

# 基于生态系统服务簇的小尺度区域生态用地功能分类

## ——以重庆两江新区为例

吴健生<sup>1</sup> 钟晓红<sup>1\*</sup> 彭建<sup>2</sup> 秦维<sup>1</sup>

(1 北京大学城市规划与设计学院, 深圳 518055

2 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

**【摘要】**:生态用地功能分类是其生态价值评估及管理的基础,与生态系统服务的权衡和协同关系联系密切;对小尺度区域进行生态用地功能分类研究有助于实现精细化生态资源管理。以重庆两江新区为例,选取该区8种重要的生态系统服务,兼顾生态与社会成分,基于层次聚类法得到6类生态系统服务簇,依据提供重要生态系统服务和维护关键生态过程的原则,对其重要性等级进行了划分;依据生态系统服务簇与土地利用类型之间的关联关系,将生态用地定义为提供重要生态系统服务、维护关键生态过程或生态脆弱的用地空间,并按重要性将其划分为3个等级。研究表明,基于生态系统服务簇的生态用地分类框架不仅能够最大限度涵盖生态用地的功能属性,而且能够在空间上量化不同生态系统服务的相对比例,有助于对用地类型与生态功能之间的对应关系形成深入系统的认识,也可为精细化生态管理提供参考。

**【关键词】**:生态用地;功能分类;生态系统服务簇;小尺度区域;两江新区

DOI:10. 5846/stxb201408081581

生态用地不仅是维护生态安全格局的重要屏障,也是改善人居环境、促进人类社会可持续发展的重要土地资源<sup>[1-3]</sup>。20世纪90年代以来,中国快速城市化所产生的城市问题逐渐显现,“生态用地”作为“自然环境中具有生态防护功能的空间要素”<sup>[4]</sup>被首次提出。然而,由于国外没有严格意义上的“生态用地”概念,国内学者对其界定标准也一直存在分歧,生态用地的深入研究和精细化管理遭遇瓶颈<sup>[5-7]</sup>。针对管理实践中生态用地要与现行土地分类体系接轨的需求,不少学者从土地利用/土地覆盖现状特征、主体功能等角度出发,进行了生态用地概念的界定和功能分类的探索<sup>[7]</sup>。然而,目前尚无定量的评估方法进一步探讨生态用地分类的合理性。

生态系统服务簇(eco system service bundles)是近年提出的有助于提高多功能景观管理的研究方法。2007年,Kareiva等<sup>[8]</sup>首次提出“生态系统服务簇”这一概念,认为自然可以被视为多种多样的生态系统服务集合。Raudsepp-Hearne等<sup>[9]</sup>通过对研究区12种生态系统服务进行空间制图和统计聚类分析,发现所形成的6类生态系统服务簇在空间上的分布与各类“社会-生态”子系统存在潜在联系,并将这种“簇”定义为多重生态系统服务在空间或时间上的集聚。目前该方法主要用于识别生态系统服务权衡与协同关系,定量分析多重生态系统服务在空间上的集聚特征<sup>[9-12]</sup>。这种特征识别的结果即为用地的主导功能。借

<sup>1</sup>收稿日期:2014-08-08;修订日期:2015-03-06

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201311006)

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhongxh@ pku. Edu. cn

---

助生态系统服务簇概念与方法，定量评估生态用地功能分类，将是检验和完善既有分类体系的有益探索。

本文选取生态系统服务丰富且数据可获得性较高的小尺度区域作为研究对象，以重庆两江新区为例，在分析其生态系统服务分布特征与簇模式的基础上，探讨各类用地的空间和功能属性，为建立适于复合生态空间管理<sup>[13]</sup>的用地分类体系提供新的研究思路。

## 1 研究区与数据来源

### 1.1 研究区概况

重庆两江新区介于北纬 29° 33' 54" —29° 54' 2"，东经 106° 26' 4" —106° 45' 35" 之间，位于重庆主城长江以北、嘉陵江以东，包括江北区、渝北区、北碚区三个行政区部分区域及北部新区、两路寸滩保税港区。规划面积约 1200km<sup>2</sup>，可开发建设用地面积 550km<sup>2</sup>。2010 年，两江新区被正式批为内陆第一个国家级开发开放新区，不仅成为我国内陆重要的先进制造业和现代服务业基地、长江上游地区的金融中心及创新中心和内陆地区对外开放的重要门户，更是统筹城乡综合配套改革试验的先行区和科学发展的示范窗口。

同时，该区地势整体由西北向东南长江河谷缓慢倾斜降低，“四山夹三槽”以及“南接城北依山”的分布格局，形成了明显的“城镇人居-生态涵养”梯度分布，是典型的“社会-生态”活跃区，生态系统服务种类丰富，对全国其他地方的生态管理与建设具有良好的示范作用。

