

珠三角城市群城间生态缓冲区的空间分布与林分特征分析*

李毓琦 吴衍霖 章 驰 赵 庆

(广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 研究从珠三角城市群城间尺度出发, 识别并筛选出城间生态缓冲区共 54 个, 分析其空间分布及林分结构特征等指标。结果表明: (1) 珠三角城市群内城间生态缓冲区数量较多, 面积多在 200~1 000 hm^2 , 但分布不均, 主要集中在东莞—深圳—惠州以及中山—珠海—江门的城间交界处; (2) 城间生态缓冲区的整体斑块形状不规则, 且破碎化程度较高; (3) 城间生态缓冲区的林分结构不够合理。纯林占比比较高, 树种组成单一; 人工林占比偏高, 达 80.6%, 但林分生产力低下, 且单位面积蓄积量明显低于全国人工林水平; 年龄结构不合理, 同龄林和中幼龄林比重较大; 生态公益林占比偏低, 为 50.79%, 森林质量整体偏低。因此, 未来珠三角城市群城间生态缓冲区的建设应注重空间分布的均衡性, 斑块形状的规律性与连续性, 以及林分结构的合理性。

关键词 珠三角城市群; 城间生态缓冲区; 空间分布; 形状指数; 林分特征

中图分类号: S732 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2023) 01-0048-07

Spatial Distribution and Stand Characteristics of Inter-city Ecological Buffer Zone in Pearl River Delta Urban Agglomeration

LI Yuqi WU Yanlin ZHANG Chi ZHAO Qing

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract Based on the intercity scale of the Pearl River Delta urban agglomeration, this study identified and screened 54 intercity ecological buffer zones, and analyzed their spatial distribution and stand structure characteristics. The results showed that: (1) the number of intercity ecological buffer zones cities in Pearl River Delta urban agglomerations is relatively high, most of which are 200 to 1 000 hectares; however, they are unevenly spatially distributed, mainly located in Dongguan - Shenzhen - Huizhou and Zhongshan - Zhuhai - Jiangmen intercity adjacent districts; (2) Most of the intercity ecological buffer zones have irregular shapes and are highly fragile. (3) The stand structure of intercity ecological buffer zone is not reasonable. The proportion of pure forest is relatively high, and the composition of tree species is single, The proportion of plantation is high, up to 80.6%, but the stand productivity is low, and the volume per unit area is lower than the national level of the plantation. The structure of the age group is unreasonable, and the proportion of the same age and middle and young forests are large. Ecological public welfare forests accounted for a low proportion of 50.79%, showing an overall pattern of low forest quality. Therefore, the future construction of an intercity ecological buffer zone in the Pearl River Delta urban agglomeration should pay attention to the balance of spatial distribution, the regularity

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2021KJCX009, 2020KJCX006)。

第一作者: 李毓琦 (1994—), 男, 助理工程师, 主要从事热带珍贵树种培育和森林生态研究, E-mail: 1275432794@qq.com。

通信作者: 赵庆 (1985—), 男, 正高级工程师, 主要从事风景园林规划设计、园林植物应用等研究, E-mail: zhaoqing@sinogaf.cn。

and continuity of forest patch shape, and the rationality of stand structure.

Key words Pearl River Delta urban agglomeration; intercity ecological buffer zone; spatial distribution; shape index; stand characteristic

在我国城市化建设的快速发展过程中,城市规模逐渐扩大,城市建设用地增加导致区域生态空间急剧收缩,随之而来的是城市热岛效应、生态系统破碎化、生物多样性丧失、环境污染等生态环境问题^[1-5],为解决城市群的地区生态环境问题,我国逐步开展了森林城市建设和森林城市群建设的生态创新实践^[4]。2016年1月26日习近平总书记又专门提出“要着力开展森林城市建设,搞好城市内绿化,使城市适宜绿化的地方都绿起来;搞好城市周边绿化,充分利用不适宜耕作的土地开展绿化造林;搞好城市群绿化,扩大城市之间的生态空间”,指明开展森林城市(群)建设,其重点研究内容是城市之间的生态缓冲与有效链接问题。

