

DOI: 10.5846/stxb202004090852

王宏亮,高艺宁,王振宇,沙威,吴健生.基于生态系统服务的城市生态管理分区——以深圳市为例.生态学报,2020,40(23):8504-8515.

Wang H L, Gao Y N, Wang Z Y, Sha W, Wu J S. Urban ecological management division based on ecosystem services: a case study of Shenzhen City. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(23): 8504-8515.

基于生态系统服务的城市生态管理分区 ——以深圳市为例

王宏亮^{1,2,3}, 高艺宁^{2,4}, 王振宇^{1,2}, 沙威¹, 吴健生^{1,2,*}

1 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院,城市人居环境科学与技术重点实验室,深圳 518055

2 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室,深圳 518034

3 深圳市规划国土房产信息中心,深圳 518040

4 内蒙古师范大学科技处,呼和浩特 010022

摘要:生态系统服务是人类赖以生存和发展的基础,开展城市生态系统服务评估并对生态管理单元实行分区管控有助于人居环境的改善。针对高度城市化地区生态系统服务的功能特征,采用生态系统服务价值当量测算不同用地类型的生态系统服务价值。研究从生态功能和经济功能 2 个方面构建生态系统服务指标体系,对 2017 年深圳市 666 个社区单元的生态系统服务价值进行评估;运用空间自相关分析方法,依据局部空间自相关的集聚特征叠加产生的组合类型,划分不同社区生态管理单元,并提出生态分区管控策略。研究结果表明:①生态系统服务价值评估便于高度城市化地区城市生态系统服务功能的整体评价。② 2017 年深圳市生态系统服务价值空间差异明显,呈现东部高、中西部低的空间格局。深圳市生态系统服务总价值约 583.96 亿元,最高值为大鹏新区的 160.25 亿元,最低值为福田区的 13.24 亿元。③将深圳市 666 个社区单元划分为 4 类城市生态管理分区,并采用差异化的分区管控措施,表明有效的城市生态管理分区能够兼顾各项生态系统服务功能并实现功能效益的最优化。该研究结果可为区域生态系统服务精细化管理和生态治理差异化管控提供借鉴。

关键词:生态功能;生态系统服务价值;空间自相关;生态分区;深圳市

Urban ecological management division based on ecosystem services: a case study of Shenzhen City

WANG Hongliang^{1,2,3}, GAO Yining^{2,4}, WANG Zhenyu^{1,2}, SHA Wei¹, WU Jiansheng^{1,2,*}

1 Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Urban Planning and Design, Peking University, Shenzhen 518055, China

2 Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518034, China

3 Shenzhen Municipal Planning and Land Real Estate Information Center, Shenzhen 518040, China

4 Science and Technology Office, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

Abstract: Ecosystem services are the basis of human survival and development. Assessment of urban ecosystem services and zoning of ecological management units can contribute to the improvement of living environment. Based on the functional characteristics of ecosystem services in highly urbanized areas, this paper used ecosystem service value equivalent to calculate ecosystem service value of different land types. The ecosystem service index system was constructed from two aspects of ecological function and economic function, and the ecosystem service value of 666 community units was evaluated in Shenzhen, 2017. Using spatial autocorrelation analysis method, according to the combination types generated by the

基金项目:自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放基金资助课题(KF-2019-04-027);国家重点研发计划项目(2019YFB2102000);内蒙古师范大学高层次人才引进人才科研启动经费项目(2019YJRC019)

收稿日期:2020-04-09; 网络出版日期:2020-10-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wujs@pkusz.edu.cn

locally spatial agglomeration characteristics, different community ecological management units were divided, and ecological zoning control strategies were put forward. The results show that: 1) ecosystem service value assessment is convenient for the overall evaluation of urban ecosystem service function in highly urbanized areas. 2) The spatial difference of ecosystem service value was obvious in Shenzhen in 2017, showing the spatial pattern of high in the east and low in the central and western regions. The total value of ecosystem service in Shenzhen was about 58.396 billion yuan, the highest value was 16.025 billion yuan in Dapeng New District, and the lowest value was 1.324 billion yuan in Futian District. 3) The 666 community units were divided into 4 kinds of urban ecological management zones, and the differentiated zoning control measures were adopted, which shows that the effective urban ecological management zones can take into account the various ecosystem service functions and realize the optimization of the functional benefits. The results of this study are valuable for the scientific management of regional ecosystem services and the differentiated management of ecological governance.

Key Words: ecological function; ecosystem service value; spatial autocorrelation; ecological partition; Shenzhen

自然生态系统是人类赖以生存的基础,也是人类社会发展的物质基石^[1]。生态系统服务是生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[2]。明晰生态系统服务功能特征并完善生态系统服务决策,对于维持和改善人类福祉、促进城市可持续发展具有重要意义^[3]。作为“自然-社会-经济”复合生态系统,城市生态系统具有多种生态系统服务能力。严格管控城市增长边界、有效保护城市生态空间,对于改善城市环境质量和提升城市竞争力具有重要作用^[4]。但随着城镇化进程的快速推进,尤其是高度城市化地区的开发建设,不仅侵占了岌岌可危的城市生态空间,还破坏了城市生态系统结构与功能,降低了城市生态系统的服务水平,最终影响城市人居环境的改善和区域福祉的提升。城市生态管理分区所体现的城市生态系统服务功能的差异,是城市用地开发指引和生态空间管控的重要依据^[5-6]。由于城市生态系统服务受城市管理影响具有明显的空间异质性。因此,评估城市生态系统服务价值,厘清城市生态系统服务功能的分布特征和空间差异,并以此划分城市生态管理分区,对于城市生态系统精细化管理和生态治理差异化管控具有一定的价值。

目前,关于生态系统服务及其生态管理分区的研究较为丰富,可以概括为以下方面:1) 基于不同生态要素的生态管理分区,如水源^[7-8]、湿地^[9]、绿地^[10]和农田^[11]等;2) 基于不同研究尺度的生态管理分区,如区域^[12-14]、省域^[15]、典型县域^[16]以及格网尺度^[17]等;3) 基于不同研究热点的生态管理分区,如生态系统服务簇分区^[15,18]、国土生态空间修复分区^[19]以及生态系统服务供需关系分区^[20]等。总体而言,生态系统服务及其生态管理分区研究不仅丰富了生态系统服务在地理学、生态学等学科的理论成果,也加速了生态系统服务管理和国土空间生态治理由理论探索向实践应用的转变过程,但仍存在以下2点不足:一是城市社区尺度研究的缺失。现有生态系统服务及其生态分区研究主要集中于大尺度的生态带或城市群,由于数据获取受限或应用性差等问题,将城市社区作为研究尺度分析生态系统服务空间差异的研究并不多见。二是生态系统服务与城市管理实践的脱节。生态学、地理学对于生态系统服务主要从生态系统结构、功能及其空间分布等方面进行自然科学理论的研究,管理学和社会学则从人口、经济和社会等角度探讨“人地关系”及其管理实践。由于不同学科的定位和侧重不同,将生态系统服务落实于改善人类幸福福祉和促进区域可持续发展仍需要学科融合的探索过程。

