



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

京津冀潮白河区域土地利用变化对生态系统服务的影响

耿冰瑾, 曹银贵, 苏锐清, 刘施含, 冯喆

引用本文:

耿冰瑾, 曹银贵, 苏锐清, 等. 京津冀潮白河区域土地利用变化对生态系统服务的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 583–593.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0595>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

京津冀潮白河区域2001—2017年耕地利用变化时空特征分析

苏锐清, 曹银贵, 王文旭, 邱敏, 宋蕾

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 574–582 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0266>

西部绿洲城市土地利用转型的生态环境效应——以乌鲁木齐市为例

阿依吐尔逊·沙木西, 刘新平, 祖丽菲娅·买买提, 陈前利, 冯彤

农业资源与环境学报. 2019, 36(2): 149–159 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0113>

基于MCE-CA耦合模型的嘉兴市土地利用预测情景下生态敏感性评价

荣月静, 张慧, 赵显富

农业资源与环境学报. 2015(4): 343–353 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0359>

晋北大型露天矿区生态系统弹性研究

杨庚, 曹银贵, 庄亦宁, 张振佳, 白中科

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 562–573 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0408>

基于京津冀一体化的农田生态系统碳足迹年际变化规律研究

田志会, 刘瑞涵

农业资源与环境学报. 2018, 35(2): 167–173 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0222>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

耿冰瑾, 曹银贵, 苏锐清, 等. 京津冀潮白河区域土地利用变化对生态系统服务的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 583–593.

GENG Bing-jin, CAO Yin-gui, SU Rui-qing, et al. Influence of land-use change on ecosystem services in the Chaobai River region of Beijing–Tianjin–Hebei[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(4):583–593.



开放科学 OSID

京津冀潮白河区域土地利用变化对生态系统服务的影响

耿冰瑾¹, 曹银贵^{1,2*}, 苏锐清¹, 刘施含¹, 冯喆¹

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 自然资源部土地利用重点实验室, 北京 100035)

摘要:为探讨京津冀潮白河区域不同时期内的土地利用变化和生态系统服务(ES)的动态演变情况,采用土地利用动态度模型、当量因子法、敏感性指数法,分析该区域2001、2005、2009、2013年和2017年近20年来的土地利用数据。结果表明:在2001—2017年期间该区域耕地和农村居民点面积明显减少,城镇用地和水域面积明显增加;该区域的主要土地利用类型为耕地、农村居民点和城镇用地,且耕地和农村居民点的比例逐渐减少,城镇用地比例逐渐增大;城镇用地、工矿用地和水域的动态度呈现大幅增加趋势,农村居民点、耕地、草地和林地的动态度呈现较大幅度的减少趋势。近20年来该区域的生态系统服务价值(ESV)整体上呈现增加的趋势,水域的生态系统服务价值增加对该流域生态系统服务价值变化起决定性作用。2001—2017年该区域内各地类的敏感性指数(CS)均小于1,敏感性指数从大到小依次为耕地>水域>林地>草地。综上,应根据该区域内土地利用变化对生态系统服务产生的影响,制定合理化政策、构建合理的土地利用格局,从而提升生态系统服务。

关键词:土地利用;生态系统服务;协同发展;潮白河区域;京津冀

中图分类号:X24;F301.2 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2020)04-0583-11 doi:10.13254/j.jare.2019.0595

Influence of land-use change on ecosystem services in the Chaobai River region of Beijing–Tianjin–Hebei

GENG Bing-jin¹, CAO Yin-gui^{1,2*}, SU Rui-qing¹, LIU Shi-han¹, FENG Zhe¹

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Lab of Land Use, Ministry of Natural Resources of the PRC, Beijing 100035, China)

Abstract: Based on analysis of land-use data from Chaobai River region in 2001, 2005, 2009, 2013, and 2017, land-use change and the dynamic evolution of ecosystem services during different periods have been illustrated in this paper. A land-use dynamic attitude model, the equivalent factor method, and the sensitivity index method were used in this study. The results obtained: During the period of 2001–2017, the area covered by arable land and rural settlements in this region decreased significantly, while the proportion of urban land and water-cover increased gradually. The main types of land use in this region were arable land, rural settlement, and urban land. In addition, the specific gravity of the arable land and rural settlements reduced gradually, while that of urban land increased gradually. The dynamic degree of urban, industrial, and mining lands, as well as that of water-cover, increased greatly, while it reduced greatly for rural settlements, arable land, pasture, and forest. In the past 20 years, the ecosystem service value (ESV) of the region had been increasing, where the increase in the ESV of water-cover played a decisive role. From 2001 to 2017, the sensitivity index of all kinds of land in this region had been less than 1. The sensitivity index decreased in the order of arable land > water area > forest > pasture. In conclusion, according to information on the effect of land-use change on ecosystem services in this region, it is necessary to formulate proper policies and build a rational land-use pattern to improve ecosystem services.

Keywords: land use; ecosystem services; coordinated development; Chaobai River region; Beijing–Tianjin–Hebei

收稿日期:2019-12-06 录用日期:2020-03-07

作者简介:耿冰瑾(1996—),女,河北邢台人,硕士研究生,从事土地利用与生态修复研究。E-mail:18730281697@163.com

*通信作者:曹银贵 E-mail:caoyingui1982@126.com

基金项目:自然资源部土地利用重点实验室开放基金项目(20191511237);北京市社会科学基金项目(17GLC063)

Project supported: Open Fund of Key Laboratory of Land Use, Ministry of Natural Resources(20191511237); Social Science Foundation of Beijing, China (17GLC063)

土地利用/覆被变化(LUCC)和生态系统服务(ES)之间逻辑联系十分紧密,不同的土地利用/覆被类型具有提供不同类型、数量和质量生态系统服务的能力,是生态系统服务变化的直接驱动因素。生态系统服务是指生态系统所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1],为人类直接或间接从生态系统得到的所有收益^[2]。目前,生态系统服务之间并不是独立的,而是相互影响的,彼此呈现多重非线性关系,主要表现为权衡和协同关系^[3-5]。潮白河区域作为横跨北京市通州区、顺义区、天津市宝坻区、河北省香河县、三河市、大厂县等六地的特殊区域,随着京津冀协同发展的推进,其逐渐成为区域协同发展的缩影,该流域的城镇建设、工业园区兴建及交通发展等极大改变了流域土地利用/覆被类型和水文循环、水平衡,还严重影响了流域生态系统服务^[6]。虽然北京市、天津市和河北省在地理位置上相邻,但它们属于不同行政单位的管辖范围,这使得内部协同区域一体化发展变得更加困难^[7]。

