

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.021

基于力矩平衡点法的北京市生态系统服务价值时空分布*

李虹¹ 唐秀美^{2,3} 赵春江^{2,3} 潘瑜春^{2,3} 郝星耀^{2,3} 郜允兵^{2,3}

(1. 北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097;
3. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 以北京市为例,在计算 1993 年、2001 年和 2007 年三期土地利用生态系统服务价值的基础上,基于力矩平衡点法分析了生态服务功能价值的重心变化情况,研究了北京市生态系统服务价值分布的时空变化及变化原因。结果表明:北京市生态系统服务总价值先增加后减少,从 1993 年的 297.69 亿元增加到 2001 年的 299.05 亿元,在 2007 年又降低到 292.12 亿元;不同土地利用类型的生态系统服务价值的重心转移情况表明,耕地、草地、湿地的价值重心从 1993 年到 2007 年,一直由南向北移动,推动了总价值的重心变化,公园绿地、林地的重心变化始终为由北向南;不同功能生态系统服务价值的重心转移情况表明,废物处理、气候调节、气体调节、食物生产、土壤形成与保护、娱乐文化的价值重心由南向北移动,原材料的价值重心呈由北向南移动,生物多样性的价值重心呈由西向东的移动趋势,而水源涵养的价值重心在 1993 年到 2001 年由北向南移动,2001 年到 2007 年则是由南向北移动。研究结果为北京市的政府决策和生态环境保护政策制定提供了依据。

关键词: 生态系统服务价值 力矩平衡点法 重心 时空变化

中图分类号: F062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)11-0151-06

Temporal and Spatial Distribution of Ecosystem Service Value in Beijing
Based on Torque Balance Point Method

Li Hong¹ Tang Xiumei^{2,3} Zhao Chunjiang^{2,3} Pan Yuchun^{2,3} Hao Xingyao^{2,3} Gao Yunbing^{2,3}

(1. Beijing Key Laboratory of Precision Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China
2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China
3. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: This study mainly assesses land use ecosystem service values in Beijing City during the year of 1993, 2001 and 2007. It calculated the gravity center changes of ecosystem service values based on the torque balance point method, and also analyzed the spatial and temporal variation of ecosystem service value distribution in Beijing City. The results indicate that: the ecosystem service value in Beijing City increases from 29.769 billion Yuan in 1993 to 29.905 billion Yuan in 2001, and then the value decreases to 29.212 billion Yuan in 2007. The transmission of gravity center in ecosystem service values is due to the changes of land use. The central values of cultivated land, grassland, wetland have moved from south to north during 1993—2007, which enhanced the change of the total value of gravity center. For instance, the gravities of park green land and forest were always changed from north to south. The changes of gravity for different functional values of ecosystem services illustrate that the gravity center values from waste material, climate regulation, gas regulation, food production, soul formation and conservation, and entertainment culture, move from south to north, and the gravity of raw materials is opposite. For biological diversity protection, the gravity center shifts from west to east. For water

收稿日期: 2015-04-20 修回日期: 2015-05-15
* 国家自然科学基金资助项目(41301093)
作者简介: 李虹, 博士生, 主要从事地理信息与遥感技术研究, E-mail: fairyleeh@163.com
通讯作者: 赵春江, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业信息技术研究, E-mail: zhaojc@nercita.org.cn

conservation, the center goes from north to south and then to north again during the three-year period. The paper provides accurate information for municipal government decision-making, and formalises ecological and environmental protection related policies in Beijing City.

Key words: Ecosystem service value Torque balance point method Gravity center Temporal and spatial variation

