

DOI: 10.5846/stxb202002190294

唐明珠, 梁晨, 曾坚, 耿煜周. 生态约束下闽三角城市群城镇发展特征与转型路径. 生态学报, 2021, 41(15): 6038-6050.

Tang M Z, Liang C, Zeng J, Geng Y Z. Development characteristics and transformation paths of towns in Fujian Triangle urban agglomeration under ecological constraints. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(15): 6038-6050.

生态约束下闽三角城市群城镇发展特征与转型路径

唐明珠, 梁 晨, 曾 坚*, 耿煜周

天津大学建筑学院, 天津 300072

摘要: 我国城市群快速发育与增长的同时也伴随着巨大的生态代价。基于生态约束视角提出城市群可持续发展的“供需-效率-结构”三维测度模型,以闽三角城市群为实证,综合运用生态足迹、生态承载力与信息熵模型,从资源供需关系、发展生态效率与生态本底结构三个方面评价其 2018 年区域城镇可持续发展空间分异规律,并进一步探究其影响因素与转型发展路径。研究发现:(1)闽三角区域城镇发展空间分异明显,具体表现为南北差异与海陆差异,空间集聚效应正在形成。(2)城镇可持续发展潜力与能源消耗和经济发展水平呈显著负相关,而人口、城镇化、经济、能源消耗等影响因素对资源供需关系、发展生态效率与生态本底结构三个子系统的影响机制存在差异。(3)鉴于影响机制差异,采用系统聚类法将闽三角城镇划分为赤字型、失衡型、粗放型与可持续型四类,针对不同类型城镇的主要发展制约因素提出相应的转型发展路径。研究希望为城市群可持续发展研究提供新的思路,为闽三角区域城镇转型发展提供参考与借鉴。

关键词: 生态约束;生态足迹;生态承载力;转型路径;闽三角城市群

Development characteristics and transformation paths of towns in Fujian Triangle urban agglomeration under ecological constraints

TANG Mingzhu, LIANG Chen, ZENG Jian*, GENG Yuzhou

School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: The rapid development and growth of urban agglomerations in China are accompanied by huge ecological costs. From the ecological constraint perspective, this paper proposed a three-dimensional measurement model of “quantity-efficiency-structure”. We comprehensively used the ecological footprint, ecological carrying capacity and information entropy model to evaluate the sustainable development potential of towns in Fujian Triangle in 2018 from three aspects: resource supply and demand relationship, development ecological efficiency, and ecological structure. The influencing factors and urban transformation path were also explored. The findings are as follows. (1) The urban sustainable development potential in the Fujian triangle area has a great difference between the north and the south, inland cities and coastal cities. At the same time, a spatial agglomeration trend is forming. (2) Energy consumption and economic development level have a significantly negative impact on the sustainable development potential of towns, while factors such as population, urbanization, economy, and energy consumption have different impacts on the three subsystems of resource supply and demand, ecological efficiency, and ecological structure. (3) In view of the difference of influence mechanism, the paper classified the towns of the Fujian triangle into deficit, unbalanced, extensive and sustainable by the method of systematic clustering, and put forward the corresponding transformation development path according to the main development constraints of different types of towns. We hope to provide new ideas for the study of sustainable development of urban

基金项目:国家“十三五”重点研发计划(2016YFC0502903);国家自然科学基金项目(52078330)

收稿日期:2020-02-19; 网络出版日期:2021-05-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 13602058416@vip.163.com

agglomerations and provide references for the transformation and development of towns in the Fujian triangle region.

Key Words: ecological constraints; ecological footprint; ecological capacity; urban transformation path; Fujian Triangle Urban Agglomeration

近 40 年来传统的工业化与城镇化模式驱动我国经济高速发展,然而也伴随着巨大的生态代价^[1-2],突出表现为粗放的资源利用方式、较低的发展生态效率以及空间无序蔓延导致的生态本底受损等方面,生态要素已经成为制约区域可持续发展的重要条件^[3]。党的十八大提出“大力推进生态文明建设,努力建设美丽中国,实现中华民族永续发展”,明确了在我国高质量发展转型时期,必须将资源环境的底线思维融贯于城镇发展、国土空间开发的全过程。城市群是工业化和城镇化发展到高级阶段的产物,是区域可持续发展的重要战略载体。然而城市群一方面是我国经济发展最具活力和潜力的地区,但同时也是生态环境问题高度集中且激化的敏感地区^[4],在生态约束背景下对其可持续发展水平的科学测度并进一步探究其空间分异规律成为重要科学问题,对我国区域协同发展与国土空间规划有重要支撑作用。

可持续发展的本质是以最小的生态代价换取最大的发展成果,而城市群属于典型的复杂开放系统,系统的要素关联性、运行效率性、空间异质性对区域可持续发展有重要影响。当前在我国城市群快速成长,城镇网络调整重构的趋势下^[5],是优化区域资源供需关系、提升发展生态效率和改善生态本底结构的重要窗口期。生态约束的定量分析研究主要集中在生态足迹^[6-7]、生态承载力^[8-9]、生态系统服务^[10-11]、生态效率^[12-13]等方面,其中生态足迹模型因为应用广泛、重复性好、易于理解^[14]等优点被广泛应用于可持续发展研究,近年来发展势头迅猛。不少学者在传统生态足迹模型的基础上扩展研究维度,发展出生态足迹效率^[15]、生态压力指数^[16]、生态可持续指数^[17]、生态足迹多样性指数^[18]等评价指标,并进一步组合这些指标发展成评价模型,如区域综合发展能力模型^[19]、可持续评价模型^[20]与生态-社会-经济三角模型^[21]等。

也有不少专家开始从经济、社会、人口、能源等多种因素入手研究可持续发展的影响机制,有专家认为第二产业产值、城镇化率^[22]对可持续发展影响最大,也有专家认为人口规模与富裕水平^[23]更为重要,由此可见,目前学术界尚未明晰城镇可持续发展的影响机制,或者认为可持续发展影响因素或因地域不同而有所差异^[24]。基于生态足迹模型的可持续发展研究已具有一定深度与广度,但并未形成一以贯之的完整研究体系,大多数研究仍停留在具体问题分析阶段,缺乏对区域发展的后续指导建议,或者面临着发展建议与研究分析脱节的困境。

因此,本文在前人研究的基础上整合生态足迹、生态承载力与信息熵等定量研究方法,提出“供需-效率-结构”三维测度模型,从生态约束视角综合评价区域城镇可持续发展特征,并基于模型测度结果探究城镇可持续发展影响因素与城镇转型发展路径,为闽三角城市群转型发展提供参考。

