生态移民安置区土地利用景观格局的稳定性研究
——以宁夏回族自治区红寺堡区为例

温胜强，刘小鹏，王亚娟，叶均艳，韩晓佳

(1. 宁夏大学 资源环境学院，宁夏 银川 750021；2. 宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控重点实验室，宁夏 银川 750021)

摘　要：[目的] 探讨 2005，2010 和 2015 年 3 个时期红寺堡生态移民安置区土地利用景观格局特征，根据景观格局指数分析景观格局稳定性的变化，为生态移民后续产业发展提供参考。[方法] 通过构建土地利用景观格局稳定性评价模型，利用红寺堡区 2005，2010 和 2015 年 3 期数据，从景观类型组成、斑块特征和景观异质性 3 个方面分析景观格局稳定性，并对主因子进行探测。[结果] 近 10 a 来，红寺堡区土地利用景观格局发生了较大变化，主要景观间的转换较为频繁，且表现为单向转换的特征；整体的景观格局稳定性下降，草地和耕地是红寺堡区主要的景观类型，是调控土地利用格局稳定性的主要组成部分。地理探测结果表明，面积、面积比、斑块个数、斑块数比、斑块密度、平均值和标准差在 3 个时期都对景观稳定性有较大影响，而其他指标的变动较明显，波动较大，整体上对景观稳定性的影响较小。[结论] 2005—2015 年，红寺堡区土地利用景观格局稳定性变化明显，不同时期、不同阶段的土地利用景观格局的稳定性变化也不相同。

关键词：生态移民；安置区；土地利用；景观格局；稳定性；宁夏回族自治区红寺堡区

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2018)01-0319-09　　**中图分类号**：K909，F301.24

文献参数：温胜强，刘小鹏，王亚娟，等. 生态移民安置区土地利用景观格局的稳定性研究[J]. 水土保持通报，2018，38(1)：319-327. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.055. Wen Shengqiang，Liu Xiaopeng，Wang Yajuan，et al. Stability of land use pattern in resettlement area of ecological migration[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2018，38(1)：319-327.

Stability of Land Use Pattern in Resettlement Area of Ecological Migration
—A Case Study in Hongsibu District of Ningxia Hui Autonomous Region

WEN Shengqiang，LIU Xiaopeng，WANG Yajuan，YE Junyan，HAN Xiaojia

(1. *School of Resources and Environment，Ningxia University，Yinchuan，Ningxia* 750021，*China*；2. *Key Laboratory of Resource Assessment and Environmental Control in Arid Region of Ningxia，Yinchuan，Ningxia* 750021，*China*)

Abstract：[Objective] The characteristics of land use pattern in a ecological resettlement area of Hui Autonomous Region in 2005，2010 and 2015 are discussed，and the changes of landscape pattern stability are analyzed according to the landscape pattern index so as to provide references for the subsequent industry development of ecological migration. [Methods] By constructing evaluation model for the stability of land use pattern using the data of Hongsibu District in 2005，2010 and 2015，we analyzed the stability of landscape pattern in terms of landscape composition，patch features and landscape heterogeneity，and detected the dominant driving factors of stability by geo-detector. [Results] In past 10 years，the landscape pattern of land use in Hongsibu District changed greatly. The conversion between main land types was frequent with one-way characteristics. The overall stability of the landscape pattern declined. Grassland and cultivated land were the main landscape types in Hongsibu District and were the main components in regulating land use pattern stability. The results of GeoDetector indicated that the area，area ratio，number of patches，patch density，average value

收稿日期：2017-06-05　　**修回日期**：2017-07-12

资助项目：国家自然科学基金项目“宁夏生态移民安置区生态风险及其空间分异研究”(41261021)

第一作者：温胜强(1992—)，男(汉族)，甘肃省康乐县人，硕士研究生，研究方向为生态经济与生态风险评估。E-mail：cwz304505@163.com。

通讯作者：刘小鹏(1973—)，男(满族)，宁夏回族自治区海原县人，博士，教授，主要从事人文地理与城乡规划研究。E-mail：nxdxlxp@163.com。

and standard deviation all had high influence on the landscape stability in three periods, while the changes of other indicators were obvious with a great fluctuation, but it had less influence on landscape stability on the whole. [Conclusion] From 2005 to 2015, the stability of land use landscape pattern in Hongsibu District changed obviously. The landscape pattern stability of land use in different periods changed differently.

