

DOI: 10.5846/stxb201809212066

张红娟, 高艳, 华亚伟, 李言言, 张越, 刘康. SolVES 模型价值转移方法对不同空间尺度的响应评估. 生态学报, 2019, 39(24): 9233-9245.

Zhang H J, Gao Y, Hua Y W, Li Y Y, Zhang Y, Liu K. Response of a SolVES model value transfer method to different spatial scales. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(24): 9233-9245.

SolVES 模型价值转移方法对不同空间尺度的响应评估

张红娟^{1,2}, 高 艳^{1,2}, 华亚伟^{1,2}, 李言言^{1,2}, 张 越^{1,2}, 刘 康^{1,2,*}

1 西北大学城市与环境学院, 西安 710127

2 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127

摘要:随着人类对生态系统服务压力的不断增加,生态系统服务社会价值的评估变得至关重要。利用 SolVES 模型将太白山国家森林公园的社会价值转移到牛背梁国家森林公园和秦岭山地,评估两者的社会价值并探讨不同尺度下转移结果的差异。结果表明:1)牛背梁国家森林公园游憩价值指数与高程负相关,美学价值指数与高程正相关,羚牛谷山水观光游憩区的游憩价值较高,高山风光区的美学价值较高;2)秦岭山地的游憩价值与高程正相关,美学价值与高程负相关,森林公园的游憩价值较高,山地整体美学价值指数偏低;3)秦岭山地的社会价值集中于高程 1000—2000m、坡度 25°—35°处,而牛背梁国家森林公园的社会价值分布规律不明显;4)不同尺度下相同的转移模型输出的转移结果与环境变量的关系存在差异。SolVES 模型的价值转移子模型是一个可以进行生态系统服务社会价值评估的快速有效的工具,但应根据需求精度选择合适的统计模型。

关键词:价值转移制图模型;社会价值;生态系统服务;价值评估

Response of a SolVES model value transfer method to different spatial scales

ZHANG Hongjuan^{1,2}, GAO Yan^{1,2}, HUA Yawei^{1,2}, LI Yanyan^{1,2}, ZHANG Yue^{1,2}, LIU Kang^{1,2,*}

1 College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

2 Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China

Abstract: As human activities become more stressful to ecosystem services, it is crucial to integrate the social value of ecosystem services into ecosystem services assessments. Social value, defined as the nonmarket value perceived by the public, is mainly elicited from public value and preference surveys. Generally, there exist many obstacles to attaining preliminary survey data via questionnaires and semi-structured interviews. The Value Transfer Mapping Model, a SolVES (Social Value for Ecosystem Services) sub-model, provides a means of assessing social values in areas where survey data is missing. In this paper, the elevation and slope were selected as transfer variables, using Taibai Mountain National Forest Park as the “study site”, and Niubeiliang National Forest Park and the Qinling Mountains as the “policy site”. The Value Transfer Mapping Model was applied to evaluate the social value of ecosystem services of Niubeiliang National Forest Park and the Qinling Mountains, with the discussion of the various findings of the Value Transfer Mapping Model in different scales. In addition to assessing the social values, 4 typical social values (biodiversity, cultural, aesthetic and recreation) were chosen to establish the social values of Niubeiliang National Forest Park and the Qinling Mountains, based on the test AUC and the training AUC from the statistical model of Taibai Mountain National Forest Park. The findings indicated that: 1) The recreation value index of Niubeiliang National Forest Park was negatively correlated with elevation, while the

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201304309)

收稿日期:2018-09-21; 网络出版日期:2019-09-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuk63@126.com

aesthetic value index was positively correlated with elevation. The recreational value was higher in Takin Valley Mountain and the Water Tourism Recreation Area relative to the Alpine Scenic Area, which had the highest aesthetic value. Biodiversity and cultural values were negatively correlated with elevation, and the cultural value was mainly distributed in the vicinity of Tiefu Temple religious area, but the distribution of biodiversity was not obvious with a wide range; 2) The recreation value in the Qinling Mountains was positively correlated with elevation, while the aesthetic value was negatively correlated with elevation. The recreation value index was relatively high in forest parks, with very few high value points of aesthetic value in the Qinling Mountains. The value of biodiversity was denser at higher altitudes and more concentrated near ridgelines. The cultural value was chiefly distributed in relatively low altitude areas, but rarely near ridgelines; 3) The social value of the Qinling Mountains was concentrated in areas with an elevation of 1000—2000 m and a slope of 25°—35°, while the distribution of social value in Niubeiliang National Forest Park was not obvious; 4) Although the same statistical model was used, there was a difference in the relationship between output transfer results and environmental variables of different scales. Meanwhile, the more centralized the distribution of value points, the less statistical information, the fewer value points of the output when transferring; thus, the Transfer Model of the value point concentration should be carefully chosen. Overall, the Value Transfer Mapping Model of SolVES integrated the Maxent model to rapidly transfer social value and was a useful tool for quickly and effectively assessing the social value of ecosystem services.

Key Words: Value Transfer Mapping Model; social value; ecosystem services; valuation

生态系统服务是指人类直接或间接从生态系统中获取的福利,它包括供给服务、调节服务、支持服务和文化服务^[1-2]。生态系统服务和人类福祉密切相关,2005 年的千年生态系统评估,让生态系统服务评估成为一个热门话题^[3]。自此,国内外学者开始对其大量评估,传统评估主要集中于经济价值^[4-6],近年来开始强调人类社会的生态系统服务中的作用^[7],生态系统服务的社会价值受到研究者的关注^[8-9]。社会价值主要与生态系统服务的文化服务相对应,而文化服务的评估在生态系统服务评估框架中一度缺失^[10]。由于文化服务和人的感知相关,不同的人感知不同^[11],再加上其无形性,用货币方式难以对其量化^[12-13]。在此背景下,Sherrouse 等在经济价值的基础上,扩展提出了社会价值的概念^[14-15],并将社会价值定义为公众感知的非市场化价值,提出了一个非货币化的、空间化的相对社会价值指标即“价值指数”(VI)。

生态系统服务社会价值评估需要采用问卷调查法,收集公众对生态系统服务的感知,但问卷调查方法有时由于法律或政策的约束^[16]亦或受调查者自身原因的影响(看不懂问卷或不愿接受调查),调查数据的获取仍然存在很多障碍。引入价值转移法,可以对无调查数据地区的社会价值进行评估。价值转移法(Benefit Transfer Method, BTM)是将已有的价值评估结果(通常被称为研究地, Study site)转移到待研究地区(通常被称为决策地, Policy site),继而得到决策地的价值。价值转移方法分为数值转移和函数转移^[17],较为准确的价值转移方法为 Meta 分析的函数转移法^[18-20],生态系统服务的价值转移已得到证实^[21-22]。

SolVES 模型是美国地质调查局与美国科罗拉多州大学联合开发用于 ArcGIS 的工具,内嵌了 Maxent 软件^[23-24],整合了 Meta 分析方法和需求函数,开发了价值转移制图子模型(Value Transfer Mapping Model)。不仅可以对有调查数据地区的社会价值进行评估^[25-30],也可以对无调查数据地区社会价值进行评估^[31-32]。SolVES 模型的价值制图、社会价值和价值转移模型都得到了证实,但价值转移子模型在不同空间尺度上的转移效果未得到探讨,能否进行尺度上推(Scaling-up)和下推(Scaling-down)的社会价值转移,上推和下推的转移效果如何,需要进行进一步的讨论。本文利用 SolVES 模型的价值转移子模型,将太白山国家森林公园(TBS)的社会价值,转移到牛背梁国家森林公园(NBL)和秦岭山地,探讨价值转移子模型在不同空间尺度的适用性。