引言

随着人类生态环境保护意识的不断增强,生态系统服务价值(Ecosystem service value,ESV)的研究已经成为当今可持续发展的热点问题^[1]。生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务^[2]。合理评价生态环境质量是进行生态环境保护的基础,而生态系统功能是考察生态环境质量的一个重要方面。近年来,国际和国内从生态系统服务、自然资本、生态资产、生物多样性等角度大量展开各种时空尺度的自然资源价值评估工作,在相关理论、方法和应用的广度和深度上取得了较大进展^[3]。目前国内外生态系统服务价值评估的研究重点集中在生态系统分类方法研究^[4-5]、评估方法创新研究^[6-9];生物多样性与生态系统服务之间关系研究^[10]、有关生态系统组分变化、系统组分间相互作用及生态系统管理方面的模拟生态系统过程的模型研究^[11-14]以及案例区生态系统服务价值评估结果的应用^[15],特别是在生态补偿中的应用等^[16]。总体而言,当前的研究多是在确定的研究区域内,对研究区域进行土地利用生态系统分类,采用各种方法评估各种土地类型生态系统的生态服务价值,研究重点都在大范围、同类型的生态系统服务价值量的变化或者是不同年度由于土地利用变化而引起的区域生态系统服务价值的变化^[17]。对于区域内部不同类型、不同功能生态系统服务价值的时空变化方面的研究不足^[18]。基于此,本文以北京市为研究对象,在确定北京市不同类型生态系统服务价值的基础上,基于力矩平衡点法分析不同土地利用类型、不同功能生态系统服务价值的重心转移情况,以期摸清北京市生态系统服务价值的时空变化规律,为政府决策和生态环境保护政策制定提供依据,为北京市宜居城市建设服务。

1 研究区概况

北京市位于华北平原的西北部,地理坐标为北纬39°28'~41°25',东经115°25'~117°30',南北长约

176 km,东西宽约160 km,总面积1 641 054 hm²,北京傍山面海,腹地辽阔,自然条件优越,地理位置极为重要。北京土地利用呈现明显的圈层分布特点,北京市已经划分了明确的城市主体功能区划,划分为首都功能核心区、城市功能拓展区、城市发展新区和生态涵养发展区4大区域。北京作为我国的首都和国际性大都市,人类活动与生态系统的相互作用尤为突出。研究北京市生态系统服务价值分布时空变化有重要意义。

2 土地利用类型及其生态系统服务价值

2.1 不同土地利用类型生态系统服务价值确定

生态系统具有复杂性、动态性等特征,生态系统服务价值在不同尺度上有明显的时间和空间的差异性。因此,在研究生态系统服务价值变化之前,首先对生态系统服务价值进行修正,使其价值在时间和空间上具有可比性。对北京市的土地利用现状类型进行综合分析,最终确定了9种土地利用现状用地类型,进而确定各个类型的生态系统服务基准价值。国内外有关土地利用生态系统服务价值的研究很多,研究方法多样^[19]。国内比较权威的研究结论是谢高地的中国陆地生态系统单位面积生态系统服务价值当量表^[20]。本研究基于已有方法,对该表进行了空间尺度和时间尺度上的修正^[21],使之适合于北京的实际情况。时间尺度上,将其修正到2013年的价值水平上;空间尺度上,将生态系统服务价值由全国校正到北京市。得到的北京市各土地利用类型单位面积生态系统服务基准价值表如表1所示。

2.2 北京市生态系统服务价值变化

根据表1,计算北京市1993、2001、2007年生态系统服务价值,结果见图1、表2。

表2显示,北京市生态系统服务总价值先增加后减少,从1993年的297.69亿元增加到2001年的299.05亿元,在2007年又降低到292.12亿元;各区县的生态服务总价值差距较大,在北京市16个区县中,密云县的生态服务价值最大,从远郊山区到近郊到城区,生态系统服务价值总量逐步减少。从1993年到2007年,各区县的生态服务价值的变化趋势与总价值的变化趋势相同,多是先增加后减少。

表 1 北京市各土地利用类型的单位面积生态系统服务价值

Tab.1 Ecosystem service value per unit area of each land use type in Beijing City

元/hm²

用地类型	气体调节	气候调节	水源涵养	土壤形成与保护	废物处理	生物多样性保护	食物生产	原材料	娱乐文化	总价值
耕地	976.39	1 862.36	643.26	2 923.01	2 369.92	694.77	1 768.85	139.75	2 790.84	14 169.16
园地	2 507.13	2 507.58	2 214.31	4 204.73	2 348.56	2 243.59	964.75	1 507.48	2 149.67	20 647.78
林地	3 201.46	2 519.69	3 004.11	3 470.22	1 081.86	2 981.92	99.38	2 587.35	1 201.46	20 147.45
草地	1 927.95	1 965.55	1 435.16	4 129.70	2 556.21	2 040.43	828.86	120.50	98.23	15 102.60
水域	0	828.57	36 709.38	18.01	32 746.64	4 485.10	180.12	18.01	7 817.40	82 803.23
湿地	3 242.24	30 801.30	27 919.30	3 080.13	32 746.64	4 503.11	540.37	126.09	9 996.91	112 956.10
城市绿地	1 836.85	1 887.65	13 987.36	2 739.69	12 337.01	3 471.67	250.34	992.09	3 126.88	40 629.53
未利用地	0	0	105.90	70.60	35.30	1 200.23	35.30	0	35.30	1 482.63
建设用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

