

# 基于RS和GIS的济宁市土地利用变化 及生态安全研究

吕建树<sup>1</sup>, 吴泉源<sup>2</sup>, 张祖陆<sup>2</sup>, 刘 洋<sup>3</sup>

(1. 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210093; 2. 山东师范大学人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014; 3. 南京大学环境学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210046)

**摘要:** 在RS/GIS技术的支持下, 选择南四湖流域典型市域——济宁市为研究区, 基于多源数据, 揭示了研究区1987~2008年的土地利用时空变化特点, 进一步构建“隐患-状态-免疫”的生态安全评价指标体系, 采用组合赋权法确定指标权重, 应用改进TOPSIS模型实现了100 m×100 m栅格水平上的生态安全综合评价。结果表明: 研究区土地利用变化较为剧烈且具有独特的区域特色, 其总体特征为耕地、林地、草地和未利用地的面积持续下降, 建设用地急剧扩张, 水域面积则先降后升; 20 a来, 研究区生态安全状况经历了先恶化后改善的变化趋势, 南水北调工程的实施、环境治理和生态建设加大是2000年后研究区生态安全好转的主要驱动力; 研究区生态安全状态空间差异明显, 东部山地丘陵区 and 南四湖区最好, 中部和西北部地区最差, 其余区域基本处在预警状态。研究结果可为研究区生态建设和土地生态安全格局的制定提供依据。

**关键词:** 土地利用; 生态安全; 济宁市; GIS

**中图分类号:** X826      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2012)08-0928-08

生态安全是21世纪人类社会可持续发展面临的一个新主题<sup>[1]</sup>。在全球气候变化的大背景下, 全球性生态问题凸显, 区域乃至全球生态系统遭到严重破坏; 区域尺度的生态安全日益受到国际社会的关注, 目前已成为国家、地区安全的重要组成部分<sup>[2,3]</sup>。区域生态安全主要受自然因素和人类活动因素的共同影响, 人类活动导致的土地覆被变化必然对地球系统的气候、水文、生物地球化学循环及生物多样性等产生重大影响, 对区域生态安全起着决定性作用<sup>[4-6]</sup>。随着IGBP II与IHDP的GLP(Global Land Project)工作的展开<sup>[7]</sup>, 强调与GCTE(Global Change and Terrestrial Eco-systems Project)研究计划的综合, 土地利用的生态环境效应已经引起了国内外学者的极大关注。因此, 整合土地利用与生态安全两大热点, 研究区域生态安全的时空变化, 探讨土地利用变化对生态安全的影响机制, 逐渐成为全球变化的区域响应研究的热点

点问题之一<sup>[8]</sup>。

国外生态安全研究侧重从不同角度关注和探讨生态安全问题, 主要集中在基因工程生物的生态风险与安全、生态入侵风险、污染物的环境风险、食品和水安全、生态系统健康等方面, 进行了不少卓有成效的实践<sup>[9-13]</sup>。国内的研究主要涉及研究方法、指标体系、安全阈值的确定等方面, 研究区域主要集中在生态环境较为典型和脆弱的区域, 重点突出人类活动对脆弱生态环境的干扰。总结国内外的相关研究, 生态安全研究日益成熟; 研究内容不断扩展, 在生态安全综合评价的同时兼顾土地生态系统安全、水生态安全、农业生态安全等单项因子评价; 研究区域不断扩展, 涉及城市、流域、行政区等不同的尺度; 研究方法也不断改进, 主要有综合评价法、生态足迹法、GIS叠加法、模糊数学、属性识别、物元模型、投影寻踪、神经网络等; 当前RS/GIS技术日新月异, 应用日益完

**收稿日期:** 2011-06-24; **修订日期:** 2011-09-05

**基金项目:** 国家科技部重大水专项(2009ZX07210-007)和山东省自然科学基金(Y2008E13)资助。

**作者简介:** 吕建树(1986-), 男, 山东莱芜人, 博士研究生, 主要研究方向为土地利用生态安全、海岸海洋科学。E-mail: lvjianshu@126.com

**通讯作者:** 吴泉源, 教授, 博导。E-mail: wqy6420582@163.com

善,借助RS/GIS的技术手段,运用景观生态学的研究理念,结合非遥感数据,对区域生态安全进行评价已成为主流发展趋势。

本研究在梳理国内外相关研究的基础上,运用RS/GIS技术,选取南四湖流域的典型市域——济宁市为研究区,分析了1987~2008年的土地利用动态变化;在此基础上基于多源数据,提出了“隐患—状态—免疫”(Hazard-State-Immune)的评价指标体系,利用AHP和熵权法确定指标权重,应用改进TOPSIS模型实现了100 m×100 m栅格水平的生态安全综合评价,以期揭示研究区生态安全状况的时间演变规律和空间分异特征,探索土地利用变化对生态安全的影响的规律,为研究区生态建设和土地生态安全格局的制定提供依据。

