

DOI: 10.5846/stxb201912022609

张建, 雷刚, 漆良华, 丁霞, 程昌锦, 刘学全. 2003—2018 年土地利用变化对丹江口市景观格局与生态服务价值的影响. 生态学报, 2021, 41(4): 1280-1290.

Zhang J, Lei G, Qi L H, Ding X, Cheng C J, Liu X Q. The landscape pattern and ecological service value in Danjiangkou City under land use change from 2003 to 2018. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(4): 1280-1290.

2003—2018 年土地利用变化对丹江口市景观格局与生态服务价值的影响

张 建¹, 雷 刚², 漆良华^{1,2,*}, 丁 霞¹, 程昌锦¹, 刘学全³

1 国际竹藤中心 国家林业和草原局/北京市共建竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102

2 国际竹藤中心安徽太平试验中心, 太平 245700

3 湖北省林业科学研究院, 武汉 430079

摘要: 丹江口市是南水北调中线工程核心水源区, 通过开展土地利用动态变化、景观格局变化与生态系统服务价值等研究, 为丹江口库区生态安全提供科学支撑。以丹江口市 2003—2018 年 4 期遥感影像数据为基础, 运用 ENVI 5.3、ArcGIS 10.5 以及 Fragstats 4.2 等软件, 统计了丹江口市土地利用动态变化, 分析了景观格局变化指数, 计量了生态系统服务价值。结果表明: 丹江口市土地利用类型变化显著, 水域和林地面积、建设用地面积分别增加了 38.07%、19.73%、11.63%, 耕地和园地面积分别减少了 42.83%、52.40%, 除 2003 年土地利用程度高达 25.02%, 其余年份均保持在 23% 左右; 景观空间格局变化明显, 市域范围内各斑块类型趋于规则, 呈均衡趋势分布, 斑块类型间形成了良好的连接性, 景观聚集程度逐渐提升, 空间分布趋向集中; 丹江口市生态系统服务价值不断增长, 由 2003 年 105.31×10^8 元增长至 2018 年 116.99×10^8 元, 其中水源涵养和土壤形成与保护生态价值最高, 原材料生产、美学景观和食物生产占比较低。在未来城市建设中, 应加大水域和林地的保护力度, 优化调整土地利用结构, 合理规划建设用地, 发展无污染农业生产, 适时增设自然景观, 稳步提升区域生态系统服务价值。

关键词: 丹江口市; 土地利用变化; 景观格局; 生态系统服务价值

The landscape pattern and ecological service value in Danjiangkou City under land use change from 2003 to 2018

ZHANG Jian¹, LEI Gang², QI Lianghua^{1,2,*}, DING Xia¹, CHENG Changjin¹, LIU Xuequan³

1 International center for Bamboo and Rattan Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration/Beijing for Bamboo & Rattan Science and Technology, Beijing 100102, China

2 Anhui Taiping Test center of International Center for Bamboo and Rattan, Taiping 245700, China

3 Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430079, China

Abstract: Danjiangkou City is the core water source area of the South-to-North Water Diversion Middle Route Project. This paper provides scientific support for the ecological safety of Danjiangkou Reservoir Area by conducting research on dynamic changes of land use, landscape pattern and ecosystem service value. Based on the remote sensing image data of Danjiangkou City from 2003 to 2018 and software such as ENVI 5.3, ArcGIS 10.5 and Fragstats 4.2, the dynamic changes of land use in Danjiangkou City were counted, the landscape pattern change index was analyzed, and the ecosystem service value was measured. The results show that the land use types in Danjiangkou City have significantly changed. The area of water, woodland, and urbanized land respectively increased by 38.07%, 19.73%, and 11.63%, the area of cropland land and

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2017YFC0505603)资助

收稿日期: 2019-12-02; 网络出版日期: 2020-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qlh@icbr.ac.cn

orangery land decreased by 42.83% and 52.40% respectively. Except in 2003, the land use degree was as high as 25.02%, and the remaining years remained at about 23%; The landscape spatial pattern has changed significantly. The patch types within the city area tend to be distributed in a regular and balanced trend, the patch types have formed a good connection, the degree of landscape aggregation is gradually increasing, and the spatial distribution tends to be concentrated. The value of ecosystem services in Danjiangkou City has continued to grow, from 105.31×10^8 yuan in 2003 to 116.99×10^8 yuan in 2018. Among them, water conservation and soil formation and protection have the highest ecological value, and raw material production, aesthetic landscape and food production account for a relatively low proportion. In the future urban construction, we should increase the protection of waters and woodlands, optimize and adjust the land use structure, rationally plan construction land, develop pollution-free agricultural production, add natural landscapes in time, and steadily increase the value of regional ecosystem services.

Key Words: Danjiangkou City; land use change; landscape pattern; ecosystem service value

土地利用变化作为自然环境和人类活动共同作用下的表现形式^[1],对维持和改善区域生态平衡,实现土地资源可持续开发利用具有重要意义^[2]。景观格局变化影响着生态系统的质量和演变过程,通过景观格局分析和运用景观格局指数定量获取要素的空间分布特征,为景观功能和格局动态变化研究提供基础信息^[3-4]。当前,土地利用与景观格局研究主要集中在土地利用与景观格局的演化过程及特征^[5]、土地利用景观格局的稳定性评价^[6]、景观格局时空变化及驱动力因素^[7]、景观格局变化规律与尺度效应^[8]等方面。

生态系统服务主要包括供给服务、调节服务、支持服务和文化服务四个方面^[9-10]。人类所需生态系统服务数量和种类越来越多,对自然资源的利用已超越生态系统本身提供限度,造成对某一服务功能需求以牺牲其他服务功能为代价^[11-12]。为进一步提高研究区各生态系统服务功能协调发展,明晰各功能之间关联特征,实现各服务功能效益最大化,优化生态系统服务管理政策,保护当地生态系统的正常运行,达到区域发展与生态保护“双赢”的目的,有必要对生态系统服务进行集成研究^[13-15]。

