

# 生态系统供给服务评估及经济价值测算\*

吴楠<sup>1,2,3</sup> 高吉喜<sup>1,4,\*</sup> 苏德毕力格<sup>3</sup> Taylor H. Ricketts<sup>5</sup> Nasser Olwero<sup>5</sup> 罗遵兰<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100049; <sup>3</sup> 中国环境科学研究院生态研究所, 北京 100012; <sup>4</sup> 中华人民共和国环境保护部科技标准司, 北京 100035; <sup>5</sup> 世界自然基金总部, 美国华盛顿特区 20037-1193)

**摘要** 针对目前生态系统产品供给服务评估中缺乏空间表达、未考虑产品可获得性等不足, 基于 ArcGIS 9.2 综合考虑生态系统产品的供、需两方面因素, 构建了生态系统供给服务物质和价值量的空间表达技术方法和评估模型, 并对 2000 年丽江老君山地区的木材产品提供进行了分析。结果表明 2000 年, 老君山地区实际木材产品年供给服务总量为  $11.12 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ , 仅为年总蓄积增加量的 3.2%; 木材产品供给服务总价值为 6669.27 万元, 其中以针叶林为主(90.41%)。由于研究区东部人口及道路较密集, 部分区域位于保护区外, 且森林植被分布零散, 供给服务物质量的空间分布呈“东高西低”格局。

**关键词** 生态系统供给服务 评估模型 老君山 木材产品

**文章编号** 1001-9332(2010)02-0409-06 **中图分类号** X171.1 **文献标识码** A

**Evaluation of ecosystem provisioning service and its economic value.** WU Nan<sup>1,2,3</sup>, GAO Jixi<sup>1,4</sup>, Sudebilige<sup>3</sup>, Taylor H. Ricketts<sup>5</sup>, Nasser Olwero<sup>5</sup>, LUO Zun-lan<sup>3</sup> (<sup>1</sup> Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; <sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; <sup>3</sup> Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; <sup>4</sup> Department of Science, Technology and Standards, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100035, China; <sup>5</sup> World Wildlife Fund, Washington DC 20037-1193, USA). -Chin. J. Appl. Ecol. 2010 21(2): 409-414.

**Abstract:** Aiming at the fact that the current approaches of evaluating the efficacy of ecosystem provisioning service were lack of spatial information and did not take the accessibility of products into account, this paper established an evaluation model to simulate the spatial distribution of ecosystem provisioning service and its economic value, based on ArcGIS 9.2 and taking the supply and demand factors of ecosystem products into account. The provision of timber product in Laojunshan in 2000 was analyzed with the model. In 2000, the total physical quantity of the timber's provisioning service in Laojunshan was  $11.12 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ , occupying 3.2% of the total increment of timber stock volume. The total provisioning service value of timber was  $6669.27 \times 10^4$  yuan, among which, coniferous forest contributed most (90.41%). Due to the denser distribution of populations and roads in the eastern area of Laojunshan, some parts of the area being located outside of conservancy district, and forests being in scattered distribution, the spatial distribution pattern of the physical quantity of timber's provisioning service was higher in the eastern than in the western area.

**Key words:** ecosystem provisioning service; evaluation model; Laojunshan; timber product.

生态系统服务指人类从生态系统获得的各种惠益, 包括对人类具有直接影响的供给服务、调节服务

与文化服务以及维持这些服务所必需的支持服务<sup>[1]</sup>。这些服务为人类社会带来了巨大且不可或缺的福祉, 蕴藏着极其丰富的经济价值。在微观水平上, 对生态系统服务及其价值进行评估可以提供关于生态系统结构和功能的信息, 提供生态系统在支持人类福祉方面所起作用的信息<sup>[2]</sup>; 在宏观水平

