

龙门山地区 1995—2015 年生态系统服务价值变化

胡利利¹, 李亦秋², 邓 欧², 申朝永¹, 陈盼盼³, 周道琴¹

(1.贵州省第三测绘院, 贵阳 550004; 2.贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025; 3.北京林业大学 精准林业北京市重点实验室, 北京 100083)

摘 要:以 1995—2015 年 5 期 Landsat 系列遥感影像为主要数据源,依据改进的当量因子法对龙门山地区生态系统服务价值进行核算并进行了敏感性分析。结果表明:(1) 1995—2015 年各类生态系统中森林生态系统服务价值最高,其次是草地生态系统,荒漠生态系统服务价值最低;(2) 1995—2015 年不同区域单位面积生态系统服务价值具有显著空间差异,山区、高原区远大于丘陵、平原区;不同区域生态系统服务总价值呈现出山区>平原区>高原区>丘陵区的特征;(3) 各类生态系统其服务价值及不同区域生态系统服务价值均与生态系统服务总价值基本呈现出一致的变化规律:1995—2000 年趋于下降,2000—2010 年趋于上升;2010—2015 年基本呈下降趋势;整体上,1995—2015 年生态系统服务价值总量下降了 19.75%;(4) 1995—2015 年同一项生态系统服务价值在不同时期所占比重趋于稳定;同一时期各项生态系统服务价值所占比重呈现出显著差异性,11 种生态服务类型中,气候调节价值对生态系统服务总价值的贡献最大,其次是水文调节价值,水资源供给价值所占比例最小;(5) 生态系统服务价值对生态价值系数缺乏弹性,研究结果可信。该区域在今后生态建设与保护及区域国土空间规划等工作中应继续坚持可持续发展道路,谋求经济与生态环境的高度协调发展。

关键词:生态系统; 生态系统服务价值; 龙门山地区

中图分类号:X171.1;F062.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0358-07

Changes of Ecosystem Service Values in Longmenshan Region in the Period from 1995 to 2015

HU Lili¹, LI Yiqiu², DENG Ou², SHEN Chaoyong¹, CHEN Panpan³, ZHOU Daoqin¹

(1.Guizhou Provincial Third Institute of Surveying and Mapping, Guiyang 550004, China; 2.School of Geography and Environment, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3.Precision Forestry Key Laboratory of Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract:The series remote sensing images of Landsat of five periods in 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015 were used as primary data source. The ecosystem service value of Longmenshan region was calculated based on the improved equivalent factor method, and the sensitivity index was analyzed. The results showed that: (1) from 1995 to 2015, the value of forest ecosystem services was the highest among the ecosystems in Longmenshan region, followed by grassland ecosystem, and the value of desert ecosystem services was the lowest; (2) the ecosystem service value of per unit area in different areas showed spatial heterogeneity during 1995 to 2015; the per unit area ecosystem service values in the mountain areas and the plateau areas were much higher than those in plain and hilly areas; and the total ecosystem service values in different areas decreased in the order: the mountain area>the plain area>the plateau area>the hilly area; (3) both the service values of each type ecosystems and the total ecosystem service values of different regions showed the consistent change rule with the total ecosystem services value: they all declined from 1995 to 2000 and increased from 2000 to 2010, and declined on the whole from 2010 to 2015; overall, the total ecosystem

收稿日期:2019-02-23

修回日期:2019-12-05

资助项目:黔科合基础([2020]1Z031);黔科合基础([2019]1218);黔科合基础([2019]1222);贵州师范大学资助博士科研项目(GZNU[2017]8);贵州师范大学资助博士科研项目(GZNU[2017]9)

第一作者:胡利利(1990—),女,河南汝南人,硕士,研究方向:3S技术应用,自然资源开发与利用。E-mail:Lizihu666@163.com

通信作者:李亦秋(1973—),女,四川达县人,博士,教授,研究方向:3S技术应用、农村发展、自然资源开发与利用。E-mail:yqiu.li@163.com

service value decreased by 19.75% from 1995 to 2015; (4) from 1995 to 2015, in different period, the proportion of the value of the same ecosystem service in the total ecosystem service value was stable; however, in the same period, the proportion of the value of different ecosystem service in the total ecosystem service value showed the significant difference; among the 11 types of ecosystem services values, the value of climate regulation contributed to the total ecosystem service value mostly, followed by the value of hydrology regulation, and the value of water supply accounted for the least; (5) the ecosystem service value was inelastic to ecosystem value coefficient, so the research results were credible. During ecological construction and protection, regional territorial space planning and other works in the region in the future, the path of sustainable development should be adhered so as to achieve a highly coordinated development between economy and ecological environment.

