基于改进价值当量因子的 1992—2015 年青藏高原生态系统服务价值演化分析

程琳琳[1], 黄 婷[1], 刘焱序[2]

〔1. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;
2. 北京师范大学 地理科学学部 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875〕

摘 要: [目的] 基于改进的单位面积生态服务价值基础当量表和土地覆被数据集,评估青藏高原 1992—2015 年生态系统服务价值演化,为青藏高原生态安全保障提供空间指引。[方法] 借助改进的单位面积生态服务价值基础当量表,结合 CCI-LC 长时间序列土地覆被产品评估生态系统服务价值。[结果] ①1992—2015 年青藏高原生态系统服务价值有所提高,24 a 间增加了 1.62×10^{11} 元,且不同生态系统类型的服务价值呈现:草地>水域>森林>湿地>农田>荒漠的特征;②生态系统调节服务价值量最高,2015 年高达 5.53×10^{12} 元,支持服务和供给服务其次分别为 1.33×10^{12} 元和 5.50×10^{11} 元,文化服务价值最低为 2.90×10^{11} 元;③生态系统服务价值受高程和坡度的影响,在不同的高程和坡度下生态系统服务价值都是先增加后减少,4 000~5 000 m 高程范围内和 5°~15°坡度范围内的价值量最高。[结论] 1992—2015 年青藏高原生态系统服务总价值得到提高,不同的生态系统以及生态系统服务类型的价值量差异大,地形条件对生态系统服务价值有所影响。

关键词: 生态系统服务; 价值当量因子; CCI-LC 数据集; 演化规律; 地形

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)05-0242-07 **中图分类号**: F124.5, X171.1

文献参数: 程琳琳, 黄婷, 刘焱序. 基于改进价值当量因子的 1992—2015 年青藏高原生态系统服务价值演化分析[J]. 水土保持通报, 2019, 39(5): 242-248. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.05.034; Cheng Linlin, Huang Ting, Liu Yanxu. Analysis on evolution of ecosystem service value in Qinghai-Tibet Plateau based on improved value equivalent factors from 1992 to 2015[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(5): 242-248.

Analysis on Evolution of Ecosystem Service Value in Qinghai-Tibet Plateau Based on Improved Value Equivalent Factors from 1992 to 2015

Cheng Linlin[1], Huang Ting[1], Liu Yanxu[2]

〔1. *Institute of Land Reclamation and Ecological Restoration, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing* 100083, *China*; 2. *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Department of Geography, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*〕

Abstract: [Objective] Based on the improved unit area ecological service value and land cover data set, the evolution of the ecosystem service value of the Qinghai-Tibet Plateau from 1992 to 2015 was evaluated. Aims included providing spatial guidance for the ecological security of the Qinghai-Tibet Plateau. [Methods] We applied the improved value equivalent factor in combination with CCI-LC long-term sequence land cover data to assess ecosystem service values. [Results] ① The value of the ecosystem services on the Qinghai-Tibet Plateau increased form 1992 to 2015, with an increase of 1.62×10^{11} yuan in 24 years. The values of services of different ecosystem types were ranked: grassland > water area > forest > farmland > wetland > desert. ② The highest value type was the ecosystem regulation service in 2015, which reached 5.53×10^{12} yuan,

收稿日期: 2018-12-05 **修回日期**: 2019-04-23

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项课题"青藏高原生态安全屏障体系优化与生态资产价值提升"(XDA20020402); 国家自然科学基金项目"'一带一路'区域生态系统服务权衡关系的变化情景与影响阈值"(41801059)

第一作者: 程琳琳(1977—),女(汉族),山东省泰安市人,博士,教授,主要从事土地利用、生态补偿、土地评价等方面的研究工作。E-mail: chll@cumtb.edu.cn。

通讯作者: 刘焱序(1988—),男(汉族),陕西省西安市人,博士,讲师,主要从事综合自然地理与景观生态方面的研究工作。E-mail: yanxuliu@bnu.edu.cn。

whereas the values of support service and supply service were 1.33×10^{12} yuan and 5.50×10^{11} yuan, respectively, and the cultural service was of least value at 2.90×10^{11} yuan. ③ The ecosystem service value was affected by elevation and slope, whereby the highest value was in the range of 4 000～5 000 m elevation and 5°～15° slope. [Conclusion] The total value of the ecosystem services in the Qinghai-Tibet Plateau increased from 1992 to 2015, and the value of different ecosystems and ecosystem service types varied greatly. Terrain conditions affected the value of ecosystem services.

