

综合研究

# 江西省社会经济因素对区域土壤侵蚀的影响

黄栋<sup>1</sup>, 杨小唤<sup>2,3</sup>, 蔡红艳<sup>2,3</sup>

(1. 辽宁师范大学 海洋经济与可持续发展研究中心, 中国 辽宁 大连 116029;

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所 资源环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** [目的] 探索 1990—2015 年江西省社会经济因素对区域土壤侵蚀的影响特征, 为区域土壤侵蚀防治管理提供数据基础和科学参考。[方法] 采用区域特征化的通用土壤流失方程(RUSLE)模拟江西省土壤侵蚀空间分布, 以设区市为基本单元构建社会经济影响因素指标体系(包括 4 类一级指标和 21 个二级指标), 基于灰色关联分析获取 1990, 2000, 2015 年各指标对区域土壤侵蚀的影响程度。[结果] 1990, 2000, 2015 年, 江西省平均土壤侵蚀模数明显下降, 分别为 864, 663, 281 t/(km<sup>2</sup>·a); 1990—2015 年, 社会经济因素与区域土壤侵蚀的关联度总体呈增加趋势; 不同时相下各社会经济因素与区域土壤侵蚀的关联度排序呈动态变化。[结论] 1990—2015 年, 江西省土壤侵蚀状况显著改善, 随着江西省社会经济发展, 总体来看各个社会经济因素对区域土壤侵蚀影响程度明显提高, 其中农村发展状况, 尤其是坡耕地的影响最为显著, 人口水平的影响程度明显增加, 生态保护的重要性逐步凸显。

**关键词:** 区域尺度; 社会经济因素; 土壤侵蚀; 灰色关联分析; 江西省

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2020)03-0110-08

**中图分类号:** S157.1, K902

**文献参数:** 黄栋, 杨小唤, 蔡红艳. 江西省社会经济因素对区域土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3):110-117. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.016; Huang Dong, Yang Xiaohuan, Cai Hongyan. Impacts of socioeconomic factors on regional soil erosion in Jiangxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3):110-117.

## Impacts of Socioeconomic Factors on Regional Soil Erosion in Jiangxi Province

Huang Dong<sup>1</sup>, Yang Xiaohuan<sup>2,3</sup>, Cai Hongyan<sup>2,3</sup>

(1. Marine Economics and Sustainable Development Research Center, Liaoning

Normal University, Dalian, Liaoning 116029, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources

Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** [Objective] The impacts of socioeconomic factors on soil erosion during 1990—2015 in Jiangxi Province were studied to provide a scientific basis for prevention and control of soil erosion according to regional development needs. [Methods] The spatial distribution of regional soil erosion obtained through the localized revised universal soil loss equation model was simulated. Subsequently, a socioeconomic indicator system based on the city unit (including four first-level indicators and 21 second-level indicators) was built. The impacts on soil erosion in 1999, 2000, and 2015 were identified by using the method of grey relational analysis. [Results] The average soil erosion modulus of regional soil erosion decreased. The values were 864, 663, and 281 t/(km<sup>2</sup>·a) in 1990, 2000, and 2015, respectively. From 1990 to 2015, the grey relational degree of socioeconomic factors and regional soil erosion showed an overall increasing trend, and the order of the indicators was dynamically changing. [Conclusion] From 1990 to 2015, the regional soil erosion in Jiangxi Province showed evident improvement. The impacts of socioeconomic factors on regional soil erosion were strengthened with social development. Rural development had a remarkable effect, especially for slope

收稿日期: 2019-10-14

修回日期: 2020-02-05

资助项目: 国家自然科学基金项目“区域土壤侵蚀变化的人类活动影响量化方法研究”(41771460); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA20010203)

第一作者: 黄栋(1989—), 女(汉族), 湖北省黄冈市人, 博士, 讲师, 研究方向为资源环境数据分析与应用。Email: imdon@126.com。

通讯作者: 杨小唤(1965—), 男(汉族), 安徽省潜山市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事遥感和 GIS 应用、资源环境科学空间数据库等研究。Email: yangxh@igsnr.ac.cn。

farmland. The importance of population level increased noticeably, and the impacts of the ecological conservation factors improved gradually.

**Keywords:** regional scale; socioeconomic factor; soil erosion; grey relational analysis; Jiangxi Province

土壤侵蚀是全球普遍存在的生态环境问题之一,易导致土壤退化,土质恶化和作物减产,威胁生态环境和社会经济的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。区域尺度的土壤侵蚀一般被认为是自然因素和人类活动因素共同作用的结果,近些年来随着人口增加、土地利用变化、城镇化加速等人类活动的日益增强,人类活动因素逐渐成为主导区域土壤侵蚀变化的关键因素<sup>[3]</sup>。社会经济发展伴随人类活动产生,作为人类活动的一个重要方面,其影响作用不容忽视<sup>[4]</sup>。因此,进行社会经济因素对区域土壤侵蚀的影响研究,对因地制宜,合理调控,有效制定水土保持规划十分重要。

