

山岳旅游地生态服务价值时空分异 及其与环境因子关系 ——以武夷山风景名胜区为例

游巍斌¹, 何东进^{1*}, 巫丽芸¹, 洪伟¹, 詹仕华¹, 黄德华², 覃德华³, 游惠明¹

(1. 福建农林大学 福建 福州 350002; 2. 福建省地质遥感与地理信息中心 福建 福州 353001;

3. 河南科技大学农学院 河南 洛阳 471003)

摘 要: 以山岳型旅游地武夷山风景名胜区为例, 估算了风景区景观生态服务价值, 分析 1986 年、1997 年、2009 年风景区景观生态服务价值时空变化特征, 并运用相关分析和逐步回归分析方法对生态服务价值与环境因子的关系进行了探讨, 以期揭示风景区景观生态服务价值与环境因子间的作用规律。结果表明: 1. 武夷山风景名胜区景观类型单位面积生态服务价值最高为水体(9 3707 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)), 最低为裸地(354 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)), 建设用地价值(12 000 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)) 仅高于裸地、农田、灌草等景观类型, 杉木林、马尾松林、竹林、阔叶林等森林景观服务价值相差不大; 2. 风景区内景观生态服务价值在 1986—1997 年间服务价值有较大损失, 在 1997—2009 年间得到一定程度弥补, 但 1986—2009 年间景观生态服务价值变化呈亏损趋势, 植被景观类型向建设用地的转变导致景观生态服务价值的降低; 3. 风景区内景观类型生态服务价值与环境因子(坡向除外) 间呈现中等相关性, 其中, 郁闭度与生态服务价值相关系数最高(0.7**), 环境因子中蓄积量与郁闭度相关系数最高(0.86**), 4. 植被景观生态服务价值拟合结果($R^2 = 0.7524$ $p < 0.0001$) 值优于非植被景观($R^2 = 0.5370$ $p < 0.0001$), 拟合效果能较好地揭示景观类型生态服务价值与环境因子间的数量关系。

关键词: 生态服务价值; 时空分异; 环境因子; 武夷山风景名胜区; 山岳型旅游地

中图分类号: X826; F301.24

文献标识码: A

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成和所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1]。Costanza 等^[2]在将生态系统服务功能划分为水分调节、气候调节、养分循环、基因资源、生物控制、食物生产、娱乐及文化价值等 17 种类型, 并以此为基础对全球生态系统服务价值进行了估算。学者们因研究出发点和认识水平的不同对生态系统服务价值的内涵及分类理解存在差异, 但在提供产品、调

节功能、文化功能与生态支持等 4 大服务功能划分上达成共识^[3]。随着资源枯竭、生态退化、环境污染等问题日益加剧, 生态系统服务价值方面的研究备受重视, 其主要集中在生态系统服务内涵与分类^[4-5]、价值评估方法^[6]、服务与生物多样性关系^[7-8]、生态系统服务模型模拟^[9-10]和生态系统服务应用^[11]等方面。我国生态系统服务研究起步较晚, 较多集中在国外研究成果的介绍、对不同生态系

收稿日期(Received date): 2011-08-11; 改回日期(Accepted): 2011-12-01。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(30870435); 福建省科技厅重点资助项目(2009N0009); 教育部博士学科点专项基金项目(20103515110005); 福建省自然科学基金项目(2008J0116)。[The National Natural Science Foundation of China (No. 30870435), the Key Project of Department of Science and Technology of Fujian, China (No. 2009N0009), the Ph. D. Program Foundation of the Ministry of Education of China (No. 20103515110005) and the Natural Science Foundation of Fujian (No. 08J0116).]

作者简介(Biography): 游巍斌(1984-), 男, 福建南平人, 在读博士生, 研究方向: 景观生态学与森林生态学。[You Weibin(1984-), Male, Nanping Fujian Province, Doctoral candidate, Research in landscape ecology and forestry ecology.] E-mail: youweibin@163.com

* 通讯作者(Correspondence author): 何东进(1969-), 男, 汉族, 教授、博导。[He Dongjin(1969-), Ph. D. professor] E-mail: fjhdj1009@126.com

统等案例进行生态系统服务价值测算以及探讨生态系统服务价值评估方法等方面,原创性成果不多^[12-14]。

景观作为生态系统之上的等级尺度,其生态服务价值可通过生态系统服务价值来评估。生态系统或景观所处环境状态优劣是影响服务价值高低的关键因素^[2]。生态系统价值或景观生态服务价值随着自然或人类对生态系统及地表覆被的改变而变化,由此可见开展对环境与生态系统或景观生态服务价值关系研究具有重要意义。目前国内对于景观生态服务价值与环境因子关系的研究鲜见报道。为此,本文以山岳型世界文化与自然遗产地武夷山中的受自然和人类生态过程作用最强烈的风景名胜区为例,探讨景观生态服务价值与环境因子的关系,以为武夷山风景名胜区的环境决策和管理服务提供参考,同时丰富了生态服务价值的研究内容,具有一定实践意义。

