

DOI: 10.5846/stxb201605050856

张喆, 郄光发, 王成, 姜莎莎. 多尺度植物色彩表征及其与人体响应的关系. 生态学报, 2017, 37(15): 5070-5079.

Zhang Z, Qie G F, Wang C, Jiang S S. Plant colors at multiple scales and their effects on humans. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 5070-5079.

多尺度植物色彩表征及其与人体响应的关系

张 喆^{1,2}, 郄光发^{1,2,*}, 王 成^{1,2}, 姜莎莎^{1,2}

1 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091

2 国家林业局城市森林研究中心, 北京 100091

摘要: 色彩是人们对植物外观的第一印象, 与植物视觉特征和人体响应关系密切, 因此, 对森林美景度提升和公众适宜性契合具有重要作用。结合色彩学形成的历史关键节点和 1 个世纪以来植物色彩的研究动态, 将植物色彩研究的发展历程划分为萌芽、形成、发展和繁荣等 4 个阶段, 并简介了各阶段的主要特点。同时, 从植物器官、植物个体、植物群体(涵盖种群和群落)、整体景观等 4 个视觉尺度以及审美、生理与心理等 3 个影响层面, 阐述与评价了植物色彩传达机制与人体响应关系的相关研究。在此基础上, 围绕植物色彩特征提取中存在的色彩要素定量、特征因子选取、色彩量化方法等方面的不足之处, 对未来研究方向进行展望, 提出植物色彩尺度与公众响应关系剖析、较大尺度色彩评价因子的深入挖掘、色彩量化方法的多学科融入、公众对植物色彩响应关系综合比对、森林景观美景度提升实践等 5 个方向的发展趋势, 以期为全面地了解植物色彩的传达机制与影响、科学地开展不同精度和尺度下的植物色彩研究提供参考。

关键词: 植物色彩; 植物视觉尺度; 视觉审美; 生理健康; 心理健康

Plant colors at multiple scales and their effects on humans

ZHANG Zhe^{1,2}, QIE Guangfa^{1,2,*}, WANG Cheng^{1,2}, JIANG Shasha^{1,2}

1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 Research Center of Urban Forest, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

Abstract: The first aspect noticed in the appearance of plants is usually their colors, which is associated with human reactions to their visual characteristics. Therefore, color plays an important role in the promotion and public suitability of forest scenic beauty. This paper summarized the milestones in chromatics formation and research trends of plant color over the past century. The developing course of plant color research can be divided into germination, formation, evolution, and flourishing periods. Simultaneously, the main characteristics of each stage have been analyzed. The mechanisms of expression generated by plant color and the relevance between color and human reactions were reviewed through four visual scales, including plant organs, individual plants, population and community of plants, and overall landscape. In this review, three levels of influence including aesthetics, physical, and mental, were identified. Several defects on plant color extraction, such as color element ration, feature factor selection, and color quantization were detected and through them, five key directions were elucidated for future research: 1) analysis of the association between plant colors and different scales as well as human reactions to them; 2) in-depth study on plant color evaluation factors in a large scale; 3) multidisciplinary fusion of the color quantization method; 4) comprehensive comparison of public reactions to plant color; and 5) practice of forest scenic beauty promotion. The present study will contribute to a comprehensive understanding of the mechanisms and influences of plant color expression, as well as scientific studies on plant color under different precisions

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201404301)

收稿日期: 2016-05-05; 网络出版日期: 2017-03-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qiegf@126.com

and scales.

Key Words: plant colors; visual scales; visual aesthetics; physical health; mental health

森林作为居民亲近自然、舒缓身心的重要选择,在城镇发展中具有不可替代的关键作用。但目前我国大多数生态风景林还存在“千林一面”、“有林缺景”等景观问题,尚不能完全满足公众对森林服务功能的众多期待,因此,如何提高生态风景林的服务价值是当今许多研究的焦点。研究表明提升森林美景度和促进公众身心健康是解决上述问题的有效着力点,而植物色彩是这一环节的重要影响指标^[1]。色彩是光作用于人眼后引起的除空间属性以外的视觉特性^[2],对人类视觉神经的刺激要比形状、大小等其他因素更强烈^[3],因而,植物色彩在传达森林视觉特征、刺激人体视觉感受等方面要比植物景观的其他要素更加直接和重要。

近年来,国内外在植物色彩传达及其对公众影响方面开展了许多研究工作,主要涵盖了审美、心理和生理影响等 3 个层面及植物器官、个体、群体和整体景观等 4 个尺度。这些研究往往根据各自研究对象的视觉尺度、生长条件、色彩复杂度等特点,提取了各自的色彩特征因素指标^[4-6]。然而,对于后续研究来说,存在研究覆盖度不足、色彩解译方法不一致等问题,从而影响评价和预测结果的可参考性。为此,本文开展植物色彩的视觉传达及其与人的响应关系研究,对研究的发展历程进行梳理,以不同尺度下植物的色彩传达机制、与公众审美、生理和心理的响应关系为基础,提出存在的问题和发展趋势,以期为我国植物色彩相关研究提供一些借鉴和参考。

1 植物色彩研究的发展历程

植物色彩研究是在色彩学的基础上发展起来的,结合色彩学发展的历史关键节点以及 1900—2016 年的文献统计数据(图 1),将植物色彩研究的发展历程分为萌芽、形成、发展和繁荣等 4 个阶段。

