

# 兼顾生态系统功能和生态需求强度的城市生态用地 重要性评价

## ——以长沙市为例<sup>1</sup>

张亚楠<sup>1,2</sup>, 陈振杰<sup>1,2</sup>, 张云倩<sup>1,2</sup>, 梅梦媛<sup>1,2</sup>

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京 210023; 2. 江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏南京 210023)

**【摘要】**生态环境保护和城市经济发展的矛盾由来已久, 科学评价生态用地的重要性, 对维护区域生态安全和引导城市有序扩张具有重要意义。生态用地的重要性不仅由生态用地自身的生态系统功能决定, 同时受到人类生态需求强度的影响。选取生物多样性维持功能、土壤保持功能、水源涵养功能、户外休闲需求和生态用地稀缺度等指标, 以长沙市中心城区为研究区, 构建了兼顾生态系统功能和区域生态需求强度的生态用地重要性评价模型, 进行了生态用地重要性评价。其中, 生态系统功能通过生物多样性维持功能、土壤保持功能、水源涵养功能量化, 区域生态需求强度通过户外休闲需求和生态用地稀缺度量化。实验结果表明: 长沙市中心城区生态用地空间分布差异显著, 极重要生态用地主要由大面积集中连片的森林、重要饮水源地和高质量的耕地构成, 既包括城市外围提供生态屏障的大块生态用地, 同时包括人口稠密城市建成区内的湿地、河流等小面积生态用地。与传统评价模型相比, 构建的模型能够体现人类需求的影响, 结果更符合人们的实际生态需要。

**【关键词】**城市生态用地 生态用地重要性 生态系统功能 生态需求强度 长沙市

**【中图分类号】**K903 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1004-8227 (2018) 10-2358-10

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201810021

生态用地是指具有重要生态系统功能的非建设用地, 一般包括耕地、林地、草地、水域、自然保留地等<sup>[1, 2]</sup>。生态用地为人类的生存、发展直接或间接的提供产品和生态服务, 其数量的多少和质量的好坏直接关系到区域、国家乃至全球的生态系统安全<sup>[3]</sup>。近年来, 随着城镇化进程的不断推进, 大量的生态用地被新增建设用地占用, 社会经济发展与生态保护之间的矛盾日益突出<sup>[1, 3]</sup>。为了协调社会经济发展和生态环境保护之间的矛盾, 国家越来越注重生态文明建设, 党的十八大明确指出, 生态文明建设是中国特色社会主义理论体系和中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局的重要组成部分, 使生态文明建设的战略地位更加凸显<sup>[4]</sup>。十八大之后, 生态文明的理念备受瞩目, 从《环境保护督察方案(试行)》等一系列法案的提出到十三五规划将其首度列为任务目标, 已成为指引经济走上绿色发展道路的导航<sup>[5-7]</sup>。党的十九大提出, 建设生态文明是中华民族永续发展的千

<sup>1</sup>收稿日期: 2018-02-02; 修回日期: 2018-03-08

**基金项目:** 国家重点研发计划项目课题(2017YFB0504205); 国家自然科学基金面上项目(41571378, 41571082); 国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室开放基金(KF-2015-01-045)

**作者简介:** 张亚楠(1993~), 女, 硕士研究生, 主要从事生态空间格局优化方面研究.E-mail: zhangyananyj@163.com

通讯作者 E-mail: chenzy@nju.edu.cn

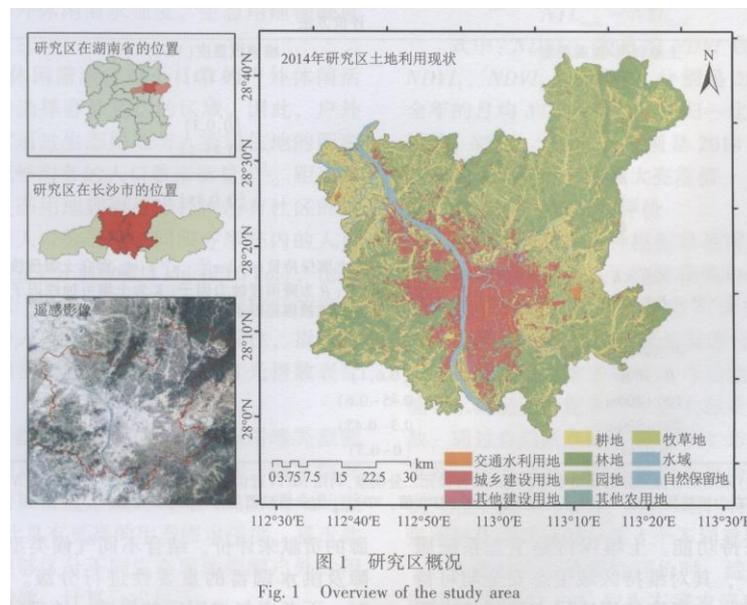
年大计，把生态文明建设和生态环境保护提升到前所未有的战略高度。因此，我国在自然资源管理中对生态用地的保护日臻重视，保护重要生态用地成为当务之急<sup>[8]</sup>。生态用地重要性评价将为有效保护重要生态用地、推进生态文明建设奠定基础<sup>[9]</sup>。

