

冀北山区“三生”空间识别与演化特征分析 ——以张家口市为例

冀正欣 许月卿[†] 黄安 卢龙辉 段亚明

1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193; [†] 通信作者, E-mail: xmoonq@sina.com

摘要 以冀北山区中心城市张家口为研究区, 运用土地利用转移矩阵、土地利用动态度和景观格局指数等方法, 从空间布局、数量结构、垂直梯度和景观格局4个方面, 剖析1990—2015年张家口市“三生”空间的分布格局和演化特征, 得到如下结论。1) 张家口市“三生”空间分布的区域差异显著, 生态空间主要分布于东部的燕山余脉和南部的太行山区, 生产-生活空间和生产-生态空间集中分布于洋河河谷盆地、桑干河和壶流河流域, 潜在空间散布在中部和西部的生产-生活空间周边。2) 张家口市“三生”空间均有不同程度的相互转化, 其中以生态空间和生产-生态空间的相互转化为主要特征。与1990—2000年相比, 2000—2015年“三生”空间的相互转变更为频繁。3) 在垂直带谱上, 中低山和缓坡区域的“三生”空间类型更加多样性。研究时段的生态空间向高海拔、高坡度地带扩展, 生产-生态空间向低海拔、低坡度地带转移。4) 张家口市“三生”空间的景观格局趋于破碎化和复杂化。5) 自然地理背景是“三生”空间分布的自然基础和空间载体, 工业化、城镇化、社会经济发展和政策因素是张家口市“三生”空间格局变化的主要原因。

关键词 “三生”空间; 土地利用多功能; 演化特征; 冀北山区

Spatial Pattern and Evolution Characteristics of the Production-Living-Ecological Space in the Mountainous Area of Northern Hebei Province: A Case Study of Zhangjiakou City

Ji Zhengxin, XU Yueqing[†], HUANG An, LU Longhui, DUAN Yaming

1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193; 2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, The Ministry of Natural Resources, Beijing 100193; [†] Corresponding author, E-mail: xmoonq@sina.com

Abstract Taking Zhangjiakou City, the central city of mountainous area of northern Hebei Province, as a study area, the spatial pattern and evolution characteristics were analyzed by using land transfer matrix, land use dynamic degree and landscape index, from the aspects of quantitative structure, spatial layout, vertical gradient and landscape spatial pattern. The results were as follows. 1) There was great regional diversity in the evolution characteristics of the “production-living-ecological” (PLE) space of Zhangjiakou City. The ecological space was mainly distributed in Yanshan mountain and Taihang mountain in the east of the study area, and production-living space and production-ecological space were concentrically distributed in Yanghe river valley basin, Sanggan river basin and Huli river basin, potential space was scattered around the central and western production-living space. 2) In the past 25 years, the PLE space of Zhangjiakou City had different degrees of mutual transformation, while the mutual transformation of ecological space and production-ecological constituted the main type of evolution of the territory space pattern. Compared with 1990–2000, the PLE space changed more frequently from 2000 to 2015. 3) The types of territorial space were more diverse in middle and lower mountain and gentle slope zones from the vertical spectrum. In the past 25 years, ecological space expanded to high-altitude and high-slope zones, while

production-ecological space transferred to low-altitude and low-slope zones. 4) The landscape pattern of the PLE space in Zhangjiakou City tended to be fragmented and complicated. 5) The natural geographical environment was the natural basis and spatial carrier of the spatial distribution of the PLE. The aggravation of industrialization and urbanization, social and economic development and policy factors were the reasons for the spatial pattern changes of the PLE space in Zhangjiakou City.

Key words “production-living-ecological” (PLE) space; multifunctional land use; evolution characteristics; the mountainous area of northern Hebei Province

随着工业化、城镇化的持续推进以及经济社会的高速发展,人类活动对国土空间造成剧烈扰动,导致土地资源利用低效和浪费、人居环境质量降低以及资源环境承载力持续下降等一系列问题,严重地阻碍国土空间的可持续发展^[1-3]。党的“十八大”将优化国土空间开发格局作为生态文明建设的重要举措,提出“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”的发展理念,由此构成的“三生”空间成为构建国土空间规划治理体系、优化国土空间开发格局和实现区域经济-社会-生态协调发展的重要基础^[4-5]。

在现实与政策的双重驱动下,学术界针对“三生”空间开展广泛的探讨,集中于“三生”空间的概念与内涵界定^[6-7]、“三生”用地的分类与空间识别^[1,8]、基于“三生”空间的适宜性评价与承载力研究^[9-10]以及基于“三生”空间的乡村重构与优化布局^[11-12]等方面,取得丰硕的成果。目前,“三生”空间识别方法可大致分为自上而下的指标测算法^[8,13]和自下而上的土地利用类型归并法^[1,14-15]。前者主要通过构建指标体系,实现“三生”空间的量化识别,具有地域针对性和评价体系综合性的优势,但在多主体融合和多尺度集成表达方面考虑不足^[16];后者实质上是对土地利用类型进行归并和划分,从而实现与土地利用分类的有效衔接,并兼顾土地利用的生态功能,在“三生”空间识别研究中得到广泛应用。此外,现有的“三生”空间研究多针对全国^[1,17]、省域^[18-19]、城市群^[14,20]以及乡村聚落^[21]等区域开展,对生态环境脆弱山区的研究较为缺乏。

山区是集自然资源供给、水源涵养、气候调节和生物多样性维持等多重功能于一体的复杂系统,其资源开发和生态服务是支撑区域发展的基础。随着城镇化、工业化和农业现代化的快速发展,山区空心化问题逐步显现,同时受易地搬迁和生态工程建设的影响,山区土地利用结构与空间不断重组,“三生”空间格局发生显著的变化,亟需加强山区“三生”空间的识别与演化特征研究。

张家口市地处蒙古高原与华北平原的过渡地带和农牧交错带,是典型的生态环境脆弱区。作为首都的水源涵养区和京津冀生态环境支撑区,张家口市担负着涵养水源、调节气候和水土保持的功能。随着京津冀一体化和区域协调联动战略的推进、“京张一小时生活圈”的快速形成以及“2022年冬奥会”的建设,张家口市正逐步对接京津地区的产业和功能转移^[22],生产、生活和生态空间的用地竞争日益加剧,社会经济诉求与生态环境保护的压力之间矛盾日益显现。因此,迫切需要研究张家口市“三生”空间的分布格局及其演化特征,探讨其变化的原因,以期顺应国土空间进一步开发利用的需要,并指导张家口市人口、资源环境与社会经济的协调发展。

