

贵阳市常见园林植物春季新叶色彩属性变化特征研究

张元康,王秀荣*,杨婷,卓琳,白川

(贵州大学 林学院,贵州 贵阳 550025)

摘要:通过动态采集贵阳市春季 21 种植物新叶实景照片,用计算机程序语言 R 语言提取色彩数据,探讨其色彩变化规律以及客观表征的物候性,按照 HSB 色彩模式分析色彩属性随生长发育的变化规律。结果表明,春季不同植物叶色总体变化趋势为起初的红黄色随着生长发育转变为绿色;色彩属性变化特征,植物色彩的色相值随植物生长变化色相值增大,植物叶色饱和度值变化受到色相值的影响,色相值发生较大程度变化时,饱和度值呈下降趋势变化,植物色彩明度值随着生长的变化呈下降趋势;植物展叶期变色各时期长短关系为变色前期<变色中期<变色后期。研究结果将为贵阳市春季植物景观色彩规划设计提供合理建议。

关键词:春季;植物色彩;物候期;贵阳市

中图分类号:S688

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)06-0208-06

Change Characteristics of New Leaf Color Attributes of Common Garden Plants in Guiyang City in Spring

ZHANG Yuan-kang, WANG Xiu-rong*, YANG Ting, ZHUO Lin, BAI Chuan

(Forest College of Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: Pictures of the new leaves of 21 plant species occurring in in Guiyang in spring were taken and collected dynamically. The computer program language R was used to extract relative data of the leaf color, from which the change rules of the leaf color and the phenology of objective representation were discussed. HSB (hue, saturation, and brightness) color pattern was adopted to analyze the change rules of color attributes along with the growth and development of the plants. The results showed that the overall change trend of leaf color of different plants in spring was that the initial red-yellow color changed to green with the growth and development; the change characteristics of color attributes were that the color phase value of plant color increased with the growth of plants, and the change of leaf color saturation value was affected by the color phase value. When the color phase value changed to a greater extent, the saturation value showed a downward trend, while the plant color changed. The brightness value showed a downward trend with the change of growth, and the relationship between the length of each period of plant discoloration during leaf development was as follows: pre-discoloration stage<mid-discoloration stage<late discoloration stage. The results would provide reasonable references for the color planning and design of spring plant landscape in Guiyang City.

Key words: spring; plant color; phenology; Guiyang City

植物体内所含有的色素含量不同,在自然光照条件下导致植物呈现的色彩不同^[1-3],然而就算是同

一种植物,植物叶色也随季节、光照和温度变化而变化^[4-5],其中温度对植物叶色变化的影响主要是对植

收稿日期:2019-01-06 修回日期:2019-02-25

基金项目:国家自然科学基金(31760228);喀斯特地区城市公共绿地园林植物景观评价体系和数据库的构建——以贵阳市为例。

作者简介:张元康,男,硕士在读,研究方向:风景园林规划设计。E-mail:915495040@qq.com

*通信作者:王秀荣,女,博士,教授,研究方向:风景园林规划设计。E-mail:wxr7211@126.com

物体内糖分的影响,从而影响植物体内色素的含量,最终导致色彩的不同^[6]。另外温度的变化对秋色叶植物变色时期有一定的影响,相关研究得出叶色变色程度的快慢与环境最低温度呈一定的负相关关系^[7]。春季植物色彩变色规律及其色彩时序性和持续性规律的研究不多,目前,对植物色彩量化研究较多的是比色卡比对法、测色仪仪器测量法和 Photo-shop CS 或 ColorImpact 软件提取法^[8-11]。针对贵阳市 21 种园林植物春季嫩叶展叶期色彩变化进行定性研究,应用计算机辅助语言 R 语言对植物色彩属性进行定量研究,探讨贵阳地区物候现象中植物色彩属性变化特征,以期为贵阳市城市园林景观色彩设计以及园林养护管理提供理论依据。

1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部,106°07′—107°17′E, 26°11′—26°55′N,贵阳市海拔高度在 1 100 m 左右,处于费德尔环流圈,常年受西风带控制,属亚热带湿润温和型气候,年平均气温为 15.3℃春季平均气温 8~16℃,夏季平均气温 19~26℃。其中 3 月和 4 月是季节过度期,且温度接近年平均温度,3 月日均最高气温 16℃、最低气温 8℃,4 月日均最高气温 21℃、最低气温 13℃。

