

# 基于 GIS 和 RS 的砭砂岩区生态环境质量综合评价

姚俊娜, 秦 奋

(河南大学 黄河中下游数字地理技术实验室, 河南 开封 475000)

**摘 要:**以 Landsat TM 影像数据、数字高程模型(DEM)、土壤类型数据、基础地图和统计资料为数据源,以 GIS 和 RS 为技术手段,采用主成分分析法评价模型,对砭砂岩区 2000 年和 2010 年的生态环境质量状况进行了综合评价。结果表明:砭砂岩区 2000 年和 2010 年的生态环境质量总体情况一般,但与 2000 年的生态环境质量情况相比,2010 年有明显的改善。GIS 和 RS 相结合的手段是进行大范围、条件复杂和数据难以获取地区生态环境质量综合评价的有效手段。

**关键词:**地理信息系统; 遥感; 生态环境质量; 综合评价; 砭砂岩

**中图分类号:**X171.1;TP79

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)06-0193-05

## Comprehensive Assessment on Eco-environmental Quality of the Area of Sandston Based on RS and GIS

YAO Jun-na, QING Fen

(Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Reaches of  
Yellow River, He'nan University, Kaifeng, He'nan 475000, China)

**Abstract:**In this paper, Landsat TM image data, digital elevation model DEM, soil type data, base maps and statistical information were used as data source. By using GIS and RS techniques, this paper comprehensively evaluated the ecological environment quality of the sandstone area in 2000 and 2010 by using principal component analysis evaluation model. The results showed that eco-environmental quality of the sandstone area in 2000 and 2010 was ordinary, but it had been improved in 2010 compared with 2000. Assessing eco-environmental quality by using GIS and RS is an effective means for the area with large range, complicated condition, or difficulty to gain the necessary data.

**Key words:**GIS; RS; eco-environmental quality; comprehensive assessment; sandstone

砭砂岩分布区是黄河粗泥沙的主要来源区,被称为“世界上水土流失之最”和“环境癌症”。近年来,为了改善该区域的生态环境质量,国家和地方投入了大量的人力和物力,并且高标准实施了“国家水土保持重点建设工程”、“黄河上中游水土保持重点防治工程”、“黄土高原地区水土保持淤地坝试点工程”、“晋陕蒙砭砂岩去沙棘生态工程”等一大批生态建设重点工程,该区域的生态环境质量得到了明显的改善。但是砭砂岩地区生态环境依旧非常脆弱,生态环境问题依旧异常突出,特别是水资源短缺、水土流失、土地荒漠化等生态环境问题逐步加剧,生态环境治理工作面临严重的挑战。

采用 GIS 和 RS 技术进行生态环境质量评价,国内外许多学者进行了研究和尝试。早在 1994 年加拿大就建立了生态监测与评估网络,并利用该网络获得

的长期监测数据对生态环境进行了评估<sup>[1]</sup>;Basso 等基于 GIS 和 RS 对意大利南部 Agri 流域的环境脆弱性进行了评价<sup>[2]</sup>;国内学者中郑新奇<sup>[3]</sup>、王宏伟<sup>[4]</sup>、刘建<sup>[5]</sup>等都曾基于 GIS 和 RS 技术分别对区域、流域和县级行政区的生态环境质量进行了综合评价。但是他们的生态环境质量评价工作,以行政区和流域边界为研究边界的居多,涉及到像砭砂岩地区这种跨流域、跨行政区的研究相对较少。本文采用 GIS 和 RS 技术进行砭砂岩区生态环境质量综合评价,探索生态环境治理工作取得的成果和不足,为以后的工作提供意见和建议。