生态系统服务最早由美国昆虫学家 Ehrlich 等^[8]于1982年在探究物种灭绝的研究中提出。之后学者们开始对生态系统服务的分类进行研究,不同时期提出多种分类方法。Costanza 等^[2]于1997年将生态系统服务划分为包括气体调节和水调节等在内的17种类型。2005年千年生态系统评估(MA)^[9]分类体系将生态系统服务分为四大类型,包括支持服务、供给服务、调节服务和文化服务。Wallace^[10]于2007年综合考虑人类福利、生态系统过程和自然资源,将生态系统服务分为四大类,包括自然资源、生物多样性保护、环境和社会-文化满足。Costanza^[11]于2008年又提出了空间分类方案和两分类方案,空间分类方案将生态系统服务分为全局长程型、局部短程型、有向流动型、原位型和使用移动型五大类;两分类方案将生态系统服务分为竞争性的和非竞争性的两大类。Fisher 等^[12]于2009年提出的两分方案将生态系统服务分为中间服务和终端服务。张彪等^[13]于2010年基于人类需求将生态系统服务分为物质产品生产服务、生态安全保障服务和景观文化承载服务三类。生态系统服务的共同国际分类(CICES)^[14]在2018年沿用千年生态系统评估的四大分类,但其分类体系更具有层次化结构。综上所述,生态系统服务分类方法很多,但目前千年生态系统评估分类法使用较多,影响较大。

潮白河区域作为京津冀协同发展的一个重要开发区和首都的生态屏障,在其土地利用变化协同发展

中应把生态环境保护作为优先考虑因素。通过分析2001—2017年该区域的土地利用变化,计算该流域生态系统服务价值(ESV),分析该流域内土地利用变化对生态系统服务变化的影响,以期为本研究区及类似流域土地利用格局优化、流域生态环境治理、协同发展战略实施等提供参考依据。服务价值法^[15-16]和当量因子法^[2,17]是目前生态系统服务价值核算的主要方法。相对服务价值法而言,当量因子法较直观,数据需求少,特别适用于区域生态系统服务价值的评估^[18-19]。国内研究集中在特定驱动机制下生态系统服务间关系的变化^[20-21],在土地利用管理层面,多从实施土地利用规划等人为因素来影响生态系统服务间权衡与协同的转变^[3,22]。由于生态系统服务有权衡与协同的存在,因此有必要在管理对策制定过程中考虑权衡与协同的发生,加强生态系统服务之间的协同^[23]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及数据来源

潮白河贯穿北京、天津、河北三个省(市),地处华北平原北部,位于东经115°25′~117°45′、北纬39°10′~41°49′之间。本研究以北京市的顺义区、通州区,天津市的宝坻区,河北省的香河县、三河市、大厂县为研究区(图1)。通州区位于北京市东南部,北与顺义区接壤,东隔潮白河与河北省的三河市、大厂县和香河县相连。宝坻区位于天津市北部,西及西北与河北省的香河县、三河市相连,潮白河是宝坻区地表水资源的主要补给来源,是宝坻区的母亲河,与此同时潮白新河也是宝坻区非汛期的蓄水河道。

2017年底,该研究区土地总面积为0.45万km²,常住人口337万,GDP约为0.40万亿元。潮白河区域作为首都的生态屏障和重要水源地,是流经北京市北部、东部的重要河流,是中国五大海河水系之一,上游分潮河和白河两支,途经其他河流汇入密云水库,河长458 km,河流面积14.8 km²。流域属于温带半湿润性季风气候,年平均降水量为600 mm。该流域内土壤类型主要为褐土,伴有山地草甸土、潮土及棕壤等。

2001、2005、2009、2013年和2017年近20年的5期TM遥感影像数据下载于中科院遥感所与地理空间数据云,影像分辨率为30 m。各期土地利用分类参考2007年第二次全国土地调查的分类标准^[24],结合研究目的,将研究区土地利用类型分为耕地、林地、草地、城镇用地、农村居民点、工矿用地和水域。各期

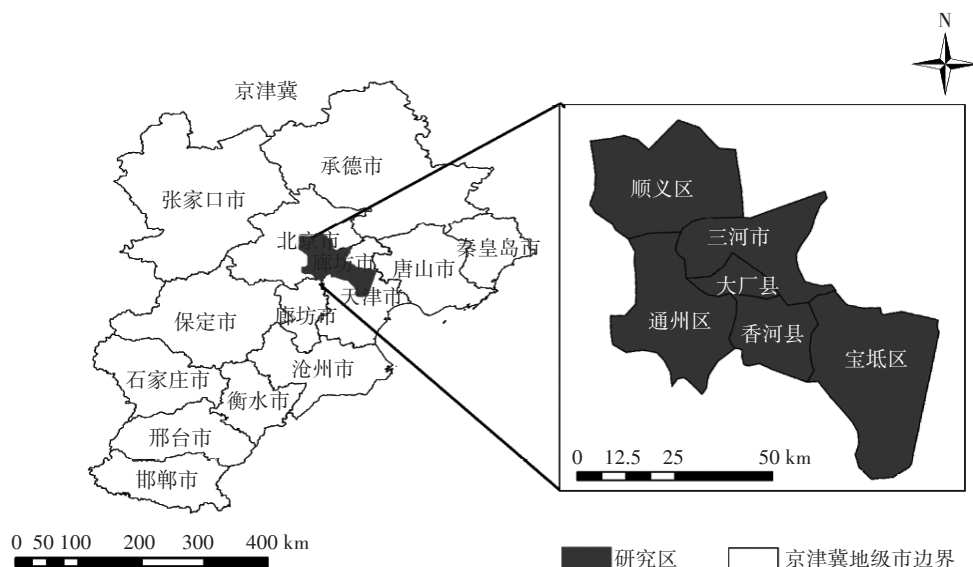


图1 研究区地理位置

Figure 1 Location of the study area

的社会经济数据来源于《北京市统计年鉴》(2002、2006、2010、2014、2018年)、《天津市统计年鉴》(2002、2006、2010、2014、2018年)、《河北省统计年鉴》(2002、2006、2010、2014、2018年)。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用动态度

