

王丽华, 李波, 陈文凯, 贺俊东, 刘意元, 王文鑫, 唐淑琴, 吴彦. 亚高山野生乡土木本植物观赏价值评价体系构建[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27 (3): 541-548

Wang LH, Li B, Chen WK, He JD, Liu YY, Wang WX, Tang SQ, Wu Y. Construction and analysis of the ornamental value evaluation system of wild native woody plants in a subalpine region [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2021, 27 (3): 541-548

亚高山野生乡土木本植物观赏价值评价体系构建

王丽华^{1,2#} 李波^{3#} 陈文凯^{1,4} 贺俊东⁵ 刘意元² 王文鑫² 唐淑琴² 吴彦^{1✉}

¹中国科学院成都生物研究所, 中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室, 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室 成都 610041

²阿坝师范学院, 阿坝州生物多样性与资源植物研究所 阿坝 623002

³四川农业大学生命科学学院 雅安 625000

⁴中国科学院大学 北京 100049

⁵西华师范大学生态研究院 南充 637002

摘 要 为充分挖掘川西亚高山地区观赏类植物资源优势、促进高海拔地区城市园林绿化和景观生态修复的乡土物种产业化发展, 基于文献查阅和实地调查, 综合考虑植物观赏价值、生态适应性价值和开发价值, 确定17个评价指标, 建立层次分析法(AHP)评价模型, 针对该区域较为常见的50种乡土木本植物进行综合评价, 根据综合评价分值将资源化利用价值由高到低划分为4个等级。结果显示: I级(> 4.0)植物6种, 以山光杜鹃(*Rhododendron oreodoxa*)为代表, 观赏价值和应用价值较高, 可优先作为高海拔地区园林绿化和景观植物进行开发利用; II级(3.6-4.0)植物22种, 可适度作为高海拔地区园林绿化植物开发应用; III级(3.2-3.6)和IV级(< 3.2)植物各11种, 建议小范围区域内试种, 适时评估其开发利用价值。采用AHP法筛选出的6种I级植物能准确地反映出亚高山地区木本植物的应用价值, 予以重点推荐; 结果可为亚高山地区生态恢复和城市园林物种的选择提供科学的参考依据。(图1 表5 参30)

关键词 乡土木本植物; 景观评价体系; 层次分析法; 亚高山地区

Construction and analysis of the ornamental value evaluation system of wild native woody plants in a subalpine region

WANG Lihua^{1,2#}, LI Bo^{3#}, CHEN Wenkai^{1,4}, HE Jundong⁵, LIU Yiyuan², WANG Wenxin², TANG Shuqin² & WU Yan^{1✉}

¹ CAS Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization & Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

² Aba Institute of Biodiversity and Resource Botany, Aba Teachers University, Aba 623002, China

³ College of Life Sciences, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625000, China

⁴ University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China

⁵ Institute of Ecology, China West Normal University, Nanchong 637002, China

Abstract The western Sichuan subalpine region contains ornamental plant resources that promote high-altitude city landscaping, restoration of industrialized areas, and landscape ecological restoration of native species. Based on a literature review and field survey, this study considers plant ornamental value, ecological value, and development value applicability and determines 17 evaluation indexes, to establish a hierarchical analysis method (AHP) evaluation model to determine the plants that are most suitable for landscaping. A comprehensive evaluation was carried out on 50 kinds of native woody plants in the region to categorize the value of woody plant products into four grades, ranging from high to low value. The results showed that six species of Grade I plants (> 4.0) with high utilization value, represented by *Rhododendron Oreodoxa*, had high ornamental and application value, and could be developed and utilized as landscape plants even in high-altitude areas. Twenty-two species were Grade II plants (3.6-4.0), which can be moderately developed and applied as landscape plants in high altitude areas; and 11 species were grade III (3.2-3.6) and grade IV (< 3.2). We suggest planting species in a small area and evaluating their development and utilization value in due time. In conclusion, the six Grade I plants screened by the AHP method can accurately reflect the application value of woody plants in subalpine areas and can be recommended as a scientific reference for ecological restoration and selection of urban garden species in subalpine areas.

Keywords native woody plant; landscape evaluation system; Hierarchical Analysis Method; subalpine region

收稿日期 Received: 2021-02-04 接受日期 Accepted: 2021-03-22

国家重点研发计划项目(2017YFC0505005)、九寨沟灾后重建项目(5132202020000046)、四川省科技计划项目(2018JY0305, 19YYJC2747, 2018SZDZX0033)和中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室开放性课题(KXYSWS1605)资助 Supported by the National Key R&D Program of China (2017YFC0505005), the Jiuzhaigou Post Disaster Reconstruction Project (5132202020000046), the Sichuan Science and Technology Program (2018JY0305, 19YYJC2747, 2018SZDZX0033), and the Open Project of Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Biological Resources Utilization, Chinese Academy of Sciences (KXYSWS1605)

#共同第一作者 Co-first authors

✉通讯作者 Corresponding author (E-mail: wuyan@cib.ac.cn)

西南亚高山地区是我国重要的生态屏障^[1-2]，在过去几十年内，人们针对川西典型脆弱区生态恢复与多样性保护技术，开展了大量关于区域植被和土壤退化过程中环境影响因子的研究^[3-6]，但当前对西南亚高山地区的研究偏重于生态屏障功能的恢复，植被恢复物种以岷江云杉（*Abies faxoniana*）、冷杉（*Abies fabri*）等乔木为主，观赏性物种应用较少，忽视了区域特色生态旅游的景观美学价值。其原因在于本土野生观赏植物种类开发和应用程度较低，低海拔地区引种园林植物由于生境条件差异较大，难以成活，无法得到推广。在西南高山亚高山区域退化生态系统恢复重建中，如何将生态功能与景观美学价值开发相结合，不仅是区域退化生态系统恢复的新途径和新模式，也符合当前脆弱生态修复与保护的主流发展方向。

