

资源枯竭型城市工矿用地破碎度变化及其驱动力研究——以萍乡市安源区为例

汪龙，夏敏*，文博¹

(南京农业大学公共管理学院，江苏南京 210095)

摘要：基于萍乡市安源区高分辨率遥感影像解译获得的 4 期土地利用现状图，选取面积类、形状类和分布类等 7 个破碎度评价指标，采用多因素综合评价法对该区域工矿用地破碎度进行了评价，应用冗余分析法探讨了工矿用地破碎度变化与社会经济和区位因子之间的相互关系。结果表明：2003 ~ 2017 年，萍乡市安源区工矿用地破碎度呈现不断减小的趋势，但各乡镇之间的破碎度变化情况不完全相同，工矿用地破碎区域分异明显；2003 年的 3 个破碎度 III 级区至 2017 年均转化为 II 级区，且 I 级区的数量近一半，工矿用地破碎度减小显著；煤炭采选业从业人数、煤炭采选业产值比重、煤炭采选业固投比重和距道路距离对工矿用地破碎度变化有正向影响，GDP、总人口和距城镇距离则呈现负向影响，破碎度的变化与研究区煤炭资源枯竭和经济转型有关。研究结果可以为研究区工矿用地整治和集约利用提供决策依据。

关键词：资源枯竭型城市； 工矿用地； 破碎度； 驱动力

中图分类号：F301

文献标志码：A

文章编号：1001-8581(2019)08-0126-08

0 引言

资源枯竭型城市是指矿产资源开发走向枯竭状态的资源型城市，资源枯竭带来了大量粗放、低效利用的工矿用地^[1-2]，而长期的资源开采产生的采动滑坡、裂缝、塌陷等现象，造成工矿用地破碎化严重，进而对城市景观生态格局造成影响^[3-4]。

近年来学者们对景观破碎化的研究涉及城市^[1, 5-8]、流域^[9-11]、山地^[12]、库区^[13]、矿区^[14]等区域，对单一土地类型破碎化的研究则主要集中在耕地^[15-21]和生态用地^[22-24] 2 种类型，研究中大多选用数个景观格局指数或将其进行综合以反映破碎化程度，研究表明：随着城市化和社会经济的发展，区域土地景观和单一土地类型均存在不同程度的破碎化，并随时间不断演化，其空间格局也发生变化；部分学者对其驱动机制进行了分析，认为土地破碎化的驱动力主要有自然驱动力、人文驱动力和经济驱动力，短期内交通设施建设与人类活动是破碎化的直接影响因素，经济的发展则对其产生间接影响^[8, 12-13, 20, 25]。研究大多针对中尺度区域，对小尺度区域研究较少，也鲜见对工矿用地破碎化的研究，但是景观格局指数及其空间变异特征是尺度依存的^[9]，不同尺度景观格局变化的影响因素可能不同^[26]，且作为资源枯竭型城市特殊重要的用地类型，工矿用地的变化有自身特殊的规律性与典型性^[27]，因此，有必要对小尺度区域资源枯竭型城市工矿用地破碎化的时空格局及其影响因素进行探讨与研究。

¹收稿日期：2019-03-09

基金项目：教育部人文社会科学研究一般项目(16YJAZH064)；江西省软科学研究计划重大项目(20161ACA10001)。

作者简介：汪龙(1993—)，男，安徽当涂人，硕士研究生，研究方向：土地信息系统、土地利用与规划。*通信作者：夏敏。

本文以资源枯竭型城市——萍乡市安源区为例，基于研究区高分辨率遥感影像数据，综合选取景观格局指标评价工矿用地破碎化程度并分析其变化过程，采用冗余分析法探讨了工矿用地破碎度变化的驱动力，以期为研究区工矿用地整治提供依据，为资源枯竭型城市土地资源集约利用提供参考。

1 研究方法数据来源

1.1 研究区概况

安源区位于江西省萍乡市中部，东部、东南部与芦溪县接壤，西南及西部与萍乡市湘东区交界，北部与上栗县毗连，地势东南高、西北低，为萍乡市政治、经济、文化中心。境域东西宽约 22.75km，南北长约 20.33 km，土地总面积 212.58 km²。下辖 4 个镇 6 个街道办事处及城郊管理委员会，2016 年安源区常住人口共计 45 万人，完成地区生产总值 269.21 亿元，同比增长 8.7%。自萍乡市于 2008 年 3 月经国务院批准确定为首批资源枯竭型城市转型试点城市之后，安源区在加快经济发展方式转变中推动城市转型，并取得一定的成效，工矿废弃地整治成为其实现经济社会转型和土地可持续利用的关键因素之一。