1 研究区概况

武夷山世界文化与自然遗产地位于我国福建省北部,117°24'12"~118°02'50"E,27°32'36"~27°55'15"N,总面积99 975 hm²,包括东部风景名胜区、中部九曲溪生态、西部生物多样性以及城村闽越王城遗址等4个保护区,平均海拔1 200 m,中山地貌,属典型的亚热带季风气候,年平均气温在8.5~18℃,年降雨量一般在1 482~2 150 mm,局部地方高达3 000 mm以上,年蒸发量为1 000 mm左右,相对湿度78%~84%,无霜期253~272 d。它是全球同纬度带最完整、最典型、面积最大的中亚热带原生性森林生态系统,是世界生物多样性保护的关键地区。1999-12被列入《世界文化与自然遗产名录》,是我国继泰山、黄山、峨眉山——乐山大佛之后第四个被列入世界双重遗产名录。研究区其他概况详见文献[15-16]。

2 研究方法

2.1 数据来源和预处理

以1986年风景区1:2.5万林业基本图、1997年风景区1:1万林业基本图、《福建省武夷山风景名胜区总体规划(修订)》(1998年着手编制)、中国科学院地理信息数据平台获取的TM遥感图(1986、

1997、2009年3个时期)、2009年风景区内1:1万土地利用图等作为景观生态分类基础图件。在ARCGIS支持下,采用扫描并矢量化的方式把林业基本图输入Arc/Info系统,经地图配准、建立拓扑、编辑、编码后,以此作为生态环境特征遥感解译的辅助资料。遥感数据源采用ERDAS IMAGINE 9.1软件进行监督分类,结合利用地形图、土地利用图等解译了3期遥感影像。叠加矢量分类图和监督分类图进一步精分类,最终获得武夷山风景名胜区3个时期景观类型分类图(图1)。并把分类图进一步转化为30×30 m²栅格图层。武夷山风景名胜区景观类型包括:裸地、杉木林、马尾松林、阔叶林、竹林、灌草层、经济林、茶园、农田、建设用地、水体等11类。另有风景区管理委员会提供的游客人数、景区收入等基础数据资料。

2.2 数据库的建立

借助ArcGIS技术平台,在DEM的基础上生成经度、纬度、海拔、坡向、坡度等5个地理环境因子图层(栅格精度为30 m);在矢量化小班图基础上,提取郁闭度、腐质层厚度、土层厚度等3个环境因子属性数据,并将所得矢量图层转换为精度30 m的栅格数据。进而叠加8个环境因子数据图层与景观生态服务价值图层,输出生成数据库。其中,坡向因子按方位角 θ 进行如下赋值:阴坡($0^\circ \leq \theta < 67.5^\circ$ 或 $337.5^\circ < \theta \leq 360^\circ$)赋值为1;半阴坡($67.5^\circ \leq \theta < 112.5^\circ$ 或 $292.5^\circ \leq \theta < 337.5^\circ$)赋值为2;半阳坡($112.5^\circ \leq \theta < 157.5^\circ$ 或 $247.5^\circ \leq \theta < 292.5^\circ$)赋值为3;阳坡($157.5^\circ \leq \theta < 247.5^\circ$)赋值为4。对于建设用地、水体、裸地等景观类型郁闭度、腐质层厚度、土层厚度均赋值为0,其他连续型环境因子变量皆取实际值。

2.3 景观生态服务价值估算方法

选择涵养水源、保持土壤、气体调节、产品价值、生物多样性保护价值、景观与游憩价值等6个方面(建设用地除外)生态服务价值对武夷山风景名胜区景观生态服务价值的进行估算。其中建设用地不具生态服务价值,但为了更好地对它与其他景观类型生态服务价值进行比较,以建设用地经济价值代替总价值。

在前期研究^[17-20]基础上,参考谢高地提出的中国陆地生态系统单位面积生态服务价值单量表^[14],并结合其他相关研究^[21-22]及实地调查情况进行生态服务价值估算。景观生态服务价值估算过程如

下: 1. 水体景观的游憩价值 = 2009 年九曲溪竹筏总收入/乘竹筏的可视面积(采用 arcgis 视域分析工具确认出九曲溪沿线可视面积为风景区总面积的 20%)。2. 以武夷山市国土资源局土地挂牌价为依据估算建设用地总价值^[23-24]。鉴于风景区建设用地主要位于星村镇星村村与溪东旅游服务区(度假区)内,土地属性与用途各异。因此,假设风景区内建设用地类型为商住综合用途二等地,平均使用年限 50 a,以武夷山全市建设用地挂牌均价权重 0.3、度假区及周边地块挂牌均价权重 0.7 进行加权平均得到建设用地年均价值为 600 元/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$)。3. 生态多样性保护价值以景观类型平均丰富度指数(阔叶林、马尾松林、杉木林、竹林、茶园、经济林平均丰富度指数分别为 7.288 8、3.800 7、3.297 6、3.159 7、0.151 6、0)^[18]进行换算(换算系数 $S = \text{指数值}/\text{指数平均值}$)。4. 景观与游憩价值以风景区 2009 年扣去竹筏收入的主景区旅游收入为基础,以景观重要值指数(阔叶林、马尾松林、毛竹林、杉木林平均景观重要值指数分别为 0.865 1、0.936 1、0.935 5、0.722 1)^[19]进行换算(换算系数同 S)。再根据王英姿^[17-18]生态系统服务评价结果以森林景观类型平均单位价值乘以换算系数 S 得到相应生态服务价值。5. 产品价值随市场及产品品质有别,参考研究结果^[25-27]并结合实地情况估算产品价值。最后将各景观类型生态服务总价值换算成每栅格($30 \times 30 \text{ m}^2$)面积上的生态服务价值,再结合景观生态类型图产生风景区景观生态服务价值栅格数据图层。