西南亚高山地区作为全球生物多样性保护的热点地区之一，素有“高山生物资源宝库”之美誉，以其独特的高山环境孕育着丰富的植物资源，这些在当地环境条件下“土生土长”的植物，在经过自然选择和物种演替后形成自然植物区系的一部分，统称为乡土植物，其不仅具有区域高度适应性^[7]，同时兼具良好的生态效益和观赏价值^[8-9]。提倡高海拔地区利用乡土木本植物打造园林绿化景观，不仅可以丰富当地园林植物资源种类、形成具有地域特色的植物景观，同时可保护珍稀濒危植物并扩充其数量和分布范围^[10]。所以，加强亚高山野生乡土观赏植物的开发应用对于生态旅游发展竞争力的提升和区域经济的发展十分必要。

亚高山地区乡土植物资源虽然丰富，但并非所有植物都适宜大面积推广，其观赏性和适生性未必同时满足绿化植物的要求，因此有必要构建评价体系进行定量评价，有针对性地选取具有最佳景观和应用价值的乡土植物。层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）是近年来应用较多的一种评价体系^[7-8, 10]，通过层次划分和分配权重综合考察多方面影响因子后进行定量分析，从而减少定性分析的主观性^[11-12]。我们以川西亚高山地区野生乡土木本植物资源为研究对象，突破以往观赏植物评中过多重视观赏价值或生态价值的现象^[13-14]，全面考虑植物（花、叶和果等）观赏价值、生态适应性和开发价值，利用层析分析法，建立精细化的评价指标与评分标准，构建亚高山乡土木本植物景观评价体系，以期亚高山

地区生态恢复和城市园林物种的选择提供科学的参考依据。

1 研究区域概况

川西高原地区处于四川省西部与青海、西藏交界的高海拔地区（27°57'-34°11'N，97°21'-104°26'E），在行政上属四川省阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州，总面积为2.33 × 10⁵ km²^[15]，山地海拔差异较大（西北4 500-4 700 m，东南2 500-3 000 m），气候差异显著，一般分为两个气候带，川西北高山高原气候带和川西南亚热带半湿润气候带，但以寒温带为主^[16]，年平均气温4-12℃，年降水量500-900 mm。该地区植物资源种类繁多，有10 000多种高等植被。

2 材料与方法

2.1 选取评价对象

选取的评价对象主要来自查阅资料和实地调查：《四川植被》、《中国植物志》和向丽等于2016年出版的《川西高原野生花卉图谱》（该书收集川西高原野生花卉植物398种，分属于56个科184个属）^[17]；2017年和2018年7-8月分别对四川省阿坝州茂县巴棚沟和汶川县卧龙自然保护区内海拔2 500-3 500 m地区进行实地调查并引种栽植于资源圃中进行适生性观察（野外调查收集并移植约60种以上、114株阿坝州内亚高山地区具有较高观赏价值的乡土灌木物种）。以适宜川西亚高山地区生长为基本条件，通过查阅资料和分析野生乡土木本植物的观赏价值、生物学及生态学特性等，最终筛选和整理汇编出50种川西亚高山地区乡土植物名录，并详细记录其生态习性和营养、繁殖器官特征等信息，作为综合评价依据。

2.2 综合评价体系构建

2.2.1 构建评价体系模型 采用层次分析法对已筛选出的目标植物进行评价。在综合考虑高海拔地区园林植物选用要求和咨询相关专家后，建立综合评价体系模型（表1），即以亚高山乡土木本植物综合评价为目标层，观赏价值（观叶、观花、观果及其他观赏价值）、生态适应性和开发价值为准则层，叶形、叶色、绿色期、花形、花量、花色、花期、果形、果色、果期、树形/株形、质地、繁殖难易、生境依赖性、海拔生境、已利用程度、乡土性及研究价值为指标层，筛选出的目标

表1 观赏性植物资源化利用综合评价结构模型

Table 1 A structural model for comprehensive evaluation of ornamental plant resource utilization

目标层 Target (A)	准则层 Principal level (C)	指标层 Factor level (P)	最底层 Bottom level (D)
亚高山乡土木本植物景观评价体系 Landscape Evaluation System of Subalpine Native Woody Plants (A)	观赏价值 Ornamental value (C ₁)	叶形 Leaf shape (P ₁)	D ₁ , D ₂ , ... D ₅₀
		叶色 Leaf color (P ₂)	
		绿色期 Green period (P ₃)	
		花形 Flower shape (P ₄)	
		花量 Amount of flowers (P ₅)	
		花色 Flower color (P ₆)	
		花期 Flowering (P ₇)	
		果形 Fruit shape (P ₈)	
		果色 Fruit color (P ₉)	
		果期 Fruiting (P ₁₀)	
	生态适应性 Ecological adaptability (C ₂)	树形/株形 Tree shape (P ₁₁)	
		质地 Texture (P ₁₂)	
		繁殖难易 Ease of reproduction (P ₁₃)	
	开发价值 Development value (C ₃)	生境依赖性 Habitat dependence (P ₁₄)	
		海拔生境 Altitude habitat (P ₁₅)	
		已利用程度 Degree of utilization (P ₁₆)	
		乡土性及研究价值 Locality and research value (P ₁₇)	

植物为最底层。

2.2.2 确立评分权重 采用1-9比标度法建立各评价指标的权重^[18-20]。通过比较准则层(C)和指标层(P)中各元素对上一层评价标准的重要性,建立比较判断矩阵,并用Yaahp软件检查其一致性^[10],得出层次单排序(准则层各因子相对权重排序)和层次总排序(最后一层对目标层相对权重排序)后进行

一致性检验,获得指标层17个评价因子的权重值。

2.2.3 计算综合分值与分级 分别邀请了从事园林花卉生产研发、高山生态研究和高校园林教学等领域的5位专家以及参与野外调查的10名相关专业学生,依据上述目标植物的图片、相关资料和信息等对照指标评价标准进行打分(表2),结合各因子权重计算出植物综合得分进行排序并划分等级。各

表2 川西亚高山观赏性植物资源化利用价值评分标准

Table 2 Evaluation criteria of ornamental plant resource utilization in the subalpine region of western Sichuan

