

贵州特有药用植物毕节小檗的形态变异

杨再超, 左经会*, 向红, 林长松, 孙爱群, 王绪英

(贵州西部民族药用植物资源研究与利用市级重点实验室, 六盘水市生物研究所, 六盘水师范学院生命科学系, 贵州 六盘水 553004)

摘要: 为探讨贵州特有药用植物毕节小檗(*Berberis guizhouensis*)形态多样性的变异式样及其适应机制, 对其野外居群营养器官和花部形态进行研究。对毕节小檗一直空缺的花部性状进行了描述。结果表明, 毕节小檗的性状在同一居群或同一性状在不同居群中都存在较丰富的变异, 变异系数为0.03~0.57。从总体来看, 营养器官性状的变异程度要高于花部性状。单因素方差分析表明居群间部分花部性状存在显著差异($P < 0.05$)。聚类分析表明小白岩居群形成1个独立的分支, 这种分化很可能是环境压力选择的结果。主成分分析表明花部性状与营养性状在维持形态结构的稳定性具有协调一致的生态适应。

关键词: 毕节小檗; 形态; 变异; 药用植物

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.004

Morphological Variation of Endemic Medicinal Plant *Berberis guizhouensis* Ying (Berberidaceae) from Guizhou Province

YANG Zai-chao, ZUO Jing-hui*, XIANG Hong, LIN Chang-song, SUN Ai-qun, WANG Xu-ying

(Liupanshui Key Laboratory for Folk Medicinal Plant Resource and Utilization of Western Guizhou Province, Liupanshui Institute of Biology, Department of Life Science, Liupanshui Normal University, Liupanshui 553004, Guizhou, China)

Abstract: In order to understand the variation pattern and adaptive mechanism of endemic medicinal plant *Berberis guizhouensis* Ying (Berberidaceae) from Guizhou Province, its characteristics of vegetative organs and flowers in field populations were studied in Weining Xian, Guizhou Province, southwestern China. The description of the floral characters was supplemented. The results showed that there was abundant variation among different traits within a population and the same trait in different populations. Coefficient of variation (CV) ranged from 0.03 to 0.57, and the CV values of vegetative traits were higher than those of floral traits. One-Way ANOVA analysis revealed that there was significant difference in some flower characters among populations ($P < 0.05$). Cluster analysis showed that Xiaobaiyan population formed a separate clade, which could be caused by environment pressure selection. PCA analysis showed that there was coordinated ecological adaptation between floral and vegetation traits in maintaining the stability of morphological structure.

Key words: *Berberis guizhouensis*; Morphology; Variation; Medicinal plant

植物形态或表型性状在检测遗传变异上是最古老和简易的方法, 而度量遗传变异的形态学性状通常利用符合孟德尔遗传的单基因性状(质量形态性状、稀有突变等)或者多基因决定的数量性状(大

多数形态性状和生活史性状等)^[1-2]。在自然居群中植物的大多数形态性状是多基因决定的数量性状, 对这些数量性状的研究能够分析居群的遗传变异水平和遗传结构, 从而具有适应和进化上的意义。

收稿日期: 2015-03-23

接受日期: 2015-05-19

基金项目: 贵州省教育厅自然科学基金项目([2009]098); 贵州省植物学重点支持学科项目(ZDXK[2014]24); 六盘水市市级重点实验室建设项目(52020-2013-1-050-2); 六盘水市科技人才培养及创新团队建设计划项目(52020-2012-04-01-02)资助

This work was supported by the Natural Science Foundation of Education Department of Guizhou Province (Grant No. [2009]098), the Key Support Project for Botany in Guizhou (Grant No. ZDXK[2014]24), the Construction Project for Key Laboratory in Liupanshui City (Grant No. 52020-2013-1-050-2), and the Plan Project for Science and Technology Talents Training and Innovation Team Construction in Liupanshui City (Grant No. 52020-2012-04-01-02).

作者简介: 杨再超(1983~), 男, 硕士, 主要从事植物资源与环境生态学研究。E-mail: anzcyang@sina.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: lpszuojinghui@163.com

因此,研究自然生态条件下形态性状的变异有助于我们深入认识植物适应和进化的方式、机制及其影响因素^[2]。Primack的研究表明导致车前属(*Plantago*)一些物种稀有的主要原因是历史或生态因素,而不是遗传因素^[3]。也就是说,环境中生物和非生物因子共同作用导致同一物种的不同个体或居群间产生各种形式和程度的形态变异。

