

张家口市生态服务价值对土地利用变化的响应

常上¹ 李珊珊² 宋豫秦^{1,†}

1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 国家环境保护工业废水污染控制工程技术北京中心, 北京 100037; †通信作者, E-mail: yqsong@pku.edu.cn

摘要 基于土地利用变化以及生态系统服务功能的理论研究, 对河北省张家口市 1990, 2000 和 2008 年的生态服务价值进行估算, 探讨土地利用对生态服务功能的影响。结果表明: 张家口市土地利用类型以耕地、草地和林地为主, 草地面积减少和建设用地面积增加幅度较大。不同土地类型产生的生态系统服务价值从大到小依次为林地、耕地、草地、水域、湿地, 其中林地、耕地、草地产生的价值之和约占总价值的 90%。生态系统服务总价值在 1990—2008 年总体上呈下降趋势, 尤其 2000—2008 年减少幅度显著, 其中草地、湿地的减幅最大。在各项生态系统服务功能中, 价值结构变化不大, 1990—2000 年气候调节的服务价值显著减少, 原材料和水源涵养的服务价值增加幅度较大; 2000—2008 年由于湿地和耕地面积的增加, 尤其是湿地面积的增加, 气候调节和食物生产的服务价值随之增加, 其他服务功能价值均减少。

关键词 土地利用; 生态系统; 生态服务价值; 张家口市

中图分类号 X171; F301

Response of Ecosystem Service Value to Land Use Change in Zhangjiakou

CHANG Shang¹, LI Shanshan², SONG Yuqin^{1,†}

1. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871; 2. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, State Environmental Protection Engineering (Beijing) Center for Industrial Wastewater Pollution Control, Beijing 100037;

† Corresponding author, E-mail: yqsong@pku.edu.cn

Abstract Based on land use data in 1990, 2000 and 2008, and previous theoretical research on land use and ecosystem service value, the authors estimated the ecosystem service value of this three years in Zhangjiakou City and examined the effects of land use change on ecosystem services value, in order to provide useful references for city development planning. Results indicated that the main land use types of Zhangjiakou are farmland, grassland and woodland, grassland decreased and construction land increased significantly. Ecosystem service value of different land use types are sorted in a descending order: woodland, farmland, grassland, water body and wetland; woodland, farmland and grassland contributed about 90% of the total service value. The total ecosystem service value of land use from 1990 to 2008 was on a declining curve, which was mainly due to the decrease in grassland and wetland. As for the service value of single service function, from 1990 to 2000, climate regulation decreased obviously, while raw material and water supply increased significantly; from 2000 to 2008, only climate regulation and food production's service value increased.

Key words land use; ecosystem; ecosystem service values; Zhangjiakou

土地是人类赖以生存的最基本的自然资源,土地利用是人类有目的地开发利用土地资源的一切活动^[1]。作为人类活动与自然交叉最为密切的环节,土地利用变化是目前全球变化研究的核心主题之一^[2-4]。生态系统服务功能是生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[5],是人类生存与发展的必要条件,土地利用类型的变化将直接导致生态系统结构的变化,进而影响生态系统服务功能。

国内外不少学者对生态服务功能进行了定量研究^[6-17]。国际上开展了对不同区域、不同生态服务功能价值的估算及评价方法的研究^[6-10],探索将自然资本纳入到经济发展体系。其中具有代表性的是 Costanza 等^[12]将生态系统服务功能划分为气候调节、水分调控、控制水土流失等 17 种功能,并在此基础上对全球生物圈生态系统服务价值进行估算。谢高地等^[13]参考 Costanza 等的研究成果,结合国内实际,得出中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表,为区域土地利用变化与生态环境演变搭建了定量评价的桥梁。在此基础上,我国很多学者广泛开展了土地利用对生态系统影响的研究^[11,14-17]。用货币形式量化土地利用所提供的产品与服务是区域土地资源优化配置的最直接体现,成为土地科学和生态经济学交叉研究的热点。但这些研究的时间尺度并不长,且研究中主要以各土地利用类型的净变化分析为主,忽略了土地利用动态变化的空间过程及相关属性,同时在实例选取方面内陆生态脆弱的典型城市较少涉及。