1.2 数据来源与处理

以萍乡市安源区 2003 年分辨率为 2.5 m 的 SPOT 5 卫星遥感影像数据、2008、2013 和 2017 年分辨率为 0.5 m 的航拍影像数据为空间基础数据，利用 eCognition Developer 8.7 解译获得研究区 2003、2008、2013、2017 年 4 期土地利用数据，根据资源枯竭型城市工矿用地特点，将土地利用类型划分为耕地、园林地、非工矿建设用地、工矿用地、水域和未利用地六大类，其中工矿用地为煤炭开采、加工、仓储用地、采煤塌陷地、工矿废弃地以及其他与煤炭相关的附属设施用地的统称。根据实地调研的情况对解译结果进行校正，对遥感解译结果进行精度检验，检验结果表明：2003、2008、2013 和 2017 年遥感分类 Kappa 系数分别为 0.807、0.856、0.893、0.862，精度均达到要求。

采用 ArcGIS 10.2 对 4 期土地利用数据进行空间坐标的统一匹配与范围裁剪，同时提取工矿用地数据以便于进行破碎度评价；从各期遥感影像上分别提取道路和城镇图层，并参照相应年份的道路图进行修正，利用 ArcGIS 的空间分析功能计算到道路和城镇的距离；社会经济数据则来源于《安源区统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 工矿用地破碎度评价指标体系构建景观格局指数是反映景观结构组成和空间配置特征的简单定量指标，被广泛应用于景观破碎化研究中。本文借鉴破碎度评价的相关成果^[14-17]，并结合安源区自身特征和研究需要，选取面积破碎类、形状破碎类和分布破碎类共 7 个景观格局指数构建工矿用地破碎度评价指标体系，对研究区工矿用地破碎度进行评价，指标体系见表 1。

表 1 工矿用地破碎度评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标性质	权重
工矿用地破碎度评价体系	面积破碎度 (a)	a1: 斑块密度	正向	0.226
		a2: 平均斑块面积	负向	0.040
		a3: 最大斑块指数	负向	0.038
	形状破碎度 (s)	s1: 景观形状指数	正向	0.172
		s2: 面积加权分维数	正向	0.093
	分布破碎度 (d)	d1: 景观分离度指数	正向	0.329

注：正向指标表示值越大，破碎度越高；负向指标表示值越大，破碎度越低。

1. 3. 2 工矿用地破碎度评价 (1) 数据标准化

由于各破碎度指标含义不同，量纲也不统一，正向指标与负向指标共存，导致各指标之间无可比性，为了消除各指标单位和量纲差异导致的影响，故首先要对评价指标进行标准化处理。选用极差标准化方法，正向指标按照公式 (1) 进行标准化，负向指标按照公式 (2) 进行标准化。

$$X_{ij} = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (1)$$

$$X_{ij} = (x_{\max} - x_i) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (2)$$

其中， X_{ij} 为第 i 个样本第 j 项指标标准化处理后的值； x_{ij} 为第 i 个样本第 j 项指标的实际值； x_{\max} 为与 x_{ij} 对应的第 i 个样本第 j 项指标实际值中的最大值； x_{\min} 为与 x_{ij} 对应的实际值第 i 个样本第 j 项指标的最小值。

(2) 权重确定

评价指标赋权的方法包括主观赋权法和客观赋权法，本文选取客观赋权法中的熵值法进行确权。熵值法根据指标的相对变化程度对系统整体的影响来决定指标的权重，相对变化程度大的指标具有较大的权重，因此更能真实反映评价指标的权重^[29]。计算方法如下：

$$P_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^m X_{ij} \quad (3)$$

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln P_{ij}, \text{ 其中 } k = 1 / \ln m \quad (4)$$

$$W_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \quad (5)$$

其中，样本个数为 m ，评价指标有 n 个， P_{ij} 为第 i 个样本第 j 个评价指标的标准化值， e_j 为第 j 个指标的熵值， W_j 为第 j 个指标的权重。

(3) 综合评价

数据标准化和权重确定后，采用多因素综合评价法对工矿用地破碎度进行评价。

$$E = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (6)$$

1. 3. 3 驱动力分析冗余分析 (RDA, redundancy analysis) 作为一种直接梯度分析方法，属于排序分析中的线性模型，是约束性排序，其排序轴是参与排序的环境变量的线性组合，可基于排序技术进行线性分析，其优势在于能从统计学的角度来有效评价一个或一组变量与另一组变量数据间的关系^[30]，能有效地对多个因子进行统计检验并独立保持各因子对响应变量的贡

