

DOI: 10.5846/stxb202201130127

提杨, 庄鸿飞, 陈敏豪, 张超, 胡发祥, 赵秋璐, 胡志良, 栾晓峰. 天津市自然保护地与区域生境质量的时空演变格局. 生态学报, 2023, 43(7): 2770-2780.

Ti Y, Zhuang H F, Chen M H, Zhang C, Hu F X, Zhao Q L, Hu Z L, Luan X F. Spatio-temporal evolution pattern of protected areas and regional habitat quality in Tianjin. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(7): 2770-2780.

天津市自然保护地与区域生境质量的时空演变格局

提 杨¹, 庄鸿飞², 陈敏豪¹, 张 超¹, 胡发祥¹, 赵秋璐³, 胡志良³, 栾晓峰^{1,*}

1 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083

2 自然资源部第一海洋研究所, 青岛 266061

3 天津市城市规划设计研究总院有限公司, 天津 300110

摘要: 生境质量是反映区域生物多样性水平的重要指标, 而规划科学、管理有效的自然保护地对于维护生境质量、巩固区域生态安全具有重要作用。以天津市为例, 运用 InVEST 模型 Habitat Quality 模块评估了天津市 2000、2005、2010、2015、2018 年生境质量时空变化格局, 基于叠加分析自然保护地内外生境质量变化探讨自然保护地对维护区域生境质量发挥的作用。结果表明: (1) 2000—2018 年间天津市生境质量总体下降了 13.18%, 并呈现出明显的由中心城区向环城四区扩散的趋势, 高质量区域仅占天津陆域国土面积的 4%, 主要分布在天津北部山区和于桥水库、团泊洼、北大港、大黄堡等湿地。(2) 天津保护地空间分布上呈集中分布态势, 覆盖了天津市约 75% 的高质量生境区域和 25% 的较高质量生境区域。(3) 从整体上看不同类型的自然保护地内生境质量保护效果不同, 自然保护区优于其它类保护地, 其生境质量明显得到提升。所有保护地中有 10 处保护地生境质量略有下降, 但低于全域下降水平, 只有盘山风景名胜区和古海岸与湿地自然保护区生境质量下降高于全域平均水平。(4) 自然保护地对天津市生境质量下降的趋势起到了一定缓冲作用, 其内部生境质量变化的绝对量和相对量均显著优于区外 5 km 缓冲带 ($P < 0.1$)。因此建议进一步提高保护地管理水平, 加强管控力度充分发挥自然保护地保护效能。

关键词: InVEST 模型; 自然保护地; 城市生物多样性; 天津

Spatio-temporal evolution pattern of protected areas and regional habitat quality in Tianjin

TI Yang¹, ZHUANG Hongfei², CHEN Minhao¹, ZHANG Chao¹, HU Faxiang¹, ZHAO Qiulu³, HU Zhiliang³, LUAN Xiaofeng^{1,*}

1 School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China

3 Tianjin Urban Planning & Design Institute Co., Ltd, Tianjin 300110, China

Abstract: Habitat quality is an important indicator reflecting regional biodiversity. The scientific planning and effective management of the protected areas play an important role in maintaining habitat quality. In the current study, we evaluated the spatial pattern and temporal dynamics of the habitat quality in Tianjin in 2000, 2005, 2010, 2015 and 2018 by InVEST-Habitat Quality model. Then we compared such pattern changes inside and outside the nature reserve to discuss the role of Nature Reserve in maintaining regional habitat quality. The results show that: (1) from 2000 to 2018, the overall habitat quality in Tianjin decreased by 13.18%, showing an obvious trend of diffusion from the central urban area to the periphery. The higher-quality area only accounted for 4% of the land area, which mainly distributed in the north

基金项目: 天津市建立以国家公园为主体的自然保护地体系试点工作项目(2019 总-063)

收稿日期: 2022-01-13; **采用日期:** 2022-05-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luanxiaofeng@bjfu.edu.cn

mountainous areas and wetlands such as Yuqiao Reservoir, Tuanbowa, Beidagang, and Dahuangbao. (2) The spatial distribution of Tianjin protected areas was aggregated, covering about 75% of the higher-quality habitat areas and 25% of the high-quality habitat areas. (3) The effectiveness of habitat quality in different types of protected areas were different. Nature reserves, which habitat quality have been significantly improved, were better than other types of protected areas. Habitat quality of 10 protected areas decreased slightly (but lower than the overall decline level). Only the habitat quality of Panshan scenic spot and Ancient Coast and Wetland Nature Reserve decreased higher than the overall average level. (4) The nature reserve played a role in buffering the declining trend of habitat quality in Tianjin. The absolute and relative changes of habitat quality inside the nature reserve were significantly better than those outside the 5 km buffer zone ($P < 0.1$). Therefore, we suggest to improve the management of protected areas, strengthen protected powering, and give full authority to the managers of protected areas.

Key Words: InVEST Model; protected area; urban biodiversity; Tianjin

生物多样性通过维持生态系统功能和恢复力稳定性来促进人类福祉^[1]。然而在过去几十年,由城镇化快速发展导致的土地利用变化,已成为物种栖息地破碎化、生态功能退化的主要原因^[2]。建立自然保护地是目前公认的保护生物多样性和维护生态系统服务功能的重要手段,对巩固区域生态安全发挥着不可替代的作用^[3]。

生境质量即生态环境对于生物生存的适宜程度^[4-6],生境质量的优劣可以反映区域生物多样性水平与生态系统服务的供给能力^[7-8]。因此,将生境质量作为生物多样性评估的替代指标具有高效性和准确性的特点^[9-10]。传统生境质量评估基于实地调查获取生境质量参数,通过构建评价指标对研究区内生境质量进行综合评价^[11],但受制于人力、物力与时间成本,并不适合大尺度范围及区域尺度的生境质量评价,且很难进行长时间尺度的分析比较。近年来,基于土地利用数据,采用模型评价生境质量已得到了较为广泛的应用^[12-14],如 SoLVEST 模型^[15]、MIMES 模型^[16]和 InVEST 模型^[12],其中由美国斯坦福大学、大自然保护协会和世界自然基金会共同研发的 InVEST 模型(Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs)由于具有数据易得、结果可视性强、与生物多样性调查结果存在显著相关关系等特点,近年来在生境质量研究领域备受推崇。

