

# 基于景观格局的西南山区耕地生态风险研究

赵 馨<sup>1,2,3</sup>, 周忠发<sup>1,2,3</sup>, 朱 孟<sup>1,2,3</sup>, 王玲玉<sup>1,2,3</sup>, 吴 跃<sup>1,2,3</sup>

(1. 贵州师范大学 喀斯特研究院/地理与环境科学学院, 贵阳 550001;

2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地,

贵阳 550001; 3. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001)

**摘 要:**为探究西南山区复杂地形地貌下不同类型耕地景观生态风险差异性,探索不同石漠化环境下耕地的发展情况。选取 2013—2017 年息烽县遥感影像,利用深度学习进行耕地提取,并根据石漠化程度对耕地进行分类。综合考虑外部胁迫、土壤污染胁迫、农户干扰等不同风险源,计算了不同类型耕地景观生态风险。结果表明:(1) 5 年间息烽县耕地共减少 8 149 hm<sup>2</sup>,其中,2015 年喀斯特旱地减少占比 29%,2017 年喀斯特旱地减少占比 96%,通过计算各类耕地景观指数看出,息烽县各类耕地景观破碎度、分离度与面积变化呈反比,景观优势度与面积变化呈正比。(2) 各类耕地景观自然损失度和生态风险概率的空间及时间变化,导致息烽县耕地景观生态风险程度主要表现为西南处于低风险,南北中部地区处于高风险。时间尺度上耕地景观生态风险平均值表现为 2015 年>2013 年>2017 年,分别为 0.186,0.118,0.112。(3) 通过灰色关联矩阵分析得出,息烽县各类耕地景观风险受到城镇发展和农村现代化影响明显,且 2015 年关联度低于其余年份。研究发现,不同程度石漠化下的耕地生态风险存在差异性。

**关键词:**石漠化耕地;生态风险;分层分级;景观格局;西南地区

中图分类号:S181; X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)06-0362-08

## Research on Ecological Risk of Karst Rocky Desertification Cultivated Land Based on Landscape Pattern

ZHAO Xin<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Zhongfa<sup>1,2,3</sup>, ZHU Meng<sup>1,2,3</sup>, WANG Lingyu<sup>1,2,3</sup>, WU Yue<sup>1,2,3</sup>

(1. School of Geography and Environmental Science/Institute of Karst Science, Guizhou Normal University,

Guiyang 550001, China; 2. State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province,

Guiyang 550001, China; 3. State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** In order to explore the differences in landscape ecological risks of different arable land types under complex terrain in the Southwest Mountainous Area, and explore the development of cultivated land under different rocky desertification environments, we selected remote sensing images of Xifeng County in the period 2013—2017, used deep learning to extract, and classified the cultivated land according to rock desertification grades. Integrally considering different risk sources such as external stress, soil pollution stress, and farmers' interference, we calculated the ecological risks of different types of cultivated land landscape. The results showed that: (1) the cultivated land in Xifeng County had decreased by 8 149 hm<sup>2</sup> in the past five years; among which the karst dry land decreased by 29% in 2015, and the karst dry land decreased by 96% in 2017; it could be seen that the fragmentation and separation of various cultivated land landscapes in Xifeng County were inversely proportional to area changes, and the degree of landscape dominance was directly proportional to area changes by calculating the index of various cultivated land landscapes; (2) the spatial and temporal changes in the natural loss and ecological risk probability of various types of cultivated land landscapes had resulted in the ecological risk of cultivated land landscapes in Xifeng County with low risk in the southwest and high risk in the north and south; the average ecological risk of cultivated land landscape on the time scale decreased in the order: 2015>2013>2017, which were 0.186, 0.118, and 0.112, respectively; (3) based on the grey correlation proof analysis, it was concluded that the risk of various cultivated land

收稿日期:2020-01-13

修回日期:2020-02-29

资助项目:国家自然科学基金(41661088);贵州省高层次人才培养计划——“百”层次人才(黔科合平台人才[2016]5674);贵州省石漠化耕地调查、五千亩以上坝区耕地调查专题研究(GTGHY2018)

第一作者:赵馨(1996—),女,贵州毕节人,硕士研究生,研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail:1303873722@qq.com

通信作者:周忠发(1969—),男,贵州遵义人,博导,教授,主要从事喀斯特生态环境、GIS与遥感研究。E-mail:fa6897@163.com

landscapes in Xifeng County was significantly affected by urban development and rural modernization, and the correlation in 2015 was lower than in other years. This study found that the ecological risk of cultivated land under different levels of rocky desertification was different.

**Keywords:** rocky desertification farmland; ecological risk; hierarchical classification; landscape pattern; southwest China

耕地作为土地利用中的重要类型,是重要且稀缺的农业生产要素,在维持人类生产生活中起到不可替代的作用。人类利用耕地的生物生产功能以实现提供粮食和其他生物产品的目的,并在长期的利用中形成了一种特殊的人工生态系统,即耕地系统<sup>[1-2]</sup>。我国西南山区是典型的喀斯特景观发育地区,由于喀斯特景观脆弱的生态环境和严峻的人地关系<sup>[3-4]</sup>,造成了西南片区的石漠化现象。石漠化造成的水土流失、岩石裸露,会对耕地的生物生产功能造成影响,该地域系统下的耕地变化能够直接反映人类活动对生态环境的影响程度<sup>[5]</sup>。耕地生态风险表征着耕地系统及其组分所受的风险<sup>[6]</sup>,常用以表示地区耕地所受外界环境影响的程度。

目前,国内外学者对于生态风险的研究主要集中于流域<sup>[7-9]</sup>、土壤<sup>[10-11]</sup>、综合土地利用<sup>[12-14]</sup>等的生态风险评价。虽然学者对于区域耕地生态风险评价较为广泛,如刘迪等<sup>[15]</sup>利用农耕生态风险概率与自然—社会复合系统损失度耦合的综合生态评价体系,探究生态风险变化与其地形梯度关系;彭文君等<sup>[16]</sup>基于景观生态安全理论选取景观指数建立耕地景观生态安全评价模型,并分析其演变过程。但对于喀斯特地区受石漠化影响下的耕地生态风险研究尚少。

