

于莉,李贝,崔海宁,等. 区域关键性生态用地空间划定研究——以河北省青龙满族自治县为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):279-283.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.076

区域关键性生态用地空间划定研究 ——以河北省青龙满族自治县为例

于莉¹,李贝¹,崔海宁²,周智¹,张蓬涛¹

(1. 河北农业大学国土资源学院,河北保定 071001; 2. 河北瑞嘉土地规划咨询有限公司,河北廊坊 065000)

摘要:由人类高强度的建设活动对生态系统的结构、功能所造成的改变大多是不可逆转的。因此,在经济飞速发展和人地矛盾日益突出的压力下,应注重识别和保护具有重要生态服务功能的土地单元及空间,从而维护区域的生态安全。以河北省青龙满族自治县为例,借助 ArcGIS 软件,采用净初级生产力(net primary productivity,简称 NPP)定量指标评价方法,从土壤保持、水源涵养、生物多样性保护等 3 大方面,评价研究区 2013 年土地利用现状的生态系统服务功能重要性,并在此基础上,划定其关键性生态用地空间。结果表明,研究区关键性生态用地面积为 113 481.96 hm²,占全区总面积的 33.18%,主要分布在县域东部的凤凰山乡、祖山林场、祖山镇以及县域西北部的都山林场,它们是高强度的人类建设活动不应逾越的底线。该研究有利于区域基本生态屏障的建立,从而为建立生态保护关键区提供依据。

关键词:生态用地;生态系统;服务功能;空间结构;青龙满族自治县

中图分类号: F323.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0279-05

长期以来,我国的土地利用偏重于社会经济目的导向下的生产、生活价值,而忽视土地的生态价值,城镇扩张将许多具有重要生态功能的土地转化为建设用地;为满足耕地占补平衡的要求,大量的生态用地面临农业开发的威胁^[1-4],生态用地的过度开发导致生态调节能力下降、生态退化等严重后果。关键性生态用地是指具有重要的生态系统服务功能,对维护关键性生态过程具有重要意义的土地单元及空间^[5],它

是维护区域生态安全最高效的、不可替代的空间,是区域可持续发展的基本生态保障。由人类高强度的建设活动对生态系统的结构、功能所造成的改变大多是不可逆转的^[6-8],因此,在经济飞速发展和人地矛盾日益突出的背景下,划分维护区域生态安全的关键性生态用地空间,并对其进行有效保护具有深远的现实意义。

关于关键性生态用地空间的划定,很多学者提出了各自的方案。周锐等通过构建最小累积阻力模型,识别了平顶山新区的生态用地格局^[5];俞孔坚等通过对地质灾害、水文、文化遗产等进行模拟,判別了北京市关键性生态用地空间^[9];张林波等将景观生态模型应用到生态系统服务功能价值评估中,划定了深圳市最小生态用地空间^[10]。目前,对于维护区域生态安全的关键性生态用地空间的研究处于初级阶段,而

收稿日期:2016-07-20

基金项目:河北省社会科学基金 2016 年度项目(编号:HB16GL048)。

作者简介:于莉(1989—),女,河北承德人,硕士研究生,研究方向为土地经济与评价。E-mail:xiangxuehai6623@163.com。

通信作者:张蓬涛,博士,教授,研究方向为土地经济与评价。E-mail:zhangpt@hebau.edu.cn。

等)难以有效控制,下一步可以上罐分批发酵,进一步优化木霉菌的培养条件,尽可能提高木霉菌次级代谢产物中具有抑菌作用的物质含量,然后通过硫酸铵分级沉淀、凝胶过滤层析以及十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)初步确定具有抑菌作用的物质^[9-10],以期得到更稳定、高效的新型木霉菌制剂。

参考文献:

- [1]彭可为,李婵. 木霉菌的生物防治研究进展[J]. 安徽农业科学,2010,38(2):780-782.
- [2]Harman G E. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. [J]. Phytopathology,2006,96(2):190-194.
- [3]陈捷,朱洁伟,张婷,等. 木霉菌生防作用机理与应用研究进展[J]. 中国生物防治学报,2011,27(2):145-151.
- [4]潘玮,穆常青,蒋细良,等. 木霉菌厚垣孢子与分生孢子研究进

