

# 基于景观指数的干旱区河谷县域土地 利用生态风险分析及预测

吴楠<sup>1,2</sup>, 张永福<sup>1,2</sup>, 李瑞<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:**在 ArcGIS 技术支持下,利用特克斯县 2008 年和 2015 年的遥感影像数据,得出了 2008—2015 年特克斯县土地利用结构变化情况,通过灰色预测模型预测了 2020 年的土地利用结构变化,建立了土地利用与 LUCC 的关系并构造了生态风险指数 ERI,分析了特克斯县土地利用生态风险动态演变和时空差异。结果表明:(1) 2008—2015 年特克斯县耕地、园地、林地、建设用地、交通用地呈增加趋势,其中建设用地增加 1 075.25 hm<sup>2</sup>。而牧草地、水域和其他用地有明显的下降,其中牧草地减少 5 104.39 hm<sup>2</sup>。通过预测分析得到 2015—2020 年耕地、建设用地和交通用地明显增加,其中建设用地增加 182.91 hm<sup>2</sup>。牧草地和其他用地明显减少,其中牧草地减少 1 992.88 hm<sup>2</sup>。园地、林地和水域变化不明显面积几乎没发生变化。(2) 研究区土地利用生态风险指数在 2008—2015 年由 0.025 增长到 0.029,由于生态环境的持续恶化,2015—2020 年生态指数由 0.029 增长到 0.035。综上所述,特克斯县的生态安全问题需引起政府的关注。

**关键词:**土地利用; 遥感影像; 生态风险; 特克斯县; 干旱区河谷

中图分类号:X826; F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0207-06

## Ecological Risk Analysis and Prediction of Land Use in Arid Valley Based on Landscape Index

WU Nan<sup>1,2</sup>, ZHANG Yongfu<sup>1,2</sup>, LI Rui<sup>1,2</sup>

(1. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** Under the support of ArcGIS technology, changes in land use structure of Tekes County from 2008 to 2015 can be seen by using the remote sensing image data in 2008 and 2015 of the Tekes County, and the change of land use structure in 2020 is predicted through the grey forecasting model, the relationship between the land use structure and LUCC is established, and the ERI ecological risk index is built. The dynamic evolution and spatial differences of land use ecological risk in Tekes county are analyzed. The results showed that: (1) the cultivated land, garden land, forestland, construction land and transportation land were increasing from 2008 to 2015, and the construction land increased by 1 075.25 hm<sup>2</sup>; grassland, water and other land use decreased significantly, grassland decreased by 5 104.39 hm<sup>2</sup>; the cultivated land, construction land and traffic land increased significantly from 2015 to 2020, and the construction land increased by 182.91 hm<sup>2</sup>; grassland and other land use significantly reduced, grassland reduced by 1 992.88 hm<sup>2</sup>; the area changes of garden land, forest land and water were not obvious; (2) the ecological risk index of land use in the study area rose from 0.025 in 2008 to 0.029 in 2015, and the ecological index rose from 0.029 in 2015 to 0.035 in 2020 due to the continued deterioration of the ecological environment. To sum up, the ecological security problems in Tekes County should be paid attention by the government.

**Keywords:** land use; remote sensing image; ecological risk; Tekes County; arid valley

土地利用是指人类经济、社会等活动利用土地获得物质产品的一系列经济、社会行为,人类通过与土

地进行的物质、能量的转换和价值、信息的交流来对土地加以利用。土地利用总体规划是指从全局和人

类社会发展的长远利益出发,长期规划区域内各类用地的结构和布局并对用地进行调整或配置。随着区域人口的快速增长和城市化的发展、工业化进程的推进,干旱区河谷城市土地利用效率降低、土地生态风险加大等生态问题凸显<sup>[1]</sup>。

