

山西省大同市 2000—2019 生态系统服务价值时空变化

陕永杰, 原卫利, 苗圆, 魏绍康

(山西师范大学 地理科学学院, 山西 太原 030031)

摘要: [目的] 分析山西省大同市退耕还林以来生态系统服务价值(ESV)的时空特征, 为大同市国土空间规划和生态修复工程提供科学参考。[方法] 以 Landsat TM/ETM 遥感影像为数据源, 运用 RS 和 GIS 技术提取研究区 2000, 2005, 2010, 2015 和 2019 年土地利用数据, 通过土地利用动态度、土地利用转移矩阵, 揭示了大同市近 20 a 土地利用变化规律, 并采用价值当量法对大同市生态系统服务价值进行分析。[结果] ① 2000—2019 年, 耕地、草地、林地为大同市主体土地利用类型, 2005—2010 年综合土地利用动态度最高, 土地利用转移主要是草地转化为林地, 耕地转化为建设用地; ② 大同市整体生态系统服务价值大幅度下降, 20 a 内总价值减少 3.16 亿元; ③ 各单项生态系统服务功能的价值由高到低依次表现为: 调节服务 > 支持服务 > 供给服务 > 文化服务; ④ 各区县生态系统服务价值分为 5 个等级, 空间分布整体趋势南高北低, 呈波动状态。[结论] 林地和草地在生态系统服务中贡献最大, 建设用地的负价值极高。因此, 在国土空间规划中要提高建设用地的利用效率, 控制建设用地规模, 生态修复工程应以建设林地和草地为主。

关键词: 沙源通路; 土地利用; 生态系统服务价值; 价值当量法; 山西省大同市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)06-0310-08

中图分类号: F301.2

文献参数: 陕永杰, 原卫利, 苗圆, 等. 山西省大同市 2000—2019 生态系统服务价值时空变化[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 310-317. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.040; Shan Yongjie, Yuan Weili, Miao Yuan, et al. Spatiotemporal variation of ecosystem service value in Datong City of Shanxi Province during 2000—2019 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 310-317.

Spatiotemporal Variation of Ecosystem Service Value in Datong City of Shanxi Province During 2000—2019

Shan Yongjie, Yuan Weili, Miao Yuan, Wei Shaokang

(College of Geographic Science, Shanxi Normal University, Taiyuan, Shanxi 030031, China)

Abstract: [Objective] The spatial and temporal characteristics of ecosystem service value (ESV) in Datong City of Shanxi Province after returning farmland to forestland was analyzed, in order to provide a reference for land spatial planning and ecological restoration project in Datong City. [Methods] The remote sensing image of Landsat TM /ETM was used as the data source, and RS and GIS technology was used to extract the land use data of 2000, 2005, 2010, 2015 and 2019 in the study area. Based on the land use dynamic and land use transfer matrix, the land use change of Datong in recent 20 years was revealed, and the value equivalent method was used to analyze the ecosystem service value of Datong City. [Results] ① In recent 20 years, cultivated land, grassland and woodland were the main land use types in Datong City, and the dynamic attitude of comprehensive land use was the highest from 2005 to 2010. The land use transfer was mainly from grassland to woodland, and from cultivated land to construction land. ② The overall ecosystem service value of Datong City decreased significantly, and the total value decreased by 316 million in 20 years. ③ The values of each individual ecosystem service function were as follows: regulating service > supporting service > supplying service > cultural service. ④ Ecosystem service value of each district and county was divided into five levels, and the overall trend of spatial distribution was higher in the south and lower in the north, showing

收稿日期: 2021-08-28

修回日期: 2021-09-15

资助项目: 山西省哲学社会科学规划项目“山西省农地流转与农民增收耦合效应研究”(2018B050); 2020 年度山西省研究生教育改革(指令性)研究项目(2020YJJG159)

第一作者: 陕永杰(1975—), 男(汉族), 山西省临汾市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土地利用与生态经济方面的研究。Email: shanyongjie2005@163.com.

a fluctuating state. [Conclusion] Woodland and grassland contributed the most to ecosystem services, and the negative value of construction land was very high. Therefore, in the land spatial planning, people should improve the utilization efficiency of construction land, control the scale of construction land, and focus on the constructed woodland and grassland in the ecological restoration project.

Keywords: sand source pathway; land use; ecosystem service value; value equivalent method; Datong City; Shanxi Province

土地资源是人类赖以生存的第一资源。土地具有有用性,人们可以循环从土地中获得收益,实现土地的可持续利用^[1]。土地利用是人类结合土地自然属性和社会经济综合体改变土地功能的过程,土地利用的变化体现着自然与人类的相互作用^[2-3]。生态系统服务(ecosystem services)的内涵一般指自然界生态系统及物种为人类提供环境条件,供其生存和发展^[4-5]。土地利用变化能通过改变土地功能,进而改变生态系统结构与生态过程,这对生态系统维持及服务功能起到决定性作用,进而制约了人类社会的可持续发展^[6]。所以,从土地利用变化角度研究生态系统服务价值变化现已成为可持续发展研究领域的重要组成部分。1997年 Costanza^[7]首次以货币的形式向人们展示了自然生态系统为人类所提供的服务价值,使抽象的生态系统服务量化。自从 Costanza 等^[8]学者对全球生态系统服务价值进行核算以来,全球生态学家以及相关学科带头人愈发重视对生态系统服务价值的研究,使之成为多学科研究领域的重要主题之一。谢高地等^[9-10]在 Costanza 的研究基础上对我国的生态系统服务价值进行了评估。国内其他学者对一些典型流域的生态系统服务价值做了许多研究,例如,王迪^[11]对钱塘江流域生态系统服务价值的研究,周文昌^[12]对湖北省湿地生态系统服务价值的评估,邓楚雄等^[13]对洞庭湖流域生态系统服务价值的研究等;还有的学者对一些典型城市或地区的生态系统服务价值做了研究,例如,关瑜^[14]对雄安新区生态服务敏感性的分析,刘亚茹^[15]对天山北坡城市群生态系统服务价值特征分析,刘桂林等^[16]对长三角地区生态系统服务价值的研究等等。研究尺度多以建立不同大小的格网为尺度,例如吴会慧等^[17]、贾琦等^[18]均基于格网尺度进行研究。而基于土地利用变化从县域尺度对沙源通路城市开展生态系统服务价值的研究较为缺乏,不足以为这些城市的生态建设提供相应的理论参考。