2 材料与方法

2.1 调查时间、地点

本研究季节的划分采用候温法,以候平均温度从 10℃以下稳定上升到 10℃以上时,作为春季的开始,以候平均温度从 22℃以下稳定上升到 22℃以上时,作为夏季的开始^[12]。用 R 语言爬虫获取得到贵阳市每日天气数据,数据表明 2018 年春季时间为 3 月 10 日到 6 月 8 日。

本次调查于 2018 年 3 月上旬至 2018 年 6 月下旬,选取贵阳市植物资源比较丰富的公园绿地作为重要的调查地点,主要包括观山湖公园、黔灵山公园、河滨公园、啊哈湖国家湿地公园、花溪国家城市湿地公园、登高云山森林公园。

2.2 材料选择

选取在贵阳市区园林中应用广泛且较常见的 21 种绿化树种(表 1),隶属 15 个科 18 个属 21 种作为研究对象。采用种植于公园内多年生长势良好、且生长周边环境基本相同的植物,每种植物随机地点选择 5 株。

2.3 调查方法

植物新叶叶片变色过程的划分,划分为 4 个时期和 3 个时间段:展叶开始期,从芽苞中卷曲小叶,

出现 1~2 片小叶时为展叶开始期。展叶盛期,以树枝上半数以上小叶完全平展时为准,春色呈现始期,以春季所展开的新叶在整体上开始呈现一定春季观赏色彩为准,春色变色期,以春叶特有色彩整体色彩消失为准,如由鲜艳色彩转化为暗绿,转化为夏季色彩等形式。由这 4 个时期把整个植物变色时间段划分为 3 个变色时间段:展叶开始期到展叶盛期的这段时间段为变色前期,展叶盛期到春色呈现始期之间的时间段为变色中期,从春色呈现始期到最后期的春色变色期之间的时间段为变色后期。

表 1 21 种植物基本信息

Table 1 The basic information of 21 kinds of plants

名称	生活类型
碧桃(<i>Amygdalus persica</i>)	落叶乔木
垂丝海棠(<i>Malus halliana</i>)	落叶小乔木
三角枫(<i>Acer buergerianum</i>)	落叶乔木
红叶石楠(<i>Photinia × fraseri</i>)	常绿小乔木
木槿(<i>Hibiscus syriacus</i>)	落叶灌木
枇杷(<i>Eriobotrya japonica</i>)	常绿小乔木
紫叶李(<i>Prunus cerasifera</i>)	落叶小乔木
侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	常绿乔木
金钟花(<i>Forsythia viridissima</i>)	落叶灌木
枫杨(<i>Pterocarya stenoptera</i>)	落叶乔木
槐(<i>Sophora japonica</i>)	落叶乔木
山茶(<i>Camellia japonica</i>)	常绿小乔木
紫玉兰(<i>Magnolia liliiflora</i>)	落叶灌木
李(<i>Prunus salicina</i>)	落叶乔木
柿(<i>Diospyros kaki</i>)	落叶大乔木
蜡梅(<i>Chimonanthus praecox</i>)	落叶灌木
梅(<i>Armeniaca mume</i>)	落叶小乔木
构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	落叶乔木
皂柳(<i>Salix wallichiana</i>)	落叶小乔木
水杉(<i>Metasequoia glyptostroboides</i>)	落叶乔木
枸骨(<i>Ilex cornuta</i>)	常绿小乔木

从植物新叶生长发育开始,每隔 3 d 对设定植物对象进行拍照记录,一直到植物叶片生长成熟,为避免其他物理环境因素的影响,照片采集过程中用同一相机且用相同的拍照模式采集照片,每次拍照相机距离地面 1.5 m 左右。以往研究表明,研究关于日照对植物色彩要素的影响得出,在 10:00—14:00 这段时间内光照对采集植物色彩要素的影响最小^[13-14]。因此本调查为了避免环境光照变化对植物色彩信息的影响,选取 10:00—14:00 时段进行植物实景照片的采集。

2.4 叶色色彩信息提取

从采集到的照片筛选出最能体现植物色彩信息的照片,用 R 语言将其照片所有像素数字化,运用迭代处理的方法确定最终的植物色彩属性值:色相(H)、饱和度(S)和明度(B)。

2.5 数据统计分析与技术公式

数据处理与分析主要采用 Excel2013 和 R 语言等相关数据统计软件进行分析和作图。

迭代处理确定植物色彩步骤:

第 1 步:1 张植物照片,将每一个像素点表示在色彩空间中,1 张照片是有限 n 个像素点 $x_i, i=1, \dots, n$,其色彩信息是 $x(R, G, B), x_i(R_i, G_i, B_i)$,其中某一点 x 在给定区域半径 h 条件下的变化向量基本形式表示为 $M(x)$ 。

$$M(x) = \frac{1}{k} \sum_{x_i \in S_m} (x_i - x) \quad (1)$$

式中, S_m 是半径为 h 的三维度区域,满足条件的所有 y 点的集合,

$$S_m = \left\{ y : \begin{cases} (R - x_i)^2 \leq h^2 \\ (G - x_i)^2 \leq h^2 \\ (B - x_i)^2 \leq h^2 \end{cases} \right\} \quad (2)$$

k 表示在 n 个样本中,符合上述条件的有 k 个点在 S_m 区域内。

第 2 步:计算以点 x 为中心, h 为三维度区域内各维度的向量和 $M(x)$ 。

第 3 步:确定新的中心点 $x, x = x + M(x)$,以新生成的中心替代原来的中心。

第 4 步:重复以上第 2 步和第 3 步直到 $M(x)$ 收敛到空间密度最高的地方,以最终的中心点的色彩数据值为该区域的色彩数据值。

第 5 步:最终得到的色彩数据值是 RGB 色彩模式,将 RGB 色彩模式转换为 HSB 色彩模式。

RGB 转化为 HSB 的公式:

$$H = \begin{cases} 0^\circ, \text{MAX} = \text{MIN} \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 0^\circ, \text{MAX} = R \text{ and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 360^\circ, \text{MAX} = R \text{ and } G < B \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 120^\circ, \text{MAX} = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 240^\circ, \text{MAX} = B \end{cases} \quad (3)$$

$$S = \begin{cases} 0, \text{MAX} = 0 \\ 1 - \frac{\text{MIN}}{\text{MAX}} \end{cases} \quad (4)$$

$$B = \frac{\text{MAX}}{255} \quad (5)$$

HSB 色彩模式是基于人眼的一种色彩模式,色相(H)指在 $0 \sim 360^\circ$ 的标准色相环上,按照角度的标识代表不同的色彩,其中 0° 表示红色、 60° 表示黄色、 120° 表示绿色、 180° 表示青色、 240° 表示蓝色、 300° 表示品红等;饱和度(S)指色彩的饱和度也称纯度,是指某种颜色色相感明确或含糊不清的程度,用 0%

$\sim 100\%$ 的百分比来表示。明度(B)指色彩的明亮程度,用 $0 \sim 100\%$ 来度量,0 表示色彩明度最暗为黑色,100%表示色彩最亮为白色。

3 结果与分析

3.1 植物色彩变化规律

采集到的数据可视图如图 1。结果表明,植物春季新叶叶片色彩 HSB 值随时间变化而变化,各个不同阶段色彩可视图不同,展叶开始期和展叶盛期主要呈现为红色和黄色,春色呈现始期和春色变色期主要呈现为绿色。在整个变色过程中,碧桃、垂丝海棠、鸡爪槭、红叶石楠 4 种植物可视图变色最为明显,紫叶李、美人梅和水杉前后可视图变色不明显,其他植物变色趋于中等水平变化,并且 HSB 值动态变化趋势一致,都是从黄色变为绿色。

由植物各时期各种色彩植物叶色占比图(图 2)及可视图(图 1)看出,展叶开始期大部分植物初始叶色为黄色($60 \leq H \leq 90$),比例为 67%,新叶色彩为红色的植物有碧桃、垂丝海棠、鸡爪槭、红叶石楠和紫叶李 5 种植物,占有种类的 24%,色彩为绿色($90 \leq H \leq 120$)的有美人梅和水杉 2 种植物,占有种类的 10%。

3.1.1 展叶盛期 叶色为红色的有碧桃、鸡爪槭和紫叶李物种植物,占有种类的 14%,橙色的有垂丝海棠和红叶石楠 2 种,叶色为绿色的有美人梅、构树和皂柳 3 种,其余植物为黄色,比例为 62%,可见,黄色仍为该时期叶色的主色调。