## 1 研究区概况

济宁市处于鲁中南山地丘陵区与鲁西南平原的过渡地带,是山东省典型的生态脆弱区;地理坐标介于115°52'E~117°36'E,34°26'N~35°57'N;南北长约167 km,东西宽约158 km,总面积约 $1.1 \times 10^4$  km<sup>2</sup>(图1)。研究区属暖温带季风气候,年平均气温13.6℃,年降水量650~820 mm;西部有广大的平原,是山东省著名的农业耕作区,中部又有丰富的煤炭、铁矿等矿产资源,南部南四湖还是重要的水源地和著名的渔业区,因此济宁市兼有资源型城市和农业型城市的特点,其土地利用类型复杂多样且地域分异明显,湖东区以山地丘陵为主,湖西区是黄河大平原的组成部分,境内南四湖是华

北第一大淡水湖。20世纪80年代以来,研究区经济发展突飞猛进,人类经济活动对区域环境干扰程度与日俱增,研究区土地利用/覆被状况发生了剧烈变化且有独特的区域特色,生态安全问题凸显,面临着水土流失、农业污染、植被破坏、水环境污染、采煤塌陷、土壤盐渍化等一系列的生态环境问题。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

本研究的数据可分为遥感数据和非遥感数据。遥感数据包括1987年、2000年、2008年3期Landsat TM/ETM遥感影像(轨道号为122/35、122/36)共6景,时相均为植被生长茂盛的6~10月;以及在此基础上通过解译和图像相关波段的计算得出衍生图件,如土地利用图、植被覆盖图、景观格局图等。

非遥感数据主要包括图形图像数据、监测数据和社会经济统计数据。图形图像数据包括研究区30 m精度的DEM数据、电子地形图、行政区划图等基础地理数据和土壤相关图件、土地利用类型图(2005年)、自然保护区分布图等专题数据。监测数据主要包括1970~2008年研究区及周围26个气象站点的降水、积温、温度、风速等逐年逐月的气象资料,1987~2008年30个国控及省控断面的逐月水质监测资料。统计资料包括1987~2008年研究区及各县市(具体到乡镇)的经济社会统计年鉴。此外,还有来源于济宁市及其各县市的实地调研收集的资料数据和野外GPS数据。本研究所有的图件均配准到统一的WGS 84坐标基准下。

### 2.2 LUCC分类

在对比各种遥感解译方法优劣的基础上,采用监督分类和人机交互目视解译相结合的方法进行研究区土地利用的分类<sup>[14-16]</sup>。先根据GPS先验样本定义分类模板,用最大似然算法进行监督分类,分别是林地、草地、耕地、水域、建设用地和未利用地6类,然后在ArcGIS 9.3中进行人工目视解译的修改,得到研究区的1987年、2000年、2008年3个年份的土地利用分类图,经GPS野外采样点验证,分类结果精度均在80%以上,符合本研究的应用要求。

