农业资源与环境学报 中文核心期刊 中国科技核心期刊
JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

采煤塌陷区景观格局演变的驱动力分析

常小燕， 李新举， 刁海亭

引用本文:
常小燕, 李新举, 刁海亭. 采煤塌陷区景观格局演变的驱动力分析[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 169–178.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0238

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

广西土地整治增长极及其驱动类型分析——基于改进灰色关联模型
张中秋, 胡宝清, 李英, 韦金洪
农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 431–440 https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0387

城市农业发展驱动力筛选和驱动机制定量分析--以潍坊市为例
隋菲菲, 齐伟, 骆洪义, 路超, 宋伟民, 李岩
农业资源与环境学报. 2016, 33(2): 107–113 https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0247

基于MCE-CA耦合模型的嘉兴市土地利用预测情景下生态敏感性评价
荣月静, 张慧, 赵显富
农业资源与环境学报. 2015(4): 343–353 https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0359

黄淮海地区土地利用转型与粮食产量耦合关系研究
戈大专, 龙花楼, 屠爽爽, 张英男
农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 319–327 https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0066

西部绿洲城市土地利用转型的生态环境效应——以乌鲁木齐市为例
阿依吐尔逊·沙木西, 刘新平, 祖丽菲娅·买买提, 陈前利, 冯彤
农业资源与环境学报. 2019, 36(2): 149–159 https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0113

关注微信公众号，获得更多资讯信息

常小燕, 李新举, 刁海亭. 采煤塌陷区景观格局演变的驱动力分析[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 169-178.
CHANG Xiao-yan, LI Xin-ju, DIAO Hai-ting. Analysis of the driving forces of the landscape pattern evolution in a coal-mining subsided area[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(2): 169-178.

采煤塌陷区景观格局演变的驱动力分析

常小燕[1], 李新举[2*], 刁海亭[1]

(1.山东农业大学信息科学与工程学院, 山东 泰安 271018; 2.山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘 要:为探究采煤塌陷区景观格局演变的驱动机制,以山东省微山县地面塌陷较严重的11个乡镇作为研究区,基于遥感影像解译结果,分析研究区2000—2016年土地利用变化特征,在此基础上,选取自然、社会经济等多个驱动因子,运用CLUE-S模型及二元Logistic逐步回归模型,进行研究区各土地利用类型与驱动因子间的相互关系及驱动机制研究。结果表明:耕地在整个研究期呈减少、增加、减少的趋势,城乡建设用地、塌陷积水区2000—2005年面积增幅最大;距居民点的距离是影响耕地、城乡建设用地及水域变化的最主要驱动因子,距工矿的距离是影响塌陷积水区变化的最主要驱动因子。研究结果可为当地政府制定科学合理的土地整治、保护等相关政策提供理论依据。

关键词:采煤塌陷区;土地利用变化;驱动力;Logistic回归模型;CLUE-S模型
中图分类号:TP79;F301.24 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-6819(2020)02-0169-10 **doi**: 10.13254/j.jare.2019.0238

Analysis of the driving forces of the landscape pattern evolution in a coal-mining subsided area

CHANG Xiao-yan[1], LI Xin-ju[2*], DIAO Hai-ting[1]

(1.College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai′an 271018, China; 2.College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai′an 271018, China)

Abstract: To explore the driving mechanism of landscape pattern evolution in a coal mining subsided area, this study considered 11 towns with severe ground subsidence in the Weishan County, Shandong Province as the research area. Based on the interpretation of remote sensing images, the characteristics of land use change in the study area from 2000 to 2016 were analyzed. On this basis, environmental, socio-economic, and other driving factors were selected. The CLUE-S model and binary logistic stepwise regression model were used to study the correlation and driving mechanisms between land use types and the driving factors. The conclusions were as follows. The cultivated land area showed a decreasing, increasing, and decreasing trend. Urban and rural construction land and subsided seeper area increased the most from 2000 to 2005. Among the driving factors for the change on cultivated land, urban and rural construction land, and water areas, the distance from residential areas was the main driving factor. Among the driving factors affecting subsided seeper areas, the distance from industrial and mining areas was the main one. This research provides a theoretical basis for the local government to scientifically formulate land consolidation and protection policies.

Keywords: coal-mining subsided area; land use change; driving factors; logistic regression model; CLUE-S model

土地利用景观格局演变作为土地利用/土地覆被变化(LUCC)在土地利用数量、结构和布局上的综合体现,是LUCC研究的重点内容之一。矿区景观是以人类采矿及其他生产、生活活动为主要特征的景观,煤炭资源的大规模开发利用在推动区域社会经济发展的同时,也造成了较严重的地面塌陷、矸石堆积等生态环境问题,

收稿日期:2019-05-06 **录用日期**:2019-06-26
作者简介:常小燕(1980—),女,山东济南人,博士,讲师,主要从事土地管理、矿区生态等教学与研究工作。E-mail:xychang@sdau.edu.cn
***通信作者**:李新举 E-mail:lxj0911@126.com
基金项目:国家自然科学基金面上项目(41771324)
Project supported: The National Natural Science Foundation of China(41771324)

加剧了矿区生态系统的脆弱程度;矿区塌陷地复垦治理工程的实施,对矿区生态系统的结构、组成和功能也会产生一定的影响,这些影响相互联系、错综复杂,既有直接的关系也有间接的影响。进行土地利用景观格局演变的驱动力分析,可揭示区域土地利用的演变规律及驱动机制,以调整土地利用政策,改善区域生态环境。

