珠三角森林公园林冠色彩特征*

韩文静[1,2] 张 昶[1,3] 周海琪[3,4] 刘 婷[3,4] 沈德才[3,4] 刘颂颂[3,4] 莫罗坚[3,4] 王 成[1,3]

1 中国林业科学研究院林业研究所 国家林业和草原局城市森林研究中心 北京 100091
2 中交公路规划设计院有限公司 北京 100010
3 广东珠江口城市群森林生态系统国家定位观测研究站 广东东莞 523106
4 东莞市林业科学研究所 广东东莞 523106

摘要：色彩作为第一视觉要义，在森林景观质量提升、彰显地域特色等方面发挥着重要作用，但目前研究多集中于色彩变化剧烈的地区，对于珠三角等以渐变性森林色彩景观为主地区的研究较少。为明确渐变性森林色彩构成特征及其变化规律，以珠三角地区林冠色彩景观为研究对象，于 7 个森林公园选取 74 个样区，利用无人机进行全年定期监测，共获取 1 378 张图像；采用 *K*-Means 聚类法提取图像色彩信息，耦合人眼敏感度，构建珠三角森林公园色谱，并以此为依据，从色彩构成和空间分布格局两方面量化珠三角森林色彩特征。结果表明：1）珠三角森林色彩划分为橙、黄、黄绿、浅绿、绿、深绿、蓝绿、蓝、紫、红 10 个色相，90 种颜色；2）色彩构成方面，整体上以绿色（面积占比 63.34%）为主色，浅绿色（面积占比 14.01%）和黄绿色（面积占比 10.16%）为辅助色，橙色（面积占比 6.22%）和黄色（面积占比 6.28%）为点缀色，且以低饱和度（面积占比 68.48%）和中等明度（面积占比 54.00%）为主；3）色彩景观格局方面，橙色和黄色之间、黄绿色和浅绿色之间的斑块指数月变化趋势一致，整体上 1、2 和 5 月森林色彩破碎化程度较高，11 月斑块形状最复杂。总之，珠三角森林色彩变化集中于橙、黄、黄绿、浅绿、绿 5 种色相，并在色彩构成、面积占比及空间分布上呈现渐变性特征，该结果为绿美广东、美丽粤港澳大湾区建设，营造“多层次、多树种、多色彩”的珠三角森林景观提供了技术支撑。

关键词：森林公园色谱；色彩构成；色彩景观格局；珠三角地区
DOI：10.12169/zgcsly.2024.07.05.0002

Canopy Color Characteristics at Forest Parks in Pearl River Delta

Han Wenjing[1,2] Zhang Chang[1,3] Zhou Haiqi[3,4] Liu Ting[3,4] Shen Decai[3,4]
Liu Songsong[3,4] Mo Luojian[3,4] Wang Cheng[1,3]

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry/Urban Forest Research Center of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China; 2. CCCC Highway Consultants Co., Ltd., Beijing 100010, China; 3. Guangdong Pearl River Estuary City Cluster Ecosystem National Observation and Research Station, Dongguan 523106, Guangdong, China; 4. Dongguan Institute of Forestry Science, Dongguan 523106, Guangdong, China)

Abstract: Color, as the primary visual element, plays a crucial role in enhancing forest landscape quality and highlighting regional characteristics. However, most current research focuses on the areas with dramatic color changes, and there are few studies on the regions like the Pearl River Delta, which are

收稿日期：2024-07-05
* 基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金（CAFYBB2020ZB008）；国家重点研发计划项目（2021YFE0193200）；东莞市社会发展科技项目（20231800936142）
第一作者：韩文静（1997-），女，博士，助理咨询设计师，研究方向为城市森林结构与功能。E-mail：2281960614@qq.com
通信作者：沈德才（1982-），男，硕士，林业高级工程师，研究方向为森林经理、森林生态。E-mail：dglks@163.com

characterized by gradual color transitions in forest landscapes. To clarify composition and variation patterns of forest colors under the gradual transition, this study focuses on the color landscape of forests canopy in the Pearl River Delta. Seventy-four plots are selected across seven forest parks, and a total of 1 378 images are captured using drones for regular monitoring throughout the year. The *K*-Means clustering method is employed to extract color information from the images, coupled with human eye sensitivity, to construct the color palette of forest parks in the region, based on which the forest color characteristics in the region are quantified in terms of color composition and spatial distribution pattern. The results show that: 1) The forest colors in the Pearl River Delta can be divided into ten hues of orange, yellow, yellow-green, light green, green, dark green, blue-green, blue, purple, and red, and 90 different colors; 2) In terms of color composition, the dominant color is green (63.34% of the area), with light green (14.01%) and yellow-green (10.16%) as auxiliary colors, and orange (6.22%) and yellow (6.28%) as accent colors. The colors are predominated by low saturation (68.48%) and medium brightness (54.00%); and 3) In terms of color landscape pattern, the patch index of orange and yellow as well as of yellow-green and light-green show similar trends in monthly change. The fragmentation of forest colors is higher in January, February, and May, and the patch shapes are most complex in November. In conclusion, the forest color variations in the Pearl River Delta are primarily concentrated in five hues: orange, yellow, yellow-green, light green, and green, which exhibit gradient characteristics in terms of color composition, area proportion, and spatial distribution. The results provide technical support for the creation of a "multi-layered, multi-species and multi-color" forest landscape in the Pearl River Delta and make contributions to the building of the Green Beautiful Guangdong and the Beautiful Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area.

