

基于需求的京津冀地区生态系统 服务价值时空变化研究

唐秀美^{1,2} 刘玉^{1,2} 任艳敏^{1,2,†} 周艳兵^{1,2}

1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;

† 通信作者, E-mail: Renym@nercita.org.cn

摘要 在分析生态系统服务供需逻辑关系的基础上选择指标, 评估京津冀地区生态系统服务需求状况, 划定需求类型区。基于2000和2015年土地利用现状数据, 分析生态系统服务价值的时空变化, 并提出相应的土地利用策略。结果表明: 1) 人类对生态系统有物质、环境和文化三大需求, 对应生态系统供给、调节、支持和文化4大功能中的9项服务, 可以从人口数量、经济水平、产业发展和教育水平4个方面来评估; 2) 京津冀地区生态系统服务需求空间差异较大, 可以划分为极高需求区、高需求区、中需求区和低需求区; 3) 在所研究的时段内, 京津冀地区生态系统服务总价值降低, 县域生态系统服务总价值和地均价值在空间上呈现总体上从北往南逐步降低的特征; 4) 不同需求类型区的生态系统服务价值分布不均衡, 2000—2015年间各类型区价值都有所降低, 不同类型区的土地利用策略不同。

关键词 生态系统服务; 需求; 价值评估; 京津冀地区

Evaluation and Analysis of Ecosystem Services Value in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Demand Zoning

TANG Xiumei^{1,2}, LIU Yu^{1,2}, REN Yanmin^{1,2,†}, ZHOU Yanbing^{1,2}

1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097;

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097;

† Corresponding author, E-mail: Renym@nercita.org.cn

Abstract Based on the analysis of the logical relationship between supply and demand of ecosystem services, this study evaluates the demand status of ecosystem services in Beijing-Tianjin-Hebei region, delimits the demand type areas, calculates the spatial and temporal changes of ecosystem services value (ESV) based on land use status maps in 2000 and 2015, and puts forward corresponding land use strategies. The result is as follows. 1) Human beings have material, environmental and cultural needs for ecosystem. The demand for ecosystem services can be evaluated from four aspects: population, economic level, industrial development and educational level, corresponding to the nine services of the four functions of ecosystem, including supply, regulation, support and culture; 2) There is a large gap in the demand for ecosystem services in Beijing-Tianjin-Hebei region, which can be divided into four types: extremely high demand area, high demand area, medium demand area and low demand area. 3) From 2000 to 2015, the total value of ecosystem services in Beijing-Tianjin-Hebei region decreased. At county level, the total value of ecosystem services and the average value of land decreased gradually from north to south in space; 4) The value distribution of ecosystem services in different demand areas was unbalanced. From 2000 to 2015, the value of all types of areas has decreased, and the land use strategies of different types of areas are different.

Key words ecosystem services; demand; value assessment; Beijing-Tianjin-Hebei region

20世纪90年代以来,生态系统服务研究成为生态学和生态经济学等领域的热点。生态系统服务是生态系统形成和维持的人类赖以生存和发展的环境条件与效用^[1],是人类直接或者间接地从生态系统中获得的产品和服务^[2]。近年来,学者们开始关注生态系统服务供需关系。生态系统服务的供给指生态系统为人类生产产品与服务,反映的是自然系统的效用。生态系统服务的需求指人类对生态系统生产的产品与服务的期望、消费或者使用^[3-6],反映人类的需求和福祉^[7]。目前,对生态系统服务供给的研究相对较多,主要参考千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment, MA)的分类体系^[8],采用模型计算和生态足迹等量化方法^[9-11],揭示生态系统服务的时空变化^[12-14]。近年来,关于生态系统服务需求的研究逐渐增多,且集中于以下几方面:一是选取指标评价区域生态系统服务需求程度^[15];二是量化某一种或几种生态系统服务的需求量^[16];三是基于土地利用类型构建需求矩阵,区分不同地类生态系统服务的差距^[17-18]。生态系统服务供需关系较为复杂,并且在空间上错位分布,因此在空间上合理表现区域的供需状况成为亟待深入研究的问题^[19]。目前,关于生态系统服务供给需求的研究多集中于中小尺度,多以流域、山区和盆地等地形条件为研究区,针对区域尺度的研究较少^[20-21]。

京津冀地区是我国最重要的政治和文化中心,也是我国北方最大和发展程度最高的经济核心区。近年来,随着京津冀一体化的推进,京津冀地区的土地覆被与利用处于不断调整中,城镇建设、交通发展和产业对接都对土地利用产生较大的影响^[22],进而影响生态系统服务供给。同时,区域自然条件和经济发展差距大,而不同自然经济社会条件对于生态系统服务的需求差异巨大。因此,在京津冀协同发展背景下,面对区域土地利用类型变化剧烈、地域差异显著以及对生态系统服务功能需求差异大等问题,本研究从划分生态系统服务需求类型区入手,测算不同类型区的生态系统服务价值(ESV)时空变化,并对不同区域提出差异化的土地利用策略,以期为区域生态服务供给结构调整和管理提供依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