山西省大同市地处生态脆弱的农牧交错带,煤炭资源丰富,且由于长期的不合理采矿和粗放的经济发展模式,使得大同市生态环境不容乐观。而大同市作为北京乃至京津冀地区的西大门,是重要的沙源通

道,其生态环境直接影响北京市人居环境质量及可持续发展等问题。因此,本文以大同市为例,研究退耕还林以来生态系统服务的时空变化,以期是北京地区沙尘暴治理提供理论依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

大同市位于北京市西部,山西省北部,北纬 $39^{\circ}03'—40^{\circ}44'$,东经 $112^{\circ}34'—114^{\circ}33'$,面积约占山西省总面积的 9.1%。大同市地处黄土高原的东北部,属温带大陆性半干旱季风气候区,昼夜温差大,降水年际变化大。主要河流有桑干河、御河、南洋河、唐河等,其中桑干河之册田水库存水数亿立方米,为北京供水之储水库之一。大同地区矿产资源丰富,被称为“中国煤都”,其火力发电量大,成为北京主要电源头之一。2018年之前大同市下辖 3 区 7 县,3 区分别为城区、南郊区(包括矿区)、新荣区,7 县包含天镇县、阳高县、广灵县、灵丘县、浑源县、左云县、大同县。2018年大同市行政区划调整,现辖平城区、云冈区、新荣区、云州区 4 区,阳高县、天镇县、广灵县、灵丘县、浑源县、左云县 6 县。为保证数据统计一致性,本研究采用 2018 年之前的行政区划。

1.2 数据来源与处理

本文需要两部分数据:第一,土地利用数据,通过地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下载 2000,2005,2010,2015 和 2019 年各期 Landsat TM/ETM 遥感影像为数据源,选取空间分辨率为 30 m 的 DEM 数字高程数据作为辅助数据,以中国行政矢量边界数据来提取研究区范围。运用 ENVI 5.1 对遥感影像进行大气校正、波段融合、图像裁剪镶嵌等预处理,再通过人工目视解译对数据源进行土地分类。本文运用监督分类法中的最大似然法进行土地分类,选取分类训练样本时每一种地类训练样本不低于 80 个且识别度大于 1.8,样本的采集可通过解译人员对研究区的先验知识进行目视判读^[19],再参考百度高清地图、大同市部分县区高清影像图,以及外业调查结果进行样本采集,最后进行精度验证的 kappa 系数为 0.80 左右,解译精度可以满足本研究的需求。

再运用 ArcGIS 10.3 软件的制图功能,最终得到 5 个节点年份的土地利用数据。第二,社会经济数据,主要来自 2000—2020 年的《山西省统计年鉴》《大同市统计年鉴》《全国农产品价格调查年鉴》、各区县统计年鉴以及从大同市自然资源局收集的部分数据。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用变化计算

(1) 土地利用动态度。单一土地利用动态度是研究区某一时间内不同土地类型数量变化状况,它反应土地利用变化的差异及特征^[20-22]。计算公式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为单一土地动态度(%); U_b, U_a 分别为研究末期和研究初期某一种特定土地类型的面积(hm^2); T 为研究时间节点。

(2) 土地利用转移矩阵。土地利用转移矩阵可表达研究时间内土地利用结构的变化,即在研究时间内,土地利用类型从 T_1 时间向 T_2 时间变化的程度^[23]。其表达式为:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: A 表示土地利用面积(hm^2); i, j 分别表示初期和末期的土地利用类型; n 表示土地利用类型个数。

1.3.2 生态系统服务价值核算 本文运用价值当量

法,依据谢高地等^[24]制定的生态系统服务价值当量表,参考吴蒙^[25]和雷军成等^[26]的研究成果,构建大同市单位面积生态系统服务价值当量权重表(表 1),计算公式为:

$$V_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{\bar{v} p_i}{c_i} \quad (3)$$

式中: V_a 为旱地的 1 个当量因子提供的食物生产服务的单位面积生态服务价值(元/ hm^2); \bar{v} 为研究时间段研究区主要粮食作物的平均价格(元/kg); p_i 为第 i 种粮食作物总产量(kg); c_i 为第 i 种粮食作物播种总面积(hm^2); $1/7$ 指单位面积生态服务价值等于研究区粮食平均市场价值的 $1/7$ ^[10]。