天津是中国城市高质量发展中较弱的直辖市,一方面经济高度发达、城镇化水平高,另一方面现有自然保护地数量较少、面积占比也较低^[17],已有研究表明天津市土地利用发生了巨大的变化^[18],但是关于自然保护地体系构建与生境质量变化关系方面的研究较少。因此科学揭示生境质量时空演变格局,量化分析现有自然保护地是否有效维护了区域生境质量具有十分重要的意义,对天津高质量发展、进一步打造人与自然和谐共生的典范城市具有借鉴参考价值。鉴此,本研究运用 InVEST 模型识别天津不同级别生境质量区域及近 20 年的时空演变格局,从空间层面探讨自然保护地对维护区域生境质量发挥的作用,以期为天津市构建生态安全格局提供科学依据。

1 研究区域

天津市地处我国华北平原东北部(116°43′—118°04′E, 38°34′—40°15′N),海河流域下游,京津冀都市圈中心地带,面积 11966.45 km²。地势北高南低,平原占区域总面积 95%以上^[19],北部有低山丘陵,滨海海岸带区域分布有盐田、滩涂等地貌类型,境内河网密布,水库众多,湿地资源丰富^[20]。该区属暖温带半湿润季风性气候,年均降水量在 550—680 mm 之间,平均气温约为 14 °C。天津市 2020 年国内生产总值(GDP)为 14083.73 亿元,常住人口 1561.83 万,城镇化率达 83.48%,居全国第三。

截至 2020 年底,天津市共有不同级别和不同类型的自然保护地 17 个,包含 8 个自然保护区,2 个风景名胜,以及 7 个其他类型自然保护地,总面积(未去除重叠部分)达 1418.79 km²,去除交叉重叠面积总计

1316.96 km²,重叠率 7.73%。其中陆域自然保护地面积 1246.32 km²,约占天津国土面积的 10.46%,低于全国陆域面积 18%的平均水平^[21],海域面积 70.65 km²,约占天津市管辖海域的 3.28%。各类自然保护地情况详见表 1,空间分布情况见图 1。

2 研究方法

2.1 数据来源与预处理

本研究所采用的 2000、2005、2010、2015、2018 年 5 期土地利用数据均来源于中科院资源与环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),其空间分辨率为 30 m。根据研究需要,将土地利用类型分为包括耕地、林地、草地、水域、居民地、未利用地 6 个一级地类以及水田、旱地、有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、高覆盖草原、中覆盖草原、地覆盖草原、河渠、湖泊、水库、滩涂、滩地、城镇用地、农村居民点、其他建设用地、盐碱地、沼泽地、裸土地 20 个二级地类。数据处理和图形生成通过 ArcGIS 10.2 软件实现。

自然保护地资料及边界矢量数据来自各保护地规划文件及当地林业主管部门,空间行政边界数据来源于国家基础地理信息中心(<http://www.ngcc.cn/ngcc/>)。

2.2 基于 InVEST 模型的生境质量计算

本研究采用该模型下的生境质量 Habitat Quality 模块^[22],此模型下的生境质量是指生态系统能为个体和种群提供生存繁衍等所需生存条件的能力(模型假设生境质量高的区域能够更好地支持所有等级的生物多样性),结合景观类型敏感性和生物多样性威胁因素的信息生成生境质量图,计算得出生境质量指数来反映生境质量,值域范围[0—1],值越高代表生境质量越高,计算公式如下:

$$Q_{xj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{xj}^Z}{D_{xj}^Z + k^Z} \right) \right] \quad (1)$$

式中: Q_{xj} 为土地利用/土地覆被类型 j 中栅格 x 的生境质量指数; H_j 为土地利用/土地覆被类型 j 的生境适宜性,0 代表非生境,1 代表最高的生境适宜性,可根据研究的实际情况对不同土地利用类型生境适应性进行赋值; Z 为归一化常数,模型原始默认值 2.5; k 为半饱和和常数,本研究选用模型参考值 0.5; D_{xj} 为土地利用/土地覆被类型 j 中 x 栅格的生境退化程度,其计算公式为:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

式中: r 为威胁因子; R 为威胁因子的个数; y 为威胁因子 r 的栅格图层; x 为生境质量的栅格数; Y_r 为威胁因子的栅格个数; w_r 是威胁因子 r 的归一化权重,表示某一威胁源对所有生境的相对破坏性,取值为[0,1],值越大表示该威胁因子对生境完整性的影响越大; β_x 为受法律保护程度; S_{jr} 为土地利用类型 j 对威胁源 r 的敏感性,取值为[0,1],值越大代表该地类景观敏感性越强; i_{rxy} 为威胁 r 的栅格 y 对生境栅格 x 的影响,有线性衰减和指数衰减两张规律,用公式解释如下:

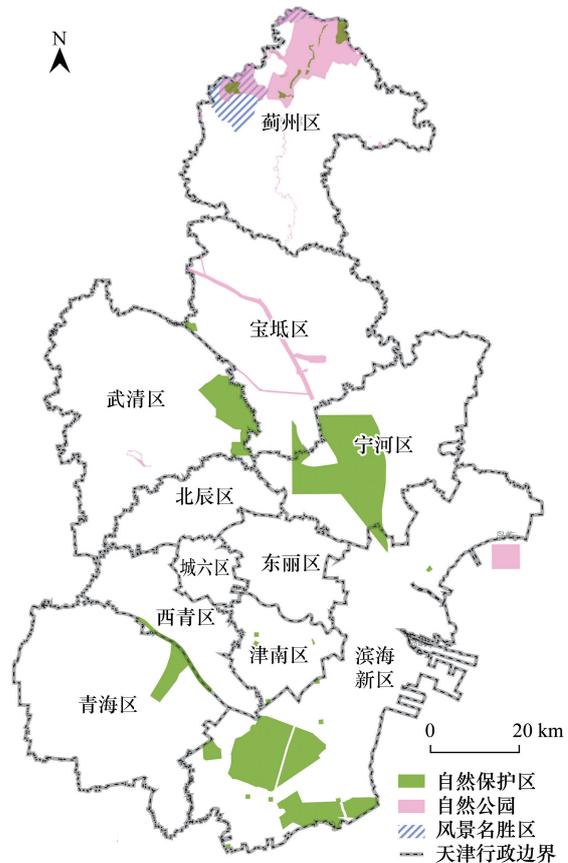


图 1 天津市自然保护地空间分布图

Fig.1 The distribution of protected area in Tianjin

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \text{ if linear} \quad (3)$$

表 1 天津市各类自然保护区基本情况

Table 1 Basic information of protected area in Tianjin

序号 Number	保护地名称 Name	类型 Category	级别 Level	建设时间 Time	面积 Area/km ²
1	天津八仙山国家级自然保护区	自然保护区	国家级	1984	10.49
2	天津市蓟州区中上元古界国家级自然保护区	自然保护区	国家级	1984	8.90
3	蓟州区盘山自然风景名胜古迹保护区	自然保护区	省级	1984	7.10
4	天津古海岸与湿地国家级自然保护区	自然保护区	国家级	1992	359.13
5	盘山国家级风景名胜区	风景名胜区	国家级	1994	110.90
6	天津团泊鸟类自然保护区	自然保护区	省级	1995	60.40
7	天津九龙山国家森林公园	森林公园	国家级	1997	21.26
8	天津北大港湿地自然保护区	自然保护区	省级	2001	348.87
9	天津蓟州区国家地质公园	地质公园	国家级	2001	264.60
10	天津大神堂牡蛎礁国家级海洋特别保护区	海洋保护区	国家级	2002	34.00
11	天津大黄堡湿地自然保护区	自然保护区	省级	2005	104.65
12	天津青龙湾固沙林自然保护区	自然保护区	省级	2006	4.16
13	黄崖关长城省级风景名胜区	风景名胜区	省级	2012	13.60
14	天津武清永定河故道国家湿地公园	湿地公园	国家级	2013	2.49
15	天津宝坻潮白河国家湿地公园	湿地公园	国家级	2014	55.82
16	天津下营环秀湖国家湿地公园	湿地公园	国家级	2016	7.33
17	天津蓟州区州河国家湿地公园	湿地公园	国家级	2016	5.08

$$i_{rxy} = \exp\left(-\left(\frac{2.99}{d_{rmax}}\right)d_{xy}\right) \text{ if exponential} \quad (4)$$

式中: d_{xy} 是栅格 x 和 y 之间的线性距离, d_{rmax} 是威胁 r 的最大作用距离。

模型运行所需的基本数据有:当前土地利用图、威胁因子权重和影响距离、威胁源图层数据、生境类型对威胁的敏感性程度参数等。本研究选取人类活动干扰较大的城镇用地、农村居民点、其他建设用地、耕地以及自然本地条件较差的未利用地作为威胁因子,在参考 InVEST 使用手册^[22]及类似区域相关研究的基础上^[23-26],结合天津市实际及专家建议确定各参数值(表 2 和表 3)。

表 2 威胁因子权重和影响距离

Table 2 Threat factor weight and influence distance

威胁因子 Threat factors	最大影响距离/km Maximum impact distance	权重 Weight	衰退类型 Decay type
城镇用地 Urban land	10	1	线性
农村居民点 Rural settlements	5	0.7	指数
其他建设用地 Other construction land	8	0.8	指数
耕地 Cultivated land	3	0.5	指数
未利用地 Unused land	8	0.4	线性

2.3 分析自然保护区格局对生境质量影响

本研究采用地理集中指数^[27](Geographic Concentration Index)和不平衡指数^[17](Inbalance Index)描述天津市自然保护区分布格局,计算公式如下:

$$G = 100 \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i/T)^2} \quad (5)$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - 50(n+1)}{100n - 50(n-1)} \quad (6)$$

式中, G 为地理集中指数, S 为不平衡指数; n 为天津市市辖区数量,天津市下设16个区,其中市内六区(和平区、河东区、河西区、南开区、河北区、红桥区)经济发展程度相似,面积相对较小,本研究合为一区(城六区),固 n 取11(下同); X_i 为第 i 个区内自然保护地数量; Y_i 为各市辖区内自然保护地数量从大到小排序后第 i 位占总数量的累计百分比值; T 为天津市自然保护地总数; G 取值 $[0, 100]$,值越大代表分布越集中; S 取值 $[0, 1]$,值越小表明越均衡。

表3 不同土地利用类型的生境适宜性及对威胁因子的敏感性

Table 3 Habitat suitability of different land use types and sensitivity to stress factors