南水北调中线工程是我国重要的跨流域调水工程,旨在解决我国华北地区缺水困境,缓解中、北部城市用水冲突,实现水资源的合理布局 and 分配^[16]。丹江口市作为南水北调中线工程重要水源区,对整个南水北调工程具有“水龙头”的作用。特别近 15 年间,丹江口市作为全国生态功能区中极重要的生态保护地,又历经丹江口大坝加高、南水北调中线工程,但对当前丹江口市的土地利用变化、景观格局变化与生态系统服务价值研究却鲜有报道。目前丹江口市研究主要集聚在水文生态等方面,王晓荣等^[17]、丁霞等^[18]对马尾松林(*Pinus massoniana*)水源涵养价值进行评价,徐慧^[19]对调水前后的水源涵养和水质净化进行研究;部分学者对丹江口水源区生态系统价值的研究仅局限在某一种生态系统类型的单一生态服务价值^[20-21],定量研究较少,缺少时空差异,未同时考虑到土地利用变化、景观格局变化对生态系统服务价值的影响。

鉴于此,本文以丹江口市为研究区,基于土地利用、景观生态学的相关理论与实验,借鉴 Costanza 和谢高地团队的生态系统服务价值的研究成果,研究在土地利用变化下丹江口市 2003—2018 年近 15 年景观格局以及生态系统服务价值的变化,对丹江口市城市规划与库区上游提出合理保护建议,保障南水北调中线工程的水量 and 水质,提高丹江口市的生态系统服务价值。

1 研究区概况

丹江口市地处湖北省西北部,汉江中上游,是国家级重点生态功能区县。位于 $32^{\circ}14'10''$ — $32^{\circ}58'10''$ N, $110^{\circ}47'53''$ — $110^{\circ}34'47''$ E 之间,东西最大横距 73 km,南北最大纵距 81 km;属于亚热带半湿润季风气候区,气候温和,四季分明,光照时间长,雨热同季且无霜期较长等特点,年平均气温 15.9°C ,年降雨量约 800 mm,年蒸发量为 1979.1 mm;土壤以黄棕壤和黄壤为主,成土母质由石灰岩、片麻岩等发育而成,质地疏松;马尾松、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、柏树(*Cupressus funebris*)、柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)等在全市均有分布。

丹江口市是南水北调中线工程坝区、库区和移民主要安置区,其中南水北调中线工程于 2003 年开工,同年丹江口市开展移民搬迁工程;2008 年后丹江口水库大坝加高工程基本竣工;2013 年南水北调中线水源工程完工开展调水实验,同年移民搬迁工程圆满完成;截止 2018 年底丹江口库区累计供水 $222 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。丹江口市作为南水北调中线工程重要水源地,不仅要保证水量充足与水质合格,同时水土保持、优化生态环境、维持生物多样性等生态系统服务功能也极其重要。因此,对丹江口库区湖北省丹江口市进行生态系统价值评估,为自然资源的合理利用及管理决策提供科学依据,做好水源区的生态建设及环境保护工作,保证南水北调工程的实效性。

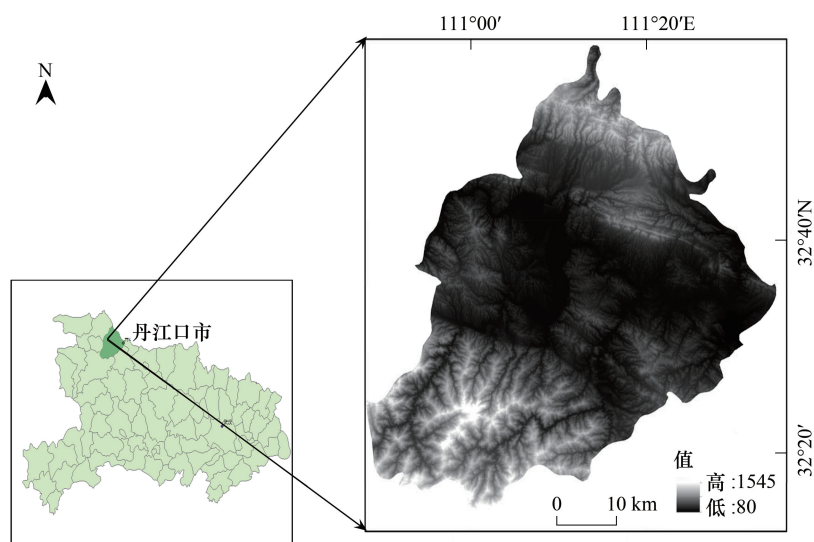


图 1 丹江口市在湖北省的区位图

Fig. 1 Danjiangkou City location map in Hubei Province

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

(1) 土地利用数据。根据研究区土地资源特征和野外考察结合,原始遥感影像数据来源于美国地质调查局(<http://www.usgs.gov/>),选择丹江口市 2003 年 Landsat 7 ETM+、2008 年 Landsat -5 TM、2013 年和 2018 年 Landsat 8 OLI_TIRS 影像,时相以 9—10 月为主,分辨率为 30m,云量均 3% 以下,影像质量良好,辅助数据丹江口市 1:10 万地形图;

(2) 遥感影像预处理。运用 ENVI 5.3 以 Landsat 8 OLI 为基准几何校正,进行辐射定标、大气校正、图像增强等,采用最大似然法^[22]进行监督分类,依据《土地利用现状分类》国家标准(GB/T 21010—2007),结合丹江口市土地利用现状,将土地利用类型分为水域、林地、耕地、园地、建设用地和未利用地 6 种。

(3) 遥感影像精校正。利用谷歌地图获取 4 个时期的高清历史影像图,通过野外调查数据和历史影像图建立样本区,对监督分类解译的土地利用数据修正,经检验 4 期影像图 Kappa 系数达到 0.84、0.86、0.86、0.85,解译结果符合精度要求。

(4) 分类后处理。丹江口市林地主要包括针叶林、阔叶林和混交林及林下植被,园地主要以柑橘园为主,建设用地主要包括城镇、农村用地以及道路工矿用地等,未利用地主要包括丹江口库区河岸带裸地等。在 ArcGIS 10.5 软件支持下,绘制丹江口市 2003、2008、2013 和 2018 年 4 个时期的土地利用分类图(图 2);利用 Frastats 4.2 软件,计算丹江口市 2003—2018 年 4 期景观格局指数。

