

基于 GIS 的干旱区绿洲县域土地利用生态风险分析及预测

马丽娜, 张永福, 阿迪来·阿地力 (新疆大学, 绿洲生态重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046)

摘要 [目的]研究干旱区绿洲县域土地利用生态风险评价及预测。[方法]以新疆拜城县为例, ArcMap 10.3 为技术支持, 2009 和 2016 年的遥感影像为信息源, 构建了拜城县的综合性生态风险指数(ERI)并借助 GIS 进行空间插值, 由此分析了拜城县土地利用生态风险动态演变以及不同等级的生态风险的空间分布特征。并通过马尔科夫预测模型预测拜城县 2020 年的土地利用结构变化, 揭示土地利用结构的变化对新疆典型干旱区绿洲县域生态风险的影响。[结果]2009—2016 年拜城县耕地和建设用地的面积增加, 林地、草地、水域和其他用地面积明显下降。通过预测所得, 与 2016 年相比, 2020 年建设用地和其他用地面积明显增加, 耕地、林地、草地和水域面积明显减少。2009 年拜城县 ERI 为 0.024, 2016 年增长为 0.026, 随着生态环境的持续恶化, 2020 年增长至 0.031。[结论]在未来土地利用结构调整过程中, 人们应加强保护环境意识, 在拜城县构建良好的生态用地格局, 提高全县生态系统服务功能, 降低人类活动对环境造成的不良影响。

关键词 土地利用; 生态风险; 干旱区绿洲; 拜城县

中图分类号 X 826; F 301.24 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)02-0052-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.02.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Ecological Risk Analysis and Prediction of Land Use in Oasis County of Arid Area Based on GIS

MA Li-na, ZHANG Yong-fu, ADILAI Adili (Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

Abstract [Objective] The research aimed to study the ecological risk assessment and prediction of land use in the oasis county of arid area. [Method] Taking Baicheng County of Xinjiang as the research object, under the support of ArcMap 10.3 technology, the remote sensing images from 2009 and 2016 as the information source. This article constructed the comprehensive ecological risk index(ERI) of Baicheng County and used the spatial interpolation method of ArcGIS to analyse the dynamic evolution of ecological risk of land use in Baicheng County and the spatial differentiation characteristics of different levels of ecological risk. The change of land use structure in Baicheng County in 2020 was predicted by Markov prediction model, and the ecological risk influence of the change of land use structure on oasis counties in typical arid areas of Xinjiang was revealed. [Result] The area of cultivated land and construction land were increasing from 2009 to 2016, the area of forestland, grassland, water and other land were decreasing significantly. Through forecasting, compared with 2016, the area of construction land and other land were increasing significantly in 2020, while the area of cultivated land, forestland, grassland and water were decreasing significantly. The ERI of Baicheng County in 2009 was 0.024, and increased to 0.029 in 2016, and with the continuous deterioration of the ecological environment, it will increase to 0.031 in 2020. [Conclusion] In the future adjustment of land use structure, people should strengthen their awareness of protecting the environment, build a good pattern of ecological land in Baicheng County, improve the ecosystem service function, and reduce the negative impact of human activities on the environment.

Key words Land use; Ecological risk; Arid oasis; Baicheng County

土地利用生态风险是指在一定的社会经济环境下, 由于人类或者自然改变土地利用结构的原因致使土地资源遭受破坏或者污染而给人类生存环境造成危害的一种状态, 在这种状态下, 土地生态系统无法稳定持续的发挥其在整个自然生态系统当中的作用, 不能维持社会经济和环境之间的协调关系^[1]。生态环境和长期的人类经济社会活动相互作用形成了区域固有的土地利用方式。现如今面临的生态风险与人类选择的土地利用方式息息相关, 不同的土地利用结构和类型将直接影响区域的生态环境^[2]。

绿洲是一种局部优化的人类生存环境, 是干旱区能量流、物流最集中的区域, 也是维系干旱区人类生存、活动和发展的场所, 同时也是干旱区生态环境最敏感的部分^[3]。干旱区绿洲是干旱地区独特的生态单元, 它以荒漠为背景, 根据水环境生长各种植被, 加上人工林网和人工草场, 就构成了十分复杂的景观格局。