作为我国社会主义先行示范区的深圳,不论是城市发展还是生态治理都位居我国前列。尤其是2005年划定的全国首条基本生态控制线,更树立了严控城市无序蔓延、改善城市人居环境的标杆。随着城市发展向生态文明的推进,围绕深圳市现行生态用地管理趋于静态、生态控制线内社区发展不均衡以及生态空间治理难度大等问题,探索高度城市化区域生态管理分区成为关注重点。因此,快速评估深圳市生态系统服务整体水平、划分生态管理分区并提出合理的生态管控措施十分必要。本文采用生态系统服务价值当量来测算不同用地类型的生态系统服务能力,从生态功能和经济功能2个方面构建指标体系,对2017年深圳市666个社区

单元的生态系统服务价值进行评估;结合局部空间自相关的聚散特征划分生态管理单元并提出分区分管措施,为探索深圳市社区生态治理和可持续发展提供借鉴。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

深圳市(22°27'—22°52'N, 113°46'—114°37'E)位于我国广东省南部,东临大亚湾,西连珠江口,北依莲花山脉西部余脉,南接九龙半岛,是连接珠江东岸丘陵—山地生态系统与半岛—海湾生态系统枢纽区域,属亚热带季风气候,年均降雨量为1933.3 mm。全市国土面积约为1997 km²,下辖10个区和666个社区单元。从区域尺度看,深圳是珠江东岸丘陵—山地生态系统与半岛—海湾生态系统的过渡地带,承担连接丘陵山地生态源与半岛海湾生态汇,对保障区域生态安全具有重要的枢纽作用。

1.2 数据来源

本研究基于2017年深圳市土地利用变更调查数据,依据现有666个社区单元边界,对研究区范围进行了适当调整,由国土调查现状面积的1997 km²调整为服务于本研究的1970 km²。结合《土地利用现状分类(GB/T 21010—2017)》将土地利用现状划分为耕地、园地、林地、草地、水域和其他等6种用地类型。本文生态服务价值当量涉及的粮食产量和稻谷平均收购价等统计指标主要来源于《深圳市统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务的指标选择

生态系统服务的表现形式可概括为两大类:一是支撑和维护人类赖以生存的环境,体现为生态功能;二是体现为经济功能的生态系统产品,如为人类提供食物来源和原材料供应的生产生活资料等。因此,本研究从生态功能和经济功能2个方面构建生态系统服务的指标体系。其中,生态功能指生态系统过程所具有的调节服务功能,如气候调节(含气体调节)、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理以及生物多样性保护等;经济功能指人类从自然生态系统获得的直接物质利益的功能,如食物生产、原材料供应以及娱乐文化等。为保证生态系统服务评估的完整性,将生态功能和经济功能求和,可以反映研究区内各类生态系统服务功能的整体水平。

1.3.2 生态系统服务的价值估算

随着20世纪末全球生态系统自然资本价值量的核算^[21]、生态系统服务分类体系的定制及价值核算方法的使用^[1],学术界掀起了核算生态系统服务价值的热潮。由于生态系统服务存在市场价值,可直接通过货币化方式计算。因此,市场价值法成为估算生态系统产品和服务的最为常用方法之一^[22]。本研究依据谢高地^[23]给出的中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表并参照相关研究成果^[24],计算深圳市2017年不同土地利用类型的生态系统服务价值。具体采用2013—2017年的平均粮食产量(8088 kg/hm²)和2017年稻谷平均收购价格(2.77元/kg),对生态系统服务价值当量进行修正,得到基于单位面积的生态系统服务价值系数为2.24万元;由于1个当量是指1hm²农田年均粮食自然产出的经济价值,一般取实际产量的1/7作为自然产量,最终得到深圳市2017年不同用地类型单位面积生态系统服务价值系数(表1),计算公式如下。

$$ESV = \sum (A_k \times VC_k) \quad (1)$$

式中,ESV为生态系统服务价值;A_k为土地利用类型k的面积;VC_k为生态系统服务价值系数。

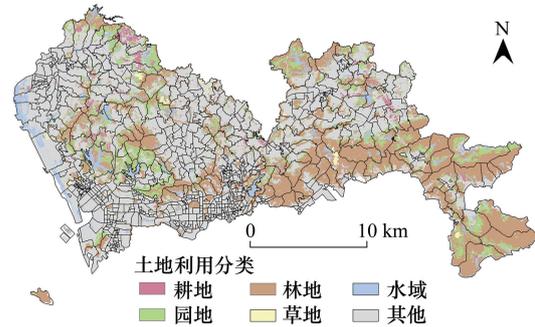


图1 深圳市2017年土地利用分类图

Fig.1 Classification map of land use in Shenzhen in 2017

表 1 深圳市 2017 年不同用地类型单位面积生态系统服务价值系数/(万元/hm²)

Table 1 Coefficients of ecosystem service value with different land types in Shenzhen in 2017

生态系统功能类型 Class of ESV	耕地 Cultivated land	园地 Orchard	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Water	其他 Other
气候调节 Climate regulation	4.44	12.62	19.80	5.43	1.47	0.00
水源涵养 Water conservation	1.92	6.39	10.22	2.56	35.83	0.10
土壤形成与保护 Soil formation and disposition	4.66	9.34	12.46	6.23	0.03	0.06
废物处理 Waste treatment	5.24	4.18	4.18	4.18	5.81	0.03
生物多样性保护 Biodiversity	2.27	6.95	10.41	3.48	3.98	1.09
食物生产 Food production	3.19	0.64	0.32	0.96	0.32	0.03
原材料供应 Raw materials	0.32	4.23	8.30	0.16	0.03	0.00
娱乐文化 Entertainment culture	0.03	2.11	4.09	0.13	3.96	0.03

1.3.3 空间类型划分方法

空间自相关分析作为地统计学基本分析方法,是探索地理要素空间关联的重要手段^[25]。通过识别相邻地理要素之间的集聚和离散特征,从而实现地理实体空间异质性的判别。空间自相关分析包括全局空间自相关和局部空间自相关^[26]。本文采用 Moran's I 全局空间自相关方法,分析生态功能、经济功能和综合功能的空分布,并采用 Moran's I 局部空间自相关方法对生态功能和经济功能的局部空间集聚组合进行叠加,为城市生态管理单元的分区划定提供依据。