现有的生态用地重要性评价一般通过对生态系统功能、生态敏感性和景观特征等自然属性进行分析，从而综合评价生态用地的重要性<sup>[10-16]</sup>。然而，同等自然属性的生态用地所在位置不同，其实际具有的生态重要性应有差异<sup>[9, 17]</sup>。随着我国城镇化进程的快速推进，城市内部及周边的大量生态用地被建设用地取代，导致城市内部和城郊地区生态用地稀缺<sup>[31]</sup>。位于城市建成区内的生态用地，能够美化环境、减弱噪声，并为人类提供休憩场所，满足城市居民对自然生态和可亲景观的强烈需求<sup>[13]</sup>，具有城市外围生态用地无法替代的重要价值，而且生态用地所在区域居民活动越密集，该生态用地的价值越重要。而现有研究却很少考虑生态用地与周围居民活动的关系，过度强调城市以外区域的大面积生态用地<sup>[18]</sup>。

基于此，本研究对生态用地重要性评价模型进行了改进，综合自然生态和人类生态需求两个方面构建评价模型，探究人类生态需求强度在生态用地重要性评价中的影响。本研究以长沙市中心城区为研究区，利用该评价模型对研究区内生态用地重要性进行评价，探索研究区重要生态用地结构和空间分布特征。

## 1 研究区与数据源

本研究选择长沙市中心城区为研究区，包括芙蓉区、天心区、雨花区、开福区、岳麓区、望城区和长沙县 7 个区县（图 1），总面积 3907.42km<sup>2</sup>。该区域位于中国湖南省中部偏东北，113° 53' E~114° 15' E，27° 51' N~28° 41' N，地形以冲积平原、丘陵岗地为主。该区域是湖南省政治、经济和文化的中心，是城市扩展迅猛、土地供需矛盾突出的地区，也是我国环境友好型、资源节约型“两型”社会示范区，其生态环境保护尤为重要。该区域属亚热带季风湿润气候，气候温和，四季分明，年平均气温为 16.8℃~17.3℃，年降水量为 1300~1600mm，年平均日照时数为 1555~1750h。



研究区数据包括：2015 年土地利用变更调查数据、夜间灯光影像数据、NDVI 数据、数字高程模型数据、降水量数据和土壤质地空间分布数据等。本研究对采集到的土地利用变更调查数据进行栅格化处理，栅格大小为 100m×100m。根据土地利用的三级分类，将土地利用数据合并为建设用地、耕地、林地、草地、水域、湿地和未利用土地 7 个类别。本研究的生态用地包括土地利用变更调查数据中的耕地、林地、草地、水域、湿地。

## 2 研究方法

本研究认为，重要的生态用地不仅具有维持生态系统可持续性的重要生态系统功能，能够提供良好的生态环境，同时具有较高的生态需求强度，能够为人类生活提供休闲娱乐提供绿地支撑。因此，本研究从生态系统功能和生态需求强度两个方面对生态用地进行重要性评价。其中，生态服务功能的评价指标，通过综合分析长沙市自然环境、地形地貌特征，并参考相关文献，选取了生物多样性维持功能、土壤保持功能和水源涵养功能 3 个评价指标；而生态需求强度与生态用地所处的空间位置、覆盖的服务人数及地区的生态用地稀缺度有关，因此从户外休闲需求和生态资源稀缺度进行考虑，构建相关指数。详细分析方法如下：

### 2.1 生态系统功能重要性量化

论文依据长沙市自然环境特点，选取对生态系统影响较大的生物多样性维持功能、土壤保持功能、水源涵养功能进行生态系统功能分析。

表 1 生态系统功能的指标表  
Tab. 1 Factors of ecosystem function

指标	评价方法			重要性
生物多样性	土地利用/覆盖类型	植被覆盖度 (VFC)		极重要
	林地	[0.3, 1]		
	湿地	/		
	林地	[0, 0.3)		中等重要
	草地	[0.45, 1]		
	水域	/		
	草地	[0, 0.45]		
耕地	/		不重要	
A - 土壤保持功能	$A=A_0-A_1=R \times KLS-R \times K \times LS \times C \times P=R \times K \times LS (1-C \times P)$	式中：A 为土壤保持量 ( $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ) ; $A_0$ 潜在土壤侵蚀量； $A_1$ 为现实土壤侵蚀量；R 为降雨侵蚀力因子；K 为土壤可蚀性因子；LS 为坡长坡子；C 为植被覆盖因子；P 为土壤保持措施因子		
水源涵养功能	距水源距离	植被覆盖	坡度	重要性
	0~ 100m	[0.6, 1]	<5	极重要
	100 ~200m	[0.45-0.6)	[5~10)	中等重要
	200 ~300m	[0.3-0.45)	[10-20)	较重要
	>300m	[0~0.3)	$\geq 20$	不重要

注：植被覆盖度 (VFC) 采用混合像元分解模型中最常用的线性像元二分模型，利用 NDVI 近似估算<sup>[31, 32]</sup>： $VFC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})$  式中，VFC 为植被覆盖度， $NDVI_{soil}$  为裸土像元的 NDVI 值， $NDVI_{veg}$  为全植被覆盖像元的 NDVI 值。

