

基于土地覆盖/利用模式的云南省 抚仙湖流域生态资产评估

刘 阳¹, 吴 钢^{1,*}, 高正文²

(1. 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 云南省环境保护局, 昆明 650032)

摘要:利用 Landsat 7 TM 遥感影像和 MODIS 卫星影像获取生态系统类型、质量状况等参数,并计算出抚仙湖流域各类生态系统的净第一性生产力(Net Primary productivity, *NPP*),结合地理属性数据及统计数据,计算出抚仙湖流域各类生态系统的生态资产。结果表明:2001~2004 年抚仙湖流域生态资产分别为:827824.96、799563.89、703491.09、700806.18 万元。灌丛对流域生态资产价值的贡献量最大,是生态资产构成中重要组成部分,贡献效率最高的生态系统类型是水田,水土保持价值在流域生态资产构成中占有很大比重。抚仙湖流域生态资产价值量呈下降趋势,需要加大生态建设力度,文章提出了流域生态资产的相关管理对策。

关键词:抚仙湖流域;生态资产;遥感;空间分布

文章编号:1000-0933(2007)12-5282-09 中图分类号:Q143 文献标识码:A

The valuation of ecological capital based on the land cover / use pattern of Fuxian catchment in Yunnan Province

LIU Yang¹, WU Gang^{1,*}, GAO Zheng-Wen²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Yunnan Provincial Environmental Bureau, Kunming 650032, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5282 ~ 5290.

Abstract: This paper used TM and MODIS satellite data to map ecosystem types and determine ecological features for Fuxian catchment in Yunnan Province. The remote sensing data and meteorological data were combined to compute Net Primary Productivity (*NPP*) for different ecosystems in the catchment. Based on *NPP* values, geographic attribute data and statistical data, the ecological capital of Fuxian catchment was quantified and applied into distinguishing spatial distributions of varies ecosystems.

The ecological capital of Fuxian catchment was 8.278 billion RMB in 2001, 7.995 billion RMB in 2002, 7.035 billion RMB in 2003, and 7.008 billion RMB in 2004. Shrub land made the greatest contribution of the entire value and was the most important part of the ecological capital, the paddy field made the highest efficiency of contribution, and the value of soil-water conservation accounted for a large proportion in the ecological capital. The result showed a trend of

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目(KZCX3-SW-438);云南省省院省校科技合作计划资助项目(2004YX43)

收稿日期:2007-08-28; **修订日期:**2007-11-08

作者简介:刘阳(1979~),男,辽宁朝阳人,博士生,主要从事环境经济和环境管理研究. E-mail:kinglear1111@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:wug@cees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences(No. KZCX3-SW-438) and the scientific and technological cooperation project of Yunnan Province(No. 2004YX43)

Received date:2007-08-28; **Accepted date:**2007-11-08

Biography: LIU Yang, Ph. D. candidate, mainly engaged in environmental economy and environmental management. E-mail:kinglear1111@yahoo.com.cn

gradual decrease in ecological capital. Some important countermeasures about the ecological capital management were proposed in this paper.

Key Words: Fuxian catchment; ecological capital; remote sensing; spatial distribution

生态系统是全球社会经济发展和人类赖以生存的基础,其重要性越来越为人们所认识和重视。各类生态系统不仅提供人类生存所必需的物质产品,同时在环境调节中发挥着重要作用,是人类与自然环境和谐发展所依赖的重要资产。

生态资产广义上是指一切生态资源的价值形式;狭义上是指一切国家拥有的、能以货币计量的、并能带来直接或间接或潜在经济利益的生态经济资源^[1]。

生态资产是一个时空动态的概念,包括可以商品化的价值,主要是自然资产,如土地资产、森林资产等价值,也包括非商品化或难以商品化的价值,如水的净化、洪涝的控制、空气质量的维持、美学及文化效益等^①。国际和国内对生态资产的研究已经有很长时间,很多学者试图寻找准确量化生态环境及生物资源的方法^[2~10],一些学者已经将生态资产的核算纳入到国民经济核算体系之中^[11~13]。这些研究方法基本可以分为两类,一类是基于单位面积价值对总量的静态估算^[14~18],这类方法无法全面考虑生态系统类型和质量状况的空间及时间差异;另一类是在考虑生态系统类型和质量状况差异的基础上,建立生态资产测量模型的核算方法^[4],这类方法具有一定的优越性,但生态系统参数的选择和获取的精度成为这类方法的难点。本文基于遥感技术获取生态系统参数(如净第一性生产力、植被覆盖度等),综合考虑生态系统类型、质量、空间分布差异、地形因子等的影响,探讨中小尺度区域范围内生态资产变化及与人类活动的关系,并将研究结果应用于区域生态资产评价和生态环境建设。

