

基于马尔科夫模型土壤侵蚀动态变化研究 ——以西安都市圈为例

刘少佳^{1,2}, 任志远^{1,2}, 杨文艳^{1,2,3}, 周忠学^{1,2}

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710119; 2. 陕西师范大学 西北国土资源研究中心,
西安 710119; 3. 陕西师范大学 西北历史环境与经济社会发展研究院, 西安 710062)

摘要:以西安都市圈为研究区域,采用遥感影像、DEM和经济社会统计数据等基础数据,通过RS和GIS技术,结合通用水土流失方程(RUSLE),对2000年、2005年和2010年西安都市圈土壤侵蚀动态变化情况做定量估算分析。在定量计算的基础上,应用马尔科夫模型预测2015年、2020年、2025年的土壤侵蚀演变情况。结果表明:(1)2000—2010年,从时间特征上来看,西安都市圈土壤侵蚀呈减小趋势;从空间特征来看,北部和南部区域土壤侵蚀比较严重,中心区域相对较轻。(2)2000—2010年,各类土壤侵蚀类型面积主要趋于由较高转向较低等级侵蚀类型,说明西安都市圈土壤侵蚀强度呈减小趋势。(3)从预测结果可以看出,2015—2025年,微度侵蚀面积在逐年增加,轻度及以上类型的面积逐年减少,整体呈良性发展趋势。

关键词:西安都市圈; 土壤侵蚀; 动态变化; 马尔科夫模型

中图分类号:S157;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0014-06

Dynamic Changes of Soil Erosion Based on Markov Model —A Case Study of the Xi'an Metropolitan

LIU Shaojia^{1,2}, REN Zhiyuan^{1,2}, YANG Wenyan^{1,2,3}, ZHOU Zhongxue^{1,2}

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. Northwest Land and Resources Research Center, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 3. Northwest
Institute of Historical Environment and Socioeconomic Development, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: We took Xi'an metropolitan as the study area. Based on DEM data, remote sensing data and the economic and social statistics data, using RS and GIS technology, combining with the universal soil loss equation (RUSLE), we analyzed the dynamic change of soil erosion in Xi'an metropolitan in 2000, 2005 and 2010. On the basis of the quantitative calculation and application of Markov models, the dynamic changes of soil erosion areas of Xi'an metropolitan in 2015, 2020, 2025 were predicted. The results showed that: (1) from 2000 to 2010, on the view of time features, soil erosion presented the decreasing tendency in Xi'an metropolitan; on the view of spatial characteristics, soil erosion was more serious in north and south region, and was relatively light in central region; (2) from 2000 to 2010, various types of soil erosion areas shifted from higher to lower level erosion types, specification of Xi'an City circle of soil erosion intensity showed the trend of decrease indicating that soil erosion intensity presented the decreasing tendency in Xi'an metropolitan; (3) predicted value results show that, the tiny degree of soil erosion area will increase year by year, light and above the light degree soil erosion areas will reduce year by year from 2015 to 2025, the overall trend will tend to a status of benign development.

Keywords: Xi'an metropolitan; soil erosion; dynamic changes; Markov Model

土壤侵蚀是土地资源破坏的主要原因,近几十年期间,我国土壤资源遭到严重破坏,土壤肥力严重流失,土地生产力下降,生态环境日益恶化,对人类的生

存和发展环境构成严重的威胁,目前各国学者都很关注的土壤侵蚀问题^[1-3],针对土壤侵蚀问题,土壤侵蚀模型是衡量土壤侵蚀量的重要工具。国内外学者在

土壤侵蚀方面做了大量研究,取得了丰硕的研究成果,美国学者^[4]最早提出通用土壤流失方程 USLE,用于计算土壤侵蚀模数,随着后期不断发展,美国农业部又对通用土壤流失方程做了进一步修正,颁布 RUSLE 模型^[5]。20 世纪 70 年代,我国将修正后的美国通用土壤流失方程引入国内,我国学者在此模型的基础上,从土壤侵蚀各影响因子以及土壤侵蚀预报模型等方面做了大量的研究。其中,万廷朝^[6]以径流监测资料为基础,探讨了降雨侵蚀力因子和地形因子的相互关系以及对水土流失的作用,陈德林等^[7]也研究分析了降雨侵蚀力因子,有较好的代表性。鉴于很多地区相关资料不够全面,当前,以 USLE/RUSLE 为代表的水土流失模型结合 GIS 和 RS 技术仍是应用最为广泛的模型。马尔科夫(Markov)预测模型^[8]由俄国数学家 Markov A A 在 1907 年用数学方法研究布朗运动过程时发现的一种随机运动规律,是根据目前时间的情况预测未来各个时刻(或时期)变动状况的一种预测方法,是地理预测中常用的重要方法,它的转移过程具有“无后效性”。目前马尔科夫预测模型在很多方面得到广泛应用,主要用于土地利用变化,土壤侵蚀,降雨以及人口等预测研究中,是一种具有可行性的地理预测方法。