城间生态缓冲区作为森林城市群的特色指标之一,在森林城市群建设过程中,利用城市间的自然森林、湿地,通过扩大现有生态空间、建成连片的森林湿地缓冲区来隔离缓冲,防止城市群相邻城市建设用地连片发展,优化城市群发展格局,缓解城市热岛效应等环境问题。在城市间尺度上开展森林城市群建设的研究时,就是要关注城市与城市之间的生态空间问题^[6-8]。因此,城间生态缓冲区逐渐成为森林城市群建设研究的重要内容之一。但是,目前对于珠三角城市群森林的研究多集中于城市群尺度上,缺乏在城市间尺度上的城间生态缓冲区的研究与探索,加强珠三角城市群城间生态缓冲区的相关研究有助于为珠三角森林城市群建设提供数据支撑。

本研究从珠三角森林城市群城市间尺度出发,识别筛选出符合标准的城间生态缓冲区,通过对其空间分布特征和林分结构特征的分析,指出珠三角森林城市群城间生态缓冲区的建设现状及其存在的问题,旨在顺应我国城市群发展趋势,为珠三角城市群在城市间尺度上的相关研究和开展森林城市群建设的创新实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

珠三角城市群是粤港澳大湾区的重要组成部分

分,由广州、深圳、东莞、佛山、珠海、中山、肇庆、江门构成,也是我国首个国家森林城市群建设示范区。截至2018年末,珠三角城市群国土总面积为54 770.21 km²,地区生产总值为81 048.5亿元,常住人口6 300.99万人^[9]。截至2019年12月,珠三角地区建设区绿化覆盖率45.95%,区域森林覆盖率达51.8%,建成区人均公园绿地面积19.2 m²^[10]。

1.2 数据来源及处理

2019年广东省森林资源一张图数据、2017年广东省第九次森林资源连续清查数据、BIGMAP软件中获取的MAPBOX卫星影像图等有关统计数据。

1.3 城间生态缓冲区的识别与筛选

城间生态缓冲区是指城市群的各个城市之间建有大型片林或湿地为主的生态缓冲区,其中大型片林或湿地的规模可考虑单体面积在100 hm²以上^[8]。根据森林资源二类调查资料及其他地理空间数据,结合卫星影像图,在ArcGIS软件中以珠三角城市群九市的市边界为标准线,分别向两侧各延伸1 km、3 km、5 km、7 km和10 km,其中以1 km和3 km为缓冲距离时,获得的大部分城建生态缓冲区面积不足100 hm²,以7 km和10 km为缓冲距离时,获得的缓冲范围较多涉及城市核心建成区,以5 km为缓冲距离时,所得的城间生态缓冲区的面积和范围最为合理。因此,选择以市边界为标准线,以分别向两侧各延伸5 km为缓冲距离,识别并筛选出以大型片林或湿地为主体的珠三角城市群内部的城间生态缓冲区。

1.4 形状指数计算

形状指数是通过计算区域内某斑块形状与相同面积的圆或正方形之间的偏离程度来测量起形状复杂程度的。本研究采用了以下2个形状指数公式:

$$SI_A = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

这是以圆形为参照物的斑块扩展度指数公式^[11-15]:式中 P 为中斑块边界的总长度(单位:km), A 为总面积(单位:km²)。这个指数是通过计算区域内某斑块形状与相同面积的圆的偏离程度来测量起形状复杂程度的,是斑块周长与等面积的圆周长之比^[11-13]。该指数的最小值为1,其值越接

近 1，表示斑块形状与圆形越相近；其值越大，则斑块形状与圆形相差越大，形状越不规则^[16-17]。

$$SI_B = \frac{0.25P}{\sqrt{A}}$$

这以正方形为参照物的斑块方形指数公式如下^[11-15]，式中字母含义同上式，这个指数是斑块的方形指数，代表斑块形状与正方形相差的程度。正方形斑块该指数值为 1，其值越大，表征斑块形状与正方形相差越大，斑块的形状越长。