新疆位于我国西北内陆干旱区, 而拜城县位于南疆典型绿洲区, 随着人口的快速增长, 城市化和工业化的进程逐渐加快, 土地利用变化带来的生态环境问题日益加剧。国家

“一带一路”战略的开启, 强化了新疆改革开放前沿窗口的战略地位, 使拜城县“十三五”期间面临更好的产业提升与承接机遇, 为拜城县提升对外开放水平和能力, 加快新型工业化、农牧业现代化、新型城镇化“三化”^[4]同步实施创造了前所未有的历史机遇, 但是拜城县土地沙化、盐渍化、荒漠化危害较为突出, 沙漠化土地面积扩展趋势未得到有效遏制, 资源环境约束明显趋紧。此外, 由于日益增加的人口和资源压力, 使得人们过度地开发土地, 在一定程度上加剧了土地的荒漠化和次生盐渍化。笔者采用目视解译为主、土地变更数据为辅的综合划定方法划分土地利用类型, 采用等间距系统采样法划分样本区, 利用 ArcMap 10.3 中的空间分析和地统计功能, 从而得到拜城县土地利用/土地覆被变化, 进而构建各土地类型的综合生态风险指数, 分析生态风险在时间尺度上的变化, 这有利于深入了解干旱区绿洲的生态环境, 合理利用土地资源, 对于恢复治理干旱区绿洲生态环境具有重要的现实意义, 同时也可以为将来的科学决策提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 拜城县地处新疆维吾尔自治区的西南方向, 天山山脉中段却勒塔格山北缘山间盆地^[5], 渭干河干流上游区, 地理坐标为 80°37'39"~83°02'25" E, 41°24'08"~42°38'52" N。拜城县北与伊犁地区昭苏县、特克斯县接壤, 南与

作者简介 马丽娜(1993-), 女, 新疆阿克苏人, 硕士研究生, 研究方向: 生态经济与资源利用。

收稿日期 2018-08-21

新和县相连,东与库车县、和静县毗邻,西与温宿县相望。拜城县四周群山环抱,为带状盆地。西北高东南低,地形复杂,北部为天山主干,南部为却勒塔格山,东部为库车达坂,西部有叠山洪沟。土壤类型众多,气候适宜,属于温带大陆性干旱气候,冬季寒冷,夏季凉爽,年均气温 7.4 °C,年均降水 95 mm^[6]。县境东西长 198.7 km,南北宽 140 km,辖区总面积 1 589 098.53 hm²。2016 年年末总户数 68 495 户,拜城县总人口为 241 079 人,其中城镇人口 48 581 人,乡村人口 192 498 人。

1.2 数据来源与处理 以拜城县 2009 和 2016 年的 Landsat 遥感影像为数据源,利用 ENVI 4.8 对遥感影像做前期的预处理

理,主要有波段融合、几何矫正、影像裁剪等,基于全国土地利用分类系统,结合拜城县的土地利用/土地覆被特征、土地利用总体规划(2010—2020 年)数据库和土地利用总体规划调整完善(2014—2020 年)数据库中的土地利用分类体系进行精度验证,以目视解译为主、土地变更数据为辅的综合划定方法将拜城县土地利用类型分为耕地、林地、草地、建设用地、水域、未利用地 6 类,根据精度对比结果表明,目视解译的结果符合此次研究需求。