传统的土地利用变化驱动力分析研究主要运用因子分析、主成分分析、相关关系分析等方法,通过选择影响土地利用变化的各种自然与人文因子来建立多元线性回归模型,从而定量地进行土地利用覆被变化的驱动力分析。但当因变量是一个二分类或多分类变量而不是连续变量时,线性回归方法就不再适用,这时通常采用Logistic回归模型,当因变量是二分类变量时,采用二元Logistic回归模型,当因变量是多分类变量时,采用多元Logistic回归模型[1]。多元Logistic回归模型主要应用于农牧交错带[2]、矿区[3]等生态脆弱区的土地利用变化驱动因素分析;二元Logistic回归模型主要用于耕地变化[4]、居民点变化[5]的驱动力分析、城市景观格局演变的驱动力分析[6-9],以及干旱区[10]、矿区[11-12]、流域[13-18]等生态环境脆弱区的土地利用景观格局演变的驱动力分析;基于二元Logistic回归模型的结果常进行景观格局情景模拟。前人的研究结果表明Logistic回归模型能较好地揭示景观格局演变的主要驱动力及其作用机理[13,16-17]。

本研究以地面塌陷较严重的微山矿区作为研究区,基于某一特定时间段内矿区土地利用变化的分析结果[19-22],利用CLUE-S模型及二元Logistic逐步回归模型,进行各土地利用类型与驱动因子的回归分析,分析各驱动因子对解释变量的贡献大小,以预测未来土地利用变化趋势[7,10-17,23-25],从而为景观格局优化及当地政府制定科学合理的土地利用策略提供理论依据,对土地资源的合理开发、利用与保护也具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

微山县位于山东省济宁市南部,地处东经116°34′~117°24′、北纬34°27′~35°20′,南北相距120 km,东西相距8~30 km,总面积1 779.8 km^2;其中湖面面积1266 km^2,占全县总面积的三分之二,由北到南依次为南阳湖、独山湖、昭阳湖、微山湖,统称南四湖。区内辖3个街道、10个镇、2个乡和1个县经济开发区(2014年行政区划)。在选取研究范围时,主要选择煤矿较集中、地表塌陷较严重的地区,同时考虑研究区的连贯性,最终选取微山县的11个乡镇作为研究区,总面积1 176.86 km^2。研究区地理位置及范围见图1。

1.2 数据来源与处理

选取2000年8月21日、2005年9月4日、2010年9月18日的Landsat5 TM遥感影像和2016年9月2日的Landsat8 OLI遥感影像作为数据源,其云量均小于2%,空间分辨率为30 m;其他辅助数据包括:微山县土地利用现状图、微山县矿区分布图、微山县土地利用总体规划(2006—2020年)、微山县矿产资源总体规划(2008—2015年)、济宁市采煤塌陷地治理规划

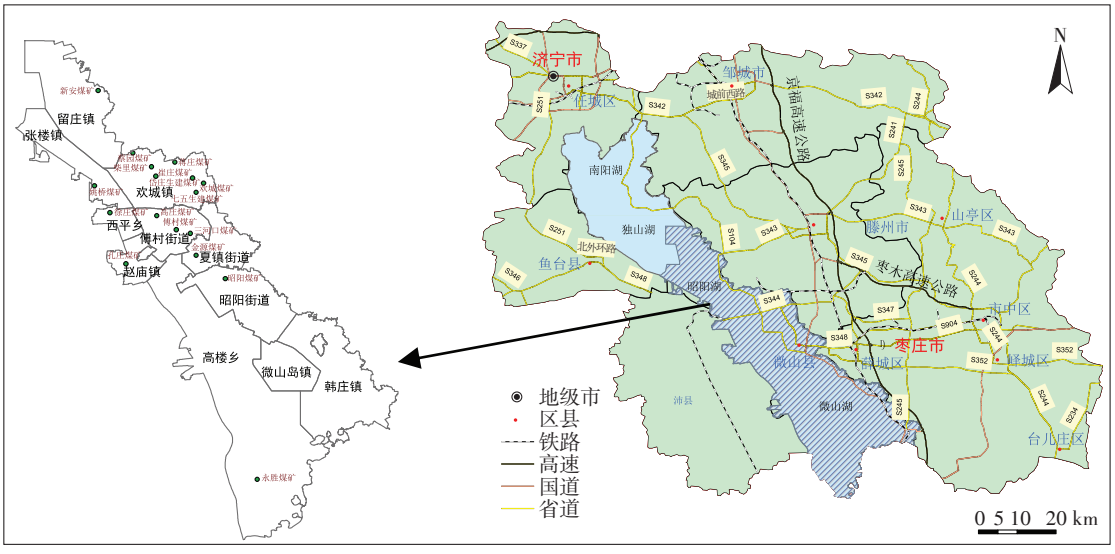

图1 研究区地理位置及范围

Figure 1 The location and scope of the research area

（2016—2030年）等。

参照《土地利用现状分类和编码》（GB/T 21010—2007），考虑遥感影像的分辨率，结合研究区地面塌陷积水较严重的实际情况，将研究区景观类型分为耕地、其他农用地、城乡建设用地、塌陷积水区、水域、滩涂沼泽6类。利用ENVI 5.3，采用监督分类中的支持向量机分类，人工目视判读与决策树分类，NDVI、MNDWI等指数模型进行影像分层分类提取，各种分类方法综合运用，以提高分类精度，最终得到2000、2005、2010、2016年4期土地利用类型分布图（图2）。在4期分类图上分别随机选取200个检查点，通过实地调查并结合相近年份的土地利用现状图和天地图网站上的高清卫星图，获取检查点的实际土地利用类型，利用ENVI软件计算混淆矩阵和Kappa系数，经验证Kappa系数均在0.8以上，能满足后续研究的需要。

解译后的30 m×30 m的栅格大小超出了CLUE-S模型运行对数据量的上限要求，故本研究将解译后的30 m的栅格数据分别重采样为60、90、120、150 m共4种尺度，以进行各土地利用类型与驱动因子的二元Logistic回归分析。

1.3 驱动因子的选择及数据处理

为了解释矿区土地利用与其驱动因子之间的关系，需从影响土地利用变化的诸多因素中准确筛选出能够反映研究区土地利用变化的驱动因子，并进行驱动因子与各土地利用类型之间关系的定量分析。