1.5 林分特征指标

根据广东省森林资源连续清查数据、林地相关属性信息及其他地理空间数据，对珠三角城市群内部的城间生态缓冲区的面积、空间分布进行统计，计算并分析城间生态缓冲区内森林的蓄积量、森林类别、林分起源、年龄结构以及树种组成等林分特征数据。

1.6 数据分析

本研究使用 ArcGIS 软件进行数据处理，使用 SPSS 24.0 进行数据分析，使用 Excel 2019 进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 珠三角城市群城间生态缓冲区的识别和筛选

经识别和筛选后得到位于珠三角城市群内部 9 个城市之间，以大型片林或湿地为主且面积在 100 hm² 以上的城间生态缓冲区共 54 个，按照面积大小将其分为 5 个类型，其分类情况如表 1，面积在 500~1 000 hm² 的城间生态缓冲区最多有 16 个，其次为 2 000 hm² 以上的有 14 个，100~200 hm² 面积范围的城间生态缓冲区最少，仅有 6 个。

表 1 城间生态缓冲区分类

Table 1 The classification of intercity ecological buffer zones

面积分类 Area classification	面积 /hm ² Area	城间生态缓冲区数量 Number of intercity ecological buffer zones
I	100~200	6
II	200~500	11
III	500~1 000	16
IV	1 000~2 000	7
V	> 2 000	14

2.2 珠三角城市群城间生态缓冲区面积与空间分布

珠三角城市群城间生态缓冲区的分布情况如图 1，珠三角城市群城间内部生态缓冲区主要分布

在东莞、深圳、惠州三城的城间交界处以及中山、江门、珠海三城的城间交界处，在广州与东莞、中山、惠州的城市交界处分布最少。由表 2 可知，城间生态缓冲区中，面积最小的为 131.89 hm²，最大的为 7 711.26 hm²，城间生态缓冲区面积多为 1 000 hm² 以下，占比达到了 61.1%。其中面积在 1 000 hm² 以上的主要分布在珠海、东莞、惠州、深圳和江门，面积在 1 000 hm² 以下的主要分布在佛山、广州和中山等城市交界处。

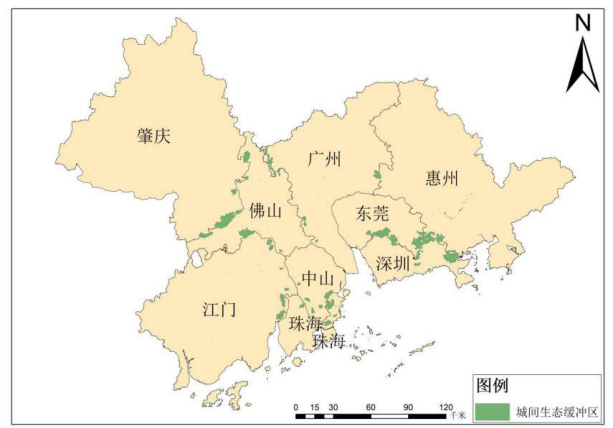


图 1 城间生态缓冲区分布

Figure 1 The distribution of the intercity ecological buffer zones

2.3 珠三角城市群城间生态缓冲区的形状指数

由表 3 可知，所有珠三角城市群城间生态缓冲区斑块的 SI_A 和 SI_B 均明显大于 1，城间生态缓冲区的形状明显偏离于圆形和正方形，说明珠三角城间生态缓冲区整体上形状不规则程度高，其内部斑块的破碎化程度较高，其中 SI_A 最大为 16.97，最小为 2.02；SI_B 最大为 15.04，最小为 1.79，说明各城间生态缓冲区斑块的异质性大。