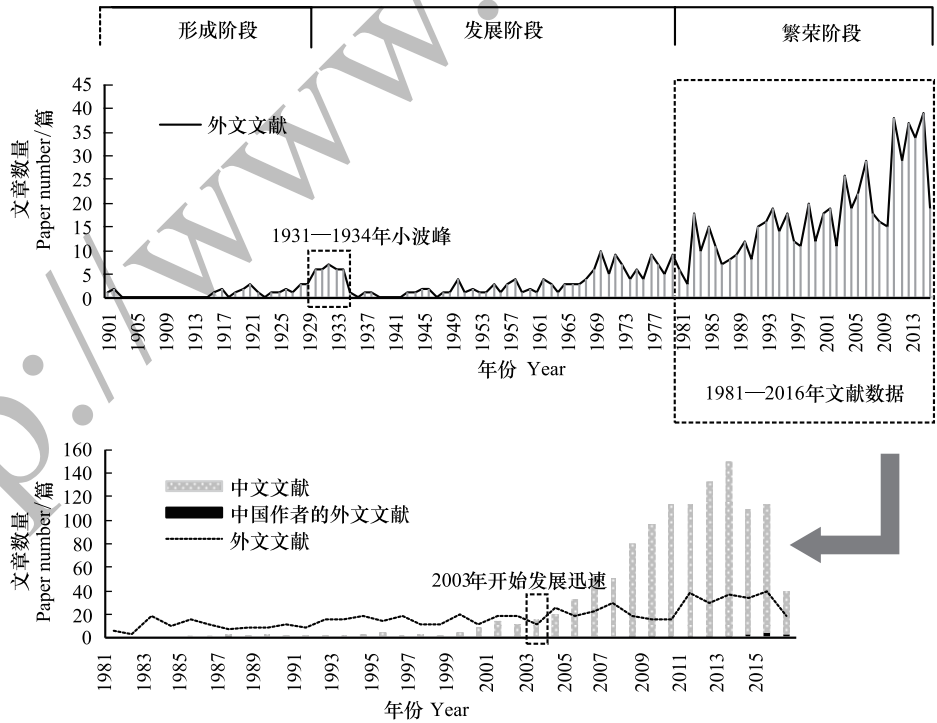


图 1 国内外植物色彩研究文献数量统计图

Fig.1 The paper number of plant color researches at home and abroad

外文文献数据获取自 Web of Science 的 SCIE 数据库,关键词:“plant color” or “forest color” or “community

color”;中文文献数据获取自 CNKI 数据库,关键词:“植物色彩”或者“森林色彩”或者“群落色彩”。

(1)萌芽阶段 17 世纪 50 年代以前。这一时期人们对植物色彩认知主要处于直觉期,体现在国外庭院设计等的色彩运用以及我国彰显封建制度、民间艺术等的植物绘画与园林营造中^[7]。该阶段人们仅是利用色彩来传达强烈的主观意愿,但对色彩的产生、变化缺乏科学的解释。

(2)形成阶段 17 世纪 60 年代—20 世纪 20 年代。牛顿在 1666 年发现日光的七色组成^[8],是近现代色彩学科形成的开端。此后的色彩视觉感受模型研究,又进一步提出了三色学说、四色学说等重要色彩理论,但这些理论不能全部解释所有的视觉问题^[9]。20 世纪初期,孟塞尔(Munsell)和奥斯特瓦尔德(Ostwald)的色彩调和理论先后出现^[10],奠定了量化色彩研究的根基。该阶段是色彩研究正式进入定量研究的重要转折时期,开始形成光与色彩形成、色彩视觉现象、色彩调和理论等多个研究分支,植物色彩的量化也涵盖其中。

(3)发展阶段 20 世纪 30 年代—20 世纪 70 年代。从 1931 年开始,国际照明委员会(International Commission on Illumination)先后制定了 CIE1931-RGB、CIE1931-XYZ、CIE1964 补色色度、CIE1976-Lab 和 CIE1976-Luv 等色彩系统,这些不断修正、更加均匀的色彩空间成为定量描述视觉色彩的国际通用标准,从而促进了植物色彩研究的量化发展^[9]。这一时期,学者们开始借助现代化色彩量化手段,对植物基因、色素、植物生长与色彩变化等问题开展研究,其中植物生理是该阶段植物色彩研究的主要方向^[11]。

(4)繁荣阶段 20 世纪 80 年代—至今。这一阶段植物色彩研究快速发展,国外有关研究成果成倍增长,我国也相继出现了相关研究并发展显著(图 1)。从研究深度上,国内外学者开始尝试探索植物自然特征、环境影响因素与色彩视觉传达的关系。在季相变更与色彩变化^[12]、环境差异与色彩变化^[13]、林分结构与色彩表现^[14]、群落色彩斑块构成^[15]等方面开展研究,内容涵盖不同观赏尺度和配置形式的植物景观,运用色相、明度、饱和度等色彩学指标,结合透光率、绿光标准化值等林内色彩特征指标,并借鉴色彩斑块数量、密度、形状指数、多样性指数等景观格局分析指标,研究基于植物自然属性的色彩传达机制。

从研究广度上,开始出现植物色彩社会属性(即植物色彩与人的关系)等方面的研究^[16]。目前国际上对植物色彩与人的关系研究集中在植物景观美景度评价^[17]、植物园艺疗法^[18-19]、色彩心理学^[20]等审美、生理与心理方面,从植株的叶片、果实等部分器官、植物个体、群体、整体景观等不同的研究尺度入手,通过现场试验与图片展示的途径指定森林色彩研究对象,借助问卷调查、生物反馈测量、心理测验、观察描述等方法获得研究数据^[21],结合美景质量评分为代表的审美指标^[22],脑电波、皮肤电导率^[23]、脉搏与血压^[24]等人体生理指标,心情状态评分等心理指标^[25],购买力等其他辅助指标^[26],以及身体和精神感受的主观描述,形成衡量森林色彩对人体作用的主客观指标,然后采用卡方检验、显著性 T 检验、因子分析、相关性分析、回归分析、灰色理论等方法,得出不同人群对不同类型植物景观色彩的响应关系。相关研究一般流程总结如图 2。

2 植物色彩及其与人体响应机制

2.1 多尺度植物色彩传达机制

植物叶片是植物色彩特征表现最明显的器官之一,含有叶绿素、类胡萝卜素和以花青素为主的类黄酮素等色素,这些色素通过反射不同波段的可见光而呈现出绿色系、黄色系、红色系等的颜色^[27],最终各色素的含量比例决定叶片的显色情况^[28]。基因是决定植物叶片色素含量的内因,因此,同一种植株在相同生长环境中对物候变化具有相似的色变反应。近年来,国内外学者在外因变化对植物叶片色素的影响方面开展了相关研究^[43, 29-30],证实气候^[31]、光照^[32]、温度与温差^[33]、湿度^[29]、土壤条件^[30]等环境变化均能影响叶片内色素组成,从而导致色彩差异。除了叶片之外,植物的花、果、茎等器官也常因其具有特殊的显色性、良好的观赏性而被关注,其色彩变化的影响因素与叶片类似,但具有更明显的种间差异性。