Keywords: ecological migration; resettlement area; land use; landscape pattern; stability; Hongsibu District

土地利用变化最直观的表现就是景观格局的时空演变,景观格局是景观异质性的具体体现,是对景观动态变化过程的及时准确的反映[1-3]。土地利用变化一般通过景观格局来表现,景观格局稳定性主要通过景观异质性来表现,景观异质性和景观稳定性相互依存并相互影响[4],对景观稳定性的研究能很好的反映景观景观格局的变化。

目前国内外对土地利用景观格局稳定性的研究主要集中在与人类关系密切的城市(建设用地)的景观稳定性的研究方面[5-7],特别是对景观格局稳定性的空间表征、优化、指数构建、驱动力等的研究较多[8-13],具体表现为:景观格局的稳定性研究逐渐从静态的描述转变为动态化研究;从单一指数到多种指数的综合评价;更加注重与地理信息技术(GIS,GPS和RS)的结合。对耕地、林地、草地、湿地、园地及未利用地的关注较少[14-16],而对大规模人口空间演变造成的土地利用景观格局稳定性变化的研究更是缺乏,生态移民是为了缓解区域生态承载容量和减轻迁出区生态环境压力,改善贫困人口生存状态,对迁出地的生物多样性进行有效保护而开展的有目的、有规划、有组织、有秩序的集体型人口迁移[17-18],是对生态环境影响深刻的人地过程,生态移民的增加实际上使安置区的景观格局发生了重大变化,理论上也会对景观格局稳定性产生扰动和影响。因此,本研究拟以安置区不同时期的土地利用变化为基础,通过景观格局指数分析,并根据景观格局指数对保持景观结构与功能的能力,探讨景观格局稳定性的变化,以期为生态移民后续发展提供借鉴和参考。

1 研究区概况

红寺堡区(105°43′45″—106°42′50″,北纬 37°28′08″—37°37′23″)位于宁夏回族自治区中部,全区南北长 40 km,东西宽 80 km,地势南高北低、平均海拔 1 345 m,土地面积 2 767 km^2,占自治区总面积的 4.17%。该区属于典型的温带干旱气候,常年干旱少雨,昼夜温差大,年平均气温 8.7 ℃,年平均降水量为 251 mm,年日照时数约为 2 900～3 550 h,红寺堡区水资源短缺,是宁夏回族自治区水资源最少的地区之一,也是国家大型水利枢纽工程—宁夏扶贫扬黄灌溉工程("1236"工程)的主战场。红寺堡区周围被罗山、牛首山和烟筒山环抱,是典型的山间盆地型城市。红寺堡区现辖 3 乡(大河乡、柳泉乡、新庄集乡)2 镇(红寺堡镇、太阳山镇)和一个街道(新民街道)、有 5 个城镇社区和 62 个行政村。红寺堡区是全国最大的异地生态移民扶贫开发区,自 1999 年开发建设以来,累计搬迁安置宁南山区 8 县移民 23 万人,谱写了"沙丘起高楼、荒漠变绿洲"的生态移民建设奇迹。近年来,随着移民的不断迁入和经济的快速发展,红寺堡区土地利用景观格局发生了较大变化。

2 研究方法

2.1 数据来源

土地利用基础数据以 Landsat-ETM 遥感影像(空间分辨率为 30 m×30 m)为基本数据源,利用 ENVI 软件对研究区影像进行几何校正,采用基于对象的监督分类、非监督分类及目视解译的方法,运用 ArcGIS 10.0 软件建立红寺堡区土地利用类型分布数据库,参照红寺堡区二调数据和《土地利用现状分类标准(GB/T 21010-2007)》,结合实地调研、红寺堡区土地利用现状图和红寺堡区土地利用景观类型结构特点,将红寺堡区土地利用类型划分为:耕地、林地、草地、水域、沙地、建设用地和未利用地 7 类(附图 16)。

2.2 景观格局指数的确定与计算

景观指数数量多,表征的生态意义各有侧重,随着新理论在景观生态学中的应用,景观指数也在不断推陈出新,但对景观指数的分类还尚未形成统一的标准,目前比较常用的是美国俄勒冈州立大学森林科学系开发的一个景观指标计算软件。本研究从景观结构、斑块特征及景观异质性 3 个方面选取景观指数,对景观指数两两计算相关系数,并在给定置信度0.05条件下进行相关性检验,最后筛选出景观面积、面积比、斑块数、斑块数比、斑块密度、斑块面积平均值、斑块面积标准差、斑块变动系数、斑块边缘、斑块形状指数、分维系数、分离度、优势度、聚集指数、景观分割指数和破碎度 16 个指标,采用 Fragstats 3.3 计算景观格局指数[19]。

2.3 土地利用景观格局稳定性评价模型

对于选取土地利用景观格局格局指标,需要从景观指数是有利于还是不利于格局稳定性作为标准,进

行无纲量化,计算公式为:

$$\text{正指标}:X_i=\frac{(x_i-x_{i\min})}{(x_{i\max}-x_{i\min})} \tag{1}$$

式中:X_i——无量纲化指标;x_i——原始指标;$x_{i\min}$——指标最小值;$x_{i\max}$——指标最大值。下同。

$$\text{负指标}:X_i=\frac{(x_{i\max}-x_i)}{(x_{i\max}-x_{i\min})} \tag{2}$$

当 X_i 为越大越好型,即所谓正指标时,对系统的功效贡献为正;当 X_i 为越小越好型,即所谓逆指标时,对系统的功效贡献为负。

依据标准化的景观格局指数,采用主成份分析构建土地利用景观格局的稳定性评价指标体系,进行土地利用景观格局稳定性评价。以土地类型的因子得分系数矩阵可求得公因子得分,以各公因子的方差贡献率为权重,可得各土地类型的加权因子综合得分,并建立景观稳定性评价模型如式(3)。

$$M=b_1q_1+b_2q_2+b_3q_3+b_4q_4 \tag{3}$$

式中:M——样本土地类型综合得分,即土地利用景观稳定性指数;q_i——4 个主因子得分;b_i——q_1—q_4 在总方差中的贡献率。M 值与景观稳定性成正相关。