(1) 生物多样性维持功能。生物多样性是生物及其与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和<sup>[20]</sup>。对生物多样性的评价一般从物种丰富度、物种特征等生物指标入手，通过复杂的监测指标体系进行评价，但是在实际情况中，复杂的监测数据难以获得，可以借鉴原有研究成果并结合实际情况进行评估<sup>[21, 23]</sup>。本文在对生物多样性维持功能进行评价时，以长沙市生物多样性服务当量为参考，借鉴相关研究成果<sup>[21~26]</sup>，选择对生物多样性有较大影响的土地利用/覆盖类型和植被覆盖度指标 (Vegetation Fractional Coverage, VFC)，量化研究区生态用地的生物多样性维持功能。

(2) 土壤保持功能。土壤保持是生态系统服务调节功能之一，其对维持区域生态安全与可持续发展十分重要。本研究使用通用土壤侵蚀方程 (USLE) 来估算土壤保持量，模型通过估算潜在土壤侵蚀量和现实土壤侵蚀量的两者之差，求得生态系统的土壤保持量<sup>[27-29]</sup>。

(3) 水源涵养功能。水源涵养指的是研究区提供的水资源保障及洪水调节作用，包括生态系统的拦蓄降水，调节径流，影响降雨量，净化水质等<sup>[30]</sup>，是生态系统的重要功能。一般通过研究区在流域所处的地理位置，以及对整个流域水资源的贡献来评价，结合不同气候类型下水资源保障及洪水调蓄的重要性进行分级。小范围研究时，不考虑气候因素的影响，地理位置、植被覆盖的差异、坡度等是引起水源涵养功能差异主要因素<sup>[13, 29, 30]</sup>。距离水源越近，植被覆盖度越高，坡度越平缓的地区水源涵养功能越强。基于此，本文在评估研究区水源涵养功能时，根据长沙市生态环境特点，并参考相关文献<sup>[10, 13, 23, 29]</sup>，选取距离河流，湖泊和水库等水源地的距离、植被覆盖、坡度等指标综合评价生态用地的水源涵养能力。

本文使用的生物多样性维持功能和水源涵养功能的评价方法由于量化指标选取比较简单，适合小范围，气候条件、地貌类型相似的研究区，不具有普适性。

## 2.2 区域生态需求强度量化

不同生态用地由于所处空间位置和周围社会经济条件的不同，被人类需求的程度差异显著<sup>[9, 26]</sup>。通常情况下，一块生态用地距离人类居住地越近，服务的人越多，则生态需求强度越高；一个区域内生态资源越缺乏，则该区域内的生态用地生态需求越高。因此，本研究综合考虑户外休闲需求和生态用地稀缺度，构建生态用地满足人们需求的生态指数 RI。

$$RI_i = SI'_i + HSI'_i \quad (1)$$

式中  $RI_i$  栅格  $i$  对应的生态需求值； $SI'_i$ ，为栅格  $i$  对应的满足人们户外休闲需求指数的归一化结果； $HSI'_i$  为栅格  $i$  对应的生态用地稀缺度指数的归一化结果。

其中，户外休闲需求强度、生态用地稀缺度量化方法如下：

(1) 户外休闲需求。对于日常的户外休闲活动，人们通常选择容易到达的区域。因此，户外休闲需求强度通过生态用地与人类居住地的距离和生态用地能够服务的人口数来衡量<sup>[18]</sup>。距离通过计算一块生态用地到服务半径内所有社区的加权距离得到；人口数通过不同服务半径内的人口集聚强度来表征（分别设置 3km 和 10km），由核密度分析实现<sup>[26, 29]</sup>。夜间灯光数据能较好的表征人类活动，与人口密度有较高的相关性，指数越高表示人口越密集，因此使用夜间灯光指数表征人口密度<sup>[33]</sup>。

此外，一些研究指出，不同生态用地类型能够提供的美学价值不同<sup>[24, 25, 29]</sup>，比如，通常情况下，水域和植被覆盖好的区域对人具有更大的吸引力<sup>[18]</sup>，因此具有更高的生态需求强度，基于此我们构建了能够区分不同生态用地类型户外休闲需求强度的指数，计算公式如下：

$$SI_i = \frac{0.5PD_i^1 + 0.5PD_i^2}{|ED_i|} \times (NDWI_i + NDVI_i) \quad (2)$$

$$|ED_i| = \sum_{j=1}^n \frac{r_j}{R_i} \times D_{ij} \quad (3)$$

式中： $SI_i$ 为生态用地  $i$  对应的满足人们户外休闲的需求值； $PD_i^1$ 和  $PD_i^2$ 为生态用地  $i$  对应的工作日和节假日的社会需求，即不同扩散半径的夜间灯光指数核密度函数值； $|ED_i|$ 表示生态用地  $i$  在 3km 服务半径内，与临近社区的加权距离， $NDWI_i$ 和  $NDVI_i$ ，表示生态用地  $i$  对应的归一化水体指数和归一化植被指数。

(2)生态用地稀缺度。对于生态用地稀缺度，论文借鉴 Lu 等<sup>[34]</sup>的研究，采用夜间灯光数据和归一化植被指数构建的人居指数 HSI (Human Settlement Index, 公式 4) 表征。人居指数越高的像元，意味着人口的居住密度越高，生态用地稀缺度越高，即生态需求越强。

$$HSI = \frac{(1 - NDVI_{max}) + NTL_{nor}}{(1 - NTL_{nor}) + NDVI_{max} + NTL_{nor} * NDVI_{max}} \quad (4)$$

