

DOI: 10.5846/stxb201803300678

胡蕾, 吴健, 李海萍. 生态系统服务与居民收入的耦合关系及影响因素研究——以丽江拉市海流域为例. 生态学报, 2018, 38(18): - .

Hu L, Wu J, Li H P. The coupling relationship between ecosystem services and residents' income and its impact factors: a case study of the Lashihai basin in Lijiang, Yunan. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(18): - .

生态系统服务与居民收入的耦合关系及影响因素研究 ——以丽江拉市海流域为例

胡 蕾, 吴 健*, 李海萍

中国人民大学环境学院 北京 100872

摘要: 生态保护与社会经济发展的耦合关系极大地影响当地可持续性能力。以丽江拉市海流域为例, 研究一个流域内生态系统服务与居民收入的耦合关系及其影响因素。文章运用 InVEST 模型和实地调研访谈方法计算流域内各自然村 2015 年生态系统服务供给数量和农民人均总收入, 引入耦合协调度量化衡量二者的耦合关系, 并通过相关分析, 探究流域内差异化的生计方式和生计资本对生态系统服务与居民收入耦合关系的影响。研究表明: (1) 生态系统服务的供给存在空间差异, 流域内水源涵养、土壤保持、森林固碳服务集中在流域上游; (2) 流域内自然村间的生态系统服务与居民收入的耦合关系存在空间差异和一定的规律, 湖泊东面的自然村能够通过特定的生计方式, 获取生态系统的产品供给和文化服务所带来的收益, 总体呈现较优的耦合协调关系; (3) 当地居民的生计方式中, 生态旅游与耦合关系具有显著正相关关系, 而外出务工与耦合关系具有显著的负相关关系。尽管外出务工对于直接提高当地居民收入的促进作用较小, 但其可能通过“智力回流”的方式提高了当地居民开展新型生计的能力。自然资本中人均耕地面积等可利用的自然资本与耦合关系显著正相关。金融、人力、社会资本的相关性尽管不显著, 但其系数符号表明, 该类生计资本的存量可能对促进生态系统服务与居民收入的耦合协调有积极作用。基础设施中的路网密度与耦合协调度呈显著负相关, 在具有生态脆弱性、重要性的区域建设公路时需谨慎评估对生态系统结构和功能的影响。

关键词: 生态系统服务; 居民收入; 耦合协调度

The coupling relationship between ecosystem services and residents' income and its impact factors: a case study of the Lashihai basin in Lijiang, Yunan

HU Lei, WU Jian*, LI Haiping

School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract: The coupling relationship between ecological conservation and economic development greatly impact the sustainability of local society. This paper conducted an empirical research in the Lashihai Basin, simulating the supply of ecosystem services using the InVEST model and gathering socioeconomic data through field surveys. The coupling coordination degree was introduced to quantify the coupling relationship between ecosystem services and residents' income. The results showed that: (1) a spatial difference in the supply of ecosystem services existed in the basin. Water conservation, soil retention, and carbon sequestration services were concentrated in the upper reaches of the basin; (2) the types of coupling relationships were different among natural villages, and those on the east side of the lake, which could benefit from ecological conservation via certain livelihoods, showed a better coupling relationship than others; (3) the correlation between ecotourism and coupling coordination was significantly positive, whereas that between outside

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571519)

收稿日期: 2018-03-30; 修订日期: 2018-07-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianwu@ruc.edu.cn

employment and coupling coordination was negative. Migrant workers, who might have a relatively small direct income contribution, could increase the ability of local residents to develop new livelihoods, such as ecotourism through “return of intelligence.” In natural capital, the per capita arable land area had a significant positive correlation with the coupling relationship. The sign of coefficient of financial, human, and social capital was positive, although not significant. Road density had a negative correlation with the coupling coordination degree, implying that the impact of constructing highways in ecologically fragile and important regions should be carefully assessed.

Key Words: Ecosystem services; residents' income; coupling coordination degree

过去 20 年我国开展了一系列大型或超大型的生态保护工程,在生态保护领域取得了巨大成效^[1]。十九大报告将生态保护工作提高到“中华民族永续发展的千年大计”的战略高度,希望通过实行最严格的生态环境保护制度以满足人民日益增长的优美生态环境需要。然而在依靠自然资源进行生产发展的农村地区,生态系统服务的供给往往与居民的收入是脱节的^[2]。正如 1993 年 Auty 提出的“资源诅咒”,即自然资源丰富的地区经济增长反而受到制约^[3]。研究表明,我国生态环境脆弱性或生态环境重要性与经济贫困存在明显的耦合关系^[4-5],这说明生态系统服务与居民收入脱节的情况在中国真实存在。2016 年国务院印发的《关于健全生态保护补偿机制的意见》指出,“结合生态补偿推进精准扶贫,对于生存条件差、生态系统重要、需要保护修复的地区,结合生态环境保护与治理,探索生态脱贫新路子”^[6],这要求我国的生态保护举措需要考虑保障关键性的自然资本和削减贫困的双重目标,从而达到人与自然和谐共处,经济的可持续发展^[7]。因而在具有生态重要性、脆弱性的地区,如何协调生态保护与社会经济发展的关系以达到相互促进和协调共生的目标,成为中国走向生态文明新时代和中华民族可持续发展面临的关键问题。

