

刘文辉, 璩向宁, 李晓宇, 等. 退耕还林还草情境下的土壤侵蚀——以宁夏彭阳县为例[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(9): 289–294.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.09.069

退耕还林还草情境下的土壤侵蚀 ——以宁夏彭阳县为例

刘文辉, 璩向宁, 李晓宇, 曹园国

(宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏银川 750021)

摘要:以退耕还林典型区宁夏彭阳县为研究对象, 运用遥感与地信软件, 基于修正通用土壤流失方程(RUSLE)计算彭阳县退耕还林(草)工程实施前中后 3 期(2000、2008、2014 年)的土壤侵蚀量/土壤侵蚀模数, 对计算结果进行侵蚀强度分级, 结合转移矩阵、地形位分布指数、灰度关联分析对侵蚀量与侵蚀强度进行分析研究, 以考察退耕还林情境下土壤侵蚀的变化。结果表明: (1) 彭阳县 2000 年土壤侵蚀量为 $65.47 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$, 属于强烈侵蚀; 2008 年为 $119.04 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$, 属于极强烈侵蚀; 2014 年为 $84.99 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$, 属于极强烈侵蚀, 相比 2008 年, 退耕还林(草)工程后期的 2014 年土壤侵蚀情况得到控制。(2) 不同的地质地貌环境下土壤侵蚀状况不同, 黄土丘陵沟壑区相比土石质山区更容易发生侵蚀。(3) 从侵蚀强度转移情况来看, 2000—2008 年向上转移为主要趋势, 2008—2014 年为向下转移趋势, 2008 年为侵蚀情况最为严重的一年。(4) 从土壤侵蚀强度的坡度分布来看, 在较强侵蚀条件下, 大于 35° 的区域侵蚀发生主要是坡度提高导致, 而 25° 以下区域主要是林草地与耕地变化导致了侵蚀强度的变化。(5) 通过对人为作用影响最大的地类与退耕还林还草导致的植被覆盖度变化分析, 地类变化对彭阳县 3 期土壤侵蚀作用最大。因此, 退耕还林(草)工程引起的地类变化导致了彭阳县土壤侵蚀情况的变化。今后退耕还林工程须要巩固上一阶段的工程成果, 同时重点解决不同流域区域、坡度上的土壤侵蚀状况。

关键词: 土壤侵蚀; 修正通用土壤流失方程(RUSLE); 退耕还林(草)工程; 地形位分布指数; 灰度关联分析

中图分类号: S157.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)09-0289-05

土壤侵蚀是土壤或其地面组成物质在自然营力作用下或在自然营力与人为活动的综合作用下被剥蚀、破坏、分离、搬运和沉积的过程^[1]。土壤侵蚀包括水蚀、风蚀、重力侵蚀、人为侵蚀等不同类型的。其影响是破坏土壤结构、减少土壤养分, 不仅使土地生产力下降、水土资源流失, 而且造成河湖库塘的泥沙淤积, 加剧洪涝、干旱等灾害发生, 已成为危及人类生存与发展的重要环境问题之一^[2]。土壤侵蚀在自然状态下也一直存在, 但剧烈的人类活动加速了土壤侵蚀的发生^[3]。因此, 关注大型生态工程驱动下的生态环境要素与土壤侵蚀过程的变化^[2]很有必要。

修正通用土壤流失方程(the revised universal soil loss equation, RUSLE)是在美国农业部开发的通用土壤流失方程(the universal soil loss equation, USLE)的基础上于 1992 年改进完善而来, 是目前世界上应用最广泛的基于坡面的水蚀预报经验模型。随着地理信息系统(GIS)技术不断盛行, 基于 GIS 运用 USLE/RUSLE 定量评估土壤侵蚀, 已成为合理规划、利用区域水土资源的有效手段, 在世界许多国家得到广泛研

究和应用。我国学者已将 USLE/RUSLE 模型应用于小流域、流域、区域尺度的土壤侵蚀预测预报。秦伟等使用 RUSLE 模型并改进坡长算法, 评估了黄土高原四面窑沟小流域的土壤侵蚀状况^[4]; 庞国伟通过对人为因素的定量表征在 RUSLE 模型基础上研究了黄土高原延河流域的土壤侵蚀与人类活动之间的关系^[5]; 郭建英等研究了退耕还林前后陕西吴起县土壤侵蚀变化^[6]; 白晓松对北方山区土壤侵蚀进行了评价^[7]。在 GIS 支持下, 通过建立土壤侵蚀因子数据库, 用土壤侵蚀模型进行土壤侵蚀定量评价, 是区域和大中流域土壤侵蚀研究的基本趋势^[8]。

本试验采用 RUSLE 模型, 在 GIS 与 RS 支持下对宁夏彭阳县 2000、2008、2014 年 3 年的土壤侵蚀进行研究, 考察退耕还林(草)工程前中后 3 期的土壤侵蚀变化情况, 分析不同流域、不同地质区域的土壤侵蚀变化状况, 引入地形位指数与灰度关联分析, 研究坡度与人类活动对彭阳县土壤侵蚀的影响, 以期区域生态环境建设、退耕还林(草)工程的下一步开展提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

