黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年生态足迹演变特征及其影响因素

韩 琭, 杨 勇

(山东财经大学 公共管理学院, 山东 济南 250014)

摘 要: [目的] 统计分析黄河三角洲高效生态经济区的生态足迹与各类型土地利用状况,为该区的高质量发展提供对策建议。[方法] 以黄河三角洲高效生态经济区 19 县市区为研究对象,采用生态足迹模型和因子探测器对黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年生态足迹时空演变和影响因素进行定量分析。[结果] ①研究区生态足迹自 2010—2019 年呈现较快上升态势,生态承载力缓慢提升,赤字有所扩大。②黄河三角洲高效生态经济区生态足迹空间分布差异明显。区域发展阶段可分为平稳期、上升期和转型期,其中中部和西北部生态足迹明显高于东部和西南部。③ 各影响力存在明显差异,其中耕地生产和工业化发展对黄河三角洲区域生态足迹影响最强,其余因素影响程度依次为:人口密度>道路密度>城镇化率>水产养殖。[结论] ①黄河三角洲高效生态经济区人均生态足迹整体变化趋势稳定,耕地与化石能源用地足迹占区域生态足迹较大比重; ②区域生态足迹呈现由东部向中西部递增趋势,且高值区多集中于内陆地区和黄河沿线城市; ③农业生产和工业生产为黄河三角洲高效生态经济区核心发展要素,水域开发利用对区域生态环境保护具有促进作用,应从耕地保护、产业链升级、数字赋能、生态修复方面寻找对策。

关键词: 黄河三角洲高效生态经济区; 生态足迹; 演变特征; 高质量发展

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2021)04-0284-08 **中图分类号**: X22, X321

文献参数: 韩琭, 杨勇.黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年生态足迹演变特征及其影响因素[J].水土保持通报,2021,41(4):284-291.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.038; Han Lu, Yang Yong. Characteristics of ecological footprint evolution and its influencing factors in high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta during 2005—2019 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(4):284-291.

Characteristics of Ecological Footprint Evolution and Its influencing Factors in High Efficiency Eco-economic Zone of Yellow River Delta During 2005—2019

Han Lu, Yang Yong

(*School of Public Administration and Policy, Shandong University of Finance and Economics, Jinan, Shandong* 250014, *China*)

Abstract: [Objective] The ecological footprint and various types of land use was analyzed, in order to provide countermeasures and suggestions for the high-quality development of high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta. [Methods] Taking 19 cities in the high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta as the research objects, the ecological footprint model and factor detector were used to quantitatively analyze the spatio-temporal evolution and influencing factors of the ecological footprint in the high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta from 2005 to 2019. [Results] ① The ecological footprint increased rapidly from 2010 to 2019, the ecological carrying capacity increased slowly, and the deficit expanded. ② The spatial distribution of ecological footprint in the high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta was obviously different. The regional development could be divided into stable period, rising period and transition period. The ecological footprint in the middle and northwest was significantly higher than that in the east and southwest; ③ There were significant differences in the influencing factors, among which, cultivated land

收稿日期:2021-01-24 **修回日期**:2021-04-15

资助项目:国家社会科学基金项目"雾霾灾害的政府、企业、公众合作治理机制研究"(18BJY087)

第一作者:韩琭(1982—),女(汉族),山东省济南市人,博士,副教授,主要从事城市管理与环境规制方面的研究。Email:hanlu0816@126.com。

通讯作者:杨勇(1995—),男(汉族),山东省泰安市人,硕士研究生,研究方向为生态足迹。Email:1561270772@qq.com。

production and industrial development had the strongest influence on the ecological footprint of the high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta, and the influence degree of other factors was in the order of population density＞road density＞urbanization rate＞aquaculture. [Conclusion] ① The overall trend of per capita ecological footprint in the high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta is stable, and the footprint of farmland and fossil energy land account for a large proportion of the regional ecological footprint. ② The regional ecological footprint increased from the east to the central and western regions, and the high value areas are mainly concentrated in the inland areas and the cities along the Yellow River. ③ Agricultural production and industrial production are the core development factors in the high efficiency eco-economic zone of Yellow River delta. Water development and utilization can promote regional ecological environment protection. Therefore, measures and stuafegies should be put forward from the viewpoints, such as farmland protection, industrial chain upgrading, digital empowerment and ecological restoration.