河北省张家口市地处内蒙古高原向华北平原的过渡区,是生态脆弱、经济贫困的耦合区域,且生态区域地位特殊,处于“京津冀都市圈”的上风上水带,是北京的重要生态屏障,担负着生态保护和水源涵养的重要职能,属于首都生态圈的核心区域。自 20 世纪 70 年代以来,国家在该市及其周边地区实施了一系列重大生态工程,但该地区环境整体恶化趋势并未得到根本逆转。鉴于研究该区域的土地利用变化及其对生态系统的影响对于区域土地资源可持续利用和生态环境保护意义重大,本文在分析 1990—2008 年张家口市土地利用变化的基础上,评价其生态系统服务价值对土地利用数量和结构变化的响应,以期为张家口市土地资源优化配置和实现社会经济可持续发展提供一定的决策支持。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

张家口位于河北省西北部,地处京、冀、晋、蒙四省市交界处,东临首都北京,西连“煤都”大同,南接华北腹地,北靠内蒙古高原,是沟通中原与北疆、连接京津冀城市圈与西部资源富集区的纽带。全市辖 4 区 13 县,总面积约 360 万公顷,人口约 450 万,在河北省属地广人稀地区(图 1)。区域内土地类型多样,草原和林地面积较大,山地与丘陵广布,河川盆地水利条件相对略好,土地后备资源充足,开发利用潜力大。全市地势西北高、东南低,以大马群山分水岭为界,分为北部坝上和南部坝下两个自然区域。坝上高原区占张家口总面积的 1/3,包括尚义县套里庄、张北县狼窝沟、赤城县独石口一线以北的沽源、康保、尚义和张北四县的广阔区域。坝下低中山盆地主要有洋河盆地、怀涿盆地、蔚县盆地、阳原盆地,盆地内有河流通过,两岸分布肥沃的耕地。境内洋河、桑干河横贯张家口市东西,汇入怀来县境内的官厅水库。

张家口处于内蒙古高原和华北平原的交接带、

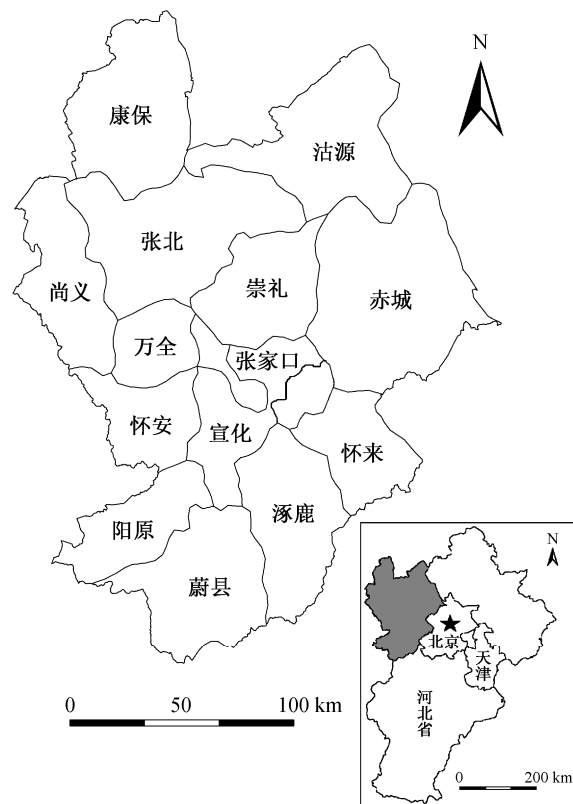


图 1 研究区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

湿润向干旱的过渡带、农业和牧业的交错带,存在高度的生态压力和多组分相互作用的激烈张力。这种特有的自然地理环境,形成了系统层次结构简单、生物多样性减少、自我调节能力差的脆弱生态系统。同时因其处于北京的上风上水带,使两地具有生态功能一体化态势,尤其风沙危害、水污染和水资源短缺对北京影响甚大。因此,张家口生态区位特殊而重要,该区域生态系统的质量不仅关系到当地经济社会的可持续发展,也关系到首都圈的生态安全和社会发展。