由于谢高地等^[24]对建设用地的生态系统服务价值不做评估,而建设用地在生态系统服务价值核算中产生巨大的负价值,所以本文又参考相关学者^[27-30]的研究,结合专家意见及大同市的实际情况,取已有成果的均值作为建设用地的价值系数,再根据当量权重表计算其他地类生态系统服务价值系数,最终得出大同市土地生态系统服务价值系数表(表 2)。计算公式为:

$$V_{ij} = V_a \cdot Q_{ij} \quad (4)$$

式中: V_{ij} 为第 i 类土地利用类型的第 j 种生态服务类型的价值系数(元/ hm^2); V_a 为旱地的 1 个当量因子提供的食物生产服务的单位面积生态服务价值(元/ hm^2); Q_{ij} 为第 i 类土地利用类型的第 j 种生态服务的当量权重因子。

表 1 大同市单位面积生态系统服务价值当量权重

一级生态系统服务分类	二级生态系统服务分类	生态系统服务价值当量权重				
		农田	林地	草地	水域	未利用地
供给服务	食物生产	0.850	0.253	0.233	0.655	0.005
	原料生产	0.400	0.580	0.343	0.365	0.015
	水资源供给	0.020	0.300	0.190	5.440	0.010
调节服务	气体调节	0.670	1.908	1.207	1.335	0.065
	气候调节	0.360	5.708	3.190	2.945	0.050
	净化环境	0.100	1.673	1.053	4.575	0.205
	水文调节	0.270	3.735	2.337	63.235	0.120
支持服务	土壤保持	1.030	2.323	1.470	1.620	0.075
	维持养分循环	0.120	0.178	0.113	0.125	0.005
	生物多样性	0.130	2.115	1.337	5.210	0.070
文化服务	美学景观	0.060	0.928	0.590	3.310	0.030

注:由于研究区农田主要以旱地为主,因此农田取旱地的值;大同市地处温带落叶阔叶林带和温带半干旱草原过渡带,再参考大同市实际生长植被类型,可知大同市实际生长有针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林、灌木林地以及干草原植被类型,故林地取针叶、针阔混交、阔叶、灌木的平均值,草地取草原、灌草丛、草甸的平均值;水域取湿地和水系的平均值;未利用地取荒漠和裸地的平均值。

表 2 大同市土地生态系统服务价值系数

元/hm²

一级生态系统服务分类	二级生态系统服务分类	土地生态系统服务价值系数					
		农田	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务	食物生产	909.120	270.597	249.562	700.557	—	5.348
	原料生产	427.821	620.341	367.213	390.387	—	16.043
	水资源供给	21.391	320.866	203.215	5 818.371	—	10.696
调节服务	气体调节	716.601	2 040.173	1 290.594	1 427.854	—	69.521
	气候调节	385.039	6 104.476	3 411.875	3 149.835	—	53.478
	净化环境	106.955	1 788.828	1 126.596	4 893.207	-2 260.869	219.258
	水文调节	288.779	3 994.782	2 499.190	67 633.211	-6 944.842	128.346
支持服务	土壤保持	1 101.640	2 484.038	1 572.244	1 732.677	3 619.055	80.217
	维持养分循环	128.346	189.846	121.216	133.694	—	5.348
	生物多样性	139.042	2 262.106	1 429.636	5 572.373	—	74.869
文化服务	美学景观	64.173	992.011	631.037	3 540.222	—	32.087
总计		4 288.909	21 068.063	12 902.380	94 992.388	-5 586.656	695.210

在此基础上,根据大同市各土地利用类型的面积,可计算出大同市生态系统服务价值,计算公式为^[31]:

$$ESV = \sum(A_i \cdot V_i) \quad (5)$$

$$ESV_j = \sum(A_i \cdot VC_{ij}) \quad (6)$$

式中:ESV 为大同市生态系统服务价值(元);ESV_j 为第 j 种生态系统服务的价值(元);A_i 为第 i 种土地利用类型的面积(hm²);V_i 为第 i 种土地利用类型的生态系统服务价值系数(元/hm²);VC_{ij} 为第 i

种土地利用类型的第 j 种生态服务类型的价值系数(元/hm²)。

2 结果与分析

2.1 大同市土地利用动态变化

根据遥感影像图的解译结果,运用 ArcGIS 10.3 对土地分类结果进行分析,得出大同市 5 个研究时间节点的土地利用类型面积变化情况(图 1)。

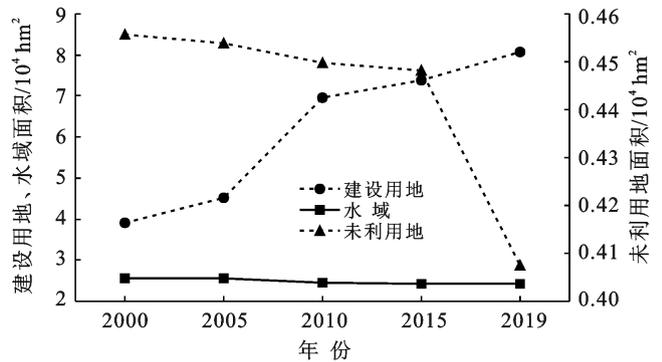
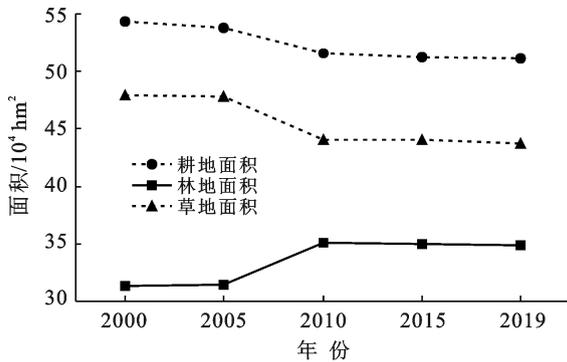