植物个体的色彩由内部生理结构和外部环境条件共同决定,表现在不同器官的色彩差异性^[34]、同一器官的色彩丰富性^[35]、不同季节植物体的色彩多变性^[36]等方面。为了便于研究,有学者尝试利用植物典型叶片传达的色彩信息来代表整株植物的色彩,这是一种粗略提取植物色彩时较实用的研究方法^[37],但这种化繁为

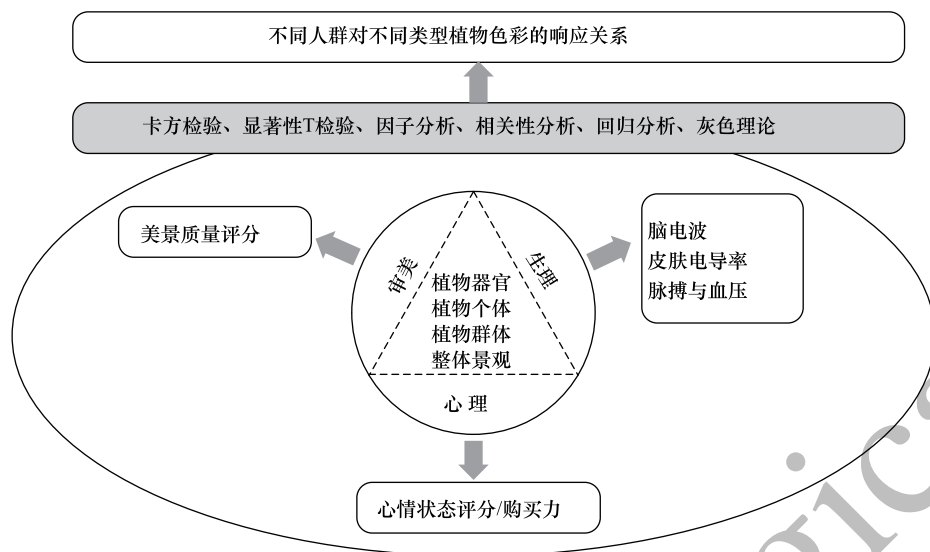


图2 植物色彩与人体响应关系研究流程示意图

Fig.2 The relationship between plant colors and human reactions

简的方式适用范围较小,仅限于在某个季节单一叶色的观叶植物的色彩研究,对于正处于季节性叶色变化期或者其他器官色彩明显的植物个体而言并不适用。这类植物色彩的标定更加多元,一般根据具体的研究内容来进行色彩取舍^[38]。目前学者们开展了植物季节性色彩持续变化的监测和单株植物色彩构成特征^[39]、观花植物色彩属性特征^[34]、观果植物果色变化规律^[40]等方面的研究,对植物个体的色彩构成与变化规律研究进行了进一步的补充。

植物群体色彩和整体景观色彩具有相似性,两者均包含了组成该群体的所有植物色彩和非生物环境色彩^[12],色彩表征比单株植物更复杂。植物群体色彩主要是林内或者较近距离的视觉尺度内包含的所有色彩,其色彩表现受物种组成、丰富度及结构关系、林木密度、郁闭度、林地内的坡度、朝向等众多因素共同决定^[15, 22, 28]。植物整体景观色彩通常是指视觉距离较远、尺度较大的片林的外部景观色彩,也可看做是多个植物群体组合形成更大尺度的色彩集合,受植物空间组成、疏透度、林地地形、山体高度等因素影响,从而呈现不同色彩组合和色块布局方式^[41]。因此,植物群体色彩和整体景观色彩由于视觉尺度的差异,色彩特征并不完全相同。

此外,色彩感觉是物体反射光源的光线刺激人眼产生神经信息,经大脑判断而形成的^[9]。因此,在植物反射光线到人体接收色彩信息这个环节中,除植物本身的色彩信息之外,光源、光的传播环境、人体视觉神经等3个要素都会影响植物色彩表征。研究表明,光强与色温变化^[42]、自然环境中观测距离和天气情况^[43]、大气散射规律^[44]等因素会对视觉观测的植物色彩值产生影响,并且不同人群的色彩辨别能力也存在差异^[45]。不同尺度植物色彩传达与影响关系示意如图3。

2.2 植物色彩与公众审美响应

在色彩美学研究中,常涉及到单一色彩的审美分析^[46],但在植物色彩美学中,单株植物的色彩界定并不清晰,例如开黄色花的水仙经常被人们视为是绿色植物,且人们对单株植物的审美喜好个体性差异较大^[47]。在实践应用中,单株植物色彩的审美经验仅适用于指导孤植树配置,应用范围并不广泛。因此,国内外对于单株植物的色彩审美研究并不多,主要是围绕更复杂的植物群体色彩组成开展的,并以中小尺度的群落色彩研究居多。

目前对于群落色彩与公众审美响应的研究主要从两个方向上展开。第一个方向是理论评价:色彩调和理论。色彩调和是从审美角度出发,探索色彩之间关系的理论体系,其中涉及的邻补色、对比色、类似色等色彩

关系可以用于植物色彩景观效果和植物配置方式选择^[48]。色彩调和理论通常适用于几种色彩之间的组合评价,因其需要对主要色彩分别进行色系标定后才能判断各色彩之间的视觉关系,故而,大多用于尺度小、株数少的植物配置景观的色彩判定。近几年,国内学者借助孟塞尔色彩体系的“混合颜色产生中性灰是色彩和谐的标志”理论,对植物景观进行色彩优化^[49]。此后,有学者利用相同方法,取得优化后的景观,并在此基础上进行问卷检验,结果显示色彩调和理论指导下的景观优化具有一定的公众认可度^[50]。但是,色彩调和理论因其以美学为基础,容易受到人类历史、地理与文化等社会因素的影响^[10],故以其作为色彩审美衡量标准具有一定的片面性。第二个方向是量化实践:森林美景度评价。这种方式是通过公众或专家对景观打分来判断色彩美景等级^[41],因此,更加注重公众的审美响应及人群

