

安徽省生态保护红线的生态系统服务价值评估

潘丽丽¹, 吴楠^{2*}

(1. 合肥海正环境监测有限责任公司, 安徽合肥 230088; 2. 安徽省环境科学研究院, 安徽合肥 230071)

摘要 基于 10 m 分辨率的土地覆被数据, 采用服务价值当量法, 定量评价 2017 年安徽全省和红线内生态系统服务价值, 并按红线内非生态用地的修复方案构建了 5 种未来土地覆被情景, 分析全省和红线内服务价值变化对 5 种情景的响应。结果表明, 2017 年安徽省生态系统服务总价值达 20 838.0 亿元, 红线内的服务价值总额 7 346.4 亿元, 占比 35.3%。通过划定红线保育服务价值的生态效益比达 2.33。红线内水文调节服务价值突出, 占红线总价值量的 55.3%。随着红线内修复强度提升, 红线内和全省的服务价值量以及红线内服务价值占全省的比重均呈现梯度增加, 新增服务价值抵消生态工程花费所需时间逐渐缩短, 可见修复强度的提升加速服务效益的累积, 生态经济效益也更显著。

关键词 生态保护红线; 生态系统服务价值; 土地覆被; 情景模拟; 安徽省

中图分类号 X321 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)12-0052-08

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.12.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation of Ecosystem Services Value of Eco-redline Region in Anhui Province

PAN Li-li¹, WU Nan² (1. Hefei Haizheng Environmental Monitoring Co., Ltd., Hefei, Anhui 230088; 2. Anhui Academy of Environmental Science, Hefei, Anhui 230071)

Abstract Based on the land cover data with a resolution of 10 m, the ecosystem services value of Anhui Province and the Eco-redline region in 2017 were quantitatively evaluated by using the evaluation method for ecosystem services value based on per unit area. According to the restoration scheme of non ecological land in the Eco-redline region, five future land cover scenarios were constructed. The response of services value change in the whole province and the Eco-redline region to five different scenarios was analyzed. The results show that in 2017, the total value of ecosystem services in Anhui Province reached 2 083.80 billion yuan while the value inside the Eco-redline region was 734.64 billion yuan accounting for 35.3%. The ecological benefit ratio of conservation services inside the Eco-redline region reached 2.33. The value of hydrological regulation service inside the Eco-redline region was the highest, accounting for 55.3% of the total value of the Eco-redline region. With the improvement of the restoration intensity inside the Eco-redline region, the ecosystem services value of Anhui Province and Eco-redline region showed a gradient increase as well as the ratio of value inside the Eco-redline region to value of Anhui Province. The time required for the value of new services to offset the cost of ecological engineering was gradually shortening. It can be seen that the improvement of the restoration intensity accelerates the accumulation of services benefits, and the ecological economic benefits were more significant.

Key words Eco-redline region; Ecosystem services value; Land cover; Scenario simulation; Anhui Province

自 2008 年起, 我国生态保护的重心逐渐转为“生态功能上的划区保护”^[1], 通过划定生态保护红线战略, 固定最重要的生态空间, 禁止开发、保护和修复红线内的国土空间。根据《生态保护红线划定指南》(环办生态〔2017〕48 号), 生态保护红线是在生态空间范围内具有特殊重要生态功能、必须强制性严格保护的区域^[2]。因此在红线划定过程中, 需遵循生态系统服务评估的科学性和自然生态系统的整体性原则的同时, 还需要兼顾部门事权和地方政府管理诉求, 确保红线划得准、能落地、管得住。

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)要求^[3], 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。生态保护红线维护了省内最优质生境质量的生态系统和最重要的生态系统服务功能, 因此, 分析红线在维护生态系统服务价值方面的生态效益, 以此检验红线的划定成效就显得尤为必要和重要。根据《安徽省生态保护红线》(皖政秘〔2018〕120 号), 全省红线总面积为 21 233.32 km², 主要分布在皖西皖南山地丘陵区及江

淮干流、沿岸湿地等生物多样性维护重要区域^[4], 包含 3 大类 16 个片区, 约占安徽省国土总面积的 15.15%。该研究基于生态系统服务价值当量法^[5-7], 以安徽省为例, 定量评价 2017 年红线保育生态系统服务价值的效益, 并按红线内非生态用地对应的修复方案构建未来地表覆被情形, 模拟生态系统服务价值的提升状况, 相关技术方法可为其他省份开展类似评估提供方法借鉴, 分析评价结论可为红线保护修复方案及生态效益维护与提升提供参考和支撑。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 安徽省地处我国华东地区(114°54′~119°37′E, 29°41′~34°38′N), 位于长江、淮河中下游(图 1), 省内多生态要素以秦岭—淮河地理分界线为界呈纵横双向过渡式。全省地势呈西南—东北降低的趋势, 地貌类型齐全, 主要包括沿江、淮河平原区, 皖西、皖南丘陵区以及江淮间台地丘陵区。安徽省气候上主要呈现为湿润季风气候, 属暖温带与亚热带过渡区, 全年平均气温 14~17℃, 年平均降水量为 773~1 670 mm, 有南多北少的特点。截至 2019 年末, 安徽省常住人口约 7 119 万人, 常住人口城镇化率 55.81%; 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 23 984 元^[8]。

1.2 数据来源及处理 2017 年全国和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)^[9]。该数据基于“少量全球样本稳定地表覆

基金项目 生态环境部 2019 年预算项目“省域生态保护红线生态效益分析与评价”; 安徽省省级环境保护科研项目(2016-11)。

作者简介 潘丽丽(1982—), 女, 安徽亳州人, 工程师, 从事生态环境监测与评价研究。* 通信作者, 高级工程师, 博士, 从事区域生态评价与生态规划研究。