- 展及其商品化制剂[M]//成卓敏. 农业生物灾害预防与控制研究. 北京:中国农业科技出版社,2005:652-655.
- [5]杨春平,张晋康,陈华保,等. 绿色木霉 L24 菌株分生孢子可湿性粉剂的研制[J]. 西北农业学报,2010,19(9):43-47.
- [6]杨谦. 木霉菌和毛壳菌生物防治分子生物学[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [7]王芊. 不同条件对木霉菌菌丝体生长的影响[J]. 中国农学通报,2002,18(5):57-59.
- [8]Voelker F,Altam S. Nitrogen source governs the patterns of growth and pristnamycin production in '*Streptomyces pristinaespiralis*' [J]. Microbiology,2001,147(9):2447-2459.
- [9]张量,张敬泽. 渐绿木霉抑菌物质的分离纯化及其对植物病原菌的抑制作用[J]. 中国农业科学,2015,48(5):882-888.
- [10]宋晓妍,张玉忠,王元秀. 木霉 peptaibols 抗菌肽的研究进展[J]. 微生物学报,2011,51(4):438-444.

相关研究在评价生态用地重要性时,多是采用将评价指标分级赋值的方法,对于定量化的计算生态系统服务功能的研究较少。

鉴于此,参考《生态保护红线划定技术指南》和相关研究中的生态系统服务功能重要性评价方法^[11-12],基于青龙满族自治县的土壤、地质、水文、气象等方面资料,借助 ArcGIS 软件,采用净初级生产力(net primary productivity,简称 NPP)定量指标评价法,对研究区 2013 年土地现状进行生态系统服务功能重要性评价,并在此基础上划定关键性生态用地空间,以期为区域基本生态屏障的建立、明确生态保护关键区提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

青龙满族自治县地处河北省东北部边缘,地理位置为 118°33'31" ~ 119°36'30"E,40°04'40" ~ 40°36'52"N,土地总面积为 3 520.40 km²,属大陆性季风气候,年均降水量为 714.4 mm。该县西、北地势高,东、南地势低,县内地貌复杂多样,中低山错落分布,丘陵散状分布,土壤类型以褐土、棕壤土为主。2013 年全县总人口为 56.08 万人,共有 18.17 万户,地区生产总值为 108.01 亿元,全县人均生产总值为 2.14 万元。青龙满族自治县一方面为省级重点生态功能区,是京津、冀东地区的生态屏障;另一方面,该县矿产业、林果业、旅游业等发展良好,快速发展的经济导致建设用地需求量不断增加,林地、草地等大量具有重要生态系统服务功能的土地正面临着被建设占用的威胁。因此,对于这样一个生态功能地位十分重要、用地矛盾突出、发展势头强大的地区,进行关键性生态用地空间划定研究意义重大。

1.2 数据来源

本研究数据主要来源于青龙满族自治县土壤类型矢量图、从中国科学院计算机网络信息中心下载的青龙满族自治县 GDEMDEM 30M 分辨率数字高程数据、2013 年 Landsat OLI 数据,还有青龙满族自治县及其周边气象站点实测的降水量、月气温、太阳辐射、日照时数等气象数据,以及 2013 年青龙满族自治县国民经济统计资料与其他相关资料。

1.3 研究方法

基于生态系统服务功能的定义以及青龙满族自治县的实际情况,首先选取土壤保持、水源涵养、生物多样性保护三大关键性生态系统服务功能,采用 NPP 定量指标评价法,开展单因子生态系统服务功能重要性评价;其次,将所有单因子作综合叠加处理,得到生态系统服务总值;再次,采用自然间断点分级法,将各评价结果分为 5 级(极重要、高度重要、中等重要、一般重要、不重要),来识别生态用地重要性;最后,根据综合生态用地重要性评价结果,划定青龙满族自治县的关键性生态用地空间。

1.3.1 生态系统服务功能重要性评价

1.3.1.1 土壤保持功能重要性评价 土壤侵蚀不仅导致侵蚀地区的土壤退化,而且被侵蚀的泥沙及其携带的污染物容易造成下游河流、湖泊的淤积和污染,对生态系统产生不利影响^[13-15]。研究区地形复杂,且降水季节分配不均,多暴雨,土壤侵蚀的广泛发生使其成为研究区最严重的生态问题之一,

