

大同市南郊区土地利用生态服务价值空间分布及变化^{*}

郭青霞^{1,2} 陈焕伟^{1**} 周欣³

(1. 中国农业大学资源环境学院 北京 100094; 2. 山西农业大学资源环境学院 太谷 030801;
3. 大同市南郊区农业局 大同 037001)

摘要 本研究以中国生态服务价值当量因子表为基础计算了大同市南郊区不同土地利用生态服务价值单价,结合该区 1987 年和 2002 年 Landsat TM/ETM+ 影像分类数据,借助 Fragstats 和 ENVI 软件支持进行了矩形单元土地利用生态服务价值的空间模拟,然后采用 ENVI 的波段运算功能、分类功能进行大同市南郊区土地利用生态服务价值空间分布及变化研究。结果显示:大同市南郊区 1987 年和 2002 年土地利用正生态服务区面积大于负生态服务区面积,但生态服务质量等级都不高。1987 年平原区生态服务质量好于山丘区,2002 年山丘区生态服务质量好于平原区。大同市南郊区从 1987 年至 2002 年土地利用生态服务增加区面积大于减小区,且以轻度增加为主。平原区生态服务增加区面积小于山丘区,生态服务减小区面积大于山丘区。平原区生态服务增加区面积小于减小区面积;山丘区生态服务增加区面积大于减小区面积。

关键词 土地利用 生态服务价值 矩形单元 空间模拟 空间分布 空间变化

Spatial distribution and changes of ecological service value of land use in the southern suburb of Datong City. GUO Qing-Xia^{1,2}, CHEN Huan-Wei¹, ZHOU Xin³ (1. College of Resources & Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. College of Resources & Environmental Sciences, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 3. Agricultural Bureau of Southern Suburb of Datong City, Datong 037001, China), *CJEA*, 2007, 15(5): 188~192

Abstract Based on established equivalent weight factor of ecosystem service value of China, ecological service value of land use in the southern suburb of Datong City was estimated. The spatial distribution and changes of ecological service value of land use were analyzed using land use classification data from Landsat TM/ETM+ images for 1987 and 2002 and spatially imitating land use ecological service value within rectangular units by Fragstat and ENVI soft. Results show that positive ecological service value land use area outweighs that of the negative for both 1987 and 2002. Ecological service value land use quality of the plains is higher than that of the massifs in 1987, while it is higher for the massifs in 2002. Decreasing ecological service value land area is larger than increasing ecological service value land area in the plains from 1987 to 2002, while the opposite trend is the case in massifs and the entire southern suburb research area. On the whole, decreasing ecological service value land area in the plains is larger than that of the massifs, while increasing ecological service value land area in the plains is smaller than that of the massifs.

Key words Land use, Ecological service value, Rectangular unit, Spatial imitation, Spatial distribution, Spatial change

(Received June 9, 2006; revised Jan. 9, 2007)

大同市南郊区位于黄土高原典型生态脆弱区,水土流失严重、水资源缺乏、生物多样性小。因此,改善大同市南郊区生态环境质量是保障当地社会经济可持续发展的重要前提。由于土地利用深刻影响着区域水循环、环境质量、生物多样性及陆地生态系统生产力而成为全球环境变化研究的重要内容^[1]。因此合理配置大同市南郊区土地利用方式对当地生态环境可持续发展具有重要意义。但是对于给定地块,选择合理的土地利用方式,首先应了解土地利用的生态服务价值^[14]。

生态系统服务的概念是在 20 世纪 60 年代中期和 70 年代早期提出的^[15,16]。之后,国际上对生态系统服务研究非常重视,开展了从生态系统过程、生态服务功能及其生态经济价值等多方面的综合研究,不断充实与丰富了生态系统服务的内涵^[17,18],完善了生态系统服务的分类^[18,19],探讨了生态服务评价技术及生态经济价值的评估方法。20 世纪 90 年代末以来,国外有关生态系统服务的概念、生态效益的价值理论及评估方法等开始引入国内^[2],

^{*} 国家自然科学基金重大项目“荒漠化综合防治优化模式研究”(39990490)和地方合作项目“大同市数字农业与数字生态建立与应用”资助

^{**} 通讯作者

收稿日期:2006-06-09 改回日期:2007-01-09

国内也开始从区域生态系统服务价值、单个生态系统服务价值和生态系统单项服务价值 3 个层面开展研究^[3]。在区域生态系统服务研究方面,主要采用 4 种方法:一是应用国际上对生态系统服务评价技术和生态经济价值评估方法进行区域生态系统服务的测算^[4~8];二是利用国际生态服务价值单价进行国内不同等级、不同类型区域生态系统服务的测算^[2,9,10];第三种方法是以谢高地等^[11]建立的中国生态服务价值单价和当量因子表为基础,进行区域生态系统价值测算^[11,12]。另外白晓飞等^[13]则是考虑区域生态系统服务项目的实际,对具有生态服务价值单价的采用已有单价,对没有单价的采用生态系统服务评价技术和生态经济价值评估方法进行生态服务价值单价的计算,从而快速地进行区域内相对比较完整的生态服务项目的价值估算。