收稿日期 2020-02-17; **修回日期** 2020-03-16

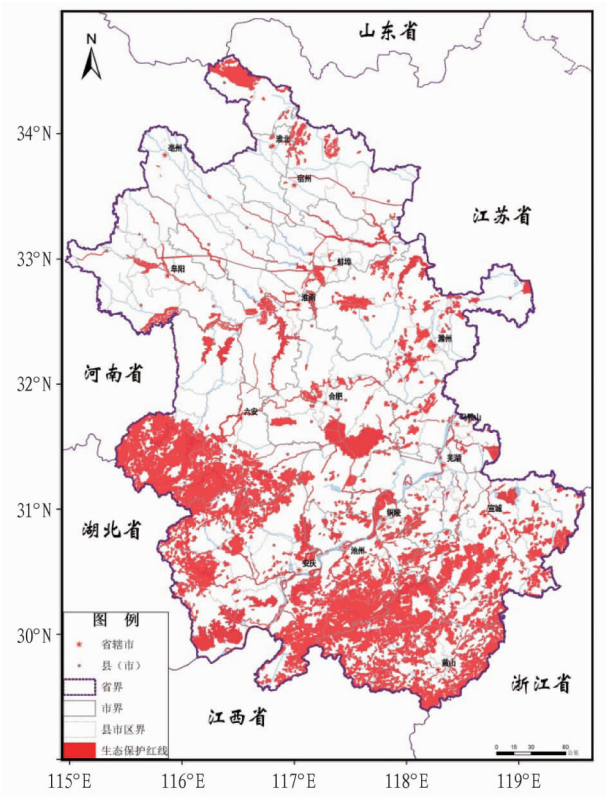


图 1 安徽省位置及生态保护红线分布

Fig.1 Location and eco-redline region of Anhui Province

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。该数据划分的土地覆被类型包括 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 2a)。

2011—2015 年全国和安徽省生态系统净初级生产力(NPP)数据是基于光能利用率模型 GLM_PEM 计算获取的,数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),空间分辨率为 500 m×500 m。在 ArcGIS 10.3 的栅格计算器(raster calculator)中计算多年 NPP 的平均值(图 2b)。

全省生态保护红线矢量数据来源于生态环境部门,永久基本农田(以下简称:永农)矢量数据来源于自然资源部门,城镇开发边界矢量数据来源于住房与城乡建设部门。全国单位面积生态系统服务价值当量来源于文献^[7]。有关经济社会统计数据来源于《安徽省统计年鉴 2018》^[10]和《全国农产品成本收益资料汇编 2018》^[11]。

统一数据采用 2000 国家大地坐标系,高斯-克吕格投影,1985 国家高程基准;数据预处理及叠加、统计分析等基于 ArcGIS 10.6 平台实现;相关数据生态服务价值的计算及统计等基于 Excel 实现。

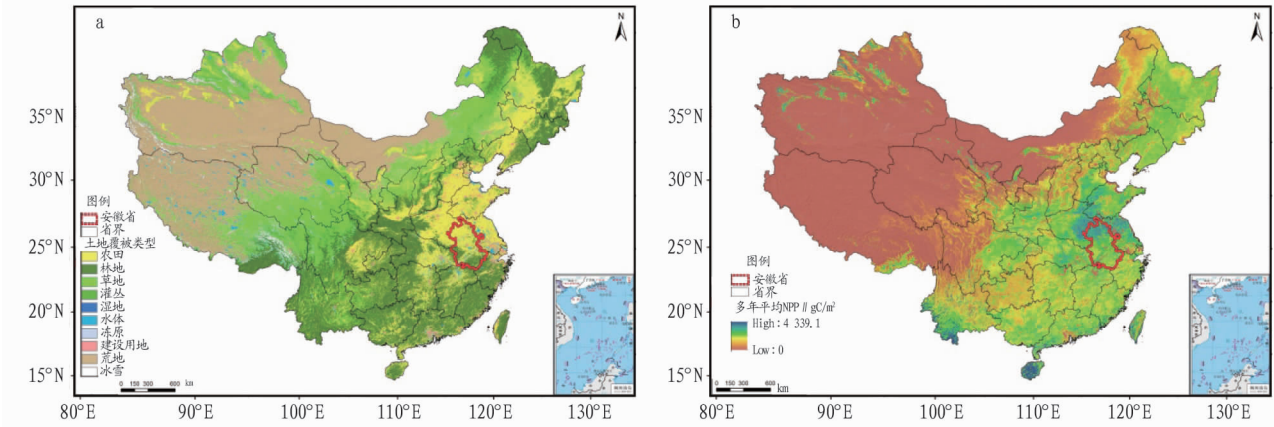


图 2 全国和安徽省 2017 年土地覆被(a)和多年平均 NPP(b)分布

Fig.2 Distribution of land cover (a) and annual average NPP (b) of China and Anhui Province in 2017

1.3 土地覆被格局情景设定 根据目前安徽省红线内生态保护修复工程谋划和城镇建设用地扩张的需求,构建省域不同土地覆被格局情景进行模拟。①情景 1:红线和永农内土地覆被不变,城镇按开发边界发展。②情景 2:红线内弱修复。永农内全部转为农田,城镇按开发边界发展,红线内坡度 15°以上农田转为林地,荒地全部转为林地,红线内自然保护区核心区内的建设用地转为林地,其余区域土地覆被相比 2017 年不发生变化。③情景 3:红线内中修复。永农内全部转为农田,城镇按开发边界发展,红线内坡度 6°以上农田转为林地,荒地全部转为林地,红线内自然保护区范围内的建设用地转为林地,其余区域土地覆被相比 2017 年不发生变

化。④情景 4:红线内强修复。永农内全部转为农田,城镇按开发边界发展,红线内所有农田、建设用地和荒地均转为林地,其余区域土地覆被相比 2017 年不发生变化。⑤情景 5:生态空间内强修复。永农内全部转为农田,城镇按开发边界发展,生态空间内所有农田、建设用地和荒地均转为林地,其余区域土地覆被相比 2017 年不发生变化(图 3)。

1.4 价值当量法评价生态系统服务价值 基于单位面积价值当量因子的方法(以下简称当量因子法)^[5,12]以区分多种类型生态系统服务功能为前提,以可量化的标准构建各项对应服务功能的价值当量,再结合生态系统分布面积进行评价^[5-7,12]。由于当量因子法结论直观、操作简单且对数据要