京津冀地区位于环渤海心脏地带,北靠燕山山

脉,南面华北平原,西倚太行山,东临渤海湾,包括北京、天津两个直辖市和河北省全部地区,土地面积约为22万km²,人口总数约为1.1亿。2001年吴良镛^[22]提出“京津冀一体化”的发展构想。2005年,北京市提出打造首都经济圈和世界城市,天津滨海新区加快开发开放,河北建设沿海发展带和环首都绿色经济圈等战略被纳入国家“十二五”规划。2015年,《京津冀协同发展总体规划》公布。在这15年间,京津冀地区的土地利用结构和社会经济发生巨大的变化。因此,本文选择京津冀地区为研究对象,分析2000—2015年期间不同需求类型区生态系统服务价值的变化情况。

1.2 数据来源

土地利用数据来自中国科学院资源环境科学数据中心,其原始数据来源于陆地卫星TM空间分辨率30m的数字影像,解译产品共有6个1级类,31个2级类,分类误差小于2个像元,数据为.Shp格式。根据研究目的,我们将土地利用类型合并为水田、旱地、有林地、灌木林、疏林地、其他林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、水体、荒漠和建设用地12个类别。社会经济统计数据来源于相应年份(2001和2016年)的《北京区域统计年鉴》、《天津统计年鉴》、《河北省统计年鉴》和《河北农村统计年鉴》等。

2 生态系统服务供给-需求关系分析与评估

2.1 生态系统服务供需关系分析

生态系统服务供给-需求的概念并未统一,严岩等^[23]从消费、偏好和支付等不同角度分析生态系统服务供给-需求-消费的内涵;马琳等^[7]结合已有的研究结果,将供给分为潜在供给和实际供给,将生态系统服务需求分为实现需求和总量需求。本研究基于MA^[8]和谢高地等^[24]的相关研究,将生态系统服务供给功能分为供给、调节、支持和文化四大类,其中,供给包括食物生产和原材料功能,调节包括气体调节、气候调节、水源涵养和废物处理功能,支持包括土壤保持和生物多样性保护功能,文化为娱乐文化功能。人类对生态系统服务的需求主要包括物质、环境和文化3个方面。

下面结合生态系统服务供给和需求的逻辑关系(图1),分析影响京津冀地区生态系统服务需求的因素,选择指标评估并划分需求类型区。

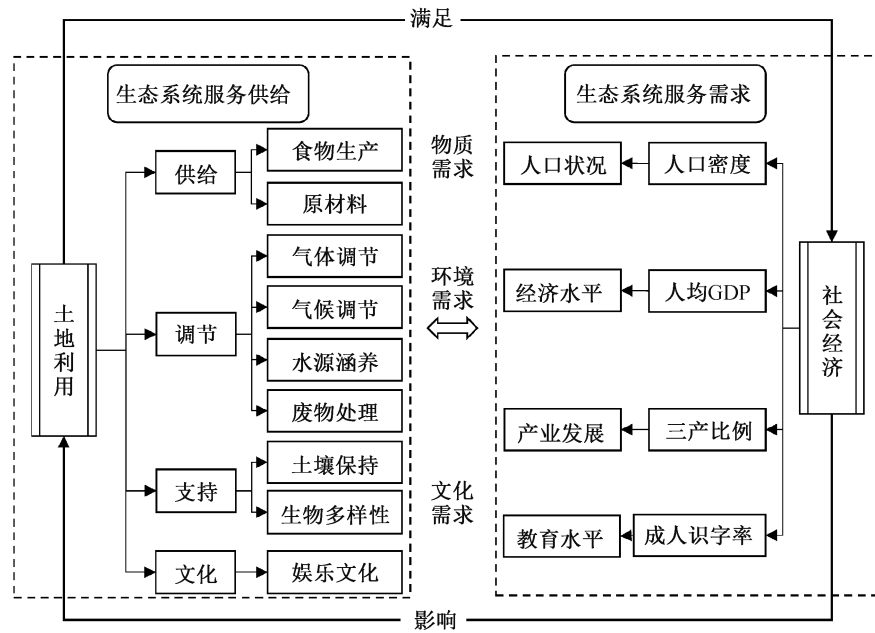


图1 生态系统供给和需求关系分析框架

Fig. 1 Analytical framework for the relationship between supply and demand of ecosystems