### 1.2 数据来源

根据 Costanza 等<sup>[14-18]</sup>对生态系统服务的分类，其中最重要的服务包括气体调节、气候调节、干扰调节、水供应、休闲娱乐、灾害避难、文化等。两江新区作为开发开放新区，主导产业为先进制造业和现代服务业。实地调研发现，2014 年其第一产业已被第二、三产业取代，其农牧产品供给服务数据无法获取，故本文重点关注与环境、社会、文化等相关的生态系统服务；但为与现行土地利用分类衔接，并探讨包含水田、旱地等备受争议的用地类型的生态功能，本文仍以 2010 年两江新区土地利用数据为基础。最终，本文兼顾生态与社会成分，选取了 8 种重要的生态系统服务(表 1)。

## 2 研究方法

### 2.1 生态系统服务空间制图

由于空间数据的分布特征直接影响最终的生态功能分布与生态系统服务簇模式。因此，有必要对数据来源和生态系统服务空间制图方法做进一步阐释。

表 1 重庆市两江新区关键性生态系统服务

Table 1 Key ecosystem services in Liangjiang New Area, Chongqing

| 生态系统服务<br>Ecosystem service        | 指标<br>Indicator | 数据源<br>Data sources                        |
|------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|
| 地下水供给 Underground water supply     | 饮用水源地           | 饮用水源保护区分布图(1:25 万);土地利用图(2010 和 1:25 万)    |
| 地表径流调节 Surface water regulation    | 年平均模拟径流         | 数字高程模型(5m×5m)                              |
| 碳固定 Carbon storage & sequestration | 综合碳储量           | 土地利用图(2010 和 1:25 万);数字高程模型(5m×5m);IPCC 碳库 |
| 土壤流失控制 Sediment Retention          | 土壤保持力           | 土壤分布图(1:25 万);数字高程模型(5m×5m)                |
| 生境支持 Habitat support               | 生境质量            | 土地利用图(2010 和 1:25 万);威胁因子与敏感因子库            |
| 土壤肥力 Soil nutrition                | 土壤有机质含量         | 土壤分布图(1:25 万)                              |
| 文化娱乐 Cultural entertainment        | 旅游文化中心分级        | 综合游憩分布图(1:25 万)                            |
| 自然娱乐 Natural entertainment         | 森林面积比例          | 土地利用图(2010 和 1:25 万)                       |

地下水供给地下水不仅是城市用水的主要来源，也对地下土壤湿度的保持和水流净化起着支撑作用<sup>[16]</sup>，属于一个地区发展的刚性约束。因此，参考两江新区 1:25 万饮用水源保护区分布图，在 Arc GIS 中，将饮用水源地赋值为 1，其他赋值为 0，等精度制成栅格图。

地表径流调节地表径流可调节水质和净化污染<sup>[16]</sup>。采用年平均模拟径流作为衡量指标，基于 5m×5m 数字高程模型(DEM)通过 Arc GIS 水文分析模块得到。

碳固定碳固定是被广泛认可的最重要的调节服务之一<sup>[17]</sup>。基于两江新区 2010 年土地利用数据，通过 In VEST 模型计算地表生物、地下生物、土壤及腐殖质四大碳库的综合碳储量。由于缺乏当地碳库数据，本文参考了政府间气候变化专门委员会(IPCC)的相关参数。同时，由于区内 200m 以下区域主要分布于河谷区，200—500m 区域主要分布于河谷与山脉之间，500m 以上区域主要为山脉<sup>[18]</sup>，属原生自然资源，生长年限更长，具有更高的固碳能力，故在既有土地利用数据的基础上，将 500m 以上林地的碳库参数进行了适当的调整(表 2)。

表 2 基于 IPCC 碳库的重庆市两江新区土地利用类型对应碳储量/(Mg/hm<sup>2</sup>)

Table 2 Carbon pools based on IPCC for each LULC type in Liangjiang New Area, Chongqing

| 两江新区地类名称<br>LULC_Name in<br>Liangjiang New Area | 对应 IPCC 地类名称<br>LULC_Name in IPCC | 地上生物固碳量<br>C_above | 地下生物固碳量<br>C_below | 土壤固碳量<br>C_soil | 腐殖质固碳量<br>C_dead |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| 有林地(海拔>500m)                                    | Forest closed conifer 41—60 a     | 165                | 110                | 115             | 50               |
| 有林地(海拔≤500m)                                    | Forest closed conifer 21—40 a     | 88                 | 59                 | 96              | 29               |
| 灌木林地                                            | Natural shrub                     | 8                  | 8                  | 25              | 3                |
| 其他林地                                            | Nursery                           | 10                 | 3                  | 90              | 1                |
| 果园                                              | Orchard                           | 125                | 5                  | 115             | 1                |
| 其他园地                                            | Berries & Vineyards               | 8                  | 5                  | 20              | 0                |
| 茶园                                              | Row crop/Natural shrub            | 5                  | 5                  | 17              | 2                |
| 人工牧草地                                           | Grass seed rotation               | 1                  | 1                  | 10              | 0                |
| 其他草地                                            | Grass                             | 1                  | 1                  | 10              | 0                |
| 裸地                                              | Bare/fallow                       | 1                  | 1                  | 10              | 0                |
| 旱地                                              | Field crop                        | 3                  | 2                  | 8               | 1                |
| 水田                                              | Grains                            | 3                  | 2                  | 10              | 0                |
| 内陆滩涂                                            | Flooded/marsh                     | 10                 | 5                  | 20              | 0                |
| 设施农用地                                           | Rural structures                  | 0                  | 0                  | 50              | 0                |
| 农村道路                                            | Light duty roads                  | 0                  | 0                  | 35              | 0                |
| 公路用地                                            | Primary roads                     | 0                  | 0                  | 50              | 0                |