Keywords: forest park color palette; color composition; color landscape pattern; Pearl River Delta

森林色彩作为森林景观中最直观鲜明的外在表征，不仅能够反映林内植物生长状态、物候变化等特征，还关系到人们游憩过程中的视觉体验[1]和心理感受[2]。因此，研究森林色彩特征及其变化规律，对于提高景观质量[3]、调节景观空间情感和彰显景观特色[4-5]等具有重要的科学价值。

色彩信息量化是森林色彩研究的基础和前提，主要包括色彩空间的选择和色彩类别的划分。在色彩空间选择方面，HSV 色彩空间贴近人眼对色彩的感知[6-8]，并且色相（*H*）、饱和度（*S*）、明度（*V*）这 3 个分量之间相互独立[3]，2 个色彩点间距离可以用欧式距离计算[9]，更有利于色彩的量化和分析，成为了多数森林色彩研究者的首要选择。在色彩类别划分方面多采用分割法，根据色彩在色彩空间的分布情况，将其划分为若干个子空间，并在各子空间中选出一种最具代表性的颜色，具有用时短的优点，但无法保证得到最优的颜色归类效果[10]。

目前，基于 HSV 颜色空间的森林色彩类别划分方法主要有 2 种：等间隔划分和非等间隔划分。在中小尺度植物群落色彩研究中，田刚[11]、孙亚美[12]将 *H*、*S*、*V* 分别划分为等间隔的 24 级、3 级、3 级，将森林色彩简化为 216 种颜色，对校园色彩景观、植物秋叶色彩进行了量化。在较大尺度森林色彩景观研究中，马冰倩等[13]、曹瑜娟等[7]将 *H*、*S*、*V* 分为非等间隔的 16 级、4 级、4 级，将森林色彩简化为256 种颜色，Zhang 等在此基础上进行了黑白灰归一化处理，最终量化为 147 种色彩[8,14]。然而，这些研究对 HSV 分量的划分多借鉴图像检索等行业的通用量化模型，缺乏与森林实际情况相匹配的色彩谱系。

此外，现有研究多集中于森林色彩变化强烈的地区或季节，对于珠三角等森林色彩景观呈现渐变性特点的地区研究较少。唐小清等[15]基于多色彩调和理论，采用定性描述的方法，为广州生态景观林制定了“三角色、四方色”的植物景观搭配策略；庄梅梅[16]则采用传统比色卡及分光测色仪对深圳梧桐山植物色彩进行了量化，但其以面积占比最大的颜色作为植物代表色，忽略了同一时期植物色彩呈现的多样性，且以单株植物的物候色彩推断森林色调的变化，未考虑色彩景观空间分布特征及变化规律[16]。鉴于此，本研究以

森林景观中色彩变化最敏感的部分——林冠为对象，以森林图像代替森林实景，利用无人机进行全年定期观测。通过提取森林图像色彩信息，构建耦合机器学习和人眼感知的森林公园色谱，进一步量化珠三角森林色彩特征，旨在为该地区森林色彩景观规划与设计提供数据支撑与技术支持。

1　研究区概况

珠三角（111.36°—115.42° E，21.71°—24.39° N），位于广东省中南部、珠江入海口处[17]，总面积达 547.33 万 hm^2。属南亚热带季风气候，年均降水量 1 800 mm 以上，年均气温 21～23 ℃[18]。地带性森林植被类型以季风常绿阔叶林和常绿阔叶林为主[19-20]。

选取植被覆盖率高、森林类型种类齐全、游憩功能突出且游客量大的 7 处森林公园（大岭山森林公园、林科园、同沙生态园、九洞森林公园、大屏障森林公园、银瓶山森林公园清溪片区和谢岗片区）为研究对象。样区设置时，尽量涵盖珠三角主要植物物种及其群落组成，并确保能够拍摄到连续森林景观。基于此，对公园主要风景道路进行实地调查，最终确定了 74 个样区（200 m × 200 m），具体如图 1 所示。

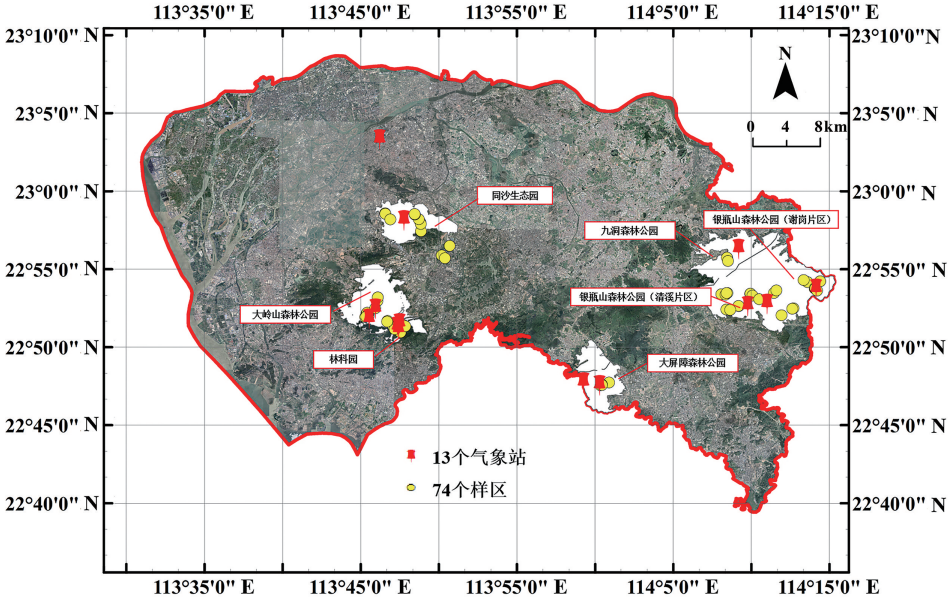


图 1　样区分布

2　研究方法

2.1　森林图像采集

利用大疆悟 2 无人机于晴朗天气拍摄各样区的冠层色彩景观。拍摄周期为 2022 年 9 月至 2023 年 8 月；拍摄过程中，控制拍摄高度、水平距离、方向和角度等因素，确保图像间的可比性；拍摄模式设置为自动白平衡、自动曝光，拍摄时间范围为 9：00—16：00，拍摄频率为每月 1～2 次，图像分辨率为 5 472×3 078 像素，拍摄情况以图 2 为例。