贵州作为典型喀斯特地区之一,山地生态脆弱且存在着以石漠化为主的土地退化<sup>[17-18]</sup>,耕地景观作为土地利用中最大的人为景观<sup>[19-20]</sup>,相对于其他土地利用景观,能直观体现出人类活动与生态系统的交互关系。随着经济的快速发展,人类生活方式的逐渐改变,人类与耕地交互方式发生变化,其经济发展与生态环境之间存在着一种交互作用、相互耦合的关系<sup>[21]</sup>,对于耕地系统的影响程度也在不断发生变化。本文对息烽县耕地开展研究,结合喀斯特地区复杂地形地势,综合考虑到水源距离胁迫、道路距离胁迫与地形起伏因子对耕地景观生态的影响,探索不同石漠化环境下耕地发展情况,进而研究息烽县境内5年间耕地生态风险变化,准确区分不同石漠化程度耕地景观生态风险分布。有助于理解在喀斯特地区社会经济发展的同时,其生态系统变化情况,并完善喀斯特地区生态保护与经济发展协调政策。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

息烽县地处黔中山原丘陵中部,贵阳市北部,位

于 $106^{\circ}27'—106^{\circ}53'E, 26^{\circ}57'—27^{\circ}19'N$ 。地势南高北低,最高点南望山海拔1 749.6 m,最低点乌江出境处大塘口海拔609 m(图1)。属北亚热带和南温带季风气候区,碳酸盐岩分布广,喀斯特地貌发育充分,其喀斯特地貌占据息烽县总面积的90%。石漠化程度主要以无明显石漠化与潜在石漠化、轻度石漠化为主,南部地区和东部地区石漠化程度较小,中偏西方向石漠化程度较严重。息烽县耕地总面积约3万 $hm^2$ ,以坡耕地为主要存在形式,近年来,由于生态退耕、建筑占用等原因,致使息烽县耕地总量持续减少。

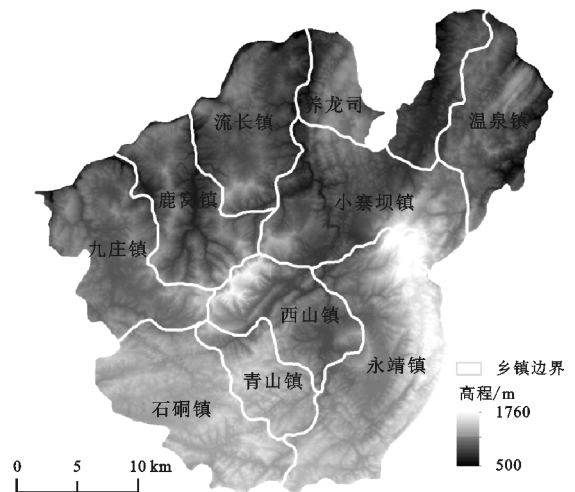


图1 研究区高程

### 1.2 数据准备

1.2.1 数据来源 遥感数据采用2013年0.5 m分辨率的航拍数据、2015年0.8 m分辨率的高分二号影像、2017年0.8 m分辨率的高分二号影像,来源于国家遥感中心贵州分部,拍摄时期均为夏季;2013年、2015年、2017年经济数据来自于息烽县2014年、2016年、2018年统计年鉴、同年经济发展公告等相关政府公示文件;DEM数据来源于地理空间数据云,分辨率为30 m;坡度地形数据由DEM计算得到;道路、水源、石漠化分级数据来源于国家遥感中心贵州分部。

1.2.2 数据处理 对影像数据进行深度学习提取到息烽县2013年、2015年、2017年耕地数据,深度学习能够较好地提取耕地斑块信息,各地类的用户精度、生产者精度较高。提取结果总体精度达到87.47%,Kappa系数是0.84,达到了较优的提取效果,数据符合研究要求。以乡镇为研究单元将息烽县划分为10个生态风险区。

### 1.3 研究方法

1.3.1 耕地景观分级 参考周忠发等<sup>[22]</sup>的石漠化分

级,喀斯特地区石漠化等级划分为无明显石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化、极强度石漠化 6 个等级。将耕地数据与石漠化数据进行关联,得到耕地的石漠化分级数据,由于中度石漠化程度以上的地区无法满足耕地的种植条件,并且研究区中度以上石漠化耕地数量只有 7 个斑块,所以本文不考虑中度以上石漠化耕地。水田由于需要良好的保水性,在本文中默认为喀斯特水田不受石漠化程度的影响,只将水田进行喀斯特与非喀斯特地区的划分。则按照该分级系统可将息烽县耕地可分级为:非喀斯特水田、非喀斯特旱地、喀斯特水田、无明显石漠化旱地、潜在石漠化旱地、轻度石漠化旱地、中度石漠化旱地(表 1)。

表 1 耕地分类

地形地貌	耕地类型	典型特点
非喀斯特地区	非喀斯特水田	坡度平缓,保水性强
	非喀斯特旱地	坡度平缓,土质良好
	喀斯特水田	土地保水性较强
	无明显石漠化旱地	地势平缓,土质较好
喀斯特地区	潜在石漠化旱地	存在水土流失风险
	轻度石漠化旱地	有岩石出露,土层薄
	中度石漠化旱地	水土流失严重

1.3.2 耕地生态风险求取 景观生态风险评价中所涉及的风险源一般包括自然风险源与人为风险源<sup>[23]</sup>。耕地是人类发展过程中形成的农业景观,根据李景刚等<sup>[24]</sup>相关研究,其生态风险受外部压力、景观暴露性以及景观稳定性影响,本文中耕地景观的生态风险是根据风险概率及风险损失的乘积,分别对不同石漠化等级耕地进行求取。其中所涉及到的权重赋值<sup>[25-26]</sup>都是根据熵权法计算得到,具体流程如图 2 所示。

喀斯特地区耕地除了受到剧烈的人为影响之外,还受到复杂地区的影响,于是分别选取道路、地形、水源、农户施肥量、土地利用比作为喀斯特地区耕地的风险源;选取景观指数中景观破碎度、景观分离度、景观优势度等参数,计算得到景观自然损失度。结合生态损失指数法<sup>[27]</sup>,计算景观干扰指数  $S_i$  与景观脆弱度指数  $F_i$  综合得到景观生态风险程度。具体计算公式表示为:

$$CER_i = AERP_i \cdot NSLI_i \tag{1}$$

式中:  $CER_i$  为风险区  $i$  的综合生态风险;  $AERP_i$ ,  $NSLI_i$  分别为风险区  $i$  的耕地生态风险概率和景观自然损失度。