土地利用类型 Land use type	生境适宜性 Habitat suitability	城镇用地 Urban land	农村居民点 Rural settlement	其他建设用地 Other construction land	耕地 Cultivated land	未利用地 Unused land
水田 Paddy field	0.6	0.5	0.35	0.4	0.35	0.4
旱地 Dry farm	0.4	0.5	0.35	0.4	0.3	0.4
有林地 Forest	1	0.85	0.65	0.6	0.6	0.6
灌木林地 Shrubbery	1	0.4	0.6	0.5	0.4	0.55
疏林地 Sparse woodland	0.9	0.85	0.65	0.6	0.7	0.5
其他林地 Other woodland	0.8	0.85	0.65	0.6	0.7	0.5
高覆盖草地 High-cover grassland	0.8	0.6	0.4	0.5	0.5	0.7
中覆盖草地 Medium-cover grassland	0.75	0.7	0.5	0.55	0.55	0.7
低覆盖草地 Low-cover grassland	0.7	0.8	0.6	0.55	0.6	0.7
河渠 River	0.8	1	0.7	0.8	0.65	0.3
湖泊 Lake	0.8	1	0.7	0.8	0.65	0.3
水库 Reservoir	0.8	1	0.75	0.8	0.7	0.3
滩涂 Mudflat	1	1	0.8	0.8	0.7	0.4
滩地 Floodplain	1	1	0.8	0.8	0.7	0.4
城镇用地 Urban land	0	0	0	0	0	0
农村居民点 Rural settlements	0	0	0	0	0	0
其他建设用地 Other construction land	0	0	0	0	0	0
盐碱地 Saline-alkali land	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
沼泽地 Marsh	1	0.6	0.6	0.6	0.7	0.3
裸土地 Bare ground	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

基于 ArcGIS 10.2 将自然保护地矢量边界与生境质量结果进行叠加分析,运用按掩膜提取功能,分别提取各保护地范围内不同时期生境质量图层,计算生境质量平均值及变化率。因天津市的大部分自然公园建设时间较晚,为了更好的反映天津保护地对生境质量的长期保护效果以及对周边生境产生的影响,以天津市现有的8个自然保护区为分析对象,参考国内外相关研究^[28-30]并结合研究区面积,选择向外作5 km缓冲带,进行保护区内外对比分析,同时对8个自然保护区内外生境质量的变化进行两样本显著性检验(当 Shapiro-Wilk 检验为正态分布时进行 t 检验,否则进行 Wilcoxon 符号秩检验)。统计检验分析在 SPSS 软件中完成。

3 研究结果

3.1 天津市生境质量的时空变化

利用 InVEST 模型计算,2000年、2005年、2010年、2015年、2018年天津市生境质量平均值分别为0.439、0.410、0.378、0.368、0.382,整体生境质量状况较差,生境斑块较为破碎,空间分布特征错综复杂。近20年,天津市平均生境质量降低13.18%,总体呈现下降的趋势。将模型输出的生境质量评价结果按生境质量指数重

分类为低[0,0.2)、较低[0.2,0.4)、中[0.4,0.6)、较高[0.6,0.8)、高[0.8,1)5个等级,得到生境质量等级图(图3),其中高质量(生境质量得分在0.8—1之间)区域覆盖面积仅占天津陆域国土面积的4%左右,并且与整体变化趋势相同,目前高质量区域主要分布在天津北部山区和于桥水库、团泊洼、北大港、大黄堡等几处湿地区域。结果显示,天津市主体分布在生境质量等级较低的区间,面积占比约为50%,中、较高、高等级所占比例整体下降,呈现由较高等级向低、较低等级转变的趋势(图2)。

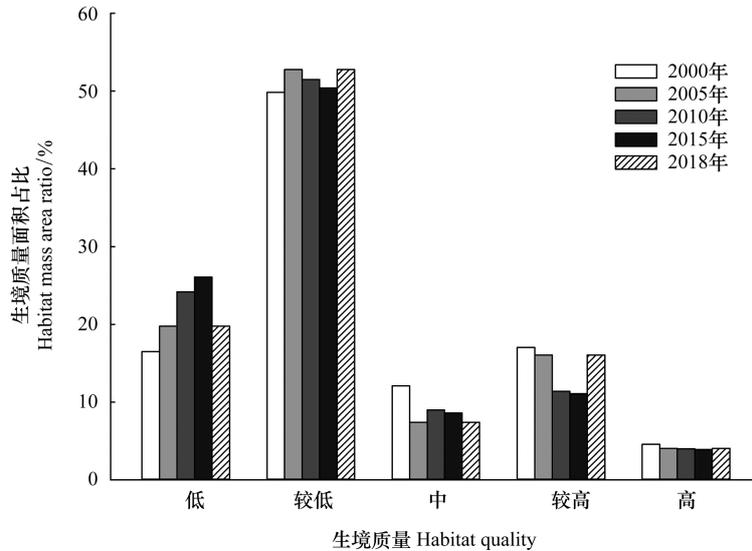


图2 2000—2018年天津市各等级生境质量百分比变化

Fig.2 Percentage changes of habitat quality at different levels in Tianjin from 2000 to 2018

为了更好地展现天津市近20年生境质量的变化趋势,本研究利用ArcGIS的栅格计算器将2018年和2000年的生境质量图相减得到2000—2018年天津市生境质量变化图(图3),变化值取值范围[-1,1],当值为1时代表生境质量显著提升(生境质量从0升高到1),值为-1时相反(生境质量从1降低到0),值大于0表示生境质量提升。从图3结果可以看出,生境质量下降最明显的区域为市内六区外围以及滨海新区大部分范围,表明天津城镇化建设向市内六区外围不断扩张,并趋向东南沿海滨海新区发展相连接,生境质量显著提升的区域分布在滨海新区东北部的杨家泊镇。

3.2 自然保护区格局对生境质量影响

天津市自然保护区的地理集中指数 G 为57.33,高于自然保护区完全平均分布在市域11个辖区情况下的地理集中指数($G=30.15$),不平衡指数 S 为0.75,计算结果表明天津保护地空间分布上呈集中分布态势,分布不平衡,主要集中分布在天津北部蓟州山区,共有9处保护地,占有保护地数量的52.94%。综合各年份情况(表4)来看,呈集中分布态势的自然保护地格局覆盖了天津市约75%的高等级生境质量区域和25%的较高等级生境质量区域,2000年到2005年间建立的北大港湿地自然保护区、大黄堡湿地自然保护区和蓟州区国家地质公园填补了区域内的大范围保护空缺。

