

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.20220601.003.

陈茂林, 官冬杰, 孙灵丽, 等. 三峡库区生态系统服务对农户生计贡献率测算及影响分析[J]. 水土保持研究, 2023, 30(1): 397-407.

CHEN Maolin, GUAN Dongjie, SUN Lingli, et al. Calculation and Analysis of the Contribution Rate of Ecosystem Services to Farmers' Livelihoods in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(1): 397-407.

三峡库区生态系统服务对农户生计 贡献率测算及影响分析

陈茂林¹, 官冬杰¹, 孙灵丽¹, 周李磊²

(1.重庆交通大学 智慧城市学院, 重庆 400074; 2.重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074)

摘要:为了实现农户生计可持续发展,量化生态系统服务对农户生计贡献率,以三峡库区为例,采用当量因子法评估该区域生态系统服务价值;把脆弱性生计资本纳入农户生计资本考察范围,从人力、自然、物质、金融、社会、脆弱性6个方面构建三峡库区农户生计评价体系,测算农户生计资本总量。对二者关系进行多项式线性拟合,剖析了生态系统服务价值的变化对农户生计的影响及农户生计资本量的变化对生态系统服务的影响,再对比分析国内外有关生态系统服务对农户生计影响结果研究。结果表明:(1) 三峡库区2019年生态系统服务总价值为2 093.65亿元,其中调节服务提供的经济价值最高,文化服务价值最低,且各区县中巴东县生态系统服务价值最高;(2) 三峡库区农户生计资本总量为13.117,其中农户金融资本量最多,自然资本量最少,且江津区的农户生计资本总量最多;(3) 三峡库区农户资本与生态系统服务具有显著相关性,随着生态系统提供的经济价值越高,农户人力资本、自然资本和金融资本呈现先上升再下降的变化趋势,农户社会资本具有先下降后上升的变化趋势。不断引领农户关注和参与库区生态建设,实行农业生态循环发展,有助于提高三峡库区生态系统服务对农户生计贡献。

关键词:生态系统服务; 农户生计; 贡献率; 三峡库区

中图分类号: X171.1; F323.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)01-0397-11

Calculation and Analysis of the Contribution Rate of Ecosystem Services to Farmers' Livelihoods in the Three Gorges Reservoir Area

CHEN Maolin¹, GUAN Dongjie¹, SUN Lingli¹, ZHOU Lilei²

(1.School of Smart City, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2.School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: In order to achieve sustainable development of farmers' livelihoods, quantifying the contribution rate of ecosystem services to farmers' livelihoods is necessary. The value of ecosystem services in the Three Gorges Reservoir Area assessed using the equivalent factor method the livelihood capital of vulnerability incorporated into the scope of farm household livelihood capital, and the livelihood evaluation system of farm households in the Three Gorges Reservoir Area constructed from six aspects: human, natural, physical, financial, social, and vulnerability, and the total livelihood capital of farm households measured. Linear fitting of the relationship between farmers' livelihoods and ecosystem services to analyze the impact of changes in the value of ecosystem services on farmers' livelihoods and the impact of changes in the amount of farmers' livelihood capital on ecosystem services, and then the results of domestic and foreign studies on the impact of ecosystem services on farmers' livelihoods. The results show that: (1) the total value of ecosystem services

收稿日期: 2021-11-19

修回日期: 2021-12-10

资助项目: 教育部人文社科一般项目(20YJA790016); 国家自然科学基金面上项目(42171298)

第一作者: 陈茂林(1997—), 女, 四川宜宾人, 硕士研究生, 研究方向为地图学与地理信息系统。E-mail: 1184805304@qq.com

通信作者: 官冬杰(1980—), 女, 黑龙江富锦人, 博士, 教授, 主要从事三峡库区生态安全格局分析、生态补偿标准制定和调控机制、土地利用情景模拟和预测、喀斯特地区水安全利用模型构建和评价、城市生态环境系统动力学仿真模拟、“3S”技术应用等研究。E-mail: guandongjie_2000@163.com

<http://stbcjy.paperonce.org>

in 2019 of the Three Gorges Reservoir Area 209.365 billion yuan, among which the economic value provided by regulating services the highest and the value of cultural services the lowest, and the value of ecosystem services in Badong County the highest among all districts and counties; (2) the total amount of farm household livelihood capital in the Three Gorges Reservoir Area is 13.117, among which the amount of farm household financial capital the highest and the amount of natural capital the lowest, and the total amount of farm household livelihood capital in Jiangjin District the highest; (3) the household capital and ecosystem services in the Three Gorges Reservoir Area significant correlation, with the higher economic value provided by the ecosystem, farm household human capital, natural capital and financial capital show a change trend of rising and then falling, and farm household social capital a change trend of falling and then rising. Continuously leading farmers to pay attention to and participate in the ecological construction of the reservoir area, implementing agro-ecological circular development will help improve the contribution of ecosystem services to farmers' livelihoods in the Three Gorges Reservoir Area.

Keywords: ecosystem services; farmers' livelihoods; contribution rate; Three Gorges Reservoir Area

经济和社会的飞速发展,加速了人类生活和生产活动对大自然的冲击与破坏,在发展中国家,淡水资源稀缺、生物种类减少、土壤沙化、耕地数量减少、气候变暖等问题日益凸显^[1],生态退化造成生态系统结构破坏,导致农户的生产力下降,必然会增加农户资本与生活的脆弱性,增加农户生计风险与贫困,最终会使农户陷入贫穷与生态退化的恶性循环中。1997年十五大提出可持续发展,其目的是为了构建经济友好型发展体系。为了寻求生态与农户之间的平衡状态,首先就要弄清楚生态系统服务对农户生计的影响过程机制。生态系统服务是人类生产生活与社会提供和维持福利的基础^[2],生态系统服务和人类生计资产评估对于确保可持续发展的生态系统管理和有效的自然资源分配至关重要^[3]。虽然早在1967年就提出了有关生态系统服务功能相关概念和内涵^[4],但在20世纪90年代国内外众多学者才对生态系统服务功能和生态系统服务价值有了广泛研究。20世纪末有学者通过计算全球17种生态系统服务种类提供的经济总值为16~54万亿美元之间^[5]。侯元兆等^[6]首次将森林资源价值纳入国民经济,并测量了我国自然森林资源的总价值为13.748万亿元,但仅对3种森林环境资源(水源涵养、水土保持、固定CO₂以及O₂价值)进行研究。1999年相关学者^[7]初步定性探究了中国生态系统的生态价值,在后续有关学者的研究中初步定量测算出中国生态系统服务的经济价值约占全球生态系统服务价值的2.71%,低于全球平均水平^[8]。农户是农村最小的生计单位^[9],而生计是农户家庭为满足基本生存的基础上追求生活水平的活动和寻求社会支持能力的过程^[10],对于农户而言,农户可从不同生态系统服务获取直接或间接利益,有研究指出,森林生态系统可为缅甸农户家庭提供43%的收益^[11],为尼日利亚地区农户收入提供30%的贡献率^[12],对印度当地农户产生45%的收入率^[13];农田生态系统种植结构的改善可为农户增加

