

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2022.03.009

衡阳市中心城区城市绿地生态系统服务供需匹配研究

刘鑫^{1,2}, 齐增湘^{1,2,3*}, 王宽^{1,2}, 李涛^{1,2}

(1. 南华大学 松霖建筑与设计艺术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 衡阳市科技局 生态型区域/城市规划与管理重点实验室, 湖南 衡阳 421001; 3. 湖南省健康城市营造工程技术研究中心, 湖南 衡阳 421001)

摘要:以衡阳市中心城区为例,结合城市绿地生态系统服务功能特点,采用生态模型法和价值当量法测算空气净化、气候调节、休闲娱乐和水源涵养4项生态系统服务的供给和需求,并分析其空间匹配关系。结果表明:1)生态系统服务空气净化、气候调节、休闲娱乐和水源涵养供给能力分别为 21.75×10^6 元、 167.01×10^8 元、 50.42×10^6 元和 288.83×10^6 元,空间上总体呈现中心低四周高的空间分布特点。2)各生态系统服务需求分别为 73.77×10^3 元、 $2\,076.71 \times 10^8$ 元、 $2\,532.94 \times 10^6$ 元和 630.27×10^8 元,其空间呈现中心高四周低的空间特征。3)各生态系统服务的供需匹配度从高到低依次是空气净化(0.51)、气候调节(-0.57)、休闲娱乐(-0.66)和水源涵养(-0.68),且具有明显的空间差异性,空气净化匹配度高值区主要分布在城区周边区域,其他三项生态服务高值区则主要分布在研究区的东北部。

关键词:生态系统服务;供需匹配;城市绿地;空间差异

中图分类号:TU985.12;X171.1 文献标志码:A

文章编号:1673-0062(2022)03-0060-09 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Ecosystem Services Supply and Demand Matching of Urban Green Space in Hengyang

LIU Xin^{1,2}, QI Zengxiang^{1,2,3*}, WANG Kuan^{1,2}, LI Tao^{1,2}

(1. Solux College of Architecture and Design, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 2. Key Laboratory of Ecological Regions-Urban Planning and Management of Hengyang Science and Technology Department, Hengyang, Hunan 421001, China; 3. Hunan Health City Construction Engineering Technology Research Center, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Taking the central urban area of Hengyang city as an example, this paper uses ecological model method and value equivalent method to calculate the supply and demand of four ecosystem services, including air purification, climate regulation, ecological leisure

收稿日期:2022-03-08

基金项目:湖南省科技厅科技计划重点项目(2015SK2003);湖南省教育厅重点科研项目(18A245)

作者简介:刘鑫(1996—),女,硕士研究生,主要从事生态规划等方面的研究。E-mail:332143748@qq.com。*通信作者:齐增湘(1972—),男,副教授,博士,主要从事生态规划等方面的研究。E-mail:qizengxiang@126.com

and water conservation, and analyzes their spatial matching relationship. The results showed that: (1) The supply capacity of the four ecosystem services including air purification, climate regulation, ecological leisure and water conservation is 21.75×10^6 yuan, 167.01×10^8 yuan, 50.42×10^6 yuan and 288.83×10^6 yuan, respectively and the spatial distribution is low in the center and high in the surroundings. (2) The demand for each ecosystem service is 73.77×10^3 yuan, $2\ 076.71 \times 10^8$ yuan, $2\ 532.94 \times 10^6$ yuan and 630.27×10^8 yuan, respectively. The spatial characteristics of the ecosystem service demand were high in the center and low around. (3) The matching degree of supply and demand of each ecosystem service from high to bottom is air purification (0.51), climate regulation (-0.57), ecological leisure (-0.66) and water conservation (-0.68), with obvious spatial difference. The regions with high matching degree of air purification are mainly distributed in the surrounding areas. The other three high value areas of ecological services were mainly distributed in the northeast of the study area.

key words: ecosystem services; matching supply and demand; urban green space; spatial differentiation

0 引言

生态系统服务是指人类从生态系统服务中获得有助于人类社会发展的惠益^[1]。城市绿地是由自然或半自然景观组成能够提供一系列生态系统服务功能的多功能生态系统^[2],提供空气净化、气候调节和休闲娱乐等各种生态系统服务,这些服务为城市居民身心健康提供保证。随着城市化进程加快,人口数量不断增多,人们对环境质量要求提高,导致人们对生态系统服务需求增加,从而使城市绿地生态系统服务供给与需求之间呈现不匹配情况,城市绿地生态系统服务供需匹配研究已成为当前研究趋势之一。

城市绿地生态系统提供的生态系统服务功能受绿地的结构、组成等因素影响而呈现明显的差异性。不同学者对城市绿地生态系统进行多方面研究,在生态系统服务供给和需求的定量研究中,主要集中在生态系统服务供给方面研究,大部分学者采用生态模型法^[3]、价值当量法^[4-5]、人工治理费用法^[6-7]等进行量化研究。随着城市化进程加快,人们对生活水平提高,在生态系统服务需求方面研究也方兴未艾,采用社会经济综合指标法^[8-9]、社会偏好^[10-11]等方法进行探讨。针对城市绿地生态系统服务供给与需求存在不匹配的情况,不同学者通过矩阵法^[12-13]、阈值法^[14]、供需比^[15]、标准化方法^[16]等方法对供需匹配进行研究,各有其优点和局限性。总体而言,对城市绿地生态系统服务供给方面的研究主要采用价值当量法,该方法具有一定的局限性,忽视了生态系统服