生态系统服务是连接自然生态系统和人类社会经济系统的桥梁,千年生态系统评估中明确提出,生态系统服务与人类福祉之间的研究将成为现阶段生态学研究的核心内容,并引领 21 世纪生态学发展的新方向^[8]。自此之后,大量学者们构建相关的概念与框架以指导社会和生态综合系统的研究,一些框架中强调了生计方式、生计资本、生态系统管理在服务向人类福祉转化过程中起到的关键作用^[2,9-10]。已有的实证研究中,Tschakert 通过一个小尺度实证案例说明如何将生态系统服务(增加固碳)转化为扶贫的具体项目,促进当地居民收入的增加,减缓贫困;Comin 等以贫困化作为人类福祉的代用指标,分析了贫困与生态系统服务之间的联系^[11];Erwin H. Bulte 等分析了生态系统服务付费在特定环境和政策设计情景下对生态保护和减缓贫困两个目标的影响^[12]。王大尚等在密云水库上游流域生态系统服务供给评价的基础上,以农户收入作为居民福祉的指标,根据生态系统服务与居民福祉在空间上的聚集特征划分服务福祉模式,并针对性地提出了管理措施^[13]。学者们构建了不同的评价指标,并使用多样的统计分析方法,如耦合协调度、空间相关性的相关指数和经济环境协调指数等,对我国不同地区脆弱生态环境与经济贫困耦合关系的空间分布格局、环境质量与人均可支配收入的空间相关性等进行分析,揭示了我国生态环境脆弱性与经济贫困耦合共存的现象^[4-5,14-15]。综合已有研究发现,尽管概念框架研究中强调了自然禀赋、生计方式、各类生计资本、生态系统管理的重要性,但鲜有生态环境与居民福祉耦合关系的影响因素的实证分析,这导致现实决策中缺乏依据,从而难以采取科学管理措施以促进二者的耦合协调。

基于我国生态扶贫的现实需求,以及对生态系统服务与居民收入耦合关系及影响因素的研究需要,本文选取丽江市拉市海流域作为研究区域,探究生态系统服务与农村居民收入的耦合关系及影响因素。本文首先利用 InVEST 模型评估研究区域 2015 年生态系统调节服务的供给水平,刻画其空间分布格局,并通过实地调研获取流域内居民收入水平及其他社会经济特征数据,在此基础上,运用耦合模型定量分析生态系统服务与居民收入水平的耦合关系,找到影响耦合关系的关键因素,为促进生态保护与经济协调和探索生态扶贫新路子提供思路。

1 研究区概况

研究区拉市海流域位于云南省丽江市玉龙县,是一个四周高山封闭、中心形成湖泊的天然流域,面积 241.1 km²。流域跨玉龙县拉市、太安 2 个乡,共有 8 个行政村,30 个自然村。2015 年流域内共有居民 4453 户,18343 人。流域地理位置及自然村分布如图 1 所示。

拉市海流域拥有云南高原保存较为完整的湿地生态系统,其生态环境保护与维持对生物多样性保护及区域经济发展有着重要意义。一方面,由于地处候鸟飞越青藏高原的第一个台地,是候鸟迁徙路线上的重要栖息地,流域的生物多样性、珍稀濒危物种及其特有程度在全国有着特殊地位。另一方面拉市海流域森林资源丰富,属于长江上游金沙江林区,所处的地理位置特殊,保持水土、蓄洪防旱,均化长江中下游水量的生态功能极为重要。同时,拉市海流域为周边社区赖以生存的重要资源,当地利用拉市海水面高程,通过修建引水隧道将拉市海湖水引入丽江坝和七河坝,成为当地农田灌溉、城市用水和景观用水的重要水源,是丽江市经济社会可持续发展的重要保障。