| 两江新区地类名称<br>LULC_Name in<br>Liangjiang New Area | 对应 IPCC 地类名称<br>LULC_Name in IPCC | 地上生物固碳量<br>C_above | 地下生物固碳量<br>C_below | 土壤固碳量<br>C_soil | 腐殖质固碳量<br>C_dead |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| 铁路用地                                            | Railroad                          | 0                  | 0                  | 25              | 0                |
| 风景名胜及特殊用地                                       | Commercial                        | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 机场用地                                            | Industrial & Comm.                | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 港口码头                                            | Industrial & Comm.                | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 采矿用地                                            | Industrial                        | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 水工建筑用地                                          | Industrial                        | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 水库水面                                            | Permanent lentic water            | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 河流水面                                            | Main channel non-vegetated        | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 坑塘水面                                            | Permanent lentic water            | 0                  | 0                  | 0               | 0                |
| 村庄                                              | Residential 4—9 DU/ac             | 5                  | 3                  | 20              | 0                |
| 建制镇                                             | Residential 9—16 DU/ac            | 2                  | 1                  | 5               | 0                |
| 城市                                              | Residential >16 DU/ac             | 0                  | 0                  | 0               | 0                |

土壤保持土壤流失降低土壤肥力, 从而降低土地生产力, 还会引发滑坡等自然灾害。本文中采用修正的通用土壤流失方程(RUSLE 模型)<sup>[19]</sup> 计算得到。分别计算裸地土壤侵蚀量:  $RKLS=R \times K \times L \times S$ , 以及有管理措施和植被覆盖的土壤侵蚀量:  $USLE=R \times K \times L \times S \times C \times P$ , 进而得到土壤保持力:  $RUSLE=RKLS-USLE$ 。其中, R 为降雨侵蚀力, K 为土壤可蚀性因子, L 为坡长因子, S 为坡度因子, C 为植被覆盖因子, P 为土壤保持措施因子。由于两江新区范围较小, 区域内降雨量无显著差异, 因而降雨侵蚀力 R 取为常数 1, 其他因子基于土壤数据、DEM 以及土地利用数据, 参考 In VEST 模型说明书得到。

生境支持生物多样性的保持与生境质量密切相关。借助 In VEST 模型分析生境斑块在所处基质中受到的各种威胁的综合影

---

响, 主要涉及: 每种威胁的相对影响、每种生境类型对于每种威胁源的相对敏感性、生境斑块与威胁来源的距离以及土地受法律保护的程度。研究区内土地的法律保护是有效的, 赋值均为 1; 威胁因子除各级道路、各类建设用地、工矿用地以外, 还包括农田和果园, 因为农业施肥和喷洒农药等活动也直接威胁原生物种的生存。参考 In VEST 模型说明书及专家意见, 确定威胁因子与敏感性因子的权重值及威胁源对生境的最终影响距离, 最后输入 In VEST 模型得到生境质量分布图。

土壤肥力土壤有机质含量一般表征土壤对农牧业生产支持能力的高低, 但在本例中其作用在于表征生态建设的成本大小。土壤肥力越高, 生态建设的成本越小, 因此该项指标对于生态管理决策具有重要参考价值。研究中采用的土壤有机质含量数据分别来自渝北、江北、北碚三区的土壤数据库, 经 Arc GIS 等精度转换为栅格数据。

文化旅游景点具有较高的文化和观赏价值。根据两江新区综合游憩分布图, 将郊野森林公园、大型城市公园、重要公共服务中心、重要文化活动中心及其他区域按照重要性分别赋值为 1、0.7、0.5、0.3、0, 进而反距离插值得到全域旅游景点重要性分布图。自然娱乐森林面积越大的区域, 自然观赏价值和生物多样性越高<sup>[9]</sup>。提取土地利用数据中“有林地”与“其他林地”, 赋值为 1, 其他赋值为 0, 制成等精度栅格图, 选取森林面积比例作为指标。

由于基础数据的最低精度为 1:25 万, 等精度转化相当于 500m×500m 栅格。为了最大限度保留数据信息, 本文在也将研究区划分为 500m×500m 格网; 同时剔除完全位于建设用地中的网格, 最终得到 3978 个生态网格。在生态系统服务空间制图的基础上, 统计各生态网格中各项生态系统服务总量, 并进行 0—1 标准化, 值越大则其生态系统服务量在全域中的相对值越高(图 1)。