1 数据与方法

1.1 研究区概况及技术路线

本文研究区是陕西省境内秦岭,秦岭山地有很多海拔 2500m 以上的山峰,主峰太白山高 3771.2m,面积为 56126.56km²。从 1987 年批准建立第一个国家级森林国家公园——骊山森林公园开始,已建成森林公园 46 个(省级 25 个,国家级 21 个)。太白山国家森林公园位于秦岭主峰太白山北坡,总面积 29.49km²,海拔 620—3511m,本文太白山国家森林公园的研究范围还包括海拔 3511m 以上自然保护区的一部分,其研究区面积为 176.57km²。牛背梁国家森林公园位于秦岭东段,海拔 1000—2802m,总面积 21.23km²,为秦岭东段最高峰(图 1)。

根据研究的整体思路及文章脉络,本文的研究路线如图 2 所示:

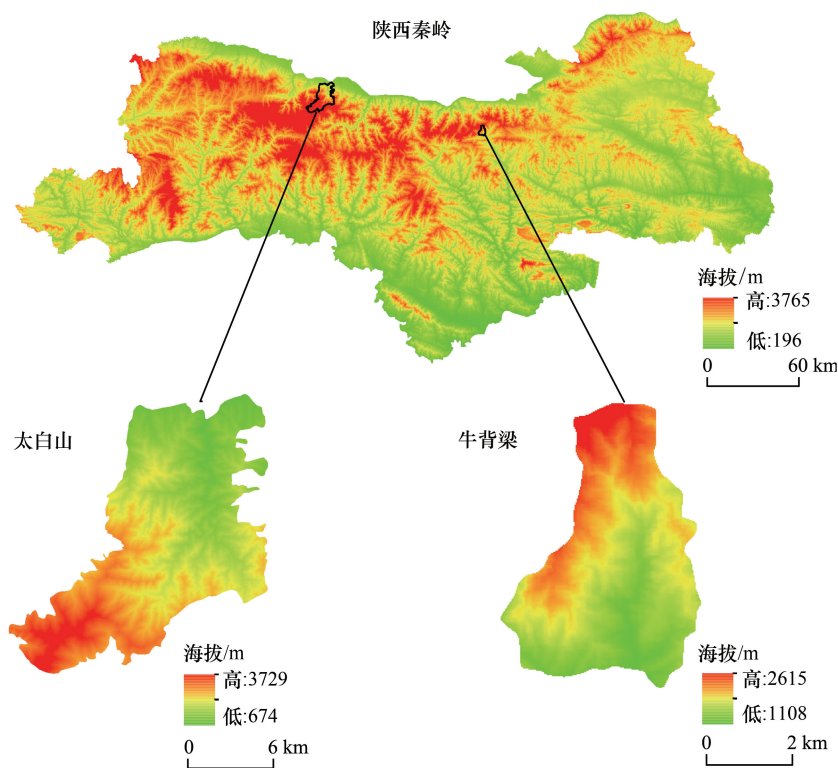


图 1 研究区图

Fig.1 The map of study areas

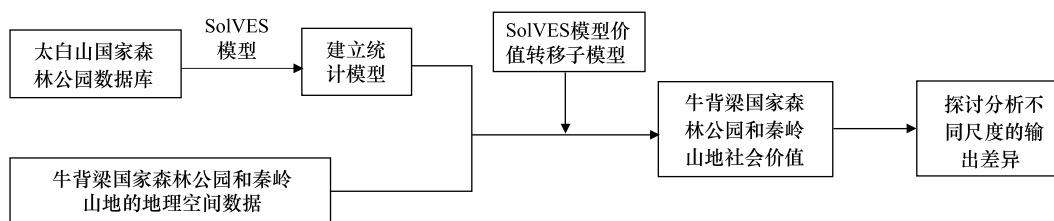


图 2 研究路线

Fig.2 Research route

1.2 研究方法

1.2.1 SolVES 模型

SolVES 模型提供三个功能:(1)社会价值图的生成,用非货币的 10 点价值指数(VI)表示;(2)VI 和解释

变量(环境图层)之间的关系;(3)价值转移制图,调用 Maxent 模型软件,利用研究地输出的统计模型将社会价值转移到决策地,进行决策地的价值制图(图 3)。

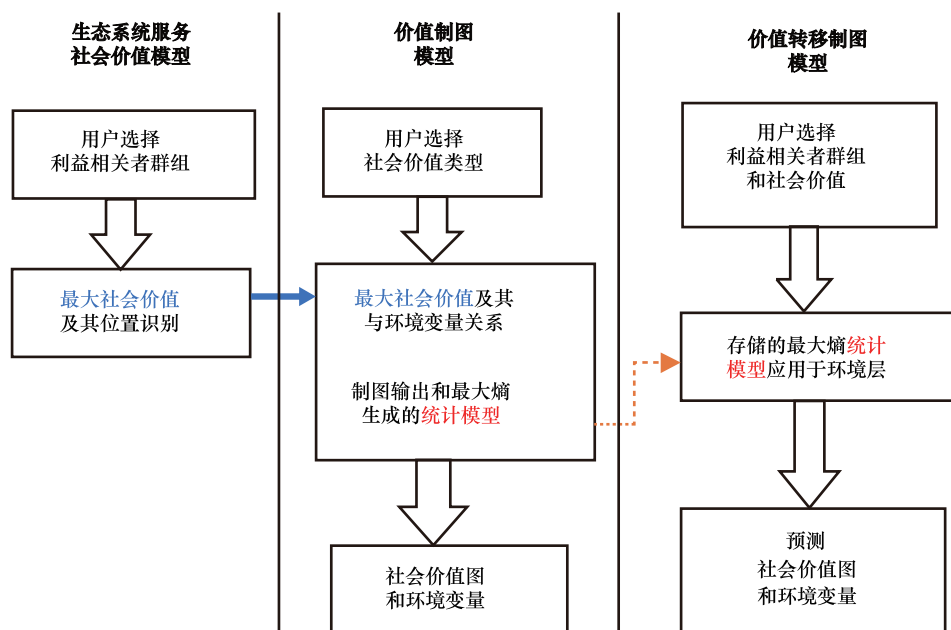


图3 SolVES 模型功能图

Fig.3 The function diagram of SolVES

1.2.2 Maxent 模型

Maxent 模型是 Phillips 等最早开发用于评价、预测物种潜在地理分布的生态位模型^[23],它是以最大熵理论为基础的物种地理空间分布模型^[33-34]。最大熵理论是一种基于有限的已知信息推断未知信息概率分布的数学方法,其原则为保留全部的不确定性,将风险降到最小,即不做任何主观假设,这时概率分布的信息熵最大。假设离散随机变量 x 的概率分布为 $P(x)$,则其熵的计算公式如下:

$$H(P) = - \sum_x P(x) \log P(x)$$

当 x 服从均匀分布时,熵最大,而且熵满足下列不等式:

$$0 \leq H(P) \leq \log |X|$$

最大熵原理认为要选择的概率模型必须满足已有的事实,即约束条件。因此在预测物种的地理分布时,需要有物种的现实地理分布点及物种现实分布地区和目标地区的环境变量。

基于 Maxent 的价值转移法,利用间接效用模型估算出研究地自然资源供给的非市场化的服务或产品与得出这些结果所采用的问卷形式、样本规模、收入水平等变量之间的关系,来构建 Meta 回归价值转移模型。SolVES 模型则是把自然地理环境如土地利用、高程、坡度、距离水体的距离(DTW)及距离道路的距离(DTR)等作为环境变量,计算这些环境变量和价值指数之间的关系,构造功能函数,从而完成价值转移(图 4)。