2.4 逐步回归分析

回归分析是研究因变量和自变量之间变动比例关系的一种方法,其结果一般是建立某种经验性的回归方程^[28]。逐步回归分析方法作为回归分析方法之一,是以一个自变量开始,对要引入自变量的方差贡献进行显著性检验,将检验结果显著的自变量按其对因变量作用的大小逐个引入方程。新的变量一经引入,由于各变量之间的相互关系,原有的变量可能变为不显著,再次对已进入的自变量逐个检验,进一步剔除不显著因子,保留显著因子,从而寻找“最优”回归方程^[29]。逐步回归分析结果比其他相关回归分析意义更显著,保证了“最优”方程中的自变量对因变量的贡献均是显著的。应用 DPS 数据处理软件对数据进行逐步回归分析。

3 结果与分析

3.1 景观生态服务价值

武夷山风景名胜区景观类型可分为植被景观和非植被景观两大类,植被景观包括杉木林、马尾松林、竹林、经济林、阔叶林、茶园、灌草、农田,非植被景观包括水体、裸地、建设用地。选择涵养水源、保持土壤、气体调节、产品价值、生物多样性保护价值、景观与游憩价值等 6 个方面(建设用地除外)生态服务价值对武夷山风景名胜区内景观生态服务价值的进行估算。从表 1 可以看出,单位面积水体景观生态服务价值最高,为 93 707 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),裸地生