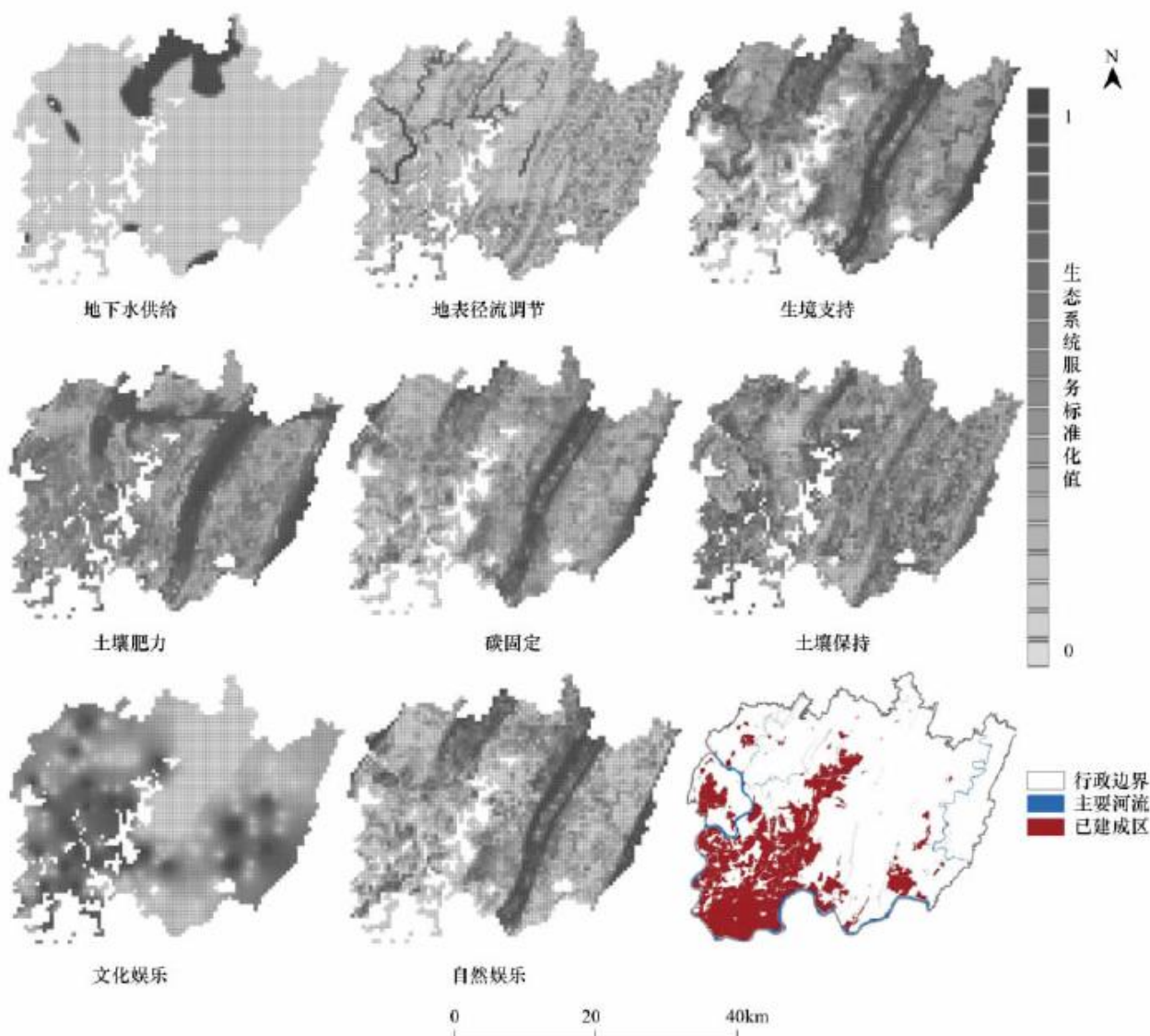


图1 2010年重庆两江新区生态系统服务空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of ecosystem services in Liangjiang, 2010

## 2. 2 生态系统服务簇模式识别

对于  $500\text{m} \times 500\text{m}$  的格网来说，每个网格都是一个生态系统服务集合，即生态系统服务簇，但相邻网格之间相似度极大，需要进一步的聚类。聚类分析是数据挖掘、模式识别的重要内容，是根据数据集中样本的特征相似程度，将样本划分成不同类的过程，一般包括特征选择、算法选择、有效性验证和结果解释四个步骤<sup>[20]</sup>。为得到较为稳定的聚类结果，本文采用凝聚型层次聚类算法，参考 CSP (Compact-Separate Proportion) 聚类有效性指标<sup>[21]</sup> 确定最佳聚类数目。该指标为样本的聚类离差度和聚类合成度的比值，最大值即为最佳聚类数目。

## 3 结果与讨论

### 3. 1 生态系统服务分布特征



不同类型生态系统服务在重庆两江新区的分布特征如图 1 所示。辅以各生态系统服务的 Moran' I 指数发现, 除土壤保持服务在空间上没有明显的集聚特征以外, 其他生态系统服务均呈现出一定的集聚状态。社会、生态、地理因素导致人类活动和相应生态系统服务的集中。例如人类的文娱娱乐活动优先分布于较为平坦且靠近自然娱乐性高的地区, 自然娱乐性高的地区分布于碳固定、生境质量、土壤肥力等服务值相对较高的地区, 地下水源供给主要集中于人口密度极小的地区。

