# 广州市石门国家森林公园彩叶林树种组成及季相变化*

陈 勇[1] 李嘉杰[1] 赵志刚[1] 孟诗原[1] 陈婉颖[1] 代色平[1] 莫志安[2] 李俊杰[2]

1 广州市林业和园林科学研究院/广州市生态园林科技协同创新中心 广州 510405

2 石门国家森林公园 广州 510030

**摘要**：对广州市石门国家森林公园内 5 块彩叶林进行样方调查，应用无人机对彩叶林进行跟踪拍摄，量化图像色彩，以定性和定量相结合的方法研究彩叶林树种组成、色相变化特征。结果表明：石门国家森林公园的彩叶林乔木树种比较丰富，共 25 科 34 属 48 种，以樟科、大戟科、漆树科、蔷薇科乔木为主。按色系分类，有红叶乔木、黄叶乔木、叶背白色乔木；按叶色呈现时期分类，有春色叶乔木、秋色叶乔木、常色叶乔木。石门国家森林公园彩叶林的色彩季相变化较明显，夏季为绿叶期，秋冬及初春为彩叶期，彩叶期从 11 月上旬开始至第二年的 3 月中旬结束；彩叶林的最佳观赏期在 12 月下旬，前后持续 30 d，游客在此期间出行可以观赏到色彩丰富、层次明显的多彩森林景观。因此，未来在多彩森林营建时，可考虑种植樟、浙江润楠、红楠等新叶有色叶乔木，形成色彩斑斓的森林景观；在一些景观节点、林缘可考虑种植木棉、宫粉紫荆等观花树种，形成繁花似锦的森林景观。

**关键词**：彩叶林；彩叶乔木；色彩量化；最佳观赏期

DOI：10.12169/zgcsly.2024.04.25.0001

## Species Composition and Seasonal Variation of Color-leaf Forest in Shimen National Forest Park, Guangzhou City

Chen Yong[1] Li Jiajie[1] Zhao Zhigang[1] Meng Shiyuan[1] Chen Wanying[1]
Dai Seping[1] Mo Zhi'an[2] Li Junjie[2]

(1. Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture/Guangzhou Sci-Tech Collaborative Innovation Center on Ecology and Landscape, Guangzhou 510405, China; 2. Shimen National Forest Park, Guangzhou 510030, China)

**Abstract**: Five color-leaf forests are selected in Shimen National Forest Park, Guangzhou City, for sample plot investigation. Unmanned aerial vehicles (UAVs) are used to track shooting the color-leaf forests, and the image color is quantified, to study their species composition and color variation with combined qualitative and quantitative methods . The results show that Shimen National Forest Park boasts rich species of color-leaf arbors, with 48 species in 34 genera of 25 families. Camphoraceae, Euphorbiaceae, Lacertidae and Rosaceae are the main families in there. In terms of color system, the trees are classified as red-leaf trees, yellow-leaf trees, and white-leaf trees, and regarding the period of leaf colour change, the trees are classified as spring-leaf-color trees, autumn-leaf-color trees, and double-season leaf-color trees. The color-leaf forests in the Shimen National Forest Park have their color change distinctly in different

收稿日期：2024-04-25

* 基金项目：广州市部门预算项目“珍贵树种良种选育与应用示范”；广州市林业和园林局科技项目；广东省林业科技创新项目（2021KJCX017）

第一作者：陈勇（1978- ），男，博士，高级工程师，研究方向为城市林业和观赏植物种质资源收集与新品种选育。E-mail：109072331@qq.com

通信作者：代色平（1975- ），女，博士，教授级高工，研究方向为园林植物应用。E-mail：383856367@qq.com

seasons, and spring and summer are the green leaf periods, while autumn and winter are the colorful leaf periods, which last from early December to middle March in the next year. The best viewing period of color-leaf forest is in late december and will last about 30 days. Tourists could travel to view the forest landscape with rich colors and distinct color layers. In summary, when establishing color-leaf forests, it is advisable to consider planting the arbor species with colorful leaves such as *Camphora officinarum*, *Machilus chekiangensis*, and *M. thunbergii* to form a colorful forest landscape; in some scenic nodes and forest edges, it is recommended to plant flowering tree species like *Bombax ceiba* and *Bauhinia variegata* to form a forest landscape abundant in blooms.

