

# 重庆市阔柄杜鹃种群特征及其与环境因子的关系

王梓卓<sup>1</sup>, 马立辉<sup>1,2</sup>, 王海洋<sup>1,①</sup>

(1. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; 2. 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036)

**摘要:** 采用典型样方调查法, 调查重庆东南部金佛山、赵云山和白马山中阔柄杜鹃 (*Rhododendron platypodum* Diels) 的种群特征及其环境因子, 并对二者的关系进行分析。结果表明: 阔柄杜鹃种群分布于海拔 1 709~2 152 m, 样方间生境差异较大, 在坡度陡峭、阳坡、树冠和地表透光率高、土层厚且有枯枝落叶层覆盖的生境有较多分布; 阔柄杜鹃种群成年植株和幼苗密度较低, 平均值分别为 1 373.7 和 252.6  $\text{hm}^{-2}$ , 基径和成年植株株高较小, 平均值分别为 12.0 cm 和 2.2 m, 开花株比率较高, 平均值为 75.8%, 但枝条开花率较低, 平均值为 22.1%。阔柄杜鹃种群个体数随径级增加总体呈先增加后减少的变化趋势, 径级结构完整。阔柄杜鹃的种群存活曲线符合 Deevey-I 型曲线, 种群早期的个体死亡率较低, 绝大多数个体能活到其生理寿命。阔柄杜鹃种群特征与环境因子关系复杂, 可用直线、二次三项式和三次四项式描述, 较高的树冠和地表透光率以及土层厚且有苔藓覆盖土壤能够显著促进阔柄杜鹃幼苗更新及开花。阔柄杜鹃种群分布的生境特殊, 成年植株及幼苗密度较低, 易于濒危, 在管理中应加强生境保护及合理促进幼苗更新。

**关键词:** 阔柄杜鹃; 种群静态生命表; 存活曲线; 种群结构; 环境因子

中图分类号: Q948.5; S685.21 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2022)01-0061-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.01.08

**Population characteristics of *Rhododendron platypodum* and its relationship with environmental factors in Chongqing City** WANG Zizhuo<sup>1</sup>, MA Lihui<sup>1,2</sup>, WANG Haiyang<sup>1,①</sup> (1. School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Chongqing Academy of Forestry Sciences, Chongqing 400036, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2022, 31(1): 61-68

**Abstract:** The population characteristics and environmental factors of *Rhododendron platypodum* Diels in Jinfo Mountain, Zhaoyun Mountain, and Baima Mountain of Southeast Chongqing were investigated by using typical plot survey method, and the relationships between them were analyzed. The results show that *R. platypodum* populations distribute at the elevation of 1 709-2 152 m, and the habitats among quadrats are quite different and more populations are distributed in the habitats with steep slope, sunny aspect, high canopy and surface transmittance, and thick soil covered with litter. The densities of adult plants and seedlings of *R. platypodum* populations are low, with the means of 1 373.7 and 252.6  $\text{hm}^{-2}$  respectively; the basal diameter and adult plant height are small, with the means of 12.0 cm and 2.2 m respectively; the percentage of flowering plants is high, with the mean of 75.8%, but the percentage of flowering branches is low, with the mean of 22.1%. With the increase of diameter class, the individual numbers of *R. platypodum* populations show a tendency to first increase and then decrease in general, and the structure of diameter class is complete. The survival curve of *R. platypodum* populations is in accordance with the Deevey-I type curve, the early mortality rates of the individuals in the populations are low, and most of them can live to the physiological life span of the species. The relationships between population

收稿日期: 2021-07-30

基金项目: 重庆市科技兴林攻关类项目(2018-14)

作者简介: 王梓卓(1996—),男,河南南阳人,硕士研究生,主要从事城市设计与园林生态方面的研究。

①通信作者 E-mail: whyswau@126.com

引用格式: 王梓卓, 马立辉, 王海洋. 重庆市阔柄杜鹃种群特征及其与环境因子的关系[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(1): 61-68.

characteristics and environmental factors are complicate, which can be described by linear, quadratic trinomial, and cubic tetranomial, higher canopy and surface transmittance and thick soil covered with moss can significantly promote seedling regeneration and flowering of *R. platypodum*. The habitats in which *R. platypodum* populations are distributed are special, and the densities of adult plants and seedlings are low, making it is easy to be endangered. Therefore, habitat protection should be strengthened and seedling regeneration should be promoted reasonably in the management of *R. platypodum* populations.

**Key words:** *Rhododendron platypodum* Diels; population static life table; survival curve; population structure; environmental factor

杜鹃花科(Ericaceae)许多植物为著名花卉,野生种和人工培育品种丰富,不少已在园林景观营造中广泛应用<sup>[1]</sup>。但由于生境退化、直接采挖或砍伐以及植物本身等原因<sup>[2]</sup>,杜鹃花科中已有122种野生种处于易危、濒危甚至极危状态<sup>[3]</sup>,亟需保护。关于中国杜鹃属(*Rhododendron* Linn.)植物的资源分布<sup>[4,5]</sup>、分类<sup>[6]</sup>、种群特征<sup>[7-10]</sup>及环境因子对种群的影响<sup>[11,12]</sup>等方面已有较多研究,但仍有众多种类的种群特征、种群动态及其与环境因子的关系亟需研究,尤其是受威胁种类,这些研究能为受威胁种类的保护提供重要科学依据。