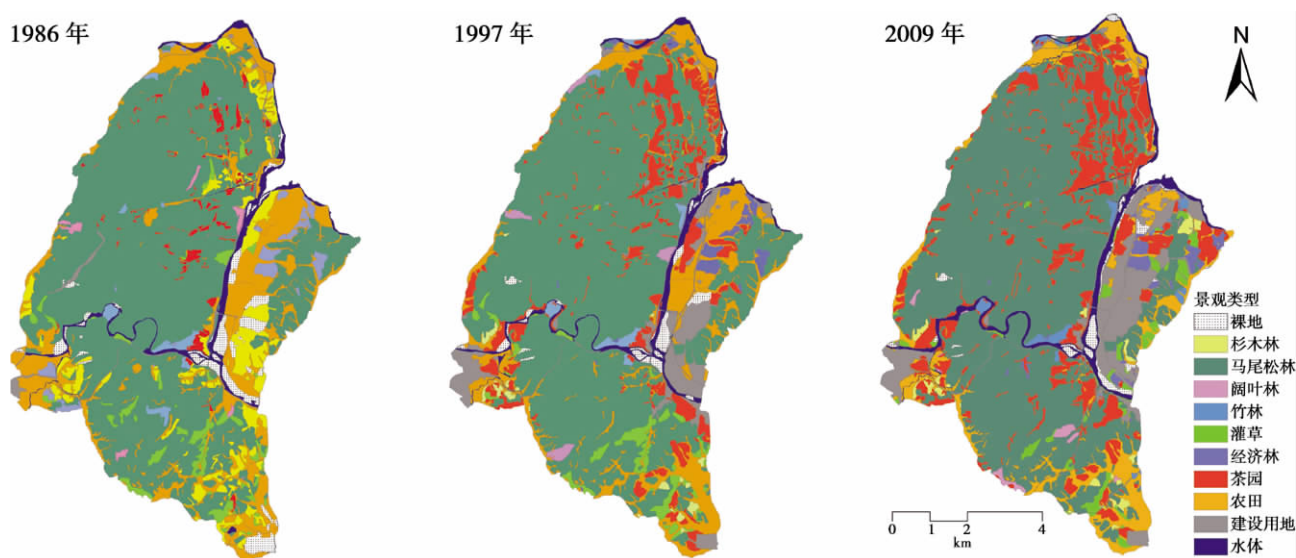


图1 1986年、1997年、2009年武夷山风景名胜区景观类型图

Fig.1 Landscape pattern of Wuyishan Scenery District in 1986, 1997 and 2009

表 1 武夷山风景名胜区景观类型单位面积生态服务价值

评价指标	杉木	马尾松	竹林	经济林	阔叶林	茶园	灌草	农田	水体	裸地	建设用地
景观面积	76	4 002	76	102	37	1 082	154	580	246	96	591
涵养水源	616	670	436	300	720	45	708	531	18 033	27	
保持土壤	14 491	14 173	13 713	11 369	1 554	1 136	1 726	1 292	9	18	
气体调节	9 762	8 804	3 812	9 356	5 090	3 142	708	442	407	0	
产品价值	4 678	3 953	2 255	292	3 210	1 361	310	973	97	9	/
生物多样性保护价值	3 225	3 717	3 090	0	7 129	148	965	628	2 203	301	
景观游憩价值	20 604	26 710	26 693	7 379	24 685	7 379	1 476	984	72 958	0	
总价值	53 376	58 028	49 998	28 695	42 388	13 211	5 891	4 851	93 707	354	12 000
单位栅格价值(元/900 m ²)	4 804	5 223	4 500	2 583	3 815	1 189	530	437	8 434	32	1 080

态服务价值最低,仅为 354 元/(hm²·a);杉木林、马尾松林、竹林、阔叶林等森林景观生态服务价值相差不大,建设用地价值较低 12 000 元/(hm²·a),仅高于裸地、农田、灌草等景观类型。

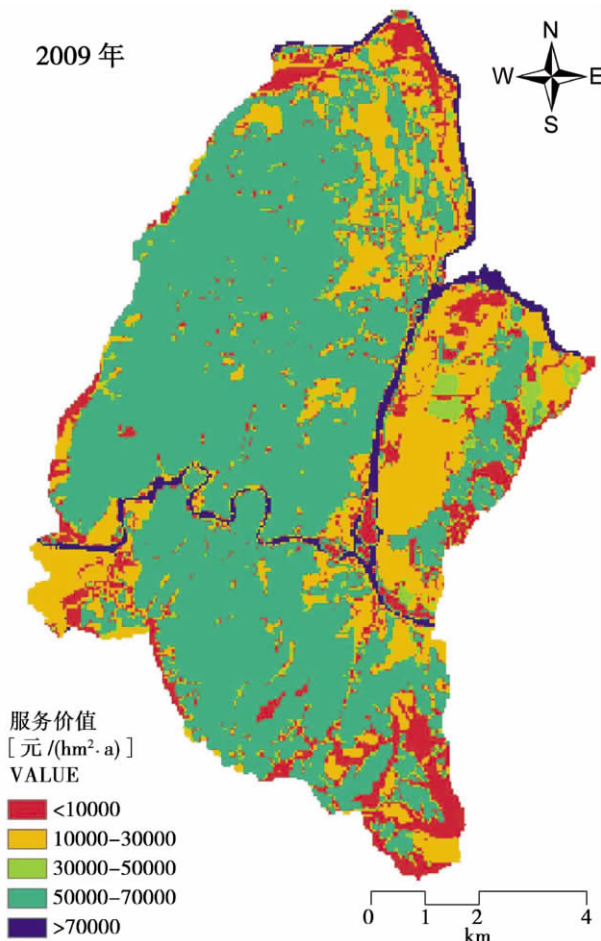


图 2 武夷山风景名胜区景观服务价值空间分异

Fig.2 Distribution and variation of ecosystem service value in Wuyishan Scenery District in 2009

3.2 景观类型生态服务价值时空分异

武夷山风景名胜区景观 2009 年生态服务价值空间分布见图 2。各景观类中生态服务价值大于 50 000 元/(hm²·a) 的高价值占区域面积的 61.3%,生态服务价值小于 10 000 元/(hm²·a) 的低价值区域占总面积的 13.1%,低生态服务价值区域中农田占了 62.8%。历史上风景区存在农田景观渐被开发为其他景观 特别是建设用地的现象,正是由于农田景观生态服务价值低于了建设用地价值,在经济利益的驱动下,土地用途被人类改变。武夷山风景名胜区 1980 年代开发旅游以来,吸引力及知名度不断提升。鉴于不同时期生态系统的生态服务价值的历史数据缺乏,以及对于旅游区的游憩价值因不同社会经济发展时期的基准不一,为进一步揭示风景区因景观类型变化而带来的生态服务价值变化情况,假设 1986—2009 年间风景区各景观类型的生态服务价值不变进行时空比较(图 3)。1986—1997 年间风景区景观生态服务价值增加的面积有 706.77 hm²,占总面积的 9.9%,减少的面积有 1 023.30 hm²,占总面积的 14.4%,平衡系数(生态服务价值增加面积与减少面积的比率) 0.69; 1997—2009 年间风景区景观生态服务价值增加的面积有 843.48 hm²,占总面积的 11.9%,减少的面积有 829.08 hm²,占总面积的 11.7%,平衡系数 1.02; 1986—2009 年间生态服务价值总共增加的面积有 1 205.46 hm²,占总面积的 17.0%,减少的面积有 1 569.42 hm²,占总面积的 22.1%,平衡系数 0.77。1986—1997 年生态服务价值减少之处多位于崇阳溪沿线及东南部南源岭一带,1997—2009 年生态服务价值减少的地区多位溪东旅游服务区东北部,且此时期生态服务价值增加区域面积有所提高。总