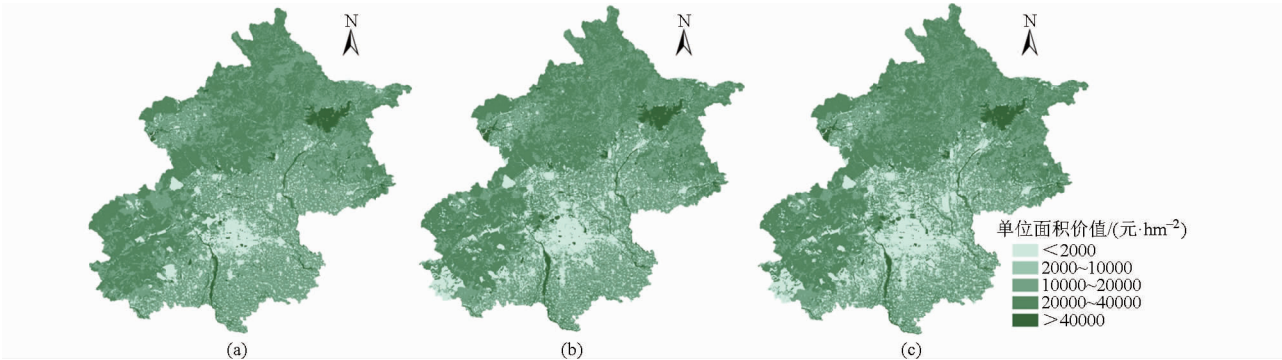


图 1 1993、2001、2007 年北京市单位面积生态系统服务价值分布图

Fig.1 Distribution of unit area value of ecosystem functions in Beijing City (1993, 2001, 2007)

(a) 1993 年 (b) 2001 年 (c) 2007 年

表 2 北京市各区县生态系统服务价值			
Tab.2 Ecosystem services value in each district and county of Beijing City			
区县名称	1993 年	2001 年	2007 年
东城区	0.22	0.12	0.18
西城区	0.22	0.05	0.07
朝阳区	5.90	5.75	5.26
丰台区	3.40	3.17	2.89
石景山区	0.99	1.05	1.00
海淀区	5.03	5.66	5.29
门头沟区	26.33	26.46	26.35
房山区	34.16	31.33	30.78
通州区	16.06	17.18	15.77
顺义区	17.38	18.08	16.68
昌平区	23.74	22.71	21.66
大兴区	15.89	16.03	15.28
怀柔区	40.98	41.28	40.97
平谷区	17.77	18.69	18.62
密云县	52.08	52.42	52.35
延庆县	37.53	39.06	38.98
合计	297.69	299.05	292.12

3 生态系统服务价值重心变化

3.1 力矩平衡点法

力矩平衡点法是美国学者弗朗西斯·沃尔克于

1874 年提出的,对于计算重心分布具有较强的普适性,得到了众多专家的认同,在很多研究中都有应用^[22]。其计算公式为

$$\begin{cases} \bar{X} = \sum_{i=1}^n E_i x_i / \sum_{i=1}^n E_i \\ \bar{Y} = \sum_{i=1}^n E_i y_i / \sum_{i=1}^n E_i \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\bar{X}$ 、 $\bar{Y}$ ——研究区土地生态系统服务价值分布重心的坐标

n ——研究区内区县的数目

E_i ——区县土地生态系统服务总价值

x_i 、 y_i ——各区县政府所在地的相对坐标

本文将北京市 16 个区县所在地的坐标,以及 1993 年、2001 年和 2007 年土地生态系统服务价值,分别按地类和功能区分,代入式(1),计算出各年生态系统服务价值重心的坐标值,并将结果导入 ArcGIS 绘制成图。将 1993 年、2001 年和 2007 年各类土地生态服务价值重心分别连接成三角形,以三角形重心为圆心,到顶点的最长距离为半径做缓冲区,得到价值重心转移范围。当某个区县的土地生态系统服务价值发生变化时,其价值重心也会发生相应的移动,根据重心移动

