

DOI: 10.5846/stxb201611182345

王丽霞, 邹长新, 王燕, 林乃峰, 吴丹, 姜宏, 徐德琳. 基于 GIS 识别生态保护红线边界的方法——以北京市昌平区为例. 生态学报, 2017, 37(18): 6176-6185.

Wang L X, Zou C X, Wang Y, Lin N F, Wu D, Jiang H, Xu D L. Methods to identify the boundary of ecological protection red line regions using GIS: a case study in Changping, Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(18): 6176-6185.

基于 GIS 识别生态保护红线边界的方法 ——以北京市昌平区为例

王丽霞¹, 邹长新^{1,2,*}, 王 燕¹, 林乃峰¹, 吴 丹¹, 姜 宏¹, 徐德琳¹

¹ 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042

² 南京信息工程大学江苏省大气环境与装备技术协同创新中心, 南京 210044

摘要:生态保护红线是中国生态保护的一项重要创新,已被列为国家监管生态环境的重要政策。国家环境保护部于 2015 年发布了《生态保护红线划定技术指南》,确定了生态保护红线的划定方法,但是在识别生态保护红线边界时还存在一些技术难点。针对这一问题,本文探索了生态保护红线边界的优化方法。提出了生态保护红线边界优化遵循基本原则。以北京市昌平区为例,阐明了如何利用 ArcGIS 软件将划定生态保护红线的技术流程,包括评价各类生态功能区和敏感区,识别生态保护红线范围,准确定位生态红线边界 3 个主要步骤。最后通过对比优化前后的生态保护红线划定方案,阐明了该方法的可行性和存在的问题。

关键词:自然保护区; 环境保护; 生态保护红线; 生态安全; 生态功能区; 生态敏感区

Methods to identify the boundary of ecological protection red line regions using GIS: a case study in Changping, Beijing

WANG Lixia¹, ZOU Changxin^{1,2,*}, WANG Yan¹, LIN Naifeng¹, WU Dan¹, JIANG Hong¹, XU Delin¹

¹ Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

² Jiangsu Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology (CICAET), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: The ecological protection red line is an important innovation in ecological conservation in China, and underpins a national policy for monitoring and managing important ecological environments. Guidelines for identifying the red line areas were issued by the Ministry of Environmental Protection of China in 2015. However, there are some technical difficulties in identifying the boundaries of the red line regions. This paper explores an optimization method to identify the ecological protection red line using the spatial analysis function of GIS software. Two initial principles are put forward: first, the boundary should be refined using higher resolution data when these boundaries are not within a nature reserve; second, the boundaries of the ecological protection red line should follow the boundaries of natural conservation areas. We applied the optimized method to identify the boundaries of the ecological protection red line using the Changping District of Beijing city as an example. The ecological functions of water conservation, soil conservation, sand fixation and biodiversity in the study area were identified and classified according to the rapid evaluation method on basis of net primary productivity (NPP) in the guidelines, and maps of their spatial distribution were produced. Then, spatial overlay analysis was carried out using the evaluation layers, and a comprehensive evaluation result was obtained by grading the evaluation output from the spatial

基金项目:重要生态功能区退化生态系统修复模式研究与应用示范(20140955);中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(20160103)

收稿日期:2016-11-18; **修订日期:**2017-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zcx@nies.org

overlay analysis. The preliminary design of ecological protection red line was established after removing some scattered small patches or merging the small patches into the adjacent large patches. Then, the preliminary design was optimized by overlaying a land use layer which had a higher spatial accuracy to identify the explicit boundary of the ecological protection red line region. The use of the high-accuracy land use layer transformed the low spatial resolution boundary to a high spatial resolution boundary after the overlay. Finally, the ecological protection red line was fine-tuned with reference to high resolution imagery and various planning policies. This fine-tuning will benefit the identification of much more accurate boundary locations for the ecological protection red line, and guarantee the implementation of the ecological protection policy in a specific land block with a clearly defined spatial extent. The above case study resolved the technical difficulties surrounding delineation of the ecological protection red line, and showed how to adjust and optimize the red line boundary. The feasibility of the research methods to solve the boundary definition problem was confirmed by comparing the ecological protection red line before and after adjustment.

Key Words: Nature reserve; environmental conservation; ecological protection red line; ecological security; ecological functional zone; ecological sensitive area

为应对日益突出的生态环境问题,世界上许多国家建立了自然保护区、保护地、国家森林公园、名胜风景区^[1-2]。实践证明这些措施对区域生态系统起到显著保护效果^[3-4]。但是仍有一些脆弱的和敏感的生态系统未得到有效保护^[5-6]。针对这一问题,我国生态学家首次提出了“生态保护红线”的概念,强调对重要生态功能区、生态敏感区、脆弱区和生物多样性保护区进行一体化保护,以确保国家生态安全。生态红线的早期雏形是生态规划中的“红线控制区”^[7]。近年来生态保护红线的概念主要以“生态红线区”出现^[8-9]。目前,学术界对生态保护红线的概念已有比较一致的认识,将生态保护红线定义为“对于维护自然生态系统服务持续稳定发挥,保障国家和区域生态安全具有关键作用,在重要生态功能区、生态环境敏感区、脆弱区等区域划定的必须实行严格保护的国土空间”^[10-12]。

生态保护红线是中国生态文明建设的一项重要创新。中国是世界上第一个将生态保护红线理论应用于全国生态管理的国家^[13]。生态保护红线与国外的保护地(protected area)系统、国家公园体系、自然保护区网络比较类似^[3,14-16]。但是生态保护红线不仅强调保护完整的生态系统和分级保护,还强调将重要生态功能区、生态环境敏感区、脆弱区等进行一体化管理^[17-18]。

