

基于土地覆被变化的安徽省生境质量时空演变特征

吴楠¹ 陈红枫¹ 冯朝阳² 蒋洪强³ 吴文俊³ 李岱青² 赵洋尘⁴¹

(1. 安徽省环境科学研究院, 安徽 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】: 基于 InVEST 模型的生境质量模块, 采用 1995~2018 年安徽省 3 期的土地覆被数据, 分析省域生境质量时空演变特征及其对土地覆被变化的响应。结果表明: 安徽省土地覆被变化主要是农田转向建设用地和林草地, 以及农田和湿地之间的相互转化; 23 年间, 安徽省生境质量整体呈单边小幅下降趋势; 由于作为生境质量威胁源的建设用地急速扩张和蔓延, 引发合肥和沿江 5 市城区及周边生境质量的显著下降; 部分保护地及周边开展了有效的退田还湖(湿)和退耕还林(草), 局域生境质量有明显改善, 但多数生态源地生境质量的区域性变化并不明显; 最后, 对省域生境质量优化提出了相应的对策建议。

【关键词】: 土地覆被变化 InVEST 模型 生境质量 时空演变

【中图分类号】: X171 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2020)05-1119-09

维护和改善生态系统生物多样性是一切生态系统功能和服务得以保育和发挥的前提, 更是人类福祉提升的关键^[1]。生境质量是指在一定的时间和空间中生态系统提供适宜个体与种群持续发展与生存条件的能力^[2], 稳定的生境质量是维持生态系统生物多样性的基础^[3,4]。工业化、城市化和农业现代化快速增长与资源配置流动性不断增强对区域土地覆被的空间结构和格局产生了深远影响^[5], 典型陆域土地覆被变化过程如: 城镇扩张对周边生态和农业空间的挤占, 修路采矿、毁林开垦和围湖造田对森林和湿地的侵占等会造成或加剧区域生物生境破碎化和孤岛化^[6], 阻隔了能量流动、物质循环和信息传递等关键生态过程, 进而削弱了区域生态产品的供给能力和服务功能。评估和模拟区域由土地覆被变化引发的生境质量状态的改变, 是当前国内外生态学与地理学领域研究的热点议题^[7,8,9,10], 也是本地生态保护和国土空间管理政策制订的重要参考^[11,12]。

生境质量的研究方法经历了由早期局域尺度野外调查获取数据的单一指标静态评价^[13,14,15], 到多评价指标和评分标准的生境质量指数的综合测算^[16,17,18], 再到基于分布式模型对区域(流域、省域)生境质量时空差异动态模拟的发展过程^[2,19,20]。InVEST 模型中的生境质量模块(Habitat Quality Model)将生物对于不同土地覆被的适宜性与威胁源建立联系, 根据不同生境对威胁源的敏感程度, 评估不同景观格局下的生境质量分布和退化情况^[21]。该方法不关注物种分布的绝对量, 仅求序为本, 可快速评价区域尺度上生境质量相对高低的空间变异情况, 故近年来在区域尺度生境质量对土地覆被/利用变化的响应研究方面应用广泛^[22,23,24,25,26]。

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。另一方面, 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, 其城镇化进程出现了较高

作者简介: 吴楠(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事区域生态评价研究, E-mail:wunan0223@163.com; 冯朝阳 E-mail:fengchy@craes.org.cn。

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)。

的增长速率和蔓延式的空间扩张^[27],显著的城镇用地面积增长和各类基础设施上马无疑给生境质量带来了巨大的压力。本文以安徽省域为例,基于 InVEST 模型,系统分析了 1995~2018 年由土地覆被变化驱动的生境质量空间格局及演变特征,识别生境保护需要重点关注的敏感区域,为安徽省域的生态规划和生态空间的保护修复提供理论支撑与实践检验。

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、242km,境内巢湖是我国五大淡水湖之一,面积约 800km²。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 773~1670mm(图 1)。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^[28]。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

选择 1995、2005 和 2018 年 3 个时段,对安徽省的生境质量空间格局及演变特征进行分析。土地覆被数据源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的中国土地覆被现状遥感监测数据库,该数据以美国陆地卫星 Landsat 遥感影像数据作为主信息源,通过人工目视解译获取,空间分辨率为 30m,地理坐标系为 GCS_Krasovsky_1940,投影坐标系采用 Albers 正轴等面积割圆锥投影。土地覆被类型包括耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地 6 个一级类型以及 25 个二级类型。