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{(\sum_i \sum_j W_{ij}) \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

$$Z = \frac{1 - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (3)$$

式中, N 为社区管理单元总数, W_{ij} 为空间权重, X_i 和 X_j 分别是社区管理单元 i 和 j 的属性; \bar{X} 为属性均值; Z 为标准化统计量的阈值; $E(I)$ 为观测变量自相关性的期望值; $\text{var}(I)$ 为方差。运用全局 Moran's I 统计量验证社区尺度生态系统服务价值的空间依赖程度, Moran's I 统计量在 $[-1, 1]$ 之间; 当 $I > 0$ 代表空间属性值呈正相关, 趋于空间聚合; 当 $I < 0$ 代表空间属性值呈负相关, 趋于空间离散; $I = 0$ 代表没有通过显著性检验, 趋于空间随机分布。本文采用 Z 值进行显著性检验, 当 $Z > 1.96$ 或 $Z < -1.96$ ($\alpha = 0.05$) 时, 表明社区单元生态系统服务价值在空间上具有显著相关性^[27]。

$$I_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{S_x^2} \sum_j [W_{ij}(X_j - \bar{X})] \quad (4)$$

$$S_x^2 = \frac{\sum_j [W_{ij}(X_j - \bar{X})^2]}{N} \quad (5)$$

式中, S_x^2 是方差, 对 j 的累积区域不包括区域 i 自身。对社区单元生态系统服务价值进行局部空间自相关分析, 采用 LISA 集聚图分析社区单元生态系统服务价值的空间聚散性。局部空间相关性可划分 5 种集聚类型, 分别是 HH 型、LL 型、HL 型、LH 型和 NN 型。其中, HH 型和 LL 型为正相关, 表明空间聚合程度高; HL 型 LH 型为负相关, 表明空间离散程度高; NN 型代表非显著相关型, 体现为无明显的集聚和离散特征^[27]。

2 结果与分析

2.1 生态系统服务价值结果分析

对深圳市 10 个行政区和 666 个社区单元的生态系统服务价值进行评估, 发现 2017 年深圳市生态系统服务的总价值约 583.96 亿元。其中, 大鹏新区生态系统服务价值最高(约 160.25 亿元), 福田区生态系统服务

价值最低(约 13.24 亿元)。研究发现深圳市生态系统服务的高价值区主要分布于罗田水库、凤凰山、羊台山、塘朗山、梧桐山、梅沙尖、马峦山以及七娘山等大型山体区域,并在东部沿海区形成了一个连续性的高价值生态服务带。综合来看,深圳市东部区域生态系统服务价值高于西部,全市生态系统服务价值存在明显的空间差异。由于大鹏新区、龙岗区具有良好的气体调节、水源涵养和水土保持功能,这不仅对深圳市生态系统稳定具有重要保持作用,也对更大尺度的生态系统格局塑造起到了桥梁连接的功能,如惠州莲花山—香港九龙半岛的生态区建设。

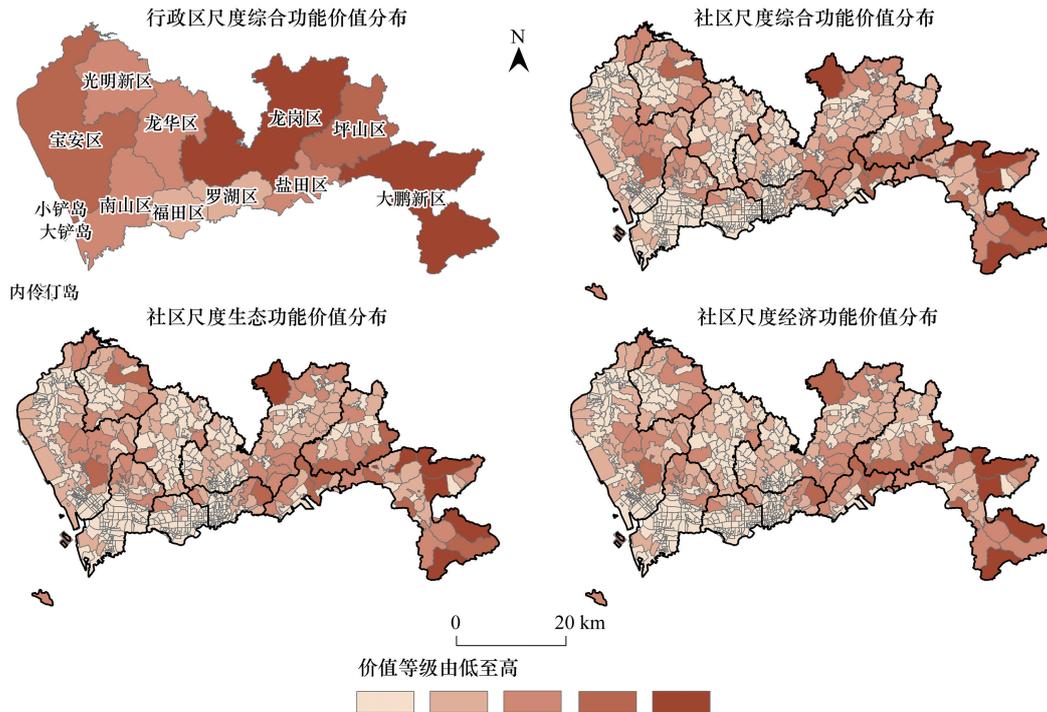


图 2 深圳市 2017 年生态系统服务价值空间分布图

Fig.2 Spatial distribution map of ecosystem service value in Shenzhen, 2017

表 2 基于不同功能特征的生态系统服务价值评估结果/亿元

Table 2 Results of ecosystem service value assessment based on different functional characteristics

行政区 Administrative area	气候调节 Climate regulation	水源涵养 Water conservation	土壤形成 与保护 Soil formation and disposition	废物处理 Waste treatment	生物多样 性保护 Biodiversity	食物生产 Food production	原材料供应 Raw materials	娱乐文化 Entertainment culture	生态功能 Ecology function	经济功能 Economic function	综合功能 Integrated function
宝安区	16.58	23.29	10.96	6.85	12.73	0.89	6.14	4.74	70.42	11.76	82.18
大鹏新区	43.22	26.99	27.84	10.76	23.74	1.06	17.48	9.16	132.55	27.71	160.25
福田区	3.17	2.68	2.03	0.87	2.34	0.09	1.29	0.77	11.09	2.15	13.24
光明区	8.84	8.16	6.25	3.54	5.93	0.75	3.08	1.94	32.73	5.77	38.49
龙岗区	24.47	18.77	16.07	7.05	16.03	0.88	9.64	5.50	82.40	16.02	98.42
龙华区	8.24	6.85	5.52	2.58	5.91	0.35	3.17	1.88	29.10	5.40	34.50
罗湖区	7.25	5.75	4.59	1.92	4.39	0.17	2.96	1.69	23.90	4.83	28.73
南山区	8.81	7.64	5.98	2.87	6.23	0.36	3.31	2.01	31.52	5.68	37.20
坪山区	14.60	11.02	9.60	4.27	8.83	0.57	5.71	3.22	48.33	9.50	57.84
盐田区	8.95	5.54	5.64	2.06	5.08	0.17	3.72	1.94	27.27	5.83	33.10
总计 Sum	144.14	116.69	94.49	42.79	91.21	5.29	56.51	32.86	489.31	94.65	583.96