生态保护红线实质是生态安全底线,是严格管控的生态空间界线,它由重要生态功能区保护红线、生态敏感区和脆弱区保护红线、生物多样性保护红线三大类型构成^[9]。生态保护红线强调从宏观格局上优化和调整生产、生活和生态空间,对于维护国家和区域生态安全格局、保障生态系统功能、支撑经济社会可持续发展具有关键作用。

划定并严守生态保护红线被写入 2014 年修订的《中国环境保护法》。生态保护红线上升到国家法律层面,建立了法律保障制度体系。2015 年国家环保部颁布了《生态保护红线划定技术指南》(以下简称《指南》)^[19],阐述了生态红线的定义(生态红线是指对维护自然生态系统服务,保障国家和区域生态安全具有关键作用,在重要生态功能区、生态敏感区、脆弱区等区域划定的最小生态保护空间),以及生态红线划定的基本原则、技术流程、范围、方法等,为国家生态红线划定提供方法指导和技术支撑。但是该技术指南没有涉及划定生态红线的技术细节。生态保护红线的划定毕竟是一项新的工作,相关技术方法仍处于不断探索阶段,全国各地对生态保护红线的划定方法都存在不少差异^[20-25]。

目前,与生态红线相关的区划,如《全国主体功能区规划》、《全国生态功能区划(修编版)》、《全国生态脆弱区保护规划纲要》等,借助区划概念进行划分,空间分辨率较低,地面勘界的可操作性较差,无法为生态红线划分提供精确信息。现实中,各生态区之间的边界一般是模糊的和逐渐过渡的,没有十分明确的界线^[26-28]。生态保护红线要求必须有明确的边界,解决边界不清的问题,确定明确的空间保护范围^[29-30]。但大

部分生态系统服务功能和生态脆弱性的评价是在一定的空间尺度上进行的^[31],例如一部分生态功能和脆弱性评价的数据来自 MODIS 数据,其最大分辨率 250m,部分 1000m。由于受评价数据精度、区域面积、及规划等多因素的制约,边界精度尚低。

目前,针对红线边界进行内业优化调整的技术方法很少。如何高效、合理地优化和调整区域生态保护红线边界成为目前的技术难点。针对这一问题,本文以北京市昌平区为例,主要目的是探索一套基于遥感和 GIS 空间分析技术的区域生态保护红线的边界优化方法,以提高生态保护红线划定的准确性和分辨率,为生态保护红线的实际落地勘查提供工作底图,为实现生态红线严格保护与监管奠定基础。

1 生态保护红线边界优化的原则

划定生态保护红线需要对研究区的主要生态功能进行评估,边界优化遵循以下原则:

1.1 评价结果未在自然保护地边界内的,按高分辨率数据进行边界细化

经过功能评估和生态敏感性评价得出的生态红线区,如生态功能极重要区、生态环境脆弱区等,需参照高分辨率影像和土地利用的数据进行细化。细化的主要原则如下:外界细化与已有的高分辨率土地利用数据及各种规划相协调(以评价方案边界为参考叠加大比例尺数据,以大比例尺数据为准,确定具体范围);调整后的生态保护红线边界基本与土地利用的边界一致,调整前后面积相差不超过 5%。

1.2 边界遵循已有自然保护地边界

有明确法律界限的严格按照法律界限:自然保护区、世界文化自然遗产、风景名胜区、森林公园、地质公园和饮用水源保护区等有明确法律依据的边界,必须按照明确的边界进行划定,不得更改。自然保护地内有部分生态保护红线的,生态保护红线应按照自然保护地边界确定。

2 昌平区生态保护红线划定方案

2.1 昌平区概况

昌平区位于北京西北部,南接海淀区、东连朝阳区和顺义区。地理坐标 115°50'17"—116°29'49"E、40°2'18"—40°23'13"N 之间,全区总面积 1343.5km²(图 1)。截至 2015 年底,全区常住人口 196.3 万人。主要气候类型为暖温带,半湿润大陆性季风气候。主要河流有东沙河、北沙河、南沙河,三条支流汇聚成温榆河干流,对经济和社会发展具有重要支撑作用。昌平区有 2 个国家级森林公园、2 个市级森林公园、1 个国家级风景名胜区和 4 个区县级风景名胜区,总面积为 436.30km²,占昌平区总面积的 32.5%。昌平区是北京西北地区的重要生态屏障,其境内的山区、半山区占全区总面积的 60%。2015 年昌平区森林覆盖率达到 48%^[32]。

2.2 生态保护红线划定基本过程

生态保护红线划定包括生态功能评价、识别生态保护红线区范围和准确定位生态红线边界 3 个基本步骤。

2.2.1 主要生态功能的评价

昌平区没有国家级的生态功能区、生态敏感区脆弱区和自然保护区。依据昌平区生态环境实际情况,经识别后认定昌平区有重要生态功能区、生态脆弱区(土地沙化敏感区和泥石流易发区)和国家级风景名胜区 3 类生态重要区域。根据《生态保护红线划定技术指南》,生态保护红线包含了重要生态功能区保护红线、生态敏感区和脆弱区保护红线、生物多样性保护红线三大类型。按照《指南》中的 NPP 快速评价法对昌平区的主要生态功能进行评价。

首先,基于 CASA 光能利用率模型计算生态系统净初级生产力(NPP)。然后对水源涵养功能、土壤保持功能、防风固沙功能和生物多样性维护功能(图 2)等进行了分级评价(一般、较重要、重要、极重要)和空间分布识别。

其中,水源涵养(WR)、土壤保持(S_{pro})、防风固沙(S_{ws})和生物多样性(S_{bio})分别由如下公式计算:

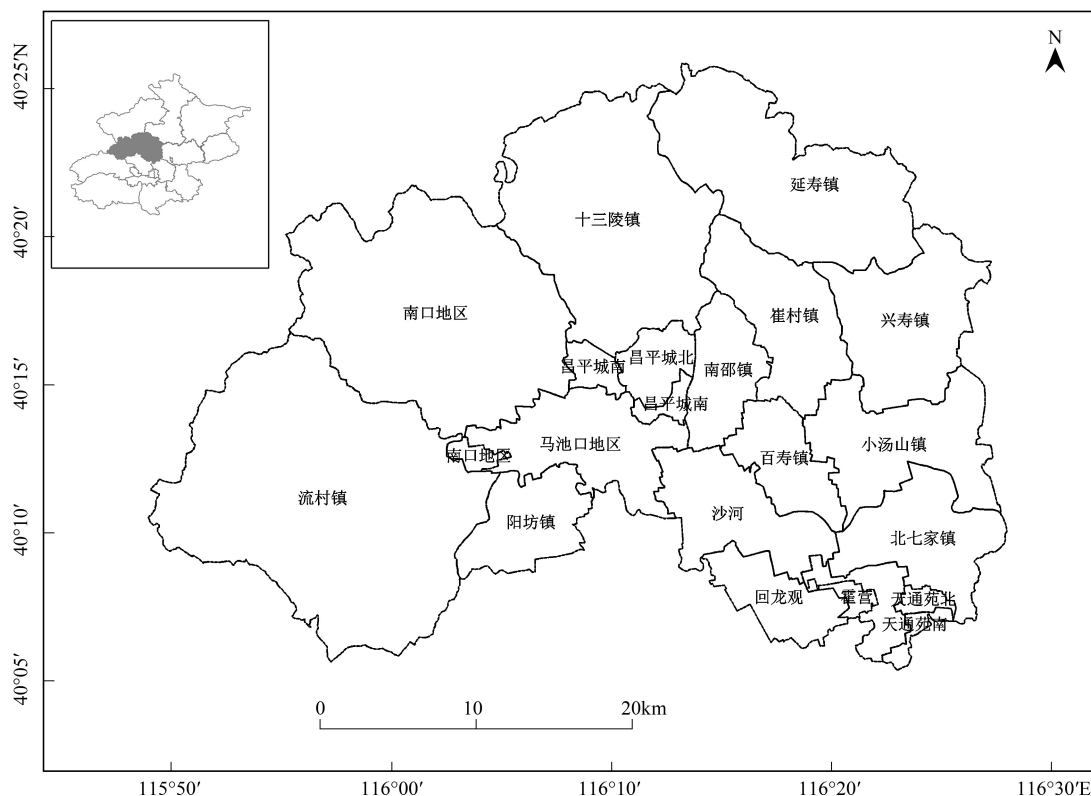


图1 昌平区的位置图

Fig.1 The location map of Changping district

$$WR = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{sic}} \times F_{\text{pre}} \times (1 - F_{\text{slo}})$$

式中, WR 为生态系统水源涵养服务能力指数, NPP_{mean} 为评价区内多年生态系统净初级生产力平均值, F_{sic} 为土壤渗流能力因子, F_{slo} 为归一化到 0—1 之间的评价区坡度, F_{pre} 为归一化到 0—1 之间的多年平均年降水量。

$$S_{\text{pro}} = NPP_{\text{mean}} \times (1 - K) \times (1 - F_{\text{slo}})$$

式中, S_{pro} 为水土保持服务能力指数; NPP_{mean} 和 F_{slo} 含义与计算方法同上; K 为土壤可侵蚀因子。

$$S_{\text{ws}} = NPP_{\text{mean}} \times K \times F_q \times D$$

式中, S_{ws} 为防风固沙服务能力指数; NPP_{mean} 含义与计算方法同上; K 为土壤可侵蚀因子; F_q 为多年平均气候侵蚀力; D 为地表粗糙因子。

$$S_{\text{bio}} = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{pre}} \times F_{\text{tem}} \times (1 - F_{\text{alt}})$$

式中, S_{bio} 为生物多样性指数; NPP_{mean} 和 F_{pre} 含义与计算方法同上; F_{tem} 为归一化到 0—1 之间的多年平均气温; F_{alt} 为归一化到 0—1 之间的海拔。

并且搜集了昌平区土地沙化敏感性、泥石流易发区和名胜风景区(包括国家级和市级森林公园分布范围,国家级和区县级的风景名胜区的)的空间分布信息^[33]。但是上述生态评估结果的分级类别及对应的空间精度一般较粗,只为识别生态保护红线提供必要参考信息。

2.2.2 识别生态保护红线区范围

划定生态保护红线区的目的之一是将各生态功能区、敏感区、生物多样性保护区等都纳入统一管理的空间区域,实现一体化管理。生态红线区是各生态功能区、敏感区和生物多样性保护区的空间区域的集合,当然存在重叠部分。为识别生态保护红线区的空间范围,利用 ArcGIS 软件将昌平区的水源涵养功能、水土保持功能、防风固沙功能、生物多样性、土地沙化敏感性、泥石流易发区和名胜风景区的评价结果图层进行空间叠加分析,并根据叠加结果进行分级评价,得到一个分级的综合评估结果(图 2,表 1)。根据综合评估结果,删除