### 2.3 生态安全评价方法

#### 2.3.1 空间评价单元的选取

目前已开展的生态安全研究多以行政单元为

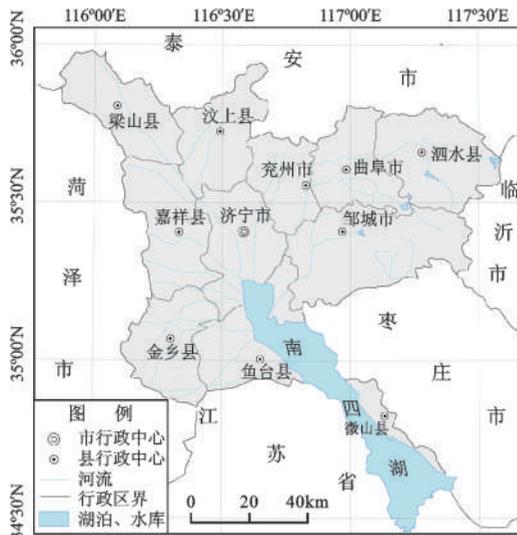


图1 研究区位置示意图

Fig.1 Location of the study area

数据载体,以大区域尺度为研究对象,数据资料获取较为方便;但欠缺空间的可视化表达,宏观指导性有余,评价精度不足,理论性有余,实践指导性不足。本研究采用100 m×100 m的栅格作为基本的评价单元,能在较细的粒度上反映出区域生态安全的空间差异。由于指标数据来源多样、统计单元不甚统一,不便于直接利用多源数据进行栅格水平上的综合评价;因此需要针对不同的数据源,采用不同的数据量化方式。对于遥感数据、图形图像数据和监测数据,直接进行重采样或采用空间插值的方法,将其统一到100 m×100 m的栅格水平上;对于以行政区为单元的统计数据,采用空间数据从行政单元向网格单元转化的技术方法,统一到100 m×100 m的水平上。

### 2.3.2 指标体系构建与权重

在系统全面分析和诊断研究区生态环境问题的基础上,参考前人相关研究<sup>[17-20]</sup>,遵循全面性、代表性、科学性、层次性及可操作性的基本原则,构建了“隐患—状态—免疫”(Hazard-State-Immune)的生态安全指标层次结构模型,共分目标层、综合层、要素层、指标层4层(表1)。考虑到单一的赋权方法可能会产生一定误差,利用熵权法和层次分析法相结合的组合赋权法,可以取长补短,相互验证,既体现了数据本身的数理特征,又体现了人的主观意愿,能较好的解决单一赋权方法不确定性较大的问题。

### 2.3.3 指标阈值与标准化

指标阈值与标准化也是生态安全评价的重要组成部分,综合评价必须在统一的量纲和标准下进行。来源于社会统计数据的指标有较为成熟的评价标准,参照国际公认值、国家标准、国内领先值、生态省建设规划中的标准进行极差标准化;其他来源的指标缺乏不同区域之间可以比较的数据,或者缺乏不同区域可以对比分析数据的有效方法,则直接进行极差标准化和专家分级标准化。

### 2.3.4 生态安全综合评价模型

TOPSIS模型是一种常用的多目标决策定量评价方法,通过逼近理想解来对各评价对象进行排序;针对传统TOPSIS法的缺点,构建了基于垂直距离的TOPSIS模型<sup>[21]</sup>,进行生态安全综合评价。具体步骤如下:

1) 加权矩阵构建。原始数据经过标准化后,得到标准化矩阵: $X=(x_{ij})_{m \times n}$ ,式中有 $m$ 个参评对象, $n$

个评价指标;进而得到加权矩阵: $R=(r_{ij})_{m \times n}$ 。式中 $r_{ij}=x_{ij}w_j, i=1,2 \cdots m; j=1,2 \cdots n, w_j$ 为各指标权重。

2) 理想解及负理想解的确定。

理想解:

$$K^+ = \left\{ \max_i(r_{ij}) \mid i=1,2 \cdots m \right\} = \{k_j^+\} = (k_1^+, k_2^+ \cdots k_n^+) \quad (1)$$

负理想解:

$$K^- = \left\{ \min_i(r_{ij}) \mid i=1,2 \cdots m \right\} = \{k_j^-\} = (k_1^-, k_2^- \cdots k_n^-) \quad (2)$$

式中, $k_j^+, k_j^-$ 分别为第 $j$ 个指标下各评价对象的最大值和最小值。

3) 距离的计算。理想解与负理想解的距离:

$$H = \sqrt{\sum_{j=1}^n z_j^2} \quad (3)$$

第 $i$ 个评价对象与负理想解之间的垂直距离:

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n (z_j \times t_{ij}) / H \quad (4)$$

式中, $z_j = k_j^+ - k_j^-$ ,  $t_{ij} = r_{ij} - k_j^-$ 。

4) 贴适度计算。

第 $i$ 个评价对象与理想解的贴进程度,即为其生态安全指数(Ecological Security Index, ESI):

$$ESI_i = C_i = D_i^- / H \quad (5)$$

$C_i$ 越大,表明第 $i$ 个评价对象的生态安全状况越接近最优水平;显然贴适度 $C_i$ 的值是介于0到1之间的。

在GIS数据指标体系的基础上,将数据代入模型,利用栅格叠加运算,对济宁市1987年、2000年和2008年的生态安全水平进行评价;借鉴已有的成果<sup>[22,23]</sup>和研究区实际情况,将ESI由高到低分为5级(表2);最终评价结果为3个时相的生态安全等级分布图。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用变化分析