鉴于此,本文采用美国通用水土流失方程 USLE (universal soil loss equation),结合 GIS 和 RS 技术,对西安都市圈 2000 年、2005 年、2010 年土壤侵蚀量进行计算,并对该区域土壤侵蚀的时空变化特征进行分析,在此基础上采用马尔科夫模型,预测分析该区域土壤侵蚀的演变趋势,以期为该区域水土保持措施优化配置以及水土保持宏观决策提供支持。

1 研究区域概况

1.1 研究区概况

西安都市圈由西安市全部及咸阳市的部分区县构成,共 22 个区县,其中包括西安市全部(九区四县),咸阳市两区六县与杨陵区,总面积约为 14 995 km²。该区域主要包括渭河、泾河平原,中部台塬区,北部高原丘陵区三种地貌特征,地形由东南向西北呈阶梯形,西安都市圈地处南北过渡地带,背靠秦岭,土地资源肥沃,年均降雨量为 600~800 mm,光热条件较好,气候温和,属暖温带半湿润的季风气候,并面向关中平原,适宜发展各种新型的都市农业科技示范园区、生态经济林带以及设施农业,是关中平原农业、城镇以及人口分布最密集的地带。

当前本区水果、蔬菜和畜牧品的品质享誉全国,已经建成国内较大的樱桃以及葡萄和厚皮甜瓜生产

基地,其番茄和猕猴桃生产在全国占有重要地位,还有较好的奶牛养殖基地,并形成了独具特色的生态型、产业型和现代型的多元化都市农业。然而,该区域伴随着城市化快速扩张,环境问题日益突现,水土流失严重,尤其在临潼、周至县西南地区、户县、蓝田、长安等区域土壤侵蚀尤为严重,导致土壤肥力流失,土地生产力下降,因此,研究土壤侵蚀动态变化对于提高该区域水土保持措施优化配置以及水土资源保护具有重要的意义。

1.2 数据来源

本研究采用的主要数据包括遥感数据、DEM 数据和统计数据。遥感数据采用 Landsat 7 卫星影像,主要用于解译农业土地利用。DEM 数据主要用于提取 LS 因子,并在 ArcGIS 软件中结合其它土壤侵蚀影响因子来计算土壤侵蚀量。经济社会统计数据主要来源于实地调研数据以及各种统计年鉴,统计年鉴数据主要包括 2001 年、2006 年以及 2011 年西安市全部和咸阳部分区县的统计年鉴以及杨凌实地调研和相关部门提供的数据。

1.3 研究方法

1.3.1 水土流失模型 土壤侵蚀模数采用美国修正土壤流失方程(RUSLE)得到^[9],其表达式为:

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

式中:A——土壤侵蚀量[t/(hm²·a)];R——降雨及径流因子^[10][(MJ·mm)/(hm²·h·a)];K——土壤可蚀性因子[(t·hm²·h)/(hm²·MJ·mm)];L——坡长因子;S——坡度因子;C——地表植被覆盖因子;P——土壤保持措施因子,它们是无量纲因子。R 值是降雨因子,是引起土壤流失的最重要的因子,通过计算各个站点多年平均降雨侵蚀力 R 值,使用 Krige 方法在 GIS 软件中进行空间内插运算,得到年降雨侵蚀力的空间分布因子栅格图。R 值的计算公式如下:

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-1.5527 + 0.1792j_i) \quad (2)$$

式中: j_i ——第 i 月降水量。K 值反映了土壤的抗蚀能力,K 值越大,土壤抗蚀性越差,反之越强。由于运用诺谟图法和粒级算法确定 K 值需要较多参数,因此本文参考吕世海^[11]、岑奕^[12]等的研究,通过查表法获取西安都市圈各类土壤的 K 值,并录入西安都市圈土壤类型分布图,在 GIS 软件中转换为栅格图层。K 值乘以 0.131 7 由美国制转换为国际制。L 是坡长因子,S 是坡度因子,等于其他条件相同时实际坡度与 9% 坡度相比土壤流失比值;由于 L 和 S 因子经常影响土壤流失,因此,称 LS 为地形因子,以示其综合效应;