生态系统服务价值估算在国内外的进展为其应用于土地利用管理决策提供了基础。用于土地利用管理决策的生态环境指标要具有可测性、易用性、时空可对比特征,基于价值单价基础上的生态服务价值测算就具有这方面的特点。由于谢高地等^[11]建立的中国生态系统服务价值当量因子表更符合我国实际,且其采用的全国标准农田的生态服务价值当量因子为 1 的提法可以外推到更小的区域,通过小区域标准农田生态服务价值单价的计算就可以得到小区域生态服务价值单价。同时宗跃光等^[5]将 Costanza 等人单纯自然资本的测算推广到自然资本与经济资本和社会资本的综合测算上,为此结合这两种方法进行大同市南郊区土地利用生态服务价值单价计算具有可靠的理论基础,可为该区土地合理利用方式的选择提供依据。

1 研究数据和方法

1.1 土地利用现状数据的获取

土地利用研究数据来自 1987 年 9 月 8 日的 Landsat5 TM 影像和 2002 年 9 月 25 日 Landsat7 ETM+ 影像,为了保持分类条件的一致性,统一采用两期影像 6 个波段数据,以高分辨率卫星影像 SPOT 多光谱波段与全波段的融合影像以及相应时期土地利用现状图为辅数据,结合地面调查,确定影像训练区。为了提高分类精度,采用光谱信息与纹理信息相结合的方法,在进行多种分类方法比较后,以分类精度较高的最大似然分类法进行分类,两期影像分类结果的 Kappa 系数分别达到 0.9567 和 0.9620,可以满足后续分析使用。

1.2 土地利用生态服务价值单价的确定

大同市南郊区土地利用生态服务价值计算共考虑 9 项生态服务功能:气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产、休闲娱乐。并假设各土地利用类型的各项生态服务之间具有谢高地^[11]研究确定的中国生态系统服务价值当量因子之间的关系,取耕地食物生产生态服务价值当量为 1,其他土地利用类型的各项生态服务价值当量为该土地利用类型的各项生态服务价值与耕地食物生产生态服务价值的比值。耕地食物生产生态服务价值单价为 1hm^2 平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值^[12],计算公式为:

$$C_{\text{crop}} = \frac{1}{7} \times \frac{T_{pv}}{T_a} \quad (1)$$

式中, T_{pv} 为当年粮食作物总产值(元); T_a 为当年粮食作物播种面积(hm^2); $1/7$ 是指没有人力投入的自然生态系统的生态服务价值是现有单位面积农田提供的食物生产经济价值的 $1/7$ 。

依据大同市南郊区统计局统计资料,采用 1990 年不变价分别计算 1987 年和 2002 年大同市南郊区耕地食物生产生态服务价值单价后,采用公式(2)计算得到森林、草地、水域和未利用地的生态服务价值单价(表 1)。

$$V_i = \sum_{j=1}^m C_{\text{crop}} \times f_{ij} \quad (m = 1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

式中, V_i 为第 i 种土地利用生态服务的价值单价(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); f_{ij} 代表第 i 种土地利用第 j 种生态服务的价值当量因子; m 为土地利用生态服务项目数。

由于大同市南郊区缺乏相关资料,居民点及独立工矿用地生态服务价值单价采用大同市城区和矿用地有关资料计算。主要考虑大气调节、水循环调节和废弃物处理 3 项生态服务,并假定其他方面的生态服务价值

表 1 大同市南郊区 1987 和 2002 年土地利用生态系统服务价值单价

Tal.1 Ecological service value of land use in southern suburb of Datong City in 1987 and 2002

年份 Year	土地利用生态服务价值单价/元· hm^{-2} · a^{-1} Ecological service value of land					
	农田 Cropland	森林 Forest	草地 Grassland	居民点及工矿用地 Building and factory	水域 Water	未利用地 Unused land
1987	1593.89	5040.02	1670.01	-1119.94	10603.64	96.88
2002	1834.30	5800.22	1921.90	-1725.69	12203.02	111.49

