

三峡库区生态系统服务与农户生计耦合模型构建及应用

官冬杰^{1,2}, 孙灵丽¹, 周李磊²

(1.重庆交通大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400074; 2.重庆大学 资源环境科学学院, 重庆 400044)

摘 要:为了研究生态系统服务与农户生计耦合关系,基于三峡库区 1995—2015 年土地利用数据,结合库区情况修正中国不同生态系统当量因子表,对库区不同生态服务价值进行评估;引入农户不同生计资本的评价体系,构建库区耦合度/耦合协调度模型,分析三峡库区生态系统服务与农户生计耦合关系及空间分布规律;再计算各生态系统服务对农户生计贡献率,探讨了生态系统服务对农户生计的影响因素。结果表明:(1) 三峡库区生态系统服务与农户生计极度耦合所占的比例最高,达到 65.38%,除库尾渝中区和和大渡口区,其余区县均为中度及以上耦合;各区县从衰退发展逐步向濒临衰退发展靠近,濒临衰退发展区县向勉强协调发展和协调发展区县转化。(2) 不同类型生态系统服务对农户生计贡献率不同,库区农村居民家庭经营收入来源中农业收入最高达到 55.31%。(3) 三峡库区各生态系统服务与不同农户生计资本的相关性极强,人力资本对生态系统服务最耦合,农户生计与支持服务耦合协调度最高,库区整体协调发展水平逐年向好。三峡库区生态系统服务对农户生计贡献率大,两者相关性极强,耦合关系明显。

关键词:生态系统服务; 农户生计; 耦合模型; 三峡库区

中图分类号:F062.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)06-0269-09

Construction and Application of Coupling Model of Ecosystem Service and Farmers' Livelihood in Three Gorges Reservoir Area

GUAN Dongjie^{1,2}, SUN Lingli¹, ZHOU Lilei²

(1.College of Architecture and Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2.College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to study the coupling relationship between ecosystem services and farmers' livelihood, based on the land use data of the Three Gorges Reservoir Area from 1995 to 2015, combination of the situation of the reservoir area, the equivalent factor table of different ecosystems in China was revised to evaluate the different ecological service values of the reservoir area; the evaluation system of different livelihood capital of farmers was introduced to construct the coupling degree of the reservoir area, the coupling coordination degree model was used to analyze the coupling relationship and spatial distribution between the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir Area and the livelihood of farmers. The calculation of the contribution rate of each ecosystem service to the livelihood of farmers was discussed, and the factors affecting the livelihood of ecosystem services by farmers were discussed. The results showed that: (1) the highest proportion of ecosystem services and farmers' livelihoods in the Three Gorges Reservoir Area was 65.38%, except for the Yuzhong District and Dadukou District in the tail area of the reservoir area, and the remaining districts and counties were moderately coupled; all districts and counties were gradually approaching from the recession development category to the impending recession, and the counties and counties on the verge of development were reluctant to coordinate development and coordinate the development of districts and counties; (2) the contribution rate of different types of ecosystem services to farmers' livelihoods was different; the agricultural income of rural households in the reservoir area was up to 55.31%; (3) the correlation between the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir Area and the livelihood capital of different farmers was extremely strong; the human capital was most coupled to the ecosystem services; the coupling

收稿日期:2020-01-06

修回日期:2020-02-21

资助项目:重庆市教委重点项目(KJZD-K201800702);重庆市基础科学与前沿技术研究项目(cstc2017jcyjAX0210);重庆科技局技术创新与应用示范项目(cstc2018jscx-mszdX0121)

第一作者:官冬杰(1980—),女,黑龙江富锦人,教授,博士生导师,主要从事生态环境评价、土地利用模拟、3S 应用研究。E-mail:guandongjie_2000@163.com

通信作者:孙灵丽(1995—),女,重庆丰都人,硕士研究生,研究方向为 3S 技术与应用。E-mail:346742728@qq.com

degree of the farmer's livelihood and support services was the highest, and the overall coordinated development level of the reservoir area was improving year by year. Ecosystem services in the Three Gorges Reservoir Area have the large contribution rate to farmers' livelihoods. Ecosystem services and farmers' livelihoods are highly correlated and the coupling relationship is obvious.

Keywords: ecosystem services; farmers' livelihood; coupling model; Three Gorges Reservoir Area

随着对自然环境掠夺和开发加剧,生态环境持续恶化,社会经济发展受到限制,人类福祉受到严重影响^[1]。在许多农村地区,陷入环境退化和贫困的恶性循环^[2]。生态系统服务是农户生存发展的基本生活保障,农户生计的改善依赖于生态系统服务提升,同时生计反作用于生态系统的组成和结构,导致生态系统服务的变化^[3-4]。为解决这种恶性循环,协调生态系统服务与农户生计关系,其关键在于弄清二者耦合态势。耦合模型能定量阐述生态系统服务和农户生计相互关系,从而为实现脱贫和生态文明建设,实现区域的可持续发展提供科学依据。

生态系统服务是人类从生态系统获得的利益,农户生计是农村家庭谋求生存的基本方式^[5-6],依赖于生态系统服务中各种物质资源和环境^[7]。健康的生态系统可以为人类社会提供更多的服务,使社会维持可持续发展,实现和保障人类的福祉不断提高^[8]。千年生态系统评估中明确提出生态学研究核心是生态系统服务与人类福祉。自此,学者们开始展开大量的研究,如构建不同生态系统服务与扶贫概念框架,通过例证表明环境与人类福祉和贫困的因果关系^[9-10],也有学者将生态环境脆弱性纳入扶贫大格局中^[11]。生态系统服务与生计的联系是复杂的、动态的、因地制宜的,并且在不同区域农村家庭存在差异^[12-13]。基于可持续生计方法^[14]研究,最贫困家庭的环境收入在发展中国家占比份额较高^[15],而利用生计对不同生态系统服务依赖程度也有差异^[16]。另外,有构建农村地区和自然保护区生态补偿评估框架^[17-18]来提升生态系统服务,研究农户生计和福祉产生影响。