(1) 景观风险概率计算。耕地景观风险概率是农户干扰胁迫因子、土壤污染胁迫与外部距离胁迫之间的综合表征,本文中又将外部胁迫因子划分为道路胁迫因子、地形胁迫因子、水源胁迫因子。计算得出农户干扰因子、土壤污染胁迫因子、道路胁迫因子、水

源胁迫因子、地形胁迫因子权重取值为:0.29,0.23,0.16,0.18,0.14。计算公式为:

$$AERP_i = \sum_{j=1}^5 \lambda_j P_{ij} \tag{2}$$

式中:  $AERP_i$  为景观风险概率;  $\lambda_j$  为风险源的权重;  $P_{ij}$  为各风险胁迫;  $i$  为风险区;  $j$  为风险源种类(农户干扰胁迫、土壤污染胁迫、道路、水源距离胁迫、地形起伏)。

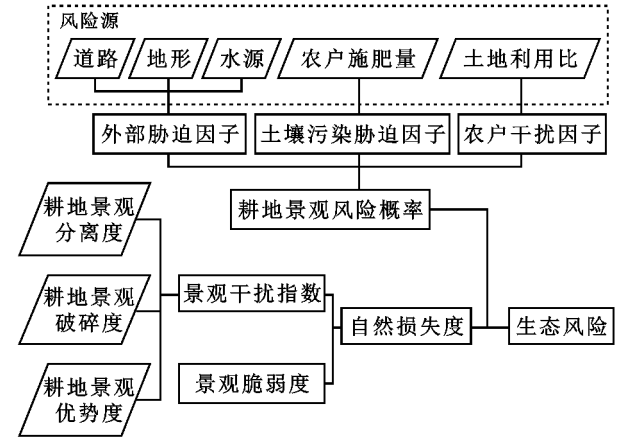


图 2 耕地景观生态风险求取流程

农户干扰因子:耕地景观受到的人类活动影响程度不断加深,农户干扰胁迫是指农民对景观环境施加的胁迫<sup>[28]</sup>。由于耕地是一种特殊的人为景观,其面积的大小体现出农户对于环境的影响程度,本文利用土地利用比(耕地面积与土地总面积的比值)作为农户干扰胁迫。

土壤污染胁迫因子:耕地景观最直接和最明显的污染源来自于农药化肥的影响,故利用农户施肥量(农业化肥量与耕地总面积的比值)作为各生态区的土壤污染胁迫。其农药化肥量包括复合肥、磷肥、钾肥使用总量。

外部胁迫因子:外部胁迫包括道路、地形、水源对耕地分布环境造成的胁迫。道路与水源的距离一定程度上与生态服务价值呈反比,其距离越近,生态服务价值降低风险概率越大,即景观生态风险也就越大。相应的,地形起伏越大的地区,其耕地生态服务降低的风险也相对大。

$$DIS = \frac{1}{1 + (d/\delta_j)} \tag{3}$$

$$S_x = \begin{cases} 1 & slope \leq 5 \\ -0.1slope + 1.5 & 5 < slope < 15 \\ 0 & slope \geq 15 \end{cases} \tag{4}$$

式中:  $DIS$  为其距离胁迫;  $d$  为距离变量,结合 ArcGIS 空间分析,计算各耕地类型地块与水源点和道路的距离,并以生态区为单位计算各类型的距离平均值  $d$ ;  $\delta_j$  为距离衰减系数,文章中衰减系数取值 500。  $S_x$  为坡度胁迫风险概率;  $slope$  为斑块坡度,将坡度值赋值到不同耕地地块中,求得不同地块坡度胁迫,按照所占比重情况



计算最后生态区的坡度胁迫风险概率值。

(2) 自然损失度计算。自然损失度由景观干扰指数和景观脆弱度指数求得,分别得到每类耕地在不同风险区的自然损失度。

$$NSLI_i = S_i \cdot F_i \tag{5}$$

式中:  $NSLI_i$  为风险区自然损失度;  $S_i$  为  $i$  风险区的景观干扰度指数;  $F_i$  为  $i$  风险区的景观脆弱度指数。

① 景观干扰指数。由于不同景观在结构、功能、分布等方面有所差异,其对外界的抗干扰能力也不同,根据景观破碎度指数、景观分离度指数、景观优势度指数所计算得出的景观干扰度指数( $S_i$ ),可以表征不同景观所代表的生态系统受到的干扰程度。本文中结合息烽县实际情况,并根据不同采样小区的对比,发现以 400 m×400 m 为采样小区面积,所包含的地类最全面,所以本文以 400 m×400 m 建立息烽县渔网以作为息烽县采样小区,计算景观优势度等参数。查阅相关资料并结合喀斯特地区地形因素,认为景观破碎度指数相较于景观破碎度和景观分离度更为重要,其次,景观分离度较景观优势度更为重要,则将各自权重分别赋予 0.6,0.3,0.1 以计算景观干扰指数,具体公式参照谢花林<sup>[29]</sup>、李谢辉等<sup>[30]</sup>文章。

② 景观脆弱度指数。景观脆弱度指数( $F_i$ )是景观脆弱状况的定量化表达,本文按照石漠化分级将耕地分为 7 种类型。由于石漠化伴随着土壤物理性质变差、土壤养分下降、土地质量退化,随着石漠化程度的加剧,其景观脆弱性也随之加剧<sup>[31]</sup>,因此本文分别对 7 种类型赋予脆弱度指数:非喀斯特地区水田为 1,非喀斯特地区旱地为 2,喀斯特地区水田为 3,无明显石漠化地区旱地为 4,潜在石漠化地区旱地为 5,轻度石漠化地区旱地为 6,中度石漠化地区旱地为 7,并对其进行归一化处理。

1.3.3 灰色关联矩阵计算相关性 为验证耕地生态风险与经济发展存在的相关性,本文选取乡村从业人数、工业增加量、农业机械总动力、农村用电量、城镇人均收入、农村人均收入、第三产业收入、城镇人口、总人口等指标与耕地生态风险进行灰色关联矩阵分

析。由于数据之间的量纲不同,计算关联度之前需对数据进行标准化处理,得到景观生态风险变化矩阵与城镇化指标变化矩阵,标准化方法为:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \tag{6}$$

式中:  $X'_{ij}$  为标准化值;  $X_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  个指标;  $\min(X_{ij})$ ,  $\max(X_{ij})$  分别为  $X_{ij}$  中的最小值和最大值。