之 武夷山风景名胜区景观生态服务价值在 1986—1997 年间损失较大 ,在 1997—2009 年间有一定弥补 ,但 1986—2009 年间生态服务价值变化仍为亏损趋势。

3.3 生态服务价值与环境因子相关关系

相关系数(r) 是反映变量之间相关程度的指标 $r > 0$ 为正相关 $r < 0$ 为负相关。 $r = 0$ 表示不相关; 当 $|r|$ 越接近 1 相关越密切; 越接近于 0 相关越不密切。一般认为 $|r|$ 在 0.3 以下为弱相关、0.3 ~ 0.7 之间为中等相关、0.7 ~ 1.0 为强相关^[29]。生态服务价值与郁闭度相关系数最高为 0.70(表 2) ,达强相关水平 ,表明景观类型郁闭度越大 ,可推断该景

观类型生态服务价值越高。生态服务价值与蓄积量($r = 0.62$)、腐质层厚度($r = 0.53$)、海拔($r = 0.45$)、坡度($r = 0.41$)、经度($r = -0.34$) 为中等相关 ,其中仅经度与生态服务价值呈负相关 ,武夷山风景名胜区以西是武夷山自然保护区所在地 ,该保护区具有很高的生态服务价值^[30] ,风景区越往西 ,生态服务价值越高 ,这与实际情况一致。土层厚度($r = 0.08$)、纬度($r = -0.05$)、坡向($r = 0.02$) 与生态服务价值相关系数接近于 0 ,这三个环境因子几乎与生态服务价值不具相关性 ,表明风景区范围内土壤厚度、纬度、坡向不对生态服务价值的起关键作用。

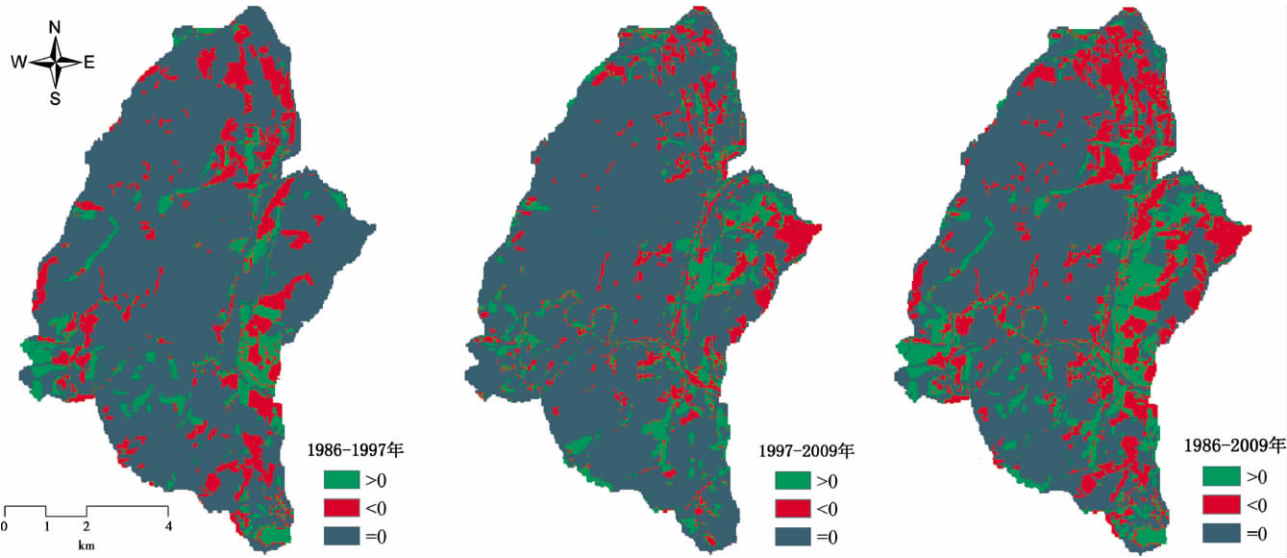


图 3 1986、1997、2009 年武夷山风景名胜区景观生态服务价值时空变化

Fig. 3 Temporal-spatial change of landscape service value in Wuyishan Scenery District in 1986 ,1997 and 2009

表 2 生态服务价值与环境因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of ecological service value and environmental factors

相关系数	X	Y	ELE	ASP	SLO	CD	HT	ST	VO	SV
X	1.00									
Y	0.13 **	1.00								
ELE	-0.36 **	0.19 **	1.00							
ASP	-0.14 **	-0.06 **	0.07 **	1.00						
SLO	-0.34 **	0.09 **	0.52 **	0.05 *	1.00					
CD	-0.37 **	-0.22 **	0.37 **	0.03	0.32 **	1.00				
HT	-0.26 **	-0.11 **	0.36 **	0.04	0.30 **	0.58 **	1.00			
ST	0.21 **	-0.10 **	-0.09 **	-0.01	-0.12 **	0.19 **	0.41 **	1.00		
VO	-0.40 **	-0.18 **	0.43 **	0.03	0.34 **	0.86 **	0.64 **	0.09 **	1.00	
SV	-0.34 **	-0.05	0.45 **	0.02	0.41 **	0.70 **	0.53 **	0.08 **	0.62 **	1.00