鉴于上述背景,本文基于遥感、GIS 技术以及张家口市不同时期土地利用数据,通过构建“三生”空间与土地利用类型在不同时期的衔接关系,定量地刻画张家口市“三生”空间格局,揭示 1990—2015 年“三生”空间在空间布局、数量结构、垂直梯度和景观效应上的演化特征,探讨“三生”空间演化的原因及存在的问题,以期为张家口市国土空间持续开发和冀北山区协同发展提供科学参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

张家口市(113°50′—116°30′E, 39°30′—42°10′N)位于河北省西北部,地处蒙古高原与华北平原的过渡地带(图 1)。地势西北高,东南低,以阴山山脉为界,分为西北坝上高原区和东南坝下山间盆地区两大地貌类型,海拔为 320~2841 m。境内洋河和桑干河横贯东西,汇入官厅水库。属于东亚半干旱大陆性季风气候,年降水量为 330~400 mm。

2015 年,张家口市辖 4 区 13 县,土地总面积为 3.68 万 km²。2015 年全市总人口达 469.01 万, GDP 为 1317.02×10⁸ 元,人均 GDP 为 29908 元,是冀北贫困带的重要组成部分。张家口市农业生产结构不断

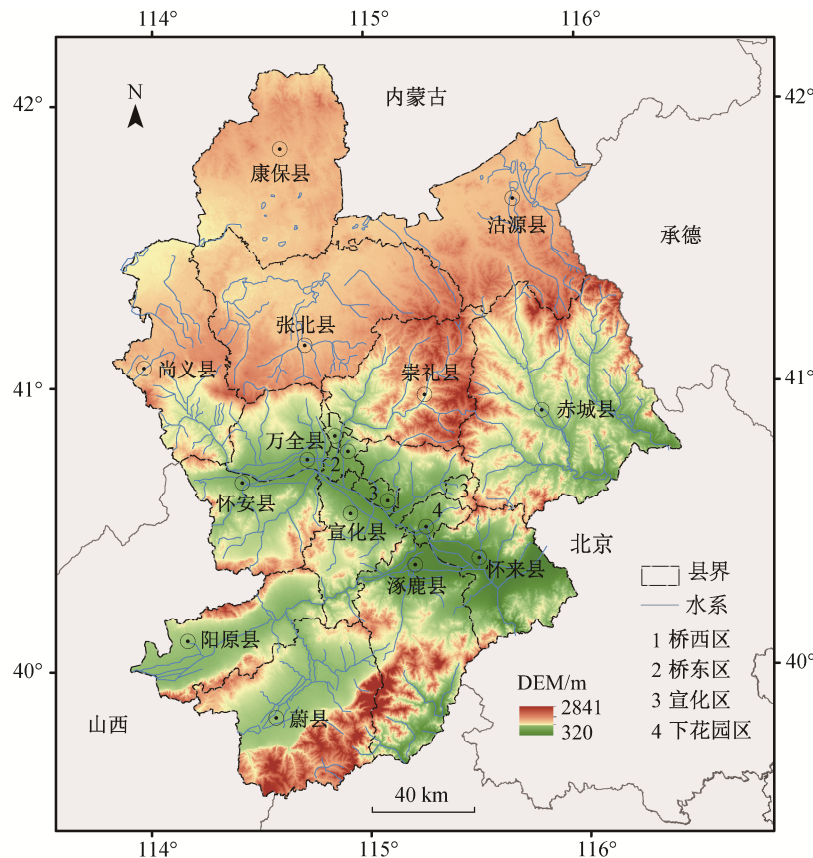


图1 张家口市地理位置

Fig. 1 Geographical location of Zhangjiakou City

调整,形成畜牧、蔬菜和果品的农业主导产业;工业化持续推进,促使食品加工、能源、冶金矿山和装备制造居于主导地位;旅游和餐饮等服务业也日渐兴起,第三产业产值不断增加,至2015年三次产业结构为17.9:42.1:40.0。2000年以来,张家口市先后实施京津风沙源治理、退耕还林和禁牧等一系列生态工程,“三生”空间格局变化显著,可以作为研究山区“三生”空间的典型代表。

1.2 数据来源

本研究涉及的基础数据主要为遥感数据、空间数据和社会经济统计数据。遥感数据包括2000年和2010年的Landsat-TM影像以及2015年的Landsat-OLI影像,来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)。运用ENVI5.1软件,分别对3个时期的遥感影像进行拼接和辐射校正,按照研究区的行政边界进行裁剪,再用监督分类与人机交互式解译的方法提取不同时期的土地利用数据。借助同期土地调查资料和Google Earth进行检查验证,3期影像总体解译精度分别为88.92%,90.46%和86.38%,3

期的Kappa系数分别为0.87,0.88和0.83,能够满足研究的精度要求。参考国家基本资源与环境本底动态遥感调查数据库的分类体系,根据研究目的,将土地利用类型划分为耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地、交通用地和未利用地8个大类。空间数据包括海拔、坡度和坡向等,通过数字高程DEM提取得到。社会经济统计数据来自《张家口统计年鉴(2016年)》。

2 研究方法

“三生”空间的分类与评价体系是分析“三生”空间格局的基础^[23]。土地利用系统是多层次结构与功能的复合体,存在“要素-结构-功能”因果链^[24-25]。不同土地利用类型具有不同的主导功能,组成不同比例的土地利用结构,实现土地利用的多重功能^[24],功能集聚形成不同的空间。可见,空间是功能的载体,通过土地利用类型担负的主导功能进行“三生”空间的识别和分类是可行的。

根据土地的多功能性和主导功能,我们遵循以

下两个原则进行分类。

1) 充分考虑土地的多功能性, 突出主体功能。土地是生产功能、生活功能和生态功能交互作用的整体, 但不同的土地利用方式和强度会使土地的 3 种功能具有主次和高低之分。因此, 分类时既要突出土地的主体功能, 又要考虑次要功能。例如, 耕地是国家粮食生产的根基, 其主导功能是生产功能, 耕地也具有生态功能, 连片的农作物可在一定程度上调节周边的生态环境。因此, 耕地的功能应为生产-生态功能。

2) 强调地类功能的动态性。如草地在前期的主体功能是畜牧业生产功能, 兼顾一定的生态保护功能, 但后期由于人地关系的转变和禁牧政策的实施, 草地的生态功能得以凸显, 生产功能逐渐弱化。因此草地的功能应从生产-生态功能转变为生态功能。