Keywords: high efficiency eco-economic zone of Yellow River Delta; ecological footprint; evolution characteristics; high quality development

2019 年习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话，强调黄河流域是我国重要生态保护屏障和经济地带[1]，在国家生态保护和经济发展中扮演着重要角色。黄河三角洲高效生态经济区作为黄河入海口的重要屏障，如何优化黄河三角洲区域土地开发利用模式，带动产业链供应链升级转换，以推动黄河三角洲高效生态经济区高质量发展成为各界关注的重要议题。生态足迹是全球通用衡量研究区域可持续发展的有效工具，也是用来研究区域经济发展与生态环境状况是否和谐稳定的关键指标[2]，可有效评价区域生态保护和经济高质量发展现状。生态足迹模型由 Ress[3] 于 1992 年引出并由 Wackernagel[4] 完善模型运算，结合各国自然环境压力与经济发展水平，开展针对全球和地区生态足迹的测算。

随着生态足迹模型日趋成熟，其在促进区域高质量发展中的重要作用引起了国内外学者的广泛关注，近年来众多学者围绕生态足迹研究尺度、研究对象及研究方法做了大量探索。①研究尺度。当前国内外生态足迹研究以面向国家地区[5]、省域[6-7]、特大城市等[8-9]为主要研究尺度。随着国家区域性战略的转变，生态足迹模型逐渐应用于对跨流域地区和城市群的相关研究，对区域高质量发展建设提供了理论参考。②研究对象。生态足迹研究包括不同类型土地、不同行业，涉及范围广泛。其中研究热点集中于农业生态足迹[10-12]、旅游业生态足迹[11]、水资源生态足迹[13]和碳足迹[14]研究，探寻生态足迹与各行业发展间相互作用关系。正是借助学者们将生态足迹应用与不同行业发展构建联系，优化了生态足迹研究路径，同时也为研究开拓了新思路。③研究方法。学者们将不同学科技术手段应用于生态足迹测算，典型模式包括了投入产出模型[15]、三维生态足迹模型[16]、最小偏二乘法[17]、环境库兹涅茨曲线等[18-19]方法引入生态足迹研究，一方面，借助不同模型和方法应用，体现了资源利用程度与人类生产活动间存在密切关联，人类活动的扩张会进一步加剧生态环境压力，在生产生活过程中应当减少生态赤字，改善区域生态环境；另一方面，优化了生态足迹自身测算准确度，提升了数据精度，使得生态足迹更为便捷的应用于不同自然特征的区域研究提供了可能性。综上，已有研究对生态足迹领域的探索提供了重要借鉴，但仍然存在一定的局限性，且由于存在土地资源开发程度差异大、产业结构失衡、生态保护严峻等问题，阻碍黄河三角洲高质量发展建设。鉴于此，本研究借助 2005—2019 年各类土地生物生产性资源和化石能源数据，分析黄河三角洲高效生态经济区足迹与承载力的时空演变格局。借助因子探测器，探明造成黄河三角洲高效生态经济区整体生态足迹时空演变的影响因素。最后，结合黄河流域生态保护和高质量发展的要求，为推动黄河三角洲因地制宜发展提供决策建议。

1　数据与方法

1.1　研究区概述

黄河三角洲高效生态经济区地理坐标为东经 118°17′—119°10′和北纬 37°20′—38°10′，是山东省面向渤海湾的重要门户，区域周边海洋物产资源丰富，湿地生物多样性复杂，是国家重要湿地保护区域。黄河三角洲高效生态经济区涵盖了东营和滨州两市全部辖区及其周边潍坊市、德州市、淄博市和烟台市的 19 个县市区，全域人口 2018 年达 1 023 万人，地区生产总值为 9 686.6 亿元，较去年同比增长 6.0%，区域内各县市间经济发展差异较大，土地开发利用强度不同。

区域内长期呈现出以二产拉动一三产业发展的形式，但由于黄河三角洲区域地下矿水化程度高，土壤盐碱化程度高且植被覆盖率低，偶有干旱和洪涝灾害，破坏区域地表稳定性，导致该地区生态环境尤为脆弱[20]。

1.2 数据来源

本研究以黄河三角洲高效生态经济区为研究对象，研究时间跨度为 2005—2019 年，包括了黄河三角洲高效生态经济区内 19 县市区。研究数据涵盖化石能源消费量和生物资源消费量，分别指代化石能源用地、建筑用地、耕地、林地、草地以及水域。由于黄河三角洲区域液化石油气利用量明显高于其他能源，因此，液化石油气为本研究主要能源参考依据。生物生产性土地面积借助 FAO 发布的全球生物资源作物平均产量进行折算。研究数据基于 2005—2019 年《中国能源统计年鉴》《中国县域统计年鉴》和各县市区统计年鉴为计算依据，考虑到部分数据缺失，为保证数据准确性，因此采用部分县市区《国民经济和社会发展统计公报》等作为数据源。

1.3 研究方法

指标法将生态足迹涵盖的土地类型进行细分，各类生物资源和化石能源消费量折算为生产性土地面积，更准确地表现出区域资源利用状况和土地开发强度。因子探测器在探测和利用空间分异性上将生态足迹土地类型与区域发展指标紧密结合，将影响因子与足迹指标相关联以突出区域发展趋势。

1.3.1 生态足迹 生态足迹表示某一时期维持相对稳定人口数量的条件下，人类不同需求消耗量与消费产生废弃物总量通过均衡因子折算成为生产性土地面积[21]，其计算公式为：

$$E_F = N \cdot e_f = N \cdot r_j \cdot \sum_j^n \frac{C_i}{P_i} \quad (j=1,2,\cdots,6) \quad (1)$$