1.3 转移变量选取及统计模型选择

1.3.1 转移变量选取原则

根据 Sherrouse 和 Semmens 对美国三个国家森林公园价值转换错误率的比较,得出转移变量选取原则^[31]:选择较少的环境变量可能会减少与环境变量有关的问题以及 VI 对它们的回应,可能会降低研究地模型的性能,但可以避免它们的过度拟合,提高价值转移的效果。同时,一些具有区域特色的变量也不宜选取,例如环境变量中距离道路的距离(DTR),每个区域道路的相似度不高,造成有 DTR 变量转移的模型错误率偏高^[30],因此不宜选为转移变量。因此,本文选取高程和坡度两个环境变量作为转移变量。

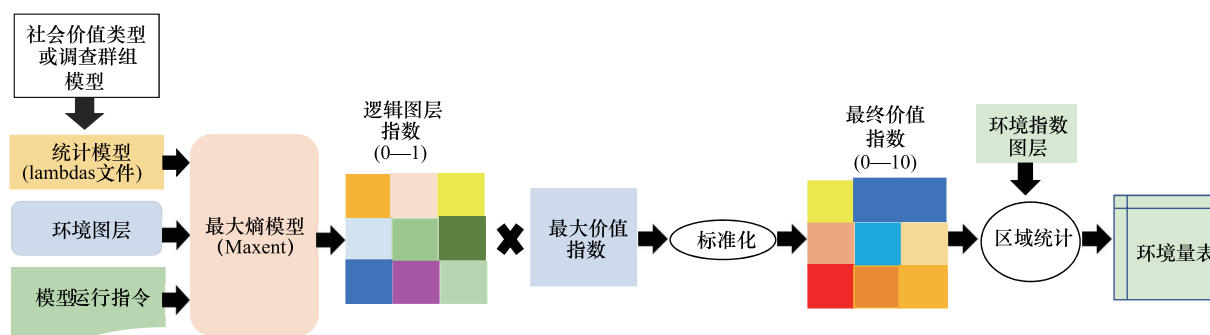


图4 价值转移模块运行流程图

Fig.4 Value Transfer Mapping Model generalized process flow

1.3.2 统计模型选择

Maxent 模型计算每种社会价值类型的训练 AUC (Training AUC) 和测试 AUC (Test AUC), 训练 AUC 表明该模型适合自身的程度, 而测试 AUC 表明该模型价值转移的潜在性能。测试 AUC 是价值转移模型性能的有用指标, 也是进行价值转移前, 能否选为转移模型的有效判断工具, 根据 Sherrouse 和 Semmens^[31] 的证实, 它可以排除绝对不能用于价值转移的模型, 但它不是价值转移的充分指标。一般认为测试 AUC 大于 0.7, 模型满足了可以进行价值转移的基本条件, 但不能保证价值转移结果的准确性。

1.4 数据获取

1.4.1 调查数据获取

TBS 的调查数据来源于 2016 年 9—10 月期间 250 份游客的有效问卷, 所有数据均通过原位调查方法获取。问卷内容主要包括: ①游客的游玩情况及游玩感受, 如旅游频率、旅行时间、游玩满意度等; ②社会价值的分配及社会价值点的标识, 让游客将 100 元 (假定分值或金额) 分配给 10 种社会价值, 其中 100 元可以全部分给一种社会价值, 也可以分配给多种 (最多为 10 种), 并将已分配值的社会价值类型标记在研究区地图上能代表此社会价值的点 (即社会价值点); ③游客基本信息, 主要为游客年龄、性别、职业、收入等信息。社会价值类型及其内涵如表 1 所示。

表 1 生态系统服务的 10 种社会价值类型及其内涵

Table 1 The definition of ten social value types of ecosystem services

社会价值类型 Social value type	社会价值说明 Social value definition
美学价值 Aesthetic	生态系统提供美丽的风景、动听的声音、好闻的气味等, 从中得到美的享受
生物多样性价值 Biodiversity	生态系统提供了大量的基因库及多种野生动植物资源
文化教育价值 Cultural	生态系统提供了正式和非正式的教育素材, 给予智慧与知识
经济价值 Economic	生态系统能提供木材、渔业及矿产等
未来价值 Future	下一代人仍有机会了解与体验现在生态系统所提供的价值
历史遗产价值 Historical	生态系统遗留下来了那些与我、他人、国家息息相关的自然与人类历史事件
生命可持续价值 Life sustaining	生态系统具有生产、保留生命生存所需物质的能力并能够净化、更新空气、土壤与水
游憩价值 Recreation	生态系统能为人类提供户外活动、休闲娱乐的场地及机会
宗教精神价值 Spiritual	生态系统服务能让人感受到对自然的敬畏与尊重, 使人的内在和外在得到净化
疗养价值 Therapeutic	生态系统提供一些服务让人在生理上和心理上感到更加美好

1.4.2 太白山国家森林公园模型输出数据

运行 SolVES 模型的前两个模型, Maxent 模型计算输出反映点数据与环境变量间的建模关系, 保存为名为 “lambdas” 的文件, 然后将 lambdas 文件 “映射” 到提供相应环境变量的另一个地理区域^[24], 来完成社会价值的转移。TBS 的输出结果如表 2 所示:

表 2 TBS 10 种社会价值类型的最大价值指数及空间聚集性
Table 2 The max-VI and spatial clustering of 10 social values in TBS

社会价值类型 Social value type	总样本 Total sample		训练 AUC	测试 AUC
	M-VI (N)	R value (Z score)	Training AUC	Test AUC
美学价值 Aesthetic	10(253)	0.04(−29.09)	0.939	0.883
生物多样性价值 Biodiversity	6(154)	0.15(−20.13)	0.992	0.871
文化教育价值 Cultural	3(115)	0.10(−18.37)	0.941	0.884
经济价值 Economic	2(66)	0.22(−12.11)	0.806	0.819
未来价值 Future	3(96)	0.15(−15.84)	0.787	0.716
历史遗产价值 Historical	3(89)	0.08(−16.58)	0.850	0.842
生命可持续价值 Life sustaining	4(120)	0.11(−18.59)	0.882	0.866
游憩价值 Recreation	3(109)	0.13(−17.36)	0.880	0.903
宗教精神价值 Spiritual	4(118)	0.17(−17.34)	0.891	0.807
疗养价值 Therapeutic	2(71)	0.30(−11.32)	0.768	0.719

M-VI 为最大社会价值指数;N 为所标记的某种社会价值点的总个数;R 为平均最近邻的比率,为聚集程度指标,R<1 集中分布,R=1 随机,R>1 分散;Z score(Z 值)为标准差;R 值越低,则其空间聚集程度越高