基于2005年微山县土地利用现状图，提取主要铁路公路、主要河流、城乡居民点、工矿、沟渠等矢量数据，在ArcGIS中转化为栅格数据，并分别重采样为60、90、120、150 m，利用空间分析工具中的欧式距离计算每个栅格像元距主要铁路公路、距主要河流、距城乡居民点、距工矿、距沟渠的最近距离，以得到5个距离驱动因子。

高程、坡度等地形因素对土地利用景观格局演变的影响也较大，本研究高程数据下载的ASTER GDEM V2数据，其空间分辨率为30 m，需在ArcGIS中分别重采样至60、90、120、150 m，并利用栅格表面分析工具得到不同尺度下的坡度图。

将不同尺度下的各土地利用类型数据及7个驱动因子数据进行二元Logistic回归分析，采用受试者工作特征曲线（Receiver operating characteristic curve，简称ROC曲线）对各尺度下回归分析的结果进行精度验证。经过对比分析，60 m下重采样过程中，各土地利用类型数据及驱动因子数据信息损失量较小，同时回归分析结果精度较高，故本研究采用60 m×60 m的栅格大小进行驱动力分析。

60 m下各驱动因子栅格图如图3所示。

1.4 各土地利用类型与驱动因子的回归分析模型

回归分析作为标准的统计学分析方法，在诸多行业和领域的数据分析中都发挥着非常重要的作用。在回归分析中，要求被解释变量为数值型变量，解释变量可以为分类变量，也可以为连续变量；当被解释变量是二分类变量时，通常采用二元Logistic回归模

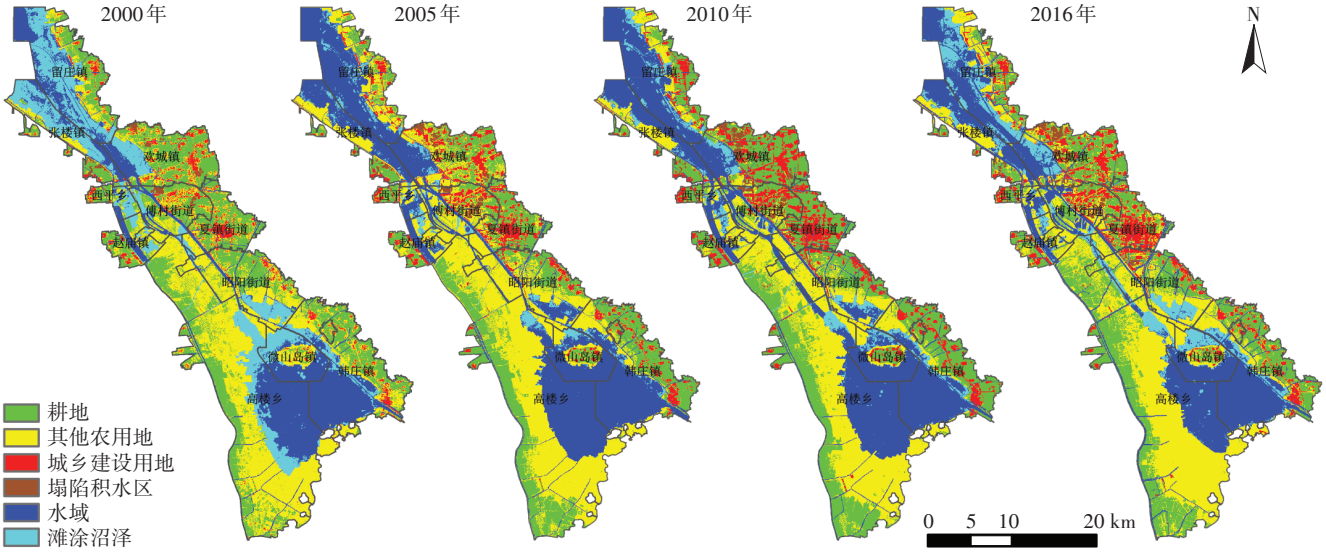

图2 2000—2016年研究区土地利用类型分布图

Figure 2 Distribution maps of land use type in the research area from 2000 to 2016