\* 国家科技支撑计划项目(2007BAC16B02)、UNEP/GEF 长江流域自然保护与洪水控制项目(IMIS:GFL-2328-2740-4822, PMS:GF/3030-04-05-01)和环保公益性行业科研专项(200709029)资助。  
\* \* 通讯作者。E-mail: gaojx@craes.org.cn  
2009-07-06 收稿, 2009-11-27 接受。

上,评估有助于制定人类福利和可持续发展的指标体系<sup>[3]</sup>。国内外众多学者和组织机构对不同尺度不同对象生态系统服务及其价值的评估方法和模型已进行了大量的探索与实践<sup>[4-8]</sup>。

生态系统供给服务指人类从生态系统获取的各种产品,包括食物、纤维、燃料、遗传资源、生化药剂、天然药物、医药用品、装饰资源和淡水等。这些产品的短缺会对人类福祉产生直接或间接的不利影响。过去一段时间,人类对这些产品的获取常维持在高于其可持续生产的速度之上,通常导致产品产量在快速增长一段时间后最终走向崩溃<sup>[1]</sup>。目前,国内在生态系统供给服务及其价值评估手段上主要利用国民经济统计数据直接进行计算和描述,由于我国国民经济统计数据的精度最高为县级,因此该方法多应用于宏观尺度(全国、大流域)评估,在县域尺度的评估中难以体现其空间变异。陈能汪等<sup>[9]</sup>虽然提出了基于 GIS 的生态系统服务直接利用价值评估技术框架并进行了应用,但其并未考虑生态系统产品对于人类具有怎样的可获得性,因此评估结果只是生态系统产品产量在空间变异上的表达,评估内容也仅属于生态系统功能范畴,并非生态系统服务。鉴于此,本研究全面考虑了生态系统产品的“供、需”两方面因素,基于 ArcGIS 9.2 的空间分析工具集(Spatial Analyst Tools)建立了生态系统供给服务物质和价值量的空间表达技术方法和评估模型,并以 2000 年长江上游丽江老君山地区生态系统提供的木材林产品为例,进行了模型的应用,旨在为区域林业规划与相关生态补偿机制的建立提供支撑。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 自然概况

老君山地区(26°32'52"—27°3'30" N, 99°31'47"—100°9'45" E)属“三江(金沙江、澜沧江、怒江)并流”世界遗产的核心地带,面积 2008.27 km<sup>2</sup>,海拔 1826~4296 m,年均降水量 600~1200 mm,具有山川相间并列的高山峡谷地貌景观。受印度洋西南季风、太平洋东南季风和青藏高原气团的交错影响,加之山脉走向的多样性和立体地形,导致研究区气候条件十分复杂,在水平和垂直方向上的差异明显。该区属南北植物区系交界过渡带,植物种类丰富,保留了多种珍稀保护动植物种群。

老君山地区的森林资源丰富,品种多样,蓄积量大。主要乔木有丽江云杉(*Picea likiangensis*)、长苞冷杉(*Abies georgei*)、云南铁杉(*Tsuga dumosa*)、大果

红杉(*Larix potaninii* var. *macrocarpa*)、云南松(*Pinus yunnanensis*)、高山松(*Pinus densata*)和华山松(*Pinus armandi*)等针叶树,珍惜树种有云南红豆杉(*Taxus yunnanensis*)和云南榧树(*Torreya yunnanensis*)。自 20 世纪 70 年代以来,经过大规模的商业砍伐和大量的薪柴采集,使该区森林和植被遭受严重破坏。近年来通过实施天然林保护和人工造林等生态工程,使森林覆盖率提高到 70% 以上,但现存天然林资源较少,新增多为纯林或未成熟林,局部地区森林生态系统功能退化严重。木材产品中薪柴消耗约占 58%,森林资源的低价值消费仍占主导地位。