3. 2 生态系统服务簇模式分析

将 3978 个生态网格的 8 种生态系统服务进行层次聚类, 最终确定的 6 类生态系统服务簇(图 2), 别为:

A. 水源保护型。功能类型较为单一, 其中地下水供给服务最显著, 其他服务均较弱, 分布于区内主要水源地:嘉陵江、长江、观音洞水库和御临河西河水库。B. 土壤保持型。土壤肥力和土壤保持服务显著, 但其他服务较弱, 分布于四大山脉之间的低山丘陵区。C. 森林公园型。森林观赏性、生境支持和碳固定服务最高, 土壤肥力中等, 主要分布于海拔 500 米以上的山地。D. 污染净化型。地表水供给服务最为突出, 文娱娱乐服务中等, 其他服务水平不高, 主要分布于嘉陵江。E. 生态保育型。土壤肥力最高, 生境支持、碳固定、自然娱乐和土壤保持服务排第二, 分布于 B 和 C 类之间。F. 文化旅游型。文娱娱乐服务最高, 土壤肥力和土壤保持服务中等, 其分布呈镶嵌式, 嵌于 B 中, 并靠近 E 类。

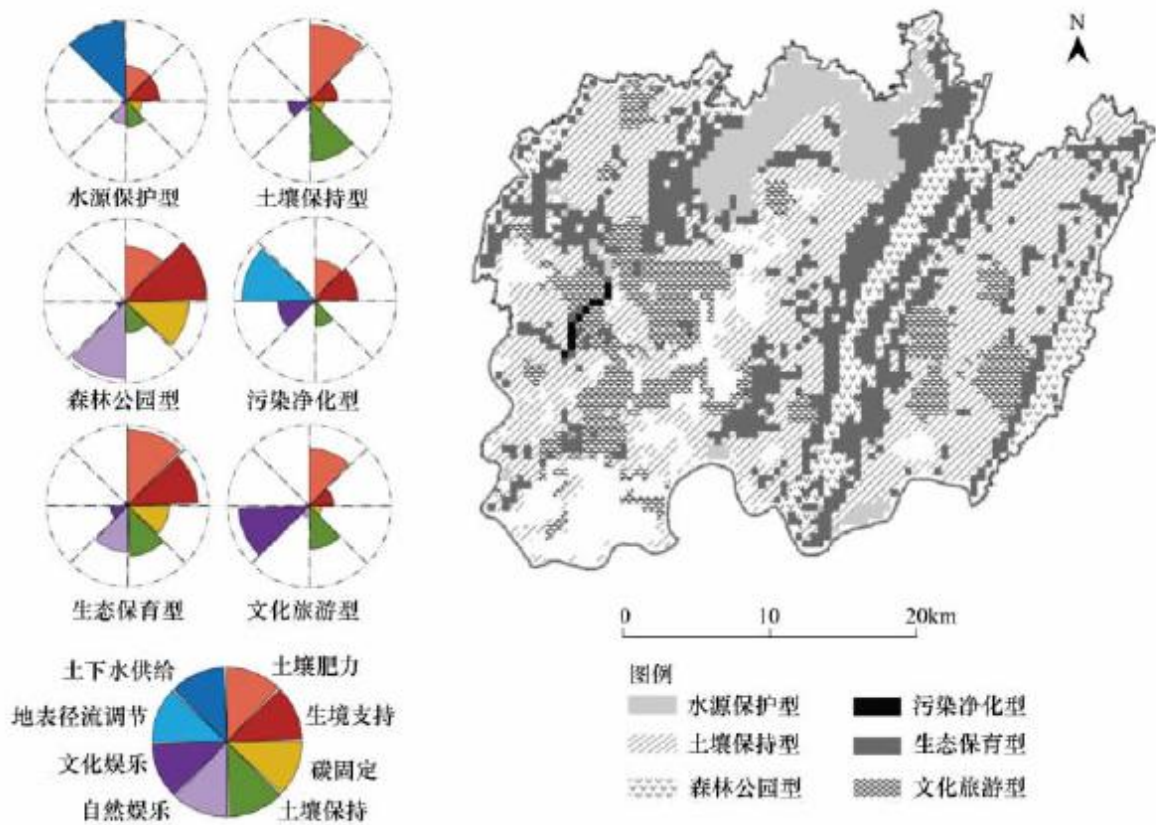


图 2 2010 年重庆两江新区生态系统服务簇空间分布及簇模式图  
Fig.2 Spatial distribution and patterns of ecosystem service bundle in Liangjiang, 2010

从各生态系统服务簇的重要性来看, 水源保护及污染净化型服务簇具有不可替代的生态功能, 森林公园型服务簇具有最佳的生境, 对保护生物多样性具有重要价值, 因此, 这三者重要性级别最高;生态保育型服务簇其次, 但其缓冲作用不容忽视, 是城市可持续发展的必要保证;而土壤保持和文化旅游型服务簇自然生态功能最弱。因此, 就重要性级别来说, ACD 高于 E, E 高于

