

基于 InVEST 模型的河北省生境质量时空演变驱动分析

宋唐雷¹, 张永彬¹, 满卫东^{1,2,3,4}

- (1. 华北理工大学 矿业工程学院, 河北 唐山 063210;
2. 唐山市资源与环境遥感重点实验室, 河北 唐山 063210;
3. 河北省矿区生态修复产业技术研究院, 河北 唐山 063210;
4. 河北省矿业开发与安全技术重点实验室, 河北 唐山 063210)

摘要: 利用 InVEST 模型与土地覆盖数据, 分析了河北省 1995—2020 年的生境质量时空分布格局, 并借助地理探测器分析了气候、人口、地形等因素对生境质量空间分异的驱动机制。结果表明: (1) 1995—2020 年, 河北省生境质量的平均值由 0.448 8 降至 0.441 9, 下降幅度为 1.54%, 其中城市建成区生境质量下降明显, 沿海区域生境质量有所上升; (2) 空间分布呈西北高、东南低的特征, 山区生境质量较高而平原较低; (3) 人口密度的增加及平均气温和年降水量的变化驱动着生境质量逐年下降; (4) 坡度是影响生境质量的主导因子, 解释力达 0.84, 其次为平均高程(0.67)、人口密度(0.65)及平均气温(0.61), 而年降水量(0.12)的影响最小; (5) 任意两因子的交互作用均大于单一因子对生境质量的影响。

关键词: 生境质量; InVEST 模型; 时空演变; 地理探测器; 驱动因素; 河北省

中图分类号: F124.5; X821 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-349X(2023)03-0085-08

DOI: 10.16160/j.cnki.tsxyxb.2023.03.013

Analysis of Spatiotemporal Evolution and Driving Factors for Habitat Quality in Hebei Province Based on InVEST Model

SONG Tang-lei¹, ZHANG Yong-bin¹, MAN Wei-dong^{1,2,3,4}

- (1. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China;
2. Tangshan Key Laboratory of Resources and Environmental Remote Sensing, Tangshan 063210, China;
3. Hebei Industrial Technology Institute of Mine Ecological Remediation, Tangshan 063210, China;
4. Hebei Key Laboratory of Mining Development and Security Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: Using the InVEST model and land coverage data, the spatial and temporal distribution of the habitat quality from 1995 to 2020 in Hebei Province were analyzed. The impacts of climate, population, and topography on the spatial distribution were analyzed with geographical detector. The results show: (1) The average habitat quality in Hebei Province decreased by 1.54% from 0.448 8 to 0.441 9. Habitat quality in urban built-up area had decreased while that of the coastal zone had increased; (2) As for the spatial distribution, the

基金项目: 河北省自然科学基金项目(D2019209317); 唐山市科技研发平台培养建设计划(2020TS003b); 唐山市科技计划重点研发项目(19150231E); 唐山市科技创新团队培养计划项目(19130206C)

作者简介: 宋唐雷(1997—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 研究方向为资源与环境遥感;

张永彬(1969—), 男, 河北衡水人, 教授, 博士, 研究方向为地理国情监测。

habitat quality was high in the northwest and low in the southeast. It's also higher in mountainous areas than that in plains;(3)The increasing population density and changing annual average temperature and annual precipitation had made the habitat quality decline year by year;(4)The slope was the dominant factor affecting the spatial distribution of habitat quality,where the explanatory power reached 0.84, followed by the average elevation(0.67), population(0.65) and average temperature (0.61), while the annual precipitation had the least effect (0.12);(5) The interaction of any two factors was greater than the effect of a single factor on habitat quality.