随着生态系统服务与农户生计关系研究不断深入发现,生态系统服务与农户生计关系主要集中在以下 4 个方面:首先是对二者关联度研究,其次是侧重于土地利用变化角度,研究生态系统服务对农户生计影响;然后通过农户生计中环境收入的不同影响生态系统服务对农户生计的惠益;最后,通过调查生态补偿意愿来说明农户生计与生态系统服务关系。学者们通过构建不同理论框架和评价体系,并使用多种方法进行相关性分析,如灰色关联度模型^[19]、耦合度/耦合协调度模型^[20]、经济环境协调指数、相关回归分析^[21]等,对不同生态脆弱区、敏感区与经济贫困

的耦合关系、土地利用与农户生计^[22]、环境收入与农户生计^[23]以及生态补偿与农户生计相关性^[21]等进行分析。这些研究进一步说明生态系统服务与农户生计的密切关系,但其背后相互影响因素和耦合关系值得更深入研究。

当前研究,缺乏探究生态系统服务对农户生计的耦合关系在不同时空下分布规律,对其耦合关系没有具体定量界定;另一方面,生态系统服务对农户生计贡献多少也需要进一步研究。本文以三峡库区为例,根据生态系统服务价值评估与农户生计指标,构建两者耦合模型,对三峡库区的农户生计与生态系统服务的相互作用关系进行分析,旨在改善库区环境,维持生计与生态的平衡,保障生态安全和当地及周边乃至下游地区人民福祉,实现三峡库区的可持续发展。

1 研究区概况、数据与方法

1.1 研究区概况

三峡库区位于中国西南部,属于长江中上游地区,在东经 105°50'—111°40',北纬 28°31'—31°44',横跨重庆市和湖北省两个省市,包括重庆市 22 个区(县,自治县)、湖北省西部 4 个区县。库区以山地、丘陵为主要地形地貌,自西向东地形逐渐陡峭,地势北高南低,相对高程达到 2 989 m,坡度最陡达到 77°。三峡库区属于亚热带季风气候,2015 年均降水量为 1 082~1 255 mm,年内分布不均,总体差异较小。三峡库区至 2017 年人均地区生产总值高达 56 581 元,其中重庆主城区水平高于平均值,各区县经济发展不平衡。随着三峡库区的工程修建,库区移民数量增长趋势从未停缓,其农村居民人口比例较高,但城镇化率呈上升趋势。

1.2 数据来源

三峡库区土地利用遥感监测数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>),降水量数据来源国家气象信息中心(<http://data.cma.cn/>),空间分辨率为 1 km 的栅格数据,经掩膜提取出库区各区县数据,统计求取区县的平均降水量。土地利用类型采用中国科学院土地资源分类系统,数据包括 25 个二级类型,结合本次研究,将二级分类类型统一到耕地、林地、草地、水域、城乡居民

工矿用地和未利用土地 6 个一级类型。数字高程模型(DEM)数据通过地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)获取,空间分辨率 90 m,用来提取出高程和坡度数据。三峡库区各区县农户生计资本评价指标数据,来源于 1995—2015 年《重庆统计年鉴》和《湖北统计年鉴》、行业年鉴和统计调查资料的年度数据。部分区县年份的数据缺失,采用当年全省市的数据结合和其他指标数据占比重新计算替代,或者根据其他年份数据,用平滑法或趋势拟合法进行推算。研究区域所用行政边界矢量数据从国家地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/>)下载。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值系数修正 根据谢高地等^[24]研究,得到中国不同生态系统单位面积生态服务价值表。结合研究区实际情况,将其研究的生态系统与本文使用的中科院土地利用一级分类系统对应;其中城乡居民工矿用地类型不参与生态价值计算。以库区主要粮食作物稻谷、小麦和玉米播种面积和产量及其对应年份全国粮食平均价格为基准,计算出库区农田生态系统食物生产服务功能的经济价值;再将每年农田提供的经济价值和库区单位面积的当量因子表相乘得到不同土地利用类型单位面积生态服务价值。其计算模型如下:

$$E_a = 1/7 \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: E_a 是单位农田生态系统粮食产量提供的经济价值(元/hm²); i 为某种粮食种类; p_i 为 i 种粮食作物全国平均价(元/kg); q_i 是 i 种粮食作物的产量(kg/hm²); m_i 为 i 种粮食作物面积(hm²); M 是各粮食作物播种的总面积。

$$VC_{ij} = e_{ij} E_a \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: VC_{ij} 为 i 种生态系统 j 种生态服务功能的系数(元/hm²); e_{ij} 为 i 种生态系统 j 种生态服务功能相对于单位农田生态系统提供食物生产的生态服务功能; i 为生态系统类型; j 为生态服务功能; E_a 为单位农田生态系统粮食产量提供的经济价值(元/hm²)。

1.3.2 生态服务价值估算 基于千年评估工作组提出的生态系统服务分类体系,将库区的生态系统服务分为调节服务、支持服务、供给服务和文化服务 4 大类。结合三峡库区的各土地类型面积,根据生态系统服务价值计算公式计算出库区各年的生态系统服务价值:

$$ESV = \sum LU_i \times C_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: ESV 是生态系统服务价值(元); LU_i 研究区第 i 种土地利用类型的面积; C_i 第 i 种土地类型的单位生态系统服务价值(元/hm²); i 是第 i 种土地利用类型。