2.2　图像筛选与处理

以能够完整显示目标类型森林、色彩情况与实地观赏效果一致、光照等非森林因素对图像质量影响小为原则，选取同一拍摄日期、同一样区代表性图像各 1 张，共获得图像 1 378 张（每个样区图像数量为 12～20 张）。在图像处理方面，统一进行自适应伽马校正[21]，以保证图像色彩的真实性；然后，利用 PS 软件删除建筑、天空、水体等部分[14]，以消除非森林元素对色彩提取结果的影响。

2.3　森林公园色谱构建

依据 HSV 色彩空间的临界值规则，定义色相（H）、饱和度（S）和明度（V）区间。采用二次 K-Means 聚类方法进行 H 值区间划分[22]，具体步骤为：1）当色彩数量为 3～7 种时，可提取图像的主要色彩特征，故将聚类数 K 的取值范围设为［3，7］；采用手肘法[23]确定最优 K 值，该方法基



图 2 珠三角森林图像拍摄（同沙生态园样区 1）

于误差平方和（SSE）随 K 值增大先骤减后趋于平缓，呈现手肘状的变化曲线，肘部对应的 K 值即为最优，代表数据的真实聚类数[24]；据此对每张森林图像的色彩信息进行聚类。2）将 K 值设置为 8，对每张森林图像聚类颜色的 H 值进行聚类。3）基于人眼色彩敏感度[14,25]，对二次聚类结果进行调整。S 值和 V 值区间则采用等间隔划分方法，将其归一化值划分为低、中、高 3 个等级：[0，0.33]（0.33，0.67]（0.67，1]。

2.4 色彩斑块解译与指标计算

基于构建的珠三角森林公园色谱，使用 Visual Studio 2017 软件编译，开发色彩分析程序，对 1 378 张图像样本的色彩斑块进行解译，并自动生成 shp 文件。从色彩构成和空间分布格局两方面进行指标的选取与计算：1）色彩构成指标：从种类构成和面积占比 2 个角度，选取色彩数量（N）、色相指数（HI）、饱和度指数（SI）和明度指数（VI）4 个指标，利用公式计算各指标值；2）色彩斑块格局指标：从斑块形状、多样性、破碎化程度 3 个角度[7,26]，选取色彩斑块密度（c_PD）、最大斑块面积指数（c_LPI）、边缘密度（c_ED）、分离指数（c_SPL）、多样性指数（c_SHDI）和平均分维度指数（c_FRAC）6 个指标，使用 Fragstats 软件计算并输出各指标值。

2.5 数据分析

采用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据的正态性。经检验，本研究数据均不符合正态分布，故采用多独立样本 Kruskal-Wallis 检验各森林色彩指标在不同月份间的差异，取 $P<0.05$ 具有统计学意义。

3 结果与分析

3.1 珠三角森林公园色谱构建

K-Means 聚类结果显示，珠三角森林色相的 8 个聚类中心分别为 45、72、92、121、149、179、203 和 229。基于人眼色彩敏感度，将各色相区间调整为橙色 [0，25] 或（345，360]、黄色（25，45]、黄绿色（45，80]、浅绿色（80，108]、绿色（108，140]、深绿色（140，165]、蓝绿色（165，190]、蓝色（190，220]。此外，结合植物花色和果色等观赏特性，考虑色谱完整

性，添加了森林中较少出现的点缀色：紫色（220，290］和红色（290，345］。最终，构建了包含 10 个色相、90 种颜色的珠三角森林公园色谱（图 3）。

	橙色 (*H*1)	黄色 (*H*2)	黄绿色 (*H*3)	浅绿色 (*H*4)	绿色 (*H*5)	深绿色 (*H*6)	蓝绿色 (*H*7)	蓝色 (*H*8)	紫色 (*H*9)	红色 (*H*10)
低饱和度低明度 (*S*1, *V*1)	*C*0	*C*9	*C*18	*C*27	*C*36	*C*45	*C*54	*C*63	*C*72	*C*81
低饱和度中等明度 (*S*1, *V*2)	*C*1	*C*10	*C*19	*C*28	*C*37	*C*46	*C*55	*C*64	*C*73	*C*82
低饱和度高明度 (*S*1, *V*3)	*C*2	*C*11	*C*20	*C*29	*C*38	*C*47	*C*56	*C*65	*C*74	*C*83
中等饱和度低明度 (*S*2, *V*1)	*C*3	*C*12	*C*21	*C*30	*C*39	*C*48	*C*57	*C*66	*C*75	*C*84
中等饱和度中等明度 (*S*2, *V*2)	*C*4	*C*13	*C*22	*C*31	*C*40	*C*49	*C*58	*C*67	*C*76	*C*85
中等饱和度高明度 (*S*2, *V*3)	*C*5	*C*14	*C*23	*C*32	*C*41	*C*50	*C*59	*C*68	*C*77	*C*86
高饱和度低明度 (*S*3, *V*1)	*C*6	*C*15	*C*24	*C*33	*C*42	*C*51	*C*60	*C*69	*C*78	*C*87
高饱和度中等明度 (*S*3, *V*2)	*C*7	*C*16	*C*25	*C*34	*C*43	*C*52	*C*61	*C*70	*C*79	*C*88
高饱和度高明度 (*S*3, *V*3)	*C*8	*C*17	*C*26	*C*35	*C*44	*C*53	*C*62	*C*71	*C*80	*C*89

