

DOI: 10.5846/stxb201904300883

吴楠, 陈红枫, 匡丕东, 冯朝阳, 蒋洪强, 吴文俊, 李岱青, 赵洋尘. 生态保护红线区干扰退化风险评价——以安徽省为例. 生态学报, 2020, 40(16): 5571-5578.

Wu N, Chen H F, Kuang P D, Feng C Y, Jiang H Q, Wu W J, Li D Q, Zhao Y C. Potential degradation risk assessment driven by human activities in ecological red-line regions: A case study in Anhui Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5571-5578.

生态保护红线区干扰退化风险评价 ——以安徽省为例

吴楠¹, 陈红枫¹, 匡丕东¹, 冯朝阳^{2,*}, 蒋洪强³, 吴文俊³, 李岱青², 赵洋尘⁴

¹ 安徽省环境科学研究院, 合肥 230071

² 中国环境科学研究院, 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012

³ 生态环境部环境规划院, 国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012

⁴ 中国环境科学研究院, 北京 100012

摘要: 评估生态保护红线斑块受人类干扰的潜在退化风险, 可为差异化、精细化的红线监管方案拟定提供科学依据。以安徽省域为例, 基于 InVEST 模型, 定量分析了 2017 年农田、城镇、矿区、交通干线等风险源对红线内各生境受体的干扰退化风险度。结论如下: 全省和红线内受人类干扰退化风险由高到低的生境类型依次是农田、草地、湿地和林地。生态保护红线内人类干扰退化风险较全省平均水平更低。全省整体干扰退化风险指数呈现“北高南低”的格局。高风险区集中在合肥城区、芜马城区、淮蚌城区周边, 两淮矿区及周边, 低风险区则主要分布在皖西和皖南山区、巢湖湖区、沿江沿淮湖区等。干扰退化风险较高的红线斑块主要为合肥北部淠河——滁河干渠和董大水库水源地红线, 铜陵市郊区棋盘山红线, 长江干流芜马段自然岸线红线, 淮河干流淮蚌段水体及岸线红线, 阜阳城区颍河及周边湿地红线, 阜藏峪西部宿淮交界处山体红线, 宿州市砀山县城区东南部红线等, 建议重点监管, 防控人类干扰导致的生态风险。

关键词: 生态保护红线; 退化风险评价; InVEST 模型; 风险源; 安徽省

Potential degradation risk assessment driven by human activities in ecological red-line regions: A case study in Anhui Province

WU Nan¹, CHEN Hongfeng¹, KUANG Pidong¹, FENG Chaoyang^{2,*}, JIANG Hongqiang³, WU Wenjun³, LI Daiqing², ZHAO Yangchen⁴

¹ Anhui Academy of Environmental Science, Hefei 230071, China

² State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

³ State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China

⁴ Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: The assessment of the potential degradation risk driven by human activities in ecological red-line regions can provide a scientific basis for the development of differentiated and refined red-line supervision schemes. Taking Anhui Province as an example, based on the InVEST model, the degradation risk of habitat in the red-line region affected by risk sources, such as cropland, construction land, mining area, and traffic trunk was quantitatively analyzed for 2017. The

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0503806); 2019 年“生态保护红线监管”项目对外委托课题(课题 4); 国家生态环境资产核算体系建立(2110105); 安徽省省级环境保护科研项目(2016-11)

收稿日期: 2019-04-30; **网络出版日期:** 2020-06-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fengchy@craes.org.cn

following conclusions were made: the order of habitat degradation risk by human disturbance from high to low was cropland, grassland, wetland, and forest in the whole province and red-line region. The degradation risk of human disturbance in the red-line region was lower than the average level of the whole province. The degradation risk index of the whole province followed the pattern “north high and south low”. The high risk areas were concentrated in the suburbs of Hefei, Wuhu-Maanshan, and Huainan-Bengbu cities and the Huainan-HuaiBei mining area and its surrounding area, whereas the low risk areas were mainly distributed in the western and southern mountainous areas in Anhui Province, Chaohu Lake, and the lakes along the Yangtze and Huaihe rivers. The red-line patches with high degradation risk were mainly distributed in main canal of the Pihe-Chuhe River and the water source of the Dongda reservoir in the north of Hefei, Qipan Mountain area in Jiao district of Tongling City, the natural shoreline along the Yangtze River in Wuhu-Maanshan cities, the waterbody and natural shoreline along the Huaihe River in Huainan-Bengbu Cities, the Yinghe River and the peripheral wetland in urban areas of Fuyang City and mountain area situated at the juncture of Suzhou and HuaiBei cities in the western area of Huangcangyu, and the southeast urban areas in Dangshan County. These key areas are recommended for supervision to prevent ecological risks driven by human activities.