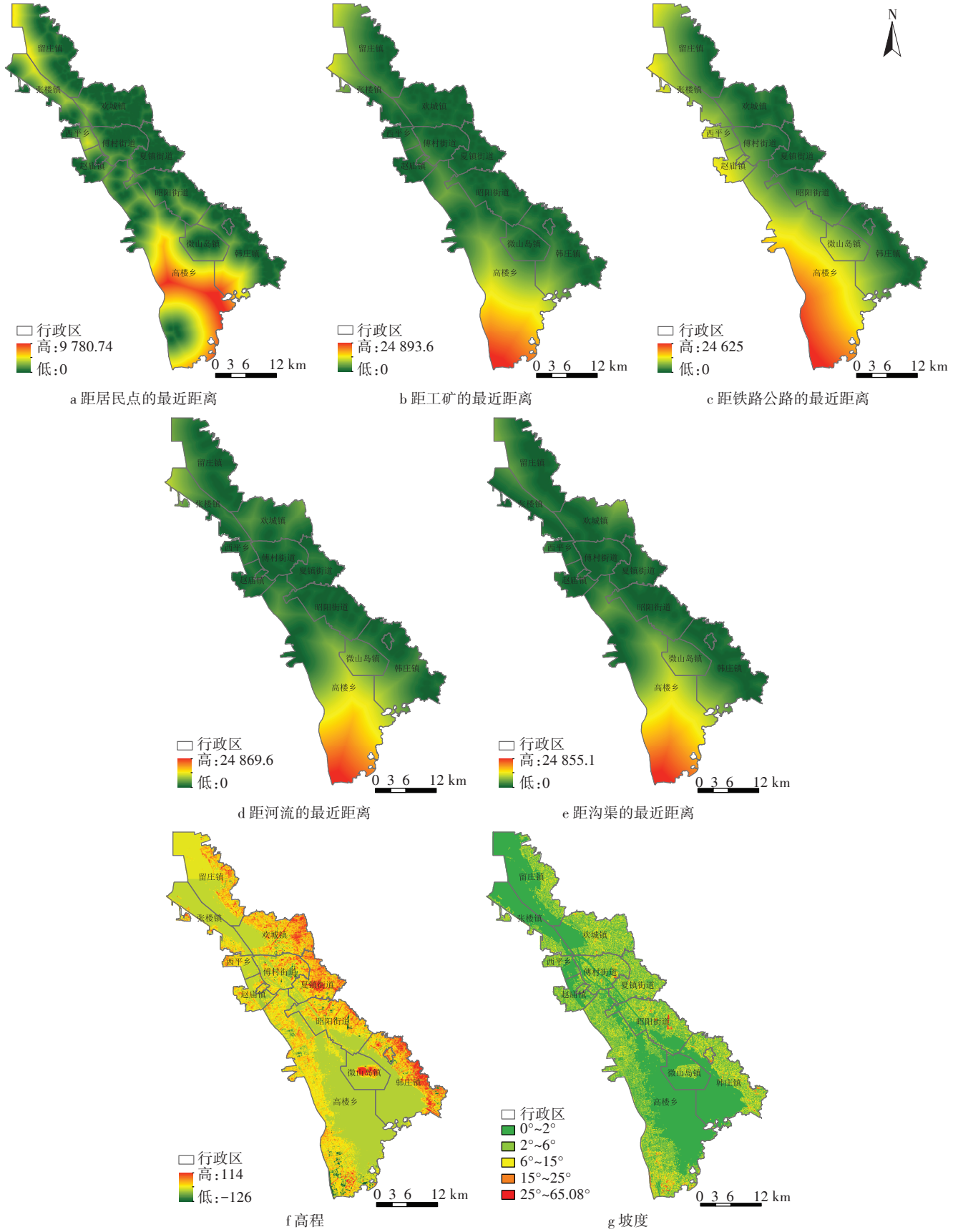

图 3 各驱动因子栅格图

Figure 3 Raster maps of driving factors

型,即被解释变量的取值只包含两个类别,如好或坏,发生或不发生,常用Y=1或Y=0表示,X表示解释变量,则$P(Y=1|X)$表示在X的条件下Y=1的概率。某种土地利用类型在特定空间位置上出现时数值为1,不出现时为0,就是一个典型的二分类变量。故本研究采用二元Logistic逐步回归模型分析计算各种土地利用类型在特定空间位置的发生概率P。

Logistic回归模型的数学表达式[26]:

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right)=\beta_0+\beta_1 X \quad (1)$$

式中:$P/(1-P)$称为事件的"发生比"(Odds),用Ω表示,即某事件发生概率与不发生概率之比;β_0为常量;β_1为解释变量与被解释变量之间的相关系数。将上式进行数学变换,得:$\Omega=P/(1-P)=e^{\beta_0+\beta_1 X}$

在二元Logistic回归分析中,将研究区划分为许多栅格单元,各土地利用类型作为被解释变量,引起土地利用变化的驱动因子作为解释变量,运用Logistic逐步回归计算各种土地利用类型在特定空间位置的发生概率,以分析各土地利用类型与驱动因子之间的关系,其数学表达式为:

$$\mathrm{Logit}(P)=\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right)=\beta_0+\beta_1 X_{1,i}+\beta_2 X_{2,i}+\cdots+\beta_n X_{n,i} \quad (2)$$

经过数学变换,可得到如下函数关系式:

$$P_i=\frac{e^{(\beta_0+\beta_1 X_{1,i}+\beta_2 X_{2,i}+\cdots+\beta_n X_{n,i})}}{1+e^{(\beta_0+\beta_1 X_{1,i}+\beta_2 X_{2,i}+\cdots+\beta_n X_{n,i})}} \quad (3)$$

式中:P_i为每个栅格单元可能出现某种土地利用类型i的概率;$X_{1,i}$~$X_{n,i}$为与该土地利用类型i相关的各驱动因子;β_0为常量;β_1~β_n为各驱动因子与土地利用类型i之间的相关系数。

将所有驱动因子的栅格数据文件利用ArcGIS软件转化为ASCII文件格式,再转化为CLUE-S模型能用的sc1gr*.fil文件格式;利用解译后的2005年60 m的土地利用类型分布栅格数据,将6种土地利用类型分别提取出来,有这种地类的空间位置设置为"1",没有的设置为"0",存为6种地类的栅格格式文件,再转为ASCII格式,进而制作CLUE-S模型用的cov0.0、cov1.0、cov2.0、cov3.0、cov4.0、cov5.0共6种单一地类文件。将6种cov*.0文件和驱动因子sc1gr*.fil文件导入CLUE-S模型中,利用File Convert模块进行数据转换,生成stat.txt文件,以进行下一步的回归分析。

在进行二元Logistic逐步回归时,自变量筛选方法采用基于最大似然估计的向前逐步回归法(Forward:LR),变量进入方程的依据是比分检验统计量,剔除出方程的依据是最大似然估计原则下的似然比卡方[1]。步进概率中Entry和Removal分别为0.05和0.10,表示回归系数比分检验的概率P值小于0.05时,相应变量是与土地利用分布格局相关性较高的因子,可进入回归方程;概率P值大于0.10时,表示相应变量对解释土地利用格局影响不显著,应剔除出回归方程。

2　结果与分析

2.1　土地利用类型数量变化特征分析

从表1可知,2000—2016年耕地、其他农用地和水域是研究区的主要土地利用类型,3种土地利用类型约占区域总面积的80%。

从表2可知耕地2000—2005年、2005—2010年、2010—2016年面积呈现减少、增加、减少的趋势;城乡建设用地2000—2005年单一动态度数值最大,面积增幅最大,2005—2010年面积呈缓慢增加趋势,2010—2016年间城乡建设用地单一动态度为负值,面积有所减少;塌陷积水区2000—2005年面积增幅最大,2005—2010年面积增幅变缓,2010—2016年面积减少,整个研究期内塌陷积水区面积共增加4.73 km^2;其他农用地和水域面积总体呈增加趋势,滩涂沼