图 1 大同市 2000—2019 年各土地利用类型面积变化趋势

由图 1 可知,2000—2019 年近 20 a 间,大同市土地利用类型面积占比次序未变,耕地、草地、林地为主要土地利用类型,面积占比一直高达 90% 以上。耕地、草地、水域、未利用地呈下降趋势,且耕地、草地、水域在 2005—2010 年下降趋势剧烈,未利用地在 2015—2019 年下降剧烈;林地在 2000—2010 年呈上升趋势,且 2005—2010 年增长迅速,2010—2019 年呈缓慢下降趋势,总体呈先升后降变化;建设用地呈持续上升,且 2005—2010 年增长迅速。综上所述,2005—2010 年是大同市土地类型变化最大的一个时期。由上述公式(1)可得出 2000—2019 年大同市单

一土地利用动态度,再用绝对值计算出其综合动态度,最终获得成果(表 3)。由表 3 可看出大同市近 20 a 土地利用动态度的以下特点:①从年际变化来看,2005—2010 年综合土地利用动态度最高,为 83.18%,说明大同市在此期间土地利用覆被变化程度活跃;其次是 2015—2019 年,综合土地利用动态度为 19.94%,2000—2005 年为 17.22%;2010—2015 年综合土地利用动态度最低,为 8.22%;20 a 来综合土地利用动态度呈波动变化。②从各类型土地来看,建设用地的动态度远高于其他用地类型,尤其是 2005—2010 年,这是大同市城市建设的高峰期。

表 3 大同市 2000—2019 年土地利用动态度

时间	土地利用动态度/%						综合动态度
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2000—2005 年	-0.93	0.17	-0.29	-0.21	15.22	-0.40	17.22
2005—2010 年	-4.27	11.87	-7.82	-4.48	53.86	-0.88	83.18
2010—2015 年	-0.58	-0.31	-0.04	-0.56	6.37	-0.36	8.22
2015—2019 年	-0.10	-0.56	-0.90	0.08	9.22	-9.08	19.94

2.2 土地利用转移矩阵分析

运用 ArcGIS 的空间分析功能,将研究区研究初期与研究末期的土地利用现状进行叠加分析,获得土地利用转移矩阵结果(表 4)。由表 4 可知,大同市 2000—2019 年共有 183 654.89 hm² 土地发生了转移变化。其中,林地和建设用地的转入面积大于转出面积,林地和建设用地的增加主要由耕地和草地转入,具

体为 24 280.42 hm² 耕地转为建设用地,21 535.12 hm² 耕地转为林地,草地转出到林地的面积最大,高达 41 346.04 hm²;耕地和草地虽然也有其他地类转入,但转入面积远不及转出面积,因此草地和耕地的面积逐渐减少;水域主要转为耕地和建设用地,但因水域总面积不大,其土地利用结构的变化对整个大同市土地利用结构的变化影响甚微;未利用地变化较小。

表 4 大同市 2000—2019 年土地利用转移矩阵

土地利用类型	2019 年面积/hm ²						转出总面积
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
耕地	—	21 535.12	20 016.94	1 978.61	24 280.42	200.94	68 012.03
林地	8 547.36	—	13 903.21	647.45	5 793.72	30.06	28 921.80
草地	22 849.72	41 346.04	—	1 056.64	12 744.60	120.35	78 117.35
水域	2 373.98	517.67	777.95	—	1 308.39	36.33	5 014.32
建设用地	2 061.43	180.07	424.36	46.85	—	8.04	2 720.75
未利用地	586.23	90.05	79.50	28.18	84.68	—	868.64
转入总面积	36 418.72	63 668.95	35 201.96	3 757.73	44 211.81	395.72	183 654.89

2.3 生态系统服务价值时空分析

2.3.1 大同市整体生态系统服务价值时间序列分析

根据公式(5)计算得出大同市历年生态系统服务价值总额,分析其变化趋势(图 2),并计算各地类在生态系统服务价值中的贡献率(图 3)。

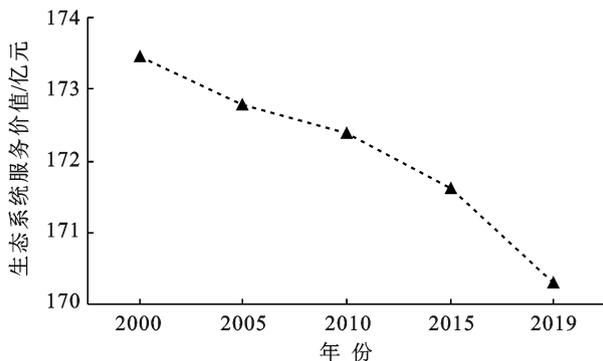


图 2 大同市 2000—2019 年生态系统服务价值总额变化趋势

由图 2—3 可知:①从总体来看,2000—2019 年,大同市生态系统服务价值总额急剧下降,20 a 内总价值相继减少高达 3.16 亿元人民币。②从各地类对生态系统服务价值的贡献率来看,林地的贡献率居于首位,在 38.07%~43.07%,且呈上升趋势;其次是草地,