1.3.3 熵值法确定农户生计指数 探讨农户生计与生态系统服务两者耦合程度,本文考虑了不同的农户生计资本和各生态因子的影响。本文采用 max-min 标准化方法对数据进行无量纲处理,使所有数据统一到 0~1,使所用指标数据具有对比性,让结果更具科学性。标准化后数据,根据前人研究^[11,20] 及研究区实际情况考虑,其调节服务、支持服务、供给服务和文化服务各赋 0.25 的权重形成的生态系统服务指数。农户生计的金融资本用城乡居民储蓄余额、金融机构贷款金额、农村常住居民人均可支配收入、人均地区生产总值指标;自然资本包括人均耕地面积、单位面积粮食产量和年均降水量;人力资本包括乡村就业人员、普通中学人数、小学人数;物质资本用医院卫生院床位数评价;社会资本用城镇化率体现。标准化后的数据根据改进的熵值法^[25] 求取权重,计算出农户生计指数。

1.3.4 耦合度/耦合协调度模型 耦合是指两个或多个系统状态相互作用和相互影响的关系^[26]。生态系统服务与农户生计这两系统存在相互作用,为了对其互动过程定量化研究,因此可以建立二者耦合度和耦合协调度模型。选择耦合度模型计算二者的相关程度;选择耦合协调度计算二者整体协调发展水平的高低。本文利用耦合模型/耦合协调度模型^[27-28],计算生态系统服务与农户生计的关系。公式如下:

$$C = \sqrt{\frac{U_1 U_2}{(\alpha U_1 + \beta U_2)^2}} \quad (4)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (5)$$

$$K = \sqrt{C \times T} \quad (6)$$

式中: C 为耦合度; U_1 为生态系统服务指数; U_2 为农户生计指数; α, β 是农户生计与生态系统服务的权重值,为待定系数,根据过往者研究基础,本文赋予 α, β 均为 0.5,两系统同等重要。 T 用来综合评价两系统相关性; K 为耦合协调度。显而易见,耦合度 C 在 0~1 的范围内,最大值即代表两者相关性越大,极度耦合,反之 C 越小越失调。耦合协调度 K 加入了生态系统服务与农户生计的耦合关系, K 值可以反映两系统的协调发展水平。

2 结果与分析

2.1 三峡库区生态系统服务与农户生计耦合度

通过生态系统服务指数和农户生计资本指数,基于耦合度模型,得到 1995—2015 年库区各区县农户生计与生态系统服务的耦合度(图 1)。耦合度根据多个前研究者成果及研究需要,划分为 $[0, 0.4]$, $(0.4, 0.6]$, $(0.6, 0.8]$, $(0.8, 1]$, 分别表示低度耦合、中

度耦合、高度耦合以及极度耦合。

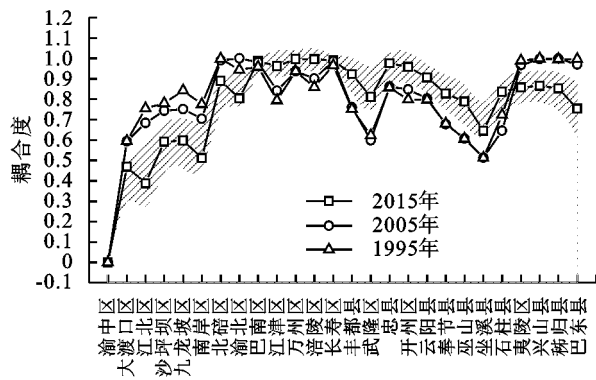


图 1 三峡库区各区县耦合度

根据结果显示,三峡库区各区县生态系统服务与农户生计主要处于极度耦合(0.8,1]状态,其中耦合度值最高达到 99.98%。从时间尺度上来看,三峡库区 1995 年有 1 个低度耦合区县,2 个中度耦合区县,11 个高度耦合区县,12 个极度耦合区县;2005 年有 1 个低度耦合区县,3 个中度耦合区县,8 个高度耦合区县,14 个极度耦合区县;1995 年和 2005 年库区 26 个区县中度耦合及以上的区县达到 25 个,占整个三峡库区 96.15%。从变化过程来看,1995—2005 年,中度耦合区县比例上涨 3.85%,极度耦合比例上涨 7.69%,表明自三峡工程建立以来,库区生态系统服务与农户生计相互影响程度增强。到 2015 年,中度耦合以上区县比例降至 92.31%,江北区由高度耦合变成低度耦合,沙坪坝区、九龙坡区、南岸区由高度耦合变成中度耦合,主要是库区重庆主城区内,由于城镇化进程过快,使生态环境受到影响,其服务功能降低。其中渝中区城镇化率都高达 100%,城区的各生态服务功能价值较低,而农户生计资本较高,所以属于低度耦合类型,耦合度值低至 0。但 1995—2015 年,极度耦合区县比例上涨 11.54%,各区县总体耦合程度呈上向高度和极度耦合方向转化。3 个时间段期间,各区县的耦合度如图 1 所示,1995—2015 年耦合度降低变化明显的区县江北区、南岸区和巴东区,耦合度升高变化明显的是武隆区、丰都县、石柱县、奉节县等区县。

从耦合度的空间分布来看(图 2),低度耦合区县主要分布在库尾主城区内,库腹主城区渝中区范围内耕地、林地面积甚少,对生态系统服务的贡献较低,而这些区域农户人口较少,人均 GDP 和农户收入较高,医疗卫生机构、基础设施较好,生计资本较高,形成低度耦合的结果。1995—2005 年,库腹的变化较大,除涪陵区、万州区、忠县保持极度耦合外,开州区和云阳

县也从高度耦合转化为极度耦合,而武隆区耦合程度降低。库首、库腹的区县耦合度比较高,没有低度耦合的区域,其中库首的 4 个湖北省的区县全属于极度耦合,而库腹区县极度耦合区县也呈现增加趋势。2005—2015 年,库尾主城区内渝中区、大渡口区、江北区、沙坪坝区、九龙坡区、南岸区属于中度耦合和低度耦合,耦合程度呈下降趋势。库首中巴东县耦合程度也有所下降,为高度耦合。整体上,除库尾重庆主城区内渝中区、江北区、大渡口区等 6 个区县生态系统服务与农户生计耦合程度是中度耦合及以下外,其余各区县两者耦合关系明显,说明三峡库区总体上生态系统服务与农户生计相互作用、相互影响程度增强。