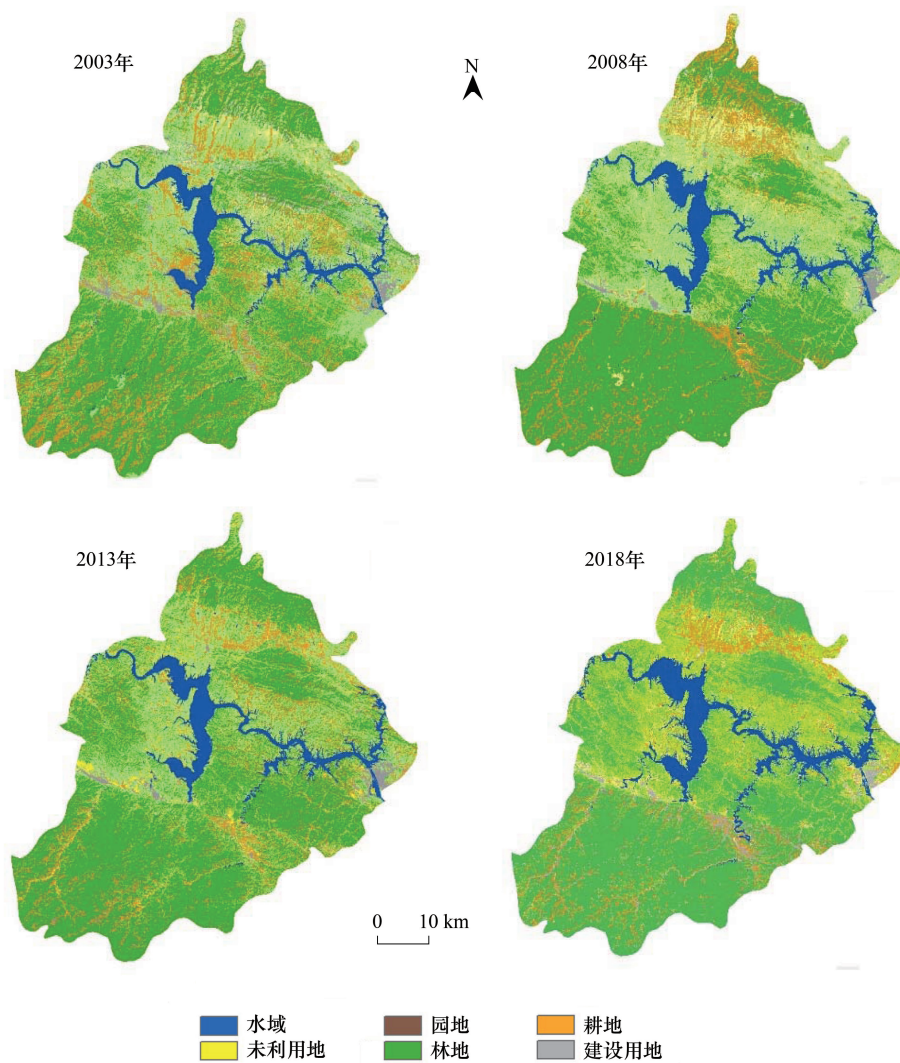


图2 2003—2018 年丹江口市 4 期土地利用分类图

Fig.2 2003—2018 Danjiangkou City 4 land use classification map

2.2 土地利用动态变化研究

(1) 土地利用动态度计算

土地利用动态度指研究区域在某段时间内某土地利用类型和数量的变化情况,可以反映区域土地利用/覆盖中土地利用类型的变化剧烈程度^[23]。

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

式中, R_i 为研究时段内某一类型土地利用的动态度; T 是某种土地利用类型变化年份; U_a 、 U_b 分别为研究初期和末期某一土地利用类型面积。

(2) 土地利用程度变化分析

土地利用程度参数设定参考胡和兵等^[24]相关成果,其中园地取林地和草地的均值;借鉴庄大方等^[25]土地利用程度的综合分析方法,计算土地利用程度变化。土地利用综合指数模型表达式为:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{A_T} \times 100\% \quad (2)$$

式中, L 为研究区土地利用程度综合指数; n 为土地利用类型数量; A_i 为第 i 类土地利用类型面积; A_T 为研究区域总面积; P_i 为不同类型的土地利用程度参数。

2.3 景观格局指数选取

景观格局指数可以反映其结构组成和空间配置等方面特征^[26], 一般是在斑块水平、斑块类型水平和景观水平 3 个层次上分析。由于斑块水平指数只作为其他景观指数的计算基础, 因此, 本文在参照前人的研究成果^[27], 结合研究实际需求, 主要从斑块类型和景观水平层次开展研究, 并选取表征面积、聚集度、形状和多样性测量等的景观格局指数进行计算。

景观面积度量指标选择斑块类型面积 (CA)、斑块类型比 (PLAND)、最大斑块指数 (LPI) 和景观面积 (TA)^[28-29]。CA 值的大小影响着斑块类型聚集地中的物种数量及丰度, PLAND 指某一斑块类型占整个景观面积的相对比例, LPI 主要表示某一景观类型最大斑块占整个景观面积的比例, 决定了景观优劣斑块, 反应景观变化受人类活动干扰程度; TA 定义景观幅度, 是监测生态系统是否稳定的重要指标。

景观形状指标选择景观形状指数 (LSI)^[30], 反映景观和斑块形状的分散和规则程度, 值越大说明景观形状越复杂。景观邻近度指标选择香农多样性指数 (SHDI)^[31], 值越小斑块类型越少, 值增大说明斑块类型增加或各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布。

景观聚集与分散度测量指标, 选取蔓延度指数 (CONTAG)、散布与并列指数 (IJI)、聚集度指数 (AI)^[32] 进行分析。CONTAG 反映景观类型的聚集程度和延展程度, 高蔓延度值表明某种优势斑块类型具有良好的连通性; IJI 反映斑块类型的隔离分布情况; AI 是基于栅格数量来测度景观或者某种斑块类型的聚集程度。