的轨迹,可以分析土地生态服务价值的变化趋势。

3.2 不同土地类型生态系统服务功能价值重心变化

根据力矩平衡点法分别计算北京市 16 个区县的不同土地利用类型的生态系统服务功能价值的分布重心。如图 2 所示,1~9 分别代表了土地生态系统服务总价值以及耕地、园地、林地、草地、水域、湿地、公园绿地和未利用地 8 种地类的土地生态服务

功能价值。图中红点代表各种土地类型的生态服务功能价值重心,当某区县某个土地类型的生态服务功能价值的分布状况发生变化时,其价值重心也会发生相应的转移。圆圈代表了各类型土地生态服务功能价值重心转移的范围,圆圈直径越大,说明转移范围越大,该类型土地发生的变化就越大。根据价值重心移动的轨迹,可以判断该地区生态系统服务功能价值分布的变化趋势。

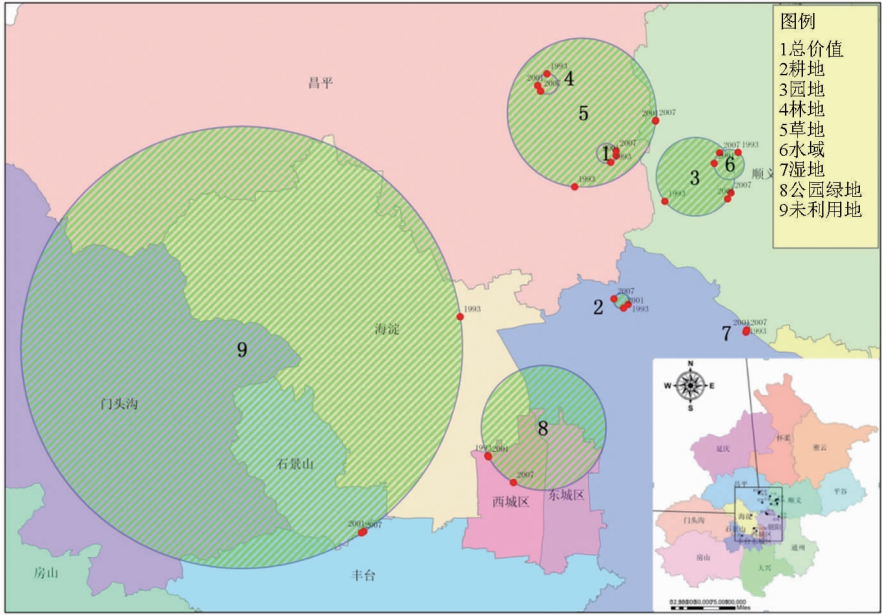


图 2 北京市不同土地类型生态系统服务功能价值重心转移
Fig. 2 Different types of land ecosystem service function value shift in Beijing City

从总体上看,北京市各种价值重心分布是围绕在行政中心周围,证明了北京市行政中心选址较为合理。北京市生态系统服务功能价值重心主要分布在西城区、海淀区、朝阳区、昌平区和顺义区,顺义区分布的价值重心最多。总价值从 1993 年到 2007 年是由南向北、由西向东移动的,2001 年到 2007 年东西方向变化不大。从 1993 年到 2001 年,耕地、草地、湿地的价值重心由南向北移动,对总价值的变化起到了一定的推动作用。公园绿地、未利用地、林地、水域和园地与之相反。2001 年到 2007 年,草地、耕地和湿地的价值重心依旧由南向北移动,但草地重心的变化很小,而湿地变化较小。公园绿地和林地的价值重心,在 2001 年到 2007 年均保持原有方向,由北向南变化,未利用地、水域和园地的价值重心向相反方向变化,但变化幅度不大。