进一步分析,2017 年深圳市生态系统服务的生态功能价值约为 489.31 亿元,全市 10 个行政区生态系统服务的生态功能价值分布区间为 11.09—132.55 亿元。其中,生态功能的高值区位于大鹏新区、龙岗区和宝安区,低值区出现在福田区和罗湖区;从生态功能的指标构成上看,气候调节>水源涵养>土壤形成与保护>生物多样性保护>废物处理。结合气体调节的空间分布,东南部的大鹏新区和盐田区多有高值分布,中西部福田区和南山区多出现低值分布,由于东南部区域的城市开发度低,森林生态系统占地面积较大,良好的气体调节功能使得大鹏新区气候调节的服务价值更高;在水源涵养的空间分布上,龙岗区的水源涵养功能价值较高,其他地区因区划面积小且城市化率高,出现了水源涵养量不足的状况。尽管深圳市水源涵养弱于气

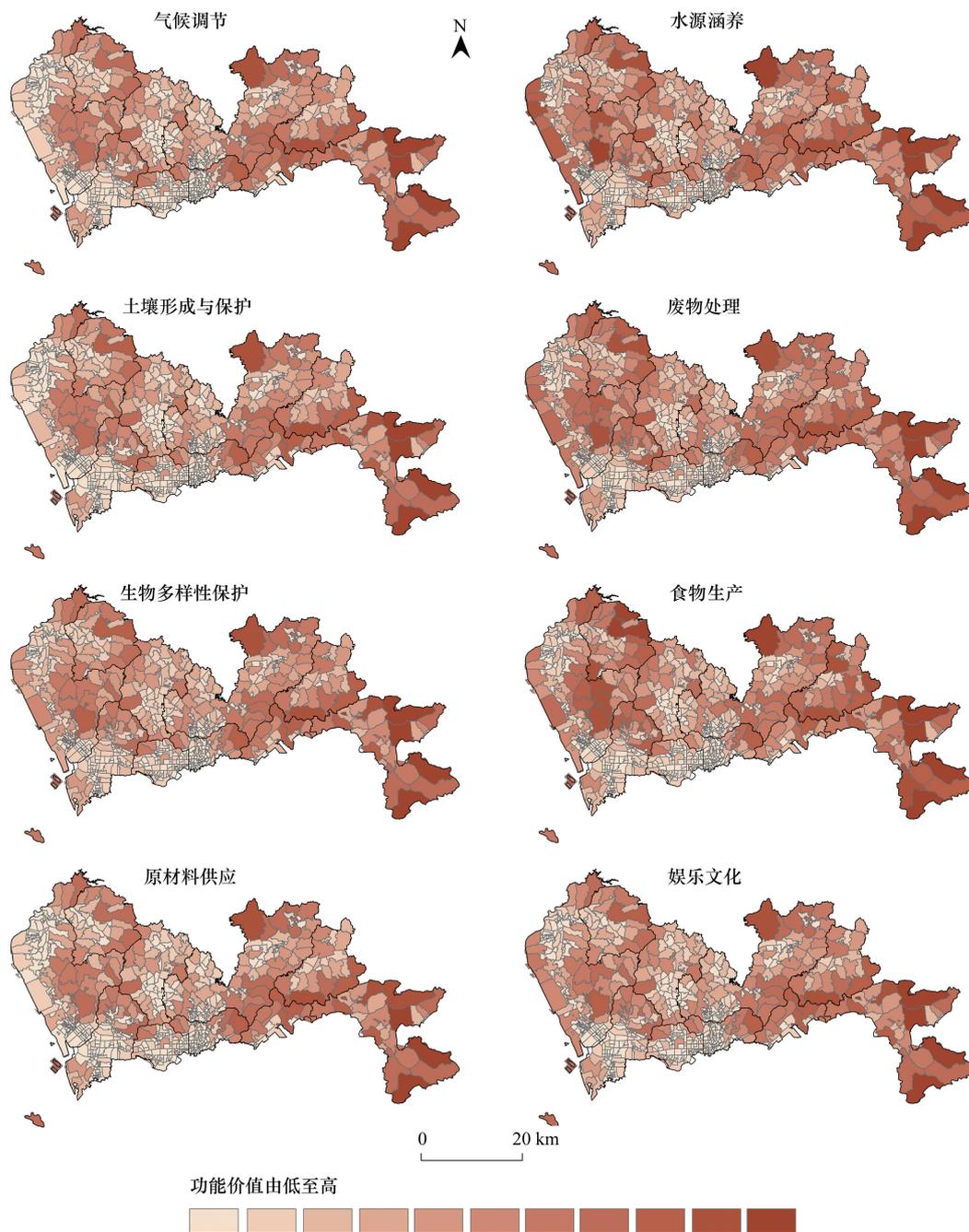


图 3 2017 年基于不同功能特征的深圳市生态系统服务价值空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of ecosystem service value based on different functional characteristics in Shenzhen, 2017

体调节功能,但因城市内部绿化完善且注重生态保护,总体上深圳市城市生态系统保持较高的水源涵养功能;在土壤形成与保护、生物多样性保护 2 个方面,均呈现东南高,西北低,中心区域局地高的空间分布,可能是山地丘陵区更利于植被初级生产力的增长和生物多样性的保护。另外,在废物处理上,氮氧化物、二氧化硫以及粉尘吸收等生态净化功能均与地区植被覆盖状况相关。因此,大鹏新区明显高于罗湖区和福田区。综上,生态系统服务的生态功能价值在大鹏新区凸显气体调节作用,在龙岗区则体现水源涵养功能。