Key Words: habitat quality; InVEST model; spatiotemporal evolution; geographical detector; driving factors;Hebei Province

0 引言

生境是指生物栖息的环境,生境质量(Habitat Quality)的高低可以直观反映生物栖息环境状态的好坏,是衡量生物多样性的一个重要指标之一^[1]。因此,研究生境质量对于保护生态环境、推进生态文明建设以及提高生态系统服务功能价值具有重要意义。

InVEST 模型为生态系统服务和交易的综合评估模型,实现了生态系统服务功能价值定量评估的空间化,近年来被广泛应用于多种尺度下的生境质量研究。刘孟竹等^[2]通过 InVEST 模型探讨了北方农牧交错带的生境质量变化;荣月静等^[3]通过 InVEST 模型与马可夫模型对南京的土地利用与生境质量进行了模拟;陈永国等^[4]基于 InVEST 模型对青海大通北川河源区自然保护区的生境质量进行了评估;巩杰等^[5]通过 InVEST 模型对甘肃白龙江流域的生境质量时空分异进行了研究;Sallustio 等^[6]通过 InVEST 模型研究了意大利的生境质量与退化度及其变化情况;Terrado 等^[7]通过改进的 InVEST 模型将陆地生境质量评估扩展到了淡水生境。虽然大量相关研究证实了 InVEST 模型在生境质量研究中的实用性与可靠性,但是大部分研究只停留在生境质量的评价上,用此模型深入分析生境质量影响因素的成果较少。

地理空间分布差异(也称空间分异)是一种广泛存在的现象。2010 年中国科学院地理科学与资源研究所的王劲峰团队提出了地理探测

器(Geographical Detector)模型,此模型与线性回归等线性模型相比可以免疫自变量的复共线性问题,如今应用于各种地理现象的空间异质性分析,已形成了大量研究成果。任立清等^[8]利用地理探测器探测了黑河上游植被分布对气候与土壤等因素的响应机制;周亮等^[9]应用地理探测器并结合地统计、GIS 空间分析等方法探测了中国细颗粒物的时空演化及驱动机制;吾买尔艾力等^[10]通过地理探测器探测了鄱阳湖周边城市碳排放分异的影响机制。可见,利用地理探测器可以从空间分异的角度分析不同因素对生境质量空间分布的影响以及因子间的交互作用,然而目前相关研究在时间尺度上多为具体的某年,少有针对某种地理现象进行多年探测分析的。

河北省东临渤海,环抱京津,虽处华北平原,但境内地形复杂,兼具平原、丘陵、山地、高原、滨海与湖泊,属温带大陆性季风气候,年均降水量 484.5 mm,年日照 2 303.1 h,下辖 11 个地级市,是重要的粮食产区与钢铁生产基地,更是京津地区生态系统的重要保障。为探明河北省生境质量的分布及影响机制,也为生境保护提供科学依据,本文拟借助 InVEST 模型,研究河北省 1995—2020 年生境质量的时空演变过程,并运用地理探测器分析气候、人口及地形等因素多年来对其空间分异的驱动机制。

1 材料与方法

1.1 数据源

河北省 1995—2020 年土地覆盖数据来自

中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn>); 人口密度栅格数据来源于 NASA 社会经济数据中心 (<https://se-dac.ciesin.columbia.edu>); 气候栅格数据来自国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据中心 (<https://www.geodata.cn>)。

在数据预处理时对土地覆盖数据进行重新分类,并将栅格数据集转换为 TIFF 格式,以便于模型的输入。在因子探测与交互探测前,构建覆盖全域的 10 km 格网,删除边缘小斑块后共剩余 1 778 个格网,获取 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年 6 期各格网单元的平均生境质量、年降水量、平均气温、人口密度、平均高程及平均坡度。

1.2 研究方法

1.2.1 InVEST 模型

森林、草地等自然环境是生物最重要的栖息地,同时耕地、林地等人工环境具备一定的生境适宜性,因此选取耕地、林地、草地和水域湿地为生境。人类活动是生境所受到的最主要威胁,而耕地及建设用地(城镇用地、农村居民点和其他建设用地)是人类活动在土地利用中的直观体现,因此选取耕地、城镇用地、农村居民点及其他建设用地为胁迫层。综合考虑研究区域的生态系统特征及分类体系,并参考现有相关研究^[11-13],结合模型手册,构建生境胁迫与敏感参数(见表 1,表 2)。从地表覆盖数据中提取各个胁迫层参数,并与参数表格一同输入到 InVEST 模型 Habitat Quality 模块中进行运算,分别获得 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年生境质量。