### 1.2 生态系统供给服务及其价值评估模型的构建

对生态系统供给服务及其价值进行评估和空间维度上的表达,必须明确研究区中哪些地方可以最方便(需)地获得最多(供)的生态系统产品。因此供需两方面决定了生态系统供给服务的能力。“供”指研究区生态系统生产某种产品的能力,本模型涉及产品丰富度和生境质量 2 个因子;“需”指该产品对人类具有怎样的可获得性,本模型涉及收获压力、收获产品管理状况和邻近产品的丰富度 3 个因子。

将模型与 ArcGIS 9.2 结合,以便于大量空间数据的处理和模型结果的直观显示。以 ArcGIS 9.2 作为界面和控制平台,识别研究区域,收集针对评估产品所需的相关资料与图件,建立空间和属性数据库。基于 ArcGIS 9.2 的空间分析工具集模拟出 5 个评估因子的空间分布图层,然后利用式(1)计算每个栅格针对评估产品的供给服务量,得到研究区供给服务的空间分布图,再乘以评估产品评估年的单位价格,得到研究区评估产品年供给服务价值分布(图 1)。

$$PS_i = Stock_i \times norm( Quality_i ) \times norm( HP_i ) \times norm( LA_i ) \times norm( NA_i ) \quad (1)$$

式中:  $PS_i$  为栅格  $i$  的评估产品供给服务量( unit · a<sup>-1</sup> );  $Stock_i$  为栅格  $i$  评估产品的年产出量( unit · a<sup>-1</sup> );  $norm$  为标准化函数,对括号内的数据层进行标准化处理;  $Quality_i$  为栅格  $i$  的生境质量调整系数;  $HP_i$  为栅格  $i$  基于人口和道路的收获压力系数;  $LA_i$  为栅格  $i$  针对评估产品的管理严厉状况系数;  $NA_i$  为栅格  $i$  的邻近产品丰富度系数。

### 1.3 模型因子的确定

1.3.1 评估产品的年产出量 根据丽江相关统计资料<sup>[10]</sup>和中国西部环境与生态科学数据中心提供的“全国 1266 块森林样地主要森林类型数据”<sup>[11]</sup>,确定老君山地区 2000 年每种土地利用/覆被类型木材

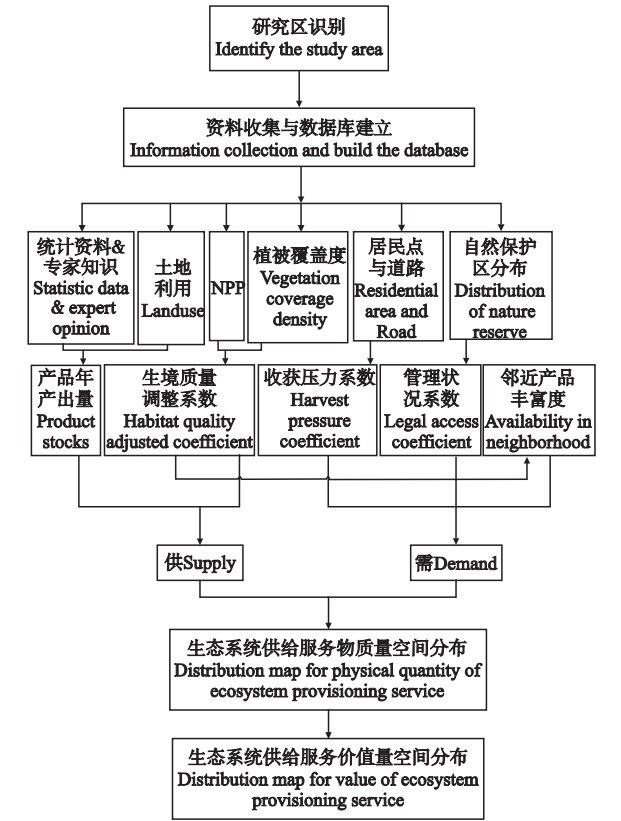


图 1 生态系统供给服务及其价值评估的技术框架  
Fig. 1 Framework for provisioning service and value assessment of ecosystem provisioning service.