贡献率在 33.00%~35.72%,呈波动趋势;而水域和耕地的贡献率基本相同,水域在 13.47%~14.08%,耕地在 12.81%~13.44%;未利用地的贡献率最低,在 0.02%左右;建设用地负面贡献率不断上升,20 a 内从 1.26%上升到 2.65%。林地和草地二者的贡献率之和在 73.75%以上,说明林地和草地的生态系统服务价值变化对大同市生态系统服务价值总额变化的影响较大,是主要贡献因子和敏感因子。

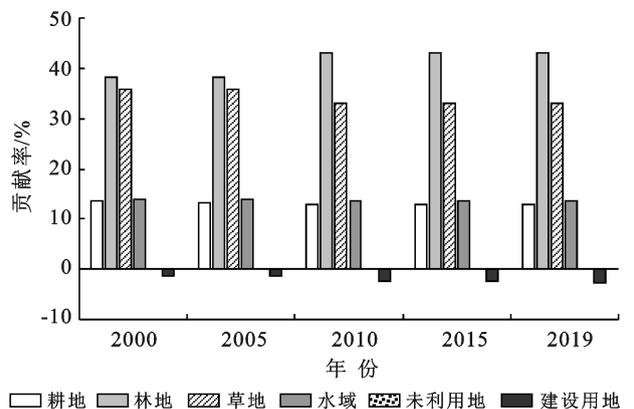


图 3 大同市 2000—2019 年各地类对生态系统服务价值的贡献率

由表 5 大同市 2000—2019 年各土地利用类型 ESV 变化情况可知,研究时期内,林地的生态系统服务价值总体在上升,变化率为 11.080%;耕地、草地、水域、未利用地的生态系统服务价值均有波动状态,但整体呈下降趋势,总体变化率分别为 -5.811%、

-8.944%,-5.146%,-10.558%;引人注目的是,建设用地作为生态系统服务价值的负影响因子,其变化率高达 105.967%,其正向变化率越高,对生态系统服务价值的负面影响越严重,这也是导致研究区 20 a 内生态系统服务价值总额急剧下降的重要原因之一。

表 5 大同市 2000—2019 年各土地利用类型 ESV 变化情况

年份	土地利用类型 ESV 变化/%					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000—2005	-0.928	0.168	-0.287	-0.214	15.224	-0.395
2005—2010	-4.272	11.868	-7.821	-4.478	53.856	-0.881
2010—2015	-0.585	-0.312	-0.039	-0.564	6.372	-0.356
2015—2019	-0.102	-0.562	-0.895	0.078	9.222	-9.081
2000—2019	-5.811	11.080	-8.944	-5.146	105.967	-10.558

2.3.2 各单项生态系统服务价值时间序列分析 根据公式(6)计算得出各项生态系统的服务价值并进行统计分析(表 6)。由表 6 可知,近 2000—2019 年间,一级分类的生态系统服务功能的价值由高到低依次为:调节服务>支持服务>供给服务>文化服务。调节服务价值急剧下降,从 107.946 8 亿元减少到 103.891 4 亿元,减少了 4.055 4 亿元,这也是导致研究区总价值大幅度减少的重要因素;支持服务价值缓

慢上升,从 41.227 3 亿元增长到 42.574 0 亿元,增加了 1.346 7 亿元;由于耕地面积的不断减少,食物生产和原料生产价值降低,导致供给服务价值从 16.887 9 亿元减少到 16.436 6 亿元,减少了 0.451 3 亿元;文化服务价值增长不显著,从 7.395 3 亿元增加到 7.401 8 亿元,增加了 0.006 6 亿元。单项 ESV 相对变化最大的是水文调节服务,减少了 3.556 2 亿元,变化率为 -0.087 3%,主要受建设用地负价值的影响。

表 6 大同市 2000—2019 年各项生态系统服务功能价值及变化

一级生态系统服务分类	二级生态系统服务分类	生态系统服务功能价值/亿元					ESV 变化量	ESV 变化率/%
		2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2019 年		
供给服务	食物生产	7.165 5	7.117 2	6.907 5	6.875 8	6.856 0	-0.309 4	-0.043 2
	原料生产	6.131 5	6.107 9	6.098 8	6.078 0	6.049 1	-0.082 4	-0.013 4
	水资源供给	3.590 9	3.585 5	3.557 4	3.544 8	3.531 5	-0.059 4	-0.016 5
	小计	16.887 9	16.810 6	16.563 7	16.498 6	16.436 6	-0.451 3	-0.073 2
调节服务	气体调节	16.849 0	16.805 0	16.901 1	16.853 1	16.758 3	-0.090 7	-0.005 4
	气候调节	38.402 8	38.366 7	39.240 2	39.151 7	38.895 4	0.492 6	0.012 8
	净化环境	11.971 6	11.822 4	11.436 4	11.304 8	11.070 5	-0.901 1	-0.075 3
	水文调节	40.723 5	40.243 7	38.265 0	37.807 3	37.167 3	-3.556 2	-0.087 3
	小计	107.946 8	107.237 7	105.842 7	105.116 8	103.891 4	-4.055 4	-0.155 2
支持服务	土壤保持	23.181 5	23.332 4	24.277 2	24.372 1	24.502 3	1.320 8	0.057 0
	维持养分循环	1.908 5	1.901 3	1.895 6	1.889 3	1.880 1	-0.028 4	-0.014 9
	生物多样性	16.137 3	16.119 4	16.331 6	16.292 5	16.191 6	0.054 3	0.003 4
	小计	41.227 3	41.353 1	42.504 4	42.553 9	42.574 0	1.346 7	0.045 5
文化服务	美学景观	7.395 3	7.386 6	7.464 8	7.446 0	7.401 8	0.006 6	0.000 9
	小计	7.395 3	7.386 6	7.464 8	7.446 0	7.401 8	0.006 6	0.000 9