图2、表3给出了研究区1987年、2000年和2008年的土地利用空间格局。研究区土地利用程度较高,以耕地为主,占市域总面积的近70%;水域面积比重较大,地表水资源丰富,约占全市面积的10%左右,是山东省水域面积比重最大的地区;其余依次是建设用地、林地、草地、未利用地,面积均较小。

研究区的土地利用空间分异明显。林地、草地总体上所占面积比例较少,主要分布在研究区东部的山区丘陵地带,呈相间分布,以泗水县、邹

表1 济宁市生态安全评价指标体系

Table 1 The evaluation indicators of the ecological security of Jining City

目标层	综合层	要素层	指标层	指标来源	权重	标准值		标准值来源
						安全值	不安全值	
生态安全 综合评价 (U)	隐患 (U <sub>i</sub> )	环境隐患 (U <sub>11</sub> )	单位面积化肥负荷(U <sub>111</sub> )(kg/hm <sup>2</sup> )	统计数据	0.049	10	40	国际公认值
			单位面积COD负荷(U <sub>112</sub> )(t/km <sup>2</sup> )	统计数据	0.048	2500	10000	生态省规划推算
			单位面积SO <sub>2</sub> 负荷(U <sub>113</sub> )(t/km <sup>2</sup> )	统计数据	0.022	2.3	8	生态省规划推算
			采煤塌陷区缓冲区(U <sub>114</sub> )	遥感调查	0.068			评分后赋值
		人文社会隐患 (U <sub>12</sub> )	人口密度(U <sub>121</sub> )(人/km <sup>2</sup> )	统计数据	0.044	200	800	全国领先值
			人均GDP(U <sub>122</sub> )(10 <sup>4</sup> 元/人)	统计数据	0.019	10	1	全国领先值
			人口自然增长率(U <sub>123</sub> )(%)	统计数据	0.023	0.7	5	全国领先值
			土地利用程度(U <sub>124</sub> )	遥感数据	0.047			评分后赋值
			居民地缓冲区分级(U <sub>125</sub> )	基础数据	0.026			评分后赋值
			交通线缓冲区分级(U <sub>126</sub> )	基础数据	0.028			评分后赋值
	状态 (U <sub>2</sub> )	地形条件 (U <sub>21</sub> )	海拔(U <sub>211</sub> )	DEM	0.012			极差标准化
			坡度(U <sub>212</sub> )	DEM	0.021			极差标准化
		气候条件 (U <sub>22</sub> )	年降水量(U <sub>221</sub> )(mm)	监测数据	0.032			极差标准化
			年降水距平百分比(U <sub>222</sub> )(%)	监测数据	0.041			极差标准化
			≥10℃积温(U <sub>223</sub> )	监测数据	0.029			极差标准化
		水文条件 (U <sub>23</sub> )	水网密度(U <sub>231</sub> )	DEM	0.028			极差标准化
			水质指数(U <sub>232</sub> )	监测数据	0.060	I类水	V类水	国家标准
		土壤条件 (U <sub>24</sub> )	土壤有机质含量(U <sub>241</sub> )	专题数据	0.031			极差标准化
			土壤质地(U <sub>242</sub> )	专题数据	0.026			评分后赋值
			土壤侵蚀模数(U <sub>243</sub> )[t/(hm <sup>2</sup> ·a)]	遥感调查	0.045	500	2500	国家标准
			土壤盐渍化缓冲区(U <sub>244</sub> )	遥感调查	0.035			评分后赋值
			植被条件(U <sub>25</sub> )	植被覆盖度(U <sub>251</sub> )	遥感数据	0.029		
		景观结构(U <sub>26</sub> )	景观多样性(U <sub>261</sub> )	遥感数据	0.021			极差标准化
景观破碎度(U <sub>262</sub> )	遥感数据		0.039			极差标准化		
景观形状指数(U <sub>263</sub> )	遥感数据		0.033			极差标准化		
生态服务功能(U <sub>27</sub> )	生态服务功能(U <sub>271</sub> )	统计数据	0.039			极差标准化		
免疫 (U <sub>3</sub> )	污染治理保障(U <sub>31</sub> )	三废处理率(U <sub>311</sub> )%	统计数据	0.043	100	70	国际标准	
	环保投资保障(U <sub>32</sub> )	环保投资GDP(U <sub>321</sub> )%	统计数据	0.038	3	0.5	生态省规划	
	生态建设保障(U <sub>33</sub> )	自然保护区缓冲区(U <sub>331</sub> )	专题数据	0.025			评分后赋值	