3.1.2 春色呈现始期 叶色为红色的有碧桃、鸡爪槭和紫叶李 3 种植物,占有种类的 14%,橙色植物仅有红叶石楠 1 种,黄色植物有垂丝海棠、木槿、侧柏、金钟花、山茶、紫玉兰、李和无刺枸骨共 8 种植物,比例为 38%,其余植物为绿色,比例为 43%。可以看出,该时期开始,橙色和黄色植物最早转化为绿色,绿色成为该时期的主导色,黄色次之。

3.1.3 春色变色期 叶色为红色的只有紫叶李,黄色的植物有鸡爪槭、侧柏、金钟花和李,占植物种类的 19%,其余剩下 16 种植物叶色都是绿色,比例为 76%。到本时期,大部分红色、全部的橙色叶植物均完成叶色变化,转变成绿色,春季叶色变化基本结束。

3.2 各种类植物叶色的持续性和相遇性

植物在春季的生长发育以及持续时间各不相同。各种类植物变色时间段的相遇期如图 3,其中侧柏、金钟花、柿的展叶开始期出现时间最早(3 月初),展叶开始期出现时间最晚的是构树和枸骨,两者相差 45 d 左右;春色变色期出现时间最早的是垂

植物名称	展叶开始期(HSB)	展叶盛期(HSB)	春色呈现始期(HSB)	春色变色期(HSB)
枸骨	66-73-75	83-77-83	86-85-66	95-88-51
水杉	93-54-78	85-66-69	102-50-66	98-70-61
皂柳	76-67-64	95-65-56	95-65-56	92-65-56
构树	84-64-71	92-58-67	109-49-66	122-40-59
梅	101-55-67	108-43-72	116-55-53	118-55-52
腊梅	82-69-74	89-66-77	90-81-66	96-58-61
柿	65-55-82	70-83-77	96-41-58	99-39-28
李	67-56-64	69-73-78	76-68-65	79-53-67
紫玉兰	84-57-67	89-54-64	88-73-53	103-61-48
山茶	78-67-78	82-78-73	88-89-66	98-100-39
槐	79-73-62	88-74-56	110-53-60	110-50-41
枫杨	64-51-59	74-72-63	103-47-75	100-83-52
金钟花	76-82-74	80-92-65	82-81-65	80-99-62
侧柏	71-77-79	72-64-80	75-77-70	79-73-58
紫叶李	6-42-54	10-37-56	7-29-56	351-20-53
枇杷	81-63-81	87-87-69	95-79-65	90-95-51
木槿	75-88-47	75-89-46	78-87-46	95-77-51
红叶石楠	22-53-64	30-52-56	47-37-64	103-53-53
三角枫	10-20-68	18-19-70	22-19-72	70-16-71
垂丝海棠	13-72-74	44-65-62	85-80-50	94-80-50
碧桃	346-71-67	353-80-52	13-49-47	96-19-55

注:图中每个色块后边的数字表示该色彩的属性值:色相(H)—饱和度(S)—明度(B)。

图 1 植物各时期色彩属性值及可视图

Fig. 1 The color attribute values and plant visual graphs

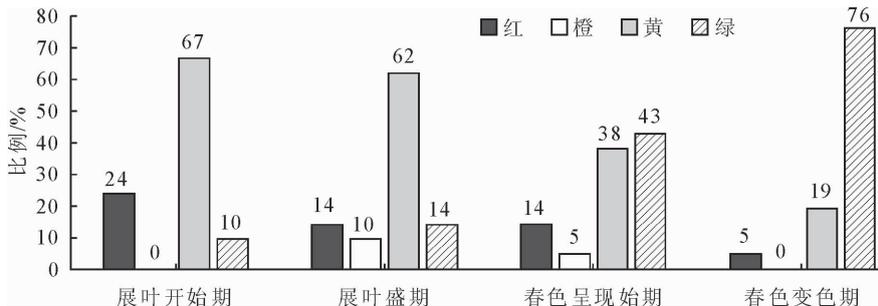
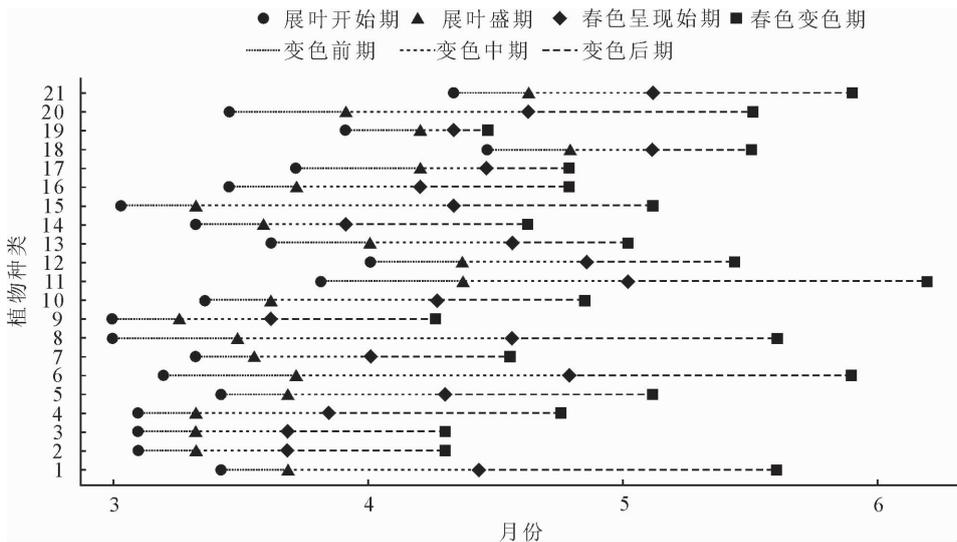