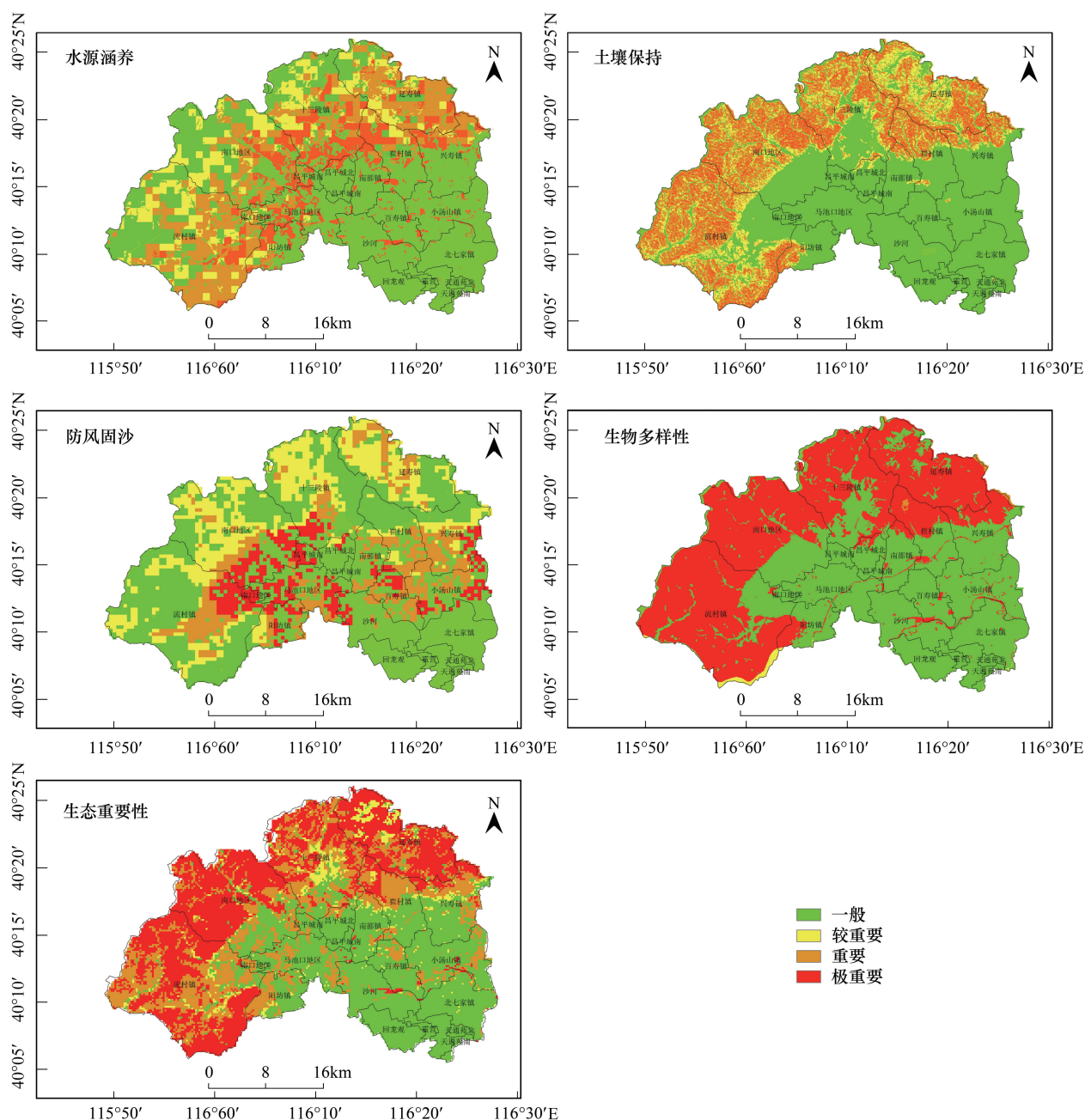


图2 昌平区生态功能评价图

Fig.2 The assessment maps of ecological functions

一些零散细小斑块,并将生态红线附近的细小斑块合并到临近的大斑块。确定昌平区生态保护红线综合评估方案面积 549.38km²,占全区面积的 40.89%,主要分布在刘村镇、南口地区、十三陵镇和延寿镇的部分地区。由于以上参与叠加分析的各图层空间精度都比较粗,所以综合评估图层仅展示生态保护红线区的大致范围,还需要进一步确定生态保护红线的明确边界。

2.2.3 准确定位生态红线边界

确定生态保护红线边界,空间精度十分关键。空间精度越高,边界定位越精准。为得到更为精准的生态保护红线边界,采用空间精度较高土地利用数据与上述分级的综合评估图进行空间叠加分析。土地利用数据是国家第二次土地调查使用的高分辨率影像和解译遥感影像得到的有明确边界的矢量化数据(以下简称二调数据)。二调数据以 1:1 万标准分幅数字正射影像图为载体,套合省、市、县等各级境界与乡、村等土地权属

界线,确定了全国每一块土地的类型、面积、权属和分布信息,是目前全国尺度上比例尺最大,准确率较高的土地利用类型图^[23]。空间精度较高土地利用数据与综合评估图进行空间叠加分析,以实现生态保护红线由低分辨率的综合评价到高分辨率、具有明确边界的转变。

表 1 昌平区各生态功能区面积及所占全区面积的比例

Table 1 Area and area ratio of the ecological functions regions in Changping district

生态功能区 Ecological functions region	极重要区 Most important region		重要区 Important region		较重要区 Slight important region		一般区 Common region	
	面积/km ² Area	面积比例/% Area ratio	面积/km ² Area	面积比例/% Area ratio	面积/km ² Area	面积比例/% Area ratio	面积/km ² Area	面积比例/% Area ratio
	Area	Area ratio	Area	Area ratio	Area	Area ratio	Area	Area ratio
水源涵养 Water conservation	343.00	25.53	263.59	19.62	461.90	34.38	275.01	20.47
土壤保持 Soil conservation	726.03	54.04	184.87	13.76	289.93	21.58	142.68	10.62
防风固沙 Sand fixation	517.65	38.53	377.12	28.07	269.10	20.03	179.49	13.36
生物多样性 Biodiversity	660.46	49.16	7.93	0.59	4.30	0.32	670.81	49.93
生态重要性 Ecological importance	515.23	38.35	63.01	4.69	333.32	24.81	431.94	32.15

