

# 云南省西双版纳地区生态系统服务价值的动态评估

景兆鹏, 马友鑫

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223)

**摘要:** 西双版纳地区作为生物多样性保护的热点区域, 近年来该地区生态系统受到了严重的干扰和破坏。根据2001年、2005年、2009年的Landsat7 ETM影像的分类结果, 并结合此3年的MODIS17A3的NPP产品数据和西双版纳州社会经济发展数据, 对西双版纳地区生态系统价值进行评估, 试图了解该地区生态系统服务的变化和特点, 为该地区的生态系统管理等提供科学依据。结果表明: 2001年、2005年和2009年西双版纳州生态系统功能价值分别为1 221.44、1 100.64和1 066.32亿元; 涵养水源功能价值和生物多样性价值在降低, 供给服务和美学与旅游的价值在增加; 有林地的生态系统服务价值在逐年降低, 而橡胶林和农用地的生态系统服务价值逐年增加; 西双版纳生态系统价值总体呈现明显下降趋势。土地利用/覆盖变化是导致这种趋势的主要原因, 限制有林地的开发是维持生态系统价值的关键。

**关键词:** 生态系统服务价值; 净初级生产力; 土地利用/覆盖变化; 西双版纳

中图分类号: S718.55<sup>+</sup>7

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2012)09-0087-07

## Dynamic evaluation on ecosystem service values of Xishuangbanna, Yunnan, China

JING Zhao-peng, MA You-xin

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, Yunnan, China)

**Abstract:** Xishuangbanna ecosystem located in the tropical area of Yunnan Province, Southwestern China, which is one of hot spot areas of biodiversity conservation, has been recently suffering from a serious disturbance and damage. According to the land use existing state derived from Landsat7 ETM image data taken in 2001, 2005 and 2009, combining the MODIS17A3 data in the three years and the local social and economic development data, the ecosystem service values (ESV) of Xishuangbanna were evaluated, in the hope of studying the changes and characteristics of ecosystem service values of the area to provide a scientific basis for the area's ecosystem management. The results show that the ESVs of Xishuangbanna in 2001, 2005 and 2009 were 122.144 billion Yuan, 110.064 billion Yuan and 106.632 billion Yuan respectively. The proportion of the ESV of water conservation function and biodiversity conservation was decreasing, while the ratio of ESV of goods supply, aesthetics and tourism were yearly increased. The ratio of forest ecosystem services value was reduced year by year, while the ESV of rubber plantations and agricultures was increasing. The ESV in Xishuangbanna region presented a clear downward tendency. Land use / cover change was a main driving force of this decrement. Conserving forests is crucial for maintaining the ESV in Xishuangbanna.

**Key words:** ecosystem service value; net primary production (NPP); land use change; land cover change; Xishuangbanna area

长期以来人类在经济活动决策过程中对生态系统服务价值的忽略, 导致自然资源的过度消耗和生态系统的破坏<sup>[1]</sup>。为了满足决策者和公众对生态系统状态信息的需求, 改善生态系统管理, 必须对生态系统的现状及其发展趋势做出科学判断, 这也是进行生态系统评估的核心目的<sup>[2]</sup>。

大尺度区域生态系统服务价值评估, 以

Constanza<sup>[3]</sup>和千年生态系统评估<sup>[4]</sup>等为代表, 国内外开展了大量的研究。然而大尺度的价值评估对于小区域的环境和生态系统管理的指导意义并不直接和明确, 基于省市和区县等行政区域尺度的价值评估研究较少<sup>[5-12]</sup>。以往的研究大部分基于静态平衡模型, 突出在截取一个时间断面对生态系统服务功能进行物质量及价值量的分析; 而近来也

收稿日期: 2012-08-15

作者简介: 景兆鹏 (1979-), 男, 宁夏中卫人, 硕士研究生, 主要从事景观生态学研究; E-mail: jzp@xtbg.org.cn

通讯作者: 马友鑫 (1960-), 男, 研究员, 博士, 主要从事景观生态学研究; E-mail: may@xtbg.ac.cn

有一些学者指出研究其动态变化更有意义<sup>[13]</sup>。

随着遥感技术以及数据处理能力的迅速发展和基于遥感观测的生理生态研究的进展,基于观测的NPP已经开始应用于实时、连续的生态系统检测<sup>[14]</sup>。MODIS对陆地检测产品中提供了2000年以来分辨率为1 km<sup>2</sup>的年NPP产品(MOD17A3),目前在全球不同区域对植被生长状况、生物量的估算、环境监测和全球变化等研究中得到验证和广泛应用<sup>[15]</sup>。