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^[29]。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来源于住建部门,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。

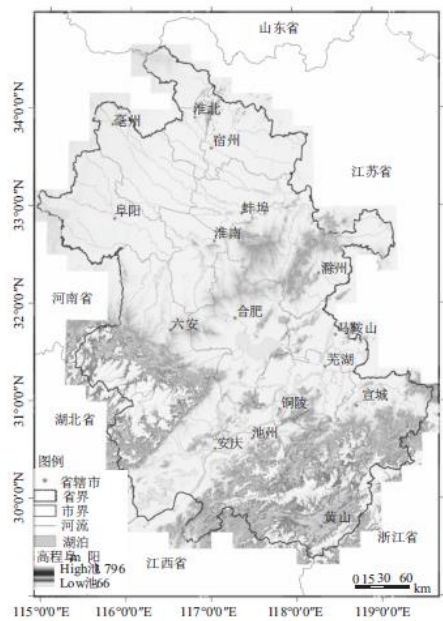


图 1 安徽省位置及高程图

在 ArcGIS10.3 中进行数据配准、切割、合并、叠加、分类和分区统计等;在 InVEST3.5 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 土地覆被变化

为了便于叠加分析土地覆被变化,在 ArcGIS10.3 软件中,将安徽省 2 个时期的土地覆被栅格数据进行 Combine 运算,进而算出两个时段土地覆被类型的转移矩阵。为了进一步研究土地覆被的动态变化强度,在此基础上,采用转移概率矩阵模型^[30]:

$$P_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{j=1}^n S_{ij}} \quad (1)$$

式中: S_{ij} 为*i*类土地覆被转变为*j*类土地覆被的面积; P_{ij} 为*i*类土地覆被转变为*j*类土地覆被的转移概率; n 为土地覆被类型分类数量。

2.3 基于 InVEST 模型的生境质量评估

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^[21]。模型运行需要设定威胁源和生境类型。在威胁源设定时考虑到建设用地(包括城镇、乡村和工矿)是所有土地覆被类型中人类活动最为集中的地类,而农田则人类活动较集中,因此上述两类土地覆被设定为影响区域生物多样性的威胁源,其余不同的地类代表了不同的生境类型。模型结合生境的适宜度、敏感度和外界威胁强度来计算生境质量。首先计算生境退化度:

$$D_{sj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} (w_r / \sum_{r=1}^R w_r) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \text{ (线性衰减)} \quad (3)$$

$$i_{rxy} = \exp \left(\frac{-2.99d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \text{ (指数衰减)} \quad (4)$$

式中: D_{sj} 为生境类型*j*中*x*栅格的生境退化度; R 为威胁源个数; w_r 为威胁源*r*的权重; Y_r 为威胁源的栅格数; 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 为威胁源对栅格*x*的可达性(受法律保护区域内,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*对威胁源*r*的敏感度; d_{xy} 为栅格*x*与栅格*y*的直线距离; d_{rmax} 为威胁源*r*的最大胁迫距离。

在此基础上计算生境质量:

$$Q_{sj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{sj}^z}{D_{sj}^z + k^z} \right) \right] \quad (5)$$

式中: Q_{xj} 为生境类型 j 中 x 栅格的生境质量指数; H_j 为生境类型 j 的生境适宜度, 值域为 $[0, 1]$; k 为半饱和常数, 取最大生境退化度(由模型运算一次得到)的一半; z 为归一化常量, 通常设为 $2.5^{[21]}$ 。

模型中相关参数需要结合安徽省具体情况进行调整, 保护区域对威胁源可达性的限制程度、各威胁源最大胁迫距离、权重及不同生境类型的适宜度及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^[12]、吴健生等^[24]和戴云哲等^[26]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 威胁源及其最大胁迫距离、权重及衰减类型

威胁源	最大胁迫距离(km)	权重	空间衰减类型
工矿用地	3	0.5	指数
农田	1	0.15	线性
城镇用地	5	1	指数
农村居民点	3	1	指数

表 2 生境适宜度及其对不同威胁源的相对敏感程度

生境类型	生境适宜度	工矿用地	耕地	城镇用地	农村居民点
有林地	1	0.8	0.3	0.7	0.8
灌木林地	0.7	0.8	0.3	0.8	0.7
疏林地	0.4	0.5	0.2	0.7	0.6
其他林地	0.6	0.5	0.2	0.7	0.6
高覆盖度草地	0.7	0.6	0.3	0.7	0.7
中覆盖度草地	0.5	0.6	0.4	0.7	0.7
低覆盖度草地	0.3	0.6	0.5	0.7	0.7
水田	0.3	0.6	0.2	0.8	0.8
旱地	0.2	0.5	0.3	0.7	0.7
河渠	0.8	0.8	0.3	0.8	0.6
湖泊	0.8	0.8	0.3	0.8	0.6
水库坑塘	0.7	0.7	0.5	0.8	0.5
滩地	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7