1.2 数据来源

本文数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心张家口地区 1990, 2000 和 2008 年 3 个时段 1:10 万的土地利用类型数据。其中,土地利用类型分为森林、草地、耕地、湿地、水域、未利用地和建设用地等七类。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用数量变化及转移矩阵

土地利用数量变化用研究时段内土地利用类型面积变化表示,通过分析土地利用类型的总量变化,可以了解土地利用变化总的态势和土地利用结构的变化^[18]。土地利用转移矩阵是利用 GIS 软件的空间叠加功能进行矢量图形叠加,生成动态变化图,获得动态变化数据库,从而得到两个时段之间土地利用类型转移矩阵,进而可以分析各种土地利用类型之间的相互转化情况。

1.3.2 生态服务价值确定

1) 生态服务价值系数(VC)的确定。

谢高地等^[13]在 Costanza 研究模型的基础上,结合中国的实际情况,将生态系统服务功能划分为气体调节、气候调节、水源涵养等九项,通过对中国 200 位生态学者进行问卷调查,得到“中国生态系统服务价值当量因子表”,本文参考其对生态价值的区域修正系数^[19](河北省为 1.02),计算出张家口市每个当量的生态服务价值为 884.86 元。根据已有研究和张家口市的具体情况,把每种土地利用类型与最接近的生态系统类型联系起来,从而给出每种土地利用类型单位面积的生态服务价值(表 1)。其中,建设用地自身具有一套估计生态服务价值的方法^[20-21],因此本研究未对其进行生态服务赋值和计算。

2) 生态服务价值(ESV)的计算。

参照不同土地类型的生态系统服务价值系数,采用 Costanza 等^[12]的计算公式,并应用谢高地等^[13]的陆地生态系统单位面积生态服务价值表,估算张家口市生态系统服务价值,计算公式为

$$ESV = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_i VC_{ij}$$

ESV 为研究区生态系统服务价值, A_i 为第 i 种土地利用类型的面积, VC_{ij} 为第 i 种土地利用类型第 j 种生态系统服务价值的系数, i 为土地利用类型, j 为生态系统服务功能的类型。

表 1 张家口市不同土地利用类型单位面积生态服务价值
Table 1 Ecosystem services value of unit area of different ecosystem types in Zhangjiakou

生态服务	生态服务价值/(元·hm ⁻² ·a ⁻¹)					
	森林	草地	耕地	湿地	水域	未利用地
气体调节	3097.0	707.9	442.4	1592.7	0	0
气候调节	2389.1	796.4	787.5	15130.9	407.0	0
水源涵养	2831.5	707.9	530.9	13715.2	18033.2	26.5
土壤形成与保护	3450.9	1725.5	1291.9	1513.1	8.8	17.7
废物处理	1159.2	1159.2	1451.2	16086.6	16086.6	8.8
生物多样性保护	2884.6	964.5	628.2	2212.2	2203.3	300.8
食物生产	88.5	265.5	884.9	265.5	88.5	8.8
原材料	2300.6	44.2	88.5	61.9	8.8	0
娱乐文化	1132.6	35.4	8.8	4910.9	3840.2	8.8
合计	19334.0	6406.5	6114.3	55489.0	40676.4	371.4