准则层(C) Principal level	指标层(P) Factor level	分值 Score		
		5	3	1
观赏价值 Ornamental value	叶形 Leaf shape	叶形有特色(如扇形、掌状等,叶深裂、中裂或浅裂) Leaves distinctly shaped (e.g. fan-shaped, palmate, etc., deeply lobed, moderately lobed, or lobed)	叶形较有特色(叶缘具齿等) Characteristic leaf shape (leaf margin with teeth, etc.)	叶形无明显特色(叶形普通) No distinctive leaf shape (ordinary leaf shape)
	叶色 Leaf color	秋叶色、叶色翠绿、双色叶或斑色叶 Autumn, green, double or variegated	叶色绿或深绿,常绿 Leaves green or dark green; evergreen	叶色暗淡,无特别观赏价值 Dull leaves, and no special ornamental value
	绿色期 Green period	常绿 Evergreen	半常绿,冬季不落叶或叶期在8个月以上,枯叶可落地 Semi-evergreen or leaf period more than 8 months; dead leaves can fall to the ground	冬季落叶,有叶期低于8个月,枯叶不可覆盖地面 Deciduous in winter; leaf period less than 8 months; the dead leaves can not cover the ground
	花形 Flower shape	花大(花茎>10 cm)或开花整齐 Large (flower stem > 10 cm) or neat flowers	花大或奇特 Large or peculiar flowers	花形无特色 Nondescript flowers
	花量 Amount of flowers	花量大,花朵或花序排列较紧密 Flowers are large, and flowers or inflorescences are closely arranged	花朵或花序排列较稀疏,散布于枝条,整体效果好 Flowers or inflorescences are arranged sparsely; the overall effect is good	开花少,花朵或花序较少,分布稀疏,整体效果一般 Flowering less, less flowers or inflorescences, sparse distribution; the overall effect is general
	花色 Flower color	色艳伴有香味,或有斑纹、色块 Colorful and with fragrance, or stripes, color patches	色艳、无香味或花色一般、有香味 Colorful, no fragrance or general color with fragrance	花色无特色、无香味或有异味 No characteristic color, no fragrance or peculiar smell
	花期 Flowering	花期长(>60 d) Long flowering period (> 60 d)	花期较长(30-60 d) Longer flowering period (30-60 d)	花期短(<30 d) Short flowering period (< 30 d)
	果形 Fruit shape	形状奇特或果实巨大或数量丰富 Peculiar shape, or large or abundant fruits	形状奇特或果序较大吸引人 Peculiar shape or large and attractive inflorescence	形状、大小均不吸引人 Unattractive shape and size
	果色 Fruit color	鲜红、亮红、金黄、橘红等鲜亮色彩或异色 Bright colors or different colors such as bright red, golden yellow, orange, etc.	深红、暗红、淡红、淡黄等暗色系或黑色、紫色等 Dark colors such as dark red, light red, light yellow or black, purple, etc.	绿黄、绿白、褐黄等或有斑点 Green yellow, green white, brown yellow or spotted
	果期 Fruiting	经冬不衰或果期(>90 d) Wintertime or fruiting time (> 90 d)	果期(30-60 d) Fruiting stage (30-60 d)	果期(<30 d) Fruiting stage (< 30 d)
	树形/株形 Tree shape	枝干舒展或枝叶繁茂、枝条颜色有观赏性 Stretched branches or luxuriant leaves, ornamental branch color	枝叶繁茂或枝条颜色有观赏性 Luxuriant branches and leaves or ornamental branches	枝叶稀疏无观赏性 Sparse and unornamented branches and leaves
	质地 Texture	植株光滑、易亲近 Smooth and approachable	植株被毛、较易亲近 Hairy and approachable lants	枝干有刺、不易亲近 Branches with thorns, and not easy to approach
生态适应性 Ecological adaptability	繁殖难易 Ease of reproduction	极易成活有多种繁殖方式 There are many ways to reproduce	仅一种繁殖方式 Only one way to reproduce	成活率较低或繁殖困难 Low survival rate or reproductive difficulties
	生境依赖性(抗性) Habitat dependence	耐贫瘠、耐干旱、耐寒、抗病虫害等方面较好;对生境无特殊依赖性,可直接于当地城乡中栽培 Good resistance to infertility, drought, cold, disease and insect pests; not specially dependent on the habitat; can be directly in the local urban and rural cultivation	耐贫瘠、耐干旱、耐寒、抗病虫害等方面一般;具有一定依赖性,经引种选育后可适应当地城乡环境 General resistance to infertility, drought, cold, disease and insect pests and other aspects; adapted to the local urban and rural environment after introduced and bred	耐贫瘠、耐干旱、耐寒、抗病虫害等方面较差;依赖性强,以高海拔地区分布为主,经引种选育后也较难适应当地城乡环境 Poor resistance to infertility, drought, cold, disease and insect pests; mainly distributed in high altitude areas and difficult to adapt to the local urban and rural environment after introduced and bred
	海拔生境 Altitude habitat	海拔分布范围宽在1000-4000 m Wide altitude distribution from 1000 m to 4000 m	海拔分布在1000-3000 m Altitudes range from 1000 m to 3000 m	海拔分布仅在3 000 m以上 Distributed only over 3 000 m of altitude
开发价值 Development value	已利用程度 Degree of utilization	园林中尚未被引种、利用,知名度很低 Not introduced and used into gardens; with very low visibility	园林中利用较少,相关信息仅为专业认识知晓 Less used in gardens, only professional knowledge	园林中已有利用且广泛应用 Widely used in gardens
	乡土性及研究价值 Locality and research value	具有亚高山地区地方特色,分布地区较少 With subalpine local characteristics, and less distribution areas	具有研究亚高山地区气候、地理和植被变迁历程的科研价值,但其余地区亦有分布 With great scientific value to study the climatic, geographical and vegetation changes in subalpine regions; also exists in other regions	各地广泛分布,无特殊科研价值 Widely distributed in various places and no special scientific research value

因子权重值计算公式如下:

$$Y = \sum_{i=1}^n WP_i F_i$$

式中: Y , 观赏性乡土木本植物景观综合评价价值; WP_i , 指标层下第 i 项指标的权重值; F_i , 指标层下第 i 项指标的分值。

I级 (> 4.0): 观赏价值和应用价值高, 建议广泛作为高海拔地区园林绿化植物开发应用。

II级 (3.6-4.0): 观赏价值和应用价值较高, 建议适度作为高海拔地区园林绿化植物开发应用。

III级 (3.2-3.6): 观赏价值和应用价值一般, 建议小规模作为高海拔地区园林绿化植物开发应用。

IV级 (< 3.2): 观赏价值和应用价值低, 暂不建议作为高海拔地区园林绿化植物开发应用。

3 结果与分析

3.1 评价体系及评分权重

建立评价体系, 由 $A-C$ 、 C_1-P 、 C_2-P 和 C_3-P 这4个判断矩阵构成, 其判断矩阵及各项指标权重值见表3, 17个评价因子的总权重值见表4。表3中 W_i 为准则层因素权重值, 其中观赏价值 (C_1) 和生态适应性 (C_2) 权重值相等, 开发价值 (C_3) 小于二者。这是因为高海拔地区环境相对更为严苛, 保证目标植物的观赏特性不受当地环境所限是开发利用野生乡土植物的首要考虑的问题, 因此观赏特性和生态适应性权重具有同等重要性, 而开发价值次之。