## 1 研究区概况

砭砂岩分布区位于东经 108°45′—111°31′、北纬 38°10′—40°10′的晋、陕、蒙三省交界处,集中分布在

内蒙古自治区鄂尔多斯市的东胜区、准格尔旗、伊金霍洛旗、达拉特旗、杭锦旗以及陕西省的神木、府谷两县,还有山西省的河曲、保德两县,在内蒙古的清水河县也有零星的分布,分布区总面积约 1.67 万 km<sup>2</sup>[6]。砒砂岩分布区人口密度相对较低,截至 2010 年,研究区内人口约 69 万。砒砂岩分布区地处内陆,属典型的干旱、半干旱大陆性气候,年平均气温 6~9℃,降水保证率低,并且年际变化较大,汛期主要集中在 6—9 月,多年平均降水量为 306~453 mm。研究区地势西高东低,海拔高度 73~1 625 m,境内大部分地区沟网纵横密布,地表被切割呈支离破碎状,地貌以风沙地貌和丘陵沟壑地貌为主。地表土壤主要是

黄土、砾土等三种,植被种类较多,以耐旱耐瘠、蓄水保土的植被为主,如:沙棘、柠条、油松、油蒿等。

## 2 数据来源和评价指标体系的构建

### 2.1 数据来源

砒砂岩分布幅员辽阔、地质地貌情况复杂、沟道纵横、河网密布、植被种类多样,生态环境质量评价工作复杂而艰难。本文考虑到研究区的具体情况,在进行生态环境质量综合评价时以多元遥感数据、地形图及其它专题数据作为数据源,采用遥感和地理信息技术进行数据处理,构建研究区环境质量评价数据库。表 1 是本研究所用到的数据及其来源。

表 1 本研究所用数据及其数据来源

数据类型	说明	数据来源
遥感影像	Landsat TM52000 年和 2010 年 7 月份 30 m 分辨率影像	国际科学数据服务平台
DEM 数据	30 m 分辨率 DEM 数据	国际科学数据服务平台
气象数据	研究区及其周围站点 2000 年和 2010 年气象站观测数据	中国气象科学数据共享服务网
土壤类型数据	全国 1:400 万土壤类型数据	中国科学院资源环境科学数据中心
基础地理数据	包括行政区划图、交通、水利图等	纸质地图扫描矢量化

### 2.2 指标体系

生态环境系统是一个庞大而复杂的综合系统,包含了自然、社会等很多因素。生态环境质量综合评价指标体系是生态环境质量评价的基本尺度和衡量标准,是生态环境综合评价的根本条件和理论基础。生态环境质量评价指标的选择应遵循科学性、代表性、全面性和可操作性的原则[7]。本文在参考周小成[8]

和朱远辉等[9]研究的基础上,建立包括水热气象、地形地貌、土地覆盖和土壤侵蚀在内的 4 个一级指标,其中又容纳了归一化水汽指数(NDMI)、归一化差异水体指数 NDWI、积温指数、降雨量指数、高程指数、坡度指数、坡向指数、植被指数 NDVI、土壤亮度指数、土地利用和土壤侵蚀强度在内的 11 个二级指标,见表 2。

表 2 砒砂岩区生态环境质量评价指标以及计算方法

一级指标	二级指标	数据获取或方法
水热气象因子	归一化水汽指数(NDMI)	$NDMI = (Green - Mir) / (Green + Mir)$ Green 指绿光波段, Mir 指红光波段
	归一化差异水体指数(NDWI)	$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$ Green 指绿光波段, NIR 指近红外波段
	积温指数(>10°积温)	气象站数据空间插值
	降雨量指数(年降雨量)	气象站数据空间插值
地形地貌因子	高程指数	研究区 DEM
	坡度指数	根据 DEM 提取
	坡向指数	根据 DEM 提取
土地覆盖因子	植被指数(NDVI)	$(NDVI = (NIR - Red) / (NIR + R))$ NIR 指近红外波段, Red 指红光波段
	土壤亮度指数(NDSI)	$NDSI = (Red - Green) / (Red + Green)$ Red 指红光波段, Green 指绿光波段
土壤侵蚀因子	土地利用数据	遥感影像目视解译
	土壤侵蚀强度	根据通用土壤流失方程 RUSLE 计算