**Keywords**: color-leaf forest; color-leaf arbor; color quantization; best period for viewing

彩叶林是指由一定彩叶树种组成并且在特定时间内形成色彩丰富的森林景观的森林总称[1]。彩叶林不仅具有涵养水源、净化大气、保持水土、气候调节、生物多样性维持等森林生态系统服务功能[2]，还具有独特的景观美学价值，同时也是美丽中国建设、绿美广东生态建设的重要载体。

彩叶林是我国森林景观旅游资源的重要组成部分，以秋色叶树种而著称的风景名胜很多，其中著名的有北京香山、南京栖霞山、江西庐山、湖南岳麓山等[3-5]。尽管这些风景名胜区皆以秋季红叶满山见长，然而因其主要树种各不相同，给人的感受也不一样[5]。彩叶树种是彩叶林的核心成分，可划分为春色叶、秋色叶和常色叶[6]。何方永等[7]研究发现，米心水青冈（*Fagus engleriana*）与巴山水青冈（*Fagus hayatae*）是构成米仓山彩叶林的主要树种；李巧玉[3]研究发现，川西亚高山彩叶林主要彩叶树种有糙皮桦（*Betula utilis*）、白桦（*Betula platyphylla*）、青榨槭（*Acer davidii*）、日本落叶松（*Larix kaempferi*）、四川红杉（*Larix mastersiana*）等 50 种；易绮斐等[8]研究发现，石门国家森林公园共有彩叶植物 63 种，其中春色叶植物 28 种，秋色叶植物 32 种，常色叶植物 3 种。影响彩叶林美景度的关键因子是色彩，而色彩常常由多种色相、饱和度和明度所决定[9]。色彩信息的采集和记录是森林色彩研究的基础，以往研究中通常使用比色卡、色彩仪或数码相机来实现色彩的采集[10-11]。通过比色卡获得的色彩信息主观性较强，色彩仪适用于大量色彩数据的采集，但其精度不高；数码相机则适合于对大面积的景观色彩进行采集[12-13]，但是在利用数码相机对大面积色彩取景时，容易受到前景近景等干扰，不同景观照片中近景干扰程度不同，近景的色彩占比必然会增加，从而影响照片中的各项色彩指数。以往研究通常使用 Photoshop 等软件记录色彩的 RGB 值[14]，但 RGB 三分量值无规律可寻，无法从视觉感知特点上反映彩叶林多样且复杂的色彩构成[15]。为解决以上问题，本研究使用无人机拍摄手段获取低空尺度下的群落景观照片，采用适合人眼视觉特点的 HSB 颜色模式划分色彩阈值区间，通过 ColorImpact 软件提取景观图像中的色彩进行分析。

景观质量的高低会影响游客的体验，从而影响地区的旅游潜力[16]。广州市石门国家森林公园是我国第一家经原林业部批准的国际森林浴场，是一个集自然景观、人文景观、森林保健功能于一体的生态型公园，素有“广州香山”之称，公园内彩叶林共有 3 000 多亩（200 $hm^2$），以枫香树（*Liquidambar formosana*）、山乌桕（*Triadica cochinchinensis*）为主，每到秋冬季节都会有大量游客前往驻足观赏。本研究区域以公园内山地森林的外貌为研究对象，控制其他景观要素（如水元素、道路、景观亭等），通过无人机进行观测，并进行群落调查、室内彩色图像解译分析、色彩量化等，以定性和定量相结合的方法研究树种组成、色彩属性现状及变化特征，以期为石门国家森林公园彩叶林的经营及景观美景质量的提升提供参考。

## 1 研究区概况

石门国家森林公园（23°36′50″—23°39′20″N，113°46′16″—113°49′17″E）位于广东省广州市从化东北部，北回归线北缘，总面积 2 636 $hm^2$，森林覆盖率达 95.1%。该公园属南亚热带季风气候类型，冬暖夏凉，年平均温度 21.4 ℃，7—8 月平均最高气温 28.5 ℃，1—2 月平均最低气温

