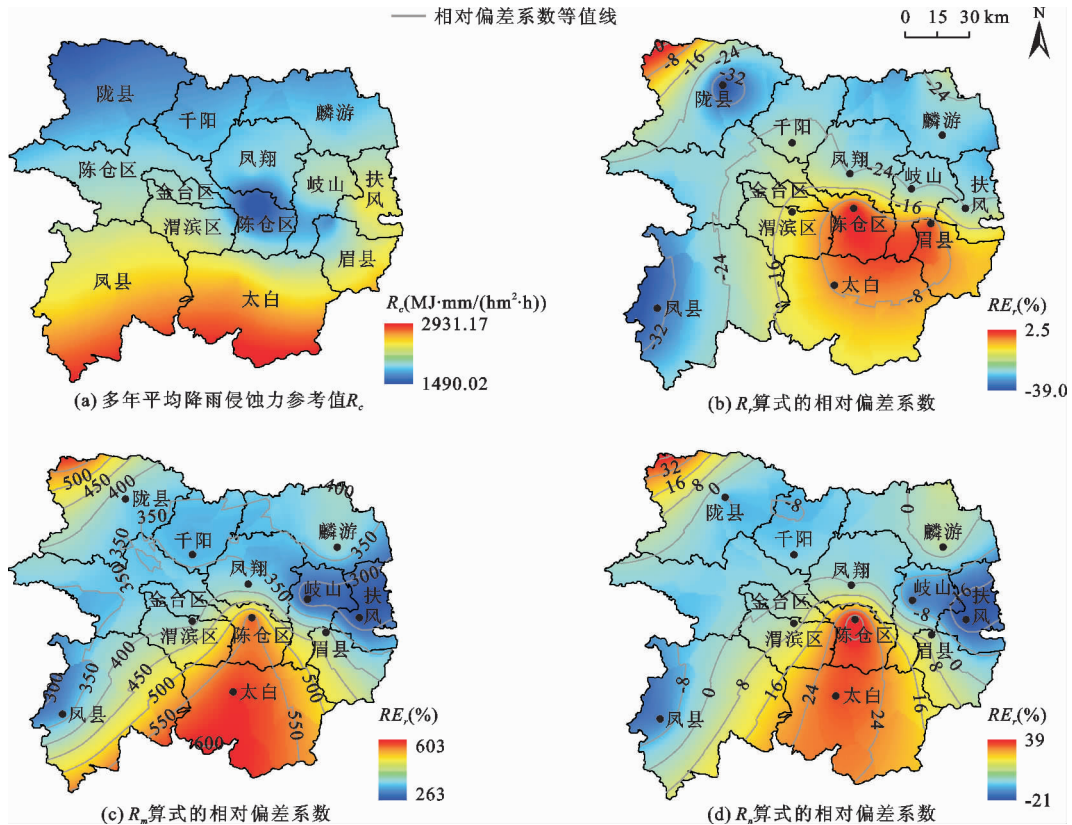


图 3 降雨侵蚀力参考值和基于不同算式计算结果的相对偏差系数空间分布

根据类似研究标准^[21-22],以 $RE_r = \pm 20\%$ 作为不同降雨侵蚀力算式评价的主要依据,若 $RE_r > 20\%$ 或 $RE_r < -20\%$,则算式精度差;若 $-20\% < RE_r < 20\%$,说明降雨侵蚀力算式精度可靠。显然,图 3(b) 大部分县域的 $RE_r < -20\%$;图 3(c) 全部县域的 $RE_r > 20\%$,最高达 600% 以上;图 3(d) 绝大部分县域 $-20\% < RE_r < 20\%$,所以整体来讲,不同算式的精度由高到低依次为 $R_n > R_r > R_m$,水土保持编制单位在《导则》中选择降雨侵蚀力算式时,本研究建议

优先使用 R_n ,其次是 R_r ,不宜使用 R_m 。

3.2 宝鸡生产建设项目降雨侵蚀力空间分布特征

由图 3(b)可知,采用 R_r 算式计算的宝鸡市(渭滨区和金台区)、陈仓区、眉县和太白县 2016 - 2018 年年均降雨侵蚀力相对偏差系数绝对值小于 20%;又由图 3(d)可知,基于 R_n 算式计算的宝鸡市凤县、陇县、千阳县、麟游县、岐山县、扶风县和凤翔县 2016 - 2018 年年均降雨侵蚀力相对偏差系数绝对值小于 20%。本研究采用两种算式的组合,在宝鸡