其中，

$$NDVI_{max} = MAX(NDVI_1, NDVI_2, \dots, NDVI_n) \quad (5)$$

$$NTL_{nor} = \frac{NTL - NTL_{min}}{NTL_{max} - NTL_{min}} \quad (6)$$

式中： $NDVI_{max}$ 为月均 NDVI 数据的最大值； $NDVI_1, NDVI_2, \dots, NDVI_n$ 分别是 2014 年研究区全年的月均 NDVI； $NTL_{nor}$ 为归一化的夜间灯光亮度值； $NTL_{min}$ ， $NTL_{max}$ 分别是 2014 年 DMS/OLS 数据的最小亮度值和最大亮度值。

### 2.3 生态用地重要性评价

自然断点法是一种根据数值统计分布规律分级和分类的统计方法，它能使类与类之间的不同最大化。因此，在确定生态系统功能评价结果时，使用 ArcGIS 栅格计算功能进行等权重综合分析，得到基于生物多样性维持功能、土壤保持功能和水源涵养功能 3 方面的生态系统功能综合指数，通过自然断点法将研究区生态用地划分为极重要、中等重要、较重要和不重要 4 个等级，分别对应赋值 4、3、2、1；同理，将区域生态需求强度量化结果也划分为 4 个不同重要等级。

在进行生态重要性评价时，综合考虑生态系统功能重要性(ESI)和生态需求强度(RI)两个方面的评价结果，参考相关评价方法<sup>[14, 15]</sup>并咨询相关专家，采用以下方法，量化最终的重要性等级：选取其中一方面重要等级为 4，另一方面 $\geq 3$ 的栅格赋值为 4；选择其中一方面重要等级为 1，另一方面重要等级 $\leq 2$ 栅格赋值为 1；选择其中一方面重要等级为 2，另一方面重要等级为 $\geq 3$ 栅格以及两个方面均为 3 的栅格赋值为 3，其余栅格赋值为 2。量化方法如图 2 所示。

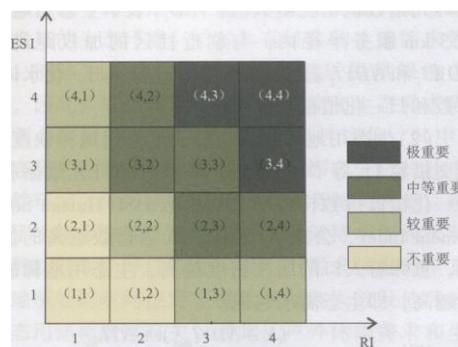


图 2 生态重要性等级划分

Fig. 2 Grading of ecological importance

### 3 结果分析与讨论

#### 3.1 生态用地结构分析

首先对评价结果进行生态用地结构分析（图 3、图 4）。如图 3 所示，兼顾了生态系统功能和生态需求强度的生态重要性评价结果中，极重要的生态用地面积为 1076.14km<sup>2</sup>，占研究区总面积的 35.56%，中等重要的生态用地面积为 1214.65km<sup>2</sup>，占研究区总面积的 40.13%，较重要的生态用地面积为 577.65km<sup>2</sup>，占研究区总面积的 19.09%，不重要的生态用地面积为 158.11km<sup>2</sup>，占 5.22%。中等重要等级的生态用地面积占比最大，极重要的生态用地位居第二位。极重要的生态用地虽然占地面积不大，但主要为生态保护区的核心区域，在生态管理中应十分珍惜、严格保护，同时应加强生态监管力度，防止该区域的生态环境受到破坏。城市内部的生态用地中，57.63%为极重要生态用地；城市以外的生态用地中，32.87%为极重要生态用地。城市内部的生态用地虽然总量不多，但是因为承担着美化城市居住环境，满足居民户外休闲娱乐需求的重要作用，具有极高的生态需求强度。可见，城市内部的生态用地更为可贵，在以后的土地规划中不能只注重城市外围大面积的生态用地，同时需要加倍保护城市内部的重要生态用地。

