

基于地形梯度特征淇河流域生态系统服务价值损益

李 理, 朱文博, 李艳红, 朱连奇, 徐帅博, 冯小燕

(河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475004)

摘 要:生态系统服务对人类生活具有十分重大的影响,研究生态系统服务价值有助于了解生态系统服务功能变化过程。文章利用修正后的中国陆地单位面积生态系统服务价值量表,结合 2000 年、2015 年两期土地利用/覆被数据估算淇河流域生态系统服务价值,从地形梯度上分析流域内 2000—2015 年生态系统服务价值变化,深入探讨地形起伏度上生态系统服务价值空间特征。结果表明:(1) 2000—2015 年淇河流域内以林地、草地和耕地面积为主,研究时段内耕地减幅最大(29 671.64 hm^2),草地面积增幅最大(8 854.38 hm^2),未利用地单一动态度最高为 632.14%;(2) 2000—2015 年研究区生态系统服务价值减少 0.14 亿元,耕地 ESV 在 200~400 m 高程分级上减幅最大(4 464.64 万元),坡度分级上 $>35^\circ$ 林地 ESV 减幅最明显(4 293 万元),水域 ESV 在微起伏地区增益最多(5 940 万元)、林地 ESV 在中起伏地区减少 5 492 万元和微起伏地区增益 3 967 万元;(3) 单项生态系统服务价值在地形梯度上损益存在差异,增益最大为水源涵养、土壤形成与保护减损最明显;(4) 各项生态系统服务功能对研究区生态系统服务总价值贡献等级保持稳定,依次排序为支持服务 $>$ 调节服务 $>$ 供给服务 $>$ 文化服务;敏感性指数均小于 1,表明生态系统服务价值对价值系数缺乏弹性,研究结果具有稳健性。

关键词:山区性河流;土地利用/覆被;地形起伏度;生态系统服务价值

中图分类号:X171; F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)05-0287-09

Ecosystem Service Value Gains and Losses of Qihe River Basin Based on Topographic Gradient Characteristics

LI Li, ZHU Wenbo, LI Yanhong, ZHU Lianqi, XU Shuaibo, FENG Xiaoyan

(College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China)

Abstract: Ecosystem services have very significant impact on human life. Study of the value of ecosystem services is helpful to understand the changing process of ecosystem services. Based on the revised Chinese terrestrial ecosystem service value scale combined with the land use/cover data of the years of 2000 and 2015, was estimated ecosystem service value (ESV) of Qihe River basin, analyzed the basin ESV change from 2000 to 2015 according to the characteristics of terrain gradient, discussed space structure change of ecosystem service value with the variation of relief. The results show that: (1) from 2000 to 2015, the Qihe River Basin was dominated by woodland, grassland and cultivated land, with the largest decrease of cultivated land (29 671.64 hm^2), the largest increase of grassland area (8 854.38 hm^2), and the highest dynamic attitude of single unused land (632.14%); (2) ESV of the study area reduced by 0.14 billion in the period 2000—2015, the ESV of cultivated land in elevation 200~400 m classification declined significantly (44.646 4 million yuan), the ESV of water body in 400~600 m elevation increased greatly (23.548 8 million yuan), ESV of woodland with $>35^\circ$ slope declined significantly (42.93 million yuan), the most obvious ESV of cultivated land decreased by 37.2 million yuan in flat area, ESV of water body increased by 59.4 million yuan in micro-undulating area, ESV of woodland decreased by 54.92 million yuan in medium-undulating area, and gained 39.67 million yuan in micro-undulating area; (3) the value of individual ecosystem services is not consistent in the degree of increase or decrease in the topographic gradient, in which the largest increase in the value of

收稿日期:2019-03-21

修回日期:2019-04-08

资助项目:国家重点基础研究发展计划(2015CB52702);国家自然科学基金(41671090)

第一作者:李理(1996—),男,湖南临湘人,硕士研究生,主要从事土地资源开发及生态系统服务研究。E-mail:lili19960217@163.com

通信作者:朱连奇(1963—),男,河南郸城人,教授,博士生导师,主要从事山地地理环境及资源开发利用的研究。E-mail:lqzhu@henu.edu.cn

ecosystem services results from water conservation, and the largest decrease contributes to soil formation and protection; (4) the value contribution level of each ecosystem service function to ecosystem service remains stable, the level decreases in the order: support service > regulation service > supply service > cultural service; the sensitivity indexes are all less than 1, indicating that the ecosystem service value is inelastic to the value coefficient, and the research results are robust.

Keywords: mountainous river; land use/cover; relief amplitude; ecosystem service value

生态系统服务是指人类通过生态系统结构和功能直接或间接得到的产品和服务^[1-3]。自 19 世纪 70 年代 Constanza 基于 17 类生态系统服务功能量化全球生态系统服务价值后^[4],研究生态系统服务及价值成为国内外^[5-10]的热点之一。我国学者谢高地通过对国内 200 位生态学家进行问卷调查修正 Constanza 的全球生态系统服务价值评估量表,建立了中国陆地生态系统服务价值评估体系^[11-13],然而土地利用/覆被变化能改变生态系统结构、功能和过程,以此影响生态系统服务^[14]。此后,国内学者广泛开展基于土地利用变化的生态系统服务价值定量研究^[15-18];文戴远基于三生空间理论研究福州新区 2000—2015 年土地利用功能转变及生态服务价值的响应^[19];史慧慧基于长三角城市群 1990—2015 年农村地区土地利用数据,采用文献查阅、多样性指数模型、土地利用动态度等技术分析城市群生态系统服务价值变化^[20];徐媛银以典型的南方丘陵山地为研究区,利用遥感、地理信息技术和空间统计的方法分析土地利用变化,进一步分析生态系统服务价值时空差异的驱动因素,将人均 GDP、人口密度和城市化率 3 个驱动因素与生态系统服务价值进行空间相关性分析^[21]。虽然很多学者运用不同方法和技术分析土地利用变化并估算生态系统服务价值,但对地形梯度上土地利用变化的生态系统服务价值损益研究不足^[22]。高程、坡度和地形起伏度是重要的地形因素,更能对土地利用变化产生直接的影响^[23],以地形梯度为变量研究流域内土地利用变化及生态系统服务价值的差异性对人类福祉具有深远意义。因此,本文以淇河流域为研究对象,利用 2000 年、2015 年两期土地利用/覆被数据从地形因子视角研究流域内生态系统服务价值对土地利用/覆被变化的响应关系,结合生态系统服务总价值、单项生态系统服务价值及敏感性指数分析地形梯度特征上生态系统服务价值的变化,以期为研究区内土地资源合理利用及生态环境建设提供理论参考和科学依据。