1) 物质需求。物质需求是人类对生态系统的第一需求, 主要指人类从生态系统中获得食物和原材料的需求。物质需求对应生态系统服务中的供给功能, 包括食物和原材料等供给功能。区域对物质需求的差异主要体现为区域人口状况和经济发展水平的差异, 人口数量越多, 对物质和原材料的需求越大; 经济发展水平越高, 消费结构升级, 对物质的要求也会相应地提高。

2) 环境需求。环境需求主要体现人类对区域基本生存条件和优美生活环境的需求, 这也是人类常常从生态系统中无偿获取的服务, 人类需要清洁的空气、舒适的气候、洁净的水源和优美的环境, 也需要土壤和生物。生态系统服务供给中的气体调节、气候调节、水源涵养、废物处理和土壤保持及生物多样性等功能可以满足人类的环境需求, 而环境需求与人口状况、社会经济发展水平、产业发展状况和教育水平都有关系。经济发展水平和教育水平越高的区域, 人类对区域生态环境越关注, 对环境保护也越重视; 第三产业越发达的区域, 由于其旅游业等产业发展迅速, 对区域生态环境的要求越高。

3) 文化需求。文化需求体现人类对游憩、娱乐和文化传播等娱乐文化的需求。生物多样性和娱乐文化可以给人类提供文化需求的基本条件, 文化需求与环境需求的相关因素类似, 与人口状况、

区域经济发展水平、产业发展状况和教育水平都有较大关系。人口数量多, 对区域文化的需求也会增多; 在经济发达地区, 人类对外出游玩和文化遗产的需求更高; 第三产业发展好的区域, 旅游业等产业的发展也会对娱乐文化有更高的需求; 教育水平高的区域对文化遗产的需求也会更高。

2.2 生态系统服务需求评估与分区

基于上述分析, 本文最终确定人口密度、人均GDP、第三产业产值占比和成人识字率作为生态系统服务需求的评价指标(表1), 分别反映区域人口状况、经济发展水平、产业发展状况和教育水平(图1)。采用极值法对评价指标进行标准化处理, 采用专家咨询法确定指标权重, 以区县为评价单元, 采用综合评价法, 评估2015年京津冀地区生态系统服务需求情况。

京津冀地区2015年平均生态系统服务需求指数为0.60, 但空间差距较大。根据需求指数值, 采用断点法, 将京津冀地区划分为4个生态系统服务需求类型区(图2)。其中, 极高需求区主要包括北京和天津的核心城区, 高需求区主要包括北京和天津周边区域。极高需求区和高需求区的人口密度高, 经济发展水平高, 第三产业发达, 教育水平高, 使得区域总体上对生态系统服务的需求较高。中需求区主要分布在南部平原地区, 少数分布在东部地区。该区域人口数量高, 经济发展迅速, 经济结构

表 1 京津冀区域生态系统服务需求评估指标体系

Table 1 Index system for demand of ecosystem services in Beijing-Tianjin-Hebei region

指标名称	指标涵义	计算方法	正负性	权重
人口密度	区域人口数量越多,对粮食及生态等方面的需求越大	总人口/区域总面积	+	0.30
人均 GDP	人均 GDP 越高,经济发展水平越高,对环境和文化等的需求越高	GDP/总人口	+	0.30
第三产业产值比例	第三产业比重越高,区域服务业对环境和文化的需求越高	三产产值/地区总产值	+	0.20
成人识字率	成人识字率越高,区域教育水平越高,对环境和文化的需求越高	识字人数/总人口	+	0.20

说明:总人口采用京津冀区域户籍人口。

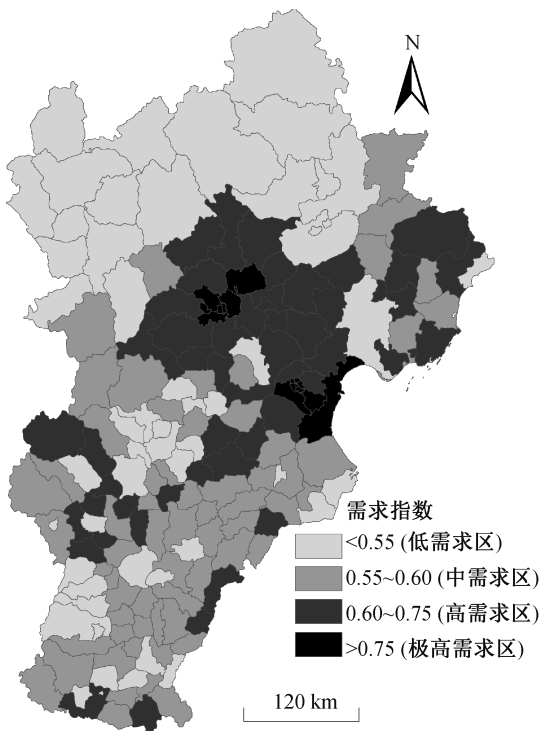


图 2 京津冀地区生态系统服务需求评估与分区结果

Fig. 2 Assessment and zoning of ecosystem services demand in Beijing-Tianjin-Hebei region