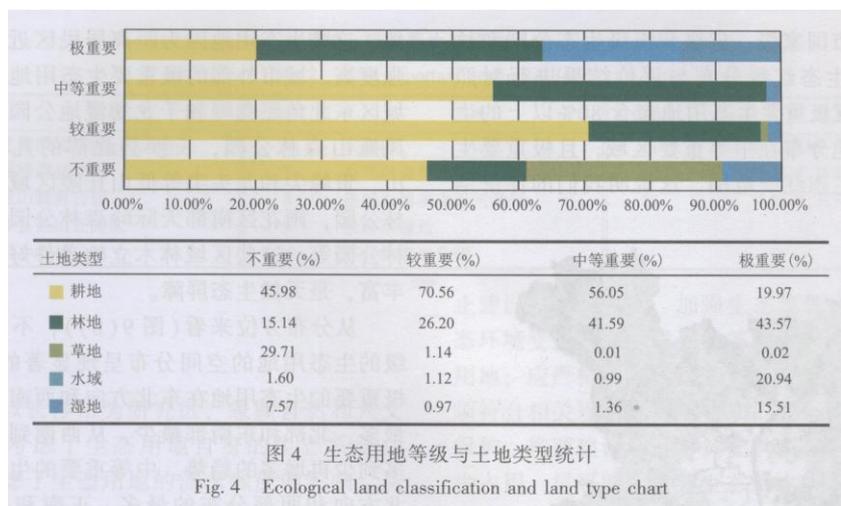
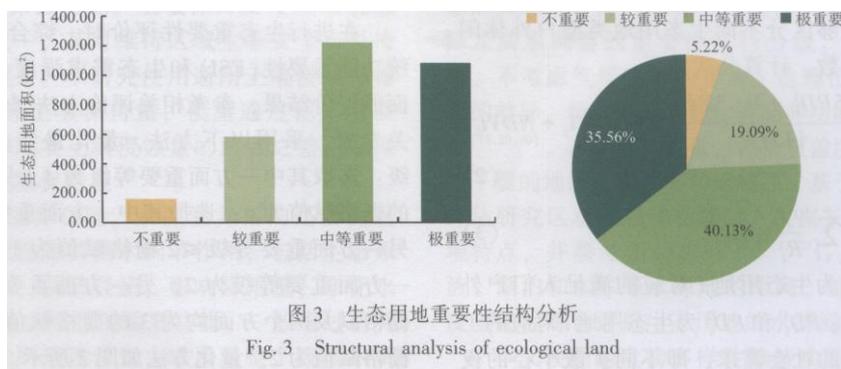


图 4 展示了不同重要等级生态用地的土地类型构成，发现极重要的生态用地中林地占 43.57%，其次是水域，占 20.97%，耕地所占比重为 19.97%，湿地为 15.51%，草地为 0.02%。从各土地利用类型的面积比例情况来看，林地和水域是主要类型，这是因为，长沙市是典型的“山水城市”，森林在土地利用现状中所占比重最大，且森林生态系统的生态系统功能较高，而水域虽然面积不大，但是具有重要的生态系统功能，也是人们户外休闲的首选场所。因此，在生态用地保护时要对之进行重点保护。中等重要和较重要生态用地中，林地和耕地所占的比例最大；不重要的生态用地中，耕地和草地是主要用地类型。

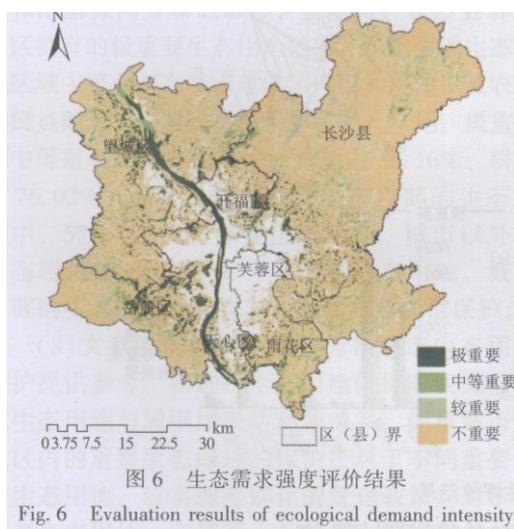
### 3.2 生态需求强度对生态用地重要的影响

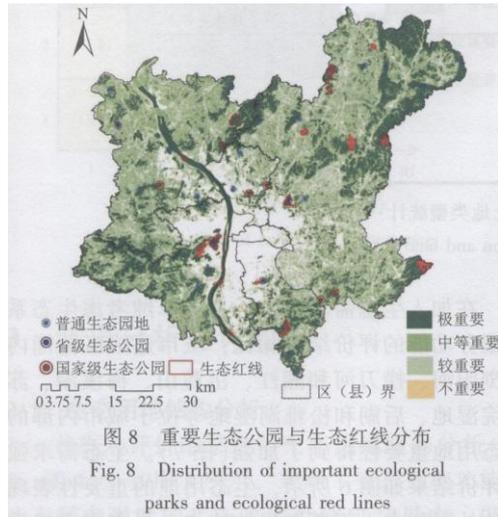
研究区生态系统功能重要性的空间格局如图 5 所示，这也对应着不考虑生态用地需求强度的情况下，研究区生态用地重要性空间分异。可以看出，在不考虑生态用地需求强度的情况下，生态系统功能极重要的生态用地呈现出从中心到外围逐渐增多的圈层分布特征，主要由研究区外围大面积的林地区域组成。这是因为，中心城区外围被大面积的生态用地包围，外围生态用地的服务功能显著大于城市内部的绿地，使得城市内部的河流、湖泊、城市公园等小面积生态用地的重要性被弱化，没有被有效识别。



在加入生态需求强度后，与单独考虑生态系统服务功能的评价结果相比，城市建成区范围内的浏阳河、捞刀河和湘江、岳麓山、梅溪湖、苏托垵湿地、后湖和松雅湖湿地等位于城市内部的生态用地重要性得到了加强（图 7）。生态需求强度评价结果如图 6 所示，生态用地的重要性表现为从外围到中心逐渐增强的特点，生态需求极重要的生态用地集中分布在中心城区建设用地周围，这些生态用地因为距离居民区近，能为中心城区密集人口提供生态服务。可见，在加入生态需求强度后，生态用地重要性评价结果更加符合高度城市化地区的生态保护需要。