1 研究区概况

淇河(35°32′—36°15′N, 113°15′—114°23′E)

地处太行山南段与华北平原北部的过渡区域,流域集中分布于山西和河南两省,面积达 2 227 km²,淇河发源于山西省陵川县方脑岭,流经壶关、辉县、林州、鹤壁、淇县,由浚县流入卫河,全长 165 km;区内地貌类型复杂多样,山地和平原相间分布,其地势呈西高东低;气候类型为暖温带半湿润季风性气候,年平均降水量 617.8 mm,年均气温 11.9℃,夏季降水集中,水土流失现象严重。近年来,山区内人类活动强度增大、区内建设用地面积的扩张等因素直接导致流域内生物多样性锐减、生态环境质量下降,减少了流域生态系统为人类生产生活提供的产品和服务。因此,研究山区河流地形因子上生态系统服务价值的变化对于改善流域内生态环境质量具有重大意义。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2000 年淇河流域土地利用数据由国家地球系统数据共享平台—黄河中下游科学数据中心(<http://www.geodata.cn/>)提供,2015 年的土地利用数据是对 2015 年的 Landsat 8 遥感影像(来源于地理空间数据云,<http://www.gscloud.cn/>)进行镶嵌、裁剪并经过人工目视解译所得,精度为 86%,研究区所有土地利用现状图均为 1:10 万的矢量图,DEM 数据(来源于地理空间数据云平台,<http://www.gscloud.cn/>),社会、经济数据均来源于《中国统计年鉴(2000—2015)》和《河南省统计年鉴(2000—2015)》。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务价值估算 本文参照谢高地制订的中国陆地生态系统服务价值当量表(表 1),利用河南省 2000—2015 年平均粮食产量 5 305.24 kg/hm²,2015 年河南省单位面积粮食 1.36 元/kg 进行系数修正,根据式(1) 计算得到流域单位面积农田生态系统粮食生产功能价值为 1 030.73 元/hm²(淇河流域于河南境内分布面积达 64%,故采用河南省粮食产量和价格进行系数修正,粮食单价来源于河南省物价局)。其他用地类型分别参考谢高地^[11-24]、欧阳志云^[25-27]等的研究成果进行计算。

$$V_a=\frac{1}{7}\sum_{m=1}^n\frac{a_m p_m q_m}{A}$$

(1)

式中: V_a 是单位面积农田生态系统食物生产功能的经济价值; m 是作物种类($m=1,2,3,\cdots,n$); p_m 是 m 种粮食作物的平均价格; q_m 是 m 种粮食单产; a_m 是 m 种粮食种植面积; A 是粮食种植面积。

$$V_{ij}=e_{ij}V_a$$

(2)

式中: V_{ij} 是单位面积 j 生态系统 i 项生态服务价值($i=1,2,3,\cdots,n$); e_{ij} 是 j 项生态系统 i 项生态系统服务价值当量因子; i 是生态系统服务类型; j 是生态系

统的类别。

2.2.2 生态系统服务损益值估算 生态系统服务损益值由各土地利用类型间相互转化的面积及对应的生态系统服务价值系数相乘计算得到^[28],其公式为:

$$PL_{ij}=(VC_i-VC_j)\times A_{ij}$$

(3)

式中: PL_{ij} 定义为初期第 i 类景观转化为末期第 j 类景观后的生态服务价值损益值; VC_i,VC_j 分别为第 i 类景观和第 j 类景观的生态服务价值系数; A_{ij} 表示 i 类景观转化为第 j 类景观的面积。

表 1 淇河流域生态系统服务价值量

元/hm²

一级类型	二级类型	农田	林地	草地	水体	未利用地
调节服务	气体调节	515.37	2196.22	88.6	0.0	0.0
	气候调节	917.35	1770.13	219.42	407.0	0.0
	水源涵养	618.44	2078.02	220.25	18033.2	26.5
	小计	2051.16	6044.37	528.27	18440.2	26.5
支持服务	土壤形成与保护	1504.87	2575.16	353.56	8.8	17.7
	废物处理	1690.40	1419.60	1227.92	16086.6	8.8
	生物多样性保护	731.82	2195.01	580.43	2203.3	300.8
	小计	3927.16	6190.36	2161.91	18298.7	327.3
供给服务	食物生产	1030.73	462.67	802.33	88.5	8.8
	原材料	103.07	1601.40	4.97	8.5	0.0
	小计	1133.80	462.67	807.3	97.0	8.8
文化服务	娱乐文化	10.31	833.94	93.56	3840.2	8.8
	合计	7122.36	15132.15	3591.04	40676.1	371.4