深圳市生态系统服务的经济功能价值量约为 94.65 亿元。其中,经济功能的高值区为大鹏新区的 27.71 亿元,低值区是福田区的 2.15 亿元;从经济功能指标排序看,原材料供应>娱乐文化>食物生产。在经济功能的空间分布上,大鹏新区、龙岗区和宝安区在原材料供应方面排名靠前,光明区、罗湖区和福田区排名靠后;在食物生产和娱乐文化方面,除大鹏新区和福田区位于榜首和末尾之外,其他行政区的经济功能价值量的排序不断发生改变。这种区域性的差异变化主要源于城市人口的增长、城镇空间的扩张以及生态产业的发展。

2.2 生态系统服务价值的空间自相关

2.2.1 全局空间自相关结果

为实现基于局部空间自相关的生态系统服务价值的空间类型划分,本研究对深圳市 666 个社区单元生态系统服务的生态功能价值、经济功能价值和综合功能价值采用 GeoDa 软件进行全局空间自相关分析。检验结果显示,2017 年深圳市 666 个社区单元生态系统服务的生态功能价值、经济功能价值和综合功能价值的 Moran's *I* 值分别为 0.285、0.270 和 0.282;在 5% 的显著性水平下,*Z* 值分别为 12.854、12.266 和 12.761,均高于临界值 1.96,通过了显著性水平检验。全局空间自相关检验表明,2017 年深圳市生态系统服务价值的空间分布具有显著的正相关性,即空间分布上存在明显的集聚特征,表明可以开展基于生态功能价值和经济功能价值的局部空间自相关分析。

2.2.2 局部空间自相关结果

在对深圳市 666 个社区单元的生态系统服务进行全局空间自相关检验后,运用 LISA 图对局部 Moran's *I* 值进行空间显示。研究发现生态功能价值、经济功能价值和综合功能价值的空间分布模式为:在 95% 置信度水平下,3 种生态系统服务价值的局部空间自相关类型均表现为非显著性(NN 型),其对应的 LISA 空间集聚图如下(图 4)。

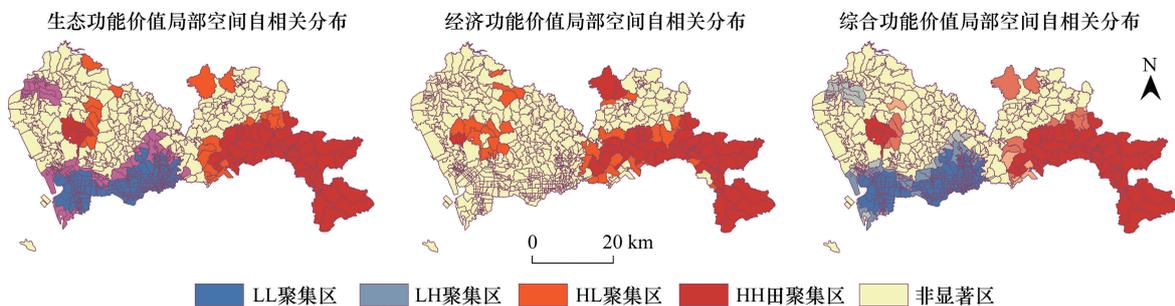


图 4 深圳市生态系统服务价值的局部空间自相关分布图

Fig.4 Local spatial autocorrelation distribution map of ecosystem service value in Shenzhen

根据局部空间自相关结果(表 3):1)生态功能价值呈现为 5 种自相关类型。其中,HH 型和 LL 型面积分别为 470.51 km²和 217.23 km², 占总面积的 23.88%和 11.02%;HL 型和 LH 型面积较小,分别占总面积的 8.98%和 8.11%;NN 型的范围最大,约占总面积的 48.01%。空间分布上,生态功能价值 HH 型主要以条块状分布为主,集中分布在东南部的盐田区、坪山区、大鹏新区以及宝安区中部;HL 型主要分布在坪山区北部、龙岗区南北侧以及宝安区西部;LH 型主要分布在宝安区、龙岗区、南山区及福田区等部分区域;LL 型集中在南山区、福田区和罗湖区等区域。2)经济功能价值呈现出 3 种自相关类型。其中,HH 型和 HL 型分别占总面积的 23.88%和 11.05%,NN 型占总面积的 65.07%。空间分布上,经济功能价值集聚类型主要以带状和团状分

布为主。其中,HH 型主要分布在深圳东部的盐田区、坪山区和大鹏新区;HL 型分布在宝安区中部以及 HH 聚集区的东北部边缘。3)综合功能价值自相关特征呈现为团块状集聚分布,且东西差异明显。其中,HH 型面积为 476.45 km²,占区域总面积的 24.18%,主要分布东部的盐田区、坪山区和大鹏新区;HL 型单元数量为 22 个,主要分布龙岗区南北边缘和宝安区部分区域;LH 型约占区域总面积的 8.29%,主要分布在宝安区南北侧和龙岗区西部等区域;LL 型面积约为 211.70 km²,占总面积的 10.74%,集中分布在南山区、福田区和罗湖区。

表 3 深圳市生态系统服务价值的局部空间自相关类型统计表

Table 3 Statistical tables of local spatial autocorrelation types of ecosystem service value in Shenzhen

局部空间自相关类型 Local spatial autocorrelation type	生态功能价值 Ecology functional value			经济功能价值 Economic functional value			综合功能价值 Integrated functional value		
	单元数量 Unit number	面积 Area/ km ²	面积比 Percent/%	单元数量 Unit number	面积 Area/ km ²	面积比 Percent/%	单元数量 Unit number	面积 Area/ km ²	面积比 Percent/%
	HH 型 HH type	44	470.51	23.88	37	470.46	23.88	45	476.45
HL 型 HL type	26	176.93	8.98	30	217.82	11.05	22	146.27	7.42
LH 型 LH type	94	159.83	8.11	-	-	-	98	163.26	8.29
LL 型 LL type	267	217.23	11.02	-	-	-	263	211.70	10.74
NN 型 NN type	235	945.98	48.01	599	1282.20	65.07	238	972.80	49.37

HH 为高高型;HL 为高低型;LH 为低高型;LL 为低低型;NN 为非显著型

2.3 基于生态系统服务的生态管理单元划分

在深圳市 666 个社区单元生态功能价值和经济功能价值 LISA 空间分布的基础上,对其指标的集聚和离散区域进行空间叠加,归并空间属性一致或类似的区域,统计空间集聚组合的类型单元,得到不同类型生态管理单元。具体来讲,由于区域之间存在扩散或极化效应,将扩散聚集区相邻的 NN 型单元划入 HH 型和 LL 型扩散区;将极化聚集区相邻的 NN 型单元划入 HL 型和 LH 型极化区,可以缩小或扩大区域空间差异^[27]。因此,将不显著区域 NN 型单元融合至邻近具有相似集聚或离散单元后,得到 11 组生态功能价值与经济功能价值的叠加组合(表 4)。