Keywords: ecosystem services; value equivalence factor; CCI-LC dataset; evolution rule; terrain

生态系统不仅可以为人类的生存直接提供各种原料或产品,而且具有调节气候、净化污染、涵养水源、保持水土、防风固沙、减轻灾害、保护生物多样性等功能,对人类生存和生活有贡献的所有生态系统产品和服务统称为生态系统服务[1-2]。自 1997 年 Costanza 实现基于土地覆被类型的生态服务价值量制图以来,生态系统服务价值量核算逐渐被作为生态资产核算的核心依据,从而以更直观的方式辅助于对生态系统的空间认知和可持续管理[3-4]。但是,由于不同学者的参数选择不同,同种生态系统服务的评估结果可能存在巨大的差异,不同定价方法所得到的生态系统服务价值量之间缺乏可比性,而生态系统服务价值的成熟定价方法在目前国际上尚未形成[5-8]。

目前,生态系统服务价值的研究途径可以大致分为两类[9-10]:①基于单位服务物质量的价格估算方法,通常采用影子价格、替代工程或损益分析等途径进行定价[11-14];②基于单位面积价值的当量因子估算方法,沿用 Costanza 的思路将价值量转换至单位面积的生态系统类型或土地覆被类型上[15-16]。就第一种研究途径而言,单位服务物质量的计算较为复杂,涉及的参数较多而且各个参数的标准也难以统一。更重要的是,降水等气候因素在物质量评估中较为重要,导致生态系统服务评估结果更多取决于气候变异而非土地利用改变[17-18]。这种估算方式导致了一些生态系统服务价值评估结果无法直接与土地资源管理相对接,弱化了评估的决策支持意义[19-20]。

对于第二种研究途径,基于单位面积价值当量因子的方法是在区分不同种类生态系统服务的基础上基于可量化的标准构建不同类型生态系统各种服务的价值当量,然后结合生态系统类型的空间分布进行评估[10,15]。但是,以往研究涉及的生态系统类型相对较少,并不能细致刻画某种土地利用类型下的生态系统转变;评估所涉及的时间序列也相对较短,不足以体现生态系统的渐变式演化;同时,采用的当量因子更多的考虑静态评估,忽略了生态系统服务价值动态演化规律的重要性。近年来,中国的生态系统服务价值当量因子表得到了修改和补充,为评估不同生态系统类型、不同生态服务价值的时间和空间动态提供了更加充分的科学依据[16]。基于此,本研究采用改进的单位面积生态服务价值基础当量表,以及目前最长时间序列的土地覆被数据集,评估中国重要生态屏障青藏高原的 1992—2015 年生态系统服务价值演化规律,为青藏高原生态安全保障提供空间指引。

1　数据与方法

1.1　研究区与数据来源

青藏高原南起喜马拉雅山脉南缘,北至昆仑山、阿尔金山和祁连山北缘,西部为帕米尔高原和喀喇昆仑山脉,东及东北部与秦岭山脉西段和黄土高原相接。总面积约 2.50×10^6 km^2,东西约长 2 800 km,南北约宽 300～1 500 km,是中国最大、世界上海拔最高的高原,被称为“世界屋脊”、“第三极”。青藏高原是全世界最高、最年轻而水平地带性和垂直地带性紧密结合的自然地理单元,一般海拔在 3 000～5 000 m 之间,平均海拔 4 000 m 以上,为东亚、东南亚和南亚许多大河流发源,腹地年平均温度在 0 ℃以下,大片地区最暖月平均温度也不足 10 ℃。青藏高原的森林生态系统不足 10%,草地生态系统比例约 50%,冰川、荒漠的面积近 40%,其他生态系统类型比例较少。

本研究所采用的欧空局 CCI-LC(climate change initiative land cover)数据集,是目前时空分辨率最高的土地覆被产品之一(http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php),其时间分辨率为 1992 到 2015 的每年,空间分辨率为 300 m。地形数据使用 GTOPO30 数据(https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30),空间分辨率为 1 km^2。此外,由于土地覆被不变的区域远远多于变化的区域,为增强对价值量空间差异的表述,制成 21 km 边长正方形格网,统计格网内平均价值量用于空间制图,反映一定空间内的价值量渐变过程。

1.2　基于单位面积的价值当量因子法

谢高地等[16]将一个标准单位生态系统生态服务价值当量因子定义为 1 hm^2 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值。1 个标准当量因子的生态系统服务价值量可参考单位面积农田生态系统