献率^[31-32]。本文利用 Canoco 4. 5 结合工矿用地破碎度评价结果和驱动因子进行冗余分析，直观展现破碎度变化与各影响因子之间的关系。

2 结果与分析

2. 1 工矿用地总体特征

安源区 4 期工矿用地分布如图 1 所示。2003 年研究区工矿用地共计 775. 18 hm²，主要分布于高坑镇、安源镇及青山镇；2008 年工矿用地共计 825. 36 hm²，主要分布于高坑镇、安源镇、青山镇和主城区；2013 年工矿用地共计 768. 60 hm²，主要分布于高坑镇、安源镇、青山镇和主城区；2017 年工矿用地共计 720. 42 hm²，主要分布于高坑镇、安源镇和青山镇。2003 ~ 2008 年工矿用地面积增加了 50. 18 hm²，其中采煤及加工用地面积减少，但工矿废弃地增加较多；2008 ~ 2017 年则呈下降趋势，面积下降了 104. 94 hm²，其中高坑镇和安源镇是研究区工矿用地最集中的乡镇。

利用工矿用地栅格数据结合 Fragstats 4. 2 软件计算出安源区工矿用地景观格局指数。随着煤炭经济的衰退，私营小煤矿企业纷纷关闭，工矿废弃地增多，导致 2003 ~ 2008 年研究区斑块密度上升了 2. 658 个/hm²，同时平均斑块面积减少了 0. 226 hm²，其后由于政府对工矿废弃地进行治理，同时大型国有煤炭企业因洗煤等生产需要而扩大规模，工矿用地斑块密度又转为下降，平均斑块面积由 2008 年的 2. 805 hm² 上升至 2017 年的 3. 969 hm²；大量零散工矿用地的退出使工矿用地斑块在区域内的分布更加趋于集中化，形状也更加规整，从 2003 ~ 2017 年，安源区最大斑块指数不断增加，工矿用地景观分离度减少了 37. 87%，工矿用地聚集度指数则上升了 20. 39%，且景观形状指数越来越趋近于 1。