彭阳县位于宁夏回族自治区南部, 属固原市, 县域位于 $106^\circ 32' \sim 107^\circ 47' \text{E}$, $35^\circ 41' \sim 36^\circ 17' \text{N}$ 之间, 地处黄土丘陵沟壑区第二副区, 海拔 1 248 ~ 2 418 m。地形分为北部黄土丘陵陵区、中部河谷残源区、西南部土石质山区 3 个自然类型区, 地势由西北向东南呈波状倾斜, 境内地形支离破碎, 山高坡

收稿日期: 2017-03-27

基金项目: 宁夏回族自治区环境保护科学项目(编号: 2014014); 宁夏大学研究生创新项目(编号: GIP201609)。

作者简介: 刘文辉(1989—), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀人为作用、生态环境监测与评估研究。E-mail: wenhuiliu212@163.com。

通信作者: 璩向宁, 教授, 主要从事水资源研究、环境变化监测等工作。E-mail: xn_qu@163.com。

陡,沟壑纵横,是宁夏水土流失最严重的县之一,也是全国重点水土保持区。彭阳县境内河流水系属于泾河流域,主要有茹河、红河、安家川河。红河是泾河一级支流,茹河、安家川河是泾河二级支流。土壤类型主要包括黄绵土、黑垆土、山地灰褐土等。多年平均降水量为 433.6 mm,降水主要集中于 6—10 月,呈南多北少、西丰东欠的趋势。多年平均水面蒸发量为 960 mm,全年无霜期为 120~160 d,全县平均温度为 7.0℃。

彭阳县自 20 纪 70 年代开始水土保持生态恢复工程,经过近 40 年的不懈努力,县域内生态治理卓有成效,2003 年被国家环保部列为第 8 批全国生态示范区,“彭阳模式”成为全国生态治理的典范。自 2000 年退耕还林(草)工程开始后,彭阳县大力开展退耕还林还草、坡改梯、小流域治理等生态工程。在实施系列生态工程,特别是对生态环境影响巨大的退耕还林(草)工程后,彭阳县土壤侵蚀状况对退耕还林(草)工程生态效益的评价具有重要意义。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源 本研究所用数据来源:(1)彭阳县 2000、2008、2014 年 3 年境内月降水量数据,由彭阳县水务局提供;(2)参考彭阳县 1:30 万土壤类型图^[9]并结合实地考察,在 ArcGIS 10.2 软件中生成 30 m 分辨率的矢量土壤类型图,根据《宁夏土壤》^[10]与中国土壤数据库([http://vdb3. soil. csdb.](http://vdb3.soil.csdb.cn/)

[cn/](http://vdb3.soil.csdb.cn/))为土壤类型图添加土壤质地属性数据;(3)彭阳县 30 m 分辨率的 ASTER GDEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台([http://www. gscloud. cn](http://www.gscloud.cn/));(4)基于 Landsat/TM5 (2000 年 8 月 30 日)、Landsat/TM7 (2008 年 9 月 5 日、2014 年 9 月 11 日)三景影像,来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台([http://www. gscloud. cn](http://www.gscloud.cn))。在 ENVI5.0 软件中经几何校正、研究区裁切、辐射定标、大气校正后,应用监督分类且经实地验证后解译获得 3 期土地利用,生成 30 m 分辨率的矢量土地利用图,地类划分为耕地、林草地、未利用土地、水域滩涂、建设用地 5 类,同时计算生成植被覆盖度栅格图。以上所有图采用 UTM 投影,地理坐标系均为 WGS-1984。

1.2.2 数据处理 本研究采用的修正通用土壤流失方程(RUSLE)如下^[11]:

$$A=R\cdot K\cdot L\cdot S\cdot C\cdot P。$$
 (1)

式中:A 为单位面积上的土壤流失量,t/(hm²·年);R 为降雨侵蚀力因子,(MJ·mm)/(hm²·h·年);K 为土壤可蚀性因子,[t/(hm²·年)]·[hm²/(MJ·mm)];L 为坡长因子;S 为坡度因子;C 为植被覆盖与管理因子;P 为水土保持措施因子。L、S、C、P 均为无量纲因子。不同因子计算公式方法见表 1、表 2。