Key Words: red-line region; degradation risk assessment; InVEST model; risk sources; Anhui Province

2008 年开始,我国逐步将生态保护的重心转向“生态功能上的划区保护”^[1],通过划定生态保护红线的战略把最重要的生态空间固定下来,对红线内国土空间禁止开发、保护修复。按照中办、国办《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》(厅字[2017]2 号,简称《若干意见》)要求^[2],截至目前,包括安徽省在内的长江经济带沿线各省(直辖市)生态保护红线已经国务院批准,已由各省(直辖市)正式发布,整体构成了“三区十二带”为主的生态保护红线空间格局^[3]。

按照 2018 年 8 月 1 日起施行的《生态环境部职能配置、内设机构和人员编制规定》(简称“三定方案”),生态环境部门主要承担生态保护红线相关监管工作^[4]。目前的主要工作思路是:根据“生态功能不降低、面积不减少、性质不改变”的管控原则,基于国家生态保护红线监管平台,采用卫星、无人机和地面相结合的“空天地一体化”手段,建立中低分辨率卫星巡查、高分辨率卫星详查、无人机和地面核查(简称“三查”)相结合的监测监管技术体系^[5],实现对国家生态保护红线区各种生态破坏行为发现、处置和恢复。但在实际工作中,鉴于红线面积大占比高、遥感影像的前处理和解释工作量大、存在一定比例的错判漏判,地面核查反馈又受限与薄弱的基层监管能力,往往一次“三查”周期可能会耗费一年甚至更长时间。当反复确认了某个人类干扰事件后,可生态破坏的事实已经发生完毕,往往产生了不可逆转的后果。另一方面,《若干意见》要求实现一条红线管控重要生态空间,这就意味着红线是一条实施严格保护的控制线,不分级管控,没有所谓的外围保护缓冲带。鉴于上述两个方面原因,如何分析研判生态保护红线区受人类干扰可能性高低的空间分布情况,从而将监管的关注重点和有限的人力物力财力更多的集中在较易产生人类活动干扰进而引起生态退化风险较高的红线区域,在提高“三查”效率的同时预警可能的生态破坏行为发生,是目前红线监管工作面临解决的实际问题。

生态风险的评价尺度由于多风险源和多风险受体的逐步引入和综合而不断得到拓展^[6-7],已从单一风险源对单一受体的胁迫评价走向了区域尺度生态风险评价^[8]。区域生态风险评价是指区域尺度上不同类型生态系统中的环境污染、人为胁迫或自然灾害等多种风险因子对于评价终点造成不利影响的可能性和潜在危害程度^[9-10]。在一个区域中,风险源和风险受体均存在空间分异现象,即在区域的不同空间位置上,风险源的种类和对风险受体的影响程度均有所不同^[11]。同时,相对于单一地点,区域生态风险涉及的风险因子更多,并存在相互作用和叠加效应^[9]。InVEST 模型中的生境质量模块(Habitat Quality Model)根据不同生境类型受体对各种风险(主要为人类干扰威胁)源的敏感程度以及风险源的胁迫模式和影响距离,评估生态退化风险^[12]。该方法不关注绝对量,仅求序为本,可快速评价区域尺度上生态风险相对高低的空间变异情况,对于

省域生态保护红线生态风险评价具有良好的适用性。

安徽境内地貌类型多样, 水热条件优越, 生态系统生产力高、物种丰富, 在长江经济带生态安全中发挥着承上启下作用, 生态区位极其重要。划定总面积达 21233.32 km², 占比 15.15% 的生态保护红线, 形成“两屏两轴”的空间格局(图 1), 成为保障和维护国家及区域生态安全的底线和生命线。但同时, 安徽地处全国经济发展的战略要冲和国内几大经济板块的对接地带, 近年来, 显著的城镇用地蔓延扩张、各类基础设施集中上马以及矿产资源的开采无疑给周边各类生境、特别是红线内重要、敏感的生态系统带来并将持续施加巨大的胁迫和压力。本文以安徽省域为例, 基于 InVEST 模型, 定量分析了 2017 年农田、城镇、矿区、交通干线等风险源对红线内各种生境受体的潜在危害风险程度及其空间异质性, 识别出安徽省生态保护红线监管应重点关注的区域, 为相关省域和区域有针对性拟定具体的红线监管方案提供一定参考和借鉴。

