

引用格式: 乔旭宁, 张婷, 杨永菊, 等. 渭干河流域生态系统服务的空间溢出及对居民福祉的影响[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 533-544. [Qiao X N, Zhang T, Yang Y J, et al. Spatial flow of ecosystem services and impacts on human well-being in the Weigan River Basin[J]. *Resources Science*, 2017, 39(3): 533-544]. DOI: 10.18402/resci.2017.03.15

渭干河流域生态系统服务的空间溢出及对居民福祉的影响

乔旭宁^{1,2}, 张婷¹, 杨永菊¹, 牛海鹏^{1,2}, 杨德刚³

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000;

2. 河南理工大学土地经济与城乡发展研究中心, 焦作 454000;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 生态系统服务的空间流动性对流域居民福祉产生了重大影响。本文基于场强理论和断裂点模型构建了流域生态系统服务空间转移模型, 以MA的人类福祉框架为基础建立流域居民福祉评价指标体系, 运用格兰杰因果关系检验方法及灰色关联模型, 以渭干河流域为例, 分析了2000-2010年流域生态系统服务价值空间流转及其对居民福祉的影响。结果表明: ①流域生态系统服务存在空间溢出效应。渭干河流域上游向下游的生态系统服务流转强度与距离成反比, 溢出价值先下降后波动上升。②渭干河流域居民福祉由基本需求、安全与健康、精神三个层次构成, 按重要性排序表现为安全与健康>基本需求>精神需求, 并呈现出库车县的福祉水平最高、拜城县其次、沙雅县再次、新和县最低的空间分异特征。③流域生态系统服务空间流转是居民福祉的格兰杰原因, 前者对后者产生了较显著的影响, 对安全与健康福祉产生的影响最大, 上游森林生态系统服务流转与下游居民福祉的耦合度最高, 荒漠与居民福祉的耦合度最低。

关键词: 生态系统服务; 空间流转; 居民福祉; 耦合关系; 渭干河流域

DOI: 10.18402/resci.2017.03.15

1 引言

生态系统服务是指人类从生态系统中直接或间接所获得的各种惠益, 主要包括向经济社会系统传送有用的物质和能量, 吸收、分解和转化来自经济社会系统的废弃物, 直接提供给社会成员的各种服务^[1]。生态系统提供的服务价值在空间上是流动的, 并通过一定的介质进行传递^[2]。生态系统服务的空间流转是指一些服务功能可能会通过某些途径在空间上转移到系统之外的具备适当外部条件的地区并产生效能^[2]。流域生态系统服务流通常是指以河流为通道将位于上游的生态系统所提供的水文调节、净化水质、水源涵养等服务功能转移

到下游并使下游收益的空间转移现象。要实现生态系统服务的价值, 就必须首先讨论生态系统服务价值的客观流向, 明确研究区内各类生态系统服务在空间上转移的一般规律^[3]。由于生态过程的复杂性和生态系统服务供给的时空动态性^[4], 明确其空间流转规律面临巨大挑战, 而空间分析与制图是解决上述问题的有效方法^[5]。同时, 人类福祉在生态系统服务的研究中受到越来越多的重视^[6], 人类福祉的理论起源于政治哲学, 是一个具有学科间综合性的概念^[7]。古典功利主义立场的福祉是指对所消费物品的偏好度或其效用的满意程度, 这些可以通过人们的幸福或满意度来评价^[8]。因此, 居民福祉

收稿日期: 2016-09-29; 修订日期: 2016-12-07

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金(13YJCZH140); 国家社会科学基金(14BJY021); 河南省高校科技创新人才支持计划(人文社科类)(教社科[2015]70号)。

作者简介: 乔旭宁, 男, 河南洛阳人, 博士, 副教授, 主要从事资源与区域发展研究。E-mail: qiaoxuning@126.com

与贫穷、可持续发展密切相关^[9]。居民福祉包括健康、文化、良好的物质文化条件、人际关系、自我选择和决定权等^[10]。千年生态系统评估(MA)是首次在全世界范围内进行的对生态系统的多层次综合评估,为促进生态系统对满足居民需求、对整个生态系统的保护和可持续利用所作的贡献奠定科学基础^[11]。

生态系统服务通过影响安全保障、维持高质量生活所需要的基本物质条件、健康以及社会与文化关系对人类福祉产生了深远的影响^[11]。反过来,福祉的组成要素又可以和人类获得的自由与选择产生相互影响^[12]。生态系统服务与人类福祉的关系非常复杂,在空间尺度上,国内外学者基于经济学的价值理论解释了地域差异对生态系统服务的影响,认为流域生态系统服务价值变化对居民福祉产生影响的深层原因在于流域生态系统服务的空间流转及其经济外部性致使流域生态资产占有和使用、生态环境建设投入和享用在空间上的分离^[13],导致生态系统服务价值高的区域(如流域上游)并不一定带来高的人类福祉,即所谓的“资源魔咒”^[14],或生态系统服务退化(如流域下游)而人类福祉提升的情况^[15],造成流域环境与生态系统资源管理的困难。时间尺度上,人类福祉与生态系统服务相对应,呈多层次性和动态性,基于生态系统服务供给与人类福祉关系框架^[16-18],Summers等认为人类福祉由人类基本需求、经济需求、环境需求以及主观幸福感构成^[19]。李琰等结合马斯洛的需求层次理论,将人类福祉分为福祉构建、福祉维护和福祉提升三个层次,这三个层次与生态系统服务的变化密切相关并动态演化^[20]。随着中国生态文明建设的深入推进及流域生态补偿制度的逐步建立,流域生态系统服务的时空规律及其对居民福祉的作用机制研究亟待深化,主要表现为:①生态系统服务时空变化的内在规律和特点尚不明确,对生态系统服务的空间结构、空间流动及其社会经济效应的区域差异认识不足,大多数研究局限在域内(on-site)效应研究和价值评估。②生态系统服务变动与流域居民福祉的作用关系有待做深入量化研究,具有外部性和尺度效应的生态系统服务与流域居民多层次福祉间的时空耦合机制尚不清晰,尤其缺乏对多尺度下

不同主体行为与生态系统服务之间内在联系的认识^[21]。因此,本文试图从两个方面开展研究:一是人类的选择和行为对生态系统服务的局部影响及对其他区域产生的溢出效应是什么?二是生态系统服务的溢出效应与居民福祉间是否存在因果关系?如果存在,关联强度如何?