高海拔地区城市园林事业的发展受限于园林种质资源的匮乏, 园林资源植物的开发应首选本地乡土植物。植物的生长和繁殖通常受制于高海拔地区特殊的气候环境条件, 在园林植物的应用中, 植物的使用成本及成活率是重要的考量因素。因此, 该地区乡土观赏植物的繁殖难易 (P_{13}) 占据较高的权重 (表4)。此外, 高海拔地区生态环境相对脆弱使该地区的生物多样性面临较大的威胁, 而植物对于生境的依赖性是影响植物保护工作的重要因素之一。对乡土植物的开发利用不应局限于带动当地园林绿化建设的发展, 需与地区植物保护相结合。针对当地具有特色且分布较少的植物进行开发利用, 不仅可以改变高海拔地区园林绿化品种和景观效果的局面, 打造具有地域特色的植物景观, 也可以在此过程中为植物保护工

表3 判断矩阵及各项指标权重值

Table 3 Judgment matrix and weight value of each index

模型层次 Model hierarchy	判断矩阵 Judgment matrix			
A—C	A	W_i	$\lambda_{\max}$	一致性比例 Consistent ratio
	C_1	0.4000	3.0000	0.0000
	C_2	0.4000		
	C_3	0.2000		
C_1-P	C_1	W_i	$\lambda_{\max}$	一致性比例 Consistent ratio
	P_1	0.0587	13.2224	0.0722
	P_2	0.1836		
	P_3	0.0704		
	P_4	0.1508		
	P_5	0.1102		
	P_6	0.1709		
	P_7	0.1284		
	P_8	0.0224		
	P_9	0.0298		
	P_{10}	0.0294		
	P_{11}	0.0240		
	P_{12}	0.0216		
C_2-P	C_2	W_i	$\lambda_{\max}$	一致性比例 Consistent ratio
	P_{13}	0.5390	3.0092	0.0089
	P_{14}	0.2973		
	P_{15}	0.1638		
C_3-P	C_3	W_i	$\lambda_{\max}$	一致性比例 Consistent ratio
	P_{11}	0.3333	2.0000	0.0000
	P_{12}	0.6667		

作提供相关基础性研究资料。因此, 在本评价体系中, 乡土性及研究价值 (P_{17}) 和生境依赖性 (P_{14}) 占据较高权重 (表4)。

3.2 综合评价结果

如表5所示, 通过构建判断矩阵以及结合各因子权重对参评的50种亚高山乡土植物进行综合打分, 其综合评分在2.6-4.3之间, 根据评分结果将上述植物划分为I、II、III、IV共4个等级。

I级植物 (> 4.0) 共6种, 该类群植物观赏价值和应用价值较高, 建议广泛作为高海拔地区园林绿化植物进行开发利用。II级植物 (3.6-4.0) 共22种, 该类群植物观赏价值和应用价值较高, 其分数低于I类植物的原因可能是部分评价指标得分拉低了总体评分, 如开发价值中乡土性特色得分较低等。III级植物 (3.2-3.6) 和IV级植物 (< 3.2) 均为11种, 这两个类群植物观赏价值和应用价值总体上一一般或较低, 各评价因素的得分并

表4 指标层 (P) 对于目标层 (A) 的总排序

Table 4 Total ordering of factor layer (P) against target layer (A)

准则层 Principal level (C)	权重 Weight (WC_i)	指标层 Factor level (P)	权重 Weight (W_{Pi})	总排序权重 Total sort weight (W_i)
观赏价值 Ornamental value (C_1)	0.4000	叶形 Leaf shape (P_1)	0.0587	0.0235
		叶色 Leaf color (P_2)	0.1836	0.0734
		绿色期 Green period (P_3)	0.0704	0.0282
		花形 Flower shape (P_4)	0.1508	0.0603
		花量 Amount of flowers (P_5)	0.1102	0.0441
		花色 Flower color (P_6)	0.1709	0.0683
		花期 Flowering (P_7)	0.1284	0.0514
		果形 Fruit shape (P_8)	0.0224	0.0089
		果色 Fruit color (P_9)	0.0298	0.0119
		果期 Fruiting (P_{10})	0.0294	0.0118
		树形/株形 Tree shape (P_{11})	0.0240	0.0096
		质地 Texture (P_{12})	0.0216	0.0086
生态适应性 Ecological adaptability (C_2)	0.4000	繁殖难易 Ease of reproduction (P_{13})	0.5390	0.2156
		生境依赖性 Habitat dependence (P_{14})	0.2973	0.1189
		海拔生境 Altitude habitat (P_{15})	0.1638	0.0655
开发价值 Development value (C_3)	0.2000	已利用程度 Degree of utilization (P_{16})	0.3333	0.0667
		乡土性及研究价值 Locality and research value (P_{17})	0.6667	0.1333

不出众或具有偏颇性,表明此类群植物的观赏性和适生性达不到城市园林绿化建设的要求,因此可在小范围区域内试种或延缓对该类植物的开发利用。

表5 川西亚高山观赏性乡土木本植物景观综合评价及等级
Table 5 Comprehensive evaluation and grade of subalpine native woody plant landscape