土地利用动态度可以表示在研究期间内某一土地利用类型的数量变化情况^[25],反映人类社会经济活动和自然环境条件对不同土地利用类型的变化速度和变化幅度的影响情况^[26]。土地利用动态度的计算结果可以体现出在该研究期间内潮白河区域某一土地利用类型的变化情况,每种土地利用类型的变化情况可指导该区域内土地利用规划和土地管理政策的制定。计算公式如式(1)所示:

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

式中: K 为研究时期内某一土地利用类型动态度,%; U_a 、 U_b 分别表示研究期初、末该土地利用类型的面积, hm^2 ; T 为研究时间,a。

1.2.2 生态系统服务价值评估

(1) 生态系统服务价值当量因子计算

生态系统服务是生态系统及其生态过程中所形成和维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用,生态系统服务价值的大小可以体现生态系统服务的高低,因此可利用生态系统服务价值来评估该区域内的生态系统服务变化。生态系统服务价值评估包

括不同土地利用类型和不同服务类型的生态系统服务价值。根据潮白河区域实际情况和研究需要,参照谢高地等^[27]的“中国生态系统单位面积生态系统服务价值当量表”确定该区域耕地、林地、草地和水域的生态服务价值当量,耕地对应农田,林地对应森林,草地对应草地,水域对应水域,研究不考虑建设用地和工矿用地的生态系统服务价值,将其设为0。

本研究将生态系统服务分为文化服务、调节服务、供给服务和支持服务四种类型,并基于谢高地等^[27]的划分方法,将土地生态系统服务细分为食物生产、原材料生产等9类服务。生态系统功能与服务之间并不是一一对应的,每一项服务都可能由一种功能或多种功能组合产生^[31]。

(2) 单位面积耕地食物生产生态服务价值计算

参照谢高地等^[27]的方法,单位面积耕地食物生产生态服务价值(1个标准当量)相当于研究区域当年平均粮食单产市场价值的1/7。计算公式如式(2)所示:

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{m_i} \quad (2)$$

式中: E_a 为单位耕地生态系统提供食物生产服务功能的经济价值,元· hm^{-2} , i 代表作物种类; M_i 为主要粮食作物的经济价值,元; m_i 为主要粮食作物的种植面积, hm^2 。

1.2.3 生态系统服务价值计算

根据潮白河区域的各类土地利用类型面积和对应的单位面积生态系统服务价值,可得出流域内的生态系统服务价值^[28],计算公式如式(3)、式(4)所示:

$$ESV = \sum_{k=1}^n A_k \times VC_k \quad (3)$$

$$ESV_f = \sum_k A_k \times VC_{fk} \quad (4)$$

式中:ESV为生态系统服务价值,元; A_k 是土地利用类型 k 的面积, hm^2 ; VC_k 是土地利用类型 k 的生态系统服务价值系数,元 $\cdot\text{hm}^{-2}$; ESV_f 是生态系统第 f 项服务功能的价值,元; VC_{fk} 是土地利用类型 k 的第 f 项服务功能的系数,元 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.2.4 生态系统服务价值敏感性分析

敏感性指数(CS)是用来计算生态系统服务价值随着时间变化对生态系统价值系数(VC)的依赖程度,以此验证潮白河区域内生态系统服务价值的价值折算准确性^[29]。当敏感性指数 >1 时,研究结果准确度较低;反之结果可信。计算公式如式(5)所示:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \quad (5)$$

式中:CS为敏感性指数; ESV_i 和 ESV_j 分别为调整前后生态系统服务的总价值,元; VC_{ik} 和 VC_{jk} 分别为第 k 次土地利用类型调整前后单位面积生态系统服务价值系数,元 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

2.1.1 土地利用空间变化

根据苏锐清等^[30]对潮白河区域2001—2007年5

期土地利用图的研究得出,2001—2017年潮白河区域的土地利用情况发生了明显变化。整体上,与2001年相比,2017年耕地和农村居民点面积明显减少,城镇用地和水域明显增加。城镇用地在研究区的六个区县内均有不同程度的增加,主要分布在顺义和通州两区;水域的增加主要分布在宝坻区且增量明显。2009—2013年是研究期内土地利用结构变化最明显的时期,在该时期耕地面积大幅下降,城镇用地和水域面积明显增加。

2001—2017年耕地面积大幅减少,减少面积为37 715.13 hm^2 ,宝坻、通州、顺义和三河的耕地减少尤为明显;农村居民点面积减少次之,减少面积为19 512.45 hm^2 。城镇用地快速增加,增加面积为40 147.65 hm^2 ,顺义、通州和三河的城镇用地增加尤为明显;水域面积增加次之,增加面积为16 659.72 hm^2 ,水域面积的增加主要集中在宝坻区。

2.1.2 土地利用数量变化

根据遥感解译获得的结果(表1)可知,2001—2017年,耕地、农村居民点和城镇用地是潮白河区域的主要土地利用类型,这三种土地利用类型在2001年的比例分别为69.77%、15.40%和7.64%,共占该区域面积的92.81%;其在2017年的比例分别为61.45%、11.10%和16.49%,共占该区域面积的89.04%。根据土地利用结构变化可以得出,三大主要土地利用类型中耕地和农村居民点面积减少,城镇用地面积增加,解译结果和土地利用图相吻合。

表1 2001—2017年潮白河区域各土地利用类型面积及其变化

Table 1 Land use area and its changes in the Chaobai River region from 2001 to 2017