阔柄杜鹃(*Rhododendron platypodum* Diels)因其分布区狭窄、种群数量过少以及生境破碎化等原因<sup>[2]</sup>,被《中国高等植物受威胁物种名录》列为易危<sup>[3]</sup>。该种类生长于密林中或岩石上,为常绿灌木或小乔木,叶革质,深绿色,宽椭圆形或近于圆形,顶生总状花序,花冠漏斗状钟形,粉红色,花量大,极具观赏价值<sup>[13]</sup>。阔柄杜鹃主要分布在四川东南部和北部、贵州北部<sup>[14]</sup>及重庆东南部,其中重庆市仅在大娄山余脉的金佛山、赵云山和白马山有分布,而且种群规模较小。尽管阔柄杜鹃具有极高的观赏价值并且种群处于濒危状态,但目前仅黄梅等<sup>[14]</sup>对贵州大沙河自然保护区阔柄杜鹃的群落结构及多样性特征进行了探讨, Ma等<sup>[15]</sup>对重庆市阔柄杜鹃叶绿体全基因组进行了研究。植物的种群特征是其对生长环境长期适应的结果,能够体现种群与环境的交互关系及其在群落中的地位和作用<sup>[16-19]</sup>,因此,研究植物种群特征及其与环境因子的关系对于理解森林生态系统内种群动态变化十分重要<sup>[19,20]</sup>。

本研究以重庆东南部集中分布的阔柄杜鹃种群为研究对象,调查了其种群特征和生境条件,分析了种群特征与环境因子的关系,以期重庆市阔柄杜鹃种群保护、引种驯化和景观利用提供理论依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于重庆市东南部的金佛山、赵云山和白马山(地理坐标为东经107°00'~107°37'、北纬28°50'~29°20',海拔1600~2200m)。该区域地质上属川东南陷褶束,是四川盆地东南缘与云贵高原的过渡地带。土壤类型为由石灰岩、砂岩和页岩发育的山地黄壤和黄棕壤,土层深厚,微酸性。该区域属亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充沛,年平均气温12.0℃,最高温31℃,最低温-5℃,年均降水量1350mm,空气相对湿度80%以上,全年光照时间约1150h。研究区植被类型主要有亚热带常绿阔叶林、常绿阔叶与落叶阔叶混交林、山地矮林和亚热带针叶林等,群落层次结构明显,乔木层优势种主要有栲(*Castanopsis fargesii* Franch.)、青冈[*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.]、灯台树(*Cornus controversa* Hemsley)、巴东栎(*Quercus engleriana* Seem.)、化香树(*Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.)、粗脉杜鹃(*Rhododendron coeloneurum* Diels)和柏木(*Cupressus funebris* Endl.)等;灌木层主要有杜茎山[*Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi. ex Zoll.]、金佛山方竹[*Chimonobambusa utilis* (Keng) Keng f.]、箭竹(*Fargesia spathacea* Franch.)和山梅花(*Philadelphus incanus* Koehne)等;草本层主要有蕨类和薹草(*Carex* spp.)等<sup>[21]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样方设置和调查 分别于2017年4月、2017年7月和2018年4月进行野外调查,在重庆市金佛山、赵云山和白马山阔柄杜鹃群落内分别设置7、10和2个典型样方,共19个样方,样方面积均为10m×10m。于各样方的中心,使用手持式GPS测量海拔;

使用地质罗盘测量坡度和坡向;使用 TES-1334A 照度计(泰仕电子工业股份有限公司)分别于各样方的四角和中心测量阔柄杜鹃成年植株[胸径(DBH)  $\geq 1$  cm]树冠上方和距地表 20 cm 处的光照强度,以其与空旷无植物遮蔽处光照强度的比值表示透光率,以各样方 5 个点透光率的平均值作为该样方透光率的最终值,分别记为树冠透光率和地表透光率;调查各样方的土壤状况,并将其分为土层厚有苔藓覆盖(S1)、土层厚有枯枝落叶层覆盖(S2)、土层厚无覆盖(S3)和土层薄或无土层(S4) 4 种土壤类型;使用钢卷尺(精度 1 mm)测量各样方中株高大于等于 10 cm 的阔柄杜鹃植株的高度,统计开花植株数量以及单株的枝数和开花枝数,并计算开花株比率和枝条开花率;使用胸径尺(精度 1 mm)测量各样方中所有阔柄杜鹃的基径和高度大于 1.3 m 的植株胸径。

**1.2.2 坡向分类及种群年龄结构划分** 以正北方为  $0^\circ$ 、正东方为  $90^\circ$ 、正南方为  $180^\circ$ 、正西方为  $270^\circ$ ,将坡向(A)划分为无坡向、阴坡( $315^\circ \leq A < 360^\circ$ 或 $0^\circ \leq A < 45^\circ$ )、半阴坡( $45^\circ \leq A < 135^\circ$ )、半阳坡( $135^\circ \leq A < 225^\circ$ )和阳坡( $225^\circ \leq A < 315^\circ$ )共 5 类<sup>[22]</sup>。

以径级代替龄级,按照阔柄杜鹃的生物学特性和生长情况,以胸径(DBH)间隔 4 cm 为 1 个径级,将阔柄杜鹃种群划分为 I (DBH < 1 cm)、II ( $1 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 5 \text{ cm}$ )、III ( $5 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 9 \text{ cm}$ )、IV ( $9 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 13 \text{ cm}$ )、V ( $13 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 17 \text{ cm}$ )、VI ( $17 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 21 \text{ cm}$ )、VII ( $21 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 25 \text{ cm}$ )、VIII ( $25 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 29 \text{ cm}$ )和 IX (DBH  $\geq 29 \text{ cm}$ ) 共 9 个等级。将 DBH < 1 cm 的植株视为幼苗, DBH  $\geq 1 \text{ cm}$  的植株视为成年植株,据此计算幼苗和成年植株的密度。

**1.2.3 种群静态生命表编制** 参照王泳腾等<sup>[23]</sup>的方法,采用方程拟合法对各径级现存个体数匀滑处理,以径级为自变量、各径级现存个体数为因变量进行方程拟合,并以拟合得到的各径级个体数编制阔柄杜鹃种群的静态生命表。