2.2.3 地形因子分析 利用 ArcGIS 10.3 中自然断裂点法将高程划分<200 m,200~400 m,400~600 m,600~800 m,800~1 000 m,1 000~1 200 m,1 200~1 400 m,1 400~1 600 m 和>1 600 m 共九级,如图 1 和表 2 所示,研究区 200~400 m 高程分级分布淇河中下游区域,面积占比最大(20.6%)。其次为 400~600 m,主要分布在淇河中游地区及林州境内;将坡度按自然断裂点法划分 0°~5°,5°~8°,8°~15°,15°~25°,25°~35°和>35°共 6 类,坡度分级上 15°~25°和 8°~15°占比分别为 24.9%,23.3%,主要分布于淇河中游

地区及林州与鹤壁交界处。基于 30 m 分辨率的 DEM 数据,采用邻域分析和均值变点法,计算淇河流域最佳统计单元大小为 0.13 km²,得到流域地形起伏度(0~503 m),平均为 105.7 m,参考张静静^[30]等的研究将淇河流域地形起伏度划分为平坦(0~30 m)、微起伏(30~70 m)、低起伏(70~200 m)和中起伏(>200 m)。淇河流域以小起伏为主(56.45%),主要位于淇河上游和沿中起伏地区向东西两侧展开,其次为微起伏(20.58%),主要分散分布在淇河下游地区,部分分布在最西端陵川和壶关境内^[29]。

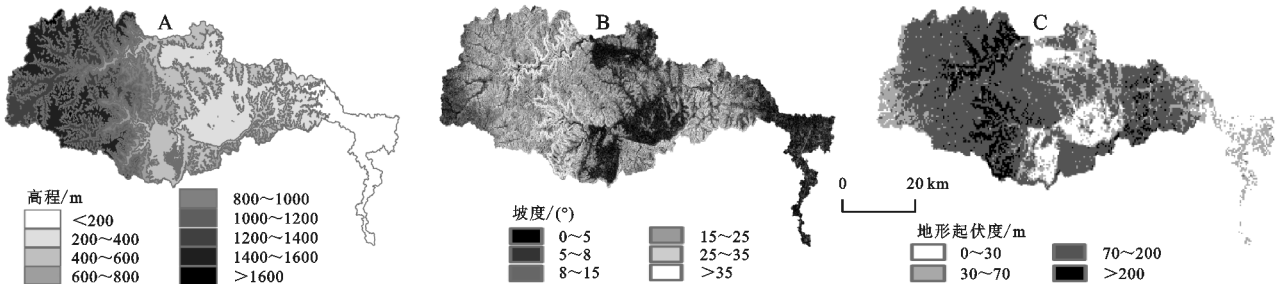


图 1 高程、坡度和地形起伏度分布

2.2.4 敏感性分析 本文在采用中国单位面积陆地生态系统服务价值量表的基础上,引入敏感性指数(Coefficient of Sensitivity CS)^[30]检验谢高地的生态系统服务价值量表的准确性。若 CS>1,表明生态系统服务价值对生态系统服务价值系数调整富有弹性,表征本文研究结果可信程度低,反之,则本文研究结果可信程度高。其计算公式如下:

$$CS=\left|\frac{(ESV_j-ESV_i)/ESV_i}{(VC_{jk}-VC_{ik})/VC_{ik}}\right| \tag{4}$$

式中:ESV 为研究区内生态系统服务总价值(元);VC 为各土地利用类型生态系统服务价值系数(元/hm²);i,j 分别为调整后和调整前;k 为研究区某一种土地利用类型。

3 结果与分析

3.1 淇河流域土地利用/覆被变化

淇河流域土地利用类型以耕地、草地和林地为主,面积比重之和达 95%。2000—2015 年研究区内耕地减少了 29 671.64 hm²,减幅最明显;其次为林地

减少了2 104.05 hm²。草地面积增加 8 854.38 hm²,增幅最明显;建设用地、水域和未利用地分别增加了 4 235.10 hm²,1 998.80 hm²,632.14 hm²。从单一动态度分析,未利用地单一动态度最高为 632.14%,其主要原因为 2000 年未利用地面积为 10.97 hm²,2000—2015 年增加面积为 69.35 hm²;其次为水域和建设用地,分别为 55.58%,53.65%(表 3)。

表 2 海拔、坡度、地形位分级及面积比例

坡度 分级/(°)	比例/ %	海拔 分级/m	比例/ %	地形 起伏度	比例/ %
0~5	15.5	<200	9.4	0~30	14.47
5~8	12.9	200~400	20.6	30~70	20.58
8~15	23.3	400~600	19.8	70~200	56.45
15~25	24.9	600~800	8.1	>200	8.49
25~35	15.3	800~1000	5.7		
>35	8.2	1000~1200	4.6		
		1200~1400	14.4		
		1400~1600	16.0		
		>1600	1.4		

表 3 淇河流域 2000—2015 年土地利用/覆被变化

时间	项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000 年	面积/hm ²	73417.00	68287.30	69438.70	3596.49	7893.35	10.97
2015 年		60445.36	66183.25	78293.08	5595.32	12128.45	80.32
2000 年	百分比/%	32.97	30.67	31.21	1.62	3.52	0.01
2015 年		27.14	29.72	35.15	2.51	5.44	0.04
2000—2015 年	面积变化/hm ²	—12971.64	—2104.05	8854.38	1998.83	4235.10	69.35
2000—2015 年	单一动态度/%	—17.67	—3.08	12.75	55.58	53.65	632.14

3.2 淇河流域生态系统服务价值变化

3.2.1 淇河流域生态系统服务价值地形梯度特征分析 文章基于高程、坡度和地形起伏度并结合 2000 年、2015 年研究区土地利用/覆被数据,根据本文修正后的中国陆地生态系统服务价值量表和 2000 年、2015 年各土地利用类型对应的面积相乘计算得到 2000 年、2015 年生态系统服务价值的变化值,利用自然断裂法分类的高程、坡度和地形起伏度分析不同高程、不同坡度和不同地形起伏度上的生态系统服务价值变化情形。如图 2A 所示:高程分级上 ESV 增加呈 U 型分布,200~400 m 高程分级上增减幅度最明显,耕地 ESV 减幅最大(4 464.64 万元),主要原因为研究时段内耕地面积减少,建设用地面积增加。由于 2000—2015 年水域面积增加和生态系统服务价值系数高等双重因素,高程梯度上水域 ESV 增益显著,其中 400~600 m 高程分级上增幅最大为 2 354.88 万元;林地 ESV 在 200~400 m,1 200~1 400 m 和 1 400~1 600 m