序号 Ranking	植物中文名 Chinese name of plants	植物学名 Botanical name	综合评价价值 Comprehensive evaluation value	等级 Level
1	山光杜鹃	<i>Rhododendron oreodoxa</i>	4.3180	I
2	云南勾儿茶	<i>Berchemia yunnanensis</i>	4.0668	I
3	毛叶蔷薇	<i>Rosa mairei</i>	4.0592	I
4	毛叶珍珠花	<i>Lyonia villosa</i>	4.0546	I
5	小舌紫菀	<i>Aster albescens</i>	4.0520	I
6	狭叶土沉香	<i>Excoecaria acerifolia</i>	4.0104	I
7	银露梅	<i>Potentilla glabra</i>	3.9964	II
8	宽苞水柏枝	<i>Myricaria bracteata</i>	3.9846	II
9	美花铁线莲	<i>Clematis potaninii</i>	3.9764	II
10	淡黄杜鹃	<i>Rhododendron flavidum</i>	3.9564	II
11	甘川铁线莲	<i>Clematis akebioi</i>	3.9312	II
12	鬼箭锦鸡儿	<i>Caragana jubata</i>	3.9178	II
13	戟叶酸模	<i>Rumex hastatus</i>	3.8670	II
14	薄叶铁线莲	<i>Clematis gracilifolia</i>	3.8512	II
15	苦绳	<i>Dregea sinensis</i>	3.8264	II
16	扁刺峨眉蔷薇	<i>Rosa omeiensis</i>	3.7904	II
17	白刺花	<i>Sophora davidii</i>	3.7730	II
18	具鳞水柏枝	<i>Myricaria squamosa</i>	3.7610	II
19	大白杜鹃	<i>Rhododendron decorum</i>	3.7502	II
20	晚花绣球藤	<i>Clematis montana</i>	3.7372	II
21	勾儿茶	<i>Berchemia sinica</i>	3.6692	II
22	红棕杜鹃	<i>Rhododendron rubiginosum</i>	3.6644	II
23	川西蔷薇	<i>Rosa sikangensis</i>	3.6458	II
24	银叶铁线莲	<i>Clematis delavayi</i>	3.6430	II
25	匍匐栒子	<i>Cotoneaster adpressus</i>	3.6232	II
26	粉花绣线菊	<i>Spiraea japonica</i>	3.6206	II
27	岷江杜鹃	<i>Rhododendron hunnewellianum</i>	3.6112	II
28	白碗杜鹃	<i>Rhododendron souliei</i>	3.6111	II
29	凝毛杜鹃	<i>Rhododendron phaeochrysum</i>	3.4830	III
30	素芳花	<i>Jasminum officinale</i>	3.4704	III
31	小叶栒子	<i>Cotoneaster microphyllus</i>	3.4684	III
32	云南锦鸡儿	<i>Caragana sinica</i>	3.4650	III
33	多鳞杜鹃	<i>Rhododendron polylepis</i>	3.4508	III
34	金露梅	<i>Potentilla fruticosa</i>	3.4490	III
35	金毛铁线莲	<i>Clematis chrysocoma</i>	3.4172	III
36	梨果仙人掌	<i>Opuntia ficusindica</i>	3.4008	III
37	窄叶火棘	<i>Pyracantha angustifolia</i>	3.2646	III
38	西藏沙棘	<i>Hippophae thibetana</i>	3.2288	III
39	平枝栒子	<i>Cotoneaster horizontalis</i>	3.2278	III
40	矮麻黄	<i>Ephedra minuta</i>	3.1756	IV
41	高丛珍珠梅	<i>Sorbaria arborea</i>	3.1722	IV
42	长刺茶藨子	<i>Ribes alpestre</i>	3.1618	IV
43	鸡骨柴	<i>Elsholtzia fruticosa</i>	3.1472	IV
44	中国沙棘	<i>Hippophae rhamnoides</i>	3.0918	IV
45	窄叶鲜卑花	<i>Sibiraea angustata</i>	3.0888	IV
46	轮叶铃子香	<i>Chelonopsis souliei</i>	3.0822	IV
47	二色锦鸡儿	<i>Caragana bicolor</i>	2.8460	IV
48	美容杜鹃	<i>Rhododendron calophytum</i>	2.7938	IV
49	川西锦鸡儿	<i>Caragana erinacea</i> Kom.	2.7886	IV
50	绒叶黄花木	<i>Piptanthus tomentosus</i>	2.6420	IV

3.3 I级观赏植物

I级植物的综合评分均在4.0以上(表5),从生态适应性和开发价值来看,该类群植物易于繁殖且具有地方代表性;从观赏价值方面看,花量大、花朵或花序排列较紧密(图1),其中大部分为常绿或绿色期较长。从以上两个方面可看出,I级植

物满足高海拔地区园林绿化选种要求,建议广泛作为高海拔地区园林绿化植物进行开发利用^[21]。

从综合得分来看,除山光杜鹃(*Rhododendron oreodoxa*)得分在4.3以上,其余5种得分均在4.0-4.1之间。综合评价得分最高的山光杜鹃为杜鹃花科杜鹃属下的一个种,常绿灌木或小乔木,在生态适应性上具有耐寒、耐旱、耐贫瘠,扦插易成活及速生性等特征^[22-23];在观赏价值上,其花色、花量及较长的花期(4-6月)是高景观价值的重要体现;在开发价值上,杜鹃花属植物作为高海拔和中低海拔顶级群落以及过渡型群落中的优势种^[24],具有地域特色,一定程度上代表着川西高原之景观。此外,高海拔地区杜鹃属植物虽然种类多,可形成稳定的景观群落且景观效果好,但高海拔导致的引种困难^[25]使高山杜鹃并不适宜作为景观植物开发利用。而山光杜鹃生长于海拔2 100-3 650 m的林下或杂木林和箭竹灌丛中,花色通常为淡红色,顶生总状伞形花序,有花6-8朵,叶革质,常有5-6枚深绿色的叶片托于花团之下,花期4-6月,果期8-10月。其海拔相对较低且范围跨度大,具有开发成本较低、便于后期维护等特点,因此作为亚高山地区重点开发的野生乡土观赏植物,可充分发挥其生态环境优势以及展现亚高山地区园林城市的乡土特色。

云南勾儿茶(*Berchemia yunnanensis*)、毛叶蔷薇(*Rosa mairei*)、毛叶珍珠花(*Lyonia villosa*)、小舌紫菀(*Aster albescens*)和狭叶土沉香(*Excoecaria acerifolia*)5种植物综合评分均在4.0-4.1之间,相差不大。与山光杜鹃相比,主要是叶形、花形或果形等评分偏低,影响了综合评分,但总体上看仍具有较高的开发潜力,可作为亚高山地区园林绿化乡土木本植物广泛开发利用,但对部分植物要注意其开发利用程度,避免造成掠夺性滥用和资源枯竭的危险。