坡长坡度因子(LS)的计算公式^[13]如下:

$$LS=(\lambda/22.1)^m(65.41\sin^2\theta+4.56\sin\theta+0.065) \quad (3)$$

$$m=\beta/(1+\beta) \quad (4)$$

$$\beta=(\sin\theta/0.0896)/[3.0(\sin\theta)^{0.8}+0.56] \quad (5)$$

式中: L ——坡长因子; λ ——坡长(m); m ——坡长指数; β ——细沟侵蚀和细沟间侵蚀的比率; θ ——坡度。

植被覆盖指数因子(C)指不同地面植被覆盖状况对土壤侵蚀的影响,与土地利用类型、植被覆盖度密切相关^[14],计算公式为:

$$C=\begin{cases} C=1 & f_c=0 \\ C=0.6508-0.34361\lg f_c & 0<f_c\leq 78.3\% \\ C=0 & f_c>78.3\% \end{cases} \quad (6)$$

$$f_c=(NDVI-NDVI_s)/(NDVI_v-NDVI_s) \quad (7)$$

式中: f_c ——植被覆盖度^[15]; 归一化植被指数($NDVI$)——目前应用最广的植被指数,可以很好地反映地表植被的繁茂程度,植被覆盖度与 $NDVI$ 有较好的相关关系。利用 2000 年、2005 年、2010 年的 TM 遥感影像图在 Erdas 软件下通过计算来获取这三年的归一化植被指数值($NDVI$), $NDVI_v$, $NDVI_s$ 表示植被整个生长季 $NDVI$ 的最大值和最小值。 C 值为 0~1,其中,0 为不发生侵蚀的地区,1 为未采取任何控制措施的地区,用 GIS 软件通过运算得到 C 因子栅格图。

研究表明,梯田(等高)耕作方式是最有效的水土保持措施之一,但当坡度大于 24% 时,等高耕作对水土保持的效果就不明显^[16]。本文通过土地利用现状图,确定不同土地利用方式的土壤保持措施因子(P 值),其中,城乡工矿居民用地、水域的 P 值为 0;耕地的 P 值为 0.35;草地、林地、未利用地基本上没采取水土保持措施,取值 1。将该值分别录入 2000 年、2005 年、2010 年的土地利用分布图中,在 GIS 软件下生成水土保持措施因子栅格图。

1.3.2 土壤侵蚀强度分类标准 土壤侵蚀强度的划分依据国家 2008 年开始实施的水利行业标准《土壤侵蚀分类分级标准 SL190—2007》^[17],土壤侵蚀强度分级如表 1 所示。

表 1 土壤侵蚀强度分级

级别	平均侵蚀模数/($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)
微度侵蚀	$<200, <500, <1000$
轻度侵蚀	$200, 500, 1000 \sim 2500$
中度侵蚀	$2500 \sim 5000$
强烈侵蚀	$5000 \sim 8000$
极强烈侵蚀	$8000 \sim 15000$
剧烈侵蚀	>15000

1.3.3 马尔科夫模型 马尔科夫(Markov)模型是一种关于事件发生的概率预测方法,是地理预测中常

用的重要方法之一。通过对某事件的不同初始状态概率以及状态转移概率的研究来确定其将来各个状态的变化趋势,从而达到对未来趋势的预测目的。它表明在 t 时刻所研究事件的状态概率只与前一时刻 $t-1$ 的状态有关,而与 $t-1$ 之前的状态概率无关,即状态转移过程的无后效性^[18]。用该模型研究土壤侵蚀动态变化是可行的,因为该区域土壤侵蚀的动态演变过程符合马尔科夫模型的性质:在一定研究区域内,各类土壤侵蚀强度之间可以相互转化;在不同时期,其转移过程受前一时刻状态的影响。在生成区域土壤侵蚀转移矩阵的基础上,该模型被用于预测特定时刻下土壤侵蚀演变的未来趋势^[19-22]。

运用马尔科夫模型预测土壤侵蚀动态变化趋势最重要的是确立土壤侵蚀强度转移矩阵 P ,其数学表达式为:

$$P_{ij}=\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} \\ P_{61} & P_{62} & P_{63} & P_{64} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: P_{ij} ——土壤侵蚀强度类型 i 到 j 的转移概率。

$$P_{ij} \text{ 需满足条件 } \begin{cases} 0 \leq P_{ij} \leq 1 & (i, j=1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 & (i=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (9)$$