差异性。国外开展森林美景度评价研究较早,已经有相当成熟的理论和实践基础^[51],国内对于森林美景度评价大多是在直接借鉴国外SBE(Scenic Beauty Estimation)、LCJ(Law of Comparative Judgment)等方法^[41, 52]。但是,通常这类评价体系是对评价对象的整体美景度打分,涵盖了诸如群落结构、林冠特征、植物形态、季相变化与环境质量等众多因素,而色彩只是其中一个影响因素,导致植物色彩组合与审美关系研究比较浅显,不能深入了解色彩组合机理对审美的影响。目前我国一些研究开始探讨植物景观色彩的不同组合方式对于风景林美景度评分值的影响,将植物色彩的组成比例、色彩布局方式等作为研究重点,展开针对性调查,例如李效文^[53]在对北京山桃针叶树群落色彩组成和配比关系的研究中发现,当山桃与常绿树种面积比为2:1且山桃斑块分布为综合性或密集型时,群落的美景度分值最高。近些年国内外对植物色彩审美研究领域不断拓宽,对植物色彩因子的提取也不断深入,但审美评价始终围绕着色彩调和理论和美景度评价两类方法展开,且美景度评价凭借数据量化和人群区分的优势而更受推崇(图4)。

2.3 植物色彩与人体生理响应

色彩对人类生理反应产生影响的研究由来已久,早在1939年Goldstein的研究中就指出人们在看不同色彩时,蓝色会产生拘谨的姿势,红色产生伸展的姿势^[54]。Wilson等^[55]发现红色灯光比绿色灯光对受试者产生高倍激励作用,绿色灯光比红色灯光更能使手部的运动稳定。目前公认的一种色彩生理学说认为暖色调更具有生理刺激性,冷色调让身体更加松弛^[56]。

植物色彩对人体生理影响的研究是在色彩生理学基础上发展起来的。目前在植物个体色彩与人体生理关系方面的研究较为全面。早期的研究主要从不同植物色彩对人体健康影响^[57-58]和植物色彩对人体健康的益处^[59]等方面入手,发现绿色植物可以帮助缓解视觉和身体疲劳、减轻疼痛、增强食欲和心脏功能、加快术后康复等。同时一些研究开始关注不同类型活动空间中植物色彩对人体健康的影响^[60-61],发现在有绿色植物或者窗外有绿色植物的室内工作环境中,人们注意力更加集中;在有绿色植物的医院中,术后患者的身体能够更快的恢复^[62]。近些年来,国内对植物色彩的研究也逐渐增多,关于植物色彩对不同人群的健康影响的研究也更加深入。有学者对不同年龄、职业和健康状况的群体进行植物色彩刺激研究,通过脑电波刺激效果分析,提出办公场所、医院和病房、老年人活动场所的植物色彩配置意见,研究结论基本一致:认为冷色系的植物可以更好的帮助人们恢复心率和脑电波,暖色系植物可以更多刺激人体心率和脑电波变化,使人达到兴奋状态,因此,可根据场地功能选择合适植物色彩应用^[63-64]。

然而,上述研究中,无论是以健康影响还是以空间和人群差异性为重点,植物色彩的研究对象大都局限于

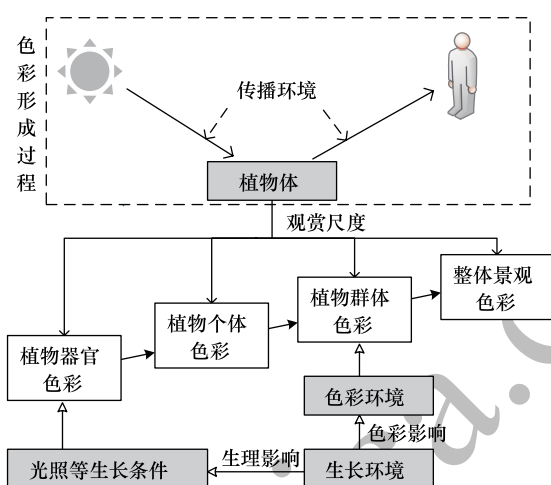


图3 多尺度植物色彩传达机制示意图

Fig.3 The chromatic mechanism of plants by multi-scale

植物单体,研究结论最终都会归结于某一色系的植物色彩生理影响结果,而在不同色彩的植物组合会对人体生理反应产生怎样影响的问题上还鲜有研究。近几年有学者开始从植物和色彩两方面入手,在植物种群和群落色彩尺度上,研究同种植物不同花色组合、同种色彩不同植物种类组合、不同色彩植物组合等条件下人体的生理响应结果^[20-21],一方面证实较大尺度的单一色彩组合的色块产生的生理刺激作用与单一色彩的作用类似,例如绿色和紫色等冷色系植物群体可以更好帮助人体减少疲劳感等;另一方面认为黄色和红色植物组合的色彩可以更好地提高人体活力。但总体而言,在大尺度、多色彩的组合景观下进行的植物色彩与人体生理影响的研究比较欠缺(图4)。