单价为零。其中大气调节、废弃物生态服务价值主要采用防治成本法,水循环价值采用替代成本法估计。城市废弃物处理生态服务价值单价等于城市工业废弃物和生活废弃物年排放量乘以各自处理价格加和后除以居民点及独立工矿用地面积;水循环生态服务价值单价等于生活和工业用水总量乘以各自的价格加和后除以居民点及独立工矿用地面积;气体调节价值等于城市废气排放总量乘以城市单位废气控制成本除以居民点及独立工矿用地面积。

1.3 矩形单元土地利用生态服务价值的模拟方法

生态服务价值单价是以土地利用斑块作为单元的,但实践中研究各土地利用类型组合价值更有意义。因此对于任一由诸多土地利用类型组成的实体,采用矩形单元分割并表达其价值,有利于空间对比分析。景观类型水平指数缀块类型总面积 CA 或缀块类型面积百分比 $PLAND$ 以及景观的移动窗口分析方法为进行矩形单元生态服务价值模拟提供了便利。这里主要采用移动窗口计算景观缀块类型面积百分比 $PLAND$ 的方法,首先借助 Fragstats 软件矩形移动窗口分析法计算景观类型水平 $PLAND$ 指标值,然后将其 AscII 码格式的结果文件导入 ENVI 软件中,采用公式(3),则可以模拟得到代表矩形单元的中心像元生态服务价值:

$$Service_{cell} = S_{cell} \times \sum_{i=1}^n PLAND_i \times V_i \tag{3}$$

式中, $PLAND_i$ 为窗口内第 i 种土地利用所占的面积比重, S_{cell} 代表每个矩形单元中心像元的面积大小(hm^2)。

进一步借助 ENVI 的波段运算功能得到这 15 年期间大同市南郊区土地利用生态服务价值变化空间分布图。根据各土地利用生态服务价值及变化分布图的统计直方图信息,确定分类阈值,然后采用监督分类法得到研究区土地利用生态服务价值及变化分区。

2 结果与分析

经测算,大同市南郊区 1987 年和 2002 年的土地利用生态服务总价值分别为 11129.51 万元和 17693.29 万元,2002 年较 1987 年净增加 6563.78 万元。

2.1 1978 年土地利用生态服务价值空间分布特征

表 2 大同市南郊区 1987 年和 2002 年土地利用生态服务价值分区特征

Tab.2 Characteristics of ecological service value regions of land use in southern suburb of Datong City in 1987 and 2002

生态服务价值分区 Region of ecological service value	1987		2002	
	面积/ hm^2 Area	百分比/% Percentage in total area	面积/ hm^2 Area	百分比/% Percentage in total area
负生态服务区	8556.12	7.88	13582.71	12.52
零生态服务区	36570.24	33.70	21888.27	20.17
低生态服务区	56243.61	51.82	52503.03	48.38
中生态服务区	6342.30	5.84	19671.12	18.13
高生态服务区	816.84	0.75	883.98	0.81

根据 1987 年和 2002 年大同市南郊区土地生态服务价值分布直方图,影像像元主要集聚分布于 -100 元、0 元、150 元、450 元、1000 元附近。采用阈值分割法对影像进行分类,阈值分割标准为: -200 ~ -10 元为负生态服务区, -10 ~ 10 元为零生态服务区, 10 ~ 300 元为低生态服务区, 300 ~ 600 元为中生态服务区, 600 ~ 1200 元为高生态服务区。分类结果见表 2、表 3 和表 4。从表 2 可以看出, 1987 年大同市南郊区土地利用正生态服务区所占面积比重大于负生态服务区,但生态服

务质量等级不高,以低生态服务区占比最大,其次是零生态服务区和负生态服务区。从表 3 可以看出,在不同地貌单元下,平原区总体生态服务优于山丘区。

表 3 1987 年不同地貌单元土地利用生态服务价值分区特征

Tab.3 Characteristics of ecological service value regions of land use in different relief in 1987

生态服务价值分区 Region of ecological service value	平原区		占各生态服务区面积百分比/% Percentage in the corresponding service region	山丘区		占各生态服务区面积百分比/% Percentage in the corresponding service region
	面积/ hm^2 Area of plain	占平原面积百分比/% Percentage in plain		面积/ hm^2 Area of massif	占山丘区面积百分比/% Percentage in massif	
负生态服务区	5667.66	10.80	66.24	2888.46	5.18	33.76
零生态服务区	8858.67	16.87	24.40	27448.18	49.22	75.60
低生态服务区	33907.82	64.59	60.29	22335.80	40.05	39.71
中生态服务区	3352.23	6.39	52.86	2990.07	5.36	47.14
高生态服务区	713.25	1.36	87.32	103.59	0.19	12.68