3 结果与分析

3.1 土地覆被变化

3.1.1 面积变化

1995~2018 年间,安徽省土地覆被类型一直以农田为主,其次为森林和建设用地,合计占土地总面积的 85%以上,是安徽省景观基质的主要构成。23 年间,安徽省土地覆被面积变化最为明显的趋势是农田面积的持续缩减和城镇用地的急剧扩张;湿地面积有所增加的同时,林地和草地面积小幅减少。其中,森林面积出现过波动,前 10 年微幅增加后 13 年小幅减少,其余土地覆被类型面积变化趋势前后相一致。从面积变化率上看,变化较大的是建设用地增加了 4017.7km²,增幅达到 36.64%;农田减少了 4069.4km²,减幅为 5.00%;湿地增加了 302.3km²,增幅 4.21%(图 2)。

3.1.2 土地覆被之间的相互转化

通过构建 1995~2018 年安徽省土地覆被类型的转移概率矩阵,可得森林和建设用地均有 99%以上的面积被保留,相对稳定;农田和湿地分别有 94.77%和 97.91%的面积被保留。1995~2018 年的变化趋势主要有:(1)农田有 3778.9km²,森林有 202.8km²,草地有 85.4km²,湿地有 47.3km²的土地面积转变成建设用地,这种转变反映了人类开发建设对农业和生态空间的挤占,更为显著的城镇化过程则发生在城市周边。(2)农田与湿地的相互转化,这是退田还湖和围湖造田相互的博弈。(3)农田向森林和草地的转化,以及草地转为森林的面积也较大,这反应出森林增长和生态保护修复工程的成效。(4)建设用地有部分转为农田,这是村庄用地集约规划,农田复垦的结果(图 2)。