表 1 RUSLE 各因子计算方法

因子	公式	公式说明	来源
降雨侵蚀力因子(R)	$R=\bar{\partial}\cdot F^{\beta}$ $F=\frac{\sum_{i=1}^{12}P_i^2}{\bar{P}}$	\bar{P} 为年平均降雨量,mm; P_i 为第 i 月的平均降雨量,mm; R 为多年平均降雨侵蚀力,(MJ·mm)/(hm ² ·h·年); α 、 β 为模型参数,此处取 $\alpha=0.358\ 9$ 、 $\beta=1.946\ 2$ ^[12] ; F 表示修正的 Fournier 指数,mm。	Arnoldus 降雨侵蚀力简易计算方法 ^[12]
土壤可蚀性因子(K)	$D_g=\exp(0.01\sum_{i=1}^n f_i\ln m_i)$ $K=0.066\ 7-0.001\ 3[\ln(SOM/D_g)-5.670\ 6]^2-0.015\exp\{-28.958\ 9\cdot[\log(D_g)+1.827]^2\}$	D_g 为土壤颗粒平均几何直径,mm; f_i 为第 i 级粒级组分的质量百分比,%; m_i 为第 i 级粒级组分限值的平均直径,mm; K 为土壤可蚀性,t/(hm ² ·h)·[hm ² /(MJ·mm)];SOM 为土壤有机质	Wang 等提出 D_g -SOM 公式 ^[13]
坡度因子(S)	$\begin{cases} 10.8\times\sin\theta+0.03,0<\theta<5.142\ 8 \\ 16.8\times\sin\theta-0.5,5.142\ 8\leq\theta<14.036\ 2 \\ 21.91\times\sin\theta-0.96,\theta\geq14.036\ 2 \end{cases}$	θ 为利用 DEM 提取的坡度	刘宝元坡度因子公式 ^[14]
坡长因子(L)	$L=(\lambda/22.13)^m$ $m=\beta/(\beta+1)$ $\beta(\sin\theta/0.089\ 6)/[3\cdot(\sin\theta)^{0.8}+0.56]$	θ 为利用 DEM 提取的坡度; β 、 m 为坡长指数; λ 为坡长;22.13 为标准小区坡长(m)	Wischmeier 等 ^[15]
植被覆盖与管理因子(C)	$V_C=108.49I_C+0.717$ $\begin{cases} C=1,V_C=0 \\ C=0.650\ 8-0.343\ 6\cdot\lg V_C,0<V_C<78.3\% \\ C=0,V_C\geq78.3\% \end{cases}$	I_C 为 NDVI 值, V_C 为植被覆盖度	蔡崇法等植被覆盖方法 ^[16]

表 2 彭阳县水土保持措施因子(P)赋值

地类	P 值
耕地	0.1
林草地	0.8
未利用土地	1.0
水域滩涂	0.0
建设用地	0.0

根据公式(1)计算 2000、2008、2014 年代表退耕还林工程的前中后 3 期年均土壤侵蚀量/土壤侵蚀模数,按照我国水利部颁布的 SL190—2007《土壤侵蚀分级分类标准》^[17]进行土壤侵蚀强度分级。

2 结果与分析

经过计算,彭阳县土地利用以旱地与林草地为主,少量的建设用地、未利用土地、水域滩涂。因此,彭阳县土壤侵蚀主要来源于耕地与林草地。经过退耕还林建设从 2000—2014 年耕地面积减少,林草地面积极增加,耕地减少的幅度略高于林草地增加的幅度。

彭阳县 25°以下区域占全县总面积超过 80%,且五大地类均集中分布于 25°以下区域。经过退耕,至 2014 年旱地主要分布在 25°以下地形区域,其中 8~15°最多。林草地面积极则逐年大幅增加,主要分布于 8°~35°之间。林草地在 15°以

上区域分布面积远远大于旱地,且 15°~25°区域分布最多,向两边依次递减。2008—2014 年是退耕还林还草的加速阶段,其耕地减少面积与林草地增加面积变化最多。表明彭阳县退耕还林(草)工程对旱地、林草地变化影响很大,土壤侵蚀年季变化的主要影响因子来自于地类的变化及与之相关的退耕还林等生态工程的进行。

2.1 土壤侵蚀模数的时空变化

从全县侵蚀模数来看,2000 年彭阳县为 65.47 t/(hm²·年),属于强烈侵蚀;2008 年为 119.04 t/(hm²·年),属于极强烈侵蚀;2014 年为 84.99 t/(hm²·年),属于极强烈侵蚀,但低于 2008 年的侵蚀模数,土壤侵蚀得到一定的控制。从流域来

看,3 个流域 3 期的土壤侵蚀模数均呈先上升后下降的趋势,整体较 2000 年都有所恶化。其中,安家川流域在 3 期均处于较高的侵蚀强度与侵蚀模数,土壤侵蚀状况最为严重(表 3)。

彭阳县 12 个乡镇分布在 2 个地貌地形单元中,西南部的古城乡、新集乡大部位于六盘山土石质山区,其他乡镇位于黄土丘陵沟壑区。经计算发现,土石质山区乡镇整体土壤侵蚀模数均低于黄土丘陵区,2000、2008、2014 年土石质山区土壤侵蚀模数分别为 47.11、76.87、55.63 t/(hm²·年),而同期黄土丘陵区为 71.06、133.11、94.95 t/(hm²·年),这与六盘山土石质山区植被覆盖度高于黄土丘陵沟壑区,同时人为开发活动也较小有关。