粮食生产的净利润。单位农田生态系统的粮食产量价值的计算公式为：

$$W=P_1\times W_1+P_2\times W_2+P_3\times W_3 \quad (1)$$

式中：W——1 个标准当量因子的生态系统服务价值量(元/hm^2)；P_1，P_2，P_3——2010 年小麦、玉米和稻谷各占 3 种总作物总面积的比例(%)；W_1，W_2，W_3——2010 年小麦、玉米和稻谷的单位面积净利润(元/hm^2)。其中农业数据来自于《中国统计年鉴 2011》和《全国农产品成本收益资料汇编 2011》，根据数据和公式(1)得到 W 值为 3 406.5 元/hm^2。

相较于原先 6 大类生态系统的生态服务价值当量表，改进的基于单位面积价值当量因子法实现了对全国 11 类生态系统服务功能和 14 种生态系统类型的价值评估(见表 1)[16]。农田、森林、草地、湿地、荒漠、水域 6 个一级分类生态系统被细分为 14 种二级类型，其与 CCI-LC 数据的对应关系如表 2 所示。供给、调节、支持、文化 4 大类生态系统服务也进一步细分为食物生产、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、土壤保持、维持养分循环、生物多样性和美学景观这 11 种服务类型。

表 1 研究区单位面积生态系统服务价值当量[16]

生态系统分类		供给服务			调节服务				支持服务			文化服务
一级分类	二级分类	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	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观
农田	旱 地	0.85	0.40	0.02	0.67	0.36	0.10	0.27	1.03	0.12	0.13	0.06
	水 田	1.36	0.09	2.63	1.11	0.57	0.17	2.72	0.01	0.19	0.21	0.09
森林	针 叶	0.22	0.52	0.27	1.70	5.07	1.49	3.34	2.06	0.16	1.88	0.82
	针阔混交	0.31	0.71	0.37	2.35	7.03	1.99	3.51	2.86	0.22	2.60	1.14
	阔 叶	0.29	0.66	0.34	2.17	6.50	1.93	4.74	2.65	0.20	2.41	1.06
	灌 木	0.19	0.43	0.22	1.41	4.23	1.28	3.35	1.72	0.13	1.57	0.69
草地	草 原	0.10	0.14	0.08	0.51	1.34	0.44	0.98	0.62	0.05	0.56	0.25
	灌草丛	0.38	0.56	0.31	1.97	5.21	1.72	3.82	2.40	0.18	2.18	0.96
	草 甸	0.22	0.33	0.18	1.14	3.02	1.00	2.21	1.39	0.11	1.27	0.56
湿地	湿 地	0.51	0.50	2.59	1.90	3.60	3.60	24.23	2.31	0.18	7.87	4.73
荒漠	荒 漠	0.01	0.03	0.02	0.11	0.10	0.31	0.21	0.13	0.01	0.12	0.05
	裸 地	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01
水域	水 系	0.80	0.23	8.29	0.77	2.29	5.55	102.24	0.93	0.07	2.55	1.89
	冰川积雪	0.00	0.00	2.16	0.18	0.54	0.16	7.13	0.00	0.00	0.01	0.09

表 2 研究区生态系统分类与 CCI-LC 地类对应关系

生态系统一级分类	生态系统二级分类	CCI-LC 土地覆盖数据分类
农田	旱 地	雨养农田、镶嵌农田
	水 田	灌溉农田、淹水农田
森林	针叶林	开放常绿针叶(15%～40%)，封闭常绿针叶(＞40%)，开放落叶针叶(15%～40%)，封闭落叶针叶(＞40%)
	针阔混交林	阔叶和针叶混合
	阔叶林	开放常绿阔叶(15%～40%)，开放落叶阔叶(15%～40%)，封闭常绿阔叶(＞40%)，封闭落叶阔叶(＞40%)
	灌 木	乔木和灌木(＞50%)/草本植物(＜50%)，长青灌木丛，落叶灌木丛
草地	草 原	草原
	灌草丛	镶嵌天然植物(乔木，灌木，草本植物)(＞50%)
	草 甸	草本覆盖、草本(＞50%)/树和灌木(＜50%)
湿地	湿 地	被淡水或咸水淹没的树木、灌木或草本
荒漠	荒 漠	稀疏乔木(＜15%)，稀疏灌木(＜15%)，稀疏草本(＜15%)，苔藓和地衣
	裸 地	稳定和非稳定裸露地表、城市
水域	水 系	水体
	冰川积雪	永久冰雪