务基本特征;在需求方法方面,主要采用综合指标进行核算,该方法概括性特征明显,但忽略了各项服务的特征;在城市绿地生态系统服务供需匹配方面,主要对供需指标进行归一化测算,该方法对结果存在一定的误差。就研究内容而言,相关研究最主要集中在对城市绿地生态系统服务价值的总量评估,对生态系统服务需求研究较少。此外,在空间尺度上,生态系统服务供需关系研究多基于区域、国家等大尺度,对生态系统服务需求高度密集的城市建成区的生态系统服务供需关系研究不足,特别对于城市绿地生态系统服务供需匹配的研究相对较少。

由于全球气候变暖以及人类活动的影响,近年来衡阳市出现了空气质量下降和持续高温等现象,引起了人们的关注。已有研究仅对衡阳市生态系统服务价值变化进行分析,但缺乏对该区域生态系统服务供需匹配进行分析。因此,本文选取空气净化、气候调节、休闲娱乐和水源涵养4种生态系统服务,采用人工治理费用法、价值当量以及社会经济数据对衡阳市中心城区绿地生态系统服务供给和需求进行量化,最后利用供需比方法对生态系统服务供需匹配进行研究。研究结果可为衡阳市绿地资源有效配置,实现生态系统服务可持续发展提供科学依据。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

衡阳市位于 $110^{\circ} 32' 16'' \sim 113^{\circ} 16' 32''$ E、 $26^{\circ} 07' 05'' \sim 27^{\circ} 28' 24''$ N 之间,属于亚热带季风气

候,年均降雨量为 1 275.5 mm,年均蒸发量为 755 mm,年平均气温为 19 ℃。属于典型的盆地城市,本文以衡阳市中心城区下辖的蒸湘区、石鼓区、雁峰区及珠晖区下的乡镇街道为研究对象(图 1),总面积约 515.12 km²,其中城市绿地面积约 93.14 km²,2020 年末中心城区人口 105.3 万人。

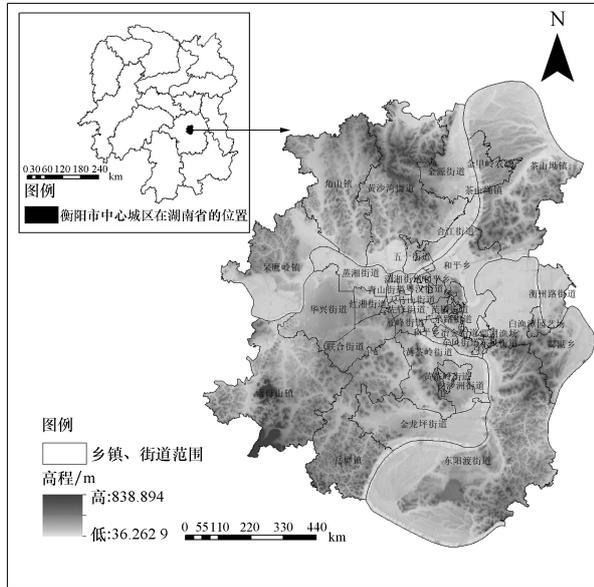


图 1 研究区示意图

Fig.1 Schematic diagram of the study area

1.2 数据来源

研究数据分别为:1)2020 年土地利用采用中科院数据库中 30 m×30 m 数据产品,将地类归类为耕地、林地、园地、草地、水域、建设用地和未利用地 7 类;2)降水量数据来源于中国气象数据共享网;3)潜在蒸散发来自 CGIAR-CSI Geo Portal;4)空气质量数据来自中国空气质量监测分析平台,连续获取 2020 年日数据,在 ArcGIS10.2 中通过插值法进行空间化;5)衡阳市中心城区 2020 各乡镇人口来源于衡阳市统计年鉴;6)水资源消耗数据来自湖南省水资源公报;7)地理坐标系统一采用 WGS_1984_Albers。

2 研究方法

2.1 生态系统服务供需评估

2.1.1 空气净化

1)城市人口密度高、人流量大、汽车排气排放物等因素,导致空气中污染物浓度高,通过植物吸收气体污染物(二氧化硫、氢氧化物等)和吸附颗粒物,达到滞尘作用。本文参考《排污费征收

标准及计算方法》收费标准,主要对城市绿地吸收二氧化硫、氢氧化物和滞尘功能进行测算。

测算衡阳市景观吸收二氧化硫、氢氧化物和滞尘的生态系统服务经济价值,公式如下:

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} \times A_i \quad (1)$$

$$V_{ap} = \sum_{i=1}^3 Q_{ap} \times c_i \quad (2)$$

式中: V_{ap} 为空气净化服务价值,元; Q_{ap} 为大气污染净化量,kg/a; Q_{ij} 为第 i 类生态系统服务第 j 中大气污染物的单位面积净化量(见表 1); i 为生态系统服务类型; j 为大气污染物类型; A_i 为单位栅格面积,m²; c 为不同种类大气污染物处理成本(SO₂ 为 0.6 元/kg、NO_x 为 0.63 元/kg、滞尘为 0.17 元/kg)。

表 1 单位面积景观类型对污染物的物质吸收量

Table 1 Matter absorption of pollutants by landscape type per unit area

景观类型	生态系统服务		
	吸收二氧化硫/ (kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	吸收氢氧化物/ (kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	滞尘/ (kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)
林地	152.13	6	21 655
草地	279.03	6	120
耕地	45	33.5	1 500
园地	152.13	6	21 655