从各子系统关系来看,农户生计与各类服务功能均属于极度耦合,其中文化服务对农户生计耦合程度最高,文化服务是生态系统为人类带来的娱乐文化活动,同时也能为人带来收益。据计算结果显示,生态系统服务与农户生计中人力资本耦合比其他生计资本高。生态系统服务与金融资本耦合度逐年降低,随着三峡库区经济的发展,农户获得的生产生活收入提高,而对库区的生态环境也带来一定程度影响,使其服务功能并未随金融资本增长而增加。

2.2 三峡库区生态系统服务与农户生计耦合协调度

运用耦合协调度模型,计算得到 1995—2015 年库区各区县的耦合协调度。耦合度根据前研究者及研究区实际情况结合,划分为 $[0, 0.4]$, $(0.4, 0.5]$, $(0.5, 0.6]$, $(0.6, 1]$,分别表示衰退失调类、濒临衰退失调类、勉强协调发展类以及协调发展类。三峡库区生态系统服务与农户生计耦合协调度主要是在 $(0.4, 0.5]$, $(0.5, 0.6]$ 。

从时间序列来看,三峡库区 1995 年衰退失调区县为 9 个、濒临衰退失调类 10 个、勉强协调发展类和协调发展类分为 3,4 个,2005 年衰退失调区县为 7 个、濒临衰退失调类 12 个、勉强协调发展类和协调发展类分为 3,4 个。1995—2005 年期间,主要是衰退失调类向濒临衰退失调类转化。而 2015 年,衰退失调比例依旧呈下降趋势,从 1995 年占比 34.62%下降至 23.08%,濒临衰退失调区县比例 20 a 内下降了 30.77%,而勉强协调发展和协调发展的区县呈上升趋势,20 a 内增长了 42.31%。1995 年、2005 年濒临衰退失调类区县频数最高分别为 10,12,2015 年勉强协调发展类的频数最高为 11,各区县从衰退发展逐步濒临衰退发展靠近,濒临衰退发展区县向勉强协调发展和协调发展区县转化,表明农户利用生态系统服务程度提高,生计

提升。究其原因是自三峡工程建立以来,库区内水质变好,且推行退耕还林退耕还草政策,生态环境有所改善,农户从生态系统中获取的收益增长,生态农业和生态旅游也使库区农户生计得到改善。