依据分类原则, 借鉴已有的研究成果^[1,14,26], 结合张家口市不同时期土地利用的实际情况, 本文将各类用地的生产功能、生活功能和生态功能依据强弱划分为 4 个等级(表 1)。例如, 生产功能分为强生产功能(5)、中级生产功能(3)、弱生产功能(1)和无生产功能(0), 生活功能和生态功能的划分规则与此相同。

“三生”空间具有空间尺度差异性、功能复合

性、范围动态性及用地异质性等特征^[27]。目前, 对“三生”空间的综合划定有单一空间和复合空间两种模式。单一空间模式是基于空间的主导功能划定生产、生活和生态三种单一空间^[11,28], 复合空间模式是根据空间的功能复合特征划定的生产、生活和生态 3 种单一空间以及生产-生活空间、生产-生态空间、生活-生态空间等复合空间^[26]。复合空间的划分模式符合空间多功能利用和功能之间协调发展的诉求, 被越来越多的学者接受^[29-30]。本文采用复合空间模式, 在地类分级赋分的基础上, 进行空间类型归并, 把具有单一功能的地类直接划分为相应的功能空间, 把具有复合功能的地类参照功能值判断所属的空间类型, 若不同的功能值均在中级及其上, 则划分为复合空间, 若某一功能值较弱, 则仍按主导功能划分(表 2)。

根据张家口市不同时期土地利用状况, 可划分为生态空间、生产-生活空间、生产-生态空间和潜在空间 4 种类型。生态空间指能够为区域生态环境安全发挥作用的自然空间, 生产-生活空间指能够同时发挥生产和生活功能的空间, 生产-生态空间指能够同时发挥生产和生态功能的空间, 潜在空间指地类的各项功能属性较弱, 但可通过科学和合理的规划加以改造利用, 使其发挥作用的空間。

在上述“三生”空间的分类与评价体系基础上,

表 1 1990—2015 年张家口市土地利用分类体系及“三生”功能等级划分

Table 1 Land use classification system and PLE functional assessment of Zhangjiakou City from 1990 to 2015

土地利用类型	1990 年			2000 年			2015 年		
	生产功能	生活功能	生态功能	生产功能	生活功能	生态功能	生产功能	生活功能	生态功能
耕地	3	0	3	5	0	3	5	0	3
园地	3	0	3	5	0	3	5	0	3
林地	1	0	5	1	0	5	1	0	5
草地	3	0	5	5	0	3	1	0	5
交通运输用地	3	3	0	3	3	0	3	3	0
水域及水利设施用地	0	0	5	0	0	5	0	0	5
建设用地	5	5	0	5	5	0	5	5	0
未利用地	0	0	1	0	0	1	0	0	1

表 2 1990—2015 张家口市“三生”空间分类体系

Table 2 PLE space classification system of Zhangjiakou City from 1990 to 2015

国土空间类型	1990 年	2000 年	2015 年
生态空间	林地、水域及水利设施用地	林地、水域及水利设施用地	林地、水域及水利设施用地、草地
生产-生活空间	交通运输用地、建设用地	交通运输用地、建设用地	交通运输用地、建设用地
生产-生态空间	耕地、园地、草地	耕地、园地、草地	耕地、园地
潜在空间	未利用地	未利用地	未利用地

采用土地利用转移矩阵^[31]以及土地利用动态度指数^[32],分析1990—2015年各空间类型的数量结构变化、类型转移状况和演化剧烈程度,探寻“三生”空间结构特征的时空差异。采用ArcGIS 10.6的面积制表法,统计1990—2015年各空间类型在不同高程、坡度和坡向下的分布格局,用以识别“三生”空间垂直方向的演变特征。采用景观格局指数^[33-34]分析1990—2015年“三生”空间类型的景观格局特征,总结“三生”空间格局演变所蕴含的景观效应。

3 结果分析

3.1 “三生”空间识别结果

从“三生”空间的分布格局(图2)来看,张家口市1990—2015年“三生”空间类型呈现“整体分散、局部集聚”的分布态势。

1) 生态空间由分散走向集聚,且随着时间推移

急剧扩张,尤其在2015年,呈现“东部和东南部强、中部次之、北部和西北部弱”的特征,具有明显的“层次”性,与张家口市山地丘陵和坝上高原的分布格局契合。

2) 生产-生活空间集聚特征逐步加强,表现出显著的“一带多核”态势,与张家口市城镇分布区域相契合。其中,一“带”与洋河河谷发展经济带基本上相符,多“核”则与各县区中心大致吻合。