小檗属(*Berberis* L.)是小檗科(Berberidaceae)中一类重要的药用植物资源,近年来对其药用成分提取及应用已成为研究热点^[4-6],但其分类学上又是复杂的类群之一^[7]。这是因为绝大多数小檗属种类都是根据模式标本,或仅仅几份标本的观察而建立的,其物种特征的变异式样难以得到全面的反映^[7]。因此,探讨形态性状在居群或物种水平上的变异性,以及这种变异是否反映环境因子导致其在空间分布上的差异等,对理解小檗属植物在经典形态分类和植物保护上具有重要的意义。

毕节小檗(*Berberis guizhouensis* Ying)为贵州特有药用植物^[8],其根、根皮入药,具有清热燥湿、泻火解毒功效;主治肠炎,痢疾等。应俊生依据果

标本发表该种,因此原始描述中缺乏花部特征^[9],在后来出版的《中国植物志》、《*Flora of China*》和《贵州植物志》中均无花部特征的描述^[10-12]。我们经过多年广泛而深入的野外调查,发现该种除了毕节外,贵州省西部的盘县、水城、钟山等地亦有分布^[13]。本研究主要对自然居群毕节小檗的营养器官和花部的性状进行统计分析,补充花部的形态描述,探讨毕节小檗形态性状在居群间的变异及其适应意义,为深入研究毕节小檗提供基础数据。

1 研究地概况

研究区域位于贵州省西北部的威宁自治县,80%以上地区的海拔超过2000 m,属于贵州乌蒙山区,具有低纬度、高海拔、高原台地的喀斯特地理特征,气候属亚热带季风气候,光能资源非常充足,年均日照时数达1800 h以上;土壤类型以黄棕壤为主。在多次野外考察的基础上,于毕节小檗盛花期的2011年4月至5月选择百草坪(BCP)、甘家院子(GJY)、艾家坪(AJP)和小白岩(XBY)作为研究地点(表1)。

表1 毕节小檗各居群概况

Table 1 Situation of *Berberis guizhouensis* populations

居群 Population	样本数 Sample size	地点 Location	海拔 (m) Altitude	生境 Habitat
百草坪 Baicaoping (BCP)	16	26°57' N, 104°28' E	2620	高山草场灌丛 Alpine meadow brushwood
甘家院子 Ganjiayuanzi (GJY)	10	26°53' N, 104°20' E	2415	路边灌丛 Roadside brushwood
艾家坪 Aijiaping (AJP)	6	26°45' N, 104°32' E	2370	路边坡地灌丛 Roadside sloping brushwood
小白岩 Xiaobaiyan (XBY)	8	26°41' N, 104°40' E	2420	路边坡地灌丛 Roadside sloping brushwood

2 方法

分别对毕节小檗(*Berberis guizhouensis*)的株高、叶片、花部等共20个形态指标进行观测,用钢卷尺测植株高度,用游标卡尺测量叶片(长度、宽度)、茎刺(长度)、花柄(长度)、萼片(长度、宽度)、花瓣(长度、宽度)、雄蕊(长度)、子房(长度、宽度),采集标本并拍照;9月份采集一定数量的果实进行测量、解剖观察,并描述形态特征。对测量数据用变异系数(CV)(标准差/平均数)作为居群形态性状变异度的测度,用单因素方差分析法(One-Way ANOVA)中的Turkey's test检验居群间的分化程度,用聚类分析检验不同居群的分化大小,用主成分分析法反映性状的综合指标。所有统计分析在Statistica 8.0中完

成,制图用Adobe Illustrator CS4。

3 结果和分析

3.1 形态特征

毕节小檗为常绿灌木,高0.4~3.2 m。老枝圆柱形,灰黑至棕褐色,嫩枝具浅棱槽,淡灰色至浅棕色,无疣点,无毛;具三分叉刺,长0.3~4.3 cm,浅棕色。叶革质,披针形、狭椭圆、椭圆形或矩圆形,长1~11 cm,宽0.4~2.6 cm,先端急尖或近渐尖,基部楔形,上面暗绿色,中脉凹陷,侧脉和网脉明显,背面绿色,不被白粉,中脉和侧脉明显隆起,网脉明显;叶缘明显向背面反卷,呈深波状,每边具5~20刺齿,叶柄长0.5~4.7 mm。花6~50朵簇生;花黄色;

萼片3轮，外萼片3片，三角状卵形，长1.3~2.6 mm，宽1.1~2.7 mm，中萼片3~4片，卵圆形，长1.8~4.5 mm，宽1.8~4.0 mm，内萼片3~4片，长圆形，长3.9~7.7 mm，宽3.3~6.5 mm；花瓣倒卵形，长4.1~5.6 mm，宽2.5~4.0 mm，先端全缘或微缺裂，基部楔形，具2枚分离