表1　2000—2016年研究区土地利用类型面积

Table 1　Area change of land use types in the research area from 2000 to 2016

土地利用类型 Land use types	2000		2005		2010		2016	
	面积 Area/km^2	比例 Proportion/%	面积 Area/km^2	比例 Proportion/%	面积 Area/km^2	比例 Proportion/%	面积 Area/km^2	比例 Proportion/%
耕地	317.38	26.97	271.33	23.06	324.17	27.54	287.07	24.39
其他农用地	352.86	29.98	397.84	33.81	310.19	26.36	363.21	30.86
城乡建设用地	52.13	4.43	80.43	6.83	106.07	9.01	98.02	8.33
塌陷积水区	6.96	0.59	11.10	0.94	13.01	1.11	11.69	0.99
水域	253.40	21.53	372.63	31.66	364.90	31.01	314.04	26.69
滩涂沼泽	194.14	16.50	43.53	3.70	58.53	4.97	102.83	8.74

泽呈减少趋势。

2.2 各驱动因子与土地利用类型的回归结果分析

回归系数的显著性检验采用*Wald*统计量，如果某驱动因子*Wald*统计量越大，且对应的概率*P*值小于给定的显著性水平0.05时，则认为该驱动因子对土地利用类型的变化影响越显著[5]。各驱动因子与6种土地利用类型的回归结果见表3~表6。

2.2.1 回归结果分析

由表3~表6可以看出，距居民点的距离是影响耕地及城乡建设用地变化的最主要驱动因子；影响塌陷积水区变化的驱动因子中，距工矿的距离和高程的*Wald*统计量较大，故这两个因子是影响塌陷积水区变化的最主要驱动因子；距居民点的距离也是影响水域变化的最主要驱动因子，究其原因，微山湖作为境内的湖泊淡水资源，人们利用距离居民点较近的湖泊淡水资源进行水产养殖，增加收入来源，故水产养殖等其他农用地面积的增加会导致湖泊水域面积的减少。

表2 2000—2016年研究区土地利用类型面积变化量及单一土地利用动态度

Tabel 2 Land use type area change and dynamic degree of single land use in the research area from 2000 to 2016

土地利用类型 Land use types	2000—2005		2005—2010		2010—2016		2000—2016	
	面积变化量 Area change/km²	单一动态度 Single dynamics/%	面积变化量 Area change/km²	单一动态度 Single dynamics/%	面积变化量 Area change/km²	单一动态度 Single dynamics/%	面积变化量 Area change/km²	单一动态度 Single dynamics/%
耕地	−46.05	−2.90	52.83	3.89	−37.10	−1.91	−30.32	−0.60
其他农用地	44.98	2.55	−87.65	−4.41	53.03	2.85	10.36	0.18
城乡建设用地	28.30	10.86	25.64	6.37	−8.05	−1.26	45.89	5.50
塌陷积水区	4.14	11.90	1.92	3.45	−1.33	−1.70	4.73	4.25
水域	119.24	9.41	−7.73	−0.41	−50.86	−2.32	60.64	1.50
滩涂沼泽	−150.61	−15.52	15.00	6.89	44.31	12.62	−91.31	−2.94

表3 耕地与各驱动因子的回归分析结果

Table 3 Regression analysis result of cultivated land and driving factors

驱动因子 Driving factors	*β*	S.E	*Wald*	*df*	*Sig*	Exp(*β*)	95% 置信区间 95% CI for Exp(*β*)	
							下限 Lower	上限 Upper
距居民点距离	−0.974	0.010	9 740.695	1	<0.001	0.378	0.370	0.385
距工矿距离								
距道路距离	0.894	0.012	5 487.817	1	<0.001	2.446	2.389	2.504
距河流距离	−1.769	0.042	1 793.042	1	<0.001	0.171	0.157	0.185
距沟渠距离	1.588	0.041	1 502.495	1	<0.001	4.894	4.516	5.303
高程	−0.190	0.006	881.866	1	<0.001	0.827	0.817	0.838
坡度	−0.136	0.006	438.795	1	<0.001	0.873	0.862	0.884
常量	−0.009	0.006	2.207	1	0.137	0.991		

表4 其他农用地与各驱动因子的回归分析结果

Table 4 Regression analysis result of other agricultural land and driving factors

驱动因子 Driving factors	*β*	S.E	*Wald*	*df*	*Sig*	Exp(*β*)	95% 置信区间 95% CI for Exp(*β*)	
							下限 Lower	上限 Upper
距居民点距离	0.136	0.008	262.454	1	<0.001	1.146	1.127	1.165
距工矿距离	0.316	0.027	137.770	1	<0.001	1.371	1.301	1.445
距道路距离	−0.101	0.014	49.480	1	<0.001	0.904	0.879	0.930
距河流距离	−0.738	0.051	207.664	1	<0.001	0.478	0.432	0.528
距沟渠距离	0.655	0.048	185.369	1	<0.001	1.925	1.752	2.116
高程	0.045	0.007	43.063	1	<0.001	1.046	1.032	1.060
坡度	0.104	0.007	238.610	1	<0.001	1.109	1.095	1.124
常量	−1.284	0.007	35 684.112	1	<0.001	0.277		

表5 城乡建设用地及塌陷积水区与各驱动因子的回归分析结果

Table 5 Regression analysis result of urban and rural construction land and subsided seeper area with driving factors

驱动因子 Driving factors	城乡建设用地 Urban and rural construction land				塌陷积水区 Subsided seeper area			
	β	*Wald*	*Sig*	Exp(β)	β	*Wald*	*Sig*	Exp(β)
距居民点距离	−3.282	1 307.861	<0.001	0.038	1.197	40.004	<0.001	3.311
距工矿距离	−1.112	149.829	<0.001	0.329	−5.813	177.390	<0.001	0.003
距道路距离	−0.216	47.158	<0.001	0.805	−0.833	54.626	<0.001	0.435
距河流距离					−1.562	33.785	<0.001	0.210
距沟渠距离	0.207	13.419	<0.001	1.230	0.481	5.110	0.024	1.617
高程	0.044	7.224	0.007	1.045	0.571	331.412	<0.001	1.770
坡度	−0.057	10.285	0.001	0.945				
常量	−5.483	6 218.752	<0.001	0.004	−8.940	1 317.953	<0.001	<0.001

