

县域尺度生态保护红线划定方法研究

朱康文^{1, 2} 雷波^{2*} 何君² 杨春华² 李建辉² 郑莉²¹

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716;

2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 401147)

【摘要】: 为解决目前全国普遍存在的生态保护红线无法落地的问题为目标, 建立县域尺度的生态保护红线划定方法体系, 对红线划定、特殊区域扣除以及边界核定等方面的具体方法进行明确。在立足保障区域生态安全的基础上, 充分考虑实际工作中的可行性、可操作性等问题, 结合区域实际情况对生态重要性评估方法进行参数调整使其更加符合山地城市的实际情况和满足县域尺度的精度要求。提出红线划定成果与多部门数据相结合, 既保障了区域经济的正常发展又解决了红线划定与经济发展之间的矛盾问题。通过本研究提出的划定方法得出九龙坡区的生态红线面积为 95.47km², 主要包含“四山”管制区、自然保护区、森林公园、生态重要性评价的区域等。划定结果符合九龙坡区的实际情况, 能够保障九龙坡区的生态安全, 表明研究提出的县域尺度的生态保护红线划定方法对于解决目前普遍存在的红线落地问题效果很好, 划定方法在重庆市及西南山区的其他区县均具有很好的普适性, 可供全国其他地区的县域尺度红线划定工作借鉴和参考。

【关键词】: 县域尺度 生态保护红线 重庆 九龙坡区

随着人口增长和经济的快速发展, 生态空间的破坏和生态退化已达到相当严重的程度, 危及人类自身及社会可持续发展^[1,2,3,4], 因此, 我国已开始高度重视生态环境问题, 国家和地方制定了包括主体功能区规划、生态功能区划、生态保护区建立等一系列空间优化和保护战略^[5,6,7,8,9], 提出需要严守生态空间范围, 不能以牺牲环境为代价换取一时的经济增长, 必须牢固树立生态保护红线(简称生态红线)的观念, 将划定生态红线作为深化改革的重要内容^[10,11]。红线最早在城市规划领域被使用, 表示城市建设的扩张边界。改革开放以来, 我国主要关注的是建设用地和发展空间, 并未过多重视生态空间。近年来, 由于环境问题突出, 保护生态空间成为关注的核心并受到高度重视^[12,13]。生态红线是在重点生态功能区、生态环境敏感/脆弱区划定的具有水源涵养、生物多样性维持、水土保持等生态功能的区域, 在维护区域生态安全格局, 支撑经济社会可持续发展方面作用重大, 是需要严格管控的区域^[14]。生态红线作为我国环境保护一项重要的制度创新, 其划定对于合理布局生态空间, 防止城市规划和建设盲目扩张, 防止生态空间被不断侵占, 有效缓解人地矛盾, 做到从源头解决城市生态环境问题等方面都具有重要意义^[15,16,17]。

生态红线这一概念的提出在国内外都较晚。我国在 2004 年首次提出生态红线的概念, 并在深圳、昆明、江苏等地进行了生态红线划定的试点工作, 主要对大尺度下的红线划定技术、理论和实践等方面进行了探索^[18]。国外没有生态红线的概念, 主要在生态脆弱性、自然保护区规划等方面进行了大量研究, 与生态红线划定存在一定的相似之处, 可以为中国生态红线划定提供参考。总的来说国内外在生态红线划定这一领域均处于起步阶段^[3]。目前我国生态红线划定工作在国家层面和省/市级层面均取得了一定的成果, 重庆、江苏、海南等已初步完成了省/市级层面的生态红线划定工作, 但是目前省/市级层面很难详尽反映区县层面的实际情况, 导致各省/市的红线划定工作均存在“落地难”的问题, 因此, 区县层面的红线划定工作已势在必行, 区县层面的红线

基金项目: 重庆市渝北区科技计划项目[2017(农社)52], 重庆市基本科研业务费计划项目(2016-hky-jcyj-01702)。

作者简介: 朱康文(1990—), 男, 博士研究生, 工程师, 主要从事 3S 技术应用研究。E-mail:zhukangwen0927@163.com

***通信作者:** 雷波(1978—), 男, 高级工程师, 主要从事生态环境研究。E-mail:leilibo@hotmail.com

划定方法急需提出。本研究在充分吸收国家层面和省/市级层面红线划定成果的基础上,结合重庆市市级层面红线划定过程中存在的实际问题,提出县域尺度的生态保护红线划定方法,同时满足省/市级层面的基本要求和区县级层面的落地要求。为区县生态红线划定工作提供支撑,使红线划定成果落到实处,达到“划得实”的目标,切实保护好具有重要生态功能或生态敏感/脆弱的区域。

重庆市九龙坡区属于重庆市主城九区之一,位于长江沿岸,区域内有长江上游最大的水陆联运港——九龙坡港和西南地区最大的铁路货运编组站——重庆西站。由于其独特的地理位置,九龙坡区生态红线的划定可以有效地从长江上游控制污染排放,对于提升整个三峡库区的水质具有重要的意义,有利于三峡库区生态屏障作用的发挥。区域内主要的生态屏障为“四山”管制区(即缙云山、中梁山、铜锣山、明月山),由于经济的快速发展,部分区域已经遭到破坏,生态空间已表现出不断缩小的趋势,生态空间保护措施急需推出。九龙坡区生态红线划定工作的积极推进可维护好长江中下游的生态环境,有利于保障区域经济可持续发展。因此,提出县域尺度生态红线划定方法,并以九龙坡区作为实例进行研究,对全国其他区域县域尺度的生态红线划定工作具有很好的参考和借鉴意义。