2.3.3 各区县生态系统服务价值时空演变分析 运用 ArcGIS 10.3 软件,以县域为单位对各生态地类进行划分。由公式(5)计算得出各区县 5 个时间节点的生态系统服务价值。由于各县域土地总面积大小不相等,为了不受县域土地面积大小的影响,使研究更

具有客观性,本文以单位土地面积的生态系统服务价值为基础,再采用自然间断点分级法(Jenks)将生态系统服务价值分成 5 个等级^[32],即极低值、低值、中值、高值、极高值。最后利用 ArcGIS 10.3 制作出 5 个时间节点的各区县生态系统服务价值时空分布图

(图 4)。由图 4 可知,近 20 a 来,大同市县域 ESV 空间分布整体趋势为南高北低,呈波动状态。

其中,灵丘县和大同县处于极高值状态。因为灵丘县的林地、草地面积占比位居第一,且建设用地占比最低,根据图 3 各地类对 ESV 的贡献率可知,林地和草地在 ESV 中的贡献率最高,建设用地为负影响因素,因此灵丘县的 ESV 长期处于极高值;大同县的 ESV 值高于其林草面积占比较高,且其水域面积广阔,其中册田水库存水数亿立方米,为北京供水之储水库之一。

浑源县长期处于高值状态,仅 2000 年处于极高

值边缘。广灵县处于中值状态且在稳步上升,到 2019 年上升为高值状态。天镇县和左云县变化趋势相似,除 2005 年两县处于中值状态以外,其他年份均处于高值状态,2005—2010 年两个县的 ESV 值急剧增长,均因林地面积突然增长,这与国家实施“退耕还林”政策分不开。新荣区处于中值状态,变化不显著。阳高县 2000—2005 年处于低值状态,2010 年后进入中值状态,同样得益于“退耕还林”政策使得林地面积大增。南郊区处于低值状态,城区处于极低值状态,因为二者处于城市化的中心位置,建设用地迅猛增长,其他地类相应减少,城区甚至出现负价值。