产品的年产出量(  $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  ). 由于在较粗的土地利用/覆被分类体系下较难准确地确定单位面积产品年产出绝对量, 因此本评估模型也可采用相对产出系数(  $0 \sim 1$  )来代替其进行评估.

1. 3. 2 生境质量调整系数 生境质量调整系数可对生态系统供给产品产出量进行调整. 此系数由生态系统的状况所决定<sup>[12]</sup>, 其算式如下:

$$Quality_i = \left( \frac{NPP_i}{NPP_{mean}} + \frac{f_i}{f_{mean}} \right) \div 2 \quad (2)$$

式中:  $NPP_{mean}$  和  $f_{mean}$  分别为研究区域内各类生态系统植被净初级生产力的均值和植被覆盖度的均值;  $NPP_i$  和  $f_i$  分别为栅格  $i$  的净初级生产力和植被覆盖度. 根据 Gutman 等<sup>[13]</sup> 研究表明, 区域植被覆盖度与植被指数存在以下关系:

$$f_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (3)$$

式中:  $NDVI_{max}$  和  $NDVI_{min}$  分别为植被整个生长季归一化植被指数(  $NDVI$  )的最大和最小值. 其中 2000 年老君山地区的  $NDVI$  数据源于全国生态环境调查数据库, 空间分辨率为 1 km, 时间分辨率为月, 数据格式为 GRID; 2000 年研究区 NPP 数据基于 GLO-

PEM 模型<sup>[14]</sup>生成, 源于中国科学院资源环境科学数据中心, 空间分辨率为 1 km, 时间分辨率为年, 数据格式为 GRID.

1. 3. 3 收获压力系数 本文采用评估产品距人口聚集中心和道路的直线距离来模拟收获压力系数. 对不同人口数量的居民点和不同等级的道路赋以相应的权重. 模拟时设定一个针对评估产品的最大搜索半径( search radius ), 只在半径以内计算每个栅格的收获压力, 半径以外的收获压力赋值为零. 栅格的收获压力系数越高, 表明人类越容易获得该评估产品, 生态系统也可提供更高等级的供给服务. 采用 ArcGIS 9. 2 的核心密度工具( kernel density )进行模拟<sup>[15]</sup>, 具体算法参见文献[ 16 ]. 2000 年研究区乡镇居民点人口数量以及道路划分等级根据相关统计年鉴<sup>[10]</sup>及实地调研获得. 最大搜索半径设置为 8 km. 模型基于居民点和道路数据分别进行模拟, 将得到相应的收获压力系数图层, 然后进行栅格求和, 生成总收获压力系数图层.

1. 3. 4 管理状况系数 对于我国自然保护区的核心区或其他一些被法律或私人严格保护管理的区域, 尽管其包括了极其丰富的生态系统产品, 但获取难度很大. 在一些保护管理相对宽松的区域, 生态系统产品的可获得性相对较高. 因此本文所建模型提供了管理状况系数, 以进一步修正产品供给服务的能力. 基于老君山国家级自然保护区的范围图层, 本文将研究区划分为保护区内外两部分. 根据当地专家意见对保护区内的栅格统一赋管理状况系数为 0. 8, 保护区外的栅格赋 1, 表示管理状况对木材产品的获得没有影响.

1. 3. 5 邻近产品的丰富度 如果某些栅格与同样评估产品的栅格较接近, 其收获压力将比完全孤立的产品栅格小. 采用 ArcGIS 9. 2 地图代数工具中的邻域求和函数( focalsum )<sup>[15]</sup>, 以上述最大搜索半径作为分析邻域, 对评估产品年产出量图层中的每个栅格依次在其邻域内计算产出量之和. 与当前分析栅格距离近的栅格在求和时将被赋予较高的权重. 对领域分析得到的图层进行标准化处理, 再用 1 减去标准化处理的结果, 得到邻近产品丰富度调整系数图层.