2 结果与分析

2.1 土壤侵蚀时空分布变化

2.1.1 时间分布变化 西安都市圈 3 个时期(2000 年、2005 年、2010 年)土壤侵蚀强度等级面积统计如表 2 所示。从表中我们可以看出微度、轻度、中度侵蚀这 3 个等级的侵蚀面积比较大。总体来看土壤侵蚀强度趋于减小,2000—2005 年微度侵蚀面积增加 211.17 km^2 ,轻度以上侵蚀面积减少 211.22 km^2 ,土壤侵蚀强度呈下降趋势,说明该区域在这 5 a 期间,土地利用强度较小,水土流失现状有所缓解,离不开同期政府实施的水土保持措施,提高了土壤生产力。2005—2010 年微度侵蚀面积增加与轻度以上侵蚀面积减少量等同为 67.55 km^2 ,土壤侵蚀强度也呈减小趋势,但与上一期相比土壤侵蚀减小趋势较少,主要是由于随着城市化的快速扩张,环境问题开始变得突出,政府出台了相关的封山育林、退耕还林还草等政策,土壤侵蚀现状得到改观。2000—2010 年城市化快速发展过程中,覆被变化是下垫面变化的最重要因

子,下垫面变化一定程度上也影响土地利用变化,在计算土壤侵蚀量的时候根据不同时期的遥感影像提取各期的 NDVI 指数,同时到实地调研考察,不同地区不同时期的土壤侵蚀程度不一样,不过近几年虽然城市化速度加快,下垫面改变带来了一定程度的侵蚀,但随着对该地区都市农业的快速发展,国家采取

一系列还林还草政策,以及农业结构的合理化调整,采取了地膜覆盖等技术,形成一系列的设施农业和现代生态农业,这 10 a 期间,长安区、周至、礼泉等区县地表植被覆盖度提高 3% 左右,户县、蓝田、三原等县地表植被覆盖度提高将近 5%,地表植被覆盖率不断提高,水土的保持能力增强,土壤侵蚀呈减小趋势。

表 2 西安都市圈不同时期土壤侵蚀强度面积与百分比变化

级别	2000 年		2005 年		2010 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
微度	11589.8652	77.80	11801.0331	79.22	11868.5799	79.68
轻度	2542.8915	17.07	2438.8425	16.37	2434.1643	16.34
中度	588.8403	3.95	524.4147	3.52	484.3827	3.25
强度	142.5663	0.96	111.8556	0.75	93.1365	0.63
极强度	30.3813	0.20	19.0764	0.13	14.9679	0.10
剧烈	1.5840	0.01	0.8541	0.01	0.8451	0.01

2.1.2 空间分布变化 从西安都市圈土壤侵蚀分布图(图 1)可以看出,不同区域土壤侵蚀情况存在着明显的地域分布规律,北部和南部区域土壤侵蚀比较严重,中心区域相对较轻。乾县中北部、礼泉县中部、阎良北部、泾阳及三原县等北部区域的地貌形态以支离破碎的黄土丘陵沟壑为主,地形起伏大,土壤质地粗糙,植被覆盖度空间差异较大,水土保持能力较低,土壤侵蚀相对比较严重。临潼南边区域、周至县西南地区、户

县、蓝田、长安等区域地形以山地丘陵为主,园地、林地交错分布,农业用地分布相对较分散,秦岭山地降雨侵蚀较强,地形高差变化较大,植被覆盖度较低,水土保持能力较差,使该地区土壤侵蚀比较严重。中心区域多位于市区中心,坡长坡度较小,地形相对平坦,降雨侵蚀较弱,主要以耕地和居民用地为主,虽然植被覆盖度低以及土壤保持措施敏感,但这些不是造成该区域土壤侵蚀的主要原因,因此土壤侵蚀程度比较轻。