年份 Years	项目 Items	耕地 Arable land	林地 Forest	草地 Pasture	城镇用地 Urban land	农村居民点 Rural settlement	工矿用地 Industrial land	水域 Water area
2001	面积/ hm^2	316 265.92	5 301.72	933.48	34 614.36	69 807.42	1 111.95	25 231.41
	比例/%	69.77	1.17	0.21	7.64	15.40	0.25	5.57
2005	面积/ hm^2	313 535.68	3 854.97	1 578.69	56 664.63	39 450.51	1 534.14	36 641.97
	比例/%	69.17	0.85	0.35	12.50	8.70	0.34	8.08
2009	面积/ hm^2	304 520.38	3 519.27	1 526.13	60 201.36	56 010.06	1 631.07	25 849.44
	比例/%	67.18	0.78	0.34	13.28	12.36	0.36	5.70
2013	面积/ hm^2	279 182.72	4 951.97	664.95	69 626.67	58 697.21	2 391.56	37 736.08
	比例/%	61.60	1.09	0.15	15.36	12.95	0.53	8.33
2017	面积/ hm^2	278 550.79	4 835.34	828.45	74 762.01	50 294.97	2 101.14	41 891.13
	比例/%	61.45	1.07	0.18	16.49	11.10	0.46	9.24
2001—2005	面积变化/ hm^2	-2 730.24	-1 446.75	645.21	22 050.27	-30 356.91	422.19	11 410.56
2005—2009	面积变化/ hm^2	-9 015.30	-335.70	-52.56	3 536.73	16 559.55	96.93	-10 792.53
2009—2013	面积变化/ hm^2	-25 337.66	1 432.70	-861.18	9 425.31	2 687.15	760.49	11 886.64
2013—2017	面积变化/ hm^2	-631.93	-116.63	163.50	5 135.34	-8 402.24	-290.42	4 155.05
2001—2017	面积变化/ hm^2	-37 715.13	-466.38	-105.03	40 147.65	-19 512.45	989.19	16 659.72

2.1.3 土地利用动态度变化

根据潮白河区域2001、2005、2009、2013年和2017年各土地利用类型的面积,由式1计算得出该区域在研究期内各个土地利用类型的土地动态度(表2)。由表2可知,2001—2005年,草地和水域的动态度呈现大幅增加趋势,草地的增长率最快,年平均增长率为17.28%;林地和耕地的动态度呈现大幅减少。2005—2009年,水域、林地、草地和耕地的动态度均呈现大幅度减少的趋势,水域在该期间快速减少,且该时期是研究区内水域唯一减少的时期。2009—2013年,草地和耕地的土地利用动态度呈现大幅减少;水域和林地呈现大幅增加趋势,耕地和草地在该期内减幅最快。2013—2017年,草地、水域土地利用动态度呈现大幅增加;林地的动态度呈现大幅下降,耕地动态度在该阶段内变化较平稳。整体上,2001—2017年期间,城镇用地、工矿用地和水域的动态度呈现大幅的增加趋势,其动态度分别为7.25%、5.56%和4.13%;农村居民点、耕地、草地和林地

的动态度呈现较大幅减少,其动态度分别为-1.75%、-0.75%、-0.70%和-0.55%。

2.2 生态系统服务价值评估

2.2.1 生态系统服务价值当量因子确定

根据谢高地等^[31]制定的我国不同省份农田生态系统服务价值当量因子表,对潮白河生态系统服务价值进行了区域修正(北京市、天津市和河北省修正系数分别为1.04、0.85和1.02),结合研究区内各省(市)辖区的面积比例,加权计算确定该研究区的修正系数为0.98,并据此制定潮白河区域不同土地利用类型生态系统服务价值当量因子表(表3)。

2.2.2 单位面积耕地食物生产生态服务价值的确定

根据潮白河区域2001、2005、2009、2013年和2017年主要农作物的年平均产值(448 532.26万元)和研究区内主要粮食作物的种植面积,由式2计算得出该区域的单位面积生态系统服务价值为2 147.24元·hm⁻²,得出潮白河区域不同土地利用类型的单位

表2 2001—2017年潮白河区域的土地利用动态度
Table 2 Land use dynamics in the Chaobai River region from 2001 to 2017

项目 Items	年份 Years	耕地 Arable land	林地 Forest	草地 Pasture	城镇用地 Urban land	农村居民点 Rural settlement	工矿用地 Industrial land	水域 Water area
年均面积变化量 Annual average area change/hm ² ·a ⁻¹	2001—2005	-682.56	-361.69	161.30	5 512.57	-7 589.23	105.55	2 852.64
	2005—2009	-2 253.83	-83.93	-13.14	884.18	4 139.89	24.23	-2 698.13
	2009—2013	-6 334.42	358.18	-215.30	2 356.33	671.79	190.12	2 971.66
	2013—2017	-157.98	-29.16	40.88	1 283.84	-2 100.56	-72.61	1 038.76
	2001—2017	-2 357.20	-29.15	-6.56	2 509.23	-1 219.53	61.82	1 041.23
土地利用动态度 Land use dynamics/%	2001—2005	-0.22	-6.82	17.28	15.93	-10.87	9.49	11.31
	2005—2009	-0.72	-2.18	-0.83	1.56	10.49	1.58	-7.36
	2009—2013	-2.08	10.18	-14.11	3.91	1.20	11.66	11.50
	2013—2017	-0.06	-0.59	6.15	1.84	-3.58	-3.04	2.75
	2001—2017	-0.75	-0.55	-0.70	7.25	-1.75	5.56	4.13

表3 潮白河区域各土地利用类型生态系统服务价值当量
Table 3 Equivalent of ecological service value of different land ecosystem in Chaobai River region

一级类型First grade	二级类型Second grade	耕地Arable land	林地Forest	草地Pasture	水域Water area
供给服务Supply services	食物生产	0.98	0.32	0.42	0.52
	原材料生产	0.38	2.92	0.35	0.34
调节服务Regulating services	气体调节	0.71	4.23	1.47	0.50
	气候调节	0.95	3.99	1.53	2.02
	水文调节	0.75	4.01	1.49	18.39
	废物处理	1.36	1.69	1.29	14.55
支持服务Support services	保持土壤	1.44	3.94	2.20	0.40
	维持生物多样性	1.00	4.42	1.83	3.36
文化服务Cultural services	提供美学景观	0.17	2.04	0.85	4.35
合计Total		7.74	27.56	11.43	44.43