求低,因此在进行区域或全球尺度下生态系统服务价值评估常采用该方法^[13-14]。

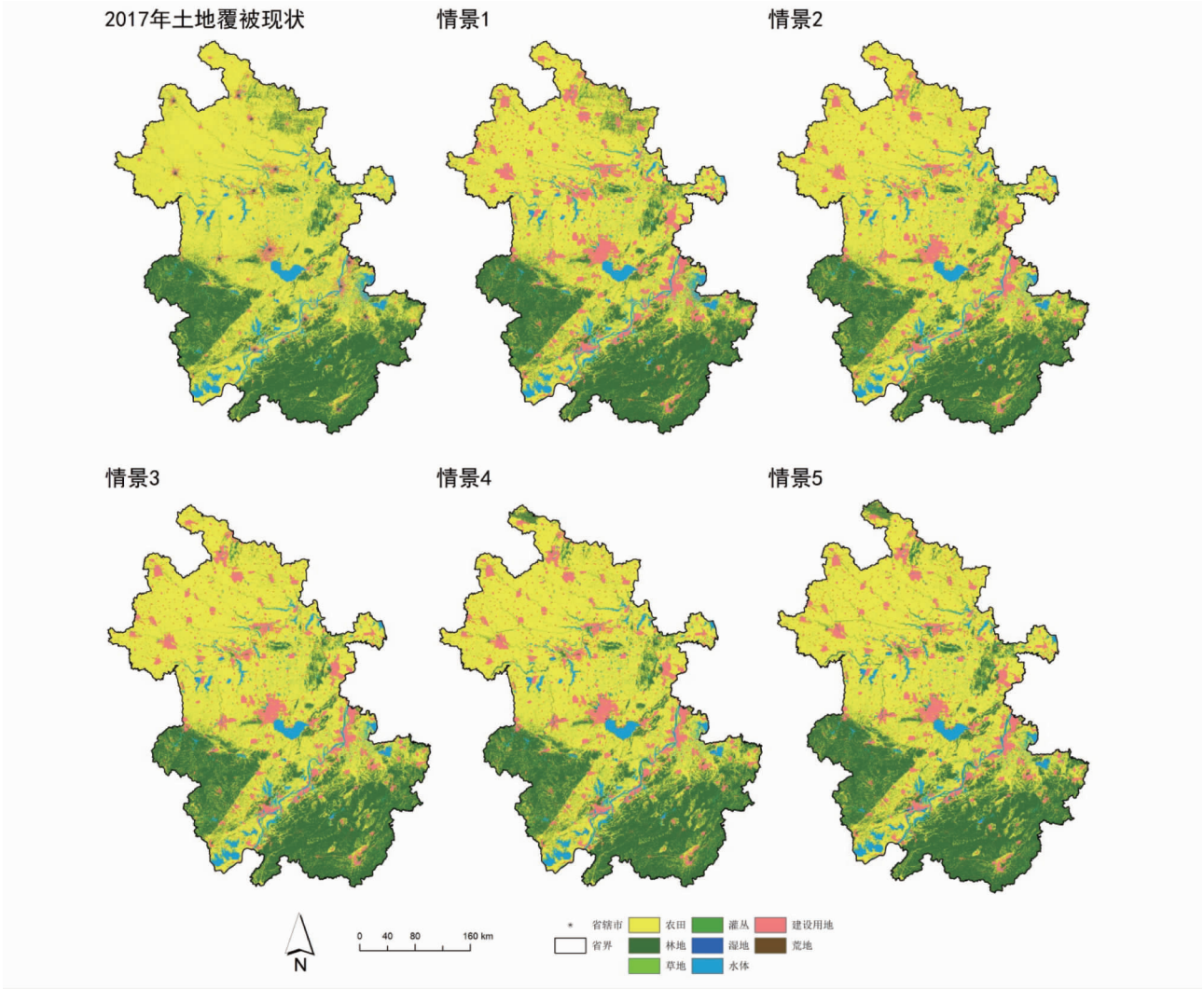


图3 全省 2017 年土地覆被现状及 5 种未来的土地覆被情景

Fig.3 Landcover pattern in 2017 and five different scenarios for Anhui Province

1.4.1 1 个标准单位生态系统服务价值当量因子的价值量。1 个标准单位生态系统生态服务价值当量因子(以下简称标准当量)是指 1 hm² 全省平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值。参考谢高地等^[5]的处理方法,将单位面积农田生态系统粮食生产的净利润作为 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量。农田生态系统的粮食产量价值主要依据稻谷、小麦和玉米三大粮食主产物计算。其计算公式如下:

$$W=A_d\times P_d+A_x\times P_x+A_y\times P_y\tag{1}$$

式中,W 表示 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量(元/hm²);A_d、A_x和 A_y 分别表示 2017 年稻谷、小麦和玉米的播种面积占 3 种作物播种总面积的百分比(%);P_d、P_x和 P_y 分别表示 2017 年全省稻谷、小麦和玉米的单位面积平均净利润(元/hm²)。依据《安徽省统计年鉴 2018》^[10]、《全国农产品成本收益资料汇编 2018》^[11],得到 2017 年安徽省稻谷、小麦和玉米的播种面积分别为 232.602 万 hm²(占比 41.81%)、239.199 万 hm²(占比 43.00%)、84.470 万 hm²(占比 15.19%)。2017 年安徽省稻谷、小麦和玉米的单位面积平均净利润分别为 9 169.05、8 509.50、5 514.75 元/hm²。由此计算安徽省 W 值为

8 330.53 元/hm²。

1.4.2 单位面积生态系统服务价值的基础当量。单位面积生态系统服务功能价值的基础当量是指不同类型生态系统单位面积上各类服务功能年均价值当量(以下简称基础当量)。基于谢高地等^[5-6]对生态系统服务价值的评价,该研究参考近年来主要基于功能价值量计算方法的生态系统服务价值评估研究成果,以千年生态系统评估法(MA)^[15]为框架,将生态系统服务分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务 4 大类,并进一步细分为 11 种服务功能(表 1),收集整理了各类公开发表的统计文献,以 2010 年卫星影像数据及气象数据代入改进的 CASA 模型^[16],计算得到净初级生产力(NPP)数据,结合专家经验构建了全国尺度下的不同类型生态系统及相应多种生态系统服务功能价值的基础当量(表 1)。