注:林地的滞尘、二氧化硫和氢氧化物吸收能力取阔叶林和针叶林的平均水平^[6,17];耕地吸收二氧化硫、氮氧化物和滞尘能力^[18-19];单位面积草地吸收二氧化硫、氮氧化物、滞尘量^[20]。

2)空气净化需求:城区生活中汽车排气排放物等导致空气质量下降,居民对洁净环境的需求^[21]。本研究将空气中污染物做净化处理到洁净状态所要花费的费用作为空气净化需求价值。

$$P_i = \sum_{j=1}^3 (S \times H \times P_j \times Q_{ij} \times P_{pop}) \quad (3)$$

式中: P_i 为空气净化需求价值,元; S 为单位面积栅格,m²; H 为高度,取普通 6 楼居民楼高 20 m; P_j 为第 j 种处理成本,元/kg; Q_{ij} 为栅格 i 上第 j 种污染物浓度,μg/m³; P_{pop} 为人口密度,人/栅格。

2.1.2 气候调节

1)气候调节通过蒸腾蒸发作用消耗能量进行调节气温,改善人居环境舒适程度的功能,最终达到节约用电量的目的^[22]。本文选择生态系统蒸腾蒸发消耗的能量作为气候调节服务对应的供

给指标,包括植被蒸腾作用和水面蒸发作用两个方面。公式如下:

$$S_c = \frac{\sum_{i=1}^n E_{pp} \times S_i \times D}{3600 \times R} + (E_w \times q \times \rho \times 10^3 / 3600 + E_w \times y) \quad (4)$$

$$V_{S_c} = S_c \times c \quad (5)$$

式中: D 为气候调节价值,元; S_c 为生态系统蒸腾蒸发消耗的能量,kWh; E_{pp} 为不同生态系统类型单位蒸腾消耗热量(林地 $2\,837.27\text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,灌丛 $1\,300.95\text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,草地 $969.83\text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$); S_i 为栅格面积, m^2 ; R 为空调能效比,3.0; D 为空调开放天数,d; i 为研究区不同生态系统类型; E_w 为水面蒸发量, m^3/a (衡阳市蒸发量取值为 755 mm); q 为1克水蒸发所需热量,取 $2\,453.2\text{ J/g}$; ρ 为水的密度,取 1 g/cm^3 ; y 为加湿器将 1 m^3 水转化为蒸汽的耗电量,取 120 kWh/m^3 ; c 为衡阳市电价,元。

2)气候调节需求:根据人均工业用电、生活用电的总量作为气候调节需求指标,各乡镇人口进行空间化,计算公式如下:

$$D_c = P \times L \times 0.75 / A_i \quad (6)$$

$$V_{D_c} = D_c \times c \quad (7)$$

式中: V_{D_c} 为气候调节需求价值,元; D_c 为生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量,kWh; P 为衡阳市中心城区乡镇人口数; L 为人均耗电量, kWh/a ; A_i 为栅格面积, m^2 ;0.75为修正系数; c 为衡阳市电价,元。

2.1.3 休闲娱乐

1)城市绿地具有为城市居民提供休闲娱乐的功能,参考相关研究^[23-24],得到单位面积景观休闲娱乐价值当量表,选择休闲娱乐价值量作为休闲娱乐对应的供给指标,公式如下:

$$E_{SV} = \sum_{i=1}^n (V_c \times A_i) \quad (8)$$

式中: E_{SV} 为休闲娱乐价值,元; V_c 为单位面积生态系统服务价值(林地和园地为 $3\,215.53\text{ 元}/\text{hm}^2$ 、草地 $2\,143.68\text{ 元}/\text{hm}^2$ 、耕地 $211.55\text{ 元}/\text{hm}^2$ 、水域 $5\,331\text{ 元}/\text{hm}^2$ 、建设用地和未利用地为0); A_i 为栅格面积, m^2 。

2)休闲娱乐需求:城市居民休闲娱乐与绿地空间密切相关,用人均绿地面积作为休闲娱乐需求的代用指标,假定当达到全国人均绿地面积水平认为满足休闲娱乐需求,计算公式如下:

$$E_i = C \times \bar{V} \times P_{\text{pop}} \quad (9)$$

式中: E_i 为休闲娱乐需求价值,元; C 为全国人均绿地面积, $\text{m}^3/\text{人}$; \bar{V} 为单位面积绿地提供休闲娱乐的平均价值,元/ m^2 ; P_{pop} 为人口密度,人/栅格。

2.1.4 水源涵养

1)水源涵养为城市绿地通过截留雨水、枯枝落叶吸收水分等方式,将水分留存在生态系统服务系统内部的能力。水源涵养服务供给采用水量平衡方程计算,公式如下:

$$S_w = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - E_i) \times A_i \quad (10)$$

$$V_{S_w} = S_w \times c \quad (11)$$

式中: V_{S_w} 为水源涵养价值,元; S_w 为水源涵养量, m^3 ; P_i 为年平均降雨量,mm; R_i 为地表径流量,mm; E_i 为蒸散发量,mm; A_i 为栅格面积, m^2 ; i 为研究区第 i 类生态系统类型; j 为研究区生态系统类型数; c 为衡阳市水价,元。