利用 ArcMap 10.3 软件对两期影像图进行数据矢量化,然后通过统计分析和计算得到拜城县土地利用/土地覆被变化数据(图 1)。

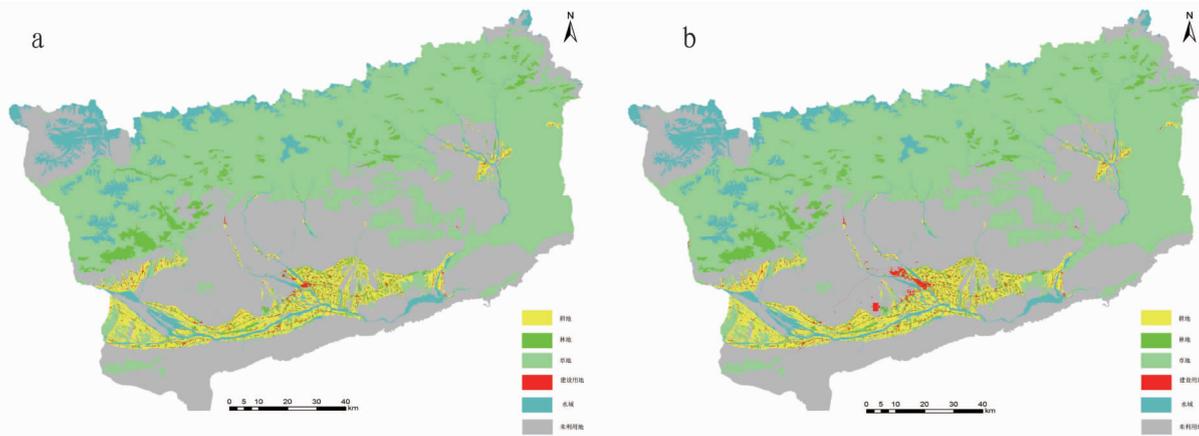


图 1 拜城县 2009 年 (a) 和 2016 年 (b) 土地利用/覆被情况

Fig.1 Land use/cover situation of Baicheng County in 2009 (a) and 2016 (b)

1.3 生态风险指数 根据拜城县各土地类型的面积,分析土地利用类型和生态风险的相关性,构建各土地要素的综合生态风险指数,其表达式^[7-9]如下:

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

式中,ERI 为生态风险指数; N 为土地要素总数量; A 为土地总面积; A_i 为第 i 类土地要素的面积; R_i 表示各土地要素遭遇干扰时所受到的生态损失的差异。干扰度指数 S_i 和脆弱度指数 F_i 的乘积即是所求第 i 种土地要素所反映的损失指数 R_i 。

1.3.1 干扰度指数。在抵抗外界干扰能力、完善生态系统结构与功能、保护生物多样性、促进土地要素自然演替等方面,不同土地要素的作用是有差别的^[10-11]。该研究以拜城县的 LUCC 为依据,构建干扰度指数 S_i 。 S_i 是景观破碎度指数 C_i 、景观分离度指数 N_i 和景观优势度指数 D_i 三者赋权值叠加所得^[12]。然而由于不同景观类型量纲存在差异,所以对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^[13]。用 a 、 b 、 c 分别表示景观类型的各指标的权重值,并且要求 $a+b+c=1$ ^[14]。根据分析权衡和专家咨询,将 0.5、0.3、0.2 权重值分别赋予 C_i 、 N_i 、 D_i 。所以最终得到的表达式为:

$$S_i = 0.5C_i + 0.3N_i + 0.2D_i \quad (2)$$

1.3.2 脆弱度指数。景观脆弱度指数 F_i 表示不同景观类型

在抵抗外界干扰时的易损度^[13]。结合拜城县 LUCC 特点,在借鉴其他学者的研究基础上,将拜城县土地类型的脆弱性分为 6 个等级,由高到低依次为其他用地、水域、耕地、草地、林地、建设用地。各土地要素的脆弱度指数需通过归一化处理才可使用。便于分析与计算,将归一化的值域范围设定为 $[0.1, 0.9]$ ^[15]。

1.4 采样方法 采用等间距系统采样法,根据拜城县土地利用/覆被情况,利用 ArcMap 10.3 软件,将研究区划分为 5 km×5 km 的单元网格,最终形成 730 个样本区(见图 2),以便清楚地表达空间分异特征,每个样本区都计算出一个生态风险指数的综合值,以此表示该样本区中心点的生态风险水平。