确定生态保护红线精细边界的技术流程主要包括:数据预处理,选取和初步处理土地利用数据,叠加边界处的处理,以及基于高分辨率图像及各种规划的调整(图 3)。

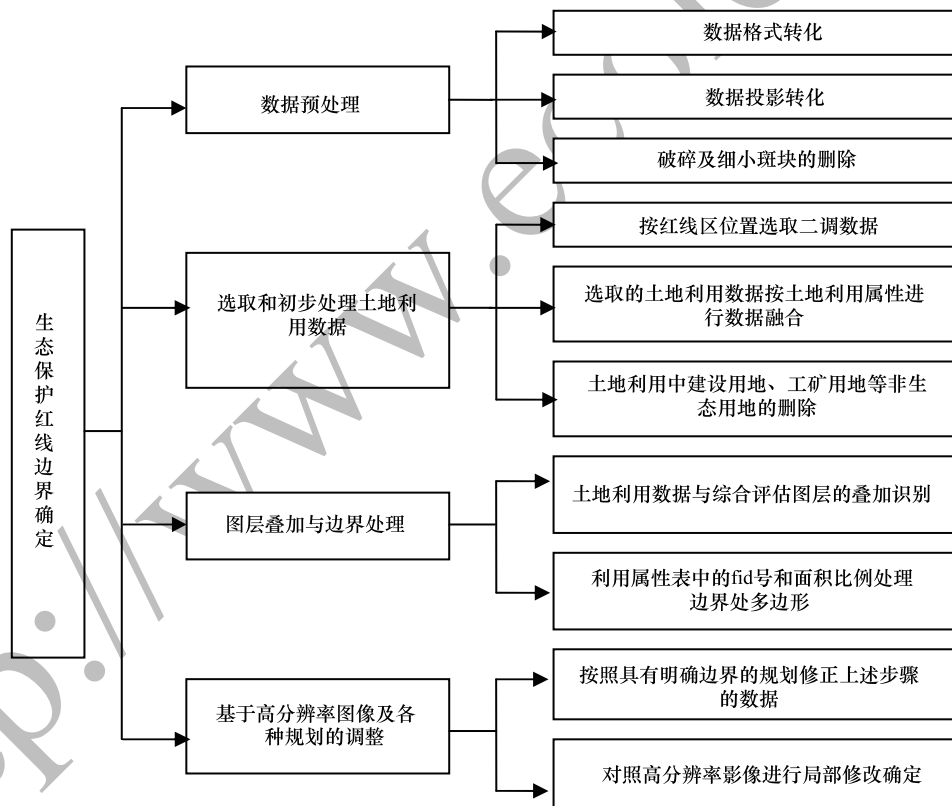


图 3 准确定位生态红线边界的技术路线图

Fig.3 The technical route to locate the boundary of the ecological redline accurately

(1)数据预处理 主要是进行数据格式和投影转换,以保证数据的空间投影信息一致性,防止叠加图层之间空间上不对应;将具有同一地类属性的斑块进行合并;还要删除遥感反演、评估时产生的破碎及细小斑块,消除细小斑块的影响。按照生态保护红线连续性分布和易于管理的原则,单个面积小于 1km²,且分布零散的,将其删除。单个面积小于 1km²(此值可以根据不同的区域进行调整),但分布较密集,说明此处生态地位较重要,用聚合的办法(ArcGIS 软件中 ArcToolbox 下的 Cartography Tools 中的 Aggregate Polygons 功能),将

细小斑块合并,使得生态保护红线区相对较完整。破碎问题得到一定程度上的解决,可以减少行政区内生态保护红线的斑块数量,便于后续对生态保护红线区的管理。

(2)选取和初步处理土地利用数据 按照上述“综合评估图层”中的生态保护红线区的大致范围选取二调土地利用数据(图 4a)。并对选取的土地利用数据按土地利用属性进行数据融合,扣除土地利用中的建设用地、工矿用地等非生态用地。具体操作方法是利用地理信息系统软件 ArcGIS 中的按位置选取功能(select by location)提取与生态保护红线评价初步结果相交的土地利用调查数据;在提取的土地利用调查数据中,利用属性融合工具(dissolve)将具有同一地类属性的斑块进行合并;利用属性选择工具(select by attributes),选取城市、建制镇、工业开发、矿产开发等建设用地,将大规模建设用地等不适宜划入生态保护红线区的土地利用类型,予以删除。

(3)图层叠加与边界处理 二调土地利用数据与综合评估图层叠加之后,需要利用 ArcGIS 软件的拆分工具(identity)对边界处的多边形斑块进行拆分。然后利用土地利用数据属性表中的 FID 号和面积比例确定边界。拆分结果中位于评价结果范围外而且面积百分比>50%的多边形直接删除;将位于评价结果范围内且面积百分比<50%的多边形直接删除。

具体操作步骤如下:二调数据中的原有 A 多边形与生态保护红线评价初步结果数据叠加后,拆分为 A1 和 A2 两个多边形,原有多边形 B 拆分为 B1 和 B2 两个多边形(图 4b)。叠加后,位于生态保护红线评价结果数据内的 A1 和 B1 两个多边形有一列 fid_1 号与原多边形的 fid 号一致,而位于生态保护红线评价初步结果数据外的 A2 和 B2 两个多边形,属性表中有一列 fid_1 号为-1。计算叠加后 A1、A2 多边形面积与原多边形 A 的面积比例,B1、B2 多边形面积与原多边形 B 的面积比例,发现叠加边界处,综合评估图层外,多边形 A2 的面积占原多边形面积 A 的比例<50%,B2 的面积占 B 的比例>50%。为了保持土地利用的完整性,把 A 多边形保留,把 B 多边形删除。

(4)基于高分辨率图像及各种规划的调整和修正边界 经过步骤(3)处理后的数据与国家二调的高精度遥感影像、土地利用规划等辅助资料叠合,并参考土地利用调查数据和基础地理信息数据中的地类图斑、线状地物图层、注记图层、行政区划等属性信息,采用交互式矢量化方法,修正和确定生态保护红线边界。再根据昌平区土地利用规划等各种规划进行调整。最终得到调整后的昌平区生态保护红线建议方案(图 5a)。