Keywords: ecosystem; ecosystem service value; Longmenshan region

生态系统服务功能为人类生产、生活提供物质基础的同时,还创造与维持地球生命支持系统,形成人类生存所必需的环境条件^[1-3]。生态系统服务与人类福祉密切相关^[4-5],平衡协调的生态系统服务功能是人类生存与可持续发展的基础^[6]。开展区域生态功能区划、环境经济核算、生态环境保护以及生态补偿决策都需要以生态系统服务评估为重要依据和基础^[7-9]。目前生态系统服务价值(Ecosystem services value,缩写为“ESV”)研究已成为可持续发展的研究热点^[10],开展区域生态系统服务价值变化研究对于区域生态建设与保护、区域可持续发展具有十分重要的意义。

龙门山地区位于青藏高原与四川盆地的过渡地带^[11],处于长江中上游支流岷江、嘉陵江以及汉江的源头区域,是长江上游地区生态安全的重要屏障,在“生物多样性保护”和“水源涵养”、“水土保持”等方面具有不可替代的作用^[12],具有极其重要的生态服务功能^[12]。2008年汶川大地震及次生灾害在造成重大人员伤亡和经济损失^[13-14]的同时,使得该区域景观破碎化、生态廊道遭到不同程度破坏^[15],区域生态系统严重受损^[16]。本文借鉴已有研究成果对龙门山地区生态系统服务价值变化情况进行分析,以期为区域灾后生态环境重建与保护、自然资源评估、区域生态建设、生态保护红线划定及区域国土空间规划提供借鉴^[17]。

1 研究区概况

龙门山地区位于青藏高原向四川盆地的过渡地带,地跨川西北高原区、四川盆地平原区、盆周山地区以及川西南山地区四大地貌区^[11],区域地形地貌复杂多样,整体呈现出西高东低的趋势,新构造运动极其强烈^[11,18],该区域是藏族、羌族的聚居地,处于“游牧文化”与“农耕文化”的交错区^[19],自西南汉源、荣经县,向东北经宝兴县、都江堰、安县、江油市、广元市延伸至陕西宁强、勉县一带^[13,17](图1)。在气候类型上,该区处于山地亚热带湿润季风气候区与暖温带半

干旱季风气候区过渡区^[20-21],垂直分布特征显著,降水丰富且集中分布于夏季^[20-21]同时该区是长江支流岷江、嘉陵江和汉江的发源地(图1),具有重要的生态地位。汶川大地震及次生灾害给该区生态环境造成了严重破坏^[22]。

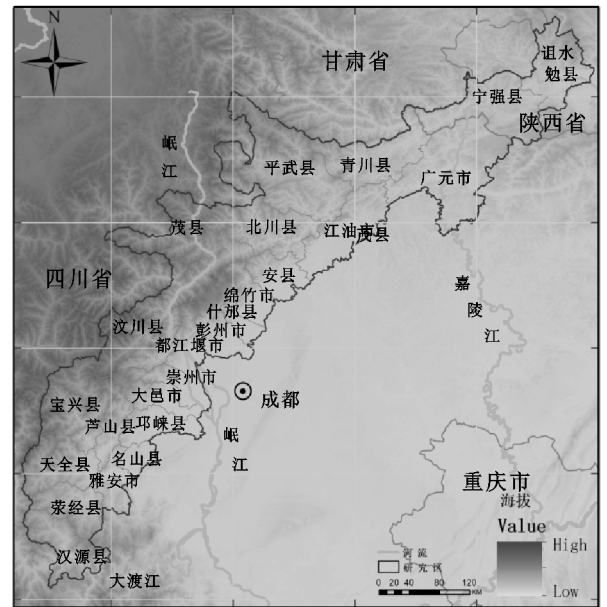


图1 龙门山地区地理位置^[17]

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

由1995年、2000年、2005年、2010年、2015年的Landsat系列遥感影像解译获取土地利用现状数据,粮食价格及产量来源于《全国农产品成本收益资料汇编—2016年》^[23]、《四川统计年鉴》^[24]等相关统计数据。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务价值核算方法 谢高地等^[25-26]在Costanza等^[27]的基础上提出了符合中国实际的“中国生态系统生态服务价值当量因子表”,构建了生态系统服务价值化的当量因子法,该方法适合且便于开展大、中尺度区域生态系统服务价值研究^[28-29],得到了广泛应

用。2015 年,谢高地等参照千年生态系统评估(MA)的分类方法对该方法进行了改进,得出新的当量因子表^[7]。本文依据新的当量因子表,结合龙门山地区实际来对其生态系统服务价值进行核算。