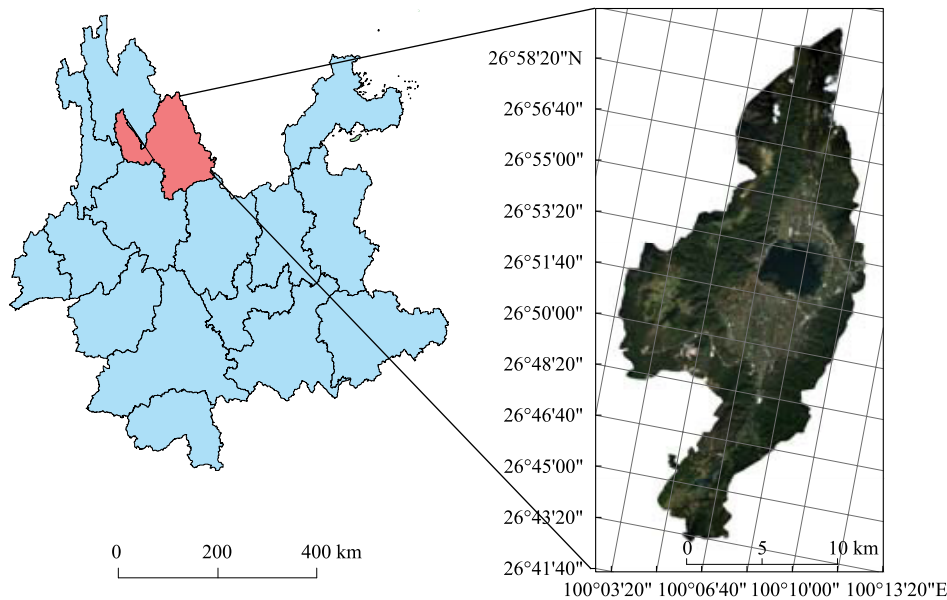


图 1 拉市海流域地理位置

Fig.1 Location of Lashihai Basin

由于特殊的地理位置和资源禀赋,近 20 年来,拉市海地区一直是国家和地方各种生态保护政策的重点执行区域或政策试点区域。1998 年国家将拉市海所在全县划入天保工程范围,禁止砍伐;同年云南省政府正式批准建立丽江拉市海高原湿地省级自然保护区;2000 年,拉市海地区被划入首批退耕还林工程的试点范围;2004 年底被列入“拉姆塞尔国际重要湿地”,2017 年研究区域已被《云南省生态保护红线划定方案(征求意见稿)》划入生态保护红线区。生态保护工程的开展,对居民生产生活产生显著影响。为寻找替代生计,当地先后兴起生态旅游、特色种植等项目,并迅速提高了部分居民的收入。2015 年流域内农民年人均总收入为 9979 元,收入最高的自然村——海西村农民年人均总收入为 22500 元,最低的自然村——格乐村农民年人均总收入仅有 2202 元,远低于国家贫困线标准农民年人均纯收入 2800 元^[16]。流域内不同自然村发展极不均衡,提高居民收入的任务仍然十分紧迫。

拉市海流域具有生态保护的必要性和重要性,同时居民社会经济特征差异明显,是研究生态系统服务与居民收入耦合关系及影响因素的典型案例区。

2 研究方法

2.1 生态系统服务评估方法

鉴于国家对拉市海流域生态保护的主要目标和数据可得性,本研究重点评估流域水源涵养、土壤保持、水质净化和森林固碳等四项调节服务。通过 InVEST 模型中泥沙传输率(SDR)、营养物质传输率(NDR)、固碳(Carbon)模块评估土壤保持、水质净化和森林固碳服务,基于水量平衡原理计算水源涵养服务。

(2) 水源涵养服务

水源涵养是生态系统通过对降水的截留、渗透、蓄积、蒸散发等实现对水流、水循环的调控,主要表现在缓和地表径流、补充地下水、减缓河流流量的季节波动、滞洪补枯、保证水质等方面。本文采用水量平衡方程来计算水源涵养量,计算公式为:

$$WC = (P_i - R_i - ET_i) \times 10^{-3} \times A_i$$

式中,WC 为水源涵养量(m^3), P_i 为降雨量(mm), R_i 为地表径流量(mm), ET_i 为蒸散发(mm), A_i 为土地利用类型面积(m^2)。

(2) 土壤保持服务

InVEST 模型 SDR 模块主要基于修正通用土壤流失方程(USLE)定量评估不同土地利用类型上的年平均土壤保持量,基本原理如下:

$$usle_i = R_i \cdot K_i \cdot LS_i \cdot C_i \cdot P_i$$

式中, $usle_i$ 为土壤侵蚀量(t), R_i 为降雨侵蚀力 $MJ\ mm\ ha\ a^{-1}$, K_i 为土壤可蚀性($t\ ha\ hr\ (MJ\ ha\ mm)^{-1}$), LS_i 为坡长-坡度因子, C_i 为作物管理因子, P_i 为支持措施因子。

(3) 水质净化服务

InVEST 模型 NDR 模块用于评估生态系统中植被和土壤的水质净化服务,主要运用植被和土壤可以通过储存和转换等方式移除或减少径流中的营养盐污染物以达到净化水质的作用。该模型主要算法为:

$$ALV_x = HSS_x \cdot pol_x$$

式中, ALV_x 是经栅格 x 修正的输出值, pol_x 代表栅格 x 的输出系数, HSS_x 代表栅格 x 的水文敏感度,计算方式如下:

$$HSS_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_w} = \frac{\log(\sum U Y_u)}{\lambda_w}$$

式中, λ_w 代表研究区域中平均径流指数, λ_x 代表栅格 x 的径流指数,等于 $\sum U Y_u$,代表栅格 x 以上的径流路径内的栅格产水量总和(包括 x 自身的产水量)。