1 研究区域

闽三角是福建省的厦门、漳州与泉州三个城市及其所辖区县的简称,2018 年末城市群常住人口为 1795 万人,全年 GDP 约为 17207 亿元,总面积约为 25461 km²。随着海峡西岸经济区的建设,闽三角城市群已经发展为中国东部沿海地区重要的海湾型城市群之一。与此同时,闽三角地区被列为国家生态文明试验区,研究区域内分布着红树林保护区、海岸带滩涂、低丘陵梯田等丰富的自然生态资源。面临着生态资源保护与城市发展建设的博弈,具有较大的研究价值。

2 研究方法数据来源

本研究通过量化测度来探索闽三角地区城镇发展困境,从而进一步识别城镇发展约束因素及转型路径。以生态足迹模型、生态承载力模型与信息熵模型为方法基础,构建“供需-效率-结构”三维城镇发展困境评价

模型(图1)。其中,资源供需关系着眼于资源消耗与供给之间的平衡,直接决定城镇能否长期维持可持续发展。发展生态效率衡量城镇发展是否满足生态友好型原则,反映生态资源消耗与经济发展水平的关系,是评价可持续发展潜力的重要指标。生态本底结构则是量化城镇生态承载力稳定性与均衡性的指标,生态本底结构是否均衡将极大影响城镇可持续发展。

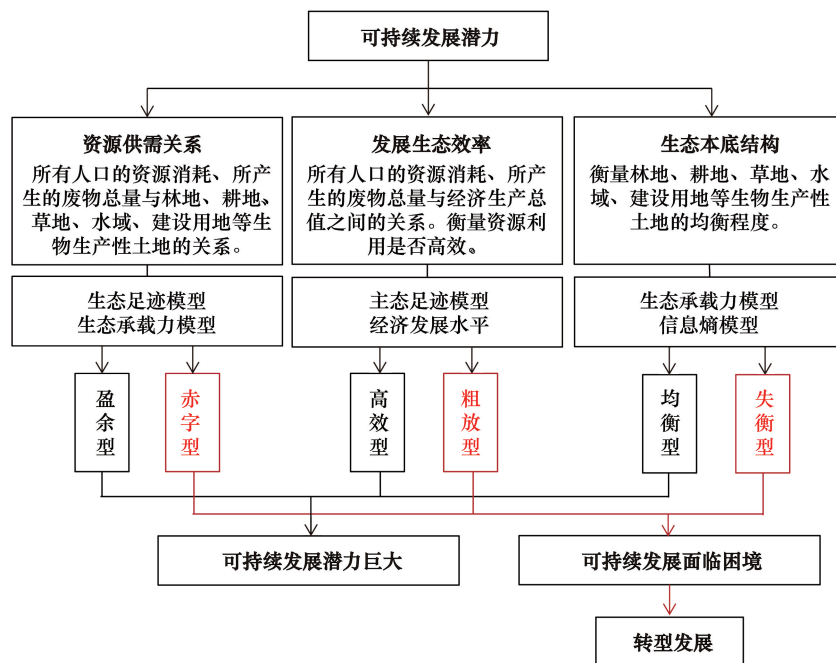


图1 “供需-效率-结构”三维评价模型

Fig.1 “Supply and demand-efficiency-structure” three-dimensional evaluation model

2.1 资源供需关系

2.1.1 生态足迹模型

生态足迹(Ecological Footprint)是由加拿大生态经济学家 William Rees 教授 1992 年最早提出,并在 1996 年由其博士研究生 Mathis Wackernagel 对该方法进行了完善与发展。生态足迹分析方法是一种衡量自然资源可持续利用的生物物理定量评价工具。传统生态足迹模型的核心内涵是将研究区域内所有人口各类资源消耗和所产生的废物转换为具有全球平均产量的生物生产性土地。全球生态足迹模型把所有生产性土地划分成耕地、草原、林地、水域、建设用地和化石能源用地 6 类。计算公式如下:

$$EF = N \times ef = N \times r \times \sum (a_i) = N \times r_j \times \sum \left(\frac{c_i}{p_i} \right) \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (1)$$

其中, EF 为总生态足迹 (ghm^2); N 为人口数 (人); ef 为人均生态足迹 ($\text{ghm}^2/\text{人}$); r_j 为不同类型生物生产性土地的均衡因子; a_i 为 i 种消费项目折算的生物生产性面积; c_i 为 i 种消费项目的人均消费量; p_i 为 i 种消费项目的全球年平均产量; i 为消费项目的类型; j 为生物生产性土地的类型。

在生态足迹消费项目的核算中,各种生物资源和能源资源消费项目均按相应的换算比例折算成相应的土地面积,由于六类土地的生态生产能力不同,难以直接对比,需要乘以均衡因子,本文参考 Wackernagel 的研究^[25],均衡因子取值如下:耕地 2.8;草地 0.5;林地 1.1;水域 0.2;建筑用地 2.8;化石能源用地 1.1。

本文中化石能源用地生态足迹采用谢鸿宇等^[26]的定义:用于吸收化石能源燃烧排放的温室气体的森林和牧草地。

建筑用地生态足迹主要指电力消费,参照《福建省统计年鉴 2018》电力平衡表与一次能源生产总量与构

成表,福建省的电力主要来源于水电。在生态足迹分析中,将水电生态足迹等同于水电站所淹没耕地的面积,本文选用谢鸿宇等根据中国水电站发电量与所淹没耕地面积计算的中国水电生态足迹算法,即 1kWh 的水电生态足迹为 $2.1448 \times 10^{-6} \text{hm}^2$ 耕地。

2.1.2 生态承载力模型

生态承载力又称生态足迹供给,指研究区域内可支撑人类生产消费活动的所有生物生产性土地面积,通过生态承载力模型将其转换为具有全球平均产量的生物生产性土地,计算公式如下:

$$EC = N \times ec = N \times \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (2)$$

式中 EC 为总生态足迹供给 (ghm^2); N 为人口数 (人); ec 为人均生态足迹供给 ($\text{ghm}^2/\text{人}$); a_j 为人均生物生产性面积 (hm^2); r_j 为均衡因子; y_j 为产量因子; j 为生物生产性土地类型。

均衡因子与上文生态足迹中的均衡因子相同。产量因子分别为耕地 1.66,草地 0.19,林地 0.91,水域 1,建设用地 1.66。与此同时,按世界环境发展委员会所建议的方案留出 12% 的生物生产土地面积以保护生物多样性。

2.1.3 生态盈余/赤字

生态赤字或盈余是综合比较研究区域内生态足迹需求与生态承载力大小所得到的指标,表征人类生产消费活动是否超出了自然环境的最大承载力,可用来衡量区域生态资源供需关系。生态承载力大于生态足迹时,表现为生态盈余;生态足迹大于生态承载力时,则表现为生态赤字。如果一个区域长期处于生态赤字,将会对生态环境造成不可逆的损害,不利于可持续发展。生态盈余或赤字的计算公式如下:

$$ED = EC - EF \quad (3)$$

式中, ED 为研究区域生态盈余 (赤字); EC 为生态承载力; EF 为生态足迹; 当 $ED > 0$ 时,为生态盈余; 当 $ED < 0$ 时,为生态赤字。