X: 经度; Y: 纬度; ELE: 海拔; ASP: 坡向; SLO: 坡度; CD: 郁闭度; HT: 腐质层厚度; ST: 土层厚度; VO: 蓄积量; SV: 生态服务价值; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ (下同) 。 X: longitude; Y: latitude; ELE: elevation; ASP: aspect; SLO: slope; CD: canopy density; HT: humus thickness; ST: soil thickness; VO: Volume. SV: 生态服务价值 service value; * Correlation is significant at the 0.05 level; ** Correlation is significant at the 0.01 level (The same below) .

表 3 逐步回归分析拟合结果

Table 3 Results of stepwise regression analysis

景观类型	线性回归方程	复相关系数 R^2	显著水平
植被景观	$SV_1 = 99940.1822 \ln(X) + 2.7753ELE + 22.5696SLO + 4864.7721CD$ $+ 172.1341HT - 6.3961ST - 87.1028VO - 1491529.7388$	$R^2 = 0.7524$	$p < 0.0001$
非植被景观	$SV_2 = -353105.3628 \ln(X) + 1641561.2194 \ln(Y) - 26.9476ELE$ $+ 140.2861SLO - 19812686.0900$	$R^2 = 0.5370$	$p < 0.0001$

注: SV_1 为植被景观生态服务价值, SV_2 为非植被景观生态服务价值; 其他符号含义同表 2。

Note: SV_1 : Vegetation landscape type service value, SV_2 : Non-vegetation landscape type service value.

从各环境因子相关系数来看,坡度与其他环境因子间几乎不存在相关性,除了坡度外其他各环境因子基本达中相关水平(见表 2),其中郁闭度与蓄积量强正相关,相关系数为 0.86,这与蓄积量高的森林其郁闭度也高实际情况相符。可见武夷山风景名胜区内各景观类型生态服务价值与各环境因子(坡向除外)及环境因子(坡向除外)之间总体呈中等相关性,生态服务价值与环境因子之间存在一定的联系。

3.4 景观生态服务价值与环境因子回归分析

根据风景名胜区内景观类型特点选择相应环境因子进行逐步回归。植被景观以 9 个环境因子进行拟合,非植被景观选择经度、纬度、海拔、坡向、坡度等 5 个地理环境因子进行拟合,进而分别揭示不同特点的景观生态服务价值与环境因子的线性关系(线性方程和逐步回归检验表见表 3、表 4、表 5)。从表 3 可知,经度 X 、海拔 ELE 、坡度 SLO 、郁闭度 CD 、腐质层厚度 HT 、土层厚度 ST 、蓄积量 VO 等 7 个环境因子进入植被景观生态服务价值回归方程,复相关系数为 0.7524;经度 X 、纬度 Y 、海拔 ELE 、坡度 SLO 等 4 个环境因子进入非植被景观生态服务价值回归方程,复相关系数为 0.5370。拟合方程中环境因子各因子偏相关系数均达到极显著水平($P < 0.001$),见表 4、表 5。武夷山风景名胜区植被景观生态服务价值的拟合效果好与非植被景观,拟合效果较好,可应用拟合回归方程对景观生态服务价值进行估算。

4 小结与讨论

武夷山风景名胜区景观类型单位面积生态服务价值最高为水体(93 707 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)),最低为裸地(354 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)),杉木林、马尾松林、竹林、阔叶林等森林景观生态服务价值相差不大,建设用地价值(12 000 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$))较低,仅高于裸地、农田、灌草等景观类型。风景名胜区内景观生态服务价值

在 1986—1997 年间生态服务价值有较大损失,在 1997—2009 年间有一定弥补,但 1986—2009 年间生态服务价值变化呈亏损趋势。风景名胜区内景观类型生态服务价值与环境因子(除坡向外)间呈现中等相关性。通过逐步回归分析对植被景观生态服务价值优于非植被景观,拟合效果较好地揭示了景观类型生态服务价值与环境因子之间的数量关系。

本文仅对武夷山风景名胜区 10 类景观类型主要 6 类生态服务功能进行了估算,尚有其他生态服务价值未进行评估,特别是对于风景名胜区的遗产价值的核算未加以考虑,计算的总生态服务价值要低于实际价值。不同的生态系统的生态系统服务种类不一样,分布在不同区域的同一种生态系统,因其环境条件和社会经济条件的差异,所提供的服务也可能相差很大^[31]。产品价值、游憩价值等涉及经济因素(如人民币价值、通货膨胀等)的生态服务价值随时间变动而变化给景观类型生态服务价值动态性评价造成困难,生态系统类型和质量状况的时间差异难以充分考虑。为比较风景区不同时期景观生态服务价值盈亏变化趋势,简单假设各时期景观类型的生态服务价值不变的方法值得商榷。但本文运用 3S 技术建立生态服务价值和环境因子的空间数据库来研究它们之间作用机制的方法,能为山岳型旅游地的服务价值与环境关系探索提供一种新思路。