2.4　等间距法

将全部数据以最小值和最大值为端点,按照相等的距离间隔进行划分。这种方法强调总量的大小,优势在于简单快速,且当数据呈正态分布时效果较好,但缺陷为:没有考虑数据的局部分布情况,分类间断点仅仅依赖整个的数据范围和分类数。

2.5　地理探测器

地理探测器是王劲锋等[20]基于空间分异理论,结合地理信息技术和结合论,探测空间分异性并揭示其背后驱动力的一中统计学方法。其核心思想是基于这样的假设:如果某个自变量对某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性[21-22]。地理分异既可以用分类算法来表达,也可以根据经验确定。地理探测器擅长分析类型量,而对于数值量、比值量等非类型量,可通过离散化处理[23],就可利用地理探测器对其进行分析,这正是地理探测器的一大优势。地理探测器模型既可检验单变量的空间分异性,也可通过检验两个变量空间分布的一致性,来探测两变量可能的因果关系,在分析地理要素格局演变和地域空间分异等方面应用非常广泛。

本研究借鉴地理探测器模型[24],引人景观稳定性分异决定力指标 q。假定研究区域景观稳定性存在差异,并将景观稳定性记为 y,由采样单元 $i(i=1,2,3,\cdots,n,n$ 为总采样单元数)组成的格点系统,假设 $A=\{A_h\}$ 是可能存在的一种影响景观稳定性的因素,$h=1,2,3,\cdots,L$,L 为因素分类数,A_h 代表因素 A 不同的类型。一个类型 h 对应不同的景观类型,为了探测因素 A 与景观稳定性指标 y 的相关程度,将景观稳定性指标 y 图层与因素 A 图层叠置,在因素 A 的第 h 类型(对应一个或多子区域),y 的离散方差被记为心,因素 A 对景观稳定性指标 y 的决定力大小为 q。

$$q=1-\frac{1}{n\sigma^2}\sum_{h=1}^{L}n_h\sigma^2 \tag{4}$$

式中:q——所要探测的稳定性决定力指标;n_h——在因素 A 的类型 h(对应一个或多个子区域)内的样本数;n——整个研究区域内的所有样本量,$n=\sum_{h=1}^{L}n_h$ 为因素 A 的分类数;σ^2——整个区域的离散方差。

当各因素对景观稳定性具有决定力时,每个类型的离散方差 σ_k^2 会较小,类型间的离散方差会较大。当离散方差 趋近于 0 时,因素 A 的决定力 $q=1$,是景观稳定性的发生完全由因素 A 决定的理想状态;当因素 A 的决定力 $q=0$ 时,景观稳定性的决定性指标随机存在,因素 A 对景观稳定性无影响,决定力 q 值越大,表明因素对景观稳定性的影响越大。通过比较因素决定力的大小,探测出景观稳定性的主导因子。本文选取面积(C_1)、面积比(C_2)、斑块个数(C_3)、斑块数比(C_4)、斑块密度(C_5)、平均值(C_6)、标准差(C_7)、变动系数(C_8)、斑块边缘(C_9)、形状指数(C_{10})、分维系数(C_{11})、分离度(C_{12})、优势度(C_{13})、聚集指数(C_{14})、景观分割指数(C_{15})、破碎度(C_{16})共 16 个因素用于探测景观稳定性的决定因素。

3　结果与分析

3.1　土地利用的景观格局特征

3.1.1　景观组成结构特征　景观类型组成结构包括组成单元的类型、数量、多样性以及所占比例。从表 1 可见,从 2005—2015 年,草地和耕地是红寺堡区的主要景观类型,构成研究区域的优势景观,2005 年所占比例为 58.77%,27.12%,2010 年所占比例为 58.57%,29.22%,2015 年所占比例为 57.80%,32.52%,其次是沙地、未利用地和林地,水域和建设用地所占比例很小;斑块数目及斑块数比来看,耕地的斑块数目最多,达到 46.28%,草地、沙地、未利用地和建设用地次之,最少的是林地和水域;从斑块密度来看,耕地和草地的斑块密度最大,水域和林地的斑块密度最小。