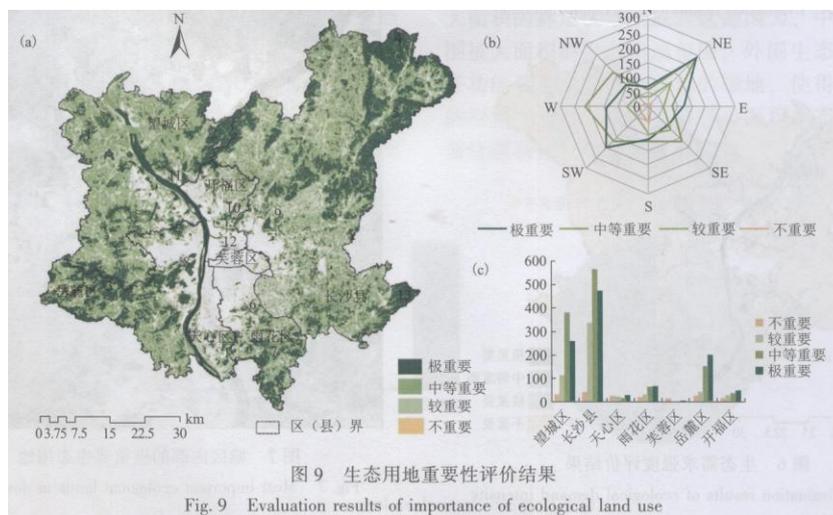
将长沙市国家级、省级和市级生态公园和长沙市划定的生态红线分布与评价结果进行对照（图 8），发现极重要生态用地包含 80% 以上的生态公园，其他分布在中等重要区域，且极重要生态用地涵盖生态红线范围。这说明我们的评价结果是合理的。





### 3.3 生态用地空间分布特征

分析不同重要性等级的生态用地空间分布(图 9(a)), 可以发现研究区极重要生态用地呈现城市内部少、城市外围多的特点。城市内部的极重要生态用地有湘江、岳麓山、梅溪湖、松雅湖湿地、苏托垵湿地公园和湘江、浏阳河和捞刀河等重要饮用水地, 以及一些面积不大的城审绿地。这些生态用地因为距离居民区近, 生态需求强度高。城市外部的极重要生态用地主要包括望城区东北角黑麋峰和千龙湖湿地公园, 岳麓区的凤凰山森林公园, 长沙县北部的九峰山、古华山、贵峰尖和龙头尖等低山丘陵区域和大山冲森林公园, 雨花区南部天际岭森林公园和石燕湖森林公园等。这些区域林木立地条件好, 植被资源丰富, 是天然生态屏障。



从分布方位来看(图 9(b)), 不同重要性等级的生态用地的空间分布呈现显著的各向异性。极重要的生态用地在东北方向和西南方向分布的最多, 北部和东南部最少, 从西南到东北呈现由多到少再增多的趋势。中等重要的生态用地在东北方向和西部分布的最多, 正南和正北方向最少。较重要的生态用地在东北和东南方向分布的最多。不重要的生态用地在不同方向上均比较少, 其中正南方向较多一些。这主要由于研究区地形西北一东南多低丘平原, 农业生产和建设开发活动较多, 而东北一西南多山地, 林地等资源保护较好。

对比不同行政区的生态用地(图 9(c))可以看出:位于研究区西北和东北部的望城区和长沙县拥有最多的生态用地资源,因此拥有的极重要生态用地最多;岳麓区虽然整体生态用地不多,但有岳麓山、凤凰山等国家级森林公园,植被资源丰富,极重要生态用地所占比例较大;天心区、雨花区和芙蓉区整体生态用地资源和极重要生态用地均比较少。

表 2 极重要生态用地区域  
Tab. 2 Most important ecological land

编号	区域	编号	区域	编号	区域
1	千龙湖湿地、团头湖湿地	6	天际岭	11	湘江流域
2	黑麋峰森林公园	7	石燕湖森林公园	12	捞刀河、浏阳河
3	凤凰山森林公园	8	岳麓山国家重点风景区	13	乌川湖、乌川大山
4	长沙县低山丘陵区	9	松雅湖湿地		
5	大山冲森林公园	10	苏托垵湿地公园		

## 4 结论

本研究以长沙市为研究区,兼顾自然和人文因素,不仅考虑了生态用地自身的生态系统功能,同时考虑了生态用地的需求强度的影响,从“生态系统功能”和“生态需求强度”两个方面构建了生态用地重要性评价模型。主要结论如下:

(1) 生态系统功能极重要的生态用地呈现出从中心到外围逐渐增多的圈层分布特征,主要为研究区外围大面积的林地区域。在加入生态需求强度后,生态用地重要性评价结果更加符合高度城市化地区的生态保护需要。评价结果中的极重要生态用地既包括为中心城区提供生态屏障的连片丘陵林地,同时包括满足人口稠密建成区生态需求的小面积城市绿地等。与单纯考虑生态系统功能的评价结果相比,研究结果能够体现人类需求的影响,有效识别了城市内部生态需求高的生态用地,满足了高度城市化地区的生态保护需要。