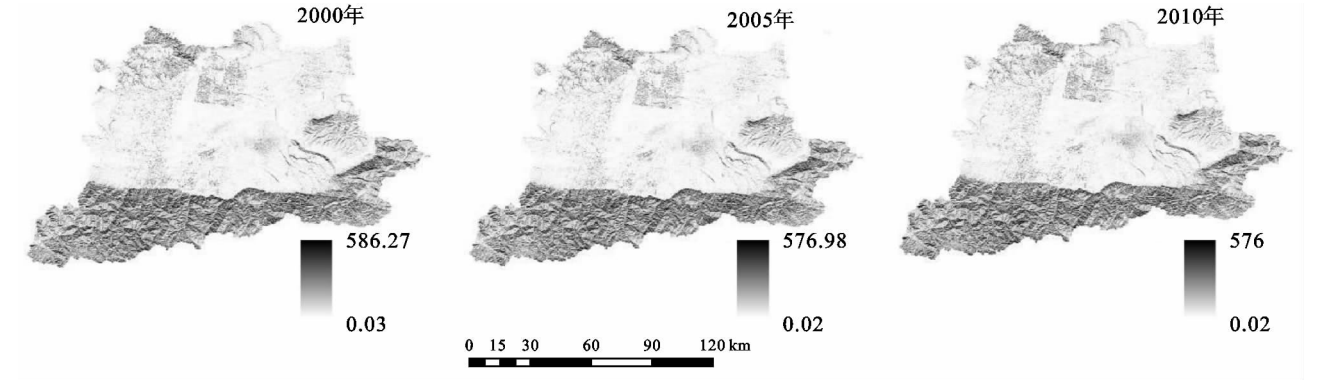


图 1 西安都市圈不同时段土壤侵蚀分布

2.2 土壤侵蚀动态变化趋势

利用 ArcGIS 软件,叠加分析西安都市圈 2000—2005 年和 2005—2010 年两期的数据,获取不同侵蚀类型之间的面积转化状况,计算得出各土壤侵蚀强度面积转移矩阵(表 3、表 4)。从表 3 中可以得出,2000—2005 年,各土壤侵蚀强度之间有一定的转化:微度侵蚀主要转化为轻度侵蚀,面积转化了 0.26%,极少量转化为了中度侵蚀;9.47%的轻度侵蚀面积转化为微度侵蚀,0.54%转化为中度侵蚀,极少量转化为强烈侵蚀;中度侵蚀主要转化为轻度侵蚀,面积转化了 20.44%,其余少量转化为微度和强烈侵蚀;强烈侵蚀主要转化为中度侵蚀,面积转化了 33.65%,其余少量转化为微度、轻度、中度和极强烈侵蚀;极强

烈侵蚀主要转化为剧烈侵蚀,面积转化了 42.94%,其余 1%左右转化为其他侵蚀类型;剧烈面积有 49.49%转化为极强烈侵蚀,从土壤侵蚀面积变化的总体趋势来看,各类土壤侵蚀强度面积主要趋于由较高侵蚀强度转向较低侵蚀强度类型,说明 2000—2005 年西安都市圈土壤侵蚀强度趋于减小,土壤侵蚀量呈良性发展态势。

从表 4 中可以得出,2005—2010 年期间,各土壤侵蚀强度之间都有不同程度的转化,微度侵蚀面积转化为轻度侵蚀,转化了 0.43%;轻度侵蚀面积主要转化为微度侵蚀,少量转化为中度侵蚀,分别转化了 4.85%,0.72%;15.35%中度侵蚀面积主要转化为轻度侵蚀,1.24%转化为强烈侵蚀;强烈侵蚀主要转化

为中度侵蚀,面积转化了 26.23%,1.54%转化为极强烈侵蚀;极强烈侵蚀主要转化为剧烈侵蚀,面积转化了 30.61%,其余 0.7%转化为剧烈侵蚀;16.75%的剧烈侵蚀面积转化为极强烈侵蚀。从土壤侵蚀面积变化的总体趋势来看,主要趋于侵蚀程度较强的面积向侵蚀程度较弱的转变,说明 2005—2010 年西安

都市圈土壤侵蚀强度也呈减小趋势,但相比上一期减小趋势变缓,主要是由于随着城市化的快速扩张,环境问题变得严重,水土流失情况有所严重,但政府出台了相关的封山育林、退耕还林还草、建立生态示范园区等政策,土壤侵蚀现状得到一定的改观,土壤侵蚀向良性发展。

表 3 西安都市圈 2000—2005 年土壤侵蚀面积转移矩阵

km²

土壤侵蚀强度		2005 年					
		微度	轻度	中度	强度	极强烈	剧烈
2000 年	微度	11558.2068	29.8809	1.3095	0.3321	0.0738	0.0018
	轻度	240.7464	2288.2014	13.7619	0.1495	0.0171	0.0027
	中度	1.5039	120.3561	461.1915	5.7132	0.0738	0.0018
	强度	0.4338	0.3609	47.9691	92.6073	1.1889	0.0063
	极强度	0.1143	0.0378	0.1764	13.0455	16.9389	0.0684
	剧烈	0.0072	0.0054	0.0063	0.0081	0.7839	0.7731