不断调整,教育水平发展较快,因此生态需求也较高。低需求区主要分布在北部坝上高原生态防护区,其次分布在南部燕山-太行山附近区域。该区域人口密度小,经济发展水平相对低,第三产业不发达,教育水平相对低,因此生态需求相对较低。

3 生态系统服务价值评估与土地利用策略

3.1 生态系统服务价值评估

本研究基于谢高地等^[24]的中国陆地生态系统单位面积生态系统服务价值当量表,根据全国平均粮食价格比例将其修正到 2015 年的价值水平,进一

步采用 NPP 相比的方法将价值水平从全国校正到京津冀地区^[21],确定各土地利用类型及其生态系统服务基准价值(表 2)。结合京津冀地区土地利用数据,测算生态系统服务价值。

由图 3 可知,京津冀地区主要用地类型为旱地、林地、草地和建设用地等。2000—2015 年,京津冀地区土地利用格局发生较大的变化,水田和旱地面积减少,有林地面积增加,草地面积变化不大,建设用地面积持续增加。由图 4 可知,2000—2015 年生态系统服务总价值由 2788.54 亿元降至 2735.96 亿元,总体上有所减少,地均生态系统服务价值由 12954 元/hm² 降至 12710 元/hm²。生态系统服务价值高的区域减少,且减少的区域较多,特别是北部区域减少量较大,为 0~5 亿元,南部平原区域减少量为 0~1 亿元。生态系统服务价值增加的区域主要位于东部沿海区域,增加量为 1~5 亿元,唐海县、黄骅市和海兴县等区域的增加量高于 5 亿元。图 4 和图 5 显示,在区县尺度上,生态系统服务总价值和地均生态系统服务价值均呈现从北往南逐步降低的趋势,生态系统服务价值高值区域位于坝上高原,主要用地类型为有林地,地均生态系统服务价值较高,是京津冀地区重要的生态涵养区;东部沿海区域生态系统服务价值较高,主要用地类型是水域和林地,为重要的沿海生态防护带,地均价值多高于 16000 元/hm²;东南部的燕山太行山区域的生态系统服务价值较高,主要用地类型为林地和草地,地均生态系统服务价值约为 12000 元/hm²;南部平原区主要用地类型为耕地,生态系统服务价值相对较低,地均生态系统服务价值多在 4000~8000 元/hm² 之间;北京和天津及周边区域的生态系统服务价值较低,该区域的建设用地占比较大,地均价值低于 4000 元/hm²。

表 2 京津冀地区各类型土地利用的单位面积生态系统服务价值表(元/hm²)Table 2 Basic per unit area ecosystem service value of each land use type in Beijing-Tianjin-Hebei region (Yuan/hm²)

用地类型	气候调节	水源涵养	土壤保持	废物处理	生物多样性	食物生产	原材料	娱乐文化	总价值
水田	2110.50	355.77	2596.79	1555.74	420.89	1778.72	118.59	309.70	10432.33
旱地	1055.25	711.41	1731.15	1944.61	841.79	1185.77	118.59	253.93	8435.30
有林地	3464.20	4105.68	5003.81	1680.84	4182.67	128.33	3335.44	1642.27	28033.87
灌木林	3117.79	5337.45	4003.02	840.42	3346.17	128.33	3335.44	1313.85	25014.97
疏林地	2274.46	5391.18	2815.88	630.63	2353.89	96.29	2502.67	1078.21	19670.36
其他林地	1612.64	5733.86	1863.54	626.00	1947.11	83.70	2173.77	917.46	17048.54
高覆盖度草地	1075.14	955.67	2329.56	1564.92	1302.08	358.43	59.67	415.13	9016.25
中覆盖度草地	891.94	1189.30	1932.56	1298.36	1080.24	297.36	49.56	413.56	7945.70
低覆盖度草地	549.52	1270.01	1190.66	799.85	665.57	183.26	30.50	338.24	5516.14
水体	549.45	24344.82	11.88	21716.91	2974.46	119.48	11.88	5184.27	54913.14
荒漠	0.00	37.10	24.78	12.32	421.12	12.32	0.00	140.73	648.37
建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