1. 4 数据处理

本研究所涉及的数据均集成到同一坐标系下, 投影方式为双标准纬线等面积圆锥( albers )投影, 采用 Krasovsky 椭球体, 主要参数为: 中央经线  $105^\circ$ , 原点纬线  $0$ , 第一标准纬线  $N_1 = 25^\circ$ , 第二标准

纬线  $N_2 = 47^\circ$ . 对全国范围数据按照研究区范围进行裁切. 所有数据均重采样( resample )至  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  像元大小. 采用 ArcGIS 9.2 软件的栅格计算器( raster calculator )计算 5 个模型因子.

2 结果与分析

2.1 木材林产品的供给服务量及其价值

2000 年,老君山地区森林面积总量为  $1528.81\text{ km}^2$ ,其中针叶林面积占主导地位(  $77.47\%$  ),其次为灌丛和阔叶林,针阔混交林面积最少. 根据各种森林类型的平均单位面积活立木蓄积量和年净增长率所确定的活立木蓄积年增加量可作为木材林产品年产出量. 研究区针叶林的平均单位面积林产品年产出量最高,为  $27.41\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,其次为针阔混交林(  $20.21\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  )和阔叶林(  $13.01\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  ),灌丛最低,为  $5.47\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,结合每种森林类型的面积得到老君山地区 2000 年总蓄积增加量为  $351.27 \times 10^4\text{ m}^3$ .

由表 1 可以看出,考虑到研究区的生境质量和人类的需求因素,2000 年该区实际人类可获得的生态系统木材供给服务量远小于产出量. 由于研究区针叶林多分布于保护区内以及距道路和人口聚集点较远的区域,且分布较集中,因此针叶林平均单位面积木材产出量较实际供给服务量(  $0.85\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  )高约 32.1 倍;而该区针阔混交林面积较少,且分布零散,其平均单位面积木材产出量较供给服务量的提高量最小,仅提高了 16.95 倍,使其平均单位面积木材供给服务量最大,达到  $1.19\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$

$\cdot \text{a}^{-1}$ . 根据不同森林类型的面积得到 2000 年老君山地区实际木材产品年供给服务总量为  $11.12 \times 10^4\text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ,为年总蓄积增加量的 3.2%. 根据 1997 年林业部和国家统计局编制的林业总产值计算方案中单位立木产品价格计算方法<sup>[17]</sup>,取老君山地区 2000 年立木产品价格为  $600\text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$ . 以此算出老君山地区实际的木材供给服务年总价值为 6669.27 万元,其中,针叶林由于分布面积最大,且平均单位面积木材供给服务量较高,使其所占的价值比例最大(  $90.41\%$  ).

2.2 生态系统供给服务及其价值评估模型中模型因子的空间变异

研究区年木材蓄积增加量较大的针叶林多为本地优势珍稀树种,集中分布于老君山保护区内,而阔叶林及灌丛则大部分分布于石鼓乡及仁和乡境内,其余零散分布. 研究区东部的九河乡、太安乡和拉市乡海拔相对较低,自然条件优越,栽培植被面积较高,因而该区 NPP 和植被覆盖度较高,使其生境质量系数较高. 因此,老君山地区木材年产量呈“西高东低”的空间格局(图 2a),而总体生境质量系数的分布则与之相反(图 2b).

