

森林生态承载力评价指标体系构建*

——以广东省为例

姜杰 杨超裕 陈传国 卢雅莉
陈黄礼 樊晶 张阳锋

(广东省林业调查规划院, 广东广州 510520)

摘要 森林是生态系统的重要组成部分, 森林生态系统在为广东经济社会发展起到重要支撑作用。通过森林生态承载力评价, 可以从国民经济发展的视角下, 找准林业生态建设的切入点。文章以广东省为例, 运用文献检索法、德尔菲法、主成分分析法、层次分析法构建包括6个准则层32项指标的森林生态承载力评价指标体系, 并对广东省21个地级市进行实证分析, 以期为区域森林生态系统的保护、恢复和建设提供参考。

关键词 森林生态承载力; 评价指标体系; 层次分析法; 实证研究; 广东省

中图分类号: S750 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2021)04-0146-08

Construction of Evaluation Index System of Forest Ecological Carrying Capacity

——Taking Guangdong Province as An Example

JIANG Jie YANG Chaoyu CHEN Chuanguo LU Yali
CHEN Huangli FAN Jing ZHANG Yangfeng

(Forestry Inventory and Planning Institute of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract Forest is an important part of the ecosystem. And forest ecosystem plays an important role in supporting the economic and social development of Guangdong province. Through the evaluation of forest ecological carrying capacity, we can identify the breakthrough point of forestry ecological construction from the perspective of national economic development. Taking Guangdong province as an example, this paper constructs an evaluation index system of forest ecological carrying capacity including 32 indicators of 6 criteria layers by using the methods of literature retrieval, Delphi, principal component analysis and analytic hierarchy process, and makes an empirical analysis on 21 prefecture level cities in Guangdong province, so as to provide reference for the protection, restoration and construction of regional forest ecosystem.

Key words forest ecological carrying capacity; evaluation index system; analytic hierarchy process; empirical study; Guangdong province

* 基金项目: 项目来源于《广东省人民政府办公厅关于开展广东省“十四五”规划前期研究工作的通知》(粤办函〔2019〕97号)
第一作者: 姜杰(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事林业调查规划方面工作, E-mail: 381486794@qq.com。

习近平总书记2021年1月在世界经济论坛“达沃斯议程”对话会上的特别致辞中指出：“中国将继续促进可持续发展。中国将全面落实联合国2030年可持续发展议程”。可持续发展与传统发展方式相比，更加注重发展对环境和生态系统的影响，强调资源总量、环境容量的承载力问题。森林作为人类和多种生物赖以生存和发展的极其重要的自然资源，在森林生态承载力范围内的人类活动是森林可持续发展的保证，反之，可持续的森林同样也是社会经济可持续发展的必要保证。

1 研究区域概况

在当今社会，人类社会面临着资源、环境、生态与社会经济协调发展的诸多问题，承载力问题也就成为了世界各国可持续发展研究的热点^[1]。森林生态承载力为一定时期一定区域内的森林生态系统承载社会发展以及社会发展过程中对其造成影响的能力，这种影响状况最终反映出这种发展是超过了它的承载极限还是在它的承载范围内^[2]。森林生态的承载能力作为可持续林业理论的重要组成部分，是评价区域森林可持续性和社会可持续性的重要指标^[3]。广东省地处中国大陆最南部，陆地面积17.98万km²，辖21个地级市。2019年末，全省常住人口11 521.00万人，户籍人口9 663.41万人，城镇人口比例为71.4%，全省实现地区生产总值107 671.07亿元^[4]。全省林业用地面积为1 059.41万hm²，森林面积为1 052.41万hm²，森林覆盖率为58.61%，森林蓄积量为5.79亿m³^[5]。2019年全省林业产业总产值达8 416亿元，第一产业产值1 103亿元，第二产业产值5 446亿元，第三产业产值1 866亿元^[6-7]。

2 评价指标体系构建

2.1 评价指标因子筛选

通过文献分析法，综合目前森林生态承载力评价的相关理论和实践案例^[8-11]，提出初步指标因子。其次，采取德尔菲法和主成分分析法，确定最终评价指标，包括6个准则层，32项指标，其中17个正指标，15个逆指标。其中，在统计学理论中，正指标和逆指标的区别在于从不同角度对客观现象进行描述^[12]，结合本研究，从正面描述森林生态承载力的为正指标，反之称为逆指标。