地表径流系数通过查阅相关的文献^[25],如表2,地表径流量计算公式如下:

$$R_i = P_i \times \alpha \quad (12)$$

式中, α 为地表径流系数(表2)。

2)水源涵养需求:指满足地区发展所需要的水资源量,根据人均工业用水、生活用水和农业用水的总量计算水源涵养需求,具体数值采用2020年统计年鉴记载的实际用水量,公式如下:

$$D_w = \rho \times \chi \quad (13)$$

$$V_{D_w} = D_w \times c \quad (14)$$

式中: V_{D_w} 为水源涵养需求价值,元; D_w 为水源涵养需求量, m^3 ; ρ 为栅格人口密度,人/栅格; χ 为人均用水量, m^3 ; c 为衡阳市水价,元。

表2 不同土地利用类型的地表径流系数
Table 2 Surface runoff coefficients of different land use types

land use types	%
土地覆盖类型	地表径流系数
耕地	42.2
有林地	2.67
灌木林	4.26
疏林地	19.20
其他林地	9.57
草地	3.87
水域	0
建设用地	100
未利用土地	100

2.2 生态系统服务供需匹配

本文采用生态系统服务供给与人类需求的生态系统服务供需比(ecosystem services supply/demand ratio, ESDR)表征生态系统服务供需匹配,公式如下:

$$E_{sdr} = \frac{S - D}{(S_{max} + D_{max})/2} \quad (15)$$

式中: E_{sdr} 为正值表示某种生态系统服务供过于求,为零值表示某种生态系统服务供需平衡,为负值表示某种生态系统服务供不应求; S 为生态系

统服务供给; D 为生态系统服务需求; S_{max} 为生态系统服务供给最大值; D_{max} 为生态系统服务需求最大值。

3 研究结果

3.1 生态系统服务供给特征

总体来看,城市绿地生态系统服务总供给为 170.62×10^8 元,其空间分布具有明显的一致性(见表3、图2)。

表3 衡阳市中心城区生态系统服务平均供需量

Table 3 Average supply and demand of ecosystem services of each street in central urban area of Hengyang city

名称	空气净化/(元·hm ⁻²)		气候调节/(10 ⁴ 元·hm ⁻²)		休闲娱乐/(10 ³ 元·hm ⁻²)		水源涵养/(10 ³ 元·hm ⁻²)	
	供给	需求	供给	需求	供给	需求	供给	需求
白沙洲街道	172.69	4.45	25.91	1 241.31	0.53	151.40	2.43	3 767.27
白渔潭园艺场	453.86	1.51	59.34	419.10	1.26	51.12	5.53	1 271.95
茶山坳镇	1 408.51	2.18	67.36	609.76	2.17	74.37	13.50	1 850.58
呆鹰岭镇	915.98	4.15	59.89	1 246.28	1.72	152.01	10.69	3 782.36
东风街道	236.10	3.29	49.85	908.87	0.96	110.85	3.96	2 758.36
东阳渡街道	1 297.19	3.42	61.59	951.02	2.02	115.99	11.62	2 886.28
广东路街道	1.29	5.47	73.94	1 457.59	1.12	177.78	3.80	4 423.66
合江街道	224.65	3.28	124.10	931.14	2.12	113.57	9.02	2 825.95
和平乡	629.48	3.84	91.28	1 065.72	1.93	129.99	9.15	3 234.39
衡州路街道	671.30	1.34	71.29	371.60	1.81	45.32	9.70	1 127.77
红湘街道	31.59	7.58	0.64	2 069.99	0.03	252.47	0.54	6 282.27
华兴街道	53.80	6.14	7.90	1 776.38	0.17	216.66	0.77	5 391.17
黄茶岭街道	362.15	4.04	71.79	1 133.76	1.37	138.28	5.97	3 440.88
黄沙湾街道	1 221.00	2.63	37.28	742.82	1.67	90.60	10.27	2 254.42
角山镇	1 107.73	3.11	52.08	884.58	1.74	107.89	12.34	2 684.64
金甲岭农场	1 303.64	1.19	90.61	332.21	2.42	40.52	13.94	1 008.23
金龙坪街道	723.79	3.01	58.41	837.58	1.46	102.16	7.13	2 541.98
金源街道	711.60	1.58	65.03	443.81	1.58	54.13	8.18	1 346.93
联合街道	331.63	5.46	25.58	1 482.24	0.66	180.79	3.74	4 498.49
酃湖乡	1 028.27	2.72	65.39	752.63	1.90	91.80	9.91	2 284.18
酃湖渔场	66.98	1.01	55.39	278.61	0.90	33.98	3.75	845.56
苗圃街道	424.87	5.00	19.89	1 359.42	0.64	165.81	3.34	4 125.74
青山街道	0.00	5.27	2.57	1 401.36	0.04	170.92	0.14	4 253.01
人民街道	0.00	4.13	39.09	1 086.36	0.59	132.50	2.01	3 297.03
天马山街道	0.00	3.90	0.00	989.46	0.00	120.68	0.00	3 002.93
五一街道	113.87	4.28	43.66	1 228.31	0.90	149.82	3.65	3 727.84
先锋街道	0.00	4.14	74.00	1 078.20	1.12	131.51	3.80	3 272.25
潇湘街道	0.00	5.42	86.66	1 475.28	1.32	179.94	4.57	4 477.36
雁峰街道	0.07	5.08	48.00	1 336.28	0.73	162.98	2.46	4 055.51
冶金街道	0.49	3.21	4.31	893.24	0.07	108.95	0.27	2 710.93
雨母山镇	1 486.82	3.70	58.65	1 056.07	2.15	128.81	12.66	3 205.10
岳屏镇	1 337.58	3.80	49.65	1 057.34	1.81	128.96	10.21	3 208.94
粤汉街道	172.26	4.24	49.13	1 148.67	0.88	140.10	3.51	3 486.12
蒸湘街道	116.57	5.30	32.79	1 493.72	0.59	182.19	2.90	4 533.32