式中：E_F 为黄河三角洲总生态足迹；N 为区域总人口数；e_f 为人均生态足迹；r_j 为各类型土地均衡因子，研究采用谢高地等[22]修正的中国生态足迹均衡因子，保证不同土地折算过程中的可比性，也更为体现出我国实际生物资源生产能力；j 指代黄河三角洲地区不同生产性土地类型；C_i 为黄河三角洲区域内 i 种生物资源的人均消费量；P_i 为 i 种生物资源的全球平均产量。其中，化石能源用地面积需要借助折算系数（参考徐中民等[23]统计）对各类能源发热量进行测算，以全球能源平均产量为基本单位，加总求得化石能源用地生产性面积（表 1）。

表 1 生态足迹模型均衡因子与产量因子

土地类型	选取指标数据	均衡因子	产量因子
耕 地	粮食作物、棉花、蔬菜、瓜果、油料	2.52	0.36
林 地	林果（苹果、梨）	1.29	1.13
草 地	牛肉、羊肉	0.46	1.26
水 域	水产品总产量	0.37	1.26
化石能源用地	液化石油气、原油、煤炭、柴油、汽油	1.29	0
建设用地	电力、城市道路面积	2.52	0.36

1.3.2 生态承载力 本研究中生态承载力代表了黄河三角洲区域土地承载能力，其对应所选区域的相应生态容量[24]，各类型生产性土地用途多样，其生产能力也存在较大差距。其计算公式为：

$$E_C = N \cdot e_c = N \cdot r_j \cdot y_i \cdot a_j \quad (j=1,2,\cdots,6) \quad (2)$$

式中：E_C 为区域总生态承载力；e_c 为区域内人均生态承载力；y_i 为各类型土地产量因子，本研究产量因子采用刘某承等[25]计算的中国生态足迹产量因子，更为契合我国国情和实际生产能力，保证了研究数据的可靠性；a_j 代表黄河三角洲区域内各类型生物生产性土地面积。

1.3.3 因子探测器 因子探测器是地理探测器中主要用来探测因变量 y 在各影响因子 x 的地理层上的空间一致性以及影响因子 x 对因变量 y 的解释程度[26]，用 q 度量，计算公式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_h^L N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} \quad (3)$$

式中：h 为变量 y 或因子 x 的分层数，在本文中变量的分类为 6 类，其中包括了常住人口数、人均 GDP 值、道路密度、耕地面积、工业产值、水产品产量；L 为变量 y 或因子 x 的分层；N，N_h 分别代表为全域和某一层的单位数，在本文中表示黄河三角洲高效生态经济区全域单位数和每一类中单位数；σ^2，σ_h^2 分别指黄河三角洲全域和各层 h 的 y 值的方差；q 值范围为 0～1，所得 q 越大表示因变量存在更为显著的空间分异性，空间分异性与自变量存在正相关情况下，q 值越大则越说明该变量对区域生态足迹变化解释力越强。

2　结果与分析

2.1　黄河三角洲生态足迹时间演变分析

2.1.1　整体生态足迹时间变化趋势　测算黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年人均足迹与承载力状况,结果详见表 2。其人均生态足迹在 2005—2019 年整体呈现明显降低趋势,2005 年黄河三角洲人均生态足迹值从 3.974 hm^2/人减少到 2015 年的 3.534 hm^2/人,减少幅度达 11.07%,尤以 2005—2010 年下降明显。而 2015—2019 年,黄河三角洲生态足迹存在一定程度上升,区域内人均足迹由 3.534 hm^2/人上升至人均足迹值 3.866 hm^2/人。人均生态承载力维持相对稳定,从各年承载力数值分析,得出黄河三角洲区域承载力呈现出波动上升趋势,由 2005 年的 1.883 hm^2/人上升到 2019 年的 2.455 hm^2/人,整体呈现出黄河三角洲地区承载能力一定程度提升,但区域赤字仍有扩大趋势,表现为资源利用与土地开发的不协调,生态环境压力较大。

2.1.2　不同类型土地生态足迹时间演变　黄河三角洲高效生态经济区土地利用状况具有明显差异,各类土地开发利用程度与区域生态足迹存在密切关联。耕地和建设用地变化趋势较为稳定,其中耕地生态足迹在区域总生态足迹中占比较大,且呈现逐年上升的走势。该区域充分利用黄河水源充足灌溉便捷的优势,播种面积逐年提升该区域的耕地使用率,导致耕地开发利用强度提升;2005—2019 年,建设用地生态足迹值变化幅度不大,多数县市区整体城市化发展水平仍处于相对滞后的状态。而在 2015—2019 年,建设用地足迹较前一阶段有一定程度回落,但基本维持相对稳定,表明黄河三角洲高效生态经济区城市扩张并不明显。