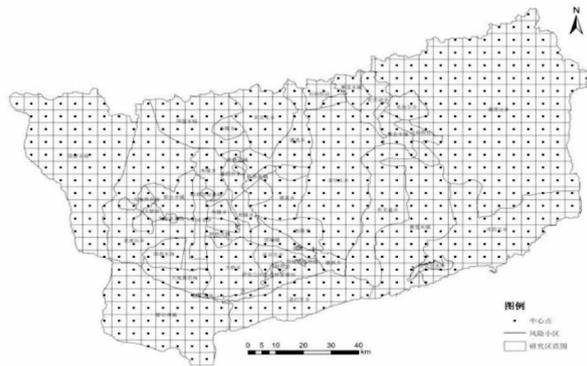


图 2 拜城县生态风险样地划分

Fig.2 Division of ecological risk plots in Baicheng County

1.5 空间分析方法 生态风险的空间分析法是在地统计学方法的基础上完成的。该研究在生态风险系统采样的基础上,利用 ArcMap 10.3 中的 Geostatistical Analyst(地统计分析模块)^[16],得到半变异函数,公式如下^[9-11]:

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (3)$$

式中, $y(h)$ 表示半变异函数; h 为样本空间距离, $N(h)$ 表示抽样间距为 h 的样本对数, $Z(x_i)$ 、 $Z(x_i+h)$ 表示在 x_i 、 x_i+h 处的取值。

1.6 生态风险分级方法 该研究对生态风险分级的划分主要是参考以往学者的研究结果,将拜城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 0.050(较低生态风险)、0.050<ERI \leq 0.075(中生态风险)、0.075<ERI \leq 0.100(较高生态风险)、ERI>0.100(高生态风险)^[17]。

1.7 Markov 模型预测 Markov 过程是一种特殊的随机运动过程,是预测土地利用数量变化常用的方法之一,因为在一定条件下,土地利用的演变过程具有 Markov 过程的性质^[18]。其表达式如下:

$$X(n) = X(n-1)P_{ij} \quad (4)$$

式中, $X(n)$ 、 $X(n-1)$ 分别为 n 和 $n-1$ 时刻的系统状态; P_{ij} 为转移概念矩阵,该矩阵满足以下2个条件:① $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1$ ($i, j=0, 1, 2, \dots, n$),矩阵每行元素之和等于1;② $0 \leq P_{ij} \leq 1$ ($i, j=0, 1, 2, \dots, n$),矩阵每个元素都非负。

Markov 模型预测拜城县 2020 年的土地利用结构需满足以下3个条件^[19-20]:①转移矩阵 P 必须逐期保持不变。②2016—2020年土地利用类型不会发生大的改变,比如某一种地雷的突然消失或突然出现。③状态的转移仅受前一时期的影响,而与前一期以前的状况无关。因此,该研究可以采用 Markov 模型预测拜城县 2020 年的土地利用结构。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构动态变化 利用 EXCEL 2010 中的统计分析功能计算出不同土地利用类型的面积及其占研究区总面积的比重。由表1可知,2009—2016年拜城县不同的土地利用类型变化不尽相同,其中耕地增加了491.60 hm²,建设用地增加了3 552.38 hm²,林地减少了155.09 hm²,草地减少了665.86 hm²,水域面积减少了702.70 hm²,其他用地面积减少了2 529.33 hm²。通过 Markov 预测模型预测出的拜城县2020年耕地面积比2016年减少了754.24 hm²,林地面积减少了115.22 hm²,草地面积减少了34 237.55 hm²,建设用地面积增加了11 089.86 hm²,水域面积增加了1 794.42 hm²,其他用地面积增加了22 231.73 hm²。

表1 拜城县不同土地利用类型的面积和百分比

Table 1 Area and percentage of different land use types in Baicheng County

土地利用类型 Land use types	2009年		2016年		2020年	
	面积 Area//hm ²	比例 Percentage//%	面积 Area//hm ²	比例 Percentage//%	面积 Area//hm ²	比例 Percentage//%
耕地 Cultivated land	89 885.13	5.66	90 376.73	5.69	89 622.49	5.64
林地 Forestland	49 254.27	3.10	49 099.18	3.10	48 983.96	3.08
草地 Grassland	718 922.77	45.24	718 256.91	45.20	684 019.36	43.04
建设用地 Construction land	8 806.42	0.55	12 358.80	0.78	23 448.66	2.11
水域 Water	102 786.65	6.47	102 083.95	6.43	103 878.37	0.87
其他用地 Other land	619 443.29	38.98	616 913.96	38.82	639 145.69	45.26