1 研究方法

县域尺度的生态红线划定主要包含红线划定、边界核定(含特殊区域扣除)两部分内容(图 1)。按照国家和重庆市发布的相关技术指南文件要求^[11,16],生态保护重要性评估是红线划定的基础,包含重点生态功能区、生态敏感区、禁止开发区等区域的划定。其中重点生态功能区划定涉及生态系统服务功能重要性评价中的极重要区,生态敏感区划定涉及水土流失敏感性评价和石漠化敏感性评价中的极敏感区,禁止开发区划定涉及各级自然保护区、城市级饮用水水源保护区、世界自然遗产地、湿地公园、森林公园、风景名胜区、地质公园、“四山”管制区(重庆特有)等,区县根据区域内生态资源禀赋情况可以增加诸如生态公益林、极小种群生境等纳入其他重要生态区域。

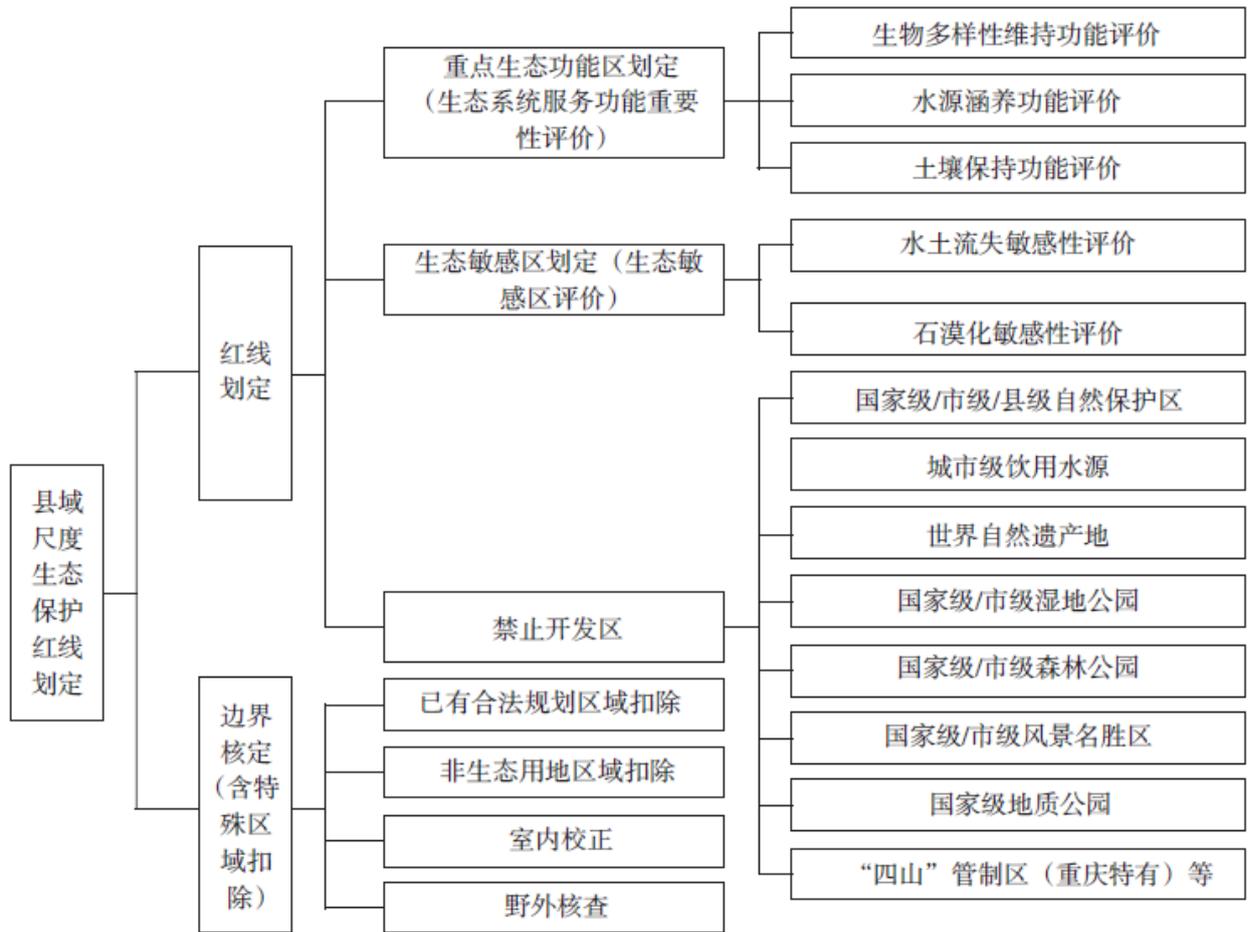


图1 技术路线图

1.1 生态系统服务功能重要性评价

通过参阅、总结学者在此方面的研究^[19,20,21,22],从数据的获取难易程度,方法的可操作性、易操作性等方面出发,选择水源涵养、生物多样性维持、土壤保持3个生态系统服务功能建立评价模型,对生态系统服务功能重要性进行综合评价。评价中涉及的所有数据以最大程度达到县级尺度的精度要求为标准,对于实在无法获取到高精度的数据在运算过程中通过 ArcGIS 软件进行重采样到高分辨率(10m)后再进行相关运算。