图 3　珠三角森林公园色谱

3.2　珠三角林冠色彩景观构成特征

3.2.1　全年林冠色彩景观构成特征

珠三角森林景观共涉及 44 种颜色，其中橙色 8 种，黄色、黄绿色、浅绿色和绿色各 9 种。从色相指数来看，以绿色（63.34%）为主色，浅绿色（14.01%）和黄绿色（10.16%）为辅助色，黄色（6.28%）和橙色（6.22%）为点缀色。从饱和度指数来看，以低饱和度（68.48%）为主，其次为中等饱和度（30.35%），而高饱和度指数仅为 1.16%。从明度指数来看，以中等明度（54.00%）为主，低明度（25.40%）和高明度（20.60%）指数相近。

3.2.2　不同季节林冠色彩景观构成特征

色彩数量在不同月份间存在显著差异（$P<0.01$）。冬季（12 月至翌年 2 月）和春季（3—5 月）的色彩数量相对较多，且不同月份间的差异程度较小；而在植物生长相对稳定的夏季和秋季，色彩数量在不同月份间差异较大，6 月的色彩数量少于 7、8 月，11 月的色彩数量少于 9、10 月（图 4A）。

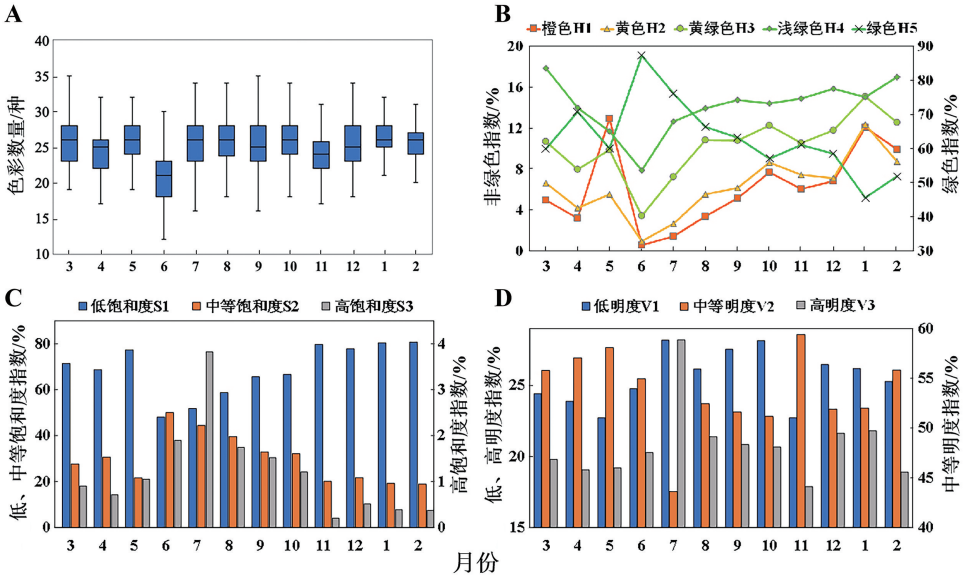


图 4　珠三角林冠色彩构成指标的月变化

色相指数在不同月份间存在显著差异（$P<0.01$）。橙色、黄色和黄绿色指数呈“先下降，后上升”的变化趋势，橙色指数在 5 月和 1 月较高，黄色和黄绿色指数在 1、2、10 月较高。浅绿色指数在 2、3 月较高，绿色指数最大值出现在 6 月，最小值出现在 1 月（图 4B）。

饱和度指数在不同月份间存在显著差异（$P<0.01$）。11 月至翌年 5 月的低饱和度指数明显高；而中等饱和度指数和高饱和度指数的变化趋势与其相反，在 6—10 月数值较大（图 4C）。这表明秋末、冬季和春季珠三角林冠景观中低饱和度面积占比较大，其他时期的饱和度较高。

明度指数在不同月份间存在显著差异（$P<0.01$）。低明度指数在 7—10 月数值较大，其次为 12 月至翌年 2 月；高明度指数在 7 月达到最大值；中等明度指数呈现“先下降，后上升”的变化趋势，在 3—5 月和 11 月数值较大（图 4D）。这表明珠三角森林景观在春季和秋末明度居中，盛夏时期明度相对较高，而盛秋和冬季明度较低。

3.3 珠三角林冠色彩景观格局特征

3.3.1 整体景观格局特征及其季节变化

由图 5 可知，珠三角林冠色彩整体景观格局在不同月份间存在显著差异（$P<0.01$）。色彩斑块密度、边缘密度和分离指数变化趋势相近，7、8 月数值较大，而最大斑块面积指数与这 3 个指标变化趋势相反，说明色彩斑块破碎化程度在夏季较高。色彩斑块平均分维度指数在 6、11 月较大，即森林色彩斑块形状在初夏和秋末最复杂。色彩斑块多样性指数最小值出现在 6 月，其他月份数值较大且变化相对平稳，这反映了珠三角森林景观全年色彩丰富，但初夏时期色彩种类有所减少。