化石能源用地生态足迹占据区域内整体足迹的 49.7%,表明黄河三角洲区域最大驱动力依然是工业能源产业。在 2005—2015 年呈现出明显减少趋势,为改善空气质量关闭不达标的重化工型企业,迫使黄河三角洲地区化石能源用地生态足迹较其他生产性土地足迹有明显下降。2015—2019 年,黄河三角洲高效生态经济区各县市区空气质量逐年好转,各县市坚持经济发展与生态保护协同推进,借助工业园区建设、工业生产技术革新、优化工业布局等方式发展第二产业,在治理源头进行有效控制,为黄河三角洲高效生态经济区实现高质量奠定坚实基础。

2005—2015 年,林地和水域人均生态足迹值呈现出一定程度上升走势,自 2010 年以来黄河三角洲高效生态经济区出台林地海域抵押融资,加快港口建设、推动高新企业入驻黄河三角洲高效生态经济区,有效实现节制型资源利用模式,使得黄河三角洲水域和林地生态足迹有一定程度上升。2015—2019 年,林地和水域生态足迹基本维持稳定且有降低趋势,是基于黄河三角洲产业布局基本定型,打造黄河三角洲高效生态产品品牌效应,一定程度上缓解沿海地区生态环境压力。草地生态足迹在区域整体生态足迹中也占据较大比重,变化趋势较其他类型土地更为平稳,表明黄河三角洲地区常年关注湿地草地保护,充分体现出黄河三角洲地区生态保护的重要性。

表 2　黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年各类型土地人均生态足迹及承载力　hm^2/人

土地利用类型	2005 年		2010 年		2015 年		2019 年	
	人均足迹	人均承载力	人均足迹	人均承载力	人均足迹	人均承载力	人均足迹	人均承载力
耕 地	1.291	1.115	1.716	1.566	1.745	1.599	1.806	1.679
林 地	0.015	0.015	0.058	0.057	0.062	0.062	0.049	0.048
草 地	0.583	0.647	0.598	0.663	0.525	0.582	0.548	0.607
水 域	0.081	0.09	0.081	0.09	0.098	0.109	0.093	0.103
化石能源用地	1.985	0	1.116	0	1.083	0	1.352	0
建设用地	0.018	0.017	0.018	0.016	0.021	0.019	0.019	0.017
区域人均生态足迹	3.974	1.883	3.586	2.392	3.534	2.37	3.866	2.455

2.1.3　不同类型土地承载力时间变化趋势　黄河三角洲区域不同类型土地的人均生态承载力保持相对稳定的状态,各类型土地的承载力变化幅度较小。其中,耕地在 6 类生产性土地足迹中占比最大,在 2005—2019 年常年占有率维持在 67.2%,耕地承载能力呈现逐年增长趋势,由 2005 年的 1.115 hm^2/人上升到 2019 年的 1.679 hm^2/人,说明黄河三角洲高效生态经济区耕地承载能力得以提升,借助农业生产技术水平的不断提高,改进种植生产方式,优化农田分配带动区域承载能力逐步提升。水域和草地生态承载力逐步提升,近年来黄河三角洲地区发展政策注重生态环境保护,优先保护水源和牧草地,加大对湿地生态系统的防护,以提高土地植被覆盖能力,维护黄河三角洲区域湿地生物多样性。黄河三角洲高

效生态经济区在开发过程中,推进可持续发展项目投资建设,有效开展了区域内水源的源头防治工作;推动发展黄河三角洲湿地生态保护机制,退耕还林还草,减少不同类型土地无序开发以提升承载能力。建设用地有所增长但整体变化程度不大,也说明黄河三角洲城市化发展较省内其他区域仍存较大差距,建设用地在黄河三角洲区域承载力中尚未起到决定性作用。

2.2 黄河三角洲生态足迹空间演变分析

2005—2019 年黄河三角洲高效生态经济区 19 县市区人均生态足迹值,结果见表 3。为进一步探究黄河三角洲高效生态经济区生态足迹演变特征,运用 ArcGIS 10.6 Arctoolbox 中空间数据功能中的"Nature Break"功能,将黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年各地人均生态足迹值划分为 5 个等级,分区涵盖足迹低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区,依据各地不同年限生态足迹值可以将黄河三角洲发展分成 3 个时间阶段。

表 3 黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年各县市区人均生态足迹值 hm^2/人

县 区	2005 年	2010 年	2015 年	2019 年
东营区	0.443	0.563	0.648	0.439
河口区	0.625	0.659	0.843	1.046
垦利县	0.857	1.027	1.141	1.607
利津县	1.199	1.857	1.819	2.329
广饶县	1.145	1.453	1.274	1.165
滨城区	0.516	0.670	0.626	0.881
惠民县	0.891	1.166	1.225	1.547
沾化县	1.034	1.062	1.168	1.571
无棣县	0.772	1.068	0.887	1.475
阳信县	1.603	2.084	2.199	2.513
博兴县	0.730	1.009	1.031	1.089
邹平县	0.777	1.135	1.119	1.090
乐陵市	1.143	1.796	2.031	1.992
庆云县	0.752	1.198	1.235	1.202
高青县	1.763	1.935	2.064	1.943
寿光市	1.128	0.812	0.812	0.708
寒亭区	0.787	1.143	0.852	0.796
昌邑市	0.825	1.206	0.699	1.148
莱州市	1.251	1.074	1.067	0.961