1.1.1 生物多样性维持

生物多样性维持功能评价区域内不同空间位置生物多样性保护的重要性^[23,24]。采用生物多样性保护服务能力指数进行评价,计算公式为:

$$W_{\text{bio}} = NPP_{\text{mean}} \times E_{\text{pre}} \times E_{\text{tem}} \times (1 - E_{\text{alt}}) \quad (1)$$

式中: W_{bio} 为生物多样性保护服务能力指数; NPP_{mean} 为生态系统净初级生产力平均值(采用 MODIS 成品数据 MOD17A3); E_{pre} , E_{tem} , E_{alt} 分别为多年平均降水量、多年平均气温、海拔高度,均归一化到 0~1 之间。降水量数据和气温数据来源于区县及相邻区县常规气象站点,海拔数据来源于各区县地形数据。

1.1.2 水源涵养

水源涵养功能用森林生态系统的蓄水效应^[26]来衡量。

$$B = A \cdot P \cdot I \quad (2)$$

$$P = E_{pre} \cdot M \quad (3)$$

式中: B 表示草地、森林、农田、湿地等生态系统与裸地相比较水源涵养的增加, 单位为 $\text{mm}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$; A 为某种生态系统面积, 单位为 km^2 , 采用区县国土部门的土地利用调查数据; P 为多年年平均产流降雨量, 单位为 mm ; I 为森林生态系统与裸地比较减少径流的效益系数; E_{pre} 为多年平均降水量, 单位为 mm ; M 为产流降雨量占降雨总量的比例, 根据重庆市各区县 2005—2015 年水资源统计公报中产水系数计算得到。 I 值根据重庆市相关研究成果^[26]得到, 常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿针叶林、落叶针叶林、针阔混交林、水库/坑塘、河流、沼泽、水田、旱地、常绿灌木林、落叶灌木林、园地、草甸、草丛、裸土、稀疏植被的 I 值分别为 0.39, 0.34, 0.36, 0.30, 0.34, 0, 0, 0.38, 0.42, 0.29, 0.30, 0.25, 0.30, 0.25, 0.20, 0.10, 0.20。

1.1.3 土壤保持

将通用土壤流失方程作为理论基础, 建立降雨侵蚀力(D)、土壤可蚀性(F)、坡长坡度(G)和植被覆盖与管理-水土保持措施因子($C \cdot P$)等指标体系, 计算潜在、实际土壤侵蚀量^[27, 28]。

$$U = D \cdot F \cdot G \cdot C \cdot P \quad (4)$$

$$V = D \cdot F \cdot G \cdot (1 - C \cdot P) \quad (5)$$

式中: U 为土壤侵蚀量; V 为土壤保持量; D 根据气象数据计算得到, 采用相关研究中适合南方地区的年 D 值估算式进行修正得到^[29]。

$$D = \sum_{i=0}^{12} 0.3046 P_i - 2.6398 \quad (6)$$

式中: D 为年侵蚀力, 单位为 $\text{j} \cdot \text{cm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; P_i 为多年月平均降雨量, 单位为 mm 。

土壤 F 值为衡量土壤抵抗水蚀能力大小的一个相对综合指标, F 值愈大的土壤其抗冲抗蚀能力愈小; 反之 F 值愈小抗冲抗蚀能力愈强。参照相关研究^[30]得到重庆市各种土壤可蚀性 F 值, 红壤、黄壤、黄棕壤、黄褐土、棕壤、水稻土、新积土、暗棕壤、石灰土、山地草甸土、粗骨土、紫色土的 F 值分别为 0.0075, 0.0156, 0.0168, 0.0192, 0.0072, 0.0185, 0.0185, 0.0113, 0.0171, 0.0176, 0.0077, 0.0184。

因子 G 以高程数据为数据源, 采用 ArcGIS 软件中的栅格-邻域计算工具, 按 3×3 的窗口进行提取。 $C \cdot P$ 因子根据张照录等关于全国植被覆盖与管理因子研究, 结合重庆市山地城市实际情况并征询专家意见得到^[31]。森林、灌丛、园地、水田、旱地、湿地、人工表面、裸地、草地的 C 因子和 P 因子值分别为 0.0050, 0.0990, 0.1800, 0.1800, 0.2280, 0, 0, 1, 0.1120 和 1, 1, 0.6900, 0.1500, 0.3520, 0, 0.0100, 1, 1。

1.1.4 综合评价

单项因子的生态系统服务功能重要性评估不能反映生态系统综合服务功能的空间差异性,仅代表某个服务功能的重要性。本研究采用 GIS 强大的空间分析能力,对各因子进行空间融合,以此进行生态系统服务功能重要性的综合评价。

$$Y = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 Y_i} \quad (7)$$

式中:Y 代表生态系统服务功能综合指数, Y_i 为 i 因子生态系统服务功能等级值。采用极差法将 Y 标准化到 0~1 之间,标准化的结果采用自然断点法分为 5 个等级(一般重要、比较重要、中等重要、高度重要、极重要)。