表 4 西安都市圈 2005—2010 年土壤侵蚀类型面积转移矩阵

km²

土壤侵蚀强度		2010 年					
		微度	轻度	中度	强度	极强烈	剧烈
2005 年	微度	11750.2650	50.7681	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	轻度	118.3149	2302.9155	17.6121	0.0000	0.0000	0.0000
	中度	0.0000	80.4807	437.4333	6.5007	0.0000	0.0000
	强度	0.0000	0.0000	29.3373	80.7957	1.7226	0.0000
	极强度	0.0000	0.0000	0.0000	5.8401	13.1022	0.1341
	剧烈	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1431	0.7110

2.3 土壤侵蚀动态变化模拟预测

根据 2000—2005 年的土壤侵蚀类型转移矩阵表 3,计算出相应的土壤侵蚀强度转移概率矩阵,在此基础上预测出 2010 年的土壤侵蚀面积百分比,见表 5。

表 5 2010 年土壤侵蚀类型面积百分比实际值与预测值的比较

级别	2010 年实际值	2010 年预测值
	面积比例/%	面积比例/%
微度	79.68	80.57
轻度	16.34	15.66
中度	3.25	3.11
强度	0.63	0.58
极强度	0.10	0.08
剧烈	0.01	0.00

RUSLE 各因子专题图层建立时不可避免存在误差,而预测结果是六大因子连乘,使误差累计增大,为使 RUSLE 更符合我国陡坡地的实际,对各因子算法进行了必要的修改,在实际规划中将土壤侵蚀分为多级后,可以消除部分偏差,得到更准确的侵蚀强度数据。结合实地调研数据。本文引入模型效应系数 $W^{[23-24]}$ 判断马尔科夫模拟预测的效果, W 值可以反映土壤侵蚀类型面积比例实际值与预测值的吻合程度,计算公式为:

$$W=1-\frac{\sum(Q_s-Q_y)^2}{\sum(Q_s-\bar{Q}_s)^2} \tag{10}$$

式中: Q_s ——实际值; Q_y ——预测值; \bar{Q}_s ——实际值

的平均值, W 值越接近 1 模拟效果越好,说明实际值与预测值两者吻合程度越高。通过计算, W 值为 99.98%,说明西安都市圈 2010 年的预测侵蚀等级与野外调查的侵蚀等级相比较,它们的一致性比较高,进而说明马尔科夫模型模拟和预测土壤侵蚀动态变化过程是适用可行的。

通过模型验证后,根据 2005—2010 年西安都市圈土壤侵蚀类型面积变化,计算出各土壤侵蚀等级转移概率矩阵表 6,在此基础上,利用初始转移概率矩阵和 2010 年土壤侵蚀程度面积的初始状态矩阵,预测计算出 2015 年、2020 年、2025 年 3 个不同时期的土壤侵蚀面积变化情况见表 7。

从预测结果表 7 可以看出,总体而言西安都市圈土壤侵蚀按目前的状态发展相对乐观,2000—2025 年 25 a 期间,微度侵蚀面积逐年在增加,轻度及以上类型的面积逐年减少。这 25 a 期间,微度侵蚀面积增加 664.77 km²,占西安都市圈土壤侵蚀总面积的 4.46%;轻度和中度土壤侵蚀面积明显趋于下降,2015 年、2020 年、2025 年强烈和极强烈土壤侵蚀面积所占比例很小,总面积不足 1%,剧烈侵蚀面积到 2020 年、2025 年占的比例最小。说明西安都市圈土壤侵蚀状况在不断向良性发展,局部小区域可能还存在一定土壤侵蚀加剧的潜在危险,因此需要政府保持长效的水土保持措施。

表 6 西安都市圈 2005—2010 年初始状态土壤侵蚀强度转移概率矩阵

土壤侵蚀强度		2010 年					
		微度	轻度	中度	强度	极强烈	剧烈
2005 年	微度	0.9957	0.0043	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	轻度	0.0485	0.9443	0.0072	0.0000	0.0000	0.0000
	中度	0.0000	0.1535	0.8341	0.0124	0.0000	0.0000
	强度	0.0000	0.0000	0.2623	0.7223	0.0154	0.0000
	极强度	0.0000	0.0000	0.0000	0.3061	0.6868	0.0070
	剧度	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1675	0.8325