**1.2.4 种群特征与环境因子关系分析** 对于连续型环境因子(包括海拔、坡度、树冠透光率和地表透光率),采用多项式的一阶、二阶和三阶回归模型探索其与阔柄杜鹃种群特性的关系;对于分类型环境因子(包括坡向和土壤类型),采用方差分析法分析其对种群特征的影响,采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。利用 EXCEL 2007 和 IBM SPSS Statistics 24 软件整理和分析数据,利用 Origin 2018 软件制图。

## 2 结果和分析

### 2.1 重庆市阔柄杜鹃种群样方环境特征分析

结果(表 1)显示:重庆市阔柄杜鹃种群样方海拔、坡度、树冠透光率和地表透光率的平均值分别为 1 954.7 m、 $46.1^\circ$ 、67.8% 和 22.6%,变异系数(CV)分别为 7.0%、52.7%、16.7% 和 35.8%。参照 McGroddy 等<sup>[24]</sup>对变异程度的分类标准( $CV \leq 15\%$ ,弱变异; $15\% < CV \leq 35\%$ ,中度变异; $35\% < CV \leq 100\%$ ,高度变异; $CV > 100\%$ ,强变异),海拔为弱变异,树冠透光率为中度变异,坡度和地表透光率为高度变异,尤其是坡度,最小值仅  $14^\circ$ ,而最大值达  $86^\circ$ ,说明阔柄杜鹃种群分布的生境具有较高的异质性。在所调查的 19 个样方中,阳坡样方有 10 个,土层厚有枯枝落叶层覆盖(S2)土壤类型的样方有 8 个,说明阔柄杜鹃种群喜好阳坡和土层厚有枯枝落叶层覆盖的生境。

### 2.2 重庆市阔柄杜鹃种群特征分析

结果(表 2)显示:重庆市阔柄杜鹃成年植株密度的平均值为  $1\ 373.7 \text{ hm}^{-2}$ ,但不同样方间差异较大,成年植株密度最小值仅  $500 \text{ hm}^{-2}$ ,最大值达  $2\ 300 \text{ hm}^{-2}$ ,变异系数达 43.2%,达到高度变异标准;不同样方中幼苗密度的差异更大,部分样方没有幼苗,而幼苗密度最大的样方达  $1\ 300 \text{ hm}^{-2}$ ,变异系数为 160.7%,达到强变异标准,说明阔柄杜鹃种群的幼苗分布呈聚集状。阔柄杜鹃植株个体整体偏小,基径的平均值仅 12.0 cm,成年植株株高的平均值仅 2.2 m,最高也只有 2.9 m,基径和成年植株株高的变异系数也较大,分别为 60.8% 和 21.4%,分别为高度变异和中度变异。阔柄杜鹃种群开花株比率较高,平均值达 75.8%;单株枝数的平均值较大(230.3),但单株开花枝数的平均值较小(49.0),枝条开花率的平均值也相应较小(22.1%),开花株比率、单株枝数、单株开花枝数和枝条开花率在不同样方间差异较大,变异系数分别为 24.6%、83.4%、106.4% 和 39.2%,均在高度变异以上。

阔柄杜鹃种群中阔柄杜鹃株数随径级增加总体呈先增加后减少的变化趋势,径级结构完整(图 1),其中, I [胸径(DBH) < 1 cm] 至 V ( $13 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 17 \text{ cm}$ )径级的株数占全部株数的 80.8%,而 VI ( $17 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 21 \text{ cm}$ ) 至 IX (DBH  $\geq 29 \text{ cm}$ ) 径级的株数相对较少,占全部株数的 19.2%。从单个径级来看, III

表1 重庆市阔柄杜鹃种群样方环境特征

Table 1 Environmental characteristics of quadrats of *Rhododendron platypodum* Diels populations in Chongqing City

样方 <sup>1)</sup> Quadrat <sup>1)</sup>	海拔/m Elevation	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	树冠透光率/% Canopy transmittance	地表透光率/% Surface transmittance	土壤类型 <sup>2)</sup> Soil type <sup>2)</sup>
JF1	2 072	75	半阳坡 Semi-sunny slope	48.4	16.8	S3
JF2	2 079	22	无坡向 No aspect	44.6	12.0	S3
JF3	2 068	14	无坡向 No aspect	58.8	18.8	S3
JF4	2 146	85	半阳坡 Semi-sunny slope	83.8	22.2	S4
JF5	2 120	80	半阳坡 Semi-sunny slope	87.2	22.8	S4
JF6	2 152	50	半阳坡 Semi-sunny slope	68.6	34.4	S1
JF7	2 147	52	半阳坡 Semi-sunny slope	56.2	15.4	S2
ZY1	1 876	30	阳坡 Sunny slope	66.0	17.8	S2
ZY2	1 875	30	阳坡 Sunny slope	65.8	16.8	S3
ZY3	1 872	30	阳坡 Sunny slope	75.5	33.2	S2
ZY4	1 877	27	阳坡 Sunny slope	78.2	37.2	S1
ZY5	1 912	45	阳坡 Sunny slope	67.2	19.0	S2
ZY6	1 915	47	阳坡 Sunny slope	63.8	14.2	S2
ZY7	1 904	21	阳坡 Sunny slope	72.0	40.8	S1
ZY8	1 908	35	阳坡 Sunny slope	62.4	20.6	S2
ZY9	1 910	34	阳坡 Sunny slope	80.6	18.8	S2
ZY10	1 885	28	阳坡 Sunny slope	60.8	23.2	S2
BM1	1 713	85	半阴坡 Semi-shady slope	73.8	20.6	S4
BM2	1 709	86	半阴坡 Semi-shady slope	73.6	24.2	S4
$\bar{X}$	1 954.7	46.1		67.8	22.6	
<i>SD</i>	137.7	24.3		11.3	8.1	
<i>CV</i> /%	7.0	52.7		16.7	35.8	

<sup>1)</sup> JF1-JF7: 金佛山 Jinfo Mountain; ZY1-ZY10: 赵云山 Zhaoyun Mountain; BM1, BM2: 白马山 Baima Mountain.  $\bar{X}$ : 平均值 Mean; *SD*: 标准差 Standard deviation; *CV*: 变异系数 Coefficient of variation.