城市及曲阜市的林地面积最大;建设用地集中分布在济宁市的市辖区,以及邹城市、兖州市和曲阜市的中心城区等地,并具有较快的增长趋势;耕地在各县市均有广泛的分布,并以邹城市的分布面积最大,微山县的面积最小,呈逐渐减少的趋势;水域集中分布在南四湖地区,以微山县的面积最大,占该县总面积的最大比例达到69.97%;未利用

地面积最小,主要分布在邹城市南部、泗水县北部,以及嘉祥县西部等地的岩石裸露地。

1987~2008年,研究区耕地、林地、草地和未利用地的面积持续下降,由917 495 hm<sup>2</sup>、16 906 hm<sup>2</sup>、6 554 hm<sup>2</sup>、2 869 hm<sup>2</sup>分别下降到了772 740 hm<sup>2</sup>、15 939 hm<sup>2</sup>、5 784 hm<sup>2</sup>和1 087 hm<sup>2</sup>,其主要的转移方向为建设用地;建设用地急剧扩张,面积由1987

表2 生态安全分级标准

Table 2 Standard for ecological security assessment of Jining City

等级	ESI	状态	指标含义
I	0~0.3	重警(差)	生态系统结构极不完整,生态服务功能丧失,生态环境问题严重,且经常演变成生态灾害,亟需恢复提高。
II	0.3~0.45	中警(较差)	生态系统结构破坏较大,生态服务功能严重退化,受干扰较难恢复,生态环境问题较大,生态灾害较多,需要恢复提高。
III	0.45~0.6	预警(一般)	生态系统结构发生变化,生态服务功能已出现退化,尚能维持基本维持,受干扰后易恶化,生态环境问题显著,生态灾害时有发生,具有较低的抵抗能力。
IV	0.6~0.75	较安全(良好)	生态系统结构较完整,生态服务功能较完善,较少受人类干扰,恢复能力较强,受干扰后可恢复,生态环境问题较少,生态灾害不大,具有一般抵抗能力。
V	0.75~1	安全(理想)	生态系统结构完整,生态服务功能完善,基本未受人类干扰,恢复能力强,生态环境问题不显著,无生态灾害,具有较强的抵抗能力。

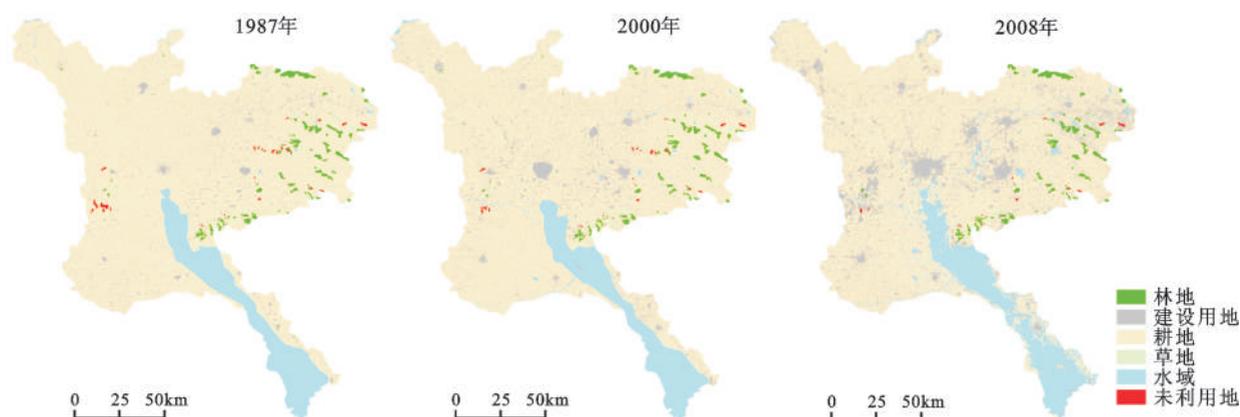


图2 济宁市土地利用格局

Fig.2 Land use patterns of Jining City

表3 济宁市土地利用类型面积

Table 3 Land use change of Jining City

		林地	建设用地	耕地	草地	水域	未利用地
1987年	面积(hm <sup>2</sup> )	16906	51908	917495	6554	115561	2869
	比例(%)	1.52	4.67	82.56	0.59	10.40	0.26
2000年	面积(hm <sup>2</sup> )	16253	95914	880682	6273	110202	1969
	比例(%)	1.46	8.63	79.25	0.56	9.92	0.18
2008年	面积(hm <sup>2</sup> )	15939	172573	772740	5784	142932	1087
	比例(%)	1.43	15.53	69.54	0.52	12.86	0.10