2 研究区概况与数据来源

渭干河流域位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区东部,天山中段南坡和塔里木盆地北部之间,发源于天山中段南坡,由卡普斯浪河、木扎尔特河、卡拉苏河等五条支流汇合而成,包含库车、新和、沙雅和拜城四县,总面积为6.79万km²(图1)。2015年,流域总人口为120.39万,地区生产总值304.99亿元,人均GDP为1.93万元,地方财政一般预算收入52.74亿元,城镇居民人均可支配收入2.39万元,农民人均纯收入11284元,三次产业结构比为20.4:40.1:39.5。拜城县作为渭干河流域的源流区,复杂的地形地貌和明显的气候差异孕育了独特的生物区系和植被类型,是许多野生动植物的主要栖息

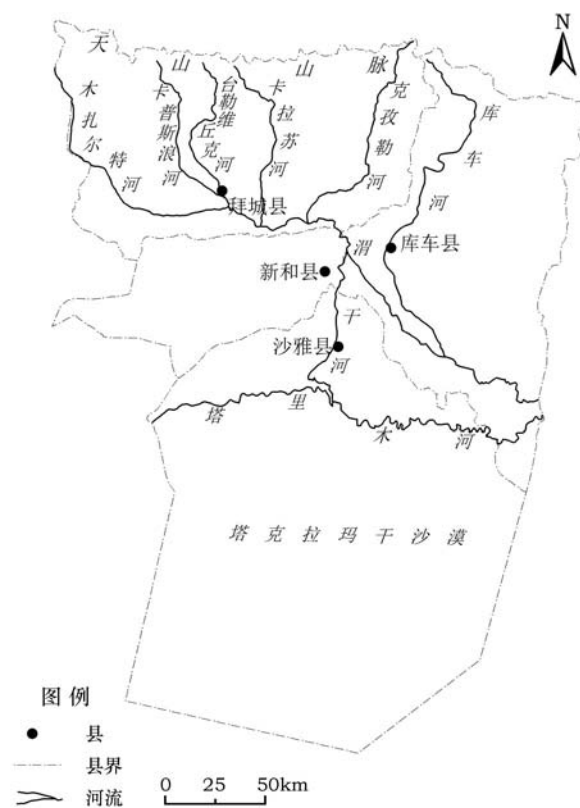


图1 研究区概况

Figure 1 Overview of the study area

2017年3月

地,具有“生态源”的重要地位。该区域承载着水源保护、水源涵养、水土保持和防风固沙等生态功能,不仅为流域源头地区人们的生存和发展提供了充分的物质保障,而且直接影响到整个流域的生态安全。但是农民人均纯收入仅为10 610元,为全流域最低。

本文数据来源于2000-2010年¹⁾《阿克苏地区统计年鉴》^[22]、2000-2010年阿克苏地区环境质量公报^[23]、2000-2010年阿克苏地区土地利用数据变更调查^[24]并对数据进行整理和统计。小麦、玉米、水稻等粮食作物收购价格源于新疆农业信息网(<http://www.xj-agri.gov.cn/>)及新疆农产品流通公共信息服务平台(<http://ncp.xjftcc.gov.cn/>)。

3 研究方法

3.1 流域生态系统服务空间流转测算方法

3.1.1 流域生态系统服务空间流转类型的界定与假设

在De Groot等国外学者关于各类生态系统服务在空间上的流转特征研究的基础上,考虑到流域自身特点^[3],对流域的生态系统服务空间流转类型进行界定和划分^[25](表1)。为了便于计算,假设生态系统服务按照是否发生流转分为不发生和发生流转两类,而后者在其流转过程中又被分为不发生和发生衰减,且发生衰减的服务类型都为面状衰

减,其中,水供给、养分循环及生物控制等功能在空间流转过程中基本不发生衰减,而土壤形成功能基本不发生流转,其余调节功能发生流转,而且呈衰减特征。另外,由于河流是从上游向下游流动且不可逆转,因而流域的水文调节功能和净化水质功能只有位于上游的拜城县向下游的库车县、新和县、沙雅县发生价值流转,且此过程不可逆。

3.1.2 流域生态系统服务空间流转模型的构建

生态系统服务随距离的逐渐增大而不断衰减^[3],其价值量的空间流转也会随影响区与被影响区之间距离的增大而减小^[25,26]。距离衰减原理是牛顿万有引力定律在区域间和城市间以及其他地理实体间的空间相互作用力的表现,在地理学中常用引力模型及其变形公式,如:断裂点公式、场强公式定量研究区域间、城市间的经济相互影响程度。区域间的生态系统服务的空间流转也表现出随着区域间空间距离的增大而递减的规律,因此,根据生态系统服务的流转特点及文中所作假设,引入物理学中的引力模型,来解释两区域之间的生态系统服务的互相作用关系,场强模型测算单位面积生态系统服务的强度,而裂点模型则可以计算两区域之间生态系统服务价值的作用边界。流域生态系统服务空间流转计算模型如下^[25]:

生态系统服务流转的断裂点公式:

$$D_l = \frac{D_{ij}}{1 + \sqrt{V_j/V_l}} \quad (1)$$

式中 D_l 为转出区生态系统服务中心点到断裂点的距离; D_{ij} 为转出区中心点与转入区中心点间的距离; V_l 、 V_j 分别为转出区和转入区生态系统服务价值; l 为生态系统服务的转出区; j 为生态系统服务的转入区。据公式(1)可以计算出实际受影响区的界线和范围,运用GIS的缓冲区分析和交运算功能可估算出其生态系统服务转移面积 A 。