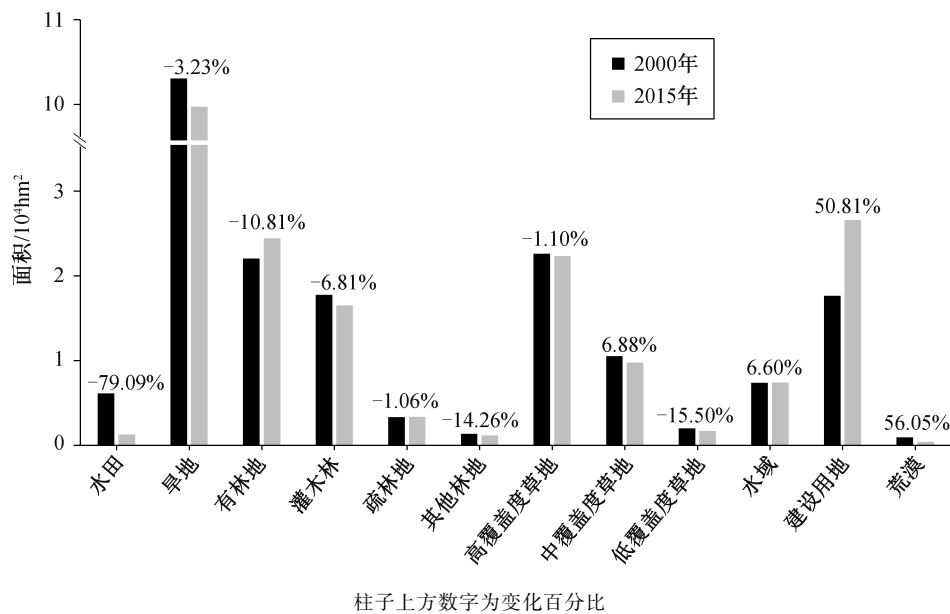


图 3 京津冀地区各类型土地利用面积变化

Fig. 3 Change of each land use type in Beijing-Tianjin-Hebei region

3.2 不同需求类型区生态系统服务价值变化

下面分析不同需求类型区生态系统服务价值时空变化情况,结合区域土地利用特点,提出不同类型区的土地利用策略。由表 3 可知,生态系统服务需求和供给在空间上具有不平衡性,生态系统服务总价值最高的区域为低需求区和中需求区,地均最高的区域为极高需求区和低需求区,其次是高需求区,中需求区的地均生态系统服务价值最低。2000—2015 年,各类型区的生态系统服务价值均降低,其中,极高需求区降低幅度最大,其次是高需求区,中需求区和低需求区面积最大,其生态系统服务价

值变化相对较小,略有降低。

1) 生态系统服务极高需求区。主要包括北京和天津核心区的部分区县,土地利用类型主要为林地、建设用地和水域。总面积为 545759 hm²,2000 年的生态系统服务总价值为 84.72×10⁸ 元,地均价值为 15524.19 元/hm²,2015 年总值降至 72.86×10⁸ 元,地均价值降至 13350.95 元/hm²,降幅(14%)较大。从空间上看,价值降幅较大的区域包括北京的海淀区、顺义区、石景山区和天津的西青区。该区域人口密度大,第三产业发达,经济发展和教育水平高,土地供需矛盾突出,区域对生态系统服务的