研究区内公路主要包括沿金沙江河谷布设的丽(江)-缙(西)砂石路面等外公路、横穿九河乡、太安乡和拉市乡的丽(江)-缙(西)沥青路面四级公路以及由南向北穿过九河乡的西(宁)-景(洪)沥青路面三级公路;居民人口除了少数分布于石鼓乡外,其余大部分分布于研究区东部,因此模拟出的收获压力系数高值在 8 km 搜索半径内汇聚于道路两旁及人

表 1 研究区不同土地覆被类型的木材蓄积增加量、供给服务物质量和价值量  
Tab.1 Increasing in quantity of timber stock volume , physical quantity and value of provisioning service of different land cover types in 2000

| 土地覆被类型<br>Land cover type               | 面积比例<br>Percentage<br>of area | 平均单位<br>面积木材<br>蓄积增加量   | 总蓄积<br>增加量   | 实际供给服务量   |   | 单位面积<br>价值   | 总价值   | 价值比例                            |
|---|-------------------------------|---|--|---|---|--|---|---------------------------------|
|   |                               | Increasing in<br>quantity of<br>timber stock<br>volume on<br>unit area<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) | Total increase<br>in quantity<br>of timber<br>stock volume<br>( $\times 10^4\text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ) | 平均值<br>Average<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) | 总值<br>Total<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ) | Per-pixel<br>value<br>( $\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) | ( $\times 10^4\text{ yuan} \cdot \text{a}^{-1}$ ) | Percentage<br>of total<br>value |
| 针叶林<br>Coniferous forest                | 77.47                         | 27.41   | 324.60   | 0.85  | 100496.00   | 512.31   | 6029.76   | 90.41                           |
| 针阔混交林<br>Mixed broadleaf-conifer forest | 0.08                          | 20.21   | 0.25   | 1.19  | 145.46  | 715.36   | 8.73  | 0.13                            |
| 阔叶林<br>Broadleaf forest                 | 6.63                          | 13.01   | 13.18  | 0.61  | 6180.04   | 368.66   | 370.80  | 5.56                            |
| 灌丛<br>Shrub                             | 15.82                         | 5.47  | 13.24  | 0.18  | 4333.01   | 108.15   | 259.98  | 3.90                            |
| 合计<br>Total                             | 100                           |   | 351.27   |   | 111154.51   |  | 6669.27   | 100                             |