BF。

从空间分布来看,这种生态系统服务簇模式与该区的“社会-生态”子系统相对应。由此可知,分析不同空间上土地利用类型具有的生态系统服务簇模式有助于识别出“社会-生态”子系统中土地的生态功能差异。

### 3.3 生态系统服务簇与土地类型的关联关系

探讨土地利用类型与生态系统服务簇类型之间的关联关系,本文从以下两个角度展开:(1)按网格统计,识别各网格内的主要土地利用类型(网格内面积最大的土地利用类型),在此基础上得到各地类对应的生态系统服务簇分布比例;(2)按地类统计,计算研究区内各用地类型所对应的生态系统服务簇分布比例。前者可滤除研究区内面积小且破碎的土地利用类型(如图3中人工牧草地、农村道路、港口码头、坑塘水面等),进而识别出典型用地及其典型生态系统服务簇类型,即用地的主要生态功能;后者则更为全面地涵盖了研究区内所有用地的生态功能,可补充完善典型生态系统服务簇之间的相对强弱关系,即用地的主导生态功能。然而值得注意的是,按地类统计时,可能存在小面积地块受周围大环境的干扰,其表现出的主导生态功能并非源于自身。

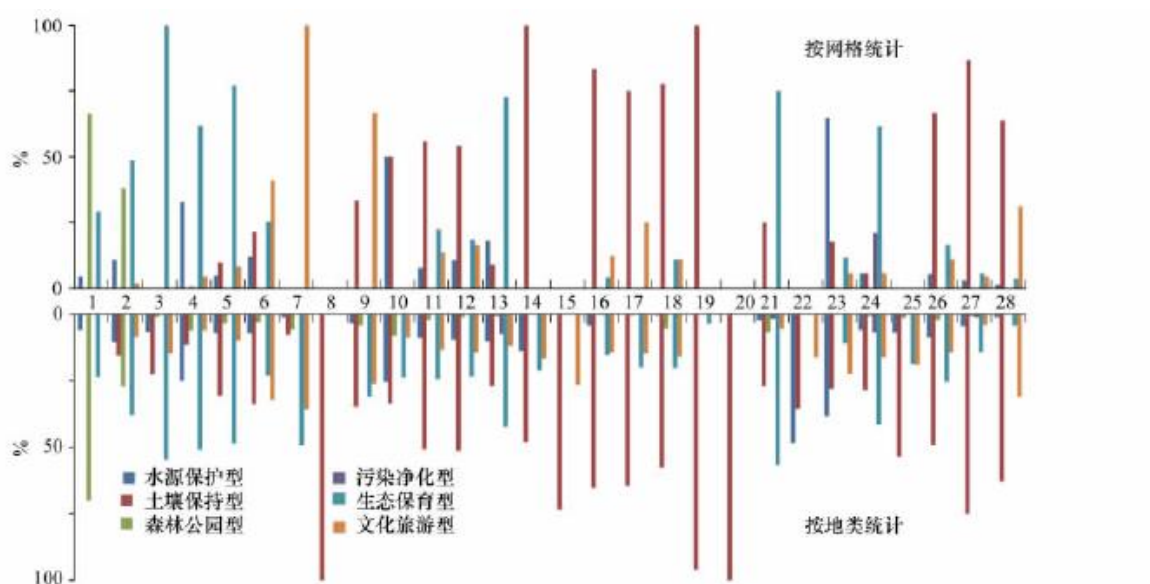


图3 土地利用类型与生态系统服务簇类型关联关系统计图

Fig. 3 Statistical graph of the relationship between land use types and ecosystem service bundles

1: 有林地(海拔>500m); 2: 有林地(海拔≤500m); 3: 灌木林地; 4: 其他林地; 5: 果园; 6: 其他园地; 7: 茶园; 8: 人工牧草地; 9: 其他草地; 10: 裸地; 11: 旱地; 12: 水田; 13: 内陆滩涂; 14: 设施农用地; 15: 农村道路; 16: 公路用地; 17: 铁路用地; 18: 风景名胜及特殊用地; 19: 机场用地; 20: 港口码头; 21: 采矿用地; 22: 水工建筑用地; 23: 水库水面; 24: 河流水面; 25: 坑塘水面; 26: 村庄; 27: 建制镇; 28: 城市

由图3可知,海拔高于500m的有林地主要具有水源保护、森林公园以及生态保育等3种生态功能(按网格统计),其中有近3/4是森林公园型,近1/4是生态保育型(按地类统计);海拔低于500m的有林地主要生态功能除以上3种之外,还有一定的文化旅游功能(按网格统计),且其生态保育功能更加突出(按地类统计)。其他土地利用类型所对应的主要和主导生态功能如表3。

结合表3及图2,可知:(1)水库水面、河流水面是重要的水源保护和污染净化用地,与人类活动关系密切(具有一定文化旅游功能),是提供重要生态系统服务且极为脆弱的用地类型,需重点建设和维护;(2)海拔较高的山地有林地是森林公园建设的源