已有学者开展了社会经济因素对区域土壤侵蚀影响研究,华丽<sup>[5]</sup>以社会经济因素为主结合自然因素,构建区域土壤侵蚀影响因素指标体系,采用回归分析方法构建模型以识别影响湖北省土壤侵蚀主导因子;吕开宇等<sup>[6]</sup>基于省级面板数据,利用经济计量方法探索农业生产活动对土壤侵蚀的影响,研究发现,森林覆盖率、作物复种指数以及单位劳动投入等因素对土壤侵蚀作用最为显著。总体而言,以往的研究更多采用的是传统数理统计分析方法,如回归分析、相关性分析、主成分分析等<sup>[4,7-9]</sup>,但此类方法的局限性在于:其统计分析建模要求大量的样本数据、各因素之间不能存在多重共线性等前提,这种要求在复杂多样且相互影响的社会经济因素中通常很难保证<sup>[10]</sup>;社会经济因素一般都以行政区域为基本单元进行统计和收集,其样本数量和指标的客观全面性难以同时兼顾,基于传统的数理统计方法,利用不同的指标体系建模得到的结果可能会出现互相矛盾的现象。

灰色关联分析法是灰色系统理论体系的核心内容之一,通过建立整体比较机制来克服两两比较的局限性,识别系统内各因子的权重,确立各因子的序化关系,提取系统的主导因素<sup>[11-12]</sup>。与传统的数理统计方法相比,灰色关联分析具有以下优点<sup>[10,13-14]</sup>:对样本量的要求小,数据量分析较少时也可以计算出合理的结果;灰色关联分析的量化结果通常与定性分析结果吻合,极少出现系统关系和规律与量化结果歪曲的情况。灰色关联分析已被越来越多的应用于“人地关系系统”的研究。宁杰<sup>[15]</sup>使用灰色关联模型对河南省三次产业结构和碳排放进行关联性分析,结果表明第二产业对碳排放的影响最大;贺祥等<sup>[16]</sup>运用灰色关联模型计算 PM2.5 浓度与影响因素间关联度,分析主要影响因子与 PM2.5 浓度空间分布的相互关

系。社会经济因素多样性显著,各因素之间相互影响,其与土壤侵蚀之间的关系并不只是单纯的正相关或者负相关关系<sup>[8]</sup>,可见区域土壤侵蚀与社会经济发展之间正是一个动态的、复杂的、区域差异性的人地关系系统,其中既包含已知又含有未知的信息状态,实际上就是一个“灰色系统”<sup>[17-18]</sup>。

江西省属中国南方红壤丘陵山区,是典型的水力侵蚀易发区,同时也是国家“中部崛起”战略的重要成员。自 1990 年以来,江西省社会经济快速发展,城镇化进程持续加快,土地利用动态变化加剧,导致区域土壤侵蚀状况必然受到影响。因此,本研究以江西省为研究区,基于区域特征化的通用土壤流失方程 RUSLE 模拟 1990,2000,2015 年江西省土壤侵蚀状况,构建土壤侵蚀相关的社会经济指标体系,采用灰色系统关联分析法识别各因素对区域土壤侵蚀的影响程度,旨在进一步把握区域土壤侵蚀发展特征,为江西省土壤侵蚀防治和管理提供科学参考。

## 1 研究区概况

江西省地处中国东南偏中部,长江中下游南岸,北纬 24°29′14″—30°04′41″、东经 113°34′36″—118°28′58″之间。东邻浙江、福建,南连广东,西靠湖南,北毗湖北、安徽。总面积  $1.67 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,全省山地面积  $50\,713.5 \text{ km}^2$ ,占全省土地面积 30.4%,丘陵  $74\,159.6 \text{ km}^2$  占 44.4%。植被红壤和黄壤是江西省最有代表性的地带性土壤,以红壤分布最广,约占江西省总面积的 65%<sup>[19]</sup>。红壤质地黏重,透水性差,易于水力侵蚀,因此江西省是中国南方红壤丘陵区土壤侵蚀典型区域,2000 年全省水土流失高达  $3.35 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,在南方红壤 8 省中居第一位<sup>[20-21]</sup>。1985 年开始江西省实施“山江湖综合开发治理工程”,退耕还林,封山育林等生态保护和水土保持工程;2000 年之后,随着国家“中部崛起”战略的提出,江西省现代化和城镇化建设不断加快,全省铁路、公路、水利、电力、能源、建材、城镇及工业园建设等建设项目蓬勃发展。在此期间土壤侵蚀时空变化的背景下,社会经济因素的影响必然呈现出新的特征。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本研究所用数据及基本情况如表 1 所示,其中,省、市行政边界矢量数据和土地利用数据来源于中国

科学院地理科学与资源研究所资源环境科学数据中心(RESDC)(<http://www.resdc.cn/>);土地利用数据分类系统主要包括 6 个一级类,25 个二级类;气象数据为国家基准台站日值降雨数据,来源于中国气象科学数据共享网(<http://data.cma.cn/>);MODIS

NDVI 数据集来源于美国国家航空航天局(NASA)(<https://modis.gsfc.nasa.gov/>);另外,本研究所利用的社会经济因素主要包括人口、GDP 等一系列反映人类社会生产活动程度的指标,以设区市为单位进行搜集,来源于江西省统计局。

表 1 数据来源

数据名称	数据格式	数据时相/年	空间分辨率/ 比例尺	数据来源
人口、社会、经济数据	文本	1990/2000/2015	—	统计年鉴
省、市行政边界	矢量	2005	1:400 万	RESDC
土地利用数据	栅格	1990/2000/2015	1 km	RESDC
DEM	栅格	2000	30 m	RESDC
江西省气象站点	矢量	2010	—	RESDC
气象站点降雨数据	文本	1990—2015	—	RESDC
江西省水系	矢量	2008	—	RESDC
土壤基础数据	栅格	1990s	1 km	RESDC
中国 MODIS NDVI 数据集	栅格	2000—2015	1 km	NASA