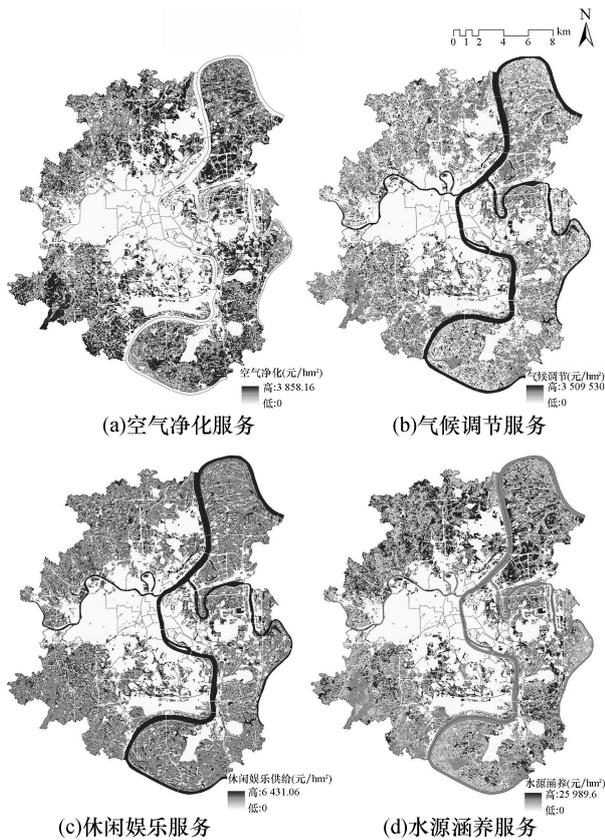


图 2 衡阳市中心城区各生态系统供给空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of ecosystem supply in central urban area of Hengyang city

空气净化服务总供给为 21.75×10^6 元。从空间分布来看,整个衡阳市空气净化服务能力存在明显的空间异质性,呈现中心低四周高的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区的雨母山镇、茶山坳镇和岳屏镇,年均空气净化价值达到 $1\,337.58$ 元/ hm^2 以上,主要原因是林地资源丰富,具有很强吸收污染物的能力,因此这些区域的空气净化服务供给普遍高。空气净化较低的区域主要分布在潇湘街道、天马山街道和先锋街道等,这些区域主要是以建设用地为主,林地等植被资源覆盖率较低,因此空气净化价值低。

气候调节总供给为 167.01×10^8 元。从空间分布来看,整个衡阳市气候调节服务能力存在明显的空间差异性,呈现中心低四周高的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区的合江街道、和平乡和金甲岭农场,年均气候调节达到 90.61×10^4 元/ hm^2 以上,主要原因是这些区分布在水域周边,水面蒸发产生大量水蒸气,调节周围空气的湿度和降水的能力更强,因此这些区域的气候调节供给高。气候调节较低的区域主要分布在红湘

街道、青山街道和天马山街,这些区域主要是以建设用地区为主,人口密度大,植被覆盖率和水资源相对较低,因此气候调节服务比较低。

休闲娱乐总供给为 50.42×10^6 元。从空间分布来看,整个衡阳市休闲娱乐服务能力存在明显的空间异质性,呈现中心低四周高的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区的金甲岭农场、茶山坳镇、雨母山镇和合江街道,年均休闲娱乐达到 2.12×10^3 元/ hm^2 以上,主要原因是林地和水域分布广泛,单位面积提供生态系统服务价值大,因此这些区域的休闲娱乐服务供给普遍高。休闲娱乐较低的区域主要分布在天马山街道、青山街道和红湘街道,这些区域主要是以建设用地为主,植被资源覆盖率较低,因此休闲娱乐价值低。

水源涵养服务总供给为 288.83×10^6 元。从空间分布来看,整个衡阳市水源涵养服务能力存在明显的空间异质性,呈现中心低四周高的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区的金甲岭农场、茶山坳镇和雨母山镇,年均水源涵养服务达到 12.66×10^3 元/ hm^2 以上,主要原因是林地覆盖率较高,且降雨量较大,因此这些区域的水源涵养服务供给较高。水源涵养较低的区域主要分布在冶金街道、天马山街道和青山街道,这些区域主要是以建设用地为主,径流不易下渗,因此水源涵养能力小。

3.2 生态系统服务需求特征

总体来看,城市绿地生态系统服务总需求为 $2\,732.31 \times 10^8$ 元,其空间分布具有明显的一致性(表 3、图 3),主要与人口分布有着密切关系。

空气净化需求服务总需求为 73.77×10^3 元,从空间分布来看,整个衡阳市空气净化需求服务能力存在明显的空间异质性,总体呈现中心高四周低的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区的红湘街道、华兴街道和广东路街道,年均空气净化需求价值达到 5.47 元/ hm^2 以上,主要原因是建设用地多,人口分布广泛,因此这些区域的空气净化需求服务普遍高。空气净化需求较低的区域主要分布在酃湖渔场、金甲岭农场和衡州路街道,这些区域主要是植被资源覆盖率较高,对污染物吸收能力强,因此人们对空气净化需求服务低。

气候调节服务总需求为 $2\,076.71 \times 10^8$ 元。从空间分布来看,整个衡阳市气候调节需求服务能力存在明显的空间异质性,呈现中心高四周低的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区