高程分级上呈增加态势,1 400~1 600 m 增加最多(1 339 万元),600~800 m 高程分级上减幅最明显为 4 464 万元。研究期内草地 ESV 在 600~800 m 高程分级上减少了 903 万元,其他高程分级上呈增加趋势,200~400 m 增幅最大为 1 675 万元,其主要原因为研究期内草地面积增加最多,但草地生态系统服务价值系数低,所以草地 ESV 增幅不明显。本研究区尚未考虑建设用地生态系统服务价值,因此建设用地面积的增加不会对生态系统服务价值造成直接影响。图 2B 坡度分级上 ESV 变化差异不显著:耕地 ESV 表现为减少趋势且集中分布于<25°坡度分级上,0°~5°坡度分级 ESV 减幅最大(3 197 万元)、其次为 8°~15°分级上减少 2 923 万元;林地 ESV 在 25°~35°和>35°坡度分级上减幅明显,分别减少了 3 547 万元和 4 293 万元,0°~15°坡度分级上增幅明显,以 8°~15°区间增幅最大(2 593 万元),林地生态系统服务价值系数高是主要原因;水域 ESV 随坡度增加呈

倒 U 型分布,15°~25°坡度分级上水域 ESV 增幅最大(2 332 万元);草地 ESV 变化幅度不明显。图 2C 地形起伏度上 ESV 增益值随地形起伏度增加呈先增后减趋势,ESV 减损值随地形起伏度增加逐渐增多;耕地 ESV 减损值分布于平坦(0~30 m)、微起伏(30~70 m)和小起伏地区(70~200 m)较多,平坦地区减损值最大为 3 720 万元,主要原因为耕地面积集中分布在微起伏地区,受人类活动干扰影响强^[30];水域 ESV 增幅最大为小起伏地区(5 940 万元),水域生态系统服务价值系数高是水域 ESV 增益明显的主要原因;林地 ESV 在平坦地区(0~30 m)和微起伏地区(30~70 m)呈增加趋势、小起伏地区和中起伏地区呈减少趋势,增幅最大为微起伏地区(3 967 万元),减幅最大为中起伏地区(5 492 万元),表征 2000—2015 年来淇河流域林地面积转移趋势,反映流域内中下游地区生态环境明显改善,生态环境质量得到提升;研究时段内淇河流域草地面积增加,但生态系统服务价值系数不高,故草地 ESV 增幅不显著,平坦地区增益最大(1 118 万元)。

3.2.2 淇河流域生态系统服务功能价值变化 本文采用修正后的中国陆地生态系统服务价值量表分析研究区内 2000—2015 年各生态系统服务功能变化情形,有利于分析流域内生态系统服务功能权衡与协同关系,科学探讨流域内生态系统服务功能的内在联系。基于一级生态系统服务功能视角,分析 2000—2015 年各项生态系统服务功能价值及贡献率(表 4);研究区内支持服务 ESV 最高,2000 年、2015 年分别为 9.27 亿元和 9.18 亿元,贡献率分别达到 47.42%,47.32%,贡献等级排序第一;其次为调节服务,2000 年 ESV 为 6.66 亿元、贡献率为 34.07%,2015 年 ESV 为 6.68 亿元、贡献率为 34.43%;2000 年供给服务和文化服务 ESV 分别为 2.83 亿元、0.78 亿元,贡献率分别为 14.47%和 3.99%,2015 年供给服务和文化服务 ESV 分别为 2.69 亿元、0.85 亿元,贡献率分别为 13.81%和 1.38%。研究区在研究时段内供给服务 ESV 减少最多(0.14 亿元),其次为文化服务 ESV 减少了 0.09 亿元;文化服务 ESV 增幅最大(0.07 亿元)、调节服务增加了 0.02 亿元。2000—2015 年文化服务贡献率增加最多(0.39%),其次调节服务贡献率增加 0.36%,而支持服务和供给服务贡献率分别减少了 0.1%,0.66%,表明淇河流域内生态系统功能变化趋势。按照生态系统服务功能贡献率进行等级排序:支持服务>调节服务>供给服务>文化服务。