3) 生产-生态空间具有“北部分散、南部集聚”的特征,与张家口市北部耕地零星分布,南部耕地和园地集中于洋河盆地、蔚县盆地及阳原盆地的分布格局有一定的相似性。

4) 潜在空间在1990年和2000年呈“团块”状集中于中部和南部地区,但随时间推移明显缩减,至2015年呈“点状”零星地分布于北部和南部地区。

从“三生”空间结构比例(表3)来看,张家口市

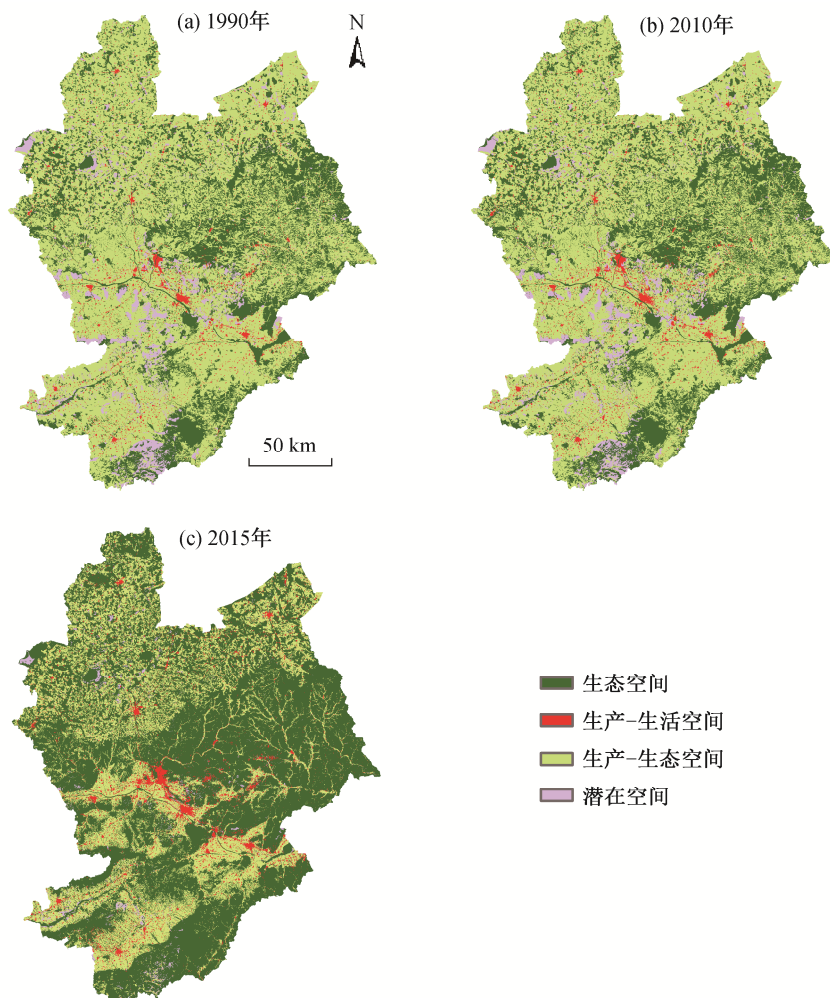


图2 1990—2015年张家口市“三生”空间格局

Fig. 2 PLE spaces in Zhangjiakou City from 1990 to 2015

表 3 1990—2015 张家口市各类空间面积
Table 3 Area of types of the PLE spaces in Zhangjiakou City from 1990 to 2015

“三生”空间类型	1990 年		2000 年		2015 年	
	面积/ km ²	比率/%	面积/ km ²	比率/%	面积/ km ²	比率/%
生态空间	10111.36	27.48	10579.32	28.75	23558.68	64.02
生产-生活空间	1000.33	2.72	1145.66	3.11	1623.18	4.41
生产-生态空间	23516.99	63.90	23077.28	62.71	11045.84	30.02
潜在空间	2171.33	5.90	1997.74	5.43	572.31	1.56

1990—2015 年“三生”空间类型变化具有“一升两降一稳定”的特点。

1) 生态空间面积持续增加, 且阶段性特征明显, 由 1990 年的 10111.36 km² 提升至 2015 年的 23558.68 km², 尤其在 2000—2015 年间占据优势地位, 占比达 64.02%。

2) 生产-生活空间面积变化较为平稳, 有一定程度的增加。1990—2015 年整体上增加 622.85 km², 占比从 1990 年的 2.72% 增至 2015 年的 4.41%, 这归因于城镇化进程带来的中心城区扩张。

3) 生产-生态空间面积逐渐减少, 且减少速率加快。从 1990 年的 23516.99 km² 略降至 2000 年的 23077.28 km², 2015 年又迅速减少到 11045.84 km², 整体上的减幅为 33.88%。

4) 潜在空间面积由 1990 年的 2171.33 km² 缩减到 2015 年的 572.31 km², 占比仅为 1.56%。

3.2 “三生”空间的数量结构演化

3.2.1 “三生”空间类型相互转换

从 1990—2015 年“三生”空间类型的相互转换关系(表 4)可以看出, 25 年间研究区各空间类型均有不同程度的相互转化, 并以生产-生态空间转为生态空间为主导特征。1990—2000 年和 2000—2015 年分别有 483.66 km² 和 11779.77 km² 的生产-生态空间转移为生态空间。这主要是由于京津风沙源治理、退耕还林工程和禁牧政策的实施, 林地大面积增加, 特别是 2000 年以后禁牧政策的实施与畜牧业的衰败, 使得草地的生产功能逐步削弱, 生态功能得以恢复, 草地由生产-生态空间转化为生态空间。25 年间生产-生活空间面积增加 622.86 km², 主要来自生产-生态空间(496.75 km²)的转入, 这主要由城镇扩张对耕地、园地等生产-生态空间的侵占导致。潜在空间面积的转入量远大于转出量, 净减少

表 4 张家口市 1990—2015 年“三生”空间格局面积转移矩阵(km²)
Table 4 Transfer matrix of the PLE spaces area in Zhangjiakou City from 1990 to 2015 (km²)

年份	“三生”空间类型	2000 年				
		生态空间	生产-生活空间	生产-生态空间	潜在空间	转出合计
1990 年	生态空间	10020.21	10.69	75.45	5.01	10111.36
	生产-生活空间	0.00	1000.32	0.01	0.00	1000.33
	生产-生态空间	483.66	125.20	22905.31	2.81	23516.99
	潜在空间	75.45	9.46	96.51	1989.91	2171.33
	转入合计	10579.32	1145.66	23077.28	1997.74	36800.00
年份	“三生”空间类型	2015 年				
		生态空间	生产-生活空间	生产-生态空间	潜在空间	转出合计
2000 年	生态空间	10338.71	48.35	138.06	54.06	10579.19
	生产-生活空间	0.04	1144.97	0.69	0.00	1145.70
	生产-生态空间	11779.77	371.55	10862.10	63.91	23077.32
	潜在空间	1440.10	58.32	45.04	454.34	1997.79
	转入合计	23558.62	1623.19	11045.89	572.31	36800.00

1599.03 km²，主要转为生态空间，这与荒山造林政策密切相关。

3.2.2 “三生”空间类型动态度测算

如表5所示，从单一动态度来看，1990—2015年生态空间和生产-生活空间的单一动态度均为正值，说明这两种空间类型的面积呈增加趋势，主要原因是三北防护林建设、禁牧政策实行、城镇化和工业化发展等的影响，致使生态空间和生产-生活空间增长明显。生产-生态空间和潜在空间面积呈减少态势，与1990—2000年相比，生产-生态空间和潜在空间面积在2000—2015年间的减少速率呈加速态势，尤其是潜在空间的减少速率由0.80%增至577.76%。1990—2000年，张家口市各空间类型的综合动态度为2.37，2000—2015年为17.67。与前一时期相比，“三生”空间格局变化速率呈加速趋势，这主要是因为社会经济发展和人类活动的增强，使得各空间类型的空间转化更加频繁。

3.3 “三生”空间格局垂直梯度演化

3.3.1 基于高程差异的“三生”空间演化特征

根据张家口市的地形地貌特征，结合实地调研情况，将张家口市的高程划分为5个等级：<500 m（平原）、500~1000 m（丘陵）、1000~1500 m（低山）、1500~2000 m（中山）和≥2000 m（中高山），分别用1, 2, 3, 4和5表示，并计算1990—2015年张家口市不同高程带的“三生”空间面积构成。