2.2 发展生态效率

发展生态效率是衡量研究区域内生态资源消耗情况与经济发展水平关系的指标,由生态足迹与 GDP 的比率表示。生态效率越高,证明城市的经济发展对资源消耗的依赖性越小,对生态环境的破坏性越小,其可持续发展水平越高。具体计算方法如下:

$$\text{Eco-efficiency} = \frac{\text{GDP}}{EF} = \frac{\text{GDP}}{BN + RC} = \frac{1}{\frac{1}{BE} + \frac{1}{RE}} \quad (4)$$

式中 BN 为生物资源需求; RC 为能源资源消耗; BE 为生物效率; RE 为能源效率。

2.3 生态本底结构

生态本底的结构是否均衡将极大影响生态资源供给的稳定程度,本文采用信息熵模型测度生态本底承载力的复杂性与均衡性。信息熵理论是信息学之父香农从物理学的“熵”引入的概念,热力学中的热熵是表示分子状态混乱程度的物理量。信息熵的高低可以反映城镇生态本底的均衡程度,熵值越高,表明不同职能的生态承载力种类越多,各类型的面积相差越小,生态本底越均衡。

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_n \quad (5)$$

$$P_i = \frac{A_i}{A} = A_i / \sum_i^n A_i \quad (6)$$

$$H = - \sum_i^n (P_i \times \log P_i) \quad (7)$$

式中 A_i 为某一类型生物生产性土地的生态承载力, A 为研究区域内所有类型土地的生态承载力, H 为信息熵。

2.4 数据来源

以闽三角地区厦门、漳州、泉州市辖区及所辖县共 19 个县市单位为研究对象,所用数据均来源于 2018 年

《福建统计年鉴》、《厦门统计年鉴》、《漳州统计年鉴》、《泉州统计年鉴》和国家统计局,地级市数据以所含市辖区数据计(不含所辖县、代管市),其中金门县由于数据缺失,暂不考虑。土地利用类型数据通过 30M 精度 Landsat 8OLI-TIRS 遥感影像解译获得,在地理空间数据云平台选择 2018 年云量低于 5% 的遥感影像并下载,采用监督分类法,按照生态足迹模型中生物生产性土地划分方式,将研究区土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建筑用地 5 类,总体分类精度为 88.2%。

3 结果与分析

3.1 城镇发展的多维分异

3.1.1 资源供需关系及空间分异研究

首先分别计算林地、草地、耕地、建筑用地、水域 5 类生物生产性土地供需平衡情况与化石能源用地资源消耗情况(图 2)。研究发现这 5 类用地类型对闽三角城市群发展的制约影响由大到小分别是,水域>草地>耕地>建筑用地>林地,水域与草地资源供给整体处于赤字状态,是制约闽三角地区发展的首要资源性短板,这与闽三角地区多为山溪型水域,水资源紧缺以及草地资源紧缺的现状密切相关。

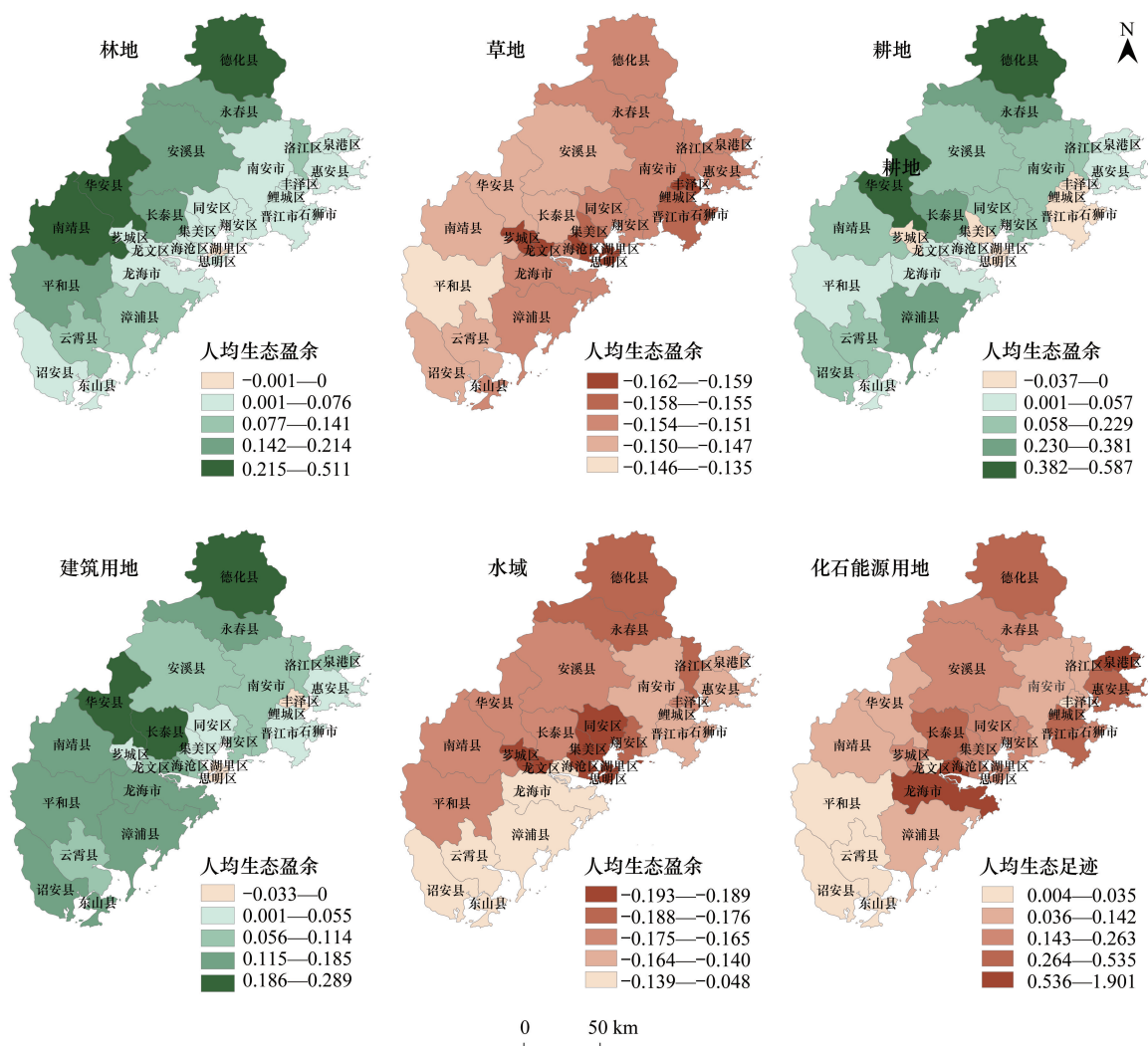


图 2 各类型土地资源供需关系

Fig.2 Resource supply and demand of various types of land

林地资源丰富,除湖里区外均处于盈余状态;耕地资源在城镇化率较高的区县处于赤字状态,例如厦门思明区、湖里区与集美区,泉州鲤城区、丰泽区等,其余区县耕地供需平衡,甚至处于盈余状态;建筑用地仅在人口密度高的厦门思明区、湖里区,泉州鲤城区、丰泽区供不应求,其余区县建筑用地均供大于求;化石能源用地以龙海市、泉港区人均需求最多,西南部的诏安县、云霄县与平和县人均需求最少。