12.4 ℃。降水量充沛，年平均降水量 1 800 mm，主要集中在 5—8 月份，相对湿度达 85%以上，水热条件良好，利于植物的生长。土壤条件良好，随着海拔不同分布着山地红壤、赤红壤、黄壤、草甸土 4 种类型。该森林公园植被可分为山地常绿阔叶林、亚热带常绿阔叶林、亚热带常绿与落叶阔叶混交林等 8 种群落类型[8]。

## 2　研究方法

### 2.1　样方调查

2022—2023 年，在对石门国家森林公园全面踏查的基础上，采用典型取样法设置 5 个1 200 $m^2$的样方；将样方分成 12 个 10 m×10 m 的小样方，将株高 3.0 m 以上的植株记为乔木，调查其种名、胸径、树高、叶色、生长状况。环境因子记录经纬度、海拔、坡位、坡度、坡向、土壤状况等。

### 2.2　照片的拍摄与选取

选择晴朗天气，利用大疆无人机（型号：DJI Air 2S；镜头：35 mm，等效焦距：22 mm，光圈：f/2.8，焦点范围：0.6 m 至无穷远）在 2022 年 11 月下旬（$T_1$）、2022 年 12 月上旬（$T_2$）、2022 年 12 月下旬（$T_3$）、2023 年 1 月中旬（$T_4$）、2023 年 2 月下旬（$T_5$）、2023 年 3 月中旬（$T_6$）、2023 年 4 月上旬（$T_7$）、2023 年 5 月中旬（$T_8$）8 个不同时期，对每个样方中心上空 50 m 垂直拍摄样方坡面，5 个样方共获取 40 张景观照片（图 1）。