表1 红寺堡区景观组成结构

年份	景观类型	面积/hm^2	面积比/%	斑块数/块	斑块数比/%	斑块密度/(块·hm^{-2})
2005	耕地	74 853.49	27.12	467	46.28	0.17
	林地	4 433.68	1.61	48	4.76	0.02
	草地	161 826.12	58.77	184	18.24	0.07
	水域	1 807.24	0.66	43	4.26	0.02
	沙地	20 923.96	7.40	121	11.99	0.04
	建设用地	938.01	0.61	58	5.75	0.02
	未利用地	10 555.78	3.83	88	8.72	0.03
2010	耕地	80 456.56	29.22	450	41.13	0.16
	林地	6 240.92	2.27	68	6.22	0.02
	草地	161 263.32	58.57	214	19.56	0.08
	水域	2 132.42	0.77	54	4.94	0.02
	沙地	15 170.81	5.51	157	14.35	0.06
	建设用地	1 432.03	0.52	58	5.30	0.02
	未利用地	8 654.74	3.14	93	8.50	0.03
2015	耕地	89 187.54	32.52	494	43.41	0.18
	林地	6 985.66	2.55	146	12.83	0.05
	草地	158 514.14	57.80	208	18.28	0.08
	水域	2 559.40	0.93	78	6.85	0.03
	沙地	7 371.07	2.69	68	5.98	0.02
	建设用地	5 407.86	1.97	67	5.89	0.02
	未利用地	4 209.46	1.54	77	6.77	0.03

3.1.2 *景观格局的斑块特征* 土地利用类型的斑块特征主要通过平均值、标准差、变动系数、斑块边缘、形状指数和分维系数来反映。2005—2015年土地利用类型斑块特征如表2所示。

表2 2005—2015年红寺堡区土地利用类型斑块特征

年份	景观类型	平均值/hm^2	标准差/hm^2	变动系数	斑块边缘/(m·hm^{-2})	形状指数	分维系数
2005	耕地	159.91	1567.08	979.97	11.43	29.53	4.39
	林地	92.37	189.48	205.13	0.83	9.00	3.51
	草地	879.49	7322.11	832.54	14.37	26.18	5.04
	水域	42.03	64.37	153.16	0.42	8.85	3.93
	沙地	168.33	725.00	430.72	2.92	14.26	3.89
	建设用地	28.30	93.32	329.75	0.41	7.06	1.96
	未利用地	119.95	197.27	164.45	2.03	14.08	4.48
2010	耕地	178.79	1749.31	978.40	11.98	29.88	4.48
	林地	91.78	186.47	203.18	1.20	10.78	3.45
	草地	753.57	6769.46	898.32	14.37	26.21	4.86
	水域	39.49	82.59	209.15	0.50	9.22	3.94
	沙地	96.63	401.21	415.21	2.81	15.91	3.98
	建设用地	24.69	66.02	267.40	0.40	7.32	2.11
	未利用地	93.06	159.33	171.20	1.84	14.05	4.46
2015	耕地	180.54	2649.76	1467.67	10.32	24.74	3.62
	林地	47.85	121.44	253.81	1.64	14.01	3.42
	草地	762.09	6262.29	821.73	10.97	20.62	4.01
	水域	32.81	80.19	244.38	0.68	9.93	4.04
	沙地	108.40	359.88	331.99	1.10	9.80	3.57
	建设用地	80.71	296.65	367.53	0.83	7.80	3.08
	未利用地	54.67	147.80	270.35	0.96	10.36	3.05

通常采用面积来反映景观类型的比重，故选取了景观面积的平均值和标准差反映景观斑块特征，各景观类型中，3个时期草地的斑块平均面积和标准差都是最大，占据绝对优势，远远大于其他景观类型，建设

用地最小;3 个时期变动系数和斑块边缘最大的都是耕地和草地,最小的是均是水域,反映了水域的斑块大小均匀,破碎化程度较低;3 个时期形状指数最大的是耕地,最小的是建设用地,分维系数最大的是草地,最小的是建设用地。

3.1.3　土地利用景观异质性　景观异质性主要指景观内部资源或性状的时空变异程度,是由于环境要素的时空差异及各种自然和人为干扰做的时空不均匀性所导致的,反映土地利用程度的不均匀性和复杂程度。大多数学者将景观异质性分为四类:空间异质性、时间异质性、时空耦合异质性和边缘效应异质性,通常用景观异质性指数来表现(表 3)。综合分析表明,3 个时期建设用地的分离度变化最为显著,草地和耕地的优势度最为明显,水域和建设用地的聚集指数最低,而建设用地的集聚指数变化明显,林地和水域的分割指数较稳定,3 期均为 1,建设用地和水域的破碎度最大,未利用地的破碎度变化较为剧烈。从研究区域来看,景观总体空间格局表现了较高的异质性。