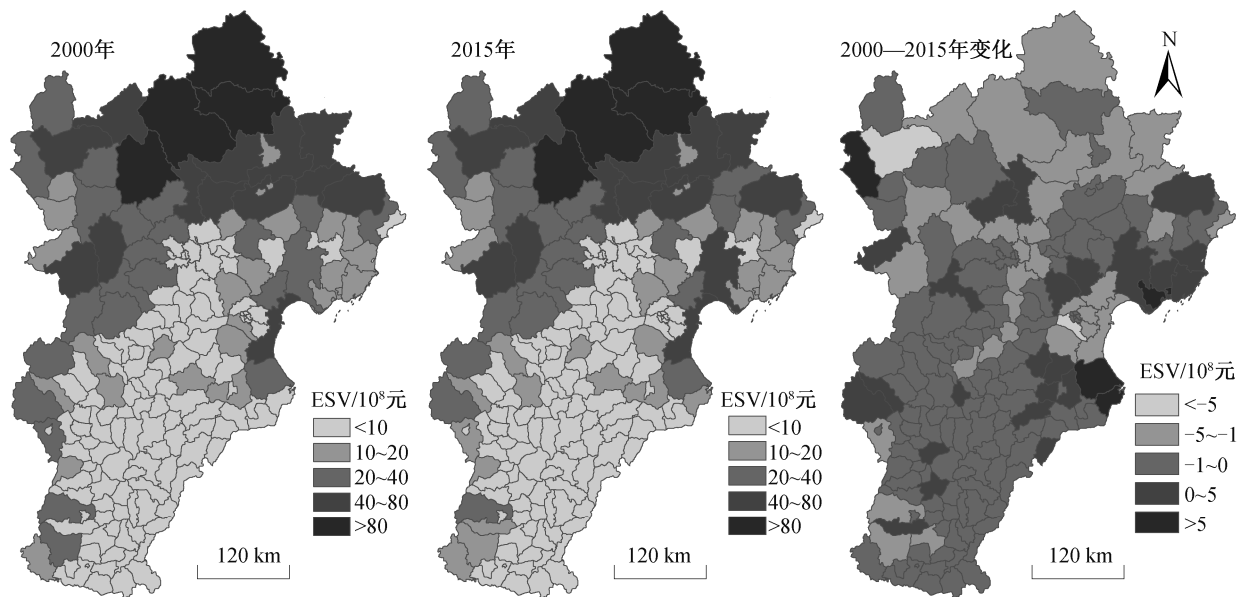


图 4 2000—2015 年京津冀地区生态系统服务总价值及其变化

Fig. 4 Total value and change of ecosystem services in Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2000 to 2015

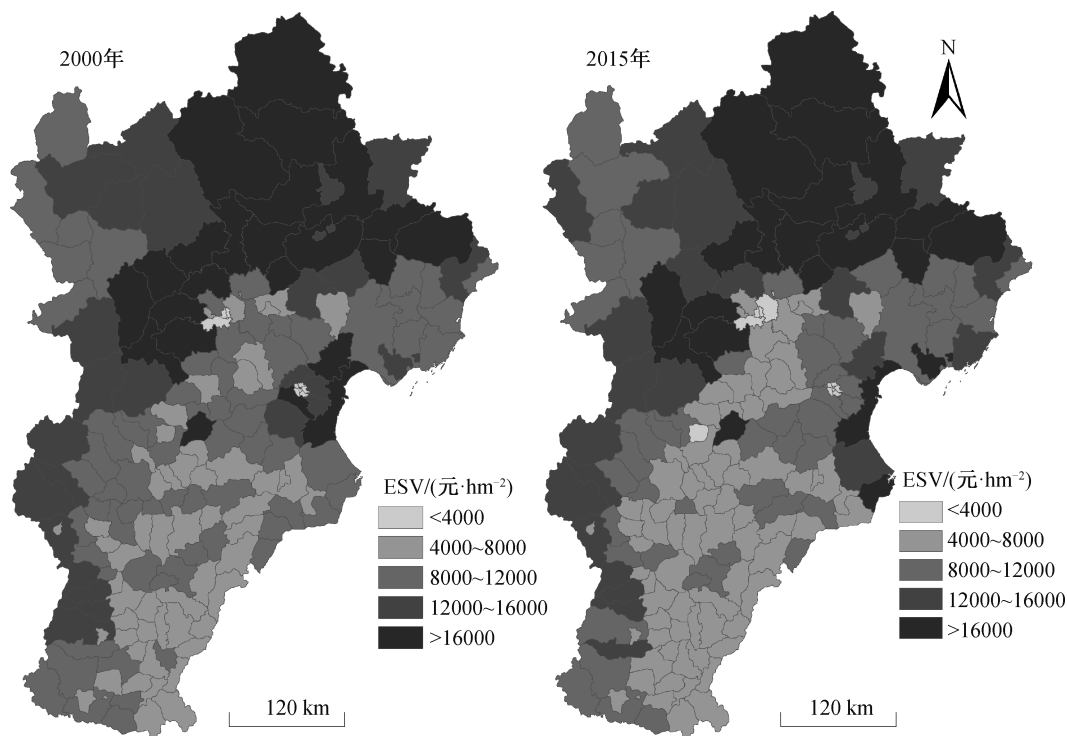


图 5 2000—2015 年京津冀地区生态系统服务地均价值

Fig. 5 Total and average value of ecosystem services in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2015

需求较大, 区域生态系统服务价值降低速度较快。建议以调整优化为主, 提升城市职能中心品质, 在保证城市建设用地的同时增加区域绿地面积, 保证良好的生态环境, 提高区域单位面积生态系统服务功能。特别是一些地处重要位置, 且能起重要生态

作用地类面积较小的地区, 应积极拓展立体绿色空间, 发展垂直绿化。

2) 生态系统服务高需求区。主要分布在北京、天津的大部分区域和京津的周边区域, 区域总面积为 5514135 hm^2 , 土地利用类型主要为耕地、林地

表 3 2000—2015 年京津冀地区不同类型区生态系统服务价值变化

Table 3 Ecosystem service value changes of different demand zoning in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2015