2　结果与分析

2.1　生态系统服务价值的变化趋势

通过基于单位面积价值当量因子法得到青藏高原 1992—2015 年生态系统服务价值总量(见图 1)。2014 年的价值总量最高,为 7.72×10^{12} 元;1995 年价值总量最低,为 7.56×10^{12} 元。整体趋势为增加,且增加速度先慢后快。将年份和年服务价值总量进行一元线性回归分析,两者之间存在良好的线性关系,R^2 值达 0.98(见图 1)。

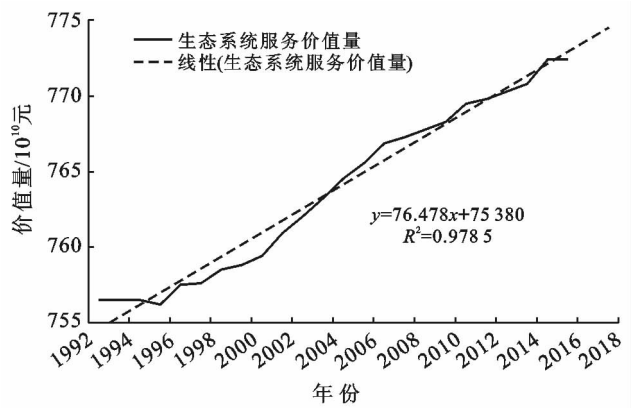


图 1　1992－2015 青藏高原生态系统价值

1992—2015 年,青藏高原服务总价值提高 1.62×10^{11} 元。但在 1992—1995 年,服务价值量略有下降,主要是植被覆盖面积减少所致。1995—2015 年随着气候变化和生态保护下植被覆盖面积的增加,青藏高原的服务价值开始不断提升。整体增幅为 2%,24 a 间 2014 年取得最大增值 1.60×10^{10} 元。就不同的生态系统服务类型而言,2015 年生态系统的调节服务价值量最高,为 5.54×10^{12} 元,占总体价值的 71.72%,二级分类下水文调节服务量>净化环境服务量>气体调节服务量>气候调节服务量。其次是支持服务和供给服务,两者价值量分别为 1.33×10^{12} 元和 1.26×10^{12} 元,比例分别为 15.81%,14.99%。占比最低的是文化服务,仅占总价值的 3.5%,价值量为 2.95×10^{11} 元。就生态系统类型而言,2015 年草地的服务价值最高,为 3.70×10^{12} 元,占总服务价值的 47.92%,水域和森林的服务价值量分别为 2.41×10^{12} 和 1.35×10^{12} 元,所占比例为 31.16%和 17.46%。农田、湿地和荒漠的服务价值量较低,分别为 9.80×10^{10},1.16×10^{11} 和 5.20×10^{10} 元,所占比例分别为 1.28%,1.51%和 0.67%。

2.2　生态系统服务价值的空间分布

1993—2015 年不同生态系统服务类型的价值量相对 1992 年的变化率如图 2 所示,调节服务价值量远高于其他 3 种生态系统服务类型,调节服务价值总量在 5.00×10^{12} 元/a 以上,而取值最低的文化服务价值总量不足 3.00×10^{11} 元/a。4 种生态系统服务价值所占比例在 24 a 间大体一致,且各类生态系统服务价值均呈逐年增加的趋势,增加最多的是调节服务 1.36×10^{11} 元和供给服务的 1.30×10^{10} 元,其增幅分别达到 2.53%和 2.34%;其次是支持服务的 1.00×10^{10} 元,增幅仅为 0.76%;文化服务相对而言增加虽然最少,仅为 3.20×10^{9} 元,但增幅却为 1.11%。