表 3　2015 年红寺堡区景观异质性特征

年份	景观类型	分离度	优势度	聚集指数	景观分割指数	破碎度
2005	耕 地	0.076	0.425	73.598	0.985	0.006
	林 地	0.410	0.048	68.328	1.000	0.011
	草 地	0.022	0.581	84.234	0.868	0.001
	水 域	0.952	0.033	50.919	1.000	0.024
	沙 地	0.138	0.148	76.168	0.999	0.006
	建设用地	2.130	0.058	60.080	1.000	0.062
	未利用地	0.233	0.099	67.021	1.000	0.008
2010	耕 地	0.069	0.434	74.295	0.982	0.006
	林 地	0.347	0.066	67.598	1.000	0.011
	草 地	0.024	0.582	84.163	0.869	0.001
	水 域	0.904	0.043	52.868	1.000	0.025
	沙 地	0.217	0.143	68.946	1.000	0.010
	建设用地	1.395	0.057	54.098	1.000	0.041
	未利用地	0.292	0.094	63.647	1.000	0.011
2015	耕 地	0.065	0.481	80.280	0.954	0.006
	林 地	0.453	0.121	60.107	1.000	0.021
	草 地	0.024	0.574	87.813	0.890	0.001
	水 域	0.904	0.056	53.589	1.000	0.031
	沙 地	0.293	0.073	74.096	1.000	0.009
	建设用地	0.396	0.074	76.498	1.000	0.012
	未利用地	0.546	0.074	63.123	1.000	0.018

3.2　土地利用景观格局的稳定性

3.2.1　景观格局稳定性评价模型参数

(1) 对评价指标进行标准化处理。以 2015 年景观格局指数为例,将选取的 16 个指标进行标准化处理。

(2) 因子初始特征值、贡献率和累计贡献率的计算和旋转平方载荷总和的计算。以 SPSS 20.0 为工具,运用因子分析法计算主因子的特征值和贡献率,经 bartlett 球体检验,显著性概率为 0.000,检验样本 KMO 系数为 0.741,效果较好。选取 16 个因子总方差中特征值大于 1 且累计百分率大于等于 85%的因子,以这些因子为评价主因子反映原评价指标(其总方差累计贡献率为 97.57%,表 4)。

表 4　景观格局稳定性评价模型参数总方差解释

主因子	初始特征值			旋转平方载荷总和		
	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	11.84	74.02	74.02	11.84	74.02	74.02
2	2.28	14.28	88.30	2.28	14.28	88.30
3	1.48	9.27	97.56	1.48	9.27	97.56

注:抽取方法为主成分分析。

(3) 因子载荷矩阵及公因子的提取和解释。因子载荷表示公因子与原始指标相关性的大小,其绝对值越大,说明变量的相关程度越高。本研究运用方差最大正交旋转法得到旋转因子的载荷矩阵,通过主成

份分析取前 3 个主成份，累计贡献率达 97.65%，3 个主成份权重能够反映格局指数对保持结构与功能的能力(表 5)。

表 5 方差极大正交旋转因子载荷矩阵

指标因子	主因子 1	主因子 2	主因子 3
面积 C_1	0.396	0.548	0.732
面积比 C_2	0.396	0.548	0.732
斑块个数 C_3	0.966	0.199	0.162
斑块数比 C_4	0.966	0.199	0.162
斑块密度 C_5	0.966	0.199	0.162
平均值 C_6	0.033	0.599	0.796
标准差 C_7	0.268	0.573	0.770
变动系数 C_8	0.876	0.380	0.236
斑块边缘 C_9	0.644	0.486	0.587
形状指数 C_{10}	0.818	0.302	0.458
分维系数 C_{11}	0.165	−0.256	0.871
分离度 C_{12}	−0.436	−0.857	−0.171
优势度 C_{13}	0.586	0.508	0.626
聚集指数 C_{14}	0.258	0.905	0.251
景观分割指数 C_{15}	−0.290	−0.544	−0.780
破碎度 C_{16}	−0.301	−0.920	−0.177

注：提取方法为主成分分析。旋转法指具有 Kaiser 标准化的正交旋转法。旋转在 6 次迭代后收敛。

分析可知：第 1 主成分在斑块个数、斑块数比、斑块密度、变动系数和形状指数上都大于 80%，这 5 个变量的变异信息从景观组成结构、斑块特征 2 个方面综合反映了土地利用类型的景观特征。第 2 主成分在破碎度、聚集指数和分离度 3 个因子上的载荷较大，反映了土地利用景观异质性特征。第 3 主成分分维系数、景观分割指数、景观斑块面积、景观面积比、景观斑块平均值和标准差 6 个因子上的载荷较大，都超过了 70%，表现了土地利用景观类型的斑块分散和破碎化特征。

2010 年前 3 个主成分方差贡献率分别为75.53%，14.00%，8.69%，累计贡献率为 98.22%，特征值分别为 12.09，2.24，1.39；2005 年前 3 个主成分方差贡献率分别为 69.89%，16.13%和 11.18%，累计贡献率为 97.19%，特征值为 11.18，2.58，1.79。以上 2 a 计算方法与 2015 年的一样，受篇幅限制，故不再一一列出载荷分布表。