随后综合计算闽三角城市群生态供需关系,从整体角度分析闽三角城市群资源供需情况发现生态赤字呈现压倒性态势(表 1),仅华安县处于生态资源盈余状态,德化、南靖、平和、云霄等六区县勉强能够维持供需平衡状态,其余区县均表现为供需失衡,尤其以龙海市、泉港区供需失衡最为严重。

表 1 资源供需关系相关指数一览表					
Table 1 List of related indexes of supply and demand of resources					
序号 No.	城镇 Town	人均生态足迹供给 Ecological footprint supply per captia	人均生态足迹需求 Ecological footprint demand per captia	人均生态盈余 Ecological surplus per captia	盈余/赤字 Surplus/deficit
1	思明区	0.026	0.627	-0.601	赤字
2	海沧区	0.147	0.626	-0.479	赤字
3	湖里区	0.034	0.627	-0.594	赤字
4	集美区	0.116	0.624	-0.508	赤字
5	同安区	0.240	0.623	-0.383	赤字
6	翔安区	0.306	0.623	-0.317	赤字
7	芗城区	0.088	0.599	-0.512	赤字
8	龙文区	0.192	0.477	-0.285	赤字
9	龙海市	0.381	2.188	-1.807	赤字
10	云霄县	0.521	0.386	0.135	盈余
11	漳浦县	0.749	0.463	0.287	盈余
12	诏安县	0.528	0.382	0.146	盈余
13	长泰县	0.795	0.856	-0.061	赤字
14	东山县	0.369	0.408	-0.040	赤字
15	南靖县	0.722	0.537	0.185	盈余
16	平和县	0.456	0.398	0.058	盈余
17	华安县	1.293	0.482	0.811	盈余
18	鲤城区	0.062	0.495	-0.434	赤字
19	丰泽区	0.079	0.536	-0.457	赤字
20	洛江区	0.368	0.455	-0.087	赤字
21	泉港区	0.248	2.347	-2.099	赤字
22	石狮市	0.101	0.682	-0.581	赤字
23	晋江市	0.144	0.890	-0.746	赤字
24	南安市	0.337	0.515	-0.178	赤字
25	惠安县	0.141	0.879	-0.738	赤字
26	安溪县	0.517	0.583	-0.067	赤字
27	永春县	0.618	0.646	-0.028	赤字
28	德化县	1.249	0.950	0.299	盈余

空间分布上来看,生态赤字主要分布在闽三角北部(除德化县外),生态盈余则主要分布在闽三角南部。全局莫兰指数为-0.022($P=0.015$, $Z=2.435$),资源供需关系在 95%置信水平上呈现显著聚集状态。局部空间自相关分析结果显示龙海市为资源供需关系洼地,以龙海市为中心呈现显著低-高值聚集(图 3)。

3.1.2 发展生态效率及空间分异研究

发展生态效率能够描述生态资源用于满足人类消费的有效性。如图 4 所示,闽三角各城镇间发展生态效率参差不齐、差异巨大,发展生态效率最高的海沧区是最低的龙海市的 6 倍之多。发展生态效率最高的是海

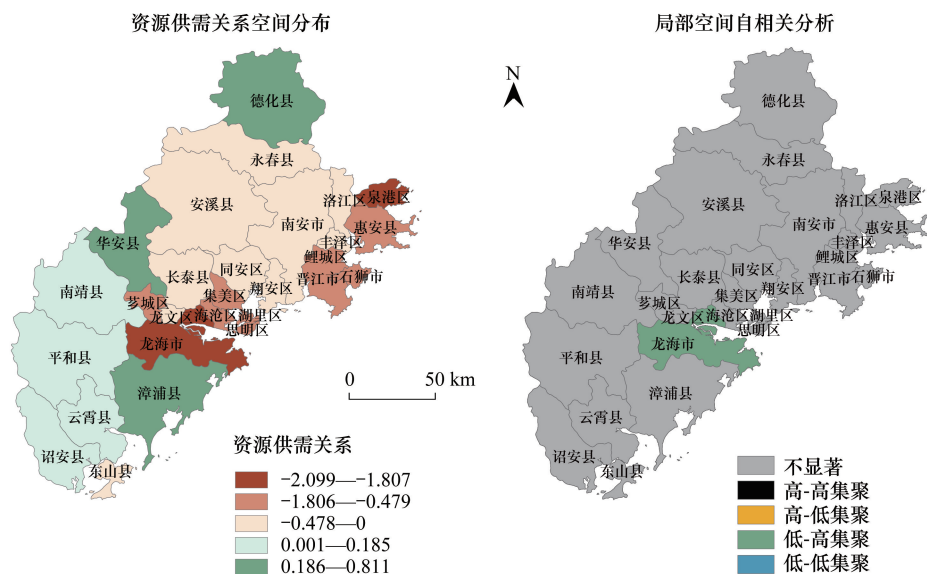


图3 资源供需关系空间分异

Fig.3 Spatial differentiation of resource supply and demand

沧区,其次龙文区、鲤城区、思明区生态效率也相对较高,德化县、泉港区与龙海市生态效率最低。

全局莫兰指数(全局莫兰指数 = -0.135 , $P = 0.445$, $Z = -0.762$)显示资源利用效率的空间分布呈现随机状态,尚未形成显著的高值或低值聚集区,即闽三角地区城镇发展仍处于初级阶段,尚未形成规模分化。

3.1.3 生态本底结构及空间分异研究

通过对五类生物生产性土地供需平衡(图2)的分析发现闽三角地区生态本底结构并不均衡,整体上呈现水域与草地紧缺的态势。生态本底结构空间分异研究(图5)显示闽三角城市群呈现明显的南北差异与海陆差异,其中厦门岛、海沧区与集美区供给结构失衡,南部地区的云霄县与诏安县,北部地区的惠安县供给结构最为稳定。