热带森林作为最具生物多样性和生态复杂性的陆地生态系统,正以令人担心的速度消失<sup>[16]</sup>。相似的过程同样在云南省西双版纳地区发生,这里有分布范围最北段的热带季节雨林,是国际公认的生物多样性保护研究的热点区域,同样地经历着快速的生态环境变化<sup>[17]</sup>。目前仅有对西双版纳地区的橡胶林的生态价值评估<sup>[18]</sup>和西双版纳州勐仑镇的生态系统动态评估工作<sup>[7]</sup>,还没有对西双版纳州多年生态系统服务价值的动态评估。

本研究基于Landsat7 ETM和MODIS17A3产品数据,综合考虑西双版纳地区生态系统类型、质量、空间分布差异等的影响,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,为该地区的生态系统管理以及生态补偿政策制定等提供科学依据。

## 1 研究地概况

西双版纳傣族自治州位于云南省西南部(E 99° 56' ~ 101° 50', N 21° 08' ~ 22° 36'),总面积为19 120 km<sup>2</sup>,其东部和南部与老挝接壤,西部与缅甸毗邻,北部与滇西南山原、山地相连,属于横断山系南端无量山脉和怒山山脉的余脉。该区以山原为主,其中又分布着许多宽谷盆地、低山和低丘。西双版纳气候类型属热带季风气候,雨季和旱季交替明显,是我国热带森林植被面积最大、类型最多样、保存最完整、生物多样性最丰富的地区。主要的森林类型为热带雨林、热带季雨林和热带山地常绿阔叶林等<sup>[19]</sup>。

西双版纳地区总人口近100万,分布有13个少数民族,约占总人口的70%。几十年来由于橡胶业的发展,大量的有林地被砍伐以种植橡胶,生态结构发生了巨大的变化。橡胶林的迅速发展给该地区社会经济带来极大的发展,同时也给该地区生态环境带来复杂深刻的变化。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本研究选择云南省西双版纳州作为研究区,

所需要的数据如下:2001年、2005年和2009年的Landsat7 ETM影像和MODIS17A3数据,西双版纳地区县、乡镇以及自然保护区的矢量数据,以及《西双版纳州统计年鉴》的社会经济发展数据。MODIS17A3数据来自<http://www.ntsg.umd.edu/project/mod17>网站下载。Landsat7 ETM影像来自<http://edcns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/>网站下载,其中2005年和2009年的Landsat7 ETM经过SLC-off模型校正。主要影像数据为:2001-02-06, ETM129-045; 2001-01-12, ETM130-044; 2001-01-12, ETM130-045; 2001-04-18, ETM130-045; 2001-02-04, ETM131-045; 2005-02-09, EMT129-045; 2005-01-31, ETM130-044; 2005-01-31, ETM130-045; 2005-02-07, ETM131-045; 2009-11-11, ETM129-045; 2009-02-19, ETM130-044; 2009-03-07, ETM130-045; 2009-02-26, ETM131-045。

### 2.2 影像处理及土地利用分类

利用ENVI7.0软件对Landsat7 ETM影像进行地形校正、辐射标定和大气校正。利用MODIS Reprojection Tool对MODIS17A3数据进行投影转换。参考我国土地利用分类标准<sup>[20]</sup>,并结合当地实际情况,本研究将研究区划分为7种土地利用/覆盖类型:有林地、灌木地、橡胶林、荒草地、水体和建设用地。参照实地调查资料(GPS样点)与参考资料(地形图、植被图和土地利用现状图),利用ENVI 7.0对影像进行监督分类,并应用ENVI的主要/次要分析(Majority/Minority)、聚类处理(Clump)和过滤处理(Sieve)3种处理对分类结果进行处理。3年影像的土地利用总体分类精度分别为84.28%、84.11%和79.74%。

用ArcGIS Desktop软件的Spatial analyst工具中的Zonal Statistics功能,将NPP影像数据根据土地利用分类数据结合起来,计算每个土地利用斑块的NPP数据。

### 2.3 生态系统价值评估

在已经识别出的生态系统服务中,不同学者对生态服务进行了分类。Daily<sup>[21]</sup>、Costanza<sup>[3]</sup>、MA<sup>[4]</sup>、谢高地<sup>[22]</sup>都列举了各种的生态系评估框架。本研究主要依据千年生态系统评估框架工作组提出的生态系统服务分类方法<sup>[4]</sup>与《中国森林生态系统服务功能评估》的评价方法<sup>[23]</sup>,建立西双版纳橡胶林生态经济价值评估指标体系,以便于本

研究的生态系统价值评估工作同其他的工作具备比较和参考性。

2.3.1 产品供给服务

产品供给是指包括农业、林业和渔业的产品供给服务。其产值数据均是当年价，数据来自 2001 年、2005 年和 2009 年的西双版纳州统计年鉴（见表 1）。在本研究中，农业总产值来自于农用地，林业产值来自于有林地，渔业产值来自于水体，橡胶干胶产值来自于橡胶林用地，以此计算各土地类型的供给服务价值。

表 1 西双版纳地区农、林、渔业产值和橡胶产量  
Table 1 The values of agriculture, forestry and fishery, and rubber production in Xishuangbanna