---

地，而海拔较低的有林地、灌木林地、其他林地、果园具有较高的生态保育功能，是森林公园到城镇的必要缓冲池，一旦缺失，生态系统将变得极其脆弱；(3)内陆滩涂、采矿用地周边与河流沿岸需要保留生态保育功能的绿地以维护生态系统的稳定性；(4)其他园地、茶园、其他草地、裸地、旱地、水田等多数为自然生态系统服务较弱且受人为影响较大的用地，生态价值较低；但也有少部分因距水源保护区较近，影响到关键的生态过程，例如施肥、喷洒农药等会造成地表径流和地下水的污染，应当将其划入生态用地，因此，判别此类用地的性质需考虑其空间属性；(5)设施农用地、机场用地无重要生态系统服务，不属于生态用地；(6)公路用地、铁路用地、风景名胜及特殊用地、村庄、建制镇、城市等，本身不提供生态系统服务，但其与人类活动关系密切，且部分还分布于水源保护区，因此，其周围或内部的绿地、水体等宜作为生态用地加以保护，一方面起到净化空气、防止水体污染以及缓解城市热岛效应的作用，另一方面也是提升城市人居环境的重要途径；(7)其他用地的生态功能限于研究区数据暂时无法探讨。

基于以上分析，生态用地具有提供重要生态系统服务、维护关键生态过程或生态脆弱等特点，具有一定的空间属性，可划分为三个等级：生态系统服务显著的大面积有林地、灌木林地、其他林地、果园，以及生态脆弱且功能不可替代的河流、水库等宜纳入一级生态用地；处于关键生态系统服务簇空间范围内的内陆滩涂、采矿用地、其他园地、茶园、其他草地、裸地、水田及旱地等宜归为二级生态用地；公路用地、铁路用地沿线、风景名胜及特殊用地、村庄、建制镇以及城市内部的绿地和水体，有助于提高人居环境质量，可列为三级生态用地。在生态管理中，一、二级生态用地宜全部纳入禁建区，需重点保护和完善；三级生态用地可根据社会发展需要进行合理的建设与改造；其他用地不纳入生态用地范畴。

表3 重庆市两江新区土地利用类型的主导和主要生态功能

Table 3 Ecological Functions of each land use type in Liangjiang New Area, Chongqing

| 两江新区土地利用类型<br>LULC_name in Liangjiang | 主要生态功能<br>Main ecological functions | 主导生态功能<br>Leading ecological functions |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| 有林地(海拔>500m)                          | 森林公园>生态保育>水源保护                      | 森林公园,生态保育                              |
| 有林地(海拔≤500m)                          | 生态保育>森林公园>水源保护>文化旅游                 | 生态保育,森林公园                              |
| 灌木林地                                  | 生态保育                                | 生态保育                                   |
| 其他林地                                  | 生态保育>水源保护>文化旅游>森林公园                 | 生态保育,水源保护                              |
| 果园                                    | 生态保育>土壤保持>文化旅游>水源保护                 | 生态保育,土壤保持                              |
| 其他园地                                  | 土壤保持>文化旅游>生态保育>水源保护                 | 土壤保持,文化旅游                              |
| 茶园                                    | 文化旅游                                | 文化旅游                                   |
| 人工牧草地**                               | 未知                                  | 未知                                     |
| 其他草地                                  | 土壤保持>文化旅游                           | 土壤保持,文化旅游                              |
| 裸地*                                   | 土壤保持>水源保护                           | 土壤保持,水源保护                              |
| 旱地                                    | 土壤保持>生态保育>文化旅游>水源保护                 | 土壤保持,生态保育                              |
| 水田                                    | 土壤保持>生态保育>文化旅游>水源保护                 | 土壤保持,生态保育                              |
| 内陆滩涂                                  | 生态保育>土壤保持>水源保护                      | 生态保育,土壤保持                              |
| 设施农用地*                                | 土壤保持                                | 土壤保持                                   |
| 农村道路**                                | 未知                                  | 未知                                     |
| 公路用地*                                 | 土壤保持>生态保育>文化旅游                      | 土壤保持                                   |
| 铁路用地*                                 | 土壤保持>文化旅游                           | 土壤保持                                   |
| 风景名胜及特殊用地*                            | 土壤保持>生态保育>文化旅游                      | 土壤保持                                   |
| 机场用地*                                 | 土壤保持                                | 土壤保持                                   |
| 港口码头**                                | 未知                                  | 未知                                     |
| 采矿用地*                                 | 生态保育>土壤保持                           | 生态保育,土壤保持                              |
| 水工建筑用地*                               | 未知                                  | 未知                                     |
| 水库水面                                  | 水源保护>土壤保持>文化旅游>生态保育                 | 水源保护,土壤保持,文化旅游                         |
| 河流水面***                               | 生态保育>土壤保持>文化旅游>污染净化>水源保护            | 同左                                     |
| 坑塘水面**                                | 未知                                  | 未知                                     |
| 村庄*                                   | 土壤保持>生态保育>文化旅游>水源保护                 | 土壤保持,生态保育,文化旅游                         |
| 建制镇*                                  | 土壤保持>生态保育>文化旅游>水源保护                 | 土壤保持,生态保育                              |
| 城市*                                   | 土壤保持>文化旅游>生态保育>水源保护                 | 土壤保持,文化旅游                              |