因此,评价研究区的土壤保持功能是十分必要的。参考《生态保护红线划定技术指南》,土壤保持服务功能指数的计算公式如下:

$$S_{pm} = NPP \times (1 - K) \times (1 - F_{slo})。 \quad (1)$$

式中: S_{pm} 为土壤保持服务功能指数; NPP 为研究区生态系统净初级生产力; K 为土壤可蚀性因子; F_{slo} 为坡度因子。

(1) NPP 的计算。根据研究区的情况和掌握的数据,采用光能利用率模型(carnegie ames stanford approach,简称 CASA)模型计算^[16-18],公式如下:

$$NPP_{year} = \sum_{i=1}^n NPP_{month}(x, t); \quad (2)$$

$$NPP_{month}(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t)。 \quad (3)$$

式中: NPP_{year} 、 $NPP_{month}(x, t)$ 分别为 NPP 的年均、月值; $APAR(x, t)$ 为光合有效辐射, MJ/m²; $\varepsilon(x, t)$ 为光能利用率, g C/MJ; x 为第 x 个像元; t 为第 t 月。

① $APAR$ 的计算。具体公式如下:

$$APAR(x, t) = FPAR(x, t) \times SOL(x, t) \times 0.5。 \quad (4)$$

式中: $FPAR$ 为能被植被吸收的入射光合有效辐射比例; SOL 为太阳辐射量, MJ/(m² · 月); 0.5 为能被植被利用的太阳有效辐射比例。

$$FPAR = \frac{FPAR_{NDVI} + FPAR_{SR}}{2}; \quad (5)$$

$$FPAR_{NDVI} = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times (FPAR_{max} - FPAR_{min}) + FPAR_{min}; \quad (6)$$

$$FPAR_{SR} = \frac{SR - SR_{min}}{SR_{max} - SR_{min}} \times (FPAR_{max} - FPAR_{min}) + FPAR_{min}; \quad (7)$$

$$SR = \frac{1 + NDVI}{1 - NDVI}。 \quad (8)$$

式中: $NDVI_{max}$ 、 $NDVI_{min}$ 分别为归一化植被指数(normalized difference vegetation index,简称 $NDVI$)的最大、最小值; SR_{max} 、 SR_{min} 分别为 SR 的最大、最小值; $FPAR_{max}$ 、 $FPAR_{min}$ 分别为 0.950、0.001^[19]。

② $\varepsilon(x, t)$ 的计算。具体公式如下:

$$\varepsilon(x, t) = f(T) \times f(B) \times \varepsilon_{max}。 \quad (9)$$

式中: $f(T)$ 为温度胁迫系数; $f(B)$ 为水分胁迫系数; T 、 B 分别为温度(℃)、蒸发比; ε_{max} 为最大光能利用率, g · C/MJ,根据已有研究成果^[20],林地 ε_{max} 为 0.692 g · C/MJ,其他地类为 0.542 g · C/MJ。

$$f(T) = f_{g1}(x, t) \times f_{g2}(x, t); \quad (10)$$

$$f_{g1}(x, t) = 0.8 + 0.02f_{opt}(x) - 0.0005[f_{opt}(x)]^2; \quad (11)$$

$$f_{g2}(x, t) = \frac{1.184}{\{1 + e^{0.2[f_{opt}(x) - 10 - f(x, t)]}\} \times \{1 + e^{0.3[-f_{opt}(x) - 10 + f(x, t)]}\}}。 \quad (12)$$

式中: $f_{g1}(x, t)$ 为过高或过低温度对植物光合作用的限制; $f_{g2}(x, t)$ 为温度从最适宜向高温或低温变化时,对光能利用率的影响; $f_{opt}(x)$ 为植被最适宜温度,℃。 $f(x, t)$ 为 t 月 x 的月均温,℃。特别地,当月均温在 -10℃ 及以下时, $f_{g1}(x, t)$ 为 0; 当 $f(x, t)$ 低于 $f_{opt}(x)$ 13℃ 或者高于 $f_{opt}(x)$ 10℃ 时, $f_{g2}(x, t)$ 为最适宜温度下 $f_{g2}(x, t)$ 的一半。