2.2 指标权重确定

采用层次分析法，充分发挥层次分析法将分析人员的经验判断给予量化，对目标（因素）结构复杂且缺乏必要数据的情况更为实用的这一特点^[13]，完成层次模型构造、判断矩阵生成、指标权重确定。

(1) 构建准则层判断矩阵。设B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、B₆分别代表自然驱动要素、森林资源结构、森林生态功能、林业经济价值、资源能源消耗和环境污染排放。采用9级数值标度法，算出各影响因子的权重。再将运算结果进行一致性检验。

(2) 构建二级指标判断矩阵。采用同样方法进行，二级指标判断矩阵的构建，计算出相应权重，然后进行一致性检验。

2.3 指标的无量纲化处理

评价指标体系中的各个评价指标，由于其量纲、意义和表现形式以及对总目标的作用趋向各不相同，不具有可比性，必须对其进行无量纲化处理、消除指标量纲影响后才能计算综合评价结果。去掉指标量纲的过程，称为指标的无量纲化，它是指标综合的前提^[14-15]。无量纲化方法有很多种，本研究采用直线型无量纲化方法中的阈值法。

2.4 目标层计算

为全面反映全省生态景观林带建设成效，采用加权综合评分的方式，对各评价指标进行加权求和，从而得到全省生态景观林带建设的综合评分。其基本数学模型如下：

$$Y = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n S_j \cdot Q_j) B_i$$

式中：Y表示综合评分值；S_j表示某指标的评分值；Q_j表示该项指标在其所在准则层的权重；B_i表示该准则层指标的权重。

3 实证研究

3.1 评价指标现状

主要根据广东省统计年鉴、全省森林资源档案数据，获得各评价指标的现状值。

3.2 准则层评价

(1) 自然驱动要素维度。反映自然条件对森林生态承载力的影响。得分最高的是江门(0.026 8)，最低的是汕头(0.003 3)，位居前列的是阳江、汕尾、珠海。

表 1 森林生态承载力评价指标因子表
Table 1 Evaluation index factors of forest ecological carrying capacity

目标层 (A) Destination Layer (A)	准则层 (B) Criterion layer (B)	指标层 (C) Indicator layer (C)	指标属性 Index attribute
森林生态承载力评价指标 Evaluation index factors of forest ecological carrying capacity	B ₁ 自然驱动要素	C ₁ 年均温	正指标
		C ₂ 年降水量	正指标
		C ₃ 水土流失综合治理面积	正指标
	B ₂ 森林资源结构	C ₄ 林地面积	正指标
		C ₅ 活立木蓄积量	正指标
		C ₆ 森林覆盖率	正指标
		C ₇ 生态功能等级 I、II 面积比	正指标
		C ₈ 林地土壤侵蚀面积	逆指标
		C ₉ 森林灾害面积	逆指标
	B ₃ 森林生态功能	C ₁₀ 健康森林面积比例	正指标
		C ₁₁ 沙化面积	逆指标
		C ₁₂ 石漠化及潜在石漠化面积	逆指标
		C ₁₃ 储碳量	正指标
		C ₁₄ 放氧量	正指标
	B ₄ 林业经济价值	C ₁₅ 林地质量等级 I、II 面积比	正指标
		C ₁₆ 主要林产品	正指标
		C ₁₇ 商品材产量	正指标
		C ₁₈ 大径竹产量	正指标
		C ₁₉ 人造板	正指标
		C ₂₀ 占用征收林地面积	逆指标
		C ₂₁ 森林采伐量	逆指标
		C ₂₂ 林业总产值	正指标
		C ₂₃ 国内旅游收入	逆指标
		C ₂₄ 人口密度	逆指标
	B ₅ 资源能源消耗	C ₂₅ 采矿业总产值	逆指标
		C ₂₆ 城市人口比	正指标
		C ₂₇ 农用化肥量	逆指标
		C ₂₈ 农药使用量	逆指标
		C ₂₉ 废水排放总量	逆指标
		C ₃₀ 工业废气排放总量	逆指标
		C ₃₁ 工业烟(粉)尘排放总量	逆指标
		C ₃₂ 工业固体废弃物产生总量	逆指标