(4) 稳定性得分。以土地类型的因子得分系数矩阵可求得公因子得分，以各公因子的方差贡献率为权重，可得各土地类型的稳定性指数及得分(表 6)。

表 6 生态移民安置区土地利用类型的稳定性得分

年份	土地类型	公因子 1	公因子 2	公因子 3	稳定性得分	排序
2015	耕 地	2.204	0.204	−0.214	1.641	1
	林 地	0.050	−0.576	−0.324	−0.076	3
	草 地	−0.256	1.168	1.892	0.152	2
	水 域	−0.307	−1.894	0.788	−0.424	5
	沙 地	−0.624	0.419	−0.478	−0.446	6
	建设用地	−0.641	0.707	−0.966	−0.463	7
	未利用地	−0.426	−0.029	−0.698	−0.384	4
2010	耕 地	−0.308	2.181	0.168	0.099	2
	林 地	−0.440	−0.702	0.470	−0.382	5
	草 地	2.223	−0.099	0.431	1.671	1
	水 域	−0.357	−0.589	−0.421	−0.387	6
	沙 地	−0.552	−0.035	0.582	−0.359	4
	建设用地	0.017	−0.144	−2.080	−0.201	3
	未利用地	−0.583	−0.612	0.850	−0.440	7
2005	耕 地	−0.333	2.203	0.175	0.084	2
	林 地	−0.464	−0.671	0.378	−0.405	6
	草 地	2.237	−0.101	0.322	1.671	1
	水 域	−0.509	−0.633	−0.143	−0.480	7
	沙 地	−0.351	−0.173	0.625	−0.227	3
	建设用地	−0.043	−0.142	−2.160	−0.252	4
	未利用地	−0.536	−0.483	0.804	−0.391	5

3.2.2 景观格局稳定性评价

(1) 同一时期景观格局稳定性评价。从同一时期的景观稳定性指数分析(表 6)可知，土地利用类型的景观稳定性在总体上差异明显。2015 年，耕地的

稳定性得分最高,得分为 1.640 51,说明这一时期耕地的变动性较小,建设用地的温度性得分最低,表明该时期建设用地的变化明显,其他依次为草地、林地、未利用地、水域和沙地;2010 年稳定性得分最高的是草地,其他依次为耕地、建设用地、沙地、林地、水域,未利用地的得分最低,仅为−0.440,说明该时期未利用的变化最大,向其他类型的转置最大;2005 年稳定性得分最高的是草地,得分最低的是水域,其他依次为耕地、沙地、建设用地、未利用地、林地和水域,说明这一时期草地比较完整,变化不大,开发力度不强,而水域面积变化。

(2) 不同时期景观格局稳定性评价。从不同时期的景观稳定性指数分析(图 1)可知,土地利用类型的景观稳定性变化具有阶段性特征。从 2005—2010 年,各土地类型总体变化不大,变化最大的为沙地,变化率为 13.26%,变化率最小的是草地,仅为 0.01%,其他依次为水域、建设用地、未利用地、林地和耕地;从 2010—2015 年,土地类型变化较明显,且各种类型差异较大,变化最大的是耕地和草地,变化率分别为 154%和 152%,其他依次为林地、建设用地、沙地和未利用地,水域的变化率较小,仅为 4%。

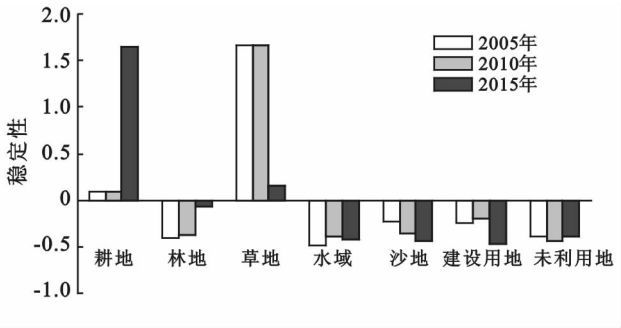


图 1　2005−2015 年红寺堡区景观稳定性指数变化

3.3　土地利用格局的景观稳定性影响因素探测

地理探测器针对类别数据的算法优于连续数据,首先通过 ArcGIS 10.0 软件,采用等间距法对探测因子值进行类型划分,将数值型因子通过离散化处理转化为类型量,然后利用地理探测器测算方法,通过 GeoDetector 软件分别计算 3 个时期各因子对景观稳定性得分的贡献值(表 7)。

表 7　2005−2015 年红寺堡区景观稳定性影响因子探测结果

2015 年	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970
	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}
	0.666	0.650	0.999	0.322	0.656	0.650	0.663	0.970
2010 年	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.634
	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}
	0.634	0.636	0.305	0.165	0.991	0.995	0.941	0.642
2005 年	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	0.987	0.987	0.987	0.987	0.987	0.941	0.987	0.999
	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}
	0.987	0.625	0.340	0.116	0.992	0.986	0.941	0.116

为了便于比较和分析探测因子在不同时期景观稳定性影响因素的变化情况,对不同时期的探测因子进行排序,排序结果用决定力(D)表示,根据数值的分布情况进行排序(表 8)。