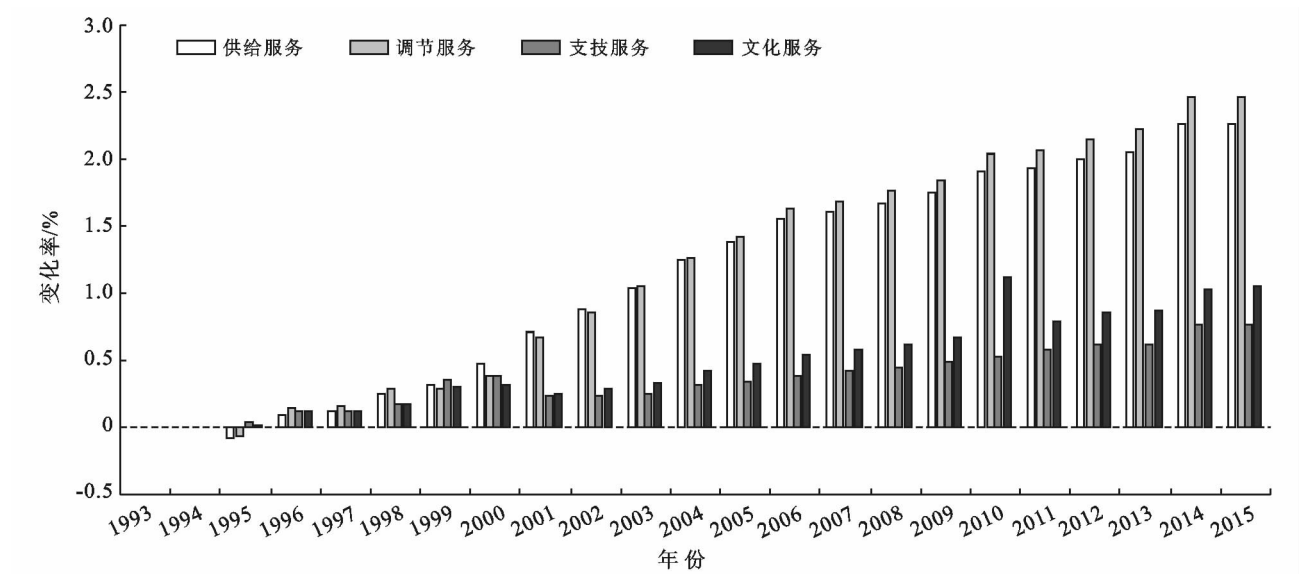


图 2　1992－2015 年青藏高原不同生态系统服务类型的价值量变化率

图 3 为 1993—2015 年的不同生态系统类型的服务价值量相对 1992 年的变化率。草地的服务价值最高,达 3.70×10^{12} 元/a 左右,荒漠、湿地和农田的价值总量都相对低,不超过 1.20×10^{11} 元/a。24 a 间各类土地

利用类型生态系统服务总价值均有不同程度的提高，其中水域增加最多，为 1.39×10^{11} 元，增幅也高达 6.20%。

附图 18—20 描绘了青藏高原 1995—2015 年单位栅格内的年生态系统服务价值量与 1992 年价值量的差值空间分布，1995 年和 2000 年相比较 1992 年生态系统服务价值量都有所下降，但降低值不大。在这 2 a 期间服务价值在不同地区都呈减少趋势，但整体降低量并不多；2005，2010 和 2015 年的年差值有正有负，说明部分地区的生态系统服务价值量出现增长，并且呈现增长的格网数量不断增加。