表 4 深圳市社区生态管理单元与城市生态管理分区对照表

Table 4 Comparison table of community ecological management unit and urban ecological management division in Shenzhen

城市生态管理分区 Urban ecological management division	生态管理单元 Ecological management unit	局部空间自相关类型 Local spatial autocorrelation type		单元数量 Unit number	面积 Area/km ²	面积占比 Percent/%
		生态功能价值 Ecological functional value	经济功能价值 Economic functional value			
		核心生态保护分区 Core ecological protection division	核心生态保护单元			
重点生态保育单元 侧重生态保育单元 生态涵养保育单元	重点生态保育单元	NN	HH	3	29.94	1.52
	侧重生态保育单元	HH	NN	4	7.34	0.37
	生态涵养保育单元	HH	HL	11	75.42	3.83
	一般生态保护分区 General ecological protection division	优先生态保护单元	HL	HH	5	64.37
生态修复保护单元 生态建设控制单元 生态重构保护单元 一般生态保护单元	生态修复保护单元	HL	HL	5	33.89	1.72
	生态建设控制单元	HL	NN	16	78.67	3.99
	生态重构保护单元	NN	HL	14	108.51	5.51
	一般生态保护单元	NN	NN	218	807.53	40.98
现代农业发展分区 Modern agricultural development division	现代农业发展单元	LH	NN	94	159.83	8.11
公共绿地保育分区 Public green conservation division	公共绿地保育单元	LL	NN	267	217.23	11.02

2.4 城市生态管理分区结果

对照综合功能价值空间自相关集聚图,将生态功能价值和经济功能价值不同组合集聚性区域进行合并,划分出 4 类基于生态系统服务的城市生态管理分区,即核心生态保护分区、一般生态保护分区、现代农业发展分区和公共绿地保育分区。

(1)核心生态保护分区。该分区以 HH 型集聚类型为主(包括 HH 型扩散区)。HH 型是生态功能价值和经济功能价值的高分值聚集区,区域内生态本底好且内部呈明显均值状态。根据组合类型归并,核心生态保护分区包含核心生态保护单元、重点生态保护单元、侧重生态保育单元和生态涵养保育单元,分区单元数量为 47 个,总面积为 488.84 km²。其中,核心生态保护单元主要分布在大鹏新区的南澳、大鹏和葵涌片区,重点生态保护单元零星分布在梧桐山、航城和九围片区,侧重生态保育单元分布在东海、下沙和应人石等社区,生态涵养保育单元集中于石岩、盐田和马峦片区。

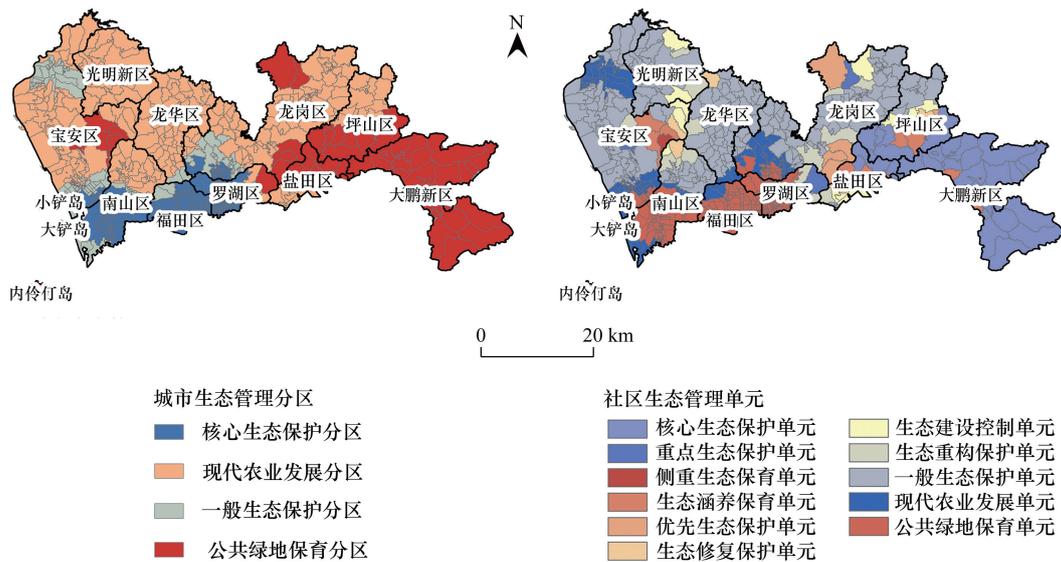


图 5 2017 年深圳市城市生态管理分区图

Fig.5 Zoning map of urban ecological management in Shenzhen, 2017

(2)一般生态保护分区。该分区以 HL 型集聚类型为主(包括 HL 型极化区)。HL 型代表生态功能价值和经济功能价值分布特征为中部高、四周低,在空间极化效应下,高值区域极易被低值区域同化。该分区的社区单元个数为 258 个,总面积为 1092.97 km²,包含优先生态保护单元、生态修复保护单元、生态建设控制单元、生态重构保护单元和一般生态保护单元 5 类组合。其中,优先生态保护单元分布在五联、大康和西坑等社区,生态修复保护单元分布在石井、海桐和官田等社区,生态建设控制单元分布在新美、凤凰和沿港等社区,生态重构保护单元分布在保安、六约和白花等社区,一般生态保护单元分布在宝安区、龙华区、光明新区和龙岗区等大部分社区。

(3)现代农业发展分区。该分区以生态功能价值 LH 型集聚类型为主,即 LH 型极化区。该区域内生态功能价值分布特征为中部低、四周高,经济功能价值分布特征并不显著。对于生态功能价值 LH 型而言,在空间极化效应下,低值区易被高值区同化。该分区是由现代农业发展单元构成,单元数量为 94 个,面积约为 159.83 km²,约占总面积的 8.11%。该分区主要分布在光明新区的西部、南山区中部、福田区北部以及龙岗区西南部,较为典型的社区有新桥、甘坑、布心、梅京和水径等。

(4)公共绿地保育分区。该分区由生态功能价值 LL 型和经济功能价值 NN 型组合,即 LL 型扩散区。LL 型扩散区是生态功能价值的低分值聚集区和经济功能价值的空间不相邻的非显著区,该分区生态本底条件相对较差且内部呈明显均值状态。该分区仅由公共绿地保育单元组成,社区单元数为 267 个,总面积

217.23 km²,集中分布于福田区、南山区和罗湖区的大部分社区。公共绿地保育单元的基本构成要素主要体现在为城市居民提供绿地景观及休闲游憩空间,包括城镇开发边界内的各类现状公园绿地、待建设公园绿地以及河道蓝线及河岸带等。