3.4 II级、III级和IV级观赏植物

II级植物的综合评分在3.6-4.0分之间(表5),总共有22种,其中得分在3.9以上的植物共有6种,分别是银露梅(*Potentilla glabra*)、宽苞水柏枝(*Myricaria bracteata*)、美花铁线莲(*Clematis potaninii*)、淡黄杜鹃(*Rhododendron flavidum*)、甘川铁线莲(*Clematis akebioi*)和鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)。该类群植物在生态适应性和开发价值上具有一定的优势,但部分观赏价值得分拉低了总体评分,如果实形状、大小不吸引人或是形成的果实颜色不鲜艳、有斑点等。但综合来看,该类群植物叶形具有一定特色,绿叶期较长,花量虽排布稀疏但整体效果好,且花期较长。

III级植物综合评分为3.2-3.6分之间(表5),总共有11种,该类群植物大多分布于海拔3 000 m以上,单花具有一定的观赏价值,但整体效果一般,果实形状、大小均不吸引人,叶期短且冬季落叶。因此从整体上来说,这类植物在实际应用中需要考虑的因素较多。

IV级植物综合评分为3.2以下(图1),总共有11种,总体上来看,该类群植物生境依赖性较强,以高海拔地区分布为主,引种选育难度较大,且观花和观果价值表现并不突出。

4 讨论

4.1 本研究评价体系的优势与不足

本研究中评价体系的17个因子涵盖了观赏价值、生态适应性价值和开发价值,在评价体系建立上区别于以往类似景观植物评价体系^[10, 26-27],对观赏价值的评价更为全面和细致,包括观花、观叶、观果及其他观赏价值;在生态适应性上考虑到



图1 I级野生乡土木本植物 (图片来自中国植物图像库: <http://ppbc.iplant.cn/>) .

Fig. 1 Class I wild native woody plants (quoted from the Plant Photo Bank of China: <http://ppbc.iplant.cn/>).

了野生植物在园林应用中所面临的实际问题,如栽植成本及后期维护等,此外开发价值上着重研究区域内特色植物的评价,以便充分展示亚高山地区园林景观的地域特色.此外,本研究在进行定量评价和定性分析的过程中,减少了主观性的影响,在指标选取上和评分标准上,结合实际情况保证了评价结果的全面性和客观性.

层次分析法是园林景观植物评价中较为常用的一种分析方法.在评价体系的建立上,虽然全面、综合性地考虑了各种影响因素,但在评价指标的选取上仍具有比较强的主观因素影响,如各因素的权重设置、评分标准、相关资料文献的影响等.因此,在对野生乡土植物资源的评价上,可通过组织同一批专家和研究者分不同的时间段对目标植物进行观察、评价以及进行引种栽植等,获取真实可靠的信息资料,进一步提高评价结果的客观性.

4.2 乡土木本植物资源的筛选与评价

在城市园林建设上,大量外来树种的引入可能造成当地生态环境的负面影响,尤其对于高海拔地区脆弱的生境和严苛的气候环境而言,在园林物种的选择上更应慎之又慎^[28].乡土木本植物不仅具有较强的稳定和适应能力,在园林造景和

植物配置上可作为基础物种.川西亚高山地区野生木本植物资源丰富,多数植物具有较强的观赏价值,尤其是在花形、花量、花色和花期上表现出较高的观花价值,但目前为止引用到高海拔地区园林建设中的种类极少.本研究筛选出了50种乡土木本植物,以灌木为主,在观赏价值上,尤其是观花价值上符合园林造景的需求特点,此外,植物筛选过程中,考虑到高海拔地区特殊气候和园林应用前景等,将生态适应性和开发价值作为准则层,有利于更加精准地筛选评价和开发利用观赏植物资源.

彩叶植物在园林景观中发挥着重要的作用^[29],尤其到了秋季红叶遍布川西高原地区,彩叶期可从9月下旬持续到12月上旬.虽然本研究在植物的筛选上侧重于花、果观赏价值,但未涉及彩叶植物种类.因此,未来有待进一步加强川西亚高山彩叶植物资源的开发应用研究.

4.3 乡土木本植物在高海拔地区生态修复中的应用

针对川西典型脆弱区的生态恢复与多样性保护技术研究一直是西南亚高山地区生态修复研究的热点之一.区域内生态修复要遵循生态优先、系统性、生物多样性、干扰最小化及地域性原则,根据当地资源类型及特点针对性地制定修复技术策略

方法^[30]。依靠亚高山地区植物资源优势,以生态保护为基础进行生态旅游景观重塑,是亚高山地区生态环境可持续发展的指导思想之一。区域内生态修复物种的选择需要考虑生态适应性、物种多样性和地域性原则。本研究在目标植物的筛选上,根据当地环境条件,选择区域内自然分布范围较广同时兼顾景观价值的适生性物种,在满足植物健康生长的基础上,平衡生态修复和景观塑造功能,践行“在保护中利用”的可持续发展理论。

亚高山地区观赏植物资源丰富,本研究在植物初筛过程中仅选取了50种川西亚高山地区野生乡土木本观赏植物进行评价,在园林用途上略显单一。因此在后续的研究中,可对乔木、灌木及多年生草本植物进行分类筛选和评价,建立丰富多样的植物素材库,通过合理的配置使植物在生态恢复和生态旅游景观重塑上,发挥出更好的生态与景观效用。

4.4 乡土木本植物在高海拔地区的园林绿化应用

西南亚高山区是我国的重要生态屏障,前期对区域植被的研究多集中于典型脆弱区生态恢复与多样性保护技术方面,导致该地区的植物主要以岷江云杉、冷杉等植被恢复物种为主,虽然区域内野生植物资源丰富,但实际上引种到园林植物中的种类较少,而区域内具有地方特色的植物也未得到充分的开发利用,以上均是滞后高海拔地区城市园林绿化发展的主要原因。