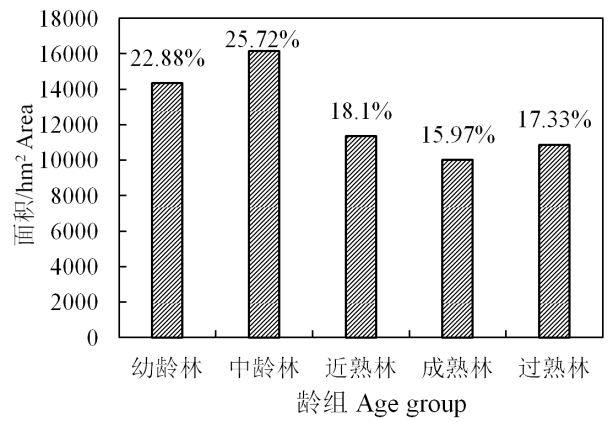


图 2 城间生态缓冲区森林各龄组面积占比

Figure 2 The proportions of areas of forests of different age groups in the intercity ecological buffer zones

表 2 城间生态缓冲区面积及分布
Table 2 The area and distribution of intercity ecological buffer zones

编号 Number	交界城市 Border city	面积 /hm ² Area	编号 Number	交界城市 Border city	面积 /hm ² Area	编号 Number	交界城市 Border city	面积 /hm ² Area
1	东莞、深圳	923.50	19	广州、佛山	435.96	37	广州、惠州	1 374.28
2	东莞、深圳	1 107.08	20	广州、佛山	157.70	38	佛山、江门	1 028.28
3	东莞、深圳	4 754.09	21	深圳、东莞、惠州	3 181.15	39	佛山、江门	769.96
4	东莞、深圳	3 255.12	22	广州、佛山	564.35	40	江门、佛山	250.06
5	东莞、深圳	686.64	23	广州、佛山	413.52	41	江门、中山	345.21
6	东莞、深圳	1 072.14	24	东莞、惠州	131.88	42	江门、中山、珠海	465.70
7	东莞、深圳	135.32	25	广州、中山、佛山	271.29	43	江门、珠海	2 362.58
8	东莞、深圳	3 927.55	26	广州、佛山	198.35	44	江门、珠海	2 744.21
9	肇庆、佛山	2 384.99	27	深圳、惠州	586.08	45	中山、珠海	873.08
10	肇庆、佛山	348.71	28	深圳、惠州	1 926.57	46	中山、珠海	660.38
11	东莞、惠州	385.82	29	佛山、江门	4 674.82	47	中山、珠海	757.46
12	肇庆、佛山	1 240.60	30	肇庆、佛山	810.81	48	中山、珠海	634.72
13	广州、佛山	652.71	31	深圳、惠州	2 377.56	49	中山、珠海	2 385.58
14	广州、佛山	507.53	32	深圳、惠州	879.50	50	中山、珠海	166.11
15	广州、佛山	912.27	33	肇庆、佛山	7 711.26	51	中山、珠海	2 598.20
16	广州、佛山	197.40	34	肇庆、佛山	2 205.33	52	中山、珠海	368.37
17	广州、佛山	382.01	35	深圳、惠州	6 869.00	53	中山、珠海	522.71
18	广州、佛山	439.25	36	广州、惠州	633.19	54	中山、珠海	1 591.23