1 研究区概况

抚仙湖离位于云南省东部,滇中盆地中心,地处长江流域和珠江流域的分水岭,跨玉溪市的澄江、江川、华宁三县,属珠江流域西江水系,为半封闭湖泊。

地理位置为 102°39'~103°00'E, 24°13'~24°46'N,是我国第二大深水湖泊,总容量为 $2.06 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。抚仙湖流域属中亚热带低纬高原季风气候。流域植被以草丛、灌丛、针叶林等次生植被为主,流域内现阶段分布最广的是云南松和华山松针叶林,其次是乔草灌草丛及石灰岩灌丛,另外,流域森林植被的垂直分布规律也比较明显,有温暖性植被、温凉性植被、冷凉性植被 3 个类型。

抚仙湖流域人口 16.03 万人,农村经济以种植业为主,主要粮食作物为水稻、包谷、小麦等,经济作物为烤烟、油菜。工业以磷化工、建材、食品加工、水产品为主,其中磷化工是该地区的支柱产业。流域内 2004 年国内生产总值 108425 万元,占澄江、江川、华宁三县总产值的 25.55%。

2 数据来源与处理

2.1 数据来源

本研究选择云南省抚仙湖流域作为实验区,数据采集时限为 2001~2004 年。所需要的数据如下:2001~2004 年抚仙湖流域每年 11 个时间序列(每个序列 32d,下同)、空间分辨率为 500m×500m 的 MODIS-NDVI 数据;相应月份的降水、平均温度、太阳总辐射数据(根据气象站点观测数据空间差值获得);4 期空间分辨率为 30m 的 Landsat7 TM 影像,其日期分别为:2001 年 5 月 31 日、2002 年 8 月 22 日、2003 年 7 月 24 日和 2004 年 7 月 26 日;栅格化的土壤理化性质数据(中国科学院南京土壤研究所编制),包括栅格化的土壤深度分布图、土壤粗孔隙率分布图、裸露条件下的潜在土壤侵蚀深度分布图、有植被覆盖情况下的土壤侵蚀深度分布图、土壤的有机质含量分布图、土壤 N、P、K 含量分布图、土壤密度分布图。

① 王涌翔. 区域生态资产测算技术体系及案例研究. 中国科学院生态环境研究中心博士学位论文, 2006.

2.2 数据处理

由于所采用的 *NDVI* 是根据 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 分辨率的 MODIS 数据得到的,这对于 30m 分辨率的 TM 影像而言过于粗略,因此本文采用了线性分解的方法,借助 TM 的分类图像对 MODIS 的 *NDVI* 数据进行分解,将 *NDVI* 的分辨率提高到 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 的精度上。依据研究的目的将土地覆盖类型分为 7 类:1. 草地,2. 裸地,3. 林地,4. 灌丛,5. 水田,6. 旱地,7. 水域。

将土地覆盖类型合并为 5 类,分别为林地,灌木,草地,旱地(包括水田)和裸地(包括水域),理论上,裸地的 *NDVI* 值应该为 0,因此设裸地的 *NDVI* 值为 0,其他四类的 *NDVI* 值的求解则需要 4 个方程,即 4 个 MODIS 像元来求解。方程组如下:

$$\begin{cases} NDVI\ 1 = NDVI_{11} \times P_{11}\% + NDVI_{12} \times P_{12}\% + NDVI_{13} \times P_{13}\% + NDVI_{14} \times P_{14}\% \\ NDVI\ 2 = NDVI_{21} \times P_{21}\% + NDVI_{22} \times P_{22}\% + NDVI_{23} \times P_{23}\% + NDVI_{24} \times P_{24}\% \\ NDVI\ 3 = NDVI_{31} \times P_{31}\% + NDVI_{32} \times P_{32}\% + NDVI_{33} \times P_{33}\% + NDVI_{34} \times P_{34}\% \\ NDVI\ 4 = NDVI_{41} \times P_{41}\% + NDVI_{42} \times P_{42}\% + NDVI_{43} \times P_{43}\% + NDVI_{44} \times P_{44}\% \end{cases}$$

其中, $NDVI_m$ 为第 m 个 MODIS 像元的 *NDVI* 值, $NDVI_{mn}$ 表示第 m 个像元中第 n 类植被的 *NDVI* 值, $P_{mn}\%$ 表示第 m 个像元中第 n 类植被所占的面积百分比。解得这 4 个象元中各个类型的 *NDVI* 值,然后以 2×2 (4 个 MODIS *NDVI* 象元) 为窗口,依次推移,重叠的部分是以后来解得的值代替之前解得的值,使其分辨率提高到了与 TM 相匹配的 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 的空间尺度上。

3 研究方法

3.1 模型构建

本文从宏观生态学角度考虑如何进行区域生态资产核算,注重所获取数据的准确度和可行性,最终确定基于遥感技术的生态资产核算^[20,21]。生态资产遥感测量技术的数据来源包括气象数据、遥感数据、地面观测与统计资料获取数据几个方面,各项量化的生态效益均在生态参数遥感测量的基础上获得,最后通过影子工程法、市场价值法、机会成本法、替代价值法等转换成生态系统服务价值。