表 2 准则层判断矩阵 A-B₁₋₆
Table 2 Criterion layer judgment matrix A-B₁₋₆

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	W _i
B ₁		1/6	1/8	1/4	1/2	1/2	0.035 5
B ₂			1/4	3	3	5	0.216 8
B ₃				7	6	8	0.504 7
B ₄					5	4	0.134 3
B ₅						1	0.057 0
B ₆							0.051 8

$$\lambda_{\max}=6.443 7 \quad CR=0.070 4$$

注: W_i 为因素单排序权值; λ_{max} 为判断矩阵最大特征根; CR 为判断矩阵随机一致性比率。

Note: W_i is the single factor sorting weight, λ_{max} is the maximum eigenroot of judgment matrix, CR is the random consistency ratio of the judgment matrix.

表 3 指标层判断矩阵 B_1-C_{1-3}
Table 3 Indicator layer judgment matrix B_1-C_{1-3}

B_1	C_1	C_2	C_3	W_i
C_1		1/4	1/2	0.136 5
C_2			3	0.625 0
C_3				0.238 5
$\lambda_{\max}=3.018 3$ CR=0.017 6				

表 4 指标层判断矩阵 B_2-C_{4-6}
Table 4 Indicator layer judgment matrix B_2-C_{4-6}

B_2	C_4	C_5	C_6	W_i
C_4		1/8	1/4	0.067 5
C_5			5	0.733 4
C_6				0.199 1
$\lambda_{\max}=3.094 0$ CR=0.090 4				

表 5 指标层判断矩阵 B_3-C_{7-15}
Table 5 Indicator layer judgment matrix B_3-C_{7-15}

B_3	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	W_i
C_7		7	3	1/2	4	2	1/2	1	1/2	0.139 8
C_8			2	1/2	2	1/2	1/3	1/2	1/3	0.058 3
C_9				1	2	1	1/2	1/2	1/3	0.067 0
C_{10}					4	4	2	2	1/2	0.170 9
C_{11}						1	2	1/2	1/4	0.053 8
C_{12}							2	1/2	1/2	0.079 1
C_{13}								1	1/2	0.096 6
C_{14}									1/2	0.116 3
C_{15}										0.218 2
$\lambda_{\max}=10.137 8$ CR=0.097 4										

表 6 指标层判断矩阵 B_4-C_{16-20}
Table 6 Indicator layer judgment matrix B_4-C_{16-20}

B_4	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	W_i
C_{16}		1/2	1/2	1/4	1/6	0.060 2
C_{17}			1	2	1/3	0.158 8
C_{18}				4	1/4	0.172 2
C_{19}					1/7	0.088 4
C_{20}						0.520 4
$\lambda_{\max}=5.421 5$ CR=0.094 1						

表7 指标层判断矩阵 B_5-C_{21-26}
Table 7 Indicator layer judgment matrix B_5-C_{21-26}

B_5	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	W_i
C_{21}		1/3	3	1/2	1/3	1/3	0.086 9
C_{22}			6	1/2	3	3	0.292 7
C_{23}				1/3	1/4	1/2	0.051 2
C_{24}					1/2	2	0.212 9
C_{25}						3	0.239 0
						C_{26}	0.117 2
$\lambda_{\max}=6.621 6$ CR=0.098 7							

表8 指标层判断矩阵 B_6-C_{27-32}
Table 8 Indicator layer judgment matrix B_6-C_{27-32}

B_6	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	C_{32}	W_i
C_{27}		1/2	1/3	1/2	3	4	0.144 5
C_{28}			3	1/2	3	3	0.250 2
C_{29}				1/2	3	3	0.185 6
C_{30}					2	3	0.275 4
C_{31}						3	0.089 2
C_{32}							0.055 1
$\lambda_{\max}=6.611 6$ CR=0.097 1							

表9 森林生态承载力评价指标权重
Table 9 Evaluation index weight of forest ecological carrying capacity