表 3 分流域侵蚀模数及侵蚀强度

流域名称	2000 年		2008 年		2014 年	
	侵蚀模数 [t/(hm ² ·年)]	年侵蚀强度	侵蚀模数 [t/(hm ² ·年)]	年侵蚀强度	侵蚀模数 [t/(hm ² ·年)]	年侵蚀强度
茹河流域	65.63	强烈	119.45	极强烈	84.41	极强烈
红河流域	45.95	中度	77.10	强烈	60.35	强烈
安家川河	84.49	极强烈	164.81	剧烈	116.39	极强烈

2.2 土壤侵蚀强度转移矩阵分析

2.2.1 不同年份不同侵蚀强度比例 2000、2008、2014 年 3 年的 6 个侵蚀强度级别占县域总面积比例见图 1,微度侵蚀占比最多,面积均超过县域面积的 35%。其中,2008 年微度侵蚀占比最多,2014 年最少。侵蚀程度最高的剧烈侵蚀以 2008 年面积占比最大,具体表现为 2008 年>2014 年>2000 年。从 2000—2014 年强烈及以上侵蚀强度占比之和逐年扩

大,2000—2008 年阶段扩大最多。表明从 2000—2014 年研究区彭阳县土壤侵蚀强度强烈以上等级贡献逐年增加,2000—2008 年是一个急速变化的阶段。2008 年微度侵蚀及剧烈侵蚀面积占比均是 3 年中最大的,2008 年水土流失状况表现了向 2 个侵蚀强度极端发展。水土流失状况相对于 2000、2008、2014 年均有所恶化。

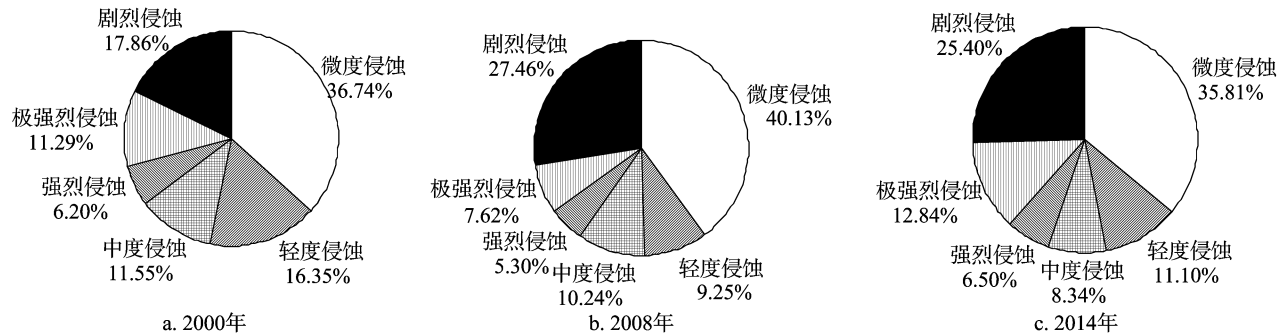


图1 彭阳县不同侵蚀强度面积占比

通过 ArcGIS 字段计算器功能,对 2000—2008、2008—2014 年 2 个阶段土壤侵蚀强度等级转移情况进行计算。2000—2008、2008—2014 年没有发生转移的面积占县域面积基本在 60% 左右,2000—2008 年侵蚀强度转移主导方向为向上转移,向上转移占县域面积的 32.09%,向上转移 1 级最多;而 2008—2014 年转移为主导方向为向下转移,向下转移

1 级最多。表明 2008 年侵蚀情况状况恶化严重,2014 年有了较大的改观。这与退耕还林深入推进,地类在 2008—2014 年变化较大有关。

2.2.2 2000—2008 年土壤侵蚀强度转移矩阵 2000—2008 年土壤侵蚀强度转移矩阵见表 4。

表 4 2000—2008 年土壤侵蚀强度转移矩阵

2000—2008 年转移面积(km ²)							
侵蚀强度	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强烈侵蚀	极强烈侵蚀	剧烈侵蚀	总计
微度侵蚀	829.633 6	98.026 2	23.238 0	6.666 3	9.238 5	6.059 7	972.862 3
轻度侵蚀	61.947 0	108.763 2	136.855 8	30.768 3	12.235 5	32.245 2	382.815 0
中度侵蚀	34.604 1	18.896 4	79.346 7	66.060 9	46.574 1	25.001 1	270.483 3
强烈侵蚀	14.264 1	0.930 6	10.080 9	19.946 7	61.980 3	37.948 5	145.151 1
极强烈侵蚀	16.387 2	0.052 2	1.274 4	5.679 0	46.507 5	194.510 7	264.411 0
剧烈侵蚀	29.586 6	0.000 9	0.075 6	0.796 5	10.259 1	377.379 9	418.098 6
总计	986.422 6	226.669 5	250.871 4	129.917 7	186.795 0	673.145 1	2 453.821 0

2000 年有 40.44% 面积在 2008 年发生了转移。从 2000 年转出情况来看,转出面积大小依次为轻度侵蚀>极强烈侵蚀>中度侵蚀>微度侵蚀>强烈侵蚀>剧烈侵蚀。轻度侵蚀主要转向中度侵蚀及以上级别。从微度侵蚀到极强烈侵蚀均表现为向上转移的趋势,向上转移总面积远远超过向下转移总面积。