## 2.2 研究方法

2.2.1 区域土壤侵蚀模拟 本文采用目前应用最为广泛的通用水土流失方程(RUSLE),结合区域特征对方程中的参数进行特征化和本地化,基于气象数据、土地利用数据、土壤数据、DEM、植被覆盖数据进行不同年份(1990/2000/2015 年)江西省土壤侵蚀空间模拟,RUSLE 计算公式如下:

$$A=R \times K \times LS \times C \times P$$

式中: $A$  为年均土壤侵蚀模数 [ $t/(km^2 \cdot a)$ ];  $R$  为降雨侵蚀力因子 [ $MJ \cdot mm/(km^2 \cdot h \cdot a)$ ];  $K$  为土壤可蚀性因子 [ $t \cdot km^2 \cdot h/(km^2 \cdot MJ \cdot mm)$ ];  $LS$  为坡长坡度因子(无量纲);  $C$  为地表植被覆盖与管理因子(无量纲);  $P$  为水土保持措施因子(无量纲)。

$R$ (降雨侵蚀力因子),采用章文波等<sup>[22]</sup>的基于日降雨量拟合模型来估算降雨侵蚀力,通过半月侵蚀力(24 个半月)的累加可以得出年降雨侵蚀力; $K$ (土壤可蚀性因子)为基于 Williams 等<sup>[23]</sup>在侵蚀力评价当中提出的 EPIC 土壤可蚀性计算模型并参考陈思旭等<sup>[24]</sup>的计算方法得到; $LS$ (坡长坡度因子),首先基于 DEM 数据提取坡度坡长值,再对 Van Remotel 根据 RUSLE 模型编写的 AML 代码加以修正使其适用于南方丘陵地区,最后将坡度坡长值代入修正后的公式在 ArcGIS Workstation 中运行得到<sup>[24]</sup>;  $C$ (地表植被覆盖与管理因子),借鉴谢红霞等<sup>[25]</sup>的方法并加以补充,基于区域土地利用和植被覆盖数据对  $C$  因子进行赋值; $P$ (水土保持措施因子),以土地利用现状为基础结合坡度因子,参考陆建忠等<sup>[26]</sup>和陈思旭等<sup>[24]</sup>对鄱阳湖区土壤侵蚀模拟  $P$  值赋值方法得到本研究区的  $P$  值。

2.2.2 社会经济指标体系构建 本着科学性、系统

性、可比性、动态性和可操作性的原则,根据土壤侵蚀的成因、表现特征以及与人口、社会经济发展水平的相关性,以土壤侵蚀为目标层,选取对土壤侵蚀有直接或间接影响的社会经济因素<sup>[5,27]</sup>,构建基于人口水平、经济水平、农村状况和生态保护等 4 个一级指标层、21 个二级指标(见表 2),指标体系中各指标值或直接来源于各年份(1990,2000,2015 年)统计年鉴,或根据年鉴数据计算得到:

(1) 人口水平。人口是社会经济活动的主体,一般而言,人口的增加会导致资源环境的利用程度加强。人口密度能够一定程度上衡量区域社会经济发展程度。人口密度越大,人类对周围环境的空间和资源的索取程度就越高<sup>[28]</sup>。同时也有研究表明,如果区域人口结构合理,社会有序化发展,则会减少人与自然间的冲突<sup>[29]</sup>,区域的人口结构可以利用城镇人口比例和乡村人口比例来表现,其中,城镇人口比例反映了城镇化率。

(2) 经济水平。经济发展伴随着社会经济活动而产生,是社会发展的基础。一般来讲,对某一特定区域而言,经济水平的高低与环境受到的扰动具有正相关关系<sup>[30]</sup>。例如,GDP 越高,人们的社会经济活动越活跃,本文选用人均 GDP 和单位面积 GDP 从不同角度考察区域的经济水平。与此同时,随着社会的发展,经济水平越发达的地区,往往伴随着更为文明有序的生产生活方式,这在一定程度上对生态环境起到了保护作用。由于自然资源、地形的差异,不同的区域有不同的产值结构,因此,本文将 GDP 细分为农、林、牧、渔、工业、建筑业和交通业等 7 个与土壤侵蚀相关的分行业产值。其中,渔业的选取原因在

于,鄱阳湖是江西省重要的生产基地,渔业又是鄱阳湖流域的重要产业,土壤侵蚀导致湖内淤积、湖床太高,危及鄱阳湖生态系统,因此渔业发展和土壤侵蚀之间必然存在相互影响的关系<sup>[31]</sup>。另外还选取了人均基本建设投资这一指标,该指标反映了国民经济各部门为发展生产而投入的资本力度,例如公路、铁路、桥梁等民用建筑等工程的建设工程,能够表征区域开发建设的影响。

(3) 农村状况。农业生产直接作用于土壤和植被,往往对自然环境产生更为直接和强烈的影响。江西省农村地区分布广泛,地域辽阔,农业生产活动强烈,而广大农村地区又是土壤侵蚀的易发地区,因此社会经济因素中必然需要考虑农村发展这一方面的因素。农民人均纯收入能够代表当地农村区域的发

展水平;每一农业劳动力创造的农林牧渔业商品产值表征农村区域社会经济对自然资源的索取程度;人均农村用电量代表农户的生活水平,电作为清洁能源被用的越多,农户对周边森林资源的破坏就越少;坡耕地作为农村地区易致侵蚀的典型区域,同时也是相关部门大力整治的对象,也被纳入到指标体系中。