场强公式:

$$I_{ij} = \frac{V_l}{D_{ij}^2} \quad (2)$$

式中 I_{ij} 为 l 区域生态系统服务在 j 区域的平均转移

表1 不同生态系统服务的流转特征

Table 1 Features of different ecosystem service flows

生态系统服务类型	流转特征	流转范围/km
大气调节	流转中不断衰减	100~10 000
气候调节	面状衰减	10~1 000
灾害预防	线状逐渐衰减	10~100
水文调节	面状和线状逐渐衰减	100
水源供给	线状流转,损失较少	10~100
水土保持	面状逐渐衰减	100
土壤形成	基本不发生流转和衰减	-
养分循环	基本无衰减	1 000
净化水质	面状逐级衰减	10~100
传粉	域内外不规则流转	0.1~100
生物控制	流转中不发生明显的衰减	1 000

注:表中生态系统服务类型的划分参照文献[3]与[23]。

1)从2011年起,阿克苏地区统计年鉴更新了统计口径和不变价测算方法,为了保持时间序列数据可比性,研究仅收集并测算了2000-2010年的指标数据。

强度。因此,从*l*区域向*j*区域转移的生态系统服务价值,可以用以下模型进行评估:

$$V_{ij} = k_{ij} \frac{M_{ij} A}{D_{ij}^2} \quad (3)$$

将公式(2)代入公式(3),又可得到如下模型:

$$V_{ij} = k_{ij} I_{ij} A \quad (4)$$

式中 V_{ij} 为生态系统服务从*l*区域到*j*区域转移的价值总量; M_{ij} 为从*l*区域到*j*区域单位生态系统服务价值量,转入为正值,转出取负值; k_{ij} 为影响*l*区域到*j*区域的生态系统服务空间流转的影响因子,取值为[0~1],随着区域间水、风、生物等介质传递生态系统服务的频度、规模的增加而增大,并受地形地貌等自然因素的影响, k 一般取值0.6^[16],在干旱区内陆河流域,河流是重要的影响因子,因此, k 应当大于0.6,小于1,取中间值为0.8; A 为生态系统服务从*l*区域转移到*j*区域的面积。

3.1.3 流域生态系统服务空间流转价值测算

本文采用 Costanza 等提出的生态系统服务价值评估方法和谢高地等基于500份调查问卷修订后的中国生态系统服务价值当量因子表^[27],结合生态系统服务空间流转假设与测算模型,估算流域生态系统服务的空间流转价值^[1]。根据塔里木河及渭干河流域的已有研究成果^[25, 28, 29],渭干河流域森林、草地和水体的修正系数分别为0.4622、0.3334和0.9400,其他修正值均为1。以此为基础,对“中国生态系统单位面积生态系统服务价值当量表”^[27]进行修正,得到渭干河流域生态系统单位面积生态系统服务价值当量表(表2),结合流域土地利用数据,

根据流域生态系统服务空间流转类型的界定、假设及空间流转模型,计算渭干河流域生态系统服务空间流转价值。

3.2 居民福祉评价指标体系构建与权重确定

MA将人类福祉的构成要素划分为维持高质量生活水平的基本物质需求、健康、选择与自由、良好的社会关系和人身安全5类^[8],考虑到居民福祉的多维特征,将其总结为基本需求、安全与健康及精神需求三个层次,基于MA人类福祉视角,顾及研究区的自然资源状况、社会和经济条件,结合数据的可获取性原则选取指标,建立渭干河流域居民福祉评价指标体系(表3)。居民福祉包括客观福祉和主观福祉两个方面,考虑到研究时间维度及可比性,本文采用客观指标,相对于主观福祉,其更能准确地反映人类福利水平的提升^[30]。

指标体系分为基本需求、安全与健康和精神需求3个一级指标,其中基本需求又包括基本收入和基本物质2个二级指标以及农民年人均纯收入、人均生产总值、人均耕地面积、粮食作物总产量、用水普及率、人均居住面积等17个三级指标;安全与健康包括安全与健康2个二级指标和年人均粮食拥有量、周转粮食库存量、期望寿命、环境空气质量等12个三级指标;精神包括良好的社会关系和文化教育2个二级指标及年离婚对数、各类纠纷调解数、财政教育支出、初中平均每个教师负担学生数等15个三级指标(表3)。研究采用熵值法来确定评价指标的权重。熵值法是相对客观的权重计算方法,它通过计算指标的熵值来判断这一指标的随机性和离散程度,离散程度越大,指标的权重就越大。

表2 渭干河流域生态系统单位面积生态服务价值当量

Table 2 Equivalent value per unit area of ecosystem services in Weigan River Basin

生态系统服务功能	森林	草地	农田	湿地	河流	荒漠	总计
食物生产	0.15	0.14	1.00	0.36	0.50	0.02	2.17
原材料生产	1.38	0.12	0.39	0.24	0.33	0.04	2.50
气体调节	2.00	0.50	0.72	2.41	0.48	0.06	6.17
气候调节	1.88	0.52	0.97	13.55	1.94	0.13	18.99
水文调节	1.89	0.51	0.77	13.44	17.64	0.07	34.32
废物处理	0.79	0.44	1.39	14.40	13.96	0.26	31.24
维持生物多样性	2.08	0.62	1.02	3.69	3.22	0.40	11.04
提供美学景观	0.96	0.29	0.17	4.69	4.17	0.24	10.53