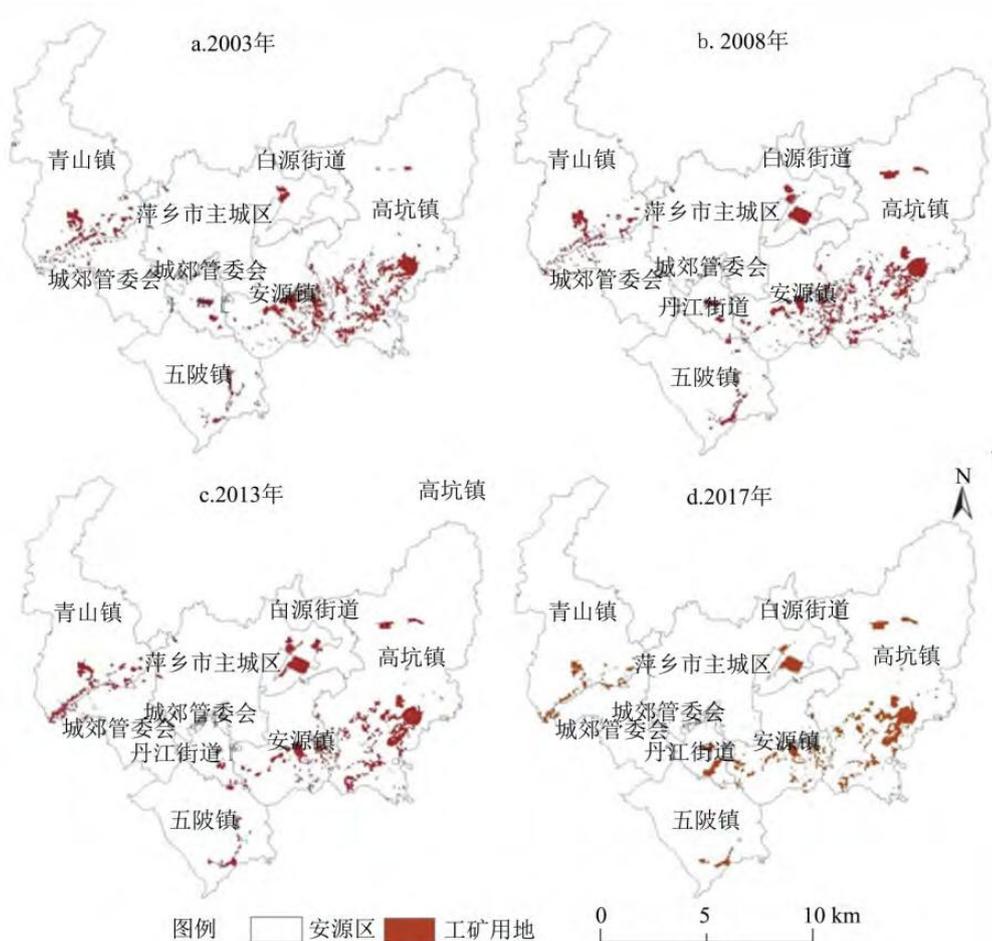


图 1 2003、2008、2013 和 2017 年工矿用地分布

2. 2 工矿用地破碎度时间变化分析

通过 Fragstats 4. 2 软件分析景观格局指数, 结合综合评价公式计算得出安源区及各乡镇 4 个时期的工矿用地破碎度, 其中白源街道没有工矿用地, 因此未评价。随着《土地复垦条例》、《矿山地质环境保护规定》等一系列关于土地复垦及矿山地质环境保护政策的实施, 对工矿废弃地进行了合理生态恢复, 废弃的细碎工矿用地复垦为耕地、园林地等其他地类, 同时大型国有煤炭企业也扩大了生产范围, 工矿用地斑块越来越聚集, 工矿用地面积、形状、分布破碎度均越来越小, 综合破碎度由 2003 年的 0. 315 下降至 2017 年的 0. 163, 下降幅度为 48. 25%, 研究区工矿用地破碎程度呈现越来越低的趋势。

各乡镇工矿用地的破碎度变化趋势不尽相同。从面积破碎度看, 2003 ~ 2017 年主城区和城郊管委会的工矿用地面积破碎度均随时间的变化而减小。丹江街道面积破碎度先连续增加后大幅减少, 原因是 2017 年其平均斑块面积和最大斑块指数大幅上升。青山镇和五陂镇斑块密度、平均斑块面积和最大斑块指数变化均较小, 从而面积破碎度变化不大。高坑镇在 2013 年斑块密度明显的减小且平均斑块面积上升, 导致其在该时间点面积破碎度明显下降。安源镇斑块密度在 2003 ~ 2008 年先微幅上升之后又有所下降并保持平稳状态, 其面积破碎度变化也符合这一趋势; 从形状破碎度看, 丹江街道在 2003 ~ 2013 年间工矿用地景观形状指数和面积加权分维数均有所增长, 因而其形状破碎度在该时间段内随之上涨。城郊管委会在 2017 年景观形状指数和面积加权分维数方面大幅降低, 导致形状破碎度大幅下降。高坑镇和安源镇工矿用地形状破碎度均逐步减小。五陂镇 2008 年景观形状指数和面积加权分维数均小幅增加, 从而形状破碎度随之小幅上涨; 从分布破碎度看, 主城区、城郊管委会和高坑镇的工矿用地分布破碎度均有所下降。丹江街道 2017 年分布破碎度大幅减小, 因为其景观分离度指数大幅下降且聚集度指数有所增长。安源镇 2008 年景观分离度指数增加, 导致分布破碎度随之上升。五陂镇景观分离度指数先减少再增加, 从而分布破碎度也呈现先减小再上升的趋势。

近十几年来, 主城区内的工矿用地逐渐成为大型煤炭储运中转场所, 工矿用地数量较少但面积较大, 因此, 破碎度 10 多年间从 0. 187 降低为 0. 050, 降幅达 73. 26%; 随着一些煤炭企业的退出, 丹江街道 2003 ~ 2013 年工矿用地逐渐废弃, 其中适宜植物生长的区域自然恢复为草地、林地等绿色空间, 因此工矿用地破碎化程度上升, 2013 ~ 2017 年间部分煤矿企业为了提高煤炭质量增加了用于洗煤的场地且细碎的废弃地得以治理, 工矿用地斑块趋于集中, 从而破碎度呈现下降趋势; 城郊管委会内的煤炭企业相继减少, 破碎度高的零散工矿废弃地得到治理, 工矿用地破碎度由 2003 年的 0. 637 减少至 2017 年的 0. 428, 减少量为 0. 209。青山镇 2003 ~ 2008 年期间工矿用地几乎没有变化, 破碎度也保持平稳状态, 2008 ~ 2017 年期间小型私营煤矿减少的同时工矿废弃地被治理, 破碎度下降了 8. 96%。高坑镇和五陂镇内大型国有煤矿开采的范围扩大的同时私营小煤矿由于煤炭行业不景气已关闭, 使得区域内工矿用地破碎度随时间推移而逐步减小。安源镇 2003 ~ 2008 年间由于煤炭经济的衰退导致工矿用地废弃的情况增多, 破碎度由 0. 456 小幅上升到 0. 474, 2008 ~ 2017 年间对破碎度高的工矿废弃地施行整治等相关措施后, 破碎度又减小至 0. 402, 呈现下降趋势并保持平稳状态。总体而言, 安源区工矿用地破碎程度 2003 年最大, 2017 年最小, 其中城郊管委会、高坑镇和五陂镇工矿用地破碎度呈逐步递减趋势, 而丹江街道和安源镇工矿用地破碎度则呈现先上升再下降的趋势, 工矿用地破碎地区分异明显。