年份	土地利用类型	单位	景洪县	勐海县	勐腊县
2001 年	农业产值	万元	32 809	46 702	25 530
	林业产值	万元	2 055	2 393	1 245
	渔业产值	万元	2 428	2 307	1 178
	橡胶干胶	t	75 363	4 076	56 767
2005 年	农业产值	万元	42 554	53 256	26 868
	林业产值	万元	3 273	4 415	3 724
	渔业产值	万元	3 929	3 984	1 495
	橡胶干胶	t	104 255	4 804	81 684
2009 年	农业产值	万元	86 504	83 879	59 519
	林业产值	万元	7 107	3 312	688
	渔业产值	万元	6 393	6 978	2 852
	橡胶干胶	t	120 821	6 706	111 073

橡胶干胶价格的计算依据与 2001 年、2005 年和 2009 年的上海期货交易市场的橡胶年平均价格，分别为 7 503、16 037.5 和 16 522.2 元/t。

2.3.2 涵养水源功能

涵养水源功能所调节的水量采用降水贮存法，即用生态系统的蓄水效应来衡量其涵养水分的功能。

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^p A_{ijz} J_0 K_j R_z; \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; z = 1, \dots, p.$$

式中： $Q$  为与裸地相比较森林生态系统截留降水、涵养水源增加量 ( $m^3/a$ )； $A$  为计算区面积 ( $hm^2$ )； $K$  为不同区域的侵蚀性降雨比例； $R$  值为与裸地（或皆伐迹地）比较，森林生态系统减少径流的效益系数； $J_0$  为年均降水量 (mm)，参考统计年鉴。 $K$  根据降雨特征选取  $K$  参数值为 0.6<sup>[24]</sup>。 $R$  根据已有的实测和研究成果，有林地的  $R$  值<sup>[24]</sup> 为 0.55，灌木<sup>[24]</sup> 为 0.40；橡胶林<sup>[25]</sup> 为 0.36，荒草地<sup>[25]</sup> 为 0.10。

西双版纳地区降雨量数据来自西双版纳州统计年鉴（见表 2）。

表 2 2001 年、2005 年和 2009 年西双版纳地区三县降水量

Table 2 Rainfall of three counties of Xishuangbanna in 2001, 2005 and 2009 mm

地名	2001 年	2005 年	2009 年
景洪	991.7	1271.5	1036.1
勐海	1578.5	1294.3	1108.8
勐腊	1979.8	1454.7	1224.5

生态系统调节水量价值根据水库工程的蓄水成本（替代工程法）来确定，根据 1993 ~ 1999 年《中国水利年鉴》平均水库库容造价 (2.17 元/ $m^3$ )，净化水质功能根据居民用水价格的平均值，为 2.09 元/t。

2.3.3 积累营养物

森林在生长过程中不断从周围环境吸收营养物质，固定在植物体中，成为全球生物化学循环不可缺少的环节，为此选用树木营养累计指标反映不同植被类型营养物质功能。本文的 NPP 是碳含量数据，需要将其转为干物质量。干物质量为 2.22 倍的 NPP 的量<sup>[26]</sup>。

$$G_{\text{氮}} = 2.22AN_{\text{营养}B_{\text{年}}}; \quad (2)$$

$$G_{\text{磷}} = 2.22AP_{\text{营养}B_{\text{年}}}; \quad (3)$$

$$G_{\text{钾}} = 2.22AK_{\text{营养}B_{\text{年}}}. \quad (4)$$

式中： $G_{\text{氮}}$  为植被固氮量 (t/a)； $G_{\text{磷}}$  为植被固磷量 (t/a)； $G_{\text{钾}}$  为植被固钾量 (t/a)； $N_{\text{营养}}$  为植被氮元素含量 (%)； $K_{\text{营养}}$  为植被钾元素含量 (%)； $B_{\text{年}}$  为植被净生产力 [ $t/(hm^2 \cdot a)$ ]； $A$  为林分面积 ( $hm^2$ )。

采用把营养物质折合成磷酸二铵化肥和氯化钾化肥的方法计算植物营养年积累价值，公式为：

$$U_{\text{营养}} = 2.22AB_{\text{年}} (N_{\text{营养}} C_1/R_1 + P_{\text{营养}} C_1/R_2 + K_{\text{营养}} C_2/R_3) \quad (5)$$

式中： $U_{\text{营养}}$  为植被营养物质年积累价值 (元)； $N_{\text{营养}}$  为植被含氮量 (%)； $P_{\text{营养}}$  为植被含磷量 (%)； $K_{\text{营养}}$  为植被含钾量 (%)； $R_1$  为磷酸二铵含氮量 (%)； $R_2$  为磷酸二铵含磷量 (%)； $R_3$  为氯化钾含钾量 (%)； $C_1$  为磷酸二铵化肥价格 (元/t)； $C_2$  为氯化钾化肥价格 (元/t)； $B_{\text{年}}$  为植被净生产力 [ $t/(hm^2 \cdot a)$ ]； $A$  为植被面积 ( $hm^2$ )。