1.2 生态敏感性评价

生态系统对人类活动反应的敏感程度用生态敏感性表示,它可以反映生态失衡与生态环境问题产生的概率大小,可以确定哪些区域生态环境影响最敏感,以此为生态环境保护提供依据。重庆市生态敏感性评价包括水土流失和石漠化敏感性评价^[32, 33, 34, 35]。

1.2.1 水土流失敏感性

按照水土流失发生的动力条件分为水力和风力侵蚀,本研究主要分析针对水力侵蚀导致的水土流失敏感性。选取 D_i , F_i , G_i 、植被覆盖度 (H_i) 作为评价指标^[36, 37, 38]。利用 GIS 的空间叠加分析功能,按照如下公式进行计算即得到水土流失敏感性等级分布图:

$$Z = \sqrt[4]{D_i \times F_i \times G_i \times H_i} \quad (8)$$

式中:Z 表示水土流失敏感性指数, D_i , F_i , G_i 与“1.1.3 土壤保持”功能重要性评价中的方法一致。 H_i 与潜在植被的分布关系密切,采用 NDVI 植被指数法来估算植被覆盖度,数据源为 2010—2015 年的 MODIS 数据。

$$H_i = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (9)$$

式中: $NDVI_{soil}$ 为无植被覆盖地表所贡献的信息; $NDVI_{veg}$ 为完全植被覆盖地表所贡献的信息。

1.2.2 石漠化敏感性

石漠化形成主要受是否为喀斯特地形 (R_i ——碳酸岩出露面积百分比)、地形坡度 (T_i)、植被覆盖度 (H_i) 等因子影响,利用 GIS 软件的空间叠加分析功能,按照如下公式进行计算即可得到石漠化敏感性评估结果^[39, 40, 41]:

$$J_i = \sqrt[3]{R_i \times T_i \times H_i} \quad (10)$$

式中: J_i 表示 i 评价区域石漠化敏感性指数; R_i 为区域单元范围内碳酸岩出露面积占单元总面积的百分比; T_i 是在 GIS 软件中根据高程数据提取得到。

1.3 边界核定

边界核定是在叠加高分遥感影像、土地利用现状调查等数据的基础上,对红线的边界进行调整,保证边界的准确性和图斑的完整性。边界核定前应对红线区域内不应划入的区域进行扣除,需要扣除的区域主要包括:(1)已有规划区域,涉及国土、规划、环保、水利、林业、旅游、园林等部门的区县(自治县)级别以上的合法规划或项目数据;(2)除已有规划区域以外的非生态用地区域,非生态用地指除生态用地以外的区域,生态用地的土地利用分类标准参照《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017),主要包括林地(有林地、灌木林地、其他林地)、草地(天然牧草地、人工牧草地、其他草地)、水域(河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、内陆滩涂)、其他土地(裸地);(3)其他区域(高分遥感影像中现有合法的生产生活用地)。

边界核定是在上述基础上,综合土地利用现状数据、森林资源调查数据、高分遥感影像等,采用室内人机交互与野外现场调查相结合的方法,对边界进行核定和校正。红线区边界的核定,主要是通过室内人机交互和野外现场调查两种形式进行。

室内人机交互是采用人机交互模式核定红线边界,确保边界清晰、切合实际、连通性完好。具体方法是将红线区边界叠合到土地利用现状数据、森林资源调查数据、高分遥感影像上,当红线区的边界线穿过非生态用地类型的现状图斑时,需将现状图斑全部调出红线范围,当红线区边界线穿过生态用地类型的现状图斑时,当位于红线区范围内的面积不小于该图斑总面积的 50%时,将现状图斑纳入生态红线范围,反之,则将现状图斑调出生态红线范围。

野外现场调查是指室内人机交互环境下,无法确定生态红线边界或遇生态类型不明确区域,须进行野外现场调查,因方法与常用的遥感野外核查基本一致所以不再详细描述。野外调查完成得到的成果即县域尺度的生态红线划定结果。

2 实例研究

2.1 九龙坡区红线划定

按照上述方法对九龙坡区进行生态系统服务功能重要性评价、生态敏感性评价(九龙坡区为非碳酸岩地区,所以仅进行水土流失敏感性评价),并收集禁止开发区相关数据(九龙坡区主要涉及自然保护区、饮用水源地保护区、湿地公园、森林公园、“四山”管制区等)。生态重要性评估过程中的数据分辨率均高于 1:10000(九龙坡区统一采用 1:10000),未达到分辨率要求的以能够获取的最高分辨率的数据代替,且在运算之前在 ArcGIS 软件中重采样到 10m。

2.1.1 生态系统服务功能重要性评价

九龙坡区生物多样性维持功能以中等重要及以下为主,极重要和高度重要分别占幅员面积的 2.91%和 8.56%,主要分布在缙云山、中梁山、含谷镇西北部等区域[图 2(a)]。水源涵养功能以高度重要及以下为主,极重要和高度重要分别占幅员面积的 8.49%和 18.95%,极重要区主要分布在缙云山、中梁山,高度重要区广泛分布[图 2(b)]。土壤保持功能以中等重要及以下为主,极重要和高度重要分别占幅员面积的 5.38%和 9.25%,主要分布在缙云山、中梁山、含谷镇西北部、西彭镇西南部等区域[图 2(c)]。生态系统服务功能以中等重要及以下为主,极重要和高度重要分别占幅员面积的 1.16%和 7.44%,主要分布在缙云山、中梁山、含谷镇西北部、走马镇、巴福镇等区域[图 2(d)]。从 4 张图的分布可以看出,极重要区基本分布在缙云山、中梁山区域、含谷镇西北部,一般重要主要分布在九龙镇、石桥铺街道、铜罐驿镇、西彭镇等经济发展较好的区域。这与李月臣等^[19]对三峡库区和香宝等^[42]对成渝经济区进行的生态系统服务功能重要性评价结果基本一致,生态系统服务功能较好的区域基本分布在森林覆盖较好的区域,城镇区域的功能普遍较差,表明森林和人类活动是影响生物多样性、水源涵养和土壤保持的主要因素。