空间分布呈现高度聚集(全局莫兰指数 = 0.385 , $P = 0.000$, $Z = 3.729$)。局部莫兰指数分析结果显示以云霄县、诏安县为中心的南部地区已形成高值(HH)聚集区域,生态本底结构稳定;以厦门岛、集美区和海沧区为中心形成低值(LL)聚集区域,生态本底结构失衡。生态本底结构显著的空间分异特征与各城镇的土地资源本底和开发建设强度紧密相关,厦门岛高强度的城市建设活动使原本的土地结构产生变化,进一步导致生态承载力供给失衡,而开发强度相对较弱的南部地区,则最大程度地保持了原本的生物生产性土地结构。

3.2 城镇可持续发展潜力与影响因素

3.2.1 城镇可持续发展潜力

采用熵权法评价三个子系统对可持续发展潜力的影响程度,将数据进行归一化处理,利用信息熵模型确

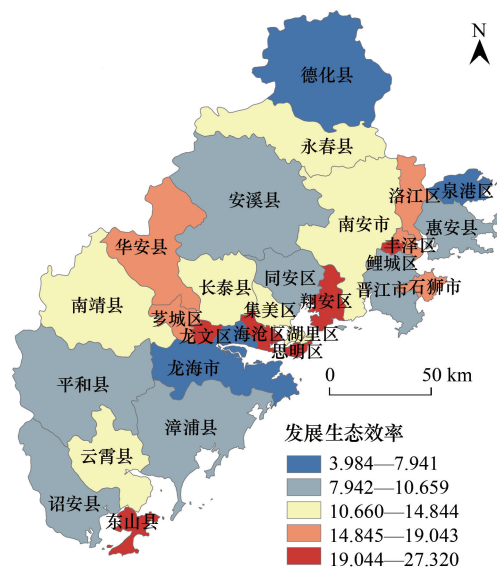


图4 发展生态效率空间分布图

Fig.4 Development ecological efficiency map

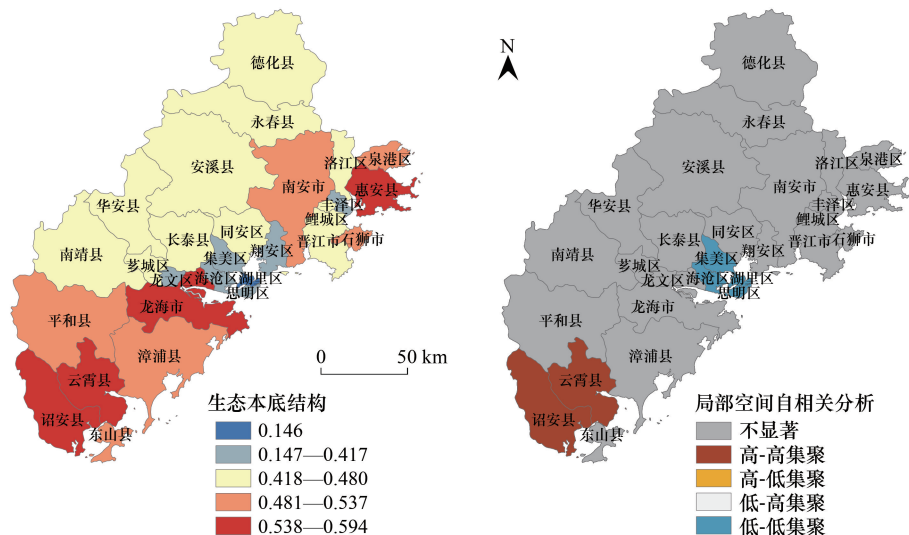


图5 生态本底结构空间分异

Fig.5 Spatial differentiation of ecological structure

定指标权重,最终计算获得 28 个城镇的可持续发展潜力。由图 6 可知,华安县、云霄县与东山县三个城镇的可持续发展潜力较高,而龙海市、泉港区与湖里区可持续性较低,与子系统情况较为契合。

全局莫兰指数显示闽三角城市群在 90% 的置信水平上城镇可持续发展潜力呈集聚状态。以龙海市和湖里区为中心形成低-高值集聚,此区域内城镇可持续发展潜力空间分异显著,水平参差不齐。

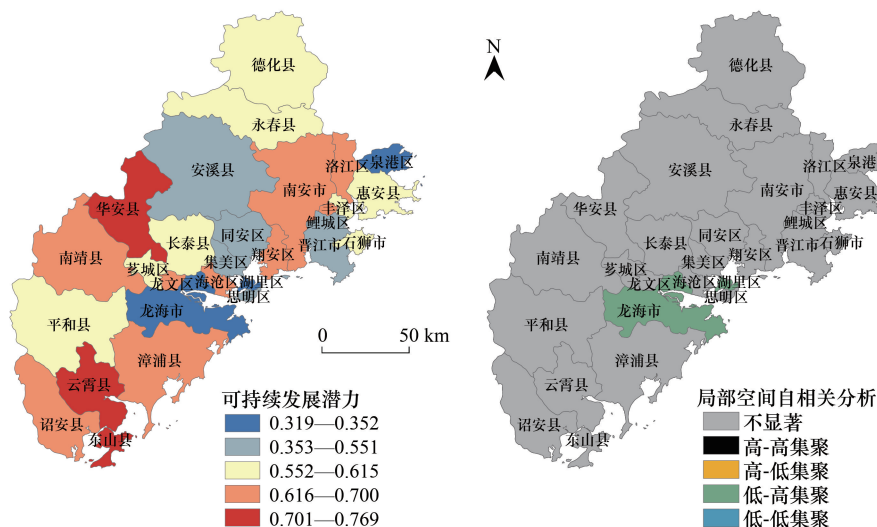


图6 城镇可持续发展潜力空间分异

Fig.6 Spatial differentiation of urban sustainable development potential

3.2.2 城镇可持续发展潜力的影响因素研究

可持续潜力可表征区域城镇发展强度与持续发展能力,除与自然资源禀赋直接相关外,同样受人口、经济、社会等诸多因素的影响。为进一步探讨闽三角地区城镇可持续发展潜力的影响机制,选择代表人口、经济、城镇化水平和资源开发属性等因素^[27],包括地区生产总值、第一产业产值、工业产值、第三产业比重、常住人口、城镇化率、煤炭消耗量 6 项指标,进行多变量相关性分析(表 2)。