1.4.3 地理空间数据

根据转移变量的选取原则,本文的地理空间数据为高程和坡度,其来源见表 3。

表 3 数据来源
Table 3 The source of data

图层名称 Layer name	含义 Description	来源 Source
太白山国家森林公园研究区域 Survey region	太白山国家森林公园的研究区范围	森林公园规划加上自然保护区的部分 ^[27]
牛背梁国家森林公园研究区域 Survey region	牛背梁国家森林公园的研究区范围	森林公园规划范围
秦岭山地研究区域 Survey region	秦岭山地的研究区范围	根据文献和研究需要 ^[35]
高程 Elevation	数字高程模型(DEM)	国家测绘局(25m)
坡度 Slope	坡面的垂直高度和水平宽度比	根据 DEM,利用 ArcGIS10.0 提取

2 结果与分析

根据表 2 测试 AUC 的输出结果,我们选取测试 AUC 最大的 4 种社会价值类型(游憩、文化教育、美学和生物多样性)来进行分析。由于此次调查收集的是游客的感知,本文利用景点规划、旅游规划及多媒体数据对游憩和美学进行验证。

2.1 牛背梁国家森林公园社会价值空间分布及与环境变量的关系

2.1.1 牛背梁国家森林公园社会价值空间分布规律

NBL 的游憩价值、文化教育价值、美学及生物多样性价值的最大价值指数分别为 10、10、8、9(图 5)。利用分区统计得到各游览区和整个 NBL 的最大最小值及平均值(表 4),羚牛谷山水观光游憩区包含了 NBL 的最大值(10),平均值(1.61)大于整个森林公园(1.28),表明羚牛谷游憩区的游憩价值相对较高;其他 4 个区域的游憩价值和整个森林公园相比,游憩价值并不突出;高山风光区的美学价值指数较高,羚牛谷山水观光游憩区和整个森林公园持平,但其他 3 个区域均小于整个森林公园。

根据分区统计结果(表 4),我们得出图 5 中游憩、美学、文化教育及生物多样性社会价值的空间分布规律为:游憩价值在羚牛谷山水观光游憩区最为显著;美学价值在高山风光区和西南角未开发区域较高;文化教育价值在山水养生度假区和羚牛谷山水观光游憩区较高;生物多样性价值的分布较为分散。整体而言,羚牛谷山水观光游憩区的游憩价值较高,高山风光区的美学价值较高,侧面验证了价值转移子模型具有较好的参考性。

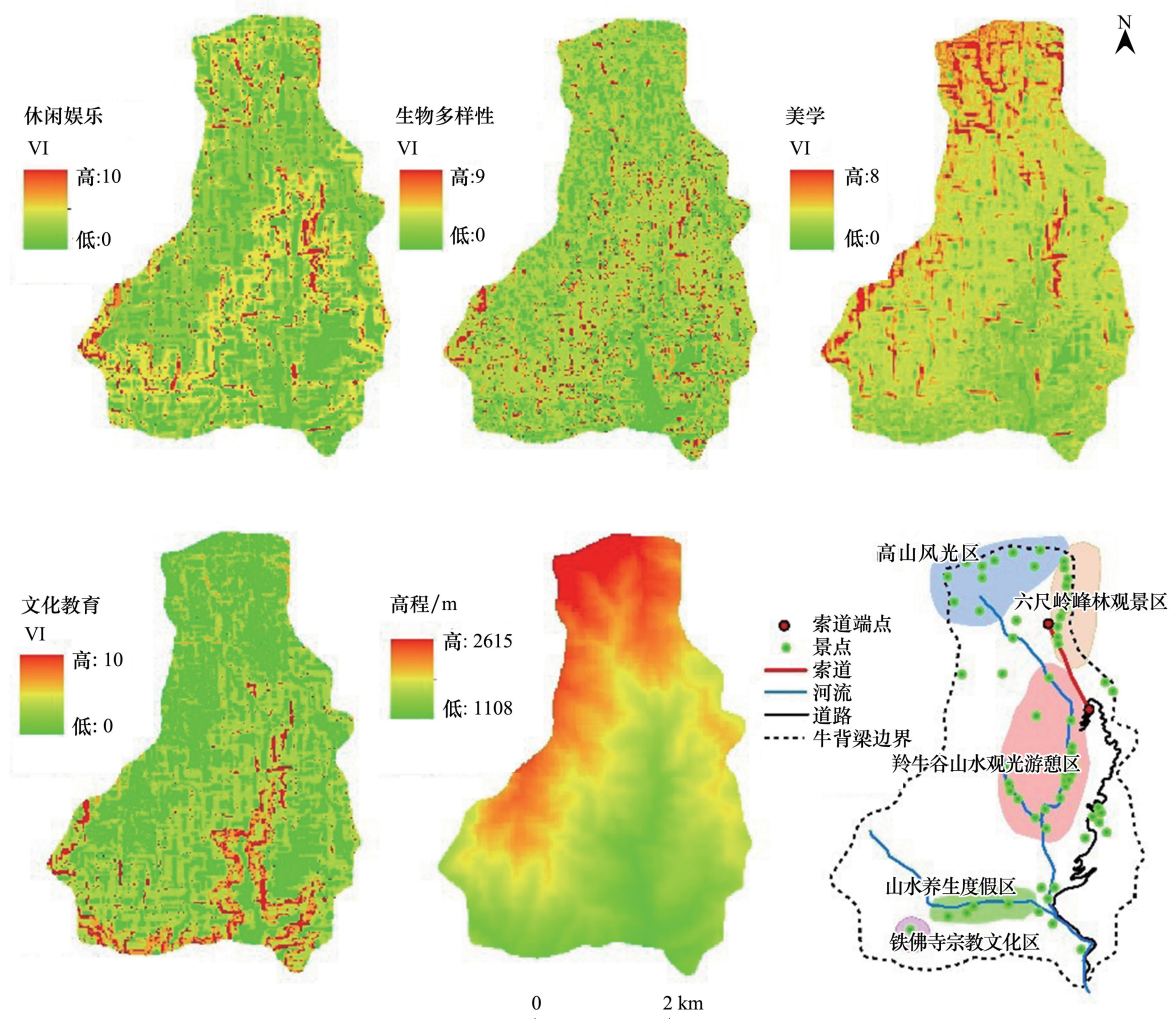


图 5 NBL 的社会价值、高程及景点分布图

Fig.5 The social value, DEM and attractions map in NBL

表 4 牛背梁国家森林公园及景点分布区域社会价值指数的最大最小和平均值

Table 4 Maximum, minimum and average distribution regions of value index in NBL and Scenic Spots

区域 area	RR-min	R-max	R-mean	A-min	A-max	A-mean	C-min	C-max	C-mean	B-min	B-max	B-mean
羚牛谷山水观光游憩区 Takin Valley landscape tourist and recreational areas	0	10	1.61	0	7	2.14	0	10	0.98	0	9	1.20
高山风光区 Alpine scenic area	0	7	1.39	0	8	3.41	0	2	0.44	0	3	0.97
六尺岭峰林景观区 Liuchiling Fenglin Landscape Area	0	6	1.30	0	5	1.61	0	3	0.59	0	3	0.99
山水养生度假区 Landscape health resort	0	9	1.22	0	5	1.61	0	10	1.02	0	7	1.08
铁佛寺宗教文化区 Tiefu temple religious and cultural area	0	9	1.29	0	5	1.57	0	4	0.91	0	3	1.04
牛背梁国家森林公园 NBL national forest park	0	10	1.28	0	8	2.17	0	10	0.85	0	9	1.06