一定区域内的生态资产的总量是一个随时间动态变化的量值,它是区域内所有类型生态系统提供的所有服务功能及其自然资源价值的总和,并随着区域内所含有的生态系统的类型、面积、质量的变化而变化。Costanza 等人在进行全球生态资产测量时,将全球生态系统划分为 17 个类型的研究方法,为基于定量遥感测量的生态资产价值评估模型的建立提供了一种可借鉴的方法^[7]。

一定区域内的生态资产价值总量(V)可以表示为^[25,26]:

$$V = \sum_{c=1}^n V_c$$

其中, $c=1,2,\dots,n$,表示生态系统的类型; V_c 表示第 C 类生态系统生态资产价值。

$$V_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ci} \times S_{ij}$$

其中, $i=1,2,\dots,n$,表示第 C 生态系统的第 i 种生态服务功能; V_{ci} 表示第 C 生态系统的第 i 种生态服务功能类型的单位面积价值; $j=1,2,\dots,m$ 表示一定区域内 V_{ci} 在空间上分布的斑块数, S_{ij} 表示各个斑块的面积大小。

3.2 评估流程

3.2.1 生态参数遥感测量

不同空间分布的同一生态系统类型的质量状况是不同的,同时也是随时间变化的,因而其所具有的生态服务功能价值也是变化的,这种变化是由生态系统的质量状况来决定的。生态系统的质量状况可以由一系列的生态参数来表达,这些参数随时间、空间的变化的全覆盖数据只有通过遥感测量才能够得到。选取地上总生物量、第一性净生产力(反映有机质生产的两个重要指标),以及植被覆盖度(反映生态系统随时间、空间变化的重要指标)3 个参数来表达生态系统的质量状况,基本符合生态服务功能遥感定量测量的要求。

3.2.2 单位面积单项生态服务功能价值的定量计算

这里包括自然资源单位面积价值和生态服务功能单位面积价值两个方面。同一生态系统同时具有多种生态服务功能,每一种生态服务功能的价值及其计算方法也是不同的,为使各种生态服务功能计算方法的结果具有可比性,建立单项服务功能的单位面积价值的标准计算方法和估算模型是必不可少的,这需要生态学和环境经济学为基础的大量的实地测量的基础性研究结果为依据。

3.2.3 测量结果实地检验

根据分层统计抽样的原理,根据不同测量尺度的要求,与遥感测量相匹配,按一定的标准和规范设计实地抽样测量样地和样点,按一定的指标体系和标准的调查测量规程,建立基于实地抽样测量的生态服务功能测量结果验证方法,并依此作为验证遥感测量结果精度的依据。

3.3 生态资产各项价值的核算方法

3.3.1 生产有机物质的价值

净初级生产力是反映有机物质生产的一个重要指标,它是指植物在某一时间段(如 1a)所生产的有机物质质量:

$$V_n(x) = NPP(x) \times T(x)$$

$$V_n = \sum V_n(x)$$

$V_n(x)$ 为像元 x 处每年生产的有机物质价值(元); $NPP(x)$ 为像元 x 处每年生产的有机物质(gC); $T(x)$ 为像元 x 处有机物质的单位质量价值(在此取值为 2.3718×10^{-4} 元 $\cdot g^{-1}C$); V_n 为区域每年生产有机物质的价值(元)。

各类植被生态系统 NPP 基于 CASA 模型计算,公式为:

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t);$$

$$\varepsilon(x, t) = f_1(x, t) \cdot f_2(x, t) \cdot f_w(x, t) \cdot \varepsilon_{\max}$$

式中, $NPP(x, t)$ 表示空间位置 x 上的植被在 t 时间内的净第一性生产力; $APAR(x, t)$ 表示空间位置 x 上的植被在 t 时间内所吸收的光合有效辐射(Absorbed Photosynthetically Active Radiation, APAR,); $\varepsilon(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月的实际光利用率, $f_1(x, t)$ 、 $f_2(x, t)$ 及 $f_w(x, t)$ 分别是气温和水分胁迫对最大光利用率 $\varepsilon_{\max}$ 的影响,Potter 等和 Field 等基于 CASA 模型利用遥感手段植被最大光能利用率为 $0.389 g C \cdot MJ^{-1}$ [23,24],显然由于植被类型、生境条件等方面的差异,植被的最大光能利用率不可能是相同的。本文利用不同植被类型的实测 NPP 数据(field measured data of NPP),根据实测值与模拟值误差最小的原理得到不同植被类型的 $\varepsilon_{\max}$ 。某种植被类型的 NPP 实测值与模拟值的误差可用函数表示为:

$$E(x) = \sum_i^j (m_i - n_i x)^2 \quad x \in [l, u]$$

式中, i 表示该植被类型的样本数, j 为该植被类型的最大样本数, m 为该植被类型的 NPP 实测数据, n 为 $APAR$ 、温度和水分胁迫因子的乘积, x 为需模拟的某一植被类型的最大光能利用率, l 和 u 为各植被类型最大光能利用率的极值。上式展开后为:

$$E(x) = \sum_i^j n_i^2 x^2 - 2 \sum_i^j m_i n_i x + \sum_i^j m_i^2 \quad x \in [l, u]$$