序号 Serial number	指标名称 Name of index	指标权重 Weight of index	序号 Serial number	指标名称 Name of index	指标权重 Weight of index
1	C_1 年均温	0.004 8	17	C_{17} 商品材产量	0.021 3
2	C_2 年降水量	0.022 2	18	C_{18} 大径竹产量	0.023 1
3	C_3 水土流失综合治理面积	0.008 5	19	C_{19} 人造板	0.011 9
4	C_4 林地面积	0.014 6	20	C_{20} 占用征收林地面积	0.069 9
5	C_5 活立木蓄积量	0.159 0	21	C_{21} 森林采伐量	0.005 0
6	C_6 森林覆盖率	0.043 2	22	C_{22} 林业总产值	0.016 7
7	C_7 生态功能等级 I、II 面积比	0.070 6	23	C_{23} 国内旅游收入	0.002 9
8	C_8 林地土壤侵蚀面积	0.029 4	24	C_{24} 人口密度	0.012 1
9	C_9 森林灾害面积	0.033 8	25	C_{25} 采矿业总产值	0.013 6
10	C_{10} 健康森林面积比例	0.086 3	26	C_{26} 城市人口比	0.006 7
11	C_{11} 沙化面积	0.027 2	27	C_{27} 农用化肥量	0.007 5
12	C_{12} 石漠化及潜在石漠化面积	0.039 9	28	C_{28} 农药使用量	0.012 9
13	C_{13} 储碳量	0.048 7	29	C_{29} 废水排放总量	0.009 6
14	C_{14} 放氧量	0.058 7	30	C_{30} 工业废气排放总量	0.014 3
15	C_{15} 林地质量等级 I、II 面积比	0.110 1	31	C_{31} 工业烟(粉)尘排放总量	0.004 6
16	C_{16} 主要林产品	0.008 1	32	C_{32} 工业固体废弃物产生总量	0.002 9

(2) 森林资源结构维度。反映现有森林资源质量的高低。得分最高的是韶关(0.2168),最低的是中山(0.0039),位居前列的是清远、河源、梅州。

(3) 森林生态功能维度。反映现有森林多方面生态功能的高低。得分最高的是肇庆(0.4076),最低的是汕尾(0.1235),位居前列的是韶关、清远、河源、梅州。

(4) 林业经济价值维度。反映主要林产品对经济发展的贡献。得分最高的是肇庆(0.0868),最低的是梅州(0.0074),位居前列的是佛山、茂名、阳江。

(5) 资源能源消耗维度。反映社会经济发

展对森林资源需求的大小。得分最高的是佛山(0.0511),最低的是茂名(0.0194),位居前列的是东莞、中山、广州、珠海、深圳。

(6) 环境污染排放维度。反映农业面源污染和工业三废排放量的高低。得分最高的是河源(0.0477),最低的是湛江(0.0122),位居前列的是潮州、汕尾、汕头。

3.3 综合评价

从综合评价结果看,各市森林生态承载力评价指数位居前5位的分别是肇庆(0.7104)、韶关(0.7000)、清远(0.6388)、河源(0.5692)、梅州(0.4936)。