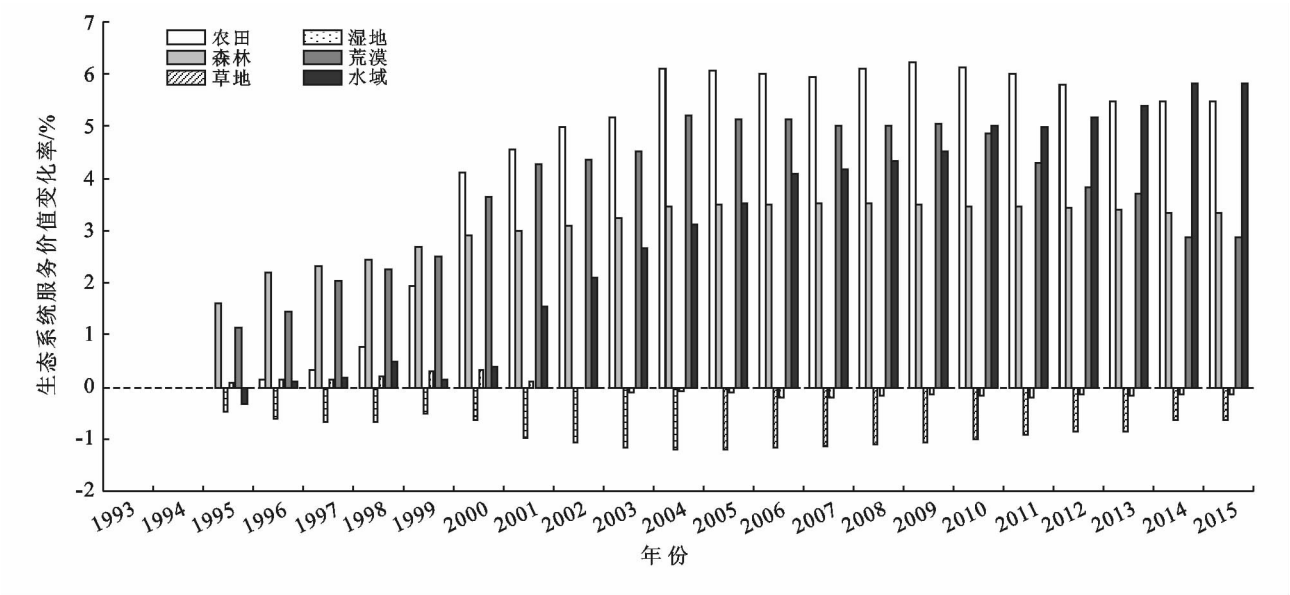


图 3 1992—2015 年青藏高原不同生态系统类型的服务价值变化率

具体而言，单位面积服务价值最高的地区主要分布在青藏高原中部、南部和东北部，总体趋势呈现由南部向西北逐渐降低。主要因为单位面积价值量较高的农田、森林和草地生态系统主要分布在南部，而西北部主要分布湿地和荒漠，其服务价值较低。青藏高原共有 214 个县，其中服务价值量大于 3.00×10^{12} 元的占到 73 个，价值量大于 2.00×10^{12} 元的县有 72 个，生态服务价值量占总价值量最高的是酒泉市（3.60×10^{12} 元），其次是玉门市、仁布县、高台县、贵南县和西谢通门县等。渭源县、康乐县、兰坪白族普米族自治县、福贡县和泸水县等的服务价值量较低不足 1.00×10^{12} 元，渭源县最低仅有 1.50×10^{11} 元。在绝对增量上，岗巴县的服务价值量上升最多，达 3.30×10^{11} 元，共和县的服务价值量的增幅最大，达到 11%。

2.3 不同地形的生态系统服务价值变化

青藏高原在不同高程和坡度上的服务价值量存在大的差异。将高程分为 0～2 000，2 000～3 000，3 000～4 000，4 000～5 000 m 和 5 000 m 以上 5 个等级（见图 4）。对照 1993—2015 年不同高程下的生态系统服务价值相对 1992 年的变化量，发现随着高程的增加，不同高程范围的服务价值先增加后减少，在 0～5 000 m 高程范围内随着海拔的增加服务价值也增加。然而，以 5 000 m 高程为节点，服务价值开始随着高程的增加而降低。海拔在 4 000～5 000 m 的区域上植被分类以草地为主，所以生态系统服务价值最高；而高程低于 2 000 m 的服务价值最低。此外，以 2004 年为节点，4 000～5 000 m 的高程范围上的服务价值先降低后增加，2000 年有最大降低值 1.60×10^{10} 元；2014 年有最大增值 1.00×10^{10} 元。

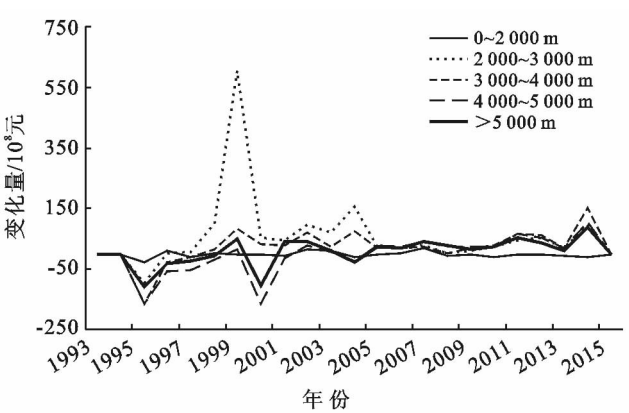


图 4 1992—2015 年青藏高原不同高程下的生态系统服务价值变化量

将坡度分级为 0°～5°，5°～15°，15°～25°，25°～35°和 35°以上 5 个等级（见图 5）。对照 1993—2015 年不同坡度下的生态系统服务价值相对 1992 年的变

化量,不同坡度范围的服务价值变化情况与高程相同,随着坡度增加服务价值先增加后减少,在 0°～15°范围内随着坡度增加服务价值增加。5°～15°范围内的服务价值量达到最大,以 15°为节点生态系统服务价值开始减少。坡度大于 20°的区域主要以森林分布为主,坡度小于 5°的区域草地分布为主其服务价值具有绝对优势。在 5°～15°的范围内,1992—2001 年的服务价值变化量有正有负,1995 年有最大降低值 1.30×10^{10} 元,1999 年有最大增值 6.06×10^{9} 元。2001—2015 年的生态系统服务价值变化量皆为正值,在 2014 年达到最大的变化量 8.54×10^{9} 元。