虽然平原区负生态服务价值比重大于山丘区,但零生态服务区面积小于山丘区,各正生态服务区面积都大

于山丘区。从平原区内部看,以低生态服务价值区占面积比重最大,其次是零生态服务区和负生态服务区。而在山丘区内部,以零生态服务区所占面积比重最大,然后是低生态服务区。因此,各地貌类型内部土地利用生态服务等级都不高。

2.2 2002 年土地利用生态服务价值空间分布特征

从表 2 可以看出,大同市南郊区 2002 年正生态服务区面积大于负生态服务区,以低生态服

表 4 2002 年不同地貌单元土地利用生态服务价值分区特征

Tab.4 Characteristics of ecological service value regions of land use in different relief in 2002

生态服务价值分区 Region of ecological service value	平原区 Area of plain	占平原面积 百分比/% Percentage in plain	占各生态服务区 面积百分比/% Percentage in the corresponding service region	山丘区 Area of massif	占山丘区面积 百分比/% Percentage in massif	占各生态服务区 面积百分比/% Percentage in the corresponding service region
负生态服务区	10675.08	20.33	78.59	2907.63	5.21	21.41
零生态服务区	9407.13	17.92	43.50	12217.75	21.91	56.50
低生态服务区	27076.05	51.57	51.57	25426.98	45.60	48.43
中生态服务区	4636.31	8.83	23.57	15034.82	26.96	76.43
高生态服务区	705.06	1.34	79.76	178.92	0.32	20.24

务区占面积比重最大,其次是零生态服务区和中生态服务区,总体生态服务质量不高。但与 1987 年相比,虽然负生态服务区面积增加,但是零生态服务区和低生态服务区面积都有所下降,而中生态服务区面积和高生态服务区面积增加。这与大同市南郊区城镇用地扩展和生态环境建设是密不可分的。

从表 4 可以看出,2002 年平原区的土地利用生态服务状况较差,负生态服务区和零生态服务区占比重大于山丘区,中生态服务区占的比重小于山丘区。而山丘区生态服务状况较平原区好。在平原区内部,2002 年以低生态服务区占面积比重最大,其次是负生态服务区和零生态服务区。在山丘区,以低生态服务区占比重大,其次是中生态服务区和零生态服务区。各地貌单元内部生态服务都处于较低水平。

2.3 15 年间土地利用生态服务价值变化的空间分布特征

表 5 大同市南郊区 1987~2002 年土地利用生态服务价值变化分区特征
Tab.5 Characteristic of ecological service value change regions of land use in southern suburb of Datong City between 1987 and 2002

生态服务价值变化分区 Region of ecological service value change	面积/hm ² Area	百分比/% Percentage
高度增加区	180.99	0.17
中度增加区	9784.98	9.01
轻度增加区	32655.69	30.09
不变化区	40644.81	37.45
轻度减小区	24184.53	22.28
中度减小区	1091.43	1.01

将大同市南郊区土地利用生态服务价值变化进行等间距分割,进行生态服务价值变化分区:<-1050 元为极高减小区,-1050~-750 元为高度减小区,-750~-450 元为中度减小区,-450~-150 元为轻度减小区,-150~150 元为不变化区,150~450 元为轻度增加区,450~750 元为中度增加区,750~1050 元为高度增加区,>1050 元为极高增加区,分区结果见表 5。从表 5 可以看出,大同市南郊区在 1987 年至 2002 年期间,土地利用生态服务价值增加区的面积为 42621.66hm²,

大于生态服务价值减小区的面积 25275.96hm²,且在土地生态服务增加区中,主要以轻度生态服务增加为主。不变化区在各变化等级分区中面积最大,为 40644.81hm²。

在不同地貌单元间,平原区的生态服务价值不变化区面积大于山丘区,生态服务价值增加区面积小于山丘区,生

表 6 1987 年~2002 年不同地貌单元土地利用生态服务价值变化分区特征

Tab.6 Characteristic of ecological service value change regions of land use in different relief between 1987 and 2002

生态服务价值变化分区 Region of ecological service value change	平原区 Area of plain	占平原面积 百分比/% Percentage in plain	占各生态服务变化区 面积百分比/% Percentage in the corresponding service change region	山丘区 Area of massif	占山丘区面积 百分比/% Percentage in massif	占各生态服务变化区 面积百分比/% Percentage in the corresponding service change region
高度增加区	136.08	0.26	75.19	44.91	0.08	24.81
中度增加区	1040.85	1.98	10.64	8744.13	15.68	89.36
轻度增加区	10098.99	19.23	30.93	22556.70	40.45	69.07
不变化区	21264.32	40.49	52.66	19117.10	34.28	47.34
轻度减小区	19155.87	36.48	79.21	5028.66	9.02	20.79
中度减小区	816.66	1.56	74.82	274.77	0.49	25.18