2.5 生态单元分区管控措施

已有研究表明有效的生态管理分区策略能够实现各项生态系统服务功能效益的最优化^[27]。鉴于此,本研究针对上述 4 种生态管理单元的分区划定结果,采取差异化的生态分区管控措施。

(1) 核心生态保护分区。该分区生态功能价值较高且依托良好的山水生态保护屏障,成为保护生态资源的核心地带。对该区域要采用保护与发展的策略,以保持水土、涵养水源及保育自然生态为首要目标,统筹考虑城市生态资源的整体性、协调性、安全性和功能性。该分区要严禁采石、取土等破坏景观、植被和地形地貌的活动;对占用水源保护区等核心生态资源的现状违法建筑要依法拆除;对具有保障性建筑设施予以留用外,其余建筑可通过货币补偿或结合城市更新、土地整备进行用地置换。另外,生态资源开发利用要遵循严格保护、科学管理和限制开发的原则,对于科学实验、观赏游览、科普教育等公益活动,要充分发挥自然保护区的科学研究与科普教育的功能。总体而言,核心生态保护分区要以科学规划、统一管理、严格保护、永续利用为出发点,形成系统科学的管理体系,以此保护具有涵养水源、水土保持、改善环境和维持生态平衡的核心生态保护区。

(2) 一般生态保护分区。具体管控措施是以保育该分区单元的生态功能为重要目标,保障生态环境不受干扰,维护生态安全格局稳定。在生态资源开发利用方面,坚持保护优先、开发服从保护的原则。空间用途管制上,允许非破坏性的休闲游憩、旅游观光以及科普教育等建设项目,以此突出生态单元的游憩服务功能。由于该分区单元以保护和修复生态环境、提供生态产品为首要任务。因此,鼓励因地制宜地发展生态保护与农业生产相结合的观光农业。为实现辖区水土保持稳定、生态环境优良的目标,政府部门应积极引导发展不影响主体功能定位的适宜产业,以充分发挥生态环境效益,并引导超载人口逐步有序转移,严格控制各类经济活动,以较为强制性地保护措施维护该区域的生态系统安全。

(3) 现代农业发展分区。该区域鼓励开展高标准农田建设和土地整治,以提高绿色农业等生态环境质量。在生态单元空间用途管制上,鼓励改善人居环境而进行的村庄建设与整治。允许修建育种育苗场所、温室、硬化晾晒场以及直接为农业生产服务的现代农业设施;支持从事农业科普、农事体验以及景观平台的生态项目以实现对既有建筑的活化利用;同时,适当配套交通设施、公用设施、绿地与广场、小型游乐设施等项目建设,以改善当地居民的生产、生活条件。在保障土地质量及土地生产力水平的前提下,现代农业发展分区重点发展生态农业类、生态旅游类等产业,积极引导乡村发展与生态旅游良性共生,以实现环境、社会、经济和生态效益的统一。

(4) 公共绿地保育分区。该分区以打造城市弹性空间为主。在保证生态空间开敞连通的前提下,公共绿地保育分区的社区生态治理主要体现在以人为本的原则。在空间用途管制上,应以与生态保护相适应的公共服务设施、市政设施等民生保障项目为主;允许不破坏生态环境的休闲游憩、旅游观光等休闲活动,生态空间规划引导多以公共服务设施及管理配套设施布局建设为重点,尤其是在基本生态网络空间内开展公共服务设施建设,引导开展非破坏性的休闲游憩、旅游观光等公益项目;在现状建设用地管控上,鼓励通过原址改造和综合整治进行建筑绿色化改造,如发展现代农业、教育科研、文化旅游以及康复保健等与生态环保相适宜的行业。

3 结论与讨论

3.1 讨论

3.1.1 生态系统服务价值空间差异的原因分析

2017 年深圳市生态系统服务功能价值空间差异结果表明,深圳市生态系统服务表现为东高西低的空间

分布,顺沿着大型山体区域至东南沿海地区形成了一个连续性的高价值生态服务带。造成这一特征格局的主要原因:一是地区资源禀赋的差异。相比中西部地区高生态价值资源分散的现状,东部地区拥有更为良好的生态本底条件,如梧桐山、马峦山和七娘山等大型山体,不仅生态价值极高,而且分布集中连片。二是城市生态发展的差异。依据地区资源条件,地方政府采取了差异化的城市生态定位。东部地区依托大型山体、绿地来打造连贯的郊野公园体系;中部地区因城市开发度高且人流密集,以渗入式山体与城市公园作为生态发展的方向;西部区域多伴有水库、山体等核心生态源,故采用保护核心区—开放边缘活动的局地保护性开发模式。三是生态保护政策的差异。现行生态保护体现为“两带、两心、七区、多廊的生态网络”的规划发展策略^[28]。2005年至今,深圳市实行基本生态控制线制度,对集中连片的高生态服务价值区域实施特殊保护,限制生态网络单元内开发建设活动。因此,东部生态源地不仅保持了良好的空间连通性,也形成了高生态系统服务价值区域。

3.1.2 同类研究对比与不足

建立可转换与可整合的生态系统服务的基础数据源,不仅能为城市规划与自然保护提供有效的信息,而且有利于生态系统服务的研究对比。生态系统服务功能价值的评估结果与数据来源密切相关。姜刘志等^[29]采用 World View3 遥感影像解译数据对深圳市福田区城市绿地的服务功能价值进行评估,得出 2015 年福田区绿地生态系统服务价值为 1.17 亿,与本文估算的 2017 年福田区绿地(园地、林地和草地之和)生态系统服务价值 11.09 亿元相比,差距近 10 倍。梁鸿等^[30]依据深圳市地质局论证的河流水文流量数据,对 2013 年深圳市水生态系统服务功能价值进行估算,比本研究按水域面积核算的 72.91 亿元多出 10 倍价值量。刘珍环等^[31]采用土地变更调查数据、统计年鉴数据和水资源公报数据核算的深圳市 2006 年水体生态价值为 33.91 亿元,比本研究水域面积核算结果少 53%。吴健生等^[24]基于 2010 年土地变更调查数据核算的深圳市生态系统服务价值为 314.81 亿元,比本研究结果少 46%。虽然造成深圳市生态系统服务价值评估差异的因素较多,抛开不同研究方法、不同指标价值当量参数以及不同时期评估结果的可比性等,基于相同数据源的生态系统服务价值的评估结果更接近。尽管通过土地变更调查数据能够有效量化土地利用类型对生态系统服务价值的影响。但鉴于学术界尚没有统一的评估核算方法,致使研究结果与管理实际存有差距。另外,受到研究者学术经验、知识积累和理论解读的影响,深圳市生态系统服务的指标设定存在一定的主观性,有待进一步完善指标体系。