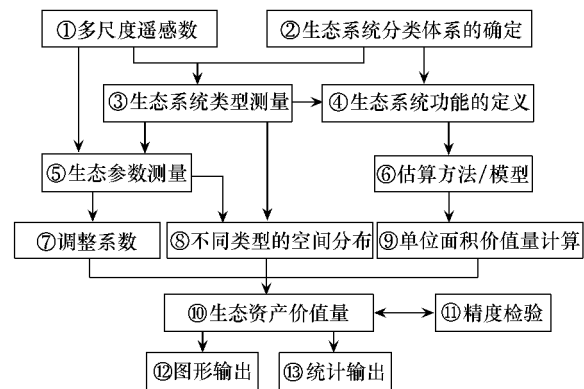


图1 基于遥感测量的生态资产价值评估模型流程图

Fig. 1 The flow of measuring ecological capital based on remote sensing data

① multi-scale remote sensing data; ② determination of ecosystem classification; ③ measurement of ecosystem types; ④ definition of ecosystem function; ⑤ measurement of ecological parameters; ⑥ estimation methods/models; ⑦ adjustment of coefficient; ⑧ spatial distribution of different types; ⑨ the value quantity of per unit area; ⑩ value of ecological capital; ⑪ accuracy test; ⑫ graphics output; ⑬ statistic output

该式为一元二次方程,开口向上,在区间 $[l, u]$ 必存在最小值,因而模拟得到各植被类型的最大光能利用率。

3.3.2 吸收固定 CO₂ 的价值

在评估生态系统对 CO₂ 的吸收与固定作用时,以生态系统有机物质生产为基础,根据光合作用和呼吸作用的反应方程式推算,每形成 1g 干物质,需要 1.62g CO₂:

$$Vr(x) = 1.62 \times NPP(x) \times R$$

$$Vr = \sum Vr(x)$$

式中, $Vr(x)$ 为像元 x 处每年吸收 CO₂ 的价值(元); $NPP(x)$ 为像元 x 处每年生产的有机物质(gC); R 为碳税法中 CO₂ 的单位质量价值(在此取值为 3.36×10^{-4} 元 $\cdot$ g⁻¹CO₂); Vr 为区域每年吸收 CO₂ 的价值(元)。

3.3.3 释放 O₂ 的价值

在评估生态系统释放 O₂ 的价值时,以生态系统有机物质生产为基础,根据光合作用和呼吸作用的反应方程式推算,每形成 1g 干物质,可以释放 1.2g O₂。

$$V(x) = 1.2 \times NPP(x) \times R$$

$$V = \sum V(x)$$

式中, $V(x)$ 为像元 x 处每年释放 O₂ 的价值(元); $NPP(x)$ 为像元 x 处每年生产的有机物质(gC); R 为工业制氧价格(在此取值为 4.0×10^{-4} 元 $\cdot$ g⁻¹O₂); V 为区域释放 O₂ 的价值(元)。

3.3.4 N、P、K 等营养物质循环的价值

在评估生态系统营养物质循环的价值时,以生态系统的生物量和净初级生产力为基础,根据各生态系统中 N、P、K 的质量分配率来计算:

$$Va = Vna + Vpa + Vka$$

式中, Va 为区域每年吸收的营养物质价值(元); Vna 为区域每年吸收的氮元素价值(元); Vpa 为区域每年吸收的磷元素价值(元); Vka 为区域每年吸收的钾元素价值(元)。

每年吸收 N 的价值:

$$Vna(x) = NPP(x) \times r_1 \times r_2 \times M$$

$$Vna = \sum Vna(x)$$

式中, $Vna(x)$ 为像元 x 处每年吸收的氮元素价值(元); $NPP(x)$ 为像元 x 处每年生产的有机物质(gC); r_1 为不同生态系统中氮元素在有机物质中的分配率(gN/gC); r_2 为纯 N 折算成化肥的比例,为 79/14; M 为氮肥的平均价格(400 元 $\cdot$ t⁻¹); Vna 为区域每年吸收的氮元素价值(元)。计算 P、K 价值方法与该式类似,不同类型 r_1 取值参考表 1。

表 1 各生态系统营养物质分配率(g·g⁻¹)

Table 1 Assigned rate of N、P、K of the ecosystems(g·g⁻¹)

项目 Item	林地 Woodland	灌丛 Shrub land	草地 Grassland	水田 Paddy field	旱地 Dry land	裸地 Bare land	水域/湿地 Water/Wetland
氮 N	0.004180	0.013294	0.013289	0.013288	0.013203	0.013273	0.004204
磷 P	0.000890	0.000092	0.000093	0.000090	0.000087	0.000091	0.000901
钾 K	0.001810	0.008904	0.008908	0.008915	0.008874	0.008909	0.001802