表4 保护地覆盖天津高质量区域范围比例

Table 4 Proportion of protected areas covering high-quality areas in Tianjin

年份 Year	高质量(0.8—1) Higher(0.8—1)	较高(0.6—0.8) High(0.6—0.8)	年份 Year	高质量(0.8—1) Higher(0.8—1)	较高(0.6—0.8) High(0.6—0.8)
2000	16.56%	7.54%	2015	77.35%	29.73%
2005	76.71%	19.02%	2018	67.02%	24.60%
2010	76.52%	26.01%			

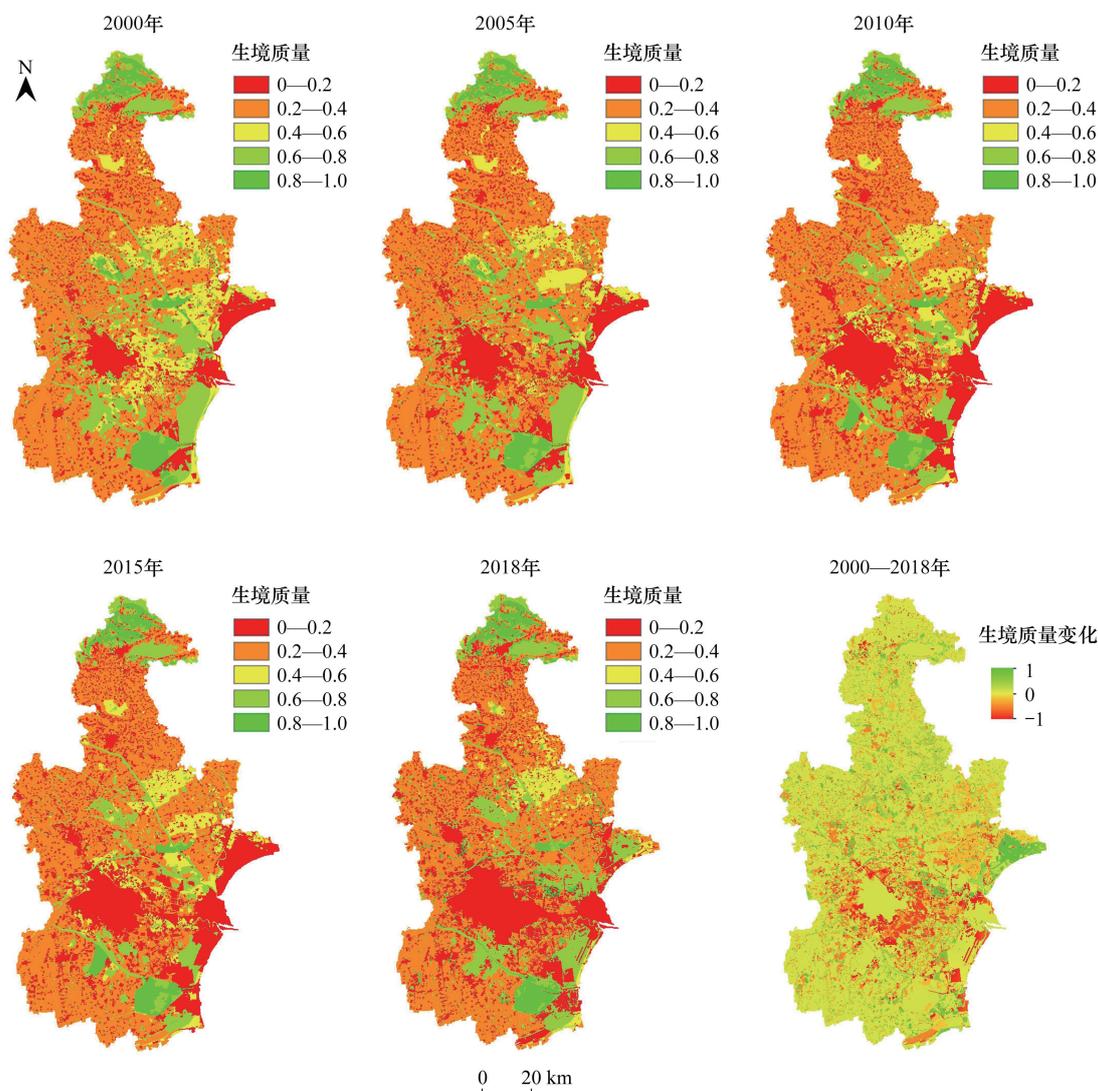


图3 天津市 2000—2018 年生境质量等级时空分布特征及生境质量变化

Fig.3 Habitat quality grade of Tianjin from 2000 to 2018 and the changes of habitat quality

3.2.1 不同类型保护地生境质量变化情况

结果表明,自然保护区对天津市生境质量急剧下降的趋势起到了缓冲作用。2000—2018 年间,在保护地建设时间内,75%的自然保护地(12 处)内部生境质量都有不同程度的衰减(图 4),其中 10 处保护地的衰减幅度要低于天津全域生境质量变化率。盘山国家级风景名胜区、古海岸与湿地国家级自然保护区 2 处保护地生境质量衰减幅度高于天津全域水平,分别降低了 16.94% 和 14.04%,另有青龙湾固沙林自然保护区、武清永定河故道国家湿地公园、大黄堡湿地自然保护区、团泊鸟类自然保护区内部生境质量均有不同程度的增强,生境质量平均值分别提升了 69.95%、7.78%、5.51%、0.75%。以保护地类型角度进行分析,自然保护区生境质量平均变化率 6.25%,风景名胜区生境质量平均变化率 -9.50%,其他类自然保护区生境质量平均变化率 -0.60%。

3.2.2 自然保护区内外生境质量变化情况

以选取的 8 个自然保护区内外进行比较,从生境质量的单位量看,4 个时段(2005、2010、2015、2018)保护区内部生境质量平均值均高于区外 5 km 缓冲带,具有显著性差异($P < 0.05$)。2005—2018 年,保护区内部生