生态风险是指在一定的区域内,具有不确定性的事故、灾害和人类活动对生态系统及其组分所产生的不利作用进而使生态系统承受的风险<sup>[2]</sup>。这种风险指对生态结构和功能所造成的损害,从而危及到生态系统的安全和健康<sup>[3-4]</sup>。土地利用生态风险是生态系统功能和结构在人类利用土地时受到的人为破坏、自然灾害或者环境污染等诸多因素交互作用时所造成的风险问题<sup>[5]</sup>。其影响范围、时间以及产生的后果也是比较难以预测的。研究土地利用变化及其对生态环境产生的风险,对了解生态环境和土地资源的合理利用以及恢复和治理有极其重要的现实意义,也能为生态安全条件下制定土地利用规划提供科学依据<sup>[6-7]</sup>。

近几年,干旱区河谷城市土地资源利用不合理、土地生产力下降等土地生态安全问题随着城市化进程不断显现<sup>[8]</sup>。特克斯县位于伊犁河谷上游的特克斯河谷地东段。伊犁河谷的绿洲是一个受干旱区自然和人文因素双重影响的复合生态系统,河谷绿洲城市是人类生产、生活的集聚中心,也是人与生态环境关系最为敏感的区域<sup>[9]</sup>。因此,本文选取新疆伊犁州特克斯县作为研究区,初步探索研究伊犁河流域绿洲城市土地利用变化生态风险及所产生的社会、人文、环境等效应,以期对特克斯县乃至伊犁地区的可持续发展提供实证参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州特克斯县位于天山西部的伊犁河谷下游,特昭盆地东端,位于东经  $81^{\circ}15'$ — $82^{\circ}45'$ ,北纬  $42^{\circ}20'$ — $43^{\circ}30'$ 。全县总面积  $8\,066.45\text{ km}^2$ ,2015 年全县总人口数达 17.53 万人。西邻伊犁昭苏县,南接阿克苏拜城县,东南与巴州和静县相邻,东面与东北面相接伊犁巩留县,西北是伊犁察布查尔锡伯自治县。特克斯县是个山区县,地形大致可分为河谷平地、浅山丘陵和山地 3 种类型,河谷平地是特克斯县牧业的主要春秋草场。境内有伊犁河分支特克斯河和库克苏河两条大河,水系密度很大。土壤类型众多;气候适宜,属于北温带大陆性气候;矿产资源丰富,品种较多;其旅游资源独具特色,特克斯县县城是世界上唯一保存完整、建筑正规、规模最大的“八卦城”,于 2007 年 5 月被列为国家

历史文化名城。近些年来,特克斯县存在建设用地占用大量耕地、土地利用集约程度较低、新增耕地少、开发难度较大等土地利用问题。此外,城市建设、社会经济高速的发展和资源无节制的开发利用导致了一系列的生态环境恶化。面临来自土地利用的生态环境的压力与挑战,生态风险问题成为地理生态学者共同关注的焦点。

### 1.2 数据来源与处理

通过 USGS 网站分别下载 2008 年 6 月 26 日与 2015 年 6 月 29 日的天气状况较好的 Landsat 8 OLI 遥感影像数据,空间分辨率为  $30\text{ m}$ 。利用 ENVI 4.8 软件对两幅遥感影像分别进行辐射校正和几何纠正、图像整饰、投影变换、镶嵌、特征提取等一系列图像预处理,根据国土部公布的土地分类标准以及特克斯县的 LUCC 特征将研究区划分为耕地、林地、园地、牧草地、建设用地、交通用地、水域、其他用地这 8 种土地类型。对遥感影像建立解译标志后进行监督分类直至满足精度要求为止,采用误差矩阵对分类结果进行精度检验,以 Kappa 系数作为参考指标,经检验,两期遥感影像精度值都达到了 85% 以上,符合本次研究需求。

结合特克斯县 1:5 万土地利用现状图、特克斯县 1:10 万土地利用地形图以及《特克斯县统计年鉴》(2008—2015 年),利用 ArcMap 9.3 软件对两期影像进行数据矢量化后通过统计分析功能和计算功能得到特克斯县土地利用/土地覆被变化数据,2015 年土地利用/覆盖情况见图 1(扣除兵团)。