22.97%的收益贡献率^[14],耕地种植可为爪哇地区农户产生29.18%的支出贡献率^[15],农地可间接为我国农户家庭总收入和农业收入增加18.18%和72.46%的经济价值^[16]。然而受到人类生计活动强度及多样性影响,生态系统服务对农户的贡献率日益缩减^[17-18]。随着对“人与自然和谐发展”、“可持续生计”等热门话题的深入探讨,生态系统服务对农户生计影响主要有以下几个方面:(1)从土地覆被利用角度计算生态系统服务价值变化对农户生计的敏感度分析;(2)农户生计及农户福祉对生态系统依赖程度研究;(3)生态补偿及退耕还林政策对农户生计的影响。但目前研究主要是将人类活动作为主导因素来研究对生态系统的影响,缺乏生态系统服务功能与价值变化对农户生计策略及生计资本层面的影响研究。本文就以三峡库区为研究区域,测算该区域生态系统服务对农户生计贡献率,探究生态系统服务变化对农户生计结果影响,为维持生态生计平衡,保障当地农户福祉,实现可持续发展提供借鉴。

1 研究区概况

三峡库区位于东经106°20'—110°30',北纬29°00'—31°50',地处中国西南部,是长江重要淡水集水区域,维系着全国1/4人口的淡水供给,是长江中上游与下游的重要水上交通枢纽站。研究区与四川盆地的东部相互连接,南方为川鄂高原,北方为大巴山。三峡库区区域范围包括重庆九大主城区及其所辖的13个区县和湖北省的4个区县(图1),是连接长江上游与长江中下游的经济纽带,占据着国家经济发展的重大战略地位,也是长江流域的重要生态屏障。由于三峡库区隶属长江水系,峡谷诸多,自然灾害频发,地形以山地、丘陵为主,研究区内海拔高差悬殊,由流水作用形成的山地地貌结构复杂。三峡库区水域面积大,昼夜温差小,冬季温暖夏季湿热,雨水丰富,属于典型的亚热带季风性湿润气候

区,2019 年降水量约是全国年均降水量的 2~3 倍。三峡库区的土地利用类型比较单一,其中林地和耕地面积分布比较广,林地主要分布在东、北部,耕地是以零散分布的坡耕地为主;三峡库区受到自然地形地貌及经济发展影响,居民点等大批建设用地主要集中分布于西南片区的重庆市主城区及其相邻的区县。

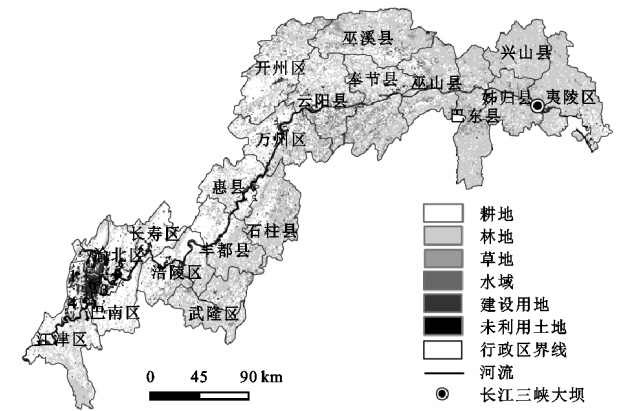


图 1 研究区地理位置示意图

2 数据来源与研究方法

2.1 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与数据中心(<http://www.resdc.cn/>),精度为 1 km×1 km,统一坐标后经过裁剪、配准和重分类等一系列预处理。由于目前我国对土地的分类和利用标准并没有形成统一的体系,本文通过结合三峡库区土地利用的实际情况,参考相关土地利用覆盖的分类标准,将研究区划分 7 类不同的用地类型,以便在研究中数据统一,达到提高精度的目的。研究区所用行政区域矢量栅格数据从国家地球系统

科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/>)下载。三峡库区各区县农户生计资本评价指标数据来源于 2019 年《重庆市统计年鉴》、《恩施州统计年鉴》、《宜昌市统计年鉴》以及各区县政府信息统计公报。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务评估 (1) 单位面积农田粮食生产功能经济价值计算。根据相关研究^[19],结合研究区实际情况,将生态系统与本文使用的中国科学院土地利用分类系统对应,其中居民点及其他建设用地是根据相关学者研究^[20],将生态服务价值系数修正为-3 198 元/(hm²·a)和 3 480 元/(hm²·a)。通过单位面积内粮食生产价值可计算出三峡库区自然状态下粮食总产量的实际经济价值大约为 1 894.835 7 元/hm²。其计算公式为:

$$E=1/7\sum_{i=1}^n\frac{m_i\dot{p}_iq_i}{M}\quad(i=1,2,\cdots,n)\tag{1}$$

式中: E 表示单位面积内自然农田生产各类粮食提供的总经济价值(元/hm²); p 表示不同粮食作物单价(元/kg); q 为单位面积的粮食作物产量(kg/hm²); m 为各类粮食播种面积(hm²); M 为粮食播种总面积; n 为粮食种类数; i 表示不同种类的粮食作物。

(2) 生态服务价值系数修正。参考“中国生态系统服务价值当量因子表”^[19],按照相应公式计算三峡库区不同土地利用类型的生态服务价值系数(表 1)。其计算公式:

$$VC_{ij}=e_{ij}E_{ij}\quad(i,j=1,2,\cdots,n)\tag{2}$$

式中: VC 表示价值系数[元/(hm²·a)]; e 表示单位面积价值当量; E 为公式(1)计算出的单位面积粮食经济总值; i 为生态系统类型; j 为生态服务功能。

表 1 三峡库区生态系统服务价值系数
元/(hm²·a)

| 生态因子 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 裸地 | 居民点 | 其他建设用地 |
|--------|----------|----------|----------|-----------|--------|----------|---------|
| 食物生产 | 4187.59 | 1894.84 | 568.45 | 1515.87 | 0 | 0 | 0 |
| 原料供给 | 928.47 | 4926.57 | 94.74 | 435.81 | 0 | 0 | 0 |
| 水资源供给 | -4945.52 | 568.45 | 360.02 | 15708.19 | 0 | 0 | 0 |
| 气体调节 | 3372.81 | 6631.92 | 1515.87 | 1459.92 | 37.90 | 0 | 0 |
| 气候调节 | 1762.20 | 5116.06 | 1705.35 | 4339.17 | 0 | 0 | 0 |
| 净化环境 | 511.61 | 3259.12 | 2501.18 | 10516.34 | 189.48 | 0 | 0 |
| 水文调节 | 5665.56 | 4130.74 | 1534.82 | 193728.00 | 56.85 | -6678.00 | 0 |
| 土壤保持 | 1970.63 | 4054.95 | 2254.85 | 1762.20 | 37.90 | 3480.00 | 3480.0 |
| 维持养分循环 | 587.40 | 337.28 | 814.78 | 132.64 | 0 | 0 | 0 |
| 生物多样性 | 644.24 | 6366.65 | 2532.76 | 2065.37 | 37.90 | 0 | 0 |
| 美学景观 | 284.23 | 2103.27 | 1117.95 | 871.62 | 18.95 | 0 | 0 |
| 价值系数 | 14969.20 | 39389.84 | 15000.78 | 232534.24 | 378.97 | -3198.00 | 3480.00 |

(3) 生态系统服务价值计算。生态系统服务价值计算公式为:

$$ESV=\sum A_KC_K\tag{3}$$

式中: ESV 表示生态系统提供的经济价值(元/a); A 为各用地类型面积(hm²); C 为单位面积的生态系统服务价值[元/(hm²·a)]; K 为不同用地类型。

2.2.2 农户生计测算 通过李小云等学者对农户生计资本含义的阐述^[21-23],本研究结合三峡库区区域位置异质性与数据的可获取性,将脆弱性生计资本纳入农户生计测算范围,从人力、自然、物质、金融、社会、脆弱性 6 个方面构建符合三峡库区农户生计 19 项具体指标的评价体系,借助 Excel 和 SPSS 软件,对上述指标进行标准化后,采用熵值法得到各项指标权重值(表 2),计算出三峡库区农户所拥有资本总量。设生计资本总值为:

$$Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^m W_{ij} X_{ij} \tag{4}$$