$$f(B) = 0.5 + 0.5EET(x, t)/PET(x, t)。 \quad (13)$$

式中: $EET(x, t)$ 、 $PET(x, t)$ 分别为实际、潜在的蒸发量,mm。

$$EET(x, t) = \frac{P(x, t) \times R_n(x, t) \times \{ [P(x, t)]^2 + P(x, t) \times R_n(x, t) + [R_n(x, t)]^2 \}}{[P(x, t) + R_n(x, t)] \times \{ [P(x, t)]^2 + [R_n(x, t)]^2 \}}; \quad (14)$$

$$R_n(x, t) = [PET_0(x, t) \times P(x, t)]^{0.5} \times \{0.369 + 0.598 \times [PET_0(x, t)/P(x, t)]^{0.5}\}; \quad (15)$$

$$PET(x, t) = \frac{EET(x, t) + PET_0(x, t)}{2}。 \quad (16)$$

式中: $P(x, t)$ 、 $R_n(x, t)$ 分别为 t 月 x 像元的月降水量、地表净辐射量; $PET_0(x, t)$ 为局地潜在蒸散量,mm。

(2) K 的计算。 K 值表示土壤在侵蚀外应力的作用下,被搬运和剥蚀的难易程度。参照门明新等的研究成果^[21],以青龙满族自治县土壤类型图数据为基础,得到研究区所有土壤的可蚀性因子。

(3) F_{slo} 的计算。通过中国科学院计算机网络信息中心获得研究区的高程数据,利用 ArcGIS 空间分析功能提取坡度信息,并采用极值标准化方法将坡度值归一化到 0~1 之间。

1.3.1.2 水源涵养功能重要性评价 生态系统通过植被和土壤拦蓄降水,不仅能满足系统内各生态组分的用水,还可以缓和地表径流、补充地下水^[22-24],水源涵养功能重要性评价是生态系统服务功能评价的重要组成部分。研究区内河流众多,为秦皇岛市、唐山市两地的重要水源地,且该区域森林覆盖率高达 50% 以上,故研究该区域的水源涵养功能具有重要意义。参考《生态保护红线划定技术指南》和相关研究^[11-12],水源涵养服务功能指数的计算公式如下:

$$WR = NPP \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1 - F_{slo})。 \quad (17)$$

式中: WR 为生态系统水源涵养服务功能指数; F_{sic} 为土壤渗流能力因子; F_{pre} 为降水因子。

(1) F_{sic} 的计算。根据土壤质地类型,由黏土到沙土分别在 0~1 之间均等赋值得到,黏土为 0,沙土为 1。

(2) F_{pre} 的计算。依据掌握的青龙满族自治县及周边气象站点年、月降水资料,首先求取各站点多年的平均降水量。然后采用普通克里金插值方法进行空间插值,并采用极值标准化方法将数据归一化到 0~1 之间。

1.3.1.3 生物多样性保护功能重要性评价 生态系统为野生动植物提供生境和栖息地,保护生物多样性,有利于保持生态系统各项服务功能的水平,从而实现人类的可持续发展^[25-26]。研究区优越的山水自然景观孕育了丰富的生境和动植物资源,是省级重点生态功能区。特殊的地理条件和保存多样的珍稀动植物资源,使该地区的生物多样性保护研究显得尤为重要。参考《生态保护红线划定技术指南》和相关研究^[11-12],生物多样性保护服务能力指数的计算公式为:

$$S_{bio} = NPP \times F_{pre} \times F_{tem} \times (1 - F_{alt})。 \quad (18)$$

式中: S_{bio} 为生物多样性保护服务能力指数; F_{tem} 为气温参数; F_{alt} 为高程参数。

(1) F_{tem} 的计算。依据掌握的青龙满族自治县及周边气象站点年、月气温资料,首先求取各站点多年平均气温。然后采用普通克里金插值方法进行空间插值,并采用极值标准化方法将数据归一化到 0~1 之间,获得 F_{tem} 。