境内的11个气象站点采用 $R_n - R_r$ 混合算式,其中 R_n 算式计算凤县、陇县和千阳县等共7个县的年降雨侵蚀力, R_r 算式计算陈仓区、眉县和太白县等共4个县(区)的年降雨侵蚀力;宝鸡周边的19个气象站点仍然优先使用 R_n 算式。采用以上方法分别计算宝鸡市2016、2017和2018年生产建设项目降雨侵蚀力,并采用克里金插值法得到空间分布图,如图4所示。

生产建设项目可分为线型生产建设项目和点型生产建设项目。前者布局跨度大,为呈线状分布的项目;后者布局相对集中,为呈点状分布的项目。线型生产建设项目一般横跨两个及以上县域。以下按该两种类型分别进行分析。

3.2.1 线型生产建设项目降雨侵蚀力 由图4可知,宝鸡(各县、区)2016、2017和2018年降雨侵蚀力在877.94 ~ 4 276.88 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 之间

变化,呈从北向南逐渐增加趋势。2016年降雨侵蚀力低值区集中在陈仓区和陇县附近,低于1 000 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$;2017年降雨侵蚀力在陇县形成低值中心,降雨侵蚀力低于1 600 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$;2018年陈仓区降雨侵蚀力最小,仅为1 600 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。2016和2017年降雨侵蚀力均有凤县和太白县两个高值区,分别在2 200和3 400 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 左右波动,而在2018年除了凤县和太白县高值区外,又增加了陇县高值区,说明陇县降雨侵蚀力年际变化剧烈。

为了进一步分析各县域降雨侵蚀力变化特征,本研究采用GIS中的掩模提取工具(Extract by Mask),分别得到2016、2017和2018年宝鸡3区9县的降雨侵蚀力空间分布栅格图层,并统计每个区、县栅格图层的最大值、最小值和平均值,得到不同区、县的降雨侵蚀力雷达图,如图5所示。

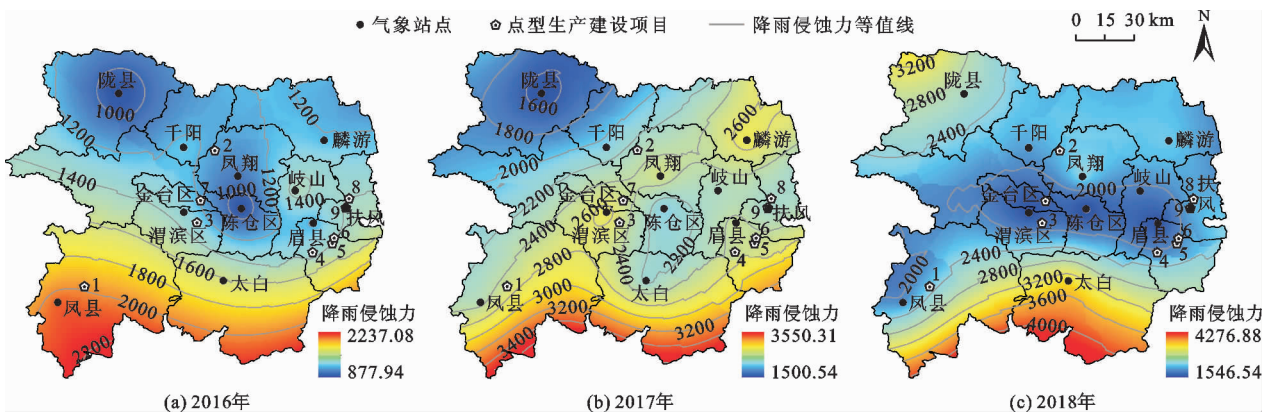


图4 2016-2018年宝鸡生产建设项目年降雨侵蚀力空间分布(单位: $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$)