(4) 生态保护。江西省的生态保护自 1990 年以来越来越受到国家和地方政府的高度重视和投入,大力实施退耕还林还草,封山育林等生态保护工程,有利于植被覆盖的恢复,从而缓解土壤侵蚀。本研究选取造林面积比例、封山育林面积比例、迹地更新面积比例和零星植树密度等反映人为开展生态保护措施的指标来表征区域的生态保护力度。总之,影响土壤侵蚀的社会经济因素指标体系如表 2 所示。

表 2 影响土壤侵蚀的社会经济因素指标体系

一级指标	二级指标	来源或计算方法	代码
人口水平	人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	人口数/区域面积	1-1
	农村人口比例/%	农村人口/人口数	1-2
	城镇人口比例/%	城镇人口/人口数	1-3
经济水平	人均 GDP(元/人)	GDP/人口数	2-1
	经济密度/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	GDP/区域面积	2-2
	单位面积农业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	农业 GDP/区域面积	2-3
	单位面积林业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	林业 GDP/区域面积	2-4
	单位面积渔业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	渔业 GDP/区域面积	2-5
	单位面积牧业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	牧业 GDP/区域面积	2-6
	单位面积工业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	工业 GDP/区域面积	2-7
	单位面积建筑业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	建筑业 GDP/区域面积	2-8
	单位面积交通运输业产值/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	交通运输业 GDP/区域面积	2-9
	人均基本建设投资(10 <sup>4</sup> 元/人)	基本建设投资/区域人数	2-10
农村状况	农民人均纯收入/元	农村收入/农村人口	3-1
	每一农业劳动力创造农林牧渔业商品产值/元	统计年鉴	3-2
	坡耕地面积比例/%	区域坡耕地面积/区域面积	3-3
	农村人均用电量/kW	统计年鉴	3-4
生态保护	造林面积比例/%	造林面积/区域面积	4-1
	封山育林面积比例/%	封山育林面积/区域面积	4-2
	迹地更新面积比例/%	迹地更新面积/区域面积	4-3
	零星植树密度/(株·km <sup>-2</sup> )	零星植树株数/区域面积	4-4

2.2.3 灰色关联分析法 土壤侵蚀变化的影响因素中,社会经济因素和自然因素相互影响,既包含大量的已知信息,也包含众多未知信息,可将其视为“灰色系统”。灰色系统是 1982 年由邓聚龙<sup>[18]</sup>提出的概念,即灰色系统中只有部分信息被掌握或者控制。灰色系统理论主张从事物内部结构和参数着手,充分利用系统中部分存在的白色信息(即已知信息)来求解<sup>[32]</sup>。灰色系统理论将信息不全的离散数据转化成信息完全的动态模型,使有限的白色数据(已知信息)得到了尽可能充分的利用,提出的关联度的概念,用

以量化各因素的影响程度,识别各因素对土壤侵蚀变化的重要性<sup>[33]</sup>。

灰色系统的关联度,是按照因素发展变化态势的类似情况来判断,按照序列几何形状相似程度来区分,原理示意图如图 1 所示。图 1 中 3 条曲线分别代表 3 个数据序列,假设序列①为参考序列,序列②和③为因素序列。从图 1 中可见,因素序列②与参考序列①几何形状较为接近,因素序列③与参考序列①几何形状相差较大,由此可认为因素序列②与参考序列①关联程度较大,因素序列③与参考序列①关联程度较小。

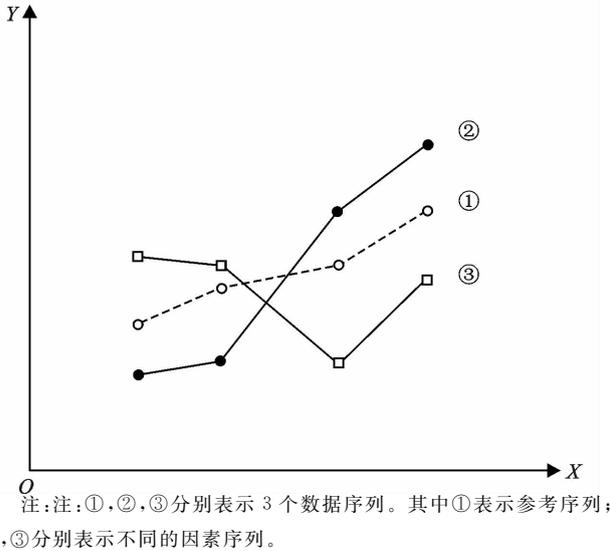


图 1 灰色关联分析原理示意图

本研究利用灰色关联分析法识别各社会经济因素对区域土壤侵蚀影响程度,根据邓聚龙<sup>[10]</sup>、刘思峰

$$r_i[\text{semMean}(t), X_i(t)] = \frac{\min_i \min_t |\text{semMean}(t) - X_i(t)| + \rho \max_i \max_t |\text{semMean}(t) - X_i(t)|}{|\text{semMean}(t) - X_i(t)| + \rho \max_i \max_t |\text{semMean}(t) - X_i(t)|} \quad (1)$$

式中:  $\min_i \min_t |\text{semMean}(t) - X_i(t)|$  为极差最小值;  $\max_i \max_t |\text{semMean}(t) - X_i(t)|$  为极差最大值;  $\rho$  为分辨率,一般取值为 0.5。