地理探测器分析结果如下。

(1) 从同一时期来看,探测因子的 D 值差异较大,2015 年 D 值最大的为形状指数,说明其对景观稳定性的影响较大,排序第 2 的因子占到 9 个,达到 1/2 以上,且各因子得分都高于 0.9,说明这些指标对稳定性的影响较大,其他指标对景观稳定性的影响相对较小;2010 年 D 值最大的为聚集指数,指标得分大于 0.9 的指标有 10 个,这些指标对景观稳定性有较大影响;2005 年 D 值最高的为变动系数,得分达到0.998,说明该指标对景观稳定性影响较大,得分在 0.9 以上的指标有 12 个,其他指标对景观稳定性的影响较弱。

(2) 从不同时期来看,面积(C_1)、面积比(C_2)、斑块个数(C_3)、斑块数比(C_4)、斑块密度(C_5)、平均值(C_6)和标准差(C_7)在 3 个时期的得分均在 0.9 以上,变化不大,说明这些指标对景观稳定性的影响较大且稳定,其中,面积、面积比、斑块个数、斑块数比和斑块密度反映了景观组成的结构特征,直观的表明该类指标对景观稳定性有较大影响,而平均值和标准差属于景观格局的斑块特征,这 2 个指标对单个斑块的景观稳定性影响较大,说明单个斑块对景观稳定性也有重要影响,而其他指标的变动较明显,波动较大,整体上对景观稳定性的影响较小。

表8 2005—2015年红寺堡区景观稳定性影响因素变化

年份	指标	得分	排名	年份	指标	得分	排名	年份	指标	得分	排名
2015	C_{10}	0.999	1	2010	C_{14}	0.995	1	2005	C_8	0.999	1
	C_1	0.970	2		C_3	0.991	2		C_{13}	0.992	2
	C_2	0.970	2		C_4	0.991	2		C_1	0.987	3
	C_3	0.970	2		C_5	0.991	2		C_2	0.987	3
	C_4	0.970	2		C_1	0.991	3		C_3	0.987	3
	C_5	0.970	2		C_2	0.991	3		C_4	0.987	3
	C_6	0.970	2		C_6	0.991	3		C_5	0.987	3
	C_7	0.970	2		C_7	0.991	3		C_7	0.987	3
	C_8	0.970	2		C_{13}	0.991	3		C_9	0.987	3
	C_{15}	0.970	2		C_{15}	0.941	4		C_{14}	0.986	4
	C_{16}	0.666	3		C_{16}	0.642	5		C_6	0.941	5
	C_{14}	0.663	4		C_{10}	0.636	6		C_{15}	0.941	5
	C_{12}	0.656	5		C_8	0.634	7		C_{10}	0.625	6
	C_9	0.650	6		C_9	0.634	8		C_{11}	0.340	7
	C_{13}	0.650	6		C_{11}	0.305	9		C_{12}	0.116	8
	C_{11}	0.322	7		C_{12}	0.165	10		C_{16}	0.116	8

4 讨论和结论

生态移民工程实施以来，特别是2005—2015年10 a多，红寺堡区的土地利用景观格局发生了较大变化，主要土地利用类型间的转换频繁，且表现出明显的单向转换特征。

(1) 对于土地利用景观格局，草地和耕地是红寺堡区主要的景观类型，是调控土地利用景观稳定性的主要组分，构成研究区域优势景观。土地利用景观整体格局中草地和耕地占据优势，斑块相对较均匀，对景观总体空间格局的影响较大，建设用地斑块形状最复杂。从总体来看，红寺堡区的土地景观格局具有较高的异质性。

(2) 通过同一时期不同景观斑块土地利用稳定性的分析，红寺堡区土地利用景观稳定性整体上具明显差异。其中草地、耕地、林地、建设用地在景观稳定性的得分较高，尤其应该得到重视，在以后生态移民过程中，在扩大建设用地增加移民人口的同时，也需要合理规划移民安置点的布局和位置，还需要合理开发利用草地和耕地，根据资源综合承载力合理确定移民数量和规模，确保土地利用景观类型的稳定。

(3) 通过不同时期不同景观斑块土地利用稳定性的分析，红寺堡区土地利用景观稳定性表现为明显的阶段性特征，且斑块内部差异较大，尤其是2010—2015年，耕地和草地的变化率都超过了100%，景观的稳定性发生很多的变化，说明这一时期对耕地和草地的开发利用广泛，耕地的稳定性大为增强，而草地的稳定性受到很大干扰甚至破坏，在今后的生态移民中，要合理谋划产业类型，宜农则农，宜牧则牧，农牧结合，

(4) 景观格局稳定性除受到自然景观格局影响外，还受到人口、建设用地、粮食、城市化进程、政府投资行为及社会消费导向等方面的影响，因此政府调控在提高景观格局稳定性方面占据着重要影响。本文是基于结构决定功能，从单一尺度上对同一时期和不同时期的不同景观斑块类型的稳定性功能进行研究，存在一定的局限性，对其结构驱动生态过程的机制与效应及其与社会经济发展的耦合机理的研究和认识，有待于进一步研究，红寺堡区内部各乡镇景观结构和类型也存在较大差异，需要进一步深入持续的研究。

(5) 对景观稳定性影响指标的探测表明，某些指标对景观稳定性的影响较大且很稳定，而有些指标的影响在变化，各指标对景观稳定性的影响差异较大。分析发现，变化较明显的指标都是通过其他指标间接计算得到的次级指标，指标本身的影响因素较多且很复杂，在今后的研究中对该指标的影响因素有待进一步去探测。

[参 考 文 献]

[1] 王震，闫文德，刘曙光，等. 基于MODIS数据的中国三种主要土地类型变化的空间特征分析[J]. 生态学报，2017，37(10)：1-7.