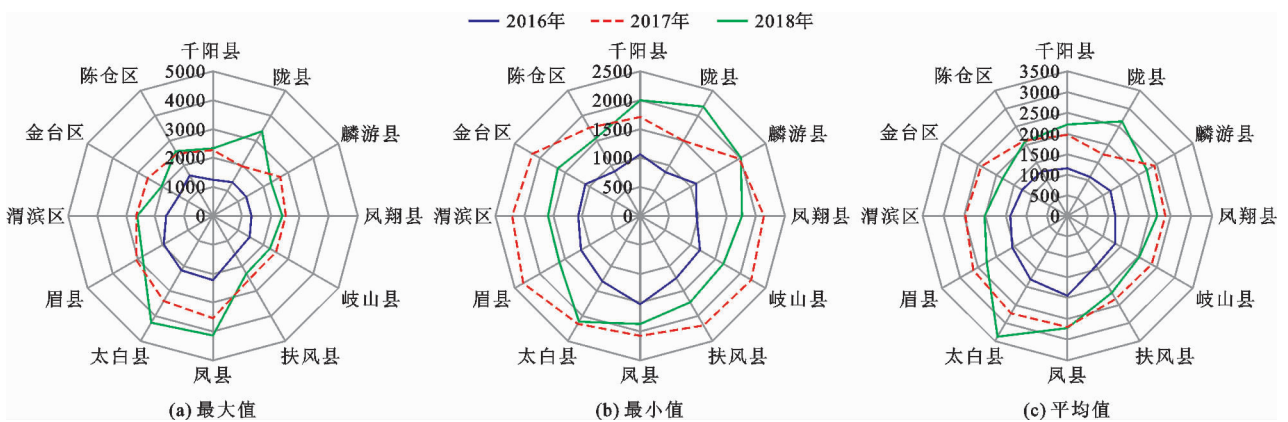


图5 2016-2018年宝鸡市各区、县年降雨侵蚀力最大值、最小值和平均值雷达图

由图5可知,2016-2018年12个区、县的年降雨侵蚀力波动明显。2016、2017和2018年降雨侵蚀力的最大值分别为2 237.08(凤县)、3 550.31(凤县)和4 276.88 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ (太白县);

2016、2017和2018年降雨侵蚀力的最小值分别为877.94(陇县)、1 500.54(陇县)和1 546.54 $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ (陈仓区)。由图5(c)可知,千阳县、陇县、凤县和太白县2016-2018年的降雨侵

蚀力平均值均呈增加趋势,但是其他区、县却呈先增加后减少趋势;说明不同区、县的降雨侵蚀力变化差异较大,具有不一致性。

3.2.2 点型生产建设项目降雨侵蚀力 本研究选取 9 个点型生产建设项目(见图 4),采用 GIS 中的 Add point 工具,将项目所在地的经纬度输入降雨侵蚀力栅格图层,并基于 Identify 功能,分别获得每个

点型生产建设项目 2016、2017 和 2018 年降雨侵蚀力查找表,如表 1 所示。

由表 1 可知,这 9 个点型生产建设项目 2016 - 2018 年降雨侵蚀力均为先增加后减少,其中渭滨区、金台区和眉县降雨侵蚀力的波动较大。2016、2017 和 2018 年降雨侵蚀力的最大值分别出现在凤县、渭滨区和凤县。

表 1 2016 - 2018 年宝鸡市 9 个点型生产建设项目降雨侵蚀力查找表 MJ · mm/(hm² · h)

编号	项目名称	经度 E	纬度 N	基于 $R_n - R_r$ 混合算式的降雨侵蚀力		
				2016 年	2017 年	2018 年
1	凤县金矿详查项目	106°40'27"	34°00'30"	1970.27	2482.50	2274.44
2	华润凤翔风电项目	107°16'37"	34°38'19"	1164.96	2278.41	2229.44
3	渭滨区茵香水镇项目	107°11'41"	34°18'15"	1278.04	2506.13	1817.01
4	眉县环保建材项目	107°43'48"	34°10'01"	1354.02	2439.29	2028.54
5	眉县育才地产项目	107°49'41"	34°13'58"	1376.02	2439.91	1991.09
6	眉县建筑材料项目	107°49'16"	34°12'29"	1390.13	2460.80	2008.42
7	金台绿地康养谷项目	107°12'41"	34°24'20"	1182.86	2475.51	1774.57
8	扶风大美佛汤城项目	107°53'52"	34°24'55"	1398.81	2222.60	2167.21
9	扶风七星河旅游项目	107°52'58"	34°22'21"	1411.23	2200.22	2167.16