(2) F_{alt} 的计算。通过中国科学院计算机网络信息中心获得研究区的高程数据,并采用极值标准化方法将高程值归一化到 0~1 之间。

1.3.1.4 综合生态用地重要性评价 各单因子生态用地重

要性只反映了某一方面生态功能的强弱,要将综合生态用地重要性反映出来,需根据上述各项因子的重要性分值,通过以下公式计算综合生态用地指数:

$$S = \sqrt[3]{S_{pro} \times WR \times S_{bio}}。 \quad (19)$$

式中: S 为综合生态用地指数。

1.3.2 生态用地重要性识别及空间划定 在生态用地重要性评价的基础上,采用自然间断点分级法,将各评价结果分为 5 级(极重要、高度重要、中等重要、一般重要、不重要),来识别生态用地的重要性。土地开发和保护之间矛盾的协调实质上是一种博弈,极端的保护主义和唯利是图的开发行为都不能获得圆满的结果^[27]。因此,根据研究区的特点以及综合生态用地重要性的评价结果,将极重要和高度重要的区域定义为关键性生态用地空间,即底线生态用地;将中等重要的区域定义为过渡性生态用地空间,即辅助生态用地;将一般重要和不重要的区域划定为非生态用地空间,即人类的生产生活空间。

2 结果与分析

根据上述已建立的生态用地重要性评价和空间结构识别方法,利用 ArcGIS 软件,对研究区先后进行单因子和综合生态用地重要性评价,并得出各类型生态用地和关键性生态用地空间结构识别结果(表 1、表 2 和图 1 至图 4)。

表 1 青龙满族自治县不同类型生态用地重要性识别结果

识别因子	等级	面积 (hm^2)	百分比 (%)	累计百分比 (%)
水土保持	极重要	35 413.44	10.35	10.35
	高度重要	92 669.57	27.10	37.45
	中等重要	111 362.45	32.56	70.01
	一般重要	80 982.85	23.68	93.69
	不重要	21 577.76	6.31	100.00
水源涵养	极重要	16 337.87	4.78	4.78
	高度重要	41 919.15	12.26	17.04
	中等重要	189 960.85	55.54	72.58
	一般重要	75 742.95	22.15	94.73
	不重要	18 045.25	5.27	100.00
生物多样性保护	极重要	38 945.95	11.39	11.39
	高度重要	108 771.94	31.80	43.19
	中等重要	122 166.05	35.72	78.91
	一般重要	63 938.47	18.70	97.61
	不重要	8 183.65	2.39	100.00
综合生态用地重要性	极重要	29 113.79	8.51	8.51
	高度重要	84 368.17	24.67	33.18
	中等重要	117 868.16	34.46	67.64
	一般重要	93 346.64	27.29	94.93
	不重要	17 309.31	5.07	100.00

由表 1 可知,在水土保持功能重要性评价方面,极重要和高度重要等级的面积分别为 35 413.44、92 669.57 hm^2 ,占全区总面积的 37.45%。由图 1 可以看出,这些重要性区域分布零散,总体而言,中、东部地区分布比例高于西部地区,中部

表 2 青龙满族自治县生态用地空间结构

类型	面积 (hm ²)	百分比 (%)	累计百分比 (%)
关键性生态用地	113 481.96	33.18	33.18
过渡性生态用地	117 868.16	34.46	67.64
非生态用地	110 655.95	32.36	100.00



图1 土壤保持功能重要性空间分布

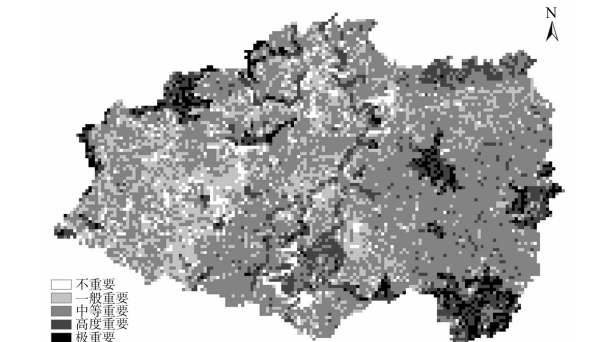


图2 水源涵养功能重要性空间分布



图3 生物多样性保护功能重要性空间分布

地区为坡度值较低的区域,东部地区为土壤侵蚀性较弱的区域,受自然因素的影响,土壤保持功能较强。其中大巫岚镇、三星口乡、祖山镇、凤凰山乡的分布比例较大,均占区域总面积的50%左右。土壤保持能力受地形因子、土壤结构因子以及植被等情况影响,因此这些区域一方面应严禁陡坡垦殖、过度放牧,严防新增人为因素造成的土壤侵蚀;另一方面应注重营建水土保持林,提高森林覆盖率,增强土壤保持能力。