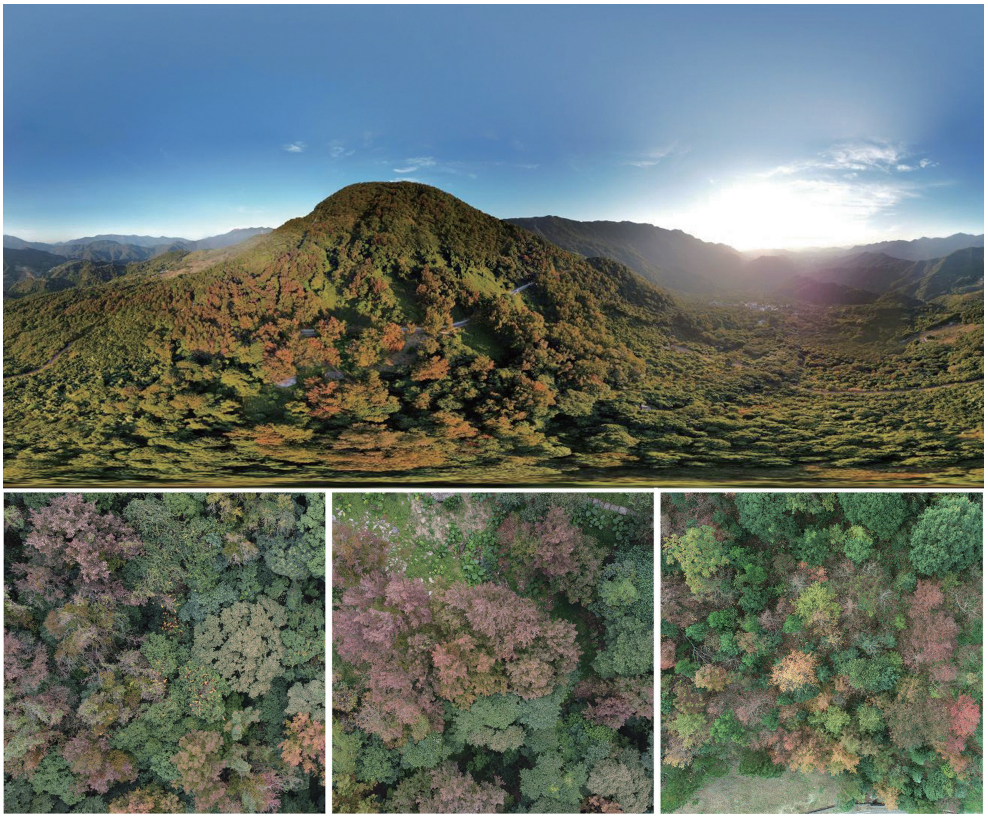


图 1　彩叶林全景图和样方航拍图

### 2.3　室内图像的解译

运用 Colorimpact 软件对拍摄的照片进行色彩量化，采用 HSB 颜色模式[17]（色相（Hue，H）；饱和度（Saturation，S）；明度（Brightness，B）对照片进行色彩量化，将 H、S、B 分量分别做 8 级、4 级、4 级的非等隔均匀量，得到 128 种色彩 HSB 颜色模式划分色彩阈值区间[15]的公式如下：

$$H=\begin{cases}0,315\leqslant h\leqslant 360\text{ 或 }0\leqslant h<23(\text{红})\\1,23\leqslant h<50(\text{橙})\\2,50\leqslant h<75(\text{黄})\\3,75\leqslant h<155(\text{绿})\\4,155\leqslant h<195(\text{青})\\5,195\leqslant h<275(\text{蓝})\\6,275\leqslant h<290(\text{紫})\\7,290\leqslant h<315(\text{紫红})\end{cases}\tag{1}$$

$$S=\begin{cases}0,0\leqslant s<0.15(\text{极低饱和度})\\1,0.15\leqslant s<0.4(\text{低饱和度})\\2,0.4\leqslant s<0.75(\text{中饱和度})\\3,0.75\leqslant s<1(\text{高饱和度})\end{cases}\quad(2)$$

$$B=\begin{cases}0,0\leqslant b<0.15(\text{极低明度})\\1,0.15\leqslant b<0.4(\text{低明度})\\2,0.4\leqslant b<0.75(\text{中明度})\\3,0.75\leqslant b<1(\text{高明度})\end{cases}\quad(3)$$

式（1）~（3）中：H 为色相，取值范围［0，360］；S 为饱和度，取值范围［0，1］；B 为明度，取值范围［0，1］。

## 3 结果与分析

### 3.1 彩叶林乔木种类组成

石门国家森林公园的彩叶乔木共 25 科 34 属 48 种（表 1），以樟科、大戟科、漆树科、蔷薇科乔木为主，其中樟科 8 种，占 16.67%；大戟科 5 种，占 10.42%；蔷薇科 4 种，占 8.33%。按色系分类：红叶乔木 31 种、黄叶乔木 16 种、叶背白色叶乔木 3 种。按叶片色彩观赏期分类[8]：春色叶乔木 19 种、秋色叶乔木 26 种、常色叶乔木 3 种。

**表 1 彩叶林乔木科、属、种以及叶色一览表**

| 科名 | 拉丁名 | 属数 | 种数 | 占比/% | 红叶乔木 | 黄叶乔木 | 叶背白色叶乔木 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 樟科 | Lauraceae | 4 | 8 | 16.67 | √ | √ | |
| 大戟科 | Euphorbiaceae | 4 | 5 | 10.42 | √ | √ | √ |
| 漆树科 | Anacardiaceae | 2 | 2 | 4.17 | √ | √ | |
| 蔷薇科 | Rosaceae | 2 | 4 | 8.33 | √ | √ | |
| 山茶科 | Theaceae | 2 | 2 | 4.17 | √ | | |
| 五列木科 | Pentaphylacaceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | | |
| 杜英科 | Elaeocarpaceae | 1 | 3 | 6.25 | √ | | |
| 木兰科 | Magnoliaceae | 1 | 1 | 2.08 | | | √ |
| 芸香科 | Rutaceae | 1 | 2 | 4.17 | √ | √ | |
| 槭树科 | Aceraceae | 1 | 3 | 6.25 | √ | √ | |
| 楝科 | Meliaceae | 1 | 3 | 6.25 | √ | | |
| 安息香科 | Styracaceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | | |
| 虎皮楠科 | Daphniphyllaceae | 1 | 1 | 2.08 | | √ | |
| 金缕梅科 | Hamamelidaceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | √ | |
| 金丝桃科 | Hypericaceae | 1 | 1 | 2.08 | | √ | |
| 壳斗科 | Fagaceae | 1 | 1 | 2.08 | | | √ |
| 苦木科 | Simaroubaceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | | |
| 千屈菜科 | Lythraceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | | |
| 清风藤科 | Sabiaceae | 1 | 1 | 2.08 | | √ | |
| 山茱萸科 | Cornaceae | 1 | 1 | 2.08 | | √ | |
| 省沽油科 | Staphyleaceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | | |
| 柿科 | Ebenaceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | | |
| 无患子科 | Sapindaceae | 1 | 1 | 2.08 | √ | √ | |
| 银杏科 | Ginkgoaceae | 1 | 1 | 2.08 | | √ | |
| 榆科 | Ulmaceae | 1 | 1 | 2.08 | | √ | |
| 合计 | | 34 | 48 | 100 | | | |