本研究针对川西高原地区野生乡土木本植物资源进行评

价,旨在为今后高海拔地区园林建设植物的选取提供有更为全面、客观的参考依据,在前期初选的50种目标植物中,经综合评价和分析,I级和II级植物占总数的56%,这些植物在观赏价值和生态适应性等方面均有较高的开发潜力,其中I级植物(共6种,占总数的12%),建议在高海拔地区园林建设中广泛引种,不仅有利于生态屏障区生态旅游景观构建与推广,同时可提升当地生态旅游发展竞争力和发展区域经济。然而,本研究所做的植物资源评价工作,虽是在查阅文献及实地调查的结果上进行的,但指导意义多于实践意义,因此,将上述成果应用于实际工作中,真正将乡土植物推广到高海拔地区园林绿化中,仍需通过大量的引种、栽培和养护等实践工作获取科学的依据^[8]。

5 结论

丰富多样的观赏植物资源是修复高海拔地区生态环境和营造景观优美生态景观的基础,本研究筛选出的50种野生乡土木本植物,以观赏性和适生性评价为主,符合高海拔地区城市园林建设选种的特点。依据层次分析法将目标植物划分为4个等级并针对各等级植物的表现特征进行综合分析,可为后期野生植物资源的开发利用提供一定的科学参考依据。以山光杜鹃为代表的6种I级植物在观赏价值、适生性和开发价值上表现较为突出,可优先作为高海拔地区园林绿化和景观植物进行开发利用。

参考文献 [References]

- 1 邵伟,蔡晓布. 西藏高原草地退化及其成因分析[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6 (1): 112-116 [Shao W, Cai XB. Grassland degradation and its formation causes analysis in Tibetan Plateau [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2008, 6 (1): 112-116]
- 2 孙鸿烈,郑度,姚檀栋,张懿铨. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J]. 地理学报, 2012, 67 (1): 3-12 [Sun HL, Zheng D, Yao TD, Zhang YL. Protection and construction of national ecological security barrier in Qinghai Tibet Plateau [J]. *Acta Geogr Sin*, 2012, 67 (1): 3-12]
- 3 吴彦,刘庆,乔康永,潘开文,赵常明,陈庆恒. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报, 2001, 25 (6): 648-655 [Wu Y, Liu Q, Qiao KY, Pan KW, Zhao CM, Chen QH. Species diversity changes in subalpine coniferous forests of different restoration stages and their effects on soil properties [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2001, 25 (6): 648-655]
- 4 庞学勇,刘世全,刘庆,吴彦,林波,何海,张宗锦. 川西亚高山针叶林植物群落演替对土壤性质的影响[J]. 水土保持学报, 2003 (4): 42-45+50 [Pang XY, Liu SQ, Liu Q, Wu Y, Lin B, He M, Zhang ZJ. Influence of plant community succession on soil physical properties during subalpine coniferous plantation rehabilitation in western Sichuan [J]. *J Soil Water Conserv*, 2003 (4): 42-45+50]
- 5 尹华军,刘庆. 川西喜马拉雅高山云杉林种子雨和土壤种子库研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29 (1): 108-115 [Yin HJ, Liu Q. Seed rain and soil seed banks of *Picea asperata* in subalpine spruce forests, western Sichuan, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2005, 29 (1): 108-115]
- 6 陈智,尹华军,卫云燕,刘庆. 夜间增温和施氮对川西亚高山针叶林土壤有效氮和微生物特性的短期影响[J]. 植物生态学报, 2010, 34 (11): 1254-1264 [Chen Z, Yin HJ, Wei YY, Liu Q. Short-term effects of night warming and nitrogen addition on soil available nitrogen and microbial properties in subalpine coniferous forest, western Sichuan, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2010, 34 (11): 1254-1264]
- 7 刘乐乐,王梅,曹效东,徐正茹. 基于AHP的兰州地区乡土乔木资源园林应用评价[J]. 林业调查规划, 2020, 45 (6): 186-192 [Liu LL, Wang M, Cao XD, Xu ZR. Evaluation on landscape application of native arbor resources in Lanzhou based on AHP [J]. *For Invest Plan*, 2020, 45 (6): 186-192]
- 8 张佳平. 云台山野生草本植物资源的园林开发利用评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37 (1): 37-43 [Zhang JP. Comprehensive evaluation of landscape exploitation and application of wild herbaceous plant resources of Yuntai Mountain [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed)*, 2013, 37 (1): 37-43]
- 9 陆耀东,薛克娜,李镇魁. 广东省高明市野生观赏植物资源调查[J]. 广东林业科技, 2003, 19 (3): 35-37 [Lu YD, Xu KN, Li ZH. Investigation on the wild ornamental plants in Gaoming City, Guangdong [J]. *For Environ Sci*, 2003, 19 (3): 35-37]
- 10 丁彦芬,张佳平. 云台山野生乔灌木资源园林开发利用综合评价[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29 (4): 558-565 [Ding YF, Zhang JP. Comprehensive evaluation of landscape exploitation and application of wild tree and shrub resources in Mount Yuntai of