1.4.3 单位面积生态服务价值当量的本地化校正。生物量能够反映特定时刻单位空间内实际存在的有机总量,因此在形成及积累过程中与生态系统的其他多种服务产生了交互影响。一般来说,生态系统服务价值与其生物量呈显著正

表 1 全国单位面积生态系统服务价值当量^[7]

Table 1 Ecosystem service equivalent value per unit area of nationwide

一级类型 Primary types	二级类型 Secondary types	农田 Cropland	林地 Forest	灌丛 Shrubland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水体 Water	荒地 Bareland
供给服务 Provisioning Service	食物生产	1.11	0.25	0.38	0.16	0.51	0.80	0.00
	原材料生产	0.25	0.58	0.56	0.24	0.50	0.23	0.00
	水资源供给	-1.31	0.30	0.31	0.13	2.59	8.29	0.00
调节服务 Regulating service	气体调节	0.89	1.91	1.97	0.83	1.90	0.77	0.02
	气候调节	0.47	5.71	5.21	2.18	3.60	2.29	0.00
	净化环境	0.14	1.67	1.72	0.72	3.60	5.55	0.10
	水文调节	1.50	3.74	3.82	1.60	24.23	102.24	0.03
支持服务 Supporting service	土壤保持	0.52	2.32	2.40	1.01	2.31	0.93	0.02
	维持养分循环	0.16	0.18	0.18	0.08	0.18	0.07	0.00
	生物多样性	0.17	2.12	2.18	0.92	7.87	2.55	0.02
文化服务 Cultural service	美学景观	0.08	0.93	0.96	0.41	4.73	1.89	0.01
合计 Total		3.98	19.71	19.69	8.28	52.02	125.61	0.20

相关,陆地生态系统的生物量越大,其保育和发挥的生态系统功能越强。为此,参考谢高地等^[6-7]提出的价值当量修正方法,假设生态服务功能强度与生物量呈线性关系,采用生物量调整因子,按公式(2)将全国单位面积生态服务价值当量进一步修正为安徽省本地化的当量:

$$F_{niadj}=b_i/B_i\times F_{ni}$$
 (2)

式中, F_{niadj} 为*i*类生态系统类型在安徽省第*n*类生态服务的单位面积价值当量因子; F_{ni} 为全国平均*i*类生态系统的第*n*种生态服务价值当量因子; b_i 为安徽省*i*类生态系统类型近

年来平均的 $NPP[g(C)/(m^2\cdot a)]$; B_i 为全国范围*i*类生态系统近年来平均 $NPP[g(C)/(m^2\cdot a)]$ 。

对近年平均 NPP 栅格数据在全国和安徽省各类土地覆被上进行分区统计,得到全国和安徽省各类土地覆被平均 NPP 值,经比对得到安徽省陆域生态系统的单位面积价值当量因子换算系数分别为农田 1.30、林地 1.20、灌丛 1.29、草地 2.64、荒地 20.98,经换算修正为安徽省本地化的单位面积生态系统服务价值当量(表 2)。

表 2 安徽省单位面积生态系统服务价值当量

Table 2 Ecosystem service equivalent value per unit area of Anhui Province

一级类型 Primary types	二级类型 Secondary types	农田 Cropland	林地 Forest	灌丛 Shrubland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水体 Water	荒地 Bareland
供给服务 Provisioning service	食物生产	1.44	0.30	0.49	0.42	0.51	0.80	0.00
	原材料生产	0.32	0.70	0.72	0.62	0.50	0.23	0.00
	水资源供给	-1.70	0.36	0.40	0.34	2.59	8.29	0.00
调节服务 Regulating service	气体调节	1.16	2.29	2.54	2.18	1.90	0.77	0.42
	气候调节	0.60	6.85	6.72	5.76	3.60	2.29	0.00
	净化环境	0.18	2.01	2.22	1.90	3.60	5.55	2.10
	水文调节	1.94	4.48	4.93	4.21	24.23	102.24	0.63
支持服务 Supporting service	土壤保持	0.68	2.79	3.10	2.65	2.31	0.93	0.42
	维持养分循环	0.20	0.21	0.23	0.21	0.18	0.07	0.00
	生物多样性	0.22	2.54	2.81	2.42	7.87	2.55	0.42
文化服务 Cultural service	美学景观	0.10	1.11	1.24	1.07	4.73	1.89	0.21
合计 Total		5.14	23.64	25.40	21.78	52.02	125.61	4.20

1.4.4 服务价值计算模型。生态系统服务价值的计算模型为:

$$ESV=\sum_i\sum_nA_i\times F_{niadj}\times W$$
 (3)

式中,ESV 为安徽省生态系统服务价值; A_i 为第*i*类生态系统面积(hm^2); F_{niadj} 为*i*类生态系统类型在安徽省第*n*类生态服务的单位面积价值当量因子; W 为安徽省 1 个标准当量因子的生态系统服务价值(元/ hm^2)。

2 结果与分析

2.1 2017 年生态系统服务价值

2.1.1 各生态系统类型的服务价值。依据 2017 年安徽省土

地覆被数据和生态保护红线范围,经 GIS 统计,林地、水体、农田依次为省内生态保护红线占比最高的土地覆被类型,三者面积之和占红线总面积的 97.8%,其余土地覆被类型(建设用地、湿地、草地、灌丛、荒地)面积合计占比仅为 2.2%。从划入红线的保护比例来看,红线内保护了全省 48.8%的水体、35.5%的林地、32.1%的湿地和 25.8%的灌丛,纳入红线的农田和建设用地比例相对很小,分别仅为全省的 2.2%和 2.0%(表 3)。

结合修正后的安徽省各生态系统类型单位面积生态系统服务价值当量(表 2)及 1 个标准单位生态系统服务价值

当量因子的价值量(安徽省 W 值为 8 330.53 元/hm²),分别计算得到各类生态系统在全省和红线内的对应服务价值。经统计,安徽省生态保护红线内的服务价值贡献以水体和林地为主,二者提供的服务价值之和占红线总价值的 97.7%,其余土地覆被类型(农田、湿地、草地、灌丛)提供的服务价值占比很小,合计仅占 2.3%左右。2017 年,安徽全省生态系统