式中:Z 为农户生计总资产;W 表示各项指标的权重值;X 为标准值;i 表示为不同的生计资本;j 表示各类生计资本下的不同指标。

表 2 三峡库区农户生计资本评价指标统计特征

| 资本分类 | 二级指标 | 权重 | |
|---------|--------------------------|--------|--------|
| 人力资本 | 农村常住人口数(万人) | 0.0549 | 0.1654 |
| | 乡村从业人员(万人) | 0.0493 | |
| | 中学在校生人数(人) | 0.0612 | |
| 自然资本 | 粮食播种面积(hm ²) | 0.0466 | 0.1575 |
| | 林地面积(hm ²) | 0.0575 | |
| | 粮食产量(t) | 0.0534 | |
| 物质资本 | 医院卫生院床位数(张) | 0.0512 | 0.1657 |
| | 中学学校数目(所) | 0.0621 | |
| | 公路里程(km) | 0.0524 | |
| 金融资本 | 农业收入占农村经济总收入比重(%) | 0.0609 | 0.2175 |
| | 农村常住居民可支配收入(元) | 0.0494 | |
| | 农村居民储蓄存款余额(亿元) | 0.0593 | |
| | 农村常住居民人均生活消费支出(元) | 0.0479 | |
| 社会资本 | 义务教育普及率(%) | 0.0288 | 0.1261 |
| | 城镇化率(%) | 0.0573 | |
| | 公共图书馆(个) | 0.0400 | |
| | 人口老龄化程度(%) | 0.0600 | |
| 脆弱性生计资本 | 农药使用量(t) | 0.0544 | 0.1679 |
| | 农村低保人数(人) | 0.0535 | |

2.2.3 生态系统服务对农户生计关系变化分析 生态系统服务价值与农户生计资本量在空间上呈离散化

表 3 三峡库区各类生态系统提供的生态服务价值

| 生态系统 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 裸地 | 居民点 | 其他建设用地 |
|----------------------|---------|----------|---------|---------|--------|---------|--------|
| 面积/万 hm ² | 254.343 | 383.985 | 65.110 | 13.640 | 0.030 | 44.194 | 9.033 |
| 生态服务价值总量/亿元 | 198.128 | 1467.972 | 103.120 | 335.420 | 0.001 | —14.134 | 3.144 |
| 价值构成/% | 9.463 | 70.116 | 4.925 | 16.021 | 0.0001 | —0.675 | 0.150 |

通过计算得到不同生态系统服务类型的经济价值差异化明显(表 4),在总的服务功能里调节功能提供的经济价值居于首位,且水文调节服务提供的经济价值最高,其贡献价值达 591.105 亿元,占总价值的 28.233%,而气候调节提供的经济价值为 466.693 亿元,是总价值的 22.291%;支持服务与供给服务经济价值贡献率分别为 21.126%和 6.553%;以美学景

分布,为了更直观清晰的表明两者的变化趋势,本研究对两者关系进行 Pearson 相关性分析,对具有显著相关性的关系变量利用 MATLAB 工具对两者的关系进行趋势拟合分析。Pearson 相关系数具体算法如下:

$$\begin{aligned} \rho(X,Y) &= \frac{E[(X-\mu X)(Y-\mu Y)]}{\sigma X \sigma Y} \\ &= \frac{E[(X-\mu X)(Y-\mu Y)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i-\mu X)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i-\mu Y)^2}} \end{aligned} \tag{5}$$

式中:ρ 为 Pearson 相关系数,且-1≤ρ≤1,正值表示正相关;负值表示负相关;μX,μY 为样本 X,Y 的标准值;σX 和 σY 表示样本 X,Y 的标准差。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务评估结果与分析

3.1.1 三峡库区生态系统服务价值空间变化 2019 年三峡库区生态系统服务总价值为 2 093.650 亿元,在空间上呈现“东多西少”的分布格局,存在显著的区域差异(见表 3,图 2)。库区中部生态系统服务价值高于库区东部和库区西部,达到 1 289.060 亿元、占三峡库区生态服务价值的 61.570%,库区东部和西部生态系统服务价值分别达 465.000 亿元和 339.590 亿元,分别占三峡库区的 22.210%和 16.220%。按照县域尺度分析(图 3),巴东县生态系统服务价值达到了 210.958 亿元,占整个库区生态服务价值的 1/10;重庆市主城区的生态系统服务价值普遍偏低,渝中区生态系统服务提供的经济价值最低,只占整个三峡库区的 0.052%,在其余区县中,江北区提供的生态系统服务价值为 18.269 亿元,南岸区为 15.906 亿元,九龙坡区为 13.153 亿元、沙坪坝区为 9.011 亿元,大渡口区为 5.733 亿元,分别占同期三峡库区生态系统服务价值总量的 0.873%,0.760%,0.628%,0.430%,0.274%,均不到整个研究区生态系统服务价值的 1%。

观功能为主的文化服务提供的经济价值仅占整个三峡库区生态系统服务提供的经济价值的 4.662%。

3.1.2 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。农户的粮食和原料来源于农田耕地,农户家庭经济收入中农业(4A)占比最高,达到了 62.17%,其次畜牧业(4C)达

到 26.39%，尤其是在武陵山区和大巴山区以草食牲畜为主的畜牧带，林地与草地资源丰富，当地农户牲畜产业发展提供优厚的自然条件。重庆和湖北位于长江中上游地带，依靠水域生态系统、充足的水资源可以给农户水生产品提供自然资本。由于统计数据只涉及到生态系统服务的直接经济价值，缺少间接经济价值和社会文化价值，因此林业(4B)和渔业(4D)只占了 4.78%和 3.76%。各区县中，农业占比最大的是南岸区和北碚区，两个区县超过了 86%，占比最小的是长寿区、丰都县和云阳县，其农业经营收入占比都在 49%；林业经营收入中占比最大的是南岸区，达到了 36.26%，占比最小的是北碚区，仅有 1.42%，虽然三峡库区林地面积广，但是农户从中获取的服务价值却很少，因为耕地是农户经济收入的主要来源，加上三峡库区生态屏障作用在长江流域的重要性，为了响应国家对三峡库区的生态修复工程及退耕还林号召，农户对森林依赖程度低；畜牧业收入中占比最大的是云阳县，为 38%，最小的是南岸区和大渡口区，只占 2%；渔业占比总体都在 10%以下，渔业经营收入中占比最大的兴山县也只有 9.65%，而占比最小的秭归县仅有 0.13%。