表 7 西安都市圈土壤侵蚀面积未来演变趋势预测

级别	2015 年		2020 年		2025 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
微度	11935.6125	80.1339	12067.0749	81.01	12254.6452	82.27
轻度	2423.8934	16.2727	2388.9242	16.04	2309.7835	15.51
中度	446.0507	2.9901	376.5407	2.53	292.5246	1.96
强度	77.8614	0.5238	55.2248	0.37	34.4308	0.23
极强度	11.8608	0.0810	7.6409	0.05	4.2237	0.03
剧度	0.8104	0.0103	0.7043	0.00	0.5245	0.00

3 结论与讨论

(1) 西安都市圈土壤侵蚀分布从时间分布特征来看,2000 年、2005 年、2010 年微度侵蚀面积最大,其次为轻度侵蚀,土壤侵蚀呈减小趋势。从空间分布特征来看,乾县中北部、礼泉县中部、阎良北部、泾阳及三原县等北部区域和周至县西南地区、户县、蓝田、长安、临潼等南部区域土壤侵蚀较为严重,中心区域土壤侵蚀相对较轻。

(2) 2000—2010 年,从土壤侵蚀面积动态变化的总体趋势而言,各类土壤侵蚀强度面积主要趋于由较高等级侵蚀类型转向较低等级侵蚀类型,说明西安都市圈土壤侵蚀强度呈减小趋势,土壤侵蚀状况呈良性发展趋势。

(3) 2000—2025 年这 25 a 期间,微度侵蚀面积逐年增加,轻度及以上类型的面积逐年减少。微度侵蚀面积呈上升趋势,面积增加 664.77 km²,占西安都市圈土壤侵蚀总面积的 4.46%;轻度和中度土壤侵蚀面积明显趋于下降,2015 年、2020 年、2025 年强烈和极强烈土壤侵蚀面积所占比例很小,总面积不足 1%,剧烈侵蚀面积到 2020 年、2025 年减少到最少。土壤侵蚀状况得到明显缓解。说明西安都市圈土壤侵蚀状况在不断向良性发展,土壤侵蚀发展前景相对乐观。

(4) 西安都市圈土壤侵蚀整体呈现乐观的发展趋势,但局部地区可能也存在土壤侵蚀加剧的潜在危险,因此本地相关部门在保证该区域长效良性发展的前提下,要采取一系列还林还草政策,同时调整农业结构,形成一系列的设施农业和现代生态农业,提高土地的利用效率以及土壤水分利用率,优化配置该地区水土保持措施,防御和治理相结合,加强局部土壤

侵蚀严重区域的水土流失保护,更好地控制该地区的土壤侵蚀状况,建立更加良性的发展趋势。

参考文献:

[1] 潘竟虎,文岩. 基于 RUSLE-SMA 的黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀评价及景观格局分析:以庆城县蔡家庙流域为例[J]. 生态学杂志,2013,32(2):436-444.

[2] 陈贵廷,吕世海,吴新宏. 呼伦贝尔森林—草原区水土流失动态变化[J]. 草地学报,2009,17(5):607-613.

[3] 程先富,余芬. 安徽省土壤侵蚀空间分布及其与环境因子的关系[J]. 地理研究,2010,29(8):1461-1468.

[4] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide for Conservation Planning [M]. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537,1978.

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

[6] 万廷朝. 黄丘五副区降雨和地形因素与坡面水土流失关系研究[J]. 中国水土保持,1996,177(12):26-29.

[7] 陈德林,谷淑芳. 浑江流域降水侵蚀因子 R 值的确定[J]. 吉林气象,1995(2):26-33.

[8] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2006:94-98.

[9] 陈龙,谢高地,裴厦,等. 澜沧江流域生态系统土壤保持功能及其空间分布[J]. 应用生态学报. 2012,23(8):2249-2256.

[10] 任志远,李晶. 陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评[J]. 地理学报,2003,58(4):503-510.

[11] 吕世海,陈贵廷,叶生星. 基于 GIS 的呼伦贝尔地区土壤侵蚀动态变化研究[J]. 水土保持学报,2009,23(5):56-61.

[12] 岑奕,丁文峰,张平仓. 华中地区土壤可蚀性因子研究[J]. 长江科学院院报,2011,28(10):65-74.