表 1 生境胁迫参数

胁迫层	影响距离	权重	退化形式
耕地	2	0.2	线性
城镇用地	10	1	指数
农村居民点	6	0.8	指数
其他建设用地	4	0.6	线性

土地覆盖类型 i 中栅格组 x 的生境质量记作 H_{xi} (式(1)),类型 i 的生境适宜度记作 A_i , z 定义为 2.5,比例因子 k 初始设置为 0.5 并根据

计算结果中胁迫水平 D_{xi} 的最大值进行调整。

$$H_{xi} = A_i \left(1 - \frac{D_{xi}^z}{D_{xi}^z + k^z} \right). \quad (1)$$

表 2 生境敏感参数

地物类型	生境适宜性	胁迫层			
		耕地	城镇用地	农村居民点	其他建设用地
耕地	0.2	0	0.6	0.6	0.2
林地	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8
草地	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8
水域湿地	0.9	0.4	0.6	0.5	0.3

1.2.2 地理探测器

在河北省境内构建 1 778 个大致覆盖全域的 10 km 格网,通过分区统计的方法获取 6 期数据中各格网单元的平均生境质量、人口密度、年降水量、平均气温、平均高程及平均坡度,使用王劲峰团队^[14]的地理探测器模型 R 包,首先对因变量人口密度、年降水量、平均气温、平均高程及平均坡度进行最优离散化,之后对各期的生境质量分别进行因子探测及交互探测并取平均值,以分析各期不同因素对生境质量的影响。

地理探测器在探究变量间的关系时更多的是基于空间分层特征而不是线性关系,其核心内涵在于:如果某因变量受到某自变量的重要影响,则二者空间分布应有一定的相似性^[15-16],因而可以真实反映各因子对生境质量的解释力及不同因子间的交互关系。

因子探测是地理探测器应用最广泛的功能之一,用 q 值度量空间分层异质性即因变量的空间分异以及各自变量对因变量空间分异的解释程度。

$$q = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N M_i s_i^2}{M s^2}. \quad (2)$$

式中, N 为生境质量或因子的类别数量, M_i 与 M 分别为第 i 类与整体的单元, s_i^2 和 s^2 分别是第 i 类和整体的 Y 值方差。

交互探测用于评估两因子的共同作用是否会影响其对生境质量的解释力以及影响方式,同样通过 q 值的比较进行衡量(见表 3)。

表 3 交互探测类型

交互结果	作用类型
$q(x_1 \cap x_2) < \min(q(x_1), q(x_2))$	非线性减弱
$\min(q(x_1), q(x_2)) < q(x_1 \cap x_2) < \max(q(x_1), q(x_2))$	单因子减弱
$q(x_1 \cap x_2) > \max(q(x_1), q(x_2))$	双因子增强
$q(x_1 \cap x_2) = q(x_1) + q(x_2)$	独立
$q(x_1 \cap x_2) > q(x_1) + q(x_2)$	非线性增强

2 结果与分析

2.1 生境质量的时空演变

经 InVEST 模型计算,河北省生境质量的时空分布见图 1。河北省 1995—2020 年间隔 5 年的平均生境质量分别为 0.448 8, 0.448 3, 0.447 1, 0.446 1, 0.445 5, 0.441 9, 平均生境质

量较低,并呈现出缓慢下降的趋势,总体下降 1.54%。生境质量的时空分布总体变化微小,但仍有一些变化显著的区域,首先体现在各市建成区生境质量低值区面积的扩大;其次为冀东沿海生态防护功能区即唐山、沧州等沿海地区生境质量的显著升高。