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,分别计算出拜城县2009和2016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 ,得出每种景观类型的损失度指数 R_i ,并根据预测模型预测2020年的各项指数,最终计算出2009、2016和2020年的生态风险指数ERI,结果见表2。

从表2可以看出,2009—2016年拜城县各土地利用类型的斑块总量呈现增加趋势,共增加了6 763块;但是林地、草地、水域和其他用地的面积有所减少,这导致原本集中连片的空间分布演变成分散破碎不均匀的分布特征,破碎度指数 C_i 、分离度指数 N_i 明显增大,表明林地、草地、水域和其他用地破碎程度和分离程度加深,干扰强度增大,建设用地的破碎度指数 C_i 和分离度指数 N_i 逐渐减小,空间分布由2009年的小块随机分布变为2016年的连片集中分布。总体看来,2009—2016年拜城县土地利用风险呈现增加的趋势。

2016—2020年耕地、林地、草地、水域和其他用地破碎度指数 C_i 有所下降,表明其破碎化程度得到了改善,耕地、林

地、建设用地和其他用地分离度指数 N_i 增大,表明空间分布趋于集中,草地和水域的 N_i 下降,表明空间分布呈离散状态。耕地、林地和水域的优势度指数较大,说明这3种土地利用类型数量分布不均匀,其生态功能愈发突出。林地、草地和建设用地的干扰度指数降低,有利于生物的生存和生态环境的保护。但总体来看,2016—2020年土地利用生态风险仍然呈现持续升高的趋势。

综上所述,11年间拜城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,2009、2016、2020年拜城县生态风险指数ERI分别为0.024、0.026、0.031。拜城县工业用地、城镇建设用地和农村基础设施用地进一步增大,势必会占用部分耕地,甚至是永久性基本农田,使得生态环境趋于恶化。由于拜城县恶劣的自然环境条件和地质地貌特征,加上人为干扰造成的环境恶化,使得该区域的生态环境极其脆弱,土地沙化和荒漠化的现状非但没有遏制反而日益加重,不仅制约着拜城县的经济可持续发展和人居环境的可持续改善。增强拜城县的“五位一体”建设和促进生态

表 2 2009、2016、2020 年景观指数
Table 2 Landscape Index in 2009, 2016 and 2020

年份 Year	景观类型 Landscape type	斑块数 Patches numbers//块	面积 Area hm ²	C_i	N_i	D_i	S_i	F_i	R_i	ERI
2009	耕地	12 093	89 885.13	0.135	0.771	0.165	0.332	0.625	0.207	0.024
	林地	6 679	49 254.27	0.136	1.046	0.100	0.401	0.037	0.015	
	草地	10 395	718 922.77	0.014	0.089	0.145	0.063	0.075	0.005	
	建设用地	6 702	8 806.42	0.761	5.859	0.100	2.158	0.103	0.222	
	水域	5 999	102 786.65	0.058	0.475	0.091	0.190	0.219	0.042	
	其他用地	7 752	619 443.29	0.013	0.090	0.113	0.056	0.273	0.015	
	耕地	18 203	90 376.73	0.201	0.941	0.217	0.426	0.625	0.267	
林地	8 482	49 099.18	0.173	1.182	0.113	0.464	0.037	0.017		
草地	10 369	718 256.91	0.014	0.089	0.134	0.061	0.075	0.005		
建设用地	6 036	12 358.80	0.488	3.962	0.085	1.450	0.103	0.149		
水域	8 645	102 083.95	0.085	0.574	0.115	0.237	0.219	0.052		
其他用地	3 848	616 913.96	0.006	0.063	0.059	0.034	0.273	0.009		
耕地	22 330	89 622.49	0.249	1.051	0.238	0.488	0.625	0.305	0.031	
林地	8 456	48 983.96	0.173	1.183	0.104	0.462	0.037	0.017		
草地	2 073	684 019.36	0.003	0.042	0.035	0.021	0.075	0.002		
建设用地	5 887	23 448.66	0.176	1.446	0.078	0.537	0.103	0.055		
水域	11 400	103 878.37	0.821	4.849	0.134	1.892	0.219	0.414		
其他用地	12 246	639 145.69	0.017	0.097	0.142	0.066	0.273	0.018		