\* 类用地的生态功能实际反映了其内部及周边环境,如绿地、土壤硬化程度等综合影响下的生态功能,并非该类地类自身的生态功能; \*\* 类用地由于地块面积小,在本例500m×500m格网下无法识别,故其生态功能暂时不予讨论; \*\*\* 类用地的部分生态功能虽相对该用地的其他生态功能比重较小(如污染净化),但重要性级别高(参见图2),不可替代

## 4 结论

生态用地的界定与功能分类不仅是相关生态政策制定的基础,也是城市开发建设首先必须明确的问题,关系到土地资源的合理利用与人类社会的可持续发展。为解决目前生态用地概念界定不清且分类体系混乱的问题,本文从复合生态系统理论出发,以生态管理精度要求较高的小尺度区域为研究对象,采用生态系统服务簇的定量研究方法,对重庆两江新区用地的生态功能进行了实证分析。基于对土地利用类型与生态系统服务簇的关联关系分析,本文总结出生态用地的界定标准,即提供重要生态系统服务、维护关键生态过程或生态脆弱的用地空间,这与大部分学者的定义一致。但关于生态用地的分类体系,本文并不囿于现行土地分类框架中按照社会经济属性划分的“类别”概念,而是引入生态用地的“空间”概念,将社会因子纳入用地生态功能的权衡当中,兼顾了生态成分和社会成分在空间上的互动。这在一定程度上回答了既有研究中关于“水田、旱地、裸地等是否属于生态用地”的争议,为生态脆弱区的识别提供了新的视角和途径;另一方面也有助于建立复合生态空间管理需求下的土地分类框架。

---

本文存在以下不足:一、两江新区的个例不足以包含所有的用地类型,对于区域内面积较小的地类也缺乏数据支撑,因此,要讨论生态用地分类的普适标准还有待其他案例的补充;二、研究中选取的八种生态系统服务,虽然较为典型,但服务种类涵盖面有限,其他地区仍需根据自身的自然—社会特征加以改进;三、本文探讨了现有土地利用分类与生态系统服务簇之间的关联关系,在此基础上得出了生态用地分类分级标准,生态用地分类与土地利用分类体系的衔接问题尚未论及,以上问题都有待改进。

#### 参考文献:

- [1] 沈国舫. 关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨. 生态学报, 2014, 34(7):1891-1895.
- [2] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. 生态学报, 2009, 29(3):1519-1524.
- [3] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 袁弘, 王思思. 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. 应用生态学报, 2009, 20(8):1932-1939.
- [4] 董雅文, 周雯, 周岚, 周慧. 城市化地区生态防护研究——以江苏省、南京市为例. 城市研究, 1999, (2):6-8, 10-10.
- [5] 欧阳志云, 李小马, 徐卫华, 李煜珊, 郑华, 王效科. 北京市生态用地规划与管理对策研究. 生态学报, 2015, 35(11).
- [6] 喻锋, 李晓波, 张丽君, 徐卫华, 符蓉, 王宏. 中国生态用地研究:内涵、分类与时空格局. 生态学报, 2015, 35(14).
- [7] 符蓉, 喻锋, 于海跃. 国内外生态用地理论与实践探索. 国土资源情报, 2014, (2):32-36.
- [8] Kareiva P, Watts S, McDonald R, Boucher T. Domesticated nature: Shaping landscapes and ecosystems for human welfare. Science, 2007, 316(5833): 1866-1869.
- [9] Raudsepp-Hearne C, Peterson G D, Bennett E M. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107(11): 5242-5247.
- [10] Qiu J X, Turner M G. Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(29): 12149-12154.
- [11] Petz K, Minca E L, Werners S E, Leemans R. Managing the current and future supply of ecosystem services in the Hungarian and Romanian Tisza River Basin. Regional Environmental Change, 2012, 12(4): 689-700.
- [12] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. Ecology Letters, 2009, 12(12): 1394-1404.
- [13] 王如松, 李锋, 韩宝龙, 黄和平, 尹科. 城市复合生态及生态空间管理. 生态学报, 2014, 34(1):1-11.
- [14] Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. Biological Conservation, 2008, 141(2): 350-352.
- [15] Costanza R, D'Arge R, DeGroot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo

---

J, Raskin R G, Sutton P, VandenBelt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.

[16] Egoh B, Reyers B, Rouget M, Richardson D M, Le Maitre D C, van Jaarsveld A S. Mapping ecosystem services for planning and management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 127(1 /2): 135-140.

[17] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use // Buendia L, MiwaK, Ngara T, Tanabe K, eds. The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, HS. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.

[18] 潘卓. 基于生态位适宜度的两江新区低丘缓坡土地利用情景模拟研究 [D]. 重庆:西南大学, 2013.

[19] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, Porter J P. RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1991, 46(1): 30-33.

[20] 张尚超. 基于连通性的聚类有效性问题研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2010.

[21] 周世兵. 聚类分析中的最佳聚类数确定方法研究及应用 [D]. 无锡:江南大学, 2011.