3.2 结论

基于生态系统服务视角,从生态功能和经济功能 2 个方面构建表征生态系统服务的指标体系;运用局部空间自相关方法,以局部空间聚散特征为依据,通过空间叠加产生的组合类型对深圳市 666 个社区尺度的生态管理单元进行分区划定,并提出差异化的分区分管措施。得到结论:基于生态系统服务价值当量测算的深圳市生态系统服务价值能够表征高度城市化地区生态系统服务的整体水平。2017 年深圳市生态系统服务价值的空间差异明显。深圳市生态系统服务总价值约 583.96 亿元,呈现东部高中西部低的空间格局。其中,最高值为大鹏新区的 160.25 亿元,最低值为福田区的 13.24 亿元;深圳市生态功能价值和经济功能价值分别为 489.31 亿元和 94.65 亿元。生态系统服务价值的空间差异既与地区自然资源禀赋相关,又与城市生态定位关联。以不同生态系统服务价值的空间聚散特征为划分基础的城市生态管理分区,包含核心生态保护分区、一般生态保护分区,现代农业发展分区和公共绿地保育分区 4 类。鉴于城市生态管理分区能够兼顾各项生态系统服务并实现功能效益的最优化。因此,本研究城市生态管理分区对于深圳市城市生态系统精细化管理和生态治理差异化管控具有一定的参考价值。

参考文献 (References):

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington: Island Press, 1997: 220-221.
- [2] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-639.
- [3] 吴健生,王仰麟,张小飞,彭建,刘焱序. 景观生态学在国土空间治理中的应用. 自然资源学报, 2020, 35(1): 14-25.

- [4] 姚翠友, 陈国娇, 张阳. 基于系统动力学的城市生态系统建设路径研究——以天津市为例. 环境科学学报, 2020, 40(5): 1921-1930.
- [5] 成超男, 胡杨, 冯尧, 赵鸣. 基于 CA-Markov 模型的城市生态分区构建研究——以晋中主城区为例. 生态学报, 2020, 40(4): 1455-1462.
- [6] 吴蒙, 车越, 杨凯. 基于生态系统服务价值的城市土地空间分区优化研究——以上海市宝山区为例. 资源科学, 2013, 35(12): 2390-2396.
- [7] Peng J, Wang A, Luo L W, Liu Y X, Li H L, Hu Y N, Meersmans J, Wu J S. Spatial identification of conservation priority areas for urban ecological land: an approach based on water ecosystem services. *Land Degradation & Development*, 2019, 30(6): 683-694.
- [8] 高喆, 曹晓峰, 黄艺, 李发荣. 滇池流域水生生态功能—二级分区研究. 湖泊科学, 2015, 27(1): 175-182.
- [9] 朱金峰, 周艺, 王世新, 王丽涛, 刘文亮, 李海涛, 梅建军. 白洋淀湿地生态功能评价及分区. 生态学报, 2020, 40(2): 459-472.
- [10] Pukkala T. Effect of species composition on ecosystem services in European boreal forest. *Journal of Forestry Research*, 2018, 29(2): 261-272.
- [11] 刘春芳, 乌亚汗, 王川. 基于生态服务功能提升的高标准农田建设的分区方法. 农业工程学报, 2018, 34(15): 264-272.
- [12] 闫人华, 高俊峰, 董川永, 黄佳聪. 太湖流域圩区陆地生态服务价值评估. 环境科学研究, 2015, 28(3): 393-400.
- [13] Shen C C, Zheng W, Shi H H, Ding D W, Wang Z L. Assessment and regulation of ocean health based on ecosystem services: case study in the Laizhou Bay, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 34(12): 61-66.
- [14] 马程, 李双成, 刘金龙, 高阳, 王阳. 基于 SOFM 网络的京津冀地区生态系统服务分区. 地理科学进展, 2013, 32(9): 1383-1393.
- [15] 李慧蕾, 彭建, 胡熠娜, 武文欢. 基于生态系统服务簇的内蒙自治区生态功能分区. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2657-2666.
- [16] 张昌顺, 谢高地, 曹淑艳, 冷允法, 肖玉. 中国县域生态功能格局研究. 资源科学, 2012, 34(9): 1636-1646.
- [17] 唐秀美, 刘玉, 刘新卫, 潘瑜春, 吴彦澎, 李虹. 基于格网尺度的区域生态系统服务价值估算与分析. 农业机械学报, 2017, 48(4): 149-153, 205-205.
- [18] 柳冬青, 张金茜, 巩杰, 曹二佳. 基于“三生功能簇”的甘肃白龙江流域生态功能分区. 生态学杂志, 2019, 38(4): 1258-1266.
- [19] 谢余初, 张素欣, 林冰, 赵银军, 胡宝清. 基于生态系统服务供需关系的广西县域国土生态修复空间分区. 自然资源学报, 2020, 35(1): 217-229.
- [20] Sauter I, Kienast F, Bolliger J, Winter B, Pazúr R. Changes in demand and supply of ecosystem services under scenarios of future land use in Vorarlberg, Austria. *Journal of Mountain Science*, 2019, 16(12): 2793-2837.
- [21] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.
- [22] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [23] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [24] 吴健生, 黄乔, 曹祺文. 深圳市基本生态控制线划定对生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2018, 38(11): 3756-3765.
- [25] Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93-115.
- [26] Chen D L, Lu X H, Liu X, Wang X. Measurement of the Eco-environmental effects of urban sprawl: theoretical mechanism and spatiotemporal differentiation. *Ecological Indicators*, 2019, 105: 6-15.
- [27] 管青春, 郝晋珉, 许月卿, 任国平, 康蕾. 基于生态系统服务供需关系的农业生态管理分区. 资源科学, 2019, 41(7): 1359-1373.
- [28] 深圳市规划和自然资源局. 深圳市基本生态控制线保护与发展空间规划纲要. 深圳: 深圳市规划和自然资源局, 2019.
- [29] 姜刘志, 杨道运, 梅岑岑, 班远冲, 杨小毛. 城市绿地生态系统服务功能及其价值评估——以深圳市福田区为例. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2018, 52(3): 424-431.
- [30] 梁鸿, 潘晓峰, 余欣繁, 许旺, 陈慧明, 李晓科. 深圳市水生态系统服务功能价值评估. 自然资源学报, 2016, 31(9): 1474-1487.
- [31] 刘珍环, 王仰麟, 彭建, 李猷, 吴健生. 深圳市水体景观破碎化动态及其生态价值变化. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(2): 286-292.