1 研究区概况

安徽地处我国东南部, 土地面积 14.01 万 km²。我国重要的秦岭—淮河地理分界线横贯全省, 气候、生物、土壤等生态要素表现出明显的纵横双向过渡特征。安徽地跨长江、淮河和新安江三大流域, 长江、淮河、新安江分别流经省内约 416、418、242 km, 境内巢湖是我国五大淡水湖之一, 面积约 800 km²。全省地势西南高、东北低, 地形南北迥异, 复杂多样, 自北向南依次划分为淮北平原、江淮丘陵、皖西大别山区、沿江平原和皖南山区等 5 大自然区域。安徽地处亚热带与暖温带过渡气候带, 年均气温 14—17℃, 平均降水量 773—1670 mm。安徽省 2018 年末常住人口为 6323.6 万人, 常住人口城镇化率 54.69%。经济总量突破 3 万亿元, 三产结构 8.8:46.1:45.1。常住居民人均可支配收入 23984 元^[13]。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

2017 年安徽省土地覆被数据来源于世界首套 10 m 空间分辨率的全球土地覆盖产品 (FROM-GLC10)。该数据基于“少量全球样本稳定地表覆盖分类”理论, 将 2015 年采集的 30 m 分辨率样本迁移到 2017 年 10 m 分辨率, 进行全球地表覆盖制图^[14]。该数据地理坐标系为 GCS_WGS_1984, 土地覆被类型包括 1 农田 Cropland、2 林地 Forest、3 草地 Grassland、4 灌丛 Shrubland、5 湿地 Wetland、6 水体 Water、7 冻原 Tundra(安徽无此类)、8 建设用地 Impervious surface、9 荒地 Bareland、10 冰雪 Snow/Ice(安徽无此类)共 10 个类型(图 2)。

安徽省各类禁止开发区仅涉及省级(含)以上级别, 共包括 8 大类^[15]。禁止开发区边界的矢量数据来源于各自归口管理的省直部门。部分自然保护区边界矢量数据来源于生态环境部门, 地质公园来源于自然资源部门, 自然遗产地和风景名胜区分属住建部门, 水产种质资源保护区来源于农业农村部门, 部分自然保护区、重要湿地、湿地公园和森林公园来源于林业部门。对于部分未能提供矢量边界的禁止开发区, 采用扫描经批复后的相关规划图件, 再配准、矢量化的方法得到, 空间参考与土地覆被数据保持一致。

安徽省最新高速公路、国省道和铁路网数据取自天地图数据库, 来源于测绘部门。各类采矿权和矿产地边界的矢量数据来源于自然资源部门(图 2)。参考《公路工程项目建设用地指标》^[16]和《新建铁路工程项目建设用地指标》^[17], 将线状的道路数据分高速公路(宽度取 60 m)、国省道(宽度取 30 m)和铁路(宽度取 60 m)类型进行缓冲带构建, 转换成面状道路数据。对道路与矿区面状数据统一转换成栅格数据, 像元大小和空间参考与土地覆被数据保持一致, 均为 10 m。

在 ArcGIS 10.6 中进行数据配准、切割、合并、叠加、分类和分区统计等; 在 InVEST 3.5 中进行模型的运行模拟, 所需有关参数来源于国内外已有研究成果和相关领域专家打分; 其他相关数据的统计及计算等均在 Excel 中完成。