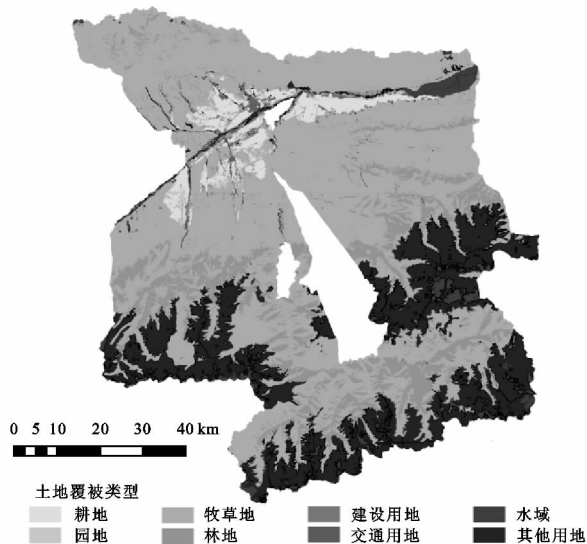


图 1 2015 年特克斯县土地利用/覆盖情况

### 1.3 研究方法

1.3.1 采样方法 根据特克斯县土地利用类型的面积及覆盖情况,利用 ArcMap 9.3 软件,采用  $3\text{ km} \times 3\text{ km}$  的单元网格将景观格局进行网格化,本次研究采用的是等间隔距离采样法,最终形成 844 个样本区

(图2),使得空间分异特征更明显的体现。并计算出844个样区内各土地要素的综合风险值。

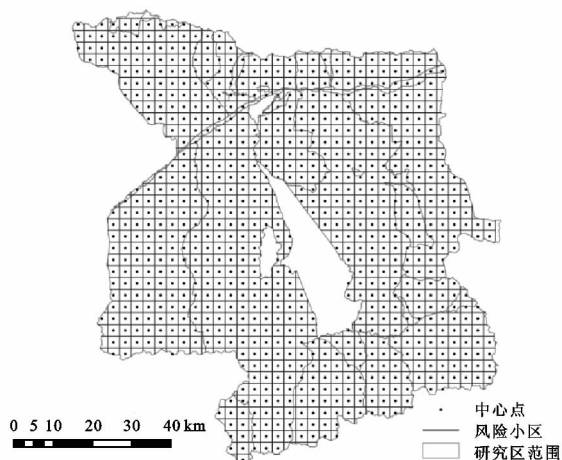


图2 生态风险样地划分

1.3.2 灰色预测模型 灰色预测模型是通过使用一定的数学方法对原始数据进行相关处理后,将其以借助于动态微分方程的形式来对其内在特征进行描述,从而建立了的抽象系统的动态演化模型<sup>[10-11]</sup>。

本文采用灰色 GM(1,1)模型对特克斯县 2020 年的土地利用结构进行预测。将  $X_i^{(0)}(i)$  定义为原始数据序列,  $X_i^{(1)}(i)$  为一次累加生成数据序列,则 GM(1,1)模型的一阶线性常系数微分方程标准型公式为<sup>[12]</sup>:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (1)$$

GM(1,1)模型所配套的标准解如下:

$$x^{(1)} = \left( x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (2)$$

式中:  $a, u$  为未知的尚待确定参数;  $t$  为时间。

为了提高 GM(1,1)模型预测结果的科学性,本次研究利用后验差检验法对其预测结果进行精度校验。其表达式为<sup>[13]</sup>:

$$C = \frac{S_2}{S_1}, p = P\{|\epsilon_k - \bar{\epsilon}| < 0.6745S_1\} \quad (3)$$

式中:  $S_1$  为原始数据标准差;  $S_2$  为预测数据标准差;  $\epsilon_k$  为预测数据误差;  $\bar{\epsilon}$  为预测误差的均值;  $C$  为后验差比值,其数值的大小直接体现模型预测结果与实际数值之差的离散程度,其值越小越好;  $p$  为小误差频率。