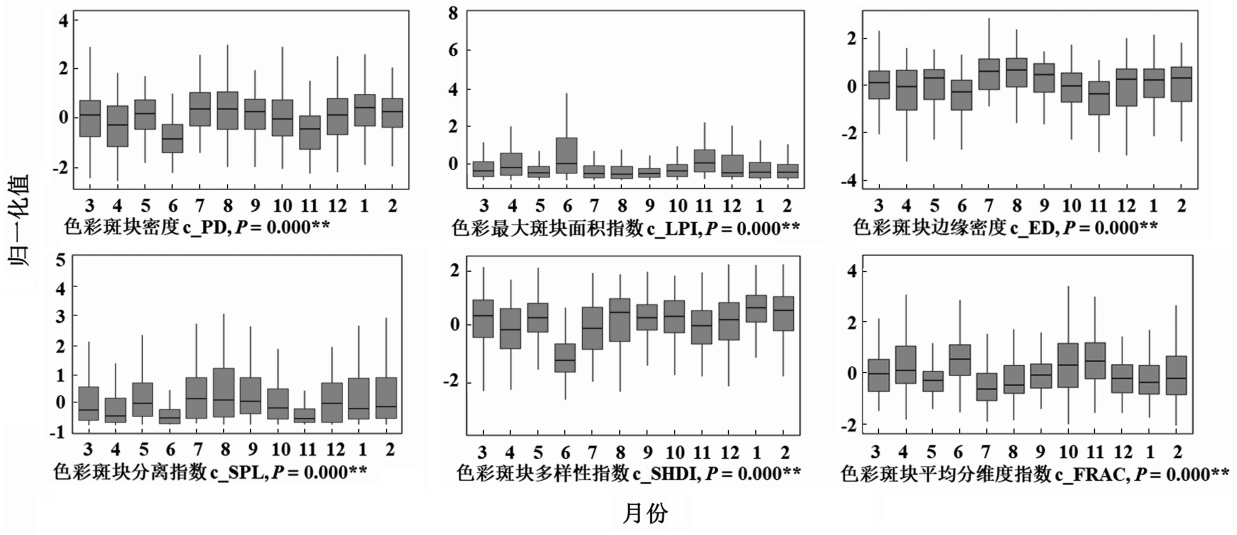


图 5 珠三角林冠色彩整体景观格局指标的月变化

3.3.2 不同色相的景观格局特征及其季节变化

1）橙色和黄色的景观格局特征及其季节变化。所有斑块指数在不同月份间均差异显著（$P<0.01$），且这 2 种色彩类型的斑块指数变化趋势一致（图 6）。其中，斑块密度和斑块边缘密度变化幅度较大且变化趋势相近，1、2、5 月数值较大，6—9 月数值较小；最大色彩斑块指数在 1—5 月较大。冬、春季斑块破碎化程度高，但最大斑块指数大，表明该时期橙色和黄色斑块的空间分布不均衡。斑块平均分维度指数最大值出现在 11 月，最小值出现在 7 月，说明橙色和黄色斑块形状在 11 月最复杂，7 月最简单。斑块分离度指数变化程度极小，即橙色或黄色斑块之间的交错程度相对平稳。

2）黄绿色和浅绿色的景观格局特征及其季节变化。所有斑块指数在不同月份间均差异显著（$P<0.01$），且这 2 种色彩类型的斑块指数变化趋势一致（图 7）。斑块密度和斑块边缘密度的变化幅度相对较大，在 1、2、5 月数值较大，6、7 月数值较小。最大斑块指数的变化幅度相对较小，2—4 月数值较大，说明冬末春初呈现连续且较大面积的黄绿色和浅绿色景观。斑块

