

不同种源石斛表型性状多样性及其与地理因子的相关性

何 涛, 樊小莉, 鲁 璐, 黄田钊^①

(中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 以来源于四川、贵州和云南的 10 个石斛 (*Dendrobium nobile* Lindl.) 种源为研究对象, 对营养器官和花器官的 18 个表型性状进行了观测, 并采用变异系数、Shannon-Wiener 多样性指数和表型分化系数以及方差分析、相关性分析和聚类分析等指标和方法, 对不同种源间各表型性状的表型分化程度和变异规律及其影响因子进行分析。结果表明: 石斛 18 个表型性状的均值在多数种源间差异显著 ($P < 0.05$), 其中, 云南省勐腊县勐腊镇种源有 10 个表型性状的均值最大, 且总体上与其他种源差异显著。18 个表型性状的变异系数均值为 8.24% ~ 24.38%, 各种源的变异系数均值为 12.08% ~ 19.02%, 总体均值为 14.36%。10 个种源 18 个表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数均在 3.8 以上, 均值为 3.881 ~ 3.908。18 个表型性状在种源间差异极显著 ($P < 0.01$), 但种源内个体间仅茎节数、茎长、花瓣长和花瓣宽存在极显著差异; 各表型性状的表型分化系数为 50.00% ~ 87.50%, 均值为 65.80%, 且大多数表型性状的表型分化系数在 57% 以上。在 18 个表型性状中, 仅茎节数、茎基部直径、茎中部直径、茎上部直径和花梗长与纬度呈显著或极显著负相关, 仅叶片长和叶片宽与经度呈显著负相关, 所有表型性状与海拔均无显著相关性。聚类分析结果表明: 经度、纬度以及地理位置相近的种源聚在一起。在欧氏距离 6.5 和 3.5 处, 分别可将 10 个石斛种源分为 3 组和 4 亚组, 其中, 组的聚类与来源地的纬度和地理位置有关, 亚组的聚类与来源地的经度则有一定关系。组 I 包含 7 个种源, 纬度均在 N28° 范围内, 位于四川南部和贵州西北部; 组 II 包含 2 个种源, 纬度在 N29° 范围内, 位于四川西南部; 组 III 仅包含 1 个种源, 纬度在 N21° 范围内, 位于云南最南端。综合分析结果表明: 不同石斛种源的营养器官和花器官具有明显差异, 且营养器官性状的变异水平高于花器官性状, 种源间变异是其表型性状变异的主要来源; 石斛的表型性状多样性丰富, 但不同种源间表型性状的多样性水平接近; 石斛的表型性状变异呈现以经纬度为主导的地理变异模式。

关键词: 石斛; 表型性状; 多样性; 变异系数; 表型分化; 地理因子

中图分类号: Q944; Q948.11; S682.31 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)02-0001-11

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.02.01

Phenotypic trait diversity of *Dendrobium nobile* from different provenances and their correlations with geographical factors HE Tao, FAN Xiaoli, LU Lu, HUANG Tianfang^① (Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(2): 1-11

Abstract: Taking 10 provenances of *Dendrobium nobile* Lindl. collected from Sichuan, Guizhou and Yunnan as the research objects, 18 phenotypic traits of vegetative organs and floral organs were observed and measured, and phenotypic differentiation degree and variation laws of each phenotypic trait among different provenances, and their influencing factors were analyzed by using indexes and methods of coefficient of variation, Shannon-Wiener diversity index and phenotypic differentiation coefficient as well as variance analysis, correlation analysis and cluster analysis, etc. The results show that the averages of 18 phenotypic traits of *D. nobile* are significantly ($P < 0.05$) different among most of the provenances, in

收稿日期: 2020-09-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31870308); 中国科学院科技扶贫项目 (KFJ-FP-202006); 四川省科技扶贫项目 (2018NFP0070)

作者简介: 何 涛 (1966—), 女, 四川眉山人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物遗传与育种研究。

^①通信作者 E-mail: huangtf@cib.ac.cn

引用格式: 何 涛, 樊小莉, 鲁 璐, 等. 不同种源石斛表型性状多样性及其与地理因子的相关性[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 1-11.

which, the averages of 10 phenotypic traits of provenance from Mengla Town in Mengla County of Yunnan Province are the largest, and are significantly different from other provenances in general. The average of coefficient of variation of 18 phenotypic traits is 8.24%–24.38%, that of each provenance is 12.08%–19.02%, and the overall average is 14.36%. The Shannon-Wiener diversity index of 18 phenotypic traits of 10 provenances is above 3.8, with an average of 3.881–3.908. There are extremely significant ($P<0.01$) differences in 18 phenotypic traits among provenances, but only stem node number, stem length, petal length and petal width are extremely significantly different among individuals within provenance; the phenotypic differentiation coefficient of each phenotypic trait is 50.00%–87.50%, with an average of 65.80%, and most of them are above 57%. Among these 18 phenotypic traits, only stem node number, basal stem diameter, middle stem diameter, upper stem diameter and pedicel length show significant or extremely significant negative correlation with latitude, only leaf length and leaf width show significant negative correlation with longitude, all phenotypic traits show insignificant correlations with altitude. The cluster analysis result shows that the provenances with similar longitude, latitude and geographical location are clustered together. At Euclidean distance of 6.5 and 3.5, the 10 *D. nobile* provenances can be divided into 3 groups and 4 subgroups, respectively, in which, the clustering of group is related to the latitude and geographical location of provenance, while the clustering of subgroup is related to the longitude of provenance to some degree. Group I contains 7 provenances, and the latitudes are within the range of N28°, which are located in the south of Sichuan Province and northwest of Guizhou Province; group II contains 2 provenances, and the latitudes are within the range of N29°, which are located in the southwest of Sichuan Province; group III contains only one provenance, and the latitude is within the range of N21°, which is located in the southernmost part of Yunnan Province. The comprehensive analysis result shows that there are obvious differences in traits of vegetative organs and floral organs of *D. nobile* among different provenances, and the variation levels of vegetative organ traits are higher than those of floral organ traits, and the variations among provenances are the main source of phenotypic variation; the diversity of phenotypic traits of *D. nobile* is abundant, but their diversity levels among different provenances are similar; the variations of phenotypic traits of *D. nobile* show a geographical variation pattern dominated by longitude and latitude.