2.2.1 水热气象因子 影响生态环境状况的水热气象因子是多方面的。本研究充分利用遥感数据快速而准确提取水热气象因子的优势,从遥感数据中提取归一化水汽指数和归一化差异水体指数,方法见表 2。积温和降雨量指数提取时采用的数据源为研究区周围 57 个气象站点的观测数据。在积温指数的计算过程中,首先以 57 个气象站 2000 年和 2010 年的积温数据为分析样本,以积温为因变量,以气象站的经度、纬度和海拔高度为自变量进行多元线性回归,分

别得到 2000 年和 2010 年积温与海拔高度和经纬度的回归方程,然后再进行插值和残差的空间内插等工作,最终获得研究区的积温数据。降雨量指数的计算参考孟庆香等[10]的研究成果,直接以气象站的观测数据为基础,采用克里金插值方法进行空间内插而得到。2.2.2 地形地貌因子 地形地貌影响着土壤和植被的形成和发育过程,也是造成小气候差异的重要原因。本文选取地形中最具有代表性的高程、坡度和坡向作为地形地貌因子指标。高程指数、坡度指数和坡

向指数因子的提取直接以研究区经过处理的 DEM 数据为基础,经过标准化处理而获得,方法见表 2。

**2.2.3 土地覆盖因子** 土地覆盖情况的差异是造成环境状况差异的重要因素,本文选取归一化植被指数、土壤亮度指数和土地利用情况三个能够反映研究区植被覆盖情况、土地裸化程度和土地利用情况的指标作为土地覆盖因子指标。提取到的归一化植被指数、土壤亮度指数和土地利用数据年际间的差异与采用的遥感影像的月份有着直接的联系,为了消除影像时间差带来的影响,本研究所采用的影像均是 7 月份。归一化植被指数和土壤亮度指数的提取方法见表 2。考虑到研究区的实际情况,本研究将研究区土地利用类型划分为 6 大类,分别为:耕地、林地、草地、建设用地、水域和裸地。在土地利用分类体系的基础上,采用目视解译和手动纠正的方法获得研究区的土地利用数据。

**2.2.4 土壤侵蚀因子** 土壤侵蚀是全球性的主要问题之一,不但导致土地退化、土地生产力降低,影响农业生产和食物安全,而且随径流泥沙运移的污染物质对异地生态、环境、人类生存和社会经济发展带来严重影响。砒砂岩分布区存在着严重的水土流失问题。目前土壤侵蚀模型方面的研究成果很多,本文结合研究区实际情况及其可操作性,参考齐清等<sup>[11]</sup>的研究,选用 RUSLE 计算土壤侵蚀量,见式(1),得到研究区 2000 年和 2010 年的土壤侵蚀量。

$$A=RKLS\text{CP} \quad (1)$$

式中:  $A$ ——土壤侵蚀量;  $R$ ——降雨侵蚀因子;  $K$ ——土壤可侵蚀性因子;  $L$ ——坡长因子;  $S$ ——坡度因子;  $C$ ——作物覆盖与管理因子;  $P$ ——水土保持措施因子。

## 3 砒砂岩区生态环境质量综合评价

### 3.1 评价模型的选择

目前国内外应用的生态环境质量评价方法主要有层次分析法、人工神经网络评价法、灰色综合评估法、物元分析法、模糊综合评价法、主成分分析法等<sup>[12]</sup>,本研究选取主成分分析法建立评价模型。主成分分析法是一种基于线性变换,找到一组新的替换指标,从而实现降维和评估的方法<sup>[13]</sup>。这种分析方法在保证原始数据信息损失最小的前提下,经过线性变换和舍弃部分信息,以少数的综合变量取代原有的多维变量,这样既抓到了重点,又简化了工作,并且在整个过程中不再需要专家打分,使评价的结果更加客观和真实。