2.4 生态系统服务价值计算

本研究基于货币的价值量评价法, 参考谢高地等^[33]对中国陆地生态系统单位面积生态服务当量表的研究, 设置丹江口市当量因子, 通过前人研究确定湖北省的耕地当量因子为全国耕地的 1.27 倍^[34], 园地取草地和林地的均值, 建设用地和未利用地当量因子参考李晓赛等^[35]研究成果进行设定。

不考虑价格波动因素, 统一选取 2008 年粮食平均价格 1.8 元/kg 作为农作物的单价进行计算, 在无人力投入使用下, 自然生态系统的经济价值是现有单位面积耕地提供的食物生产服务价值的 1/7^[33], 结合十堰市和丹江口市年鉴, 运用如下公式, 计算出丹江口市 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量为 2056 元/hm²。

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (3)$$

式中, E_a 为单位面积农田生态系统提供生产服务价值, 元/hm²; i 为作物种类; n 为粮食种类; m_i 为粮食播种面积; p_i 为地 i 种粮食作物全国平均单价, 元/kg; q_i 为单位面积产量, kg/hm²; M 为粮食作物总面积 hm²。

利用丹江口市土地利用分类结果, 对 2003—2018 年的生态系统服务价值计算, 公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^6 A_i \times C_i \quad (4)$$

式中, ESV 为生态服务价值 (元); A_i 为土地利用类型面积 (hm²); C_i 为单位面积生态服务价值 (元/hm²)。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

丹江口市 2003—2018 年不同土地利用类型变化情况 (表 1) 显示, 近 15 年土地利用类型变化明显, 其中耕地和园地面积均大幅减少, 耕地面积减少了约 15677 hm², 园地面积减少了约 29366 hm²; 水域面积和林地面积均明显的增加趋势, 水域面积共增加了 10516 hm², 林地面积增长了 24.58% 约 31260 hm²; 建设用地面积呈先减少又持续增加趋势, 新增面积约 2553 hm², 未利用地面积近 15 年变化较缓慢, 基本保持持平状态。

从土地动态度变化来看, 丹江口市水域、林地、耕地、园地和建设用地面积变化较为剧烈, 特别是水域面积以每 5 年大于 3% 的动态度增长, 林地和耕地在前期 (2003—2008 年) 变化较大, 其最大值为 2.34% 和 3.87%;

园地面积在中后期(2008—2013、2013—2018 年)平均动态变化约 3%,建设用地在后期(2013—2018 年)最高达 3.80%;未利用地的面积变化不明显。

根据土地利用程度参数(表 2)计算得到丹江口市 2003—2018 年不同土地利用程度(表 3),2003 年土地利用程度达到 25.01%,显著高于其余年份;其他 3 期土地利用程度均保持在 23% 左右;2003 年土地利用程度偏大可能与当时修建丹江口水库的移民搬迁等政府政策有关。

丹江口市近 15 年土地利用类型变化明显,与南水北调中线工程建设和城市建设有关。由于工程建设,丹江口市对水域和林地保护意识不断增强,退耕还林政策的执行保证了有效持续性增长,特别是“十八大”以来生态文明建设的贯彻执行,以及“山水林田湖草”的践行,进一步保障了丹江口市的水域和林地面积稳定增长;由于城市化的进程、武当山风景区的建设及各乡镇建设发展,丹江口市建设用地也大幅度增加。

表 1 丹江口市 2003—2018 年不同土地利用类型变化情况表

Table 1 Table of changes in different land-use types in Danjiangkou City, 2003—2018

年份 Year	项目 Type	水域 Water area	林地 Woodland	耕地 Cropland	园地 Orangery	建设用地 Urbanized land	未利用地 Barren land
2003	面积/hm ²	17101	127153	52277	85409	19400	10240
	比例/%	5.49	40.81	16.78	27.41	6.23	3.28
2008	面积/hm ²	20084	142091	42150	78993	17506	10756
	比例/%	6.45	45.60	13.53	25.35	5.62	3.45
2013	面积/hm ²	23188	151753	41694	65765	18448	10732
	比例/%	7.44	48.70	13.38	21.11	5.92	3.45
2018	面积/hm ²	27617	158413	36600	56043	21953	10954
	比例/%	8.86	50.84	11.75	17.99	7.04	3.52
2003—2008	动态度/%	3.49	2.34	-3.87	-1.50	-1.95	1.00
2008—2013	动态度/%	3.09	1.36	-0.22	-3.35	1.08	0.04
2013—2018	动态度/%	3.82	0.89	-2.44	-2.96	3.80	0.41

表 2 不同土地利用类型的土地利用程度参数

Table 2 Parameters for the degree of land use of different land-use types

土地利用类型 Land use type	水域 Water area	林地 Woodland	耕地 Cropland	园地 Orangery	建设用地 Urbanized land	未利用地 Barren land
土地利用程度参数 Land use degree parameter P_i	0.120	0.114	0.165	0.545	0.936	0.063

表 3 丹江口市 2003—2018 年不同土地利用程度表

Table 3 Table of different land use levels in Danjiangkou City, 2003—2018

年份/Year	2003	2008	2013	2018
土地利用程度 Land use degree/%	25.01	23.00	22.98	23.05

3.2 景观格局动态变化与驱动力分析

由丹江口市 2003—2018 年斑块类型水平的景观格局指数(表 4),水域面积增加,斑块类型比和最大斑块指数总体呈上升趋势,水域占研究区面积的比例持续上升,散布与并列指数减小,景观形状指数和聚集度指数不断增加并趋于平稳,与水域相邻的景观要素变少,连通性增强,但水域形状却在人类活动的影响下变得不规则。林地面积逐年增加,占研究区面积的 50.84%,景观形状指数增大,聚集度指数增加,受人类活动影响林地分布趋于聚集,连贯性增强形状更为规则。

耕地与园地面积逐渐减少,且斑块类型比和最大斑块指数总体呈下降趋势。2003—2018 年耕地的景观形状指数增大,耕地趋于分散,形状不规则;园地景观形状指数逐年减小,园地相对集中且形状规则。耕地的散布与并列指数总体增幅较小,聚集度指数总体呈增大趋势,说明耕地的斑块聚集程度越来越高;园地的散布