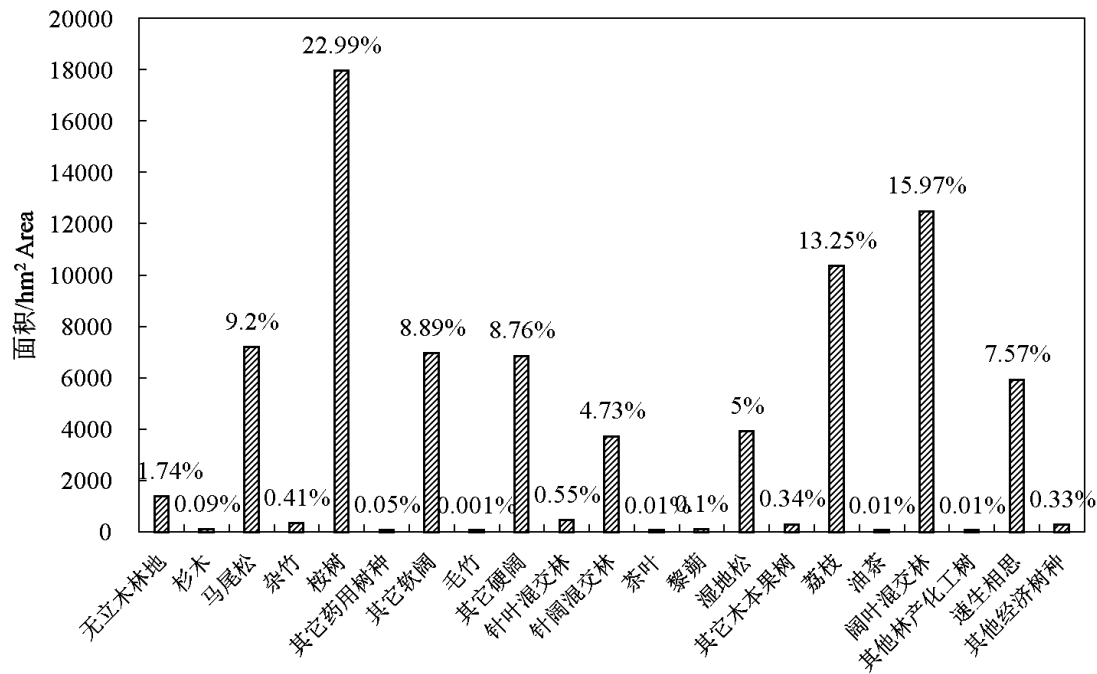


图 3 城间生态缓冲区各优势树种面积占比
Figure 3 The proportions of areas of each dominant tree species in the intercity ecological buffer zones

表 3 城间生态缓冲区内森林斑块的形状指数
Table 3 The shape index of forest patches in intercity ecological buffer zones

编号 Number	SI _A	SI _B	编号 Number	SI _A	SI _B	编号 Number	SI _A	SI _B
1	2.80	2.48	19	5.19	4.60	37	5.95	5.28
2	6.34	5.62	20	3.28	2.90	38	6.96	6.16
3	10.04	8.90	21	9.19	8.15	39	7.48	6.63
4	7.94	7.03	22	5.94	5.27	40	4.81	4.26
5	10.28	9.11	23	3.38	2.99	41	4.56	4.04
6	10.51	9.31	24	2.81	2.49	42	4.55	4.03
7	2.23	1.98	25	3.45	3.06	43	6.03	5.34
8	11.01	9.76	26	7.48	6.63	44	4.63	4.11
9	9.96	8.83	27	3.69	3.27	45	3.66	3.25
10	8.98	7.95	28	10.55	9.35	46	4.21	3.73
11	3.77	3.34	29	6.48	5.75	47	3.08	2.73
12	2.26	2.01	30	5.15	4.57	48	3.12	2.77
13	4.59	4.06	31	7.09	6.29	49	4.42	3.92
14	4.78	4.24	32	4.67	4.14	50	2.02	1.79
15	4.13	3.66	33	16.97	15.04	51	7.91	7.01
16	2.75	2.44	34	12.67	11.23	52	3.19	2.83
17	2.77	2.45	35	4.21	3.73	53	2.79	2.47
18	3.42	3.03	36	3.73	3.30	54	2.94	2.60

表 4 不同树种的平均公顷蓄积 m³ · hm⁻²
Table 4 The average hectare volume of different tree species