4 讨 论

钟莉娜等^[23]分析了 8 种黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力模型的差异,指出 R_r 算式由于未明显包含降雨强度概念,所以其计算精度有待进一步提高。陈正发等^[24]采用 5 种降雨侵蚀力模型计算了昆明市近 60 年的降雨侵蚀力,结果表明 R_r 算式可能高估了降雨侵蚀力值。本研究指出采用 R_r 算式可能会低估宝鸡市降雨侵蚀力值(图 3)。然而,当前许多学者直接应用 R_r 算式计算降雨侵蚀力,如钟科元等^[25]、程金文等^[26]和刘宇林等^[27]的研究,较少考虑 R_r 算式的地区适宜性;且在流域或区域尺度也仅采用 1 种降雨侵蚀力算式^[28-29]。本研究提出 $R_n - R_r$ 混合算式,即在宝鸡市采用两种算式的混合式计算降雨侵蚀力,计算得出的 2016 - 2018 年宝鸡市年平均降雨侵蚀力相对偏差系数空间分布见图 6。

图 6 表明,采用该算式计算的降雨侵蚀力相对偏差系数绝对值基本都在 20% 变化范围之内,有的甚至在 0 ~ 10% 之间。与图 3 相比,基于 $R_n - R_r$ 混合算式计算的降雨侵蚀力精度得到明显提高。

本研究将降雨侵蚀力的理论计算与生产建设项目的实践需求相结合。以往研究注重长时间序列

(如 50 a)降雨侵蚀力变化规律的探索^[30-31],但忽略了短时间(如 2 ~ 3 a)降雨侵蚀力的波动变化,而这恰恰是引起工程开挖面和堆积体发生水土流失的关键因素。

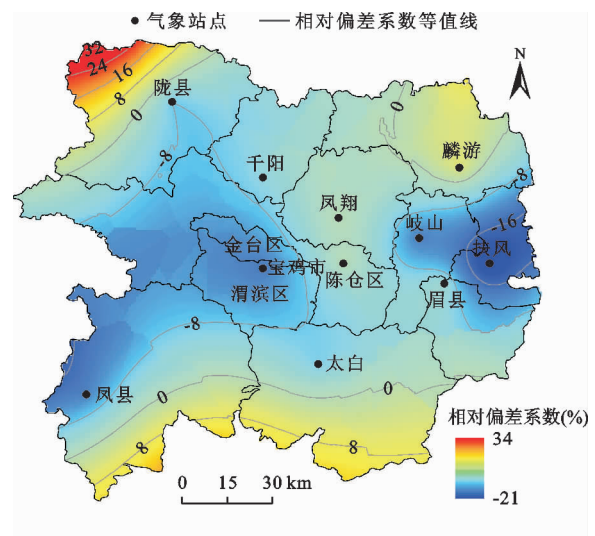


图 6 基于 $R_n - R_r$ 混合算式的 2016 - 2018 年宝鸡市年平均降雨侵蚀力相对偏差系数空间分布

以表 1 中渭滨区茵香水镇项目为例,根据《导则》中给出的宝鸡市土壤可蚀性因子 K 为 0.012 1

$t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h} / (\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$, 笔者曾分析得到宝鸡市主城区的坡度坡长因子 (LS 因子) 平均值为 $11.22^{[32]}$, 则该生产建设项目 2016、2017 和 2018 年潜在土壤流失量分别为 173.51、340.24 和 246.68 t/hm^2 , 平均值为 $253.48 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。土壤流失量是生产建设项目水土保持措施 (如排水沟、沉沙池等) 布设的重要依据。本研究建议生产建设项目所需求的降雨侵蚀力应尽量精准到年, 不宜笼统采用平均值, 否则可能导致建设单位布设的水土保持措施效益减弱。本文针对线型生产建设项目, 给出降雨侵蚀力等值线图; 针对点型生产建设项目, 可通过类似表 1 的查找表途径获取, 研究结果可为计算宝鸡市生产建设项目所需的降雨侵蚀力提供有益借鉴。