由图3可以看出，1990和2000年，张家口市各空间类型在不同高程带的分布大体相符，500 m以下高程带的生态空间与生产-生态空间面积占比相近，500 m以上高程带的生态空间面积占比随高程的上升而不断增加，在中高山地带占比最大，两个时期分别为60.92%和62.68%。生产-生态空间面积随高程的上升而逐渐缩减，其面积占比在丘陵地带最大，两个时期分别为72.69%和71.45%。生产-生活空间

的面积占比在丘陵地带最大，且随高程上升而快速减少。潜在空间面积随高程的增加呈明显的波浪式变化特征。2015年生态空间面积随高程的升高而快速提升，并在中高山地带占比最大，为95.25%。生产-生态空间面积随高程的增加而迅速削减，其面积占比在平原地带最大，为58.90%。生产-生活空间面积占比在丘陵地带最大，并随高程的上升表现波动下降的特征，潜在空间面积随高程的增加而波动地提升。

整体来看，1990—2015年2000 m以下高程带的“三生”空间类型更为多样，表明张家口市国土空间利用集中于平原、丘陵和低中山等低海拔地带。“三生”空间类型在不同高程带的演变主要表现为生态空间与生产-生态空间的竞合和博弈：生态空间向高海拔地带扩展，中山和中高山地带的面积占比分别增加34.58%和32.57%；生产-生态空间向低海拔地带转移，中山和中高山地带的面积占比分别减少30.64%和26.16%。这说明2000年以来的退耕还林工程卓有成效。

3.3.2 基于坡度差异的“三生”空间演化特征

参考2007年国土资源部颁发的《第二次全国土地调查技术规程》，结合张家口市实际状况，将坡度划分为5级：0°~2°（平地）、2°~6°（极缓坡）、6°~15°（缓坡）、15°~25°（中坡）和>25°（陡坡），分别用1, 2, 3, 4和5表示，并计算1990—2015年张家口市不同坡度带的“三生”空间面积占比。

由图4看出，1990和2000年各空间类型在不同坡度带的面积占比相似。生态空间和潜在空间的面积占比随坡度增加而逐渐增加，其中生态空间在陡坡地带的面积占比最大，两个时期分别为52.46%和54.15%。生产-生活空间和生产-生态空间面积占比随坡度增加呈现递减特征，其中生产-生态空间在平地的面积占比最大，两个时期分别为73.98%

表5 张家口市1990—2015年“三生”空间动态度

Table 5 Dynamic changes of the PLE spaces in Zhangjiakou City from 2000 to 2015 (%)

“三生”空间类型	1990—2000年			2000—2015年		
	单一动态度	综合动态度	空间动态度	单一动态度	综合动态度	空间动态度
生态空间	0.46	0.09	0.64	8.18	0.15	12.72
生产-生活空间	1.45	0.00	1.45	2.78	0.00	4.18
生产-生态空间	-0.19	0.26	0.33	-3.48	3.53	5.37
潜在空间	-0.80	0.84	0.87	-544.76	5.15	8.32
区域总体	-	2.37	3.29	-	17.67	30.59

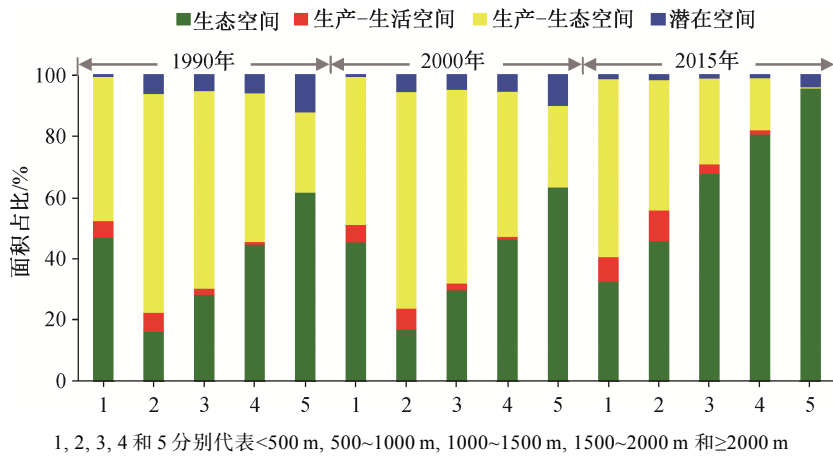


图 3 1990—2015 年张家口市不同高程的“三生”空间面积占比

Fig. 3 Proportion of area of the PLE spaces at different elevations in Zhangjiakou City from 1990 to 2015

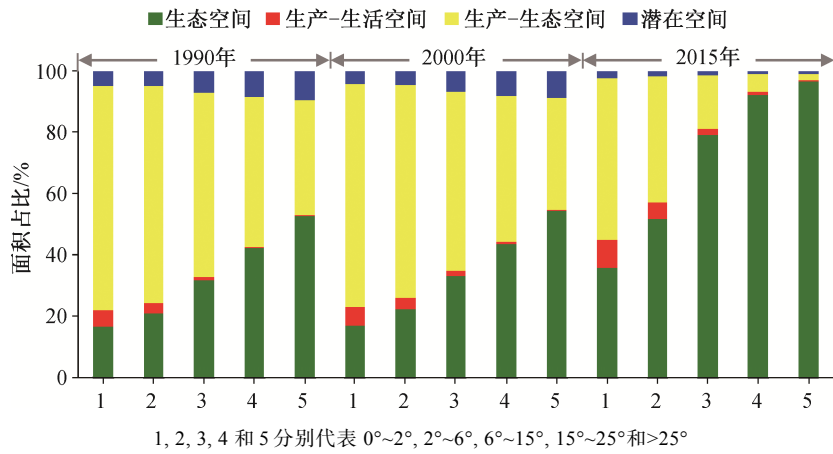


图 4 1990—2015 年张家口市不同坡度的“三生”空间面积占比

Fig. 4 Proportion of area of the PLE spaces at different slopes in Zhangjiakou City from 1990 to 2015