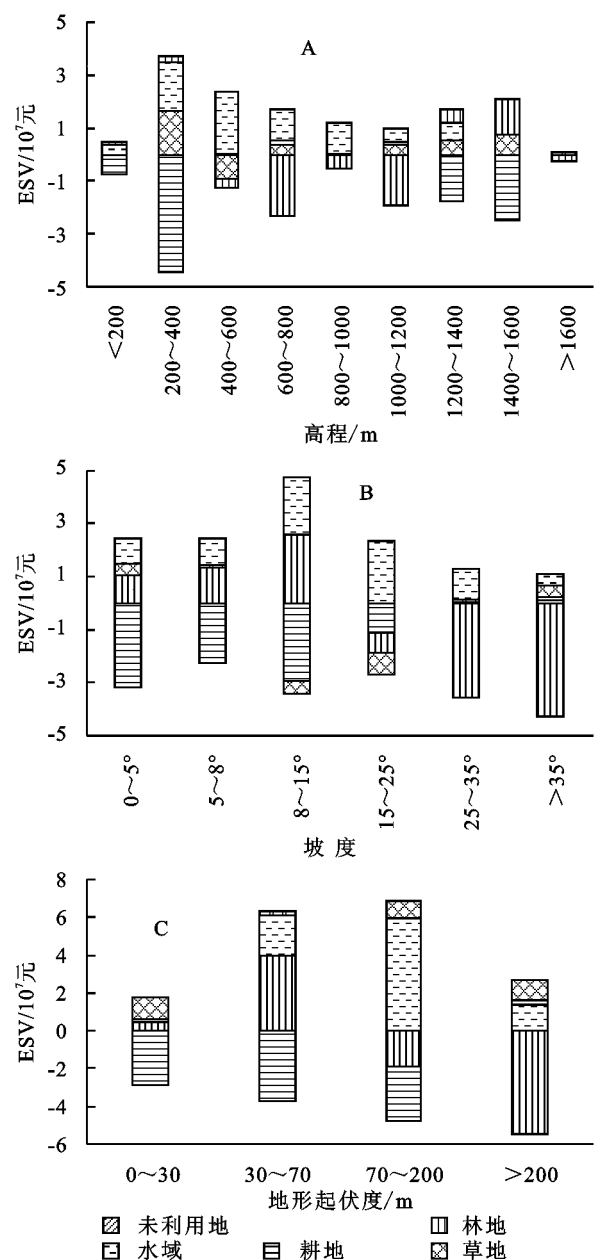


图 2 2000—2015 年高程、坡度和地形起伏度生态系统服务价值变化

3.3 地形梯度上单项生态系统服务价值变化特征

研究时段内淇河流域高程梯度上单项生态系统服务价值变化(图 3):各项生态系统服务价值在高程梯度上变化幅度不同,水源涵养、废物处理和娱乐文化等单项生态系统服务价值在研究时段内不同高程分级上呈增加态势,其他单项生态系统服务类型价值减少;400~600 m 高程分级上水源涵养 ESV 增幅最大(944 万元),主要原因为 2000—2015 年水域面积增加了 578.93 hm²,水域的水源涵养生态系统服务价值系数高(18 440.2 元);废物处理 ESV 高程分级上增益不一致,增幅最明显为 400~600 m 高程分级上,ESV 增加了 597 万元,水域面积增加和废物处理

生态系统服务价值系数高(16 086.6 元)是导致废物处理 ESV 增益的主要原因;土壤形成与保护 ESV 在不同高程分级上呈减损态势,200~400 m 高程分级减幅最明显(739 万元),主要原因为耕地面积减少了 6 268.50 hm²,生态系统服务价值系数高(1 504.87 元),而草地和水域面积增加在一定程度上补偿了由耕地面积减少引起的土壤形成与保护生态系统服务减损;食物生产 ESV 在高程分级上减幅不同,耕地面积减少是食物生产 ESV 减损的主要原因。

基于坡度分级上单项生态系统服务价值变化所示(图 4),坡度分级上各项生态系统服务价值变化幅度不一致,25°~35°坡度分级上水源涵养和废物处理增益最明显,分别增加了 4 703 万元和 4 322 万元,研

究时段内水域、草地、未利用地面积增加是主要原因。

2000—2015 年地形起伏度上单项生态系统服务价值动态变化特征(图 5),水源涵养、废物处理生态系统服务价值呈增加趋势,土壤形成与保护、食物生产和原材料等生态系统服务价值呈减少趋势;变化最明显为小起伏地区(70~200 m),其中水源涵养 ESV 增幅最大(2 184 万元),其次为废物处理 ESV 增加了 1 814 万元,低起伏地区水域面积增加了 1 460.46 hm²和生态系统服务价值系数高是引起水源涵养和废物处理 ESV 增益的主要因素;土壤形成与保护在各个地形起伏度上变化呈减少趋势,70~200 m 地形起伏度上减幅(833 万元)最大,其主要原因为低起伏地区耕地转换为建设用地。

表 4 淇河流域生态系统服务价值及变化率

生态系统服务功能	2000 年			2015 年			2000—2015 年		总体等级	趋势
	ESV/ 亿元	贡献率/ %	等级	ESV/ 亿元	贡献率/ %	等级	ESV 变化 量/亿元	贡献率 变化/%		
调节服务	6.66	34.07	2	6.68	34.43	2	0.02	0.36	2	增加
支持服务	9.27	47.42	1	9.18	47.32	1	-0.09	-0.1	1	减少
供给服务	2.83	14.47	3	2.69	13.81	3	-0.14	-0.66	3	减少
文化服务	0.78	3.99	4	0.85	4.38	4	0.07	0.39	4	增加
合计	19.54	100	—	19.40	100	—	-0.14	—	—	—