#### 3.1.1 按叶色的色系分类

红叶乔木主要有枫香树、黄樟（*Camphora parthenoxylon*）、红楠（*Machilus thunbergii*）、苦木（*Picrasma quassioides*）、香椿（*Toona sinensis*）、红椿（*Toona ciliata*）等。

黄叶乔木主要有银杏科、芸香科、金缕梅科、榆科、山茱萸科和樟科，如银杏（*Ginkgo biloba*）、棟叶吴茱萸（*Tetradium glabrifolium*）、枫香树、八角枫（*Alangium chinense*）、朴树（*Celtis sinensis*）、黄樟、山苍子（*Litsea cubeba*）等。

叶背白色乔木主要有白楸（*Mallotus paniculatus*）、深山含笑（*Michelia maudiae*）、锥（*Castanopsis chinensis*）等。

#### 3.1.2 按叶片色彩观赏期分类

春色叶乔木是指春、夏季新发出来的嫩叶有显著不同绿色的乔木[8]。石门国家森林公园有 19 种，包括樟（*Camphora officinarum*）、枫香树、石斑木（*Rhaphiolepis indica*）、中华石楠（*Photinia beauverdiana*）、闽粤石楠（*Photinia benthamiana*）、石楠（*Photinia serratifolia*）、樟叶泡花树

（*Meliosma squamulata*）等。

秋色叶乔木是指凡在秋冬季节期间，叶片颜色有显著变化的乔木[8]。尽管所有的落叶树种在秋季都有叶色变化，但色泽不佳或持续时间短，使其观赏价位降低，不宜称为秋色叶乔木。秋色叶乔木主要为落叶树，但少数常绿树种秋叶艳丽也可作为秋色树种应用。石门国家森林公园有秋叶乔木 26 种，有银杏科、漆树科、俞科、大戟科、芸香科、金缕梅科乔木，如枫香树、银杏、野漆、朴树、三角槭（*Acer buergerianum*）、岭南槭（*Acer tutcheri*）、鸡爪槭（*Acer palmatum*）、山乌桕、楝叶吴茱萸等。