与并列指数总体呈减小趋势,聚集度指数总体变化不明显。

建设用地在 2008—2018 年近 10 年增长明显,不合理的土地利用规划,致使建设用地聚集程度提高但形状越来越不规则。特别是乡镇、村的发展,移民搬迁政策的执行,使得建设用地聚集程度高,乡村用地受地形地势影响相对分散。未利用地主要包括裸地,近 15 年来未出现明显的变化趋势,裸地斑块趋于集中,说明相邻的斑块类型变多;香农多样性指数整体呈现下降趋势,表明土地利用集中。在经济建设过程中,合理开发利用裸地资源,将成为下一阶段的重点经济建设和林地增加的首选目标。

表 4 丹江口市 2003—2018 年斑块类型水平的景观格局指数

Table 4 Landscape pattern index for the level of plaque types in Danjiangkou City, 2003—2018

斑块类型 Patch type	年份 Year	CA/hm ²	PLAND/%	LPI	LSI	IJI	AI
水域 Water area	2003	17101	5.49	26.58	29.197	62.9846	93.5115
	2008	20084	6.45	32.41	30.2466	64.2556	93.9424
	2013	23188	7.44	31.02	31.4726	79.2377	93.5507
	2018	27617	8.86	38.76	34.0126	16.6868	94.0274
林地 Woodland	2003	127153	40.81	9.21	83.6809	59.8890	84.3683
	2008	142091	45.60	14.38	89.7271	58.4840	90.5454
	2013	151753	48.70	12.02	83.1665	66.0967	86.0967
	2018	158413	50.84	11.41	87.6599	69.8211	89.6908
耕地 Cropland	2003	52277	16.78	11.92	104.9239	62.4127	62.6961
	2008	42150	13.53	24.47	107.1468	66.8632	62.5185
	2013	41694	13.38	29.66	111.9134	72.0415	57.1832
	2018	36600	11.75	28.94	123.8033	76.2247	64.9933
园地 Orangery	2003	85409	27.41	26.77	147.4325	77.4267	64.4000
	2008	78993	25.35	23.83	151.6725	79.6527	73.2046
	2013	65765	21.11	22.30	108.5462	68.3557	65.2740
	2018	56043	17.99	18.16	118.1007	69.4313	64.1972
建设用地 Urbanized land	2003	19400	6.23	16.63	139.4907	83.6747	53.1070
	2008	17506	5.62	13.53	116.8228	87.5292	49.1120
	2013	18448	5.92	17.12	145.6078	83.9475	54.5265
	2018	21953	7.04	18.18	163.4921	84.7431	58.3575
未利用地 Barren land	2003	10240	3.28	7.12	180.2300	73.8442	48.5163
	2008	10748	3.45	8.07	183.3420	76.6967	54.7026
	2013	10742	3.45	6.18	182.3965	71.4995	47.3387
	2018	10956	3.52	8.98	185.6073	76.2263	52.8118

CA:斑块类型面积 Class area; PLAND:斑块类型比 Percent of landscape; LPI:最大斑块指数 Largest patch index; LSI:景观形状指数 Landscape shape index; IJI:散布与并列指数 Interspersion juxtaposition index; AI:聚集度指数 Aggregation index

由表 5 景观水平的景观格局指数发现,2003—2018 年间丹江口市景观形状指数呈现先减后增又减趋势,各类景观趋于离散,且形状越来越不规则;蔓延度指数先增加后减小,总体呈增大趋势,各景观之间连通性较好;散布与并列指数呈增加趋势,且类型的破碎化变小丰富度变低;香农多样性指数在 2013—2018 年间增加了 0.035,各斑块类型呈均衡趋势分布,土地利用类型越来越丰富;聚集度指数在 2003—2008 年增加了 3.71,整体呈上升趋势,说明各土地利用类型聚集程度逐步提升。

表 5 丹江口市 2003—2018 年景观水平的景观格局指数

Table 5 Landscape pattern index for landscape levels, Danjiangkou City, 2003—2018

年份 Year	TA/hm ²	LSI	CONTAG	IJI	SHDI	AI
2003	311580	186.8459	47.508	72.2996	1.4006	85.5294
2008	311580	139.3347	50.6355	73.3944	1.3876	89.2395
2013	311580	170.7846	49.9788	74.3472	1.3280	86.7814
2018	311580	144.4658	50.7122	77.8800	1.3630	88.8380

TA:景观面积 Total landscape area; LSI:景观形状指数 Landscape shape index; CONTAG:蔓延度指数 Contagion index; IJI:散布与并列指数 Interspersion juxtaposition index; SHDI:香农多样性指数 Shannon's diversity index; AI:聚集度指数 Aggregation index

人为因素和自然因素是影响丹江口土地利用和景观格局变化的重要因素。研究区土地利用与景观格局变化主要受制于人类活动和政策的施行。2003—2008 年,水域面积与林地面积增加,与当时丹江口库区建设密切相关,为保护水域退耕还林;特别是移民搬迁政策,使原本分散的聚居地转为城镇、移民新村等,整体上建设用地面积减少,但聚集度提升;人口增长和社会需求也加速了土地利用程度的变化。2008—2018 年,为保护丹江口库区水质和南水北调中线工程的开通,加大了林业管理,林地面积有所增加;当地政府加大生态文明建设,响应“山水林田湖草”口号,进一步保障了丹江口市水域面积和林地面积稳定增长;随着 2008 年丹江口水库大坝的增高,库区蓄水能力也逐渐增强。

由于丹江口市每年降水量较为均衡,考虑到自然因素主要是小气候带来的影响,在库区周边存在地面热容量差异,容易形成局部小气候带来部分降雨,使部分地区降水可能会有所增加,但整体影响较小。

3.3 生态系统服务价值

将计算得到的 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量代入丹江口市不同土地类型单位面积生态服务价值当量表。

表 6 丹江口市不同土地类型生态系统服务价值系数表/(元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 6 Table of value factors for ecosystem services of different land types in Danjiangkou City