从转入情况来看,2000 年各侵蚀强度向 2008 年剧烈侵蚀转移占研究区总面积最多,其次为向 2008 年中度侵蚀转。

表 5 2008—2014 年土壤侵蚀强度转移矩阵

2008—2014 年转移面积(km ²)							
侵蚀强度	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强烈侵蚀	极强烈侵蚀	剧烈侵蚀	总计
微度侵蚀	819.945 1	62.284 5	41.008 5	16.889 4	16.533 9	29.761 2	986.422 6
轻度侵蚀	66.273 3	71.521 2	10.674 9	24.487 2	44.526 6	9.186 3	226.669 5
中度侵蚀	18.604 8	80.277 3	51.621 3	4.974 3	25.882 2	69.511 5	250.871 4
强烈侵蚀	10.932 3	11.385 0	51.902 1	24.474 6	4.870 8	26.352 9	129.917 7
极强烈侵蚀	14.346 0	9.081 9	19.584 0	66.912 3	66.802 5	10.068 3	186.795 0
剧烈侵蚀	12.362 4	27.385 2	21.999 6	15.638 4	144.468 0	451.291 5	673.145 1
总计	942.463 9	261.935 1	196.790 4	153.376 2	303.084 0	596.171 7	2 453.821 0

2008 年有 39.46% 的面积在 2014 年发生转移,但是转移幅度相对于 2000 年有所变小(图 2)。从 2008 年转出来看,剧烈侵蚀转出最多,在 2014 年转向剧烈侵蚀以下强度,转出面积大小情况为剧烈侵蚀>中度侵蚀>微度侵蚀>轻度侵蚀>极强烈侵蚀>强烈侵蚀。2008—2014 年阶段总体呈各侵蚀强度向下转移趋势,向下转移总面积大于向上转移总面积,其中剧烈侵蚀和极强烈侵蚀向下转移最多。表明 2008 年土壤侵蚀情况在 2014 年得到了一定控制,尤其是剧烈侵蚀和中度侵蚀情况有所减少。

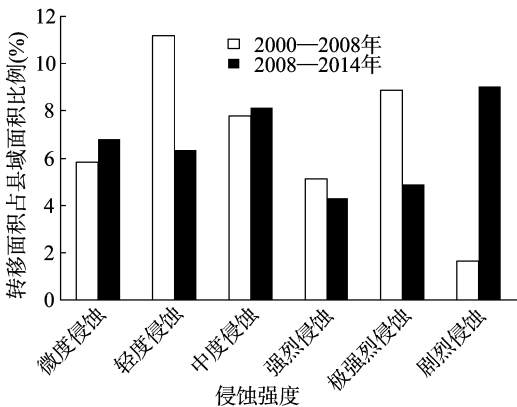


图2 两阶段各侵蚀强度转出变化情况

2.2.4 两阶段转移变化 从转入看 2014 年极强烈侵蚀接受了最多的转入,其中由 2008 年的剧烈侵蚀向下转移而来,具体转入面积大小情况为极强烈侵蚀>轻度侵蚀>中度侵蚀>剧烈侵蚀>强烈侵蚀>微度侵蚀。

整体来看,2000—2008 年土壤侵蚀状况急速恶化,低级别侵蚀强度向高级别侵蚀强度转移,2008 年出现了极强侵蚀与弱侵蚀面积扩大的两极分化现象,而 2014 年土壤侵蚀状况相比 2008 年有所控制,特别是在极强烈侵蚀上。这与退耕还林、坡改梯等生态工程逐步完善稳定之后,有效地控制了土壤侵蚀状况。

2.3 土壤侵蚀的地形位分布指数分析

对不同侵蚀强度下的时空分布进行统计计算,结合地类、

从转入构成来看,除微度侵蚀,轻度及以上侵蚀均是以低等级侵蚀强度向高等级侵蚀强度转移的趋势。这与退耕还林还草等生态工程后,农地转为林草地,初期林草地植被覆盖度较低、植被不稳定有关。

2.2.3 2008—2014 年土壤侵蚀强度转移矩阵 2008—2014 年土壤侵蚀强度转移矩阵见表 5。

地形位分布指数分析侵蚀强度的变化。地形位分布指数采用如下公式^[18]:

$$P = (S_{ie}/S_i)/(S_e/S)。(2)$$

式中:P 是地形位分布指数; S_{ie} 为 e 地形位下第 i 级土壤侵蚀的面积; S_i 为整个研究区内第 i 级土壤侵蚀的总面积; S_e 表示整个工作区内 e 种地形位的总面积;S 为整个研究区域的面积。P 值越大,说明某土壤侵蚀类型出现频率越高。参照水利部《土壤侵蚀分类分级标准》将坡度分为 0~8、8~15、15~25、25~35、>35^[17]。