灰色关联分析方法表达式为:

$$\epsilon_i(k) = \frac{\min \min |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max |x_0(k) - x_i(k)|} \tag{7}$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k) \tag{8}$$

式中:  $\epsilon_i(k)$  为  $x_i$  列与  $x_0$  列的第  $k$  个元素间的关联系数;  $r_i$  为关联度;  $\rho$  为分辨系数,用以削弱  $\Delta(\max)$  过大而引起的误差,通常取 0.5。参数  $\min$  与  $\max$  的取值通过对比不同时期指标的绝对差值确定。

2 结果与分析

2.1 研究区耕地总体变化概况

由 2013—2017 年息烽县耕地面积分布变化情况可看出(表 2): 息烽县耕地总数 5 年间持续减少, 2015 年耕地总数减少 3 627 hm<sup>2</sup>, 2017 年耕地减少 4 522 hm<sup>2</sup>。息烽县耕地主要集中在喀斯特地区,以旱地为主, 2013 年、2015 年、2017 年息烽县旱地数量分别占耕地总数的 79%, 78%, 73%。由于非喀斯特耕地相对于喀斯特耕地抗风险能力强,最初非喀斯特耕地的占用导致其减少情况明显, 2015 年旱地总体减少 3 215 hm<sup>2</sup>, 其中,非喀斯特旱地减少 2 267 hm<sup>2</sup>, 减少百分比为 71%; 相对之下喀斯特耕地减少程度轻,潜在石漠化旱地、轻度石漠化旱地分别减少了 832, 309 hm<sup>2</sup>, 无明显石漠化旱地的数量增加了 190 hm<sup>2</sup>。随着城镇化进程的加快,经济发展保障居民粮食需求,使得退耕弃耕和占用的旱地数量增多, 2017 年各个类型旱地都出现不同程度的减少,喀斯特地区旱地的数量减少明显, 总共减少了 4 370 hm<sup>2</sup>, 其中无明显石漠化、潜在石漠化减少数量占 39%, 32%。

表 2 耕地面积变化情况					hm <sup>2</sup>
耕地类型	2013 年	2015 年	2013—2015 年变化情况	2017 年	2015—2017 年变化情况
非喀斯特水田	1147.90	1372.99	225.09	1234.12	—138.87
非喀斯特旱地	4427.56	2160.67	—2266.89	1283.61	—877.06
喀斯特水田	7579.57	6942.17	—637.39	7805.27	863.10
无明显石漠化旱地	7717.44	7907.88	190.44	6100.39	—1807.49
潜在石漠化旱地	10700.28	9867.76	—832.52	8387.93	—1479.83
轻度石漠化旱地	9706.21	9397.43	—308.78	8433.54	—963.89
中度石漠化旱地	678.36	680.81	2.45	561.99	—118.82
总面积	41957.33	38329.72	—3627.61	33806.86	—4522.86

息烽县水田数量较少,增减大多是梯田复垦和撂荒所致。2013 年水田数量为 8 728 hm<sup>2</sup>, 2015 年喀斯特水

田减少 637 hm<sup>2</sup>,非喀斯特水田增加 525 hm<sup>2</sup>,总体减少 412 hm<sup>2</sup>;2017 年喀斯特水田增加 863 hm<sup>2</sup>,非喀斯特水田减少 438 hm<sup>2</sup>,总体增加 724 hm<sup>2</sup>。

2.2 耕地景观演化特征

耕地景观破碎度、分离度、优势度主要受到耕地面积、数量的影响,景观破碎度表征景观被分割的破碎程度;景观分离度表示同一景观类型不同斑块的分离程度;景观优势度则用于测定景观结构中多对景观的分配程度。根据息烽县 2013—2017 年耕地景观特征变化情况(表 3)可看出:(1) 息烽县耕地破碎度变化水田和旱地存在差异,其中非喀斯特水田破碎度表现为 2013 年>2017 年>2015 年,喀斯特水田破碎度差异表现为 2015 年>2017 年>2015 年;旱地破碎度 5 年来呈持续上升状态,非喀斯特旱地 5 年来景观破碎度增加了 0.38,无明显石漠化旱地增加了 0.25,潜在石漠化旱地增加了 0.41。总体而言,息烽县耕地破碎度与面积变化呈正比,说明耕地的减少使得耕地的分割现象严重。(2) 息烽县耕地分离度时空差异较显著,喀斯特地区各类旱地呈现逐年递增现象,总体变化与面积变化呈反比。说明喀斯特旱地减少加剧了旱地的空间异质性。(3) 除喀斯特水田景观优势度呈现微弱上升之外,其余耕地景观优势度总体呈下降趋势,与耕地减少情况呈正比,说明在 5 年的耕地景观演化中,息烽县各类耕地周边环境趋于复杂。

2.3 耕地景观空间配置特征

耕地的自然损失度主要受到耕地景观的变化情况影响,由息烽县耕地景观的自然损失度(图 3)可看出,5 年间息烽县耕地自然损失度大致呈现西南、东北低,南北及中部高的空间分布格局。乡镇尺度上,西南地区包括九庄镇、石碕镇、青山镇等乡镇 5 年间自然损失度变化不大,并且处于较低值;石碕镇自

然损失度持续减少;永靖镇、西山镇东南边自然损失度持续增大;温泉镇、养龙司镇、小寨坝镇自然损失度 2015 年增加后 2017 年减少。结合研究区石漠化等级划分(图 4),息烽县主要以无明显石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化为主,各类型石漠化旱地在不同乡镇自然损失度具有差异性,如石碕镇无明显石漠化耕地 5 年间自然损失度持续降低;永靖镇轻度石漠化旱地自然损失度持续上升;由于各地对不同石漠化等级旱地的占用和使用情况不同,造成自然损失度也存在差异。

表 3 息烽县耕地景观特征变化情况

景观指数	耕地类型	2013 年	2015 年	2017 年	指数变化情况
破碎度	非喀斯特水田	0.84	0.75	0.77	
	非喀斯特旱地	0.5	0.51	0.88	
	喀斯特水田	0.64	0.9	0.78	
	无明显石漠化旱地	0.72	0.79	0.97	
	潜在石漠化旱地	0.56	0.6	0.97	
	轻度石漠化旱地	0.6	0.61	0.85	
分离度	中度石漠化旱地	0.64	0.8	0.88	
	非喀斯特水田	1.98	1.9	2.41	
	非喀斯特旱地	2.01	1.7	2.19	
	喀斯特水田	0.92	1.17	0.91	
	无明显石漠化旱地	0.97	1.02	1.14	
	潜在石漠化旱地	0.72	0.73	0.98	
优势度	轻度石漠化旱地	0.79	0.79	0.97	
	中度石漠化旱地	2.58	3.08	3.17	
	非喀斯特水田	0.23	0.23	0.14	
	非喀斯特旱地	0.17	0.22	0.17	
	喀斯特水田	0.31	0.31	0.32	
	无明显石漠化旱地	0.32	0.33	0.29	
	潜在石漠化旱地	0.38	0.4	0.35	
	轻度石漠化旱地	0.37	0.38	0.32	
	中度石漠化旱地	0.16	0.15	0.13	