表 2 多变量相关性分析

Table 2 Multivariate correlation analysis

		国内生产总值 GDP	第一产业 Primary industry	工业产值 Industrial output	三产比重 The proportion of tertiary	常住人口 Permanent residents	城镇化率 Urbanization rate	煤炭消耗量 Coal consumption
可持续发展潜力	<i>r</i>	-0.521 **	0.086	-0.451 *	-0.163	-0.444 *	-0.197	-0.685 **
Sustainable development potential	<i>P</i>	0.004	0.664	0.016	0.408	0.018	0.395	0.000
资源供需关系	<i>r</i>	-0.483 **	0.163	-0.468 *	-0.070	-0.277	-0.228	-0.720 **
Resource supply and demand	<i>P</i>	0.009	0.408	0.012	0.724	0.153	0.243	0.000
发展生态效率	<i>r</i>	-0.090	-0.545 **	-0.225	0.292	-0.347	0.561 **	-0.529 **
Development eco-efficiency	<i>P</i>	0.649	0.003	0.250	0.131	0.071	0.002	0.004
生态本底结构	<i>r</i>	-0.332	0.611 **	-0.016	-0.603 **	-0.102	-0.704 **	0.170
Ecological structure	<i>P</i>	0.085	0.001	0.935	0.001	0.604	0.000	0.387

资源供需关系受经济因素与资源开发情况的影响较大,与经济发展水平($r=-0.483, P=0.009$)、工业水平($r=-0.468, P=0.012$)、资源开发情况($r=-0.720, P=0.000$)均呈显著负向相关。

发展生态效率与第一产业($r=-0.545, P=0.003$)和煤炭消耗量($r=-0.529, P=0.004$)呈显著负相关,与城镇化率($r=0.561, P=0.002$)呈显著正相关。第一产业以农业及畜牧业为主,资源利用仍处于初级粗放阶段,经济利益转化率较低。煤炭消耗量主要来自交通运输业和重工业,均属于高能耗型产业。发展生态效率与城镇化率的正向关系表明人口与资源集聚的大城市更有利于生态资源精细化、高效率利用。

生态本底结构与经济、人口及城镇化因素均密切相关。经济因素中,与第一产业($r=0.611, P=0.001$)呈正相关,与第三产业($r=-0.603, P=0.001$)、城镇化因素($r=-0.704, P=0.000$)均呈负相关。除第一产业外,其他两项指标均与人类干扰、城市开发建设活动相关,可以推测人类干扰对生态本底结构的稳定性与均衡性具有负面影响。

城镇可持续发展潜力与能源消耗情况($r=-0.685, P=0.000$)和经济发展水平($r=-0.521, P=0.004$)的关系最为紧密,均在 99%置信水平上呈显著负相关。工业水平($r=-0.451, P=0.016$)与常住人口数量($r=-0.444, P=0.018$)对资源可持续潜在 95%置信水平上构成负面影响。

3.3 城镇发展特征归纳与发展路径探究

通过对资源可持续潜力影响机制的分析发现,部分影响因素对子系统和综合系统的影响机制存在差异,例如城镇化率对发展生态效率具有正向作用,而对生态本底结构具有负向作用,因此,合理划分城镇类型,探索各类型城镇可持续发展短板,有利于结合影响机制对不同类型的城镇提出针对性转型发展建议。

3.3.1 城镇类型划分

以各城镇的三个子系统的得分结果为原始数据,对 28 个城镇进行系统聚类分析,进一步观察各城镇在“供需-效率-结构”三项指标上的分布情况,深入分析城镇之间的相似性和差异性。利用 SPSS 软件,以资源供需关系、发展生态效率、生态本底结构标准化数据为变量,采用平方欧式距离为聚类方法。聚类结果显示,当分类层次为 4 时,聚类结果最佳(图 7)。分析四类城镇聚类特征属性(表 3),从而归纳总结四类城镇的特征差异(表 4)。

第 I 类:失衡型城镇,包括思明区和湖里区(2 个)。其特征表现为资源供需关系(0.515)与发展生态效率(0.595)与闽三角平均水平基本持平,而生态本底结构(0.290)处于闽三角下游水平,生态承载力结构失衡。厦门岛作为闽三角地区的核心城市,城市开发强度较大,人类开发活动已严重影响到自然生态本底的承载能力,不利于有效维系城市高速发展。

第 II 类:可持续性城镇,包括海沧区、龙文区、翔安区、鲤城区、丰泽区等 10 个城镇。聚类特征表现为资源可持续潜力(0.645)、资源供需关系(0.594)、发展生态效率(0.688)与生态本底结构(0.653)均优于或与闽三角平均水平持平。资源供给稳定,利用高效,供需基本保持平衡,可持续发展潜力较高。