年的51 908 hm<sup>2</sup>增加到172 573 hm<sup>2</sup>,快速城市化是其主要驱动力;水域面积先降后升,1987~2000年呈下降趋势,主要是由于南四湖的围垦和降水量减少造成的,2000年后升高是由于降水量增多、煤矿塌陷地积水以及南四湖区的退耕还湿造成的。

### 3.2 生态安全综合评价

总体上,1987~2008年,济宁市的生态安全状

况经历了由预警—中警—预警状态先恶化后改善的“V”字形变化,与“先破坏后治理”状况的相一致,经济发展和生态环境保护的博弈是生态安全变化的主要因素,评价结果如图3、表4所示。1987年,研究区的ESI为0.457,处于预警状态,生态安全状况不甚乐观,人类对生态系统的干扰和破坏已经初步显现;2000年,ESI降至最低点,仅为

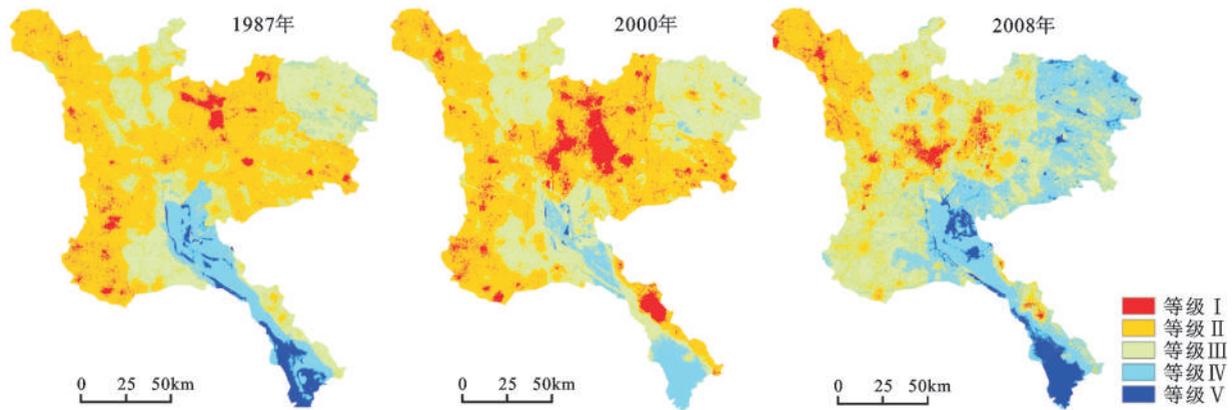


图3 研究区生态安全空间分异

Fig.3 Spatial distribution of synthetical eco-security of Jining City

表4 研究区生态安全综合评价结果

Table 4 Results of synthetical ecological security assessment of Jining City

	等级	得分区间	面积(hm <sup>2</sup> )	面积百分比(%)
1987年	I	0~0.3	48787	4.42
	II	0.3~0.45	613864	55.57
	III	0.45~0.6	311565	28.20
	IV	0.6~0.75	108907	9.86
	V	0.75~1	21544	1.95
	合计			1108261
2000年	I	0~0.3	93486	8.44
	II	0.3~0.45	603715	54.47
	III	0.45~0.6	341928	30.85
	IV	0.6~0.75	68048	6.14
	V	0.75~1	1084	0.01
	合计			1108261
2008年	I	0~0.3	32774	2.96
	II	0.3~0.45	278597	25.14
	III	0.45~0.6	487639	43.99
	IV	0.6~0.75	258321	23.31
	V	0.75~1	50993	4.60
	合计			1108261

0.411,呈中警状态,人类经济社会发展产生的各种废弃物逐渐增多,土地利用程度日益加大,研究区的生态安全状况遭受巨大挑战,生态系统结构破坏较大,服务功能退化严重;2000年后,ESI开始反弹,研究区生态安全状况日趋改善,现状年(2008年)生态安全指数为0.528,升为预警状态,超过了1987年的水平;主要是由于生态建设和采煤塌陷区治理投入加大,取得了一定的生态效益,同时注