腺体；雄蕊长3.0~4.8 mm，药隔不延伸，先端平截；胚珠2~3枚，具柄。浆果椭圆形，长6~10 mm，宽3~5.8 mm，顶端无宿存花柱，紫黑色，不被白粉，果柄长6.8~15.6 mm；种子2~3个，多为2个。花期4~5月，果熟期9~10月(图1)。

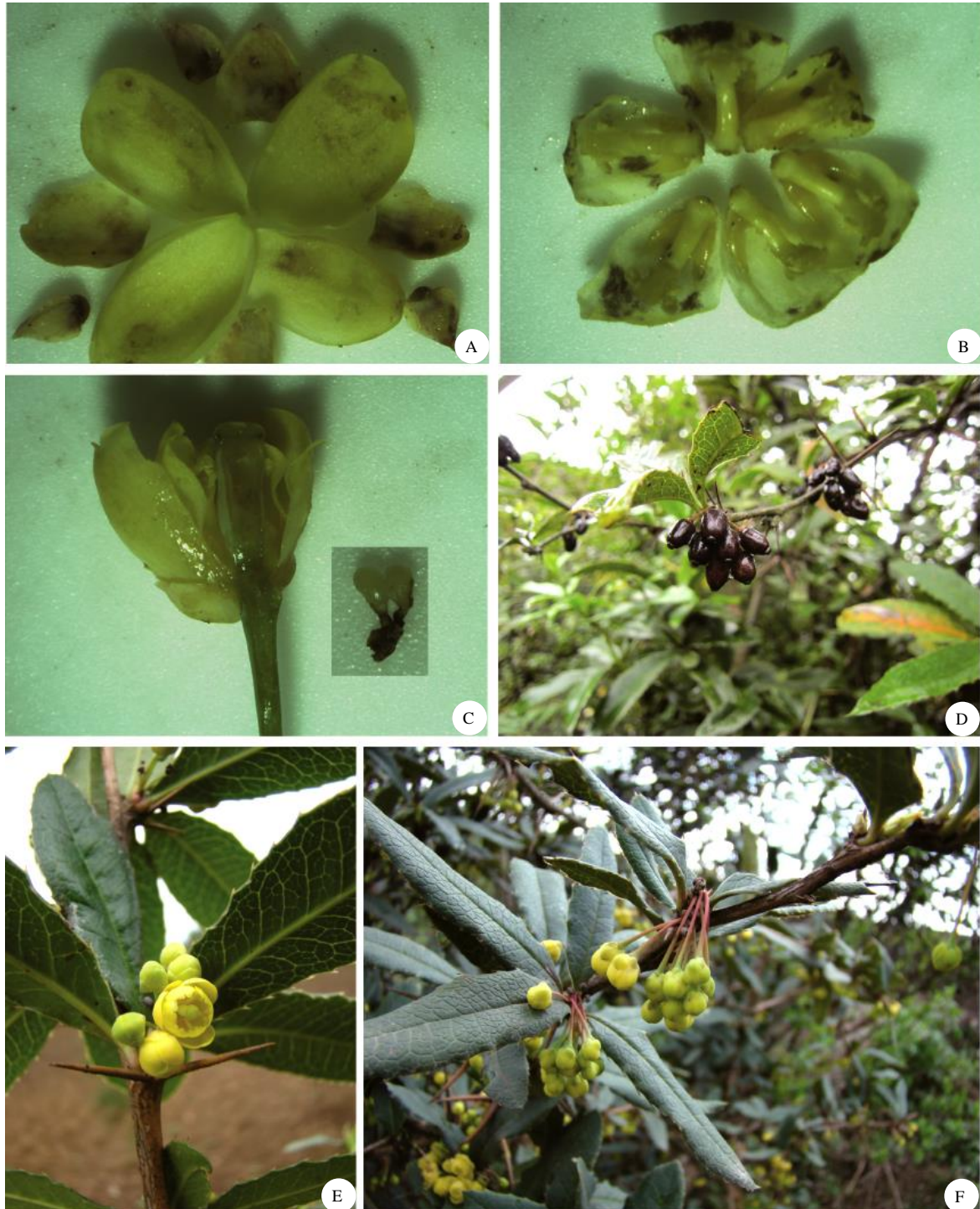


图 1 毕节小檗的形态。A: 3 轮萼片；B: 花瓣，示腺体和雄蕊；C: 花的纵剖面，示胚珠；D: 枝条，示紫黑色成熟果实；E,F: 枝条，示黄色花，叶片向背面波状反卷。

Fig. 1 Morphology of *Berberis guizhouensis* Ying. A: Three-whorl sepal; B: Petal, showing glands and stamens; C: Vertical section of flower, showing ovules; D: Branch, showing ripe purple-black berries; E,F: Branch, showing yellow flowers, undulated warp to reverse side of leaf.