服务总价值达 20 838.0 亿元,生态保护红线内的服务价值总额达 7 346.4 亿元,占比 35.3%。因此,占全省国土面积 15.15%的生态保护红线,保护了全省 35.3%的生态系统服务价值,红线划定保育生态系统服务价值的生态效益比达 2.33(表 3 和图 4)。

表 3 全省和红线内各类生态系统的面积及服务价值

Table 3 Ecosystem services value for each ecosystem of area and service value of various ecosystems in Anhui Province and eco-redline region									
生态系统类型 Ecosystem types	全省分布面积 Area of provincial distribution km ²	占比 Proportion %	红线内分布面积 Area inside the Eco-redline region km ²	占比 Proportion %	该类型在红线内面积占全省面积比例 Ratio of area inside the Eco-redline region to area of Anhui Province// %	全省生态系统服务总价值 Ecosystem services value of Anhui Province 亿元	占比 Proportion %	红线内生态系统服务价值 Ecosystem services value inside the Eco-redline region 亿元	占比 Proportion %
农田 Cropland	80 308.0	57.3	1 760.7	8.3	2.2	3 438.7	16.5	75.4	1.0
林地 Forest	42 183.4	30.1	14 967.2	70.5	35.5	8 307.3	39.9	2 947.5	40.2
灌丛 Shrubland	127.2	0.1	32.8	0.2	25.8	26.9	0.1	6.9	0.1
草地 Grassland	1 108.1	0.8	136.0	0.6	12.3	201.0	1.0	24.7	0.3
湿地 Wetland	422.5	0.3	135.7	0.6	32.1	183.1	0.9	58.8	0.8
水体 Water	8 293.8	5.9	4 045.2	19.1	48.8	8 678.6	41.6	4 232.9	57.6
建设用地 Impervious Surface	7 663.5	5.5	150.1	0.7	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
荒地 Bareland	68.4	0.0	5.3	0.0	7.8	2.4	0.0	0.2	0.0
合计 Total	140 174.9	100	21 233.0	100	15.1	20 838.0	100	7 346.4	100

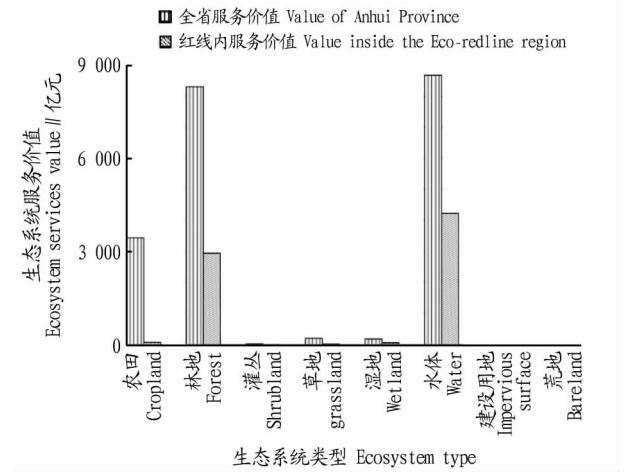


图 4 全省和生态保护红线内各类生态系统的服务价值
Fig.4 Ecosystem services value for each ecosystem of Anhui Province and eco-redline region

2.1.2 各生态系统服务类型的价值。安徽省生态保护红线内的水文调节服务价值占红线总价值量的 55.3%,是因为红线内包括了江淮大片水体及沿岸重要湿地,对整个区域的水文调节具有重要价值,同时调节服务中的气候调节和净化环境占比也相对较高。土壤保持和生物多样性价值在支持服务中占比较高,合计约占总价值量的 11.1%,这体现了自然保护区和水产种质资源保护区物种保护的功能和陡坡林地的水土保持功能。除了维持养分循环服务,供给服务中的食物生产价值和原材料生产价值提供的价值量较少,分别占总价值量的 1.2%和 1.4%,这由红线非农业生产性为主的经营

方式所决定。

从划入红线的生态系统服务价值保育比例来看,供给服务价值保育比例最高达 41.3%,其次为调节服务(36.2%)、文化服务(34.2%)和支持服务(28.0%)。从生态系统服务的二级类型来看,保育比例最高的是水文调节服务(40.4%),其次是净化环境(35.9%)。需要说明的是:全省农田分布面积很大,由于农田的水资源供给服务价值是负值(农田耕种是耗水过程),全省整体水资源供给服务价值为-425.4 亿元。但生态保护红线内农田分布很少,水资源供给更多的通过水体和林地来提供,抵消了为数不多的农田耗水负效应,因此红线内水资源供给服务价值为 302.7 亿元,大大提升了红线对于服务价值的整体保育比例(表 4 和图 5)。

2.2 不同土地覆被格局情景下生态系统服务价值的响应

2.2.1 不同情景下各生态系统类型的服务价值。经统计,5 种情景模型下,红线内服务价值的贡献仍主要以水体和林地为主,随着修复模式强度的逐渐增加,二者提供的服务价值之和占红线总价值的比例也在逐渐上升,从情景 1 的 97.7%梯度增加至情景 4,5 的 98.8%。由于 5 种情景模型都设定了城镇按照开发边界大幅扩张(建设用地面积均增加到 2017 年的 2 倍以上),因此,不可避免地会侵占城镇周边高服务价值的林地、水体和农田,尽管各情景实施了各类生态修复措施,但仍然造成了全省生态系统服务总价值的下降,5 种情景下的服务总价值均小于 2017 年现状。但随着修复模式强度的逐渐增加,从情景 2 至情景 5,全省服务总价值是梯度攀升的,从 18 797.8 亿元增加至 19 395.0 亿元。

表 4 全省和生态保护红线内各种生态系统服务类型的价值
Table 4 Value for each ecosystem service of Anhui Province and eco-redline region