3 昌平区生态保护红线的调整优化

调整后的生态保护红线总面积 562.84km²,与生态保护红线初步评价结果(红线面积 549.38km²)相比,二者重叠 474.19km²,重叠率为 86.31%(图 5b)。其中城郊结合部位二者的差异较大,具体表现在刘村镇的西南部土地利用类型是果园,不适宜划入生态保护红线进行永久保护。其次是延寿镇北部区域,生态保护红线评价结果生态功能处于重要和极重要之间,土地利用类型是果园和灌木林地,将果园部分从生态保护红线中删除,保留了天然灌木林地部分。

生态保护红线边界优化调整前后的差别主要表现在以下 3 点:一是分辨率的变化。边界调整前,根据评价得出的生态保护红线的分辨率最高 250m,马赛克现象明显;边界优化调整后,生态保护红线的分辨率与土地二调的分辨率一致,且保持了生态景观的完整性。二是红线内土地利用类型的变化。调整前,由于分辨率较低,部分建设用地或其他不宜划入生态保护红线的土地利用类型包含在生态保护红线范围内。调整后,这一问题不再存在。三是与相关规划的衔接问题。调整前,单纯依靠评价的结果,没与相关规划进行衔接,基于二调数据和相关规划进行调整后,预留出目前规划的各种非生态保护红线的用地,便于生态保护红线范围内实行严格保护。

4 讨论

生态保护红线边界的确定非常复杂,既是学术问题,又是协调保护和发展的社会实践问题。中国将生态

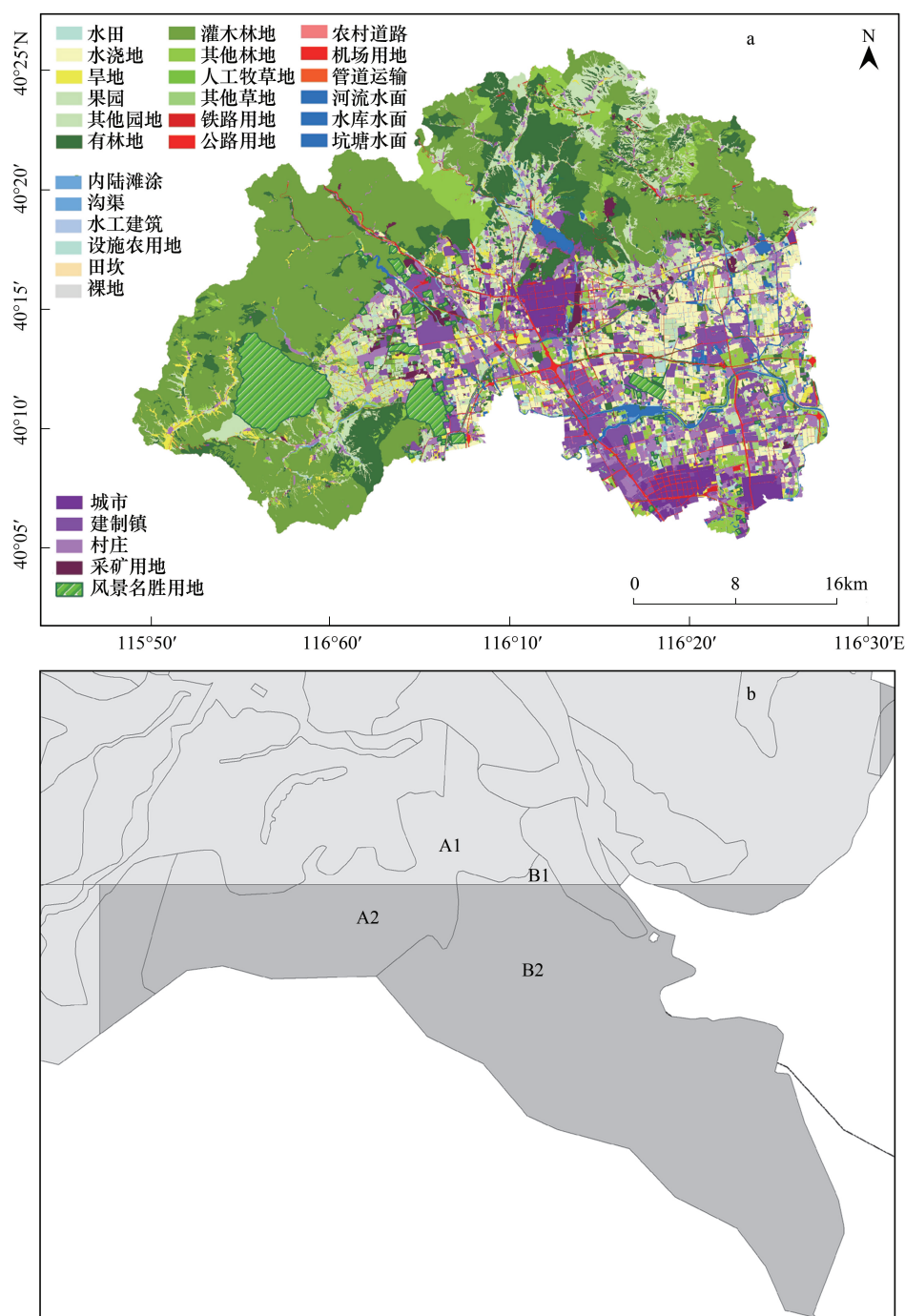


图 4 昌平区土地利用类型图及与综合评估图层叠加后多边形拆分法示意图

Fig.4 The land use map in Changping District and the sketch map for the split-and-merge method of polygon after overlay with comprehensive evaluation map layer