### 3.2 数据的标准化

进行生态环境质量综合评价所采用的指标数据类型复杂、来源不一致并且量纲也不统一,这就使得生态环境质量评价的各项指标之间不具有直接的可比性,不能直接进行生态环境质量评价。因此首先应对评价指标进行标准化处理,从而消除量纲以及量纲单位的不同带来的不可公度性<sup>[14]</sup>。本文所用到的标准化公式见式(2)。

$$A_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中:  $A_i$ ——第  $i$  个单项指标的标准化值;  $X_i$ ——第  $i$  个单项指标的原始值;  $X_{\min}$ ——研究区域内该指标的最小值;  $X_{\max}$ ——研究区域内该指标的最大值。

### 3.3 基于主成分分析的砒砂岩区生态环境质量综合评价

利用标准化后的各评价指标数据在 ArcGIS 中执行空间主成分分析,提取出累计贡献率达到 85% 的主成分因子,具体过程如下:

(1) 将标准化后的归一化水汽指数 NDMI、降雨量指数、归一化差异水体指数 NDWI、积温指数进行主成分分析,生成水热气象因子;将标准化后的高程指数、坡度指数、坡向指数进行主成分分析,生成地形地貌因子;将标准化后的植被指数 NDVI、土壤亮度指数 NDSI 和土地利用数据进行主成分分析,生成土地覆盖因子。

(2) 在上述分析的基础上,将水热气象因子、地形地貌因子、土地覆盖因子、土壤侵蚀因子进行第二次主成分分析,并且按照公式(3)计算出砒砂岩区生态环境质量综合指数。

$$E = \sum_{r=1}^n E4CI \times W_{\alpha} \quad (3)$$

式中:  $E$ ——生态环境质量综合指数;  $E4CI$ ——由三项地形指标进行主成分分析提取的主因子;  $W_{\alpha}$ ——对应主因子的贡献率;  $r$ ——提取的主因子的数量。

由主成分分析的结果可知(表 3),在对水热气象因子、地形地貌因子以及土地覆盖因子的相关指标进行第一次主成分分析时,前两个主成分的累积贡献率均达到 92% 以上,因此计算水热气象因子、土地覆盖因子和地形地貌因子时均选取前两个主成分,就可以保证保存了大部分的数据信息,满足分析的需要,由于篇幅有限,第一次主成分分析的特征向量在此不再列出。在对水热气象因子、地形地貌因子、土地覆盖因子和土壤侵蚀因子进行第二次主成分分析后可知,前三个主成分的累计贡献率已经达到 92% 以上,因此在进行生态环境质量指数计算时,选取前三个主成分,就可以达到较高的可信度,满足分析的需要。有第二次主成分分析特征向量值(表 4)的大小可知,土

地覆盖因子、土壤侵蚀因子和地形地貌因子的特征向量覆盖、地形地貌和土壤侵蚀的影响比较大,受水热气象量值比较大,说明砒砂岩分布区生态环境质量受土地气象的影响相对较小。

表 3 主成分分析的特征值、贡献率和累计贡献率

指标	主成分	2000 年			2010 年		
		特征值	贡献率/%	累计贡献率/%	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
水热气象因子	SPCA1	145.4595	86.07	86.07	131.0497	82.93	82.93
	SPCA2	15.5531	9.20	95.27	14.5911	9.23	92.17
	SPCA3	7.9949	4.73	100.00	12.3805	7.83	100
地形地貌因子	SPCA1	259.1345	51.14	51.14	259.1345	51.14	51.14
	SPCA2	217.7359	42.97	94.10	217.7358	42.97	94.10
	SPCA3	29.8792	5.90	100.00	29.8792	5.90	100
土地覆盖因子	SPCA1	200.3066	92.90	92.90	172.8105	89.01	89.01
	SPCA2	12.3746	5.74	98.64	16.2332	8.36	97.37
	SPCA3	2.929	1.36	100.00	5.1002	2.63	100
生态环境质量综合指数	SPCA1	183.5446	40.63	40.63	173.4686	43.90	43.90
	SPCA2	145.4297	32.19	72.81	122.1806	30.92	74.82
	SPCA3	91.2039	20.19	93.00	68.86435	17.43	92.25
	SPCA4	31.6223	7.00	100.00	30.63208	7.75	100.00