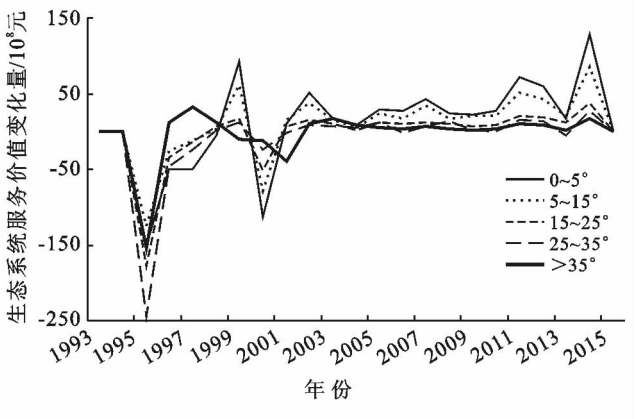


图 5　1992－2015 年青藏高原不同坡度下的生态系统服务价值变化量

3　讨 论

基于单位面积价值当量因子法在实际应用中更易于操作、结果便于比较,可以作为生态系统服务价值核算的一个有效工具。近年来不同学者进行了青藏高原生态系统价值的评估,其评估结果会因为数据、对生态系统服务价值认知的差异和估算方法不同等原因造成结果的不一致性[21-22]。刘军会等[23]基于青藏高原生态系统类型,净初级生产力和植被覆盖度的分布,结合生态学模型测算生态系统服务价值,得到 1985 和 2000 年青藏高原生态系统服务价值分布为 1.85×10^{13} 元和 1.88×10^{13} 元。该研究结果高于本研究核算的价值量,原因有:①数据不同,气象数据和遥感植被指数数据的年际变化差异大于本研究使用的土地覆被数据;②生态系统服务指标不同,该研究采用二级指标有吸收 CO_2 和释放 O_2;森林涵养水源、草地涵养水域、农田涵养水域;减少表土流失、保持土壤肥力、减轻泥沙淤积,少于本研究所采取的当量因子表涉及的指标类型。谢高地等[24]采用旧价值当量因子对青藏高原高寒草地不同的生态系统的服务价值进行经济评估,得到 2003 年青藏高原天然草地生态系统服务价值为 2.60×10^{11} 元/年,低于本研究计算的草地生态系统服务价值。该差异一方面是由于生态系统类型的划分不一致,另一方面也应考虑到当年粮食市场价格的不同。

为更清晰反映不同定价方法所得到的生态系统服务价值量差异性,本研究采用 Zhang 等[25]基于净初级生产力(NPP)数据对青藏高原 2000—2010 年生态系统服务的评估结果,包括碳固定、土壤保持、水源涵养、栖息地保护等,对应于本研究气体调节、土壤保持、生物多样性、水文调节这 4 类服务。假设 4 类服务所对应的全域价值总量相等,观察两种算法下的单位格网内多年平均价值量空间差异(如附图 21—22 所示)。可见虽然 4 类服务价值的空间分布都呈现从东南向西北逐渐减少的趋势,但 4 类生态系统服务价值量在不同算法下的空间分布的确存在明显差异。采用 NPP 转换的生态系统服务价值量具有更明显的空间差异特征,而基于土地覆被当量因子的价值量空间均质性相对更强;在 NPP 转换计算方式下,相同土地覆被类型的生态系统服务价值量可能大相庭径。这一对比关系说明,采用 NPP 转换这种生态遥感估算方法的优势在于具有较好的制图表达效果,而缺陷在于针对于土地利用和土地覆被的规划管理指向相对不明确。

综合上述文献比较与数据实证,相比较其他的研究方式,本研究有 3 点优势。①实现了对青藏高原生态系统服务价值的时空动态核算,展现了青藏高原 1992—2015 年 24 a 间的生态系统服务价值变化与空间分布,在时间长度和空间分辨率上均优于现有研究。②生态系统类型和生态系统服务功能划分细化。改进的单位面积价值当量因子法结合中国土地利用类型和植被分布,在 6 类一级类型下细分出 14 类二级生态系统,使其应用的土地覆被类型范围扩大,突出了青藏高原生态系统服务价值量的空间异质性。③总结不同地形条件下的青藏高原生态系统服务价值变化,发现不同高程坡度下的生态系统服务价值量增减规律并不一致,与总价值量的全面增加态势有较大差异。总而言之,本研究中所确定的生态系统服务价值化方法继承了当量因子表的形式与优点,虽然结果的不确定性难以完全避免,但和已有当量表方法相比,评价结果的可靠性有所增强。