(4) 计算各指标与土壤侵蚀的关联度。以上  $r_i[\text{semMean}(t), X_i(t)]$  只能代表一个点的关联情况,不能反映整个区域的总体情况,因此某一个指标对整个区域的关联程度则可用  $R_i$  表示:

$$R_i = \frac{1}{11} \{r_i[\text{semMean}(1), X_i(1)] + \dots + r_i[\text{semMean}(t), X_i(t)]\} \quad (2)$$

式中:  $R_i$  为第  $i$  个指标的关联度;  $t=1, 2, \dots, 11$ ;  $i=1, 2, \dots, 21$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤侵蚀时空分异特征

基于区域特征化的 RUSLE 模型计算得到江西省 1990, 2000, 2015 年土壤侵蚀空间分布(见封 2 附图 6), 经统计 1990, 2000, 2015 年全省土壤侵蚀模数平均值分别为 864, 663, 281  $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 可见从 1990 到 2015 年, 江西省土壤侵蚀状况显著改善。

为了进一步获取江西省土壤侵蚀状况的空间差异特征, 以设区市为基本单元统计其在 1990, 2000, 2015 年平均土壤侵蚀模数及随时间变化情况(见表 3)。

2000 年相对于 1990 年, 11 个市级区域中有 7 个市级区域的平均土壤侵蚀模数降低, 其中有 4 个区域的平均侵蚀模数降低了超过 50% (鹰潭市降低

等<sup>[13]</sup>提出的灰色关联公理及计算公式, 本研究中采用该方法的具体步骤为:

(1) 确定参考序列和因素序列。进行灰色关联分析, 首先就是要确定参考序列和因素序列, 本研究中参考序列即各设区市的平均土壤侵蚀模数; 因素序列为社会经济指标体系选取的 21 项指标, 每个因素为一个序列, 每个序列包含 11 个设区市的对应指标数据。

(2) 数据标准化处理。因不同的社会经济指标数据量纲不同, 为了进行数据序列间的比较, 需要对原始数据进行标准化处理。本研究采用均值化方法进行各序列数据的标准化处理。标准化后的参考序列记为  $\text{semMean}(t)$ ,  $t=1, 2, \dots, 11$ ; 因素序列记为  $X_i(t)$ ,  $t=1, 2, \dots, 11$ ;  $i=1, 2, \dots, 21$ 。

(3) 计算各指标与土壤侵蚀的关联系数。参考序列  $\text{semMean}(t)$  与因素序列  $X_i(t)$  在各个不同市级区域的关联程度  $r_i[\text{semMean}(t), X_i(t)]$ , 用以下关系式表示:

57.52%, 景德镇市降低 55.86%, 抚州市降低 52.71%, 南昌市降低 52.4%, 另外还有 3 个市有不同程度的降低, 分别为吉安市降低 38.19%, 赣州市降低 26.53%, 宜春市降低 8.49%; 与此同时, 4 个市级区域平均土壤侵蚀模数升高, 分别为九江市升高 26.17%, 萍乡市升高 14.17%, 上饶市升高 10.51%, 新余市升高 7.00%。可见从 1990—2000 年这一时期, 虽然江西省的总体土壤侵蚀面积有所减少, 但就土壤侵蚀程度的变化来看, 有的恶化, 有的改善, 区域差异性非常大。

表 3 江西省市级行政区域平均土壤侵蚀模数及其变化率

城市	平均侵蚀模数/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )			平均土壤侵蚀模数 变化率/%	
	1990 年	2000 年	2015 年	1990—2000 年	2000—2015 年
抚州	1 024.23	484.33	236.14	-52.71	-51.25
赣州	1 050.15	771.55	322.88	-26.53	-58.15
吉安	877.62	542.43	193.37	-38.19	-64.35
景德镇	860.54	379.85	212.03	-55.86	-44.18
九江	790.06	996.83	439.98	26.17	-55.86
南昌	370.11	176.19	85.85	-52.40	-51.27
萍乡	873.24	996.98	377.91	14.17	-62.09
上饶	732.01	808.95	357.72	10.51	-55.78
新余	576.43	616.75	301.68	7.00	-51.09
宜春	589.14	539.13	204.95	-8.49	-61.98
鹰潭	1 036.57	440.34	185.50	-57.52	-57.87

2015 年相对于 2000 年, 所有的市级区域平均土壤侵蚀模数都大幅降低, 除了景德镇市降低幅度低于 50% (为 44.18%), 其他的 10 个区域降幅均大于

50%,其中吉安市、萍乡市和宜春市的降幅大于60%。这表明,2000—2015年这一时期,从土壤侵蚀程度上来看,11个市级区域都有较大程度的改善,区域之间也有一定的差异性,但相对于上一阶段(1990—2000年)差异较小。

### 3.2 灰色关联分析

基于影响土壤侵蚀的社会经济因素指标体系,分别以各市级区域平均土壤侵蚀模数为参考序列,以社会经济指标为因素序列,采用灰色关联分析法,计算各一级指标和二级指标对区域平均侵蚀模数的关联度,识别各社会经济因素对土壤侵蚀影响的强弱程度和变化特征。