注:表中生态系统服务功能的分类方法参照文献[25]。

2017年3月

表3 居民福祉评价指标体系与权重

Table 3 The weights of the human well-being indicators system

要素层	权重	准则层	权重	指标层	权重	指标性质
基本需求	0.314 5	基本收入	0.166 9	农民年人均纯收入/元	0.008 6	+
				城镇单位从业人员劳动报酬/万元	0.019 8	+
				农业收入/万元	0.015 5	+
				林业收入/万元	0.034 0	+
				牧业收入/万元	0.024 4	+
		基本物质	0.110 1	人均生产总值(2005年可比价)/万元	0.008 3	+
				人均耕地面积/hm ²	0.003 8	+
				农作物播种面积/hm ²	0.004 5	+
				粮食作物产量/t	0.006 0	+
				畜产品总产肉量/t	0.033 7	+
				禽蛋产量/t	0.042 1	+
				水产品产量/t	0.057 1	+
				道路长度/km	0.018 9	+
				农业机械总动力/kW	0.008 4	+
				人均居住面积/m ²	0.005 3	+
				用水普及率/%	0.000 3	+
				用气普及率/%	0.002 5	+
安全与健康需求	0.470 0	安全	0.277 9	周转粮食库存情况/t	0.026 2	+
				年人均粮食拥有量/t	0.004 6	+
				人均日生活用水量/l	0.007 1	+
				全年沙尘暴日数/天	0.089 0	-
				公安机关受理查处治安案件/件	0.020 0	-
		健康	0.269 1	森林覆盖率/%	0.014 5	+
				环境空气质量(二氧化硫排放量)/t	0.151 2	-
				污水处理率/%	0.000 4	+
				污水年排放量/t	0.028 0	-
				污水年处理量/t	0.067 1	+
				床位数/个	0.014 8	+
				卫生技术人员/人	0.014 1	+
精神需求	0.215 5	良好的社会关系	0.065 6	年离婚数/对	0.017 8	-
				婚姻、家庭、继承纠纷数/件	0.096 6	-
				各类纠纷调解数/件	0.034 8	+
				社会办敬老院数/个	0.004 0	+
				社会福利事业单位员工人数/人	0.018 0	+
		文化教育	0.110 4	社会福利事业人均供养金/元	0.018 2	+
				城镇居民低保人数/人	0.013 5	-
				成人高等学校在校生数/人	0.012 0	+
				小升初比例/%	0.0448E-04	+
				小学平均每个教师负担学生数/人	0.001 3	+
				初中平均每个教师负担学生数/人	0.002 5	+
				教育财政支出/万元	0.038 2	+
				图书馆数/个	0.002 6	+
				艺术团送戏下乡数/次	0.010 1	+
				电视覆盖率/%	0.000 1	+

3.3 生态系统服务空间流转对居民福祉影响的测算方法

渭干河流域生态系统服务与居民福祉间的关系研究分为两个层次:一是采用格兰杰因果关系检验方法,对生态系统服务空间流转与居民福祉之间的因果关系进行检验;二是运用灰色关联分析方法,研究不同类型生态系统服务与居民福祉组分间的关联程度。

3.3.1 格兰杰因果关系检验

格兰杰因果关系检验(Granger Causality Test)是一种分析时间序列变量之间的因果关系的方法,运用该方法对生态系统服务空间流转价值与居民福祉之间是否存在因果关系进行验证。

(1)运用软件 Eviews8.0,采用单位根检验(ADF)对生态系统服务空间流转价值总量和居民福祉指标值进行平稳性检验。

(2)基于 Johansen 协整检验,确定生态系统服务空间流转价值和居民福祉指标值之间是否存在协整关系,及最佳滞后期。

(3)运用格兰杰因果关系检验,确定在某一显著水平下,生态系统服务空间流转与居民福祉间的格兰杰因果关系。依照 ADF 检验-VAR 模型-协整检验-格兰杰因果关系检验的步骤,测算渭干河流域各类型生态系统服务空间流转与居民福祉构成要素间的格兰杰因果关系。

3.3.2 灰色关联分析方法

通过灰色关联度分析方法来判断流域生态系统服务的空间溢出效应对流域居民福祉的影响程度。该方法是依据各因素之间发展趋势的相似或相异程度作为衡量因素间关联程度的一种方法。基于灰色系统的灰色过程,对流域生态系统服务价值与居民福祉指标值间的关联度进行测算,确定生态系统服务各要素与流域居民福祉各组分间作用程度,以及影响渭干河流域居民福祉的主要生态系统类型,具体测算过程可参考文献[31]。

4 生态系统服务空间流转对居民福祉的影响分析

4.1 流域生态系统服务的空间溢出效应

渭干河流域上游向下游3个县流转的生态系统服务价值量基本呈先下降,后波动上升

的趋势(图2),上游生态系统服务向下游的溢出效应不断增强($y=0.41x+4.2232$, $R^2=0.6082$)。2001年新和县生态系统服务价值流转总量下降到最小值1.84亿元,2002-2004年流转总量逐年增加,2004-2006年出现缓慢下降,之后2007年快速上升,2008年达到最大值4.04亿元后,2009-2010年有小幅波动。沙雅县2001年的生态系统服务价值流转总量最小,为2.08亿元,2008年达到最大值4.19亿元,2009年流转总量降低,2010年有所回升。库车县2000-2010年生态系统服务价值流转总量在0.24-1.06亿元之间波动,2001年为最小值0.24亿元,2008年为最大值1.05亿元,相比其他2个县,库车县的流转量波动幅度最小。

4.2 流域居民福祉的时空变化

渭干河流域居民福祉按重要性排序表现为安全与健康>基本需求>精神需求,并呈现出库车县的福祉水平最高、拜城县其次、沙雅县再次、新和县最低的空间分异特征。2000-2010年渭干河流域居民福祉及构成要素皆呈现波动上升过程(图3),其中:安全与健康福祉在居民福祉指标中的波动最大且计算结果在三者中最大,基本需求居中呈不断增长态势,2008年超过安全与健康福祉,成为最重要的福祉要素,2009-2010年间二者持平。精神福祉对流域居民福祉的贡献度最低,呈波动上升趋势,与基本需求及安全与健康福祉的差距不断加大。