1.3.3 敏感性分析

为了更好地分析生态服务价值系数(VC)的准确性及对计算结果的影响程度,在相关研究^[22-23]的基础上,同时考虑到许多学者都将 VC 上下调整 50% 和计算方便,本文也将各个土地利用类型的 VC 上下调整 50%,采用敏感度指数(CS),表明 ESV 对 VC 的敏感程度,计算公式为

$$CS = \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}}$$

ESV 为总生态系统服务价值, VC 为价值系数, *i* 和 *j* 代表初始价值和生态价值系数调整以后的价值, *k* 为第 *k* 种土地利用类型。如果 CS>1, 说明 ESV 对 VC 是敏感的、富有弹性的; 如果 CS<1, 说明 ESV 对 VC 是不敏感的、缺乏弹性的。CS 越小, 表明 VC 取值越准确, 越符合该地区的实际情况。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

张家口市土地利用类型面积从大到小依次为耕地、草地、林地、建设用地、水域、湿地。根据表 2 和 3 可得研究区各土地利用类型面积及其变化过程。分析表明, 张家口市各土地利用类型均发生了不同程度的变化, 土地利用类型以耕地、草地和林地为主, 这 3 种土地利用类型所占比例接近 90%。其中耕地面积最大, 所占比例约 45%, 在 1990—2008 年间持续缓慢增长, 净增长量为 9552.38 hm², 主要来自于草地和未利用地的开垦。林地面积总量基本上保持稳定且稍有增长, 1990—2008 年间净增长量为 2019.75 hm², 这主要在于 1990—2000 年间退耕还林政策的实施, 而在 2000—2008 年间部分林地被

转化为建设用地。草地面积呈不断减少之势, 1990—2008 年间净减少量为 15758.56 hm², 其中 2000—2008 年减少速率最快, 主要转化为耕地和建设用地。水域、湿地面积在 1990—2008 年间总体减少, 其中水域面积先增后减, 湿地面积先减后增, 且变化幅度均较大。湿地在 1990—2008 年间大面积转化为水域, 而在 2000—2008 年水域主要转化为湿地和耕地。建设用地面积在不断增长, 1990—2008 年间净增长量为 10290.49 hm², 2000—2008 年增长量为 7003.38 hm², 主要由耕地和草地转化而来。这些数据表明, 近年来张家口市耕地虽然被建设用地大面积侵占, 但通过开垦草地实现了稳定缓慢增长。林地面积虽然在退耕还林措施的推动下有所增加, 但建设用地的占用导致其总体增加趋势不显著。草地面积在不断减少, 且减少速度在加快。随着城市化进程的加快, 建设用地随之大幅度增长, 尤其是 2000—2008 年增长速度加快。

综上所述, 近 18 年来张家口市各类土地利用类型的变化趋势是: 耕地、林地面积缓慢增加; 建设用地增幅显著, 且增长速度不断加快; 草地面积减少较快; 水域、湿地面积总量均减少, 水域先增后减, 湿地先减后增。

2.2 生态系统服务价值变化分析

利用表 1 的数据和 ESV 的计算公式, 分别计算出张家口市 1990, 2000 和 2008 年各土地利用类型的生态系统服务价值、各时段变化值及各项生态服务功能的价值 (表 4 和 5)。

根据表 4 可以得出不同土地利用类型的生态服务功能价值及变化。各土地利用类型的生态系统服务价值从大到小依次为: 林地、耕地、草地、水

表 2 张家口市 1990—2008 年各土地利用类型面积变化
Table 2 Area change of each land use type from 1990 to 2008

土地利用类型	1990 年		2000 年		2008 年		1990—2000 年 变化值/hm ²	2000—2008 年 变化值/hm ²	1990—2008 年 变化值/hm ²
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%			
林地	668330.31	18.6	670442.1	18.6	670350.06	18.6	2111.80	-92.05	2019.75
草地	967184.06	26.9	960106.69	26.7	951425.5	26.4	-7077.37	-8681.19	-15758.56
耕地	1742485.31	48.4	1747335.96	48.5	1752037.69	48.6	4850.65	4701.73	9552.38
湿地	22785.06	0.6	19980.33	0.6	21438.84	0.6	-2804.73	1458.51	-1346.22
水域	34000.79	0.9	36465.15	1.0	33735.11	0.9	2464.36	-2730.04	-265.68
未利用地	87639.54	2.4	84808.63	2.4	83146.27	2.3	-2830.91	-1662.36	-4493.28
建设用地	78994.84	2.2	82281.94	2.3	89285.32	2.5	3287.10	7003.38	10290.49