树种 Tree species	平均公顷蓄积 Average hectare volume	树种 Tree species	平均公顷蓄积 Average hectare volume
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	30.56	针叶混交林	66.37
马尾松	67.18	针阔混交林	64.10
湿地松	73.63	阔叶混交林	52.84
桉树	77.79	其它经济树种	0.30
速生相思	65.04	其它木本果树	4.10
其它软阔	50.77	荔枝	1.76
黎蒴 <i>Castanopsis fissa</i>	40.40	其它林产化工树	21.00
其它硬阔	41.87		

2.4 珠三角城市群城间生态缓冲区的林分特征

本研究中城间生态缓冲区内森林中有 17.65% 的林分为天然林，80.6% 的林分为人工林，人工林占比较大。由图 2 可知：就城间生态缓冲区内森林的年龄结构而言，超过 80% 的林分为同龄林，其中中龄林面积占乔木林地面积的比例最高为 25.72%，其次为幼龄林，面积占比为 22.88%，成熟林面积占比最低，仅为 17.33%，表明城间生态缓冲区内森林中幼龄林占比较大，林分年龄结构不够合理。

由图 3 可知：珠三角城市群内部各城间生态缓冲区内林分多为纯林，面积占比达城间生态缓冲区森林总面积的 58.21%；主要的优势树种为：桉树、荔枝 *Litchi chinensis*、马尾松 *Pinus massoniana*、湿地松 *P. elliottii*、速生相思，少部分以针阔混交林、阔叶混交林和其它软硬阔为优势树种，其中桉树的面积占比最大，达到所有缓冲区总面积的 22.99%；所有城间生态缓冲区内桉树林均为人工林；其次为阔叶混交林和荔枝，分别占 15.97% 和 13.25%。由表 4 可知，不同树种

的单位面积蓄积量最高的是桉树，达到 77.79 m³/hm²，最小的为其他经济树种，单位面积蓄积量仅为 0.3 m³/hm²，说明城间生态缓冲区内森林的生产力和质量整体偏低。

由表 5 可知，珠三角城市群城间生态缓冲区内，公益林所占面积比例为 50.79%，其中一般公益林占比较高，为 31.96%，重点公益林占比为 18.83%；商品林所占比例为 49.21%，其中一般商品林所占面积比例最高，为 38.76%，占比最小的是重点商品林，仅为 10.45%。

表 5 城间生态缓冲区林地的森林类别
Table 5 The forest types in intercity ecological buffer zones

森林类别 Forest type	面积 /hm ² Area	所占比例 /% Proportion
重点公益林	14 542.53	18.83
一般公益林	24 684.93	31.96
重点商品林	8 072.32	10.45
一般商品林	29 939.41	38.76

3 讨论与结论

本研究从珠三角城市群城间尺度出发，基于广东省森林资源连续清查数据，识别并筛选出城间生态缓冲区 54 个，计算并分析其空间分布情况、面积、林分起源、森林类别和形状指数等数据，对其空间分布、林分结构特征进行评价研究，并提出针对性建设建议。

森林城市群建设的重点内容是解决城市之间的生态缓冲与有效连接问题。利用城市之间残存的森林、湿地，建成成片的生态缓冲区来隔离缓冲，可以有效避免城市的集中连片发展，优化城市群发展格局^[4-6]。本研究结果显示，珠三角城市群内的城间生态缓冲区数量较多，但分布不均。城间生态缓冲区主要分布在城市群外围城市之间，多分布与东莞、深圳、惠州三城的城间交界处以及中山、江门、珠海三城的城间交界处，广州与佛山虽有部分缓冲区分布，但其面积多数较小。珠三角城市群城间生态缓冲区出现分布不均的情况，可能与珠三角城市群 9 个城市的森林建设水平、森林覆盖率及森林总量的不平衡有关^[18]，因此，未来在城市森林建设时，不仅要重视城市内部的森林建设水平，还需要提高城间生态缓冲区分布数量较少的城市边缘区的森林资源总量和质