2.4 植物色彩与人体心理响应

色彩在不同文化中内涵不同,但对人的心理影响存在一些相似的部分^[54]。例如色彩会带给人距离感、方向性及冷暖感等^[6]。目前国内外学者在植物色彩心理学领域,针对植物个体的色系差异,进行了大量的心理状态调节研究工作,研究结论大致相似:绿色、蓝色等冷色调植物可以让人平静、精力集中,黄色、红色等暖色调植物让人明亮欢快^[65-66]。通常情况下,无论在室内还是室外,有色彩的植物都可以起到缓解紧张和焦虑,使人情绪稳定的作用^[67]。然而,上述情况存在特例。研究发现相同的植物色彩在不同的空间会产生不同的心理感受,植物色彩的不适宜使用可能会产生负面效应,例如,在医院布置过多的红色和白色花卉,会刺激人们产生悲伤情绪^[63]。此外,植物色彩对人体心理影响存在个体差异,年龄、性别、生理素质、性格、宗教与信仰等因素会直接影响色彩心理反应,从而产生小众型的结果反差^[68],例如,有学者实验中发现粉红色系植物对大部分调查者产生快乐与平静的心理影响,但是,对少数教师、病人、医务工作者和老年人却产生负面情绪^[22]。鉴于心理研究的复杂性,部分学者开始针对具有共性的人群开展研究工作^[69]。Han^[70]针对教室中摆放的绿叶植物对学生群体的影响情况进行调查,主要结果与前人研究基本无异,但其在研究中发现色彩空间占比的阈值可能与对学生心理变化波动具有相关性,为植物色彩进行深入的定量研究提供了新的思路。

在植物色彩心理学方面,植物个体色彩的研究占绝大多数,且研究仅是将植物色彩进行色系的判定。少数学者开展了稍大尺度的植物群体多色彩组合研究,利用红、黄树种秋季景观进行不同群体的心理响应评价,结果表明大多数人群产生快乐与兴奋的情绪,21.9%的教师和19.1%的职员产生负面情绪,但对产生情绪差异的原因并未进一步分析^[21]。总体而言,较大尺度、色彩组合较复杂的植物景观对公众心理影响的研究较为不足,而大尺度森林、生态风景林在人们日常游憩活动中使用量非常高,因此,植物组合的色彩心理部分还需要更加深入的研究(图4)。

3 当前研究的欠缺

植物色彩与公众响应关系结果来源于两部分内容的综合分析,对公众的审美、生理和心理进行准确科学地评价是一个重要的方面,而另一方面,对植物色彩特征进行准确地剖析也是解决问题的关键。例如,在色彩生理研究中,大部分学者认为色彩产生的生理刺激是由色相差异而引起的^[62],但仍有部分学者认为饱和度才是引起人体生理反应的主要因素^[71-72],尽管这种争议还有待进一步的研究,不过依此可见,准确的色彩因素提取在植物色彩研究中是非常关键的。

植物色彩内容涵盖了单一色彩的色相、明度和饱和度,多色彩的组成比例与空间关系等多重信息^[15]。目前研究中使用的色彩提取因素和方法通常是在色彩学的基础上,借鉴城市规划、地理信息、景观生态等相似学科的研究成果,再进行广泛的尝试而得出的,但研究中仍然存在一些问题有待完善。

首先,色彩要素定量尚未形成统一化的标准。植物色彩的标定与测量经历了一个从定性到定量表述的过程。最初只用简单的红、黄、绿等色相来形容自然色彩^[73],是最粗略的色彩描述方式。通用色彩系统的诞生产生了色彩的定量描述。目前普遍使用的色彩系统大致可概括为两类:一类是基于几种原色叠加的混色系统,如 Mercado 等^[74]利用植株色彩鉴定判断营养状况时使用的 RGB 色彩空间(红、绿、蓝三通道叠加色彩系统)、Chaudhary 等^[75]借助叶片色彩判断植株是否患病时应用的 Lab 色彩空间(国际照明委员会确定的明度、

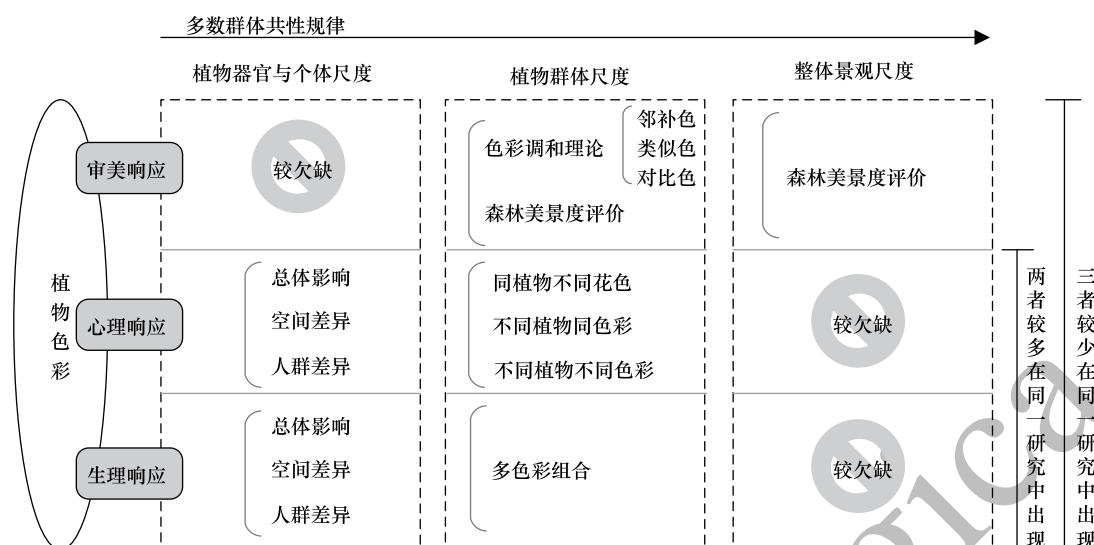


图4 多尺度植物色彩与公众响应研究关系图

Fig.4 The mechanism between multi-scale plant colors and human reactions

洋红到绿色、红色到蓝色三通道叠加的色彩系统)、朱敏等^[76]对植物器官色彩量化描述中应用的CMYK色彩空间(青色、洋红、黄色与黑色4色叠加形成的色彩系统)等;另一类是基于人眼的分辨能力将色彩进行色相、明度、饱和度区分的表色系统^[77],如Grose等^[78]在评估不同树种绿叶的色差时应用的孟塞尔色彩系统、孙亚美^[39]在进行秋色叶树种色彩量化时应用的奥斯特瓦尔德色彩系统等。国内外学者在植物色彩识别和标定方面已经开展了广泛的尝试,但尚未形成统一的标准化色彩系统,由于不同的色彩系统中色彩表达方式存在较大差异,不利于各研究成果之间的相互比较与借鉴^[39]。