表 3 张家口市 1990—2008 年土地利用类型面积转移矩阵
Table 3 Transition matrix of land use area from 1990 to 2008

hm²

土地利用类型	1990—2000 年							总计
	林地	草地	耕地	湿地	水域	未利用地	建设用地	
林地	667095.38	825.41	409.45	0.02	0.01	0	0.04	668330.31
草地	371.59	958982.22	7698.26	0.07	42.32	0.12	89.49	967184.06
耕地	2881.78	253.96	1735901.82	0.09	152.15	97.37	3198.14	1742485.31
湿地	93.12	0.09	0.08	19913.65	2559.96	218.15	0.01	22785.06
水域	0.02	14.52	208.95	66.5	33710.69	0.01	0.10	34000.79
未利用地	0.03	29.74	3116.79	0	0.02	84492.9	0.05	87639.54
建设用地	0.04	0.24	0.37	0.01	0.01	0.05	78994.12	78994.84
总计	670441.96	960106.19	1747335.71	19980.33	36465.15	84808.62	82281.95	3601419.9

土地利用类型	2000—2008 年							总计
	林地	草地	耕地	湿地	水域	未利用地	建设用地	
林地	669322.01	5.92	527.15	13.30	0	0	573.53	670441.91
草地	93.84	951258.66	7318.8	36.82	137.94	0.04	1259.85	960105.95
耕地	784.93	20.32	1740282.15	37.32	694.41	300.93	5215.01	1747335.08
湿地	0	0.04	347.02	19611.66	21.61	0	0	19980.33
水域	149.28	140.39	1513.58	1730.67	32596.82	329.68	4.72	36465.13
未利用地	0	0.12	1989.28	8.80	274.72	82515.62	19.99	84808.52
建设用地	0	0.04	59.71	0.27	9.60	0	82212.22	82281.85
总计	670350.06	951425.50	1752037.69	21438.84	33735.11	83146.27	89285.32	3601418.78

域、湿地、未利用地，其中林地、耕地、草地的 ESV 约占 ESV 总量的 90%，从 1990 到 2008 年各种土地利用类型服务价值的比例变化不大。1990—2008 年张家口市生态系统服务总价值呈现总体减少态势，尤其 2000—2008 年减少幅度显著。其中草地、湿地的价值减少量最大，草地的服务价值一直在减少，湿地的服务价值虽然在 2000—2008 年出现增长，但不足以弥补其在 1990—2000 年的损失量。

根据表 5 可以得出各项生态系统服务功能产生的价值及其变化趋势。在各项生态系统服务功能中，土壤形成与保护的服务价值最大，其他依次为废物处理、水源涵养、生物多样性保护、气候调节、气体调节、食物生产、原材料、娱乐文化。总体来看，各项功能的价值结构变化不大。在 1990—2000 年期间，气体调节、气候调节、土壤形成与保护、废物处理和娱乐文化的的服务价值在减少，其中气候调节的变化率最大，这主要与气候调节价值系数较高的湿地面积的减少有关。而水源涵养、生物

多样性保护、食物生产、原材料的服务价值在增加，其中原材料和水源涵养的变化较显著，这主要是与原材料和水源涵养价值系数较高的林地和水域面积的增加有关。在 2000—2008 年期间，由于气候调节和食物生产价值系数较高的湿地和耕地面积在增加，尤其是湿地面积增加显著，因而该期间仅有气候调节和食物生产的服务价值在增加，其他服务价值均有所减少。