常色叶乔木是指叶片常年均呈非绿色稳定的特殊色彩的乔木[8]。石门国家森林公园有 3 种，如白楸、锥、深山含笑等。

## 3.2　彩叶林色彩的变化特征

### 3.2.1　彩叶林色彩属性分布

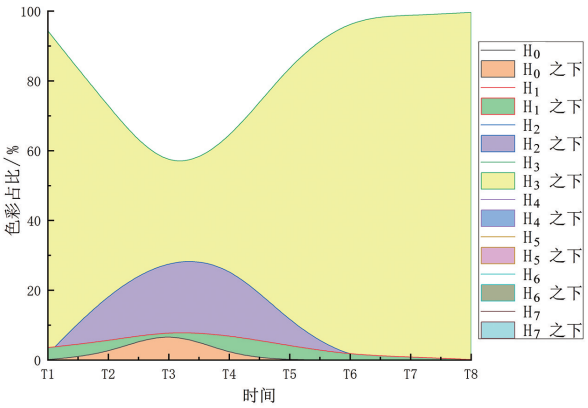
通过 Colorimpact 划分色彩分布范围（表 2）可知，石门国家森林公园彩叶林的色彩季相变化较明显，其中色相覆盖范围广（22°～353°），包含 8 个色相，其中以绿色系（$H_3$）为主，其次为黄色系（$H_2$）、橙色系（$H_1$）、红色系（$H_0$），而青色系（$H_4$）、蓝色系（$H_5$）、紫色系（$H_6$）、紫红色系（$H_7$）占比不到 1%（图 2），即石门国家森林公园彩叶林的彩叶期的色彩占比为绿色（$H_3$）>黄色（$H_2$）>橙色（$H_1$）>红色（$H_0$）>其他。。结合样方调查数据分析，石门国家森林公园彩叶林除了样方 4 为纯枫香树林以外，其他样方都是常绿落叶混交林，且樟、锥、火力楠等常绿树种为主要树种。

表 2　色彩要素分布范围

| | 色相（H） | 饱和度（S） | 明度（B） |
|---|---|---|---|
| 最大值 | 353 | 66 | 92 |
| 最小值 | 22 | 2 | 20 |
| 平均值 | 112.97 | 30.64 | 57.59 |

### 3.2.2　彩叶林色相变化特征

通过色相变化曲线（图 3）可以看出，从 11 月下旬开始，红色（$H_0$）、橙色（$H_1$）和黄色占比（$H_2$）呈现先增加后减少的趋势，在 12 月下旬（$T_3$）达到最大值，分别为 9.10%、8.42%、29.45%。较 $H_1$、$H_2$而言，$H_0$于 12 月下旬至 1 月




注：1）$H_0$为红色占比，$H_1$为橙色占比，$H_2$为黄色占比，$H_3$为绿色占比，$H_4$为青色占比，$H_5$为蓝色占比，$H_6$为紫色占比，$H_7$为紫红色占比；2）$T_1$为 2022 年 11 月下旬，$T_2$为 2022 年 12 月上旬，$T_3$为 2022 年 12 月下旬，$T_4$为 2023 年 1 月中旬，$T_5$为 2023 年 2 月下旬，$T_6$为 2023 年 3 月中旬，$T_7$为 2023 年 4 月上旬，$T_8$为 2023 年 5 月中旬；下同。

图 2　色彩分布

中旬呈现急剧下降，后趋于 0%，这可能是以红色叶为主的枫香树等在 12 月下旬至 1 月中旬大量落叶导致。$H_1$、$H_2$则于 12 月下旬至 3 月中旬呈平缓下降趋势。

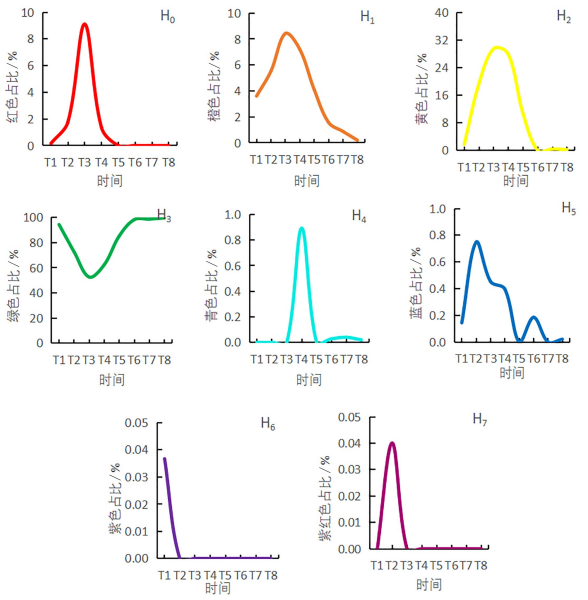



图 3　色相变化曲线

对绿色占比（$H_3$）而言，总体呈现下降-上升-平稳的趋势（图 3），其中 11 月下旬到 12 月下旬呈现较大降幅，下降 41.74%；12 月下旬到 3 月中旬呈现上升趋势，上升 45.65%，3 月中旬呈现平稳趋势，稳定在 98.50%左右。青色（$H_4$）、