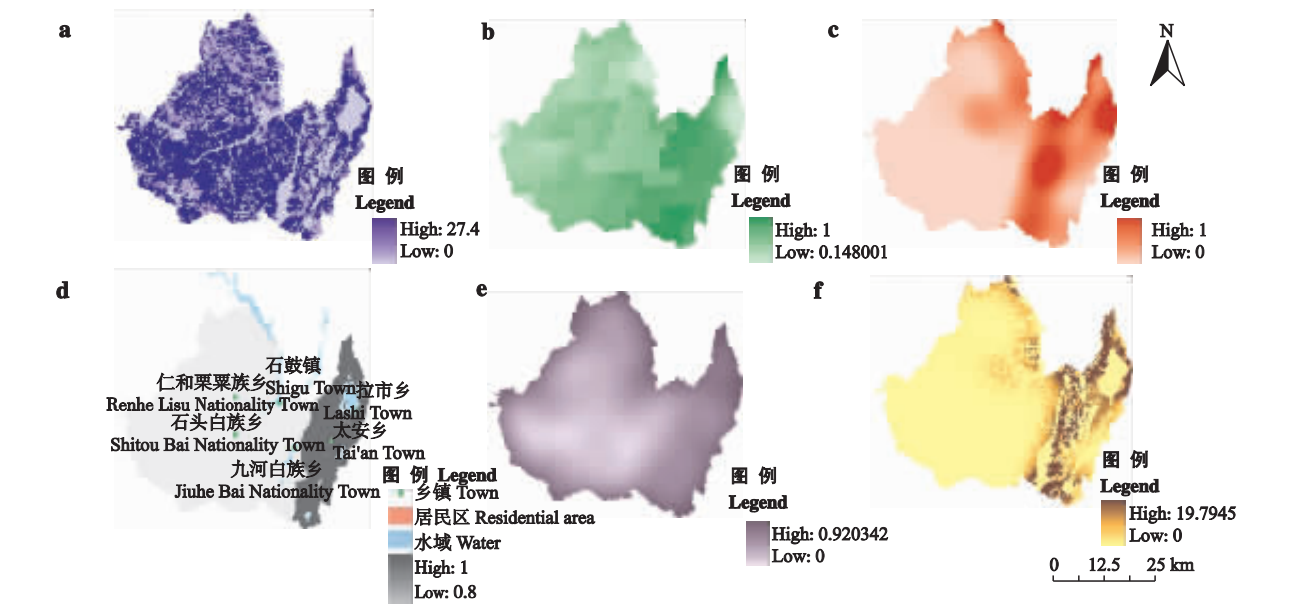


图2 研究区生态系统供给服务评估结果的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of evaluation results on ecosystem provisioning service in the study area ( 2000 ).

a)木材产品年产出量 Annual timber stock volume output ;b)生境质量调整系数 Habitat quality adjusted coefficient ;c)收获压力系数 Harvest pressure coefficient ;d)管理状况系数 Management state coefficient ;e)邻近产品的丰富度系数 Availability in neighborhood coefficient ;f)供给服务物质质量 Physical quantity of provisioning service.

口聚焦点( 图2c ).

老君山保护区占据了研究区的大部分面积 ,限于数据的可获取性 ,对保护区内部未按照管理强度进行试验区、缓冲区和核心区范围的划分 ,仅对保护区内部统一赋管理状况系数为 0.8 ,保护区外的栅格赋 1( 图2d ).

由于针叶林分布相对集中于保护区腹地 ,而保护区周边及研究区东部的森林植被多呈离散分布 ,导致基于邻近产品丰富度的收获压力系数高值分布于研究区周边及东部地区( 图2e ).综合本文所建模型的 5 个因子得到老君山地区生态系统实际木材产品供给服务物质质量的分布 ,结果表明 ,其空间差异较明显( 图2f ).由于保护区腹地人口分布极少 ,基本无公路布设 ,且针叶林集中成片分布 ,使其实际供给服务量较低.虽然东部地区木材产品产出量并不高 ,但其人口密集 ,有两条较高等级道路穿过 ,加之部分区域处于保护区外 ,且森林植被分布零散 ,使老君山地区实际木材产品供给服务量高值集中分布于东部.因此 ,在老君山东部地区规划种植一些人工经济林及速生丰产林 ,能更快更好地满足大部分当地居民对于木材产品的需求 ,而在保护区腹地应保育本地的天然针叶林资源 ,减少其作为林木产品的低值产出 ,从而弱化其供给服务 ,充分发挥其生态系统的调节服务及支持服务.

3 结 语

本模型在计算基于居民人口和道路数据的收获压力系数图层时 ,假设生态系统产品采集者的采集路线为笔直 ,对最远的采集范围也用直线距离进行模拟 ,实际情况是采集者会根据地形和交通状况等选择成本最低的路径.今后应在模型中增加相应的评估因子 ,以模拟出采集生态系统产品的最低成本路径范围 ,并在此范围内模拟收获压力的空间变异.

本模型仅通过相对简单的乘法运算函数来集成所有的模型因子 ,事实上 ,不同研究区的各个因子对于生态系统产品供给服务能力的影响有所差异 ,因此模型应用于特定区域时需要针对当地的实际情况进行各个模型因子权重的分析评价 ,使其能够更好地模拟出适合当地不同区域生态系统产品实际供给服务量的空间差异.

本研究对建立基于空间分布的生态系统产品供给服务及其价值评估模型和方法进行了一次探索 ,该模型在一定程度上反映了生态系统产品对于人类的潜在可获得性.由于数据精度和诸多的不确定性因素 ,可能使该模型在特定地区针对某种生态系统产品的模拟结果与实际情况差别较大 ,模型的完善及其准确应用还有待于深入研究.