1.3.3 生态风险指数 利用各土地要素的面积及所占总面积的比例得出特克斯县生态风险指数 ERI<sup>[14-15]</sup>。通过构造 LUCC 与生态风险之间的经验联系,从而描述 844 个风险样区的土地利用生态风险的相对大小,其表达式为:

$$ERI = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{A} R_i \quad (4)$$

式中: ERI 为生态风险指数;  $N$  为土地要素的总数

量;  $A$  为土地总面积;  $A_i$  为第  $i$  类土地要素的面积;  $R_i$  为第  $i$  种土地要素所反映的损失指数。

$R_i$  表示各土地要素遭遇干扰时所受到的生态损失的差别。干扰度指数  $S_i$  和脆弱度指数  $F_i$  的乘积即为所求第  $i$  种土地要素所反映的损失指数  $R_i$ <sup>[16]</sup>。

(1) 干扰度指数。由于不同的景观类型在抵抗外界干扰能力、保护生物多样性、完善生态系统结构与功能、促进土地要素自然演替等方面的作用是有差别的<sup>[17]</sup>,所以本研究以特克斯县 LUCC 为依据,构建能体现景观受到外界干扰程度的指数干扰度指数  $S_i$ ,干扰度指数  $S_i$  是通过对景观破碎度指数  $C_i$ 、景观分离度指数  $N_i$  和景观优势度指数  $D_i$  三者赋权重再经叠加后获得的。由于不同景观类型量纲存在差异,所以需要分析得出的景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度指数进行归一化处理。用  $a, b, c$  分别表示景观类型的各指标的权重值,并且要求  $a + b + c = 1$  根据分析权衡,并综合前人研究成果<sup>[18-19]</sup>,将 0.5, 0.3, 0.2 这 3 个权重值分别赋予  $C_i, N_i, D_i$ 。所以最终得到的表达式为<sup>[20]</sup>:

$$S_i = 0.5C_i + 0.3N_i + 0.2D_i \quad (5)$$

(2) 脆弱度指数。景观脆弱度指数表示不同生态系统的易损性。景观脆弱度指数通过将各类生态系统按照脆弱度排序后进行归一化,即由各排序值与排序值总和之比获得。综合各类景观的脆弱性的特点,将特克斯县 8 类土地类型按脆弱程度由高到低赋值<sup>[21]</sup>: 8 其他用地、7 水域、6 园地、5 耕地、4 草地、3 林地、2 交通用地、1 建设用地。各土地要素的脆弱度指数  $F_i$  由归一化处理后得到。将归一化的值域范围设定为  $[0.1, 0.9]$ <sup>[22-23]</sup>,其主要原因是为了便于分析与计算。

1.3.4 生态风险分级方法 本文对生态风险分级的划分主要是参考以往学者的研究结果<sup>[24-25]</sup>,将特克斯县生态风险级别等距划分为 5 个等级:  $ERI \leq 0.025$  (低生态风险),  $0.025 < ERI \leq 0.05$  (较低生态风险),  $0.05 < ERI \leq 0.075$  (中生态风险),  $0.075 < ERI \leq 0.1$  (较高生态风险),  $ERI > 0.1$  (高生态风险)。

1.3.5 空间分析方法 由于半方差函数能很好地反映地理现象的空间分布规律,因此本文利用地统计学方法完成研究区生态风险的空间分异特征分析,即在生态风险系统采样的基础上,利用 ArcGIS 9.3 统计分析模块 (Histogram 模块),计算出半变异函数<sup>[26]</sup>,公式如下:

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

式中:  $y(h)$  为变异函数;  $Z(x_i), Z(x_i + h)$  为系统某属性  $Z$  在空间位置  $x_i, x_i + h$  处的值;  $N(h)$  为样本对数;  $h$  为空间距离。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构动态变化