根据养分循环功能的服务机制，可以认为构成森林第一性净生产力的营养元素量即为参与循环的养分量，参与评价的营养元素仅考虑含量相对较大的氮、磷、钾。有林地的营养元素含量参考赵同谦<sup>[24]</sup> 研究中的热带雨林、季雨林的营养含量。橡胶林的营养元素参考赵同谦<sup>[24]</sup> 的温带、亚热带落叶阔叶林的营养含量。灌木和荒草地参考管东生<sup>[27]</sup> 的研究。西双版纳主要植被类型植物营养物含量见表 3。

表3 西双版纳主要植被类型植物营养物含量  
Table 3 The nutrient content of main vegetation types in Xishuangbanna g/kg

林地类型	N	P	K
有林地	10.20	1.08	5.38
灌木	6.90	0.50	4.40
橡胶	5.31	0.42	2.01
荒草地	4.90	0.50	6.60

磷酸二胺含氮量为 14%，磷酸二胺含磷量为 15.01%，氯化钾含钾量为 50%，来自化肥说明。

### 2.3.4 净化大气环境功能

森林能够有效吸收这些有害气体并阻滞粉尘，从而起到净化大气的作用。本研究选取了吸收污染物和滞尘 2 个指标反映森林净化大气环境能力。

根据相关研究<sup>[28]</sup>，阔叶林二氧化硫吸收量为 88.65 kg/(hm<sup>2</sup>·a)，针叶林二氧化硫吸收量为 215.6 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。阔叶林氟化物吸收量<sup>[29]</sup>为 4.65 kg/(hm<sup>2</sup>·a)，针叶林氟化物吸收量<sup>[29]</sup>为 0.5 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。本研究中将林地土地分类类型所代表的生态系统吸收二氧化硫量和氟化物量与阔叶林的二氧化硫和氟化物的吸收量相同，橡胶林因为有 4 个月的落叶期，将其按阔叶林的 75% 计算。

针叶林滞尘能力<sup>[29]</sup>为 33.2 t/(hm<sup>2</sup>·a)，阔叶林<sup>[29]</sup>为 10.11 t/(hm<sup>2</sup>·a)。有林地所代表的热带雨林和热带季雨林的滞尘能力等同阔叶林的滞尘能力，橡胶林为阔叶林的 75%。灌木单位叶面积或单位叶重滞尘量均大于针叶林和阔叶林<sup>[26]</sup>，其滞尘能力为 25.99 ~ 36.83 t/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[30]</sup>，本文取其下限，即 25.99 t/(hm<sup>2</sup>·a)。

二氧化硫治理费用为 1.20 元/kg，氟化物治理标准为 0.69 元/kg，降尘清理费用为 0.15 元/kg<sup>[23]</sup>。

### 2.3.5 固碳释氧功能

本研究选用固碳、释氧 2 个指标反映森林固碳释氧功能。根据光合作用化学反应式，森林植被每积累 1.0 g 碳，可以吸收 3.667 g CO<sub>2</sub>，释放 2.667 g O<sub>2</sub>。而碳即为 NPP 的量。

$$U_{\text{碳}} = C_{\text{碳}} AB_{\text{年}} \quad (6)$$

式中： $U_{\text{碳}}$ 为林分年固碳价值（元/a）； $B_{\text{年}}$ 为林分净生产力 [t/(hm<sup>2</sup>·a)]； $C_{\text{碳}}$ 为固碳价格（元/t）； $A$ 为林分面积（hm<sup>2</sup>）。

固碳价格：现在碳交易的价格<sup>[31]</sup>为 8 欧元/t。2009 年人民币兑欧元年平均中间价为 1 欧元兑 9.5270 元人民币，价格在 76.216 元/t。

$$U_{\text{氧}} = 2.667 C_{\text{氧}} AB_{\text{年}} \quad (7)$$

式中： $U_{\text{氧}}$ 为林分年释氧价值（元/a）； $B_{\text{年}}$ 为林分净生产力 [t/(hm<sup>2</sup>·a)]； $C_{\text{氧}}$ 为氧气价格（元/t）；

$A$ 为林分面积（hm<sup>2</sup>）。

氧气价格：采用工业气体交易平台（http://www.e-gas.cn/）中 2009 年氧气平均价格，为 550 元/t。

### 2.3.6 保育土壤功能

植被可以降低地表径流对土壤的冲蚀，固持土体，而且参与土体内部的能量转换与物质循环，是土壤养分的主要来源。因此选用固土指标和施肥指标以反映不同植被类型保育土壤的功能。

$$G_{\text{固土}} = A (X_2 - X_1) \quad (8)$$

式中： $G_{\text{固土}}$ 为林分年固土量（t/a）； $X_1$ 为有林地土壤侵蚀模数 [t/(hm<sup>2</sup>·a)]； $X_2$ 为无林地土壤侵蚀模数 [t/(hm<sup>2</sup>·a)]。