2. 3 工矿用地破碎度空间变化分析

萍乡市安源区 4 个时期各乡镇的工矿用地综合破碎度最小值为 0. 050, 最大值为 0. 637, 依据科学性、统一性、层次性原则, 采用 Natural Break 方法对工矿用地综合破碎度进行分级 [33-34], 根据分级结果将各乡镇工矿用地分为 3 个级区: I 级区 (0. 05~0. 27), II 级区 (0. 27~0. 43), III 级区 (0. 43~0. 64) (图 2)。

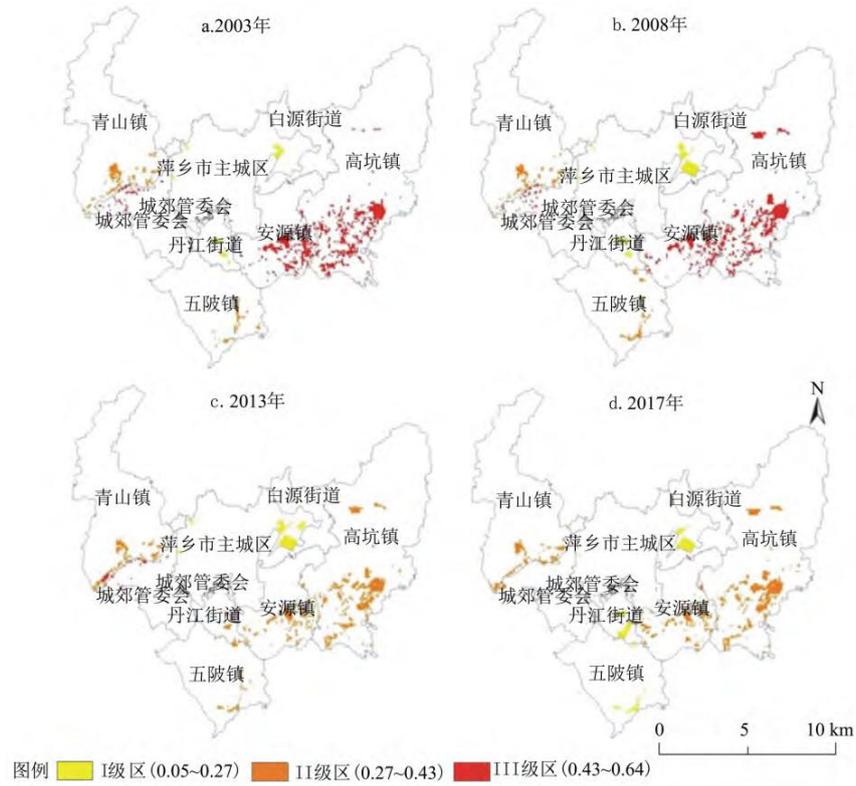


图2 2003、2008、2013 和 2017 年工矿用地破碎度分级

2003 年，城郊委员会、高坑镇和安源镇工矿用地破碎度较高，均处于III级区内，青山镇和五陂镇处于II级区，主城区和丹江街道则处于I级区，全区II级区和III级区占到5个；2003～2008年，主城区、城郊管委会、高坑镇和五陂镇工矿用地破碎度有所下降的同时，丹江街道、青山镇和安源镇破碎度上升，但幅度基本较小，因此分级状态无变化；2008～2013年，丹江街道由于工矿废弃地增多从I级区转化为II级区，高坑镇和安源镇境内众多细碎的工矿废弃地得到有效治理，均由III级区转化为II级区，III级区减少至1个，其他乡镇分级状态无变化；2013～2017年，丹江街道内的工矿企业扩大生产因此破碎度明显下降，导致其转化至I级区，城郊管委会和五陂镇工矿废弃地得到进一步整治且效果显著，分别转化至II级区和I级区，III级区已消失，当前I级区扩大到3个，占比接近一半。2017年处于I级区的乡镇占到3个，主城区、丹江街道和五陂镇均在内。得益于土地复垦和矿山环境整治等相关措施的施行，2003年的3个III级区均转化为II级区，整体工矿用地破碎度水平相对较低，其中主城区工矿用地破碎化程度仅为0.050，总体而言，10多年来安源区工矿用地破碎度空间分布变化明显。