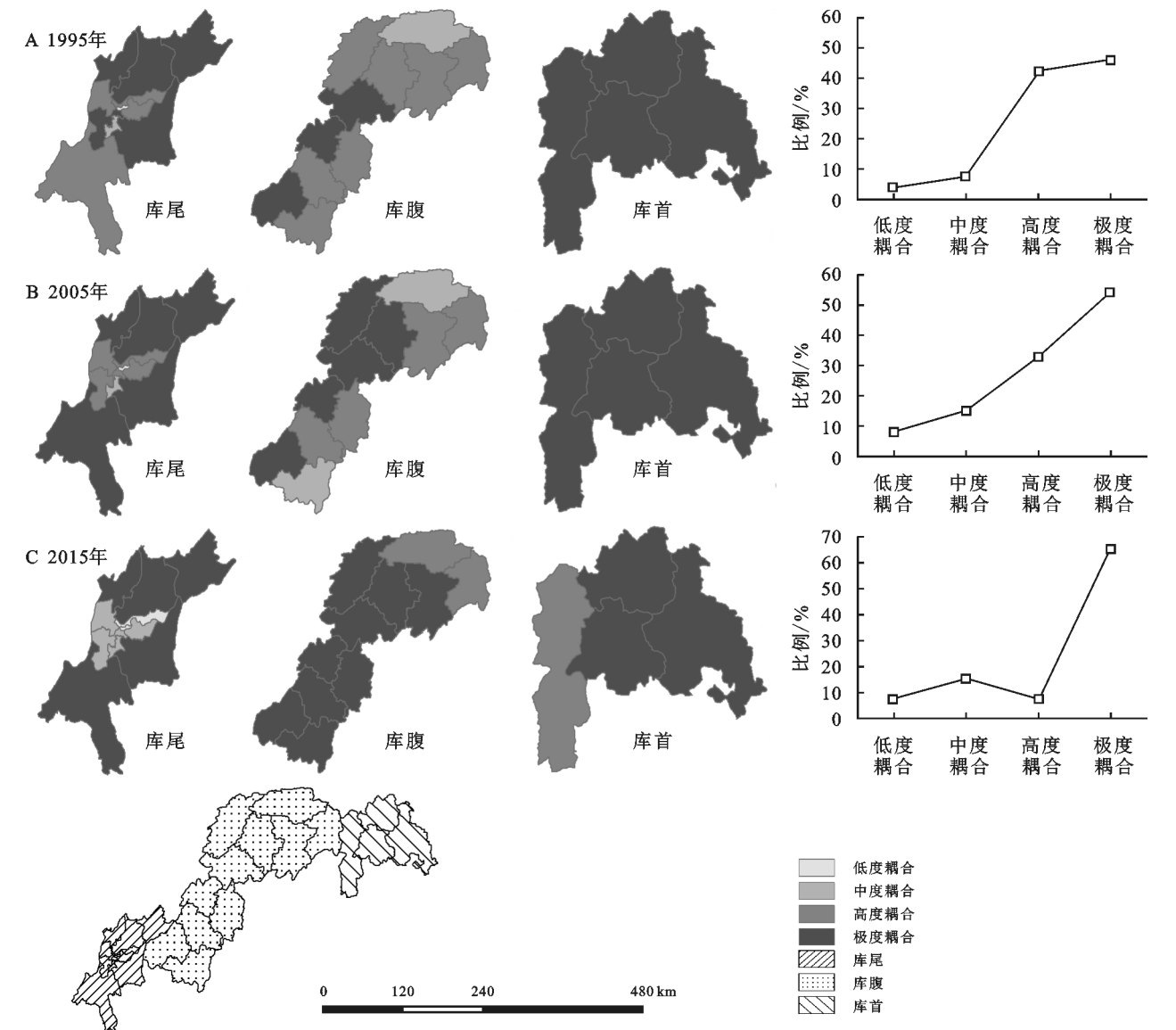


图 2 三峡库区耦合等级差异

从三峡库区耦合协调空间分布来看,库首区县生态系统服务和农户生计耦合协调度比库中区县高,库中耦合协调度比库尾高。从图 3 中可以看出,衰退失调类主要集中在库尾重庆主城区县内,主城区内农户生计所需金融资本、社会资本和物质资本丰富,经济发展高于其余区县,而自然资源生态环境承载力过重,生态系统的调节、支持、供给服务价值较低,其中渝中区、大渡口区衰退失调严重,还包括江北区、沙坪坝区、九龙坡区、南岸区。1995 年库尾长寿区也属于衰退协调发展类型。1995—2005 年期间,库尾的衰退失调区域呈缩小趋势,库腹和库首区域中两者耦合协调发展程度没有发生变化。至 2015 年,库尾主城区内衰退失调类区县范围持续缩小,库腹区域中各区

县均达到勉强协调发展和协调发展层次,而库首的兴山县和秭归县的协调发展程度降低,成为勉强协调发展类型。总体上看,库区生态系统服务与农户生计耦合程度从区域的东北至西南方向逐渐减弱。

从各个子系统关系来看,农户生计与生态系统服务中支持服务耦合协调度最高,支持服务中土壤的形成与保护占据主导地位,且生态系统的废物处理和生物多样性保护功能对农户生计也有积极意义。其次是供给服务,生态系统服务中供给服务是农户生计的基础,农户依靠农田、森林、草地、水域等生态系统提供物质产品原材料等。然后是调节服务,生态系统中森林生态系统提供气体、气候调节服务较多,森林面积大小和生物多样性同样影响区域降水量,对水源涵养