生态系统服务价值计算模型^[30-32]如下:

$$ESV = \sum_{k=1}^n (A_k \times VC_k) \tag{1}$$

$$ESV_f = \sum (A_k \times VC_{fk}) \tag{2}$$

式中:ESV 为生态系统服务总价值^[30-32];A_k 为 k 类生态系统面积(hm²)^[30-32];VC_k 为 k 类生态系统价值系数[元/(hm²·a)]^[30-32];ESV_f 为生态系统第 f 项生态服务功能价值^[30-32];VC_{fk} 为 k 类生态系统第 f 项生态服务功能价值系数[元/(hm²·a)]^[30-32]。该方法不考虑建设用地生态服务价值。

2.2.2 敏感性分析 本文利用敏感性指数(Coefficient of Sensitivity,CS)^[32-34]来分析生态系统服务价值对生态系统价值系数变化的依赖程度。敏感性指数计算公式^[32-34]如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \tag{3}$$

式中:VC_{ik},VC_{jk} 分别为 k 类生态系统调整前和调整后的生态系统服务功能价值系数(value coefficient,VC)^[32-34];ESV_i,ESV_j 则分别代表生态服务功能价值系数调整前、后生态服务功能价值。通过对 VC 分别上调 50%和下调 50%来计算 CS,如果 CS>1,说明 ESV 对 VC 具有弹性,表明其准确度差、可信度较低;如果 CS<1,则说明 ESV 对生态系统价值系数(VC)缺乏弹性,表明结果可信^[32-34]。

3 结果与分析

3.1 龙门山地区 1995—2015 年生态系统服务价值系数

谢高地等^[7]构建的当量因子表反映的是全国生态系统服务价值的平均状态^[25],为了符合龙门山地区的实际,本文利用代表区域差异显著的生物量因子^[35]来对基础当量进行修正。由于龙门山地区大部分地区位于四川省内且位于陕西省的勉县、宁强县在地域上与四川省毗邻,气候、降水等自然地理概况都具有一定的相似性,因此本文依据四川省农田生态系统生物量因子^[35]对基础当量进行修正。依据已有研究成果^[7,25],由《全国农产品成本收益资料汇编—2016 年》^[23]、《四川统计年鉴》^[24]获取相关数据,得到龙门山地区 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年标准单位生态系统服务价值当量因子价值量分别为:2 485.94 元/hm²,1 783.57 元/hm²,1 917.22 元/hm²,2 124.00 元/hm²,2 004.43 元/hm²,结合当量因子得到龙门山地区对应年份生态系统服务价值系数。

3.2 龙门山地区 1995—2015 年生态系统服务价值变化分析

3.2.1 龙门山地区 1995—2015 年生态系统服务价值时空变化分析 根据 5 期遥感影像解译得到的土地利用数据,结合各期生态系统服务价值系数,基于 ARC GIS10 可视化处理得到单位面积生态系统服务价值时空分异图(图 2)并将其划分为 5 个等级(空值为建设用地,本文不对其生态系统服务价值进行核算)。

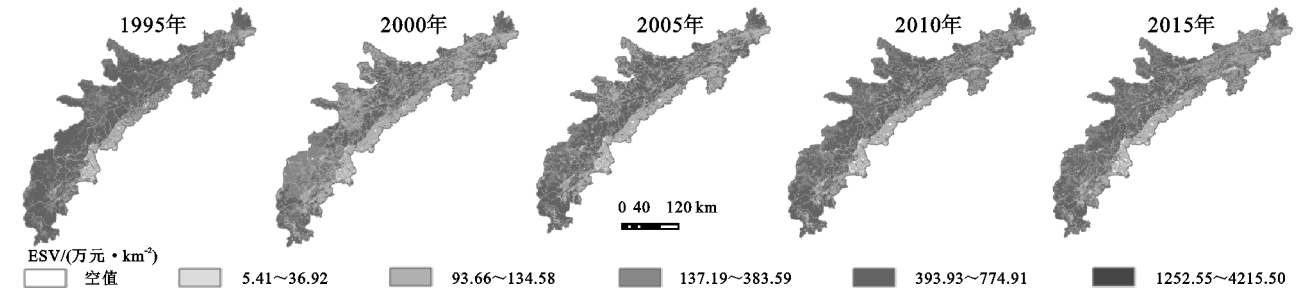


图 2 龙门山地区 1995—2015 年单位面积生态系统服务价值时空分异

根据公式(1—2)对单位面积生态系统服务价值时空分异图层运算、统计得到 1995—2015 年龙门山地区生态系统面积及其生态服务价值变化图(图 3)。

(1) 时序变化分析。如图 3 所示:1995—2015 年各类生态系统中森林生态系统服务价值最高,其次是草地生态系统,二者合计对生态系统服务总价值的贡献介于 86.32%~87.30%,荒漠生态系统服务价值最低,不足 0.10%。各类生态系统服务价值与生态系统服务总价值基本呈现出一致的变化规律,即 1995—2000 年趋于下降,2000—2010 年趋于上升,