一级类型 Primary types	二级类型 Secondary types	全省服务价值 Ecosystem services value of Anhui Province 亿元	占比 Proportion %	红线内服务价值 Ecosystem services value inside the Eco-redline region 亿元	占比 Proportion %	该类服务在红线内价值占全省价值比例 Ratio of value inside the Eco-redline region to value of Anhui Province// %
供给服务 Provisioning service	食物生产	1 130.3	5.4	86.6	1.2	7.7
	原材料生产	484.2	2.3	101.2	1.4	20.9
	水资源供给	-425.4	-2.0	302.7	4.1	-71.2
调节服务 Regulating service	气体调节	1 663.7	7.9	333.8	4.5	20.1
	气候调节	3 039.7	14.6	952.5	13.0	31.3
	净化环境	1 244.0	6.0	447.2	6.1	35.9
	水文调节	10 065.9	48.3	4 065.9	55.3	40.4
支持服务 Supporting service	土壤保持	1 535.7	7.4	395.7	5.4	25.8
	维持养分循环	215.2	1.0	32.0	0.4	14.9
	生物多样性	1 269.2	6.1	418.3	5.7	33.0
文化服务 Cultural service	美学景观	615.5	3.0	210.5	2.9	34.2
合计 Total		20 838.0	100	7 346.4	100	35.3

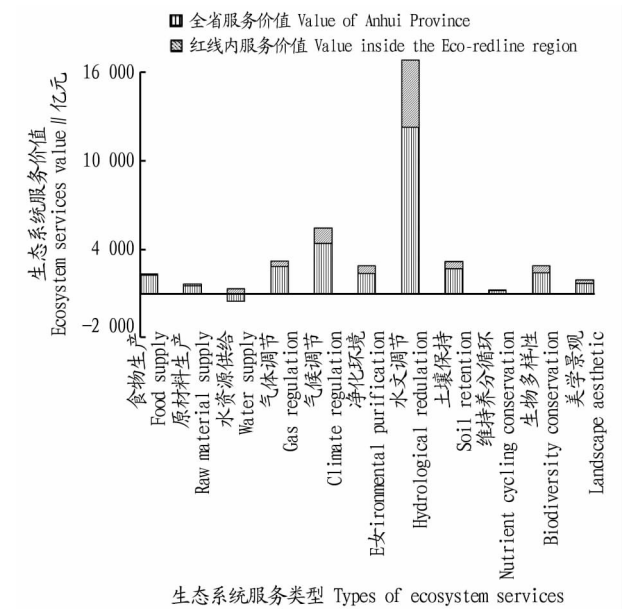


图 5 全省和生态保护红线内各种生态系统服务类型的价值
Fig.5 Value for each ecosystem service of Anhui Province and eco-redline region

由于各类生态修复措施的实施,使保护地内建设用地逐渐退出还林、坡耕地退耕还林以及荒地复绿等,增加了红线内高服务价值的林地面积,因此情景 2 至情景 5 下红线内的服务价值总额相较于 2017 年现状均有所增加,并呈现梯度攀升趋势。由于红线价值增加、全省总价值减少,5 种情景模型下生态保护红线的服务价值占全省价值总额的比例相较于 2017 年增加较多,其中情景 4 占比最高,达 40.02%,情景 1 占比最低,为 36.91%(2017 年为 35.25%)。因此,5 种情景模型下,通过划定红线保育服务价值的生态效益比达 2.44~2.64(表 5)。

从拟实施的生态修复工程的成本效益分析,情景 2~4

对于红线内的生态修复强度逐渐增加,具体体现在林地面积的增加和农田、建设用地、荒地面积的减少。按照 2017 年安徽省山区造林成本取 15 万元/hm²(含植树的人工成本、树苗成本等。以乔木为主,乔、灌、地被群落式搭配,形成“复合”自然空间)^[17-18],相对于 2017 年土地覆被的现状,情景 2 约需要新增生态修复工程费用 46.83 亿元,情景 3 需要新增 90.75 亿元,情景 4 需要新增 292.58 亿元。通过计算得到情景 2~4 红线内的年生态系统服务价值相对于 2017 年分别增加了 22.3 亿、68.7 亿和 279.4 亿元,新增生态系统服务价值抵消生态工程花费需要的时间分别约为 2.1、1.3 和 1.0 年。由此可见,修复强度的提升加速了服务效益的累积,并且相应的生态经济效益也更为显著。

2.2.2 不同情景下各生态系统服务类型的价值。经统计,5 种情景下,红线内的水文调节服务价值都较为突出,全部均占红线总价值量的 50%以上。同时调节服务中的气候调节和净化环境占比也相对较高。土壤保持和生物多样性价值在支持服务中占比较高,合计约占总价值量的 11%以上。除了维持养分循环服务,供给服务中的食物生产价值和原材料生产价值提供的价值量最少,合计仅占总价值量的 2.6%以下。

从划入红线的生态系统服务价值保育比例(表 6)来看,由于红线内水资源供给主要由水体和林地提供,抵消了极少量农田耗水负效应,红线内水资源供给(属供给服务类)价值保育比例极高,因此 5 种情景下均为供给服务价值保育比例最高(42.8%~47.3%),其次为调节服务(37.9%~40.9%)、文化服务(35.5%~40.1%)和支持服务(29.4%~32.7%)。从生态系统服务的二级类型(表 6)来看,由于红线内生态系统类型以森林和湿地为主,其主要提供的水文调节和净化环境服务价值的保育比例也最高,分别达 42.4%~45.0%和 37.3%~41.7%。