(4) 固碳服务

一个地块的碳贮存量取决于 4 个“碳库”的体量:地上生物量、地下生物量、土壤以及死亡的有机物质。InVEST 模型 Carbon 模块根据当地土地利用图与土地利用分类对当地这些碳库的碳储量进行整合,计算原理如下:

$$C = C_above + C_below + C_soil + C_dead$$

2.2 生态系统服务与居民收入耦合协调度

1999 年廖重斌^[17]对环境与经济协调发展的概念进行论述,并推导出协调度和协调发展度的计算模型,在之后的研究中逐渐演变成耦合度、协调度及耦合协调度等计算模型,其中耦合协调度被广泛用于分析两系统在空间上的相关关系,在生态保护领域耦合协调度被用于分析生态环境质量与经济贫困^[4]、生态资产与经济贫困以及生态环境质量与经济发展^[5]的关系。耦合协调度模型如下:

$$K = \sqrt{C \cdot T}$$

$$C = \left[\frac{U_1 U_2}{(\alpha U_1 + \beta U_2)^2} \right]^3$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2$$

式中, K 为耦合协调度; C 为耦合度; T 为综合得分。 U_1 为居民收入指数; U_2 为生态系统服务指数, α 、 β 为待定系数,本文认为生态系统服务供给与农村居民收入同等重要,因而两者都取 0.5。耦合度 C 表征系统间相互影响的强弱程度,综合得分 T 表达生态系统服务与收入的综合效益,耦合协调度 K 为耦合度与综合得分的几何平均数,综合评估耦合度的强弱大小和协调水平的健康程度,可更好地表征生态系统服务与居民收入相互作用、良性耦合的程度。

2.3 数据来源与处理

InVEST 模型所需输入数据包括土地利用/土地覆盖数据、气象数据(降水量、蒸散量、降雨侵蚀力等)、土壤数据(土壤可蚀性、土壤深度、土壤有效含水量等)以及生物物理参数等。本研究使用的土地利用数据由 2015 年 SPOT 6 卫星影像解译得到,利用 1:100 万土壤类型图和宋春风等^[18]相关文献数据空间化得到土壤可蚀性数据,降水量、蒸散量、降雨侵蚀力等气象数据以及土壤有效含水量数据来源于国家地球系统科学数据共享服务平台,DEM 数据由全球环境基金(GEF)长江流域自然保护与洪水控制项目提供。模型中所需的生物物理参数包括氮输出系数、氮去除效率、土壤截留率、碳密度等参考已有文献值^[19-24]。

为实现自然生态系统与社会经济系统的整合研究,本研究中分析单元为边界清晰的 29 个自然村。研究所需社会经济数据来源于村小组组长访谈,汇总村小组数据得到自然村数据,包含农民年人均总收入、经营旅游活动人口比重、外出务工人员比重、林果种植面积占耕地总面积比重、高中以上学历人口比重、贫困人口比重、村民互相信任与合作程度等。

InVEST 模型输出结果采用 Max-Min 标准化方法进行无量纲处理,其中氮输出量的处理按负向指标 Max-Min 标准化公式做相应调整。标准化后的水源涵养量、土壤保持量、氮输出量和碳储量各赋 0.25 的权重形成取值区间为[0,1]的生态系统服务指数,自然村农民年人均总收入同样采用 Max-Min 标准化方法标准化形成居民收入指数。

3 结果分析

3.1 生态系统服务的空间格局

流域内各类调节服务的供给量如表 1 所示,图 2 则展示了各类调节服务的空间分布情况。2015 年流域内共涵养水源 4.17 万 m^3 ,流域四周高山森林生态系统水源涵养服务供给能力最高,而中心湖泊周围由于水面蒸散量大以及人类活动频繁从而水源涵养量较低。2015 年流域共截留土壤 552.55 万 t,最终进入湖泊的土壤量为 9.27 万 t。中心坝区土壤保持服务供给较少,而流域上游南尧村、海西村、吉子村由于地势陡峭,较易产生土壤侵蚀,同时森林生态系统截留的土壤也较多。流域共向湖泊输出总氮 57.41 t,平均氮输出量为 0.28 g/m^2 。氮输出主要集中于拉市海北部和南部,这些区域沿着自北向南汇入拉市海的南尧沙河和自南向北汇入拉市海的老龙开河进入拉市海湖泊。2015 年流域共储存碳 929.61 万 t,单位面积碳储量范围在 229.52—553.44 t/hm。流域内碳储量主要集中于拉市海四周的山地森林区域,呈现出北高南低、西高东低的空间分布格局。

表 1 生态系统服务供给量

Table 1 Supply of ecosystem services

生态系统服务 Ecosystem services	供给量 Quantity of supply	生态系统服务 Ecosystem services	供给量 Quantity of supply
水源涵养 Water conservation//万 m^3	4.17	氮输出 Nitrogen output/t	57.41
土壤保持 Soil retention/万 t	552.55	碳储量 Carbon sequestration/万 t	929.61