面积生态系统服务价值(表4)。

2.3 生态系统服务价值变化的分析

2.3.1 流域内生态系统服务价值变化

由表4和式(3)计算可得潮白河区域的生态系统服务总价值和不同土地利用类型的生态系统服务价值,结果如表5所示。总体上来看,近20年来潮白河区域的生态系统服务价值整体上呈现增加的趋势,2001—2017年生态系统服务价值共增加9.33亿元,这主要是由于水域的生态系统服务价值大幅增加;2001—2017年,不同土地利用类型所提供的生态系统服务价值不同,依次为耕地>水域>林地>草地,其比例平均为59.00%、37.53%、3.15%和0.32%。2001—2005年,该流域生态系统服务总价值增加最多,增加值为9.74亿元;2005—2009年,生态系统服务价值呈

现减少的趋势,在这5年间生态系统服务价值共减少12.01亿元;2009—2017年,生态系统服务价值在逐年增加,2017年该流域生态系统服务价值增加至89.35亿元。2001—2017年,耕地和林地的生态系统服务价值整体上呈现减少的趋势,减少值分别为6.27亿元和0.28亿元;水域的生态系统服务价值呈大幅增加趋势,增加值为15.90亿元;草地的生态系统服务价值呈现较平稳状态,减少值为0.03亿元。综上所述,各个土地利用类型的生态系统服务价值变化和各个土地利用类型的面积变化趋势一致,面积的增减会相应引起生态系统服务价值的增减。

由表4潮白河区域各类用地单位面积生态系统服务价值可发现,四类土地利用类型提供供给服务能力大小依次为林地>耕地>水域>草地;提供调节服务

表4 潮白河区域各类用地单位面积生态系统服务价值(元·hm⁻²)

Table 4 The value of ecosystem services per unit area of land use in the Chaobai River region (yuan·hm⁻²)

一级类型 First grade	二级类型 Second grade	耕地 Arable land	林地 Forest	草地 Pasture	水域 Water area
供给服务 Supply services	食物生产	2 104.30	694.42	904.85	1 115.28
	原材料生产	820.68	6 270.80	757.55	736.50
	小计	2 924.98	6 965.22	1 662.40	1 851.78
调节服务 Regulating services	气体调节	1 515.09	9 090.56	3 156.44	1 073.19
	气候调节	2 041.17	8 564.48	3 282.70	4 334.85
	水文调节	1 620.31	8 606.57	3 198.53	39 497.62
	废物处理	2 924.97	3 619.39	2 777.67	31 248.78
	小计	8 101.54	29 881.00	12 415.34	76 154.44
支持服务 Support services	保持土壤	3 093.31	8 459.27	4 713.62	862.76
	维持生物多样性	2 146.38	9 490.37	3 935.03	7 217.73
	小计	5 239.69	17 949.64	8 648.65	8 080.49
文化服务 Cultural services	提供美学景观	357.73	4 376.93	1 830.74	9 343.07
合计 Total		16 623.94	59 172.79	24 557.13	95 429.78

表5 2001—2017年潮白河区域各类土地利用类型的生态系统服务价值(亿元)

Table 5 The value of ecosystem services of various types of land use in Chaobai River region from 2001 to 2017 (10⁸ yuan)

类别 Category	年份 Years	耕地 Arable land	耕地比例/% Proportion	林地 Forest	林地比例/% Proportion	草地 Pasture	草地比例/% Proportion	水域 Water area	水域比例/% Proportion	合计 Total
生态系统服务价值 ESV	2001	52.58	65.71	3.14	3.92	0.23	0.29	24.08	30.09	80.02
	2005	52.12	58.07	2.28	2.54	0.39	0.43	34.97	38.96	89.76
	2009	50.62	65.11	2.08	2.68	0.37	0.48	24.67	31.73	77.75
	2013	46.41	54.27	2.93	3.43	0.16	0.19	36.01	42.11	85.52
	2017	46.31	51.83	2.86	3.20	0.20	0.22	39.98	44.75	89.35
生态系统服务价值变化量 Changes in ESV	2001—2005	-0.46	-7.64	-0.86	-1.38	0.16	0.14	10.89	8.87	9.74
	2005—2009	-1.50	7.04	-0.20	0.14	-0.02	0.05	-10.30	-7.23	-12.01
	2009—2013	-4.21	-10.84	0.85	0.75	-0.21	-0.29	11.34	10.38	7.77
	2013—2017	-0.10	-2.44	-0.07	-0.23	0.04	0.03	3.97	2.64	3.83
	2001—2017	-6.27	-13.88	-0.28	-0.72	-0.03	-0.07	15.90	14.66	9.33

的能力大小依次为水域>林地>草地>耕地;提供支持服务的能力大小依次为林地>草地>水域>耕地;提供文化服务的能力大小依次为水域>林地>草地>耕地。该区域内供给服务在研究期间呈现下降趋势,由表5可知耕地所能提供的生态系统服务价值占比50%以上,因此该区域内供给服务能力的大小取决于耕地面积的变化;由表4可知该区域内调节服务的能力大小取决于水域面积的变化,水域所能提供调节服务的能力为76 154.44 元·hm⁻²,远超过其他三类土地利用类型。

经比较发现,林地所能提供各项生态系统服务的能力很强,由表3和表4可知,林地在该区域内所能提供总生态系统服务的能力仅次于水域。

2.3.2 不同生态系统服务类型的生态系统服务价值变化

潮白河区域不同生态系统服务类型的生态系统服务价值见表6。整体上,2001—2017年该研究区内生态系统服务价值依次为调节服务>支持服务>供给服务>文化服务,其比例平均分别为60.45%、22.84%、11.50%和5.20%。供给服务和支持服务的生态系统服务价值在研究期内整体上呈减少趋势,调节服务和文化服务总体上呈现增加趋势,调节服务增速较快,但

文化服务增势较平缓;但2005—2009年调节服务的生态系统服务价值呈快速减少的趋势,调节服务的生态系统服务价值呈快速减少的同时引起了该流域生态系统服务总价值的减少。由表3可知,水域所能提供的调节服务价值当量最大,再由表1可知,水域面积在2005—2009年大幅度减少,这是该阶段调节服务价值减少的主要原因。研究期间,水域面积增加16 659.72 hm²,水域的生态系统服务价值增加15.90亿元。