表 5 5 种情景模型下全省和红线内各类生态系统的服务价值

Table 5 Ecosystem services value for each ecosystem of Anhui Province and eco-redline region under five different scenarios 亿元										
生态系统类型 Ecosystem types	情景 1 全省价值 Scenario 1 (Province)	情景 1 红 线价值 Scenario 1 (Eco-redline)	情景 2 全省价值 Scenario 2 (Province)	情景 2 红 线价值 Scenario 2 (Eco-redline)	情景 3 全省价值 Scenario 3 (Province)	情景 3 红 线价值 Scenario 3 (Eco-redline)	情景 4 全省价值 Scenario 4 (Province)	情景 4 红 线价值 Scenario 4 (Eco-redline)	情景 5 全省价值 Scenario 5 (Province)	情景 5 红 线价值 Scenario 5 (Eco-redline)
农田 Cropland	3 059.5	75.4	3 349.9	66.6	3 338.6	55.3	3 282.2	0.0	3 196.0	0.0
林地 Forest	8 156.8	2 947.5	7 457.4	3 009.0	7 514.8	3 066.7	7 785.6	3 331.6	8 204.5	3 331.6
灌丛 Shrubland	26.7	7.0	24.3	6.8	24.3	6.8	24.3	6.8	25.4	6.8
草地 Grassland	157.9	24.7	127.7	23.8	127.7	23.8	127.7	23.8	130.6	23.8
湿地 Wetland	175.1	58.9	128.7	58.1	128.7	58.1	128.7	58.1	130.0	58.1
水体 Water	8 327.2	4 232.7	7 708.8	4 204.4	7 708.8	4 204.4	7 705.7	4 205.5	7 707.8	4 205.5
建成区 Impervious surface	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
荒地 Bareland	1.2	0.2	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0
合计 Total	19 904.4	7 346.4	18 797.8	7 368.7	18 843.9	7 415.1	19 055.2	7 625.8	19 395.0	7 625.8
红线价值占全省价值比例 Proportion of eco-redline value and province value//%		36.91		39.20		39.35		40.02		39.32

表 6 5 种情景下全省和红线内 4 类生态系统服务类型的价值

Table 6 Value for 4 ecosystem services of Anhui Province and eco-redline region under 5 different scenarios																
服务 类型 Service types	情景 1 Scenario 1			情景 2 Scenario 2			情景 3 Scenario 3			情景 4 Scenario 4			情景 5 Scenario 5			
	全省	红线	比例	全省	红线	比例	全省	红线	比例	全省	红线	比例	全省	红线	比例	
	Provi-	Eco-	Propo-	Provi-	Eco-	Propo-	Provi-	Eco-	Propo-	Provi-	Eco-	Propo-	Provi-	Eco-	Propo-	
	nce	redline	tion	nce	redline	tion	nce	redline	tion	nce	redline	tion	nce	redline	tion	
	亿元	亿元	%	亿元	亿元	%	亿元	亿元	%	亿元	亿元	%	亿元	亿元	%	
供给 Provisioning	1 146.6	490.6	42.8	1 058.6	491.8	46.5	1 061.8	495.0	46.6	1 076.5	509.7	47.3	1 100.1	509.7	46.3	
调节 Regulating	15 283.4	5 799.4	37.9	14 443.6	5 807.1	40.2	14 473.0	5 836.7	40.3	14 606.7	5 971.0	40.9	14 823.6	5 971.0	40.3	
支持 Supporting	2 881.5	845.9	29.4	2 745.1	857.2	31.2	2 756.1	868.3	31.5	2 807.4	918.6	32.7	2 888.4	918.6	31.8	
文化 Cultural	592.9	210.5	35.5	550.5	212.6	38.6	553.0	215.1	38.9	564.6	226.5	40.1	582.9	226.5	38.9	
合计 Total	19 904.4	7 346.4	36.9	18 797.8	7 368.7	39.2	18 843.9	7 415.4	39.4	19 055.2	7 625.8	40.0	19 395.0	7 625.8	39.3	

随着红线内生态修复强度的提升,情景 1 至情景 4 下的红线内服务价值和红线对于 4 类服务价值的保育比例均呈现梯度增加,说明在红线内开展的生态修复工程能够有效地提升红线内生态系统服务的价值及其在全省服务价值中的占比,更好地巩固其作为国家和省域生态安全的底线和生命线的定位。情景 5 下由于全省服务价值相对最高,而其红线内服务价值与情景 4 相同,故情景 5 下红线对于 4 类服务价值的保育比例略低于情景 4,与情景 3 基本持平(图 6)。

3 讨论

该研究基于世界首套 10 m 空间分辨率的全球土地覆盖产品(FROM-GLC10),将遥感数据中土地覆被类型划归为生态系统类型,在利用服务价值当量进行生态系统服务价值化的过程中,会带来一定误差。例如水田和旱地同划归为农田,针叶林和阔叶林同划归为林地,草原和草甸同划归为草地,毫无疑问,上述两者的生物量和生态服务效益存在明显差异,但由于受到土地覆盖分类体系和精度的限制,计算过程中实际价值系数是相同的。未来将在数据精度允许的情况下,合理细分生态系统类型及修正价值系数。

此次对生态保护红线内服务价值进行测算与分析所采用的当量因子基于专家知识与国家生态系统现状特征,且针对安徽省内采用 NPP 因子进行空间校正,因此应用广泛且可操作性强。但对基于格局和过程的生态系统服务保育和发挥的空间相关性和异质性仍缺乏考虑。同时需注意到,当

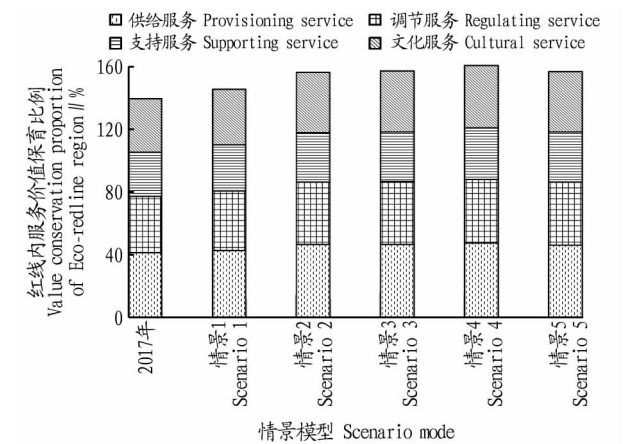


图 6 5 种情景模型下红线内的 4 类服务价值保育比例

Fig.6 Conservation proportion for 4 ecosystem services of eco-redline region under 5 different scenarios

量因子法将建设用地价值定义为 0,但存在某些建设用地仍具有文化美学价值的情况,将其价值定义为 0,会对生态系统服务价值造成低估。

该研究涉及的 5 种未来土地覆被情景模型仅参考了省内现行的各种生态保护修复工程,从理论角度以 3 条控制线的管控原则、保护地的管理要求等为依据,采取红线中的保护地内建设用地逐渐退出还林、坡耕地退耕还林以及荒地复绿等措施进行构建,实际上,在自然修复为主、人工修复为辅