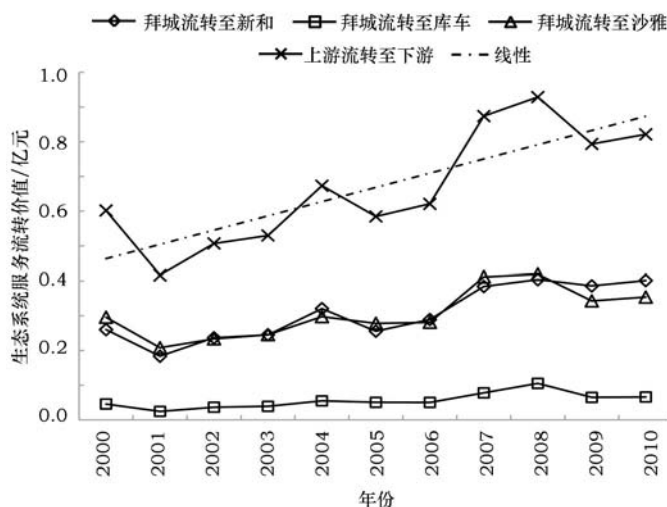


图2 2000-2010年渭干河流域上游向下游流转的生态系统服务价值

Figure 2 Ecosystem service values flow from upstream to downstream of Weigan River Basin from 2000 to 2010

2017年3月

根据马斯洛需求层次理论,人的需要从低到高分别经历生理需求、安全需求、社交需求、尊重需求和自我实现需求,按层次逐级递升,但这样次序不是完全固定的,也有例外情况^[32]。从测算结果看,流域进入了以安全与健康为主导的福祉需求阶段,这与流域社会经济发展所处的阶段基本吻合。但流域总体社会经济发展水平比较低,2010年人均GDP为1.93万元(约2827美元),低于全疆平均水平(2.50万元),远低于全国平均水平(2.99万元);从产业结构看,第一产业比重25.6%,第二产业比重43.4%;从产业类型看,以石油和天然气开采业占主导地位;区域发展差异显著,库车县GDP占流域的54%,第二产业产值占流域的70%,相比之下,新和县仅占11%和4%;生态环境相对脆弱,人类活动对自然环境的扰动不断加剧,流域居民的福祉需求会产生波动,基本需求超过安全与健康需求的现象时有发生(图3)。

4.3 流域生态系统服务空间流转对居民福祉的影响

4.3.1 流域生态系统服务空间流转与居民福祉的因果关系

(1)流域生态系统服务空间流转与居民福祉的格兰杰因果关系。居民福祉指标值为平稳序列,生态系统服务流转价值序列为不平稳序列,一阶差分平稳;生态系统服务空间流转价值和居民福祉指标值之间存在协整关系,且最佳滞后期数为4;由于渭干河流域生态系统自身的复杂性及福祉构成要素

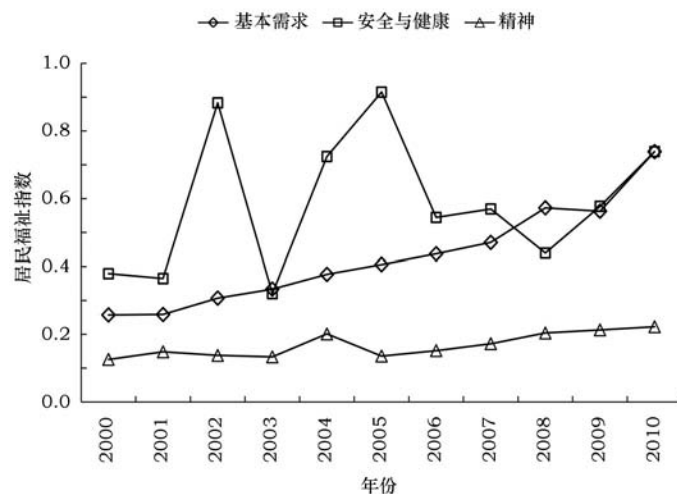


图3 福祉计算结果

Figure 3 The results of human well-being

的多维性,在10%显著水平下,流域生态系统服务空间流转价值与居民福祉间存在格兰杰因果关系。生态系统服务构成要素与居民福祉构成要素间也存在相应的格兰杰因果关系(表4),主要表现为:河流、湖泊是基本收入和文化的格兰杰原因,森林和荒漠是健康的格兰杰原因;基本收入是森林、草地、农田、湿地、河流/湖泊、荒漠生态系统服务价值变化的格兰杰原因,健康是河流、农田、湿地的格兰杰原因。

(2)生态系统服务空间流转与居民福祉因果关系的现实解释。河流、湖泊生态系统服务价值的流转和基本收入互为格兰杰原因。河流、湖泊所产生的生态系统服务向下游的流转价值增加,通过生态

表4 生态系统服务空间流转与居民福祉的格兰杰因果关系检验

Table 4 Granger causality test of ecosystem service flow and human well-being

原假设	F值	P值	结论
基本收入不是草地的格兰杰原因	5.188	0.013	拒绝
草地不是基本收入的格兰杰原因	0.941	0.404	接受
健康不是草地的格兰杰原因	2.854	0.076	拒绝
草地不是健康的格兰杰原因	2.237	0.127	接受
健康不是河流的格兰杰原因	2.853	0.076	拒绝
河流、湖泊不是健康的格兰杰原因	1.895	0.171	接受
河流、湖泊不是基本收入的格兰杰原因	2.633	0.074	拒绝
基本收入不是河流的格兰杰原因	3.093	0.045	拒绝
荒漠不是健康的格兰杰原因	5.680	0.035	拒绝
健康不是荒漠的格兰杰原因	0.448	0.860	接受
基本收入不是荒漠的格兰杰原因	5.755	0.009	拒绝
荒漠不是基本收入的格兰杰原因	1.497	0.243	接受
健康不是农田的格兰杰原因	2.843	0.076	拒绝
农田不是健康的格兰杰原因	2.251	1.254	接受
基本收入不是农田的格兰杰原因	3.757	0.062	拒绝
农田不是基本收入的格兰杰原因	1.186	0.285	接受
森林不是健康的格兰杰原因	3.256	0.100	拒绝
健康不是森林的格兰杰原因	0.686	0.707	接受
基本收入不是森林的格兰杰原因	3.297	0.036	拒绝
森林不是基本收入的格兰杰原因	1.927	0.153	接受
健康不是湿地的格兰杰原因	2.893	0.073	拒绝
湿地不是健康的格兰杰原因	2.195	0.132	接受
河流不是文化的格兰杰原因	2.287	0.101	拒绝
文化不是河流的格兰杰原因	0.553	0.651	接受
基本收入不是湿地的格兰杰原因	5.391	0.011	拒绝
湿地不是基本收入的格兰杰原因	0.890	0.423	接受