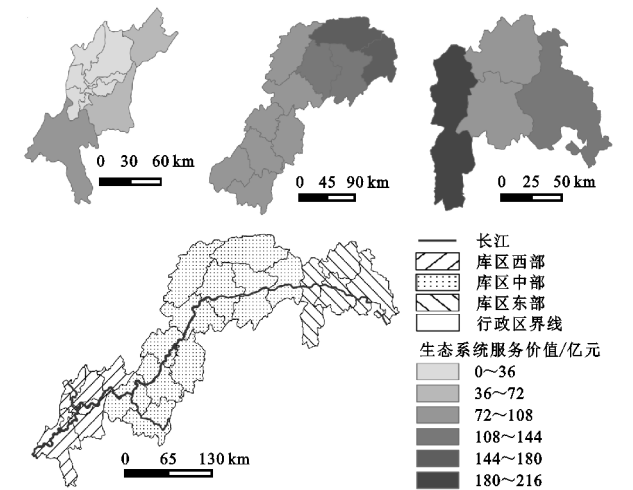


图 2 三峡库区各区县生态系统服务价值

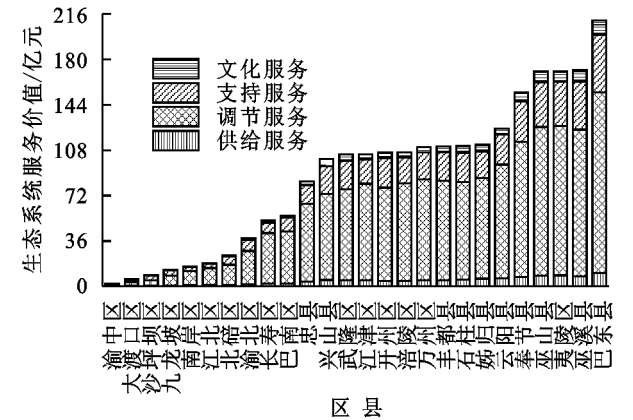


图 3 三峡库区各区县生态系统服务价值

表 4 三峡库区不同生态系统服务类型的生态服务价值

| 一级类型 | 二级类型 | 生态服务价值/亿元 | 价值构成/% |
|------|--------|-----------|--------|
| 供给服务 | 食物生产 | 62.350 | 2.978 |
| | 原料供给 | 60.788 | 2.903 |
| | 水资源供给 | 14.077 | 0.672 |
| 调节服务 | 气体调节 | 194.845 | 9.307 |
| | 气候调节 | 466.693 | 22.291 |
| | 净化环境 | 163.063 | 7.789 |
| | 水文调节 | 591.105 | 28.233 |
| 支持服务 | 土壤保持 | 235.234 | 11.236 |
| | 维持养分循环 | 21.079 | 1.009 |
| | 生物多样性 | 186.818 | 8.923 |
| 文化服务 | 美学景观 | 97.597 | 4.662 |

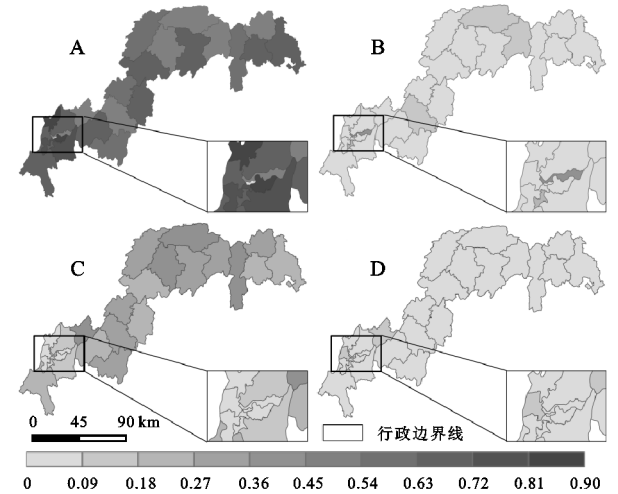


图 4 三峡库区各区县对农户生计贡献率区域差异

3.2 农户生计变化结果与分析

计算得出三峡库区 2019 年农户生计资本量见图 5，生计资本总量为 13.117，其中金融资本(3.492)和脆弱性生计资本(3.412)在总资本量中占比较高；自然资本(0.773)和社会资本(1.540)较低，自然资本仅占总资本量的 6%，其次是物质资本与人力资本，分别是 1.720,2.181。

在空间区域上，受生态环境的资源禀赋、生产生活方式等诸多影响因素，农户生计资本显然存在一定区域差异(图 6)。根据统计数据，江津区的耕地数量与粮食产量是三峡库区各区县里数量最多的区域，当地的农户具有较为丰富的自然资本，而重庆市主城区被大量的城市建设用地占据，因此自然资本最少。大渡口区是三峡库区各区县中面积第二小的区域，仅次于渝中区，其农户的人力资本、社会资本与物质资本都是三峡库区重庆段最少的。渝中区是重庆市的中心城区，其城镇化率达到了 100%，未作计算。三峡库区农户收入与家庭存款相差不大，虽然在前期受自然条件影响发展基础薄弱，但依赖于国家政策和移民

基金扶持,后续发展水平有了很大提高。就脆弱性生计来说,重庆主城区的总体失业率要略低于周围区县,但是农户家庭使用化肥农药会增加对生计的脆弱性,不利于生计资本的累积。

3.3 生态系统服务类型变化对农户生计的影响

运用 Pearson 相关性检验计算出不同生计资本与生态系统服务的关系矩阵,其结果见表 5。将计算出的相关系数参考有关文献^[24]进行等级划分,当 $|\rho| \in [0, 0.25)$ 认为变量间存在弱相关,或不存在线性相关; $|\rho| \in [0.25, 0.5)$ 认为变量间为中等相关; $|\rho| \in [0.5, 0.75)$ 则认为变量间存在强相关; $|\rho| \in [0.75, 1)$ 则认为变量间存在极强相关。整体来说,自然资本、人力资本和社会资本与生态系统服务相互影响较大,虽然农户的脆弱性生计资本与生态系统服务都呈负相关,但是相关程度较弱。本文对农户生计资