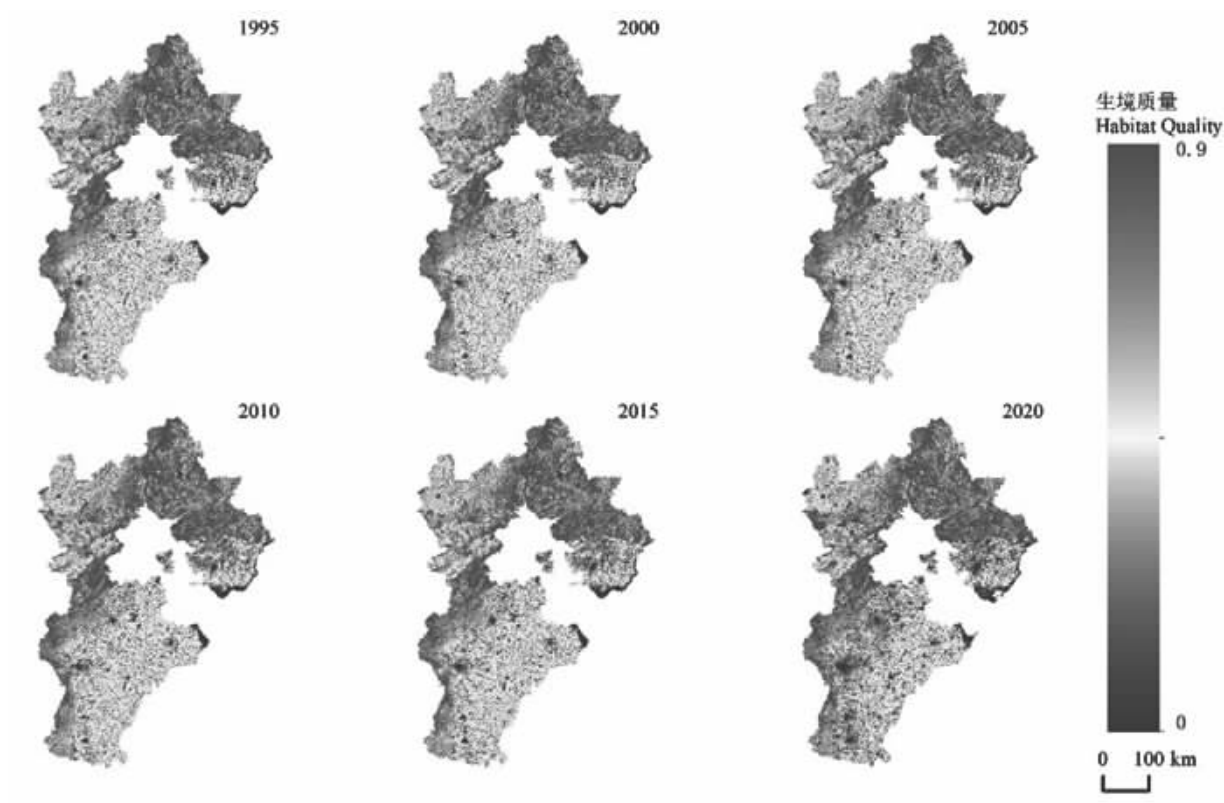


图 1 河北省生境质量时空分布

根据土地覆盖数据统计结果可知,1995—2020 年河北省水体与湿地面积由 5 147 km² 增加至 5 988 km²,其中,1995—2015 年减少了 138 km²,而 2015—2020 年又增加了 979 km²;建设用地面积由 13 488 km² 增加至 21 347 km²,其中 2015—2020 年变化最显著,扩张了

6 211 km²。随着城镇化进程的推进,建设用地大幅扩张,侵占了生境,造成该类型区域生境质量的下降;而海岸带修复效果显著,这是沿海生境质量升高的主要原因。

河北省生境质量空间上呈现出西北高、东南低的分布特征,生境质量高的地区多分布在

燕山—太行山生态涵养区以及坝上高原生态保护区。这些区域森林和草地等自然资源丰富,地形起伏较大,坡度基本大于 15° ,海拔均高于 500 m,如石家庄与邢台的西部山区、唐山与秦皇岛的北部、承德的中南部以及张家口的东南部,其中承德的生境质量高值最为聚集。而生境质量较低的地区多分布于河北省东南部的生态修复区,这些区域地势平坦,有大面积的耕地与更加密集的人口和城镇,如石家庄和邢台以及邯郸的中东部、保定的东南部、沧州的中西部、唐山的中部等地区,同时秦皇岛的南部以及廊坊与衡水全域的生境质量也较低。生境质量的空间分布特征与其土地覆盖及河北省生态功能分区的特点高度一致。