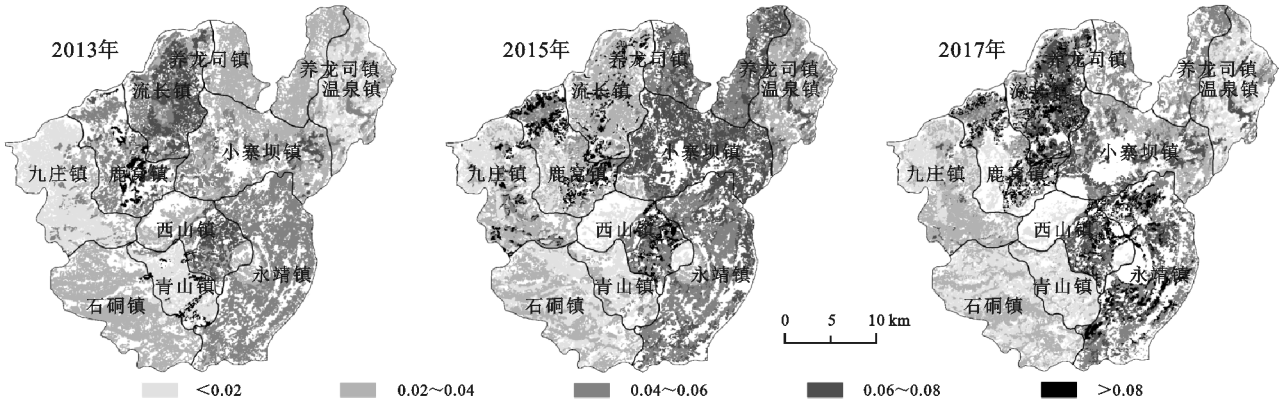


图 3 息烽县耕地景观自然损失度

耕地景观生态风险概率主要是受到耕地所处环境的情况影响。从息烽县耕地景观生态风险概率分布图(图 5)可看出,息烽县耕地生态风险概率空间差异不大,说明息烽县各乡镇之间的耕地所处环境差异

性不明显。九庄镇、青山镇生态风险概率比同年其余乡镇高,对比发现,九庄镇耕地占比最大,坡耕地数量大,潜在、轻度石漠化耕地较多,所以导致该地区耕地生态风险概率较大;青山镇由于面积小,虽然耕地较



少但受到人类影响强度大,导致风险概率高。时间尺度上,2015 年息烽县耕地景观生态风险概率明显高于 2013 年与 2017 年,这是由于 2015 年大量耕地占用,并且大部分处于发展在建中,导致耕地距离水源、道路的距离都有所增加,为满足粮食需求,农药化肥使用量增加,导致 2015 年整体生态风险概率高。2017 年由于经济发展、道路修建、水源保障的原因,促使耕地景观生态风险概率正向发展。

2.4 耕地生态风险状况

息烽县耕地景观生态风险指数五年间整体变化有明显的起伏性(表 4),由于数据量纲较小,为便于查看统计,本文将所计算得到的生态风险值扩大 10 倍,并对比不同耕地类型耕地景观生态风险值。2013 年耕地生态风险平均值为 0.118,2015 年上升到 0.186,2017 年再次

下降到 0.112,表明研究区耕地生态风险值存在波动性。

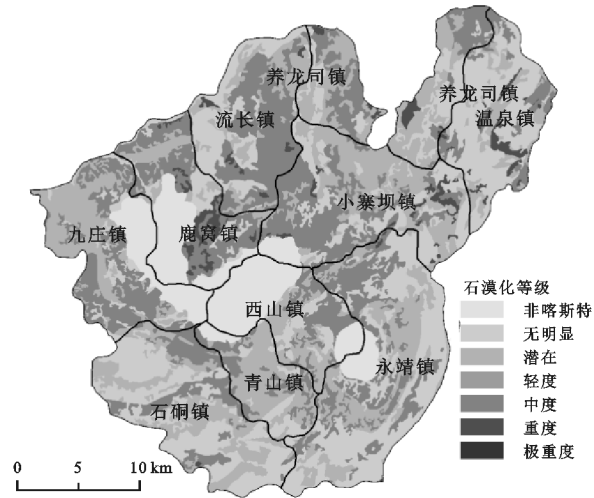


图 4 研究区石漠化等级

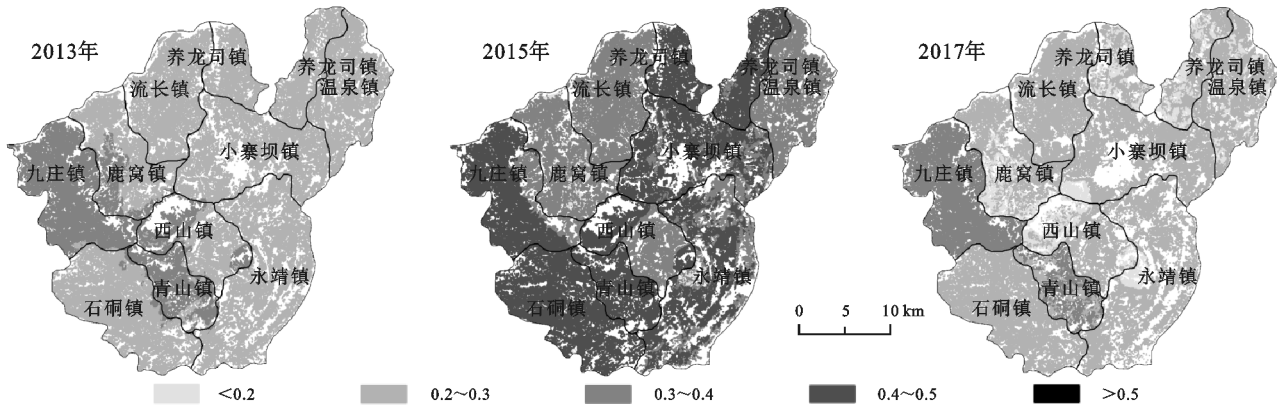


图 5 息烽县耕地景观生态风险概率

表 4 息烽县各类耕地生态风险平均值

类型	2013 年	2015 年	2017 年
非喀斯特耕地	0.122	0.102	0.077
非喀斯特水田	0.024	0.034	0.031
喀斯特水田	0.087	0.201	0.110
无明显石漠化旱地	0.150	0.246	0.111
潜在石漠化旱地	0.090	0.146	0.098
轻度石漠化旱地	0.131	0.205	0.153
中度石漠化旱地	0.223	0.370	0.201
平均值	0.118	0.186	0.112