本与生态系统服务两者间具有较强相关性的变量进行趋势拟合分析,研究两者之间的变化关系。

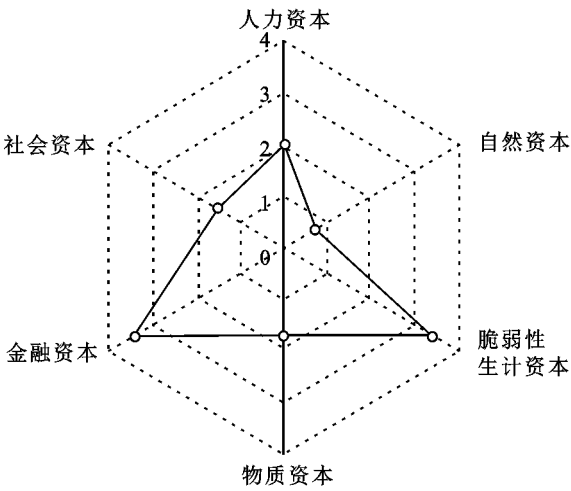


图 5 三峡库区农户生计资本构成

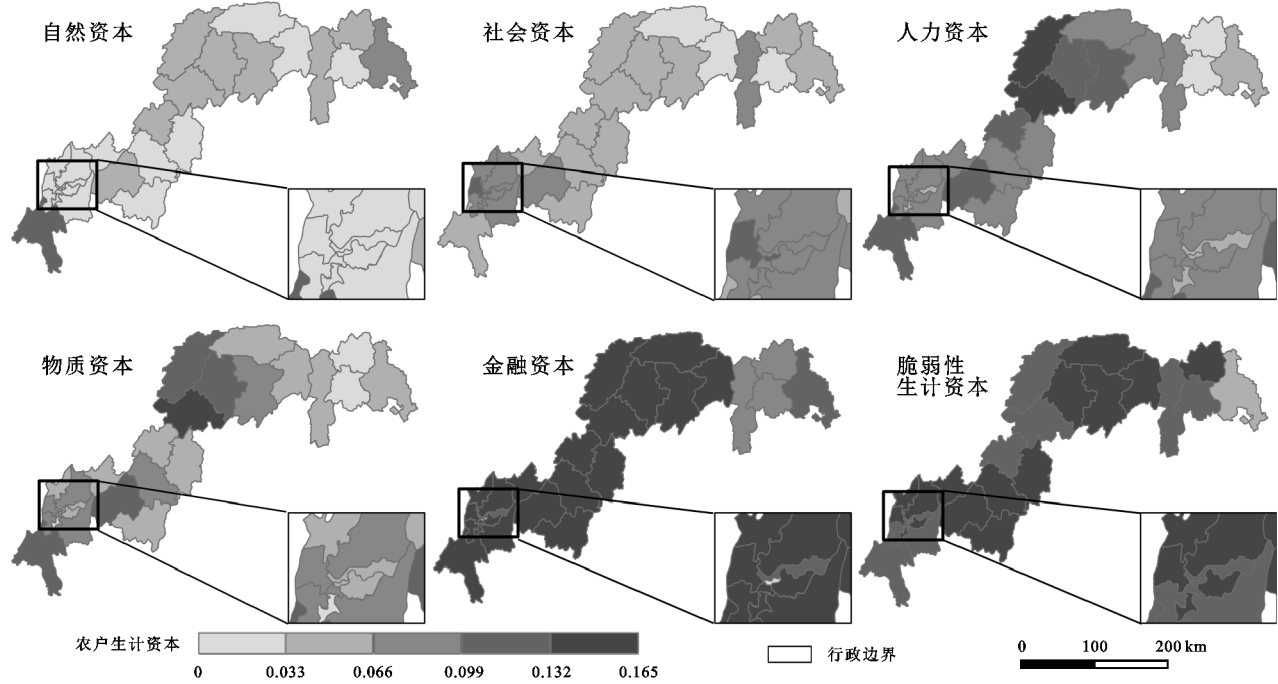


图 6 三峡库区各县县农户生计资本区域差异

3.3.1 供给服务 随着生态系统供给服务的增加,农户的自然资本和金融资本呈先升后降的 U 型趋势(图 7A),而农户社会资本则呈先降后升的 U 型趋势。粮食生产是维持农户生活的基本保障,农户通过经营土地从生态系统中获益,有效增加家庭收入、家庭存款,而金融资本的累积让农户不再满足自家消费坚持单一的生计,而是选择进城务工或者转向市场等其他多样化生计,同时也增加了农户在社会结构中的复杂性。

3.3.2 调节服务 农户的自然资本、人力资本与金融资本随着生态系统调节服务的增加呈现上升后下降的抛物线(7B)。生态系统的调节服务使生态系统趋于达到平衡,森林覆盖率、水源涵养量以及土壤肥

力是生态系统调节的重要条件,当调节服务呈现上升趋势时,表明生态系统处于相对健康状态,可以为农户提供良好的生存生活环境,有利于农户增加生计多样性,从而实现家庭劳动人口增加及家庭增收,实现资本累积,增加了农户向城镇迁移的机会,由此农户在后期会增加在城镇的劳动机会。

3.3.3 支持服务 农户自然资本、人力资本与金融资本随着支持服务的变化呈先上升后下降的趋势,而社会资本则随之呈先下降后上升的趋势(图 7C)。生物及其与环境形成的生态复合体从多方面影响生态系统服务,进而影响人类福祉^[25]。生物资源的多样性可以改变农户生计策略,通过建立自然保护区、旅游区,将生物

资源转变为文化服务类,农户生计趋于多样性,在一定程度上可增加农户收入;土壤生物多样性以及土壤养分为农户实现粮食增产和经济作物增收创造良好生态基础,有利于家庭金融资本的累积。

表 5 三峡库区农户资本与生态系统服务相关性结果比较

| 资本 | 项目 | 食物生产 | 原料生产 | 水资源供给 | 气体调节 | 气候调节 | 净化环境 | 水文调节 | 维持养分循环 | 美学景观 | 生物多样性 | 土壤保持 |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 人力资本 | 相关系数 | 0.604 | 0.065 | -0.827 | 0.215 | 0.166 | 0.146 | 0.463 | 0.573 | 0.099 | 0.091 | 0.23 |
| | p 值 | 0.001 | 0.753 | 0 | 0.29 | 0.419 | 0.476 | 0.017 | 0.002 | 0.63 | 0.658 | 0.259 |
| 自然资本 | 相关系数 | 0.698 | 0.55 | -0.372 | 0.61 | 0.586 | 0.562 | 0.717 | 0.637 | 0.541 | 0.544 | 0.579 |
| | p 值 | 0 | 0.004 | 0.062 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0 | 0 | 0.004 | 0.004 | 0.002 |
| 物质资本 | 相关系数 | 0.522 | -0.032 | -0.805 | 0.119 | 0.071 | 0.058 | 0.435 | 0.493 | 0.005 | -0.025 | 0.135 |
| | p 值 | 0.006 | 0.877 | 0 | 0.564 | 0.731 | 0.778 | 0.026 | 0.011 | 0.979 | 0.903 | 0.51 |
| 金融资本 | 相关系数 | 0.299 | -0.067 | -0.537 | 0.024 | -0.011 | -0.033 | 0.203 | 0.237 | -0.06 | -0.059 | 0.033 |
| | p 值 | 0.138 | 0.744 | 0.005 | 0.906 | 0.957 | 0.871 | 0.32 | 0.243 | 0.77 | 0.773 | 0.874 |
| 社会资本 | 相关系数 | -0.642 | -0.642 | 0.158 | -0.677 | -0.671 | -0.674 | -0.665 | -0.669 | -0.655 | -0.671 | -0.657 |
| | p 值 | 0 | 0 | 0.440 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 脆弱性资本 | 相关系数 | -0.14 | -0.273 | -0.148 | -0.25 | -0.261 | -0.27 | -0.25 | -0.252 | -0.151 | -0.276 | -0.268 |
| | p 值 | 0.494 | 0.177 | 0.471 | 0.217 | 0.198 | 0.183 | 0.218 | 0.213 | 0.461 | 0.172 | 0.186 |

注：* $p < 0.05$; * * $p < 0.01$ 。

3.3.4 文化服务 农户自然资本、人力资本与金融资本在随着文化服务的变化呈先上升后下降的趋势,而社会资本则随之呈先下降后上升的趋势(图 7D)。旅游区文化景观服务功能会使农户生计资本投入向