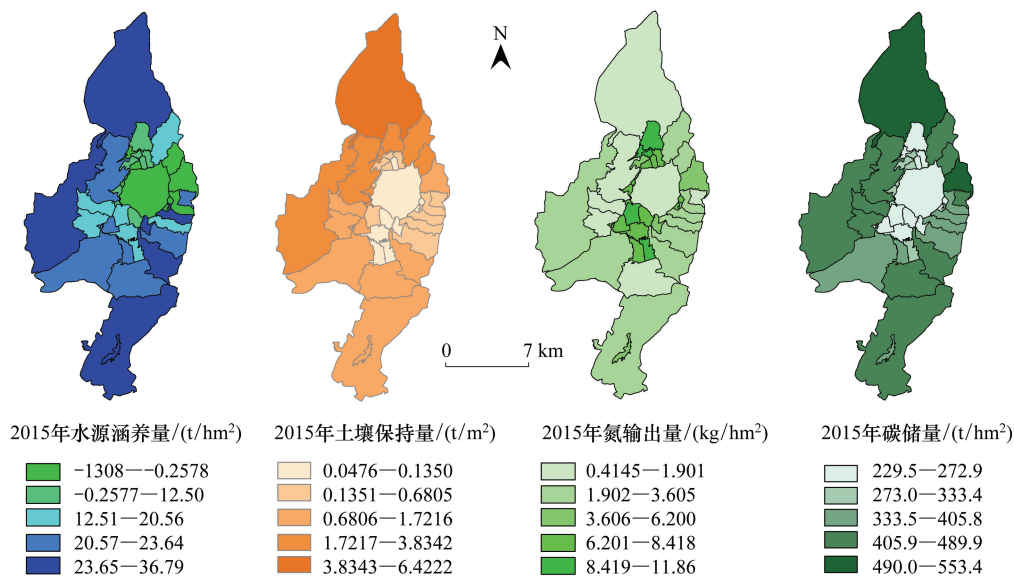


图2 生态系统服务空间分布

Fig.2 Spatial distribution of ecosystem services

3.2 生态系统服务与居民收入耦合协调度

根据耦合协调度模型,可计算得到研究区域 2015 年协调度、综合得分和耦合协调度。本研究根据曹诗颂等^[4]的研究成果以及研究区域的实际情况和研究需要,将耦合协调度分为 4 类,即衰退失调类、濒临衰退失调类、勉强协调发展类和协调发展类,相应的分类区间是 $[0,0.4]$, $(0.4,0.6)$, $(0.6,0.8)$, $(0.8,1.0)$,耦合协调度类别频数统计及空间分布情况见图 3 和图 4。

如图 3 所示,拉市海流域内属于衰退失调类自然村数量最多,占自然村总数的 1/3,属于衰退失调类与濒临衰退失调类的自然村占总数的一半,说明这些自然村仍不能做到生态保护与社会经济同步发展。属于勉强协调发展类与协调发展类的自然村分别有 7 个和 8 个,超过总数的一半,这些自然村生态系统服务与居民收入相互促进,从而达到良性循环。从空间上来看,调节服务的供给与自然村农民年人均总收入的耦合协调关系具有显著空间差异,湖泊东面自然村耦合协调程度总体优于湖泊北面、南面和西面的自然村。协调发展类和勉强协调发展类自然村生态系统服务供给与居民收入均较高,这些自然村一部分以开展生态旅游为主要生计,如美泉、正盛、安上、安中村等,一部分以种植特色农产品为主要生计,如种植洋葱的吉子村、海西村,种植丽江雪桃的余乐、吉乐村。

从空间上来看,调节服务的供给与自然村农民年人均总收入的耦合协调关系具有显著空间差异,湖泊东面自然村耦合协调程度总体优于湖泊北面、南面和西面的自然村。协调发展类和勉强协调发展类自然村生态系统服务供给与居民收入均较高,这些自然村一部分以开展生态旅游为主要生计,如美泉、正盛、安上、安中村等,一部分以种植特色农产品为主要生计,如种植洋葱的吉子村、海西村,种植丽江雪桃的余乐、吉乐村。

3.3 影响因素相关分析

(1) 影响因素选取

提高调节服务与居民收入耦合协调度的关键在于能否通过特定的生计方式实现供给服务、文化服务与调节服务的协同,而生计方式的选择又取决于农户对各类生计资本的配置和使用。英国海外发展部提出的农户可持续生计分析框架中强调生计资本(金融、人力、自然、物质、社会资本)在农村发展中发挥的重要作用^[25], Janet A. Fisher 等^[10]提出的生态系统服务与削减贫困概念框架,他们认为自然禀赋、环境权利、资本(包含基