的生态修复指导原则下,海拔、坡向以及土壤类型等因素也对植被生长及分布情况造成影响。未来研究重点将侧重在气候、地形及土壤数据等潜在的各类生态条件,同时结合经济发展、国土空间规划,以期更加合理地设置全省及红线内土地覆被情况,并在此基础上模拟相关生态效益,从而对全省和局部地区的生态环境质量改善和服务价值提升提供更有利的借鉴。

4 结论

(1)2017 年,安徽省生态系统服务总价值达 20 838.0 亿元,红线内的服务价值总额达 7 346.4 亿元,占比 35.3%。通过划定红线保育生态系统服务价值的生态效益比达 2.33。

(2)2017 年,全省生态保护红线内的服务价值贡献以水体和林地为主,二者提供的服务价值之和占红线总价值的 97.7%;红线内水文调节服务价值突出,占红线总价值量的 55.3%。

(3)鉴于城镇扩张的巨大压力,5 种情景下全省生态系统服务价值相较于 2017 年均有所下降。随着红线内修复强度提升,红线内和全省的服务价值量以及红线内服务价值占全省的比重均呈现梯度增加,在红线内开展生态修复能有效地提升红线内和全省的服务功能。

(4)随着红线内修复强度提升,情景 2~4 新增生态系统服务价值抵消生态工程花费需要的时间分别约为 2.1、1.3 和 1.0 年,修复强度的增加带来的服务效益是逐渐增加的,且生态经济效益也更为显著。

参考文献

[1] 国务院关于加强环境保护重点工作的意见:国发〔2011〕35 号〔A/OL〕.(2011-10-20)〔2019-08-25〕.http://www.gov.cn/jzwgk/2011-10/20/content_1974306.htm.

[2] 环境保护部办公厅,国家发展和改革委员会.关于印发《生态保护红线划定指南》的通知:环办生态〔2017〕48 号〔A/OL〕.(2017-07-27)〔2019-08-25〕.http://www.hnep.gov.cn/xxgk/hbywxxgk/zrst/stbh/sthx/webinfo/2017/07/1510134721853018.htm.

[3] 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〔A/OL〕.(2017-08-25)〔2019-08-25〕.http://www.china.com.cn/guoqing/2017-08/25/content_41472317.htm.

[4] 安徽省人民政府.关于发布安徽省生态保护红线的通知:皖政秘〔2018〕120 号〔A/OL〕.(2018-06-27)〔2019-08-25〕.http://www.ah.gov.cn/public/1681/7926661.html.

[5] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资源的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.

[6] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.

[7] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.

[8] 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〕.(2019-03-01)〔2019-08-25〕.http://tjj.ah.gov.cn/tjjweb/web/info_view.jsp?strId=fa3e804a5fea425db132860746f03c3e&strCollId=14000601479283576&strWebSiteId=13781720451562390&_index=0.

[9] GONG P, LIU H, ZHANG M N, et al. 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[J]. Science bulletin, 2019, 64(6): 370-373.

[10] 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.

[11] 国家发展和改革委员会价格司.全国农产品成本收益资料汇编 2018〔M〕.北京:中国统计出版社,2018.

[12] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

[13] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global environmental change, 2014, 26: 152-158.

[14] WANG W J, GUO H C, CHUAI X W, et al. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution[J]. Environmental science & policy, 2014, 44: 62-72.

[15] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and human well-being〔M〕. Washington, DC: Island Press, 2005.

[16] 朱文泉,潘耀忠,张锦水.中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J].植物生态学报,2007,31(3):413-424.

[17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.造林技术规程:GB/T 15776—2016〔S〕.北京:中国标准出版社,2016.

[18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.森林抚育规程:GB/T 15781—2015〔S〕.北京:中国标准出版社,2015.

(上接第 51 页)

[2] NIU L L, YANG F X, XU C, et al. Status of metal accumulation in farmland soils across China: From distribution to risk assessment[J]. Environmental pollution, 2013, 176: 55-62.

[3] MA L, WANG L, TANG J, et al. Arsenic speciation and heavy metal distribution in polished rice grown in Guangdong Province, Southern China[J]. Food chemistry, 2017, 233: 110-116.

[4] FACCHINELLI A, SACCHI E, MALLIN L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils[J]. Environmental pollution, 2001, 114(3): 313-324.

[5] 柴育红,王明新,赵兴青.化工工业园区地表灰尘重金属污染及健康风险:以常州市为例[J].环境工程,2019,37(8):190-194,172.

[6] 方月梅,张晓玲,刘娟,等.工业园区农用地土壤中重金属 Cu 和 Pb 的形态研究[J].湖北理工学院学报,2018,34(2):14-18.

[7] 吴红璇,史常青,张艳,等.乌海市煤矿区及周边春季降尘污染特征及来源分析[J].环境科学,2020,41(3):1167-1175.

[8] 孙浩,周春财,徐仲雨,等.淮北矿区土壤重金属空间分布与环境评价

[J].中国科学技术大学学报,2018,48(7):560-566.

[9] 陈毛华,刘明广,郭斌,等.阜阳市城郊菜地重金属污染调查与评价[J].地球与环境,2017,45(3):322-328.

[10] 张慧峰,钱枫,宋洋,等.城市交通对道路周边土壤重金属污染影响的研究[J].河北科技大学学报,2010,31(1):57-61.

[11] 尚二萍,许尔琪,张红旗,等.中国粮食主产区耕地土壤重金属时空变化与污染源分析[J].环境科学,2018,39(10):4670-4683.

[12] 范拴喜,甘卓亭,李美娟,等.土壤重金属污染评价方法进展[J].中国农学通报,2010,26(17):310-315.

[13] MÜLLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geology journal, 1969, 2(3): 109-118.

[14] 方晓波,史坚,廖欣峰,等.临安市雷竹林土壤重金属污染特征及生态风险评价[J].应用生态学报,2015,26(6):1883-1891.

[15] 魏复盛,杨国治,蒋德珍,等.中国土壤元素背景值基本统计量及其特征[J].中国环境监测,1991,7(1):1-6.

[16] 柴世伟,温琰茂,韦献革,等.珠江三角洲主要城市郊区农业土壤的重金属含量特征[J].中山大学学报(自然科学版),2004,43(4):90-94.