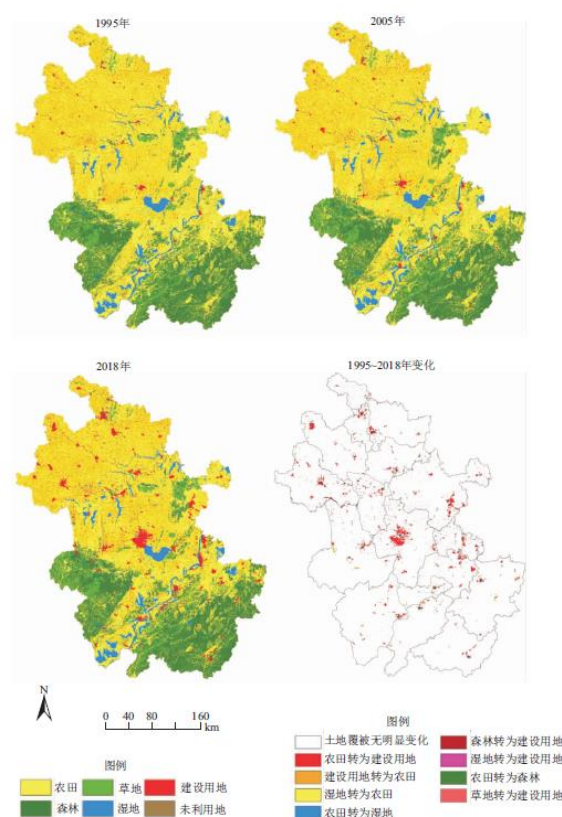


图 2 安徽省 1995~2018 年土地覆被及变化

3.2 生境质量时空格局变化

3.2.1 各等级生境质量结构变化

运行 InVEST 模型,得到安徽省 1995~2018 年生境质量指数空间分布。生境质量指数呈现在栅格图层上 0~1 之间连续变化的值,值越靠近 1,生境质量越好,就相对越完整,并具有相应的结构和功能,有利于生物多样性的维持^[21]。为便于比较生境质量的变化情况,在 ArcGIS 中使用自然断点法(Natural Breaks)将其分类为 0~0.2, 0.2~0.4, 0.4~0.6, 0.6~0.8, 0.8~1 共计 5 个区间并据此将生境质量划分为差、较差、中、良和优等 5 个级别(图 3),统计了各等级生境所占面积百分比和生境质量指数平均值(表 3)。1995~2018 年,安徽省平均生境质量指数分别为 0.4370、0.4354、0.4292,呈现逐渐下降趋势,由于组成全省景观基质的农田和森林比例相对较为稳定,全省生境质量变化幅度较小。3 个评估年份的差和较差等生境分别占据全省约 1/3 的面积,优等和良等生境总和约占据剩余国土面积的 1/3,且两个等级面积基本相等,中等生境面积最小,仅占约 1%。23 年间,各等级生境面积占比变化不大。优等减少和差等增加的原因一方面是林地、草地和农田被建设用地大量挤占,另一方面部分山区仍然存在毁林开垦以及水库坑塘和滩地周边的围垦现象;良等增加的原因是退耕还林(草)和退田还湖(湿)政策推动。

表 3 安徽省不同年份各等级生境面积占比及生境指数平均值

等级	分值区间	1995 年		2005 年		2018 年		1995~2018 年面积比例变化(%)
		比例(%)	指数平均值	比例(%)	指数平均值	比例(%)	指数平均值	
优	0.8~1	16.62	0.436959	16.61	0.435410	16.51	0.429158	-0.11
良	0.6~0.8	16.28		16.31		16.49		0.21
中	0.4~0.6	1.01		1.01		0.92		-0.09
较差	0.2~0.4	31.78		31.36		29.95		-1.83
差	0~0.2	34.32		34.70		36.12		1.80

3.2.2 生境质量空间分布变化

从生境质量指数空间格局来看(图 3),全省生境质量整体表现为皖南、皖西山区高,沿淮沿江居中,皖北和江淮分水岭低的态势。由于生境质量与当地本底的生境适宜度关系最为密切,而林地、草地和湿地的生境适宜度指数高于农田,因此模拟得到的生境质量分布与区域主导的土地覆被类型具有较高的一致性,整体表现为林草区和湿地生境质量较高,农田和裸地生境质量较低。将县(市、区)行政界线套叠生境质量指数,分区统计(Zonal Statistics)其平均值。以 2018 年为例,平均生境质量为优等的县(市、区)有 6 个,主要分布在皖南的黄山和宣城境内;良等的县(市、区)有 14 个,主要分布在皖西六安和安庆境内大别山南北麓的山区县,皖南的池州全境和宣城境内。中等的县(市、区)有 20 个,主要分布在大别山山前丘陵地区和除芜马城区外的沿江一线。较差等的县(市、区)有 44 个,广泛分布在沿江的芜湖、马鞍山,沿淮的淮南、蚌埠和江淮分水岭地区的合肥、滁州境内,差等的县(市、区)有 21 个,主要分布在皖北的亳州、阜阳、淮北和宿州等地。原因是安徽省皖北平原的主体功能定位是“农产品主产区”,主要为农田覆被(多数为永久基本农田),为数不多的湿地和林地多为线性分布的河道以及零星分布的农田林网,相对比较破碎,集中连片的很少。而皖南和皖西山区大面积为林地覆被,部分区域还分布有成片的原始森林,生境适宜度很高,同时城镇用地的扩张空间有限,对于良好生境的威胁也相对较弱。沿江沿淮地区和省会合肥湿地资源丰富,但同时也是经济发展的热点区域,城镇化、工业化过程对于周边生境的威胁较为强烈,因此生境质量等级也不高。

用 ArcGIS 进行栅格计算器(Raster Calculator)相减得到生境质量变化图(图 3)来反映安徽省生境质量变化的时空特征。1995~2005 年,安徽省生境质量上升区域主要分布在当涂的石臼湖周边、休宁的六股尖保护区周边、天长的高邮湖周边等地。生境质量下降的区域主要分布在省会合肥以及安庆、马鞍山、芜湖、铜陵等沿江省辖市城区周边。2005~2018 年,生境质量上升的区域则集中在颍上的八里河保护区和霍邱的东西湖保护区周边、枞阳和桐城交界的菜子湖周边。生境质量显著下降的区域与上个十年基本一致。质量上升的主要原因是“退田还湖(湿)”、“退耕还林(草)”、“天然林保护”和“千万亩森林增长”等生态工程的实施。生境质量下降区域主要位于大城市周边,原因在于城区扩张,居住地、工矿用地以及交通运输用地等建设用地快速增加,进而胁迫周围生境,并导致生境破碎度加剧、连通性变差,最终使得这些区域的生境质量下降。