2.2 生境质量时空分异的驱动机制

2.2.1 生境质量时间变化的驱动机制

首先统计河北省 1995—2020 年各期的平均生境质量、年降水量、平均气温,然后结合年鉴资料中的常住人口数,分析河北省生境质量的变化以及气候和人类活动对其造成的驱动影响。气候问题一直是全球性问题,气候变暖造成了海平面上升、物种减少等众多严重的生态灾难,也给人类社会造成了巨额损失。平均气温升高与年降水量减少都是气候恶化的表现,1995—2020 年河北省年平均气温增长近 0.7°C ,由 9.8°C 升高到 10.5°C (见图 2(a)),呈上升趋势;年降水量变化不规律,总体大致呈下降趋势,由 1995 年的 579.2 mm 减少到 2020 年的 536.5 mm (见图 2(b))。气候恶化会导致生境适宜性降低,因此气温与降水量的变化对生境质量的变化起负面驱动作用。河北省人口密度不断增加,1995—2020 年人口密度由 $342.2\text{ 人}/\text{km}^2$ 增长至 $409.7\text{ 人}/\text{km}^2$,增长了 19.7% (见图 2(c)),常住人口也增长了 18% 。人口密度的增加通常伴随着城市的扩张与资源消耗的增加,对生境的威胁增强,因此,人口密度的变化也对生境质量的变化起负面驱动作用。

2.2.2 生境质量空间分异的驱动机制

因子探测以 q 值来衡量不同因子对生境质量空间分异的解释力。6 期的因子探测结果显

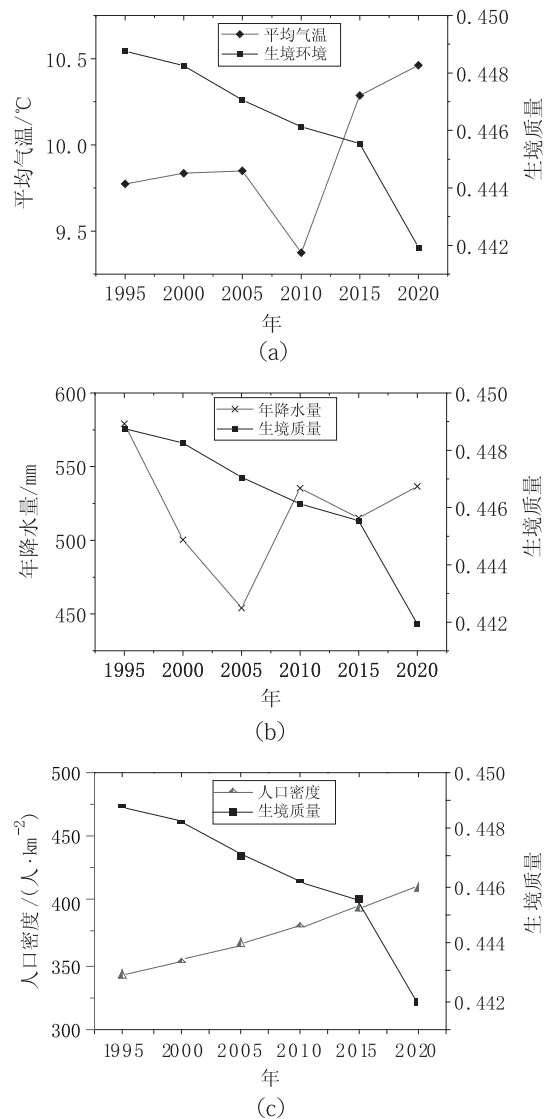
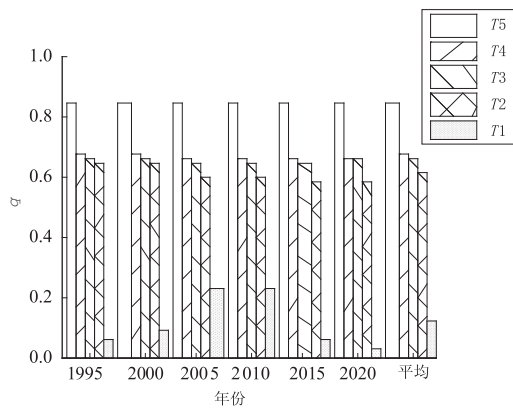