根据生态系统服务功能重要性评价,将生态系统服务功能评价结果中的极重要区域作为重点生态功能区红线,从图 2 可以看出极重要区分布相对集中,部分区域分布的面积较小的独立斑块应予以剔除,得到生态系统服务功能极重要区红线数据,面积为 5.04km²。

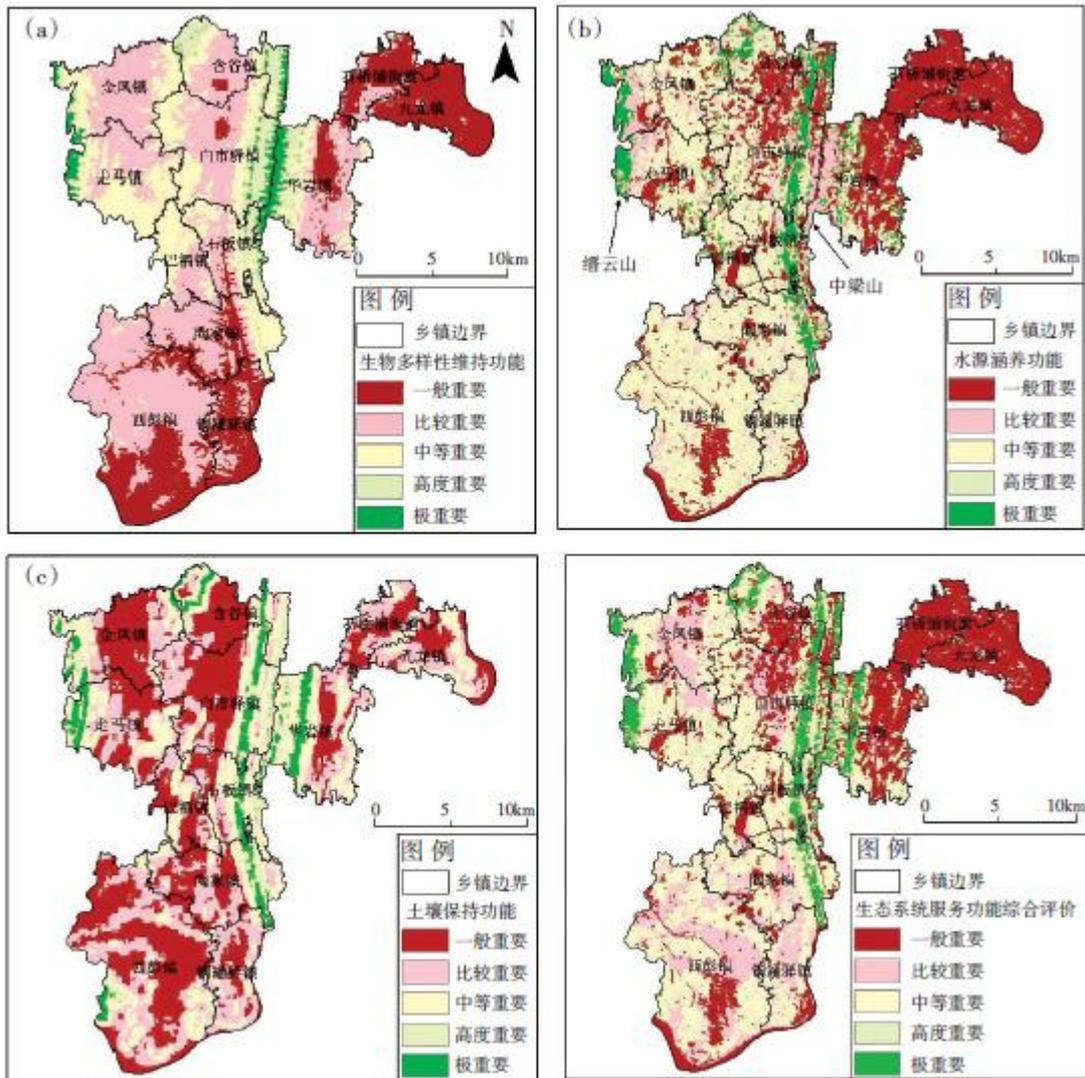


图2 生态系统服务功能评估因子及综合评价图

2.1.2 生态敏感性评价

九龙坡区水土流失敏感性评价中极敏感区的面积为 47.28km²,占全区幅员面积的 10.99%,主要分布在缙云山、中梁山、长江干流附近以及九龙坡城区等区域(图 3)。综合生态系统服务功能评价分析发现,极敏感区主要分布在缙云山的山麓区域、中梁山的山麓和山顶人类活动较频繁的区域、区域内水系附近人类活动较频繁的区域,说明人类活动频繁的区域容易发生水土流失,但是真正已经被完全开发的区域(如石桥铺街道、九龙镇)、林地覆盖较好且保护较好的区域(如缙云山山麓以上区域),基本都不敏感。这与刘春霞等^[39]对三峡库区重庆段等进行的相关研究结论基本一致,与杨淑梅等^[43]对红池坝区域做的生态敏感性分析结果一致,表明对山地城市生态敏感性影响较大的因素主要是坡度、人类活动等。九龙坡区的生态敏感性评价中的极敏感区分布相对比较集中,对于部分面积过小的独立斑块进行剔除,得到水土流失敏感性区域红线数据。