2.4 破碎度变化驱动力分析

工矿用地破碎化程度的时空动态演变很大程度上是由土地利用变化导致的结果^[17]，探讨其驱动力时应结合土地利用变化的驱动因子来考虑。近14年来，研究区内自然条件如地形、坡度、海拔变化很小，而社会经济和交通条件却发生了极大的改变，社会经济因素和区位因素在工矿用地破碎度变化的过程中占据绝对的主导地位^[35]。驱动因子的选择应结合安源区的实际情况并考虑数据的可获取性、一致性和可量化性，因此，笔者参考相关文献^[2, 36-38]选取了7个驱动因子，包括GDP、总人口、煤炭采选业从业人数、煤炭采选业产值比重和煤炭采选业固投比重等社会经济条件，及距道路距离和距城镇距离等区位条件。利用冗余分析方法对研究区10多年来工矿用地破碎度变化驱动力进行分析，结果如图3所示，其中箭头夹角的余弦值表示工矿用地破碎度变化与驱动因子的相关性大小，箭头方向投影长短表示驱动因子贡献率的大小。

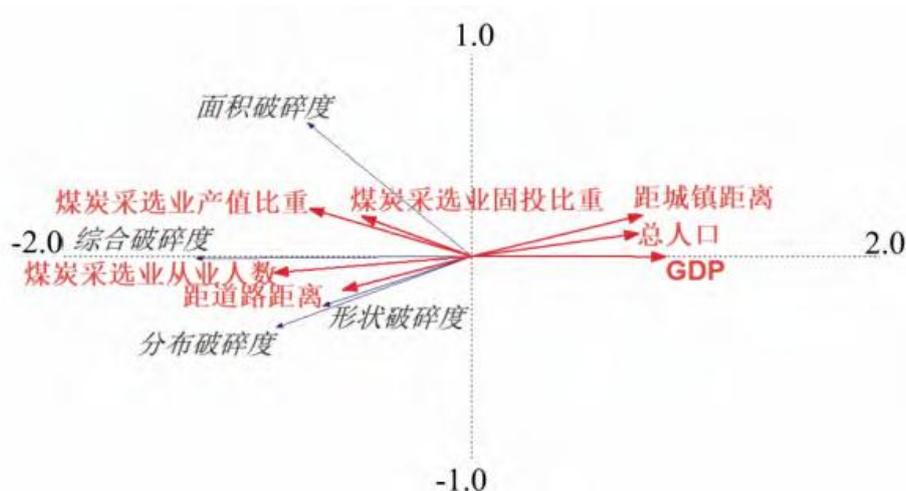


图3 工矿用地破碎度与驱动因子RDA排序图

安源区工矿用地面积破碎度、形状破碎度和分布破碎度变化均与煤炭采选业固投比重、产值比重、从业人数和距道路距离呈正相关关系，与GDP、总人口和距城镇距离呈负相关关系，但相关程度各不相同。煤炭采选业固投比重与面积破碎度相关性最大，距道路距离则与形状破碎度和分布破碎度相关性最强；对面积、形状和分布破碎度变化贡献率最大的正相关因子均是煤炭采选业从业人数，最大的负相关因子均是GDP。

与安源区工矿用地综合破碎度变化呈显著负相关关系的社会经济因子是GDP和总人口，且GDP贡献率最高。随着区域经济的转型发展和人口的增长，当煤炭行业无利可图时，劳动力和资本从煤炭行业转移至其他行业以获取更高的收益，小、微型煤炭企业优先被淘汰，从而大型国营煤炭企业扩大经营，导致工矿用地综合破碎程度越来越小；在区位因子中，综合破碎度变化与距城镇距离呈显著的负相关，由工矿用地变化情况可知，距城镇远的工矿用地转为其他用地类型的较多，保留的工矿用地斑块较为聚集。