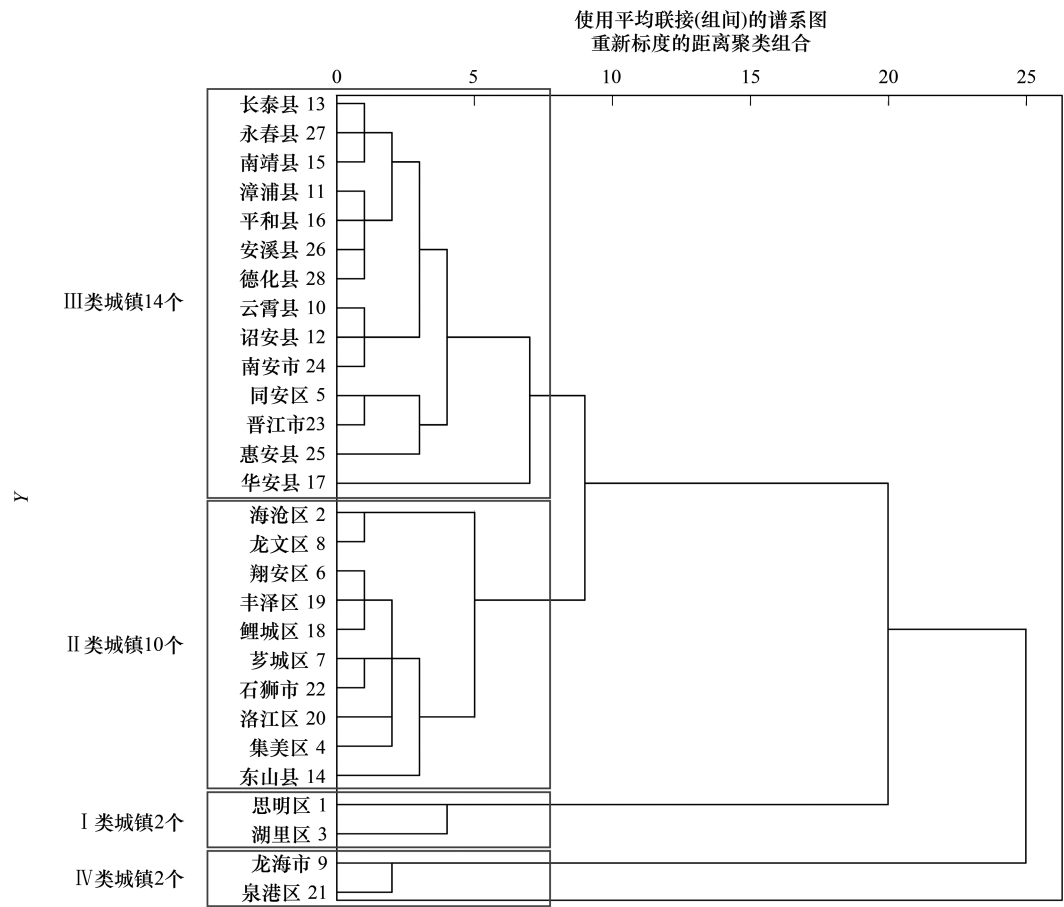


图 7 城镇类型系统聚类树状图

Fig.7 Systematic clustering diagram of town types

表 3 聚类特征描述

Table 3 Clustering feature description

城镇类型 Type of town		可持续发展潜力 Sustainable development potential	资源供需关系 Resource supply and demand	发展生态效率 Development eco-efficiency	生态本底结构 Ecological structure
I 类 Type I	平均值	0.430	0.515	0.595	0.290
	标准差	0.141	0.007	0.191	0.141
II 类 Type II	平均值	0.645	0.594	0.688	0.653
	标准差	0.065	0.063	0.165	0.095
III 类 Type III	平均值	0.616	0.715	0.324	0.791
	标准差	0.080	0.140	0.101	0.117
IV 类 Type IV	平均值	0.335	0.050	0.060	0.900
	标准差	0.021	0.070	0.085	0.071
总计 Total	平均值	0.593	0.610	0.454	0.700
	标准差	0.116	0.202	0.240	0.212

第 III 类:粗放型城镇,包括漳浦县、诏安县、云霄县等 14 个城镇。其聚类特征主要表现为发展生态效率(0.324)低于闽三角平均水平,资源供需关系(0.715)与生态本底结构(0.791)均高于闽三角平均水平。此类城镇虽处于生态盈余状态,且生态本底结构稳定优越,但资源利用效率低下。

第 IV 类:赤字型城镇,包括龙海市与泉港区 2 个城镇。值得注意的是这两个城镇在不同聚类层次下均自

成一类,与其他城镇存在显著差异。聚类特征为资源可持续潜力(0.335)、资源供需关系(0.050)与发展生态效率(0.060)均处于闽三角城镇群下游水平,生态本底结构(0.900)较好,自然生态本底优越,生态承载力阈值较高。

表 4 城镇类型与特征
Table 4 Town types and characteristics

城镇类型 Type of town	城镇 Town	特征 Characteristics
I 类 失衡型 Type I the unbalanced	思明区、湖里区	经济发展水平最高,第三产业较为发达,城镇化水平较高,城镇开发强度较大导致生态本底结构失衡
II 类 可持续型 Type II the sustainable	海沧区、龙文区、翔安区、丰泽区、鲤城区、芗城区、洛江区、石狮市、集美区、东山县	经济发展水平较高,产业结构均衡,人口数量适宜,城镇开发强度与土地资源协调
III 类 粗放型 Type III the extensive	云霄县、诏安县、漳浦县、平和县、南安市、安溪县、德化县、长泰县、永春县、南靖县、同安区、晋江市、惠安县、华安县	经济发展水平普遍较低,过度依赖农业或低端制造业、污染型产业,能源利用效率低下
IV 类 赤字型 Type IV the deficit	龙海市、泉港区	经济发展水平较高,以重工业为主导产业,能源消耗量大,污染较为严重,难以维持生态资源供需平衡

3.3.2 城镇转型发展路径探究

(1) 失衡型城镇转型发展路径

失衡型城镇面临的主要问题是城镇快速扩张导致的生态本底结构失衡,以思明区为例,水域与建筑用地面积占比高达 95%,而耕地面积仅占 1%,结合影响机制中生态本底结构结构与城镇化水平呈负相关的趋势,可见快速城镇化对耕地、林地资源的侵占严重影响了城镇可持续发展能力。

不均衡的生物生产性土地结构对于封闭的城镇生态系统而言是灾难性的,但是在区域一体化与协同发展的大趋势下,这一劣势可以通过城镇间的资源交换而消解,甚至可以成为城镇分工协作的有效助力。失衡型城镇转型的关键是在城镇群中找到适合自己的分工协作定位,充分发挥自身优势,有效规避劣势,扬长避短。同时构建和完善区域资源交换系统,尤其是交通运输网络与信息交流网络,有利于推动区域协调发展。

(2) 粗放型城镇转型发展路径

粗放型城镇是闽三角地区数量最多的类型,其面临的困境在于资源利用效率低下,资源消耗与经济效益不成正比。

根据发展生态效率与第一产业和能源消耗呈负相关的特点,可将粗放型城镇划分为两类,一类是以晋江市、同安区为代表的较发达城镇,这类城镇的典型特征是资源消耗量大;另一类是以诏安县、平和县为代表的欠发达城镇,这类城镇资源消耗量与人均 GDP 都处于闽三角地区下游水平,较为依赖资源转化率的第一产业,人民生活水平较低。对第一类城镇而言,提升资源的经济效益是解决资源利用率低下的关键,逐渐由高能耗、重工业为主导的产业结构向绿色、低碳型产业结构转变。对第二类城镇而言,发展经济是重中之重,承接发达地区产业转移时优先选择低污染低能耗的轻工业,或者依托自身优越的环境条件大力发展旅游业与现代服务业,实现一三产业联动发展。

(3) 赤字型城镇转型发展路径

赤字型城镇面临的主要问题是生态足迹需求与生态足迹供给之间供不应求且发展效率粗放,由于生物生产性土地的数量是固定的,“开源”难度较大,所以“节流”势在必行。

以泉港区为例,作为福建省石化工业龙头地区,泉港区资源供需不平衡的主要原因是因为石化产业造成的大量能源消耗,尤其以电力、煤炭、石油为主。石化产业虽然为泉港区带来了可观的经济效益,但是却不利于城镇的可持续发展。泉港区一方面应该提高石化产业的资源利用效率,减少能源消耗;另一方面则应该丰富产业类型,大力发展资源节约型产业,避免过度依赖单一产业。

4 结论与讨论

基于“供需-效率-结构”模型对闽三角区域 28 个城镇的可持续发展潜力进行研究,探究其空间分异规律、影响机制与转型发展路径,得到以下结论:

(1)闽三角区域城镇实证研究发现,城镇发展特征在空间布局上存在显著差异,表现出明显的海陆差异与南北差异,空间集聚效应正在形成。资源供需关系方面,北部地区,尤其是沿海地区处于资源供不应求状态,龙海市已成为资源供需“洼地”;发展生态效率参差不齐,厦漳泉三市发展生态效率明显优于其他城镇,但尚未形成显著的空间集聚效应,说明闽三角区域仍处于粗放式发展阶段;南部地区生态本底结构明显优于北部地区,已形成高值集聚区域,而厦门岛及海沧区、集美区则成为生态本底失衡的“重灾区”。