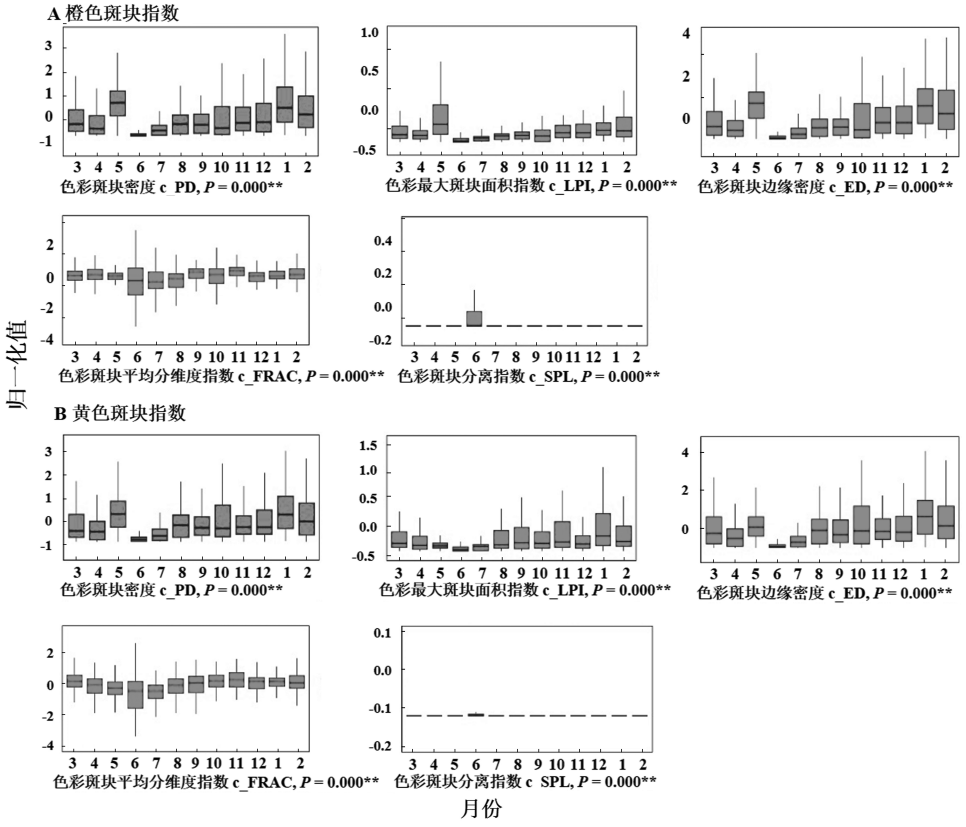


图 6　橙色和黄色斑块指数的月变化

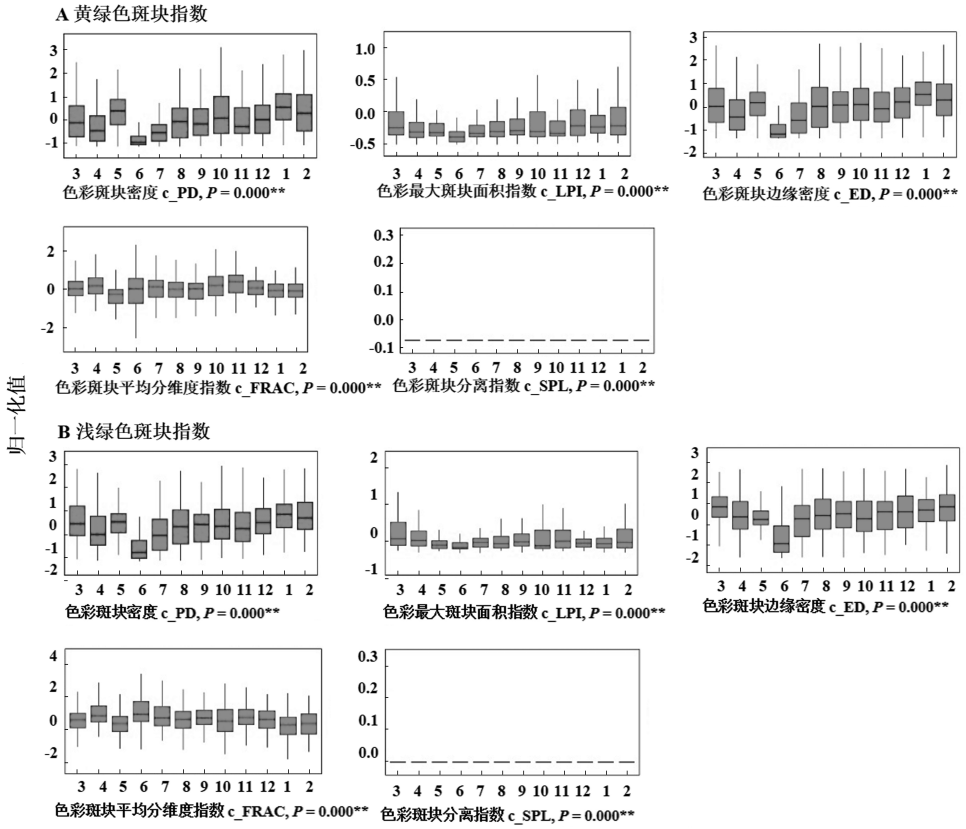


图 7　黄绿色和浅绿色斑块指数的月变化

平均分维度指数最大值出现在 11 月，最小值出现在 5 月，说明黄绿色和浅绿色的斑块形状在 11 月最复杂，5 月最简单。斑块分离度指数变化幅度极小，说明黄绿色或浅绿色斑块之间的交错程度相对平稳。

3）绿色的景观格局特征及其季节变化。针对绿色而言，所有斑块指数在不同月份间均差异显著（$P<0.01$）。斑块密度、边缘密度和最大斑块面积指数（c_LPI）的变化幅度相对较大。其中，c_PD 与 c_ED 的变化趋势相近，5 月和 1—3 月的数值较大，6 月数值较小；而 c_LPI 与这 2 个指标变化趋势相反。这表明绿色斑块在冬、春季破碎化程度较大，初夏时期较小。斑块平均分维度指数（c_FRAC）和斑块分离度指数（c_SPL）的变化幅度较小，说明绿色斑块的形状、斑块与斑块之间的交错程度均相对平稳（图 8）。