其次,组合色彩的特征因子选取尚处于探索阶段。目前国内外学者在色彩组成与比例关系研究中提取了色彩灰度级与透光率、主色调与冷暖色调比例、森林色彩比例等色彩指标^[5,12];在不同色块空间关系研究中提取了色块分布均匀程度、林内景观的斑块数量与密度等景观格局指标^[5,15]。但在色彩信息标定中,是否还存在除此之外的其他因子仍有待于进一步地探索与尝试^[15]。

此外,植物色彩的测量方法尚处于尝试阶段。现有的色彩要素量化方法主要有3种:一是目视对照法,研究者借助比色卡对照植物色彩进行比较,得出最接近的色彩值,适用于色彩种类不多或精度要求不高的植物色彩研究^[34, 37];二是仪器测量法,利用分光测色仪等设备对植物体测量,这种方法精度高,但要求测量距离非常近,且只能测量某一点的色彩值,适用于局部植物器官的色彩测量^[76];三是软件量化法,用数码相机记录森林色彩景观,结合Photoshop^[79]、ColorImpact^[80]、Matlab^[39]等软件对图像进行处理,提取色彩来实现色彩要素的量化,适用于尺度较大、色彩复杂的植物景观,但这种方法受环境、光照、观测距离、相机感光元件性能等因素的影响较大,需要图像处理时去除非植物因子、划分定额色彩区间等方式降低影响^[39]。对森林色块特征提取,有学者尝试利用ArcGIS和Fragstats地理信息处理软件^[15]、ImageJ图像计算软件^[81]进行色彩斑块勾画和色块指数计算。在植物色彩信息提取的研究中,国内外做了许多方法上的尝试与创新,但是每种方法开展研究的数量还较少,重复度不高。同时,在处理复杂的植物色彩时,存在精确与模糊选择的问题,划分定额色彩空间将色彩合理归类是一种较好的处理方式,但划分依据、色彩系统的选择、划分方法尚无统一标准。

植物色彩研究中涉及的量化内容与方法大都处于尝试阶段,不同的研究方法的立足点不同,目前尚未形成学科认可的研究手段,需要进一步的开展调查、比对分析和实践应用来选择和创造更科学更精确的研究方法。

4 研究展望

森林的美景度和适宜性提升是构建美丽城镇森林景观的重要前提,其中植物色彩发挥着重要作用。目前国外对于植物色彩传达机制及其与人体的审美、生理与心理响应关系的研究主要是立足人体健康和小尺度园艺美化而展开的,对于色彩学、生理学、心理学的基础理论都比较成熟;国内的研究多是在国外的良好基础上展开,研究领域基本与国外接轨,此外对于更大尺度、更复杂的植物群落色彩开展了少许研究。总体而言,植物色彩研究正处于繁荣时期,在不同尺度色彩影响结果评价、色彩量化、理论与实践结合等方面仍需不断的深入和探索。

为了全面与系统的了解植物景观色彩的自然属性与社会功能,合理地创造与利用自然色彩环境,未来的研究可以立足以下 5 个方面:(1)多尺度植物色彩与公众响应研究。在目前国内外植物色彩研究成果的基础上,将公众对色彩响应评价融入到多尺度植物色彩中,尤其补充大尺度的整体景观色彩,形成纵向尺度差异与横向公众响应关系的综合评价研究范式。(2)森林和群落色彩评价因子的研究。在确定色相、明度、饱和度 3 个基本的色彩要素基础上,考虑森林色彩的复杂性特征,进一步挖掘森林色彩因季相、气候、植物种类、群落组成、生长特征、生态环境等的差异所造成的视觉效果的特殊性,探索能够涵盖和区分不同森林色彩特征的综合评价因子。(3)森林色彩量化方法的多学科融合。借鉴生态学、色彩学、色彩心理学、景观生态学对于色彩与色块的测量与计算方式,利用现有统计软件、图像处理分析软件、开放式编程软件等开发普适性的量化程序,增强森林色彩量化的准确性和实用性。(4)公众对森林色彩响应关系研究。针对以往调查样本数量普遍低于 100,且样本选择人群单一导致代表性不强的问题,可以参照统计学理论^[82],根据研究范围计算抽样比例,并注意样本选择的针对性。同时将森林色彩与生态功能、公众的审美和健康综合考虑,将地域和人群需求共同纳入森林色彩评价中。(5)森林景观美景度提升的对策研究。以森林生态功能保护为前提,提出以森林色彩景观提升为导向的森林改造与提升方案,包括季节性色彩搭配、色彩数量与比例关系、色块空间布局等指标,以单一季节景观最优为基础目标,四季色彩优美为最终目标,为城乡风景林构建提供科学依据,进而达到提升城镇森林美景度的目的。

参考文献 (References):