(2)通过探究可持续发展潜力的影响机制发现,可持续发展潜力主要受能源消耗情况和经济发展水平影响,但是不同影响因素对资源供需关系、发展生态效率与生态本底结构三个子系统的影响机制存在差异。资源供需关系与经济发展水平、工业水平、煤炭消耗量均呈负相关;发展生态效率与第一产业产值、煤炭消耗量呈负相关,与城镇化率呈正相关;而生态本底结构与第一产业呈正相关,与第三产业、城镇化因素均呈负相关。

(3)通过系统聚类法以三个子系统评价为分类依据,将 28 个城镇划分为失衡型(2 个)、可持续型(10 个)、粗放型(14 个)与赤字型(2 个)四类,其中粗放型城镇是闽三角区域数量最多的类型,反映出闽三角城市群仍处于初级发育阶段的现状,发展生态效率低下,依然存在巨大的提升空间。失衡型城镇与赤字型城镇虽然数量较少,但存在问题典型,厦门岛城市开发强度过大已经严重影响到生态本底结构的稳定,在后续城市建设中应注意土地利用类型多样化;龙海市与泉港区过度依赖石化产业与重工业,资源严重供不应求,应在提高资源利用效率的基础上,丰富产业类型,避免严重依赖单一产业。

本研究依然存在不足之处有待进一步改进。由于可持续发展潜力影响因素众多,本研究受限于篇幅限制仅选取代表人口、经济、城镇化水平和资源开发属性的 7 项指标,不能涵盖全部影响因素。未来可结合长周期数据进一步探究城镇化水平、资源开发水平与人口因素如何影响城镇可持续发展,以期为闽三角城市群转型发展提出更具针对性的建议。

参考文献 (References):

- [1] 于立. “生态文明”与新型城镇化的思考和理论探索. 城市发展研究, 2016, 23(1): 19-26.
- [2] 单卓然, 黄亚平. “新型城镇化”概念内涵、目标内容、规划策略及认知误区解析. 城市规划学刊, 2013, (2): 16-22.
- [3] 谢里, 樊君欢, 吴诗丽. 中国区域发展战略实施效果动态评估. 地理研究, 2014, 33(11): 2069-2081.
- [4] 方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向. 地理学报, 2014, 69(8): 1130-1144.
- [5] 梁晨, 曾坚. 城市流视角下京津冀城市群网络联系测度. 城市问题, 2019, (1): 78-83.
- [6] 郭荣中, 申海建, 杨敏华. 基于改进生态足迹因子的长株潭地区可持续发展. 水土保持研究, 2019, 26(5): 174-180.
- [7] 赵晶晶, 李晓松, 郭重阳, 裴亮, 杜鑫, 吴炳方. 基于生态足迹分析的义乌市生态承载力评价. 城市规划, 2010, 34(11): 40-46.
- [8] 易丹, 赵小敏, 郭熙, 江叶枫, 王成量, 赖夏华, 黄心怡, 陈蕾. 环鄱阳湖城市群城乡建设用地的承载能力评价及空间格局匹配. 应用生态学报, 2019, 30(2): 627-636.
- [9] Liu H M. Comprehensive carrying capacity of the urban agglomeration in the Yangtze River Delta, China. Habitat International, 2012, 36(4): 462-470.
- [10] 黄智洵, 王飞飞, 曹文志. 耦合生态系统服务供求关系的生态安全格局动态分析——以闽三角城市群为例. 生态学报, 2018, 38(12): 4327-4340.
- [11] Zhang D, Huang Q X, He C Y, Wu J G. Impacts of urban expansion on ecosystem services in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China: a scenario analysis based on the Shared Socioeconomic Pathways. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 125: 115-130.
- [12] 任宇飞, 方创琳. 京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析. 地理科学进展, 2017, 36(1): 87-98.
- [13] Huang Y, Li L, Yu Y T. Do urban agglomerations outperform non-agglomerations? A new perspective on exploring the eco-efficiency of Yangtze River Economic Belt in China. Journal of Cleaner Production, 2018, 202: 1056-1067.
- [14] Li J X, Chen Y N, Xu C C, Li Z. Evaluation and analysis of ecological security in arid areas of Central Asia based on the emergy ecological

- footprint (EEF) model. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 235: 664-677.
- [15] Yang L, Yang Y T. Evaluation of eco-efficiency in China from 1978 to 2016: based on a modified ecological footprint model. *Science of the Total Environment*, 2019, 662: 581-590.
- [16] 杨丹荔, 罗怀良, 蒋景龙. 基于生态足迹方法的西南地区典型资源型城市攀枝花市的可持续发展研究. *生态科学*, 2017, 36(6): 64-70.
- [17] 刘钦普, 林振山. 江苏省耕地利用可持续性动态分析及预测. *自然资源学报*, 2009, 24(4): 594-601.
- [18] 朱兆红, 李莉, 童亿勤, 周艳丽, 赵春芳. 舟山群岛新区生态足迹与可持续发展评价研究. *生态科学*, 2018, 37(5): 122-130.
- [19] 韩文文, 刘小鹏, 裴银宝, 安琼, 李永红. 基于生态足迹的宁夏生态环境可持续发展研究. *水土保持研究*, 2016, 23(5): 285-290, 297-297.
- [20] 闻熠, 高峻, 徐迪, 林章林. 基于改进参数的长三角城市生态足迹分析及其可持续性评价. *水土保持研究*, 2020, 27(1): 312-318, 327-327.
- [21] Cheng C, Liu Y L, Liu Y F, Yang R F, Hong Y S, Lu Y C, Pan J W, Chen Y Y. Cropland use sustainability in Cheng-Yu Urban Agglomeration, China: evaluation framework, driving factors and development paths. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 256: 120692.
- [22] Guo S S, Wang Y H, Hou H P, Wu C Y, Yang J, He W, Xiang L. Natural capital evolution and driving forces in energy-rich and ecologically fragile regions: a case study of Ningxia Province, China. *Sustainability*, 2020, 12(2): 562.
- [23] Wu D C. Spatially and temporally varying relationships between ecological footprint and influencing factors in China's provinces using Geographically Weighted Regression (GWR). *Journal of Cleaner Production*, 2020, 261: 121089.
- [24] Liu L N, Lei Y L. Dynamic changes of the ecological footprint in the Beijing-Tianjin-Hebei region from 1996 to 2020. *Ecological Indicators*, 2020, 112: 106142.
- [25] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares A C, Falfán I S L, García J M, Guerrero A I S, Guerrero M G S. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [26] 谢鸿宇, 陈贤生, 林凯荣, 胡安焱. 基于碳循环的化石能源及电力生态足迹. *生态学报*, 2008, 28(4): 1729-1735.
- [27] 李月. 北京市生态足迹演变及影响因素研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2013.