参考文献(References)

- [1] Daily G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997
- [2] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260
- [3] Millennium Ecosystems Assessment. Ecosystems and Human Well-being Synthesis[M]. Washington DC: Island Press, 2005
- [4] Turner R K, Paavola J, Cooper P, et al. Valuing nature: Lessons learned and future research directions[J]. Ecological Economics,

- 2003, 46(3): 493-510
- [5] Daily G C, Söderqvist T, Aniyar S, et al. Ecology: The value of nature and the nature of value[J]. Science, 2000, 289(5478): 395-396
- [6] Richmond A, Kaufmann R K, Myneni R B. Valuing ecosystem services: A shadow price for net primary production[J]. Ecological Economics, 2007, 64(2): 454-462
- [7] Flombaum P, Sala O E. Higher effect of plant species diversity on productivity in natural than artificial eco systems[J]. PNAS, 2008, 105(16): 6087-6090
- [8] Costanza R, Fisher B, Mulder K, et al. Biodiversity and ecosystem services: A multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production[J]. Ecological Economics, 2007, 61(2-3): 478-491
- [9] Voinov A, Fitz C, Boumans R, et al. Modular ecosystem modeling[J]. Environmental Modeling & Software, 2004, 19(3): 285-304
- [10] Cowling R M, Egoh B, Knight A T, et al. An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation[J]. PNAS, 2008, 105(28): 9483-9488.
- [11] Fiedler A K, Landis D A, Wratten S D. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: the role of habitat management[J]. Biological Control, 2008, 45(2): 254-271
- [12] Ouyang Zhiyun, Wang Rusong, Zhao Jing-zhu. Ecosystem services and their economic valuation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 635-640 [欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640]
- [13] He Hao, Chen Fu, Zhang Hailin. Ecosystem services: a review[J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(6): 41-45 [何浩, 陈阜, 张海林. 生态系统服务研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(6): 41-45]
- [14] Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-196 [谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196]
- [15] He Dongjin, Hong Wei, Hu Haiqing, et al. Ecological evaluation of the Landscape in the Wuyishan Scenery District[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2004, 10(6): 729-734 [何东进, 洪伟, 胡海清, 等. 武夷山风景名胜区景观生态评价[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(6): 729-734]
- [16] He Dongjin, Hong Wei, Hu Haiqing, et al. Modeling landscape pattern dynamics and their effects under different disturbances in Wuyishan Scenery District[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(8): 1602-1610 [何东进, 洪伟, 胡海清, 等. 武夷山风景名胜区景观空间格局变化及其干扰效应模拟[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1602-1610]
- [17] Wang Yingzi, He Dongjin, Hong Wei, et al. Evaluation of Forest Ecosystem Services of Wuyishan Scenery District[J]. Acta Agronomica Universitatis Jiangxiensis, 2006, 28(3): 409-414 [王英姿, 何东进, 洪伟, 等. 武夷山风景名胜区森林生态系统公共服务功能评估[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(3): 409-414]
- [18] Wang Hongcui, Wu Chengzhen, Hong Wei, et al. Estimation for value of ecosystem services in Wuyishan Scenery District[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(2): 53-56 [王洪翠, 吴承祯, 洪伟, 等. 武夷山风景名胜区生态系统服务价值评价[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 53-56]
- [19] He Dongjin, Hong Tao, Hu Haiqing, et al. Species diversity in different forest landscapes in the Wuyishan Scenery District[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(2): 9-13 [何东进, 洪滔, 胡海清, 等. 武夷山风景名胜区不同森林景观物种多样性特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 9-13]
- [20] You Weibin, He Dongjin, Zhan Shihua, et al. Analysis of Correlation between Tourist Influence as well as Vegetation Landscape Characteristics and Geographical Factors in Wuyishan Scenery District[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2011, 29(1): 35-39 [游巍斌, 何东进, 詹仕华, 等. 武夷山风景名胜区旅游影响及植被景观特征与地理因子的相关分析[J]. 四川农业大学学报, 2011, 29(1): 35-39]
- [21] Xie Gaodi, Xiao Yu, Zhen Lin, et al. Study on ecosystem services value of food production in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(3): 10-13 [谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13]
- [22] Zhang Leqin, Rong Hui Fang, Xu Yang, et al. Evaluation Research of the Service Value of the Forest Ecosystem in Jiuhua Mountain, Anhui[J]. Journal of Mountain Research, 2009, 29(3): 291-298 [张乐勤, 荣慧芳, 许杨, 等. 九华山森林生态系统生态服务价值评估[J]. 山地学报, 2011, 29(3): 291-298 [J]. 山地学报, 2009, 29(3): 291-298]
- [23] The land transfer notice of Wuyishan City Land and Resources Bureau[EB/OL][武夷山市国土资源局土地出让公告[EB/OL]]http://www.wysgtzy.gov.cn/newsclass.asp?BigClass=交易市场
- [24] Benchmark premium table of Wuyishan City urban and resort areas in 2005[EB/OL][2005年武夷山市市区、度假区基准地价表[EB/OL]]http://www.tdzyw.com/2010/1029/7801.html
- [25] Chen Qin, Liu Weiping. Analyzing Income and Risk of Plantation in Fujian Province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(2): 93-97 [陈钦, 刘伟平. 福建省人工用材林收益与风险分析[J]. 林业科学, 2006, 42(2): 93-97]
- [26] CHEN Yuande. Calculation and Discussion on the Forest Prices of Cunninghamia lanceolata and Pinus massoniana Plantations in Northern Fujian Province[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2006, 33(3): 201-206 [陈元德. 闽北杉木马尾松人工林林价的测算与探讨[J]. 福建林业科技, 2006, 33(3): 201-206]
- [27] Wang Bing, Ma Xiangqian, Guo Hao, et al. Evaluation of the Chinese Fir Forest Ecosystem Services Value. [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(4): 124-130 [王兵, 马向前, 郭浩, 等. 中国杉木林的生态系统服务价值评估[J]. 林业科学, 2009,