系统的多重传导机制,流域居民的收益就会随之增加;随着基本收入的增加,流域居民逐渐由对基本物质的依赖转向对生态环境质量的追求,流域居民生态恢复与补偿意愿与收入水平呈显著正相关关系^[33],促进河流及湖泊生态环境改善及生态系统服务的提升。

上游森林生态系统服务价值的流转是下游居民健康福祉的格兰杰原因。流域上游地区年均退耕还林面积760hm²,荒山荒地造林面积为523hm²,森林覆盖率由2000年的2.68%上升到2010年的6.27%,对居民的居住环境和健康福祉产生积极作用。

河流、湖泊是文化教育的格兰杰原因。河流和湖泊关系到陆地水生物的栖息与繁衍和生态系统的稳定,为人类生存提供各种必要的资源。在干旱区内陆河流域,绿洲沿河流呈珠状离散分布,绿洲文明与河流和湖泊关系极为密切。库车是东方艺术瑰宝——龟兹文化的发祥地,沙雅有古龟兹文化遗址、博斯坦托格拉克古城、玉什喀特古城等人类文明遗迹,河流孕育了人类文明,进而促进社会、经济和文化的发展。

4.3.2 生态系统服务空间流转对居民福祉的影响程度

生态系统服务在空间上的流动性产生了域外效应,即上游拜城县生态系统服务流转至下游,对下游库车、新和、沙雅三县居民福祉所产生的影

响。为了与之比对,本文也测算了流域拜城、库车、新和、沙雅四县生态系统服务对本区域居民福祉的影响程度,即静态效应。

(1)生态系统服务空间流转对域外居民福祉的动态效应。渭干河流域生态系统服务空间流转价值与居民福祉灰色关联度为0.524,关联度为中等(表5)。流域居民安全与健康福祉与流域生态系统服务流转值的关联度最高,达到0.578,上游的森林对下游居民福祉的影响最大,河流及湖泊次之。这要求在流域生态建设中应不断加强上游的植树造林及退耕还林工程建设,保障上游源流区的水源供给,加强流域湖泊及湿地保护,科学管理与调配流域水资源,确保生态用水。

(2)生态系统服务对域内居民福祉的静态效应。渭干河流域生态系统服务价值与居民福祉的灰色关联度为0.658,关联度为较强(表6)。其中,生态系统服务价值对居民福祉中基本需求福祉产生的影响较大,关联度达到0.663;农田的生态系统服务价值对居民福祉的影响最大,关联度达到0.704。流域生态系统服务的域内影响表现为居民福祉受农田生态系统影响最大。以库车县的石油天然气开采业为主的第二产业对GDP的贡献度虽高,但是作为一种“嵌入型”产业种群,产业链条短,下游产品少,对本区域产业带动作用较小,对资源环境的影响较大,对整个流域居民福祉提升作用有限。

表5 生态系统服务流转价值与居民福祉灰色关联度分析

Table 5 The grey relational analysis between ecosystem service value overflow and human well-being

	森林	草地	农田	湿地	河流/湖泊	荒漠	总计
基本需求	0.516	0.510	0.507	0.508	0.511	0.492	0.509
安全与健康	0.583	0.579	0.577	0.578	0.579	0.573	0.578
精神	0.496	0.484	0.479	0.481	0.487	0.460	0.484
总计	0.532	0.524	0.521	0.522	0.526	0.508	0.524

表6 生态系统服务价值与居民福祉灰色关联分析

Table 6 The grey relational analysis between ecosystem service values and human well-being

	森林	草地	农田	湿地	河流/湖泊	荒漠	总计
基本需求	0.635	0.645	0.704	0.566	0.524	0.620	0.663
安全与健康	0.647	0.650	0.682	0.595	0.555	0.599	0.663
精神	0.678	0.633	0.725	0.548	0.518	0.593	0.648
总计	0.653	0.643	0.704	0.570	0.532	0.604	0.658

2017年3月

5 结论与讨论

5.1 结论

流域生态系统服务的空间溢出效应主要表现为流域生态系统服务在流域上游产生,在水、风、生物乃至人类活动的作用下流转到下游,并对下游居民的福祉产生作用的过程。流域生态系统服务空间流转与居民福祉间存在格兰杰因果关系,这种作用关系以生态系统为传递媒介,形成了多时空维度的、长期的、具有时滞效应的复杂耦合关系。主要表现为:

(1)流域生态系统服务的空间溢出效应呈波动增强趋势。流域上游拜城县向下游流转的生态系统服务价值呈先下降、后波动上升态势,生态系统服务价值流转强度呈现距离衰减规律,沙雅县最小、库车县其次、新和县最大。

(2)流域居民福祉由基本需求、安全与健康、精神需求三个层次的福祉构成,按重要性排序表现为安全与健康>基本需求>精神需求,并呈现出库车县的福祉水平最高、拜城县其次、沙雅县再次、新和县最低的空间分异特点。流域居民福祉总体呈波动式上升趋势,其中安全与健康福祉的波动最大且对流域居民福祉的贡献度最高。

(3)流域生态系统服务空间流转与流域居民福祉间存在长期均衡的因果关系,前者对后者产生了较显著的影响,域外动态效应对居民福祉的影响程度低于域内静态效应。域外溢出效应对居民安全与健康福祉的影响最大,且上游森林生态系统对下游居民福祉的影响最大;域内静态效应对居民的基本需求福祉产生的影响最大,且农田生态系统对本区域居民福祉的影响最明显。

5.2 讨论

(1)流域生态系统服务空间流转模型所需参数较少,在研究区域尺度的生态系统服务流转上有一定优势,但是理想化的假设条件使模型在处理不同生态环境因子服务时有一定的机械性、参数 k 值的确定存在经验成分、考虑了上游对下游的溢出效应而忽略了下游县域间的交互作用效应。因此,在微观尺度上要提高生态系统服务的评估精度,可利用ARIES(Artificial Intelligence for Ecosystem Services)模型对生态系统服务的“源”(服务功能潜在提供