2.2 基于 InVEST 模型的生境退化风险评估

InVEST 模型中的生境是指被生命有机体占有并可为其提供生存及繁育所需资源和条件的空间^[12]。模

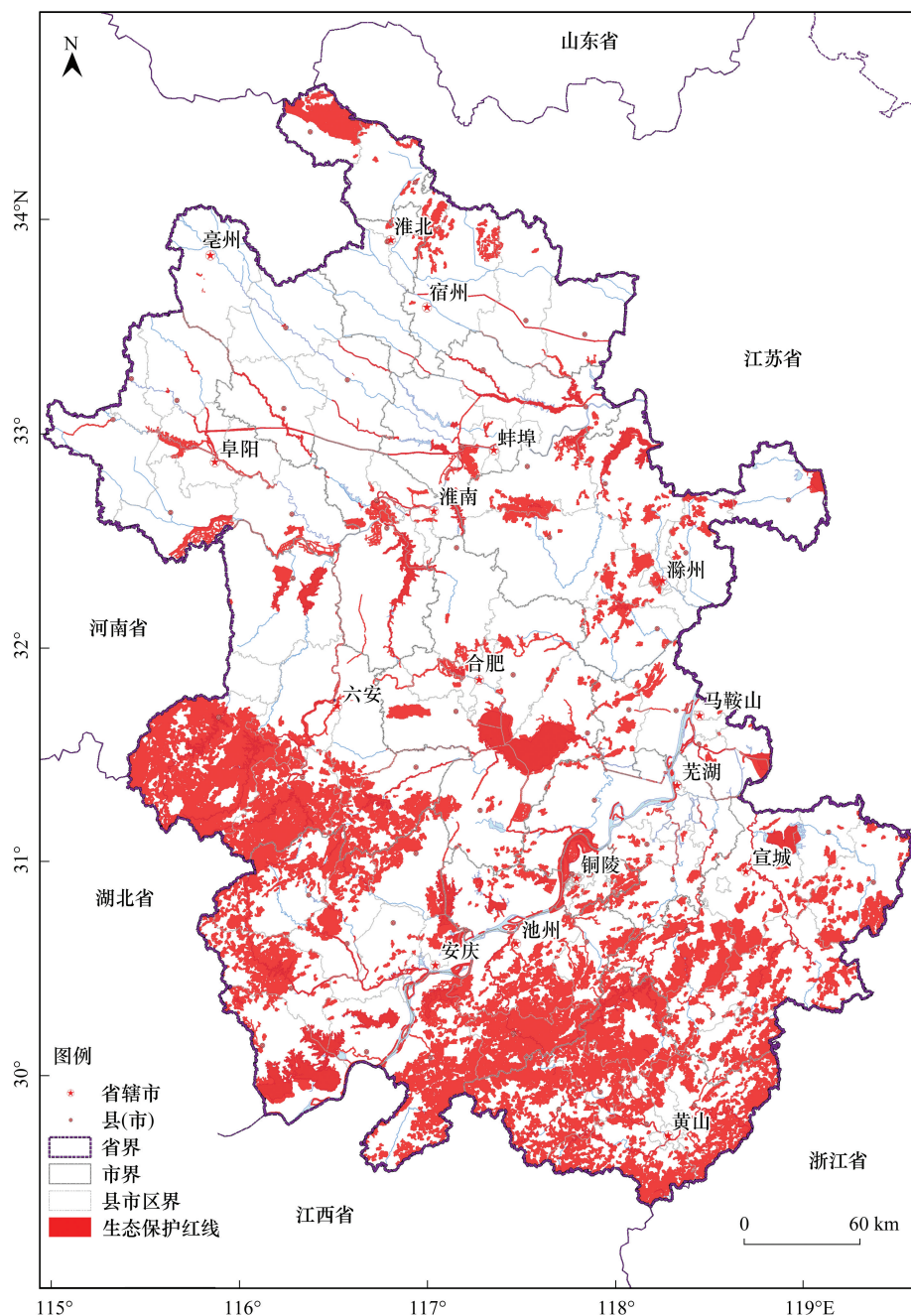


图1 安徽省位置及生态保护红线分布图

Fig.1 Location and red-line region of Anhui province

型运行需要设定风险源和生境类型。在风险源设定时考虑到建设用地(包括城镇和乡村)是所有土地覆被类型中人类活动最为集中的地类,而采矿区、各类公路和铁路则人类活动较为集中,农田作为半人工半自然地类,也常受到人为干扰。故结合数据的可获得性,将建设用地、农田、采矿权和矿产地、高速公路、国省道、铁路6类土地覆被设定为影响区域生境质量的风险源,其余不同的地类代表了不同的生境类型。基于下式计算生境退化度:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} (w_r / \sum_{r=1}^R w_r) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (1)$$

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}}\right) \quad (\text{线性衰减}) \tag{2}$$

$$i_{rxy} = \exp\left(\frac{-2.99d_{xy}}{d_{rmax}}\right) \quad (\text{指数衰减}) \tag{3}$$