表6 水域及滩涂沼泽与各驱动因子的回归分析结果

Table 6 Regression analysis result of water area and intertidal zone and marsh with driving factors

驱动因子 Driving factors	水域 Water area				滩涂沼泽 Intertidal zone and marsh			
	β	*Wald*	*Sig*	Exp(β)	β	*Wald*	*Sig*	Exp(β)
距居民点距离	1.564	11 531.974	<0.001	4.777	0.562	173.469	<0.001	1.754
距工矿距离	−0.419	167.957	<0.001	0.658	1.274	265.637	<0.001	3.573
距道路距离	−1.221	3 582.202	<0.001	0.295	−0.603	178.918	<0.001	0.547
距河流距离	3.396	3 749.783	<0.001	29.834				
距沟渠距离	−3.337	3 779.304	<0.001	0.036	−2.287	813.851	<0.001	0.102
高程	0.214	575.905	<0.001	1.239	0.225	173.227	<0.001	1.252
坡度	0.051	32.445	<0.001	1.052	0.275	290.088	<0.001	1.316
常量	−1.779	33 393.861	<0.001	0.169	−4.237	15 214.910	<0.001	0.014

表3~表6中的回归系数β是由Logistic回归方程得出的相关系数。回归系数β有正有负,正负值表示各个驱动因子X对Logit(P)的作用方向。β值为正,说明解释变量X_i增加一个单位时,土地利用类型发生比随X_i的增加而增加;β值为负,说明解释变量X_i增加一个单位时,土地利用类型发生比随X_i的增加而减小[26]。

从表3可知,耕地与距居民点及河流的距离、高程、坡度呈负相关,说明随着距居民点及河流的距离增大,高程、坡度的增加,耕地面积呈减少趋势;耕地与距道路、沟渠的距离呈正相关,说明主要道路周边及离沟渠较近的地区是耕地面积增加的主要区域。

由表4可知,其他农用地与距主要道路、河流的距离呈负相关,说明离主干道及主要河流越远,其他农用地面积呈减少的趋势,特别是其他农用地中的水产养殖用地,离河流越远,面积会大幅减少。

由表5可知,城乡建设用地与距居民点、工矿用地及主干道路的距离呈显著负相关,说明居民点、工矿用地及主干道路周边是城乡建设用地面积扩张的主要区域范围;塌陷积水区与距工矿用地、主要河流、道路的距离呈显著的负相关,说明工矿周边及河流、主干道路周边是塌陷积水区面积增加的主要区域。

表6的结果表明,水域及滩涂沼泽与距主要沟渠、道路的距离呈显著负相关。

2.2.2 回归结果检验

采用ROC曲线对驱动因素的解释能力进行检验。ROC曲线是以真阳性率(灵敏度)为纵坐标,假阳性率(1−特异性)为横坐标绘制的曲线。通过计算ROC曲线下的面积可以衡量模型的精度,曲线下的面积值介于0.5~1之间,面积值愈接近1,说明诊断或预测的精度愈高。一般情况下,ROC曲线下的面积值大于0.7,表明所选因子有较好的解释能力。图4为各地类与驱动因子回归分析结果的ROC检验图。

从图4可以看出,除其他农用地略低(ROC曲线下面积值为0.639),各土地利用类型的ROC曲线下的面积均超过0.7,其中城乡建设用地、水域、塌陷积水区、滩涂沼泽和耕地ROC曲线下的面积值分别为0.940、0.903、0.815、0.795和0.793,表明进入回归方