3.3 生态系统服务功能的价值重心变化

根据力矩平衡点法分别计算北京市不同类型生态系统服务功能的价值分布重心。如图 3 所示,1~9 分别代表了废物处理、气候调节、气体调节、生物多样性、食物生产、水源涵养、土壤形成与保护、娱乐文化和原材料 9 种服务功能,红点代表各类服务功

能的价值重心,圆圈代表了不同类型土地生态服务功能的价值重心转移的范围。

由图 3 可知,1993 年到 2007 年,各种生态服务功能的价值重心都分布在行政中心的北部。1993 年到 2007 年,废物处理、气候调节、气体调节、食物生产、土壤形成与保护、娱乐文化的生态服务价值重心的移动方向一致,均是由南向北移动,其中,气体调节还有由西向东移动的趋势;原材料的生态服务价值重心与之相反,呈由北向南移动的趋势;生物多样性的生态服务价值重心体现出由西向东的移动趋势;而水源涵养的价值重心,在 1993 年到 2001 年是由北向南移动,2001 年到 2007 年则是由南向北移动。

3.4 生态系统服务功能的价值重心变化原因分析

北京市生态系统服务价值的重心变化情况与政府决策及城市建设有重要关系,从 20 世纪 90 年代起,北京市城市总体规划的部署 2 个战略转移,为改变人口和产业过分集中的市区的状况,城市建设重点逐步从市区向远郊区作战略转移,市区建设从外延扩展向调整改造转移。因此,从 1993 年到 2007 年,北京市的建设发展主要向北发展,由南向北,建

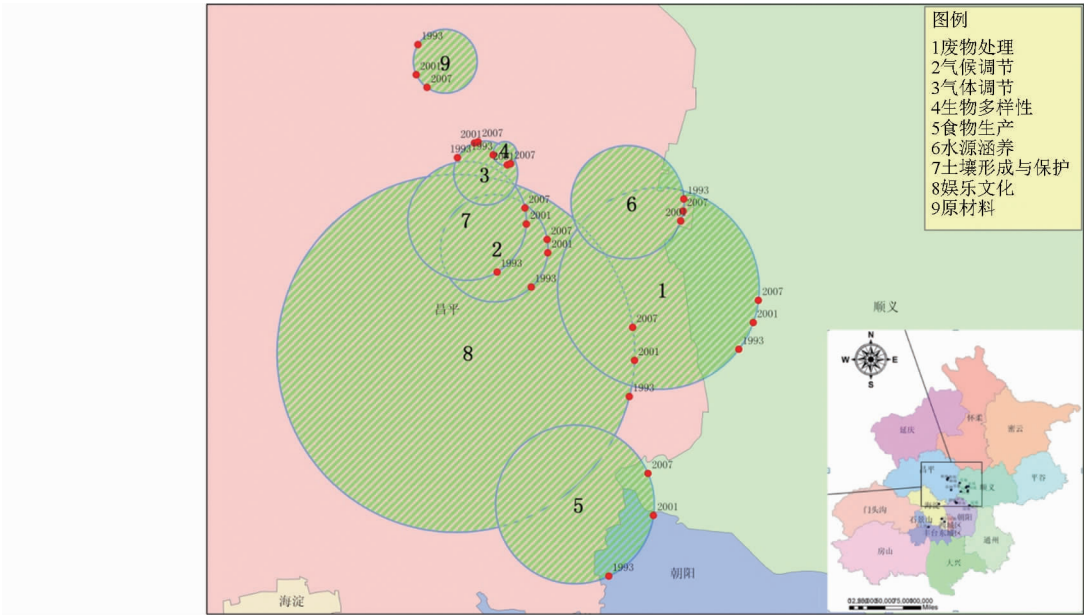


图 3 北京市不同类型生态系统服务功能价值分布重心转移

Fig. 3 Distribution of different types of ecosystem service value shift in Beijing City

设用地拓展迅速,并且大量的占用耕地、未利用土地等用地,同时对园地与水域具有一定的侵占,因此造成上述各类型土地生态系统服务功能价值重心的变化趋势。另外,北京市的市区建设从生态和可持续发展的角度出发,对市区的公园绿地建设、林地保护等措施的力度加强,因此,公园绿地、林地的重心变化方向始终为由北向南,对生态系统服务价值的改善起到了重要作用。