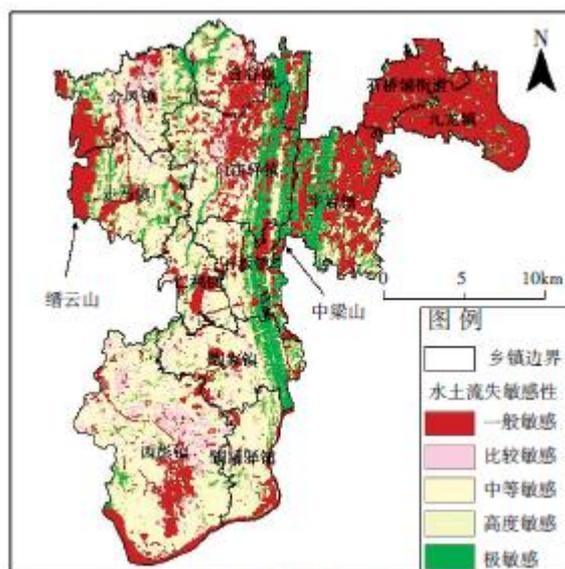


图3 水土流失敏感性评价结果

2.1.3 禁止开发区

禁止开发区主要包括以下区域:长江上游国家级自然保护区、白市驿县级自然保护区、重庆彩云湖国家湿地公园、白市驿城市花卉市级森林公园、白塔坪市级森林公园、尖刀山市级森林公园、重庆市自来水公司和尚山水厂饮用水水源地保护区、长江大学城水厂饮用水水源地保护区、大河沟水库饮用水水源地保护区、拦河水库饮用水水源地保护区、冷家河水库饮用水水源地保护区、廖家沟水库饮用水水源地保护区、马家沟水库饮用水水源地保护区、重庆四维自来水公司饮用水水源地保护区、重庆市九龙坡区铜罐驿自来水厂饮用水水源地保护区、西南铝业(集团)公司水厂饮用水水源地保护区、“四山”管制区。禁止开发区的总面积为 82.95km²(图 4)。其中自然保护区、饮用水水源地保护区、湿地公园、森林公园、“四山”管制区的面积分别为 8.47km², 3.05km², 1.12km², 2.68km², 67.63km²。

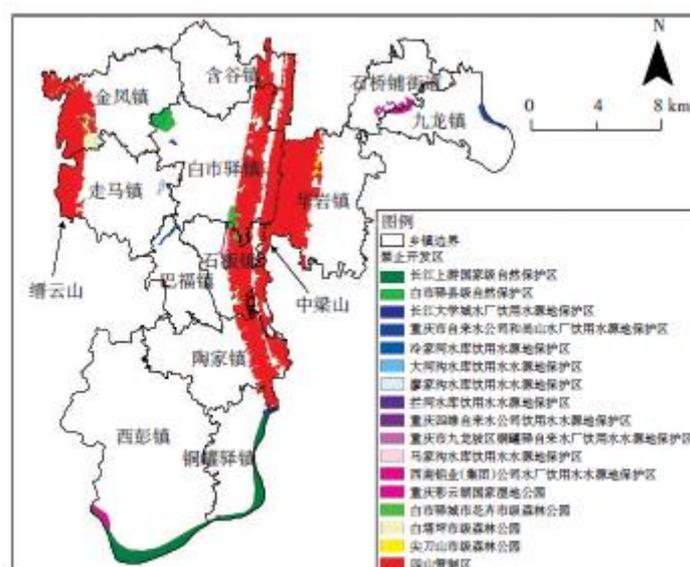


图4 禁止开发区

2.2 九龙坡区红线边界核定

需要扣除区域主要包含已有规划区域(九龙坡区土地利用总体规划和社区规划中的城镇用地、港口码头用地、水工建筑用地、其他独立建设用地等)、非生态用地区域、高分遥感影像中现有合法的生产生活用地。从图 5(a)可以看出需要扣除的区域主要分布在中梁山两侧区域,得到扣除后红线数据,按照 2.3 方法对其进行边界核定,得到的成果即为九龙坡区生态红线划定结果。