文明和谐发展已刻不容缓。

2.3 生态风险动态演变分析 根据计算出的每个样区的生态风险指数,利用生态风险等级评价法,对拜城县 2009、2016 和 2020 年生态风险情况进行分级,结果如图 3 所示。由图 3 可知,拜城县 2009、2016 和 2020 年不同等级的生态风险区面积比例都存在一定的差异,2009 年低生态风险区面积占总面积的 3.10%,较低生态风险区占 45.24%,中等生态风险区占 38.98%,较高生态风险区占 6.47%,高生态风险区占 6.21%。2016 年低生态风险区面积占总面积的 3.09%,较低生态风险区面积占 45.20%,中等生态风险区占 38.82%;较高生态风险区占 6.42%,高生态风险区占 6.47%。预计 2020 年低生态风险区面积占总面积的 3.08%,较低生态风险区占 43.04%,中等生态风险区占 40.22%,较高生态风险区占 5.91%,高生态

范围及其西部工业园区周围,较高风险区广泛分布在拜城县北部山区流域和克孜尔水库、木扎尔特河流域,主要的土地利用类型为水域;中等风险区则主要集中分布在拜城县中部、西南和东南部,主要的土地利用类型为其他用地;较低风险区主要分布在拜城县北部和东部地区,主要的土地利用类型为草地;低风险区主要分布在拜城县的西部和北部,主要的土地利用类型为林地。总体来看,2009—2020 年拜城县生态风险整体区域恶化。

3 结论与讨论

通过对拜城县土地利用/土地覆被特点的分析,可以看出 2009—2016 年拜城县耕地、建设用地面积呈增加趋势,而林地、草地、水域和其他用地面积有明显的下降。2016—2020 年建设用地和其他用地的面积有所增加,耕地、林地、草地和水域面积呈减少趋势,通过分析可知,随着拜城县人口规模的增长和城镇化水平的提高,引发了很多生态问题,人类活动对土地利用结构变化的影响日益显著。土地利用结构空间布局不同,导致拜城县的生态风险有所差异。2009—2020 年拜城县生态风险总体呈升高的趋势,土地利用生态风险指数由 2009 年的 0.024 增长至 2016 年的 0.026,再增长至 2020 年的 0.031。

根据拜城县不同等级生态风险区在各年所占比例图表和生态风险空间分布,拜城县高生态风险区面积增加,较低风险区向中等风险区转移,而较高风险区向高风险区转移;从空间分布上来看,高风险区主要集中在拜城县耕地所在区域和老城区范围及其西部工业园区周围,这可能是由于拜城县经济的发展,人口持续增长,城镇用地和工业用地需求不断扩大造成的。因此在城镇化建设中,必须认真解决环境脆弱与城镇化发展的矛盾,大力提倡建设绿色城镇化发展道路。尊重自然、顺应自然,构建与资源环境承载能力相适应的科学合理的城镇化宏观布局,严格划定城市边界,强调城乡一体化协调发展,确保城镇化进程绿色健康。

通过对拜城县土地利用的生态风险评价及预测研究,可

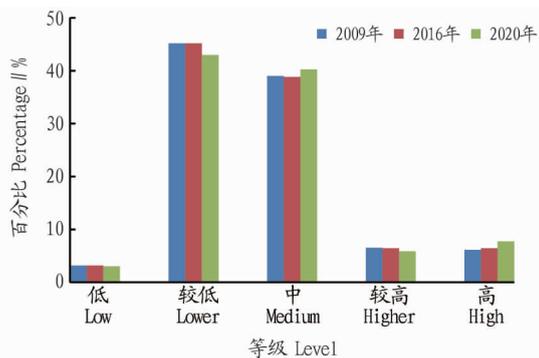


图 3 不同等级的生态风险区在各年所占比例

Fig.3 Proportion of different levels of ecological risk zones in each year

风险区占 7.75%。总体来看,2009—2016 年拜城县各风险等级面积增减幅度不大,中等风险区减少面积较多,转化为高风险区。2016—2020 年较低风险区面积减少了 2.16%,较高风险区面积减少了 0.51%,转化为了中等风险区和高风险区,生态环境总体趋于恶化。