2.2.1 黄河三角洲发展平缓期(2005—2010 年)

2005 年位于黄河三角洲生态足迹高值区的县市区包括高青县、阳信县,沾化区、利津县、广饶县、西北部乐陵县和东部沿莱州湾的莱州市、寿光县为较高值区,昌邑市、惠民县、垦利区位于中值区,寒亭区、邹平市、无棣县、庆云县分布于区域生态足迹较低值区,区域低值区有河口区、滨城区和东营区。黄河三角洲生态足迹呈现出由四周高值区向中心递减的分布特征,其中变化明显的区域为莱州市、河口区等沿海区域,由于黄河三角洲地区早期城市化过程中应用港口码头发展贸易经济,导致其生态足迹在 2005 年排名靠前。而中部县市区经济发展多依赖于农业生产,第一产业占城市发展主导地位,工业尚处于起步阶段使得其足迹较周边地区低。

2.2.2 黄河三角洲发展上升期(2010—2015 年)

2010—2015 年,各县市区生态足迹分布较 2005 年变化显著,生态足迹呈现出由东部沿海向中西部地区转移的趋势,形成了中西部高东部低的分布特征,其中生态足迹高值区多集中于黄河流经区域,阳信县、利津县、乐陵市生态足迹位居前列,而发展平缓期足迹较高的莱州市、寒亭区呈现下降趋势,惠民县、庆云县、邹平市有上升趋势,但增幅并不明显,其他区域基本维持稳定,并未发生显著变化。以滨州市和德州市周边县市工业产业密集分布,依托黄河水源供给在产能、工业消耗水平上逐年提升,化石能源用地足迹居高不下。2015 年,黄河三角洲高效生态经济区中部和西北部县市区足迹有上升趋势,而东部多数县市区生态足迹降低。

2.2.3 黄河三角洲发展转型期(2015—2019 年)

2015—2019 年,各县市区生态足迹整体生态足迹虽呈上升趋势,表现为生态足迹高值区逐渐向内陆偏移趋势,形成了环渤海湾生态足迹低值区向中西部内陆县市递增的分布状况。本阶段,以高青县、垦利区、沾化区、无棣县为代表县市区生态足迹上升显著,升至高值区;莱州市、寿光市、寒亭区和河口区转为较低值区,其他区域变化差异不大。沿海城市创新自身发展模式,引入高新技术型产业,构建多边贸易投资体系,使得黄河三角洲生态足迹高值区多集中于中西部和中部地区,莱州湾周边县市区多为生态足迹中低值区,且生态环境保护压力趋于缓解。高值区集中于中部城市如滨州市和德州市以及东营市西部辖区,集中发展于第二产业生产,以液化石油气为主的能源消耗量居黄河三角洲区域各项能源利用前列。同时,人口增长和消费水平提高引起生物生产性产品需求扩充,直接导致该区域生态足迹增加。

结合黄河三角洲高效生态经济区 2005—2019 年人均生态足迹分布特征(图 1),从开发利用和生态保护角度分析,将黄河三角洲高效生态经济区划分为东部优先开发区、西北部限制开发区、西南部协调开发

区、中部优化开发区。东部优先开发区汇集莱州湾地区,包含莱州市、寒亭区、寿光市等沿海地区,其生态足迹处在区域生态足迹较低值区,其中以莱州市、寒亭区、寿光市化石能源用地和耕地在 2005—2015 年人均生态足迹呈现下降趋势,水域和草地生态环保与经济发展间呈现盈余状态,表明该区域城市化发展模式转型取得一定成效,各县市区间协调发展成为主流趋势。中部优化开发区多以第二产业模式发展为主导,其中包括了滨州市除邹平县外的全部辖区、垦利区、河口区、利津县、广饶县和高青县。西北部限制开发区主要包括了德州的庆云县和乐陵市,该区域自 2015 年以来整体有上升趋势,由于中部区域生态足迹相互影响,工业发展也给德州市自身生态环境形成巨大压力;庆云县和乐陵市在近 10 a 间一直处于生态足迹中高值区,限制当地资源型工业,转变产业布局成为当地转移生态压力的关键举措。西南部协调开发区为邹平县,在经济发展,还是交通运输方面均优于滨州市其他辖区,较好的城市化发展和较为完善的产业结构使其生态足迹一直处于中值区,并有逐年降低的趋势。