R-min、R-max、R-mean、A-min、A-max、A-mean 分别表示 NBL 的游憩价值、美学价值的最小最大及平均值; C-min、C-max、C-mean、B-min、B-max、B-mean 分别表示 NBL 的文化教育价值和生物多样性价值的最小最大及平均值

2.1.2 牛背梁国家森林公园社会价值和环境变量的关系

价值指数和平均高程的关系为(图6);游憩价值集中于1500—1900m处;文化教育价值分布于1100—2100m间,无明显集中分布;美学价值随高程呈上升趋势,集中于2000m附近;生物多样性价值分布于1200m—2100m间,随高程波动变化,集中于1400—1700m。价值指数和平均坡度的关系为(图6):游憩价值随坡度波动变化,分布于25°—60°间,40°—45°较集中;文化价值分布于18°—62°间,无明显集中分布;美学价值随坡度呈上升趋势,5°—70°均有分布;生物多样性价值随坡度波动变化,集中于20°—40°。

2.2 秦岭山地的社会价值空间分布及与环境变量的关系

2.2.1 秦岭山地的社会价值空间分布规律

秦岭山地的游憩价值、美学价值、生物多样性价值、文化教育价值的最大VI分别为9、7、9和10(图7)。选取森林公园边界较为准确的森林公园,利用分区统计方法计算森林公园社会价值指数的最小最大及平均值,根据分区统计结果(表5),可以得出如下结论:对游憩价值来说,18个森林公园中平均值大于秦岭山地的有16个,占88.89%,平均价值指数最高为黑河森林公园,其次是NBL和终南山国家森林公园;文化教育价值在华山、终南山、太平及黑河森林公园的价值较高;生物多样性价值在太白山、终南山及桥峪森林公园的价值较高;美学价值在各森林公园及整个秦岭都较低。

从秦岭旅游规划及多媒体各网站对秦岭的评价可知,游憩价值相对较符合实际情况,而美学价值和实际不符,美学价值指数偏低。例如华山和终南山都是秦岭观光的好去处,而转移出来的价值指数都为0,除了TBS自身美学价值较高(M-VI=6)外,其余森林公园的美学价值都不高。总体而言,游憩价值转移效果较好,而美学转移效果欠佳。

表5 森林公园及秦岭山地社会价值指数的最大最小值和平均值

Table 5 Maximum, minimum and average distribution regions of social value index in the Qinling Mountains and Scenic Spots

名称 Name	R-min	R-max	R-mean	A-min	A-max	A-mean	C-min	C-max	C-mean	B-min	B-max	B-mean
太白山 Taibai Mountain	0	4	1.50	0	6	0.10	0	4	1.12	0	8	1.25
牛背梁 Niubeiling	2	3	2.33	0	0	0	0	1	0.67	1	1	1
通天河 Tongtianhe	1	2	1.50	0	0	0	0	1	0.50	1	1	1
天台山 Tiantai Mountain	0	3	1.10	0	0	0	0	2	0.60	0	2	0.80
红河谷 Honghegu	0	1	0.50	0	0	0.07	0	1	0.50	0	1	0.50
翠峰山 Cuifeng Mountain	0	2	0.67	0	0	0	0	2	0.67	0	1	0.44
黑河 Heihe	1	6	3.75	0	0	0	1	3	1.50	0	2	1
楼观台 Louguantai	0	5	0.92	0	3	0.01	0	4	0.90	0	3	0.65
天华山 Tianhua Mountain	0	9	1.22	0	0	0	0	4	0.74	0	7	1.05
朱雀 Zhuque	0	3	1.43	0	1	0.18	0	2	0.86	0	3	0.65
太平 Taiping	2	4	3	0	0	0	1	2	1.33	0	7	1.05
太兴山 Taixing Mountain	0	2	1	0	0	0	0	1	0.87	0	1	0.86
终南山 Zhongnan Mountain	1	5	2.33	0	0	0	0	4	1.33	0	3	1.33
华山 Huashan Mountain	0	5	1.50	0	0	0	0	4	1.57	0	1	0.62
桥峪 Qiaoyu	0	2	0.87	0	0	0	0	2	0.75	0	3	1.33
少华山 Shaohua Mountain	0	2	1.29	0	0	0	0	2	0.71	0	4	0.79
王顺山 Wangshun Mountain	0	2	1	0	1	0	0	1	0.80	0	2	0.86
木王 Muwang	0	6	1.27	0	0	0	0	2	0.45	1	1	1
秦岭山地 Qinling Mountains	0	9	0.68	0	7	0.09	0	10	0.78	0	9	0.61

R-min、R-max、R-mean、A-min、A-max、A-mean 分别表示秦岭山地游憩价值、美学价值的最小最大及平均值;C-min、C-max、C-mean、B-min、B-max、B-mean 分别表示秦岭山地文化教育价值和生物多样性价值的最小最大及平均值