保护红线作为生态管理的重要手段,主要目的是将现有各类生态功能保护区、生态脆弱和敏感区等进行一体化管理,实现经济、社会和生态环境的协调可持续发展^[10]。因此划定生态保护红线边界时涉及到各类自然保护区、生态脆弱区、生态敏感区、风景名胜区、各种建设规划的历史边界。但是中国的许多保护区边界不够精确,尤其是县级、省级保护区。在生态环境评价中,人们经常采用分辨率较粗的 MODIS 数据、遥感反演的数据、模型模拟的栅格数据,以及小比例尺区划地图^[34-36]。而且在生态环境评价过程中,投影坐标系统不一致极易产生各数据层之间空间匹配偏差问题,不同分辨率数据融合时经常导致数据空间精度降低等问题。因此

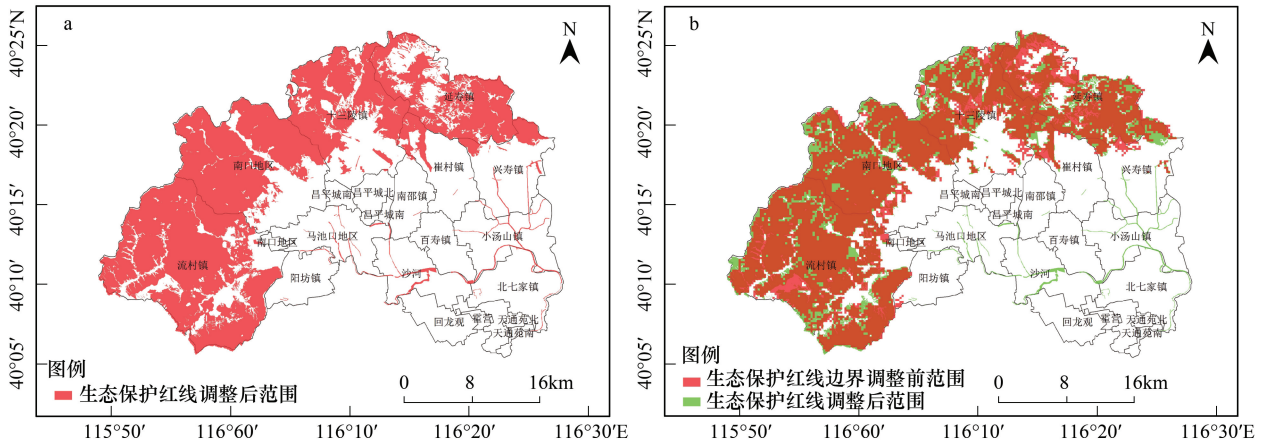


图5 利用高分辨率数据调整后的昌平区生态保护红线边界及生态红线方案调整前后对比图

Fig.5 The boundary of ecological protection redline after the adjustment using the high resolution data in Changping District and the contrast map of ecological protection redline before and after adjustment

生态环境评价中划定的生态功能区、生态脆弱区和生态敏感区的边界也往往比较模糊。本文借助高分辨率影像和具有明确边界的土地利用数据,实现了由低分辨率到高分辨率的转换,为生态保护红线的实际落地勘查提供了精细工作底图。有利于将生态保护红线落实到边界明确的具体地块,一定程度上解决了生态保护红线的边界模糊问题。

目前,国家生态保护红线已经被正式写入新修订的《中国环境保护法》,并被确定为国家十三五规划的重要内容^[19,37]。但是各省及全国的生态保护红线的划定还没有完成,最终的野外设标定界还在进行之中,生态保护红线的后期监督管理尚未展开。在图上划定生态保护红线边界之后,还需要野外核查。本研究以北京市昌平区为案例阐明生态保护红线的流程及关键技术,仅仅解决了生态保护红线在图上精确定界的技术问题,还需要进行野外勘察以提高划界精度和修正图上划界错误,以及野外设标定界等问题。

《生态保护红线划定技术指南》中建议将国土面积的 35% 的区域确定为国家生态保护红线。在本研究中,北京市昌平区生态保护红线区面积占该区总面积的 32.15%,比较接近国家尺度上的生态红线区的面积比例。由于各地区生态环境存在非常大差异,确定生态保护红线面积占国土面积比例时不必追求一致。应综合考虑当地的自然环境特点、经济发展、人口、城市等一系列问题。既要保护生态环境,又要为经济、人口和城市的协调发展留出必要的空间。因此生态保护红线占有的面积比例应因地制宜,不能盲目追求与国家整体的生态红线面积比例一致。

本文技术方法是以卫星遥感信息和 GIS 技术为基础的。卫星遥感影像及解译的土地利用信息是精确识别生态保护红线边界的重要信息源。借助日益完善的 GIS 技术,本文实现了精确定位生态保护红线的空间位置。随着遥感卫星技术、卫星定位系统的蓬勃发展,以及相关的 GIS 软件技术、互联网技术、大数据技术的进步,对生态保护红线边界精确定位,以及后期的实时动态监管都将变得更加容易。

参考文献 (References):

[1] 王智, 蒋明康, 朱广庆, 陶思明, 周海丽. IUCN 保护区分类系统与中国自然保护区分类标准的比较. 农村生态环境, 2004, 20(2): 72-76.

[2] Pullin A S, Bangpan M, Dalrymple S, Dickson K, Haddaway N R, Healey J R, Hauari H, Hockley N, Jones J P G, Knight T, Vigurs C, Oliver S. Human well-being impacts of terrestrial protected areas. Environmental Evidence, 2013, 2: 19.

[3] Leverington F, Costa K L, Pavese H, Lisle A, Hockings M. A global analysis of protected area management effectiveness. Environmental Management, 2010, 46(5): 685-698.

[4] Anthony B P, Shestackova E. Do global indicators of protected area management effectiveness make sense? A case study from Siberia.