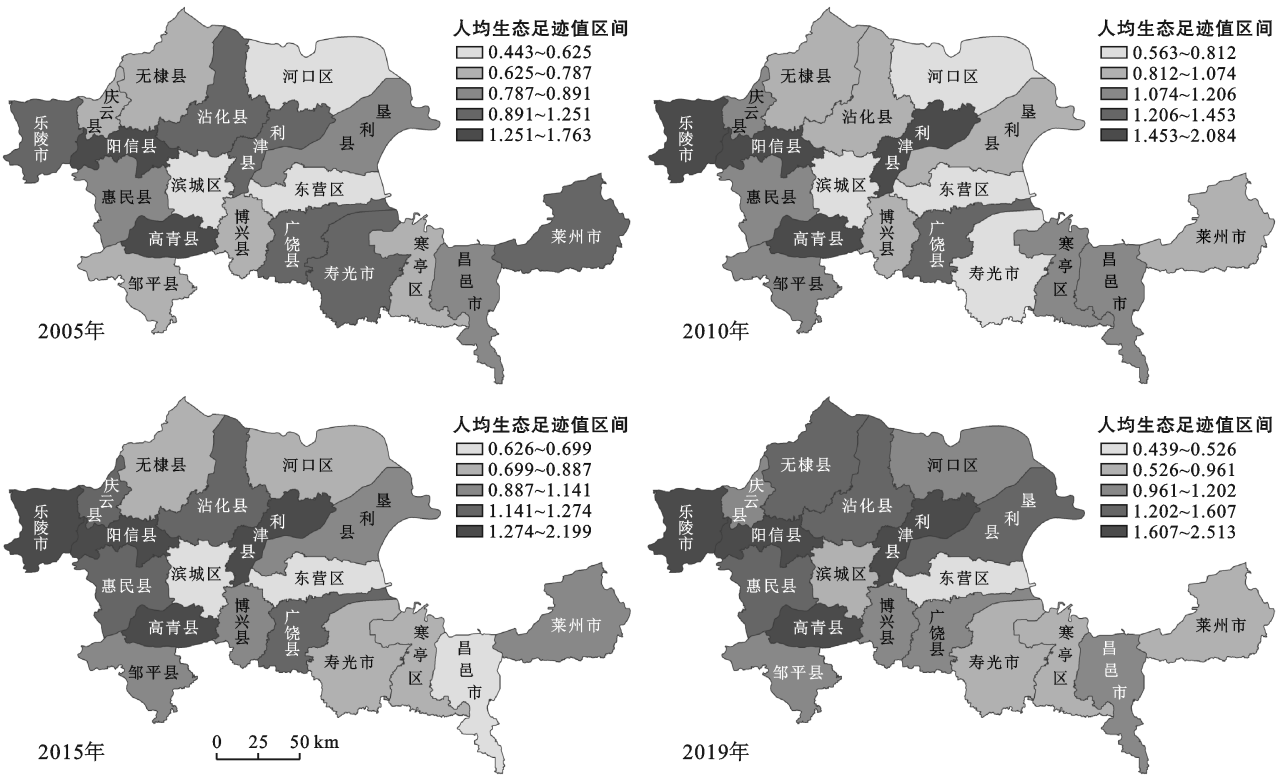


图 1　黄河三角洲高效生态经济区各县市区人均生态足迹值分布

2.3　黄河三角洲生态足迹影响因素分析

利用各类型生产性土地用途将影响因素进行分类,其中包含人口密度、城镇化率、道路密度、粮食生产、工业化水平、水产养殖。借助因子探测器的结果显示(表 4 所示),各影响因子的决定力(q)存在明显差异,由高向低依次为:粮食生产(0.81)、工业化水平(0.72)、人口密度(0.68)、道路密度(0.37)、城镇化率(0.26)、水产养殖(0.19)。

表 4　黄河三角洲高效生态经济区生态足迹的影响因素分析

影响因素	人口密度	城镇化率	水产养殖	粮食生产	道路密度	工业化水平
q 值	0.68	0.26	0.19	0.81	0.37	0.72
p 值	0.049	0.077	0.084	0.007	0.065	0.029

注:q 值为各影响因子对生态足迹变化的解释程度,p 值为各影响因子对生态足迹变化的显著程度。

粮食生产的耕地和工业生产的化石能源用地在影响因素中占比最大,说明耕地和化石能源用地依然是黄河三角洲地区构建经济发展体系的基石,其中以寿光市、广饶县、乐陵市等地粮食生产量明显高于周边城镇,促成黄河三角洲区域成为国家重要战略粮仓。借助工业用地和农地利用,中部地区经济实力有所提升,但较黄河三角洲东部地区仍有较大差距。由于工业分布密集也导致了黄河三角洲中部地区县市区空气污染严重,优化资源配置,重塑产业链、再造供应链成为了当地高质量发展的重要途径。

人口密度、道路密度和城镇化率代表黄河三角洲高效生态经济区各县市区城市现代化建设指标,与耕地和化石能源用地相比,建设用地指标所占整体比重较低,说明黄河三角洲地区城市化发展并非影响当地