参考文献

[ 1 ] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being : A Framework for Assessment. Washington DC : Island Press , 2003

[ 2 ] Howarth RB , Farber S. Accounting for the value of ecosystem services. *Ecological Economics* , 2002 , **41** : 421-429

[ 3 ] Daly HE , Cobb JB. For the Common Good : Redirecting the Economy Toward Community , the Environment and a Sustainable Future. Boston : Beacon Press , 1989

[ 4 ] Costanza R , d 'Arge R , de Groot R , *et al.* The value of the world 's ecosystem services and natural capital. *Nature* , 1997 , **386** : 253-260

[ 5 ] Daily GC. Nature 's Service : Societal Dependence on Natural Ecosystem. Washington DC : Island Press , 1997

[ 6 ] Troy A , Wilson MA. Mapping ecosystem services : Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics* , 2006 , **60** : 435-449

[ 7 ] Ouyang Z-Y ( 欧阳志云 ) , Wang X-K ( 王效科 ) , Miao H ( 苗 鸿 ). A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica* ( 生态学报 ) , 1999 , **19** ( 5 ) : 607-613 ( in Chinese )

[ 8 ] Zhao J-Z ( 赵景柱 ) , Xiao H ( 肖 寒 ) , Wu G ( 吴 刚 ). Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services. *Chinese Journal of Applied Ecology* ( 应用生态学报 ) , 2002 , **11** ( 2 ) : 290-292 ( in Chinese )

[ 9 ] Chen N-W ( 陈能汪 ) , Zhang X-Y ( 张潇尹 ) , Lu X-M ( 卢晓梅 ). Mapping direct use value of ecosystem services : A GIS-based approach. *China Environmental Science* ( 中国环境科学 ) , 2008 , **28** ( 7 ) : 661-666 ( in Chinese )

[ 10 ] Information Openness Portal of Lijiang Government ( 丽江市政府信息公开门户网站 ). National Economic and Social Development Bulletin of Lijiang Region in 2001 [ EB/OL ]. ( 2008-09-22 ) [ 2009-11-26 ]. [http://xxgk.yn.gov.cn/canton\\_model18/newsview.aspx?id=60869](http://xxgk.yn.gov.cn/canton_model18/newsview.aspx?id=60869)

[ 11 ] Luo T-X ( 罗天祥 ). Patterns of Net Primary Productivity for Chinese Major Forest Types and Their Mathematical Models. PhD Thesis. Beijing : Graduate University of Chinese Academy of Sciences , 1996 ( in Chinese )

[ 12 ] Xu T ( 许 田 ) , Li Z-H ( 李振海 ) , Niu J-M ( 牛建明 ) , *et al.* Services value of different landscape types in Longitudinal Range-Gorge Region. *Chinese Journal of Applied Ecology* ( 应用生态学报 ) , 2008 , **19** ( 9 ) : 2009-2015 ( in Chinese )

[ 13 ] Gutman G , Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of Remote Sensing* , 1998 , **19** : 1533-1543

[ 14 ] Stephen DP , Samuel NG. Global primary production : A remote sensing approach. *Journal of Biogeography* , 1995 , **22** : 815-835

[ 15 ] Wu X-Q ( 吴秀芹 ) , Zhang H-Y ( 张洪岩 ) , Li R-G ( 李瑞改 ) , *et al.* The Application and Practice of ArcGIS 9.2. Beijing : Tsinghua University Press , 2007 ( in Chinese )

[ 16 ] Silverman BW. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. New York : Chapman and Hall , 1986

[ 17 ] Liu J-C ( 刘俊昌 ). Study of the Calculation , Analysis and Application of Forestry Output Value. PhD Thesis. Beijing : Beijing Forestry University , 2002 ( in Chinese )

作者简介 吴 楠 ,男 ,1982 年生 ,博士研究生.主要从事生态系统服务研究 ,发表论文 6 篇. E-mail : wunan0223@163.com

责任编辑 杨 弘

Copyright of Yingyong Shengtai Xuebao is the property of Chinese Journal of Applied Ecology and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.