由表 1 可见,特克斯县 2008—2015 年 8 种土地利用类型都有一定的变化,其中耕地、园地、林地、建设用地、交通用地呈增加趋势,其中建设用地增加 1 075.25 hm<sup>2</sup>,而牧草地、水域和其他用地有明显的下降,其中牧草地减少 5 104.39 hm<sup>2</sup>。耕地、园地以及林地面积的增加说明特克斯县的农业土地利用按市场规律进行配置,建设用地和交通用地面积的增加反映了由于人口增加和经济的发展导致的道路交通和建设用地的扩张态势。牧草地面积减少的原因是由于牧区的牧民频繁的放牧现象而导致的对牧草地的严重破坏,水域面积的减少是自然因素和人类活动综合作用的结果,而其他用地的减少说明特克斯县土地利用程度有所提高,未利用土地通过土地复垦、土地开发、土地整理等方式转换成为人类可以利用的土地。通过灰色预测法预测出特克斯县 2020 年的土地利用类型面积,2015—2020 年耕地、建设用地和交通用地明显增加,其中建设用地增加 182.91 hm<sup>2</sup>,牧草

地和其他用地明显减少,牧草地减少 1 992.88 hm<sup>2</sup>,园地、林地和水域变化不明显面积几乎没发生变化。

表 1 特克斯县土地利用类型面积变化

土地覆被 类型	2008 年		2015 年		2020 年	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
耕地	30426.37	4.12	32833.67	4.45	34053.55	4.62
园地	1594.69	0.22	1865.34	0.25	1828.96	0.25
牧草地	426218.4	57.77	421114.01	57.08	419121.13	56.81
林地	89903.01	12.19	91174.83	12.36	91645.43	12.42
建设用地	4741.03	0.64	5816.28	0.79	5999.19	0.81
交通用地	5828.76	0.79	6324.31	0.86	6620.58	0.90
水域	6521.79	0.88	6473.75	0.88	6453.7	0.87
其他用地	172546.56	23.39	172178.42	23.34	172058.07	23.32

2.2 土地利用生态风险评价

根据土地利用生态风险指数计算方法以及预测模型,分别计算出特克斯县 2008 年、2015 年和 2020 年的景观破碎度  $C_i$ 、景观分离度  $N_i$ 、景观优势度  $D_i$ 、干扰度指数  $S_i$ 、脆弱度指数  $F_i$ ,继而得出每种景观类型的损失度指数  $R_i$  并最终计算出 2008 年、2015 年和 2020 年的生态风险指数 ERI。计算结果如表 2 所示。

表 2 2008 年、2015 年、2020 年景观指数

年份	景观类型	斑块数/个	面积/hm <sup>2</sup>	$C_i$	$N_i$	$D_i$	$S_i$	$F_i$	$R_i$	ERI
2008 年	耕地	2733	30426.37	0.090	0.738	0.087	0.284	0.139	0.039	0.025
	园地	254	1594.69	0.159	0.225	0.015	0.150	0.167	0.025	
	牧草地	6184	426218.4	0.015	1.110	0.174	0.375	0.056	0.021	
	林地	3923	89903.01	0.044	0.884	0.118	0.311	0.222	0.069	
	建设用地	5610	4741.03	1.183	1.057	0.160	0.941	0.111	0.104	
	交通用地	11	5828.76	0.002	0.047	0.002	0.015	0.083	0.001	
	水域	193	6521.79	0.030	0.196	0.012	0.076	0.194	0.015	
	其他用地	5173	172546.6	0.030	1.015	0.149	0.349	0.028	0.010	
2015 年	耕地	2958	32833.67	0.090	0.711	0.091	0.277	0.139	0.038	0.029
	园地	255	1865.34	0.137	0.209	0.014	0.134	0.028	0.004	
	牧草地	8773	421114	0.021	1.225	0.230	0.424	0.056	0.024	
	林地	3952	91174.83	0.043	0.822	0.116	0.292	0.194	0.057	
	建设用地	6053	5816.28	1.041	1.018	0.167	0.859	0.111	0.095	
	交通用地	37	6324.31	0.006	0.080	0.004	0.028	0.083	0.002	
	水域	546	6473.75	0.084	0.306	0.025	0.139	0.222	0.031	
	其他用地	2363	172178.4	0.014	0.636	0.076	0.213	0.167	0.036	
2020 年	耕地	5573	34053.55	0.164	0.941	0.152	0.395	0.167	0.066	0.035
	园地	239	1828.96	0.131	0.195	0.014	0.127	0.028	0.004	
	牧草地	5269	419121.13	0.013	0.915	0.144	0.310	0.111	0.034	
	林地	3885	91645.43	0.042	0.786	0.112	0.279	0.222	0.062	
	建设用地	6314	5999.19	1.052	1.002	0.169	0.861	0.139	0.120	
	交通用地	14	6620.58	0.002	0.047	0.002	0.016	0.083	0.001	
	水域	227	6453.7	0.035	0.190	0.013	0.077	0.194	0.015	
	其他用地	4269	172058.07	0.025	0.824	0.121	0.284	0.056	0.016	