2.2.2 秦岭山地社会价值和环境变量的关系

图7为秦岭山地社会价值指数与高程平均值、坡度平均值的关系图,高程和社会价值指数的关系如下:游

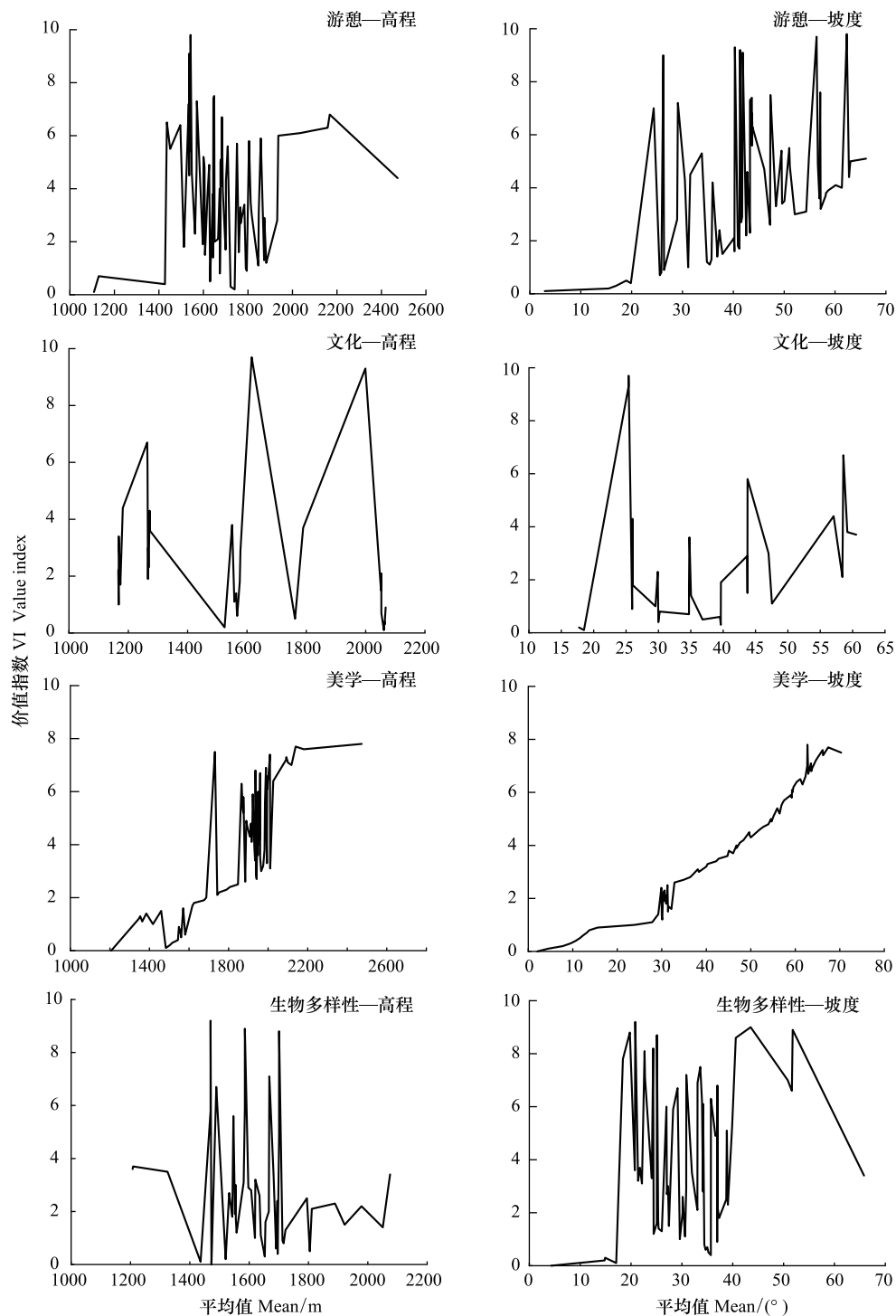


图6 NBL 环境变量和价值指数的关系

Fig.6 The relationship between social value index and environmental variables in NBL

憩价值集中于 1300—1700m;文化价值分布在 400—3600m,无明显集中分布;美学价值集中于 1000—1500m,高价值点少;生物多样性价值集中于 1200—1800m。坡度和社会价值指数的关系如下:游憩价值分布于 15°—60°间,集中于 25°—35°;文化价值分布于 20°—50°间,集中于 25°—35°;美学价值在 20°—30°较集中,高价值点少;生物多样性价值分布于 10°—60°,集中于 25°—35°间。总体而言,高程 1000—2000m、坡度 25°—35°处,社会价值的分布较集中,是游客对社会价值感知较高的地区。

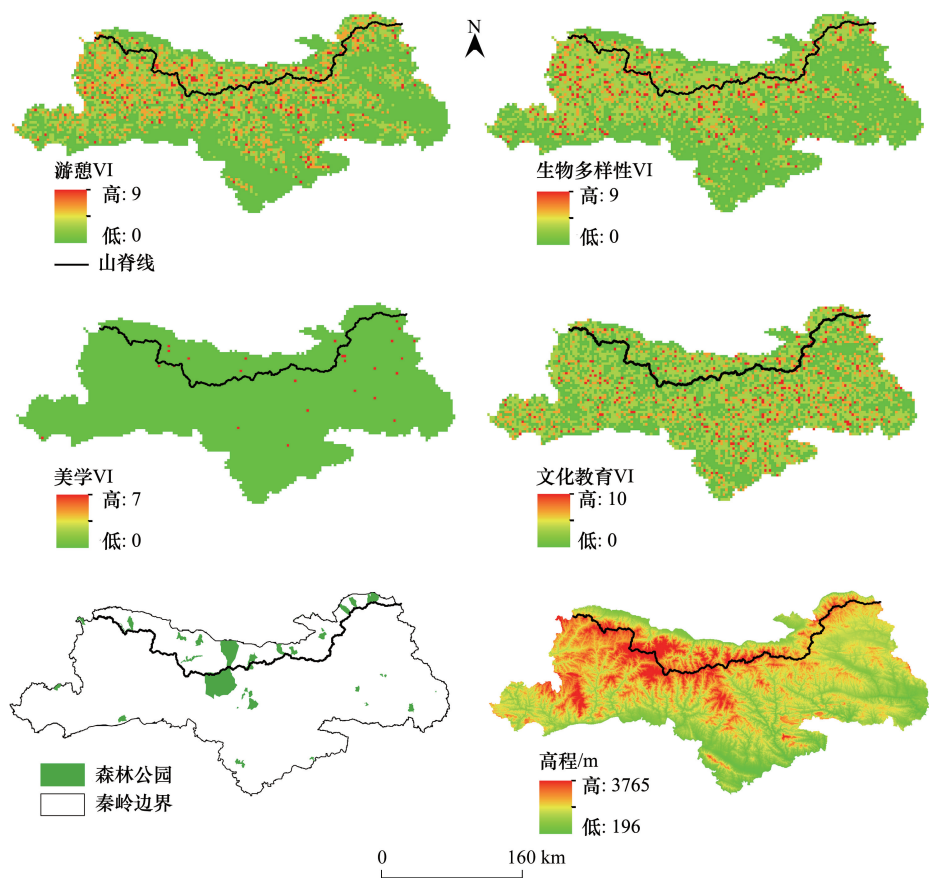


图 7 秦岭山地的社会价值和数字高程 (DEM) 图

Fig.7 The map of social values and digital elevation in the Qinling Mountains

2.3 两种不同尺度输出结果的差异

2.3.1 社会价值指数与 DEM 的关系

利用 ArcGIS 中栅格图层的相关关系工具,分析社会价值指数和 DEM 的关系。其方法为 Spatial Analyst (空间分析)→Multivariate(多元分析)→Band Collection Statistics(波段集统计),计算结果表明在不同尺度下社会价值指数与 DEM 的关系不尽相同(表 6)。具体为:NBL 的游憩价值指数与 DEM 负相关(相关系数为 -1.166),秦岭山地的游憩价值指数与 DEM 正相关(相关系数为 0.370);NBL 的生物多样性价值指数与 DEM 负相关(相关系数为-0.02),秦岭山地的生物多样性价值指数与 DEM 正相关(相关系数为 0.45);文化教育价值指数与 DEM 均为负相关,但 NBL(相关系数为-0.345)的相关性比秦岭山地(-0.02)高;美学价值指数在 NBL 与 DEM 正相关(相关系数为 0.319),在秦岭山地负相关(相关系数为-0.028)。从上可知,相同的统计模型进行价值转移输出的结果,在不同空间尺度与环境变量的关系并不完全相同。

表 6 社会价值指数及与 DEM 的关系

社会价值类型 Social value type	Table 6 The relationship between social value index and DEM			
	NBL-VI 与 DEM 的协方差 Covariance of NBL-VI and DEM	NBL-VI 与 DEM 的相关系数 Correlation coefficient of NBL-VI and DEM	QL-VI 与 DEM 的协方差 Covariance of QL-VI and DEM	QL-VI 与 DEM 的相关系数 Correlation coefficient of QL-VI and DEM
游憩价值 Recreation	0.316	-1.166	0.509	0.370
生物多样性价值 Biodiversity	0.421	-0.020	0.326	0.45
文化教育价值 Cultural	0.598	-0.345	0.404	-0.025
美学价值 Aesthetic	0.760	0.319	0.006	-0.028