2.3 空间分布

将单位面积的生态服务价值分成 4 个等级，得出 3 个时期的生态服务价值空间分布特征(图 2)。高于 2×10^4 元/hm² 的地区集中分布在西北坝上高原的湿地和东南官厅水库地区，另外，在湖泊、河流等水域地区也有零星分布。 $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4$ 元/hm² 的区域集中在东部的林地地区。低于 1×10^4 元/hm² 的区域分布较为广泛，这部分土地利用类型主要是耕地和草地。其中，小于 1000 元/hm² 的低服务价值区域主要是建设用地，呈点状扩散趋势，尤其是 2000—2008 年的变化更明显，反映城市化进程的加快。

表 4 张家口市 1990—2008 年生态系统服务价值
Table 4 Ecosystem service value of Zhangjiakou from 1990 to 2008

土地利用类型	1990 年		2000 年		2008 年	
	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%
林地	1292149.8	39.82	1296232.8	39.98	1296054.8	40.05
草地	619626.5	19.09	615092.4	18.97	609530.7	18.84
耕地	1065407.8	32.83	1068373.6	32.95	1071248.4	33.10
湿地	126432.0	3.90	110868.8	3.42	118962.0	3.68
水域	138303.0	4.26	148327.1	4.58	137222.3	4.24
未利用地	3254.9	0.10	3149.8	0.10	3088.1	0.10
合计	3245174.0	100	3242044.0	100	3236106.0	100

土地利用类型	1990—2000 年		2000—2008 年		1990—2008 年	
	变化量/万元	变化率/%	变化量/万元	变化率/%	变化量/万元	变化率/%
林地	4082.9	0.32	-178.0	-0.01	3905.0	0.30
草地	-4534.1	-0.73	-5561.6	-0.90	-10095.7	-1.63
耕地	2965.8	0.28	2874.8	0.27	5840.6	0.55
湿地	-15563.2	-12.31	8093.1	7.30	-7470.1	-5.91
水域	10024.1	7.25	-11104.8	-7.49	-1080.7	-0.78
未利用地	-105.1	-3.23	-61.7	-1.96	-166.9	-5.13
合计	-3129.5	-0.10	-5938.2	-0.18	-9067.8	-0.28

表 5 张家口市 1990—2008 年单项服务功能生态系统服务价值
Table 5 Single ecosystem service value of Zhangjiakou from 1990 to 2008

生态系统服务功能	排序	ESV/万元			1990—2000 年		2000—2008 年	
		1990 年	2000 年	2008 年	变化量/万元	变化率/%	变化量/万元	变化率/%
气体调节	6	356165.4	356086.3	355883.5	-79.1	-0.02	-202.7	-0.06
气候调节	5	409777.7	405957.1	407709.7	-3820.6	-0.93	1752.6	0.43
水源涵养	3	443009.9	443954.2	440636.0	944.2	0.21	-3318.2	-0.75
土壤形成与保护	1	626266.0	625973.0	625266.1	-293.0	-0.05	-706.9	-0.11
废物处理	2	533884.5	533462.8	531081.2	-421.7	-0.08	-2381.6	-0.45
生物多样性保护	4	410702.5	410771.1	409873.8	68.6	0.02	-897.4	-0.22
食物生产	7	186769.0	186973.8	187171.7	204.9	0.11	197.9	0.11
原材料	8	173623.0	174105.3	174094.0	482.3	0.28	-11.3	-0.01
娱乐文化	9	104975.9	104760.8	104390.2	-215.1	-0.20	-370.6	-0.35

2.4 敏感性分析

将各个土地利用类型的价值系数上下调整 50%，计算价值系数的敏感度(CS)，结果见表6。从表 6 可以看出，研究区各土地利用/覆盖类型的生态系统服务价值的敏感性指数(CS)均小于 1，表明相