<sup>2)</sup> S1: 土层厚有苔藓覆盖 Thick soil covered with moss; S2: 土层厚有枯枝落叶层覆盖 Thick soil covered with litter; S3: 土层厚无覆盖 Thick soil without covering; S4: 土层薄或无土层 Thin or no soil.

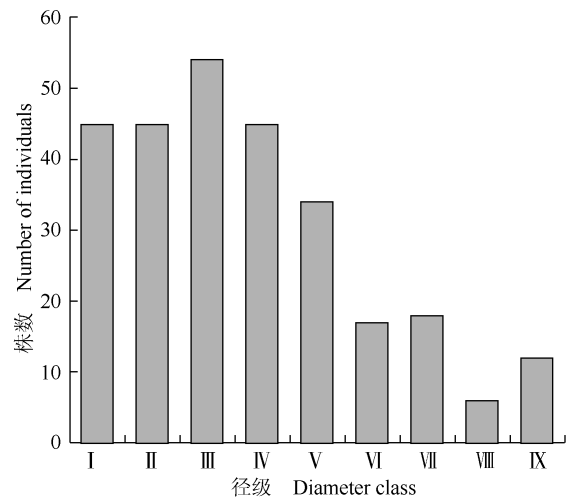
表2 重庆市阔柄杜鹃种群特征<sup>1)</sup>

Table 2 Population characteristics of *Rhododendron platypodum* Diels in Chongqing City<sup>1)</sup>

统计量 <sup>2)</sup> Statistic <sup>2)</sup>	BD/cm	D <sub>AP</sub> /hm <sup>-2</sup>	D <sub>S</sub> /hm <sup>-2</sup>	APH/m
Min.	3.3	500	0	1.5
Max.	24.1	2 300	1 300	2.9
$\bar{X}$	12.0	1 373.7	252.6	2.2
<i>SD</i>	7.3	593.3	406.0	0.5
<i>CV</i> /%	60.8	43.2	160.7	21.4
统计量 <sup>2)</sup> Statistic <sup>2)</sup>	N <sub>B</sub>	P <sub>FP</sub> /%	N <sub>FB</sub>	P <sub>FB</sub> /%
Min.	34	30.1	6	10.0
Max.	688	100.0	234	41.5
$\bar{X}$	230.3	75.8	49.0	22.1
<i>SD</i>	192.1	18.6	52.1	8.6
<i>CV</i> /%	83.4	24.6	106.4	39.2

<sup>1)</sup> BD: 基径 Basal diameter; D<sub>AP</sub>: 成年植株密度 Adult plant density; D<sub>S</sub>: 幼苗密度 Seedling density; APH: 成年植株株高 Adult plant height; N<sub>B</sub>: 单株枝数 Number of branches per plant; P<sub>FP</sub>: 开花株比率 Percentage of flowering plants; N<sub>FB</sub>: 单株开花枝数 Number of flowering branches per plant; P<sub>FB</sub>: 枝条开花率 Percentage of flowering branches.

<sup>2)</sup> Min.: 最小值 Minimum; Max.: 最大值 Maximum;  $\bar{X}$ : 平均值 Mean; *SD*: 标准差 Standard deviation; *CV*: 变异系数 Coefficient of variation.



I: DBH<1 cm; II: 1 cm≤DBH<5 cm; III: 5 cm≤DBH<9 cm; IV: 9 cm≤DBH<13 cm; V: 13 cm≤DBH<17 cm; VI: 17 cm≤DBH<21 cm; VII: 21 cm≤DBH<25 cm; VIII: 25 cm≤DBH<29 cm; IX: DBH≥29 cm. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

图1 重庆市阔柄杜鹃种群径级结构

Fig. 1 Diameter class structure of *Rhododendron platypodum* Diels populations in Chongqing City

(5cm≤DBH<9 cm) 径级的株数最多, VIII (25 cm ≤ DBH<29 cm) 径级的株数最少, 分别占全部株数的 19.6% 和 2.2%。

阔柄杜鹃种群静态生命表(表 3)显示: 标准化存活个体数随径级的增加持续减小, 死亡率持续增加, 而生命期望则不断下降。阔柄杜鹃死亡率和消失率在 I 和 II (1 cm ≤ DBH<5 cm) 径级均较小, 不足 0.1, 而其生命期望均较高, 大于 4, 说明在这 2 个阶段的生存能力较强, 生长状况较好; 从 VII (21 cm ≤ DBH<25 cm) 到 VIII 径级, 死亡率和消失率均急剧升高, 而在 VIII 径级其生命期望也下降到 1 以下, 说明 VIII 径级时阔

柄杜鹃种群已达到生理寿命而加速消亡。

以径级为横坐标、标准化存活个体数为纵坐标绘制阔柄杜鹃种群存活曲线(图 2), 阔柄杜鹃种群符合 Deevey-I 型曲线。

2.3 重庆市阔柄杜鹃种群特征与环境因子的关系

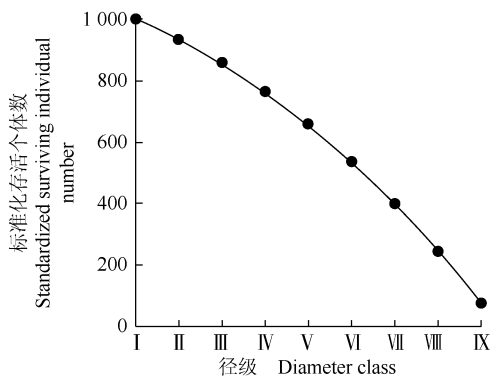
结果(表 4)显示: 不同阔柄杜鹃种群特征指标受环境因子的影响不同, 基径主要受海拔、树冠透光率和坡度的影响, 其与海拔和树冠透光率均存在显著的二次三项式关系, 与坡度存在显著的三次四项式关系; 成年植株密度与海拔和树冠透光率均存在显著的线性关系, 与坡度和地表透光率分别存在显著的三次