由表1可知,在水源涵养功能重要性评价方面,极重要、高度重要等级的面积分别为16 337.87、41 919.15 hm²,占全区总面积的17.04%,比例较小。由于研究区的土壤类型以



图4 青龙满族自治县生态用地空间结构

褐土、棕壤土为主,其中褐土约占总面积的82%,棕壤土约占15%,且区域分布规律明显,受土壤质地的影响,水源涵养用地的重要性区域成片分布,较为集中,主要位于县域东南部的祖山林场、隔河头乡,县域西北部的都山林场以及县域中部的凤凰山乡(图2)。降水量、地形坡度、植被覆盖程度对水源涵养能力影响显著,鉴于此,这些区域应禁止过度采伐和放牧,保护现有的植被资源,同时建设水源涵养林,开展生态清洁小流域建设,预防保护与综合治理并重。

由表1可知,在生物多样性保护功能重要性评价方面,极重要、高度重要等级的面积分别为38 945.95、108 771.94 hm²,占全区总面积的43.19%,在研究区3个单因子评价中,高等级面积比例最大。由图3可知,生物多样性保护用地的重要性区域不仅数量多,而且范围广,其中县城西南部的凉水河乡、三拨子乡、七道河乡、草碾乡以及北部的大石岭乡,由于降水较充沛,是高位聚集区。除此以外,县城中部的大巫岚镇、平方子乡是另外2处热点区域,该部分区域处于丘陵地貌,海拔较低、植被茂盛、动植物种类繁多,是重要的生物多样性保护区。这些生态用地是维护研究区生物多样性的重要区域,对其林木和水体应严格保护,加强生态建设力度,以便为更多的物种提供繁衍生息的场所。

将所有单因子评价结果作综合叠加处理,实现对研究区的综合生态用地重要性评价,根据生态用地空间结构的识别方法,分别得到青龙满族自治县的关键性、过渡性以及非生态用地空间。由表1、表2、图4可以看出,在综合生态用地重要性评价中,极重要、高度重要等级的面积分别为29 113.79、84 368.17 hm²,占全区总面积的33.18%,是研究区的关键性生态用地空间,主要分布在县域东部的凤凰山乡、祖山林场、祖山镇以及县域西北部的都山林场,是维护研究区生态系统服务功能的核心区域,也是高强度的人类建设活动不应逾越的底线。中等重要等级的面积为117 868.16 hm²,占全区总面积的34.46%,是研究区的过渡性生态用地空间,主要分布在县域的西部、中部和东北部,对维护区域水土安全和生物多样性起辅助作用。该区域应主要推广“粮农-林果-草牧”结合的经营模式,发展高效种植业、名优稀特林果业和绿色设施农业,使生态效益和经济效益均得到良好地发挥,适度开展建设活动。一般重要、不重要等级的面积分别为93 346.64、17 309.31 hm²,占全区总面积的32.36%,是研究区的非生态用地空间,分布在县域中西部地区,主要是建成区和城镇周边,对区域生态系统的服务功能较小,主要用于人类的生产生活

功能。

3 结论与讨论

在经济飞速发展和人地矛盾日益突出的背景下,划分维护区域生态安全的关键性生态用地空间,并对其进行保护,是十分迫切的。本研究基于生态系统服务功能的定义以及青龙满族自治县的实际情况,借助 ArcGIS 软件,采用 NPP 定量指标评价方法,对研究区 2013 年土地利用现状进行生态系统服务功能重要性评价,并在此基础上获得区域关键性生态用地空间。结果表明,研究区关键性生态用地面积为 113 481.96 hm²,占全区总面积的 33.18%,主要分布在县城东部的凤凰山乡、祖山林场、祖山镇以及县城西北部的都山林场,是研究区保障自然生态系统服务功能所必需的生态用地,也是高强度的人类建设活动不应逾越的底线。