由表 2 可知,8 种土地利用类型中建设用地  $R_i$  最大,交通用地  $R_i$  最小。2008—2015 年,建设用地

斑块数目和面积都有明显的增加的趋势,但是由于面积的增长幅度小于斑块的增长幅度,导致建设用地的

景观破碎度  $C_i$  和景观分离度  $N_i$  逐渐减小,由此可得知建设用地的空间分布特点由研究初期的小块随机分散分布变为连片集中分布。交通用地的面积较小,斑块数也不多,说明在空间分布上较集中,破碎化程度低,斑块个体分离程度小,因此计算得到的破碎度指数和分离度指数都较小。2015—2020 年,建设用地景观分布聚合度上升,交通用地景观依旧向着破碎化方向发展,相比于 2008—2015 年,人为干扰加剧,这反映出土地随着人类活动加剧使其完整性变异。

12 年间,特克斯县土地利用生态风险指数呈现逐渐增大的变化趋势。通过计算可以得到,2008 年、2015 年、2020 年特克斯县生态风险指数 ERI 分别为 0.025,0.029,0.035。特克斯县城镇用地和基础设施用地需求量进一步增长,不可避免会占用部分耕地,使得生态环境趋于恶化。随着新疆维吾尔自治区“环保优先,生态立区”理念的提出,特克斯县作为首批“两个可持续发展”的典范,坚持经济发展和环境保护并重,其生态安全问题将得到一定的改善。

2.3 生态风险动态演变分析

利用生态风险等级评价方法,对特克斯县 2008 年、2015 年和 2020 年土地利用类型变化的生态风险情况进行分级。特克斯县 2008 年、2015 年和 2020 年各等级的生态风险区面积比例都存在一定的差异(图 3)。2008 年低生态风险区面积占总面积的 1.89%,

较低生态风险区占 23.39%,中等生态风险区占 57.77%,较高生态风险区占 16.31%,高生态风险区占的 0.64%。2015 年低生态风险区面积占总面积的 1.99%,较低生态风险区占 23.34%,中等生态风险区占 57.08%,较高生态风险区占 16.81%,高生态风险区占的 0.79%。预计 2020 年低生态风险区面积占总面积将增加至 2.02%,较低生态风险区减少至 23.32%,中等生态风险区减少至 56.81%,较高生态风险区增加至 17.04%,高生态风险区增加至 0.81%。总体来看特克斯县 2008—2015 年各风险等级地类面积增减幅度不太大,中等风险区面积减少较多,转化为较高风险区和高风险区。2015—2020 年生态环境整体趋于恶化,高风险区和较高风险区面积依旧呈增长趋势。2008—2020 年生态风险空间变化分布见图 4(扣除兵团)。