2010—2015 年除湿地生态系统外,各类生态系统服务价值及生态系统服务总价值均呈下降趋势。具体来说:1995—2000 年生态系统服务价值总量从 1995 年的 2 473.19 亿元下降到 2000 年的 1 760.88 亿元,下降了 28.80%;2000—2005 年生态系统服务价值总量增加到 1 892.96 亿元,增加了 7.50%,2010 年继续增加到 2 105.94 亿元,增加了 11.25%;2010—2015 年生态系统服务价值总量下降到 1 984.67 亿元,下降了 5.76%;1995—2015 年生态系统服务价值总量下降了 19.75%。

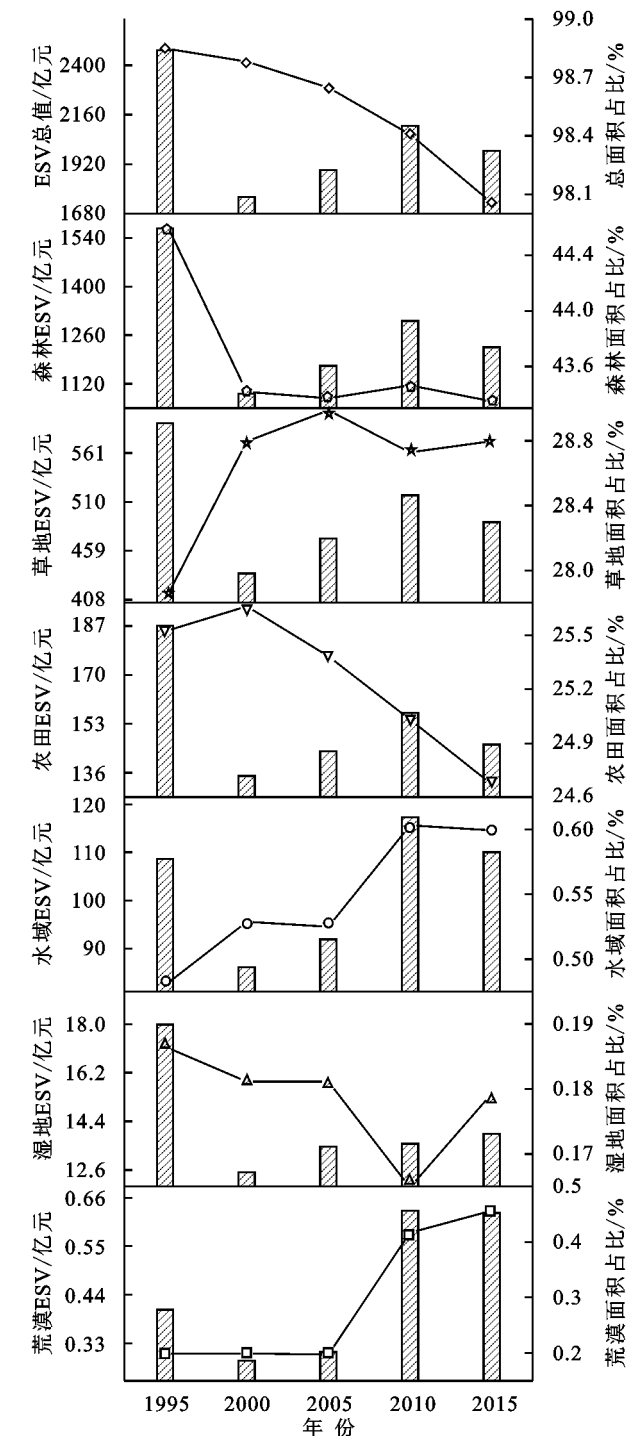


图3 龙门山地区 1995—2015 年各类生态系统面积及其生态服务价值变化

(2) 空间特征分析。由图 2 可知:1995—2015 年不同区域单位面积生态系统服务价值具有显著空间差异性:山区、高原区远大于丘陵、平原区;1995—2015 年单位面积生态系统服务价值空值区域不断扩大,这可能与区域城市化过程建设用地面积不断扩大占用其他生态系统相关(图 3)。