需求类型区	面积/hm ²	2000 年		2015 年		变化率/%
		ESV 总值/10 ⁸ 元	地均 ESV/(元·hm ⁻²)	ESV 总值/10 ⁸ 元	地均 ESV/(元·hm ⁻²)	
极高	545729	84.72	15524.19	72.86	13350.95	-14.00
高	5514135	734.55	13321.22	717.42	13010.56	-2.33
中	6419906	702.91	10948.91	700.61	10913.09	-0.33
低	9046269	1266.36	13998.70	1245.07	13763.35	-1.68

和建设用地等。2000 年的生态系统服务总价值为 734.55×10^8 元, 地均价值为 13321.22 元/hm², 2015 年总值降至 717.42×10^8 元, 地均价值降至 13010.56 元/hm², 降低幅度为 2.33%。大都市周边区域价值降低幅度较大, 包括通州区、霸州市、固安县、东丽区、北辰区、宁河县以及唐海县等区域, 南部的新乐市、鹿泉市和元氏县等区域地均价值也有一定程度的降低。该区域具有一定的生态防护功能, 生态系统服务供给能力较高, 特别是农产品和原材料等供给水平较高, 区域人口数量相对较多, 第三产业相对发达, 经济发展迅速, 民众文化水平高, 生态系统服务需求呈增加趋势, 区域生态系统服务价值有一定程度的降低。建议该区域在保持供给能力的同时, 提高区域调节功能和文化功能。区域建设要坚持“分散集团式”的布局原则, 进一步调整和优化土地利用结构和布局, 增加林地和绿地的面积, 尽量维持现有耕地面积不减少, 各类建设用地应充分利用闲置土地和存量土地, 实现土地的集约化利用, 同时加强耕地和其他农用地的保护, 发展现代化农业。

3) 生态系统服务中需求区。主要分布在华北平原地区, 是重要的粮食生产基地。区域总面积为 6419906 hm², 土地利用类型主要为耕地和建设用地等。2000 年的生态系统服务总价值为 702.91×10^8 元, 地均价值为 10948.91 元/hm², 2015 年总值降低至 700.61×10^8 元, 地均价值降低至 10913.09 元/hm², 降低幅度为 0.33%。区域价值变化相对不大, 降低的区域主要包括怀来县、黄骅县、武邑县、深泽县、赵县、沙河市和永年县等。该区域耕地面积较大且连片分布, 粮食供给能力较高, 人口分布较为密集, 生态环境条件较为脆弱, 地均生态系统服务价值较低, 价值变化不大。该区域地形平坦、土层深厚, 水热等自然条件较优越, 同时, 建设用地增长迅猛, 经济发展速度加快。建议该区域加强绿化基础设施建设, 增加城市绿地、林地和水域的面积,

控制建设用地规模。该区域承担着保障粮食生产这一重要作用, 需加强农田基本建设, 改造中低产田, 大力发展节水农业和生态农业, 合理开发荒土地, 注重提升农用地的调节功能, 开发农用地的文化功能, 将农用地纳入绿色空间格局, 提高区域综合调节供给和文化供给能力。

4) 生态系统服务低需求区。主要位于燕山-太行山一线, 是京津冀地区重要的生态保护与涵养区域。总面积为 9046269 hm², 土地利用类型主要为林地。2000 年的生态系统服务总价值为 1266.36×10^8 元, 地均价值为 13998.70 元/hm², 2015 年总价值降至 1245.07×10^8 元, 地均价值降至 13763.35 元/hm², 降低幅度为 1.68%。降低的区域主要分布在秦皇岛市、张北县、容城县、雄县和邢台县等, 尚义县的总价值则有所增加。该区域人口密度低, 经济发展水平和教育水平相对较低, 第三产业不发达, 因此生态系统服务需求相对较低, 地均生态系统服务价值较高, 变化不大。建议该需求区定位于做好京津冀生态屏障, 大力开展植树造林, 优先发展水源涵养林和水土保持林, 营造天然林保护和防护林, 提高林木覆盖率, 构筑生态屏障, 调整林业结构, 发挥林业的多种功能。同时, 因地制宜地发展名特优果品生产基地, 适宜地发展果林牧业, 提高区域农作物生产供给和木材产品供给能力。合理开发利用草地资源, 适当发展畜牧业。保护自然和人文景观, 积极发展生态旅游业, 严格控制各类建设用地占用耕地和林地, 加强小流域综合治理, 控制水土流失。