4　结 论

本研究依据改进的单位面积价值当量表,结合 1992—2015 年土地覆盖数据和地形数据对青藏高原

24 a 间的生态系统服务价值进行核算，分析结果的时空演化规律，得到主要结论如下：

(1) 1992—2015 年的青藏高原生态系统服务总价值在不断升高，共上升 1.62×10^{11} 元，并且生态系统服务价值的空间分布呈现由南向西北减少的特征。针对不同的生态系统类型，草地面积占青藏高原总面积的比例最大，草地生态系统的服务价值量也为最高；占青藏高原总面积 8.6%的森林生态系统服务价值位于第 2 位，而农田生态系统服务价值总量较低。

(2) 针对不同的生态系统服务类型，其中生态系统的调节服务价值最高，24 a 间增幅也最大，达到 2.53%。细分下的水文调节服务量价值最高，其他依次为净化环境、气体调节和气候调节；第二高的生态系统服务类型是支持服务，但其价值量增幅不足 1%；供给服务价值量不高但其增幅却达到 2.34%；而文化服务价值量最低，但增加的幅度达到 1.05%。

(3) 在垂直方向上，不同海拔和坡度下的青藏高原生态系统服务价值表现出明显的空间分布差异。不同地形条件下的生态系统服务价值都是随着高程和坡度的增加先增加后减少，且都出现了峰值。海拔在4 000～5 000 m 的生态系统服务价值最大，在 24 a 间的变化趋势大致是先减少后增加；坡度在 5°～15°范围内的生态系统价值量最大，其变化趋势同高程相似。

[参 考 文 献]

[1] 鲁春霞，谢高地，肖玉，等. 青藏高原生态系统服务功能的价值评估[J]. 生态学报，2004，24(12)：2749-2756.

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

[3] Daily G C. Natures service: social dependence on natural ecosystems[M]. Washington D C: Island Press. 1997.

[4] Costanza R, d'Arge R, de Groot R S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997，387：253-260.

[5] Sun Jian. Research advances and trends in ecosystem services and evaluation in China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011，10：1791-1796.

[6] Zhang Biao, Li Wenhua, Xie Gaodi. Ecosystem services research in China: Progress and perspective [J]. Ecological Economics, 2010，69(7)：1389-1395.

[7] Shi Yao, Wang Rusong, Huang Jinlou, et al. An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions [J]. Chinese Science Bulletin, 2012，57(17)：2120-2131.

[8] Yu Zhongyuan, Bi Hua. The key problems and future direction of ecosystem services research [J]. Energy Procedia, 2011，5：64-68.

[9] 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，1999，10(5)：606-613.

[10] 谢高地，鲁春霞，冷允法，等. 青藏高原生态资源的价值评估[J]. 自然资源学报，2003，18(2)：189-196.

[11] 博文静，王莉雁，操建华，等. 中国森林生态资产价值评估[J]. 生态学报，2017，37(12)：4182-4190.

[12] 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，2004，24(6)：1101-1110.

[13] 王景升，李文华，任青山，等. 西藏森林生态系统服务价值[J]. 自然资源学报，2007，22(5)：831-841.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 谢高地，张彩霞，张雷明，等. 基于单位面积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.

[17] 赵景柱，肖寒，吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报，2000，11(2)：290-292.

[18] 郝仕龙，李春静，李壁成. 黄土丘陵沟壑区农业生态系统服务的物质量及价值量评价[J]. 水土保持研究，2010，17(5)：163-166.

[19] 傅伯杰，张立伟. 土地利用变化与生态系统服务：概念、方法与进展[J]. 地理科学进展，2014，33(4)：441-446.

[20] 王军，顿耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J]. 长江流域资源与环境，2015，24(5)：798-808.

[21] 靳芳，鲁绍伟，余新晓，等. 中国森林生态系统服务价值评估指标体系初探[J]. 中国水土保持科学，2005，3(2)：5-9.

[22] 赵士洞，张永民. 生态系统评估的概念、内涵及挑战：介绍《生态系统与人类福利：评估框架》[J]. 地球科学进展，2004，19(4)：650-657.

[23] 刘军会，高吉喜，聂亿黄. 青藏高原生态系统服务价值的遥感测算及其动态变化[J]. 地理与地理信息科学，2009，25(3)：82-84.

[24] 谢高地，鲁春霞，肖玉. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J]. 山地学报，2003，21(1)：50-55.

[25] Zhang Liwei, Lü Yihe, Fu Bojie, et al. Mapping ecosystem services for China's ecoregions with a biophysical surrogate approach[J]. Landscape and Urban Plan, 2017，161：22-31.