#### 3.2.1 社会经济一级指标与土壤侵蚀的关联度分析

图2为1990,2000,2015年社会经济因素一级指标与江西省市级区域平均土壤侵蚀模数的关联度:从时间尺度上,同一指标的综合关联度从1990—2015年呈明显增加趋势,表明社会经济因素对区域土壤侵蚀影响程度越来越大。同一时相的不同指标关联度对比来看,1990年,社会经济因素一级指标与平均土壤侵蚀模数的关联度排序为:农村状况(0.8185) > 人口水平(0.7752) > 生态保护(0.7569) > 经济水平(0.7388);2000年的关联度排序为:农村状况(0.8764) > 人口水平(0.8680) > 经济水平(0.8234) > 生态保护(0.8077);2015年的关联度排序为:人口水平(0.8789) > 农村状况(0.8699) > 生态保护(0.8521) > 经济水平(0.8189)。

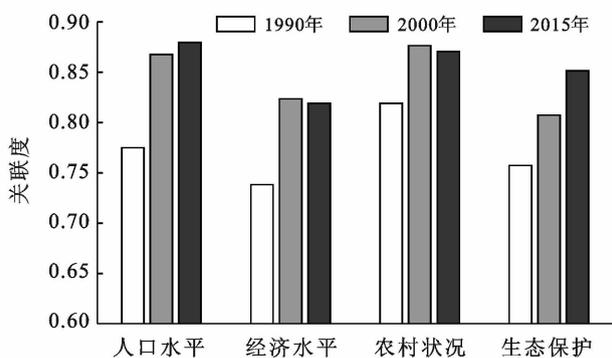


图2 社会经济因素一级指标与市域平均土壤侵蚀模数的关联度

由社会经济因素一级指标对市域平均土壤侵蚀模数关联度可知,农村状况和人口水平在各年份的关联度排序中均高于其他因素,1990和2000年农村状况关联度高于经济水平,这表明江西省农村地区的发展对土壤侵蚀模数起到了至关重要的作用,其原因在于农业活动往往直接作用于植被和土壤,导致农村地区是土壤侵蚀的易发地区,而江西省农村地区分布广

泛,因此农村发展对于江西省土壤侵蚀状况改善非常重要。2015年农村状况关联度略低于人口水平,这表明农村状况对土壤侵蚀模数有至关重要影响的同时,人口水平也对土壤侵蚀模数的影响程度也越来越大。原因在于随着人口增长、人口密度增大,人类对自然环境和资源的干扰增强,江西省从1990的 $3.77 \times 10^7$ 人到2015年的 $4.57 \times 10^7$ 人,25 a间人口增长了21%,而人口是社会经济活动的主体,因此人口水平对江西省土壤侵蚀影响的重要性必然有所提高。但总体来讲,农村地区的发展仍然是区域土壤侵蚀防治中需要关注的重要方面。

生态保护和经济水平关联度的排序位置在3个时相有所变化:1990年生态保护关联度(0.7569)大于经济水平关联度(0.7388),2000年经济水平关联度(0.8289)超越生态保护关联度(0.8077),2015年生态保护关联度(0.8521)又反超经济水平关联度(0.8247)。20世纪80年代末江西省实施“山江湖综合开发治理工程”、退耕还林、封山育林等生态保护和水土保持工程,同时1990—2015年江西省的经济发展速度越来越迅速,在此期间,经济发展和生态保护一直在寻求一种平衡,因此,二者对土壤侵蚀的相对重要程度也会有所变化。从数值上看1990年到2000年再到2015年生态保护的关联度逐步升高,表明随着社会发展,生态保护的重要性逐渐凸显。

#### 3.2.2 社会经济二级指标与土壤侵蚀关联度分析

各年份社会经济因素二级指标与区域土壤侵蚀模数的关联度及其排序如表4所示。由表4可知,1990年各社会经济因素关联度:排在前三位的分别为乡村人口比例(0.8699)、农村人均用电量(0.8565)、农村人均纯收入(0.8548);排在末三位的分别为城镇人口比例(0.6871)、单位面积工业产值(0.6992)、单位面积交通运输邮电业产值(0.7046)。2000年各社会经济因素关联度:排在前三位的分别为坡耕地面积比例(0.9215)、农村人口比例(0.8922)、农村住户人均纯收入(0.8712);排在末三位的分别为单位面积工业产值(0.7718)、迹地更新面积比例(0.7832)、封山育林面积比例(0.7914)。2015年各社会经济因素关联度:排在前三位的分别为坡耕地面积比例(0.9148)、城镇人口比例(0.8836)、农村人口比例(0.8835);排在末三位的分别为单位面积建筑业产值(0.7825)、单位面积工业产值(0.7834)、单位面积交通运输和邮电业产值(0.7843)。

由以上排序可知,3个年份,1990年排在第8位的坡耕地面积比例,到2000年和2015年均排在第1位,可见随着经济社会的发展,坡耕地的问题愈发凸

显;1990年排在末位的城镇人口比例,到2000年排在第9位,到2015年排在第2位,与乡村人口比例非常接近,分析原因在于随着城镇化发展,农村人口大量向城镇人口转入,这一过程中城镇人口比例这一指标对土壤侵蚀模数的影响也会有所增强。