表 3 泾河流域径流输沙量对气候和土地利用变化的响应

项目	时间段	累积降水/ mm	输沙			降水因素		人类活动因素	
			实测值/ 10 ⁸ t	计算值/ 10 ⁸ t	总减少量/ 10 ⁸ t	影响量/ 10 ⁸ t	贡献率/ %	影响量/ 10 ⁸ t	贡献率/ %
径流	1971—1985 年	7609.58	15.664	—	—	—	—	—	—
	1986—1996 年	5264.08	11.729	14.619	3.934	1.045	26.6%	2.890	73.4
	1997—2010 年	6918.38	9.547	15.197	6.117	0.467	7.6%	5.650	92.4
输沙	1971—1996 年	12873.66	2.336	—	—	—	—	—	—
	1997—2010 年	6918.38	1.226	2.271	1.110	0.065	5.9%	1.045	94.1

引起了区域气候变化的因子主要有降水、温度、辐射、湿度、风速等,它们综合作用下于气候影响下的环境。但由于数据采集获取等有限,时间序列长度的温度影响不够强烈,本研究气候变化主要指降水变化,这对研究结果的准确性有一定影响,条件允许的情况下应当加强影响生态水文过程的其他气候因子的分析。

参考文献:

[1] Liu C, Sui J, Wang Z Y. Changes in runoff and sediment yield along the Yellow River during the period from 1950 to 2006[J]. Journal of Environmental Informatics, 2008, 12(2): 129-139.

[2] 张学成,王玲,高贵成. 黄河泥沙动态分析[J]. 泥沙研究, 2002(1): 43-52.

[3] 王光谦,王思远,陈志祥. 黄河流域的土地利用和土地覆盖变化[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(9): 1218-1222.

[4] 程磊,徐宗学,罗睿,等. 渭河流域 1980—2000 年 LUCC 时空变化特征及其驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 1-6, 30.

[5] 刘昌明,张学成. 黄河干流实际来水量不断减少的成因分析[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 323-330.

[6] 王小军,蔡焕杰,张鑫,等. 皇甫川流域水沙变化特点及其趋势分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 222-226.

[7] 李庆云,吕素冰,刘蕾,等. 黄土高原藉河流域近 35 a 来土地利用/覆被变化过程[J]. 华北水利水电学院学报, 2013, 34(6): 32-35.

[8] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63.

[9] 杨丽,谢高地,甄霖,等. 泾河流域土地利用格局的时空变化分析[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 26-32.

[10] 张程,李小兵,张立,等. 皇甫川流域土地利用/覆被变化对生态服务价值的影响[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 399-403.

[11] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和监测方法[J]. 大气科学, 1992, 12(4): 482-493.

[12] 赵广举,穆兴民,温仲明,等. 皇甫川流域降水和人类活动对水沙变化的定量分析[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(4): 1-8.

[13] 穆兴民,巴桑赤烈, Zhang Lu, 等. 黄河河口镇至龙门区间来水来沙变化及其对水利水保措施的响应[J]. 泥沙研究, 2007, 52(2): 36-41.

[14] 王国庆. 气候变化对黄河中游水文水资源影响的关键问题研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.

(上接第 19 页)

[13] 汤国安,杨昕. 地理信息系统空间分析试验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[14] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1533-1543.

[15] 延昊,王长耀. 遥感植被指数对多时相 AVHRR 数据主成分分析的影响[J]. 遥感学报, 2002, 6(1): 30-34.

[16] 游松财,李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算: 以江西省泰和县灌溪乡为例[J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 63-67.

[17] 中华人民共和国行业标准. 土壤侵蚀分类分级标准 SL190-2007[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

[18] 薛亮,任志远. 基于空间马尔科夫链的关中地区生态安全时空演变分析[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1): 114-118.

[19] 李天宏. 基于 RUSLE 模型的延河流域 2001—2010 年土壤侵蚀动态变化[J]. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1165-1175.

[20] 朱萌,马孝义,刘雪娇. 基于马尔科夫模型的武功县土地利用/覆被动态变化研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 64-68.

[21] 李德成,徐彬彬,石晓日. 利用马氏过程模拟和预测土壤侵蚀的动态演变: 以安徽省岳西县为例[J]. 环境遥感, 1995, 10(2): 89-96.

[22] 刘晓阳,李纪人. 雷达估测降水模拟史灌河流域径流[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2002, 38(3): 342-349.

[23] 江青龙,谢永生. 京津水源区小流域土壤侵蚀空间模拟[J]. 生态学杂志, 2011, 30(8): 1703-1711.

[24] 石香琼,查轩,陈世发. 基于马尔柯夫模型的红壤退化地水土流失动态变化预测研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 19-23.