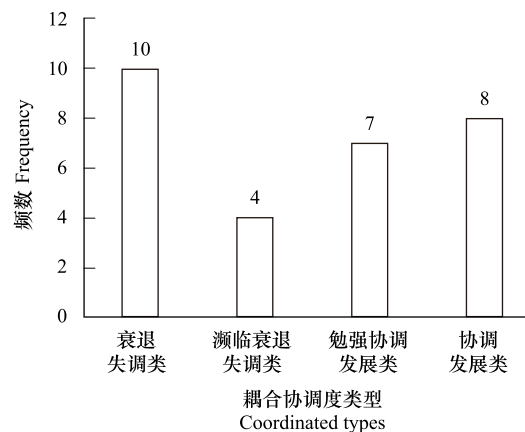


图3 耦合协调度类型频数

Fig.3 Frequency of coordinated types

基础设施等物质资本、人力资本、社会资本和金融资本)、不依赖生态系统而开展的生计方式等因素可影响人们从服务中获取收入的能力,从而影响二者的相关关系。基于以上文献,本文选取生计方式、生计资本两个一级类影响因素,其中生计方式包含外出务工、生态旅游和林果种植三项二级类因素,生计资本包又含金融资本、社会资本、人力资本、物质资本和自然资本五项二级类因素。每种因素均根据当地实际选取了相应的指标,如表 2 所示。

(2) 相关关系分析

如表 3 所示,生计方式中,从事旅游经营人口比重越高,耦合协调程度越好。大量已有研究证实了旅游对促进自然保护区、荒原区域生态保护与经济发展的积极作用, Li H 等人的研究发现旅游业的发展对减少地区收入不平等的贡献显著^[26]。相反地,当地生态系统服务与居民收入的耦合关系并未随着外出务工人口比重的上升而改善,外出务工人口比重与服务收入耦合关系呈现显著的负相关关系。人口流动对流入地和流出地经济发展的影响一直是区域经济学的热点研究问题,许多研究证实了农村剩余劳动力转移与流出地农民收入增长有明显联系^[27],但也有学者指出欠发达地区劳动力市场不是竞争性的,人力资本的流失给农村经济发展带来负面影响^[28]。同时,王西玉认为外出务工的派生现象是回乡创业,“智力回流”将给当地带来新的经济增长机会^[29]。根据对研究区域马队长的访谈发现,50%的马队长曾有外出务工经历,特别是旅游发展较好的美泉村,超过 2/3 的马队长有外出务工经历。根据李应子^[30]对云南省流动人口特点及趋势的分析,云南省流动人口仍以农民工外出务工经商为主要原因,学历以初小学生为主,因此当地外出务工人口比重与服务收入耦合关系呈现负相关可能的原因是外出务工提高农村居民收入的作用有限,但人口回流对当地旅游活动起到积极的促进作用。另一方面人口流动对流出地的环境影响是一个复杂的系统性问题,人口的流动可能影响流出地的消费、环境压力、社会资本结构、农业生产方式从而影响农村环境质量,二者并非是简单的线性关系^[31]。目前我国正在建立国家公园和划定的生态保护红线,将有大量的生态移民工程,若居民选择以外出务工作为替代生计,对农村居民收入以及自然生态系统的影响须谨慎评估和判断。

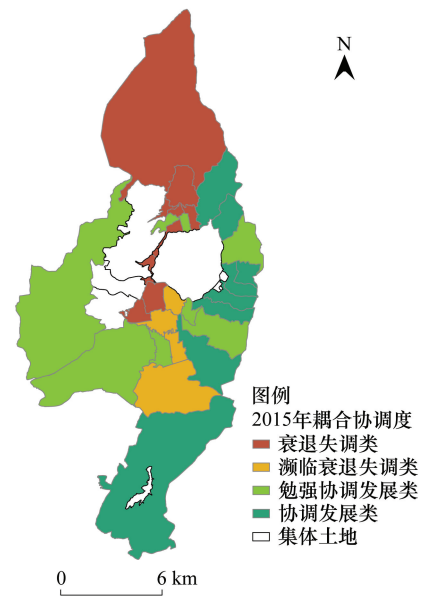


图 4 耦合协调度空间分布

Fig.4 Spatial distribution of coordinated types

表 2 社会经济特征指标

Table 2 Social and economic indicators

一级类 First-level factor	二级类 Second-level factor	指标 Indicator
生计方式 Livelihood	外出务工	外出务工人口比重
	生态旅游	旅游经营人数占总人口比重
	林果种植	林果种植面积占耕地面积比重
生计资本 Livelihood capital	金融资本	贫困人口比重
	社会资本	村民相互信任与合作程度
	人力资本	高中以上学历人口比重
	物质资本	路网密度
	自然资本	海拔
		距拉市海距离
		距丽江市距离
	人均耕地面积	