表 4 江西省各年份社会经济因素二级指标与市域平均土壤侵蚀模数的关联度

排序	1990年		2000年		2015年	
	指标代码	关联度	指标代码	关联度	指标代码	关联度
1	1-2	0.869 9	3-3	0.921 5	3-3	0.914 8
2	3-4	0.856 5	1-2	0.892 2	1-3	0.883 6
3	3-1	0.854 8	3-1	0.871 2	1-2	0.883 5
4	4-3	0.825 4	3-4	0.867 8	3-1	0.877 8
5	2-4	0.809 2	1-1	0.865 5	1-1	0.869 6
6	2-1	0.787 3	2-4	0.864 7	4-2	0.861 5
7	3-2	0.781 9	2-3	0.849 1	4-4	0.859 4
8	3-3	0.780 8	2-6	0.848 4	4-3	0.854 2
9	4-4	0.776 9	1-3	0.846 4	2-10	0.852 5
10	1-1	0.768 5	3-2	0.845 0	3-4	0.847 6
11	2-3	0.750 1	2-5	0.841 0	2-3	0.846 7
12	2-2	0.745 0	2-1	0.835 8	2-4	0.842 2
13	2-6	0.733 0	4-1	0.828 6	2-5	0.840 6
14	2-8	0.731 5	4-4	0.827 6	3-2	0.839 5
15	2-5	0.718 2	2-10	0.826 1	4-1	0.833 3
16	4-2	0.717 7	2-2	0.805 2	2-1	0.829 0
17	2-10	0.709 6	2-9	0.798 7	2-6	0.827 8
18	4-1	0.707 7	2-8	0.793 6	2-2	0.800 4
19	2-9	0.704 6	4-2	0.791 4	2-9	0.784 3
20	2-7	0.699 2	4-3	0.783 2	2-7	0.783 4
21	1-3	0.687 2	2-7	0.771 8	2-8	0.782 5

乡村人口比例和农村人均纯收入两个因素始终排在前列,表明农村地区的发展状况和农村人口一直都对土壤侵蚀程度有重要的影响,分析原因在于农村地区的收入问题会影响农业发展模式,越贫困越趋于粗放式农业发展,盲目开垦利用导致自然生态失衡,造成更为严重的土壤侵蚀<sup>[34]</sup>;1990年排在第2位的农村人均用电量,到2000年位于第10位,分析原因在于农村能源结构的改善使得薪柴的使用逐步减少,从而降低了对自然植被的使用需求,因此这一因素对于土壤侵蚀的影响程度有所降低。

经济水平层级下人均基本建设投资关联度排名从1990(排名17)到2000(排名15)到2015(排名第9)显著提升,尤其是到2015年,人均基本建设投资超越了经济水平下的其他所有二级指标,表明开发建设项目对土壤侵蚀的影响越来越凸显,这与江西省的发展特征相符合:自2000年以后江西省城镇化速度加快,开发建设项目加速开展,易导致突发性的土壤侵蚀<sup>[35]</sup>。另外,总体来讲,经济水平层级下的单位

面积农/林/牧/渔/业产值相对该层级下其他指标排名较高,分析原因在于农业、林业、牧业和渔业更加直接的作用与自然资源和环境,其影响也较大。

作为人口水平的代表性指标,人口密度因素1990年排第10位,到2000年和2015年均排第5位,分析原因在于,人口密度越大,人类对周围环境的空间和资源的索取程度就越高,其对土壤侵蚀的影响程度也必然提高。封山育林面积在1990年排在第16位,到2000年排在第20位,到2015年跃至第6位;零星植树密度在1990和2000年排名分别位第12,13位,到2015年排名第7位,这表明生态保护应该与经济发展并重。

## 4 讨论与结论

本研究首先基于区域特征化的RUSLE进行了江西省土壤侵蚀模拟,分析了江西省1990,2000,2015年土壤侵蚀时空分异特征;接着以1990,2000,2015年各市级区域为单位构建社会经济因素一级和二级指标,引入灰色关联分析法,分析不同发展背景下各社会经济因素的相对重要性和变化特征,识别不同发展背景下各社会经济因素对区域土壤侵蚀的影响程度。

1990—2015年,江西省土壤侵蚀状况明显改善,全省平均土壤侵蚀模数显著下降,1990,2000,2015年分别为864,663,281 t/(km<sup>2</sup>·a);以设区市为基本单元的土壤侵蚀模数及其变化表明了不同发展阶段土壤侵蚀状况的空间差异性。基于灰色关联分析的3个时相社会经济因素对区域土壤侵蚀的影响特征表明:①社会经济因素与区域土壤侵蚀的综合关联度明显提高;②农村发展状况对区域土壤侵蚀影响最为显著,其中坡耕地面积比例的影响最为显著;③人口水平对区域土壤侵蚀的影响程度明显提升;④经济水平的影响程度相对较小,但从1990—2015年,城镇化发展相关因素对区域土壤侵蚀的影响程度显著增强,如城镇人口比例,人均基本建设投资等;另外,研究发现人均基本建设投资这一指标在反映开发建设项目对区域土壤侵蚀的影响中比单位建筑业产值等指标更为有力;⑤随着社会经济的发展,生态保护的影响程度逐步增大。

综合以上分析可知,1990—2015年,江西省土壤侵蚀状况显著改善,但在今后的土壤侵蚀防治进程中,农村地区的发展,尤其是坡耕地治理仍然是亟需解决的重要问题;在制定水土保持管理规划中,人口水平相关因素应被纳入考虑范畴;社会经济发展的同时,生态保护应持续受到重视;开发建设项目的影响越来越需要引起关注,防治并重。