- 45(4): 124–130]
- [28] Tang Qiyi. Data-processing system (DPS): Design of experiment, statistic analysis and data mining(2nd Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2010 [唐启义. DPS 数据处理系统——实验设计、统计分析 & 数据挖掘(第2版) [M]. 北京: 科学出版社, 2010]
- [29] Ye Hong, Pan Lingyang, Chen Feng, et al. Direct carbon emission from urban residential energy consumption: a case study of Xiamen, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(14): 3802–3811 [叶红, 潘玲阳, 陈峰, 等. 城市家庭能耗直接碳排放影响因素——以厦门岛区为例[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3802–3811]
- [30] Xu Jiquan, Zhong Quanlin. The Evaluation of Forest Function of Tourism Ecosystem Services of Wuyi Mountain [J]. Journal of Hangzhou Teachers College: Natural Science Edition, 2006, 31(6): 58–61 [许纪泉, 钟全林. 武夷山自然保护区森林生态服务功能价值评估[J]. 杭州师范学院学报: 自然科学版, 2006, 31(6): 58–61]
- [31] Wen Yihui, Liu Guihuan, Tian Zhimei. Research review of Ecosystem Service [J]. Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition, 2010, 31(3): 64–69 [文一惠, 刘桂环, 田至美. 生态系统服务研究综述[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 64–69]

Spatial-temporal Variation of Landscape Service Value and Its Correlation with Ambient Environmental Factors in Mountain Resorts

——A Case Study of Wuyishan Scenery District

YOU Weibin¹, HE Dongjin¹, WU Liyun¹, HONG Wei¹, ZHAN Shihua¹,
HUANG Dehua², QIN Dehua³, YOU Huiming¹

(1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 353001, China;

2. Fujian Geological Remote Sensing and Geographical Information Center, Fuzhou 353001, China;

3. College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan, China)

Abstract: With human society and economy developing, the matter such as resources over-exploitation, ecosystem degeneration and environmental contamination are becoming worse and worse. Thus, awareness and protection of ecosystem services value which is closely bound up with human beings survival gain a more and more attention. A change of ambient environmental factors relating to ecosystem will make change of ecosystem structure and function, further affect ecosystem service value. In this context, a study has been made to estimate landscape service value and analyze its spatial-temporal change during the period of 1986 to 2009 in Wuyishan Scenery District. This sub-region has been disturbed most severely in a world cultural and natural heritage site——Wuyi Mountain as compared to its other three sub-regions. Furthermore, method of correlation analysis and stepwise regression analysis have been used to give an explanation of the relevance and function rule between service value and environmental factors. The study showed that landscape service value per unit area possessed a maximum in water body (93 707 RMB/(hm² · a)), a minimum in bare land (354 RMB/(hm² · a)), land for construction (12 000 RMB/(hm² · a)) more than bare land, farmland and shrub grassland, and no overmuch variance in Cunninghamia lanceolata forest, Pinus massoniana forest, broad leafed forest and Bamboo forest. Greater loss of landscape service value appeared in the period of 1986 to 1997. Although service value achieve a certain degree offset from 1997 to 2009, it remained a deficit trend in the period of 1986 to 2009. This was due to vegetation landscape transform land for construction in that time. Landscape service value had a medium correlation level with environmental factors. Correlation coefficient of canopy density and service value was the maximum (0.7**), and correlation coefficient of canopy density to volume within various environmental factors was the maximum (0.86**). Fitting result to vegetation landscape type service value ($R^2 = 0.7524$, $p < 0.0001$) had a advantages over non-vegetation one ($R^2 = 0.5370$, $p < 0.0001$). Fitting equation was well capable of doing quantitative relation on landscape service value and ambient environmental factors in Wuyishan Scenery District.

Key words: landscape service value; spatial-temporal diversity; environment factors; Wuyishan Scenery District; mountain resorts