随着城镇化进程的推进,耕地所受到的干扰力度不断增大,息烽县耕地生态风险也在不断变化。2015 年耕地生态风险明显上升,而 2017 年各类耕地景观生态风险程度下降,说明经济增长的同时,耕地利用更加趋近于合理化,无论是耕地景观布局还是耕地周边环境都趋于正向发展。将不同乡镇各类耕地的生态风险进行空间可视化(图 6),可看出息烽县 10 个乡镇及街道耕地生态风险状况差异特征显著:2013 年南北及中部耕地生态风险程度高;2015 年由于道路修建及城镇化建设,促使永靖镇(城区)南北方向交通带耕地占用比例大、聚集程度

低、破碎耕地开发强,导致该南北交通纽带生态风险增高明显;2017 年城镇化建设基本完成,息烽县整体生态风险下降。5 年来息烽县耕地生态风险变化格局主要划分为西南地区、南北中部地区、东北地区:西南地区由于开发力度小,5 年间所受外界干扰弱,致使以石碕镇为代表的西南乡镇耕地生态风险一直较低;南北中部地区由于是城区和交通枢纽地段,耕地 5 年间生态风险处于高风险;东北温泉镇受到旅游开发影响,生态风险在 2015 年有所上升,但由于该地自然条件良好,环境保护程度高,促使生态风险比其余开发强的乡镇低。

2.5 生态风险与经济相关性分析

由于在经济发展的同时,耕地生态风险也存在变化,为进一步探讨经济对不同耕地类型的影响,计算 2013—2017 年各类耕地生态风险与所选指标的关联程度如图 7 所示,关联度总体表现为:与城镇人均收入关联度最高,其次与乡村从业人数、第三产业收入、农村用电量关联度较高,与总人口数、农村人均收入关联程度普遍较低。对比之下,城镇发展与农村现代化程度是息烽县耕地生态风险的主要影响因素,符合研究区实际。由关联度年度变化可看出,2015 年耕地生态风险与经济

关联度比其余两年低,说明在建设阶段,耕地的生态风险与经济同步程度较弱,而在发展前期和后期,生态风险与经济一致性程度高。对比不同耕地类型生态风险与经济关联度结果,非喀斯特水田与城镇人均收入关联度明显,调查发现息烽县非喀斯特水田主要分布于永靖镇(城区)西北侧,受到城区发展水平的影响,其生态风险与经济关联度 5 年间都略高于其余耕地;非喀斯特旱

地 2015 年后受到城镇人均收入影响增大;对于无明显石漠化旱地、潜在石漠化旱地、轻度石漠化旱地、中度石漠化旱地等石漠化旱地而言,2017 年这几类耕地生态风险与经济关联度趋于一致,说明 2017 年后对于经济对这几类耕地的影响程度在往一致性发展。对比之下,城镇发展与农村现代化程度是息烽县耕地生态风险的主要影响因素,符合研究区实际。