表 4 各主成分特征向量

主成分	2000 年				2010 年			
	SPCA1	SPCA2	SPCA3	SPCA4	SPCA1	SPCA2	SPCA3	SPCA4
水热气象因子	-0.0182	0.56044	-0.8233	-0.8787	-0.21103	-0.25431	0.87088	0.08915
地形地貌因子	-0.37529	0.65583	0.4999	-0.4233	0.63403	0.46909	0.47604	-0.38904
土地覆盖因子	0.89649	0.37486	0.22929	0.05676	-0.5482	0.83211	-0.024	0.08005
土壤侵蚀因子	-0.23481	0.33952	0.14025	0.89996	0.45852	0.15124	0.11988	0.91355

4 生态环境质量评价结果分级和原因分析

4.1 生态环境质量指数分级

生态环境质量综合指数代表环境质量的状况,为了便于比较分析,将环境质量指数进行分级处理,把生态环境综合评价结果划分为良好(>70)、较好(60~70)、一般(50~60)、较差(40~50)、恶劣(≤40)共 5 级,见表 5。不同等级综合指数的分级空间分布特征,体现了生态环境状况的区域性差异,经过以上分

析处理得到的砒砂岩区 2000 年和 2010 年生态环境质量分级图分别见附图 10,分级结果面积统计见表 6。

表 5 砒砂岩区生态环境质量评价结果分级标准

生态环境质量指数	标准值	生态环境质量等级
$E \leq 40$	1	生态环境质量五级区(恶劣)
$40 < E \leq 50$	2	生态环境质量四级区(较差)
$50 < E \leq 60$	3	生态环境质量三级区(一般)
$60 < E \leq 70$	4	生态环境质量二级区(较好)
$E > 70$	5	生态环境质量一级区(良好)

表 6 砒砂岩区生态环境质量评价分级结果统计对比表

生态环境质量等级	2000 年		2010 年	
	面积/m <sup>2</sup>	百分比/%	面积/m <sup>2</sup>	百分比/%
生态环境质量五级区(恶劣)	50.52	0.30	4.60	0.03
生态环境质量四级区(较差)	869.48	5.12	387.80	2.28
生态环境质量三级区(一般)	6694.59	39.39	6690.05	39.36
生态环境质量二级区(较好)	8620.46	50.72	9526.12	56.05
生态环境质量一级区(良好)	760.38	4.47	386.86	2.28

4.2 生态环境质量评价结果分析

4.2.1 生态环境质量变化信息的提取 只有合理地提取生态环境的变化信息才能更好地研究本研究区生态环境在时间上和空间上的变化情况。本文参考土地利用转移矩阵的计算方法<sup>[15]</sup>,提取出生态环境

质量等级变化图,并将其分为生态环境质量等级不变、提高和降低三类,等级提高的面积 2 330.89 m<sup>2</sup>,等级降低的面积 1 636.21 m<sup>2</sup>,等级未变化的面积 13 024.80 m<sup>2</sup>,等级提高和等级降低的面积只差 694.69 m<sup>2</sup>。

4.2.2 结果分析 将两个时期生态环境质量提高和下降的面积比较,如提高的面积大于下降的面积,则认为后一时期的生态环境质量总体优于前一时期的生态环境质量。整体上来看,砒砂岩分布区的生态环境质量总体一般,2000年和2010年生态环境质量良好所占的比例不足5%,而生态环境质量一般以下的区域所占据的比例超过40%。

从时间变化上来看,2010年研究区中生态环境恶劣的面积占研究区总面积的0.03%,相比2000年的0.3%,有了相应的提高;生态环境较差的面积2010年所占的比例为2.28%,相对2000年的5.12%有了明显的降低;2010年生态环境质量一般的面积占研究区总面积的39.39%,与2000年相比基本保持不变;研究区域2010年生态环境质量较好的区域面积占总面积的56.05%,与2000年的50.72%相比有了较大幅度的提高。