生态足迹的决定性因素。黄河三角洲区域城市人口比重相对较少,消费能力较省内中东部县市区存在较大差距,各县市区城市化扩张并不明显,产业仍多集中于一二产业;同时黄河三角洲地区道路交通较省内其他地区发展水平较低,主要依靠公路交通进行运输,铁路交通较其他区域仍有不足,也在一定程度限制经济发展。

水产养殖代表黄河三角洲区域水域的开发利用度,其在黄河三角洲生态足迹影响因素中占比最小。结合 2005—2019 年黄河三角洲高效生态经济区水产业生产量可知,该区域水产品产量较为稳定,与其他产品的产量相比较低;国家逐步重视海洋生态环境保护,渔业发展更为遵循自然环境的修复能力,减少了对海洋资源的过度开发,对缓解经济发展所带来的环境污染和优化黄河三角洲区域生物多样性有着较明显成效。

3 讨论与结论

3.1 结 论

(1) 从时间演变看,黄河三角洲高效生态经济区人均生态足迹在 2005—2015 年呈现出下降趋势,且减少趋势明显,2015—1019 年有略微上升趋势,但整体变化程度维持相对稳定;从生产性土地类型来看,影响黄河三角洲高效生态经济区发展的关键要素土地类型为化石能源用地与耕地,而建设用地、水域、草地和林地变化稳定,耕地与化石能源用地主导了当前黄河三角洲发展的整体方向,其他类型土地并非影响黄河三角洲生态足迹变化的关键要素。

(2) 从空间演变看,黄河三角洲生态足迹演变呈现由东部向中西部递增的趋势,其中高值区多集中于中部和西北部县市区,低值区主要分布于莱州湾沿岸和西南部分地区。黄河三角洲生态足迹呈现由沿海向内陆地区转移趋势,且黄河沿线足迹有上升趋势。同时,黄河三角洲高效生态经济区各类型土地利用与各时期规划存在对应关系,政策引导成为推动区域土地资源利用的重要驱动力。

(3) 从因子探测器结果可知,农业生产和工业生产是黄河三角洲区域发展的核心要素,意味着耕地、化石能源用地依然是黄河三角洲发展的根基,表明黄河三角洲整体城市化水平不高,产业结构集中于一二产业,同时,水域开发利用相对稳定也对生态环境保护起到促进作用。

3.2 讨论与建议

(1) 合理控制耕地资源开发阈值,严守黄河三角洲区域耕地保护红线,遏制黄河三角洲耕地非农化、农地非粮化,以提升黄河三角洲耕地质量,增强土地生态系统服务能力,处理好耕地利用与城市化扩展间的协同关系,发展“互联网+”农业,推动农业提质增效,提升土壤肥力,优质优量的推动黄河三角洲耕地生态保护。

(2) 在双循环背景下,以工业互联网为主线推动引入高新产业技术产业,实现产业化集聚,着力拉动新能源材料建设、食品加工生产和化石能源等优势产业项目,形成高效持续性的高新技术经济开发区。加强黄河三角洲高效生态经济区内各县市的交流与合作,集中引入生态绿色、附加值高、经济效益长远稳健的发展项目,拉动黄河三角洲高效生态经济区实体经济高质量发展,从 5G、物联网、云计算等角度实现产业链和供应链转换升级,以推动区域工业合理布局,降低工业生产对区域生态环境的影响。

(3) 从数字赋能角度,对产品和工艺设计创新降低生态环境成本,拉动绿色生产、智慧制造以实现区域专业化分工,优化市场影响评估制度,将黄河三角洲高效生态经济区按照不同发展程度分区规划,结合地区发展实际制定资源利用和城市化发展方向。

(4) 强化黄河三角洲区域生态修复,增进资源承载能力。深度构建黄河三角洲资源开发模式,建立健全黄河三角洲高效生态经济区自然资源信息共享平台,形成以各县市区为基础单位的区域发展经济链,实现信息共享平台下的黄河三角洲区域经济高质量发展。

[参 考 文 献]

[1] 左其亭.黄河流域生态保护和高质量发展研究框架[J].人民黄河,2019,41(11):1-6.

[2] 王书华,毛汉英,王忠静.生态足迹研究的国内外近期进展[J].自然资源学报, 2002,17(6):776-782.

[3] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out [J]. Urbanisation,2017,2(1):66-77.

[4] Wackernagel M, Rees W. Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth [M]. Gabriola Island, B. C.: New Society Publishers,1996.

[5] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective [J]. Ecological economics, 1997,20(1):3-24.

[6] 张志强,徐中民,程国栋,等.中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J].地理学报,2001,56(5):599-610.

[7] 张可云,傅帅雄,张文彬.基于改进生态足迹模型的中国 31 个省级区域生态承载力实证研究[J].地理科学,2011,31(9):1084-1089.

[8] 张勃，刘秀丽.基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测：以甘肃省为例[J].生态学报，2011，31(20)：6251-6260.

[9] 郭秀锐，杨居荣，毛显强.城市生态足迹计算与分析[J].地理研究，2003，22(5)：654-662.