重了各种环境污染和废弃物的处理,特别是南水北调的建设给济宁市的生态安全带来了良好的契机;但是现状年存在一定的不确定因素,生态服务功能仍有退化,生态系统的抵抗能力较低,受到一定程度的干扰后未来仍有可能出现恶化。

具体来看,1987年,研究区以中警级别的面积最大,占市域总面积的55.57%,主要分布在研究区的西部及中部地区;预警级别的面积次之,占市域总面积的28.20%,主要分布在金乡县、泗水县、汶上县大部 and 微山县东部;较安全和安全状态,主要分布在泗水县的森林、水库区域和微山县的南四湖,共占市域总面积的11.81%;重警状态面积零星分布在市域,尚未连片。2000年,各级别的面积的比例排序没有变化,中警和预警的土地面积基本变化不大,分别占全市总面积的54.47%和30.85%;但不安全状态的面积大幅上升,占全市面积的8.44%,是1987年的2倍,其集中分布于市域的中部工矿区和微山县东部,已经成片分布,在其他地区也有零星分布;较安全和安全的面积均下降,近乎不存在安全状态的土地;可见2000年比1987年的生态安全状况有明显变差的趋势。2008年,预警级别所占的面积最大,占全市面积的43.99%;中警状态占25.14%,主要分布在西北部的梁山县和中部地区;安全和较安全状态主要分布在微山县南四湖、泗水县和邹城市东部;不安全面积明显减少,仅占2.96%;生态安全状况比2000年有明显的好转。值得注意的是,2000年以后,梁山县的大部分地区和汶上县的南部,生态安全指数出现了一定程度的下降,在今后应高度警惕,防止生态安全状况进一步恶化。

## 4 结论与讨论

1) 20 a来,济宁市土地利用变化较为剧烈,其总体特征为耕地、林地、草地和未利用地的面积持续下降,建设用地急剧扩张,水域面积先降后升。总体上,济宁市的生态安全整体状况经历了由预警-中警-预警状态的“V”字形变化,经济建设和环境保护的矛盾始终贯穿于整个发展过程,南水北调东线工程的实施和生态建设力度加大是2000年后生态安全状况好转的主要驱动力。

2) 济宁市的生态安全空间分异明显。生态安全指数较好的地区主要分布在泗水县、邹城市东部和南四湖区,对济宁市生态安全整体水平的正效应贡献大,成为维持济宁市生态安全的主要生态屏障。生态安全较低水平主要分布在济宁市中部的市辖区、兖州市和邹城市西部、微山县西部,以及济宁市西北部的梁山县,是经济最为发达的地区,同时也是济宁市乃至山东省最重要的煤炭产区,提高其生态环境质量对城市经济社会健康持续发展具有重要意义。湖西平原大部分地区均处在预警状态,以大面积的农业生产为主,缺乏生态屏障,土地的次生盐渍化和单一的生态系统是其主要的生态安全隐患。

3) 本文建立了生态安全的“隐患—状态—免疫”的评价指标体系,利用组合赋权法确定权重,有助于解决生态安全评价中的不确定性;尝试以栅格评价单元进行生态安全的空间可视化表达,有较高的空间精度,实践指导性较强,可为土地利用格局的优化和区域的生态建设提供依据。

本文针对研究区的生态环境特色,建立了较为系统的生态安全评价指标体系,具有一定的地域性特色,研究区土地生态系统类型复杂多样,所遴选的指标均是可比性的指标,其实用性、科学性也有待于进一步的实证检验。

本文收集的资料的尺度不甚统一,有以点为单位的(气象数据),有栅格的(遥感影像、DEM),还有行政区为单位(社会经济统计数据)的,在统一到100 m×100 m栅格评价尺度时,可能存在尺度转换上的误差,对评价结果有一定影响。

## 参考文献:

- [1] 肖笃宁,陈文波.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [2] 刘 红,王 慧,张兴卫.生态安全评价研究述评[J].生态学杂