从 2009、2014 年和 2020 年生态风险空间分布(图 4)可以看出,高风险区主要集中在拜城县耕地所在区域和老城区

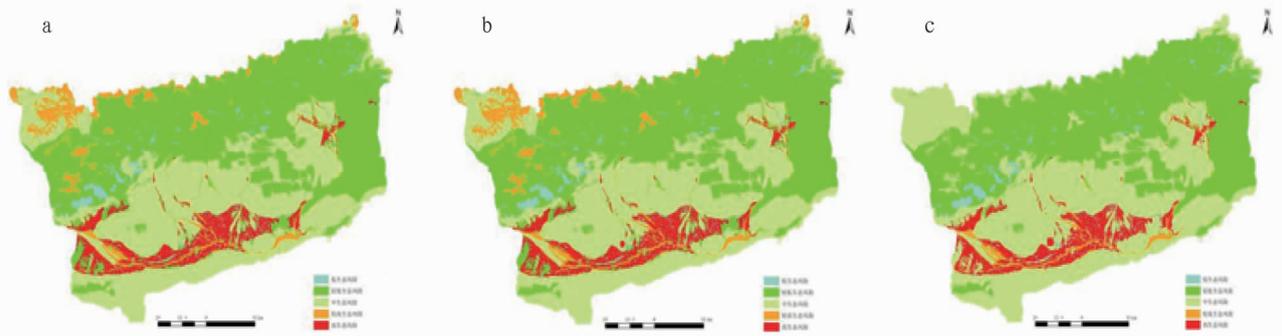


图4 2009年(a)、2016年(b)和2020年(c)拜城县生态风险空间分布

Fig.4 Spatial distribution of ecological risks in Baicheng County in 2009,2016 and 2020

以为区域的生态环境管理提供科学化的理论支持和决策依据,从而有利于维护生态完整性、降低生态脆弱性。根据土地利用生态风险逐年升高的趋势,应在高生态风险区进行环境保护和生态建设,从而提高该区基本的土地生产功能和环境功能,但是也不能忽视低生态风险区的生态文明建设,加强拜城县对生态环境的保护,促进城市可持续发展。尤其拜城县位于新疆干旱区绿洲更应加强建设生态缓冲区,修建防风阻沙隔离带,封锁培育天然植被,阻止风沙向绿洲推进;保障生态用水需求,禁止人类活动和牲畜破坏,促进易损区天然植物的更新生长;在接近绿洲的边缘区域,通过林带的防护,种植优质的牧草,改良沙地,促进其成土过程和绿洲化过程,增强绿洲边缘区的抗干扰能力和经济功能。

参考文献

- [1] 李鑫.基于3S的土地利用生态风险评价研究[D].合肥:安徽农业大学,2014.
- [2] 李虹颖.新一轮土地利用总体规划中土地生态规划研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [3] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等.干旱区绿洲土地利用/覆被及景观格局变化特征:以新疆精河县为例[J].生态学报,2009,29(3):1251-1263.
- [4] 蒙永胜,李琳,夏修国.新疆新型工业化、农牧业现代化与新型城镇化协调发展研究[J].新疆社会科学,2013(6):45-51.
- [5] 亚库普·约麦尔.新疆地区农田土地整理的实践与思考[J].科技资讯,2017,15(4):112-114.
- [6] 段少远.拜城县水能资源开发面临的问题及对策[J].新疆农垦科技,2013,36(8):42-44.