各生态系统营养物质分配率根据中国生物多样性国情研究报告获得 The data came from China's Biodiversity: A Country Study

3.3.5 涵养水源的价值

每年涵养水源的价值:

$$V(x) = Q(x) \times p \times S_p$$

$$V = \sum V(x)$$

$V(x)$ 为像元 x 处每年涵养水源的价值(元); $Q(x)$ 为像元 x 处每年单位面积的降水贮水量(m^3/m^2); P 为每建设 1m^3 库容的成本花费(0.67 元 m^{-3}); S_p 为像元面积(m^2); V 为区域涵养水源的价值(元)。

下垫面为土壤时(如林地、灌丛、草地等)采用基于母岩性质的贮水量的方法计算涵养水源价值;下垫面为水时(如水域、水稻田、沼泽等)采用基于降水转换率的贮水量计算的方法来计算。

3.3.6 水土保持价值

采用市场价值法、机会成本法和影子工程法从保护土壤肥力、减少土地废弃和减轻泥沙淤积 3 个方面来评价水土保持的价值:

$$V(x) = V1(x) + V2(x) + V3(x)$$

$V(x)$ 为在像元 x 处每年的水土保持价值(元); $V1(x)$ 为在像元 x 处每年保护土壤肥力的价值(元); $V2(x)$ 为在像元 x 处每年减少土地废弃损失的价值(元); $V3(x)$ 为在像元 x 处每年减轻泥沙淤积损失的价值(元)。

4 研究结果

4.1 抚仙湖流域生态资产价值统计

抚仙湖流域生态资产在 2001 ~ 2004 年间呈下降趋势,生态资产排序为 2001 年 > 2002 年 > 2003 年 > 2004 年;单位面积生态资产也按照这个序列变化。各类生态系统中草地、裸地和旱地生态资产按 2001 年 > 2002 年 > 2004 年 > 2003 年变化;灌丛和林地生态资产按 2002 年 > 2001 年 > 2004 年 > 2003 年顺序变化;水田和水域生态资产按 2001 年 > 2002 年 > 2003 年 > 2004 年顺序变化。计算结果见表 2、表 3。

表 2 2001 ~ 2004 年抚仙湖流域各类生态系统生态资产价值(万元)

Table 2 The ecological capital of the Fuxian catchment from 2001 to 2004($\times 10^4$ RMB)

年 Year	草地 Grassland	灌丛 Shrub	裸地 Bare land	旱地 Dryland	水田 Paddy field	水域 Water field	林地 Forestry	价值/公顷 Unit value
2001	128033.21	209365.51	30667.60	182849.87	155234.75	30761.15	90912.88	3.09
2002	124760.51	211100.34	26849.78	174109.37	137301.40	29920.79	95521.71	2.98
2003	109337.44	189467.65	22674.90	157153.81	116871.93	23476.48	84508.86	2.63
2004	112191.67	191969.82	24622.53	159460.18	115711.42	12482.63	84367.92	2.62

表 3 2004 年抚仙湖流域 7 类生态系统各项生态价值统计(万元)

Table 3 The ecological capital of seven ecosystems in Fuxian catchment in 2004($\times 10^4$ RMB)

项目 Item	草地 Grassland	灌丛 Shrub	裸地 Bare land	旱地 Dryland	水田 Paddy field	水域 Water field	林地 Forestry
有机物生产 Production of organic	8091.29	13126.62	597.72	11284.01	3632.2	310.1	6511.59
营养物质循环 Cycle nutrients	1238.74	1992.43	90.58	1702.34	561.8	29.72	515.91
O ₂ 释放 O ₂ emission	16374.98	26565.39	1209.67	22836.35	7350.78	627.61	13178.01
CO ₂ 固定 CO ₂ fixation	18569.22	30125.15	1371.76	25896.42	8335.79	711.69	14943.87
水源涵养 Waterconservation	11235.51	17672.49	1403	14952.23	5736.28	6819.22	7167.61
水土保持 Soil and water conservation	56681.92	102487.7	19949.8	82788.81	90094.56	3984.27	42050.92

通过对 2004 年抚仙湖流域生态服务功能状况的研究可以看出,从各类生态系统对流域生态资产价值的贡献量来看,灌丛贡献最大,占 27%,旱地第 2 位,占 23%,水田第 3 位,占 17%,草地第四位,占 16%,林地、裸地、水域贡献较小,所占比重分别为 12%、4% 和 2%。水田、林地、灌丛、草地的单位面积服务功能价值分别为 4.92、2.91、2.57、2.42 万元/hm²。

4.2 抚仙湖流域生态资产分布格局及变化

研究区生态资产各种组成部分按照贡献率高低的顺序为:水土保持价值、释放氧气价值、吸收二氧化碳价值、涵养水源价值、生产有机物质价值、营养物质循环价值,贡献率分别为 57%、14%、13%、9%、6%、0.9%。