(2) 长沙市中心城区生态用地空间分布差异显著,林地、耕地、水域是重要的生态用地类型。研究区生态用地空间分布差异明显,其中东北和西南方向分布的最多,望城区、长沙县和岳麓区拥有的极重要生态用地最多;不重要的生态用地区域主要分布在城市建成区内部和周边以及农村居民点附近,主要是小面积的农田、草地。极重要和中等重要的生态用地中,林地占 85.16%、耕地占 76.02%、水域占 21.93%。城市内部的生态用地中,57.63%为极重要生态用地。城市以外的生态用地中,32.87%为极重要生态用地。城市内部的生态用地更为可贵,因此需要加倍保护。

(3) 文章的研究结论能够为长沙市生态用地保护提供参考,在进行生态用地保护时要充分考虑生态用地与周围居民活动的关系,注重城市建成区内的重要生态绿地的保护;对于不同重要性的生态用地,应实施差别化的管理政策。对于极重要生态用地,应遵循十分珍惜、严格保护、禁止建设占用的原则,加强生态监管力度,防止生态环境受到污染。对于中等重要和较重要的生态用地,应严格限制建设占用,必要的建设行为必须符合相关规划。‘对不重要的生态用地实施一般保护,按照建设用地节约集约利用的原则,尽量少占用,尽可能保持其生态系统功能。

### 参考文献:

[1] 马振兴, 杜晋苗, 孙艳玲, 等. 天津滨海新区生态用地评价研究[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(3): 109-113.

MA Z X, DU J M, SUN Y L, et al. Evaluation of ecological land in Binhai New Area of Tianjin City [ J ]. Areal Research and Development, 2016, 35(3) : 109-113.

[2] 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.

ZHANG L B, LI W T, WANG W, et al. Research on space modeling for minimum urban ecological land based on GIS: A Case in Shenzhen [ J ]. Journal of Natural Resources, 2008 , 23(1) : 69-78.

[3] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化对流域生态系统服务价值空间异质性的影响——以南京市九乡河流域为例 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1715-1725.

HU H B, LIU H Y, HAO J F, et al. Effects of urbanization on the spatial heterogeneity of watershed ecosystem services value: a case study of Jiuxiang River Watershed in Nanjing City [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26( 10): 1715-1725.

[4] 张继平, 乔青, 刘春兰, 等. 基于最小累积阻力模型的北京市生态用地规划研究 [J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6313-6321.

ZHANG J P, QIAO Q, WANG H H, et al. Ecological land use planning for Beijing City based on the minimum cumulative resistance model [ J ]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(19): 6313-6321.

[5] 谢花林, 李秀彬. 基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例 [J]. 生态学报, 2011, 31(1): 230-238.

XIE H L, LI X B. Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county [ J ]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1) : 230-238.

[6] 赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国生态环境状况与生态文明建设 [J]. 生态学报, 2016, 36(19): 6328-6335.

ZHAO Q G, HUANG G Q, MA Y Q. The ecological environment conditions and construction of an ecological civilization in China [ J ]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36( 19): 6328 - 6335.

[7] 姚石, 杨红娟. 生态文明建设的关键因素识别 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(4) : 119-127.

YAO S, YANG H J. Identification of key factors of ecological civilization construction [ J ]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27( 4) : 119-127.

[8] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 等. 基于景观安全格局分析的生态用地研究——以北京市东三乡为例 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(8) : 1932-1939.

YU K J, QIAO Q, LI D H, et al. Ecological land use in three towns of eastern Beijing: a case study based on landscape security pattern analysis [ J ] • Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(8): 1932-1939.

[9] 周朕, 蒙吉军, 齐杨, 等. 中国生态用地重要性及其格局优化研究进展 [J]. 生态学杂志, 2016, 35( 1): 218- 225.

ZHOU Z, MENG J J, QI Y, et al. Importance of ecological lands and their pattern optimization in China: A review [ J ]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35( 1) : 218-225.

- 
- [10] 王志涛, 哈凯, 门明新. 沽源县生态用地重要性识别及生态用地类型划定[J]. 土壤通报, 2016, 47(4): 769-776.
- WANG Z T, HA K, MEN M X. Recognition of ecological importance for ecological land and its division in Guyuan County [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47(4) : 769-776.
- [11] 李益敏, 丁扬, 魏苏杭. 基于 GIS 技术的县域生态用地重要性评价——以泸水县为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(5) : 48-56.
- LI Y M, DING Y, WEI S H. Importance assessment of county-scale ecological land based on GIS A case study in Lushuicountry [ J ] . Chinese Journal of Agricultural Resources & Regional Planning, 2017, 38(5) : 48-56.
- [12] 李明玉, 田丰昊, 董玉芝. 延龙图地区城市生态用地生态重要性空间识别与保护[J]. 地理科学, 2016, 36(12): 1870-1876.
- LI M Y, TIAN F H, DONG Y Z, et al. Space identification of ecological importance and protection on urban ecological land in Yanji-Longting-Tumen Area [J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(12) : 1870-1876.
- [13] 刘昕, 谷雨, 邓红兵. 江西省生态用地保护重要性评价研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(5): 716-720.
- LIU X, GU Y, DENG H B. Importance assessment of ecological land protection in Jiangxi Province. [ J ]. China Environmental Science, 2010, 30(5) : 716-720.
- [14] 吴健生, 张理卿, 彭建, 等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别 [J]. 生态学报, 2013, 33(13) : 4125-4133.
- WU J S, ZHANG L Q, PENG J, et al. The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4125-4133.
- [15] XIE H L, YAO GR, LIU G Y. Spatial evaluation of the ecological importance based on GIS for environmental management: a case study in Xingguo county of China [ J ]. Ecological Indicators, 2015(51) : 3-12.
- [16] 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.
- ZHOU R, WANG X J, SU H L, et al. Identification and security pattern of ecological land in Pingdingshan newly developed area [ J ]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(6) : 2003-2012.
- [17] 彭建, 汪安, 刘焱序, 等. 城市生态用地需求测算研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(2): 333-346.
- PENG J, WANG A, LIU Z X, et al. Research progress and prospect on measuring urban ecological land demand [ J ]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2) : 333-346.
- [18] BAR6 F, PALOMO I, ZULIAN G, et al. Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region [J]. Land Use Policy, 2016(57) : 405-417.
- [20] 马克平, 钱迎倩. 生物多样性保护及其研究进展[综述][J]. 应用与环境生物学报, 1998, 4(1): 95-99.