服务业倾斜,因此生计资本会相应增加,但随着市场饱和,增加的速率会下降,到了临界点后,资本投入会减少,将转向其他生计方式。

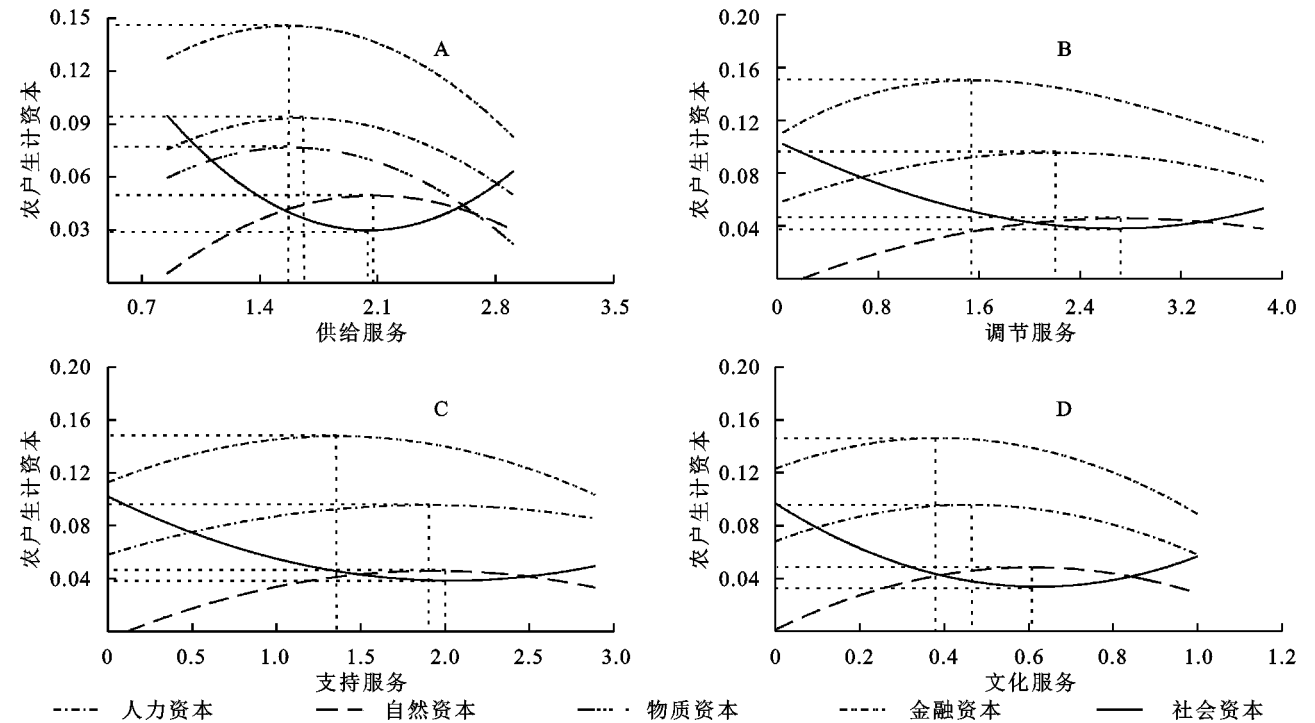


图 7 生态系统服务类型对农户生计影响

3.4 农户生计变化对生态系统服务的影响

3.4.1 自然资本 农户的自然资本与生态系统的水资源供给呈现中度的负相关,而与其他服务类型都具有强相关,其中与水文调节的相关性最强,相关系数

为 0.717,其次是粮食生产,相关系数为 0.698。自然资本是被人类使用和维持生活的水、土地和各种生物资源^[25],农户的自然资本累积量反映了生态系统服务价值的变化过程(图 8A),耕地的面积和质量直接

影响到农户的生产利益,随着城市化发展,耕地数量减少,耕地质量降低,势必会降低生态系统提供的粮食生产服务。当农户能够充分合理的利用自然资本时,就会从生态系统中获取相应利益,但是当农户过度开发耕地,或者滥用水资源,超过生态系统承载力,生态系统提供的服务价值就会随着农户自然资本的增加而减少,对农户生产具有消极影响。

3.4.2 人力资本 人力资本与生态系统的食物生产、水文调节及维持养分循环服务具有显著的正相关关系,关联度分别为 0.604,0.463,0.53;人力资本与水资源供给存在极强的负相关关系,关联度为-0.827,人口的增长与用水量的增加有密切的关系,通过图 8B 可看出,随着人力资本的增加,水资源存在供应不足,对水资源具有胁迫作用。从事农业劳动力的增加有对食物生产具有促进作用。人口的增长,必然带来技术的进步,尽管城市化进程会削弱生态系统提供的服务价值,但是人力资本在一定程度上会加速生态系统的物质养分循环。

3.4.3 社会资本 社会资本与水资源供给没有显著相关性,但与其他生态系统服务功能都具有较强的负相关关系(图 8C),相关系数为-0.6~-0.7。社会资本将个体连接起来,嵌入到社会网络中^[25],本文社会资本选取的是城镇化率和义务教育普及率及图书馆个数,反映农户与之具有密切社会关系的亲戚朋友职业收入等要素,城镇化的发展会使农户向非农经济发展,从而降低了对生态系统的依赖性。

3.4.4 物质资本 农户的物质资本与水文调节、维持养分循环具有中度的相关性,与食物生产呈现显著的正相关性(图 8D),相关系数为 0.522,而农户物质资本的增加会造成水资源负向增长,两者之间的相关系数为-0.8。农户的物质资本包括了基础生产资料和公共基础设施两大类。当农户具有种类或功能较为齐全的生产工具或生产材料,对耕地农田会有更高的使用率,因此会产生更多的粮食收益,但是若要获得更多的粮食效益,需要更多的水资源进行农田灌溉,势必会增加水资源负担。当政府加大了对农村公路的修缮与维护,交通方便,更多的年轻人会选择进城务工,打工成为他们主要生计之一,在一定程度上会降低农村人口承载力,有助于生态恢复。

3.4.5 金融资本 如图 8E 所示,农户的金融资本只与水资源供给呈现较强的负相关关系,相关系数为-0.537,而与其生态系统服务都不具备显著的相关关系。农户收入的增加可改变对水资源的利用方式,从

最初的满足家庭基本需求用水和农业用水,到工业和城镇居民用水,使得水资源供给量严峻。

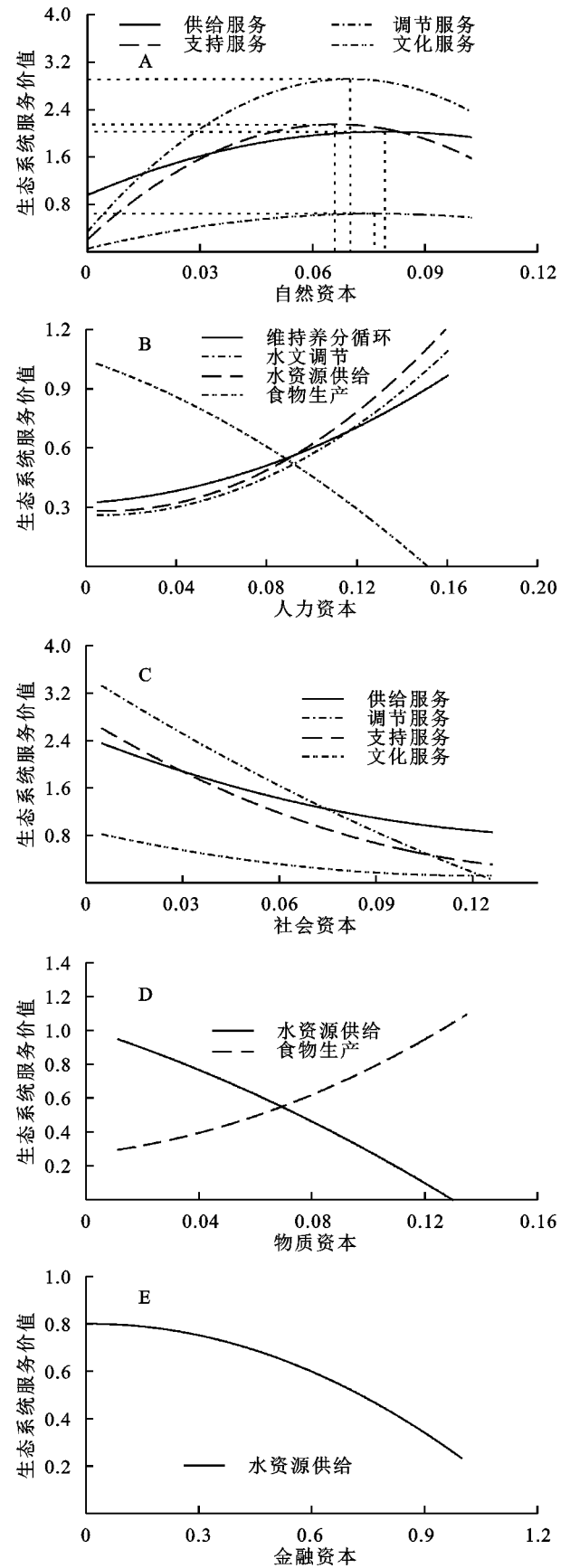


图 8 农户生计变化对生态系统服务的影响

3.5 生态系统服务与农户生计关系结果比较分析

通过对比,本研究中的农户生计资本与生态系统服务关系国内外学者的研究结果一致(见表 6),众多研究发现粮食供给服务与农户生计具有显著相关性^[26-28],且生计资本变化与会反向影响粮食产量^[27]。虽然普遍学者认为家庭收入与生态系统服务具有负