图 2 植物各时期各种叶色植物种类占比

Fig. 2 The proportion of various leaf-color plants in different periods of plants developments



注:植物种类:1 碧桃;2 垂丝海棠;3 三角枫;4 红叶石楠;5 木槿;6 枇杷;7 紫叶李;8 侧柏;9 金钟花;10 枫杨;11 槐;12 山茶;13 紫玉兰;14 李;15 柿;16 腊梅;17 美人梅;18 构树;19 皂柳;20 水杉;21 枸骨。

图 3 21 种植物新叶叶色持续性和相遇性特征

Fig. 3 Persistence and encounter characteristics of the new leaf colour of 21 plant species

丝海棠、三角枫、金钟花,最晚是槐,间隔 59 d。正因为不同植物种类各时期出现时间的不同,植物种类之间才有变色时间段的相遇;同一种植物各个变色时间段长短关系为变色前期<变色中期<变色后期。在 3 月中旬到 4 月中旬这段时间内,同一天都会出现不同时期的植物种类,该段时间内的植物色彩种类最为丰富。

3.3 春季植物 HSB 色彩属性特征

3.3.1 春季新叶色相变化特征 由图 4 可以看出,春季展叶期植物色相值在整体上呈现出一定的变化规律,随着新叶的生长色相值增大,同一时期色相值之间的差异随生长发育期变化逐渐减小,如展叶开始期色相值的下四分位数是 43,上四分位数是 81.5,相差 38.5,而在最后春色变色期时,上四分位数是 101.5,下四分位数是 85,相差 16.5。在展叶盛期、春色呈现始期和春色变色期时都出现了离群值,表明随着时期的变化,有些种类植物的色相值与其他大多数植物变化趋势不同,如图中的春色变色期的离群值-9 与其他数值相差很大。以上这些色相值之间的变化,其原因可能是植物生长初期,不同植物活动积温不同,体内累积成分含量不同,导致植物对自然光色吸收与反射不同,最终表现出不同的色彩值^[15]。正是不同植物生理活性的不同,最终导致春季植物世界色彩的丰富多彩。

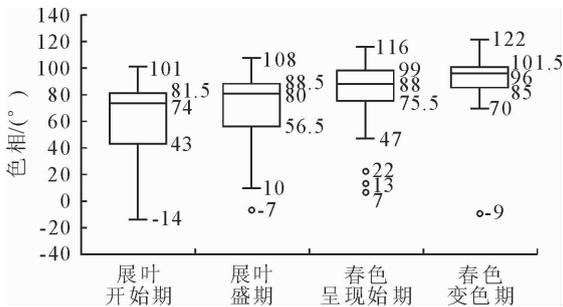


图 4 植物叶色色相变化特征

Fig. 4 Color hue variation characteristics of plant leaf

3.3.2 春季新叶饱和度变化特征 由图 5 可以看出,随植物的生长同一时期饱和度的上限值与下限值的差值逐渐变大,表明植物饱和度在整体上变化范围逐渐增大,而中位数 4 个不同时期依次是 64、66、65、61,上下波动较小,说明所有植物种类整体饱和度上下波动不大。再由表 2 所示色彩各属性变化相关性可知,色相变化和饱和度变化呈现极显著负相关关系($r = -0.345, P < 0.01$)饱和度变化和明度变化达到显著负相关性($r = -0.320, P < 0.05$),而色相变化和明度变化没有明显相关性,说明植物的饱和度变化受到色相变化的影响,其主要原因是当植物叶片色彩向另外一种色彩转变时,植物叶片