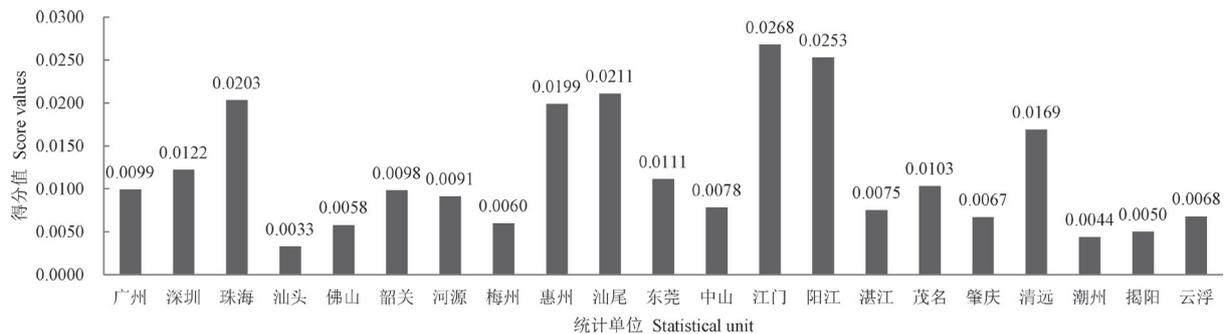


图1 各市自然驱动要素维度得分值

Figure 1 The score value of natural driving factor dimension of each city

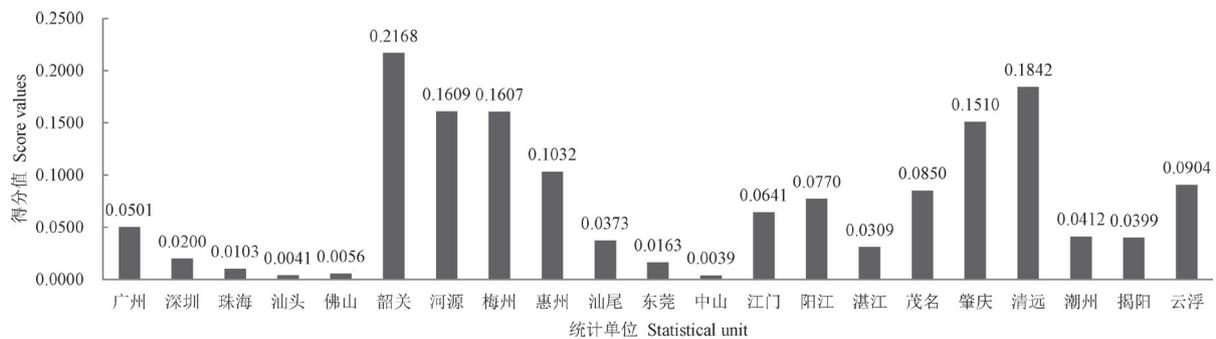


图2 各市森林资源结构维度得分值

Figure 2 The score value of forest resources structure dimension of each city

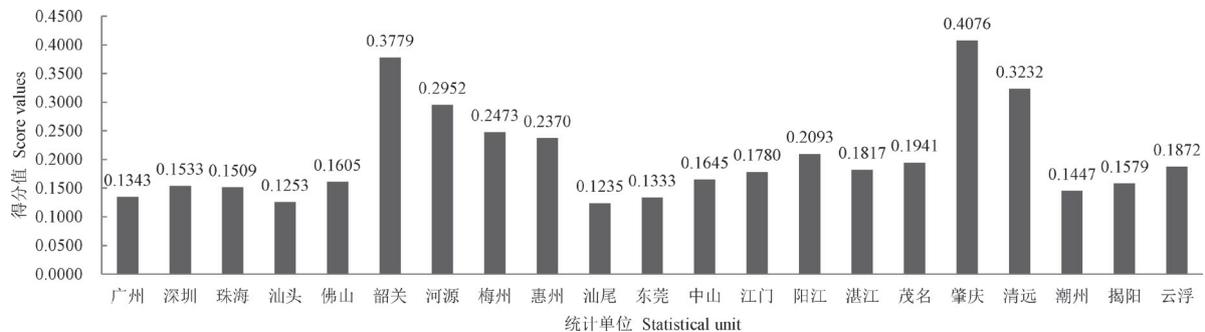


图3 各市森林生态功能维度得分值

Figure 3 The score value of forest ecological function dimension of each city

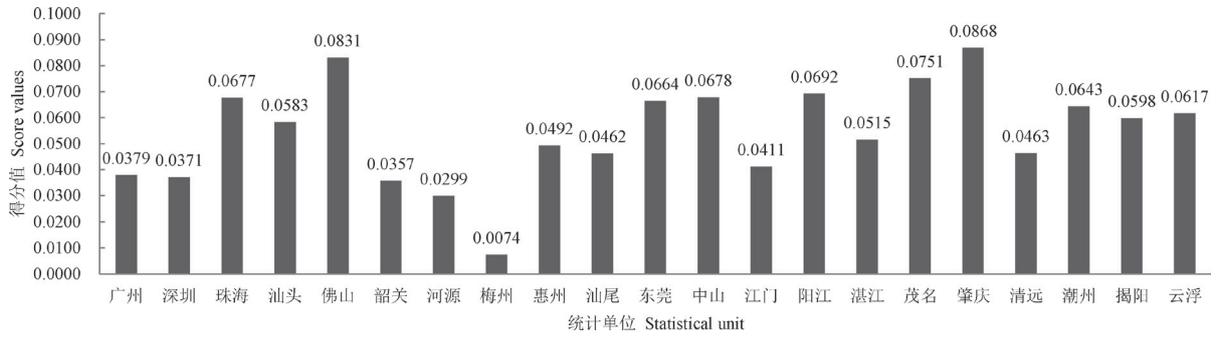


图4 各市林业经济价值维度得分值