从图 3 可以看到,由于耕地、林草地集中分布于 25°以下区域,所以 6 个侵蚀强度均在 25°以下区域有较高的侵蚀地形位指数。而剧烈侵蚀强度下,35°以上区间的土壤侵蚀地形位指数 3 年均达到极高值,同时从中度侵蚀开始至 2014 年在 35°以上区域地形位指数逐渐升高,说明经过退耕还林后,中度以上土壤侵蚀强度在较高坡度区域主要是坡度提高导致了侵蚀的发生。集中分布于较低坡度的耕地主要产生了微度、轻度、中度侵蚀,林草地对强烈、极强烈、剧烈侵蚀产生了主要贡献,耕地与林草地在微度、中度侵蚀产生了交互作用。

在今后水土保持工作与退耕还林工程中,8°以下区域要杜绝轻度与中度侵蚀的发生,关键是做好耕地水土流失防治。在 8°~15°区域做好坡改梯工作,在田埂上合理安排乔灌木的护坡工程,对于冬小麦地块要做到桔梗还田减少暴雨的直接冲刷击溅侵蚀与地表径流的形成。中度侵蚀、强烈侵蚀、极强烈侵蚀、35°以下的剧烈侵蚀主要由于退耕还林开始后,植被覆盖度降低、植被存活率低、工程后管护不到位、植被不稳定造成的,所以要相应地合理配置乔灌木,做好之后的管护工作。

2.4 土壤侵蚀灰度关联分析

为了更好地了解彭阳县土壤侵蚀主要影响因子对土壤侵蚀的作用,使用灰度关联分析对人为作用显著的水土保持措施因子(P)、植被覆盖与管理因子(C)进行计算分析。灰度关联分析公式如下:

$$\xi(K) = \frac{\min_i \min_k |X_0(K) - X_i(K)| + \rho \max_i \max_k |X_0(K) - X_i(K)|}{|X_0(K) - X_i(K)| + \rho \max_i \max_k |X_0(K) - X_i(K)|}。(2)$$

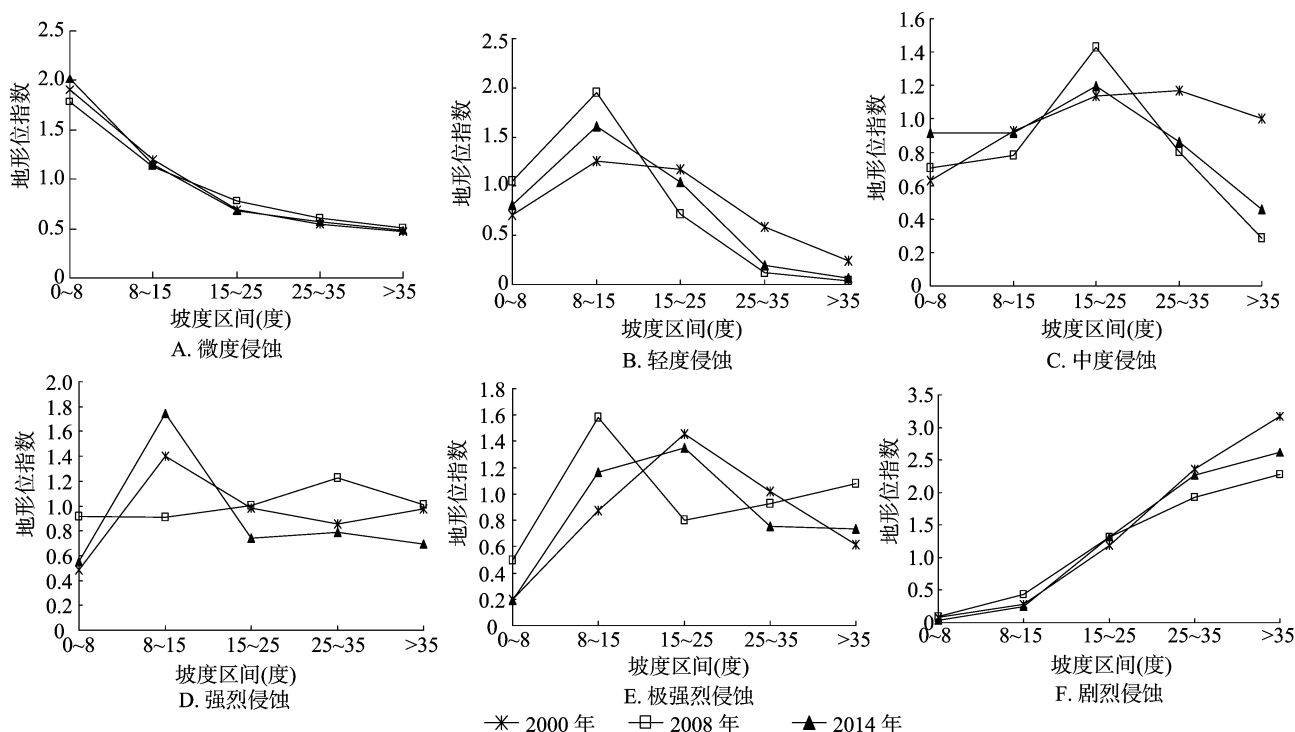


图3 不同侵蚀强度地形位指数

式中: $\xi(K)$ 为关联系数, ρ 为分辨系数。分辨系数不宜取值太大, 取值范围为 0.1~0.5, 本研究选取 0.1。

在 ArcGIS 10.1 软件中, 以象元为单位分别计算 P 、 C 因子相对于土壤侵蚀模数的关联系数, 最后使用 P 、 C 因子关联系数的平均值作为关联度。关联度取值范围为 0~1, 越接近于 1, 因子对土壤侵蚀的作用影响越大, 分析结果见表 6。