者)、“汇”(使生态系统服务流中断的生物物理特性)和“使用者”(受益人)的空间位置和数量进行制图,ARIES的子模块SPAN(Service Path Attribution Network)用于模拟生态系统服务流的空间动态^[34]。

(2)流域居民福祉与经济发展阶段相关,且受自然-人文因素的影响产生波动。在全球气候变化及城镇化快速推进的背景下,流域生态系统受到的扰动呈增强态势,尤其是生态环境脆弱的贫困地区,居民福祉对生态系统的依赖强,生态系统功能的弱化导致流域基本需求会超过安全与健康成为流域最主要福祉要素,部分居民返贫现象时有发生。国家及地区在扶贫工程项目实施中既要关注贫困地区居民的基本物质需求,还要注意生态系统的维护和建设,流域在国家及地区主体功能区规划中一般被界定为限制或禁止开发区,通过实施主体功能区生态补偿可有效提升流域居民的福祉。

(3)流域森林生态系统的域外效应明显,上游森林生态系统对于整个流域居民福祉的贡献大,而流域农田生态系统的域内静态效应突出,对本地区居民福祉的贡献大。因此,要提升流域居民福祉水平,既要加强上游地区森林生态系统保护与建设,又要对下游地区农田进行有效保护。由于外部性的存在,只有构建基于生态价值的流域多元主体生态补偿机制与基于耕地多功能性的保护补偿机制,将外部效益纳入到成本核算体系,建立和完善经济补偿资金融资体系和法律保障体系,使流域生态建设与农田保护外部性得到有效补偿,才能持续保障上游地区居民福祉不下降、流域居民福祉有提升。

(4)将自然资源核算纳入到国民经济核算体系中,解决流域生态系统服务的空间流转所产生的“资源魔咒”对流域居民福祉的负面影响。考虑到中国自然资源资产负债表的核算包括环境保护支出、污染物排放、生态系统服务等^[35],还包括收入和福利核算^[36]。研究中自然资源资产在空间上的流动性以及由流动性所产生的外部性可为自然资源资产负债表编制中的流量核算提供理论与方法支撑,为不同区域间自然资源价值的核算与分配提供依据。另外,不同自然资源所产生的生态系统服务价值对人类福祉的影响程度方面研究可为福利纳入到自然资源核算提供应用基础。

参考文献(References):

- [1] Costanza R, Arge R, Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(15):253-260.
- [2] 郭中伟,甘雅玲. 关于生态系统服务的几个科学问题[J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 63-69. [Guo Z W, Gan Y L. Some scientific questions for ecosystem services[J]. *Biodiversity Science*, 2003, 11(1):63-69.]
- [3] De Groot R. A typology for the classification description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3):393-408.
- [4] Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, *et al.* Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification[J]. *Landscape Online*, 2014, 34(1):1-32.
- [5] Bagstad K J, Villa F, Batker D, *et al.* From theoretical to actual ecosystem services: Mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments[J]. *Ecology and Society*, 2014, 19(2):706-708.
- [6] 肖玉,谢高地,鲁春霞,等. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(10): 1-7. [Xiao Y, Xie G D, Lu C X, *et al.* Involvement of ecosystem service flows in human well-being based on the relationship between supply and demand[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(10): 1-7.]
- [7] 代光烁,余宝花,娜日苏,等. 内蒙古草原生态系统服务与人类福祉研究初探[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 656-662. [Dai G S, Yu B H, Na R S, *et al.* Preliminary studies on ecosystem services and human well-being in grassland of Inner Mongolia[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(5): 656-662.]
- [8] 李惠梅,张安录. 生态环境保护与福祉[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 825-833. [Li H M, Zhang A L. Ecological protection and well-being[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3):825-833.]
- [9] Coulthard S, Johnson D, McGregor J A. Poverty, sustainability and human well-being: A social well-being approach to the global fisheries crisis [J]. *Global Environmental Change*, 2011, 21(2):453-463.
- [10] Giovannini E. A framework to measure the progress of societies [J]. *Revue Déconomie Politique*, 2011, 121(1):93-118.
- [11] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment[M]. Washington, DC: Island Press, 2003.
- [12] Fisher J A, Patenaude G, Giri K, *et al.* Understanding the relationships between ecosystem services and poverty alleviation: A conceptual framework[J]. *Ecosystem Services*, 2014, 7:34-45.
- [13] Guo Z W, Xiao X M. An assessment of ecosystem services: Water flow regulation and hydroelectric power production[J]. *Ecol Appl*, 2000, 10(3):925-936.
- [14] Sachs J D, Warner A M. The curse of natural resources[J]. *European Economic Review*, 2001, 45(4-6):827-838.
- [15] Raudsepp-Hearne C, Peterson G D, Tengö M, *et al.* Untangling the environmentalist's paradox: Why is human well-being increasing as ecosystem services degrade?[J]. *Bioscience*, 2010, 60(8):576-589.
- [16] Reynolds T W, Farley J, Huber C. Investing in human and natural capital: An alternative paradigm for sustainable development in Awassa, Ethiopia[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(11):2140-2150.
- [17] 冯伟林,李树苗. 生态系统服务与人类福祉[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1482-1489. [Feng W L, Li S Z. Overview and frame work for ecosystem services and human well-being[J]. *Resources Science*, 2013, 35(7):1482-1489.]
- [18] 王大尚,郑华. 生态系统服务供给、消费与人类福祉的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1747-1753. [Wang D S, Zheng H. Ecosystem services supply and consumption and their relationships with human well-being[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(6): 1747-1753.]
- [19] Summers J K, Smith L M, Case J L, *et al.* A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services[J]. *Ambio*, 2012, 41(4): 327-340.
- [20] 李琰,李双成,高阳,等. 连接多层次人类福祉的生态系统服务分类框架[J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1038-1047. [Li Y, Li S C, Gao Y, *et al.* Ecosystem services and hierarchic human well-being: Concepts and service classification framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1038-1047.]
- [21] Carpenter S R, Mooney H A, Agard J, *et al.* Science for managing ecosystem services: Beyond the millennium ecosystem assessment[J]. *PNAS*, 2009, 106(5):1305-1312.
- [22] 阿克苏地区统计局. 阿克苏地区统计年鉴(2000~2010)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000-2010. [Aksu Statistical Bureau. Statistical Yearbook of Aksu Region(2000~2010)[M]. Beijing: China Statistics Press, 2000-2010.]
- [23] 阿克苏地区环保局. 阿克苏地区环境质量简报(2000-2010)[R]. 阿克苏: 阿克苏地区环保局编制. [Aksu Environmental Protection Bureau. Environmental Quality Bulletin in Aksu Region(2000-2010)[R]. Aksu: Compilation of Aksu Environmental Protection Bureau.]
- [24] 新疆维吾尔自治区国土资源厅. 阿克苏地区土地利用变更调查数据表(2000-2010)[Z]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区国土资源厅编制. [Department of land and resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Land Use Change Survey Data Sheet in Aksu Region(2000-2010)[Z]. Urumqi: Compilation of