- 志,2006,25(1):74-78.
- [3] 陈 星,周成虎.生态安全国内外研究综述[J].地理科学进展,2005,24(6):8-20.
- [4] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(6):553-557.
- [5] 唐华俊,吴文斌,杨 鹏.土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468.
- [6] 于兴修,杨桂山,王 瑶.土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J].地理科学,2004,24(5):627-633.
- [7] 蔡运龙,宋长青,冷疏影.中国自然地理学的发展趋势与优先领域[J].地理科学,2009,29(5):619-626.
- [8] 喻 锋,李晓兵,王宏等.皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价[J].地理学报,2006,61(6):645-653.
- [9] Hughey K F D, Cullen R, Kerr G N. Application of the pressure-state-response framework to perceptions reporting of the state of the New Zealand environment[J]. Journal of Environmental Management, 2004, 70(1):85-93.
- [10] Tran L T, Knight C. Fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the Mid Atlantic region [J]. Environ Manag, 2002, 29(6):845-859.
- [11] Rees W E. Revisiting carrying capacity: Area-based indicators of sustainability [J]. Population and Environment, 1996, 17 (3): 195-218.
- [12] Steven M B. An Ecosystem model for assessing ecological risks in Québec rivers, lakes, and reservoirs[J]. Ecological Modeling, 1999,124(1):43-67.
- [13] Robin S V. Developing programs to monitor ecosystem health and effectiveness of management practices on lakes states national forests, USA[J]. Biological Conservation,1997, 80(3): 289-302.
- [14] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报,2009,64(12): 1411-1420.
- [15] 吴海珍,阿如早,郭田保,等. 基于RS和GIS的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理科学,2011,31(1):110-116.
- [16] 张 杨,刘艳芳,顾渐萍,等. 武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J]. 地理科学,2011,31(10):1280-1285.
- [17] 王 耕,吴 伟.基于GIS的辽河流域生态安全空间分异特征[J].环境科学,2005,26(5):28-33.
- [18] 谢花林.土地利用生态安全格局研究进展[J].生态学报,2008,28(12):6305-6311.
- [19] 李玉平,蔡运龙.河北省土地生态安全评价[J].北京大学学报(自然科学版),2007,2(3):1-9.
- [20] 薛 亮,任志远.基于格网GIS的关中地区生态安全研究[J].地理科学,2011,31(10):123-127.
- [21] 吕建树,刘 洋,杨念贵.基于改进TOPSIS法的水资源承载力研究[J].水资源与水工程学报,2009,19(3):84-86.
- [22] 左 伟,王 桥,王文杰.区域生态安全综合评价模型分析[J].地理科学,2005,25(2):209-214.
- [23] 左 伟,周慧珍,王桥,等.区域生态安全综合评价与制图——以重庆市忠县为例[J].土壤学报,2004,41(2):203-209.

## Land Use Change and Ecological Security Assessment in Jining City Based on RS and GIS

LU Jian-shu<sup>1</sup>, WU Quan-yuan<sup>2</sup>, ZHANG Zu-lu<sup>2</sup>, LIU Yang<sup>3</sup>

(1. *The Key Laboratory of Coast and Island Development of Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing 210093, China*; 2. *College of Population Resource and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China*; 3. *State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210046, China*)

**Abstract:** The research on ecological security of land use is the core of IGBP and IHDP, which can provide a lot of guidances on the regional ecological construction and sustainable development. Based on RS and GIS technology, taking typical Jining City in Nansi Lake watershed as the study area, the paper analyzed land use change in Jining City from 1987 to 2008, and then an evaluation index system was established on basis of “Hazard-State-Immune” model. AHP and entropy methods were used for determining index weights, finally improved TOPSIS method was used to evaluate ecological security on 100 m×100 m grid scale in the year of 1987, 2000 and 2008. The results of the study were as follows: 1) the change of land use in study area from 1987 to 2008 was great, and had typical regional characteristics. The areas of farmland, woodland, grassland and unused land kept decreasing, construction land expanded largely, water area first decreased and then increased. 2) In the past 20 years, ecological security in study area changed from deterioration to improvement, experiencing V-shaped process, and the main reasons of improvement since 2000 were implementation of the South-to-North Water Transfer Project as well as enhancement of ecological construction. 3) The spatial difference of land ecological security in research area was obvious, the best places were located in the eastern hilly area and Nansi Lake, the worst places were located in the middle area, and the remaining areas were in a warning state. This study revealed temporal evolution and spatial distribution of the land use and ecological security in Jining city, which played a conducting and reference role in ecological construction, regional sustainable development, and improving water quality standards of the East Route of the South-to-North Water Transfer Project.

**Key words:** land use; ecological security; Jining City; GIS