表 6 彭阳县 P 、 C 因子与土壤侵蚀模数关联度

年份	P 值	C 值
2000	0.816 762	0.731 307
2008	0.731 091	0.619 033
2014	0.747 099	0.633 242

从表 6 可以看出, 3 年中水土保持措施因子均对土壤侵蚀的影响最大, 说明地类的变化是引起彭阳县土壤侵蚀变化的主要原因。因此, 在以后生态建设与退耕还林工作中, 要注意合理地规划调整地类。

3 结论

运用 GIS 和 RS 技术, 基于 RUSLE 模型定量计算宁夏退耕还林还草、生态恢复的典范县——彭阳县的土壤侵蚀模数, 在退耕还林(草)工程的背景下考察彭阳县 2000、2008、2014 年 3 期土壤侵蚀强度的时空变化, 同时引入地形位指数与灰度关联分析, 研究彭阳县坡度变化、植被覆盖度、地类变化对土壤侵蚀的影响。结果显示: (1) 2000 年彭阳县土壤侵蚀模数为 $65.47 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$, 属强烈侵蚀; 2008 年为 $119.041 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$, 属于极强烈侵蚀; 2014 年为 $84.99 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$, 属于极强烈侵蚀, 但低于 2008 年的侵蚀模数, 土壤侵蚀得到一定的控制。(2) 从空间分布上看, 彭阳县的 3 个流域在 3 期土壤侵蚀模数均是呈先上升后下降的趋势, 整体较 2000 年都有所恶化。其中, 安家川流域在 3 期均

处于较高的侵蚀强度与侵蚀模数, 土壤侵蚀状况最为严重。土石质山区的土壤侵蚀模数均低于黄土丘陵沟壑区。(3) 从侵蚀强度转移情况来看, 2000—2008 年间向上转移为主要趋势, 2008—2014 年为向下转移趋势, 2008 年为侵蚀情况最为严重的 1 年。(4) 从土壤侵蚀强度的坡度分布来看, 35° 以上区域在中度以上侵蚀强度主要是坡度提高导致侵蚀的发生。 25° 以下区域主要是耕地与林草第交互作用产生了土壤侵蚀。(5) 通过灰度关联分析, 彭阳县 3 期土壤侵蚀人为影响中, 地类的变化对土壤侵蚀的发生作用最大。

从 2000、2008、2014 年 3 年的土壤侵蚀及其强度变化可以看出, 在退耕还林(草)工程开展的背景下, 彭阳县土壤侵蚀受地类的变化出现了变化, 2008 年土壤侵蚀严重至 2014 年土壤侵蚀受到抑制, 反映了退耕还林还草后生态恢复治理的成效。本试验仅研究了间隔 3 年的土壤侵蚀及其变化, 今后还须对连续时间尺度上土壤侵蚀的变化进行完整的研究。

参考文献:

- [1] 吴发启, 张洪江. 土壤侵蚀学[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 241.
- [2] 冷疏影, 冯仁国, 李锐, 等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 1-6.
- [3] 恰凯, 王诗阳, 王雪, 等. 基于 RUSLE 模型的土壤侵蚀时空分异特征分析——以辽宁省朝阳市为例[J]. 地理科学, 2015, 35(3): 365-372.
- [4] 秦伟, 朱清科, 张岩. 基于 GIS 和 RUSLE 的黄土高原小流域土壤侵蚀评估[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 157-163.
- [5] 庞国伟. 人为作用对土壤侵蚀环境影响的定量表征[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.
- [6] 郭建英, 李锦荣, 刘铁军, 等. 退耕还林工程建设对吴起县土地利用/覆被变化及其土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 6-11.