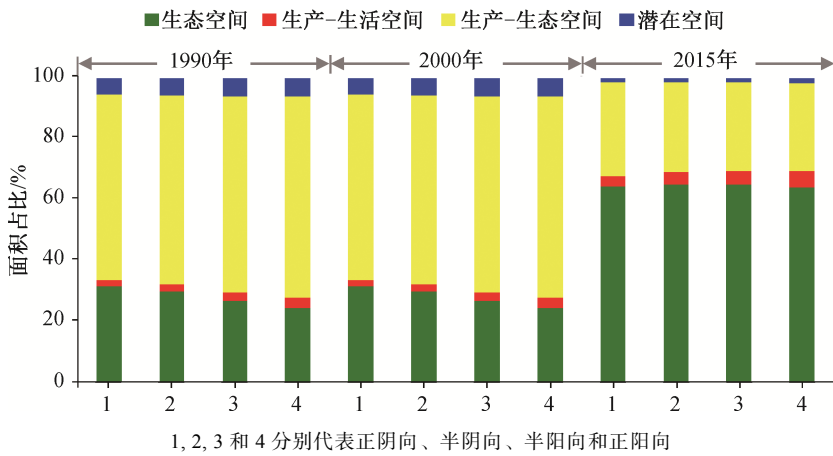


图 5 1990—2015 年张家口市不同坡向的“三生”空间面积占比

Fig. 5 Proportion of area of the PLE spaces at different aspects in Zhangjiakou City from 1990 to 2015

和73.26%。2015年,生态空间面积占比随坡度的增加而快速提升,其面积占比在陡坡地带最大,为96.73%。生产-生活空间和生产-生态空间面积占比随坡度的增加而缩减,两者的面积占比都在平地最大,分别为9.09%和53.11%。潜在空间面积占比在不同坡度下的差异较小。

综上所述,1990—2015年张家口市“三生”空间类型在坡度 25° 以下的空间类型更为多样化,说明国土空间利用集中于平地、缓坡和中坡地区。“三生”空间类型在不同坡度带的演变主要表现为生态空间与生产-生态空间的竞合和博弈:生态空间向高坡度地带扩展,中坡和陡坡地带的面积占比分别增加49.55%和42.58%;生产-生态空间则向低坡度地带转移,中坡和陡坡地带的面积占比分别减少43.20%和35.60%。这与退耕还林政策的实施密切相关。

3.3.3 基于坡向差异的“三生”空间演化特征

依据坡向界定原理,将张家口市坡向级别按方向法划分为正阴向($0^{\circ}\sim 67.5^{\circ}$, $337.5^{\circ}\sim 360^{\circ}$)、半阴向($67.5^{\circ}\sim 112.5^{\circ}$, $292.5^{\circ}\sim 337.5^{\circ}$)、半阳向($112.5^{\circ}\sim 157.5^{\circ}$, $247.5^{\circ}\sim 292.5^{\circ}$)和正阳向($157.5^{\circ}\sim 247.5^{\circ}$),分别用1, 2, 3和4表示,并计算张家口市不同坡向下的“三生”空间类型的面积占比。

由图5可以看出,1990和2000年各空间类型在不同坡向下的面积占比大体上一致。生产-生活空间和生产-生态空间在半阳向和正阳向的分布比例略大于正阴向和半阴向,生态空间和潜在空间与之相反。2015年各空间类型在不同坡向下的结构占比相对均衡,但与前一时期相比,生产-生活空间面积在半阳向和正阳向略有提升,生产-生态空间和潜在空间在不同坡向下皆下降,但不同坡向之间趋于稳定状态。

综上所述,1990—2015年所有空间类型在各坡向级别上均有分布,除生产-生活空间外,其余空间类型在不同坡向下差异极小,说明生产-生活空间对坡向有一定的选择,其余空间类型对坡向的选择性不强,即坡向对空间类型的分布影响不大。

3.4 “三生”空间景观格局演化

景观格局指数能够高度浓缩景观的结构组成和空间配置特征,包括斑块、斑块类型和景观水平3种水平指数。结合相关研究成果^[33,35]以及张家口市的景观格局特征,本文在上述3种水平指数内选择8个景观格局指数:斑块个数(NP)、形状指数(LSI)、凝聚度(COHESION)、最大斑块指数(LPI)、蔓延度(CONTAG)、斑块密度(PD)、香农均匀度(SHEI)和香农多样性指数(SHDI),运用Fragstats 4.2软件,采用8邻域规则,对选定的特征指数进行评估(图6),进而从景观尺度描述张家口市1990—2015年“三生”空间格局的演变特征及其景观效应。

斑块个数由1990年的66541增至2015年的153049,表明景观格局总体上趋向破碎化。形状指数呈明显的阶段性特征,但整体上增加57.66,说明各空间类型斑块的边界形状越来越复杂,受人为干扰水平增加。凝聚度总体上呈下降趋势,反映出相同斑块类型的连通性降低。最大斑块指数整体上呈上升趋势,表明优势斑块数逐渐增多。蔓延度略有降低,反映斑块密度变大,相同空间类型趋于离散地间断地分布。斑块密度有所增长,说明景观格局的异质性不断加剧。香农均匀度和香农多样性指数均依次减少,表明各斑块类型在景观中的分布愈加失衡,其破碎化程度上升。综上所述,张家口市1990—2015年“三生”空间景观格局破碎化、复杂化的趋势十分显著,异质性增强,连通性下降。

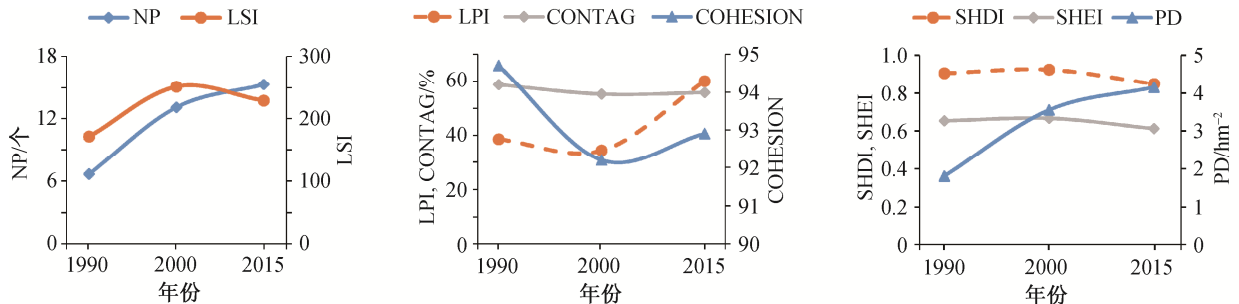


图6 1990—2015年张家口市“三生”空间格局景观指数变化曲线
Fig. 6 Landscape index variation of the PLE spaces in Zhangjiakou City from 1990 to 2015

4 讨论与结论

4.1 讨论

如图 7 所示,自然地理背景是“三生”空间分布的自然基础和空间载体。从水平格局来看,东部的燕山余脉和南部的太行山区林地较多,生态空间多分布于此;中部洋河谷地土壤肥沃,地势平坦,是居民生活和工业生产的核心区,也是生产-生活和生产-生态空间的主要集中区。从垂直带谱来看,坝上高原生产-生态空间和生态空间相间分布,坝下河川盆地是生产-生活和生产-生态空间的集聚区,东部和东南部的山地丘陵区以生态空间为主。