与工矿用地综合破碎度变化呈显著正相关关系的社会经济因子是煤炭采选业从业人数、煤炭采选业产值比重和煤炭采选业固投比重，且煤炭采选业从业人数贡献率最高。随着煤炭经济的衰退，煤炭采选业固投占全社会固投总额比重逐年降低，大部分小型煤炭企业退出，导致煤炭采选业从业人数和产值比重均有所减少，而退出煤矿企业留下的零散工矿废弃地被整治复垦为园林地和耕地，工矿用地综合破碎度随之下降；区位因子中的距道路距离与工矿用地综合破碎度变化呈显著正相关关系，距道路近的地块交通条件良好，有利于降低运输成本，因此汇集的工矿企业多，工矿用地聚集程度高。

由RDA排序图及上述分析可知，2003～2017年安源区社会经济和区位条件均对工矿用地破碎度变化产生了一定程度的影响，工矿用地破碎度的时空演化可以认为是资源枯竭背景下社会经济条件和区位条件对于城市转型发展的响应，在这些驱动因子的共同作用之下，研究区的工矿用地破碎度发生了复杂的时空演化。

3 结论与讨论

(1) 基于所选择的景观格局指数构建工矿用地破碎度评价指标体系，可以在一定空间、时间界限内对安源区工矿用地破碎度进行评价分析，评价结果表明：煤矿经济衰退导致小型煤炭企业倒闭，而大型煤炭企业因生产需要扩大用地规模，加之近年来政府的工矿废弃地整治和环境保护措施，研究区工矿用地破碎度呈越来越小的趋势，工矿用地斑块聚集度增加，2017年处于I级区的乡镇数量和面积接近一半。工矿用地破碎度的减小为研究区进一步的工矿用地改造和复垦工作提供了有利条件。

(2) RDA 排序图表明: 2003 ~ 2017 年影响安源区工矿用地破碎度变化的负向影响因子有 GDP、总人口和距城镇距离, 正向影响因子有煤炭采选业从业人数、煤炭采选业产值比重、煤炭采选业固投比重和距道路距离, 其中 GDP 和煤炭采选业从业人数对研究区工矿用地破碎度变化影响的贡献率最高。随着社会经济的发展, 城市区域、耕地、绿地等景观均呈现破碎化程度加剧的趋势^[2, 8, 22], 而安源区煤炭工矿用地的破碎度却不断减小, 这与研究区煤炭资源枯竭和经济转型的发展阶段密不可分。

(3) 本文对安源区工矿用地破碎度变化及驱动力分析的时间跨度为 14 年, 时序较短, 之后的研究应扩展时间范围, 更好地把握研究区工矿用地动态变化趋势; 同时, 土地利用变化受自然、社会经济、区位和土地利用政策等多种因素的影响, 由于研究区自然因素变化较小, 政策因素难以量化, 本文主要从社会经济和区位对工矿用地破碎度变化驱动力进行了分析, 进一步的研究可考虑采用更多针对性的指标以更合理地反映其驱动力。

参考文献:

- [1] 郇文聚, 范金梅. 中国资源枯竭型城市土地复垦研究 [J]. 中国发展, 2012, 12(5): 19-23.
- [2] 夏敏, 张开亮, 文博, 等. 煤炭资源枯竭型城市工矿用地时空变化模拟与生态风险评价: 以江西省萍乡市安源区为例 [J]. 地理研究, 2017, 36(9): 1773-1786.
- [3] 吴金华, 刘小玲, 张伟. 基于星座图的神木县工矿废弃地复垦潜力研究 [J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2412-2417.
- [4] 傅建春, 王锐, 叶鹏飞. 河南省采矿区土地复垦分区与整治策略 [J]. 测绘科学, 2016, 41(8): 76-81.
- [5] 李灿, 张凤荣, 朱泰峰, 等. 大城市边缘区景观破碎化空间异质性: 以北京市顺义区为例 [J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5363-5374.
- [6] 付刚, 肖能文, 乔梦萍, 等. 北京市近二十年景观破碎化格局的时空变化 [J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2551-2562.
- [7] 王永军, 李团胜, 刘康, 等. 榆林地区景观格局分析及其破碎化评价 [J]. 资源科学, 2005(2): 161-166.
- [8] 仇江啸, 王效科, 逯非, 等. 城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系: 以北京城区为例 [J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2659-2669.
- [9] 高江波, 蔡运龙. 区域景观破碎化的多尺度空间变异研究: 以贵州省乌江流域为例 [J]. 地理科学, 2010, 30(5): 742-747.
- [10] 杜清, 徐海量, 凌红波, 等. 开都孔雀河流域近 20 年土地利用/覆被变化及景观破碎化研究 [J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(6): 795-799.
- [11] 王军强, 郭青霞, 赵富才, 等. 岔口小流域土地利用景观破碎化现状分析 [J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2014, 34(2): 152-156.
- [12] 王蓉, 周宝同, 甘雪坤. 西南山地景观破碎化与城镇化及社会经济发展水平的关系研究: 以重庆市渝北区为例 [J]. 长

江流域资源与环境, 2018, 27(3) : 624—631.