式中, D_{xj} 为生境类型 j 中 x 栅格的生境退化度(退化风险指数); R 为风险源个数; W_r 为风险源 r 的权重; Y_r 为风险源的栅格数; r_y 为栅格 y 的胁迫值; i_{rxy} 为栅格 y 的胁迫值 r_y 对栅格 x 的胁迫水平; β_x 为风险源对栅格 x 的可达性(受法律保护的区域,该值大于0小于1,保护越严,值越小;其余区域为1); S_{jr} 为生境类型 j 对风险源 r 的敏感度; d_{xy} 为栅格 x 与栅格 y 的直线距离; d_{rmax} 为风险源 r 的最大胁迫距离。

模型中相关参数需要结合安徽省具体情况进行调整,保护区域对风险源可达性的限制程度、各风险源最大胁迫距离、权重及不同生境类型对胁迫因子敏感度的设置结合 InVEST 模型的实例,参照省内高校和科研院所生态领域专家的建议以及刘智方等^[18]、吴健生等^[19]和戴云哲等^[20]的研究进行赋值(表1和表2)。将8类禁止开发区叠加后取并集,综合赋可达性参数 β_x 值为0.2。

表 1 风险源及其最大胁迫距离、权重及衰减类型

Table 1 Risk sources and theirs maximum effect distance, weight and spatial decay type

风险源 Risk sources	最大胁迫距离 Maximum distance of influence	权重 Weight	空间衰减类型 Spatial decay type
建设用地 Construction land	4.5	1	指数
农田 Cropland	1	0.15	线性
采矿权和矿产地 Mining land	3	0.5	指数
高速公路 Expressway	3	0.6	线性
国省道 National provincial highway	2.5	0.5	线性
铁路 Railway	2	0.4	线性

表 2 各生境类型对不同风险源的相对敏感程度

Table 2 Habitat relative sensitivity to each risk source

生境类型 Habitat types	建设用地 Construction land	农田 Cropland	采矿权和矿产地 Mining land	高速公路 Expressway	国省道 National provincial highway	铁路 Railway
农田 Cropland	0.75	0.25	0.55	0.6	0.55	0.5
林地 Forest	0.75	0.3	0.8	0.6	0.55	0.5
草地 Grassland	0.7	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4
灌丛 Shrubland	0.75	0.25	0.7	0.7	0.65	0.65
湿地 Wetland	0.7	0.3	0.8	0.6	0.5	0.4
水体 Water	0.65	0.4	0.7	0.5	0.45	0.4
建设用地 Impervious surface (不作为生境 Not a habitat)	0	0	0	0	0	0
荒地 Bareland (不作为生境 Not a habitat)	0	0	0	0	0	0

3 结果与分析

3.1 各土地覆被潜在退化指数

2017 年,安徽省土地覆被类型以农田为主,其次为林地和水体,3 类合计占土地总面积的 93.3%,是安徽省景观基质的主要构成。生态保护红线内土地覆被类型则以林地和水体为主,其次为农田,3 类合计占红线土地总面积的 97.8%。

将模型模拟得到的全省潜在退化风险指数图层,分别按照全省和红线内各类土地覆被进行分区统计(Zonal Statistics),平均单位面积潜在退化指数(放大 10000 倍后)参见表 3。全省层面来看,由于农田属于半人工半自然地类,作为生境的同时本身又受到一定程度的人类干扰,是一种风险源,因此农田的潜在退化风险最高(指数达到了 271)。草地的面积很小(全省占比不足 1%)且在全省范围内分布较为零散,仅相对聚集在林地和水体外围,因此最先接触到周边的各类风险源,退化风险仅次于农田(指数为 226)。人类有“倚江而居,择水而憩”的居住习惯,全省水体和湿地周边,建设用地同样分布较为集中,突出表现在巢湖湖畔的省会合肥、沿江 5 市城市群和沿淮的淮(南)蚌(埠)城市群,因此湿地和水体的退化风险也较高。全省退化风险最低的地类是林地(指数为 92)和灌丛(指数为 89),主要是林地集中成片分布于皖西大别山区和皖南黄山——怀玉山区,林区内人口分布少,仅有的小村镇和零散农田,干扰度也有限。

红线内各地类的平均单位面积潜在退化指数高低关系与全省基本一致,整体较全省退化风险度更低。从退化指数总和来看,占全省国土面积 15.15%的红线区,其退化指数总和也仅占全省的 4.52%。一方面原因是红线内划入了全省省级及以上的禁止开发区和各类保护地,对风险源的可达性形成了一定程度上的屏蔽;另一方面,按国家有关要求,红线的划定过程与永久基本农田、采矿权和规划矿产地、城镇开发边界、村镇建设用地等进行了有效衔接,确保不交叉不重叠,从而避免了上述各类风险源核心的直接干扰。