3.2 形态特征的变异性

20个形态性状在4个居群中表现出一定的差异。从总体上看,营养器官性状中长径刺长和大叶长以甘家院子居群最高,而小叶长、小叶宽和大叶宽以艾家

坪居群最高,短径刺长以小白岩居群最高;花部性状中外萼长、外萼宽、中萼长、内萼长、内萼宽、花柄长和雄蕊长以甘家院子居群最高,中萼宽、花瓣长、花瓣宽、子房长和子房宽以艾家坪居群最高(表2)。

表 2 不同居群毕节小檗的形态性状

Table 2 Morphological traits of *Berberis guizhouensis* in different populations

性状 Characteristics	BCP	GJY	AJP	XBY
株高 Plant height (cm)	146.73±19.49	168.11±16.68	171.67±3.65	210.88±6.48
长径刺长 Long spine length (mm)	33.81±1.27	37.80±0.76	28.17±1.08	33.63±0.75
短径刺长 Short spine length (mm)	6.44±0.51	6.02±0.43	5.83±0.40	9.38±0.84
小叶长 Leaflet length (mm)	22.88±1.45	20.70±1.36	32.00±1.59	19.88±1.67
小叶宽 Leaflet width (mm)	8.69±0.50	7.20±0.29	8.17±0.40	6.50±0.42
大叶长 Broad leaf length (mm)	78.25±5.37	91.50±5.18	82.17±2.15	82.75±2.78
大叶宽 Broad leaf width (mm)	21.25±0.63	21.10±0.95	25.00±0.52	22.25±0.75
花数量 Flower number	15.88±2.18	20.60±2.80	12.33±0.42	33.13±3.28
外萼长 Outer sepal length (mm)	2.03±0.09	2.07±0.05	1.95±0.06	1.90±0.10
外萼宽 Outer sepal width (mm)	1.90±0.09	2.43±0.05	2.40±0.06	1.67±0.07
中萼长 Median sepal length (mm)	3.19±0.13	3.73±0.10	3.25±0.04	3.14±0.26
中萼宽 Median sepal width (mm)	3.01±0.10	3.68±0.07	3.83±0.05	3.12±0.24
内萼长 Inter sepal length (mm)	5.78±0.30	6.79±0.16	6.48±0.03	6.60±0.07
内萼宽 Inter sepal width (mm)	4.41±0.23	5.32±0.08	5.10±0.04	4.86±0.11
花瓣长 Petal length (mm)	4.84±0.11	5.02±0.10	5.17±0.03	4.89±0.12
花瓣宽 Petal width (mm)	3.32±0.12	3.47±0.15	3.77±0.09	3.19±0.13
花柄长 Anthocaulus length (mm)	11.74±0.44	14.69±0.75	12.77±0.45	10.53±1.10
雄蕊长 Stamen length (mm)	3.70±0.13	3.80±0.09	3.60±0.04	3.73±0.15
子房长 Ovary length (mm)	3.77±0.10	3.72±0.12	4.13±0.03	3.77±0.11
子房宽 Ovary width (mm)	1.43±0.03	1.46±0.05	1.63±0.02	1.64±0.08

BCP、GJY、AJP 和 XBY 见表 1。以下图表同。

BCP, GJY, AJP and XBY see Table 1. The same is following Tables and Figures.

同一性状在不同居群中的变异程度有较大的差异。株高在百草坪居群中变异最大(0.53),在艾家坪居群中最小(0.12);花数量在百草坪居群中变异最大(0.57),而在艾家坪居群中最小(0.25)。同样,同一居群中不同性状的变异程度也有很大的差异,如

百草坪居群中花数量的变异系数最高,子房宽的变异系数最低;小白岩居群中花柄长的变异系数最高,内萼长的变异系数最小(表 3)。从总体来看,营养器官性状的变异程度大于花部性状。在所有性状中,株高和花数量的变异程度是最高的(表 3)。

表 3 毕节小檗的 20 个形态性状的变异系数

Table 3 Coefficients of variation (CV) for 20 morphological traits of *Berberis guizhouensis*