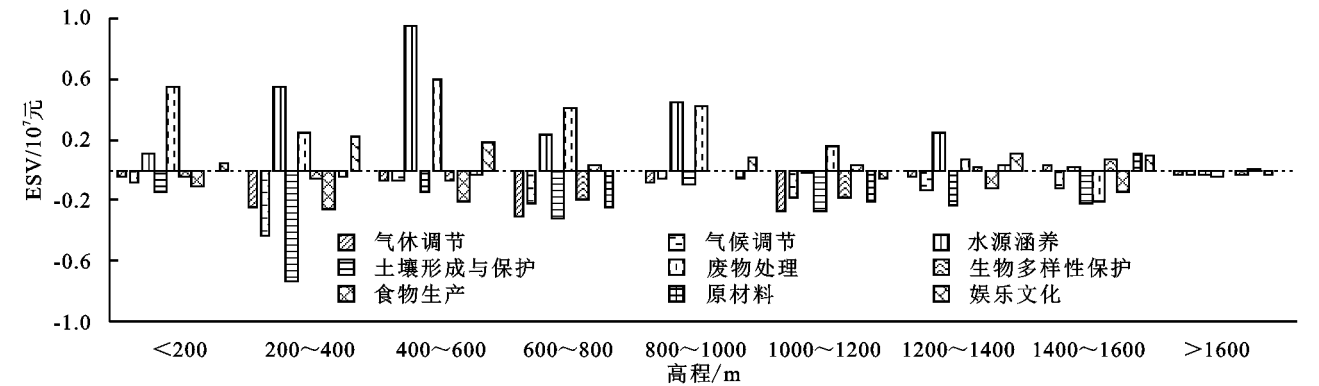


图 3 基于高程梯度上单项生态系统服务价值变化

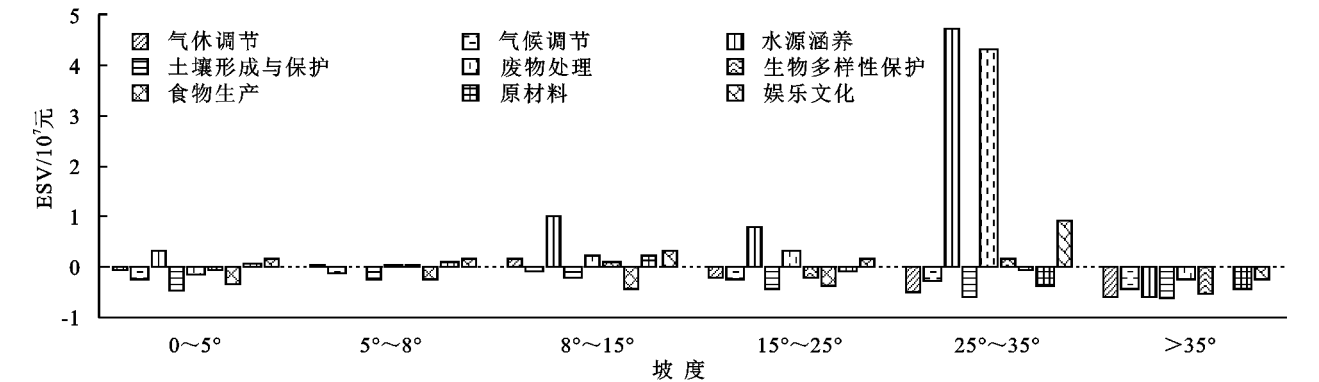


图 4 基于坡度分级上单项生态系统服务价值变化

3.4 生态系统服务价值地形起伏度空间特征分析

利用 2000 年、2015 年两期土地利用数据,分析不同

地形起伏度上生态系统服务价值及变化,探讨流域内地形因子对生态系统服务价值的影响,本文将研究区内

0~30 m(平坦地区)、30~70 m(微起伏地区)、70~200 m(小起伏地区)和>200 m(中起伏地区)分别对应 abcd。以 5 km×5 km 为网格单元按照 ArcGIS 中自然断裂法将各地形起伏度上生态系统服务价值划分为<6 000 元、6 000~12 000 元、12 000~30 000 元和>30 000 元 4 类,2000—2015 年地形起伏度上生态系统服务价值变化趋势划分为增加区域、不变区域和减少区域(图 6)。如图 6 所示,不同地形起伏度上生态系统服务价值分布不一致,生态系统服务价值>30 000 元主要分布于小起伏地区(70~200 m),其主要原因为水域、林地和草地分布面积广,生态系统服务价值系数高。平坦地区(0~30 m)在研究区分布面积小,生态系统服务价值<6 000 元主要分布于淇河下游地区。微起伏地区(30~70 m)内

生态系统服务价值<6 000 元主要分布于上游草地覆盖的地区,主要原因为草地生态系统服务价值系数小;介于 6 000~12 000 元和 12 000~30 000 元分布于耕地覆盖的地区,主要原因是耕地面积分布广和生态系统服务价值系数高。中起伏地区生态系统服务价值>30 000 元分布于林地覆盖的地区,林地生态系统服务价值高是其主要原因。2000—2015 年地形起伏度上生态系统服务价值处于动态变化过程中:变化最为明显的小起伏地区,生态系统服务价值增加的区域主要为草地和水域面积增加^[32],耕地和林地面积减少导致研究区内生态系统服务总价值减少;淇河流域生态系统服务总价值减少了 0.14 亿元(表 4),表明研究区在研究期内生态系统服务功能呈衰退状态。