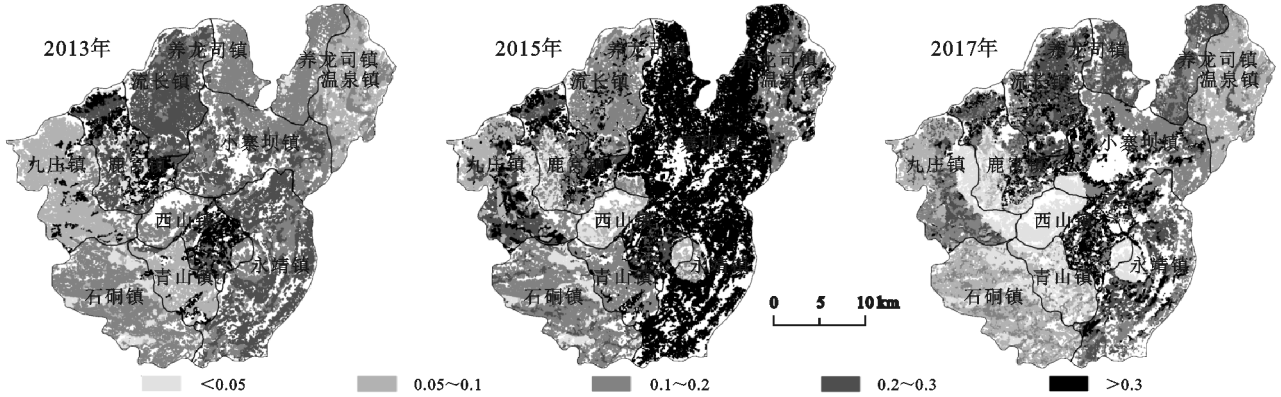
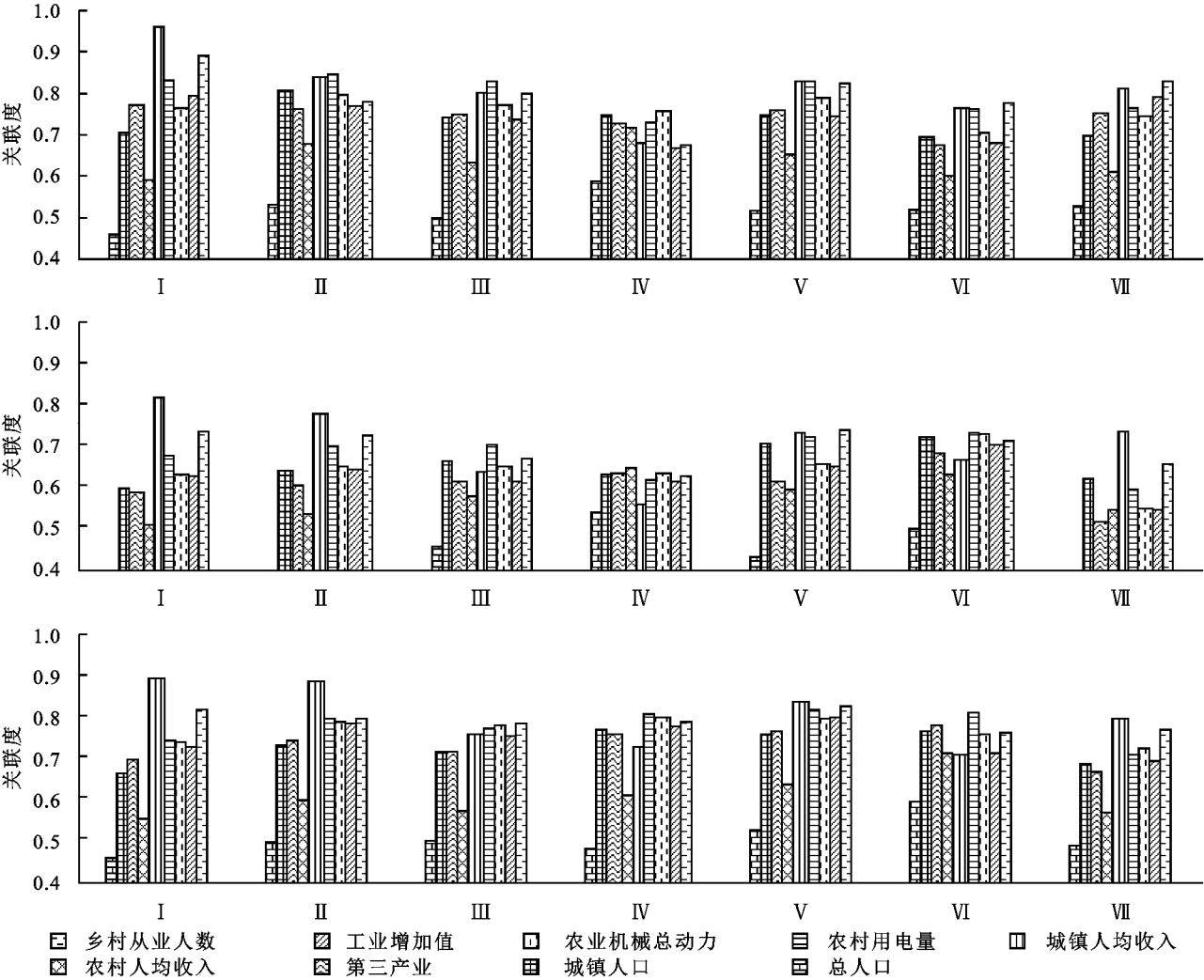


图 6 息烽县耕地景观生态风险



注: I—Ⅶ分别表示非喀斯特水田、非喀斯特旱地、喀斯特水田、无明显石漠化旱地、潜在石漠化旱地、轻度石漠化旱地、中度石漠化旱地。

图 7 生态风险与经济关联度

### 3 结论

(1) 息烽县5年间耕地持续减少,5年间耕地共减少8 149 hm<sup>2</sup>。主要是由于耕地占用导致的耕地减少,以旱地减少为主,2015年主要以非喀斯特旱地减少为主,这是由于道路的修建及城镇化建设优先占用质量较好的耕地,非喀斯特耕地水土流失程度较低,抵御外界风险能力较强;2017年由于退耕休耕以及耕地,喀斯特地区耕地减少明显。

(2) 息烽县喀斯特旱地破碎度、分离度与面积变化呈反比,优势度与面积变化呈正比,说明息烽县耕地占用了部分大面积耕地以及增加了未占用耕地的分割现象。

(3) 息烽县耕地自然损失度与风险概率受到城镇化建设及道路修建的影响情况明显,导致自然损失度南北及中部偏高,西南东北地区较低的现象。

(4) 息烽县生态风险具有波动性,主要受到城镇化建设、道路交通以及旅游发展的影响,2015年生他风险普遍较高,2017年降低,说明2017年耕地布局及利用更加趋近于合理化。

(5) 通过生态风险与经济关联度对比,息烽县耕地生态风险与城镇收入、乡村从业人口、第三产业收入、农村用电量等城镇发展和农村现代化程度关联程度较高。并且在城镇化建设阶段,耕地生态风险与经济关联程度较低。

本文以耕地景观变化及外界环境所施加的影响构建模型计算息烽县景观生态风险,研究表明,不同石漠化耕地景观生态风险存在差异,并且在不同地区差异性也不相同。本研究初步选取几类经济指标与各类型耕地景观生态风险进行灰色关联分析,但耕地同时受到气候、温度、降水等的影响,后期需要进一步完善指标体系的选取,并对息烽县耕地生态风险影响因素进一步深化研究。

#### 参考文献:

- [1] 车裕斌.论耕地资源的生态价值及其实现[J].生态经济, 2004(S1):224-228.
- [2] 王雅敬,谢炳庚,李晓青,等.喀斯特地区耕地生态承载力供需平衡[J].生态学报,2017,37(21):7030-7038.
- [3] 杨庆媛,毕国华,陈展图,等.喀斯特生态脆弱区休耕地的空间配置研究:以贵州省晴隆县为例[J].地理学报, 2018,73(11):2250-2266.
- [4] 李阳兵,谭秋,王世杰.喀斯特石漠化研究现状、问题分析与基本构架[J].中国水土保持科学,2005,3(3):27-34.