[2] 杨俊，解鹏，席建超，等. 基于元胞自动机模型的土地利

用变化模拟:以大连经济技术开发区为例[J]. 地理学报,2015,70(3):461-475.

[3] 彭文甫,周介铭,徐新良,等. 基于景观生态安全格局的成都平原与龙门山脉过渡带土地资源开发利用[J]. 水土保持通报,2017,37(2):65-74.

[4] 王敏,阮俊杰,王卿,等. 快速城镇化地区景观生态风险变化评估:以上海市青浦区为例[J]. 水土保持通报,2016,36(5):185-190,197.

[5] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力[J]. 生态学报,2015,35(13):4357-4366.

[6] 胡艳兴,潘竟虎. 基于土地利用空间格局的兰州市景观稳定性[J]. 中国沙漠,2016,36(2):556-563.

[7] 楚纯洁,安春华. 平顶山市土地利用景观格局及其稳定性分析[J]. 水土保持研究,2011,18(1):224-235.

[8] Turner M G, Gardner R H. Quantitative Methods in Landscape Ecology[M]. New York: Springer-verlag, 1991.

[9] Forman R T T, Moore P N. Toward a theory of boundaries in land scape mosaics[M]//Landscape boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. New York: Springer-Verlag, 1990.

[10] 纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1):3-14.

[11] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):54-63.

[12] 杜国明,匡文慧,孟凡浩,等. 巴西土地利用/覆盖变化时空格局及驱动因素[J]. 地理学报,2015,34(1):73-82.

[13] 吕建树,吴泉源,张祖陆,等. 基于 RS 和 GIS 的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J]. 地理科学,2012,32(8):928-935.

[14] 马泉来,高凤杰,张志民,等. 东北农林交错区土地利用景观及生态服务价值变化[J]. 水土保持通报,2016,36(1):265-271.

[15] 刘延国,王青,王军. 九寨沟自然保护区景观格局及其斑块稳定性[J]. 东北林业大学学报,2012,40(4):31-40.

[16] 孙才志,闫晓露,钟敬秋. 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局[J]. 生态学报,2014,34(2):247-257.

[17] 刘小鹏,王亚娟. 我国生态移民与生态环境关系研究进展[J]. 宁夏大学学报:自然科学版,2013,34(2):173-176.

[18] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,曹鑫,等. 干旱区内陆艾比湖流域景观格局时空变化及生态安全评价[J]. 水土保持通报,2015,35(1):249-255.

[19] 张金屯,邱扬,郑凤英. 景观格局的数量研究方法[J]. 山地学报,2000,18(4):346-352.

[20] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134.

[21] 王劲峰,李新虎, Christakos G,等. 基于地理探测器的健康风险评估及其在神经管缺陷的应用:以中国和顺地区为例[J]. 国际地理信息科学杂志,2010,24(1):107-127.

[22] 王劲峰,胡艺. 基于地理探测器的环境健康风探测[J]. 环境建模与软件,2012,33(7):114-115.

[23] Cao Feng, Ge Yong, Wang Jingfeng. Optimal discretization for geographical detectors-based risk assessment [J]. GIScience & Remote Sensing, 2013, 50 (1): 78-92.

[24] 刘彦随,杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J]. 地理学报,2012,67(8):1011-1020.

(上接第 318 页)

[16] 哈斯塔木嘎,蔡云松,石力伟. 基于 GIS 的暴雨山洪气象灾害风险评估[J]. 现代农业科技,2013(18):240-241.

[17] 《江西地图集》编纂委员会. 江西省地图集[M]. 北京:中国地图出版社,2008.

[18] 江西省水文局. 江西省暴雨洪水查算手册(2010 版)[EB/OL]. (2013-04-19)[2015-07-16]. http://www.bzfxw.com/soft/sort011/ShuiLi/168219063.html.

[19] 覃文忠. 地理加权回归基本理论与应用研究[D]. 上海:同济大学,2007.

[20] 郭含茹,张茂震,徐丽华,等. 基于地理加权回归的区域森林碳储量估计[J]. 浙江农林大学学报,2015,32(4):497-508.

[21] 王旭,林征,张志,等. 基于 GWR 模型的北极滨海平原融冻湖表面温度空间分布模拟[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2016,41(7):918-924.