对于生态系统服务价值系数，研究区生态系统总服务价值缺乏弹性。结果表明，无论本次研究对生态系统服务价值系数的估计值偏高或偏低，对于估算的生态系统服务总价值影响都较小，研究结果是可靠的。

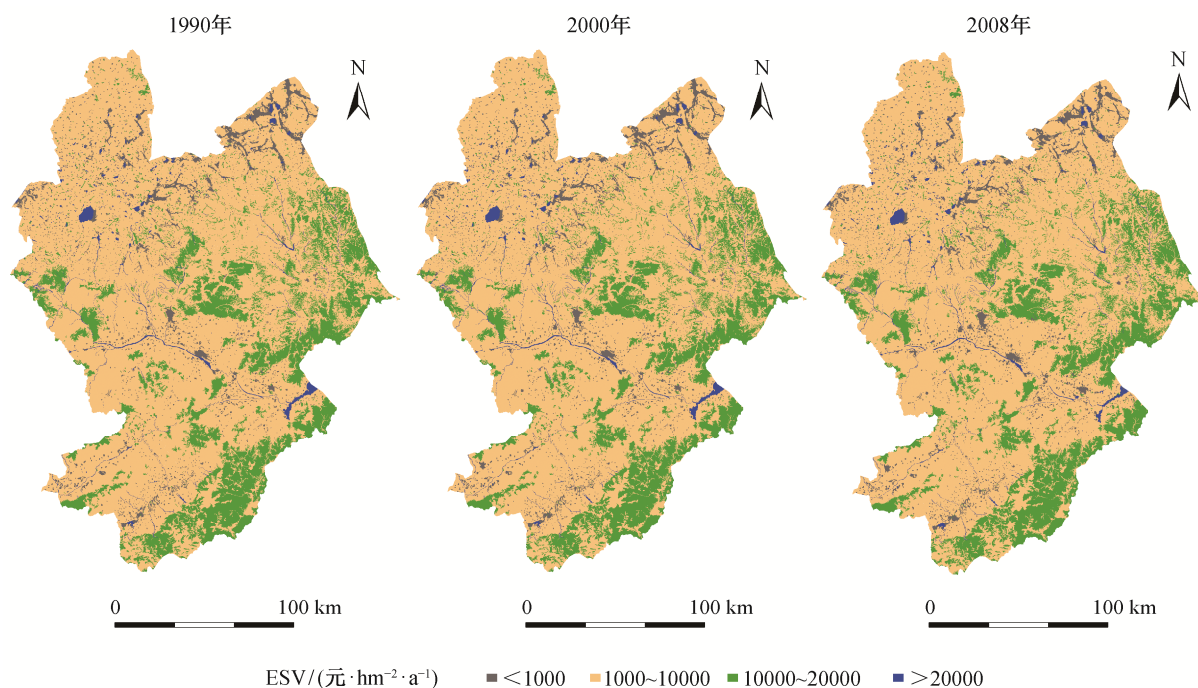


图2 张家口市1990—2008年单位面积生态服务价值分布
Fig. 2 Distribution of the ecosystem service value in Zhangjiakou in 1990, 2000 and 2008

表6 生态系统服务价值敏感性指数变化
Table 6 Coefficient of sensitivity change table of ecosystem service values

土地类型	1990年	2000年	2008年
林地	0.398	0.400	0.400
草地	0.191	0.190	0.188
耕地	0.328	0.330	0.331
湿地	0.039	0.034	0.037
水域	0.043	0.046	0.042
未利用地	0.001	0.001	0.001

说明：价值系数VC上下调整50%。

3 结论与讨论

本文中生态系统服务总价值主要取决于各类用地的生态服务价值系数和区域土地利用结构，在前者不变的条件下，生态系统服务价值就只与区域土地利用结构有关，土地利用结构特征及其变化成为生态系统服务功能构成及其变化的直接原因。1990—2008年张家口市生态系统服务总价值呈现减少趋势，尤其是2000—2008年减少幅度显著，表明近年来研究区张家口市土地利用变化对生态系统具有负效应，土地利用结构从宏观角度上具有不