性状 Characteristics	BCP	GJY	AJP	XBY
株高 Plant height	0.53	0.36	0.12	0.28
长径刺长 Long spines length	0.15	0.09	0.17	0.07
短径刺长 Short spines length	0.32	0.37	0.24	0.30
小叶长 Leaflet length	0.25	0.33	0.22	0.31
小叶宽 Leaflet width	0.24	0.13	0.16	0.24
大叶长 Broad leaf length	0.13	0.24	0.13	0.11
大叶宽 Broad leaf width	0.12	0.16	0.07	0.10
花数量 Flower number	0.57	0.42	0.25	0.33
外萼长 Outer sepal length	0.19	0.08	0.14	0.18
外萼宽 Outer sepal width	0.21	0.11	0.12	0.15

续表 (Continued)

性状 Characteristics	BCP	GJY	AJP	XBY
中萼长 Median sepal length	0.17	0.13	0.06	0.28
中萼宽 Median sepal width	0.15	0.10	0.06	0.27
内萼长 Inter sepal length	0.17	0.11	0.05	0.04
内萼宽 Inter sepal width	0.20	0.06	0.03	0.08
花瓣长 Petal length	0.09	0.09	0.07	0.09
花瓣宽 Petal width	0.14	0.20	0.11	0.13
花柄长 Anthocaulus length	0.16	0.25	0.17	0.38
雄蕊长 Stamen length	0.14	0.11	0.10	0.14
子房长 Ovary length	0.09	0.13	0.07	0.10
子房宽 Ovary width	0.07	0.13	0.10	0.18

3.3 不同居群的形态变异式样

对居群间的各个性状进行单因素方差分析表明, 百草坪与小白岩居群间的花数量存在极显著差异

($P<0.01$), 而艾家坪与小白岩居群间存在显著差异 ($P<0.05$); 甘家院子和小白岩居群间的外萼宽存在显著差异($P<0.05$)。其他性状在各居群间均无显著差异(表4)。

表4 毕节小檗的20个形态性状在居群间变异的显著性检验

Table 4 One-Way ANOVA analysis for 20 morphological traits of the *Berberis guizhouensis* between populations

性状 Characteristics	BCP×GJY	BCP×AJP	BCP×XBY	GJY×AJP	GJY×XBY	AJP×XBY
株高 Plant height	0.975	0.958	0.277	0.998	0.714	0.901
长径刺长 Long spines length	0.316	0.412	0.985	0.086	0.327	0.636
短径刺长 Short spines length	0.950	0.993	0.226	0.999	0.234	0.479
小叶长 Leaflet length	0.800	0.247	0.790	0.138	0.999	0.128
小叶宽 Leaflet width	0.673	0.995	0.106	0.780	0.807	0.348
大叶长 Broad leaf length	0.626	1.000	0.960	0.864	0.919	0.991
大叶宽 Broad leaf width	0.953	0.169	0.583	0.152	0.498	0.668
花数量 Flower number	0.225	0.949	0.006**	0.320	0.610	0.047*
外萼长 Outer sepal length	0.974	0.994	0.852	0.957	0.761	0.993
外萼宽 Outer sepal width	0.067	0.241	0.702	0.999	0.027*	0.102
中萼长 Median sepal length	0.349	0.999	0.968	0.730	0.300	0.982
中萼宽 Median sepal width	0.169	0.188	0.999	0.968	0.275	0.235
内萼长 Inter sepal length	0.354	0.893	0.596	0.961	0.970	0.999
内萼宽 Inter sepal width	0.353	0.754	0.916	0.995	0.790	0.959
花瓣长 Petal length	0.817	0.811	0.999	0.997	0.912	0.882
花瓣宽 Petal width	0.993	0.707	0.999	0.686	0.994	0.779
花柄长 Anthocaulus length	0.254	0.989	0.770	0.765	0.115	0.812
雄蕊长 Stamen length	0.998	0.976	0.999	0.964	0.999	0.969
子房长 Ovary length	0.903	0.801	0.997	0.611	0.975	0.780
子房宽 Ovary width	0.999	0.388	0.309	0.486	0.500	0.984

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

3.4 聚类分析

为了研究居群间的相似性, 采用欧氏距离法对4个居群进行了聚类分析(图2)。结果表明, 甘家院子(GJY)和艾家坪(AJP)居群首先聚为一支, 均表现出植株中等大小、花数量中等、花朵大的特点; 百草坪(BCP)居群在欧氏距离凝聚系数为27.704处与前一支聚在一起, 表现为植株较矮、花数量少、花朵小; 而小白岩(XBY)居群明显形成了一个独立分支, 与前两支相距较远, 表现为多数植株高大、花的数量多、花朵小。