功能类型 Function type	类别 Category	属性 Attributes	耕地 Cropland	林地 Woodland	园地 Orangery	水域 Water area	建设用地 Urbanized land	未利用地 Barren land
供给服务 Provision services	食物生产	当量因子	1.27	0.10	0.20	0.10	0.10	0.01
		价值系数	2611.12	205.60	411.20	205.60	205.60	20.56
	原材料生产	当量因子	0.14	2.60	1.33	0.01	0	0
		价值系数	287.84	5345.60	2734.48	205.60	0	0
调节服务 Regulate services	气体调节	当量因子	0.69	3.50	2.15	0	0	0
		价值系数	1418.64	7196.00	4420.40	0	0	0
	气候调节	当量因子	1.23	2.70	1.80	0.46	0	0
		价值系数	2528.88	5551.20	3700.8	945.76	0	0
	水源涵养	当量因子	0.83	3.20	2.00	20.38	-7.51	0.03
		价值系数	1706.48	6579.20	4112.00	41901.28	-15440.56	61.68
	废物处理	当量因子	2.26	1.31	1.31	18.18	-2.46	0.01
		价值系数	4646.56	2693.36	2693.36	37378.08	-5057.76	20.56
支持服务 Support services	土壤形成与保护	当量因子	2.01	3.90	2.93	0.01	0.02	0.02
		价值系数	4132.56	8018.40	6024.08	20.56	41.12	41.12
	维持生物多样性	当量因子	0.98	3.26	2.18	2.49	0.34	0.34
		价值系数	2014.88	6702.56	4482.08	5119.44	699.04	699.04
文化服务 Culture services	提供美学景观	当量因子	0.01	1.28	0.66	4.34	0.01	0.01
		价值系数	20.56	2631.68	1356.96	8923.04	20.56	20.56
生态服务功能 Ecological service function		总计	19367.52	44923.60	29935.36	94699.36	-19532.00	863.52

表 7 丹江口市 2003—2018 年生态系统服务价值

Table 7 Value of ecosystem services in Danjiangkou City, 2003—2018

类型 Type	ESV/(10^8 元/Yuan)				比例 Proportion/%			
	2003	2008	2013	2018	2003	2008	2013	2018
水域 Water area	16.19	19.02	21.96	26.15	14.34	16.10	18.06	20.83
林地 Woodland	57.12	63.83	68.17	71.16	50.60	54.02	56.07	56.67
耕地 Cropland	10.12	8.16	8.08	7.09	8.97	6.91	6.65	5.65
园地 Orangery	25.57	23.65	19.69	16.78	22.65	20.01	16.19	13.36
建设用地 Urbanized land	-3.79	-3.42	-3.60	-4.29	3.36	2.89	2.96	3.42
未利用地 Barren land	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07
总计 Total	105.31	111.34	114.38	116.99	100.00	100.00	100.00	100.00

依据表 7,丹江口市 2003—2018 年生态系统服务价值呈增长趋势,总价值从 2003 年 105.31×10^8 元增长至 2018 年 116.99×10^8 元,共增长了 8.98%,水域和林地服务价值增加最显著。林地、园地和水域是丹江口市生态系统服务价值的主要贡献类型,林地均保持在 50% 以上的贡献率;在 2003—2008 年间园地贡献量大于水域,在 2013—2018 年间,随着水域面积不断增加,水域的贡献已达到总价值的 20.83%。随着经济发展,建设用地不断扩增,耕地面积逐渐减少,耕地生态服务总价值逐渐降低,建设用地带来的生态系统服务负面价值越来越明显。

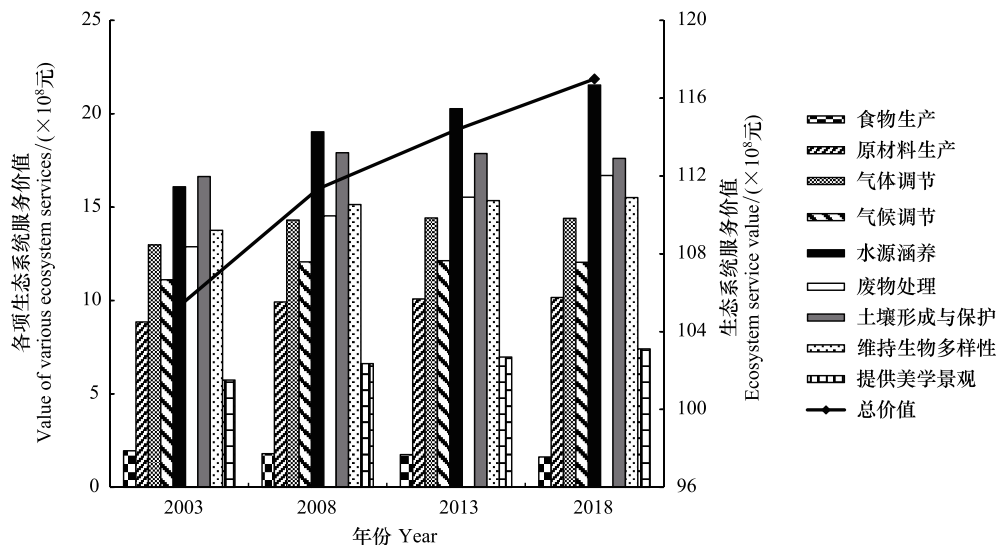


图 3 丹江口市 2003—2018 年各项生态系统服务价值

Fig. 3 Value of ecosystem services in Danjiangkou City 2003—2018

由图 3,丹江口市 2003—2018 年各项生态系统服务价值中水源涵养、土壤形成与保护、维持生物多样性(2008 年及前)和废物处理(2013 年及后)占比最高。从整体上来看,丹江口市水源涵养和土壤形成与保护的价值最高,原材料生产、美学景观和食物生产占比较低。随着林地和水域面积增加,应当在保护的基础上适时增设自然景观如湿地公园、环湖公园等,既保护当地生态又可提高美学景观价值;结合当地实际情况栽种绿色无污染的农作物以及发展无污染水产品加工,增加食品生产和原材料生产的价值。