表 3 影响因素相关分析

Table 3 Correlation analysis of socio-economic factors

影响因素 Factors	指标 Indicators	相关系数 Coefficient	影响因素 Factors	指标 Indicators	相关系数 Coefficient
生计方式 Livelihood	外出务工人口比重	-0.4474 **	物质资本 Physical capital	路网密度	-0.3734 **
	旅游经营人口比重	0.4598 **		自然资本 Natural capital	海拔
	果园占总耕地面积比重	-0.0309	距拉市海距离		0.0935
金融资本 Financial capital	贫困人口比重	-0.1626	距丽江市距离		-0.1971
社会资本 Social capital	村民相互信任与合作程度	0.1656	人均耕地面积	0.4499 **	
人力资本 Human capital	高中以上学历人口比重	0.0874			

** $P < 0.05$

自然资本不具备流动性,其中海拔、距湖泊距离、距丽江市距离与服务收入的耦合协调度的关系在统计意义上不显著,人均耕地面积与耦合协调度有显著的正相关关系。这说明流域内耦合协调度随着人均耕地面积等可直接利用的自然资本增加而提高,调节服务与居民收入的耦合关系则与地理位置、地形等自然特征无明显关系,当然,这很可能是因为受到路网密度等因素的干扰。

金融资本、人力资本、社会资本与耦合协调度的相关性不显著,但从相关系数的符号可以看出,这些资本对于促进二者协调发展有积极作用。代表物质资本中基础设施的路网密度与耦合协调度呈显著负相关。进一步对路网密度与调节服务供给和居民收入的相关分析发现,路网密度与生态系统服务指数在 1% 的显著水平下负相关,而与居民收入指数无显著相关关系,这说明当地修建农村公路对生态环境的影响值得关注。农村公路是基础设施的重要组成部分,已有国内外研究表明,农村公路的建设将会带来更高的农业产出、更高的收入和更多的工资收入机会从而有利于区域社会经济的发展,同时也加大了农村土地资源压力,造成水土资源流失和生态系统功能结构的破坏^[32-33]。已有学者呼吁在农村公路建设的不同阶段开展环境影响评价,以降低公路建设对生态环境的影响。

4 结论

(1) 流域内生态系统服务存在明显的空间差异,流域上游供给能力高。水源涵养、土壤保持、森林固碳服务供给能力较高的区域集中在流域上游,而靠近湖泊,拥有较大滩涂面积的自然村,由于湖泊蒸散量大,水源涵养量较低,由于人类活动频繁,营养物质的输出也集中在流域中间坝区。

(2) 生态系统服务与居民收入的耦合关系存在空间差异。流域近一半自然村生态系统服务与居民收入的耦合协调度较差,而湖泊东侧自然村总体呈现较好的耦合协调关系。开展生态旅游以及特色农产品种植的自然村属于协调发展类,生态系统服务与居民收入呈现协调发展的关系。耦合协调关系的形成主要依赖于居民能否通过特定的生计方式获取生态系统的产品供给和文化服务所带来的收益。

(3) 生计方式和部分生计资本与耦合协调度有显著相关关系,其中外出务工、生态旅游、公路建设的相关性具有政策含义。当地居民的生计方式中,生态旅游与耦合关系具有显著正相关关系,而外出务工与耦合关系具有显著的负相关关系。尽管外出务工对于直接提高当地居民收入的促进作用较小,但其可能通过“智力回流”的方式提高了当地居民开展生态旅游的能力。自然资本中人均耕地面积等可利用的自然资本与耦合关系显著正相关。金融、人力、社会资本的相关性尽管不显著,但其系数符号表明,该类生计资本的存量可能对促进生态系统服务与居民收入的耦合协调有积极作用。基础设施中的路网密度与耦合协调度呈显著负相关,在具有生态脆弱性、重要性的区域建设公路时需谨慎评估对生态系统结构和功能的影响。

本文重点评估了拉市海流域生态系统调节服务与居民收入的耦合关系,发现了耦合关系的空间差异,识别了其主要的因素。耦合关系的空间差异性提示我们,在重点生态功能区、生态红线区、自然保护区等具有生态重要性、脆弱性的区域实施生态保护工程时,应更有针对性地提供补贴和生态补偿,并通过相关政策促进生态保护相关的产业发展,为当地经济发展创造更多机会,促进生态保护与经济协调发展的统一协调。

参考文献 (References):