5 结 论

(1) 水土保持方案编制单位在选择降雨侵蚀力算式时, 本研究优先推荐使用 R_n 算式, 其次是 R_r 算式, 不推荐使用 R_m 算式。

(2) 本文提出 $R_n - R_r$ 混合算式, 并分别计算得到线型生产建设项目所需的降雨侵蚀力等值线图, 以及点型生产建设项目所需的降雨侵蚀力查找表。

(3) 2016 - 2018 年宝鸡市降雨侵蚀力波动明显, 降雨侵蚀力存在两个高值区 (太白县和凤县) 和两个低值区 (陇县和陈仓区)。

(4) 基于不同年份降雨侵蚀力估算生产建设项目土壤流失量时, 不宜笼统采用多年平均值, 应该尽量精准到年。

参考文献:

[1] 林祚顶, 李智广. 2018 年度全国水土流失动态监测成果及其启示[J]. 中国水土保持, 2019(12): 1-4.

[2] 张军政. 提高生产建设项目水土保持工作质量的途径探讨[J]. 中国水土保持, 2019(8): 23-26.

[3] 康玲玲, 程复, 王云璋. 我国近 17 年生产建设项目的变化情况[J]. 中国水土保持, 2019(3): 1-3+50.

[4] 孙厚才. 生产建设项目水土保持方案 20 年回顾与展望[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(9): 1-5.

[5] 中华人民共和国水利部. 生产建设项目土壤流失量测算导则: SL 773-2018 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2018.

[6] 宁婷, 桑满杰, 郭新亚, 等. 山西省 2000-2016 年降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 中国水土保持科学, 2020, 18(1): 1-7.

[7] 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.

[8] 操玥, 王世杰, 白晓永, 等. 近百年中国西南降雨侵蚀力反演计算与时空格局演变[J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8766-8773.

[9] 邵祎婷, 何毅, 穆兴民, 等. 秦巴山区降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(2): 416-425.

[10] 范俊甫, 何惠馨, 郭兵. 1980-2015 年黄河流域降雨侵蚀力时空变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(2): 196-204.

[11] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与水土保持减沙[M]. 北京: 科学出版社, 2018.

[12] 殷水清, 薛筱婵, 岳天雨, 等. 中国降雨侵蚀力的时空分布及重现期研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(9): 105-113.

[13] 芦鑫, 殷淑燕, 高涛涛. 1960-2017 年秦岭南北地区降雨侵蚀力的时空变化特征研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46(3): 380-390.

[14] 李建明, 王志刚, 张长伟, 等. 生产建设项目弃土弃渣特性及资源化利用潜力评价[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 1-8.

[15] 袁普金, 姚赫, 张涛, 等. 生产建设项目弃渣场安全选址方案研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 132-137+143.

[16] 吴建锋. 宝鸡市水土保持生态建设实践与思考[J]. 中国水土保持, 2019(3): 60-62.

[17] 何佳, 杨荣, 周旗, 等. 1960-2013 年宝鸡市降水变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(3): 95-100.

[18] 胡琳, 苏静, 桑永枝, 等. 陕西省降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 干旱区地理, 2014, 37(6): 1101-1107.

[19] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.

[20] 李璐, 姜小三, 孙永远. 基于地统计学的降雨侵蚀力插值方法研究——以江苏省为例[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(1): 88-92.

[21] PANDEY A, CHOWDARY V M, MAL B C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing[J]. Water Resources Management, 2007, 21(4): 729-746.

[22] 李智广, 符素华, 刘宝元. 我国水力侵蚀抽样调查方法[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(1): 77-81.

[23] 钟莉娜, 王军, 赵文武. 基于修正简易模型的陕北黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力分布特征[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(5): 8-14.

[24] 陈正发, 史东梅, 何伟, 等. 云南省降雨侵蚀力时空分布与演变趋势研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(10): 209-219.