4 结论

(1) 根据 1993 年、2001 年和 2007 年北京 16 个区县的各种生态系统的土地面积和单位面积的生态系统服务价值,计算了各区县的生态系统服务价值。结果表明,从 1993 年到 2007 年,北京市生态系统服务总价值先增加后减少,从 1993 年的 297.69 亿元增加到 2001 年的 299.05 亿元,在 2007 年又降低到 292.12 亿元。由于面积、人口、经济条件等的不同,各区县的生态服务价值存在明显差异,从远郊山区到半山区到城区,各区县的生态系统服务总价值逐步减少。各区县的生态服务价值与总价值的变化趋势相同,多是呈先增加后减少的趋势。

(2) 北京市土地生态系统服务价值分布重心结果表明,从 1993 年到 2007 年,耕地、草地、湿地的价值重心一直由南向北移动,推动了总价值的重心变化;而公园绿地、林地的变化方向始终为由北向南;未利用地、水域和园地的价值重心在 1993 年到 2001 年是由北向南移动,2001 年后向相反方向变化,草地和湿地的变化幅度不大。从 1993 年到

2007 年,废物处理、气候调节、气体调节、食物生产、土壤形成与保护、娱乐文化的生态服务价值中心的移动方向是由南向北移动,其中,气体调节有由西向东移动的趋势;原材料的生态服务价值重心呈由北向南移动的趋势;生物多样性的生态服务价值重心体现出由西向东的移动趋势;而水源涵养的价值重心在 1993 年到 2001 年是由北向南移动,2001 年到 2007 年则是由南向北移动。

(3) 从 1993 年到 2007 年,北京市的建设发展主要向北发展,由南向北,建设用地拓展迅速,大量的占用耕地、未利用土地等用地现象严重,同时减少园地与水域面积,因此造成上述各类型土地生态系统服务功能价值重心的变化趋势。而公园绿地、林地的变化方向始终为由北向南,说明北京市对市区的公园绿地建设力度加强,林地保护等措施对生态系统服务价值的改善有重要作用。以上研究结果启示,在将来的城市建设中,应该在保证区域生态服务价值总量增加的同时,注重区域的土地利用结构及生态功能配置的平衡发展。

(4) 力矩平衡法可以对分类型、分功能的生态系统服务价值的“重心”变化趋势进行分析,结合不同时期生态系统服务价值的变化,可以综合分析生态系统服务价值的时空变化规律,从而可以反馈分析政府决策的生态影响及规律,有利于发现存在的问题,从而为政府下一步对城市规划布局、市政绿地建设、生态环境保护等政策的制定提供支撑,对于北京市的宜居城市的建设有较大的意义。