可持续性，亟待调整。

从土地利用结构变化特点看，张家口市土地利用类型以耕地、草地和林地为主，这3种土地利用类型所占比例接近90%，构成张家口市土地利用结构的基本格局。其中草地面积在不断减少且变化显著，成为生态系统服务总价值减少的主要因素。草地面积的减少主要与区域生态基础脆弱、人为过度开垦等造成的草场退化有关，因此科学禁牧、退耕还草恢复草原生态势在必行且刻不容缓。从生态系统服务价值构成看，林地各个时间点的服务价值贡献率最大，林地面积的变化对区域总的生态系统服务价值具有关键性影响，可见京津风沙源治理、退耕还林工程、京张合作造林等林业项目建设的重要性。另外湿地占地面积虽小，约占总面积的0.6%，但其产生的服务价值却接近4%，其价值的变化对总体价值的变化起到关键的作用，在生态环境保护和建设时应予以特别关注。从生态服务功能类型看，各项功能的价值结构变化不大，服务功能价值从大到小依次为土壤形成与保护、废物处理、水源涵养、生物多样性保护、气候调节、气体调节、食物生产、原材料、娱乐文化。

本文采用 Costanza 等^[12]的方法及谢高地等^[13]的当量因子法计算张家口地区生态系统服务价值，

该方法以货币形式得到生态系统服务价值, 虽然易于计算和比较, 但与当地生态系统所具有的实际服务价值之间并不能完全等同, 换言之, 其精度尚需进一步的量化分析。另外, 本研究忽略了建设用地对生态系统服务价值变化的影响, 增加了结果的不确定性。因此, 本文的主要作用不在于计算生态服务的绝对价值, 而在于探讨张家口地区生态服务功能的相对变化及其原因。

参考文献

- [1] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展. *经济地理*, 2001, 21(1): 95-100
- [2] Turner B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104(52): 20666-20671
- [3] 刘纪远, 张增祥. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. *中国科学: D 辑*, 2002, 32(12): 1031-1040
- [4] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域. *地理学报*, 1996, 51(6): 553-558
- [5] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640
- [6] Bloom D E, Canning D, Fink G. Urbanization and the wealth of nations. *Science*, 2008, 319: 772-775
- [7] Daily G C. Management objectives for the protection of ecosystem services. *Environmental Science & Policy*, 2000, 3(6): 333-339
- [8] Turner R K, Paavola J, Cooper P, et al. Valuing nature: lessons learned and future research directions. *Ecological Economics*, 2003, 46(3): 493-510
- [9] 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
- [10] Carpenter S R, Mooney H A, Agard J, et al. Science for managing ecosystem services: beyond the millennium ecosystem assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(5): 1305-1312
- [11] 杨光梅, 李文华, 闵庆文. 生态系统服务价值评估研究进展. *生态学报*, 2006, 26(1): 205-212
- [12] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15
- [13] 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
- [14] 梁欣, 臧淑英, 张思冲. 基于土地利用变化的生态服务价值损益估算: 以大庆市为例. *自然灾害学报*, 2006, 15(2): 68-72
- [15] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响. *地理学报*, 2007, 62(8): 879-886
- [16] 冉圣宏, 吕昌河, 贾克敬, 等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价. *环境科学*, 2006, 27(10): 2139-2144
- [17] 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. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3): 21-25
- [18] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87
- [19] 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
- [20] 李锋, 王如松. 城市绿色空间生态服务功能研究进展. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 527-531
- [21] 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展. *生态学报*, 2000, 20(5): 830-840
- [22] Curtis I A. Valuing ecosystem goods and services: a new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes. *Ecological Economics*, 2004, 50(3): 163-194
- [23] 潘小春. 利润敏感性分析: 利用函数的弹性求利润的敏感系数. *经济师*, 2005(9): 121-122