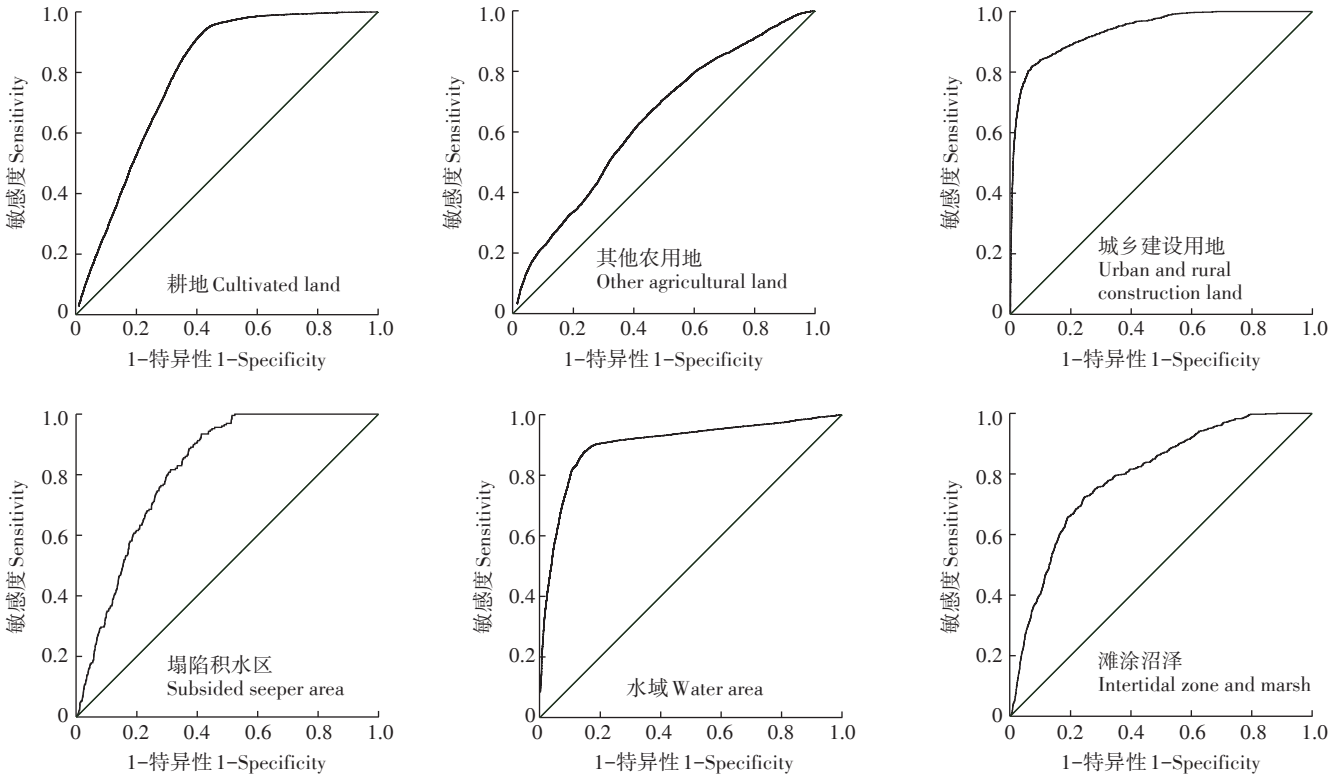

图4 各地类与驱动因子回归分析结果的ROC检验图

Figure 4 ROC test chart of regression analysis results of land use types and driving factors

程的因子对城乡建设用地和水域这两种土地利用类型的空间分布格局具有很好的解释能力，各地类的概率分布与实际的地类分布较一致，回归模型模拟效果较好；其他农用地ROC曲线下的面积值略低的原因可能是其他农用地包括的地类较多，所以其模拟效果稍差。

3 讨论

利用遥感及地理信息系统技术进行数据源及驱动因子的数据处理，以某种土地利用类型在特定空间位置上是否出现作为因变量，采用二元Logistic逐步回归模型，可有效地对引起各土地利用类型空间变化的驱动因子进行定量分析，以揭示各土地利用类型与驱动因子之间的相互关系及驱动机制。

矿区土地利用景观格局是人类在长期的生产生活过程中逐步演化积累形成的，其受人口、社会经济发展的影响较大，所以不同的社会经济形势下，土地利用景观格局的形成和演变机理随着社会化进程的加快也在逐渐发生改变，其主导因子也相应地发生变化。本研究在选取驱动因子时，由于数据获取的限制，仅选取了7个驱动因子进行回归分析，未来在开展类似研究时，应尽可能多地选取自然、社会经济等驱动因子进行土地利用景观格局演变的驱动力分析。

4 结论

（1）2000—2016年研究区耕地面积呈波动式减少，城乡建设用地及塌陷积水区面积2000—2005年增幅较大、增速较快。

（2）耕地的变化受距居民点的距离、距河流的距离等社会经济、区位可达性因子的影响较大，同时也受高程、坡度等自然驱动因子的影响，两者综合作用使得耕地发生变化。城乡建设用地的变化主要受社会经济驱动因子的影响较大。塌陷积水区的变化是区位因子、自然、社会经济驱动因子综合作用的结果。

（3）利用SPSS软件对采煤塌陷区2000—2016年各地类与驱动因子进行Logistic回归建模分析，并利用ROC曲线对回归结果进行检验，除其他农用地略低，各土地利用类型的ROC曲线下的面积均超过0.7，表明进入回归方程的因子能较好地解释土地利用景观格局的变化。

（4）基于CLUE-S模型及二元Logistic逐步回归模型进行矿区土地利用变化的驱动力分析，从引起各

土地利用类型变化的影响因子中筛选出最主要驱动因子,并分析各驱动因子对各地类变化的影响程度,可为当地政府制定科学合理的土地整治、保护等相关政策提供科学依据。

参考文献:

[1] 薛 薇. 基于SPSS的数据分析[M]. 三版. 北京:中国人民大学出版社, 2014.
XUE Wei. Data analysis based on SPSS software[M]. 3rd Edition. Beijing:China Renmin University Press, 2014.

[2] 谢花林, 李 波. 基于logistic回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析:以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 地理研究, 2008, 27(2):294-304.
XIE Hua-lin, LI Bo. Driving forces analysis of land-use pattern changes based on logistic regression model in the farming-pastoral zone: A case study of Ongiud Banner, Inner Mongolia[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(2):294-304.

[3] 徐嘉兴, 李 钢, 陈国良. 基于Logistic 回归模型的矿区土地利用演变驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20):247-255.
XU Jia-xing, LI Gang, CHEN Guo-liang. Driving force analysis of land use change based on Logistic regression model in mining area[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(20):247-255.

[4] 曾凌云, 王 钧, 王红亚. 基于GIS和Logistic回归模型的北京山区耕地变化分析与模拟[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2009, 45(1):165-170.
ZENG Ling-yun, WANG Jun, WANG Hong-ya. Analysis and simulation of cultivated land conversion and distribution in Beijing mountainous areas based on GIS and Logistic regression model[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009, 45(1):165-170.

[5] 姜广辉, 张凤荣, 陈军伟, 等. 基于Logistic回归模型的北京山区农村居民点变化的驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5):81-87.
JIANG Guang-hui, ZHANG Feng-rong, CHEN Jun-wei, et al. Analysis of the driving forces of change of rural residential areas in Beijing mountainous areas based on Logistic regression model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(5):81-87.

[6] 赵丽红. 南昌市景观格局时空变化及其驱动力研究[D]. 南昌:江西农业大学, 2016.
ZHAO Li-hong. Study on changes of landscape pattern and driving force in Nanchang City[D]. Nanchang:Jiangxi Agricultural University, 2016.

[7] 付 慧. 基于CLUE-S模型的土地利用/覆被变化及动态模拟研究[D]. 青岛:山东科技大学, 2017.
FU Hui. The study on land use and land cover change and dynamic simulations based on CLUE-S model:A case study of Linyi[D]. Qingdao:Shandong University of Science and Technology, 2017.