4 结论与讨论

4.1 讨论

本文基于土地利用动态变化,对丹江口市景观格局与生态系统服务价值进行研究。当前土地利用动态变化模型主要有资源数量变化模型、资源生态背景质量变化模型、土地利用程度变化模型、土地利用变化区域差异模型、土地利用空间变化模型、土地需求量预测模型等^[23],本研究选取土地资源数量变化模型和土地利用程度变化模型进行计算,得到丹江口市 2003—2018 年土地利用动态度和土地利用程度,土地利用动态变化趋势与秦钰莉等^[36]对丹江口库周土地利用变化研究结果相似,其动态变化与政策的实施及城市建设发展密切相关。

景观格局在生态环境效应、景观生态安全等方面已做大量研究^[37-39],本文参考前人研究结合丹江口市土地利用变化数据,选取了斑块类型水平和景观水平 12 个指数计算分析,结果显示丹江口市景观格局趋于离散,形状越来越不规则,相邻斑块类型变多,土地利用类型的破碎化变小丰富度变低,聚集程度提升,这与秦钰莉等^[36]、刘海等^[40]研究结果相似,城乡发展建设,水库蓄水、移民搬迁、退耕还林和生态文明建设等政策的实施是推动了丹江口市景观格局的变化的重要因素。

对丹江口市生态系统服务价值评估主要采用 Costanza 与谢高地提出的方法,结合土地利用类型面积,计算出 2003—2018 年生态系统服务价值。15 年间生态系统服务价值增长了 11.68×10^8 元,林地和水域生态系统服务价值高达 71.16×10^8 元、 26.15×10^8 元。从各生态系统服务指标来看,丹江口市水源涵养和土壤形成与保护生态价值最高,研究结果与刘海等^[40]对丹江口库区研究相同,同闵捷等^[41]对武汉研究结果相似,比德州市^[42]、嘉兴市^[43]研究结果偏高,这可能与丹江口市独特的地域性有关。

另外,本文仅选取 2008 年农田生产价值对单位面积生态服务价值当量进行了系数修正,随着粮食价格的波动和上升,导致生态系统总价值量的研究可能偏小;在耕地和园地的生态系统服务价值研究中未直接对农药、化肥的使用进行计算,进而可能对水源涵养服务价值带来影响;生态系统服务价值研究中未把生态系统健康程度^[44,45]带来的影响纳入计算,需下一步继续深入研究。

4.2 结论

(1) 丹江口市 2003—2018 年土地利用类型变化显著,水域面积和林地面积、建设用地面积分别增加 10516、31260、2553 hm^2 ,耕地面积和园地面积分别减少了 29366、15677 hm^2 ,水域、林地、耕地、园地和建设用地面积变化较为剧烈;研究区 4 期土地利用程度均保持在 23% 左右,2003 年土地利用程度高于其他年份,与当年移民搬迁政策有关。

(2) 景观空间格局变化明显,市域范围内各斑块类型趋于规则呈均衡趋势分布,斑块类型间形成了良好的连接性,景观聚集程度逐渐提升,空间分布趋向集中。究其原因,景观格局变化主要受制于人为因素和自然因素,水库蓄水、移民搬迁、退耕还林和生态文明建设等政策的实施,都加速了土地利用与景观格局的变化。

(3) 丹江口市近 15 年生态系统服务价值呈增长趋势,总价值从 2003 年 105.31×10^8 元增长至 2018 年 116.99×10^8 元。林地、园地和水域是丹江口市生态系统服务价值的主要贡献类型;从各生态系统服务指标来看,水源涵养和土壤形成与保护生态价值最高,原材料生产、美学景观和食物生产生态价值占比较低。

(4) 在未来生态文明建设中,可适宜增设自然景观如湿地公园、环湖公园等,既保护生态又提高美学景观价值;栽种绿色无污染的农作物,发展无污染水产品加工,水库周边多种植耐水淹、生长周期短的农作物,增加食品生产和原材料生产的生态系统价值;加大对林地和水域保护力度,保证南水北调中线工程的水量 and 水质,相关部门在制定发展政策时,要特别注重土地利用和生态环境之间协调发展,合理规划城乡建设用地,在保证生态系统稳定性的同时稳步提升生态系统服务价值。

参考文献 (References):

- [1] 徐新良, 庞治国, 于信芳. 土地利用/覆被变化时空信息分析方法及应用. 北京: 科学技术文献出版社, 2014.
- [2] Liu J Y, Xu X L, Zhuang D F, Gao Z Q. Impacts of LUCC processes on potential land productivity in China in the 1990s. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005, 48(8): 1259-1269.
- [3] Moser D, Zechmeister H G, Plutzer C, Sauberer N, Wrbka T, Grabherr G. Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes. *Landscape Ecology*, 2002, 17(7): 657-669.
- [4] 曹银贵, 王静, 刘正军, 程烨, 刘爱霞, 许宁. 三峡库区近 30 年土地利用时空变化特征分析. *测绘科学*, 2007, 32(6): 167-170.
- [5] 王天山, 郑寒. 城市化过程中环洱海区域土地利用及景观格局变化分析. *生态经济*, 2016, 32(1): 181-185.
- [6] Lamine S, Petropoulos G P, Singh S K, Szabó S, El Islam Bachari N, Srivastava P K, Suman S. Quantifying land use/land cover spatio-temporal landscape pattern dynamics from Hyperion using SVMs classifier and FRAGSTATS®. *Geocarto International*, 2018, 33(8): 862-878.
- [7] 赵锐锋, 王福红, 张丽华, 李鸿伟. 黑河中游地区耕地景观演变及社会经济驱动力分析. *地理科学*, 2017, 37(6): 920-928.
- [8] Duan J C, Tan J H, Wang S L, Hao J M, Chai F H. Size distributions and sources of elements in particulate matter at curbside, urban and rural sites in Beijing. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, 24(1): 87-94.
- [9] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neil R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van D B M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [10] Loomes R, O'Neill K. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. *Pacific Conservation Biology*, 2000, 6(2): 274-274.
- [11] Di Sabatino A, Coscieme L, Vignini P, Cicolani B. Scale and ecological dependence of ecosystem services evaluation: spatial extension and economic value of freshwater ecosystems in Italy. *Ecological Indicators*, 2013, 32: 259-263.
- [12] Schmalz B, Kruse M, Kiesel J, Müller F, Fohrer N. Water-related ecosystem services in Western Siberian lowland basins—analysing and mapping spatial and seasonal effects on regulating services based on ecohydrological modelling results. *Ecological Indicators*, 2015, 71: 55-65.