韩翠莲,霍轶珍,田志强. 聚丙烯酰胺(PAM)对盐渍化土壤物理性状的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(9):294-296.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.09.070

聚丙烯酰胺(PAM)对盐渍化土壤物理性状的影响

韩翠莲,霍轶珍,田志强

(河套学院土木工程系,内蒙古巴彦淖尔 015000)

摘要:为研究聚丙烯酰胺(PAM)对盐渍化土壤物理性状的影响,本研究选取河套灌区 4 种典型土壤(非盐渍化土壤、轻度盐渍化土壤、中度盐渍化土壤、重度盐渍化土壤)为研究对象,研究 PAM 不同施用浓度对土壤容重、土壤孔隙度、土壤饱和含水量、土壤田间持水量的影响。结果表明,随 PAM 施用浓度的增加土壤容重呈现先降低后提高的趋势,且在施用浓度为 1:7 500 时改良效果最优;土壤孔隙度呈先增加后减小的趋势,且在 PAM 施用浓度为 1:7 500 时达到最高;土壤饱和含水量和田间持水量呈显著上升趋势,且均在 PAM 施用浓度为 1:2 500 时改良效果达到最优。随土壤盐渍化程度增加,对土壤容重、土壤孔隙度、土壤饱和含水量的改良效果逐渐减弱,依次为非盐渍化土壤>轻度盐渍化土壤>中度盐渍化土壤>重度盐渍化土壤;而对田间持水量的改良效果表现为轻度盐渍化土壤>中度盐渍化土壤>非盐渍化土壤>重度盐渍化土壤,表明适当的盐分含量有利于促进 PAM 对土壤田间持水能力的改善。研究结果可为 PAM 在灌区农业生产中的应用提供理论依据。

关键词:聚丙烯酰胺;盐渍化土壤;土壤物理性状;河套灌区

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)09-0294-03

河套灌区地处干旱半干旱地区,由于连年干旱少雨、蒸发强度高,且地下水位较高,使得土壤盐渍化问题尤为突出^[1-2]。河套灌区作为内蒙古地区重要的粮油产区,土壤盐渍化日益严重的现状制约了当地农业的发展,威胁到了该地区经济的发展。相关研究表明,土壤中施入聚丙烯酰胺(PAM)后可显著提高作物产量,史吉刚通过研究土壤中施入 PAM 后对胡萝卜产量的影响发现,与对照相比,施用 PAM 后胡萝卜可增产 1.91%~3.82%^[3];杜尧东等通过研究施用

PAM 对不同坡耕地作物产量的影响,与对照相比,作物平均增产 18.7%~32.4%^[4]。施用 PAM 能提高作物产量的原因主要是由于 PAM 作为特殊的土壤结构调理剂,在一定程度上改变了土壤结构和物理性状,从而有效改善了土壤的水肥气热条件,有利于作物的生长发育和产量的形成。针对 PAM 对土壤物理性状的影响,众多学者也进行了相关研究。胡霞等通过研究施用 PAM 对黄土地土壤结构的影响发现,PAM 可显著改善土壤的结构状况,使得土壤团聚体稳定性大幅提高,从而有效防止了土壤结皮的形成^[5];刘东等通过研究不同 PAM 施用浓度对土壤容重的影响发现,PAM 可显著降低土壤容重^[6];韩凤朋等通过研究不同 PAM 施用量对土壤孔隙度的影响发现,随着施用浓度的增加可显著增大土壤总孔隙度,但当浓度达到一定值时增幅减弱^[7]。

针对 PAM 的增产增收效应以及对土壤物理性状的影响,众多学者已经进行了相关研究,但研究主要是针对非盐渍化土壤,而针对盐渍化土壤的研究鲜有报道。本试验在前人研

收稿日期:2017-04-05

基金项目:内蒙古自治区高等学校创新团队发展计划(编号:NMGIRT-B1611);国家重点研发计划(编号:2016YFC0400205);内蒙古自治区教育厅自然科学基金(编号:NJZY16335)。

作者简介:韩翠莲(1968—),女,内蒙古巴彦淖尔人,副教授,主要从事节水灌溉技术研究。E-mail:3346640049@qq.com。

通信作者:霍轶珍,教授,主要从事节水灌溉技术研究。E-mail:805296445@qq.com。

[7]白晓松. 基于 RUSLE 的北方山区土壤侵蚀定量研究与生态适宜性评价[D]. 保定:河北农业大学,2010.

[8]谢红霞. 延河流域土壤侵蚀时空变化及水土保持环境效应评价研究[D]. 西安:陕西师范大学,2008.

[9]中国科学院宁夏回族自治区固原县考察队. 黄土高原典型地区宁夏固原县综合农业区划与应用[M]. 银川:宁夏人民出版社,1988:331.

[10]王吉智. 宁夏农业勘察设计院. 宁夏土壤[M]. 银川:宁夏人民出版社,1990:544.

[11]刘宝元,谢云,张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001:251.

[12]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):37-43.

[13]Wang B,Zheng F,Guan Y. Improved USLE-K, factor prediction;a

case study on water erosion areas in China[J]. International Soil & Water Conservation Research,2016,4(3):168-176.

[14]崔晨. 基于 DEM 的土壤侵蚀模型中地形因子的研究[D]. 西安:西北大学,2010.

[15]潘建平. RUSLE 及其影响因子的快速计算分析[J]. 地质灾害与环境保护,2008,19(1):88-92.

[16]蔡崇法,丁树文. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(2):19-24.

[17]中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准:SL190—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[18]高凤杰,张柏,王宗明,等. 基于 GIS 与 USLE 的牡丹江市退耕还林前后水土流失变化研究[J]. 农业现代化研究,2010,31(5):612-616.