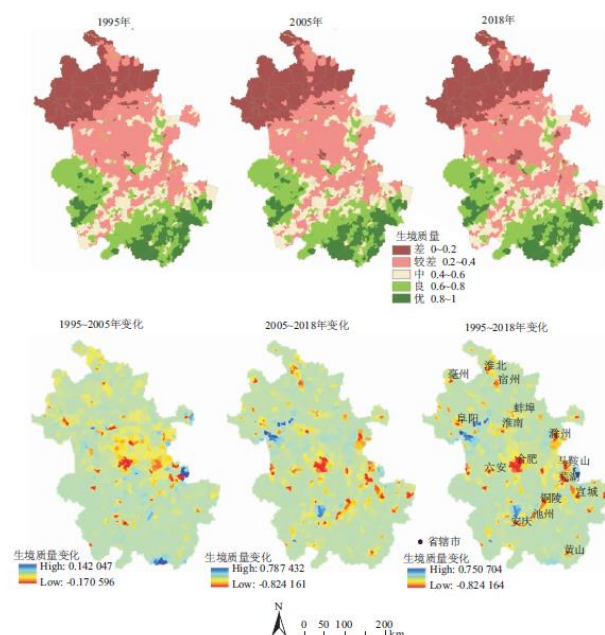


图 3 安徽省生境质量空间分布及变化

4 讨论

1995~2018 年,安徽省农田面积减少了 4069.4km²,农田的破碎化程度有所增加,除了受退耕还林(草)和退田还湖(湿)政策的影响之外,更大程度上受快速城市化进程的影响。建设用地 23 年间增长了 4017.7km²,成为安徽省除农田和森林外最大的优势景观,人为的开发和建设使得建设用地的斑块不断聚集,在空间上主要聚集在省会合肥和沿江城市群且集中连片分布。虽然合肥和沿江 5 市(安庆、池州、铜陵、芜湖和马鞍山)的面积仅占安徽全省的三分之一不到,但其 GDP 总量却占到一半以上(2017 年数据)^[31]。特别是 2010 年安徽皖江城市带承接产业转移示范区建设纳入国家发展战略以来,区域二、三产业主导的产业格局,吸引了大量人口的涌入,导致对建设、工业、居住用地的需求的急剧增加,建设用地急剧扩张且不断侵占农田和未利用地。作为生境质量威胁源的建设用地的高度聚集,对上述地区生境质量造成巨大威胁,生境质量指数也一直呈现下降趋势。在未来沿江城市(特别是城区)的国土空间规划中,需优化森林、湿地、农田、建设用地等景观格局,协调“三生”(生产、生活和生态)空间,在保持合理的经济增长基础上配置必要的生态用地,以维持安全水平的生境质量状态。

1995~2018 年,由于退田还湖(湿)和退耕还林(草)等工程的实施,农田有 416.3km²和 49.4km²的土地面积转变成湿地和林草地,更为显著的转变多发生在部分湿地和森林类自然保护区周边,涉及局域的生境质量有明显改善,但连片、整体、区域性的改善效应并不明显。下一步要重点保护森林、湿地、草地等生态源地,在严守生态保护红线的同时积极推进生态保护和修复工程实施,降低建设用地扩张和农田开垦对生态源地和生态廊道的破坏,提高生境的斑块面积及斑块间的连通度,进而提高安徽省整体的生

境质量。

InVEST 模型提供了一种基于栅格数据的分布式生境质量快速模拟方法框架,但由于威胁源对于各种生境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。另用单一威胁源胁迫作用的简单累加来代替多威胁源对生境的综合胁迫作用也具有一定的局限性。

5 结论

(1) 1995~2018 年,安徽省土地覆被变化主要是农田转向建设用地和林草地,以及农田和湿地之间的相互转化;

(2) 23 年间,安徽省生境质量整体呈单边小幅下降趋势;由于作为生境质量威胁源的建设用地急速扩张和蔓延,引发合肥和沿江 5 市城区及周边生境质量的显著下降;

(3) 部分保护地及周边开展了有效的退田还湖(湿)和退耕还林(草),局域生境质量有明显改善,但多数生态源地生境质量的区域性变化并不明显。

参考文献:

[1]FORMAN R T T, SPERLING D, BISSONETTE J A, et al. Road ecology: Science and solutions[M]. Washington, DC: Island Press, 2003.