表 3 全省和生态保护红线内各土地覆被潜在退化指数
Table 3 Potential degradation risk index of different landcover types in red-line region and the whole province

编号 Code	土地覆 被类型 Landcover types	全省面积 Area in the whole province/ km ²	占比 Proportion/%	平均单位面 积潜在退化 指数×10000 Potential degradation risk index in per unit area ×10000	指数和 Index sum	红线内 面积 Area in red-line region/km ²	占比 Proportion/%	平均单位面 积潜在退化 指数×10000 Potential degradation risk index in per unit area ×10000	指数和 Index sum
1	农田	80309.1	57.3	271	2414631	1759.4	8.3	152	29662
2	林地	42177.8	30.1	92	431359	14965.2	70.5	46	76192
3	草地	1108.9	0.8	226	27804	136.0	0.6	135	2041
4	灌丛	126.7	0.1	89	1255	32.7	0.2	89	325
5	湿地	422.2	0.3	203	9541	136.8	0.6	88	1336
6	水体	8285.0	5.9	183	168912	4044.9	19.1	64	28575
8	建设用地	7675.7	5.5	0	0	150.0	0.7	0	0
9	荒地	68.7	0.0	0	0	5.6	0.0	0	0
	合计 Total	140174.1	100.0		3053502	21230.6	100.0		138131

3.2 潜在退化风险指数空间格局

运行 InVEST 模型,得到安徽省 2017 年人类干扰退化风险指数的空间分异(图 2)。退化风险指数呈现在栅格图层上 0—0.153892 之间连续变化的值,值越高,生境受人类干扰而产生退化的风险就越高。由于建设用地和荒地不作为生境(风险受体),所以这 2 个地类的风险指数值为 0。由于农田在皖北、江淮分水岭区和沿江大面积的分布,全省整体退化风险指数呈现“北高南低”的格局。全省风险指数高值区域集中分布在省会合肥城区、沿江的芜(湖)马(鞍山)城区、沿淮的淮(南)蚌(埠)城区周边以及两淮(淮南、淮北)矿区及周边,其他省辖市城区周边如铜陵、宿州、淮北、安庆、阜阳、六安、滁州等退化风险指数也较高。交通干线周边退化风险指数相对较高,全省整体呈网状分布。皖西和皖南山区、巢湖湖区、沿江沿淮的湖泊等生境,由于其保护地分布较多,同时斑块成片且面积较大,人类干扰度相对较小,整体退化风险指数较低。

在 ArcGIS 中使用自然断点法(Natural Breaks)将红线内的退化风险指数进行分级,分类为 0—0.005, 0.005—0.015, 0.015—0.025, 0.025—0.05, 0.05—0.117749 共计 5 个区间并据此将干扰退化风险划分为低(面积占比 68.1%)、较低(面积占比 22.8%)、中(面积占比 5.3%)、较高(面积占比 3.0%)和高(面积占比 0.8%)