图2 因子与生境质量变化趋势

示了各因子对生境质量空间分异的解释力(见图3),其平均 q 值的大小顺序为:平均坡度(0.84) $>$ 平均高程(0.67) $>$ 人口密度(0.65) $>$ 平均气温(0.61) $>$ 年降水量(0.12),各因子均通过了 $p<0.01$ 的显著性检验。

从 6 期因子探测结果的均值来看,坡度的解释力高达 0.84 ,说明坡度是影响生境质量的主导因子。坡度大的地区地形起伏大,受外界的影响较少,利于植被的自然生长;高程、人口密度及气温的解释力虽依次降低,但 q 值均高于 0.6 ,说明对生境质量有着重要影响;降水量对生境质量虽有一定的影响,但远低于其他因子。



T1:年降水量;T2:平均气温;T3:人口密度;
T4:平均高程;T5:平均坡度

图 3 因子探测结果

纵观 6 期因子探测中各因子 q 值的变化,坡度、高程及人口密度的解释力变化微小,对生境质量的影响稳定;气温的解释力有所下降,说明气温对生境质量的影响逐渐减弱;虽然整体降水变化起伏较大,解释力变化幅度也较大,但是其对生境质量的影响较小。

任何现象都不是由某单一因素造成的,生境质量空间分异也是如此,是多种因子交互作用的结果。表 4 为双因子交互探测的结果,从中可知,双因子交互作用均呈非线性加强作用,任意两因子组合的共同作用均大于单一因子独立对生境质量的影响。双因子交互后的 q 值均大于 0.7,显著高于单因子对生境质量空间分异的解释力,说明各因子的两两交互均对生境质量空间分异有着很高的解释力。坡度与其他因子交互的 q 值均大于 0.85,对河北省的生境质量的影响起着主导作用,其中平均坡度 $\cap$ 平均气温的 q 值最高,能够解释近 90% 的生境质量空间分异;单一因子 q 值很低的降水量与其他因子交互后的 q 值也均高于 0.7,说明降水量与其他因子对生境质量的共同影响也很大。同时,在 6 次交互探测中,年降水量 $\cap$ 平均气温、年降水量 $\cap$ 人口密度、年降水量 $\cap$ 平均高程的 q 值的变化幅度相对较大,由此再次印证了降水量对河北省生境质量的影响较小。

表 4 双因子交互探测的结果

交互因子	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
平均坡度 $\cap$ 平均气温	0.895 8**	0.895 7**	0.889 2**	0.889 2**	0.882 6**	0.874 0**
平均坡度 $\cap$ 年降水量	0.876 2**	0.855 8**	0.848 4**	0.850 8**	0.874 3**	0.854 7**
平均坡度 $\cap$ 人口密度	0.882 9**	0.881 9**	0.884 9**	0.884 9**	0.885 9**	0.886 5**
平均坡度 $\cap$ 平均高程	0.870 3**	0.869 6**	0.872 3**	0.890 7**	0.872 6**	0.863 2**
平均高程 $\cap$ 平均气温	0.751 2**	0.743 7**	0.750 5**	0.733 9**	0.736 1**	0.713 7**
平均高程 $\cap$ 年降水量	0.782 4*	0.734 7**	0.722 3**	0.739 6**	0.776 3*	0.780 5*
平均高程 $\cap$ 人口密度	0.771 7**	0.790 5**	0.793 1**	0.779 0**	0.793 4**	0.794 2**
人口密度 $\cap$ 平均气温	0.772 8**	0.776 7**	0.767 8**	0.767 8**	0.751 2**	0.765 8**
人口密度 $\cap$ 年降水量	0.749 6*	0.707 1**	0.731 6**	0.730 6**	0.749 8*	0.759 5*
年降水量 $\cap$ 平均气温	0.829 6*	0.778 5*	0.718 9**	0.718 1**	0.739 4*	0.738 1*