也起着重要作用,这对农户生计的可持续性发展具有长远影响。最后是文化服务与农户生计耦合协调度相比其他较低,但文化服务与农户生计的耦合相关性

也较高,只是农户对文化服务的利用程度不够高,随着社会的发展,人们越来越注重生态系统的带来的娱乐文化服务,其耦合协调度也逐渐变高。

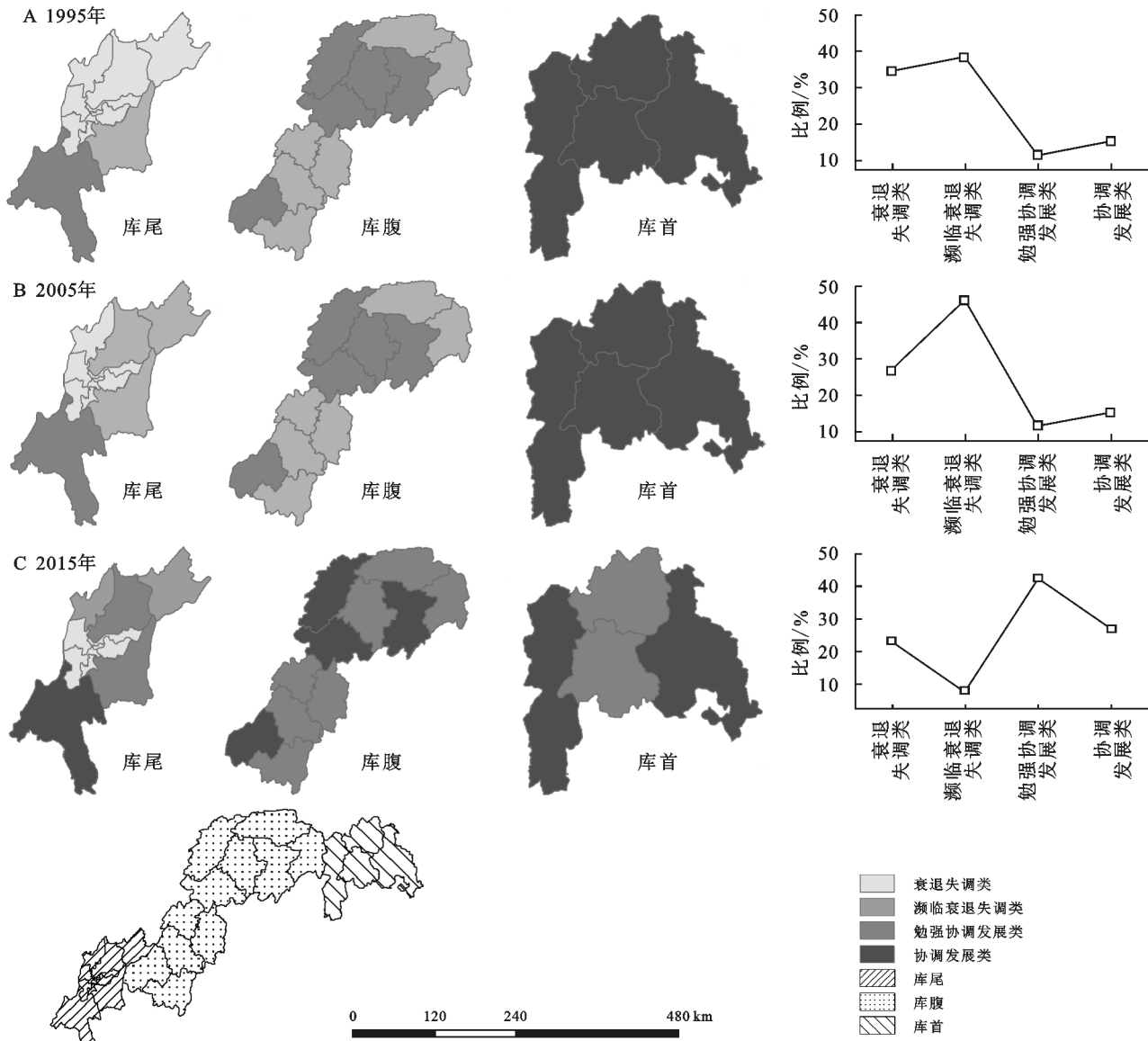


图 3 三峡库区生态系统服务与农户生计耦合协调度

3 讨论

越来越多的证据表明,生态系统服务对维持非洲农村、亚洲和发展中国家其他地区的农户生计作出了重大贡献^[29]。本文研究了生态系统服务各类型和农户生计各资本,并评估了它们对当地农户生计和家庭收入的相对贡献。根据库区所属省市来整体说明,重庆市和湖北省不同类型生态系统服务对农户生计的贡献率是不同的。

3.1 三峡库区生态系统服务对农户生计贡献率测算

生态系统服务对农户生计贡献率表示农户不同行业经营收入占家庭经营总收入的比值。如图 4 所示,农村居民家庭经营收入来源中,农业收入占比最

高,重庆市和湖北省最高分别占到 53.68%,68.40%,其次是牧业、渔业、林业、工业。农业收入主要依靠对农田生态系统的利用,通过种植农作物的方式从农田中获取产品。农田生态是农户原材料和食物生产之源。1995—2015 年期间,湖北省整体农户的农业收入是呈现下降趋势,20 a 内下降了 13.21%;而重庆市呈现先减后增的趋势,湖北省农户农业收入占家庭经营收入比例始终高于重庆市地区,1995 年湖北省农业收入比例比重庆市高出 14.72%,而到 2015 年两省市所占比例基本持平。农户家庭的牧业收入占比重庆市和湖北省均呈现“M”状的趋势,但增长缓慢,下降较快,重庆市农户牧业收入高于湖北省。牧业是来源于草地,草地是牛羊等牲畜生长需要的粮食。草地

的退化,会使牲畜失去“粮食”,农户从牧业的收益也会相应减少。重庆市和湖北省位于长江中上游一带,渔业是采集捕捞各种有经济价值的水生动植物以取

得水产品,主要依靠水域生态系统,也为农户生计带来利益,湖北省农户渔业收入 20 a 内增长明显,重庆市内渔业变化不大,整体有略微增长。

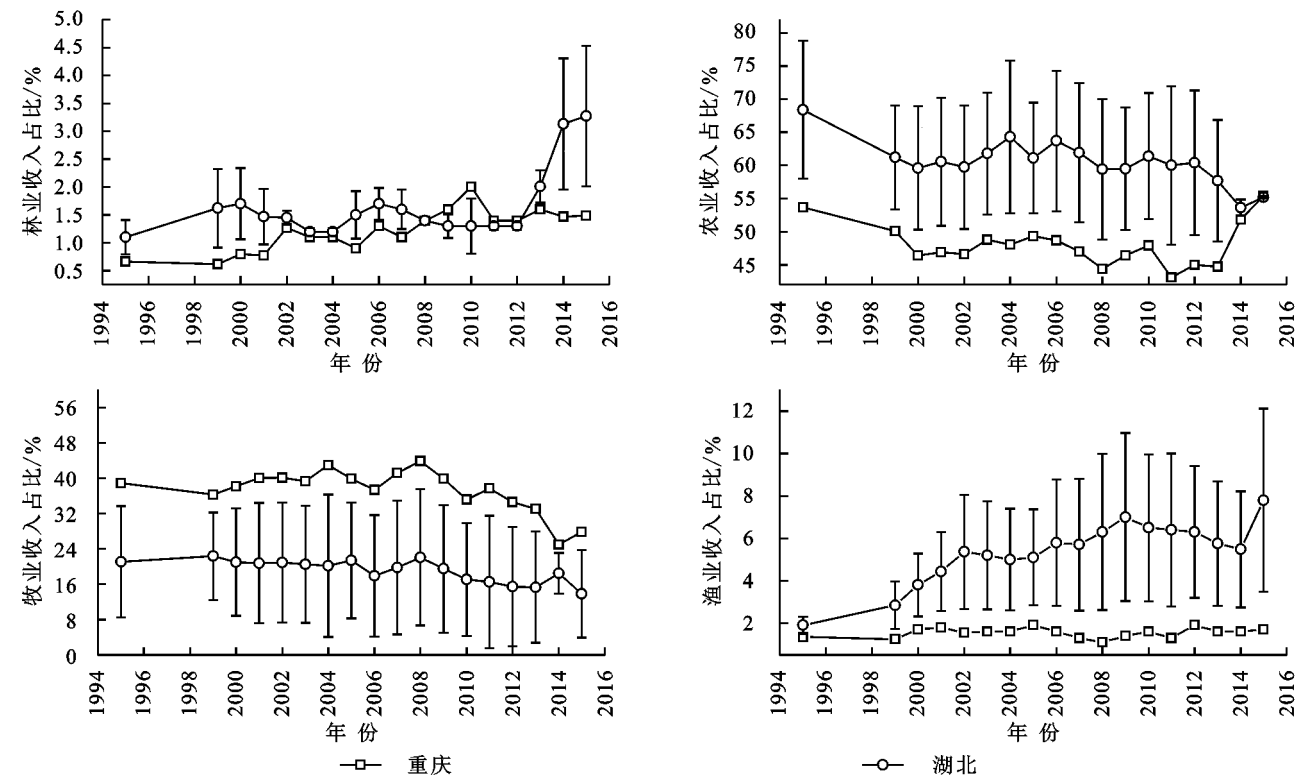


图 4 重庆和湖北农户家庭收入构成比例

林业带来的收入取决于农村人民所属的森林产品的特定受益人群体(例如森林居民、毗邻森林的农民、商业用户和森林产品消者),他们可以依靠森林作为主要或补充的生计来源,满足生存和现金需求。重庆市和湖北省林业收入占比 1995 年分别为 0.66%, 1.10%, 由于统计数据只涉及森林生态系统的直接使用价值,而间接价值没有参与计算,故数据值较低。林业收入两省市都呈上升的趋势,但上升趋势缓慢。随着经济发展,重庆市和湖北省农村居民家庭经营总收入不断增加。耕地、草地、林地、水域各生态系统为农户生计提供各种服务与一系列的收益,使农户维护生计多样化来源。