[8] 崔敬涛. 基于Logistic-CA-Markov模型的临沂市土地利用变化模拟预测研究[D]. 南京:南京大学, 2014.
CUI Jing-tao. Simulation and prediction of land use change in Linyi City based on Logistic-CA-Markov model[D]. Nanjing:Nanjing University, 2014.

[9] 杨云龙, 周小成, 吴 波. 基于时空 Logistic 回归模型的漳州城市扩展预测分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(3):374-382.
YANG Yun-long, ZHOU Xiao-cheng, WU Bo. Urban expansion prediction for Zhangzhou City based on GIS and spatiotemporal logistic regression model[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2011, 13(3):374-382.

[10] 宋 歌, 王金朔, 何立恒, 等. 基于CLUE-S模型的西部干旱区土地利用变化情景模拟[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(3):135-139.
SONG Ge, WANG Jin-shuo, HE Li-heng, et al. Simulation of land use change in western arid region under different scenarios based on the CLUE-S model[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2013, 37(3):135-139.

[11] 李保杰, 顾和和, 纪亚洲. 基于CLUE-S模型的矿区土地利用变化情景模拟——以徐州市贾汪矿区为例[J]. 热带地理, 2018, 38(2):274-281.
LI Bao-jie, GU He-he, JI Ya-zhou. Simulation of land use change in coal mining area under different scenarios based on the CLUE-S model:A case study of Jiawang mining area in Xuzhou City[J]. *Tropical Geography*, 2018, 38(2):274-281.

[12] 贾斐斐. 沛北煤矿区景观格局演变分析与情景模拟研究[D]. 徐州:中国矿业大学, 2017.
JIA Fei-fei. Analysis and scenario simulation on the landscape pattern evolution of Peibei mining area[D]. Xuzhou:China University of Mining and Technology, 2017.

[13] 李 桢, 刘 淼, 薛振山, 等. 基于CLUE-S模型的三江平原景观格局变化及模拟[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6):1805-1812.
LI Zhen, LIU Miao, XUE Zhen-shan, et al. Landscape pattern change and stimulation in the Sanjiang Plain based on the CLUE-S model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(6):1805-1812.

[14] 王 芳, 谢小平, 陈芝聪. 太湖流域景观空间格局动态演变[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11):3720-3730.
WANG Fang, XIE Xiao-ping, CHEN Zhi-cong. Dynamic evolution of landscape spatial pattern in Taihu Lake basin, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(11):3720-3730.

[15] 王 芳, 陈芝聪, 谢小平. 太湖流域建设用地与耕地景观时空演变及驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(9):3300-3310.
WANG Fang, CHEN Zhi-cong, XIE Xiao-ping. Analysis of spatial-temporal evolution and it′s driving forces of construction land and cultivated landscape in Taihu Lake basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(9):3300-3310.

[16] 戴声佩, 张 勃. 基于CLUE-S模型的黑河中游土地利用情景模拟研究——以张掖市甘州区为例[J]. 自然资源学报, 2013, 28(2):336-348.
DAI Sheng-pei, ZHANG Bo. Land use change scenarios simulation in the middle reaches of the Heihe River basin based on CLUE-S model:A case of Ganzhou District of Zhangye City[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(2):336-348.

[17] 冯仕超, 高小红, 顾 娟, 等. 基于CLUE-S模型的湟水流域土地利用空间分布模拟[J]. 生态学报, 2013, 33(3):985-997.

FENG Shi-chao, GAO Xiao-hong, GU Juan, et al. Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3):985-997.

[18] 陈芝聪, 谢小平, 白毛伟. 南四湖湿地景观空间格局动态演变[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10):3316-3324.
CHEN Zhi-cong, XIE Xiao-ping, BAI Mao-wei. Dynamic evolution of wetland landscape spatial pattern in Nansi Lake, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(10):3316-3324.

[19] 孙　倩, 阿丽亚·拜都热拉, 依力亚斯江·努尔麦麦提. 新疆艾比湖湿地LUCC对景观格局演变的影响[J]. 土壤, 2018, 50(3):583-592.
SUN Qian, BADRULLA Aliya, NURMEMET Ilyas. Effect of LUCC change on evolution of landscape pattern in Ebinur wetland[J]. *Soils*, 2018, 50(3): 583-592.

[20] 孙玮健, 张荣群, 艾　东, 等. 基于元胞自动机模型的土地利用情景模拟与驱动力分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(S1):254-261.
SUN Wei-jian, ZHANG Rong-qun, AI Dong, et al. Driving force analysis and scenarios simulation of land use based on cell automata model[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(S1):254-261.

[21] 吴春花, 杜培军, 谭　琨. 煤矿区土地覆盖与景观格局变化研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(6):1026-1033.
WU Chun-hua, DU Pei-jun, TAN Kun. Analyzing land cover and landscape pattern change in coal mining area[J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(6):1026-1033.

[22] 肖　明, 吴季秋, 陈秋波, 等. 基于CA-Markov模型的昌化江流域土地利用动态变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10):231-238.
XIAO Ming, WU Ji-qiu, CHEN Qiu-bo, et al. Dynamic change of land use in Changhua downstream watershed based on CA-Markov model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(5):231-238.

[23] Fox J, Vogler J B, Sen O L, et al. Simulating land-cover change in montane mainland southeast Asia[J]. *Environmental Management*, 2012, 49(5):968-979.

[24] Mohammady M, Moradi H R, Zeinivand H, et al. Modeling and assessing the effects of land use changes on runoff generation with the CLUE-S and WetSpa models[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2018, 133(1/2):459-471.

[25] Waiyasusri K, Yumuang S, Chotpantarat S. Monitoring and predicting land use changes in the Huai Thap Salao watershed area, Uthaithani Province, Thailand, using the CLUE-S model[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(6):1-16.

[26] 朱建平, 方匡南, 章贵平. SPSS统计分析与应用[M]. 北京:首都经济贸易大学出版社, 2013.
ZHU Jian-ping, FANG Kuang-nan, ZHANG Gui-ping. Statistical analysis and application of SPSS[M]. Beijing: Capital Economic and Trade University Press, 2013.