在各生态系统类型中,除水域外,水土保持价值都是比重最大的,最低为 50%,在水田生态资产价值中达到 78%。释放氧气和固定二氧化碳的价值在各种生态系统类型中也占有重要比重,在草地中分别达到 15% 和 17%,在灌丛中达到 14% 和 16%,在裸地中达到 5% 和 6%,在旱地中达到 14% 和 16%,在水田中达到 6% 和 7%,在水域生态系统生态资产价值中,涵养水源的比重很大,占 55%(表 3)。

在 2001 至 2004 年间,研究区域内的生态资产分布未发生很大变化,空间分布结构、格局非常稳定,不同土地覆盖类型生态资产价值量界限明显,并呈由流域中心部分的水域向四周逐步增加的分布趋势(图 2、图 3)。

5 结论与建议

2001~2004 年抚仙湖流域生态服务功能分别为 827824.96、799563.89、703491.09、700806.18 万元;单位面积生态服务功能分别为 3.09、2.98、2.63、2.62 万元/hm²。抚仙湖流域单位面积生态资产呈下降趋势,说明当地保护生态资源、维持生态系统结构功能稳定的任务已经十分迫切。

单位面积生态资产水田最大,林地次之,云南省部分地区水田可以实现一年三熟,因此水田的生产力很高。从 1998 年开始,云南省启动了天然林保护工程,国有森工企业实现了由森林采伐向森林资源保护的根本性转变。这些措施的实施,确保了云南省包括抚仙湖流域近年来森林覆盖率的快速增长。在流域环境建设过程中要加强对灌丛、森林和草地生态系统的管理,加强植被的恢复与保护,控制水土流失及面源污染,争取提高流域生态系统生态服务功能,改善生态环境。

要利用水土保持中蕴涵大量生态资产的优势,加强灌木林地保护,充分发挥其涵养水源的重要功能。

生态资产是一个变化量,其影响因素主要有气候因素,太阳辐射,土壤因素,地形因素以及人类活动因素等。气候变化会影响生态系统的质量状况及生产能力,尤其是对环境依赖性较强的生态系统,如 1 年生草本植物,它们受温度和降水的影响相当明显,另外温度、光照、水分等气候因子的变化对生态系统的生产力影响也很大;人类活动主要影响生态系统的质量和面积,例如对森林的采伐,使单位面积森林生产力减弱等,土壤因素及地形因素在短时间内变化较小基本可以看作为一个常量。就云南省而言,气候因素是生态资产变化的主要影响因素之一,而人为因素虽然对生态资产变化的总体影响不是特别明显,但是在个别地区,包括西双版纳、滇西北三江并流区等生态资产十分丰富的重要生态环境保护地区,由于人为的对资源环境过度开发,都使当地生态环境严重破坏和生态系统服务功能严重损失。

从生态资产评估结果来看,抚仙湖流域迫切需加大生态建设的力度,改善生态环境,提高区域的生态资产储量。为实现这一目的,首先要科学的布局,做到因地制宜的发展,从研究区的生态资产空间分布特点及其具体的生态功能着手,对抚仙湖流域的生态建设进行比较科学的规划,对不同地区实施不同的生态建设方案,从而有针对性地开展生态建设。抚仙湖流域生态建设初步可以划分为以下区域:① 西部农田灌丛高生态资产区;② 东北部旱地高生态资产区;③ 西北部和东部草地和林地中生态资产区;④ 中部水域低生态资产区。

这些不同的区域的生态建设目标是:西部农田灌丛和东部旱地高生态资产区要适度发展,合理该地区乔灌草比例,限制耕地的开发量,由于高强度的农业耕作引起的面源污染十分严重,所以从生态保护和结构调整的角度入手,合理调控发展速度和比例,坚持退耕还林、退耕还湖政策,提高生态效益;西北部和东部草地和林地中生态资产区应该重点投入,加大生态建设力度,提高森林面积,加强森林管理,坚持退耕还草,在对草畜

接彩图 2,3

平衡基础上,建立合理的轮牧和草场保护机制;在考虑生态系统平衡的基础上适当提高森林、水体和草地的面积,同时从提高生态质量的角度提升整个区域的生态资产储量。

References:

- [1] Wang J M, Wang R S. The introduction about ecological capital of China. Nanjing: Jiangsu Scientific & Technological Press, 1994.
- [2] Huang X W, Chen B M. The theory and application about the regionalization of Chinese ecological assets. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 602–606.
- [3] Chen Z X, Zhang X S. The benefit value of Chinese ecosystem. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 17–22.
- [4] Pan Y Z, Shi P J, Zhu W Q, *et al.* Quantitative measured ecological capital on Chinese terrestrial ecosystem based on remote sensed data. *Science in China Ser. D*, 2004, 34(4): 375–384.
- [5] Pearce D W, Atkinson G. Capital theory and the measure of sustainable development: An indicator of 'weak' sustainability. *Ecological Economics*, 1993, 8: 103–108.
- [6] Vitousek P M, Ehrlich P R, Enrich A H. Human appropriation of the products of photosynthesis. *Bioscience*, 1986, 36(6): 368–373.
- [7] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253–260.
- [8] Dixon J, Bakkes J, Hamilton K. Expanding the measure of wealth: Indicators of environmental sustainable development. Beijing: China Environmental Scientific Press, 1998.
- [9] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint — Application in Sweden and subregions. *AMBIO*, 1997, 28(7): 604–612.
- [10] Potschin M B, Haines-young R H. Improving the quality of environmental assessments using the concept of natural capital: a case study from southern Germany. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 63: 93–108.
- [11] Costanza R. The value of ecosystem services: Putting the issues in Perspective. *Ecol-Econ*, 1998, 25: 67–72.
- [12] David P. Ecological accountancy. *Science*, 1997, 387: 253–260.
- [13] Daily G C, Söderqvist T, Aniyar S. The value of nature and nature of value. *Science*, 2000, 289: 395–396.
- [14] Chen Z X, Zhang X S. The benefit value of Chinese ecosystem. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 17–22.
- [15] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 635–640.
- [16] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 1999, 29: 293–301.
- [17] Bjorklund J, Limburg K, Rydberg T. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden. *Ecological Economics*, 1999, 29: 269–29.
- [18] Holmumund C, Hammer M. Ecosystem services generated by fish population. *Ecological Economics*, 1999, 29: 253–268.
- [19] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 607–612.
- [20] Shi P J, Pan Y Z, Chen Y H. Technical system of ecological capital integrated measurement using multi-scale remotely sensed data. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(2): 169–173.
- [21] Potter C S, Randerson J T, Field C B. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global on global satellite and surface data. *Global Biochemich Cycle*, 1993, 7: 811–841.
- [22] Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 1998, 281: 237–240.
- [23] Zhang S Y, Chen Y H, Li X B, *et al.* The measurement of ecological capital and the study of ecological construction in Inner Mongolia. *Resources Sciences*, 2004, 26(3): 22–28.
- [24] Yu D Y, Pan Y Z, Liu X, *et al.* Ecological capital measurement by remotely sensed data for Huzhou and its socio-economic applicatin. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3): 404–413.

参考文献:

- [1] 王建民,王如松. 中国生态资产概论. 南京:江苏科学技术出版社,2002.
- [2] 黄兴文,陈百明. 中国生态资产的理论区划及应用. *生态学报*, 1999, 19(5): 602~606.
- [3] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值. *科学通报*, 2000, 45(1): 17~22.
- [4] 潘耀忠,史培军,朱文泉,等. 基于遥感的中国陆地生态资产测量(D). *中国科学*, 2004, 34(4): 374~384.
- [14] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值. *科学通报*, 2000, 45(1): 17~22.
- [15] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635~640.
- [19] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607~613.
- [23] 张淑英,陈云浩,李晓兵,等. 内蒙古生态资产测量及生态建设研究. *资源科学*, 2004, 26(3): 22~28.
- [24] 于德永,潘耀忠,刘鑫,等. 湖州市生态资产遥感测量及其在社会经济中的应用. *植物生态学报*, 2006, 30(3): 404~413.