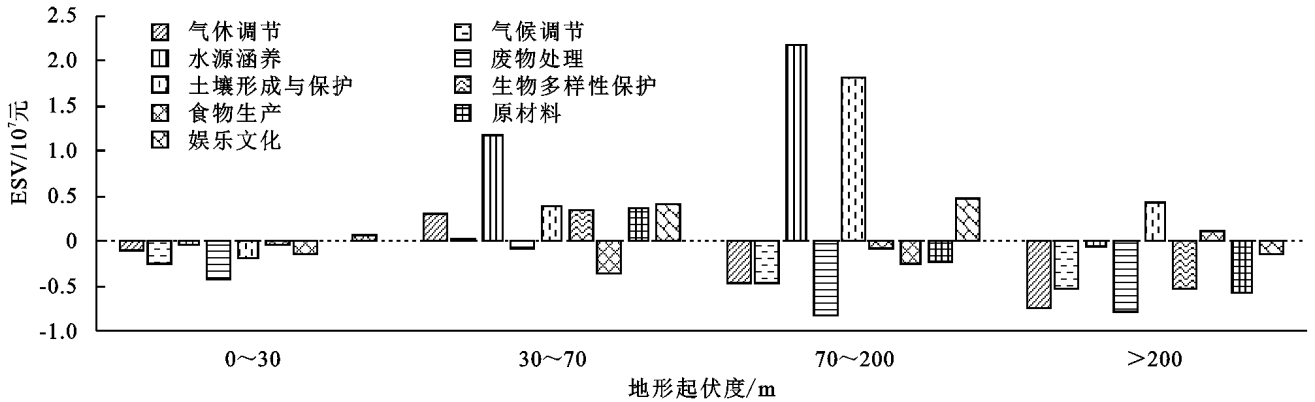


图 5 基于地形起伏度上单项生态系统服务价值变化

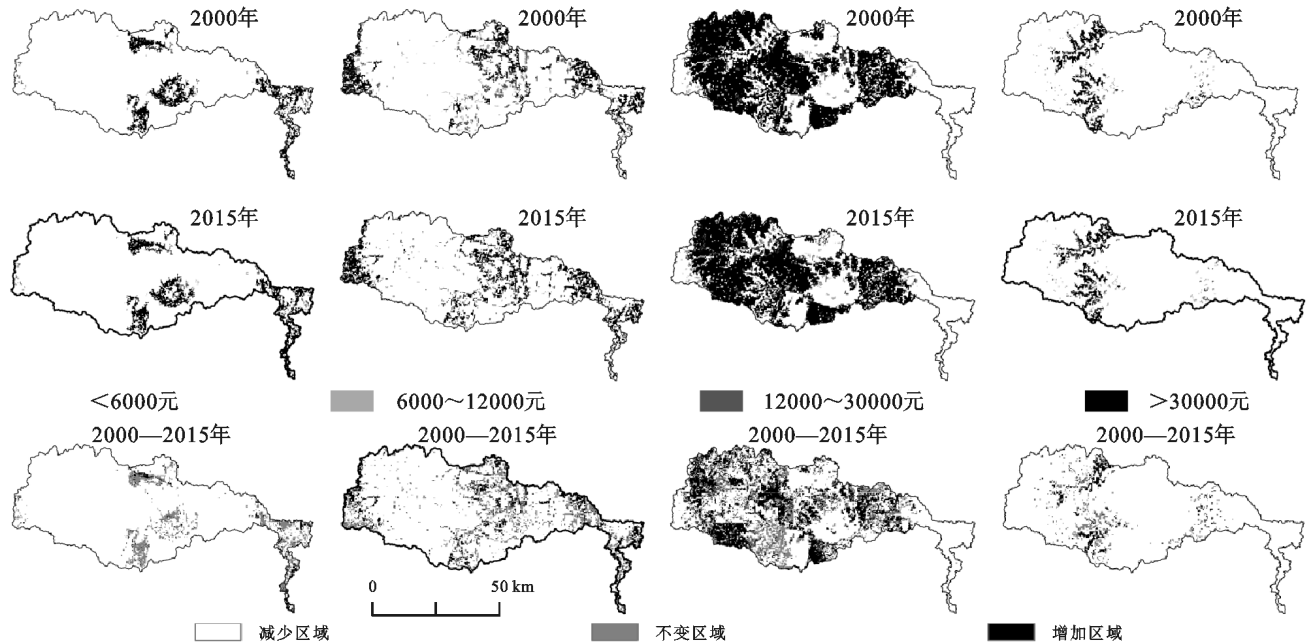


图 6 2000 年、2015 年地形起伏度上生态系统服务价值及变化

4 生态系统服务价值敏感性分析

本文将研究区采用的生态系统服务价值量表中各项生态系统服务价值系数分别上下调整 50%后与

对应的土地利用类型面积相乘得到 2000 年、2015 年生态系统服务价值及敏感性指数(表 5)。由表 5 可以看出,各项土地利用类型的生态系统服务价值的敏感性指数均小于1,其中 2000 年林地敏感性指数最高

(0.53),2015 年未利用地敏感性指数最低(0.000 1),表明研究区生态系统服务价值对调整生态系统服务价值系数缺乏弹性,进一步说明生态系统服务价值系数的改变对淇河流域生态系统服务价值影响不显著。

表 5 调整后生态系统服务价值及敏感性指数

价值系数	ESV/变化量			敏感性指数(CS)		
	2000 年	2015 年	2000—2015 年	2000 年	2015 年	2000—2015 年
耕地 VC+50%	22.13	21.56	−0.57	0.27	0.22	减少
耕地 VC−50%	16.90	17.26	0.36			
林地 VC+50%	24.69	24.42	−0.27			
林地 VC−50%	14.35	14.40	0.05	0.53	0.52	减少
草地 VC+50%	20.77	20.81	0.04			
草地 VC−50%	18.27	18.00	0.04			
水域 VC+50%	20.25	20.55	0.30	0.07	0.12	增加
水域 VC−50%	18.79	18.27	−0.52			
未利用地 VC+50%	19.52	19.41	−0.11			
未利用地 VC−50%	19.52	19.41	−0.11	0.0005	0.0001	减少

5 结论与讨论

5.1 讨论

学界研究生态系统服务价值的变化集中采用单位面积价值法和单位面积服务功能法测度,而单位面积价值法具有输入参数少,计算过程简单,对于流域等小尺度地区应用范围广等优势^[32],故本文利用单位面积价值法测定淇河流域生态系统服务价值。由于供给服务、支持服务、调节服务和文化服务等服务功能主要是耕地、林地、草地、水域等土地利用类型提供,建设用地对生态系统服务功能的供给不产生直接影响,参照谢高地等^[11-13]的研究,本文不对建设用地进行价值评估。淇河流域地形复杂,处于太行山南段向华北平原的山地平原过渡地带,运用地形因子研究山区流域生态系统服务价值展开了思路,对深入分析土地利用/覆被变化与生态系统服务价值相互关系具有重要价值。

生态系统服务的集成与测度一直是地理学和生态学研究的热点,然而对于生态系统服务的研究范式成为学界的难题^[5]。目前,多数学者利用土地利用/覆被的变化研究生态系统服务的变化,其中 RU-SLE、InVEST 和 VER 等模型成为研究生态系统服务权衡与协同的主要手段,生态系统服务研究的精准化和小尺度已成为趋势,然而对生态系统服务权衡与协同的影响因素尚不多见。因此,笔者今后将在本文的基础上运用模型分析淇河流域生态系统服务权衡与协同关系,进一步探讨小尺度地区生态系统服务和功能的外部影响因素及人类活动强度的干扰程度。