2.4 生态系统服务价值敏感性分析

2001—2017年潮白河区域生态系统服务价值的敏感性指数见表7。敏感性指数可以验证生态系统服务价值系数选取是否合理和生态系统服务价值的折算准确与否。2001—2017年潮白河区域内各地类的敏感性指数均小于1,敏感性指数从大到小依次为耕地>水域>林地>草地。2001—2017年,耕地的敏感性指数均最大,草地的敏感性指数均最小,说明研究区的生态系统服务价值对生态系统价值系数缺乏弹性,结果可信。不同土地利用类型的敏感性指数与不同土地利用类型的生态系统服务价值走势基本相同,但2005—2009年耕地的敏感性指数除外,原因是

表6 2001—2017年潮白河区域不同生态系统服务类型的生态系统服务价值(亿元)

Table 6 The value of ecosystem services of different ecosystem service types in Chaobai River region from 2001 to 2017(10⁸ yuan)

类别 Category	年份 Years	供给服务 Supply services	供给服务 比例/% Proportion	调节服务 Regulating services	调节服务 比例/% Proportion	支持服务 Support services	支持服务 比例/% Proportion	文化服务 Cultural services	文化服务 比例/% Proportion	合计 Total
生态系统服务价值 ESV	2001	10.10	12.62	46.54	58.16	19.64	24.54	3.74	4.67	80.02
	2005	10.14	11.30	54.65	60.88	20.22	22.53	4.74	5.28	89.76
	2009	9.66	12.42	45.60	58.65	18.81	24.19	3.69	4.75	77.75
	2013	9.22	10.78	52.92	61.88	18.62	21.77	4.75	5.55	85.52
	2017	9.27	10.37	56.02	62.70	18.92	21.18	5.14	5.75	89.35
生态系统服务价值 变化量 Changes in ESV	2001—2005	0.04	-1.32	8.11	2.72	0.58	-2.01	1.00	0.61	9.74
	2005—2009	-0.48	1.12	-9.05	-2.23	-1.41	1.66	-1.05	-0.53	-12.01
	2009—2013	-0.44	-1.64	7.32	3.23	-0.19	-2.42	1.06	0.80	7.77
	2013—2017	0.05	-0.41	3.10	0.82	0.30	-0.59	0.39	0.20	3.83
	2001—2017	-0.83	-2.25	9.48	4.54	-0.72	-3.36	1.40	1.08	9.33

表7 2001—2017年潮白河区域生态系统服务价值的敏感性指数

Table 7 Sensitivity index of ecosystem service value in Chaobai River region from 2001 to 2017

年份 Years	耕地 Arable land	林地 Forest	草地 Pasture	水域 Water area
2001	0.657 1	0.039 2	0.002 9	0.300 9
2005	0.580 7	0.025 4	0.004 3	0.389 6
2009	0.651 1	0.026 8	0.004 8	0.317 3
2013	0.542 7	0.034 3	0.001 9	0.421 1
2017	0.518 3	0.032 0	0.002 2	0.447 5

2005—2009年该流域内生态系统服务总价值降低,导致敏感性指数大幅增加。综上所述,敏感性指数可以表征生态系统价值系数对该土地利用类型的生态系统服务价值的影响程度,敏感性指数越大,生态系统价值系数对生态系统服务价值的影响越大;敏感性指数越小,生态系统价值系数对生态系统服务价值的影响越小。

3 讨论

3.1 水域变化对生态系统服务的影响

潮白河区域作为首都的生态屏障和重要水源地,水域对该流域内的生态系统服务具有重要的作用。目前对潮白河区域的研究多集中在水体方面,针对该区域土地利用变化对生态系统服务动态变化的影响研究较少。水域面积的不断增长不仅提升了流域内的调节服务和文化服务,还对该流域的生态系统服务总价值起决定作用。

研究发现水域政策的实施对水域面积的增加起到了积极作用,对提升该区域的生态系统服务价值十分重要。2001年将潮白河划定为生态功能保护区,可见潮白河生态建设的重要性;2006年潮白河实行的“水改旱”工程等是该区域2005—2009年水域面积减少的原因;2009—2013年的政策涉及潮白河区域水系的综合治理和河流保护工作。因此在该区域内应加强各项保护潮白河流域河湖环境综合治理政策的实施及监管强度。

3.2 耕地、林地变化对生态系统服务的影响

研究期间该区域内耕地面积大幅减少,减少值为37 715.13 hm²(表1)。根据苏锐清等^[30]对潮白河区域2001—2017年间耕地利用转移特征的研究得出,耕地以转出为主,主要转换成城镇用地、农村居民点和水域。耕地面积减少最多的区域是天津市的宝坻区、北京市的通州区和顺义区,这三个地区是京津冀协同发展中经济发展最快的三个区域。但耕地作为一种重要的土地利用类型,其变化对区域可持续发展和粮食安全具有重要意义。因此,应在该流域内实行严格的耕地保护政策,对农民的耕地保护行为制定激励性政策,积极实践土地集约利用政策,加强未利用地的开发强度,提高土地利用效率。

研究发现,在该流域内林地所能提供各项生态系统服务的能力也很强,其总生态系统服务的能力仅次于水域。但在该研究区内林地、草地面积较少(表1),占比分别为0.99%、0.25%,并且在研究期内,林

地、草地的面积都在减少。因此,在该区域可以将草地适当变更为林地用途,若将草地全部转换为林地来预估,该区域生态系统服务总价值年均可以提升201.96万元,这对当地提升生态系统服务有十分重要的作用。同时,也可将其他闲置或废弃的工矿用地适当转变为林地,提升该区域内的总体生态系统服务价值。

3.3 土地利用变化与生态系统服务之间的关系

生态系统服务作为人类从生态系统中获得的各种惠益,体现了人类对土地资源的直接和间接利用关系,而土地利用格局与生态过程的改变是影响生态系统服务的主导因素^[32]。土地利用变化导致生态系统服务变化,生态系统服务现状同时可以反映土地利用状况,两者相互影响。在未来的研究中,建议在该区域内将生态系统服务纳入土地用途管制政策中,严格控制土地用途的转变,对土地用途转变的审批要强调用途改变后其所能带来的生态系统服务价值绝不能降低;其次,应厘清“格局-过程-服务”的级联关系,并加强生态系统服务对土地利用变化的反馈作用^[33]。