体内同时含有变化前后 2 种以上色彩成分,植物叶片颜色色相受到其他色彩的影响,色相感表现含糊不清,植物叶片饱和度下降。

表 2 色彩各属性变化相关性

Table 2 The color attribute correlation

指标	色相变化	饱和度变化	明度变化
色相变化	1		
饱和度变化	-0.345**	1	
明度变化	0.15	-0.320*	1

注: ** 表示 pearson 相关系数在 0.01 水平下显著; * 表示 pearson 相关系数在 0.05 水平下显著。

3.3.3 春季新叶明度变化特征 由图 6 可看出,春季不同种植物色彩明度随新叶生长总体上呈下降趋势。在展叶开始期色彩明度值高,由中位数 68 可知,明度值高于 68% 占种类的 50%,下四分位数 64 说明高于 64% 占所有种类的 75%,所以在展叶开始期叶色普遍上处于高明度状态。展叶盛期与展叶开始期比较下四分位数变化较大,表明只有少数种类叶色明度降低。新叶生长到春色始期时,上四分位数变化较上一时期变化最明显,由 75 降低到 66,多数高明度植物色彩变化明显。到春色变色期时,多数植物种类色彩明度较低,明度值低于 60% 占总数 75%,几乎是展叶开始期占比的 3 倍,因此在整体上这一时期叶色彩明度值较低。

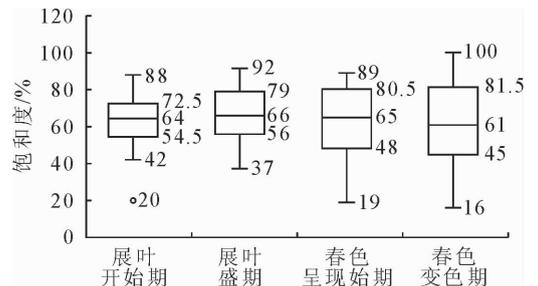


图 5 植物叶色饱和度变化特征

Fig. 5 Color saturation variation characteristics of plant leaf

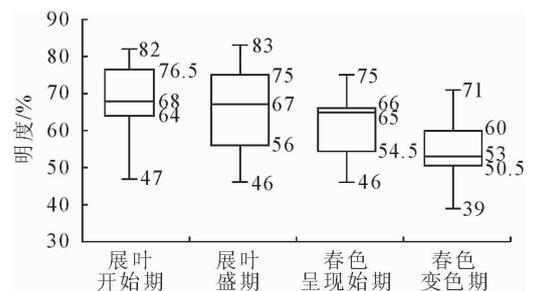


图 6 植物叶色明度变化特征

Fig. 6 Color brightness variation characteristics of plant leaf

4 结论与讨论

春季新叶叶色主要表现为 4 种颜色,分别是红色、橙色、黄色和绿色,随植物新叶的生长这 4 种颜色所占比例呈规律变化,红色和黄色植物种类比例

逐渐减小,绿色植物种类逐渐增加,在展叶开始期时整体色彩呈现为黄色,变化到春色变色期时主要为绿色。其中像紫叶李之类的彩叶植物增加了整个变色期的色彩丰富度。

同种类植物各个变色时间段长短关系为变色前期<变色中期<变色后期。不同种类之间植物同一变色时间段长短不一。整个变色时间段持续时间最长的是侧柏,约80 d,而最短的是皂柳,约15 d。

植物色彩属性特征:色相(H)、饱和度(B)、明度(S)随着植物叶色变色各个时期的变化呈一定规律性变化,且它们之间的变化存在一定的相关性。色相值表现在随展叶进行时间的发展逐渐增加,表现为色彩之间的不同变化;饱和度的变化与色相的变化呈很强的相关性,当植物色相值发生明显变化时,饱和度值会相应程度的减小;明度值随展叶进行时间的发展逐渐降低,展叶开始期明度最高,到春叶变色期时明度最低。