4 结论与讨论

本研究通过分析生态系统服务供需逻辑关系, 划分京津冀地区生态系统服务的需求类型区, 测算不同需求类型区生态系统服务价值的变化, 提出不同类型区的土地利用策略。结果表明, 京津冀地区生态系统服务需求区可以划分为 4 个类型区, 不同

类型区的人口数量、经济发展水平、产业结构和教育水平不同,对生态系统服务的需求有较大的差异。2000—2015年间,京津冀地区生态系统服务总价值有所降低,且呈现从北往南逐步降低的趋势。在县域尺度上,京津冀地区生态系统服务供给与区域需求空间上不匹配,不同类型区的土地利用策略不同。研究结果可以为区域土地利用结构调整和生态保护提供科学依据。

生态系统服务供需关系是目前的研究热点,供需状况的评估方法多样。本研究采用指标法进行需求评估,分析不同类型区的生态服务价值变化状况,对分析大尺度生态系统供需关系有一定的参考价值。构建更丰富的研究体系及量化的生态系统需求是未来的研究重点,特别是不同尺度上生态系统服务供需格局的变化及耦合关系亟待进一步研究。

参考文献

- [1] Daily C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997
- [2] Costanza R, d'Arge R, deGroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253–260
- [3] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 2012, 21(3): 17–29
- [4] Villamagna A M, Angermeier P L, Bennett E M. Capacity, pressure, demand and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 2013, 15(5): 114–121
- [5] Schrter M, Barton D N, Remme R P, et al. Accounting for capacity and flow of ecosystem services: a conceptual model and a case study for Telemark, Norway. *Ecological Indicators*, 2014, 36(1): 539–551
- [6] Geijzendorffer I R, Martin-lopez B, Roche P K. Improving the identification of mismatches in ecosystem services assessments. *Ecological Indicators*, 2015, 52: 320–331
- [7] 马琳, 刘浩, 彭建, 等. 生态系统服务供给和需求研究进展. *地理学报*, 2017, 72(7): 1277–1289
- [8] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington DC: Island Press, 2005
- [9] 李正, 王军, 白中科. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测. *地理科学进展*, 2012, 31(5): 577–583
- [10] 师庆三, 王智, 吴友均, 等. 新疆生态系统服务价值测算与NPP的相关性分析. *干旱区地理*, 2010, 33(3): 427–433
- [11] 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. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243–1254
- [12] 王万同, 孙汀, 王金霞, 等. 基于多源遥感数据的区域生态系统服务价值年际动态监测——以中原城市群为例. *地理科学*, 2019, 39(4): 680–687
- [13] 李佳鸣, 冯长春. 基于土地利用变化的生态系统服务价值及其改善效果研究——以内蒙古自治区为例. *生态学报*, 2019, 39(13): 4741–4750
- [14] 李冬杰, 杨利, 余俞寒, 等. 都市生态旅游区土地利用碎片化对生态系统服务价值的影响——以武汉东湖生态旅游区为例. *生态学报*, 2019, 39(13): 4782–4792
- [15] 顾康康, 杨倩倩, 程帆, 等. 基于生态系统服务供需关系的安徽省空间分异研究. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(7): 577–583
- [16] 王文美, 吴璇, 李洪远. 滨海新区生态系统服务功能供需量化研究. *生态科学*, 2013, 32(3): 379–385
- [17] Li Jinghui, Jiang Hongwei, Bai Yang. Indicators for spatial-temporal comparisons of ecosystem service status between regions: a case study of the Taihu River Basin, China. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 1008–1016
- [18] 武爱彬, 赵艳霞, 沈会涛, 等. 京津冀区域生态系统服务供需格局时空演变研究. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(11): 968–975
- [19] 白杨, 王敏, 李晖, 等. 生态系统服务供给与需求的理论与管理方法. *生态学报*, 2017, 37(17): 5846–5852
- [20] 董潇楠, 谢苗苗, 张覃雅, 等. 承灾脆弱性视角下的生态系统服务需求评估及供需空间匹配. *生态学报*, 2018, 38(18): 6422–6431
- [21] 唐秀美, 郝星耀, 潘瑜春, 等. 基于生态需求评价的北京市生态区位划分研究. *农业机械学报*, 2016, 47(1): 170–176
- [22] 吴良镛. 京津冀北城乡空间发展规划研究——对该地区当前建设战略的探索之一. *城市规划*, 2000, 24(12): 9–15
- [23] 胡乔利, 齐永青, 胡引翠, 等. 京津冀地区土地利用/覆被与景观格局变化及驱动力分析. *中国生态农业学报*, 2011, 19(5): 1182–1189
- [24] 严岩, 朱捷缘, 吴钢, 等. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展. *生态学报*, 2017, 37(8): 2489–2496
- [25] 谢高地, 张德强, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47–53