土地管制政策可以通过土地利用的传导作用来影响生态系统服务变化^[34],通过制定土地用途管制政策和潮白河流域河道综合治理等相关政策,减少耕地占用、水体污染和围湖造田等行为的发生,提升该区域内的生态系统服务。为此尝试构建融入生态系统服务的土地利用管理概念框架(图2),提出生态系统服务与土地利用管理的融合过程,探索通过构建合理的土地利用格局,实现提升生态系统服务的目标。合理配置土地资源,权衡、协同各项生态系统服务类型间的关系,使该研究区的生态系统服务价值达到综合最优是今后的研究重点。

4 结论

(1)2001—2017年京津冀潮白河区域耕地和农村居民点面积明显减少、比例逐渐降低,城镇用地和水域面积明显增加、比例逐渐增大;耕地、农村居民点和城镇用地是该区域的主要土地利用类型;城镇用地、工矿用地和水域的动态度呈现大幅的增加趋势,农村居民点、耕地、草地和林地的动态度呈现较大幅度的减少趋势。

(2)近20年来该区域的生态系统服务价值整体上呈现增加的趋势,这主要是由于水域的生态系统服务价值大幅增加;2001—2017年,不同土地利用类型所能提供的生态系统服务价值不同,依次为耕地>水

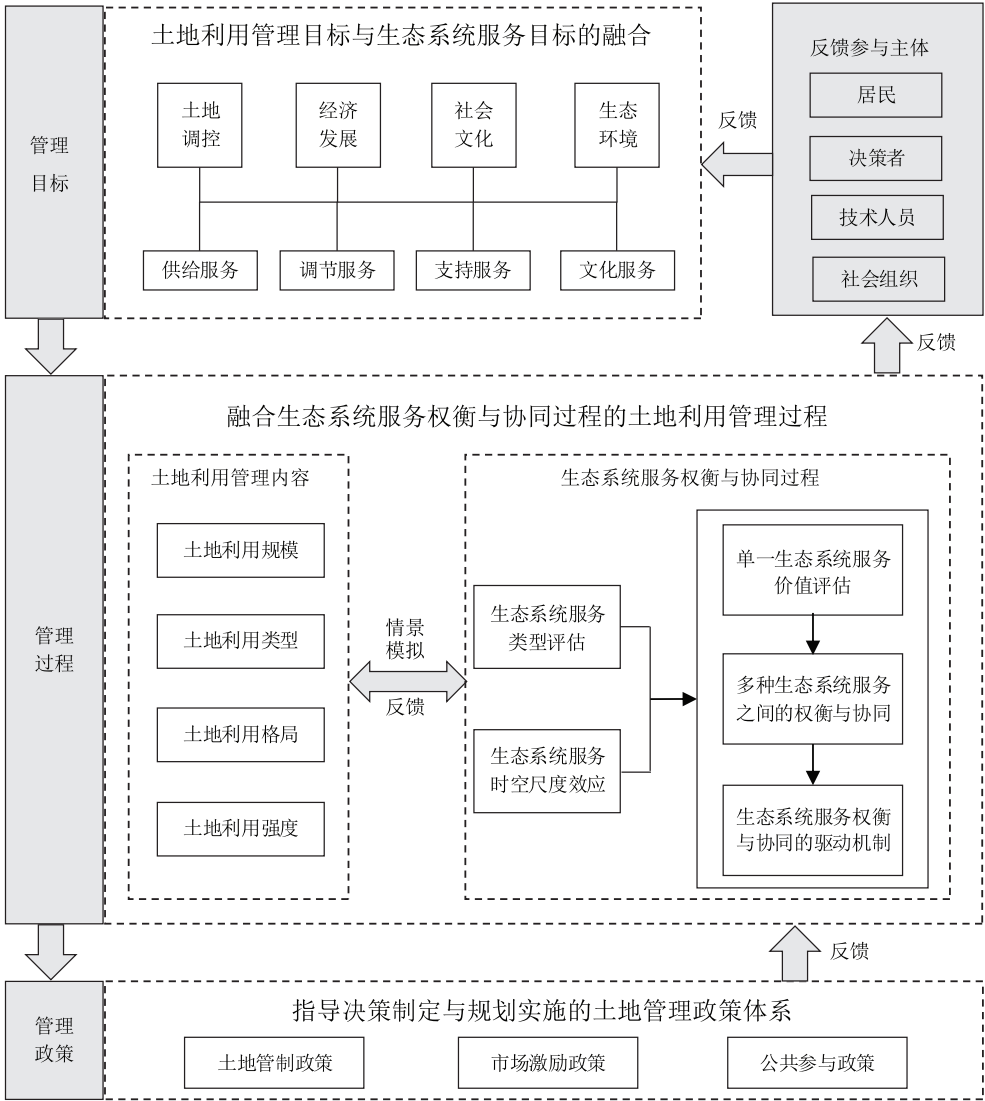


图2 融入生态系统服务的土地利用管理框架

Figure 2 Land use management framework integrated with ecosystem services

域>林地>草地;不同生态系统服务类型所能提供的生态系统服务价值也不同,依次为调节服务>支持服务>供给服务>文化服务。

(3)2001—2017年潮白河区域内各地类的敏感性指数均小于1,敏感性指数从大到小依次为耕地>水域>林地>草地,即研究选取的生态系统价值系数对潮白河区域的生态系统服务价值影响不大,研究结果可信。

参考文献:

[1] Daily G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997: 1-20.
[2] 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(6630): 253-

260.
[3] 傅伯杰, 于丹丹. 生态系统服务权衡与集成方法[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 1-9.
FU Bo-jie, YU Dan-dan. Trade-off analyses and synthetic integrated method of multiple ecosystem services[J]. Resources Science, 2016, 38(1): 1-9.
[4] 彭建, 胡晓旭, 赵明月, 等. 生态系统服务权衡研究进展: 从认知到决策[J]. 地理学报, 2017, 72(6): 960-973.
PENG Jian, HU Xiao-xu, ZHAO Ming-yue, et al. Research progress on ecosystem service trade-offs: From cognition to decision-making[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(6): 960-973.
[5] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 等. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题[J]. 地理研究, 2013, 32(8): 1379-1390.
LI Shuang-cheng, ZHANG Cai-yu, LIU Jin-long, et al. The trade-offs and synergies of ecosystem services: Research progress, development trend, and themes of geography[J]. Geographical Research, 2013, 32