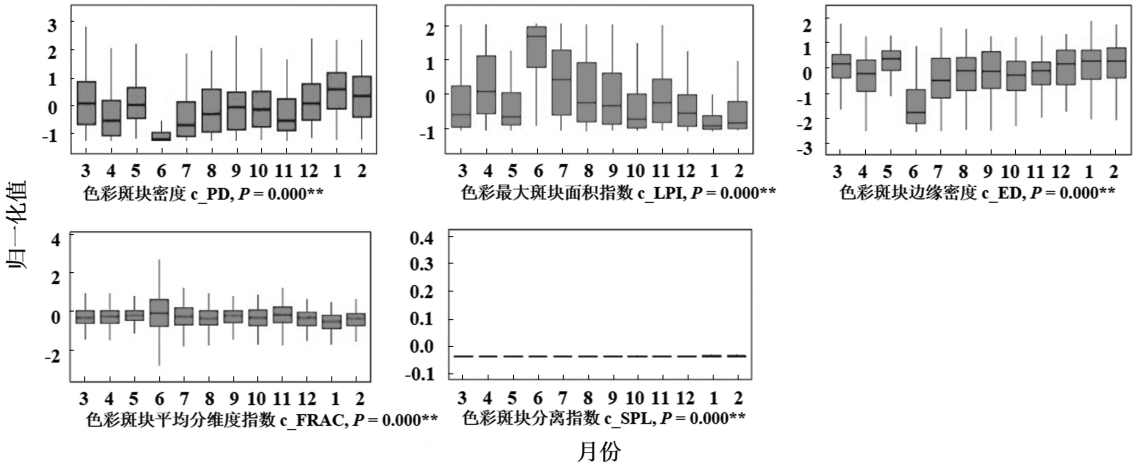


图 8 绿色斑块指数的月变化

4 讨论

4.1 珠三角林冠色彩构成对不同季节的响应

珠三角林冠景观以绿色为主色，黄绿色和浅绿色为辅助色，其他色彩为点缀色，多样化的色彩构成在不同月份间呈现显著的变化趋势，反映了森林生态系统内部的复杂动态过程及其对外界环境变化的敏感性[27]。与以往研究不同[14,28]，珠三角叶变色现象多发生在新叶萌发（橙色）到成熟（绿色）的过程，各季节均有新叶萌发和叶片衰老，但多集中在冬春季，故 12 月至翌年 5 月色彩数量相对较多。相比之下，夏季和秋季（6—11 月）色彩数量有所减少，这可能与植物进入生长稳定期及外界环境因素（如气温、降水等）的影响有关。橙色、黄色和黄绿色指数呈现出“先下降，后上升”的变化趋势，主要色彩贡献树种有荔枝（*Litchi chinensis*）、尾叶桉（*Eucalyptus urophylla*）、木油桐（*Vernicia montana*）、黄杞（*Engelhardia roxburghiana*）和醉香含笑（*Michelia macclurei*）等。浅绿色和绿色的稳定性较高，占据了森林景观色彩的主导地位，这可能与珠三角地带性植被以常绿植物为主有关，常绿植物对季节变化具有稳定的响应能力[19-20]。低饱和度色彩在秋末、冬季和春季占比较大，可能是因为低光照条件下植物叶绿素合成速率低于分解速率，导致叶片绿色减退，进而使得色彩饱和度降低[29]；而夏季光照充足、温度适宜，有利于植物光合作用和色素合成，使得叶片中叶绿素含量增加，同时伴随类胡萝卜素等辅助色素的增多，共同提升了植物色彩的饱和度和鲜艳度。明度方面，春季和秋末的高明度指数增加，可能与特定植物季节性变色有关；春季新叶萌发期往往伴随着叶片结构的改变和色素含量的调整，导致叶片反射光线的能力增强，进而提高了明度；秋季美丽异木棉（*Ceiba speciosa*）、光叶子花（*Bougainvillea glabra*）等植物花瓣色彩明亮，使得森林景观明度有所提升。综上所述，通过选择黧蒴锥（*Castanopsis fissa*）、美丽异木棉、黄花风铃木（*Handroanthus chrysanthus*）等季节性开花植物和荔枝、落羽杉（*Taxodium distichum*）等具有明显季节性叶色变化的植物，可以增强森林景观的季节性动态美感和生态功能。此外，考虑到不同色相、饱和度和明

度对季节变化的响应，应采取多样化的植被配置策略，以适应气候变化，提高景观的适应性和可持续性。

4.2　珠三角林冠色彩景观格局对不同季节的响应

不同色相的斑块景观格局对季节变化的响应不同[30]。橙色和黄色斑块在冬、春季展现出较大的最大斑块指数和较高的破碎化程度，说明冬、春季珠三角森林景观中存在较大面积的橙色和黄色，但其空间分布呈现不均衡状态；该分布特征通常与荔枝、黄花风铃木、落羽杉、红鳞蒲桃（*Syzygium hancei*）等主要色彩贡献植物集中分布，但新叶萌发与开花过程不同步有关[31]。随着新叶的生长，叶色由橙、黄色逐渐转变为黄绿色和浅绿色，并且 1、2、5 月黄绿色和浅绿色斑块密度和边缘密度均较大，这与冬、春季植物新叶萌发、开花现象有关。6 月植物物候生长进入稳定期，叶色、花色、果色等植物器官色彩变化的活跃度降低，珠三角森林色彩斑块的景观格局也趋于稳定；此时，绿色的主导优势凸显且斑块分布更加连续。鉴于森林色彩斑块景观格局随季节变化的显著性，在森林色彩景观规划设计中，可通过合理调整植物斑块的大小和形状，优化景观结构，以增强景观的生态功能和视觉吸引力。

5　结论

珠三角森林公园林冠色彩可划分为橙色、黄色、黄绿色、浅绿色、绿色、深绿色、蓝绿色、蓝色、紫色、红色 10 个色相，90 种颜色。色相方面：整体以绿色为主色，浅绿色和黄绿色为辅助色，黄色和橙色为点缀色；1、5 月橙色面积占比较大，1、2、10 月黄色和黄绿色面积占比较大，2、3 月浅绿色面积占比较大，6 月绿色面积占比最大，体现了珠三角林冠色彩景观的渐变性。饱和度方面：整体以低饱和度为主，秋末、冬季和春季的饱和度较低。明度方面：整体以中等明度为主，春季和秋末明度居中，盛夏明度相对较高，而盛秋和冬季明度较低。色彩斑块景观格局方面：橙色和黄色之间、黄绿色和浅绿色之间的斑块指数变化趋势一致，1、2、5 月森林色彩破碎化程度较高，11 月斑块形状最复杂。研究结果为珠三角森林色彩景观设计与规划提供了技术支撑，可用于指导绿美广东、美丽粤港澳大湾区建设，营造多层次、多树种、多色彩的森林景观。

参考文献

[1]张昶,韩文静,王成.植物色彩对潮白河城镇河岸夏秋季景观视觉吸引力的影响[J].林业科学,2023,59(8):30-39.