量，以此提高城间生态缓冲区森林的面积和质量，进而加强珠三角森林城市群的建设水平。

一般来说，形状指数与破碎化程度存在密切关系，破碎化在直观上表现为，斑块数量大而面积小，斑块形状不规则^[15-19]，而破碎化程度高会导致的森林片段化后产生“边缘效应”，引起生物生境在物理、化学和生物学因素方面产生剧烈变化^[20-21]，直接影响物种在生态系统的生存，导致生物多样性降低甚至丧失^[22-23]，这是导致生物多样性消失的最主要原因之一^[24-26]。本研究中城间生态缓冲区的形状明显偏离于圆形和正方形，形状不规则程度高，且异质性较强，说明城间生态缓冲区内斑块的破碎化程度较高，可能会引起其内部生态系统的生物多样性降低，进而导致其生态系统的稳定性降低。这可能是由珠三角城市群在城镇化建设过程中的土地利用变化强烈和现代化交通运输网络的构建所造成的，特别是在珠三角城市群的核心大型城市边缘区域，此结论与 QIU J X 等^[27] 和李灿等^[28] 所报道的有关北京市景观碎片化的研究结论基本一致。因此，珠三角城市群在的城市森林建设工作中，应在平衡好经济发展和生态保护的前提下，减少城间生态缓冲区内的林木采伐以及占用林地等社会经济和人为活动，做好缓冲区内部河岸林地、湿地和受损弃置地的生态修复工作，促进森林斑块恢复其连续性，减轻其破碎化程度。

林分结构是指组成林分林木群体各组成成分的空间和时间分布格局，包括组成结构、水平结构、垂直结构、年龄结构，主要决定于树种组成、林分密度、树木配置和年龄结构，对林分功能具有决定性作用^[29-30]。本研究结果显示，珠三角城市群城间生态缓冲区内的林分中同龄林占比超过 80%，年龄结构简单，中幼龄林面积占比达 48.6%，林分年龄结构不够合理；城间生态缓冲区内林分的树种组成单一，人工纯林所占面积比达 58.21%，导致林分组成结构简单，生物多样性低；城间生态缓冲区内生态公益林的占比偏低，仅占森林总面积的 50.79%，在一定程度上影响了城间生态缓冲区的生态服务功能；人工林所占比例偏高，达总面积的 80.6%，但生产力低下，其单位面积蓄积量仅为 44.61 m³/hm²，明显低于全国人工林单位面积蓄积量 59.3 m³/hm²^[31-33]。综上所述，珠三角城市群城间生态缓冲区内森林的林分结构

不够合理,森林生产力和质量整体偏低。因此,在建设珠三角城市群城间生态缓冲区时,应注意优化区域林分结构,扩大生态公益林比例,逐步完成桉树纯林、马尾松林的林分改造工作,加强中幼龄林抚育工作,提高森林生产力,提升城间生态缓冲区森林的生态功能和森林质量。