- [1] 徐志刚, 马瑞, 于秀波, 姜鲁光, 王毅. 成本效益、政策机制与生态恢复建设的可持续发展——整体视角下对我国生态保护建设工程及政策的评价. 中国软科学, 2010, (2): 5-13, 131-131.
- [2] Berbés-Blázquez M, Bunch M J, Mulvihill P R, Peterson G D, van Wendel de Joode B. Understanding how access shapes the transformation of ecosystem services to human well-being with an example from Costa Rica. *Ecosystem Services*, 2017, 28: 320-327.
- [3] Auty R M. Industrial policy reform in six large newly industrializing countries: the resource curse thesis. *World Development*, 1994, 22(1): 11-26.
- [4] 曹诗颂, 王艳慧, 段福洲, 赵文吉, 王志恒, 房娜. 中国贫困地区生态环境脆弱性与经济贫困的耦合关系——基于连片特困区 714 个贫困县的实证分析. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2614-2622.
- [5] 李静怡, 王艳慧. 吕梁地区生态环境质量与经济贫困的空间耦合特征. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1715-1724.
- [6] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于健全生态保护补偿机制的意见. (2016-05-13) [2018-06-05]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-05/13/content_5073049.htm.
- [7] Daily G C, 欧阳志云, 郑华, 李树苗, 王玉宽, Feldman M, Kareiva P, Polasky S, Ruckelshaus M. 保障自然资本与人类福祉: 中国的创新与影响. 生态学报, 2013, 33(3): 677-685.
- [8] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington DC: Island Press, 2005.
- [9] Cruz-Garcia G S, Sachet E, Blundo-Canto G, Vanegas M, Quintero M. To what extent have the links between ecosystem services and human well-being been researched in Africa, Asia, and Latin America? *Ecosystem Services*, 2017, 25: 201-212.
- [10] Fisher J A, Patenaude G, Giri K, Lewis K, Meir P, Pinho P, Rounsevell M D A, Williams M. Understanding the relationships between ecosystem services and poverty alleviation: a conceptual framework. *Ecosystem Services*, 2014, 7: 34-45.
- [11] 李双成. 生态系统服务地理学. 北京: 科学出版社, 2014: 1-20.
- [12] Bulte E H, Lipper L, Stringer R, Zilberman D. Payments for ecosystem services and poverty reduction: concepts, issues, and empirical perspectives. *Environment and Development Economics*, 2008, 13(3): 245-254.
- [13] 王大尚, 李屹峰, 郑华, 欧阳志云. 密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系. 生态学报, 2014, 34(1): 70-81.
- [14] 郝红娟, 蔡广鹏, 韩会庆, 罗绪强. 贵州省贫困发生率与生态系统服务价值相关性分析. 水土保持研究, 2016, 23(5): 274-277, 284-284.
- [15] 魏伟, 石培基, 魏晓旭, 周俊菊, 颀斌斌. 中国陆地经济与生态环境协调发展的空间演变. 生态学报, 2018, 38(8): 2636-2648.
- [16] 姜程. 国务院扶贫办: 我国现行贫困标准已高于世行标准. (2015-12-16) [2018-06-05]. http://www.xinhuanet.com/gongyi/2015-12/16/c_128535730.htm.
- [17] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例. 热带地理, 1999, 19(2): 171-177.
- [18] 宋春风, 陶和平, 刘斌涛, 史展, 郭兵, 华娟. 长江上游地区土壤可蚀性空间分异特征. 长江流域资源与环境, 2012, 21(9): 1123-1130.
- [19] 赵广举, 田鹏, 穆兴民, 高俊峰, 李恒鹏, 张增信. 基于 PCRaster 的流域非点源氮磷负荷估算. 水科学进展, 2012, 23(1): 80-86.
- [20] 吴瑞, 刘桂环, 文一惠. 基于 InVEST 模型的官厅水库流域产水和水质净化服务时空变化. 环境科学研究, 2017, 30(3): 406-414.
- [21] 潘丽娟. 未来土地利用情景下的南京市生态系统水质净化功能模拟[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [22] 孔维健, 周本智, 傅懋毅, 李正才, 谢锦忠, 吴明. 不同土地利用类型水土保持特征研究. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 57-61.
- [23] 邵永昌. 安徽大别山区典型流域降雨径流产沙规律研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
- [24] 韩晋榕. 基于 InVEST 模型的城市扩张对碳储量的影响分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- [25] Scoones I. *Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis*. Brighton, UK: Institute for Development Studies, 1998.
- [26] Li H Y, Chen J L, Li G, Goh C. Tourism and regional income inequality: evidence from China. *Annals of Tourism Research*, 2016, 58: 81-99.
- [27] 王克亚. 河南省农村人口流动及其对流出地经济发展的影响研究[D]. 开封: 河南大学, 2009.
- [28] 乌仁格日乐, 庞立东. 西部欠发达地区农村人力资本流失对经济发展的影响. 经济论坛, 2007, (5): 6-9.
- [29] 王西玉, 崔传义, 赵阳. 打工与回乡: 就业转变和农村发展——关于部分进城民工回乡创业的研究. 管理世界, 2003, (7): 99-109.
- [30] 李应子. 云南省流动人口特点及趋势分析. 兰州教育学院学报, 2016, 32(3): 32-34.
- [31] 张延玲, 朱清海. 人口流动对城乡生态环境和谐的影响研究——以安徽省为例. 西北人口, 2015, 36(4): 11-16.
- [32] 杨光. 农村公路建设对沿线区域发展影响分析及评价方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [33] 陈克杰, 胡士恩, 王林娟. 农村公路建设与资源环境保护的协调发展研究. 交通科技, 2010, (S2): 132-133.