由于土壤侵蚀流失的泥沙淤积于水库中，减少了水库蓄积水的体积，因此根据蓄水成本（替代工程法）计算林分年固土价值，公式如下：

$$U_{\text{固土}} = G_{\text{固土}} C_{\text{土}} / \rho \quad (9)$$

式中： $U_{\text{固土}}$ 为林分年固土价值（元/a）； $G_{\text{固土}}$ 为林分年固土量（t/a）； $C_{\text{土}}$ 为挖取和运输单位体积土方所需费用（元/m<sup>3</sup>）； $\rho$ 为林地土壤容重（t/m<sup>3</sup>）。

潜在土壤侵蚀模数，按全国土壤侵蚀分类级别的强度级对应水、风蚀模数上限 8 000 t/km<sup>2</sup> 进行计算<sup>[32]</sup>。有林地的现实土壤侵蚀模数参考靳芳的相关研究<sup>[33]</sup>，有林地的现实土壤侵蚀模数为 75。灌木地按纸浆林计算，灌木、橡胶林和荒草地的土壤侵蚀模数参考曾红娟的研究<sup>[34]</sup>，灌木地为 550，橡胶林为 450，荒草地为 710。

西双版纳主要植被类型的土壤容重参考邓晓保<sup>[35]</sup>的研究，有林地 1.1 g/m<sup>3</sup>，灌木 1.297 g/m<sup>3</sup>，橡胶林参考夏体渊<sup>[18]</sup>的研究，为 1.34 g/m<sup>3</sup>，荒草地参考焦加国<sup>[36]</sup>的研究，为 1.25 g/m<sup>3</sup>。

西双版纳主要植被类型土壤养分含量参考张萍<sup>[37]</sup>的研究，其中灌木选取其研究中的 4 年轮歇地的养分含量。西双版纳主要植被类型土壤养分含量见表 4。

表4 西双版纳主要植被类型土壤养分含量<sup>[33]</sup>  
Table 4 Soil nutrient contents of main vegetation types in Xishuangbanna mg/kg

林地类型	N	P	K
有林地	191.66	5.52	75.80
灌木	130.88	1.17	80.00
橡胶	130.54	0.35	41.67
荒草地	98.00	0.36	35.80

磷酸二胺含氮量为 14%，磷酸二胺含磷量为 15.01%，氯化钾含钾量为 50%，来自化肥说明。

磷酸二胺价格<sup>[23]</sup>为 2009 年的价格,为 2 702.5 元/t。  
氯化钾价格<sup>[23]</sup>采用 2007 年价格,为 3 707.5 元/t。

### 2.3.7 生物多样性功能

森林是生物多样性最丰富的区域,是生物多样性生存和发展的最佳场所,在生物多样性保护方面有着不可替代的作用。根据 2008 年基于 Shannon-Wiener 指数评估法的研究<sup>[38]</sup>,云南省单位面积物种多样性保育价值为 24 234.6 元/hm<sup>2</sup>。

### 2.3.8 美学与旅游功能

森林众多的美学景观为人们提供了丰富的旅游资源。本研究以旅行费用法<sup>[29]</sup>为基础,将西双版纳的旅游收入作为该地区有林地植被类型的美学和旅游功能的价值。根据当年的《西双版纳统计年鉴》,2001 年、2005 年和 2009 年的旅游收

入分别为 17.29、24.39 和 50.34 亿元。

## 3 结果与分析

### 3.1 西双版纳州 7 类土地利用类型各项生态系统服务价值

西双版纳生态系统价值评估呈现明显下降趋势。2001 年~2005 年,西双版纳州生态系统功能总价值由 2001 年的 1 221.44 亿元下降到 2005 年的 1 100.64 亿元,损失了 120.8 亿元;到 2009 年生态系统功能总价值为 1 066.32 亿元,从 2001 年到 2009 年总共损失了 155.12 亿元,年均生态系统功能损失 17.24 亿元,最终损失了 12.70%(见表 5)。

表 5 2001 年、2005 年和 2009 年西双版纳州 7 类土地利用类型各项生态系统服务价值  
Table 5 Ecosystem service values of seven land-use types in Xishuangbanna in 2001, 2005 and 2009