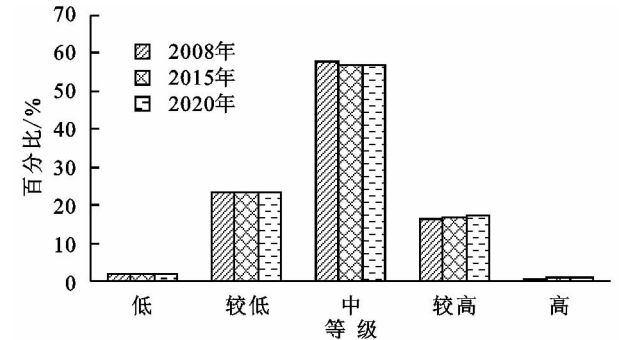


图 3 不同等级生态风险区在各年所占比例

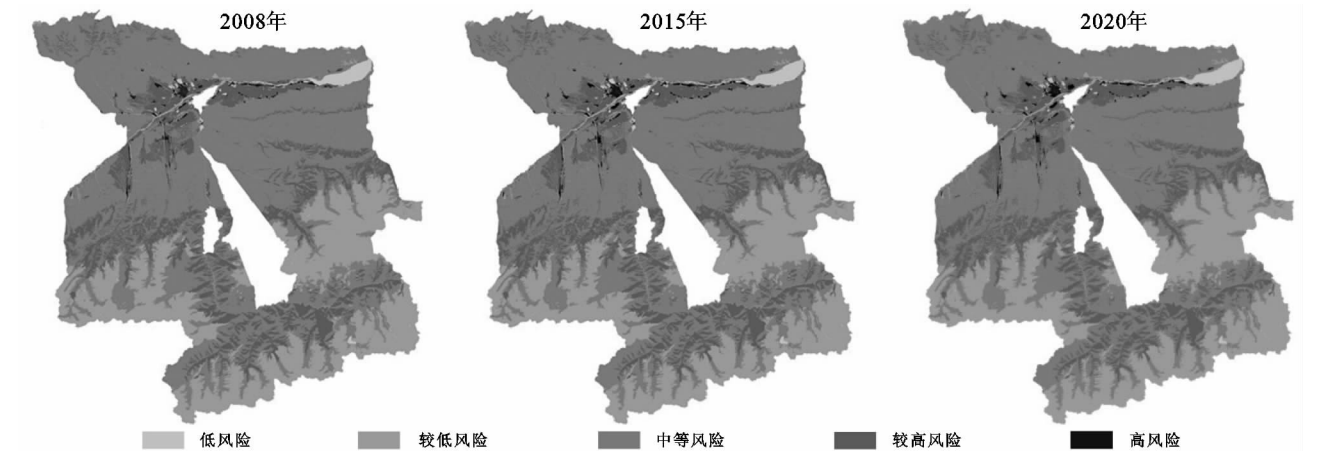


图 4 2008—2020 年生态风险空间变化分布

3 结论

(1) 通过对特克斯县 LUCC 进行分析得出,2008—2020 年特克斯县的 8 种土地利用类型的面积以及占比都有一定的变化,其中耕地、园地、林地、建设用地、交通用地呈增加趋势,而牧草地、水域和其他用地有明显的下降。随着人口规模的发展和 GDP 的增长,人类活动对土地利用结构的变化起到了决定性作用。

(2) 由于土地利用结构的不同,从而导致了研究

区生态风险指数的差异。通过对研究区的生态安全进行研究分析,2008—2020 年研究区生态风险总体呈增长的趋势。土地利用生态风险指数 ERI 由 2008 年的 0.025 增长到 2015 年的 0.029。为了打造国际知名的易经文化生态旅游目的地,特克斯县县城空间发展采取了跳跃式建设九宫新城,保护八卦老城的城市发展策略,确定了位于老城区东部的特克斯新城区九宫形制的城市格局。发展新城区的同时使得生态风险指数的下降是必然趋势,因此,研究区的

生态环境形式趋于恶化。

(3) 根据生态风险空间变化分布图和不同等级生态风险区在各年所占比例图表可以得出,特克斯县高风险区域面积增加,整体转移趋势是由中等风险向高风险区域转移,高风险区主要集中在特克斯县九宫新城区和八卦老城区周围。这可能是由于新老城区人口集中并逐渐增长,建设用地面积也随着人口的增加不断扩大。

为了模拟和预测随着研究区发展所造成的区域生态环境的演变交替状况,本文进行生态风险评价与分析,以此将研究区的发展与生态环境紧密的联系起来,继而为服务于区域社会、经济与生态的可持续协调发展。总体来看,本文的研究成果可对特克斯县土地利用管理、生态环境整治与恢复起到有效的引导作用。将土地利用变化和景观生态学方法有机结合起来是研究区域生态环境的有效方式。今后特克斯县应对土地利用生态风险等级高的区域加强土地利用管理,应在新老城区减少土地覆被格局的破碎度和分离度,维护和提高土地利用的生态服务功能。县城南部有大面积的牧草地,随着人类活动和城镇发展存在的潜在的风险不可小觑,应坚持在牧区开展现代化土地综合管理,开展牧区资源环境与灾害宣传教育,在发展的同时保护牧草资源,预防风险和调控人类活动,防患于未然。