Figure 4 The score value of forestry economic dimension of each city

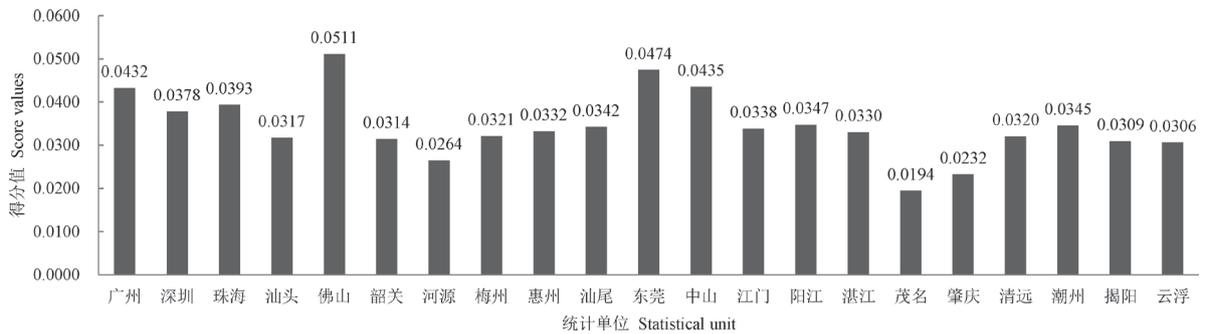


图5 各市资源能源消耗维度得分值

Figure 5 The score value of resource and energy consumption dimension of each city

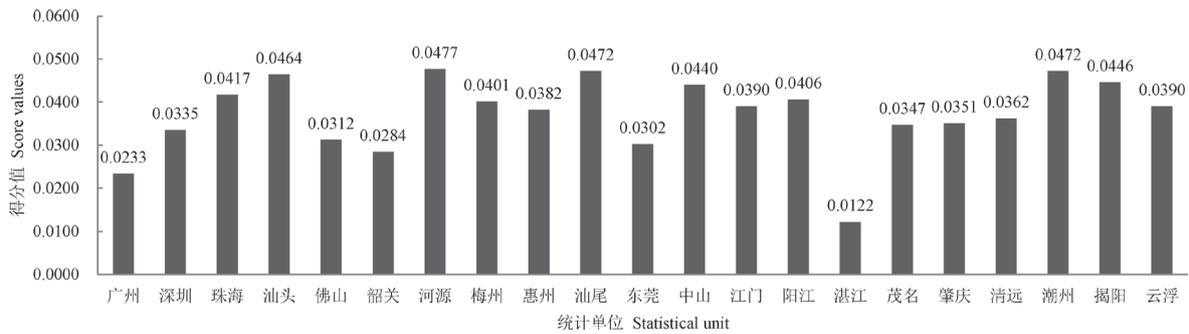


图6 各市环境污染排放维度得分值

Figure 6 The score value of environmental pollution emission dimension of each city

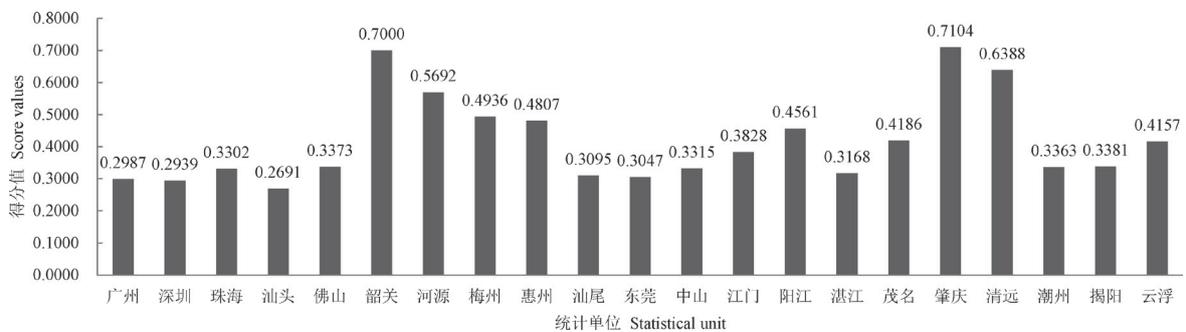


图7 各市森林生态承载力评价指数得分值

Figure 7 The score value of forest ecological carrying capacity evaluation index of each city