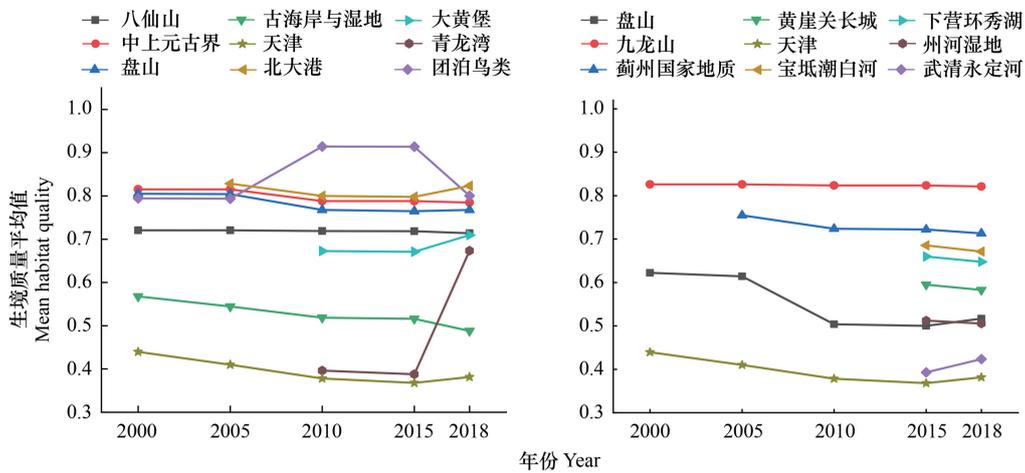


图4 不同年份保护地生境质量平均值变化

Fig.4 Changes of average habitat quality in protected areas in different years

境质量略有提高, 区外 0—5 km 缓冲带生境质量下降, 其中自然保护区内部生境质量平均值从 2005 年的 0.711 增加到 2018 年的 0.720, 平均值增加 0.009, 增幅为 2.95%, 区外 0—5 km 缓冲带生境质量平均值从 0.534 降低到 0.496, 减少 0.036, 减幅为 6.88%, 但低于缓冲带外其他区域(表 5)。经检验发现, 从变化的绝对量和相对量来看, 保护区内外均具有显著性差异 ($P < 0.1$)。从不同的时段单独分析, 2005—2010、2015—2018 期间, 保护区内外生境质量变化的绝对量和相对量均无差异 ($P > 0.1$), 2010—2015 期间, 保护区内外生境质量变化的绝对量和相对量存在显著性差异 ($P < 0.1$)。

表 5 自然保护区内外生境质量平均值及变化特征

Table 5 Average value and change characteristic of habitat quality inside and outside nature reserves

生境质量均值 Average habitat quality	2005	2010	2015	2018	2005—2018	
					变化量 Variation	变化率/% Change Rate
区内 Inside areas	0.711	0.697	0.695	0.720	0.009	2.95
区外(0—5 km) Outside areas	0.534	0.498	0.492	0.496	-0.038	-6.88
其他区域 Other areas	0.359	0.327	0.315	0.332	-0.026	-7.35

4 讨论

土地是各类陆域生境的载体, InVEST 模型基于土地利用/土地覆盖和威胁源数据假定生境质量受制于土地利用方式, 人类活动导致的土地利用结构改变深刻影响区域的生境质量^[31]。结果显示天津市近 20 年平均生境质量降低 13.18%, 其中高质量生境减少 62.23 km², 这是由于随着经济社会的快速发展, 建设用地需求的持续增加^[12], 一方面导致原有生境的丧失和破碎化, 另一方面又继续形成新的生境威胁^[23]。已有研究表明过去的 20 年天津经历了快速的城市扩张^[26], 土地利用发生了巨大的改变^[18], 主要特征表现为建设用地的显著增加和耕地、水域面积的大量减少。从生境质量的时空变化结果可以发现天津市向环城四区(北辰区、东丽区、西青区、津南区)不断扩张, 并与滨海新区相连通(图 3), 当前天津高质量生境分布在蓟州北部山区, 于桥水库、团泊洼、北大港、大黄堡、七里海等几处湿地区域。总体来看, 湿地对维护天津生态安全发挥着重要作用^[20], 应避免湿地等生态用地遭到进一步侵蚀, 近年来天津实施“871”生态工程, 包括 875 km² 湿地升级保护、736 km² 生态屏障建设、153 km² 海岸线严格保护等, 加强了对重要生态区域的保护, 研究结果可见天津市在 2015 年生境质量达到低点, 随后生境质量开始一定程度的好转。

建立自然保护地是目前就地保护的主要措施之一,是维护提升区域生境质量的重要保障,是生态文明建设的核心载体^[3,32]。研究表明,天津保护地虽仅占陆域面积的 10.64%,但覆盖了大面积的高质量生境区域(表 4),并且在近 20 年天津市整体生境质量下降较为明显的情况下,建立的绝大多数保护地发挥了保护效能,有效维护了区域内的生境。其中,青龙湾固沙林自然保护区、大黄堡湿地自然保护区、团泊鸟类自然保护区、武清永定河故道国家湿地公园内部生境质量得到了提升,这得益于天津退耕还林和湿地自然保护区“1+4”规划生态工程的落实。但古海岸与湿地国家级自然保护区生境质量大幅降低,这是由于该保护区经历过一段时期盲目开发,人为干扰严重^[33-34]。同时盘山风景名胜区内生境质量退化程度也高于天津整体水平,风景名胜区的管理强度和定位有别于其他以保护为主的保护地类型^[35],人为干扰强度大,往往体现出重发展轻保护的特点^[21]。这些保护地保护成效的差异反映出保护地之间不同的管理强度和措施可能对保护效果产生重要影响^[36]。此外,结果表明,不同类型的自然保护地整体上生境质量保护效果不同,自然保护区要优于其他类型自然保护地。