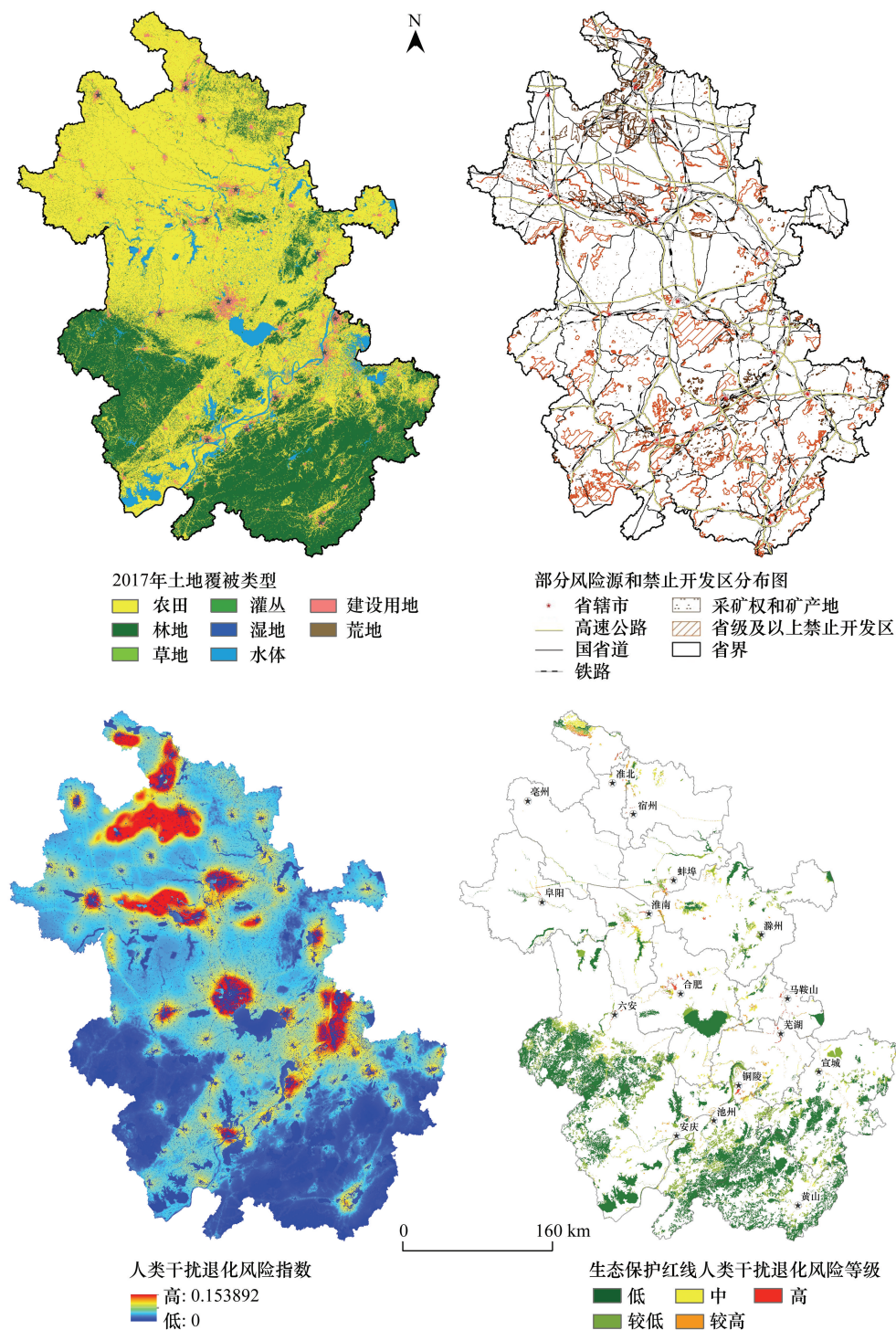


图2 安徽省生境人类干扰退化风险评价结果

Fig.2 The habitat degradation risk assessment results driven by human activities in Anhui Province

5个级别(图2)。干扰退化风险较高和高的红线斑块主要为:六安城区至合肥城区北部的淠河——滁河干渠和董(铺)大(房郢)水库饮用水水源保护区红线,铜陵市郊区棋盘山红线,长江干流芜(湖)马(鞍山)段自然岸线红线,淮河干流淮(南)蚌(埠)段水体及岸线红线,阜阳城区颍河及周边湿地红线,皇藏峪西部宿(州)淮(北)交界处山体红线,宿州市砀山县城东南角红线等,建议对上述红线斑块加密遥感巡查频次,并做重点详查,一旦发现疑似破坏行为,迅速启动地面核查。分区统计各县(市、区)级行政区内红线的平均退化风险

指数,风险较高的主要分布在合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、淮北等市的市辖区内。

4 结论与讨论

经分析表明:全省和红线内受人类干扰退化风险由高到低的生境类型依次是农田、草地、湿地和林地。生态保护红线内人类干扰退化风险较全省平均水平更低。全省整体干扰退化风险指数呈现“北高南低”的格局。高风险区集中在合肥城区、芜马城区、淮蚌城区周边,两淮矿区及周边,低风险区则主要分布在皖西和皖南山区、巢湖湖区、沿江沿淮湖区等。干扰退化风险较高的红线斑块主要分布在合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、淮北等市的市辖区内,主要为淠河——滁河干渠和董大水库水源地红线,长江干流芜马段自然岸线红线,铜陵郊区棋盘山红线,皇藏峪西部宿淮交界处山体红线等,建议对上述区域重点监管。

InVEST 模型提供了一种基于栅格数据的分布式生境退化风险快速评估的方法框架,但由于人类干扰风险源对于各种生境受体胁迫的内在机制研究相对滞后,采用专家知识的参数赋值会增加结果的主观性。另用单一风险源胁迫作用的简单累加来代替多风险源对生境受体的综合胁迫作用也具有一定的局限性。