- [5] 刘纪远,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.
- [6] 付在毅,许学工.区域生态风险评价[J].地球科学进展, 2001,16(2):267-271.
- [7] 张天华,王彤,黄琼中,等.青藏高原拉萨河流域生态风险评估[J].生态学报,2018,38(24):9012-9020.
- [8] Park J, Lee S, Lee E, et al. Probabilistic ecological risk assessment of heavy metals using the sensitivity of resident organisms in four Korean rivers[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 183 (15). DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109483.
- [9] Ji Z, Zhang H, Zhang Y, et al. Distribution, ecological risk and source identification of heavy metals in sediments from the Baiyangdian Lake, Northern China[J]. Chemosphere, 2019, 237. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124425.
- [10] 沃惜慧,杨丽娟,曹庭悦,等.长期定位施肥下设施土壤重金属积累及生态风险的研究[J].农业环境科学学报,2019,38(10):2319-2327.
- [11] Ramos-Miras J, Gil C, Martin J A R, et al. Ecological risk assessment of mercury and chromium in greenhouse soils [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2020,42(1):313-324.
- [12] Peng L, Dong B, Wang P, et al. Research on ecological risk assessment in land use model of Shengjin Lake in Anhui Province, China [J]. Environmental Geochemistry and Health. 2019,41(6):2607-2629.
- [13] 虞燕娜,朱江,吴绍华,等.多风险源驱动下的土地生态风险评价:以江苏省射阳县为例[J].自然资源学报, 2016,31(8):1264-1274.
- [14] 张洪,王安琦,宋贝扬.基于OWA的大理市土地生态安全评价研究[J].地理科学,2017,37(11):1778-1784.
- [15] 刘迪,陈海,梁小英,等.黄土丘陵沟壑区生态风险动态变化及其地形梯度分析:以陕西省米脂县为例[J].生态学报,2018,38(23):8584-8592.
- [16] 彭文君,舒英格.喀斯特山区县域耕地景观生态安全及演变过程[J].生态学报,2018,38(3):852-865.
- [17] 李阳兵,罗光杰,白晓永,等.典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系:案例研究[J].生态学报,2014,34(9):2195-2207.
- [18] 周忠发,田涟祎,殷超,等.人为干预下喀斯特峰丛盆地不同土地利用类型的土壤理化性质[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2017,35(4):1-6,30.
- [19] 石晓丽,史文娇.气候变化和人类活动对耕地格局变化的贡献归因综述[J].地理学报,2015,70(9):1463-1476.



- 学工业出版社,2007.
- [6] 刘长宝,王月海,王卫东.滨海盐碱湿地不同恢复区域的植被特征分析[J].山东林业科技,2010(5):45-48.
- [7] 候本栋,马风云,邢尚军,等.黄河三角洲不同演替阶段湿地群落的土壤和植被特征[J].浙江林学院学报,2007,24(3):313-318.
- [8] 李庆梅,候龙鱼,刘艳,等.黄河三角洲盐碱地不同利用方式土壤理化性质[J].中国生态农业学报,2009,17(6):1132-1136.
- [9] 高鹏,李增嘉,杨慧玲,等.渗灌与漫灌条件下果园土壤物理性质异质性及其分形特征[J].水土保持学报,2008,22(2):155-158.
- [10] 丁晨曦,李永强,董智,等.不同土地利用方式对黄河三角洲盐碱地土壤理化性质的影响[J].中国水土保持科学,2013,11(2):84-89.
- [11] 张建锋,宋玉民,邢尚军,等.盐碱地改良利用与造林技术[J].东北林业大学学报,2002,30(6):124-129.
- [12] 刘娜娜,赵世伟,王恒俊.黄土地陵沟壑区人工柠条林土壤水分物理性质变化研究[J].水土保持通报,2006,26(3):15-17.
- [13] 刘福德,孔令刚,安树青,等.连作杨树人工林不同生长阶段林地土壤微生态环境特征[J].水土保持学报,2008,22(2):121-125.
- [14] 巍强,张秋良,代海燕,等.大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J].水土保持学报,2008,22(2):111-115.
- [15] 夏江宝,徐景伟,李传荣,等.黄河三角洲退化刺槐林不同改造方式对土壤酶活性及理化性质的影响[J].水土保持通报,2012,32(5):171-175,181.
- [16] 白麟,杨建英,韩雪梅,等.3 种造林模式对北京北部人工水源涵养林地土壤肥力的影响研究[J].水土保持研究,2011,18(6):75-78.
- [17] 王群,夏江宝,张金池,等.黄河三角洲退化刺槐林地不同改造模式下土壤酶活性及养分特征[J].水土保持学报,2012,26(4):133-137.
- [18] 卢瑛,冯宏,甘海华.广州城市公园绿地土壤肥力及酶活性特征[J].水土保持学报,2007,21(1):160-163.
- [19] 王月海,韩友吉,夏江宝,等.黄河三角洲盐碱地低效防护林现状分析与类型划分[J].水土保持通报,2018,38(2):303-306.
- [20] 乔艳辉,王月海,姜福成,等.黄河三角洲盐碱地衰退林分的更替改造模式[J].水土保持通报,2019,39(4):107-113.
- [21] 董玉峰,王月海,韩友吉,等.黄河三角洲地区耐盐植物引种现状分析及评价[J].西北林学院学报,2017,32(4):107-119.
- [22] 邢尚军,张建锋.黄河三角洲土壤退化机制与植被恢复技术[M].北京:中国林业出版社,2006:70-88.

(上接第 369 页)

- [20] Shi W, Tao F, Liu J, et al. Has climate change driven spatio-temporal changes of cropland in Northern China since the 1970s[J]. Climatic Change, 2014,124(1/2):163-177.
- [21] 刘春雨,刘英英,丁饶干.福建省新型城镇化与生态环境的耦合分析[J].应用生态学报,2018,29(9):3043-3050.
- [22] 周忠发,黄路迦,肖丹.贵州高原喀斯特石漠化遥感调查研究:以贵州省清镇市为例[J].贵州地质,2001,18(2):93-98.
- [23] 彭建,党威雄,刘焱序,等.景观生态风险评价研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(4):664-677.
- [24] 李景刚,何春阳,李晓兵.快速城市化地区自然/半自然景观空间生态风险评价研究:以北京为例[J].自然资源学报,2008,23(1):33-47.
- [25] 杜挺,谢贤健,梁海艳,等.基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J].经济地理,2014,34(6):40-47.
- [26] 高长波,陈新庚,韦朝海,等.广东省生态安全状态及趋势定量评价[J].生态学报,2006,26(7):2191-2197.
- [27] 张思锋,刘晗梦.生态风险评价方法述评[J].生态学报,2010,30(10):2735-2744.
- [28] 徐浩田,周林飞,成遣.基于 PSR 模型的凌河口湿地生态系统健康评价与预警研究[J].生态学报,2017,37(24):8264-8274.
- [29] 谢花林.基于景观结构的土地利用生态风险空间特征分析:以江西兴国县为例[J].中国环境科学,2011,31(4):688-695.
- [30] 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.
- [31] 梁佳欣,李新举.南四湖湿地景观格局脆弱度的时空分异特征[J].应用生态学报,2018,29(2):626-634.