注:* 表示非线性增强,** 表示双因子增强

3 结论与讨论

3.1 结论

基于 InVEST 模型研究了河北省 1995—2020 年的生境质量时空分布格局,探讨了气候、人口等因素对平均生境质量变化的驱动机制,并借助地理探测器的因子探测与交互探测分析了坡度、高程、人口密度、气温、降水量等一系列因素对河北省生境质量空间分异的驱动机制。

(1)1995—2020 年,河北省的平均生境质量较低且略微下降,由 1995 年的 0.448 8 降至 2020 年的 0.441 9,降低了 1.54%。沿海区域生境质量有所提高,而各大城市建成区生境质量下降明显。

(2)河北省生境质量的分布具有明显的差异性,呈现出西北高、东南低的特征,生境质量高值区集中在西部以及北部山区森林、草地等自

然资源丰富的地区,生境质量低值区集中在东南部的冀中平原。

(3)1995—2020年,河北省平均气温升高、年降水量减少、人口密度增加,这一系列变化对生境质量起着负面驱动作用。

(4)各期的地理探测结果高度一致,各因子均显著影响生境质量。其中,坡度对生境质量的影响起主导作用,能够解释84%的生境质量空间分异,其次为高程、人口密度、气温,而降水量的影响程度最低。任意两因子交互后均有很高的解释力,显然生境质量受双因子共同作用的影响更大。

3.2 讨论

通过 InVEST 模型获得了河北省 1995—2020 年生境质量的时空分布格局,平均生境质量约为 0.446 并逐年下降,这与相近区域生境质量的相关研究结果较为一致^[13]。通过对生境质量与平均气温、年降水量以及人口密度随时间变化趋势的对比,发现三个因素均对生境质量起负面驱动作用,其中人口密度的影响最大,主要是由于伴随人口密度增加而来的人类活动加剧使原有的生境被侵占。同时,气候条件的恶化也不利于生境中动植物的生存。

对于平均气温、年降水量、人口密度、平均坡度、平均高程各因子对生境质量空间分异所发挥的驱动作用,多年的探测结果较为一致,其中坡度等地形因素对生境质量的解释强度最高,这是因为林地等适宜性高的生境多分布于坡度与高程较高的山区,而威胁生境的建设用地与耕地等多分布于平原。此外,人口密度高的地区有相对更加聚集的建设用地与耕地,给这些区域的生境造成了威胁,因此人口密度对生境质量空间分异也具有较高的解释强度。而气温与降水的分布主要受纬度位置影响,因此对生境质量空间分异影响相对较小。

因此,应设立更多的自然保护区,以减小人类活动对生境的威胁;积极应对全球气候变暖带来的影响,以抑制生境质量的进一步下降;同时积极进行湿地与海岸带的保护,并在平原地区开展生态修复整治,以改善整体生态环境。

参考文献:

- [1] 吴杨,潘玉雪,张博雅,等. IPBES 框架下的生物多样性和生态系统服务区域评估及政策经验[J]. 生物多样性,2020,28(7):913—919.
- [2] 刘孟竹,张红娟,王彦芳,等. 基于土地利用的北方农牧交错带生境质量研究[J]. 水土保持研究,2021,28(3):156—162.
- [3] 荣月静,张慧,王岩松. 基于 Logistic-CA-Markov 与 InVEST 模型对南京市土地利用与生物多样性功能模拟评价[J]. 水土保持研究,2016,23(3):82—89.
- [4] 陈永国,刘维军,荣月静,等. 基于土地利用与植被覆盖度的大通北川河源区自然保护区生境质量评估[J]. 水土保持研究,2020,27(6):332—337.
- [5] 巩杰,马学成,张玲玲,等. 基于 InVEST 模型的甘肃白龙江流域生境质量时空分异[J]. 水土保持研究,2018,25(3):191—196.
- [6] SALLUSTIO L, DE TONI A, STROLLO A, et al. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy[J]. J Environ Manage,2017,201:129—137.
- [7] TERRADO M, SABATER S, CHAPLIN-KRAMER B, et al. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning[J]. Sci Total Environ,2016,540:63—70.
- [8] 任立清,董国涛,谷佳贺,等. 黑河上游植被时空分布及驱动力分析[J]. 水土保持研究,2021,28(4):244—250.
- [9] 周亮,周成虎,杨帆,等. 2000—2011 年中国 PM_{2.5} 时空演化特征及驱动因素解析[J]. 地理学报,2017,72(11):2079—2092.
- [10] 吾买尔艾力·艾买提卡力,阿巴拜克热·艾买提卡力,范昕,等. 2000—2018 年环鄱阳湖生态城市群碳排放时空分异规律及影响因素分析[J]. 生态经济,2021,37(6):51—57.
- [11] 吴健生,曹祺文,石淑芹,等. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变[J]. 应用