对不同区域生态系统服务价值进行统计,结果如图 4 所示:1995—2000 年不同区域生态系统服务价值同样与生态系统服务总价值变化规律一致,即 1995—2000 年

趋于下降,2000—2010 年趋于上升,2010—2015 年呈下降趋势,最低值出现在 2000 年。总体上,1995—2015 年盆周山地区生态系统服务价值从 1 489.88 亿元下降到 1 197.14 亿元,下降了 19.65%,平原区生态系统服务价值从 495.68 亿元下降到 391.70 亿元,下降了 20.98%,川西北高原区生态系统服务价值从 350.50 亿元下降到 282.10 亿元,下降了 19.52%,川西南山区生态系统服务价值从 118.86 亿元下降到 97.97 亿元,下降了 17.58%,丘陵区生态系统服务价值从 18.27 亿元下降到 15.77 亿元,下降了 13.64%。

如图 4 所示,从比重分布上来看,1995—2015 年盆周山地区生态系统服务价值所占比重最高,均在 60.00% 以上,加上川西南山区,山区生态系统服务价值总比重达 65.00% 以上;其次,平原区生态系统服务价值所占比重约为 20.00%;川西北高原区生态系统服务价值所占比重约为 14.20%;由于丘陵区占地面积小,其生态系统服务价值所占比重最低,小于 1.00%。综上,1995—2015 年不同区域生态系统服务总价值总体呈现出山区>平原区>高原区>丘陵区的特点。此外,值得注意的是:2005—2010 年平原区生态系统服务价值所占比重呈下降趋势,而盆周山地区、川西北高原区、川西南山区、丘陵区生态系统服务价值所占比重均呈上升趋势,这可能与汶川地震及其次生灾害对平原区农田的破坏相关。

3.2.2 龙门山地区 1995—2015 年各项生态系统服务价值变化分析 对龙门山地区 1995—2015 年各项生态系统服务价值进行统计,结果如图 5 所示。1995—2015 年,同一项生态系统服务价值所占比重趋于稳定;同一时期各项生态系统服务价值所占比重呈现显著差异;其中,气候调节价值、水文调节价值占比最大,合计达 49.00% 以上;其次是土壤保持价值与气体调节价值,水资源供给价值所占比例最小。

3.3 敏感性分析

根据敏感性指数(CS)计算公式(3),通过对各类生态系统服务价值系数(VC)分别上、下调动 50% 来分析 ESV 对价值系数的敏感程度,结果见表 1。同一生态系统类型在不同时期其 ESV 对价值系数的敏感性指数变化较小;同一时期不同生态系统类型其 ESV 对价值系数的敏感性指数差别较大,具体表现为:1995 年,灌木林 CS>针阔混交林 CS>阔叶林 CS>灌草丛 CS>针叶林 CS>草甸 CS>草原 CS>水系 CS>旱地 CS>水田 CS>湿地 CS>荒漠 CS>冰川积雪 CS>裸地 CS;2000 年、2005 年,灌木林 CS>

针阔混交林 CS>灌草丛 CS>阔叶林 CS>针叶林 CS>草甸 CS>草原 CS>水系 CS>旱地 CS>水田 CS>湿地 CS>荒漠 CS>冰川积雪 CS>裸地 CS; 2010 年、2015 年,灌木林 CS>针阔混交林 CS>灌草丛 CS>阔叶林>CS 针叶林 CS>水系 CS>草甸 CS>草原 CS>旱地 CS>水田 CS>湿地 CS>荒漠 CS>冰川积雪 CS>裸地 CS;各时段各敏感性指数均远小于 1,表明龙门山地区各年份 ESV 对功能价值系数缺乏弹性,表明本文采用的价值系数适合龙门山地区的实际情况,研究结果可信。