- [7] 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.
- [8] 吴楠,张永福,李瑞.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[J].水土保持研究,2018,25(2):207-212.
- [9] 吴文婕,石培基,胡巍.基于土地利用/覆被变化的绿洲城市土地生态风险综合评价:以甘州区为例[J].干旱区研究,2012,29(1):122-128.
- [10] 程珍珍,张永福,范小晶,等.基于GIS干旱区绿洲县域土地利用生态风险分析及动态预测[J].安徽农业科学,2018,46(3):44-48,52.
- [11] 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.
- [12] 李钊,张永福,张景路.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):148-151,157.
- [13] 李谢辉,谭灵芝.基于景观结构的渭河下游河流沿线区域生态风险分析[J].地域研究与开发,2009,28(6):100-105.
- [14] 郭燕燕.快速城市化地区景观生态安全分析:以深圳市为例[J].测绘与空间地理信息,2016,39(12):127-131.
- [15] 王俊智,张永福.干旱绿洲区土地利用生态风险分析及预测:以沙雅县为例[J].广东农业科学,2015,42(22):125-130.
- [16] 康璇,王雪梅.基于景观格局的新疆渭干河-库车河三角洲绿洲的生态风险评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(8):139-146,156.
- [17] 石浩朋.基于景观结构的城乡结合部区域生态风险分析:以泰安市岱岳区为例[D].泰安:山东农业大学,2013.
- [18] 胡金龙.漓江流域土地利用变化及生态效应研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [19] 居玲华,石培基.基于Markov和GM(1,1)模型的土地利用结构预测[J].农业系统科学与综合研究,2009,25(2):138-141,146.
- [20] 贺胜柏.马尔柯夫预测模型及其实证分析[J].中南财经政法大学学报,2002(2):132-135.

(上接第25页)

- [4] 赵倩,刘兆晔,刘春蕾,等.小麦新品种(系)的灰色关联度分析[J].中国农学通报,2007,23(9):259-262.
- [5] 郭瑞林.作物灰色育种学[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [6] 赵虹,胡卫国.2016-2017年度国家黄淮冬小麦品种试验总结[M].北京:中国广播电视出版社,2017:2-136.
- [7] 刘录祥,孙其信,王士芸.灰色系统理论应用于作物新品种综合评估初探[J].中国农业科学,1989,22(3):22-27.
- [8] 吴建明,谢正荣,沈小妹.灰色关联度分析法应用于水稻品种综合评判的探索[J].种子,1990(3):33-35.
- [9] 孙海潮,万金红,郭安斌,等.灰色关联度分析在玉米组合鉴定试验中的应用[J].玉米科学,2006,14(2):47-49.
- [10] 汪宝卿,张礼凤,慈敦伟,等.黄淮海地区夏大豆农艺性状与产量的相关性及其灰色关联度分析[J].山东农业科学,2010(3):20-25.
- [11] 赵世春,姚曲响,李先兵,等.应用灰色关联度综合评价杂交棉新组合[J].中国棉花,2004,31(1):12-14.
- [12] 杜淑辉,臧德奎,孙居文.木瓜属观赏品种的灰色关联度综合评价[J].山东农业科学,2011(1):12-15.

- [13] 王英杰,庄艳,刘树才.辽春系列小麦主要产量相关性状的灰色关联分析[J].辽宁农业科学,2013(1):13-16.
- [14] 胡凤灵.灰色关联度分析法在小麦产量相关因素分析中的应用[J].安徽农学通报,2008,14(11):116.
- [15] 许海霞,周扬,詹克慧,等.应用灰色关联度分析法对小麦新品种的综合评价[J].安阳工学院学报,2008(6):94-96.
- [16] 王永士,郭瑞林,贺德先,等.灰色关联度分析法在安阳市强筋小麦适宜品种筛选中的应用[J].麦类作物学报,2009,29(2):271-274.
- [17] 曲祥春,何中国,郝文媛,等.灰色关联度分析在小麦品种综合评价上的应用[J].辽宁农业科学,2004(6):6-9.
- [18] 曹廷杰,李伟,闫素红,等.河南小麦新品种(系)灰色关联度分析[J].安徽农业科学,2010,38(25):13640-13642,13647.
- [19] 苏天增,裴冬丽,侯乐新.小麦新品种的灰色关联度分析[J].河南师范大学学报(自然科学版),2000,28(4):76-80.
- [20] 赵元增,牟琪,裴玉荣,等.甜玉米主要农艺性状的灰色关联度分析[J].吉林农业大学学报,1999,21(4):12-15,25.
- [21] 陈国秋.灰色关联度分析法在谷子综合评判上的应用[J].杂粮作物,2001,21(2):16-17.