蓝色（$H_5$）、紫色（$H_6$）和紫红色占比（$H_7$）在各时间段均小于 1%。

3.2.3 彩叶林饱和度和明度变化特征

石门国家森林公园彩叶林的色彩饱和度和明度主要集中在 S1、S2 和 B1、B2（图 4），饱和度取值范围为 2～66，明度取值范围为 20～92（表 2）。随着时间的推移，饱和度和明度的波动幅度较大（图 4）。11 月下旬至 12 月下旬极低饱和度占比（S0）平缓增加，至 1 月中旬上升至最大值（13.29%）后急剧下降至 0%；低饱和度占比（S1）则从 12 月上旬开始一直下降，由 99.48% 下降至 4.74%；中饱和度占比（S2）于 1 月中旬开始上升，到 4 月上旬达 95.13%，这可能是由于枫香树等落叶乔木长出新叶，呈现浅绿色，导致饱和度有所提高；高饱和度占比（S3）无波动。

极低明度占比（B0）基本为零，且无波动；低明度占比（B1）呈现出下降-上升-下降-上升-下降-上升的趋势，中明度占比（B2）则呈现出与 B1 截然相反的变化曲线，先上升-下降-上升-下降-平稳-下降；高明度占比（B3）1 月中旬前均无明显变化，2 月下旬开始上升，至 3 月中旬达到最大值（52.90%）后持续下降。

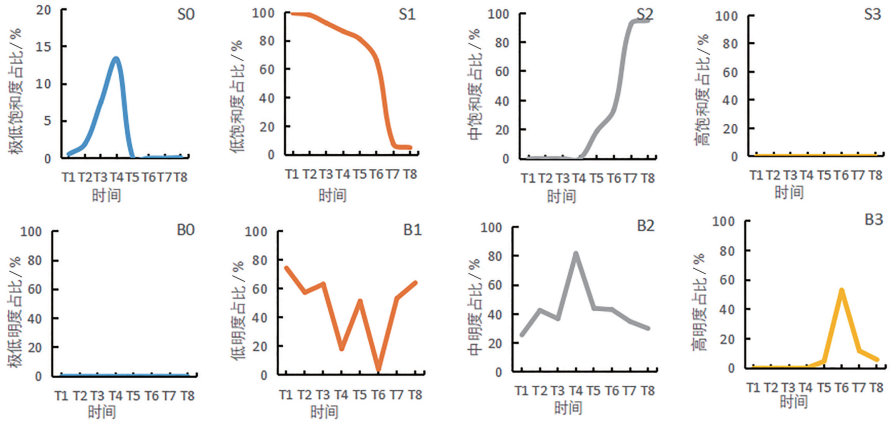



图 4 饱和度和明度变化曲线

## 4 讨论

### 4.1 色彩特征变化

进入秋季后，随着气候因素的变化，石门国家森林公园彩叶林逐渐形成红、橙、黄等色彩斑斓的彩叶景观，视觉景观中红、橙、黄 3 色与绿色形成鲜明的对比，具有强烈的视觉效应[18-19]。彩叶林夏季的色彩主要集中在绿色系，虽归属于绿色系，但由于饱和度和明度的不同，使其涵盖了绿色中的深绿、中绿、浅绿，不显单调泛味。该区植物色彩饱和度和明度处于中间等级，主要是由于枫香树等落叶乔木长出新叶，呈现浅绿色。

### 4.2 最佳观赏期

色相在色环上距离的远近决定着色相对比的强弱，色相间距离越长，对比效果越强烈醒目[20]。石门国家森林公园彩叶林的色彩季相变化较明显，夏季为绿叶期，秋冬季及初春为彩叶期，彩叶期从 11 月上旬开始至第二年的 3 月上旬结束。在整个彩叶期，游客出行观赏彩叶林的最佳时期初步分析为 12 月下旬。