[10] 刘钰，马延吉.农业生态足迹研究进展与展望[J].中国生态农业学报，2019，27(7)：1115-1123.

[11] 杨桂华，李鹏.旅游生态足迹：测度旅游可持续发展的新方法[J].生态学报，2005，25(6)：1475-1480.

[12] 刘海燕，郝海广，刘煜杰，等.北方农牧交错生态脆弱区农户生态足迹及其与收入的关系[J].生态经济，2019，35(7)：148-154.

[13] 张洺也，赵春子.基于生态足迹法的延边州水资源生态环境研究[J].东北师大学报(自然科学版)，2019，51(3)：135-142.

[14] 郭运功，汪冬冬，林逢春.上海市能源利用碳排放足迹研究[J].中国人口·资源与环境，2010，20(2)：103-108.

[15] Ferng J J. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity [J].Ecological Economics，2001，37(2)：159-172.

[16] 靳相木，柳乾坤.基于三维生态足迹模型扩展的土地承载力指数研究：以温州市为例[J].生态学报，2017，37(9)：2982-2993.

[17] 胡悦，王溧.京津冀三维生态足迹演变趋势及驱动因素[J].江苏农业科学，2019，47(18)：309-313.

[18] Destek M A，Ulucak R，Dogan E. Analyzing the environmental Kuznets curve for the EU countries：The role of ecological footprint [J].Environmental Science and Pollution Research，2018，25(29)：29387-29396.

[19] 程钰，尹建中，王建事.黄河三角洲地区自然资本动态演变与影响因素研究[J].中国人口·资源与环境，2019，29(4)：127-136.

[20] 程钰，任建兰，侯纯光，等.沿海生态地区空间均衡内涵界定与状态评估：以黄河三角洲高效生态经济区为例[J].地理科学，2017，37(1)：83-91.

[21] 周涛，王云鹏，龚健周，等.生态足迹的模型修正与方法改进述评[J].生态学报，2015，35(14)：1-17.

[22] 谢高地，曹淑艳，鲁春霞，等.中国的生态服务消费与生态债务研究[J].自然资源学报，2010，25(1)：43-51.

[23] 徐中民，程国栋，张志强.生态足迹方法：可持续性定量研究的新方法：以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例[J].生态学报，2001，21(9)：1484-1493.

[24] 刘东，封志明，杨艳昭.基于生态足迹的中国生态承载力供需平衡分析[J].自然资源学报，2012，27(4)：614-624.

[25] 刘某承，苏宁，伦飞，等.区域生态文明建设水平综合评估指标[J].生态学报，2014(01)：97-104.

[26] 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.

(上接第 283 页)

[9] 文一惠，马良，谢婧，等.生态服务功能空间转移定量化研究：以官厅水库流域为例[J].环境保护科学，2018，44(1)：95-102.

[10] 邓灵稚，杨振华，苏维词.城市化背景下重庆市水生态系统服务价值评估及其影响因子分析[J].水土保持研究，2019，26(4)：208-216.

[11] 吴晓辉，吴钢，潘轲旻，等.南水北调来水对密云水库水质和水生生物影响的预测分析[J].北京水务，2015(6)：4-6.

[12] 咎欣，张玉玲，贾晓宇，等.永定河上游流域水生态系统服务价值评估[J].自然资源学报，2020，35(6)：1326-1337.

[13] 李婵娟，段新光，焦有权.长系列数据支持下密云水库蒸发量变化特征分析[J].价值工程，2020，39(9)：200-202.

[14] 石河，齐如九.密云水库水体面积 10 年以来最大达 148.7 km^2 100 万亩京冀水源绿色生态带初步形成[J].绿化与生活，2019，No.268 (9)：13-15.

[15] 孙晓玉.水生态系统服务价值评价研究及其应用[D].湖北 武汉：湖北工业大学，2020.

[16] 张颖.密云水库浮游植物种类组成及生物量的研究[D].辽宁 大连：大连海洋大学，2018.

[17] 梁勇，王荣臣，李婴，等.密云水库滤藻鱼类增殖放流对水生态环境影响分析[J].北京水务，2020(S1)：60-63.

[18] 谢世林，史雪威，彭文佳，等.我国重点保护动植物物种价值评估[J].生态学报，2018，38(21)：7565-7571.

[19] 陈卓.基于游客支付意愿的旅游生态补偿机制研究：以北京市密云区石城镇为例[D].北京：北京林业大学，2016.

[20] 中国水产科学研究院长江水产研究所.SC/T9402-2010 淡水浮游生物调查技术规范[S].北京：中华人民共和国农业部，2010.

[21] Li Delong，Wu Shuyao，Liu Laibao，et al. Evaluating regional water security through a freshwater ecosystem service flow model：A case study in Beijing-Tianjin-Hebei region，China [J]. Ecological Indicators，2017，81：159-170.

[22] 赵同谦，欧阳志云，王效科，等.中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济评价[J].自然资源学报，2003，18(4)：443-452.