从空间分布来看,一方面,砒砂岩分布区生态环境质量的共同特点是中部好于东、西部,北部好于南部;另一方面,砒砂岩分布区的生态环境质量等级分布不平衡,具有明显的区域分布特点,生态环境质量较好的地区分布在海拔相对居中的鄂尔多斯市的准格尔旗和伊金霍洛旗,以及达拉特旗的东南部地区,生态环境质量状况较差和恶劣的区域2000年主要分布在南部和东北部,而在2010年生态环境状况较差和恶劣的区域主要分布在西北部和东部。2010年和2000年相比研究区的东南部和西北部的生态环境状况有着明显的好转,这可能与当地的环保措施有着直接的关系,也反映了砒砂岩区生态环境建设工作取得了一定的成效。

## 5 结论

(1) 砒砂岩分布区2000—2010年生态环境质量状况整体较差,生态环境质量等级以一般和较差为主,从空间分布上来看,砒砂岩分布区生态环境质量中部好于东、西两端,北部好于南部。

(2) 采用主成分分析法作为砒砂岩区生态环境质量综合评价模型,避免了人为赋权重值带来的误差,并且保留了绝大部分的信息,分析过程更加简便、快捷和准确。

(3) GIS与RS技术相结合的技术手段,能够使评价数据易于获取,并且信息量丰富,非常适合大范

围、条件复杂的区域生态环境质量评价工作,并且评价的结果能够客观准确。

### 参考文献:

- [1] 陈彩虹,沈翠新.现代信息技术与生态环境质量评价[J].经济林研究,2003,21(4):131-133.
- [2] Basso F, Bove E, Dumontet S, et al. Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy) [J]. Catena, 2000, 40(1): 19-35.
- [3] 郑新奇,王爱萍.基于RS与GIS的区域生态环境质量综合评价研究:以山东省为例[J].环境科学学报,2000,20(4):89-493.
- [4] 王宏伟,张小雷,乔木,等.基于GIS的伊犁河流域生态环境质量评价与动态分析[J].干旱区地理,2008,31(2):215-221.
- [5] 刘建,何宗,张治清.基于GIS的蒲江县生态环境综合评价研究[J].水土保持研究,2012,19(5):130-132.
- [6] 王愿昌,吴永红,寇权,等.砒砂岩分布范围界定与类型区划分[J].中国水土保持科学,2007,5(1):14-18.
- [7] 林积泉,王伯铨,马俊杰,等.小流域治理环境质量综合评价指标体系研究[J].水土保持研究,2005,12(1):69-71.
- [8] 周小成,汪小钦,江洪,等.九龙江流域生态环境质量遥感评价与分析[J].地球信息科学学报,2009,11(2):231-236.
- [9] 朱远辉,刘凯,艾彬,等.新丰江流域生态环境质量遥感评价[J].热带地理,2013,33(2):133-140.
- [10] 孟庆香,刘国彬,杨勤科.基于GIS的黄土高原气象要素空间插值方法[J].水土保持研究,2010,17(1):10-14.
- [11] 齐清,王天明,寇晓军,等.基于GIS的黄土高原小流域土壤侵蚀定量评价[J].水土保持研究,2009,16(3):1-5,37.
- [12] 邓春光,张晓丽,崔文超.基于“3S”技术的生态环境质量评价研究进展[J].林业调查规划,2007,32(3):14-17.
- [13] 冯利华.环境质量的主成分分析[J].数学的实践与认识,2003,33(8):32-35.
- [14] 麻素挺,汤洁,林年丰.基于GIS与RS多源空间信息的吉林西部生态环境综合评价[J].资源科学,2004,26(4):140-145.
- [15] 刘瑞,朱道林.基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J].资源科学,2010,32(8):1544-1550.