自然保护地周边区域生境的变化情况是自然保护地保护管理成效的重要体现,通常认为建立自然保护地对周边区域会产生不同程度的正面溢出(spillover)效应^[37-38],但也有可能导致保护地内的人类活动转移至周边区域^[39]。刘方正等^[29]基于人工地物时空变化的研究发现在沙坡头保护区周边,尤其是 5 km 范围内土地利用方式受人为作用影响强烈。本文选取建设时间较长的 8 处自然保护区为例进行内外对比分析,结果表明无论是生境质量变化的绝对值还是相对值,保护区均显著优于区外 5 km 范围,这在生态系统服务功能格局的研究上也得到了印证^[30,40]。同时保护区外部生境质量的退化程度低于天津其他区域,表现出正面的溢出效应,建立保护区一定程度上对区域生境质量的降低起到了维持与缓冲的作用。因此建议进一步提高自然保护地的管理水平,对人为影响严重的保护地进行生态修复,加强管控力度,充分发挥自然保护地的保护效能,保障天津市生态安全和高质量发展。但本研究采用 5 km 缓冲带直接进行内外对比分析,难以消除自然保护区与周边区域环境因素差异带来的影响^[38],具有一定的局限性。此外,本研究主要从生境质量的角度出发探究自然保护地对区域生态安全的影响,未来可以结合生态系统服务的其他方面做进一步研究,进行更全面的评估,为天津市自然保护地整合优化及体系建设,着力构建生态安全格局提供参考。

5 结论

本研究基于 InVEST 模型识别天津 2000—2018 年生境质量时空演变格局,并从空间层面探讨自然保护地对维护区域生境质量发挥的作用,主要结论如下:

(1) 2000—2018 年间天津市整体生境质量处于较低水平,且呈下降趋势,表现出明显的向环城四区扩张的趋势。高质量区域仅占天津陆域国土面积的 4%,主要分布在天津北部山区和于桥水库、团泊洼、北大港、大黄堡等湿地区域。

(2) 天津自然保护地空间上呈集中分布特征,以占总面积约 10% 的区域覆盖了天津市约 75% 的高质量生境区域和 25% 的较高质量生境区域,保护效能较高。所有保护地中,4 处保护地生境质量提升,10 处保护地生境质量略有下降(但低于全域水平),盘山国家级风景名胜区与古海岸与湿地国家级自然保护区生境质量下降趋势高于全域水平。

(3) 从整体上看,不同类型自然保护地对生境质量的保护效果不同,自然保护区内生境质量明显提升,风景名胜区内生境质量下降幅度较大,而其他类型保护地生境质量较为稳定。

(4) 从自然保护地对周边区域的影响来看,保护地对周边区域生境质量维护起到正面的“溢出”效应。以选取的 8 个自然保护区为例,2005—2018 年间,无论是生境质量变化的绝对量还是相对量,保护区内部均显著优于区外 5 km 缓冲带($P < 0.1$),区外 5 km 缓冲带优于天津其他区域。

参考文献(References):

- [1] Oliver T H, Heard M S, Isaac N J B, Roy D B, Procter D, Eigenbrod F, Freckleton R, Hector A, Orme C D L, Petchey O L, Proença V,