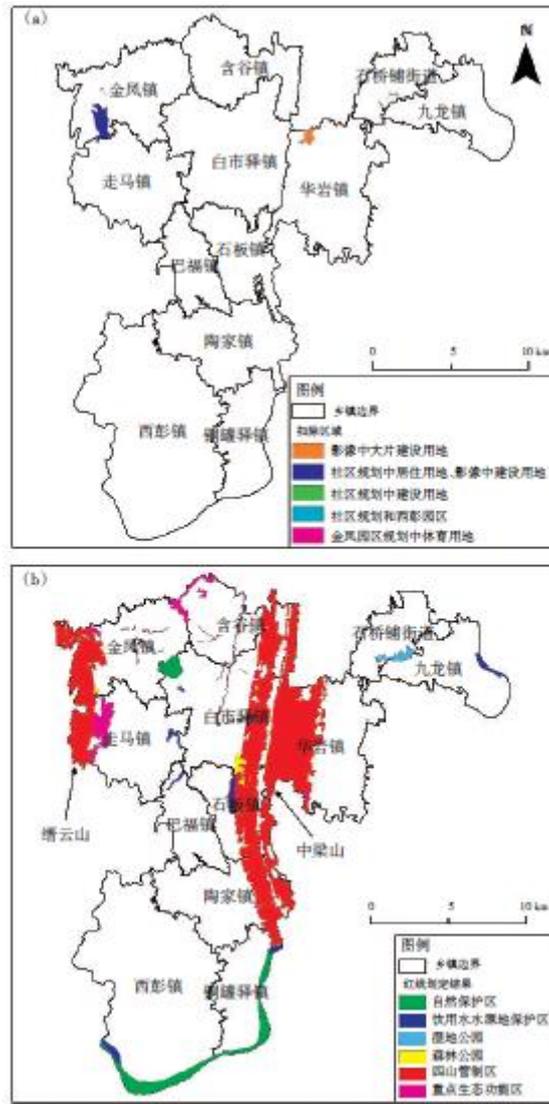


图5 扣除区域及红线划定结果分布图

九龙坡区的红线数据在叠加扣重之前包含了生态重要性评估和其他重要生态区域,扣重之后的分布图如图 5(b)所示,得到九龙坡区生态红线的总面积为 95.47km²。红线主要包含 6 大块区域:(1)金凤镇和走马镇的西部缙云山区域;(2)金凤镇与白市驿镇交界处;(3)中梁山区域;(4)石桥铺街道与九龙镇交界处;(5)九龙镇东部的长江干流沿岸区域;(6)西彭镇和铜罐驿镇南部的长江干流沿岸区域。可以看出红线主要包含了九龙坡区的中梁山、缙云山等森林覆盖率较高的区域,以及一些主要的已有保护边界的区域。通过野外核查验证,生态重要性评价结果与实地的情况一致性非常高(空间一致性达到 90%),除了山体中存在较少的采石、开矿等小范围的被破坏的区域没有识别排除掉,其他区域都具有重要的生态价值,对于维护九龙坡区的生态安全具有很强的保障作用。将划定的生态红线区域严格管控好,对于已有的破坏行为进行制止,对已有的合法开采企业采用逐步退出的方式,对已经关

停的开采区域进行生态修复,以保障九龙坡区经济的可持续发展,推动区域的绿色、高效发展。

3 结果与讨论

本研究主要针对全国大多数省市目前存在的生态红线无法落地的问题,提出县域尺度的生态红线划定方法,为解决目前最迫切的问题提供可参考的解决方案。本研究提出的划定思路和方法在立足保障区域生态安全的基础上,考虑了实际工作中的可行性、可操作性等问题。研究结合重庆市的实际情况对生态重要性评估方法(生态系统服务功能评价和生态敏感性评价)进行了一定参数调整,使其更加符合重庆市这种山地城市的实际情况和满足县域尺度的精度要求。在边界核定方面提出与多部门数据相结合,在保障区域经济正常发展的情况下对红线区进行调整,以最大限度地降低红线划定与区域经济发展之间的矛盾,从而更好地推进区域的生态红线划定工作。

通过重庆市九龙坡区的实践验证,红线划定成果与九龙坡区各部门的相关数据(规划、方案等)进行了充分对接,得到九龙坡区的生态红线面积为 95.47km²,主要包含了“四山”管制区、自然保护区、森林公园、生态重要性评价的区域等。划定成果符合九龙坡区实际情况和要求,划定的区域均具有重要的生态价值,能够保障区域内的生态安全。实践研究表明,提出的县域尺度的生态红线划定方法能够很好地解决目前普遍存在的红线落地难的问题,对于重庆市及西南山区的其他区县来说具有很好的普适性,对于全国其他地区的红线划定工作具有重要的借鉴和参考价值。

参考文献:

[1]赵士洞,汪业勋.生态系统管理的基本问题[J].生态学杂志,1997,16(4):35-38.

[2]祝光耀.大力推进生态功能保护区建设[J].中国生态农业学报,2004,12(4):1-4.

[3]DE LANGE H J,SALA S,VIGHI M,etal.Ecological vulnerability in risk assessment-A review and perspectives [J].Science of the Total Environment,2010,408(18):3871-3879.

[4]马克明,傅伯杰,黎晓亚,等.区域生态安全格局:概念与理论基础[J].生态学报,2004,24(4):761-768.

[5]樊杰.中国主体功能区划方案[J].地理学报,2015,70(2):186-201.

[6]王振波,徐建刚.主体功能区划问题及解决思路探讨[J].中国人口·资源与环境,2010,20(8):126-131.

[7]张惠远.我国环境功能区划框架体系的初步构想[J].环境保护,2009,36(2):7-10.

[8]蔡佳亮,殷贺,黄艺.生态功能区划理论研究进展[J].生态学报,2010,30(11):3018-3027.

[9]燕乃玲,虞孝感.我国生态功能区划的目标、原则与体系[J].长江流域资源与环境,2003,12(6):579-585.