表 3 重庆市阔柄杜鹃种群静态生命表<sup>1)</sup>

Table 3 Static life table of *Rhododendron platypodum* Diels populations in Chongqing City<sup>1)</sup>

$x$	$A_x$	$a_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$K_x$
I (DBH<1 cm)	45	50	1 000	62	0.062	969	5 021	5.021	0.064
II (1 cm ≤ DBH<5 cm)	45	47	938	77	0.082	900	4 052	4.319	0.086
III (5 cm ≤ DBH<9 cm)	54	43	861	93	0.108	815	3 153	3.662	0.114
IV (9 cm ≤ DBH<13 cm)	45	39	768	108	0.140	714	2 338	3.043	0.151
V (13 cm ≤ DBH<17 cm)	34	33	660	123	0.187	599	1 624	2.458	0.207
VI (17 cm ≤ DBH<21 cm)	17	27	537	139	0.258	468	1 025	1.908	0.298
VII (21 cm ≤ DBH<25 cm)	18	20	399	154	0.386	322	557	1.397	0.488
VIII (25 cm ≤ DBH<29 cm)	6	12	245	169	0.692	160	235	0.962	1.177
IX (DBH ≥ 29 cm)	12	4	75						

<sup>1)</sup>  $x$ : 径级 Diameter class;  $A_x$ :  $x$  径级现存个体数 Individual number in diameter class  $x$ ;  $a_x$ : 匀滑后  $x$  径级个体数 Individual number in diameter class  $x$  after smoothing;  $l_x$ :  $x$  径级标准化存活个体数 Standardized survival individual number in diameter class  $x$ ;  $d_x$ :  $x$  径级标准化死亡个体数 Standardized dead individual number in diameter class  $x$ ;  $q_x$ :  $x$  径级死亡率 Mortality rate in diameter class  $x$ ;  $L_x$ :  $x$  至  $x+1$  径级间隔期间存活个体数 Survival individual number in the interval from diameter class  $x$  to  $x+1$ ;  $T_x$ :  $x$  及以上径级的总个体数 Total number of individuals in diameter class  $x$  and higher diameter classes;  $e_x$ :  $x$  径级生命期望 Life expectancy in diameter class  $x$ ;  $K_x$ :  $x$  径级消失率 Killing rate in diameter class  $x$ . DBH: 胸径 Diameter at breast height.



I: DBH<1 cm; II: 1 cm ≤ DBH<5 cm; III: 5 cm ≤ DBH<9 cm; IV: 9 cm ≤ DBH<13 cm; V: 13 cm ≤ DBH<17 cm; VI: 17 cm ≤ DBH<21 cm; VII: 21 cm ≤ DBH<25 cm; VIII: 25 cm ≤ DBH<29 cm; IX: DBH ≥ 29 cm. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

图 2 重庆市阔柄杜鹃种群存活曲线  
Fig. 2 Survival curve of *Rhododendron platypodum* Diels populations in Chongqing City

四项式和二次三项式关系; 幼苗密度、单株开花枝数和枝条开花率与地表透光率以及成年植株株高和单株枝数与海拔均存在显著的二次三项式关系; 开花株比率与坡度和地表透光率存在显著的线性关系, 与树冠透光率存在显著的三次四项式关系。说明阔柄杜鹃种群特征与环境因子的关系复杂。

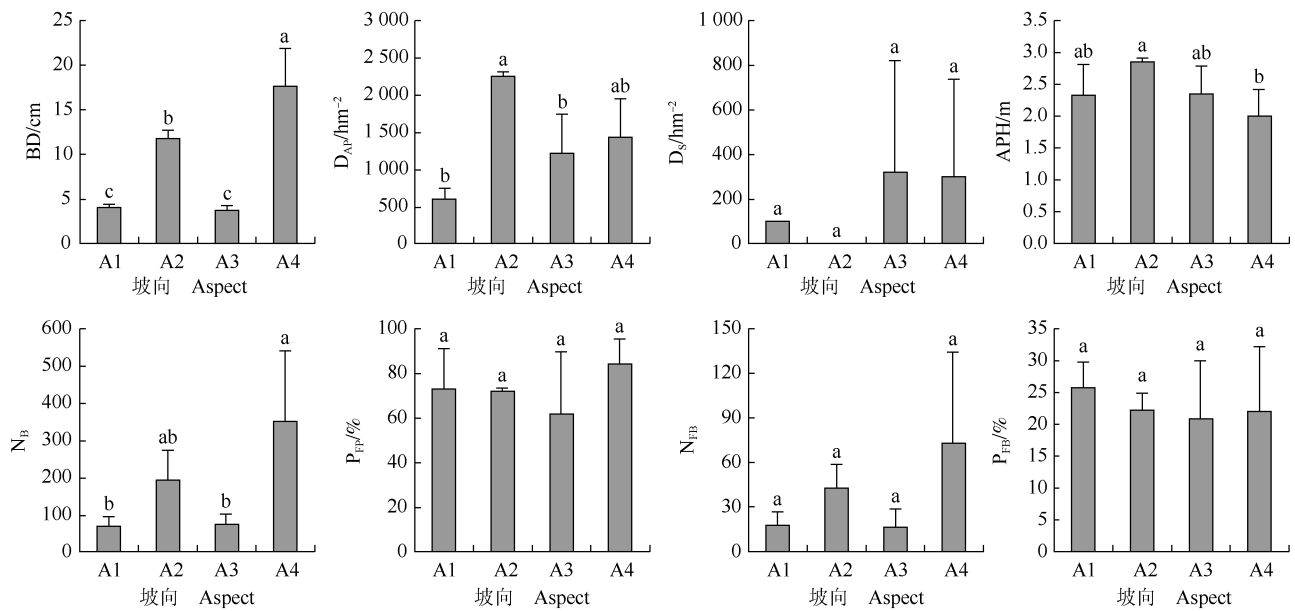
坡向对阔柄杜鹃种群特征的影响存在差异(图 3)。阔柄杜鹃的基径和单株枝数均以阳坡最高, 且前者显著高于其他坡向, 而后者与半阳坡和无坡向间差异显著, 但与半阴坡间差异不显著; 成年植株密度和株高均以半阴坡最大, 前者与半阳坡和无坡向间差异显著, 与阳坡间差异不显著, 而后者与阳坡间差异显著, 与半阳坡和无坡向间差异不显著; 幼苗密度、开花株比率、单株开花枝数和枝条开花率在不同坡向间层厚无覆盖(S3)土壤类型; 幼苗密度、单株枝数、开