- Raffaelli D, Suttle K B, Mace G M, Martín-López B, Woodcock B A, Bullock J M. Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 2015, 30(11): 673-684.
- [2] Newbold T, Hudson L N, Hill S L L, Contu S, Lysenko I, Senior R A, Börger L, Bennett D J, Choimes A, Collen B, Day J, De Palma A, Díaz S, Echeverria-Londoño S, Edgar M J, Feldman A, Garon M, Harrison M L K, Alhousseini T, Ingram D J, Itescu Y, Kattge J, Kemp V, Kirkpatrick L, Kleyer M, Correia D L P, Martin C D, Meiri S, Novosolov M, Pan Y, Phillips H R P, Purves D W, Robinson A, Simpson J, Tuck S L, Weiher E, White H J, Ewers R M, Mace G M, Scharlemann J P W, Purvis A. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50.
- [3] Li S C, Zhang H, Zhou X W, Yu H B, Li W J. Enhancing protected areas for biodiversity and ecosystem services in the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecosystem Services*, 2020, 43: 101090.
- [4] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D, Chan K M A, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [5] Goldstein J H, Caldarone G, Duarte T K, Ennaanay D, Hannahs N, Mendoza G, Polasky S, Wolny S, Daily G C. Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(19): 7565-7570.
- [6] Van Horne B. Density as a misleading indicator of habitat quality. *The Journal of Wildlife Management*, 1983, 47(4): 893-901.
- [7] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹, 张嘉晖. 基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析. *生态学报*, 2020, 40(9): 2895-2906.
- [8] 管青春, 郝晋珉, 石雪洁, 高阳, 王宏亮, 李牧. 中国生态用地及生态系统服务价值变化研究. *自然资源学报*, 2018, 33(2): 195-207.
- [9] 李昊民, 罗咏梅, 王四海, 杨宇明. 替代指标在生物多样性快速评价中的应用. *生态学杂志*, 2011, 30(6): 1270-1278.
- [10] Sallustio L, De Toni A, Strollo A, Di Febbraro M, Gissi E, Casella L, Geneletti D, Munafò M, Vizzarri M, Marchetti M. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *Journal of Environmental Management*, 2017, 201: 129-137.
- [11] 刘红玉, 李兆富, 白云芳. 挠河流域东方白鹤生境质量变化景观模拟. *生态学报*, 2006, 26(12): 4007-4013.
- [12] 李胜鹏, 柳建玲, 林津, 范胜龙. 基于 1980—2018 年土地利用变化的福建省生境质量时空演变. *应用生态学报*, 2020, 31(12): 4080-4090.
- [13] 杨洁, 张德罡, 陈建纲. 基于土地利用变化的中国生境质量时空演变分析. *草原与草坪*, 2020, 40(5): 36-42, 51-51.
- [14] Moreira M, Fonseca C, Vergílio M, Calado H, Gil A. Spatial assessment of habitat conservation status in a Macaronesian island based on the InVEST model: a case study of Pico Island (Azores, Portugal). *Land Use Policy*, 2018, 78: 637-649.
- [15] Sherrouse B C, Semmens D J, Clement J M. An application of social values for ecosystem services (SolVES) to three national forests in Colorado and Wyoming. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 68-79.
- [16] Boumans R, Roman J, Altman I, Kaufman L. The multiscale integrated model of ecosystem services (MIMES): simulating the interactions of coupled human and natural systems. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 30-41.
- [17] 潘竞虎, 徐柏翠. 中国国家级自然保护区的空间分布特征与可达性. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(2): 353-362.
- [18] Li X M, Liu Q, Han J, Yuan P, Li Y M. Analysis of the spatio-temporal evolution of land intensive use and land ecological security in Tianjin from 1980 to 2019. *Journal of Resources and Ecology*, 2021, 12(3): 367-375.
- [19] 李贤江. 天津市土地利用变化及生态脆弱性分析[D]. 天津: 天津工业大学, 2019: 68.
- [20] 王德旺, 何萍, 徐杰, 任颖, 侯利萍. 2000—2015 年天津市湿地景观变化和生态影响. *环境工程技术学报*, 2020, 10(6): 979-987.
- [21] 唐小平, 栾晓峰. 构建以国家公园为主体的自然保护区体系. *林业资源管理*, 2017, (6): 1-8.
- [22] Sharp R, Tallis H T, Ricketts T, Guerry A D, Wood S A, Chaplin-Kramer R, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Gameron D, Arkema K, Lonsdorf E, Kennedy C, Verutes G, Kim CK, Guannel G, Papenfus M, Toft J, Marsik M, Bernhardt J, Griffin R, Glowinski K, Chaumont N, Perelman A, Lacayo M, Mandle L, Hamel P, Vogl A L, Rogers L, Bierbower W. InVEST 3.2.0 User's Guide. Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2016. Available at: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>.
- [23] 冯舒, 孙然好, 陈利顶. 基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究. *生态学报*, 2018, 38(12): 4167-4179.
- [24] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 黄秀兰, 卢志强. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变. *应用生态学报*, 2015, 26(11): 3457-3466.
- [25] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究——以北京为例. *北京大学学报: 自然科学版*, 2016, 52(3): 553-562.
- [26] 邓越, 蒋卫国, 王文杰, 吕金霞, 陈坤. 城市扩张导致京津冀区域生境质量下降. *生态学报*, 2018, 38(12): 4516-4525.
- [27] 马童慧, 吕偲, 雷光春. 中国自然保护区空间重叠分析与保护地体系优化整合对策. *生物多样性*, 2019, 27(7): 758-771.
- [28] Joppa L N, Pfaff A. Global protected area impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2011, 278(1712): 1633-1638.

- [29] 刘方正, 张鹏, 张玉波, 陈冰, 杜金鸿, 王伟, 李俊生. 基于人工地物时空变化的自然保护区空间近邻效应评估——以沙坡头国家级自然保护区为例. 生物多样性, 2017, 25(10): 1105-1113.
- [30] 于博威, 饶恩明, 晁雪林, 史建康, 张翠萍, 徐卫华, 肖焱, 欧阳志云. 海南岛自然保护区对土壤保持服务功能的保护效果. 生态学报, 2016, 36(12): 3694-3702.
- [31] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 肖黎姗, 许通, 杨丽. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究. 生态学报, 2017, 37(13): 4538-4548.
- [32] Rodrigues A S L, Andelman S J, Bakarr M I, Boitani L, Brooks T M, Cowling R M, Fishpool L D C, Da Fonseca G A B, Gaston K J, Hoffmann M, Long J S, Marquet P A, Pilgrim J D, Pressey R L, Schipper J, Sechrest W, Stuart S N, Underhill L G, Waller R W, Watts M E J, Yan X. Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 2004, 428(6983): 640-643.
- [33] 刘瑜, 张凯, 付志茹, 李思亮. 2014 年天津古海岸与湿地国家级自然保护区湿地核心区健康评估. 湿地科学, 2017, 15(6): 844-848.
- [34] 白丽萍, 李影, 兰旭, 魏彤岳. 湿地自然保护区生态恢复及其绿色开发探析——以七里海湿地国家级自然保护区为例. 环境保护科学, 2009, 35(1): 72-74, 78-78.
- [35] 欧阳志云, 徐卫华. 整合我国自然保护区体系, 依法建设国家公园. 生物多样性, 2014, 22(4): 425-426.
- [36] Feng C T, Cao M, Wang W, Wang H, Liu F Z, Zhang L B, Du J H, Zhou Y, Huang W J, Li J S. Which management measures lead to better performance of China's protected areas in reducing forest loss? *Science of the Total Environment*, 2021, 764: 142895.
- [37] Wang W, Pechacek P, Zhang M X, Xiao N W, Zhu J G, Li J S. Effectiveness of nature reserve system for conserving tropical forests: a statistical evaluation of Hainan Island, China. *PLoS One*, 2013, 8(2): e57561.
- [38] 王伟, 辛利娟, 杜金鸿, 陈冰, 刘方正, 张立博, 李俊生. 自然保护地保护成效评估——进展与展望. 生物多样性, 2016, 24(10): 1177-1188.
- [39] Ewers R M, Rodrigues A S L. Estimates of reserve effectiveness are confounded by leakage. *Trends in Ecology & Evolution*, 2008, 23(3): 113-116.
- [40] 曹明, 李俊生, 王伟, 夏聚一, 冯春婷, 付刚, 黄文婕, 刘方正. 基于 InVEST 与倾向评分匹配模型评估秦岭国家级自然保护区水源涵养服务保护成效. 生物多样性, 2021, 29(5): 617-628.