工业化、城镇化和社会经济发展是加剧张家口市“三生”空间格局演变和景观破碎化的主导因素。张家口市的 GDP 由 1990 年 45.13×10^8 元增至 2000 年的 226.34×10^8 元,再增至 2015 年的 1363.54×10^8 元。城、乡人口流动速度加快,越来越多的农村人口向非农产业和城镇转移,城镇化水平不断提高,由 1990 年的 19.50% 增至 2015 年的 36.41%。经济社会的高速发展和人口的快速城镇化不仅造成张家

口市生产-生活空间的不断扩张,还导致人类对生态环境的扰动增强,推动景观格局趋于破碎化和复杂化,并引起“三生”空间垂直带谱的变化。比如,2000 年前,由于经济发展水平较低,人们为了生存导致陡坡开荒和滥砍滥伐现象严重,耕地压力较大,耕地分布向高海拔高坡度地区扩张,出现“耕进林退”现象,生产-生态空间分布的海拔较高坡度较大。后期由于农民进城务工带来收入增加,不再依靠陡坡开荒维持生活,耕地压力减小,出现“林进耕退”现象,人地关系的转变促使生态空间向低海拔低坡度地带扩展。

京津风沙源治理、退耕还林和禁牧等政策是助推张家口市“三生”空间变化的关键因素。2000 年,张家口市开始实施京津风沙源治理、退耕还林和塞北林场建设等国家重点生态工程,推行生态补偿金试点,并在全国首次提出生态环境恢复评价制度。2009 年,开始实施京冀生态水源保护林建设,2014 年推行首都新型生态屏障示范工程、景区周边及矿区植被恢复工程、千村绿化工程等重点生态建设工程。先后完成绿化面积 $8.79 \times 10^4 \text{ hm}^2$,治理水土流

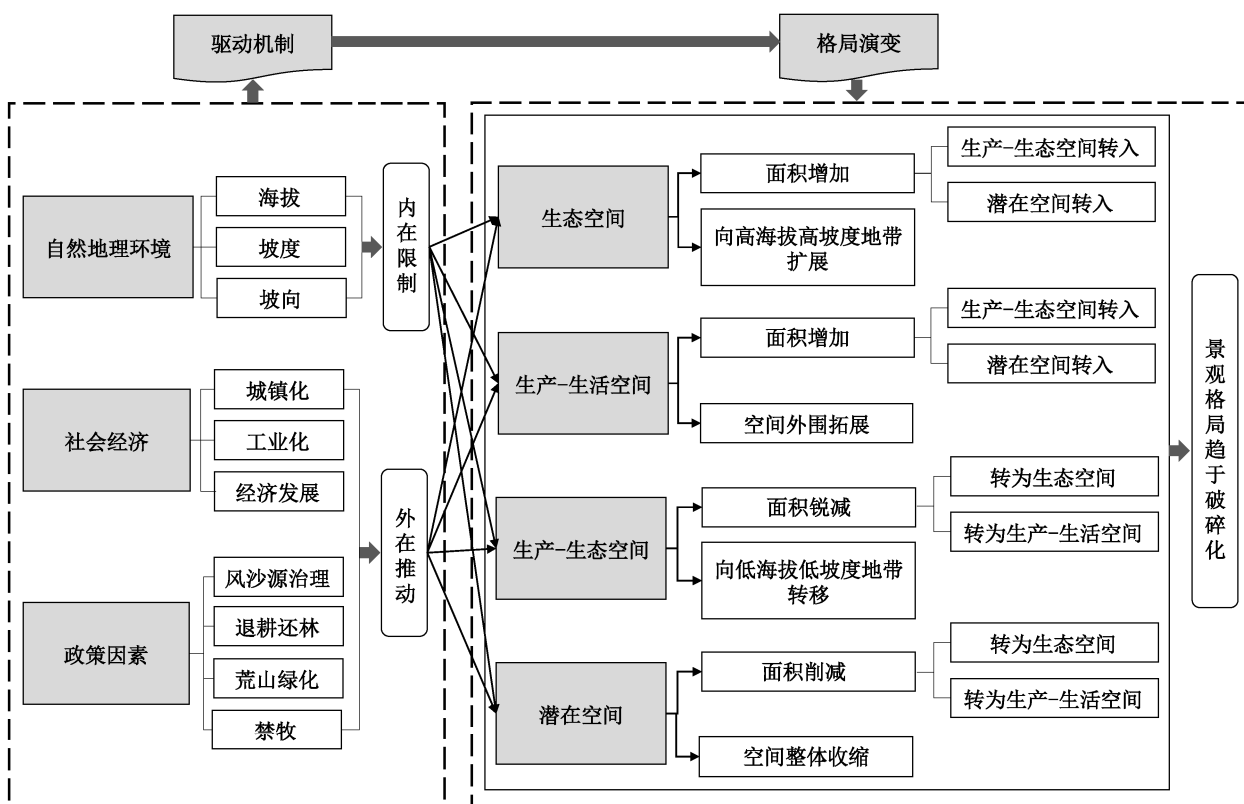


图 7 张家口市“三生”空间演化机制

Fig. 7 Evolution mechanism of the PLE spaces in Zhangjiakou City

失面积241.5 km²，截至2016年底，全市森林覆盖率达39%。在上述政策的调控下，2000—2015年间生态空间对生产—生态空间的挤占尤为显著。2003年全市草场开始推行禁牧措施，实施圈养制度，使得草地的生产功能弱化，生态功能得以恢复，由生产—生态空间转为生态空间。2005年启动实施市区周边荒山绿化工程，使市区周边1.5×10⁴ hm²的荒山披上绿装，致使潜在空间面积不断收缩，生态空间面积逐步扩张。

综上所述，张家口市存在生态空间与生产—生活空间、生产—生态空间的竞争与矛盾突出，水平格局上空间结构失衡，垂直带谱上地区分布错配，景观格局趋于破碎化和复杂化等问题。因此，张家口市应以国土空间规划为契机，科学地划定“三生”空间范围，构建“三生”空间用途“平面”与“立体”管制相结合的制度，及时开展“三生”空间的分类整合工作，促进区域生态保护、经济发展和社会建设的高度融合与可持续发展。