(下转第 96 页)

- [3] 张聪伟,朱琴,刘春原,等. 滦河入海口三角洲地区地下水及土壤盐度分析[J]. 人民长江,2017,48(15):17-20.
- [4] 葛云,顾佳,王曼,等. 连云港徐圩新区盐渍土类型、分布特征及其对工程建设影响[J]. 海岸工程,2012,31(1):36-45.
- [5] 李攻科,王卫星,曹淑萍,等. 天津滨海土壤盐分离子相关性及其采样密度研究[J]. 中国地质,2016,43(2):662-670.
- [6] 周慧芳,谭红兵,高将,等. 南通地区地下水咸化机理分析及改良措施[J]. 水资源保护,2015,31(4):70-76.
- [7] 张岩,刘彦,毛磊,等. 南通滨海新区地下水应急水源地风险预测[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(2):100-106.
- [8] 周慧芳,谭红兵,张文杰. 南通地区地下水循环与水化学时空变化规律研究[J]. 人民长江,2014,45(23):103-108.
- [9] 张岩,付昌昌,毛磊,等. 江苏盐城地区地下水水化学特征及形成机理[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(4):598-605.
- [10] 付昌昌,李向全,张岩,等. 盐城滨海平原地下水质量现状及健康风险评估[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(5):54-60.
- [11] 彭亮,郑淑文,何英,等. 基于MODIS的积雪时空变化与CMADS气象因子相关性研究——以塔什库尔干河流域为例[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(4):53-62.
- [12] 熊峰,甘义群,段艳华. 江汉平原地下水中氮素与砷迁移富集的相关性研究[J]. 安全与环境工程,2015,22(2):39-43+48.
- [13] 孙娟,杨淑英,沈浩松,等. 基于SPSS相关性分析的地下水污染因果关系判定[J]. 中国环境管理干部学院学报,2016,26(6):3-6+34.
- [14] 丁文荣,李玉辉. 岩溶区植被覆盖变化与气候波动的相关性——以云南石林为例[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(5):40-45+51.
- [15] 刘中业,徐建国,祁晓凡,等. 地下水电导率与矿化度相关关系分析——以鲁北平原为例[J]. 山东国土资源,2013,29(9):57-60+64.
- [16] 王森,陆阳,郑玉萍,等. 基于线性回归分析的地下水开采与地面沉降相关关系研究——以天津市为例[J]. 中国水运(下半月),2015,15(7):108-110.
- [17] 白高峰,张燕君,宣学丽,等. 线性回归法在地下水水质分析中的应用[J]. 地下水,2014,36(2):14-16.
- [18] 朱锦旗,于军,龚绪龙,等. 江苏沿海地区地下水系统与地下水资源调查评价报告[R]. 江苏省地质调查研究院,2018.
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 岩土工程勘察规范(2009年版):GB 50021-2001[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 盐渍土地区建筑技术规范:GB/T 50942-2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.

(上接第88页)

- [25] 钟科元,郑粉莉. 1960-2014年松花江流域降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 自然资源学报,2017,32(2):278-291.
- [26] 程金文,岳大鹏,达兴,等. 陕南地区1960-2014年降雨侵蚀力变化研究[J]. 山地学报,2017,35(1):48-56.
- [27] 刘宇林,赵广举,穆兴民,等. 近55年渭河流域降雨侵蚀力变化及对输沙量的影响[J]. 中国水土保持科学,2019,17(3):15-22.
- [28] 曾瑜,厉莎,胡煜彬. 1961-2014年鄱阳湖流域降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 生态与农村环境学报,2019,35(1):106-114.
- [29] 郑哲,邹进,潘锋,等. 1961-2010年怒江流域降雨侵蚀力的时空变化特征[J]. 中国水土保持科学,2018,16(5):16-22.
- [30] 肖蓓,崔步礼,姜宝福,等. 山东省不同地形区降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 地球环境学报,2019,10(3):267-280.
- [31] PANAGOS P, BORRELLI P, MEUSBURGER K, et al. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records[J]. Scientific Reports, 2017, 7:4175.
- [32] 俱战省,张加兵,柏子昌. 山区坡谱信息熵与水土流失地形因子关系探讨[J]. 测绘科学,2019,44(3):86-90.