参 考 文 献

- 1 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.
Guo Rongzhong, Yang Minhua. Ecosystem service value analysis and trend prediction in Chang-Zhu-Tan region[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5): 238-246. (in Chinese)
- 2 Costanza R, de Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- 3 Shi X L, Wang W. Evaluation method of integrated valuation of ecosystem functions and its application;a case study of Kangbao County, Hebei Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008,28(8):3998-4006.
- 4 Wallace K. Ecosystem services: multiple classifications or confusion? [J]. Biological Conservation, 2008, 141:353-354.
- 5 Johnston R J, Russell M. An operational structure for clarity in ecosystem service values [J]. Ecological Economics, 2011, 70(12): 2243-2249.
- 6 He Y B, Chen, Y Q, Tang Huajun, et al. Exploring spatial change and gravity center movement for ecosystem services value using a spatially explicit ecosystem services value index and gravity model [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 175(1):563-571.
- 7 Holzman D C. Accounting for nature's benefits the dollar value of ecosystem services [J]. Environmental Health Perspectives, 2012, 120(4):153-157.
- 8 刘旭,赵桂慎,邓永智,等. 基于 TM 遥感技术的永定河生态系统服务价值评估模型及应用[J]. 水生态学杂志, 2011,32(5): 6-12.
Liu Xu, Zhao Guishen, Deng Yongzhi, et al. Evaluation model and application of ecosystem service value based on TM remote sensing in Yongding River [J]. Water Ecology Magazine, 2011,32(5):6-12. (in Chinese)
- 9 井美娟,贾宁凤,姚亚敏. 区域土地利用生态系统服务价值估算与修正-以山西省河曲县沙坪村为例[J]. 生态环境, 2012(3):150-152.
Jing Meijuan, Jia Ningfeng, Yao Yamin. Land use ecosystem service value evaluation and correction in regional areas;a case study on Shaping Village in Hequ County of Shanxi [J]. Ecological Environment, 2012(3):150-152. (in Chinese)
- 10 Olaf B. The role of biodiversity in supporting ecosystem services in Natura 2000 sites [J]. Ecological Indicators, 2013, 24:12-22.
- 11 Heubes J, Heubach K, Schmidt M, et al. Impact of future climate and land use change on non-timber forest product provision in Benin, West Africa: Linking niche-based modeling with ecosystem service values [J]. Economic Botany, 2012,66(4): 383-397.
- 12 Voinov A, Fitz C, Boumans R, et al. Modular eco-system modeling [J]. Environmental Modelling & Software, 2004, 19(3): 285-304.
- 13 Cowling R M, Ego B, Knight A T, et al. An operational model for main streaming ecosystem services for implementation [J]. PNAS, 2008, 105(28):9483-9488.
- 14 岳天祥,马胜男,李镇清,等. 生态多样性与生态系统服务功能的多尺度比较分析——以内蒙古自治区锡林郭勒盟白音锡勒的草地生态系统为例[J]. 资源科学, 2006,28(4):11-18.
Yue Tianxiang, Ma Shengnan, Li Zhenqing, et al. A comparative analysis of ecological diversity and ecosystem functions on multi-spatial resolutions [J]. Resources Science, 2006,28(4):11-18. (in Chinese)
- 15 Scolozzi R, Morri E, Santolini R. Delphi-based change assessment in ecosystem service values to support strategic spatial planning in Italian landscapes [J]. Ecological Indicators, 2012, 21:134-144.
- 16 Deng H B, Zheng P, Liu T X, et al. Forest ecosystem services and eco-compensation mechanisms in China [J]. Environment Management, 2011,48(6):1079-1085.
- 17 蒋力,徐霞,刘颖慧,等. 基于土地利用-生态系统耦合模型的生态系统服务价值评估——以中国北方农牧交错带为例[J]. 天津农业科学, 2014(1):74-81.
Jiang Li, Xu Xia, Liu Yinghui, et al. Evaluation of ecosystem service value based on land use-terrestrial ecosystem coupled model-a case study from the farming-grazing transitional zone of Northern China[J]. Tianjin Agriculture Science, 2014(1):74-81. (in Chinese)
- 18 胡喜生. 福州土地生态系统服务价值空间异质性及其与城市化耦合的关系[D]. 福州:福建农林大学, 2012.
Hu Xisheng. Spatial heterogeneity of land ecosystem service value and the coupling relationship between it and urbanization[D]. Fuzhou:Fujian Agriculture and Forestry University, 2012. (in Chinese)
- 19 高玲,赵督杰,张浩,等. 基于生境质量与生态区位的海口市生态系统服务价值估算[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2012,48(5): 833-840.
Gao Ling, Zhao Dujie, Zhang Hao, et al. Adjustment of Haikou City ecosystem services value based on habitat quality and ecological location[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2012,48(5): 833-840. (in Chinese)
- 20 谢高地,张钊铨,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.
Xie Gao Di, Zhang Yili, Lu Chunxia, et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China[J]. Journal of Natural Resources, 2001,16(1): 47-53. (in Chinese)
- 21 唐秀美,陈百明,路庆斌,等. 北京市土地利用生态分类方法[J]. 生态学报, 2011,31(14):3902-3909.
Tang Xiumei, Chen Baiming, Lu Qingbin, et al. Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011,31(14):3902-3909. (in Chinese)
- 22 周尚意,李新,董蓬勃. 北京郊区化进程中人口分布与大中型商场布局的互动[J]. 经济地理, 2003,23(3): 333-337.
Zhou Shangyi, Li Xin, Dong Pengbo. Interaction between population distribution and department stores distribution at the beginning of the Beijing city's suburbanization[J]. Economic Geography, 2003,23(3): 333-337. (in Chinese)