### 4.3 彩叶林经营及景观美景质量的提升

石门国家森林公园现有彩叶林景观是以枫香树、山乌桕、乌桕（*Triadica sebifera*）等落叶乔木形成的秋冬季彩叶林为主，而初春长新叶的嫩红色景观相对较少，未来在景观营建时可以考虑种植一些樟、浙江润楠（*Machilus chekiangensis*）、红楠等新叶有色叶乔木，形成春季景观；在一些景观节点、林缘可以考虑种植木棉（*Bombax ceiba*）、宫粉紫荆（*Bauhinia variegata*）等观花树种，形成绚丽多姿的森林景观。

## 5 结论

石门国家森林公园的彩叶林乔木树种比较丰富，共 25 科 34 属 48 种，以樟科、大戟科、漆树科、蔷薇科乔木为主；按色系分类统计，有红叶乔木、黄叶乔木、叶背白色叶乔木；按叶色呈现时期分类统计，有春色叶乔木、秋色叶乔木、常色叶乔木。森林公园彩叶林的色彩季相变化较明

显，夏季为绿叶期，秋冬季及初春为彩叶期，彩叶期从 11 月上旬开始至第二年的 3 月中旬结束；在整个彩叶期，游客出行观赏彩叶彩叶林的最佳时期初步分析为 12 月下旬。未来在营建景观时应种植一些新叶有色叶乔木和观花树种，以形成色彩斑斓、繁花似锦的森林景观。

**致谢：**参与本研究野外调查与数据采集的还有勾啸、何仲坚、白念森等，谨致谢意！

**参考文献**

[1]李巧玉,陈娟,张小晶,等.川西亚高山彩叶林群落数量分类、排序与物种多样性[J].应用与环境生物学报,2021,27(3):519-528.

[2]王淳,郝泽周,孙冰,等.珠三角彩叶林美学文化与功能评价指标体系构建[J].北京大学学报(自然科学版),2024,60(2):357-364.

[3]李巧玉.川西亚高山彩叶林的群落特征及彩叶景观维持[D].重庆:西南大学,2021.

[4]唐桂兰,柏小娟.栖霞山红叶景观营建及管理策略的探讨[J].江苏林业科技,2017,44(2):48-52.

[5]张建国,何方.秋色叶树种在园林造景中的应用[J].湖南环境生物职业技术学院学报,2004,10(3):204-210.

[6]于晓南,张启翔.彩叶植物多彩形成的研究进展[J].园艺学报,2000,27(增刊 1):533-538.

[7]何方永,杨建,彭培好.米仓山彩叶景观林土壤速效 N、P、K 含量特征[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2014,31(6):39-44.

[8]易绮斐,成夏岚,曾庆文,等.广州石门国家森林公园彩叶植物调查研究[J].福建林业科技,2008,35(1):112-116,124.

[9]TKALCIC M,TASIC J F.Colour spaces:perceptual,historical and applicational background[C]//The IEEE Region 8 EUROCON 2003.Computer as a Tool.Ljubljana:IEEE,2003.

[10]王安,蔡建国.植物景观色彩量化研究进展[J].中国城市林业,2022,20(4):134-139.

[11]MACFARLANE C,OGDEN G N.Automated estimation of foliage cover in forestunderstorey from digital nadir images[J].Methods in Ecology and Evolution,2012,3(2):405-415.

[12]KENDAL D,HAUSER C E,GARRARD G E,et al.Quantifying plant colour and colour difference as perceived by humans using digital images[J].PLoS One,2013,8(8):e72296.

[13]张凯旋,凌焕然,达良俊.上海环城林带景观美学评价及优化策略[J].生态学报,2012,32(17):5521-5531.

[14]郑宇,张炜琪,吴倩楠,等.陕西金丝大峡谷国家森林公园秋季景观林色彩量化研究[J].西北林学院学报,2016,31(3):275-280.

[15]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.

[16]CLAY G R,DANIEL T C.Scenic landscape assessment:the effects of land management jurisdiction on public perception of scenic beauty[J].Landscape and Urban Planning,2000,49(1/2):1-13.

[17]赵秋月,刘健,余坤勇,等.基于 SBE 法和植物组合色彩量化分析的公园植物配置研究[J].西北林学院学报,2018,33(5):245-251.

[18]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.

[19]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.

[20]刘晓兰.生态园林建设中植物造景与色彩的运用[J].中国林业,2012(3):29.