- [1] Jin H Y, Zhu Z W. Design of Household Multi-Function Vacuum Cleaner. *Advanced Materials Research*, 2014, 945-949: 266-269.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T5698—2001 颜色术语. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [3] Park S S. *Handbook of Vitreo-retinal Disorder Management: A Practical Reference Guide*. Singapore: World Scientific, 2015: 2-30.
- [4] Cubukcu E, Kahraman I. Hue, saturation, lightness, and building exterior preference: an empirical study in Turkey comparing architects' and nonarchitects' evaluative and cognitive judgments. *Color Research & Application*, 2008, 33(5): 395-405.
- [5] 董建文, 廖艳梅, 黄启堂, 章志都, 王婷婷. 森林景观色彩评价指标的构建及验证研究 // 第八届中国林业青年学术年会论文集. 哈尔滨: 中国林学会, 2008: 365-368.
- [6] 陈勇, 孙冰, 廖绍波, 罗水兴, 陈雷, 蔡刚. 深圳市城市森林林内景观的美景度评价. *林业科学*, 2014, 50(8): 39-44.
- [7] 梅玫, 王雪梅, 罗言云. 中国传统文化色彩理论与园林应用. *四川建筑科学研究*, 2010, 36(5): 245-248.
- [8] Sparavigna A C. Robert grosseteste and the colours. *International Journal of Sciences*, 2014, 3(1): 1-6.
- [9] 刘浩学. 印刷色彩学. 北京: 中国轻工业出版社, 2014: 30-49.
- [10] 郑晓红. 色彩调和论研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [11] Asen S, Stewart R N, Norris K H. Co-pigmentation of anthocyanins in plant tissues and its effect on color. *Phytochemistry*, 1972, 11(3): 1139-1144.
- [12] 邵娟. 南京市秋季植物色彩的定量研究与应用[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [13] 洪丽, 王金刚, 龚东芳. 彩叶植物叶色变化及相关影响因子研究进展. *东北农业大学学报*, 2010, 41(6): 152-156.
- [14] Biggam C P, Hough C A, Kay C J, Simmons D R. *New directions in colour studies*. Amsterdam, NL: John Benjamins Publishing, 2011: 20-45.
- [15] 毛斌, 彭立群, 李乐, 徐程扬. 侧柏风景林美景度的林内色彩斑块非线性模型研究. *北京林业大学学报*, 2015, 37(7): 68-75.
- [16] Whitfield T W A, Whelton J. The arcane roots of colour psychology, chromotherapy, and colour forecasting. *Color Research & Application*, 2015, 40(1): 99-106.
- [17] Frank S, Fürst C, Koschke L, Witt A, Makeschin F. Assessment of landscape aesthetics—validation of a landscape metrics-based assessment by

- visual estimation of the scenic beauty. *Ecological Indicators*, 2013, 32: 222-231.
- [18] Jang H S, Kim J, Kim K S, Pak C H. Human brain activity and emotional responses to plant color stimuli. *Color Research & Application*, 2014, 39(3): 307-316.
- [19] 郗光发, 房城, 王成, 李春媛. 森林保健生理与心理研究进展. *世界林业研究*, 2011, 24(3): 37-41.
- [20] Buechner V L, Maier M A, Lichtenfeld S, Elliot A J. Emotion expression and color: their joint influence on perceived attractiveness and social position. *Current Psychology*, 2015, 34(2): 422-433.
- [21] 李霞. 园林植物色彩对人的生理和心理的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [22] Deng S Q, Yan J F, Guan Q W, Katoh M. Short-term effects of thinning intensity on scenic beauty values of different stands. *Journal of Forest Research*, 2013, 18(3): 209-219.
- [23] Park S H, Mattson R H, Kim E. Pain tolerance effects of ornamental plants in a simulated hospital patient room // ISHS Acta Horticulturae 639: XXVI International Horticultural Congress: Expanding Roles for Horticulture in Improving Human Well-Being and Life Quality. San Francisco: Acta Horticulturae, 2004, 639: 241-247.
- [24] 修美玲. 园艺操作活动及观赏植物色彩对人的生理和心理影响的定量研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [25] Wolch J R, Byrne J, Newell J P. Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 234-244.
- [26] Labrecque L I, Patrick V M, Milne G R. The marketers' prismatic palette: a review of color research and future directions. *Psychology & Marketing*, 2013, 30(2): 187-202.
- [27] Gamon J A, Surfus J S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 1999, 143(1): 105-117.
- [28] Sims D A, Gamon J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote sensing of environment*, 2002, 81(2): 337-354.
- [29] Marin A, Ferreres F, Barberó G G, Gil M I. Weather variability influences color and phenolic content of pigmented baby leaf lettuces throughout the season. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(6): 1673-1681.
- [30] 侯元凯. 彩叶植物研究进展. *世界林业研究*, 2010, 23(6): 24-28.
- [31] Box E O. Plant functional types and climate at the global scale. *Journal of Vegetation Science*, 1996, 7(3): 309-320.
- [32] 孙小玲, 许岳飞, 马鲁沂, 周禾. 植株叶片的光合色素构成对遮阴的响应. *植物生态学报*, 2010, 34(8): 989-999.
- [33] Deal D L, Raulston J C, Hinesley L E. Leaf color retention, dark respiration, and growth of red-leafed Japanese maples under high night temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1990, 115(1): 135-140.
- [34] Hondo T, Yoshida K, Nakagawa A, Kawai T, Tamura H, Goto T. Structural basis of blue-colour development in flower petals from *Commelina communis*. *Nature*, 1992, 358(6386): 515-518.
- [35] Byrne A, Hilbert D R. Color realism and color science. *Behavioral and Brain Sciences*, 2003, 26(1): 3-21.
- [36] Hicks T A. Why Do Leaves Change Color?. New York: Marshall Cavendish, 2010: 12-20.
- [37] 寿晓鸣, 车生泉, 张艳. 城市园林植物中单叶叶色与整株色彩关联度研究. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2007, 25(3): 238-243.
- [38] Pounders C, Rinehart T, Edwards N, Knight P. An analysis of combining ability for height, leaf out, bloom date, and flower color for crapemyrtle. *HortScience*, 2007, 42(6): 1496-1499.
- [39] 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.
- [40] 解冰冰. 黄山栎树的果实生长和色彩变化规律研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
- [41] 董建文, 章志都, 许贤书, 谢祥财, 刘可人. 福建省山地坡面风景游憩林美景度综合评价及构建技术. *东北林业大学学报*, 2010, 38(4): 45-48.
- [42] 车生泉, 寿晓明. 日照对园林植物色彩视觉的影响. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2010, 28(2): 166-170.
- [43] Romero J, Luzón-González R, Nieves J L, Hernández-Andrés J. Color changes in objects in natural scenes as a function of observation distance and weather conditions. *Applied Optics*, 2011, 50(28): F112-F120.
- [44] Henry R C, Mahadev S, Urquijo S, Chitwood D. Color perception through atmospheric haze. *Journal of the Optical Society of America A*, 2000, 17(5): 831-835.
- [45] Fairchild M D. Color Appearance Models. 3rd ed. Manhattan: John Wiley & Sons, 2013: 34-50.
- [46] Hurlbert A C, Ling Y Z. Biological components of sex differences in color preference. *Current Biology*, 2007, 17(16): R623-R625.
- [47] Schloss K B, Palmer S E. Aesthetic response to color combinations: preference, harmony, and similarity. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2011, 73(2): 551-571.
- [48] Edwards G, Finger M. Planting guidelines for public reserves. *Landscape Australia*, 1997, 19(4): 350-355.
- [49] 关媛元, 闫红伟, 咎世明. Munsell 色彩调和理论优化植物景观方法研究. *沈阳农业大学学报: 社会科学版*, 2013, 15(2): 229-233.
- [50] 吕林蔚, 辜彬. 景观色彩优化方法. *绿色科技*, 2015, (12): 116-120.
- [51] Hull IV R B, Stewart W P. Validity of photo-based scenic beauty judgments. *Journal of Environmental Psychology*, 1992, 12(2): 101-114.
- [52] 钟素飞. 长沙市公园绿地典型园林植物群落美景度与偏好度评价研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [53] 李效文, 贾黎明, 李广德, 郝小飞. 北京低山桃针叶树混交风景林景观质量评价及经营技术. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2010, 34(4): 107-111.