- 
- MA K P, QIAN Y Q. Biodiversity conservation and its research progress [ J ]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 1998, 4(1) : 95-99.
- [21] 李果, 吴晓蕾, 罗遵兰, 等. 构建我国生物多样性评价的指标体系[J]. 生物多样性, 2011, 19(5): 497-504.
- LI G, WU X, LUO Z, et al. Establishing an indicator system for biodiversity assessment in China [ J ]. Biodiversity Science, 2011, 19(5) : 497-504.
- [22] 毕晓丽, 葛剑平. 基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统功能价值评估[J]. 山地学报, 2004, 22(1): 48-53.
- BI X L, GE J P. Evaluating ecosystem service valuation in China based on the IGBP land cover datasets[ J ] . Journal of Mountain Research, 2004, 22(1) : 48-53.
- [23] 李益敏, 管成文, 朱军, 等. 基于加权叠加模型的高原湖泊流域重要生态用地识别——以星云湖流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8) : 1251-1259.
- LI Y M, GUAN C W, ZHU J, et al. WSM based identification of important ecological land use in plateau lake basin: A case study of Xingyun Lake Basin [ J ]. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(8) : 1251-1259.
- [24] 何宣利, 王大娟, 褚明辉, 等. 长沙市生态系统服务价值对土地利用变化的响应研究[J]. 湖南生态科学学报, 2017 (3) : 41-47.
- HE X L, WAN D J, CHU M H, et al. Response of ecosystem service value to land use change in Changsha [ J ] • Journal of Hunan Ecological Science, 2017(3) : 41 -47.
- [25] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 重庆第二师范学院学报, 2003, 18(3): 189-196.
- XIE G D, LU C X, LENG Y F, et al. Evaluation of ecological assets in Qinghai Tibet Plateau [ J ] . Journal of Natural Resources, 2003, 18( 2) : 189-196.
- [26] 蒙吉军, 王雅, 王晓东, 等. 基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7) : 1052-1061.
- MENG J J, WANG Y, WANG X D, et al. Construction of landscape ecological security pattern in Guiyang based on mcr model [J]. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25 (7) : 1052-1061.
- [27] J W MA, Y XUE, C F MA, et al. A data fusion approach for soil erosion monitoring in the Upper Yangtze River Basin of China based on universal soil loss equation ( USLE) model [ J ]. International Journal of Remote Sensing, 2003 , 24(23) : 4777- 4789.
- [28] 李忠武, 张棋, 曾光明, 等. 基于 GIS 的红壤丘陵区脆弱生态系统土壤侵蚀研究——以长沙市为例[J]. 资源科学, 2006, 28(5) : 201-206.

---

LI Z W, ZHANG Q, ZENG G M, et al. Soil and water erosion of fragile ecosystem in red soil hilly region based on GIS: a case study in Changsha City[ J]. Resources Science, 2006, 28(5): 201-206.

[29] ZHANG L, PENG J, LIU Y, et al. Coupling ecosystem services supply and human ecological demand to identify landscape eco-logical security pattern: A case study in Beijing-Tianjin-Hebei region, China[ J]. Urban Ecosystems, 2017, 20(3) : 1-14.

[30] 龚诗涵, 肖洋, 郑华, 等. 中国生态系统水源涵养空 间特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2017, 37(7): 2455- 2462.

GONG S H, XIAO Y, ZHENG H, et al. Spatial patterns of e- cosystem water conservation in China and its impact factors anal-ysis: J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(7) : 2455-2462.

[31] GITELSON A A, KAUFMAN Y J, STARK R, et al. Novel al-gorithms for remote estimation of vegetation fraction[ J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1) : 76-87.

[32] ZHANG X, LIAO C, LI J, et al. Fractional vegetation cover es-timation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data [ J ]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2013, 21(1) : 506-512.

[33] 梁友嘉,徐中民. 基于LUCC和夜间灯光辐射数据的张掖 市甘州区人口空间分布建模[J]. 冰川冻土,2012, 34(4): 999-1006.

LIANG Y J, XU Z M. Modeling the spatial distribution of LUCC based on night light radiation: A case study in Ganzhou district, Zhangye municipality[ J]. Journal of Glaciology & Geocryology, 2012, 34(4) : 999-1006.

[34] LU D, TIAN H, ZHOU G, et al. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112 (9) : 3668-3679.