- Jiangsu Province [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2012, **29** (4): 558-565]
- 11 Sarkis J, Sundarraj R P. Evaluating componentized enterprise information technologies: a multi-attribute modeling approach [J]. *Inform Syst Front*, 2003, **5** (3): 303-319
- 12 Safari M, Ataei M, Khalokakaie R, Karamozian M. Mineral processing plant location using the analytic hierarchy process——a case study: the Sangan iron ore mine (phase 1) [J]. *Mining Sci Technol*, 2010, **20** (5): 691-695
- 13 杜广明, 沈向群, 杨智明. 基于 AHP 的辉河国家级自然保护区野生植物资源观赏价值评价[J]. 北方园艺, 2011 (6): 94-99 [Du GM, Shen XQ, Yang ZM. AHP-based ornamental evaluation of wild plant resources in Huihe National-level Nature Reserve [J]. *N Hort*, 2011 (6): 94-99]
- 14 封培波, 胡永红, 张启翔, 任有华. 上海露地宿根花卉景观价值的综合评价[J]. 北京林业大学学报, 2003, **25** (6): 84-87 [Feng PB, Hu YH, Zhang QX, Ren YH. Comprehensive appraisal on landscape value for flowering and evergreen perennial [J]. *J Beijing For Univ*, 2003, **25** (6): 84-87]
- 15 荣欣, 易桂花, 张廷斌, 李景吉, 别小娟, 覃艺, 夏杰. 2000-2015年川西高原植被EVI海拔梯度变化及其对气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2019, **28** (12): 3014-3028 [Rong X, Yi GH, Zhang TB, Li JJ, Bie XJ, Qin Y, Xia J. Change of vegetation EVI with altitude gradient and its response to climate change in the western Sichuan Plateau from 2000 to 2015 [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2019, **28** (12): 3014-3028]
- 16 王云川, 易桂花, 张廷斌, 别小娟, 王继斌, 孙姣姣. 近35 a若尔盖高原泥炭沼泽变化趋势与驱动力分析[J]. 干旱区研究, 2017, **34** (2): 403-410 [Wang YC, Yi GH, Zhang TB, Bie XJ, Wang B, Sun JJ. Change trend and driving force of Peatlands in the Zoige Plateau in Recent 35 Years [J]. *Arid Zone Res*, 2017, **34** (2): 403-410]
- 17 向丽, 李世丽, 乔建勇. 川西高原野生花卉图谱[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2016 [Xiang L, Li SL, Qiao JY. Atlas of wild flowers in Western Sichuan Plateau [M]. Sichuan: Sichuan Science & Technology Press, 2016]
- 18 张瑜, 赵峰, 吴永华, 黄蓉. 兰州市园林主要适生观赏树种选择及综合指标数量化评价[J]. 西北林学院学报, 2019, **34** (4): 255-261 [Zhang Y, Zhao F, Wu YH, Huang R. Selection and comprehensive quantitative evaluation of ornamental trees in Lanzhou City [J]. *J NW For Univ*, 2019, **34** (4): 255-261]
- 19 贡建全, 唐小清, 王强, 江惠敏, 陈红锋. 广东珠海荷包岛海岸沙生植物综合评价与应用[J]. 中国园林, 2018, **4** (2): 122-127 [Yun JQ, Tang XQ, Wang Q, Jiang HM, Chen HF. The synthetic assessment and application of coastal sandy plants in the Hebao Island of Zhuhai, Guangdong Province [J]. *Chin Land Arch*, 2018, **4** (2): 122-127]
- 20 施金竹, 安明态, 黄郎, 潘端云, 侯欢欢. 基于AHP的贵州野生木本观赏植物资源开发利用评价[J]. 中国野生植物资源, 2020, **39** (11): 76-82 [Shi JJ, An MT, Huang L, Pan DY, Hou HH. Evaluation of wild woody ornamental plants resources of Guizhou based on AHP [J]. *Chin Wild Plant Resour*, 2020, **39** (11): 76-82]
- 21 刘智能, 潘刚, 张红锋, 方江平, 王维, 徐瑾, 蒋娟. 西藏高海拔地区园林植物调查与应用研究——以浪卡子县为例[J]. 天津农业科学, 2015, **21** (8): 155-159 [Liu ZN, Pan G, Zhang HF, Fang JP, Wang W, Xu J, Jiang J. Investigation and application research on landscape plants in Tibetan High Altitude Area——Nagarze County as a case [J]. *Tianjin Agr Sci*, 2015, **21** (8): 155-159]
- 22 张宗应. 高山杜鹃引种栽培技术研究[J]. 普洱学院学报, 2020, **36** (3): 8-10 [Zhang ZY. On the introduction and cultivation technology of Azalea in high mountains [J]. *J Puer Univ*, 2020, **36** (3): 8-10]
- 23 宋述芹, 张欣, 阿拉坦图雅, 李锴, 贾红伟, 陈凤臻, 于显双, 欧阳玲, 白国栋. 赤峰市敖汉旗野生杜鹃引种驯化及栽培技术研究初探[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2020, **36** (7): 5-9 [Song SQ, Zhang X, A LTTU, Li K, Jia HW, Chen FZ, Yu XS, Ou YL, Bai GD. Introduction, domestication and cultivation techniques of wild rhododendron in Aohan Banner of Chifeng City [J]. *J Chifeng Univ (Nat Sci Ed)*, 2020, **36** (7): 5-9]
- 24 吴志, 刘念, 王定跃, 刘永金. 中国野生杜鹃花属景观资源研究进展[J]. 广东农业科学, 2009 (9): 183-186 [Wu Z, Liu N, Wang DY, Liu YJ. Research progress in wild *Rhododendron* landscape resources of China [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2009 (9): 183-186]
- 25 张乐华. 庐山植物园杜鹃属植物的引种适应性研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, **28** (4): 92-96 [Zhang LH. A Study on the introduction and adaptability of *Rhododendron* in Lushan Botanical Garden [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed)*, 2004, **28** (4): 92-96]
- 26 黄清平. 利用层次分析法评价三明市野生观赏植物的引种驯化效果[J]. 中国园林, 2009, **25** (12): 93-96 [Huang QP. Evaluation on the introduction and domestication of wild ornamental plants by Analytic Hierarchy Process (AHP) in Sanming City [J]. *Chin Land Arch*, 2009, **25** (12): 93-96]
- 27 胡秀, 吴志, 刘念, 熊友华. 基于切花育种的中国姜花属野生植物观赏价值评价[J]. 北方园艺, 2010 (9): 90-93 [Hu X, Wu Z, Liu N, Xiong YH. Ornamental evaluation of wild *Hedychiums* in China based on cut-flower breeding [J]. *N Hort*, 2010 (9): 90-93]
- 28 唐岱, 杜鹃, 孙晓佳. 昆明主城区2016年冬季园林植物冻害情况调查分析与建议[J]. 中国园林, 2017, **33** (4): 87-91 [Tang D, Du J, Sun XJ. Investigation and suggestions of the freezing injury on urban greening plants in Kunming [J]. *Chin Land Arch*, 2017, **33** (4): 87-91]
- 29 王伟湘, 傅卫民. 彩叶植物在深圳市花境中的应用调查[J]. 热带农业科学, 2020, **40** (1): 90-96 [Wang WX, Fu WM. A survey of the application of plants with colored foliage in the flower borders in Shenzhen [J]. *Chin J Trop Agric*, 2020, **40** (1): 90-96]
- 30 张浩鹏. 基于河流型湿地生态修复的湿地公园设计研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020 [Zhang HP. Research on wetland park design based on river wetland ecological restoration [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020]