相关关系^[26-27],但也有学者认为生态系统的服务会促进农户收入向其他形式的金融资本转换^[29]。生态系统服务对农户生计产生的变化并不是单向的,一类生态系统服务在影响生计的同时,产生的生计结果会对生态系统的其他服务造成一定程度的影响^[30]。

表 6 国内外生态系统服务与农户生计关系结果比较

| 生态系统服务 | 生态系统服务与农户生计关系结果 | 作者 | 年份 |
|--------|--|---------------------------|------|
| 粮食供给 | 农户生计资本投入类型对粮食产量的影响存在显著的空间差异 | 张永强等 ^[26] | 2017 |
| | 农户的金融资本与粮食供给呈负相关 | 张焱等 ^[27] | 2019 |
| | 农户金融资本和自然资本与生态系统服务的粮食供给和水资源供给具有显著相关性 | Bacon 等 ^[28] | 2021 |
| 水资源供给 | 农户对未来水资源紧缺感知明确度与用水效率呈正相关 | 刘维哲等 ^[31] | 2021 |
| | 地下水开采量减少会导致贫困发生率上升,开采量与农牧业产量之间为负相关 | 赵越等 ^[32] | 2020 |
| | 拥有大量土地的农民通过使用井筒挖掘深层地下水来对水资源缺乏做出响应 | Patil 等 ^[33] | 2019 |
| 水文调节 | 农户敏感性和适应能力的差异会对水文的调节具有不同的生计脆弱性水平 | Mwatu 等 ^[34] | 2020 |
| | 获得农业推广服务、非农工作机会和生计的多样性是农户对水文调节适应的主要驱动力 | Ashar 等 ^[35] | 2021 |
| | 农户的文化程度与农户参与土壤保持治理意识呈正相关 | 付同刚等 ^[36] | 2021 |
| 土壤保持 | 水土保持获得的生计资本大小顺序为自然资本>物质资本=人力资本>金融资本>社会资本 | Hishe 等 ^[37] | 2019 |
| | 多年冻土的退化导致农户物质资本的安全和发展 | Vasylii 等 ^[38] | 2021 |
| | 在生态旅游区农户薪柴和电能源消耗与碳排放为正相关 | 雷硕等 ^[39] | 2020 |
| 气体调节 | 农户的生计资本对农业生产碳排放强度具有显著的负向影响 | 王秀兰等 ^[40] | 2020 |
| | 气候变化对农户农业保险购买行为有显著的促进作用 | 胡新艳等 ^[41] | 2021 |
| | 气候变化会影响农户倾向于采取成本较低的应对措施,由此对粮食单产产生显著的正向影响 | 高雪等 ^[30] | 2021 |
| 气候调节 | 农户生计多样化与气候变化具有正相关关系 | 祁新华等 ^[42] | 2017 |
| | 气候变化直接影响渔民家庭的生计多样性。影响程度取决于农户的家庭特征及条件 | Phuong 等 ^[43] | 2021 |
| | 生物多样性保护与农户贫困发生率没有显著关系,但会显著减少家庭人均纯收入 | 马奔等 ^[29] | 2017 |
| 生物多样性 | 土壤生物多样性可以降低农户对化学农药的依赖,降低农户生计脆弱性 | 弓成等 ^[44] | 2020 |
| | 景区的美学景观功能导致生计资本空间分布不均 | 李龙等 ^[45] | 2021 |
| | 景区的美学景观功能与农户农业生产效率呈正相关 | 李瑛等 ^[46] | 2020 |

4 结论与建议

4.1 结论

三峡库区 2019 年生态系统服务总价值为 2 093.650 亿元,在空间上呈现库区东部多,西部少的分布格局。其中调节服务高于其他生态系统服务功能提供的经济价值,约占整个生态系统服务价值的 67.62%;就区县而言,巴东县提供了整个库区百分之十的生态系统服务价值,约为 210.958 亿元,而渝中区生态系统仅提供了 1.079 亿元的服务价值;三峡库区生态系统服务对农户生计贡献率依次为农业(62.17%)>畜牧业(26.39%)>林业(4.78%)>渔业(3.76%)。

三峡库区农户生计资本总量为 13.117,其中农户的金融资本最多,农户的脆弱性生计资本、人力资本、物质资本和社会资本相对较少,自然资本最少,仅为 0.773;三

峡库区各区县中,江津区农户生计资本总量最多,为 0.684,渝中区农户生计资本量最少,为 0.331。

随着三峡库区生态系统服务价值的变化,农户的人力资本、自然资本和金融资本存量变化呈抛物线趋势,农户的社会资本呈先下降后上升的变化趋势。随着农户自然资本的累积,生态系统服务提供的经济价值呈现先上升后下降的变化趋势;农户社会资本变化使生态系统服务价值呈现下降的趋势,但变化的速率逐渐降低;农户的人力资本、物质资本与金融资本与水资源供给具有显著负相关关系,且随着资本累积,水资源供给服务价值减少量越大。

4.2 建议

从研究结果来看,三峡库区 2019 年的金融资本最多,农业对农户收入贡献率最大,农业发展对农村经济具有显著的推动作用。然而受地形限制,农户自

然资本匮乏,农户的生计脆弱性较大,而传统农业依然是农户主要经济动力,耕地和林地作为农户生计的基本生产资料与生活保障,必须要合理配置资源,加快农业技术革新,协调生态与经济持续发展。三峡库区东部地区可以依靠丰富的森林资源发展“农—林”经济模式,在最低损耗森林条件下实现农林经济的最大化发展,减少农户对耕地的依赖性和损耗度,加强对林业经济的调控和引导,实现农业经济循环有序发展。三峡库区的人力资本总量较低,且由于区域发展不协调,人力资本空间分布不均,但是作为农户生计资本的缔造者,劳动资源会深刻影响农户生计的变化趋势以及经济发展状态。随着人力资源供需的变化,欠发达地区需培养或引进人力资源优势,深化与发达区域的劳务合作,协调人力资本空间分布不均的差异化。要支持库区欠发达地区以提升农户就业能力的职能培训,重点开展生态农业技能培训。为了让农户生计与区域经济得到统筹发展,需要引领农户以不同方式关注和参与库区生态环境建设与保护,减少农户对化肥农药的使用,做好对生态功能区的水源涵养、生物多样性保护、水土保持等工作。

参考文献:

- [1] 邓楚雄,刘俊宇,李忠武,等.近20年国内外生态系统服务研究回顾与解析[J].生态环境学报,2019,28(10):2119-2128.
- [2] Carpenter S R, Defries R, Dietz T, et al. Millennium ecosystem assessment: research needs[J]. Science, 2006, 314(5797):257-258.
- [3] 马克明,孔红梅,关文彬,等.生态系统健康评价:方法与方向[J].生态学报,2001,21(12):2106-2116.
- [4] 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.
- [5] 美国马里兰大学,美国怀俄明大学,荷兰瓦格宁根农业大学,等.全球生态系统服务与自然资本的价值估算[J].生态学杂志,1999,4(2):71-75,77-79.
- [6] 侯元兆,王琦.中国森林资源核算研究[J].世界林业研究,1995,8(3):51-56.
- [7] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J].生态学报,1999,4(5):19-25.
- [8] 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值[J].科学通报,2000,45(1):17-22.
- [9] 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.
- [10] 李丹,许娟,付静.民族地区水库移民可持续生计资本及其生计策略关系研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2015,15(1):51-57.
- [11] Aye W, Wen Y, Marin K, et al. Contribution of mangrove forest to the livelihood of local communities in Ayeyarwaddy Region, Myanmar[J]. Forests, 2019,10(5):414-426.
- [12] Suleiman M S, Wasonga V O, Mbau J S, et al. Non-timber forest products and their contribution to households income around Falgore Game Reserve in Kano, Nigeria[J]. Ecological Processes, 2017,6(1):23-46.
- [13] Shukla G, Vineeta V, Chakravarty S, et al. Contribution of NTFPs on livelihood of forest-fringe communities in Jaldapara National Park, India[J]. Journal of Sustainable Forestry, 2019,38(3):213-229.
- [14] Liu Y, Wei S, Mu F. Changes in ecosystem services associated with planting structures of cropland: A case study in minle County in China[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2017,102:10-20.
- [15] Pujiasmanto B, Rahayu E S, Murniyanto E. Cashew: Contribution to the household economy and carbon stock: Case study in Wonogiri regency[J]. Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 2021,637(1):0.12042.DOI: 10.1088/1755-1315/637/1/012042.
- [16] 杨子,马贤磊,诸培新,等.土地流转与农民收入变化研究[J].中国人口·资源与环境,2017,27(5):111-120.
- [17] Burns C, Key N, Tulman S, et al. Farmland Values, Land Ownership, and Returns to Farmland, 2000-2016[R]. U. S. Department of Agriculture, Economic Research Report, 2018.
- [18] Derocles S A P, Lunt D H, Berthe S C F, et al. Climate-warming alters the structure of farmland tri-trophic ecological networks and reduces crop yield[J]. Molecular Ecology, 2018,27(23):4931-4946.
- [19] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [20] 段瑞娟,郝晋珉,王静.土地利用结构与生态系统服务功能价值变化研究:以山西省大同市为例[J].生态经济:学术版,2005(3):60-62,64.
- [21] 李小云,董强,饶小龙,等.农户脆弱性分析方法及其本土化应用[J].中国农村经济,2007(4):32-39.
- [22] 赵雪雁.生计资本对农牧民生活满意度的影响:以甘南高原为例[J].地理研究,2011,30(4):687-698.
- [23] 李丹,许娟,付静.民族地区水库移民可持续生计资本及其生计策略关系研究[J].中国地质大学学报:社会科学版,2015,15(1):51-57.
- [24] 陈炳为,许碧云.等级资料的多项相关、直线相关及秩

- 相关系数的比较[J].现代预防医学,2009,36(17):3206-3208.
- [25] 刘玉平,万华伟,彭羽,等.生物多样性贡献人类福祉的研究进展[J].环境生态学,2021,3(5):43-48.
- [26] 张永强,张晓飞,周宁,等.农户资本投入不确定性对粮食产量影响的空间差异分析[J].农业技术经济,2017(3):14-24.
- [27] 张焱,冯璐,陈良正,等.农户生计策略选择对其生计后果的影响:以云南边境山区为例[J].江苏农业科学,2019,47(16):322-326.
- [28] Bacon C M, Sundstrom W A, Stewart I T, et al. Towards smallholder food and water security: Climate variability in the context of multiple livelihood hazards in Nicaragua [J]. World Development, 2021, 143: 105468. DOI: 10.1016/j.worlddev.2021.105468.
- [29] 马奔,丁慧敏,温亚利.生物多样性保护对多维贫困的影响研究:基于中国7省保护区周边社区数据[J].农业技术经济,2017(4):116-128.
- [30] 高雪,李谷成,尹朝静.气候变化下的农户适应性行为及其对粮食单产的影响[J].中国农业大学学报,2021,26(3):240-248.
- [31] 刘维哲,王西琴.农户稀缺感知、超采认知对地下水灌溉用水效率的影响:基于河北地下水超采区457个农户调研数据[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(5):929-936.
- [32] 赵越,吕现昌,尚海洋.地下水灌溉对小农生计的影响:以石羊河流域民勤县为例[J].资源开发与市场,2020,36(1):33-38,94.
- [33] Patil V S, Thomas B K, Lele S, et al. Adapting or chasing water? Crop choice and farmers' responses to water stress in Peri-Urban Bangalore, India [J]. Irrigation and Drainage, 2019, 68(2):140-151.
- [34] Mwatu M M, Recha C W, Ondimu K N. Assessment of livelihood vulnerability to rainfall variability among crop farming households in Kitui South Sub-County, Kenya [J]. Open Access Library Journal, 2020, 7(6): 1-14.
- [35] Ashar A, Ajaz A, Riccardo S. Farm households' perception of weather change and flood adaptations in northern Pakistan [J]. Ecological Economics, 2021, 182(2016): 106882. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2020.106882.
- [36] 付同刚,蒋莞艳,刘鹏,等.内蒙古河套灌区盐碱地治理中农户参与意识及其影响因素[J].中国生态农业学报,2021,29(4):625-632.
- [37] Hishe S, Lyimo J, Bewket W. Impacts of soil and water conservation intervention on rural livelihoods in the Middle Suluh Valley, Tigray Region, northern Ethiopia [J]. Environment, Development and Sustainability, 2019, 21(6):2641-2665.
- [38] Vasylii L, Alexander S, Lilia V, et al. Influence of permafrost landscapes degradation on livelihoods of Sakha Republic(Yakutia)rural communities [J]. Land, 2021, 10(2):1-21.
- [39] 雷硕,赵正,杨洁,等.农户参与生态旅游的能源碳排放测算及影响因素研究:基于大熊猫国家公园试点调查数据[J].生态经济,2020,36(5):122-127.
- [40] 王秀兰,孟焱鑫,单玉红,等.农户农业生产的碳排放及其影响因素:以湖北省部分地区为例[J].水土保持通报,2020,40(6):160-167,174.
- [41] 胡新艳,郑沃林.气候变化、农业风险与农户农业保险购买行为[J].湖南师范大学社会科学学报,2021,50(2):95-104.
- [42] 祁新华,杨颖,金星星,等.农户对气候变化的感知与生计适应:基于中部与东部村庄的调查对比[J].生态学报,2017,37(1):286-293.
- [43] Phuong H, Le N, Le S, et al. Vulnerability of fishery-based livelihoods to climate change in coastal communities in Central Vietnam [J]. Coastal Management, 2021, 49(3):1-18.
- [44] 弓成,刘云慧,满吉勇,等.基于生物多样性和生态系统服务的生态农场景观设计[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(10):1499-1508.
- [45] 李龙,杨效忠.廊道型乡村旅游地农户生计资本评价与空间格局特征:以大别山国家风景道为例[J].地理科学,2021,41(2):340-349.
- [46] 李瑛,黄丹,朱莹,等.景区带村扶贫模式下农户参与旅游的经济效率:以秦巴山区旅游扶贫重点村为例[J].资源科学,2020,42(9):1827-1836.