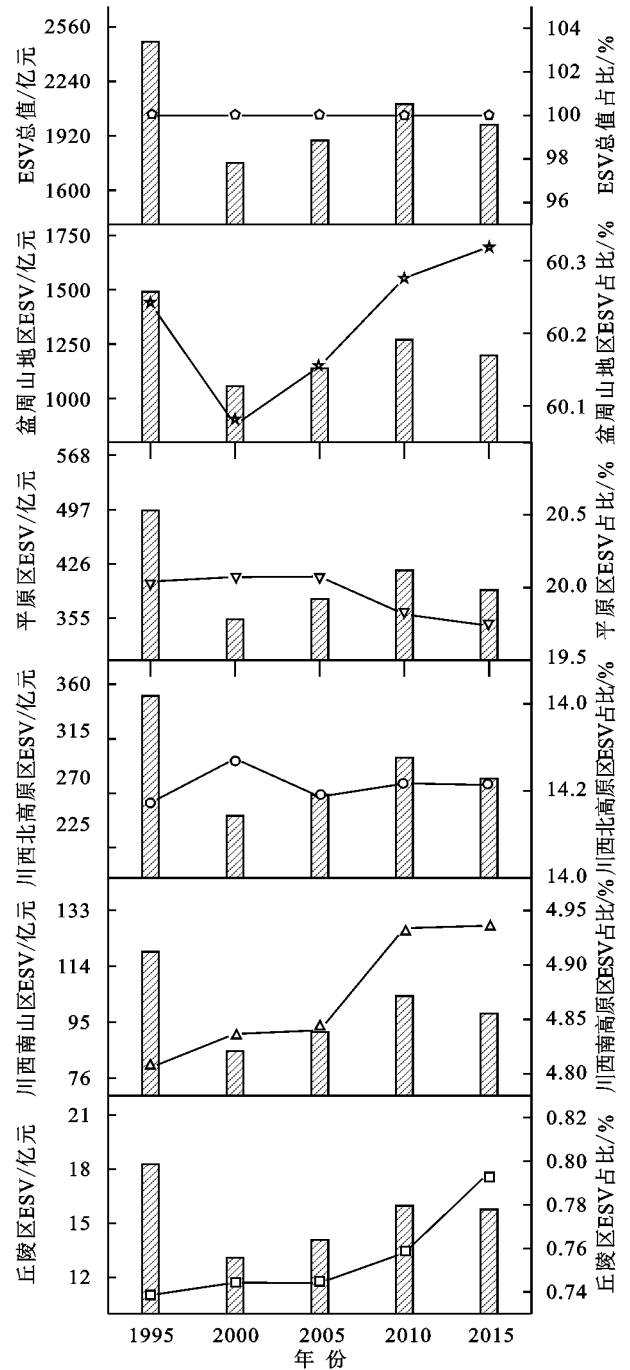


图 4 龙门山地区 1995—2015 年不同区域生态系统服务价值及其比重变化

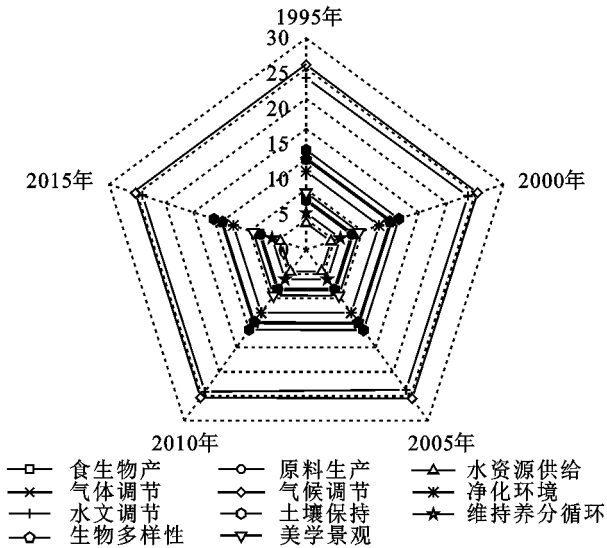


图 5 龙门山地区 1995—2015 年各项生态系统服务价值比重变化

4 结论

- (1) 1995—2015 年,各生态系统中森林生态系统服务价值最高,其次是草地生态系统,荒漠生态系统服务价值最低。
- (2) 不同区域单位面积生态系统服务价值具有显著空间差异:山区、高原区远大于丘陵、平原区;不同区域生态系统服务总价值总体呈现出山区>平原区>高原区>丘陵区的特点。
- (3) 1995—2015 年各类生态系统其服务价值、不同区域生态系统服务价值均与生态系统服务总价值基本呈现出一致的变化规律:1995—2000 年趋于下降,2000—2010 年趋于上升;2010—2015 年基本呈下降趋势;整体上,1995—2015 年生态系统服务价值总量下降了 19.75%。
- (4) 同一项生态系统服务价值在不同时期所占比重趋于稳定;同一时期,各项生态系统服务价值所占比重呈现显著差异性,11 种生态服务类型中,气候调节价值、水文调节价值对生态系统服务总价值的贡献最大,其次是土壤保持价值、气体调节价值,水资源供给价值所占比例最小。
- (5) 同一时期不同生态系统类型其 ESV 对价值系数的敏感性指数差别较大;同一生态系统类型在不同时期其 ESV 对价值系数的敏感性指数变化较小,各时段各敏感性指数均远小于 1,表明龙门山地区各时期生态系统服务价值对本文采用的价值系数缺乏弹性,研究结果可信。