年份	土地利用类型	面积 /km <sup>2</sup>	各个生态系统服务类型功能价值 / 亿元								合计
			供给服务	涵养水源	固碳释氧	积累营养物质	保育土壤	净化空气	美学与旅游	生物多样性	
2001	有林地	9 646.15	0.64	310.94	194.62	71.86	6.21	1.27	19.32	233.77	838.62
	灌木地	4 775.73	0	110.92	89.76	22.62	2.25	0.02	0	0	225.58
	橡胶林	1 881.34	11.46	36.20	37.43	6.74	0.84	0.19	0	0	92.85
	荒草地	703.49	0	3.84	12.07	2.66	0.28	0	0	0	18.85
	农用地	2 025.91	11.78	0	33.12	0	0	0	0	0	44.89
	水体	59.30	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0.66
	建设用地	56.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	19 148.07	24.53	461.90	366.99	103.87	9.58	1.48	19.32	233.77	1 221.44	
2005	有林地	8 666.76	1.25	244.47	160.25	59.17	5.58	1.14	27.15	210.04	709.05
	灌木地	4 657.06	0	94.42	80.62	20.32	2.20	0.02	0	0	197.57
	橡胶林	2 052.55	33.56	37.93	37.30	6.71	0.92	0.20	0	0	116.62
	荒草地	501.31	0	2.57	8.32	1.83	0.20	0.05	0	0	12.97
	农用地	3 126.02	13.46	0	49.94	0	0	0	0	0	63.39
	水体	81.92	1.03	0	0	0	0	0	0	0	1.03
	建设用地	62.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	19 148.07	49.30	379.38	336.44	88.03	8.89	1.41	27.15	210.04	1 100.64	
2009	有林地	6 999.07	1.11	164.95	146.43	54.06	4.50	0.92	50.39	169.62	592.00
	灌木地	5 106.11	0	86.63	100.23	25.26	2.41	0.02	0	0	214.54
	橡胶林	2 716.46	39.42	41.88	55.63	10.01	1.21	0.27	0	0	148.42
	荒草地	1 229.63	0	5.26	23.10	5.09	0.49	0	0	0	33.94
	农用地	2 926.81	22.99	0	52.81	0	0	0	0	0	75.80
	水体	99.73	1.62	0	0	0	0	0	0	0	1.62
	建设用地	70.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	19 148.07	65.15	298.72	378.19	94.42	8.62	1.21	50.39	169.62	1 066.32	

涵养水源功能价值和生物多样性价值的比例在逐年降低,供给服务和美学与旅游的价值比例在逐年上升。有林地的生态系统服务价值比例在逐年降低,而橡胶林和农用地的生态系统价值在逐年增加。有林地所占的生态系统服务价值的比例是最高的,2001 年、2005 年和 2009 年分别为 68.65%、64.41% 和 55.51%(见表 5)。

### 3.2 西双版纳的生态系统服务价值在各市县的变化

景洪市生态系统服务功能价值的比重逐年增大,勐腊县生态系统服务功能价值比重则在降低。2001 年、2005 年、2009 年单位面积生态系统功能价值分别为 6.38、5.75 和 5.57 万元/hm<sup>2</sup>,勐腊县的单位评估面积生态系统价值远高于景洪和勐海县(见图 1)。

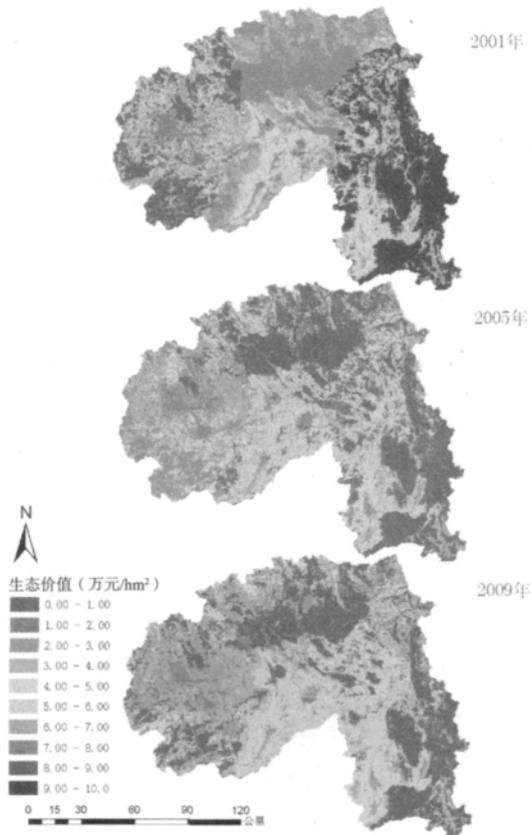


图 1 2001年、2005年、2009年西双版纳生态系统服务单位面积价值

Fig.1 Unit area values of ecosystem services' value in Xishuangbanna in 2001,2005 and 2009

### 3.3 西双版纳州生态系统服务价值在自然保护区和非自然保护区的年均变化

国家级自然保护区的单位面积生态系统价值均高于同期的非保护区区域, 国家级自然保护区的年均变化率均小于非自然保护区以及西双版纳州全区域, 表明在国家级自然保护区生态系统价值年均变化小, 更稳定。同时也表明自然保护区在保护生态系统服务价值方面也能起到很好的作用(见表 6)。