- Environmental Management, 2015, 56(1): 176-192.
- [5] Lü Y H, Fu B J, Wei W, Yu X B, Sun R H. Major ecosystems in China: dynamics and challenges for sustainable management. Environmental Management, 2011, 48(1): 13-27.
- [6] Lee E, Krasny M E. Adaptive capacity in community forest management: a systematic review of studies in East Asia. Environmental Management, 2017, 59(1): 34-49.
- [7] 成文连, 柳海鹰, 关彩虹. 区域生态保护分级控制规划——以浙江省安吉县为例. 内蒙古环境科学, 2009, 21(3): 9-14.
- [8] 杨世凡, 安裕伦, 王培彬, 马良瑞, 胡锋, 孙泉忠. 贵州赤水河流域生态红线区划分研究. 长江流域资源与环境, 2015, 24(8): 1405-1411.
- [9] 曾江宁, 陈全震, 黄伟, 杜萍, 杨辉. 中国海洋生态保护制度的转型发展——从海洋保护区走向海洋生态红线区. 生态学报, 2016, 36(1): 1-10.
- [10] 高吉喜, 邹长新, 王丽霞. 划定生态保护红线 深化环境影响评价. 环境影响评价, 2014, (4): 11-14.
- [11] 高吉喜. 探索我国生态保护红线划定与监管. 生物多样性, 2015, 23(6): 705-707.
- [12] 邹长新, 徐梦佳, 林乃峰, 徐德琳. 生态保护红线的内涵辨析与统筹推进建议. 环境保护, 2015, 43(24): 54-57.
- [13] 刘冬, 林乃峰, 邹长新, 游广永. 国外生态保护地体系对我国生态保护红线划定与管理的启示. 生物多样性, 2015, 23(6): 708-715.
- [14] Lockwood M, Bos D G, Glazebrook H. Integrated protected area selection in Australian biogeographic regions. Environmental Management, 1997, 21(3): 395-404.
- [15] Dearden P, Bennett M, Johnston J. Trends in global protected area governance, 1992-2002. Environmental Management, 2005, 36(1): 89-100.
- [16] 姚佳, 王敏, 黄宇驰, 白杨, 黄沈发. 我国生态保护红线三维制度体系——以宁德市为例. 生态学报, 2015, 35(20): 6848-6856.
- [17] 侍昊, 李旭文, 王志春, 王甜甜, 刘绿怡. 浅谈生态保护红线区生态系统管理研究概念框架. 环境监控与预警, 2015, 7(6): 6-9.
- [18] 邹长新, 王丽霞, 刘军会. 论生态保护红线的类型划分与管控. 生物多样性, 2015, 23(6): 716-724.
- [19] 环境保护部. 关于印发《生态保护红线划定技术指南》的通知(环发[2015]56号). 北京: 环境保护部, 2015.
- [20] 喻本德, 叶有华, 郭微, 俞龙生, 黄涛, 孙芳芳, 罗建武. 生态保护红线分区建设模式研究——以广东大鹏半岛为例. 生态环境学报, 2014, 23(6): 962-971.
- [21] 陈天力, 宋翔宇. 生态保护红线划定的研究与探讨——以杭州市为例. 资源节约与环保, 2015, (5): 191-192.
- [22] 马世发, 马梅, 蔡玉梅, 念沛豪. 省级尺度国土空间生态保护红线划定——以湖南省为例. 热带地理, 2015, 35(1): 43-50.
- [23] 苏相琴, 于嵘, 何雅孜, 何超超. 县域生态保护红线划定技术研究. 环境科学与管理, 2015, 40(7): 37-39.
- [24] 曾小姣, 葛大兵, 张佳仕, 周聪轩. 麻阳县生态保护红线划定技术研究. 环境与可持续发展, 2015, 40(6): 187-189.
- [25] 林勇, 樊景风, 温泉, 刘述锡, 李滨勇. 生态红线划分的理论和技术. 生态学报, 2016, 36(5): 1244-1252.
- [26] Jacquez G M, Maruca S, Fortin M J. From fields to objects: a review of geographic boundary analysis. Journal of Geographical Systems, 2000, 2(3): 221-241.
- [27] Peters D P C, Gosz J R, Pockman W T, Small E E, Parmenter R B, Collins S L, Muldavin E. Integrating patch and boundary dynamics to understand and predict biotic transitions at multiple scales. Landscape Ecology, 2006, 21(1): 19-33.
- [28] 龙拥军. 地理灰边界内涵及其研究应用价值. 贵州师范学院学报, 2013, 29(9): 53-58.
- [29] 徐德琳, 邹长新, 徐梦佳, 游广永, 吴丹. 基于生态保护红线的生态安全格局构建. 生物多样性, 2015, 23(6): 740-746.
- [30] 高吉喜. 加快“三个落实”建立生态保护红线制度. 环境保护, 2016, 44(8): 18-21.
- [31] 张宏锋, 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务功能的尺度特征. 生态学报, 2007, 26(9): 1432-1437.
- [32] 北京市昌平统计局, 国家统计局昌平调查队. 2016 北京市昌平区统计年鉴. 北京: 统计局出版社, 2016.
- [33] 昌平区政府. 昌平区新城规划(2005 年-2020 年). 北京: 北京市昌平区政府, 2004.
- [34] 张江雪. 第二次土地调查(农村部分)数据质量控制技术与方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [35] 郭子良, 崔国发. 中国自然保护综合地理区划. 生态学报, 2014, 34(5): 1284-1294.
- [36] 常春艳, 赵庚星, 李晋, 王凌, 王卓然. 黄河三角洲典型生态脆弱区土壤退化遥感反演. 农业工程学报, 2015, 31(9): 127-132.
- [37] 王金南, 许开鹏, 王晶晶, 王夏晖. 国家“十三五”资源环境生态红线框架设计. 环境保护, 2016, 44(8): 22-25.