4 结论

森林生态系统是地球上陆地生态系统的主体,拥有多种生态服务功能,在维护生态安全方面具有不可替代的作用。由以上研究可见,森林生态承载力与自然驱动要素、森林资源结构、森林生态功能、林业经济价值、资源能源消耗、环境污染排放紧密相关。在“十四五”发展新征程及今后一段时期,要从以上六方面着手进一步统筹好保护和发展的关系,充分发挥森林在应对气候变化,维护生物多样性中的作用,实现人与自然和谐共处可持续发展。

(1) 自然驱动要素方面。全省重点要从生物安全角度出发加大林业有害生物,尤其是松材线虫病的防治,截至2020年底,松材线虫病疫情已扩散至20个地级以上市75个县(市、区)590个镇,发生面积443.47万亩,占全国16.34%,必须要采取强有力措施控制疫情蔓延趋势。同时还要持续开展岩溶地区石漠化植被恢复,加强水土流失综合治理。

(2) 森林资源结构方面。加强林地资源管理,开展大规模国土绿化,建设森林城市、森林县城、森林城镇、统筹城乡绿化,有效提高森林覆盖率和活立木蓄积量。

(3) 森林生态功能方面。开展大径材资源培育、高质量水源林建设、红树林保护修复,继续推进新一轮沿海防护林建设,以此提高森林生态功能。

(4) 林业经济价值方面。围绕乡村振兴战略,培育林业龙头企业,发展林下经济、森林旅游、森林康养、自然教育等新兴产业和新业态,促进一二三产融合发展,提高林业产业带动林农增收致富能力。

(5) 资源能源消耗和环境污染排放方面。紧扣碳达峰碳中和目标,通过造林增加森林碳储量(A/R),通过保护现有森林减少毁林和森林退化的碳排放(REDD),通过强化森林经营提高森林固碳能力(IFM),逐步提高林业在碳达峰碳中和过程中的贡献。

参考文献

- [1] ARROW K, BOLIN B, COSTANZA R, et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment. [J]. *Science*, 1995, 268(5210): 520.
- [2] 李岩, 王珂, 才琪, 等. 浙江省县域森林生态承载力评价及时空演变分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(3): 554-564.
- [3] 廖文梅, 秦克清, 童婷, 等. 长江经济带城市化与森林生态承载力协调关系研究[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, 36(2): 349-358.
- [4] 广东省统计局. 2019年广东省国民经济和社会发展统计公报[R/OL]. (2020-03-07)[2021-03-20]. http://stats.gd.gov.cn/tjgb/content/post_2923609.html.
- [5] 广东省林业局. 广东省林业局关于2019年度全省森林资源档案更新汇总结果的通报(粤林函[2020]65号) [R]. 广州: 广东省林业局, 2020.
- [6] 广东省林业局. 2019年广东省林业统计分析报告[R/OL]. (2020-07-24)[2021-03-20]. http://lyj.gd.gov.cn/government/release/content/post_3051925.html.
- [7] 广东省林业调查规划院. 2020年广东省林业产业监测报告[R]. 广州: 广东省林业调查规划院, 2020.
- [8] 丁国强, 刘文英, 肖彩虹, 等. 呼和浩特市森林承载力综合评价研究[J]. *内蒙古林业科技*, 2016, 42(4): 49-53.
- [9] 任光前, 李铁松, 曹帆, 等. 南充市森林承载力评价研究[J]. *新疆环境保护*, 2015, 37(1): 13-17.
- [10] 郑文生. 漳平市森林承载力评价与可持续经营对策[J]. *现代农业科技*, 2012(13): 166-169.
- [11] 张志杰, 伊力塔, 韩海荣, 等. 浙江省森林承载力评价研究[J]. *浙江林学院学报*, 2009, 26(3): 368-374.
- [12] 王恒进. 如何正确掌握统计学中的正指标和逆指标[J]. *南通工学院学报(社会科学版)*, 2004, 20(4): 142-144.
- [13] 刘冀钊, 伍玉容, 杨成永. 层次分析法在自然保护区生态评价中的应用初探[J]. *铁道劳动安全卫生与环保*, 2003, 30(1): 17-20.
- [14] 刘锋, 贾多杰, 李晓礼, 等. 无量纲化的方法[J]. *安顺学院学报*, 2008, 10(3): 78-80.
- [15] 易平涛, 张丹宁, 郭亚军, 等. 动态综合评价中的无量纲化方法[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(6): 889-892.