3.2 不同区域生态系统服务对农户生计贡献率的比较

在全球范围内,以森林生态系统为主,森林收入占家庭总收入的平均份额为 22.2%,在发展中国家,环境收入占家庭总收入的 28%,其中 77%来自天然森林。由表 1 可知,在拉丁美洲地区,森林收入占家庭平均收入的 28.6%,而在亚洲和非洲,森林收入占家庭平均收入分别为 20.1%,21.4%^[15]。在赞比亚,森林生态系统提供了 43.9%的家庭平均收入^[23]。在非洲半干旱热带地物,非木材林产品占家庭总收入的

39%^[21]。在尼泊尔,湿地生态系统价值对每个家庭收入贡献是 982 \$/a^[29]。相比 2015 年重庆市和湖北省地区,农户家庭总收入来源于森林比例较低,分别只有 1.49%,3.27%。虽然三峡库区内林地面积占比最大,但林地对农户生计的贡献率却不高,原因是库区农户把经营农田种植农作物作为维持生计的主要经济活动,对森林的利用率较低,对林地产品的依赖程度低,加上国家推动生态文明建设,把修复三峡工程生态环境放在战略性的位置,农户无法从森林中获取更多的森林产品。

表 1 不同区域生态系统服务对农户生计贡献率			
区域	主要类型	贡献率	文献
非洲	森林生态系统	21.40 %	Angelsen 等 ^[15]
亚洲	森林生态系统	20.10 %	Angelsen 等 ^[15]
赞比亚	森林生态系统	43.90 %	Kalaba 等 ^[23]
拉丁美洲	森林生态系统	28.60 %	Angelsen 等 ^[15]
尼泊尔	湿地生态系统	982 \$/a	Sharma 等 ^[29]
湖北省	森林生态系统	3.27 %	《湖北省统计年鉴》
重庆市	森林生态系统	1.49 %	《重庆市统计年鉴》
三峡库区	森林生态系统	2.40 %	本研究

4 结论

三峡库区各区县生态系统服务与农户生计极度

耦合比例最高,1995—2015 年呈上升趋势。1995 年和 2005 年库区 26 个区县中度耦合及以上的区县达到 25 个,占整个三峡库区 96.15%。空间分布上看,除库尾重庆主城区内渝中区、大渡口区等区域生态系统服务与农户生计耦合程度越来越低,其余各区县两者耦合关系明显提升,相关性增强。

三峡库区 1995—2015 年衰退失调的区县比例呈下降的趋势,占比从 34.62%下降至 23.08%,而协调发展的区县呈上升趋势。库区生态系统服务与农户生计耦合程度从区域的东北至西南方向逐渐减弱,从 1995—2015 年,各区县从衰退发展类逐步向濒临衰退发展靠近,濒临衰退发展区县向勉强协调发展和协调发展区县转化。

不同类型生态系统服务对农户生计的贡献率是不同的。三峡库区农村居民家庭经营总收入随时间不断地增长,其收入来源中,农业收入占比最高,来源于农田生态系统的供给服务,为农户提供产品。重庆市和湖北省最高农业收入分别占到 53.68%,68.40%,其次是牧业、渔业、林业、工业。在全球范围内,以森林生态系统为主,森林收入占家庭总收入的平均份额为 22.2%,而重庆市和湖北省林地对农户生计贡献率低至 1.49%,3.27%。

三峡库区各生态系统服务与不同农户生计资本的相关性极强,农户生计与各类服务功能均属于极度耦合,农户生计与支持服务耦合协调度最高,土壤的形成与保护、生态系统的废物处理和生物多样性保护功能是维持农户生存生计良好环境的基础;其次是供给服务,是农户生计的依靠,农户依靠农田、森林、草地、水域等生态系统提供物质产品原材料等。生态系统服务与农户生计中人力资本耦合比其他生计资本高,库区整体协调发展水平呈上升趋势。

参考文献:

- [1] Cao S X, Zhong B L, Yue H, et al. Development and testing of a sustainable environmental restoration policy on eradicating the poverty trap in China's Changting County[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009,106(26):10712-10716.
- [2] Tan Y, Wang Y Q. Environmental migration and sustainable development in the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Population and Environment*, 2004,25(6):613-636.
- [3] 傅斌,王玉宽,徐佩,等.农户生计与生态系统服务耦合关系研究进展[J].*生态经济*,2017,33(1):142-145,151.
- [4] 许丽丽,李宝林,袁烨城,等.基于生态系统服务价值评估的我国集中连片重点贫困区生态补偿研究[J].*地球信息科学学报*,2016,18(3):286-297.
- [5] 刘菊,傅斌,王玉宽,等.西部典型山区农户的生计状况分析:以四川省宝兴县为例[J].*中国农业大学学报*,2016,21(12):144-154.
- [6] Daily G C. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*[M]. Washington D C: Island Press,1997.
- [7] Howe C, Suich H, Vira B, et al. Creating win-wins from trade-offs? Ecosystem services for human well-being: A meta-analysis of ecosystem service trade-offs and synergies in the real world[J]. *Global Environmental Change*, 2014,28(1):263-275.
- [8] Nahui Z, Bojie F, Yihe L, et al. Poverty reduction, environmental protection and ecosystem services: A prospective theory for sustainable development [J]. *Chinese Geographical Science*, 2014,24(1):83-92.
- [9] Comim F, Kumar P, Sirven N. Poverty and environment links: An illustration from Africa[J]. *Journal of International Development*, 2009,21(3):447-469.
- [10] 周维佳,寸云激.生态保护扶贫 DPSIR 框架构建初探[J].*经济研究导刊*,2018,367(17):67-69.
- [11] 曹诗颂,王艳慧,段福洲,等.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[J].*应用生态学报*,2016,27(8):2614-2622.
- [12] Wang C C, Pang W, Hong J. Impact of a regional payment for ecosystem service program on the livelihoods of different rural households[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017,164(15):1058-1067.
- [13] Persha L, Agrawal A, Chhatre A. Social and ecological synergy: Local rulemaking, forest livelihoods, and biodiversity conservation [J]. *Science*, 2011, 331(6024):1606-1608.
- [14] Cheri J A, Hill Y. Energy and policy providing for sustainable rural livelihoods in remote locations: The case of Cuba[J]. *Geoforum*, 2009,40(4):645-654.
- [15] Angelsen A, Jagger P, Babigumira R, et al. Environmental income and rural livelihoods: A global-comparative analysis [J]. *World Development*, 2014,64(S1):12-28.
- [16] Robinson B E, Zheng H, Peng W J. Disaggregating livelihood dependence on ecosystem services to inform land management [J]. *Ecosystem Services*, 2019,36. DOI:10.1016/j. ecoser.2019.100902.
- [17] Ingram J C, Wilkie D, Clements T, et al. Evidence of payments for ecosystem services as a mechanism for supporting biodiversity conservation and rural liveli-

hoods [J]. *Ecosystem Services*, 2014,7:10-21.

[18] 胡国建,陈传明,郭连超,等.生态补偿对自然保护区农户生计资本影响分析:以福建闽江源国家级自然保护区为例[J].*生态经济*,2018,34(8):145-149,155.

[19] 周李磊,官冬杰,袁兴中.精准扶贫视角下生态系统服务与贫困人口生计耦合关联分析[J].*生态学报*,2018,38(18):36-46.

[20] 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:以丽江拉市海流域为例[J].*生态学报*,2018,38(18):6402-6411.

[21] 吴乐,靳乐山.生态补偿扶贫背景下农户生计资本影响因素研究[J].*华中农业大学学报:社会科学版*,2018,138(6):61-67,159-160.

[22] Carr E R, Mccusker B. The co-production of land use and livelihoods change: Implications for development interventions [J]. *Geoforum*, 2009,40(4):568-579.

[23] Kalaba F K, Quinn C H, Dougill A J. Contribution of forest provisioning ecosystem services to rural livelihoods in the Miombo woodlands of Zambia [J]. *Population and Environment*, 2013,35(2):159-182.

[24] 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.

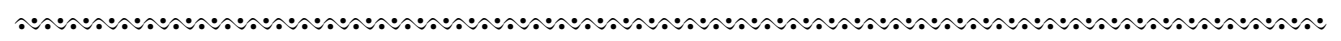
[25] Zhou D, Xu J C, Lin Z L. Conflict or coordination: Assessing land use multi-functionalization using production-living-ecology analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2016,577(15):136-147.

[26] 苏胜亮,吴立峰.宁夏六盘山连片特困区生态环境与经济发展耦合协调研究[J].*水土保持研究*,2019,26(4):286-291,298.

[27] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系[J].*热带地理*,1999,19(2):171-177.

[28] Heubach K, Wittig R, Nuppenau E A, et al. The economic importance of non-timber forest products(NTFPs) for livelihood maintenance of rural west African communities; A case study from northern Benin[J]. *Ecological Economics*, 2011,70(11):1991-2001.

[29] Sharma B, Rasul G, Chettri N. The economic value of wetland ecosystem services: Evidence from the Koshi Tappu Wildlife Reserve, Nepal[J]. *Ecosystem Services*, 2015,12:84-93.



(上接第 268 页)

[16] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control:a sediment ecological approach[J]. *Water Research*, 1980,14(8):975-1001.

[17] 方晓波,史坚,廖欣峰,等.临安市雷竹林土壤重金属污染特征及生态风险评价[J].*应用生态学报*,2015,26(6):1883-1891.

[18] 徐争启,倪师军,庾先国,等.潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J].*环境科学与技术*,2008,31(2):112-115.

[19] 罗成科,张佳瑜,肖国举,等.宁东基地不同燃煤电厂周边土壤 5 种重金属元素污染特征及生态风险[J].*生态环境学报*,2018,27(7):1285-1291.

[20] 林俊杰,王云智,陈国祥,等.万州老城区楼顶菜地土壤重金属污染特征[J].*环境科学研究*,2011,24(6):679-683.

[21] 冯亚亮,张明鑫.银川市城区城市表层土壤 6 种有害重金属分布规律及其来源分析[J].*国外医学:医学地理分册*,2017,38(4):321-324.

[22] Fakayode S O, Olu-Owolabi B I. Heavy metal contamination of roadside topsoil in Osogbo, Nigeria: its relationship to traffic density and proximity to highways [J]. *Environmental Geology*, 2003,44(2):150-157.

[23] 王秋丽.畜禽养殖导致土壤重金属污染现状及对策[J].*现代农业科技*,2016(11):245-245.

[24] 骆斌,罗晓梅,张美,等.城市绿地重金属污染模糊综合评价[J].*西南农业学报*,2011,24(3):1009-1012.

[25] 秦鹏,阮丽,包跃跃,等.城市土壤重金属污染来源研究[J].*环境科学与管理*,2014,39(12):38-41.

[26] 乔雪,邓琳,王今雨,等.齐齐哈尔市主城区城市绿地土壤重金属来源解析与健康风险评价[J].*土壤通报*, 2019,50(1):217-225.

[27] 郭培俊,杨菁.重金属污染土壤的修复与防治研究[J].*科技资讯*,2019,17(3):93-94.