表4 重庆市阔柄杜鹃种群特征与环境因子的多项式回归分析 (n=19)

Table 4 Polynomial regression analysis on population characteristics and environmental factors of *Rhododendron platypodum* Diels in Chongqing City (n=19)

种群特征 Population characteristics (y)	环境因子 Environmental factor (x)	方程 Equation	R <sup>2</sup> 1)
基径 Basal diameter	海拔 Elevation	$y = -680.921 4 + 0.747 2x - 0.000 2x^2$	0.705 9***
	坡度 Slope	$y = -29.595 1 + 3.324 0x - 0.073 4x^2 + 0.000 5x^3$	0.400 1*
	树冠透光率 Canopy transmittance	$y = -116.742 8 + 3.854 6x - 0.028 1x^2$	0.377 2*
成年植株密度 Adult plant density	海拔 Elevation	$y = 5 645.074 3 - 2.185 2x$	0.257 0*
	坡度 Slope	$y = -2 502.208 8 + 267.315 1x - 5.732 3x^2 + 0.037 9x^3$	0.522 6**
	树冠透光率 Canopy transmittance	$y = -471.395 3 + 27.196 7x$	0.268 8*
	地表透光率 Surface transmittance	$y = -1 959.038 8 + 288.898 5x - 5.589 3x^2$	0.355 4*
幼苗密度 Seedling density	地表透光率 Surface transmittance	$y = 1 123.760 7 - 110.339 7x + 2.838 6x^2$	0.814 8***
成年植株株高 Adult plant height	海拔 Elevation	$y = 57.991 8 - 0.057 6x + 0.000 01x^2$	0.369 4*
单株枝数 Number of branches per plant	海拔 Elevation	$y = -16 435.510 4 + 17.729 4x - 0.004 7x^2$	0.403 2*
开花株比率 Percentage of flowering plants	坡度 Slope	$y = 96.961 8 - 0.458 5x$	0.358 1**
	树冠透光率 Canopy transmittance	$y = 1 014.149 5 - 50.528 6x + 0.873 9x^2 - 0.004 9x^3$	0.728 9***
	地表透光率 Surface transmittance	$y = 49.098 3 + 4.183 5x$	0.259 9*
单株开花枝数 Number of flowering branches per plant	地表透光率 Surface transmittance	$y = 193.968 2 - 15.368 5x + 0.353 9x^2$	0.450 1**
枝条开花率 Percentage of flowering branches	地表透光率 Surface transmittance	$y = 41.876 1 - 2.352 8x + 0.058 3x^2$	0.645 4***

1) \*, \*\*, \*\*\*: 分别表示在 0.05、0.01 和 0.001 水平显著 Indicating the significance at the levels of 0.05, 0.01, and 0.001 respectively.



同一指标中不同小写字母表示不同坡向间差异显著 (P<0.05) Different lowercases of the same indexes indicate the significant (P<0.05) difference among different aspects.

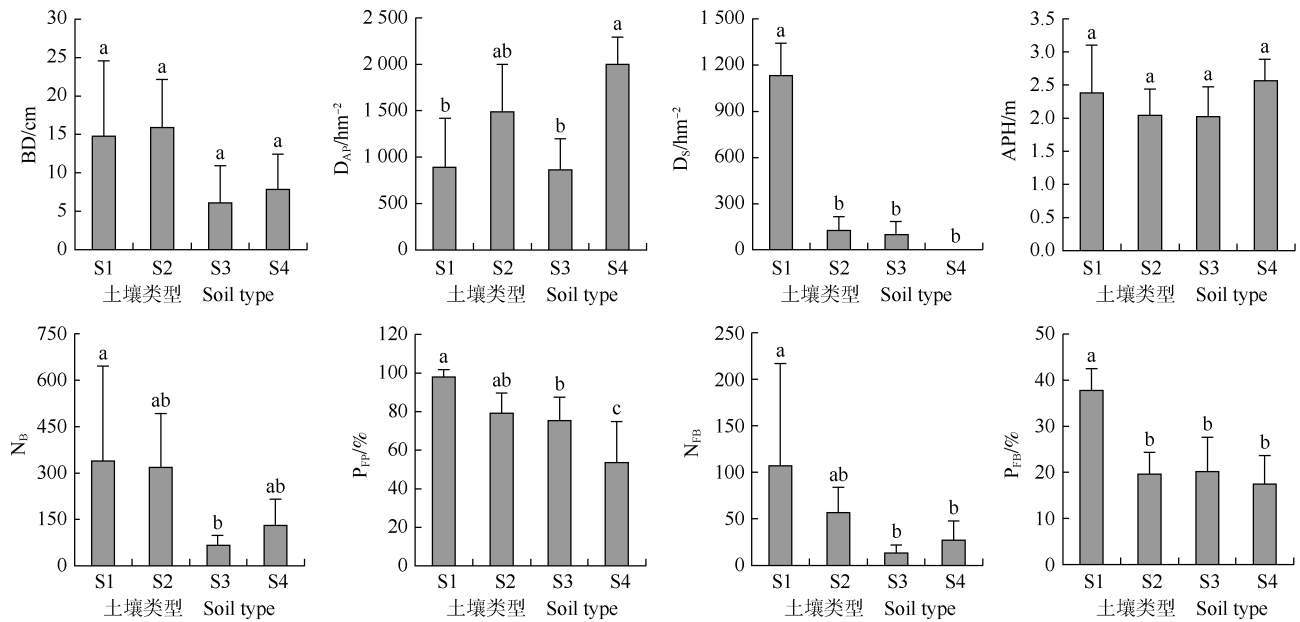
BD: 基径 Basal diameter; D<sub>AP</sub>: 成年植株密度 Adult plant density; D<sub>S</sub>: 幼苗密度 Seedling density; APH: 成年植株株高 Adult plant height; N<sub>B</sub>: 单株枝数 Number of branches per plant; P<sub>FP</sub>: 开花株比率 Percentage of flowering plants; N<sub>FB</sub>: 单株开花枝数 Number of flowering branches per plant; P<sub>FB</sub>: 枝条开花率 Percentage of flowering branches. A1: 无坡向 No aspect; A2: 半阴坡 Semi-shady slope; A3: 半阳坡 Semi-sunny slope; A4: 阳坡 Sunny slope.