协方差为正,表明有相关关系;NBL-VI 为牛背梁国家森林公园的价值指数;QL-VI 为秦岭山地的价值指数

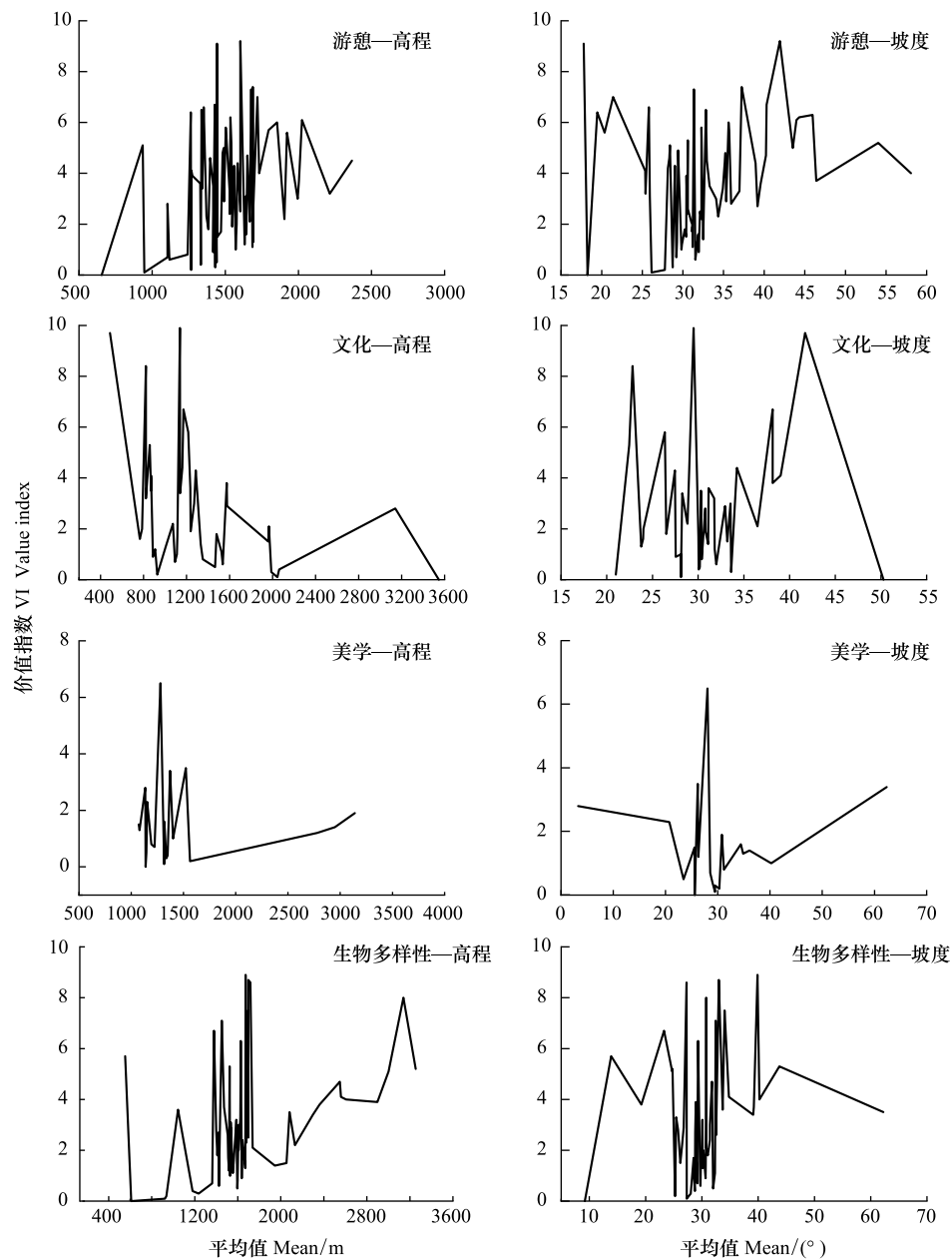


图8 秦岭山地环境变量和价值指数的关系

Fig.8 The relationship between social value index and environmental variables in the Qinling Mountains

2.3.2 不同尺度下社会价值指数与坡度的关系

从坡度的关系图得出(图7、图8),秦岭山地的社会价值指数主要分布于25°—35°间,NBL的社会价值指数和坡度的关系并不明显,游憩价值在40°—45°分布较集中,生物多样性集中于20°—40°,其他两种价值和坡度的关系无明显规律。

3 讨论

3.1 尺度对自然地理和社会经济背景的影响

SolVES模型的价值转移子模型是有背景有条件的转移,要求自然地理和社会经济背景相似。自然地理背景包括地形地貌、高程、土地利用、水体、坡度等,社会经济包括受调查者的性别、年龄、收入、职业等。TBS和NBL景观上都以森林为主体,海拔相对较高,以自然风光为主,两者的自然地理和社会经济背景足够相似,

转移出来的游憩和美学价值和景区规划较为符合。

TBS 和秦岭山地相比, TBS 是秦岭山地森林公园的代表, 但秦岭山地不只有森林公园, 还有河谷等其他地理要素, 特别是北坡河谷, 形成了典型的“七十二峪”, 供游客观景游憩。地理空间数据在幅度、频率、形状及方向等发生变化后, 再进行观测和分析时, 其结果也会随之发生改变, 称为尺度效应^[36-37]。随着尺度上推, 包含的自然地理要素增加, 转移的社会价值并不能涵盖新增自然地理要素产生的社会价值, 因此转移价值和实际价值可能会产生较大差异。

3.2 研究地价值点分布的影响

以游憩和美学价值来说, 从表 2 可以得出, 美学价值的 R 值为 0.04, 游憩价值的 R 值为 0.13, 表明美学价值在 TBS 分布非常聚集, 而游憩价值的分布相对分散。Maxent 模型在统计价值点和环境变量的关系时, 价值分布越聚集, 得出的与环境变量有关的信息越少, 符合价值点分布的环境范围越窄, 造成价值转移时符合价值点分布的潜在目标点减少, 从 NBL 和秦岭山地美学价值分布图及和环境变量的关系图都可以得到证实。游憩价值的聚集程度没美学价值高, 转移出的社会价值点(有价值的)相对较多。因此, 研究地价值点过度聚集, 对转移效果会产生一定的影响。

3.3 评估方法的应用优势

价值转移是一种快速的评价方法, 能够对无调查数据的地区进行社会价值评估。SolVES 模型的价值评估能够直观的反应社会价值指数及其空间分布规律, 能够识别价值的冷点和热点区域, 对环境管理、空间规划及景点规划具有一定的指导作用。同时, 该模型采用价值指数的形式实现生态系统文化服务的评估, 使生态系统服务的价值评估向前推进。

4 结论

本文利用 SolVES 模型的价值转移子模型将 TBS 的社会价值转移到 NBL 和秦岭山地, 并对转移结果进行了对比。结果表明: NBL 的游憩价值在羚牛谷山水观光游憩区较高, 美学价值在高山风光区较高, 与景区规划接近; NBL 的生物多样性和文化教育的价值分布规律性不明显; 秦岭山地的游憩价值在森林公园相对较高, 与高程正相关, 海拔高处分布较密集; 秦岭山地的美学价值高值点偏少且分布规律不明显; 秦岭山地的生物多样性价值与高程正相关, 海拔高的区域分布较密集, 山脊线附近较集中; 秦岭山地的文化教育价值和高程负相关, 主要分布在高程较低的位置。