由于只计算 2013 年这一静态时点的现状 NPP,未考虑 NPP 随时间的变化情况,因此,本研究对研究区进行的生态系统服务功能重要性评价是 2013 年的现状评价,今后应在生态系统服务功能重要性动态评价方面进行深入研究,并以此为依据划定关键性生态用地空间。

参考文献:

- [1] 张红旗,许尔琪,朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. 资源科学,2015,37(7):1332-1338.
- [2] 屈宇宏,孙 帅,陈银蓉. 中国城市建设用地扩张趋势模拟及抑制策略[J]. 资源科学,2014,36(1):1-7.
- [3] 刘晓曼,蒋卫国,王文杰,等. 东北地区湿地资源动态分析[J]. 资源科学,2004,26(5):105-110.
- [4] 徐 健,周寅康,金晓斌,等. 基于生态保护对土地利用分类系统未利用地的探讨[J]. 资源科学,2007,29(2):137-141.
- [5] 周 锐,王新军,苏海龙,等. 平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建[J]. 生态学报,2015,35(6):2003-2012.
- [6] Luck M, Wu J. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the phoenix metropolitan region, Arizona, USA [J]. Landscape Ecology, 2002, 17(4): 327-339.
- [7] Clergeau P, Jokimäki J, Snep R. Using hierarchical levels for urban ecology[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2006, 21(12): 660-661.
- [8] 龚建周,夏北成. 广州市 1990—2005 年植被覆盖度的时空变化特征[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1289-1294.
- [9] 俞孔坚,王思思,李迪华,等. 北京市生态安全格局及城市增长远景[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1189-1204.
- [10] 张林波,李伟涛,王 维,等. 基于 GIS 的城市最小生态用地空间分析模型研究——以深圳市为例[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 69-78.

- [11] Barral M P, Oscar M N. Land - use planning based on ecosystem service assessment: a case study in the Southeast Pampas of Argentina[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2012, 154(7): 34-43.
- [12] Carreño L, Frank F C, Viglizzo E F. Tradeoffs between economic and ecosystem services in Argentina during 50 years of land - use change [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2011, 154(5): 68-77.
- [13] 韩永伟,高吉喜,王宝良,等. 黄土高原生态功能区土壤保持功能及其价值[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 78-85, 294.
- [14] 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.
- [15] 肖 洋,欧阳志云,徐卫华,等. 基于 GIS 重庆土壤侵蚀及土壤保持分析[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7130-7138.
- [16] 朴世龙,方精云,郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 603-608.
- [17] 张 峰,周广胜,王玉辉. 基于 CASA 模型的内蒙典型草原植被净初级生产力动态模拟[J]. 植物生态学报, 2008, 32(4): 786-797.
- [18] 王 静,王克林,张明阳,等. 南方丘陵山地植被净第一性生产力时空动态特征[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3722-3732.
- [19] 程春晓,徐宗学,王志慧,等. 2001—2010 年东北三省植被净初级生产力模拟与时空变化分析[J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2401-2412.
- [20] 朱文泉,潘耀忠,龙中华,等. 基于 GIS 和 RS 的区域陆地植被 NPP 估算——以中国内蒙古为例[J]. 遥感学报, 2005, 9(3): 300-307.
- [21] 门明新,赵同科,彭正萍,等. 基于土壤粒径分布模型的河北省土壤可蚀性研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1647-1653.
- [22] 刘 娅,朱文博,韩 雅,等. 基于 SOFM 神经网络的京津冀地区水源涵养功能分区[J]. 环境科学研究, 2015, 28(3): 369-376.
- [23] 王春菊,汤小华. GIS 支持下的水源涵养功能评价研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 215-216, 219.
- [24] 傅 斌,徐 佩,王玉宽,等. 都江堰市水源涵养功能空间格局[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 789-797.
- [25] 赵国松,刘纪远,匡文慧,等. 1990—2010 年中国土地利用变化对生物多样性保护重点区域的扰动[J]. 地理学报, 2014, 69(11): 1640-1650.
- [26] 张 路,欧阳志云,肖 焱,等. 海南岛生物多样性保护优先区评价与系统保护规划[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2105-2112.
- [27] 俞孔坚,李迪华,段铁武. 敏感地段的景观安全格局设计及地理信息系统应用——以北京香山滑雪场为例[J]. 中国园林, 2001(1): 11-16.