[13] 刘世梁, 刘琦, 王聪, 等. 基于地理加权回归的漫湾库区景观破碎化及影响因子分析 [J]. 地理科学, 2014, 34(7) : 856—862.

[14] 王兰霞, 秦大海, 冯彬, 等. 城山煤矿区土地利用景观破碎化分析 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(36) : 12977—12979.

[15] 陈帷胜, 冯秀丽, 马仁锋, 等. 耕地破碎度评价方法与实证研究: 以浙江省宁波市为例 [J]. 中国土地科学, 2016, 30(5) : 80—87.

[16] 李黎. 耕地破碎化演变趋势及驱动机制研究 [D]. 成都: 四川师范大学, 2017.

[17] 石峡. 大都市区域耕地破碎化程度动态演变及驱动机制研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.

[18] 梁珍珠, 李淑杰, 马晓葳, 等. 延边朝鲜族自治州耕地破碎度变化研究 [J]. 江西农业学报, 2017, 29(7) : 126—130.

[19] 饶磊, 郭熙, 叶英聪, 等. 万年县耕地景观破碎度变化及原因分析 [J]. 江西农业学报, 2016, 28(10) : 82—87.

[20] 李鹏山, 吕雅慧, 张超, 等. 基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(5) : 281—287.

[21] 彭艳华. 基于改进微粒群算法的耕地破碎化热点研究 [D]. 南宁: 广西师范学院, 2016.

[22] 焦利民, 肖丰涛, 许刚, 等. 武汉都市区绿地破碎化格局对城市扩张的时空响应 [J]. 资源科学, 2015, 37(8) : 1650—1660.

[23] 苏伟忠, 杨桂山, 甄峰. 生态用地破碎度及演化机制: 以长江三角洲为例 [J]. 城市问题, 2007(9) : 7—11, 19.

[24] 苏伟忠, 杨桂山, 甄峰. 长江三角洲生态用地破碎度及其城市化关联 [J]. 地理学报, 2007(12) : 1309—1317.

[25] 黄思琴, 陈英, 张仁陟, 等. 基于景观指数的耕地细碎化与农业经济水平的空间相关性分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3) : 238—244.

[26] Olga V, José M M, Cumhur G, et al. Recent land—use and land—cover changes and its driving factors in a fire-prone area of southwestern Turkey [J]. Journal of Environmental Management, 2017(197) : 719—731.

[27] 韦仕川, 冯科, 邢云峰, 等. 资源型城市土地利用变化及生态安全数字模拟 [J]. 农业工程学报, 2008(9) : 64—68.

[28] 李鑫, 欧名豪, 马贤磊. 基于景观指数的细碎化对耕地利用效率影响研究: 以扬州市里下河区域为例 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(10) : 1758—1767.

-
- [29] 王新越, 秦素贞, 吴宁宁. 省域旅游化水平、测度与时空演变特征 [J]. 经济地理, 2014, 34(4): 179—185.
- [30] Pierre L, Daniel L, Pedro R R. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data [J]. Ecological Monographs, 2005, 75(4): 435—450.
- [31] 杨青青, 王克林, 岳跃民. 桂西北石漠化空间分布及尺度差异 [J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3629—3640.
- [32] 尹锴, 崔胜辉, 赵千钧, 等. 基于冗余分析的城市森林下层植物多样性预测 [J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6085—6094.
- [33] 裴欢, 魏勇, 王晓妍, 等. 耕地景观生态安全评价方法及其应用 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 212—219.
- [34] 姜广辉, 孔祥斌, 张凤荣, 等. 耕地保护经济补偿机制分析 [J]. 中国土地科学, 2009, 23(7): 24—27.
- [35] 王丹. 郑州市区土地利用空间格局变化分析与模拟 [D]. 郑州: 郑州大学, 2015.
- [36] 张丁轩, 付梅臣, 陶金, 等. 基于 CLUE-S 模型的矿业城市土地利用变化情景模拟 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 246—256, 294.
- [37] 渠爱雪, 卞正富, 朱传耿, 等. 徐州城区土地利用变化过程与格局 [J]. 地理研究, 2009, 28(1): 97—108, 276.
- [38] 周锐, 胡远满, 苏海龙, 等. 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素 [J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5937—5945.