利用相同的统计模型进行不同尺度的转移, 输出结果存在差异。尺度上推后, 新增地理环境要素或要素整合会对社会价值产生影响, 引起转移价值和实际价值差异较大, 在选取转移模型时要根据结果的用途来决定转移结果是否有效。研究地的价值点过度聚集, 会引起统计模型数据偏少, 可能会增加误差率, 应加以注意。综上所述, SolVES 模型是一个能快速、便捷进行社会价值评估的工具, 但存在误差, 利用时一定要根据决策地所需的研究精度慎重选择统计模型。本文研究能为利用 SolVES 模型转移方法对社会价值评估的研究者提供参考。

参考文献 (References):

- [1] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin, R G, Sutton P, Van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press, 1997: 1-10.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Washington DC: Island Press, 2003: 50-59.
- [4] Costanza R. The value of the ecosystem services. *Ecological Economic*, 1998, 25(1): 1-2.
- [5] 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. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- [6] 谢高地, 鲁春霞, 肖玉, 郑度. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估. *山地学报*, 2003, 21(1): 50-55.
- [7] Gissi E, Burkhard B, Verburg P H. Ecosystem services: building informed policies to orient landscape dynamics. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 2015, 11(3): 185-189.
- [8] Carpenter S R, DeFries R, Dietz T, Mooney H A, Polasky S, Reid W V, Scholes R J. Millennium ecosystem assessment: research needs. *Science*, 2006, 314(5797): 257-258.

- [9] Chan K M A, Satterfield T, Goldstein J. Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecological Economics*, 2012, 74: 8-18.
- [10] Daniel T C, Muhar A, Arnberger A, Aznar O, Boyd J W, Chan K M A, Costanza R, Elmqvist T, Flint C G, Gobster P H, Grêt-Regamey A, Lave R, Muhar S, Penker M, Ribe R G, Schauppenlehner T, Sikor T, Soloviy I, Spierenburg M, Taczanowska K, Tam J, von der Dunk A. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(23): 8812-8819.
- [11] Kuma M, Kumar P. Valuation of the ecosystem services: a psycho-cultural perspective. *Ecological Economics*, 2008, 64(4): 808-819.
- [12] Daily G C, Polasky S, Goldstein J, Kareiva P M, Mooney H A, Pejchar L, Ricketts T H, Salzman J, Shallenberger R. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 21-28.
- [13] Wainger L A, King D M, Mack R N, Price E W, Maslin T. Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions? *Ecological Economics*, 2010, 69(5): 978-987.
- [14] Sherrouse B C, Clement J M, Semmens D J. A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services. *Applied Geography*, 2011, 31(2): 748-760.
- [15] Sherrouse B C, Semmens D J, Clement J M. An application of Social Values for Ecosystem Services (SolVES) to three national forests in Colorado and Wyoming. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 68-79.
- [16] Brown G G, Reed P. Public participation GIS: a new method for use in national forest planning. *Forest Science*, 2009, 55(2): 166-182.
- [17] 赵玲. 基于价值转移法的自然资源游憩价值评价研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [18] Brander L M, Wagtendonk A J, Hussain S S, McVittie A, Verburg P H, de Groot R S, van der Ploeg S. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A meta-analysis and value transfer application. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 62-69.
- [19] Brander L M, Bräuer I, Ghermandi A, Kuik O, Markandya A, Navrud S, Nunes P A L D, Schaafsma M, Vos H, Wagtendonk A. Using meta-analysis and GIS for value transfer and scaling up: Valuing climate change induced losses of European wetlands. *Environmental and Resource Economics*, 2012, 52(3): 395-413.
- [20] Chaikumbung M, Doucouliagos H, Scarborough H. The economic value of wetlands in developing countries: A meta-regression analysis. *Ecological Economics*, 2016, 124: 164-174.
- [21] Ghermandi A, Sheela A M, Justus J. Integrating similarity analysis and ecosystem service value transfer: Results from a tropical coastal wetland in India. *Ecosystem Services*, 2016, 22: 73-82.
- [22] Troy A, Wilson M A. Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 435-449.
- [23] Phillips S J, Dudik M, Schapire R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling//Proceedings of the twenty-first International Conference on Machine Learning. Banff, Alberta, Canada: ACM, 2004: 83.
- [24] Sherrouse B C, Semmens D J. Social Values for Ecosystem Services, Version 3.0 (SolVES 3.0) — Documentation and User Manual. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2015.
- [25] 王玉, 傅碧天, 吕永鹏, 杨凯, 车越. 基于 SolVES 模型的生态系统服务社会价值评估——以吴淞炮台湾湿地森林公园为例. *应用生态学报*, 2016, 27(6): 1767-1774.
- [26] 马桥, 刘康, 高艳, 李影, 范亚宁, 古超. 基于 SolVES 模型的西安浐灞国家湿地公园生态系统服务社会价值评估. *湿地科学*, 2018, 16(1): 51-58.
- [27] 高艳, 刘康, 马桥, 李影, 范亚宁, 李秀清, 古超. 基于 SolVES 模型与游客偏好的生态系统服务社会价值评估——以太白山国家森林公园为例. *生态学杂志*, 2017, 36(12): 3564-3573.
- [28] 赵琪琪, 李晶, 刘婧雅, 秦克玉, 田涛. 基于 SolVES 模型的关中—天水经济区生态系统文化服务评估. *生态学报*, 2018, 38(10): 3673-3681.
- [29] van Riper C J, Kyle G T, Sutton S G, Barnes M, Sherrouse B C. Mapping outdoor recreationists' perceived social values for ecosystem services at Hinchinbrook Island National Park, Australia. *Applied Geography*, 2012, 35(1/2): 164-173.
- [30] Lin Y P, Lin W C, Li H Y, Wang Y C, Hsu C C, Lien W Y, Anthony J, Petway J R. Integrating social values and ecosystem services in systematic conservation planning: a case study in Datuan watershed. *Sustainability*, 2017, 9(5): 718.
- [31] Sherrouse B C, Semmens D J. Validating a method for transferring social values of ecosystem services between public lands in the Rocky Mountain region. *Ecosystem Services*, 2014, 8: 166-177.
- [32] 霍思高, 黄璐, 严力蛟. 基于 SolVES 模型的生态系统文化服务价值评估——以浙江省武义县南部生态公园为例. *生态学报*, 2018, 38(10): 3682-3691.
- [33] 张晓芹. 西北旱区典型生态经济树种地理分布与气候适宜性研究[D]. 杨陵: 中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心), 2018: 10-11.
- [34] 戚鹏程. 基于 GIS 的陇西黄土高原落叶阔叶林潜在分布及潜在净初级生产力的模拟研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009: 50-52.
- [35] 张扬, 白红英, 苏凯, 黄晓月, 孟清, 郭少壮. 1960-2013 年秦岭陕西段南北坡极端气温变化空间差异. *地理学报*, 2018, 73(7): 1296-1308.
- [36] 胡云锋, 徐芝英, 刘越, 艳燕. 地理空间数据的尺度转换. *地球科学进展*, 2013, 28(3): 297-304.
- [37] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. *生态学报*, 2001, 21(12): 2096-2105.