## 4 讨论

生态系统价值评估可以基于固定价值系数对总量的估算与考虑生态系统类型和质量状况差异的生态资产测量模型的核算方式两种<sup>[39]</sup>。国内学者主要采用 Costanza<sup>[3]</sup> 和谢高地<sup>[22]</sup> 的生态系统服务价值系数和计算方法对不同时间断点的生态系统服务价值进行评估, 价值系数一般恒定不变, 以此来反映土地利用变化对生态系统服务价值的影响。生态系统服务价值系数恒定的情况下, 土地利用结构的变化决定了生态系统服务价值的变化<sup>[39-40]</sup>。本文中是采用生态资产测量模型的核算方式, 在本研究中所涉及的生态系统产品供给服

表 6 西双版纳地区自然保护区与非自然保护区生态系统服务价值<sup>†</sup>

Table 6 Ecosystem service values of protected and non-protected areas in Xishuangbanna

年份	类型	各项生态服务功能类型价值 / 亿元								生态系统总价值 / 亿元	单位面积价值 / (万元·hm <sup>2</sup> )
		供给总量	涵养水源	固碳释氧	积累营养物质	保育土壤	净化空气	美学与旅游	生物多样性		
2001 年	A	23.74	365.81	303.82	81.32	7.66	1.09	13.42	162.40	959.27	5.98
	B	0.78	96.09	63.17	22.54	1.92	0.39	5.90	71.37	262.17	8.46
2005 年	A	48.21	296.15	278.92	67.94	7.01	1.03	18.08	139.88	857.21	5.34
	B	1.09	83.23	57.52	20.09	1.88	0.38	9.07	70.16	243.43	7.86
2009 年	A	62.59	231.92	312.73	72.41	6.80	0.85	30.54	102.81	820.66	5.11
	B	2.55	66.80	65.47	22.01	1.81	0.36	19.85	66.81	245.66	7.93

† A: 非国家级自然保护区; B: 国家级自然保护区。

务、美学和旅游服务以及在具体计算中涉及到具体产品的取值都是以当年价格为参照进行计算, 并通过价值指数修正, 去除不同年份间的货币通胀 / 紧缩的影响。采用模型核算的价格计算生态系统价值则可以部分反映消费者对生态系统服务价值偏好程度的变化。随着社会经济发展水平和生活水平的不断提高以及资源的短缺, 人们对生态系统服务价值的支付意愿也在逐渐提高<sup>[41]</sup>。本研究中, 在丰富生物多样性的有林地大幅度减少的情况下, 美学与旅游价值在大幅度的增加, 显示了人们对生物多样性价值的支付意愿的增加。产品供给服务在供给面积增加的情况下, 单位面积

的生态服务价值也在增加, 也表明人们对产品供给服务的需求在增加。

有林地、灌木林、橡胶园、农业用地为西双版纳地区的主要土地利用 / 覆盖类型。有林地面积不断减少, 橡胶园与灌木林面积持续增加, 农业用地则呈现波动并增加状态。这样的变化趋势和李红梅<sup>[42]</sup> 和李增加<sup>[43]</sup> 的研究结果相同。

西双版纳产品供给价值和其他生态价值的比例 2001 年为 47 : 1, 2005 年为 22 : 1, 2009 年为 16 : 1, 其直接使用价值在不断地增加, 但生态系统的生态服务价值仍远高于其直接使用价值。

西双版纳的有林地单位面积生态系统价值远高

于橡胶地和其他的土地利用类型,应严格地保护有林地,限制有林地的开发,是保持西双版纳生态系统总体价值的关键。自然保护区的建立,在维持地区生态系统服务价值方面起到了重要的作用。