#### 参考文献:

- [1] 李钊. 干旱区绿洲县域土地利用规划中土地生态安全预测:以新疆阿瓦提县为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6):148-151.
- [2] 唐利华,张永福. 伊犁河流域绿洲城市土地资源利用的生态风险评价:以伊宁市为例[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(4):165-170.
- [3] 李谢辉,李景宜. 基于 GIS 的区域景观生态风险分析:以渭河下游河流沿线区域为例[J]. 干旱区研究, 2008, 25(6):899-903.
- [4] 李新琪,金海龙,朱海涌. 干旱区内陆艾比湖流域平原区景观生态安全评价研究[J]. 干旱环境监测, 2010, 24(2):84-88.
- [5] 王文杰,张永福,王慧杰. 基于 GIS 干旱区绿洲县域土地利用变化生态风险分析:以新疆泽普县为例[J]. 水土保持研究, 2016, 23(6):216-220.
- [6] 史培军,潘耀忠,陈晋,等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4):293-299.
- [7] 袁艺,史培军,刘颖慧,等. 快速城市化过程中土地覆盖格局研究:以深圳市为例[J]. 生态学报, 2003, 23(9):1832-1840.
- [8] 唐利华,张永福,刘小辉. 干旱区河谷城市土地利用生态

风险动态预测:以新疆伊宁市为例[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3):240-245.

- [9] 常兆丰. 民勤人工绿洲的形成、演变及其可持续性探讨[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1):1-9.
- [10] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 1 版. 武汉:华中工学院出版社, 1987.
- [11] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术出版社, 1992.
- [12] 刘思峰,谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 4 版. 北京:科学出版社, 2008.
- [13] 买吾鲁旦·阿不力克木,努尔巴依·阿布都沙力克. 基于灰色模型的土地利用动态变化预测分析:以新疆昌吉州为例[J]. 安徽农业科学, 2013(7):3149-3151.
- [14] 臧淑英,梁欣,张思冲. 基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4):141-145.
- [15] 张学斌,石培基,罗君,等. 基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析:以石羊河流域为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3):410-419.
- [16] 韦仕川,吴次芳,杨杨,等. 基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲土地利用变化及生态安全研究:以东营市为例[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1):185-189.
- [17] 贡璐,鞠强,潘晓玲. 博斯腾湖区域景观生态风险评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1):27-31.
- [18] 王介勇,赵庚星,杜春先. 基于景观空间结构信息的区域生态脆弱性分析:以黄河三角洲垦利县为例[J]. 干旱区研究, 2005, 22(3):317-321.
- [19] 郭建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社, 2007.
- [20] 李新琪,金海龙,朱海涌. 干旱区内陆艾比湖流域平原区景观生态安全评价研究[J]. 干旱环境监测, 2010, 24(2):84-88.
- [21] 时卉,杨兆萍,韩芳,等. 自然遗产地生态脆弱性分析与评价:以托木尔区域为例[J]. 干旱区地理:汉文版, 2013, 36(2):318-328.
- [22] 叶正伟,许有鹏,徐金涛. 江苏里下河地区洪涝灾害演变趋势与成灾机理分析[J]. 地理科学, 2009, 29(6):880-885.
- [23] 陈鹏,潘晓玲. 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析:以阜康三工河流域为例[J]. 生态学杂志, 2003, 22(4):116-120.
- [24] 孟优,周益民,侯秀玲,等. 干旱区绿洲生态安全评价研究:以新疆生产建设兵团为例[J]. 干旱区地理:汉文版, 2014, 37(1):163-169.
- [25] 付在毅,许学工,林辉平,等. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2001, 21(1):365-373.
- [26] 叶其炎,杨树华,陆树刚,等. 玉溪地区生物多样性及生境敏感性分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6):75-78.