- 生态学报, 2015, 26(11): 3457 - 3466.
- [12] 王晓萌, 潘佩佩, 王晓旭, 等. 基于土地利用的河北省生态系统服务权衡/协同关系研究[J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(1): 80 - 88.
- [13] 肖玲, 姜群鸥, 王美林, 等. 京津冀地区生态基础设施—生境质量—产业发展耦合协调性分析与预测[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(3): 96 - 105.
- [14] SONG Y Z, WANG J F, GE Y, et al. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: cases with different types of spatial data[J]. GISci Remote Sens, 2020, 57(5): 593 - 610.
- [15] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116 - 134.
- [16] WANG J F, LI X H, CHRISTAKOS G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107 - 127.

(责任编辑: 李秀荣)

(上接第 50 页) 统计分析数据, 利用图片和文字宣传交通知识。市面上主流地图软件是为了满足大众的实时导航和定位需求而开发的, 有较好的时效性和交互性, 但不能较好展示城市交通数据统计分析和交通知识宣传, 定制化程度较低。本系统在提供基本的导航和定位等服务的同时, 增加了对廊坊市交通数据的统计分析展示, 并设计交通知识宣传界面, 满足了特定的交通管理和宣传教育需求, 帮助市民更加全面地了解交通状况, 增强市民的交通安全意识和安全行车技巧, 减少交通事故的发生。本系统具有较高的定制化程度, 系统界面简单易懂, 并采用大屏展示的方式以方便浏览。

(2) 本系统是基于实现廊坊市交通展示与宣传而设计的系统框架, 后续可以通过收集廊坊市交通事故数据, 结合统计分析地图服务, 展示易发生交通事故的路段和十字路口, 方便路管部门进行交通管理、调度以及通行规则的临时调整, 最终保证路面的交通效率和安全。

参考文献:

- [1] 张艳肖, 周芸. 基于 GIS 和遗传算法的最短路径研究[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2013(9): 279 - 280.
- [2] 白罩峰, 曹静. 城市公共交通 GIS 查询系统设计与开发[J]. 测绘科学, 2017, 42(4): 86 - 90.
- [3] 李志华. 交通 GIS 服务共享平台设计与实现[D]. 上海: 东华理工大学, 2015.
- [4] 高胜国, 张兵. 基于 WebGIS 服务的枢纽机场综合交通可达性研究[J]. 测绘地理信息, 2022, 47(S1): 58 - 62.
- [5] 姚宝宽, 周爱兆, 李猛, 等. 城市工程地质勘察信息系统设计与实现[J]. 工程勘察, 2022, 50(4): 36 - 40.
- [6] 屈欣宇, 侯英姿, 王方雄. 城市管网 WebGIS 客户端的设计与开发[J]. 国土与自然资源研究, 2016(5): 42 - 43.
- [7] 徐子惠, 王方雄, 顾双飞, 等. 城市交通警情 WebGIS 设计与开发[J]. 软件, 2018, 39(9): 166 - 169.
- [8] 魏广群, 蒋利利, 张蒙蒙, 等. 基于 WebGIS 城市规划一张图管理系统的设计与实现[J]. 科技视界, 2018(3): 11 - 14.
- [9] 任旭红, 冯雅杰, 刘宇彤, 等. 诗意中国: 中国古诗词地图交互平台设计与实现[J]. 北华航天工业学院学报, 2020, 30(3): 7 - 9.
- [10] 孙逊, 李润泽, 赵宏宇, 等. 基于 ECharts 的铁路物流数据可视化效果的实现[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(32): 22 - 26.

(责任编辑: 白丽娟)