的红湘街道、华兴街道和蒸湘街道,年均气候调节需求价值达到 $1\,493.72 \times 10^4$ 元/ hm^2 以上,主要原因是人口分布广泛,经济发达,车流量大,因此这些区域的气候调节需求服务需求普遍高。气候调节需求较低的区域主要分布在酃湖渔场、金甲岭农场和衡州路街道,这些区域植被和水域资源丰富,因此气候调节需求价值低。

休闲娱乐服务总需求为 $2\,532.94 \times 10^6$ 元。从空间分布来看,整个衡阳市休闲娱乐需求服务能力存在明显的空间异质性,呈现中心高四周低的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区的红湘街道、华兴街道和蒸湘街道,年均休闲娱乐需求价值达到 182.19×10^3 元/ hm^2 以上,主要原因是建设用地多,人口密度大,人类活动频繁,因此这些区域的休闲娱乐需求服务需求普遍高。休闲娱乐需求较低的区域主要分布在酃湖渔场、金甲岭农场和衡州路街道,这些区域生态本底良好,因此休闲娱乐需求价值低。

水源涵养服务总需求为 630.27×10^8 元。从空间分布来看,整个衡阳市水源涵养需求服务能力存在明显的空间异质性,呈现中心高四周低的空间分布。高值区主要分布在衡阳市中心城区的红湘街道、华兴街道和蒸湘街道,年均水源涵养需求达到 $4\,533.32 \times 10^3$ 元/ hm^2 以上,主要原因是人口密度大,人类干扰程度高,因此这些区域的水源涵养需求服务需求较大。水源涵养需求较低的区域主要分布在酃湖渔场、金甲岭农场和衡州路街道,这些区域主要是自然植被丰富,人口稀疏,因此水源涵养需求能力小。

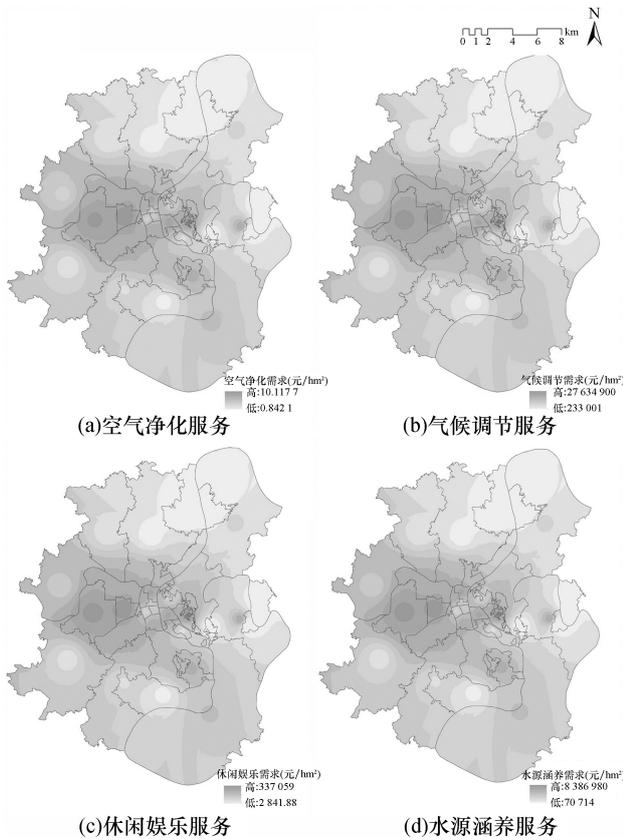


图3 衡阳市中心城区各生态系统需求空间分布
Fig.3 Spatial distribution of ecosystem demand in central urban area of Hengyang city

3.3 生态系统服务供需匹配分析

通过供需比方法计算衡阳市中心城区绿地生态系统服务供需匹配,得到区空气净化、气候调节、休闲娱乐和水源涵养服务的供需比分别为 0.51、-0.57、-0.66、-0.68。表明研究区空气净化空间匹配度高于气候调节、休闲娱乐和水源涵养服务。通过各项生态系统服务供需比进行分析,表明衡阳市中心城区生态系统服务供需分配不均衡(见图4、图5)。

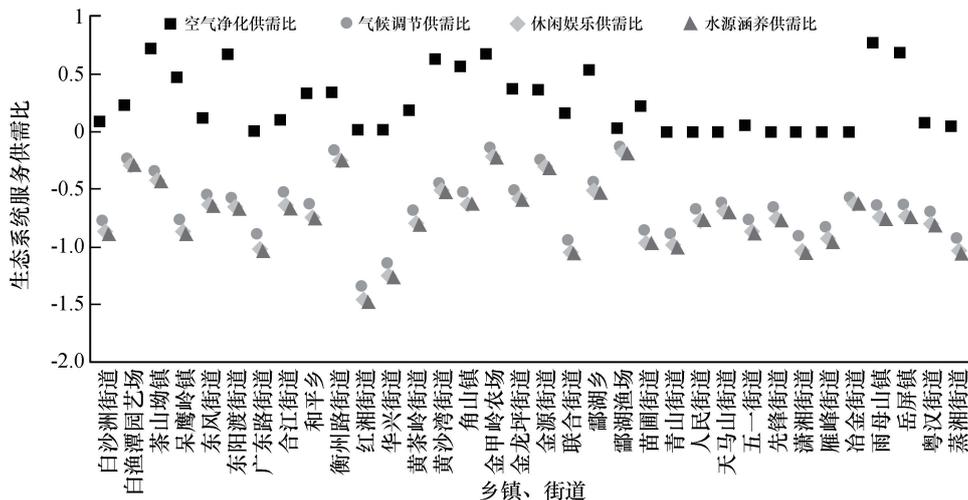


图4 衡阳市中心城区各生态系统供需比

Fig.4 Supply and demand ratio of each ecosystem in central urban area of Hengyang city