2017年3月

- Department of Land and Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region.]
- [25] 乔旭宁,杨永菊,杨德刚. 生态系统服务价值空间转移评价-以渭干河流域为例[J]. 中国沙漠, 2011, 31(4): 1008-1014. [Qiao X N, Yang Y J, Yang D G. Assessment of ecosystem service value transfer in Weigan River Basin, Xinjiang, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(4): 1008-1014.]
- [26] 范小杉,高吉喜,温文,等. 生态资产空间流转及价值评估模型初探[J]. 环境科学研究, 2007, 20(5): 160-164. [Fan X S, Gao J X, Wen W, *et al.* Exploratory study on eco-assets transferring and the valuating models[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(5): 160-164.]
- [27] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919. [Xie G D, Zhen L, Lu C X, *et al.* Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.]
- [28] 王宏伟. 干旱区生态系统服务与经济发展耦合研究-以塔里木河干流区域为例[D]. 北京: 中国科学院, 2007. [Wang H W. The Coupling Interaction between Ecosystem Services and Economic Development in Arid Area: A Case Study on the Area of Mainstream River in Tarim Basin[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2007.]
- [29] 黄湘. 塔里木河流域生态系统服务价值研究[D]. 北京: 中国科学院, 2007. [Huang X. Study on the Economic Valuation of Ecosystem Services in Tarim River Basin[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2007.]
- [30] 诸大建,张帅. 生态福利绩效及其与经济增长的关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(9): 59-67. [Zhu D J, Zhang S. Research on ecological well-being performance and its relationship with economic growth[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(9): 59-67.]
- [31] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987. [Deng J L. The Basic Methods of Grey System Theory [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1987.]
- [32] 刘烨. 马斯洛的人本哲学[M]. 呼和浩特: 内蒙古文化出版社, 2008. [Liu Y. Maslow's Humanistic Philosophy[M]. Hohhot: Inner Mongolia Culture Press, 2008.]
- [33] 乔旭宁,杨永菊,杨德刚. 渭干河流域生态系统服务的支付意愿及影响因素分析[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1254-1261. [Qiao X N, Yang Y J, Yang D G. Willingness to pay for ecosystem services and influencing factors in Weigan River Basin[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(9): 1254-1261.]
- [34] 黄从红,杨军,张文娟. 生态系统服务评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3360-3367. [Huang C H, Yang J, Zhang W J. Development of ecosystem services evaluation models: Research progress[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(12): 3360-3367.]
- [35] 陈玥,杨艳昭,闫慧敏,等. 自然资源核算进展及其对自然资源资产负债表编制的启示[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1716-1724. [Chen Y, Yang Y Z, Yan H M, *et al.* Natural resources accounting and the natural resources balance sheet[J]. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1716-1724.]
- [36] 封志明,杨艳昭,李鹏. 从自然资源核算到自然资源资产负债表编制[J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(4): 449-456. [Feng Z M, Yang Y Z, Li P. From natural resources accounting to balance-sheet of natural resources asset compilation[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2014, 29(4): 449-456.]

Spatial flow of ecosystem services and impacts on human well-being in the Weigan River Basin

QIAO Xuning^{1,2}, ZHANG Ting¹, YANG Yongju¹, NIU Haipeng^{1,2}, YANG Degang³

(1. School of Surveying and Land Information Engineering of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. The Research Centre of Land Economy and Urban-rural Development of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: The spatial flow of ecosystem services has a great impact on human well-being on-site and off-site, especially in watersheds. Taking the Weigan River basin as an example, an assessment model of ecosystem service overflow was built according to the Theory of Field Strength and Breaking Point model. The ecosystem service overflow from upstream to downstream was calculated from 2000 to 2010. The system of indicators for human well-being was established by considering natural, social and economic conditions as well as data availability for the basin. Granger Causality Test and the Grey Correlation models are introduced to analyze how ecosystem service overflow impacts people. We found that there is a spatial overflow effect of watershed ecosystem services. On the spatial dimension, intensity of ecosystem service overflow from upstream to downstream is inversely proportional to distance. The values of ecosystem service overflow decrease first and then increase. The indicator system of human well-being constituted with three level indicators including basic requirements, safety and health and spiritual needs whose importance can be ranked as safety and health > basic demands > spiritual. The spatial differentiation features of human well-being show that Kuqa is the highest level, Baicheng the second, Shaya the third and Xinhe the lowest. Ecosystem service overflow is the Granger reason of human well-being, which has a great influence on basin human well-being. Ecosystem service overflow has an enormous impact on safety and health in the indicator system. Ecosystem service overflow of forest has the highest coupling degree with human well-being. The coupling degree between the desert and human well-being is the lowest. Effective ways that enhance human well-being of watersheds are to integrate natural resource accounting into the national economic accounting system, compensate for farmland protection and carry out payments for watershed ecological services between upstream and downstream.

Key words: ecosystem service; spatial flow; human well-being; coupling relationship; Weigan River Basin