- [13] Blattert C, Lemm R, Thees O, Lexer M J, Hanewinkel M. Management of ecosystem services in mountain forests: review of indicators and value functions for model based multi-criteria decision analysis. *Ecological Indicators*, 2017, 79: 391-409.
- [14] 曹祺文, 卫晓梅, 吴健生. 生态系统服务权衡与协同研究进展. *生态学报*, 2016, 35(11): 3102-3111.
- [15] 李鸿健, 任志远, 刘焱序, 张静. 西北河谷盆地生态系统服务的权衡与协同分析——以银川盆地为例. *中国沙漠*, 2016, 36(6): 1731-1738.
- [16] 李思悦, 刘文治, 顾胜, 韩鸿印, 张全发. 南水北调中线水源区汉江上游流域主要生态环境问题及对策. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(3): 275-280.
- [17] 王晓荣, 皮忠来, 刘学全, 唐万鹏, 庞宏东, 郑京津, 郑兰英. 丹江口湖北库区马尾松人工林水文生态效应. *湖北林业科技*, 2014, 43(2): 1-6.
- [18] 丁霞, 程昌锦, 漆良华, 张建, 雷刚, 刘学全. 丹江口库区湖北水源区不同密度马尾松人工林水源涵养能力. *生态学报*, 2019, 38(8): 2291-2301.
- [19] 徐慧. 丹江口水库调蓄水效应遥感监测分析[D]. 武汉: 湖北大学, 2017.
- [20] 李亦秋, 邓欧, 张冬有, 韩德梁, 冯仲科. 丹江口库区土地利用及其生态系统服务价值情景模拟. *农业工程学报*, 2011, 27(5): 329-335.
- [21] 柳晶辉, 杨坤, 张力. 丹江口库区土地利用/覆被与景观格局变化. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(3): 456-460.
- [22] 崔文连, 郭黎, 刘善伟, 王艳玲. 基于高分辨率卫星遥感影像的2003-2009年崂山自然保护区景观格局动态变化分析. *激光生物学报*, 2014, 23(6): 614-619.
- [23] 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.
- [24] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应. *生态学报*, 2013, 33(8): 2565-2576.
- [25] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 105-111.
- [26] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [27] 佟光臣, 林杰, 陈杭, 顾哲衍, 唐鹏, 张金池. 1986-2013年南京市土地利用/覆被景观格局时空变化及驱动力因素分析. *水土保持研究*, 2017, 24(2): 240-245.
- [28] 郭力宇, 李怡, 郭昭. 宝鸡市渭北旱塬区土地利用及景观格局动态变化分析. *西北林学院学报*, 2018, 33(5): 263-268.
- [29] 胡玉福, 邓良基, 张世熔, 凌静, 黄成毅, 匡先辉, 刘亮. 基于RS和GIS的西昌市土地利用及景观格局变化. *农业工程学报*, 2011, 27(10): 322-327.
- [30] 殷格兰, 邵景安, 郭跃, 党永峰, 徐新良. 南水北调中线核心区土地利用变化及其生态环境响应研究. *地球信息科学学报*, 2017, 19(1): 59-69.
- [31] 王杰, 李鹏, 高海东, 时鹏, 张秦岭, 杨倩楠, 马勇勇. 丹江上游土地利用/景观指数与水质关系初探. *水土保持研究*, 2018, 25(6): 383-389.
- [32] 王丽群, 张志强, 李格, 马丰伟, 陈立欣. 北京边缘地区景观格局变化及对生态系统服务的影响评价——以牛栏山-马坡镇为例. *生态学报*, 2018, 38(3): 750-759.
- [33] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [34] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 鲁春霞. 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.
- [35] 李晓赛, 朱永明, 赵丽, 田京京, 李静. 基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究. *中国生态农业学报*, 2015, 23(3): 373-381.
- [36] 秦钰莉, 文力, 魏鹏飞, 李权国, 李学敏. 丹江口水库库周景观格局动态变化分析. *人民黄河*, 2017, 41(4): 69-73.
- [37] 崔王平, 李阳兵, 李睿康, 周亚琳, 文雯. 基于梯度分析的重庆市主城区城市扩展的景观生态效应. *生态学报*, 2017, 36(1): 205-215.
- [38] 李莹莹, 黄成林, 张玉. 快速城市化背景下上海绿色空间景观格局梯度及其多样性时空动态特征分析. *生态环境学报*, 2016, 25(7): 1115-1124.
- [39] Wu H P, Zeng G M, Liang J, Chen J, Xu J J, Dai J, Sang L H, Li X D, Ye S J. Responses of landscape pattern of China's two largest freshwater lakes to early dry season after the impoundment of Three-Gorges Dam. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, 56: 36-43.
- [40] 刘海, 黄跃飞, 林苗, 王敏. 基于GIS的汉江流域水土保持时空变化特征分析(2001—2017年). *地域研究与开发*, 2019, 38(3): 154-159, 164-164.
- [41] 闵捷, 高魏, 李晓云, 张安录. 武汉市土地利用与生态系统服务价值的时空变化分析. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 170-174.
- [42] 魏慧, 赵文武, 张骁, 王新志. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价——以山东省德州市为例. *生态学报*, 2017, 37(11): 3830-3839.
- [43] 虎陈霞, 郭旭东, 连纲, 张忠明. 长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以嘉兴市为例. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(3): 333-340.
- [44] Kang P, Chen W P, Hou Y, Li Y Z. Linking ecosystem services and ecosystem health to ecological risk assessment: a case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 1442-1454.
- [45] Rodríguez Castro M C, Marcó P L, Ranieri M C, Vázquez C, Giorgi A. Arsenic in the health of ecosystems: spatial distribution in water, sediment and aquatic biota of Pampean streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017, 189(11): 542.