运用当量因子法可以有效进行龙门山地区生态系统服务价值研究。同时应注意到:运用该方法进行生态系统服务价值估算,不仅受生态环境(生态系统

面积)变化影响,还受区域社会经济因素(粮食价格和粮食产量)影响,甚至掩盖生态环境变化对生态系统服务价值变化的影响。如汶川地震造成农田、草地生态系统面积的缩减,同时引起荒漠的增加,但由于粮食价格及产量的影响,生态系统服务价值的最低值并没有出现在汶川大地震发生后的 2010 年。

表 1 龙门山地区 1995—2015 年生态系统服务价值敏感性指数

生态系统类型		生态服务价值系数 VC/		敏感性指数(CS)				
一级分类	二级分类	(元·hm ⁻² ·a ⁻¹)		1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
农田	旱地	VC+50%	VC-50%	0.0417	0.0427	0.0422	0.0417	0.0412
	水田	VC+50%	VC-50%	0.0339	0.0339	0.0336	0.0328	0.0323
森林	针叶	VC+50%	VC-50%	0.0658	0.0677	0.0677	0.0676	0.0677
	针阔混交林	VC+50%	VC-50%	0.1981	0.1889	0.1892	0.1887	0.1873
	阔叶林	VC+50%	VC-50%	0.1439	0.1413	0.1410	0.1399	0.1424
	灌木	VC+50%	VC-50%	0.2260	0.2219	0.2214	0.2215	0.2200
草地	草原	VC+50%	VC-50%	0.0466	0.0497	0.0501	0.0495	0.0495
	灌草丛	VC+50%	VC-50%	0.1418	0.1461	0.1475	0.1447	0.1445
湿地	草甸	VC+50%	VC-50%	0.0508	0.0516	0.0516	0.0513	0.0524
	湿地	VC+50%	VC-50%	0.0073	0.0071	0.0071	0.0064	0.0070
荒漠	荒漠	VC+50%	VC-50%	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003
	裸地	VC+50%	VC-50%	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
水域	水系	VC+50%	VC-50%	0.0438	0.0488	0.0484	0.0556	0.0553
	冰川积雪	VC+50%	VC-50%	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

龙门山地区在今后的生态建设与保护、生态保护红线划定及区域国土空间规划等工作中要坚持可持续发展道路,继续加强对生态系统服务价值贡献高的森林、草地等自然生态系统的保护,同时应重视对湿地等生态脆弱区的修复与保护,严禁不合理的开垦开发,不以破坏资源环境为代价换取经济的增长,努力谋求经济与生态环境的高度协调发展。

参考文献:

[1] 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,1999,19(5):3-5.

[2] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等.中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].自然资源学报,2003,18(4):443-452.

[3] 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.

[4] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.

[5] 戴尔阜,王晓莉,朱建佳,等.生态系统服务权衡/协同研究进展与趋势展望[J].地球科学进展,2015,30(11):1250-1259.

[6] 彭怡. InVEST 模型在生态系统服务评估中的应用研究:以四川汶川地震灾区为例[D].成都:中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所,2010.

[7] 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.

[8] Daily G C. The value of nature and the nature of value [J]. Science, 2000,289(5478):395-396.

[9] Lautenbach S, Kugel C, Lausch A, et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data [J]. Ecological Indicators, 2011,11(2):676-687.

[10] 郭荣中,杨敏华.长株潭地区生态系统服务价值分析及趋势预测[J].农业工程学报,2014,30(5):238-246.

[11] 李旭龙.龙门山断裂带地震风险评估决策平台研究[D].成都:成都理工大学,2013,6:20-22.

[12] 欧阳志云,徐卫华,王学志,等.汶川大地震对生态系统的影响[J].生态学报,2008,28(12):5801-5809.

[13] 彭华,马秀敏,姜景捷.龙门山北端青川断层附近应力测量与断层稳定性[J].地质力学学报,2009,15(2):114-130.

[14] 田文.龙门山断裂带地震活动性研究[D].成都:成都理工大学,2013,05:3.

[15] Xiao Y, Ouyang Z Y, Zhu C Q, et al. An assessment of giant panda habitat in minshan, Sichuan, China [J]. Acta ecologica Sinica, 2004,24(7):1373-1379.

[16] 吴宁,卢涛,罗鹏,等.地震对山地生态系统的影响:以 5.12 汶川大地震为例[J].生态学报,2008,28(12):5810-5819.