[2]包玉斌, 刘康, 李婷, 等. 基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境的影响——以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 622-629.

[3]李莹, 张峰, 杨海军, 等. 生物多样性生态功能区生境质量变化遥感监测研究[J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(2): 46-48.

[4]RAVEN P J, HOLMES N T, DAWSON F H, et al. River habitat quality: The physical character of rivers and streams in the UK and Isle of Man Bristol[R]. England Environment Agency, 1998, (2): 85.

[5]刘春芳, 王川. 基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征——以榆中县为例[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7300-7311.

[6]于美琪. 人为干扰下区域生态廊道构建——以辽宁省为例[D]. 大连理工大学, 2015.

[7]严岩, 朱捷缘, 吴钢, 等. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2489-2496.

[8]于丹丹, 吕楠, 傅伯杰. 生物多样性与生态系统服务评估指标与方法[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 349-357.

[9]SALA O E, CHAPIN III F S, ARMESTO J J, et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100[J]. Science, 2000, 287(5459): 1770-1774.

[10]王大尚, 郑华, 欧阳志云. 生态系统服务供给、消费与人类福祉的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1747-1753.

-
- [11] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 等. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变[J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3457-3466.
- [12] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 等. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究[J]. 生态学报, 2017, 37(13): 4538-4548.
- [13] GOERTZ J W. The influence of habitat quality upon density of cotton rat populations[J]. Ecological Monographs, 1964, 34(4): 359-381.
- [14] THIEL R P. Relationship between road densities and wolf habitat suitability in Wisconsin[J]. American Midland Naturalist, 1985, 113(2): 404-407.
- [15] ENGEL D W, THAYER G W, EVANS D W. Linkages between fishery habitat quality, stressors, and fishery populations[J]. Environmental Science & Policy, 1999, 2(6): 465-475.
- [16] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 928-936.
- [17] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价[J]. 生态学报, 2008, 30(2): 481-486.
- [18] 刘世梁, 尹艺洁, 杨珏婕, 等. 漫湾库区景观破碎化对区域生境质量的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 619-627.
- [19] 刘红玉, 李兆富, 白云芳. 挠力河流域东方白鹤生境质量变化景观模拟[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4007-4013.
- [20] 杨芝歌, 周彬, 余新晓, 等. 北京山区生物多样性分析与碳储量评估[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 42-46.
- [21] TALLIS H, RICKETTS T, GUERRY A, et al. InVEST 3.3.0 User's guide: Integrated valuation of environmental services and tradeoffs. 2015. (2019-04-08). http://data.naturalcapitalproject.org/invest-releases/documentation/3_0_0/.
- [22] 宋磊, 陈笑扬, 宋丹, 等. 基于 InVEST 模型的生境质量变化评价——以 2009-2012 年长沙市望城区为例[J]. 国土资源导刊, 2018(4): 23-30.
- [23] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的评估研究——以北京为例[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2016, 52(3): 553-562.
- [24] 吴健生, 毛家颖, 林倩, 等. 基于生境质量的城市增长边界研究——以长三角地区为例 [J]. 地理科学, 2017, 37(1): 28-36.
- [25] 黄贤峰, 杨永菊, 武艺, 等. 1990-2017 年喀斯特自然保护区土地利用变化对生境质量的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 345-351.
- [26] 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[J]. 地理科学进展, 2018, 37(10): 1340-1351.
- [27] 杨剩富, 胡守庚, 叶菁, 等. 中部地区新型城镇化发展协调度时空变化及形成机制[J]. 经济地理, 2014, 34(11): 23-29.

[28] 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 [EB/OL]. (2019-02-28) [2019-04-06]. <http://tjj.ah.gov.cn/ssah/qwfbjd/tjgb/sjtjgb/113724401.html>.

[29] 安徽省人民政府. 安徽省主体功能区规划 [EB/OL]. (2014-02-11) [2019-04-06]. <http://www.ah.gov.cn/public/1681/7968291.html>.

[30] 吴晓莆, 唐志尧, 崔海亭, 等. 北京地区不同地形条件下的土地覆盖动态[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2):239-251.

[31] 安徽省统计局, 国家统计局安徽调查总队. 安徽统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.