### 参考文献:

- [1] 欧阳志云,赵同谦.海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究[J].应用生态学报,2004,(8):1395-1402.
- [2] 周杨明,于秀波.生态系统评估的国际案例及其经验[J].地球科学进展,2008,(11):1209-1217.
- [3] Costanza R, d' Arge R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [4] 张永民.生态系统与人类福祉:评估框架[M].北京:中国环境科学出版社,2007.
- [5] 李波,宋晓媛.北京市平谷区生态系统服务价值动态[J].应用生态学报,2008,(10):2251-2258.
- [6] 石晓丽,王卫.生态系统功能价值综合评估方法与应用——以河北省康保县为例[J].生态学报,2008,(8):3998-4006.
- [7] Hu H B, Liu W J, *et al.* Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, Southwest China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008,146(1-3): 147-156.
- [8] 赵军,杨凯.生态系统服务价值评估研究进展[J].生态学报,2007,(1):346-356.
- [9] 秦彦,沈守云,吴福明.森林生态系统文化功能价值计算方法与应用——以张家界森林公园为例[J].中南林业科技大学学报,2010,30(4):26-30.
- [10] 林媚珍,陈志云,蔡砥,等.梅州市森林生态系统服务功能价值动态评估[J].中南林业科技大学学报,2010,30(11):54-65.
- [11] 刘秀会,陈燕.盐城滨海地区生态系统服务功能的经济价值评估[J].中南林业科技大学学报,2011,31(12):102-107.
- [12] 陈彩虹,肖默.长株潭城市群城市森林生态系统服务功能的价值评估[J].中南林业科技大学学报,2011,31(2):50-54.
- [13] 宗文君,蒋德明.生态系统服务价值评估的研究进展[J].生态学杂志,2006,(2):212-217.
- [14] 王莺,夏文韬,梁天刚.基于MODIS植被指数的甘南草地净初级生产力时空变化研究[J].草业学报,2010,19(1):201-210.
- [15] 李登科,范建忠,王娟.基于MOD17A3的陕西省植被NPP变化特征[J].生态学杂志,2011,30(12):2776-2782.
- [16] Laurance W F. Have we overstated the tropical biodiversity crisis? [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2000, 22(2): 65-70.
- [17] Xu J, Ma E, *et al.* Integrating indigenous and sacred knowledge for conservation: Cultures and landscapes in Southwest China[J]. Ecology and Society, 2005, 10(2): 7.
- [18] 夏体渊,吴家勇.西双版纳橡胶林生态经济价值初探[J].华东师范大学学报:自然科学版,2009,(2):21-28.
- [19] Zhu H, Xu ZF, Wang H, *et al.* Tropical rain forest fragmentation and its ecological and species diversity change in southern Yunnan[J]. Biodiversity and Conservation, 2004, (13):1355-1372.
- [20] 吴传钧,郭焕成.中国土地利用[M].北京:科学出版社,1994.
- [21] Daily G C. What are ecosystem services[J]. AAAS Annual Meeting and Science Innovation Exposition, 1997, 163: A6.
- [22] 谢高地,鲁春霞.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,(2):189-196.
- [23] 《中国森林生态服务功能评估》项目组.中国森林生态服务功能评估[M].北京,中国林业出版社,2010.
- [24] 赵同谦,欧阳志云,郑华.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].自然资源学报,2004,19(4):480-491.
- [25] 刘建波,陈秋波,彭懿,等.海南中部山区森林生态系统服务功能价值评估[J].生态经济:学术版,2009,(2):24-30.
- [26] 程政红,吴际友,刘云国.岳阳市主要绿化树种滞尘效应研究[J].城市林业,2004,2(2):37-40.
- [27] 管东生.华南南亚热带不同演替阶段植被类型的初级生产力和养分[J].生态学杂志,1996,15(3):11-14.
- [28] 中国生物多样性国情研究报告编委会.中国生物多样性国情研究报告[M].北京:中国环境科学出版社,1998.
- [29] 谢高地.自然资源总论[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [30] 陈自新,苏雪痕,刘少宗.北京城市园林绿化生态效益的研究[J].中国园林,1998,14(2):51-54.
- [31] 徐可.全球碳交易:探索双赢模式[J].经济展望,2009,8:119-120.
- [32] 余新晓,鲁绍伟.中国森林生态系统服务功能价值评估[J].生态学报,2005,(8):2096-2102.
- [33] 靳芳,鲁绍伟.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].应用生态学报,2005,(8):1531-1536.
- [34] 曾红娟,杨胜天,王凌.海南省松涛水库流域土壤侵蚀及控制方案[J].地理研究,2009,28(5):1197-1206.
- [35] 邓晓保,邹寿青,付先惠.西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物个体数量的影响[J].生态学报,2003,23(1):130-138.
- [36] 焦加国,武俊喜,李辉信.华南丘陵区村级景观下土地利用/土地覆盖对土壤质量的影响[J].土壤学报,2007,44(2):204-211.
- [37] 张萍,刘宏茂,陈爱国.西双版纳热带山地利用过程中的土壤退化[J].山地学报,2001,19(1):9-13.
- [38] 王兵,郑秋红,郭浩.基于Shannon-Wiener指数的中国森林物种多样性保育价值评估方法[J].林业科学研究,2008,21(2):145-153.
- [39] 杜加强,王金生.重庆市生态系统服务价值动态评估[J].生态学杂志,2008,(7):1187-1192.
- [40] 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕.北京区位土地利用与生态系统服务价值变化研究[J].农业工程学报,2006,22(9):21-28.
- [41] 陈源泉,高旺盛.基于农业生态服务价值的农业绿色GDP核算——以安塞县为例[J].生态学报,2007,27(1):250-259.
- [42] 李红梅,马友鑫.基于RS和GIS的西双版纳土地覆被动态变化[J].山地学报,2007,(3):280-289.
- [43] 李增加,马友鑫.西双版纳土地利用/覆盖变化与地形的关系[J].植物生态学报,2008,(5):1091-1103.

[ 本文编校:谢荣秀 ]