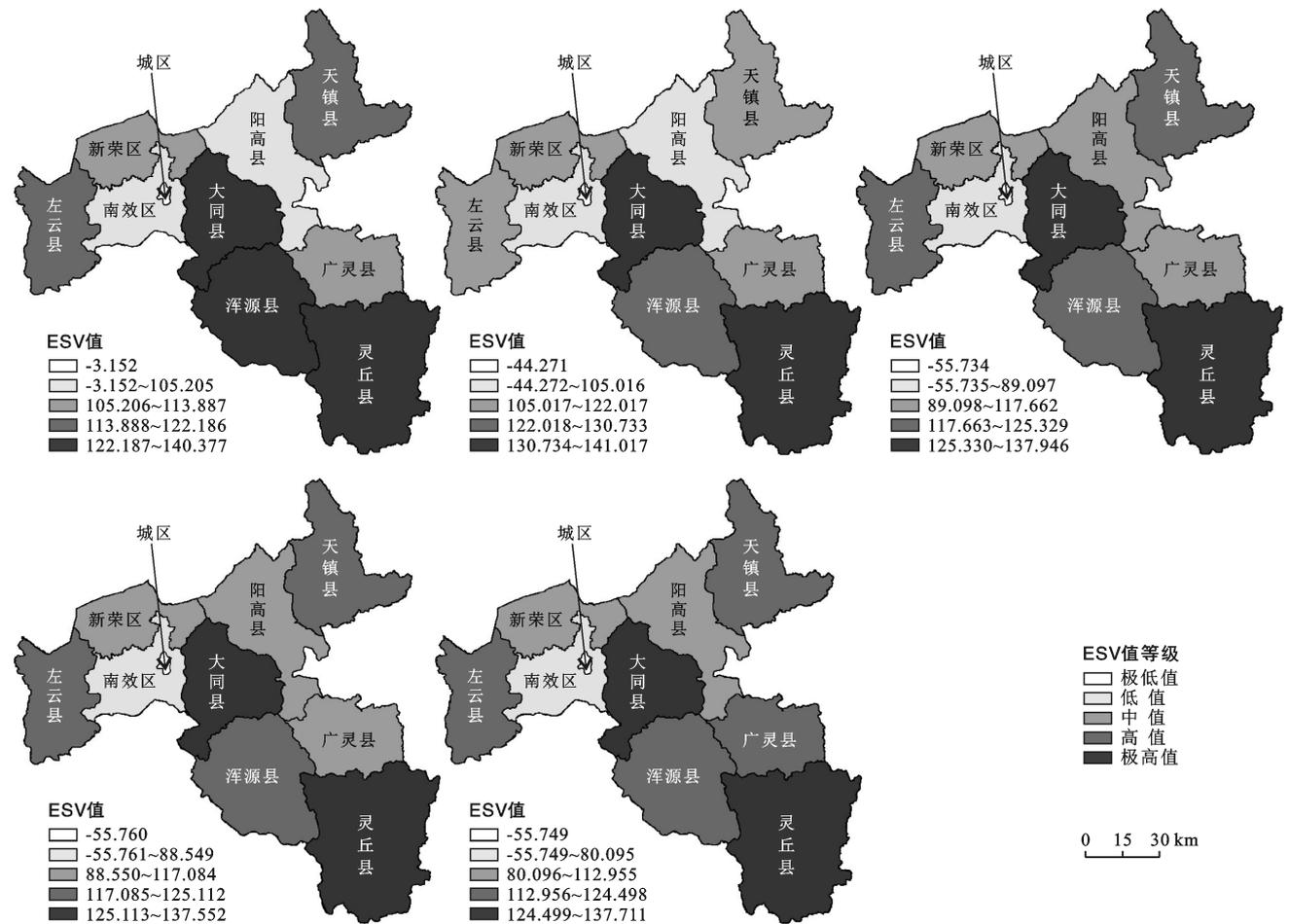


图 4 大同市县域生态系统服务价值(ESV)时空分布

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 本文的研究方法仅考虑了价值当量,没有考虑到人们的支付意愿。对生态系统服务价值的评估,不管在理论上还是实践中,面临着许多的困难,特别是以货币的直观形式对区域生态系统的服务价值进行经济评估的时候更是困难重重。但是,只有这样的

评估才能让人们感受到生态系统的重要性,为政府决策衡量发展效益提供一定的说服力。

(2) 恶劣的沙尘天气对首都北京的区域发展和人民生活产生了很大的影响。对大同市生态系统服务价值的核算研究,是为了从生态系统的服务价值出发,寻找阻碍沙源迁移、治理通路区域生态环境的关键点,为减弱和防治沙尘暴对首都北京的影响提供决策依据。

(3) 本文中林地面积在 2005—2015 年快速增长, 得益于国家“退耕还林”政策的实施以及京津地区对风沙源治理工程的贡献。林地可分为有林地、疏林地、灌木林地、未成林造林地、苗圃、无立木林地等等, 不同类型林地的实际生态服务价值有较大差异。由于数据缺乏没有细分, 可能存在林地价值夸大现象。

3.2 结论

(1) 2000—2019 年, 耕地、草地、林地为大同市主体土地利用类型, 占土地总面积的 90% 以上。建设用地和林地整体呈增长趋势, 其他地类均处于下降趋势。2005—2010 年综合土地利用动态度最高, 且建设用地的动态度远高于其他用地类型, 因为这一时期大同市城市化进程最快。土地利用转移主要是草地转化为林地, 耕地转化为建设用地。

(2) 2000—2019 年, 大同市整体生态系统服务价值大幅度下降, 20 a 内总价值减少高达 3.16 亿元人民币。林地和草地对大同市生态系统服务价值的贡献率最大, 是主要贡献因子和敏感因子, 因此, 需要相关部门加强对林草的保护; 建设用地负面贡献率不断上升, 从 1.263 0% 上升到 2.649 6%, 需对建设用地加强管理和控制。

(3) 2000—2019 年, 大同市一级分类的生态系统功能的服务价值依次为: 调节服务 > 支持服务 > 供给服务 > 文化服务。调节服务价值急剧下降, 因为调节服务中的水文调节价值下降最多, 减少了 3.556 2 亿元, 主要受建设用地负价值的影响。

(4) 2000—2019 年, 大同市各区县生态系统服务价值分为 5 个等级, 空间分布整体趋势南高北低, 呈波动状态。南部的灵丘县和中南部的大同县一直处于极高值状态, 南郊区长期处于低值状态, 城区长期处于极低值状态, 其他县区在高值与低值间波动。大同市是北京西路沙源的必经之路, 其生态环境, 尤其是植被覆盖度直接影响北京的沙尘天气。所以要加强对各区县生态环境保护政策实施力度, 并监督执行, 对于乱采滥伐和违法占地行为要严惩不贷。

[参 考 文 献]

[1] 王万茂, 韩桐魁. 土地利用规划学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.

[2] Turner II B L, Skole D, Sanderson S. Land use and land cover change: Science/Research Plan [R]. IGBP Report, No.35 and HDP Report No.7, Stockholm and Geneva, 1995.

[3] 贺可, 吴世新, 杨怡, 等. 近 40 a 新疆土地利用及其绿洲动态变化[J]. 干旱区地理, 2018, 41(6): 1333-1340.

[4] Daily G C. Introduction: What are Ecosystem Services

[M]. Washington D C: Island Press, 1997.