3.5 主成分分析

对毕节小檗20个形态性状进行主成分分析(PCA), 结果表明, 前3个主成分的累积贡献率达85.11%, 足以代表这些性状的大部分信息, 第1、2和3主成分分别占41.25%、33.55%和10.31% (表5)。按绝对值大于0.3的因子负荷量就是显著解释因子的观点, 第1主成分主要反映的是花部器官和营养器官的综合性, 第2主成分主要反映的是花部器官的特点, 第3主成分主要反映的是营养器官的特点(表6)。

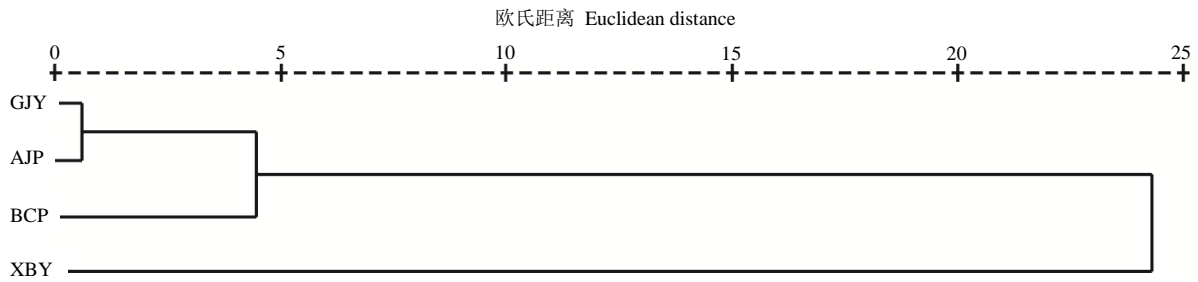


图 2 基于形态性状的毕节小檗 4 个居群的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of 4 *Berberis guizhouensis* populations based on morphological traits

表 5 毕节小檗主成分分析的特征值、贡献率及累积贡献率

Table 5 Eigenvalues, contribution rate and cumulative contribution rate of PCA of *Berberis guizhouensis*

因子权重 Value	特征值 Eigenvalue	总的变异量 (%) Total variance	累积贡献率 (%) Cumulative contribution rate
1	5.25	46.25	46.25
2	3.71	28.55	74.80
3	1.46	10.31	85.11

表 6 毕节小檗 20 个形态性状前 3 个主成分的负荷量

Table 6 Loading of the first three principal components in 20 morphological traits of *Berberis guizhouensis*

性状 Character	主成分 Principal component		
	1	2	3
株高 Plant height	-0.6196	0.3381	-0.3515
长径刺长 Long spine length	-0.2483	-0.3189	-0.4961
短径刺长 Short spine length	-0.2563	0.0190	-0.6154
小叶长 Leaflet length	-0.5071	0.1143	0.5147
小叶宽 Leaflet width	-0.1528	-0.1914	0.3108
大叶长 Broad leaf length	-0.6211	0.2167	-0.1119
大叶宽 Broad leaf width	-0.5286	0.4799	0.3433
花数量 Flower number	0.2019	0.4546	-0.5240
外萼长 Outer sepal length	-0.4856	-0.3759	-0.1584
外萼宽 Outer sepal width	-0.5169	-0.3584	0.3981
中萼长 Median sepal length	-0.4545	-0.7610	-0.1847
中萼宽 Median sepal width	-0.4751	-0.4783	0.1449
内萼长 Inter sepal length	-0.7225	0.0012	-0.3090
内萼宽 Inter sepal width	-0.8092	0.0693	-0.1242
花瓣长 Petal length	-0.7728	0.0999	-0.0187
花瓣宽 Petal width	-0.3607	0.2407	0.4747
花柄长 Pedicel length	-0.5257	-0.2559	0.1397
雄蕊长 Stamen length	-0.5066	-0.0615	-0.1946
子房长 Ovary length	-0.6006	0.3675	0.1263
子房宽 Ovary width	-0.3428	0.5970	-0.0729

4 讨论

毕节小檗发表时由于未见花,因而没有对花部的描述,在《中国植物志》、《Flora of China》以及《贵州植物志》等文献中也未记载^[10-12]。本研究经过野外调查和形态数量测定,完善了该种的形态描述,并附上植物主要结构的形态照片(图1)。在文献中记

载毕节小檗的果实内含种子3~4枚,但野外调查表明,其种子数目多数为2枚,偶有3枚。这可能是由于个体、年份不同,以及取样的数量有差异造成的^[7]。因此,在未来的小檗属分类学和生态学研究,果实内种子数目要考虑取样果实的数量、年代、具不同种子数目的果实类型所占比例,并结合生境特性进行研究。