本研究基于与生态保护红线划定同年的 2017 年 10 m 分辨率全省土地覆被数据,结合当期的多种风险源分布空间数据(统一像元精度为 10 m,小于最小胁迫距离 1 km),在省域尺度上,精准、全面、现势的模拟出了各红线斑块所面临的不同程度人类干扰退化风险的基线值,识别出红线监管需要重点关注的热点区。随着红线外开发活动推进和红线内保护修复项目实施,红线退化风险指数必将随红线内外土地覆被的变化而改变,未来将积极跟踪评价红线内的人类活动干扰退化风险状况,根据风险指数相对于基期的变化及时调整生态监管方案。

参考文献(References):

- [1] 国务院. 关于加强环境保护重点工作的意见(国发〔2011〕35号). (2011-10-20) [2019-04-30]. http://www.gov.cn/jzwgk/2011-10/20/content_1974306.htm.
- [2] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于划定并严守生态保护红线的若干意见(厅字〔2017〕2号). (2017-02-07) [2019-04-30]. http://www.gov.cn/jzhengce/2017-02/07/content_5166291.htm.
- [3] 于浩. 全国生态保护红线划定年内完成. 经济日报, 2018-02-12.
- [4] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 生态环境部职能配置、内设机构和人员编制规定. (2018-09-11) [2019-04-30]. http://www.gov.cn/jzhengce/2018-09/11/content_5320982.htm.
- [5] 基于“天空地一体化”的技术实现国家生态保护红线监管. 中国环境报, 2018-05-09.
- [6] USEPA. Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments. (1997-05-10) [2019-04-30]. <https://semspub.epa.gov/work/10/500006184.pdf>.
- [7] Landis W G. The frontiers in ecological risk assessment at expanding spatial and temporal scales. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2003, 9(6): 1415-1424.
- [8] 颜磊, 许学工. 区域生态风险评价研究进展. 地域研究与开发, 2010, 29(1): 113-118, 129-129.
- [9] 周婷, 蒙吉军. 区域生态风险评价方法研究进展. 生态学杂志, 2009, 28(4): 762-767.
- [10] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价. 地球科学进展, 2001, 16(2): 267-271.
- [11] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 宗敏丽, 胡晓旭. 景观生态风险评价研究进展与展望. 地理学报, 2015, 70(4): 664-677.
- [12] Sharp R, Chaplin-Kramer R, Wood S, Guerry A, Tallis H, Ricketts T. InVEST User Guide: Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs (Version 3.7.0. post37+ug.h1dfee03e6bf8). [2019-04-30]. <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/>.
- [13] 安徽省统计局, 国家统计局安徽调查总队. 安徽省 2018 年国民经济和社会发展统计公报. (2019-03-01) [2019-04-30]. http://tjj.ah.gov.cn/tjjweb/web/info_view.jsp?strId=fa3e804a5fea425db132860746f03c3e&strColId=14000601479283576&strWebSiteId=13781720451562390&_index=0.
- [14] Gong P, Liu H, Zhang M N, Li C C, Wang J, Huang H B, Clinton N, Ji L Y, Li W Y, Bai Y Q, Chen B, Xu B, Zhu Z L, Yuan C, Suen H P, Guo J, Xu N, Li W J, Zhao Y Y, Yang J, Yu C Q, Wang X, Fu H H, Yu L, Dronova I, Hui F M, Cheng X, Shi X L, Xiao F J, Liu Q F, Song L C. Stable classification with limited sample: transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017. Science Bulletin, 2019, 64(6): 370-373.
- [15] 安徽省人民政府. 安徽省主体功能区规划. (2013-12-04) [2019-04-30]. <http://xxgk.ah.gov.cn/UserData/DocHtml/731/2014/5/29/554830713297.html>.
- [16] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程项目建设用地指标. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [17] 中华人民共和国铁道部. 新建铁路工程项目建设用地指标. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [18] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 肖黎珊, 许通, 杨丽. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究. 生态学报, 2017, 37(13): 4538-4548.
- [19] 吴健生, 毛家颖, 林倩, 李嘉诚. 基于生境质量的城市增长边界研究——以长三角地区为例. 地理科学, 2017, 37(1): 28-36.
- [20] 戴云哲, 李江风, 杨建新. 长沙都市区生境质量对城市扩张的时空响应. 地理科学进展, 2018, 37(10): 1340-1351.