- [5] 傅伯杰. 生态系统服务与生态系统管理[J]. 中国科技奖励, 2013(7): 6-8.
- [6] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and human well-being [M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [7] Costanza R, D Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(1): 3-15.
- [8] 李龙, 吴大放, 刘艳艳. 国内外土地利用与生态系统服务研究热点与趋势: 基于 CiteSpace 计量分析[J]. 水土保持研究, 2020, 27(5): 396-404.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 王迪, 谢慧明. 流域范围内县域生态系统服务价值库兹涅茨效应研究: 以钱塘江流域为例[J]. 生态经济, 2021, 37(6): 147-152, 164.
- [12] 周文昌, 张维, 胡兴宜, 等. 湖北省湿地生态系统的服务价值评估[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 305-311, 364.
- [13] 邓楚雄, 钟小龙, 谢炳庚, 等. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J]. 地理研究, 2019, 38(4): 844-855.
- [14] 关瑜, 陈影, 潘肖燕, 等. 基于土地利用转型的生态服务交叉敏感性分析: 以雄安新区为例[J]. 生态经济, 2021, 37(3): 153-160.
- [15] 刘亚茹, 李莉, 菊春燕. 天山北坡城市群土地利用及生态系统服务价值时空演变[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 312-320.
- [16] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [17] 吴会慧, 赵艳玲, 李素萃. 基于 GEE 的淮南市土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态经济, 2021, 37(2): 146-152.
- [18] 贾琦. 河南省巩义市土地利用演化及其生态系统服务价值响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 249-258.
- [19] 朱晓昱. 呼伦贝尔草原区土地利用时空变化及驱动力研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [20] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420.
- [21] 肖建设, 乔斌, 陈国茜, 等. 黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J]. 生态学报, 2020, 40(2): 510-521.
- [22] 侯蕊, 李红波, 高艳丽. 基于景观格局的武汉市江夏区土地利用生态风险评价[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 323-330, 403.

- [6] Omaid N, Xiang Zhengdeng, Ruchira B. The dynamics of land use/cover and the statistical assessment of crop-land change drivers in the Kabul River Basin, Afghanistan [J]. Sustainability, 2018, 10(2): 423-431.
- [7] 胡琼, 吴文斌, 项铭涛, 等. 全球耕地利用格局时空变化分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(6): 1091-1105.
- [8] 牛善栋, 方斌, 崔翠, 等. 乡村振兴视角下耕地利用转型的时空格局及路径分析: 以淮海经济区为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1908-1925.
- [9] 韩海青, 王旭红, 牛林芝, 等. 1992—2015 年中亚五国 LUCC 特征及耕地驱动力研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(2): 325-339.
- [10] Liang Xun, Guan Qingfeng, Clarke K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 85(5): 101569.
- [11] 张莽, 王萍, 陈慧, 等. 长江上游地区土地利用格局时空演变: 以四川省宜宾市为例[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 210-216.
- [12] 邓元杰, 段誉梅, 陈丹. 宜宾市土地利用碳排放效应的时空演变[J]. 绵阳师范学院学报, 2017, 36(8): 113-120.
- [13] 蔡为民, 肖婷, 毕芳英, 等. 基于核密度估算的大都市耕地数量空间分布特征分析: 以天津市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 152-160.
- [14] 祖健, 张蚌蚌, 孔祥斌. 西南山地丘陵区耕地细碎化特征及其利用效率: 以贵州省草海村为例[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(1): 104-113.
- [15] 唐文彬, 王佑汉, 李谦. 基于景观指数的耕地细碎化研究: 以四川盆地 5 个典型村为例[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 413-419.
- [16] 谢贤健, 屈小斌, 兰代萍, 等. 中小城市土地利用空间结构分析的尺度效应[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(7): 897-902.
- [17] 唐大珍. 泸州市土地利用动态变化及驱动因素研究[D]. 新疆 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2011.
- [18] 冯义雄, 朱丽东, 朱力, 等. 内江市土地利用动态变化及其驱动力分析[J]. 山西农业科学, 2010, 38(12): 69-74.
- [19] 周翔, 韩骥, 孟醒, 等. 快速城市化地区耕地流失的时空特征及其驱动机制综合分析: 以江苏省苏锡常地区为例[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1191-1202.
- [20] 潘佩佩, 杨桂山, 王晓旭, 等. 典型经济快速发展区耕地变化区域分异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1587-1596.
- [21] 朱会义, 李义. 西北干旱区耕地扩张原因的实证分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 615-620.
- [22] 王文旭, 曹银贵, 苏锐清, 等. 我国耕地变化驱动力研究进展: 驱动因子与驱动机理[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(7): 21-30.
- [23] 肖庆业, 陈建成, 张贞. 退耕还林工程综合效益评价: 以我国 10 个典型县为例[J]. 江西社会科学, 2014, 34(2): 220-224.
- [24] 郭贝贝, 方叶林, 周寅康. 农户尺度的耕地撂荒影响因素及空间分异[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 696-709.

(上接第 317 页)

- [23] 巩杰, 张金茜, 钱彩云, 等. 1990—2014 年甘肃省白龙江流域土地利用变化对人类活动响应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 219-224.
- [24] 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.
- [25] 吴蒙. 长三角地区土地利用变化的生态系统服务响应与可持续性情景模拟研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.
- [26] 雷军成, 王莎, 汪金梅, 等. 土地利用变化对寻乌县生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3089-3099.
- [27] 朱康文, 雷波, 李月臣, 等. 生态红线保护下的两江新区土地利用/覆盖情景模拟及生态价值评估[J]. 环境科学研究, 2017, 30(11): 1801-1812.
- [28] 张凤太, 苏维词, 赵卫权. 基于土地利用/覆被变化的重庆城市生态系统服务价值研究[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(3): 21-25, 50.
- [29] 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, 2005(3): 60-62, 64.
- [30] 宗跃光, 陈红春, 郭瑞华, 等. 地域生态系统服务功能的价值结构分析: 以宁夏灵武市为例[J]. 地理研究, 2000, 19(2): 148-155.
- [31] 金声甜, 肖文海, 杨胜苏, 等. 长江经济带土地利用变化及其生态系统响应[J]. 经济地理, 2020, 40(7): 166-173.