[10]国务院办公厅.国务院关于加强环境保护重点工作的意见[J].环境保护,2011,39(21):12-15.

[11]朱康文,雷波,何君,等.重庆市生态保护红线空间管理系统研究与应用[J].三峡生态环境监测,2017,2(2):1-8,27.

[12]高吉喜.国家生态保护红线体系建设构想[J].环境保护,2014,42(Z1):18-21.

-
- [13]郑华, 欧阳志云. 生态红线的实践与思考[J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(4):457-461, 448.
- [14]杨邦杰, 高吉喜, 邹长新. 划定生态保护红线的战略意义[J]. 中国发展, 2014, 14(1):1-4.
- [15]蒋大林, 曹晓峰, 匡鸿海, 等. 生态保护红线及其划定关键问题浅析[J]. 资源科学, 2015, 37(9):1755-1764.
- [16]汪自书. 城市生态红线的内涵及划定方法研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(9):37-40.
- [17]徐德琳, 邹长新, 徐梦佳, 等. 基于生态保护红线的生态安全格局构建[J]. 生物多样性, 2015, 23(6):740-746.
- [18]饶胜, 张强, 牟雪洁. 划定生态红线创新生态系统管理[J]. 环境经济, 2012(102):57-60.
- [19]李月臣, 刘春霞, 闵婕, 等. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价[J]. 生态学报, 2013, 33(1):168-178.
- [20]朱康文, 雷波, 李月臣, 等. 生态红线保护下的两江新区土地利用/覆盖情景模拟及生态价值评估[J]. 环境科学研究, 2017, 30(11):1801-1812.
- [21] MCMAHON T A, HALSTEAD N T, JOHNSON S, et al. Fungicide-induced declines of freshwater biodiversity modify ecosystem functions and services[J]. Ecology Letters, 2012, 15(7):714-722.
- [22] SANCHIRICO J N, MUMBY P. Mapping ecosystem functions to the valuation of ecosystem services: Implications of species-habitat associations for coastal land-use decisions[J]. Theoretical Ecology, 2009, 2(2):67-77.
- [23]马克平. 2012年中国生物多样性研究进展简要回顾[J]. 生物多样性, 2013, 21(1):1-2.
- [24] REYERS B, FAIRBANKS D H K, WESSELS K J, et al. A multicriteria approach to reserve selection: Addressing long-term biodiversity maintenance[J]. Biodiversity & Conservation, 2002, 11(5):769-793.
- [25]刘明. 凤凰山林场小流域试验场森林土壤涵养水源效益研究[J]. 林业资源管理, 1998(6):51-54.
- [26]邓伟, 刘红, 李世龙, 等. 重庆市重要生态功能区生态系统服务动态变化[J]. 环境科学研究, 2015, 28(2):250-258.
- [27]谢云, 林燕, 张岩. 通用土壤流失方程的发展与应用[J]. 地理科学进展, 2003, 22(3):279-287.
- [28] SILVA R M D, MONTENEGRO S M G L, SANTOS C A G. Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: A case study of Tapacurá catchment[J]. Natural Hazards, 2012, 62(3):953-970.
- [29]吴昌广, 林德生, 肖文发, 等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1):151-158.
- [30]吴昌广, 曾毅, 周志翔, 等. 三峡库区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(3):8-12.
- [31]张照录. 基于 DEM 通用土壤流失方程地形因子的算法设计与优化[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3):203-205.

-
- [32]潘峰,田长彦,邵峰,等.新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J].地理学报,2011,66(11):1497-1507.
- [33]杨春华,雷波,李剑,等.重庆市生态环境敏感性评价方法研究[J].三峡生态环境监测,2017,2(2):19-27.
- [34] VERDY A, CASWELL H. Sensitivity analysis of reactive ecological dynamics[J].Bulletin of Mathematical Biology,2008,70(6):1634-1659.
- [35] FUENTES M, KITTEL T G F, NYCHKA D. Sensitivity of ecological models to their climate drivers:Statistical ensembles for forcing[J].Ecological Applications:A Publication of the Ecological Society of America,2006,16(1):99-116.
- [36]王娇,程维明,祁生林,等.基于 USLE 和 GIS 的水土流失敏感性空间分析——以河北太行山区为例[J].地理研究,2014,33(4):614-624.
- [37]王效科,欧阳志云,肖寒,等.中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J].生态学报,2001,21(1):14-19.
- [38] VOGEL E, DEUMLICH, KAUPENJOHANN M. Bioenergy maize and soil erosion-risk assessment and erosion control concepts[J].Geoderma, 2016, 261: 80-92.
- [39]刘春霞,李月臣,杨华.三峡库区(重庆段)石漠化敏感性评价及空间分异特征[J].长江流域资源与环境,2011,20(3):291-297.
- [40]王世杰.喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J].中国岩溶,2002,21(2):101-105.
- [41] ZHANG J Y, DAI M H, WANG L C, et al.The challenge and future of rocky desertification control in Karst areas in Southwest China[J].Solid Earth, 2016, 7(1): 83-91.
- [42]香宝,任华丽,马广文,等.成渝经济区生态系统服务功能重要性评价[J].环境科学研究,2011,24(7):722-730.
- [43]杨淑梅,唐巧,周建华.基于生态敏感性分析的重庆红池坝中山草甸景区景观保护规划研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(12):102-108.