本研究还有需要改进和深入探讨之处:本文试图从区域社会经济宏观角度,来探索社会发展因素对土壤侵蚀的影响程度,指标体系的构建是整个研究的关键环节,但由于社会经济活动的复杂性,影响因素众多,而本文中的社会经济指标是建立在数据可获取性和各年份指标统一性、可比性的基础上,选取社会经济体系中的一级指标和二级指标,并未进一步选取二级指标下更细化的指标,因此指标体系的构建仍存在不足之处,难以做到完全客观;此外,基于相关的社会经济因素对区域土壤侵蚀的影响程度,选取相对重要的因子作进一步的探讨,是接下来的重要研究方向。

#### [参 考 文 献]

- [1] 秦天枝. 我国水土流失的原因、危害及对策[J]. 生态经济, 2009, 25(10): 163-169.
- [2] Singh R, Tiwari K N, Mal B C. Hydrological studies for small watershed in India using the ANSWERS model [J]. Journal of Hydrology, 2006, 318(1/2/3/4): 184-199.
- [3] 李锐, 杨勤科, 吴普特, 等. 中国水土保持科技发展策略思考[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(3): 5-9.
- [4] 王红兵, 许炯心, 颜明. 影响土壤侵蚀的社会经济因素研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(3): 268-274.
- [5] 华丽. “人—自然”耦合下土壤侵蚀时空演变及其防治区划应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [6] 吕开宇, 许健民, 娄博杰. 农业生产活动对土壤侵蚀影响的经济研究[J]. 农业经济问题, 2007, 28(7): 67-72.
- [7] He Xiubin, Zhou Jie, Zhang Xinbao, et al. Soil erosion response to climatic change and human activity during the Quaternary on the Loess Plateau, China [J]. Regional Environmental Change, 2006, 6(1/2): 62-70.
- [8] 吕一河, 刘国华, 冯晓明. 土壤水蚀的环境效应: 影响因素、研究热点与评价指标的评述[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(1): 93-99.
- [9] Dotterweich M, Stankoviansky M, Minár J, et al. Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia [J]. Geomorphology, 2013, 201: 227-245.
- [10] 邓聚龙, 王厚生, 马鹤令, 等. 社会经济系统时间序列预测的新方法[J]. 未来与发展, 1982, 6(4): 33-36.
- [11] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [12] Liu Sifeng, Yang Yingjie, Cao Ying, et al. A summary on the research of GRA models [J]. Grey Systems: Theory and Application, 2013, 3(1): 7-15.
- [13] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [14] 施红星, 刘思峰, 方志耕, 等. 灰色周期关联度模型及其应用研究[J]. 中国管理科学, 2008, 16(3): 131-136.
- [15] 宁杰. 河南省碳排放与产业结构关联性研究分析[J]. 生态经济, 2019, 35(3): 38-44.
- [16] 贺祥, 林振山, 刘会玉, 等. 基于灰色关联模型对江苏省PM<sub>2.5</sub>浓度影响因素的分析[J]. 地理学报, 2016, 71(7): 1119-1129.
- [17] 杨振, 牛叔文, 吴文恒. 陇中黄土高原水土流失的人文因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6): 124-128.
- [18] 邓聚龙. 灰色系统综述[J]. 世界科学, 1983(7): 1-5.
- [19] 王明珠. 江西省红壤资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1987, 18(4): 147-150.
- [20] 齐述华, 蒋梅鑫, 于秀波. 基于遥感和 ULSE 模型评价 1995—2005 年江西土壤侵蚀[J]. 中国环境科学, 2011, 31(7): 1197-1203.
- [21] 谢颂华, 曾建玲, 杨洁, 等. 江西水土流失省情分析[J]. 南昌工程学院学报, 2010, 29(3): 69-72.
- [22] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 705-711.
- [23] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. EPIC, Erosion-Productivity Impact Calculator, mathematical models [J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(1): 129-144.
- [24] 陈思旭, 杨小唤, 肖林林, 等. 基于 RUSLE 模型的南方丘陵山区土壤侵蚀研究[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1288-1297.
- [25] 谢红霞, 李锐, 杨勤科, 等. 退耕还林(草)和降雨变化对延河流域土壤侵蚀的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 569-576.
- [26] 陆建忠, 陈晓玲, 李辉, 等. 基于 GIS/RS 和 USLE 鄱阳湖流域土壤侵蚀变化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 337-344.
- [27] 徐志刚, 庄大方, 杨琳. 区域人类活动强度定量模型的建立与应用[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 452-460.
- [28] Rajan, K. S. and R. Shibasaki, A GIS based integrated land use/cover change model to study agricultural and urban land use changes [C]// 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, 2001.
- [29] 姚发业, 岳钦艳, 刘文英. 人口增长对资源的压力分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2001, 11(S1): 91-92.
- [30] 文英. 人类活动强度定量评价方法的初步探讨[J]. 科学对社会的影响, 1998(4): 56-61.
- [31] 张荣峰. 水土流失对鄱阳湖流域生态环境和经济建设的影响[J]. 水土保持学报, 1990, 4(3): 80-86.
- [32] 邓聚龙, 孙顺庚. 灰色系统理论与科技进步[J]. 科技进步与对策, 1986, 3(5): 40-41.
- [33] 邓聚龙. 社会经济灰色系统的理论与方法[J]. 中国社会科学, 1984(6): 47-60.
- [34] 王刚, 张秋平, 郑海金, 等. 1987—2013 年江西省水土流失趋势及其社会经济驱动力分析[J]. 生态科学, 2017, 36(3): 115-120.
- [35] 张茨林, 谢颂华, 曾建玲. 江西省人为水土流失现状调查与防治研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 54-57.