植物形态变异在某种程度上能反映遗传变异的大小,而在某些情况下环境又起主要作用,因而往往具有适应意义^[14-15]。然而,迄今对小檗属形态性状变异的定量研究不多,仅对卷叶小檗(*Berberis replicata*)的花被片和果实的变异进行了研究^[7]。本研究表明,在营养器官性状中存在较丰富的变异式样,变异系数变化较大,特别是株高,变异系数从0.12到0.53;而花部性状的变异也十分丰富,其中花数量的变异系数较高,可达0.57。这种相对不稳定的性状可能是受到个体发育和生长环境的影响,由于在高海拔地区种群间很容易受到较小的海拔梯度变化、强烈的紫外线辐射及其他一些小气候因素的影响,因此变异范围较大^[16-17]。本研究结果与李新华等^[7]认为卷叶小檗的花被片大小变异范围大相一致。由于植物变异代表了对某种环境的响应,因此变异的发生率可能反映了种群内植物所经受的压力程度。Huether研究表明植食作用导致了沙漠秀丽属(*Linanthus*)物种的花冠裂片数量有1%~4%偏离正常裂片数^[18]。目前的研究结果表明不同居群毕节小檗的变异可作为检验外界环境变化响应的一种方式,但还需要在控制实验条件下去进一步论证。

植物花部性状相对于营养性状的变异更小,这主要是花与传粉者之间长期的自然选择结果,营养器官更容易受环境中水分、养分和光照等的影响^[19]。然而,即使对于花部性状,自然选择的压力并非对每个性状都一致。本研究中花瓣长、内萼的长和宽的变异程度较低,这两部分是小檗花部的重要性状,对吸引传粉者的有效造访、成功传粉起重要作用。而在居群间这种变异式样也主要受传粉者的影响,孙海芹等^[20]研究了独花兰(*Changnienia amoena*)花部器官形态在居群间的分化,认为分化是由传粉者不同的选择作用引起的。当然,我们在研究毕节小檗时并未注意传粉者的差异,而单因素方差分析结果也仅表明花数量在部分居群间有差异,可能是生长的环境差异引起的。植物的形态特征是长期适应进化的结果,各性状间往往存在一定的联系,某一性状的变异可能导致其他相关性状的变异^[20]。主成分分析表明第一主成分反映了花部器官和营养器官的综合性,解释了总变异量的46.25%,这说明不同器官性状间在维持毕节小檗形态结构的稳定性具有协调一致的生态适应。同样,聚类分析出现居群明显分化的结果与受环境影响的特征密切相关,李珊等^[21]的研究表明云南金钱槭

(*Dipteronia dyeriana*)的形态变异虽然具有一定的遗传基础,但可塑性和环境压力对形态变异的作用更大。因此,不同居群毕节小檗性状的地理区域分化也是其对环境选择和生态适应的结果。种群形态变异是对环境选择压力的一种反应,环境压力的变化导致生物适应性反应也不同,在地理空间上的选择压力变化导致基因频率或分化的渐变^[22-23]。因此,未来的工作我们将利用同工酶技术在微观水平上研究毕节小檗的遗传结构及其与生境选择压力空间变化的关系,从而进一步揭示毕节小檗进化机制和适应对策,也为种群动态与分子动态机制的研究提供基础资料。

参考文献

- [1] SCHAAL B A, O'KANE S L, ROGSTAD S H. DNA variation in plant populations [J]. Trends Ecol Evol, 1991, 6(10): 329-333.
- [2] QIAN Y Q, MA K P. Principle and Methodology of Biodiversity [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 1-258.
钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 1-258.
- [3] PRIMACK R B. Phenotypic variation of rare and widespread species of *Plantago* [J]. Rhodora, 1980, 82(829): 87-95.
- [4] WANG X Y, XIANG H, ZUO J H, et al. Optimization of technology conditions for ultrasonic extraction of berberine hydrochloride from *Berberis tsienii* Ying [J]. J S Agri, 2012, 43(2): 502-505.
王绪英, 向红, 左经会, 等. 超声提取永思小檗盐酸小檗碱工艺的优化 [J]. 南方农业学报, 2012, 43(2): 502-505.
- [5] LI L Y, LONG S F, WAN D R, et al. Quantitative determination of total alkaloids and berberine in five medicinal *Berberis* plants [J]. Chin J Exp Trad Med Formul, 2014, 20(17): 91-94.
李路扬, 龙妮芳, 万定荣, 等. 5种小檗属药用植物总生物碱及小檗碱的含量测定 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(17): 91-94.
- [6] LI B, ZHU W L, CHEN K X. Advances in the study of berberine and its derivatives [J]. Acta Pharmac Sin, 2008, 43(8): 773-787.
李波, 朱维良, 陈凯先. 小檗碱及其衍生物的研究进展 [J]. 药理学学报, 2008, 43(8): 773-787.
- [7] LI X H, ZHANG L C. Variation patterns of characters of flowers and fruits of *Berberis replicata* W. W. Smith (Berberidaceae) from Yunnan Province [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2014, 34(4): 720-726.
李新华, 张立存. 云南卷叶小檗(小檗科)花与果实特征的变异式样 [J]. 西北植物学报, 2014, 34(4): 720-726.
- [8] SUN J P, HE S Z. Species and distribution of the medicinal plants peculiar to Guizhou [J]. China J Chin Mat Med, 2005, 30(10): 735-738.