[17] 胡利利.龙门山地区生态系统服务价值研究与 EML 建模实现[D].四川绵阳:绵阳师范学院,2018.

[18] 张建强.汶川地震后龙门山断裂带地震活动性研究[D].北京:中国地质大学,2010.

- [19] 《龙门山生态文明建设试验区》课题组,杜肯堂,邓玲,等.在灾后重建中创设“龙门山生态文明建设试验区”的建议[J].天府新论,2009(3):5-9.
- [20] 李勇,孙爱珍.龙门山造山带构造地层学研究[J].地层学杂志,2000,24(3):201-206.
- [21] 陈盼盼.龙门山地区人类活动生态胁迫评价系统研建[D].四川绵阳:绵阳师范学院,2017,04:11-13.
- [22] 包维楷,庞学勇.四川汶川大地震重灾区灾后生态退化及其基本特点[J].应用与环境生物学报,2008,14(4):441-444.
- [23] 国家发展和改革委员会价格司.全国农产品成本收益汇编(2016)[M].北京:中国统计出版社,2016.
- [24] 四川省统计局.《四川统计年鉴》[EB/OL]. <http://tjj.sc.gov.cn/tjcbw/tjnj/>,2019.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Costanza R, d'Arge R, de Groot R S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997,387(15):253-260.
- [28] Costanza R, Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environmental Change, 2014,26:152-158.
- [29] Wang W J, Guo H C, Chuai X W, et al. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution [J]. Environmental Science & Policy, 2014,44:62-72.
- [30] 马依拉·热合曼,买买提·沙吾提,尼格拉·塔什甫拉提,等.基于遥感与GIS的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究[J].生态学报,2018,38(16):5938-5951.
- [31] 李涛,甘德欣,杨知建,等.土地利用变化影响下洞庭湖地区生态系统服务价值的时空演变[J].应用生态学报,2016,27(12):3787-3796.
- [32] 邓雨薇.基于土地利用变化的精河流域生态系统服务价值研究[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2014,5:15,35.
- [33] Zhang Z M, Gao J F, Gao Y N. The influences of land use changes on the value of ecosystem services in Chaohu Lake Basin, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2015,74(1):385-395.
- [34] 杨锁华,胡守庚,瞿诗进.1990—2014 年长江中游经济带生态系统服务价值时空变化特征[J].水土保持研究,2018,25(3):164-169.
- [35] 谢高地,肖玉,甄霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究[J].中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.

(上接第 357 页)

- [21] 陈彦光.基于 Matlab 的地理数据分析[M].北京:北京高等教育出版社,2012:309-310.
- [22] Li X, Yeh A G O. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2002,16(4):323-343.
- [23] Li X, Chen Y, Liu X, et al. Concepts, methodologies, and tools of an integrated geographical simulation and optimization system[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2011,25(4):633-655.
- [24] Li X, Li D, Liu X, et al. Geographical simulation and optimization system (GeoSOS) and its cutting-edge researches [J]. Advances in Earth Science, 2009,24(8):899-907.
- [25] 谢莹,匡鸿海,吴晶晶,等.基于 CLUE-S 模型的重庆市渝北区土地利用变化动态模拟[J].长江流域资源与环境,2016,25(11):1729-1737.
- [26] 李国珍.基于 FLUS 模型的深圳市土地利用变化与模拟研究[D].武汉:武汉大学,2018.
- [27] 王保盛,廖江福,祝薇,等.基于历史情景的 FLUS 模型邻域权重设置:以闽三角城市群 2030 年土地利用模拟为例[J].生态学报,2019,39(12):4284-4298.
- [28] Zeng J, Li J F, Yao X W. [Spatio-temporal dynamics of ecosystem service value in Wuhan Urban Agglomeration][J]. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao=the Journal of Applied Ecology/Zhongguo Sheng Tai Xue Xue Hui, Zhongguo Ke Xue Yuan Shenyang Ying Yong Sheng Tai Yan Jiu Suo Zhu Ban, 2014,25(3):883-891.
- [29] Radford K G, James P. Changes in the value of ecosystem services along a rural-urban gradient: A case study of Greater Manchester, UK[J]. Landscape and Urban Planning, 2013,109(1):117-127.
- [30] 彭云飞.基于 FLUS 模型的大都市区土地利用优化模拟:以深圳市为例[J].山东国土资源,2019,35(8):70-74.
- [31] 王亚娟,刘小鹏,关文超.山区土地利用变化对生态系统服务价值的影响分析:以宁夏彭阳县为例[J].生态经济,2010,26(5):146-149.