本研究探讨的是植物叶色动态变化特征,叶色变化是一个逐渐变化的过程,数据的采集理应是一个持续性不间断采集的过程,然而本研究数据的采集采用的是选择特定的时间点间断获取不同时期的色彩数据,动态模拟分析植物叶色的变色过程,这可能会给色彩变色的分析带来一定的局限性。但从整体结果变化特征来看,变化、间断的采集信息来分析色彩的动态变化特征具有可行性^[16]。与以往用NCS色卡比对研究秋季叶色的持续性和相遇性相比,用照片再用R语言提取色彩信息更便捷,尤其是研究众多植物,重复试验较多的过程研究。本研究色彩提取方法主要应用于大尺度的色彩确定,对模拟人眼视觉效果去研究景观色彩有较高的可比性,然而用色卡和测色仪获取植物色彩的方法主要适用于局部色彩获取^[9]。在进行叶色数据结果分析时应用色彩的模式是HSB模式,与色卡获得的色卡数字编号以及测色仪获得的Lab色彩模式比较,HSB色彩模式更能从人眼视觉和人的心理特征反应真实的景观色彩信息世界^[17]。

参考文献:

[1] 姜新强,官明雪,朱倩玉,等. 风箱果叶色变化及呈色机理研究[J]. 中国农学通报,2018,34(3):76-81.

[2] 卓启苗,丁彦芬,余慧,等. 欧洲卫矛秋冬转色期叶色变化的生理机制[J]. 西北植物学报,2018,38(6):1072-1079.

ZHUO Q M, DING Y F, YU H, *et al.* Physiological characters of *Euonymus europaea* leaves during the color-changing period in autumn and winter[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2018, 38(6):1072-1079. (in Chinese)

[3] 张亚平,金晓玲,曾艳,等. 植物叶色呈色机理及化学物质的调

控[J]. 北方园艺, 2017(14):180-184.

[4] 马磊. 景观设计中植物配置的色彩分析[J]. 现代园艺, 2017(6):129-130.

[5] 张凤良,李小琴,毛常丽,等. 橡胶树叶片不同发育时期 SPAD 值及叶色动态变化[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(1):83-90.

ZHANG F L, LI X Q, MAO C L, *et al.* Dynamic changes of SPAD value and color of *Hevea brasiliensis* leaves during different growth and development periods[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(1):83-90. (in Chinese)

[6] 宋正达,陈梅香. 多肉植物蒂亚定制栽培与色彩变化的研究[J]. 陕西农业科学, 2016, 62(10):16-17.

[7] 许丽颖,刘斗南,赵琪琪,等. 基于色彩模式的秋色叶植物的叶色研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19):142-145.

[8] 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.

[9] 冯书楠,岳桦. 寒地农业观光园非农生境植物景观季相色彩量化研究[J]. 东北农业大学学报, 2018, 49(7):27-37.

FENG S N, YUE H. Quantitative study on seasonal color of non-agricultural habitats landscape in cold regions agricultural sightseeing garden[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2018, 49(7):27-37. (in Chinese)

[10] 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.

ZHAO Q Y, LIU J, YU K Y, *et al.* Park plant configuration based on SBE method and quantitative analysis of color combination[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018(5):245-251. (in Chinese)

[11] 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.

ZHENG Y, ZHANG W Q, WU Q N, *et al.* The color quantization of the fall scenic forest in Jinsi Canyon national forest park in Shaanxi Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(3):275-280. (in Chinese)

[12] 王雷,吴正方,杜海波,等. 1961—2010年东北地区四季开始日及长短变化特征分析[J]. 气象科学, 2014, 34(5):499-507.

[13] 寿晓鸣. 城市园林植物色彩调查方法研究[D]. 上海:上海交通大学, 2007.

[14] 车生泉,寿晓明. 日照对园林植物色彩视觉的影响[J]. 上海交通大学学报:农业科学版, 2010, 28(2):166-170.

CHE S Q, SHOU X M. Study of sunlight affection on ornamental color study of sunlight affection on ornamental color[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2010, 28(2):166-170. (in Chinese)

[15] 李绍翠,姜新强,孙健皓,等. 三种金色叶植物叶色表现及色素含量[J]. 北方园艺, 2018(15):96-102.

[16] 岳桦,谷志龙. 哈尔滨秋季 22 种乔木叶片色彩属性与气温变化的相关性[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3):118-121.

[17] DAI Y, XUE C, QI G. A study for correlation identification in Human-computer interface based on HSB color model[C]// SAKAE Y, HIROHIKO M. Human interface and the management of information. Interaction, Visualization, and Analytics. Springer: Cham, 2018:477-489.