图3 坡向对重庆市阔柄杜鹃种群特征的影响  
Fig. 3 Effect of aspect on population characteristics of *Rhododendron platypodum* Diels in Chongqing City

的差异均不显著。

土壤类型对阔柄杜鹃种群特征也存在一定影响

(图4)。土层薄或无土层(S4)土壤类型阔柄杜鹃的成年植株密度显著高于土层厚有苔藓覆盖(S1)和土



同一指标中不同小写字母表示不同土壤类型间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases of the same indexes indicate the significant ( $P < 0.05$ ) difference among different soil types.

BD: 基径 Basal diameter; D<sub>AP</sub>: 成年植株密度 Adult plant density; D<sub>S</sub>: 幼苗密度 Seedling density; APH: 成年植株株高 Adult plant height; N<sub>B</sub>: 单株枝数 Number of branches per plant; P<sub>FP</sub>: 开花株比率 Percentage of flowering plants; N<sub>FB</sub>: 单株开花枝数 Number of flowering branches per plant; P<sub>FB</sub>: 枝条开花率 Percentage of flowering branches. S1: 土层厚有苔藓覆盖 Thick soil covered with moss; S2: 土层厚有枯枝落叶层覆盖 Thick soil covered with litter; S3: 土层厚无覆盖 Thick soil without covering; S4: 土层薄或无土层 Thin or no soil.

图 4 重庆市土壤类型对阔柄杜鹃种群特征的影响  
Fig. 4 Effect of soil type on population characteristics of *Rhododendron platypodum* Diels in Chongqing City

花株比率、单株开花枝数和枝条开花率均以 S1 土壤类型最高,其中,幼苗密度和枝条开花率与其他土壤类型间的差异均达显著水平,单株枝数与 S3 土壤类型以及开花株比率和单株开花枝数与 S3 和 S4 土壤类型的差异达显著水平;阔柄杜鹃的基径和成年植株株高在不同土壤类型间差异不显著。

### 3 讨论和结论

调查结果显示:重庆市 19 个阔柄杜鹃样方中,坡度大于等于 30°的样方占 73.7%,且 47.4%的样方坡度大于等于 45°,阳坡和半阳坡样方共占 78.9%,说明阔柄杜鹃种群分布的生境条件十分恶劣,主要是较陡峭、干旱的悬崖和山脊。推测造成这种情况的原因是,在相对优越的生境中,阔柄杜鹃与其他物种相比竞争力不足,而在其他物种较难分布的恶劣生境上,阔柄杜鹃能占据较多的生态位<sup>[14]</sup>。本研究中,土层厚有枯枝落叶层覆盖土壤类型分布的阔柄杜鹃最多,说明在较陡峭、干旱的悬崖和山脊上,较厚的土壤可

以为阔柄杜鹃的生长提供更多的基质,且土层厚有枯枝落叶层覆盖的土壤含有更多的水分。阔柄杜鹃种群分布生境的特殊性决定了其分布范围的狭窄,其生境条件一旦遭到破坏,种群极易濒危甚至灭绝,因此,在管理中保护其生境不受破坏是对该种群保护的重要措施。

本研究中,阔柄杜鹃成年植株株高的平均值仅 2.2 m,最高也只有 2.9 m,且变异系数较大(21.4%),远低于《中国植物志》中“株高 2~8 m”的记录<sup>[13]</sup>。阔柄杜鹃多生长于研究区山顶陡峭山崖和山脊处,且种群上层很少有其他植物遮盖,近山顶长期较强的风可能是导致该种群植株普遍较低的重要原因<sup>[25]</sup>。此外,不同样方的阔柄杜鹃种群可能处于不同发育阶段,有些可能还处于发育的较早期阶段,有些可能已处于衰退期<sup>[14]</sup>。

阔柄杜鹃种群成年植株 ( $DBH \geq 1$  cm) 密度较低,平均值为  $1\,373.7\text{ hm}^{-2}$ ,密度最大的样方也仅  $2\,300\text{ hm}^{-2}$ ,密度最小的样方更是只有  $500\text{ hm}^{-2}$ ;幼苗 ( $DBH < 1$  cm) 密度也非常低,平均值仅  $252.6\text{ hm}^{-2}$ ,且