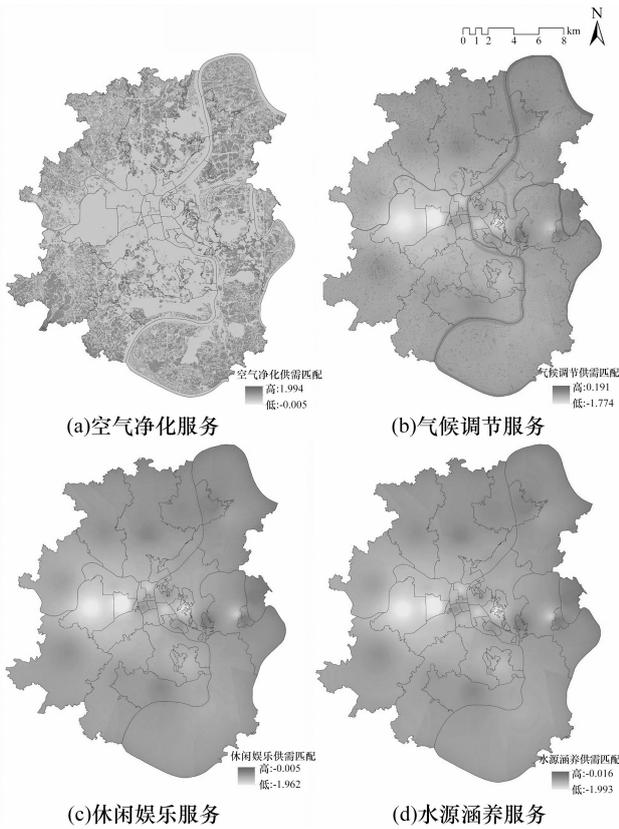


图5 衡阳市中心城区各生态系统供需匹配空间分布
Fig.5 Spatial distribution of supply and demand matching among ecosystems in central urban area of Hengyang city

空气净化供需匹配的空间分布来看,总体呈现“四周高、中间低”的分布格局,供需匹配较高的区域位于雨母山镇、茶山坳镇和岳屏镇,主要原因是人口分布少,林地和园地资源丰富,吸收二氧化硫和滞尘能力较强,所以这些区域供需匹配较高。供需匹配较低区域主要分布在雁峰街道、青山街道和潇湘街道,原因是这些区域植被覆盖率较低,建设用地广阔,导致空气净化供需匹配低。

气候调节供需匹配空间分布来看,研究区东北部高于中西部地区,供需匹配较高的地区主要分布在金甲岭农场、衡州路街道和酃湖渔场,主要原因是这些区域水域面积大,蒸腾消耗量大,因此气候调节供需匹配高。供需匹配较低的区域主要分布在蒸湘区的东部的红湘街道和华兴街道,主要原因是建设用地面积大,林地资源缺乏。

休闲娱乐供需匹配空间分布来看,研究区北部高于西部地区,供需匹配较高的地区主要分布在金甲岭农场、衡州路街道和酃湖渔场,主要原因是这些区域主要分布在水域周边,且植被覆盖率高,因此休闲娱乐供需匹配高。供需匹配较低的

区域主要分布在蒸湘区的东部的红湘街道和华兴街道,主要原因是建设用地面积大,人口数量多,对城市绿地需求高,导致休闲娱乐匹配度较低。

水源涵养供需匹配的空间分布情况看,东北部高于中西部地区,供需匹配较高的区域位于金甲岭农场、酃湖渔场和衡州路街道,主要原因是植被覆盖率较大,降雨量丰富,蒸发量小,且人口分布少,对水资源的需求少,所以这些区域水源涵养供需匹配较高。供需匹配较低区域主要分布在红湘街道、华兴街道和蒸湘街道,原因是这些区域年均降雨量较大,且这部分的人口密度大,耗水量较高,导致水源涵养供需匹配低。

4 结 论

生态系统服务供需匹配是实现资源合理配置的基础,生态系统服务供给测算方法相对成熟,但需求测算上仍是一个难点。本研究综合考虑人口及日常生活用水等,来表征生态系统服务需求,基于供需比对各个镇、街道生态系统服务供需匹配研究,得到四种生态系统服务供需匹配空间分布图,较好地描述衡阳市绿地生态系统服务供需匹配,可以较好地为衡阳市绿地系统优化提供指导。

城市绿地生态系统服务是复合生态系统,受多种因素的影响。本研究选取空气净化、气候调节、休闲娱乐和水源涵养4种生态系统服务,基本能反映城市绿地生态系统服务,其他服务也具有相应的功能,由于数据获取难度,忽略了减弱噪声、固碳释氧等指标的测算。生态系统是一个动态的过程,未来研究在完善数据的同时,还应当考虑生态系统服务流的影响,通过供给与需求之间动态关系,进一步对绿地资源配置提出合理化的建议。

本研究以衡阳市中心城区城市绿地为研究对象,测度了空气净化、气候调节、休闲娱乐和水源涵养4种生态系统服务的供给和需求,以及生态系统服务供需匹配空间分布,得到如下结论:

1)衡阳市城市绿地生态系统服务供给空间具有明显一致性,空气净化、气候调节、休闲娱乐和水源涵养均表现为由中心低四周高的空间分布。空气净化高值区主要位于植被资源丰富的南北部地区。气候调节高值区主要位于水资源丰富的湘江与耒水交界的地区。休闲娱乐高值区主要位于植被和水资源丰富的东部地区。水源涵养高值区主要位于植被资源丰富的周边地区。各服务低值区均主要位于建设用地多,人口密度较大的中心区域。

2) 衡阳市城市绿地生态系统服务需求具有明显的一致性,生态系统服务需求与城市人口有着密切的关系,均表现为中心高四周低的空间分布。各服务需求高值区主要位于人口密度较大的中心地区,低值区主要位于植被资源丰富的东北部区域。

3) 衡阳市城市绿地生态系统服务供需匹配存在明显的空间异质性,在供需比上,表明空气净化匹配度高于气候调节、水源涵养和休闲娱乐。从空间分布来看,水源涵养、气候调节和休闲娱乐盈余区主要分布在湘江周边及植被覆盖率较高的东北部,赤字区主要分布在人口密度大的中部地区。空气净化盈余区主要分布在降雨丰富、植被覆盖率较高的周边地区,而赤字区主要位于建设用地,人口密度大,且降雨量小的西部地区。

参考文献:

- [1] ABERNETHY V D. Book reviews natures services societal dependence on natural ecosystems[J]. *Population and environment*, 1999, 20(3): 277-278.
- [2] 王甫园,王开泳,陈田,等. 城市生态空间研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(2): 207-218.
- [3] WANG B, LIU Z, MEI Y, et al. Assessment of ecosystem service quality and its correlation with landscape patterns in haidian district, Beijing[J]. *International journal of environmental research and public health*, 2019, 16(7): 1248.
- [4] 陈宏伟,许晶,刘娜,等. 沈阳市城区绿地生态系统服务价值的时空变化[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 3391-3397.
- [5] 胡忠秀,周忠学. 西安市绿地生态系统服务功能测算及其空间格局研究[J]. *干旱区地理*, 2013, 36(3): 553-561.
- [6] 韩晔,周忠学. 西安市绿地景观吸收雾霾生态系统服务测算及空间格局[J]. *地理研究*, 2015, 34(7): 1247-1258.
- [7] JONES L, VIENO M, FITCH A, et al. Urban natural capital accounts: Developing a novel approach to quantify air pollution removal by vegetation[J]. *Journal of environmental economics and policy*, 2019, 8(4): 1-16.
- [8] WANG J, ZHAI T, LIN Y, et al. Spatial imbalance and changes in supply and demand of ecosystem services in China[J]. *Science of the total environment*, 2018, 657: 781-791.
- [9] XIN R H, SKOV-PETERSEN H, ZENG J, et al. Identifying key areas of imbalanced supply and demand of ecosystem services at the urban agglomeration scale: A case study of the Fujian Delta in China[J]. *Science of the total environment*, 2021, 791: 148173-148173.
- [10] VILLAMAGNA A M, ANGERMEIER P L, BENNETT E M. Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery[J]. *Ecological complexity*, 2013, 15: 114-121.
- [11] PLIENINGER T, DIJKS S, OTEROS-ROZAS E, et al. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level[J]. *Land use policy*, 2013, 33(14): 118-129.
- [12] WU X, LIU S L, ZHAO S, et al. Quantification and driving force analysis of ecosystem services supply, demand and balance in China[J]. *The science of the total environment*, 2019, 652: 1375-1386.
- [13] 欧维新,王宏宁,陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化[J]. *生态学报*, 2018, 38(17): 6337-6347.
- [14] CHEN JY, JIANG B, BAI Y, et al. Quantifying ecosystem services supply and demand shortfalls and mismatches for management optimisation[J]. *Science of the total environment*, 2019, 650(43): 1426-1439.
- [15] 占湉,于洋,吴秀芹. 湟水流域生态系统服务供需匹配关系[J]. *生态学报*, 2021, 41(18): 7260-7272.
- [16] 邵明,李方正,李雄. 基于多源数据的成渝城市群绿色空间生态系统服务功能供需评价[J]. *风景园林*, 2021, 28(1): 60-66.
- [17] 韩素芸,田大伦,闫文德,等. 湖南省主要森林类型生态服务功能价值评价[J]. *中南林业科技大学学报*, 2009, 29(6): 6-13.
- [18] 邹月,周忠学. 西安市景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(8): 2629-2639.
- [19] 王淑彬,王开磊,黄国勤. 江南丘陵区不同种植模式稻田生态系统服务价值研究:以余江县为例[J]. *江西农业大学学报*, 2011, 33(4): 636-642.
- [20] 叶文虎,魏斌,全川. 城市生态补偿能力衡量和应用[J]. *中国环境科学*, 1998, 18(4): 11-14.
- [21] 刘维,周忠学,郎睿婷. 城市绿色基础设施生态系统服务供需关系及空间优化:以西安市为例[J]. *干旱区地理*, 2021, 44(5): 1500-1513.
- [22] 王莉雁,肖焱,欧阳志云,等. 国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算研究:以阿尔山市为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(3): 146-154.
- [23] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [24] 黄傅强,王志远,刘慧,等. 基于生态系统服务价值的城市增长边界划定研究:以衡阳市中心城区为例[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(9): 1115-1125.
- [25] 龚诗涵,肖洋,郑华,等. 中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素[J]. *生态学报*, 2017, 37(7): 2455-2462.