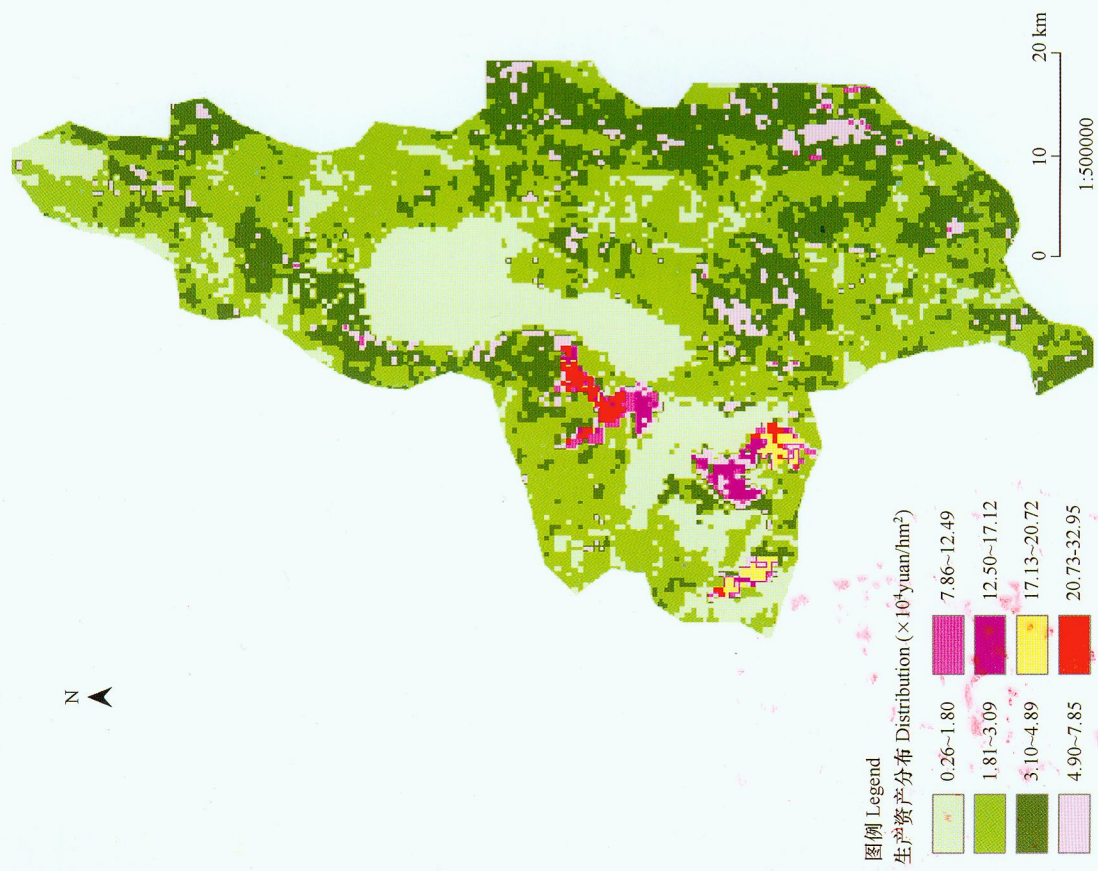


图 2 抚仙湖流域 2001 年生态资产空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of ecological capital in Fuxian catchment 2001

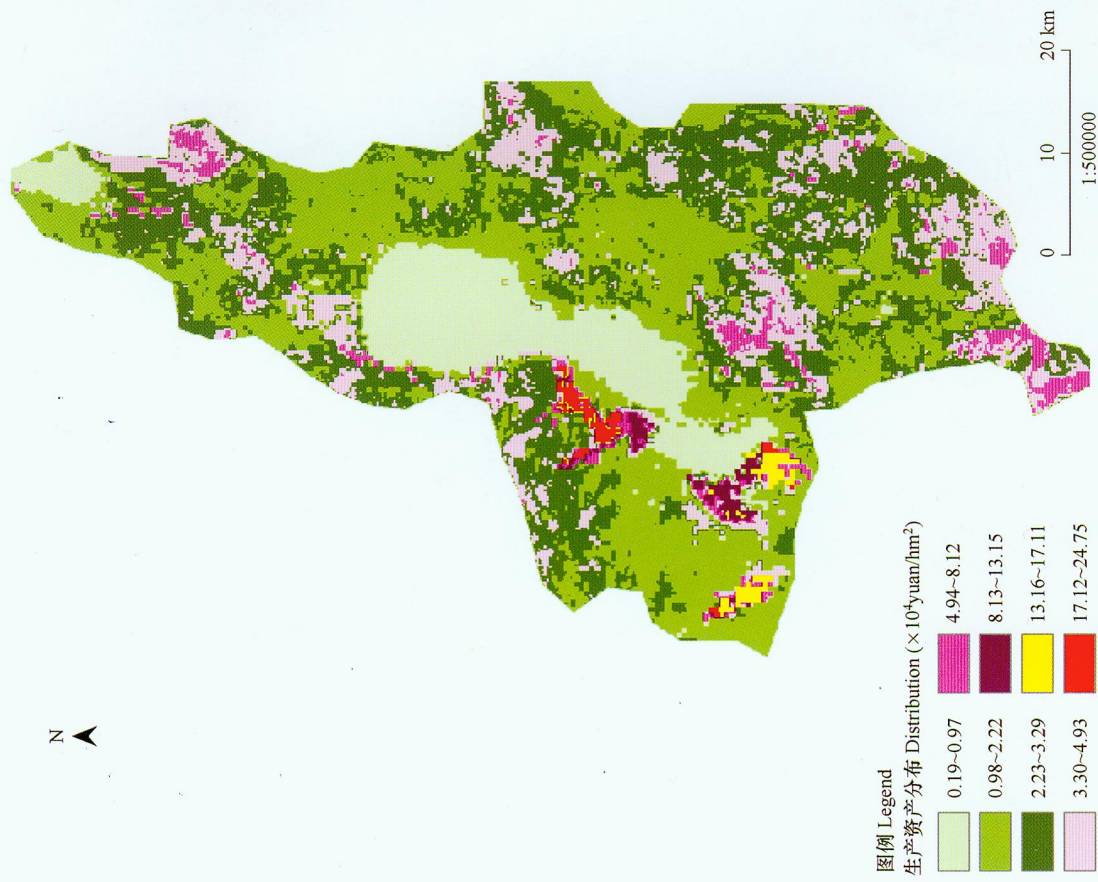


图 3 抚仙湖流域 2004 年生态资产空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of ecological capital in Fuxian catchment 2004