态服务价值减小区的面积大于山丘区。在平原区内部,生态服务价值不变化区占比最大,轻度减小区面积为第二,生态服务价值增加区面积小于生态服务价值减小区面积;在山丘区,生态服务价值轻度增加区面积最大,不变化区面积居第二,生态服务价值增加区面积大于生态服务价值减小区面积(表 6)。

3 结论与讨论

矩形单元的土地利用生态服务价值模拟方法,可以突破土地利用生态服务价值计量只能局限于土地利用单元的限制,进行组合土地利用单元生态服务价值的准确计算。有利于实现组合土地利用单元生态服务价值的空间对比及生态服务价值的空间分区研究,为土地利用生态服务价值分区管理提供依据。

大同市南郊区土地利用生态服务价值研究显示:大同市南郊区 1987 年和 2002 年的土地利用生态服务总价值分别为 11129.51 万元和 17693.29 万元,2002 年较 1987 年净增加了 6563.78 万元。生态服务价值增加区面积大于生态服务价值减小区面积。分区研究显示:1987 年和 2002 年正生态服务区面积都大于负生态服务区,但服务等级不高,以低生态服务区占面积比重最大;但 2002 年较 1987 年负生态服务区面积增加,零生态服务区和低生态服务区面积下降,中生态服务区面积和高生态服务区面积增加。这与大同市南郊城镇用地扩展和生态环境建设有关。不同地貌间土地利用生态服务价值研究显示:1987 年平原区总体生态服务优于山丘区,2002 年山丘区生态服务状况较平原区好。大同市南郊区 1987 年至 2002 年期间的土地利用变化分区研究显示,土地利用生态服务价值增加区面积为 42621.66hm^2 ,大于生态服务价值减小区面积 25275.96hm^2 。平原区生态服务价值增加区面积小于山丘区,生态服务价值减小区面积大于山丘区。平原区内部生态服务价值增加区面积小于生态服务价值减小区面积;而山丘区则是生态服务价值增加区面积大于生态服务价值减小区面积。平原区面临生态退化风险,而山丘区总体生态状况有所改善,但平原区和山丘区在 2002 年生态服务等级都相对较低。因此今后在土地利用决策中,不仅要注意山丘区生态服务的提高,也应该改善平原区土地利用。尤其是城市用地的增加,必然加大生态服务负价值,应通过林草地等高生态服务用地的补充来减缓平原区生态服务价值减小的趋势。在平原区耕地压力比较大的情况下,应注重农林牧综合发展,加大城区绿化用地的数量。

参 考 文 献

- 1 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向.地理学报,1996,51(6):553~558
- 2 张志强,徐中民,王 建,等.黑河流域生态系统服务的价值.冰川冻土,2001,23(4):360~367
- 3 徐中民,张志强,程国栋.生态经济学理论与方法.郑州:黄河水利出版社,2003.126~130
- 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.生态学报,1999,19(5):607~613
- 5 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.地理研究,2002,19(2):148~155
- 6 高旺盛,董孝斌.黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价.自然资源学报,2003,18(2):182~188
- 7 何 浩,潘耀忠,朱文泉,等.中国陆地生态系统服务价值测量.应用生态学报,2005,16(6):1122~1127
- 8 谢高地,肖 玉,甄 霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究.中国生态农业学报,2005,13(3):10~13
- 9 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值.科学通报,2000,45(1):17~23
- 10 高清竹,何立环,黄晓霞,等.黄河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化.自然资源学报,2002,17(6):706~712
- 11 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估.自然资源学报,2003,18(2):189~196
- 12 肖 玉,谢高地,安 凯.莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究.应用生态学报,2003,14(5):676~680
- 13 白晓飞,陈焕伟.不同土地利用结构生态系统服务功能价值的变化研究.中国生态农业学报,2004,12(1):180~182
- 14 Goulder L. H., Kennedy D. Valuing ecosystem services: Philosophical bases and empirical methods. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D. C.: Island Press, 1997
- 15 King R. T. Wildlife and man. *New York Conservationist*, 1966, 20(6): 8~11
- 16 Helliwell D. R. Valuation of wildlife resources. *Regional Studies*, 1969, 3: 41~49
- 17 De Groot R. S. Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D. C.: Island Press, 1997
- 18 Costanza R., D'Arge R., De Groot R. S., et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253~260
- 19 De Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 393~408