- 孙济平, 何顺志. 贵州特有药用植物的种类与分布 [J]. 中国中药杂志, 2005, 30(10): 735-738
- [9] YING T S. New taxa of *Berberis* Linn. (Berberidaceae) from China [J]. Acta Phytotaxon Sin, 1999, 37(4): 305-350.
应俊生. 中国小檗属新分类群 [J]. 植物分类学报, 1999, 37(4): 305-350.
- [10] YING T S, CHEN D Z. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 29 [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-310.
应俊生, 陈德昭. 中国植物志, 第 29 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-310.
- [11] YING T S. *Berberis* L. [M]// WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. Flora of China, Vol. 19. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2011: 715-771.
- [12] CHEN Q H. Flora of Guizhouensis, Vol. 10 [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House, 2004: 1-607.
陈谦海. 贵州植物志, 第 10 卷 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2004: 1-607.
- [13] ZUO J H. Liupanshui Medicinal Plants [M]. Beijing: Science Press, 2013: 1-634.
左经会. 六盘水药用植物 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 1-634.
- [14] CORDELL S, GOLDSTEIN G, MUELLER-DOMBOIS D, et al. Physiological and morphological variation in *Metrosideros polymorpha*, a dominant Hawaiian tree species, along an altitudinal gradient: The role of phenotypic plasticity [J]. Oecologia, 1998, 113(2): 188-96.
- [15] HASSEL K, PEDERSEN B, SODERSTROM L. Changes in life-history traits in an expanding moss species: Phenotypic plasticity or genetic differentiation? A reciprocal transplantation experiment with *Pogonatum dentatum* [J]. Ecography, 2005, 28(1): 71-80.
- [16] HOFFMANN A A, GRIFFIN P C, MACRAILD R D. Morphological variation and floral abnormalities in a trigger plant across a narrow altitudinal gradient [J]. Aust Ecol, 2009, 34(7): 780-792.
- [17] SI G C, ZHANG Y L, ZHAO B, et al. Phenotypic variation of natural populations in *Rhododendron purdomii* in Qingling Mountains [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2012, 32(8): 1560-1566.
司国臣, 张延龙, 赵冰, 等. 太白杜鹃天然居群的表型多样性 [J]. 西北植物学报, 2012, 32(8): 1560-1566.
- [18] HUETHER C A. Constancy of pentamerous corolla phenotype in natural populations of *Linanthus* [J]. Evolution, 1969, 23(4): 572-588.
- [19] CRESSWELL J E. Stabilizing selection and the structural variability of flowers within species [J]. Ann Bot, 1998, 81(4): 463-473.
- [20] SUN H Q, LI A, BAN W, et al. Morphological variation and its adaptive significance for *Changnienia amoena*, an endangered orchid [J]. Biodiv Sci, 2005, 13(5): 376-386.
孙海芹, 李昂, 班玮, 等. 濒危植物独花兰的形态变异及其适应意义 [J]. 生物多样性, 2005, 13(5): 376-386.
- [21] LI S, CAI Y L, QIAN Z Q, et al. Researches on the relationship between the morphological and genetic variations of *Dipteronia dyeriana* Henry (Aceraceae) [J]. Acta Ecol Sin, 2004, 24(5): 925-931.
李珊, 蔡宇良, 钱增强, 等. 云南金钱槭形态变异与遗传变异的相关性研究 [J]. 生态学报, 2004, 24(5): 925-931.
- [22] COMPS B, THIEBAUT B, SUGAR I, et al. Genetic variance of the croatian beech tands (*Fagus sylvatica* L.): Spatial differentiation in connection with the environment [J]. Ann For Sci, 1991, 48(1): 15-28.
- [23] HAMRICK J L, GODT M J W, SHERMAN-BROYLES S L. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species [J]. New For, 1992, 6(1/2/3/4): 95-124.