- [54] Bellizzi J A, Crowley A E, Hasty R W. The effects of color in store design. *Journal of Retailing*, 1983, 59(1): 21-45.
- [55] Wilson G D. Arousal properties of red versus green. *Perceptual and Motor Skills*, 1966, 23(3): 947-949.
- [56] Andrews T. How to heal with Color. Woodbury; Llewellyn Worldwide, 1992: 20-34.
- [57] Kaufman A J, Lohr V I. Does plant color affect emotional and physiological responses to landscapes? // ISHS Acta Horticulturae 639: XXVI International Horticultural Congress: Expanding Roles for Horticulture in Improving Human Well-Being and Life Quality. San Francisco: Acta Horticulturae, 2004: 229-233.
- [58] Park S H, Mattson R H. Effects of flowering and foliage plants in hospital rooms on patients recovering from abdominal surgery. *HortTechnology*, 2008, 18(4): 563-568.
- [59] Ulrich R S. View through a window may influence recovery from Surgery. *Science*, 1984, 224(4647): 420-421.
- [60] Chang C Y, Chen P K. Human response to window views and indoor plants in the workplace. *HortScience*, 2005, 40(5): 1354-1359.
- [61] Thomsen J D, Müller R. Plants for a better life-people-plant relationships in indoor work environments // ISHS Acta Horticulturae 881: II International Conference on Landscape and Urban Horticulture. San Francisco: Acta Horticulturae, 2010: 837-841.
- [62] Park S H, Mattson R H. Ornamental indoor plants in hospital rooms enhanced health outcomes of patients recovering from surgery. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2009, 15(9): 975-980.
- [63] 陈燕. 园林植物色彩对不同人群的生理影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [64] 房元民. 老年医院景观环境色彩的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- [65] Haigh C A, Witham G, Thompson J, Wood H. Green environments and their effect upon hospital users. *International Journal of Research in Nursing*, 2014, 5(2): 37-43.
- [66] Thorpert P, Nielsen A B. Experience of vegetation-borne colours. *Journal of Landscape Architecture*, 2014, 9(1): 60-69.
- [67] Kuper R. Preference, complexity, and color information entropy values for visual depictions of plant and vegetative growth. *HortTechnology*, 2015, 25(5): 625-634.
- [68] 贾雪晴. 园林植物色彩的心理反应研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
- [69] Elliot A J, Maier M A. Color psychology: effects of perceiving color on psychological functioning in humans. *Annual Review of Psychology*, 2014, 65(1): 95-120.
- [70] Han K T. Influence of limitedly visible leafy indoor plants on the psychology, behavior, and health of students at a junior high school in Taiwan. *Environment and Behavior*, 2009, 41(5): 658-692.
- [71] Mikellides B. Color and physiological arousal. *Journal of Architectural and Planning Research*, 1990, 7(1): 13-20.
- [72] Rajae-Joordens R J E. The effects of colored light on valence and arousal-investigating responses through subjective evaluations and psychophysiological measurements // Westerink J, Krans M, Ouwerkerk M, eds. *Sensing Emotions: The Impact of Context on Experience Measurements*. Netherlands: Springer, 2011, 12: 65-84.
- [73] Elliot A J, Maier M A, Moller A C, Friedman R, Meinhardt J. Color and psychological functioning: the effect of red on performance attainment. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2007, 136(1): 154-168.
- [74] Mercado-Luna A, Rico-García E, Lara-Herrera A, Soto-Zarazúa G, Ocampo-Velázquez R, Guevara-González R, Herrera-Ruiz G, Torres-Pacheco I. Nitrogen determination on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings by color image analysis (RGB). *African Journal of Biotechnology*, 2010, 9(33): 5326-5332.
- [75] Chaudhary P, Chaudhari A K, Cheeran A N, Godara S. Color transform based approach for disease spot detection on plant leaf. *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, 2012, 3(6): 65-70.
- [76] 朱敏, 高爱平, 罗石荣, 麦贤家, 陈华蕊, 陈业渊. 杧果花瓣与花药色彩的数字化描述. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(1): 159-166.
- [77] Cochrane S. The Munsell Color System: a scientific compromise from the world of art. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 2014, 47: 26-41.
- [78] Grose M J. Green leaf colours in a suburban Australian hotspot: colour differences exist between exotic trees from far afield compared with local species. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 146: 20-28.
- [79] Afshari-Jouybari H, Farahnaky A. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*, 2011, 106(2): 170-175.
- [80] Moretti G, Marsland S, Lyons P. Computational production of colour harmony. Part 2: Experimental evaluation of a tool for gui colour scheme creation. *Color Research & Application*, 2013, 38(3): 218-228.
- [81] Lind R. Open source software for image processing and analysis: picture this with ImageJ//Harland L, Forster M, eds. *Open Source Software in Life Science Research: Practical Solutions to Common Challenges in the Pharmaceutical Industry and Beyond*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012: 131-149.
- [82] 内田治. SPSS 使用手册意见调查的统计分析//陈耀茂, 译. 台北: 鼎茂图书出版股份有限公司, 2007: 20-40.