4.2 结论

1) 张家口市“三生”空间分布的区域差异显著。生态空间主要分布于东部的燕山余脉和南部的太行山区，生产—生活空间和生产—生态空间的分布格局具有相似性，集中于洋河河谷盆地、桑干河和壶流河流域。潜在空间散布在中部和西部的生产—生活空间周边。

2) 25年间，张家口市“三生”空间均有不同程度的相互转化，其中以生态空间和生产—生态空间的转化为主要特征。与1990—2000年相比，2000—2015年“三生”空间的相互转变更加频繁。

3) 在垂直带谱上，中低山和缓坡区域的“三生”空间类型更为多样。生态空间向高海拔、高坡度地带扩展，生产—生态空间向低海拔、低坡度地带转移。与1990—2000年相比，2000—2015年“三生”空间在不同高程和坡度下的演变更加剧烈。

4) 25年间，张家口市景观格局的破碎度指数上升，优势板块数下降，复杂性增强，连通性减弱，其原因与张家口市的地形条件、经济发展和不断增强的人类活动密切相关。

参考文献

[1] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. 地理学报, 2017, 72(7): 1290–1304

[2] Liu C, Xu Y, Huang A, et al. Spatial identification of land use multifunctionality at grid scale in farming-pastoral area: a case study of Zhangjiakou City, China. *Habitat International*, 2018, 76: 48–61

[3] Fang C, Yang J, Fang J, et al. Optimization transmission theory and technical pathways that describe multiscale urban agglomeration spaces. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(4): 543–554

[4] 黄安, 许月卿, 卢龙辉, 等. “生产—生活—生态”空间识别与优化研究进展. 地理科学进展, 2020, 39(3): 503–518

[5] Zhou D, Xu J, Lin Z. Conflict or coordination? Assessing land use multi-functionalization using production-living-ecology analysis. *Science of the Total Environment*, 2017: 136–147

[6] Tang C, He Y, Zhou G, et al. Optimizing the spatial organization of rural settlements based on life quality. *Journal of Geographical Sciences*, 2018(5): 685–704

[7] 邓春, 王成, 王钟书, 等. 共生视角下村域生产空间重构路径设计——以重庆市合川区大柱村为例. 中国土地科学, 2017, 31(2): 48–57

[8] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71(1): 49–65

[9] 陶慧, 刘家明, 罗奎, 等. 基于三生空间理念的旅游城镇化地区空间分区研究——以马洋溪生态旅游区为例. 人文地理, 2016(2): 153–160

[10] 方创琳, 贾克敬, 李广东, 等. 市县土地生态—生产—生活承载力测度指标体系及核算模型解析. 生态学报, 2017, 37(15): 5198–5209

[11] 邓春, 王成, 王钟书. 村落生产生活生态空间重构的共生路径研究——基于农户间共生界面的分析. 中国农业资源与区划, 2018(3): 96–103

[12] 李晓青, 刘旺彤, 谢亚文, 等. 多规合一背景下村域三生空间划定与实证研究. 经济地理, 2019, 39(10): 146–152

[13] 柳冬青, 马学成, 巩杰, 等. 流域“三生空间”功能识别及时空格局分析——以甘肃白龙江流域为例. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1490–1497

[14] 金星星, 陆玉麒, 林金煌, 等. 闽三角城市群生产—生活—生态时空格局演化与功能测度. 生态学报, 2018, 38(12): 4286–4295

[15] 李科, 毛德华, 李健, 等. 湘江流域“三生”空间时空演变及格局分析. 湖南师范大学自然科学学报, 2020(2): 9–19

[16] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展. 地理科学进展, 2017, 36(3): 378–391

- [17] ZHANG Hongqi, XU Erqi, ZHU Huiyi. Ecological-living-productive land classification system in China. *Journal of Resources & Ecology*, 2017, 8(2): 121–128
- [18] 崔家兴, 顾江, 孙建伟, 等. 湖北省三生空间格局演化特征分析. *中国土地科学*, 2018, 32(8): 67–73
- [19] 余朝静, 王强. 福建省不同主体功能区“三生”空间格局演化研究. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 35(6): 90–99
- [20] 林伊琳, 赵俊三, 张萌, 等. 滇中城市群国土空间格局识别与时空演化特征分析. *农业机械学报*, 2019, 50(8): 176–191
- [21] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化. *地理研究*, 2018, 37(6): 1100–1114
- [22] Huang A, Xu Y, Sun P, et al. Land use/land cover changes and its impact on ecosystem services in ecologically fragile zone: a case study of Zhangjiakou City, Hebei Province, China. *Ecological Indicators*, 2019, 104: 604–614
- [23] 邹利林, 王建英, 胡学东. 中国县级“三生用地”分类体系的理论构建与实证分析. *中国土地科学*, 2018, 32(4): 59–66
- [24] 刘超. 基于多源数据融合的土地利用多功能评价与分区研究——以河北省张家口市为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2019
- [25] 刘超, 许月卿, 刘焱序, 等. 基于系统论的土地利用多功能分类及评价指标体系研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(1): 181–188
- [26] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局. *资源科学*, 2015, 37(7): 1332–1338
- [27] 扈万泰, 王力国, 舒沐晖. 城乡规划编制中的“三生空间”划定思考. *城市规划*, 2016(5): 21–26
- [28] 李伯华, 曾灿, 窦银娣, 等. 基于“三生”空间的传统村落人居环境演变及驱动机制——以湖南江永县兰溪村为例. *地理科学进展*, 2018, 37(5): 677–687
- [29] 席建超, 王首琨, 张瑞英. 旅游乡村聚落“生产–生活–生态”空间重构与优化——河北野三坡旅游区苟各庄村的案例实证. *自然资源学报*, 2016(3): 425–435
- [30] 廖李红, 戴文远, 陈娟, 等. 平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析. *资源科学*, 2017, 39(10): 1823–1833
- [31] Lü D, Gao G, Lü Y, et al. Detailed land use transition quantification matters for smart land management in drylands: an in-depth analysis in Northwest China. *Land Use Policy*, 2020, 90: 104356
- [32] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制. *经济地理*, 2015(5): 148–154
- [33] 刘兴坡, 李璟, 周亦昀, 等. 上海城市景观生态格局演变与生态网络结构优化分析. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(10): 2340–2352
- [34] Machado A C M, Veról A P, Battemarco B P, et al. Proposal of a complementary tool to assess environmental river quality: the river classification index (RCI). *Journal of Cleaner Production*, 2020, 254: 120000
- [35] 周婷, 牛安逸, 马姣娇, 等. 国家湿地公园时空格局特征. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 26–39