[2]WANG Z,LI M,ZHANG X,et al.Modeling the scenic beauty of autumnal tree color at the landscape scale:a case study of Purple Mountain,Nanjing,China[J].Urban Forestry & Urban Greening,2020,47:126526.

[3]秦一心,方亮,张龙,等.森林色彩三要素独立变化对观赏效应的影响[J].中国城市林业,2016,14(3):26-32.

[4]李芳,袁洪波,戴思兰,等.园林植物景观季相变化及其生态和人文功能[J].北京林业大学学报,2010(S1):200-206.

[5]WANG D.Seasonal color matching method of ornamental plants in urban landscape construction[J]. Open Geosciences, 2021, 13(1):594-605.

[6]BURDESCU D D,BREZOVAN M,GANEA E,et al.Anew method for segmentation of images represented in a hsv color space[M]// In advanced concepts for intelligent vision systems: 11th international conference. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,2009,606-617.

[7]曹瑜娟,徐程扬,任雅雪,等.基于敏感度排序的风景林色彩格局指数筛选[J].林业科学,2021,57(8):1-12.

[8]MU Y, LIN W, DIAO X, Et al. Implementation of the visual aesthetic quality of slope forest autumn color change into the configuration of tree Species[J].Scientific Reports,2022,12(1):1034.

[9]KARASOV O,KÜLVIK M,CHERVANYOV I,et al.Mapping the extent of land cover colour harmony based on satellite Earth observation data[J].GeoJournal,2019,84(4):1057-1072.

[10]沈项军,汪增福.一种基于视觉感知的色彩量化算法[J].模式识别与人工智能,2007,20(6):821-826.

[11]田刚.沈阳高校校园色彩景观调查研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.

[12]孙亚美.北京地区常用秋色叶树种色彩量化与评价研究[D].北京:北京林业大学,2015.

[13]马冰倩,徐程扬,崔义.八达岭秋季景观整体色彩组成对美景度的影响[J].西北林学院学报,2018,33(6):258-264.

[14]ZHANG Z,QIE G,WANG C,et al.Relationship between forest color characteristics andscenic beauty: case study analyzing pictures of mountainous forests at sloped positions in Jiuzhai Valley, China[J].Forests,2017,8(3):63.

[15]唐小清,崔煜文,陈红锋.多色彩调和在广州生态景观林带中的应用研究[J].中国园林,2017,33(4):97-102.

[16]庄梅梅.深圳梧桐山植被景观色彩研究[D].北京:中国林业科学研究院,2011.

[17]何全军.基于 MODIS 数据的珠三角地区 NDVI 时空变化特征及对气象因素的响应[J].生态环境学报,2019,28(9):1722-1730.

[18]李楚均,陈小梅,温小浩,等.城市化背景下珠江三角洲常绿阔叶林群落结构及植物多样性[J].生态学杂志,2019,38(11):3298-3305.

[19]胡传伟,赵强民,孙冰,等.珠三角人居绿地木本植物数量特征研究[J].生态科学,2017,36(2):76-81.

[20]严朝东,苏纯兰,孔爱冬,等.东莞市古树名木无损诊断和健康评价[J].林业与环境科学,2021,37(6):155-162.

[21]HUANG S C, CHENG F C, CHIU Y S. Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution[J].IEEE Trans Image Process,2013,22(3):1032-1041.

[22]HAN W, ZHANG C, WANG C, et al. Constructing aforest color palette and the effects of the color patch index on human eye recognition accuracy[J].Forests,2023,14(3):627.

[23]何倩,李双富,黄焕,等.一种海量数据快速聚类算法[J].北京邮电大学学报,2020,43(3):118-124.

[24]张添翼,杨涵,田俊山,等.*K*-means 算法在高速公路 ETC 数据分析中的应用[J].公路交通科技,2024,41(6):199-206.

[25]程德强,张皓翔,江曼,等.融合主曲率与颜色信息的彩色图像检索算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2021,33(2):223-231.

[26]刘畅,刘亚,刘海轩,等.游憩型城镇景观林林内景观斑块类型特征研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):305-311.

[27]KEENAN T F, GRAY J, YANG B, et al. Net carbon uptake has increased through warming-induced changes in temperate forest phenology[J].Nature Climate Change,2014,4(7):598-604.

[28]张小晶,陈娟,李巧玉,等.基于视觉特性的川西亚高山秋季景观林色彩量化及景观美学质量评价[J].应用生态学报,2020,31(1):45-54.

[29]曹瑜娟,徐程扬,崔义,等.观景距离和光照条件对黄栌林景观色彩的影响[J].中南林业科技大学学报,2019,39(5):22-29,48.

[30]张小晶.川西亚高山景观林色彩特征变化及景观美学质量评价研究[D].重庆:西南大学,2020.

[31]张元康,王秀荣,杨婷,等.贵阳市常见园林植物春季新叶色彩属性变化特征研究[J].西北林学院学报,2019,34(6):208-213.