- (8):1379-1390.
- [6] 宋 蕾, 曹银贵, 苏锐清. 潮白河流域耕保新问题与对策[J]. 中国土地, 2019, 26(2):47-48.
- SONG Lei, CAO Yin-gui, SU Rui-qing. New problems and counter measures of cultivated land protection in Chaobai River region[J]. *China Land*, 2019, 26(2):47-48.
- [7] Sheng X W, Cao Y G, Zhou W, et al. Multiple scenario simulations of land use changes and countermeasures for collaborative development mode in Chaobai River region of Jing-Jin-Ji, China[J]. *Habitat International*, 2018, 82:38-47.
- [8] Ehrlich P R, Ehrlich A H. The causes of consequences of the disappearance of species[J]. *Quarterly Review of Biology*, 1981(1):82.
- [9] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and human well-being[M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [10] Wallace K J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions[J]. *Biological Conservation*, 2007, 139(3):235-246.
- [11] Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141:350-352.
- [12] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3):643-653.
- [13] 张 彪, 谢高地, 肖 玉, 等. 基于人类需求的生态系统服务分类[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(6):64-67.
- ZHANG Biao, XIE Gao-di, XIAO Yu, et al. Classification of ecosystem services based on human demand[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(6):64-67.
- [14] Haines-Young R, Potschin M. Common International Classification of Ecosystem Services(CICES) V5.1 and Guidance on the application of the revised structure[EB/OL]. (2018-03-18). <http://www.cices.eu/Guidance-V51-01012018.pdf>.
- [15] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(6):1101-1110.
- ZHAO Tong-qian, OUYANG Zhi-yun, JIA Liang-qing, et al. Ecosystem services and their valuation of China grassland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6):1101-1110.
- [16] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范 LY/T 1721—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- State Forestry Administration. Norm of forest ecosystem service function evaluation LY/T 1721—2008[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [17] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2):189-196.
- XIE Gao-di, LU Chun-xia, LENG Yun-fa, et al. Value assessment of ecological resources on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2):189-196.
- [18] Costanza R, Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26:152-158.
- [19] Wang W J, Guo H C, Chuai X W, et al. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution[J]. *Environmental Science & Policy*, 2014, 44:62-72.
- [20] Zheng Z M, Fu B J, Hu H T, et al. A method to identify the variable ecosystem services relationship across time: A case study on Yanhe Basin, China[J]. *Landscape Ecology*, 2014, 29(10):1689-1696.
- [21] 郝梦雅, 任志远, 孙艺杰, 等. 关中盆地生态系统服务的权衡与协同关系动态分析[J]. 地理研究, 2017, 36(3):592-602.
- HAO Meng-ya, REN Zhi-yuan, SUN Yi-jie, et al. The dynamic analysis of trade-off and synergy of ecosystem services in the Guanzhong basin[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(3):592-602.
- [22] 戴尔阜, 王晓莉, 朱建佳, 等. 生态系统服务权衡/协同研究进展与趋势展望[J]. 地球科学进展, 2015, 30(11):1250-1259.
- DAI Er-fu, WANG Xiao-li, ZHU Jian-jia, et al. Progress and perspective on ecosystem services trade-offs[J]. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(11):1250-1259.
- [23] Lambin E F, Meyfroidt P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108:3465-3472.
- [24] 中华人民共和国国土资源部. 第二次全国土地调查技术规程 TD/T 1014—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Technical regulations for the second national land survey TD/T 1014—2007[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [25] 刘祗坤, 吴 全, 苏根成. 土地利用类型变化与生态系统服务价值分析——以赤峰市农牧交错带为例[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(3):56-61.
- LIU Zhi-kun, WU Quan, SU Gen-cheng. Study on the land use changes and ecosystem services value of ecotone between agriculture and animal husbandry in Chifeng City[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2015, 36(3):56-61.
- [26] 盛晓雯, 曹银贵, 周 伟, 等. 京津冀地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(6):79-86.
- SHENG Xiao-wen, CAO Yin-gui, ZHOU Wei, et al. Impact of land use change on ecosystem service value in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(6):79-86.
- [27] 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.
- XIE Gao-di, ZHEN Lin, LU Chun-xia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5):911-919.
- [28] 刘 园, 周 勇. 长江经济带生态系统服务价值时空变化特征分析及灰色预测[J]. 生态经济, 2019, 35(4):196-201.
- LIU Yuan, ZHOU Yong. Spatiotemporal dynamics and grey forecast of ecosystem services value in the Yangtze River economic belt[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(4):196-201.
- [29] 杜金龙. 土地利用变化及其对生态系统服务价值影响研究——以枣阳市为例[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- DU Jin-long. Study on land use change and its impact on the value of ecosystem services: Take Zaoyang as an example[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.

- [30] 苏锐清,曹银贵,王文旭,等. 京津冀潮白河区域2001—2017年耕地利用变化时空特征分析[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 574–582.
- SU Rui-qing, CAO Yin-gui, WANG Wen-xu, et al. Analysis of spatiotemporal characteristics of cultivated land use change from 2001 to 2017 in the Chaobai River basin of the Beijing–Tianjin–Hebei region [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(4): 574–582.
- [31] 谢高地,肖玉,甄霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10–13.
- XIE Gao-di, XIAO Yu, ZHEN Lin, et al. Study on ecosystem services value of food production in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3): 10–13.
- [32] 傅伯杰,张立伟. 土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441–446.
- FU Bo-jie, ZHANG Li-wei. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(4): 441–446.
- [33] Fu B J, Wei Y P. Editorial overview: Keeping fit in the dynamics of coupled natural and human systems[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018, 33: A1–A4.
- [34] 颜文涛,黄欣,邹锦. 融合生态系统服务的城乡土地利用规划:概念框架与实施途径[J]. 风景园林, 2017, 24(1): 45–51.
- YAN Wen-tao, HUANG Xin, ZOU Jin. Ecosystem services integrated urban and rural land use planning: Conceptual framework and practical approach[J]. *Landscape Architecture*, 2017, 24(1): 45–51.