参考文献

- [1] 王成,彭镇华.城市森林建设中需要处理好的九个关系[J].国土绿化,2009(6): 12-13.
- [2] 贾宝全,王成,邱尔发,等.湖南省城市群发展的土地潜力分析及城市林业建设[J].城市环境与城市生态,2008,21(3): 1-5.
- [3] 王成,贾宝全,鄯光发,等.武汉“8+1”城市圈林业建设布局研究[J].中国城市林业,2011,9(4): 1-4.
- [4] 王成.关于中国森林城市群建设的探讨[J].中国城市林业,2016,14(2): 1-6.
- [5] 王成.中国城市生态环境共同体与城市森林建设策略[J].中国城市林业,2016,14(1): 1-7.
- [6] 王成,张昶,孙睿霖,等.京津冀地区城乡森林建设中的问题及应对策略[J].中国城市林业,2018,16(5): 1-6.
- [7] 金佳莉,王成,贾宝全.北京平原造林后景观格局与热场环境的耦合分析[J].应用生态学报,2018,29(11): 3723-3734.
- [8] 王成,张昶,金佳莉.森林城市群建设的评价指标[J].中国城市林业,2019,17(6): 1-6.
- [9] 广东省统计局,国家统计局广东调查总队.广东统计年鉴2019[M].北京:中国统计出版社有限公司,2019.
- [10] 广东省林业局.“珠三角森林城市群”:美丽广东建设的华彩篇章[EB/OL][2019-12-27]. http://lyj.gd.gov.cn/gkmlpt/content/2/2729/post_2729087.html#2441.
- [11] 刘灿然,陈灵芝.北京地区植被景观中斑块形状的指数分析[J].生态学报,2000(4): 559-567.
- [12] 刘灿然,陈灵芝.北京地区植被景观斑块形状的分形分析[J].植物生态学报,2000(2): 129-134.
- [13] FORMAN R T T and GORDON M. Landscape Ecology[M].New York: John Wiley and Sons.1986: 320-321.
- [14] 肖笃宁.景观空间结构的指标体系和研究方法[M]//肖笃宁.景观生态学理论、方法及应用.北京:中国林业出版社,1991: 92-98.
- [15] 邬建国.景观生态学[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [16] BASKENT E Z, JORDEN G A. Characterizing spatial structure of forest landscape[J].Canadian Journal of Forest Research. 1995, 25: 1830-1849.
- [17] 徐化成.景观生态学[M].北京:中国林业出版社: 1996.
- [18] 秦琳,丁胜,杨志刚,等.珠三角国家森林城市群建设状况评价研究[J].林业调查规划,2021,46(3): 133-137;143.
- [19] 邵大伟,吴殿鸣.景观破碎化对生态系统服务价值的影响作用分析:以苏州为例[J].长江流域资源与环境,2020,29(11): 2436-2449.
- [20] PRIMACK R B. Essentials of conservation biology[M]. Sunderland Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 1993.
- [21] SAUNDERS D A, HOBBS R J, MARGULES C R. Biology consequence of ecosystem fragmentation: A review[J]. Conservation Biology, 1991, 5(1): 18-32.
- [22] VOS C C, CHARDON J P. Effect of habitat fragmentation and roaddensity on the distribution pattern of the moon frog, *Rana arvalis*[J]. Journal of Applied Ecology, 1998, 35(1): 44-46.
- [23] FITZGIBBON C D. Small mammals in farm woodlands: the effect of habitat, isolation and surrounding land use patterns[J]. Journal of ecology, 1997, 34(2): 530-539.
- [24] 邬建国.自然保护与保护生物学:概念与模型[M]//邬建国.现代生态学进展.北京:中国科技出版社,1992: 174-186.
- [25] 张知彬.生物多样性保护的若干理论基础[M]//钱迎倩,马克平.生物多样性研究的理论与方法.北京:中国科技出版社,1994: 36-54.
- [26] HANSKI I. Metapopulation dynamics[J].Nature, 1998, 396: 41-49.
- [27] QIU J X, WANG X K, LU F, OU YANG Z Y, ZHENG H. The spatial pattern of landscape fragmentation and its relation with urbanization and socioeconomic developments: a case study of Beijing[J].Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2659-2669.
- [28] 李灿,张凤荣,朱泰峰,等.大城市边缘区景观破碎化空间异质性:以北京市顺义区为例[J].生态学报,2013,33(17): 5363-5374.
- [29] 龚直文,亢新刚,等.天然林林分结构研究方法综述[J].浙江林学院学报2009,26(3): 434-443.
- [30] 沈国舫,翟明普.森林培育学[M].北京:中国林业出版社,2011.
- [31] 陈铭捷,陈敏,刘萍.基于森林资源连续清查数据的广东桉树人工林立地质量评价[J/OL].西北农林科技大学学报(自然科学版),2022(11): 2-10[2022-07-01].DOI: 10.132/07/j.cnki.jnwafu.2022.11.008.
- [32] 国家林业和草原局.中国森林资源报告[M].北京:中国林业出版社.2019.
- [33] 国家林业局.第八次全国森林资源清查结果[J].林业资源管理,2014(1): 1-2.