7个样方(占比36.8%)中没有幼苗;从长势来看,阔柄杜鹃植株个体整体偏小,株高、基径均较小;这些结果说明阔柄杜鹃种群十分脆弱。阔柄杜鹃种群整体的径级结构较为合理,其各径级大小序列完整。静态生命表和存活曲线显示:阔柄杜鹃在生长发育前期的死亡率较低,绝大多数植株都有较高的生命期望,表明阔柄杜鹃种群整体上能够持续存活,但不少样方中更新苗缺失,种群局部更新很差,成年植株密度整体较低,种群脆弱性不容忽视。

环境因子对阔柄杜鹃种群特征有明显影响,但关系较为复杂,比如基径主要受海拔、坡度、坡向和树冠透光率的影响,而影响成年植株密度的环境因子更多,海拔、坡度、树冠透光率、地表透光率、坡向和土壤类型均对其有显著影响;幼苗密度主要与地表透光率和土壤类型有关。因此,在管理中可以通过适当调控树冠和地表透光率的方式来调控阔柄杜鹃的密度,尤其是幼苗密度,较高的地表透光率以及土层厚且有苔藓覆盖的土壤能够显著促进幼苗的更新。此外,阔柄杜鹃种群的开花特征(开花株比率、单株开花枝数和枝条开花率)与树冠透光率、地表透光率及土壤类型关系密切,当树冠透光率达到70%左右,高地表透光率以及土层厚且有苔藓覆盖的土壤利于植株开花,提高其观赏性。

#### 参考文献:

- [1] 朱春艳,李志炎,鲍淳松,等.我国杜鹃花资源的保护与开发利用[J].中国野生植物资源,2007,26(2):28-30.
- [2] 覃海宁,赵莉娜,于胜祥,等.中国被子植物濒危等级的评估[J].生物多样性,2017,25(7):745-757.
- [3] 覃海宁,杨永,董仕勇,等.中国高等植物受威胁物种名录[J].生物多样性,2017,25(7):696-744.
- [4] 刘德团,常宇航,马永鹏.本底资源不清严重制约我国杜鹃花属植物的生物多样性保护[J].植物科学学报,2020,38(4):517-524.
- [5] 程洁婕,李美君,袁桃花,等.中国野生杜鹃花属植物名录与地理分布数据集[J].生物多样性,2021,29(9):1175-1180.
- [6] 李云飞,李世明,金鑫,等.基于RAD高通量测序探讨中国85种杜鹃花属植物的分类[J].林业科学研究,2019,32(3):1-8.
- [7] 杨阳,马立辉,王海洋.濒危植物树枫杜鹃(*Rhododendron changii*)种群结构及伴生群落特征[J].生态学杂志,2019,38(5):1352-1362.
- [8] 杨慧琴,刘圆媛,刘芳黎,等.西南特有濒危植物大王杜鹃种群结构及动态特征[J].西北植物学报,2020,40(12):2148-2156.
- [9] 杨冰,袁丛军,戴晓勇,等.贵州省特有植物百里杜鹃野生种群及所在群落特征[J].植物资源与环境学报,2020,29(4):61-68.
- [10] 穆振北,陈妍,王李睿,等.福建天宝岩国家级自然保护区猴头杜鹃天然种群数量动态和稳定性分析[J].植物资源与环境学报,2021,30(1):44-51,68.
- [11] 贾真真,李苇洁,田奥,等.贵州百里杜鹃风景区旅游干扰对杜鹃群落特征的影响[J].生态学报,2021,41(11):4641-4649.
- [12] 何家莉,周天阳,宋怡珂,等.青藏高原东南缘不同坡向对陇蜀杜鹃花性状的影响[J].应用与环境生物学报,2021,27(4):860-868.
- [13] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志:第五十七卷第二分册[M].北京:科学出版社,1994:34-35.
- [14] 黄梅,戴晓勇,杨成华,等.阔柄杜鹃典型植物群落的结构及其多样性特征分析[J].西部林业科学,2020,49(2):113-120,136.
- [15] MA L H, ZHU H X, WANG C Y, et al. The complete chloroplast genome of *Rhododendron platypodum* (Ericaceae): an endemic and endangered species from China[J]. Mitochondrial DNA Part B, 2021, 6(1): 196-197.
- [16] 李立,陈建华,任海保,等.古田山常绿阔叶林优势树种甜槠和木荷的空间格局分析[J].植物生态学报,2010,34(3):241-252.
- [17] 蔺雨阳,王得祥,雷瑞德,等.秦岭西段天然油松种群的数量特征研究[J].水土保持研究,2009,16(4):180-185.
- [18] 卢杰,郭其强,郑维列,等.藏东南高山松种群结构及动态特征[J].林业科学,2013,49(8):154-160.
- [19] 邱振鲁,李雪莹,唐丽丽,等.八仙山国家级自然保护区山樱花种群结构特征[J].生态学杂志,2021,40(3):721-730.
- [20] 魏识广,李林,许睿,等.井冈山植物群落优势种空间分布格局与种间关联[J].热带亚热带植物学报,2015,23(1):74-80.
- [21] 方任吉,刘玉成,钟章成,等.南川金佛山植被调查报告[J].西南师范学院学报(自然科学版),1982(2):82-100.
- [22] 党晶晶,赵成章,李钰,等.祁连山高寒草地甘肃臭草叶性状与坡向间的关系[J].植物生态学报,2015,39(1):23-31.
- [23] 王泳腾,黄治昊,王俊,等.燕山山脉黄檗种群结构与动态特征[J].生态学报,2021,41(7):2826-2834.
- [24] MCGRODDY M E, DAUFRESNE T, HEDIN L O. Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: implications of terrestrial redfield-type ratios[J]. Ecology, 2004, 85(9):2390-2401.
- [25] 张琳琳,赵晓英,原慧.风对植物的作用及植物适应对策研究进展[J].地球科学进展,2013,28(12):1349-1353.

(责任编辑:张明霞)