5.2 结论

(1) 淇河流域内以林地、草地和耕地为主,比重

之和占研究区总面积的 95%;2000—2015 年研究区内耕地面积减少了 29 671.64 hm²,减幅最明显;草地面积增加 8 854.38 hm²,增幅最大;未利用地单一动态最高为 632.14%。

(2) 2000—2015 年地形因子上生态系统服务价值变化显著:200~400 m 高程分级上耕地 ESV 减幅最大(4 464.64 万元),600~800 m 高程分级上林地 ESV 减幅最明显(4 464 万元),水域 ESV 在 400~600 m 上增益 2 354.88 万元;耕地 ESV 在 0°~5°坡度分级上减幅最大(3 197 万元),林地 ESV 在 >35°坡度分级上减幅最大(4 293 万元),8°~15°坡度分级上增加了 2 593 万元,水域 ESV 在 15°~25°坡度分级上增幅最大(2 332 万元);耕地 ESV 在平坦地区减幅最大(3 720 万元),水域 ESV 在微起伏地区增幅最大(5 940 万元),林地 ESV 在中起伏地区减幅最大(5 492 万元)、微起伏地区增幅最大(3 967 万元)。

(3) 2000—2015 年各项生态系统服务价值在高程、坡度和地形起伏度损益幅度不同,其中废物处理和水源涵养生态系统价值增益最明显,土壤形成与保护生态系统服务价值减损最多。从一级生态系统服务类型分析,研究时段内调节服务和文化服务价值呈增加趋势、供给服务和支持服务价值呈减少趋势;支持服务贡献率等级最大、调节服务次之。

(4) 2000—2015 年淇河流域内敏感性指数均小于 1,证明本文研究结果真实可信。

参考文献:

[1] 王丽群,张志强,李格,等.北京边缘地区景观格局变化及对生态系统服务的影响评价:以牛栏山—马坡镇为例

- [J].生态学报,2018,38(3):750-759.
- [2] 郑度,吴绍洪,尹云鹤,等.全球变化背景下中国自然地域系统研究前沿[J].地理学报,2016,71(9):1475-1483.
- [3] 张振明,刘俊国.生态系统服务价值研究进展[J].环境科学学报,2001,31(9):1835-1842.
- [4] 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,1998,19(5):607-613.
- [5] 钱彩云,巩杰,张金茜,等.甘肃白龙江流域生态系统服务变化及权衡与协同关系[J].地理学报,2018,73(5):868-879.
- [6] Yang G M, Li W H, Min Q W. Review of foreign opinion evaluation of ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(1):205-212.
- [7] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001,39(3):333-346.
- [8] Sawut M, Eziz M, Tiyip T. The effects of land-use change on ecosystem service value of desert oasis:a case study in Ugan-Kuqa River Delta Oasis, China[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2013,93(1):99-108.
- [9] 王世东,贾策.基于遥感的生态服务价值测算与土地利用动态变化[J].水土保持研究,2018,25(3):258-264.
- [10] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. World Environment, 1997,387(6630):253-260.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等.生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究[J].生态学报,2013,33(21):6747-6761.
- [15] 张艳军,官冬杰,翟俊,等.重庆市生态系统服务功能价值时空变化研究[J].环境科学学报,2017,37(3):1167-1177.
- [16] 刘琼阁,彭道黎,施鹏程,等.三峡库区森林生态系统服务功能评估[J].东北林业大学学报,2014,42(11):62-66.
- [17] 赵同谦,欧阳志云,贾良清,等.中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J].生态学报,2003,24(6):1101-1110.
- [18] 刘金雅,汪东川,张利辉,等.基于多边界改进的京津冀城市群生态系统服务价值估算[J].生态学报,2018,38(12):4192-4204.
- [19] 文戴远,江万奇,黄万里,等.基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态系统服务价值研究[J].自然资源学报,2018,33(12):2098-2109.
- [20] 史慧慧,程久苗,费罗成,等.1990—2015 年长三角城市群土地利用转型与生态系统服务功能变化[J].水土保持研究,2019,26(1):301-307.
- [21] 徐媛银,郭添,薛达元,等.赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变[J].生态学报,2019,39(10):1-10.
- [22] 王晓峰,薛亚永,张园.基于地形梯度的陕西省生态系统服务价值评估[J].冰川冻土,2016,38(5):1432-1439.
- [23] 幸瑞桑,周启刚,李辉,等.基于地形梯度的三峡库区万州区土地利用时空变化分析[J].水土保持研究,2019,26(2):297-304.
- [24] 谢高地,张钊锂,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):47-53.
- [25] 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[J].应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [26] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等.生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究[J].生态学报,2013,33(21):6747-6761.
- [27] 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,1998,19(5):607-613.
- [28] 约日古丽卡斯木,杨胜天,孜比布拉·司马义.新疆艾比湖流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].农业工程学报,2019,35(2):260-269.
- [29] 张静静,朱文博,赵芳,等.山地平原过渡带地形起伏特征及其对景观格局的影响:以太行山淇河流域为例[J].中国科学:地球科学,2018,48(4):476-486.
- [30] 李云生,周广金,梁涛,等.巢湖流域的土地利用变化及其生态系统功能损益[J].地理研究,2009,28(6):1656-1664.
- [31] 任涵,张静静,朱文博,等.太行山淇河流域土地利用变化对生境的影响[J].地理科学进展,2018,37(12):1693-1704.
- [32] 宋敏敏,张青峰,吴发启,等.黄土沟壑区小流域景观格局演变及生态系统服务价值响应[J].生态学报,2018,38(8):2649-2659.