Key words: *Dendrobium nobile* Lindl.; phenotypic trait; diversity; coefficient of variation; phenotypic differentiation; geographical factor

石斛(*Dendrobium nobile* Lindl.)又名金钗石斛,为多年生草本植物,生于林中树干或山谷岩石上;在中国主要分布于四川南部、贵州西南部至北部、云南东南部至西北部、湖北、广西、海南和台湾等地^[1]。石斛具有极高的药用、生态和科研价值,目前,有关石斛的研究主要集中于化学成分^[2-4]、药理作用^[5-6]、分子标记^[7-11]、基因克隆^[12-13]、组织培养^[14]、遗传转化^[15-16]以及人工栽培^[17-18]等方面。对石斛分子遗传多样性的研究结果^[19-23]表明:在分子水平上,不同种源石斛存在高度变异,种源间的变异大于种源内,且种源间存在较高水平的遗传分化。而在形态特征上,不同产地石斛的茎直径存在显著差异^[24],表明石斛的遗传和表型均存在不同程度的变异。

表型多样性是遗传多样性的主要研究内容之一,在适应和进化上具有重要意义,有助于了解其遗传稳定性和选择潜力。表型性状具有直观、测量简单、经济方便的特点,可以快捷、有效地检测群体的变异和

分化。目前,虽然已有研究者对石斛表型性状进行了初步的观察和统计^[24],但不同产地石斛表型性状多样性及其与地理因子的关系尚不清晰,不利于石斛资源的可持续利用和保护。

鉴于此,作者从四川、贵州和云南的不同产地收集了10个石斛种源,对其营养器官和花器官的18个表型性状进行了测定,采用变异系数、Shannon-Wiener多样性指数和表型分化系数以及方差分析、相关性分析和聚类分析等指标和方法,对不同种源间各表型性状的表型分化程度和变异规律及其影响因子进行分析,以期对石斛的生物多样性保护和种质资源的可持续利用提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 材料

在实地调查的基础上,在四川、贵州和云南选取10个有代表性的石斛种源地,包括贵州省赤水市的

旺隆镇和复兴镇, 四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇, 四川省宜宾市的思坡镇和宋家镇, 四川省洪雅县柳江镇, 四川省夹江县歇马乡以及云南省勐腊县勐腊镇, 各种源产地的基本概况见表 1。对种源地中心位置进行 GPS 定位, 各种源地间隔大于或等于 15 km。在生境为林下岩石上的 5 个种源地分别设置 1 个面积约 2 000 m² 的样地, 随机选择 30 丛石斛样

本; 在生境为花盆中或树干上的种源地随机选择零散种植的石斛样本 4 至 20 丛。

供试石斛样株为野生转人工育苗的栽培植株, 栽种年限在 5 a 以上, 已稳定生长和繁衍, 且无明显病虫害。所有样株由作者进行种类鉴定。在 4 月至 5 月的盛花期采集 50 朵带花梗的完整花以及 50 条 2 年生带叶的完整鲜茎作为测定样本。

表 1 供试 10 个石斛种源产地的基本概况

Table 1 Basic status of locations of 10 test provenances of *Dendrobium nobile* Lindl.

种源 ¹⁾ Provenance ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡向 Slope aspect	坡度/(°) Slope	生境 Habitat
P1	E105°52'	N28°30'	536	西南 Southwest	58.5	林下岩石上 On rock in forest
P2	E105°45'	N28°27'	388	东 East	62.3	林下岩石上 On rock in forest
P3	E105°33'	N28°30'	377	南 South	78.9	林下岩石上 On rock in forest
P4	E105°52'	N28°39'	430	西南 Southwest	22.5	林下岩石上 On rock in forest
P5	E106°06'	N28°44'	579	南 South	64.5	林下岩石上 On rock in forest
P6	E104°26'	N28°48'	407	东北 Northeast	83.0	树干上 On trunk
P7	E104°51'	N28°44'	368	西 West	61.0	树干上 On trunk
P8	E103°14'	N29°43'	615	东 East	80.2	花盆中或树干上 In flowerpot or on trunk
P9	E103°22'	N29°46'	465	东南 Southeast	45.4	树干上 On trunk
P10	E101°34'	N21°29'	640	东南 Southeast	20.7	花盆中或树干上 In flowerpot or on trunk

¹⁾ P1, P2: 分别来源于贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇 Collected from Wanglong Town and Fuxing Town in Chishui City of Guizhou Province, respectively; P3, P4, P5: 分别来源于四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇 Collected from Wutong Town, Fengming Town and Fubao Town in Hejiang County of Sichuan Province, respectively; P6, P7: 分别来源于四川省宜宾市的思坡镇和宋家镇 Collected from Sipo Town and Songjia Town in Yibin City of Sichuan Province, respectively; P8: 来源于四川省洪雅县柳江镇 Collected from Liujiang Town in Hongya County of Sichuan Province; P9: 来源于四川省夹江县歇马乡 Collected from Xiema Township in Jiajiang County of Sichuan Province; P10: 来源于云南省勐腊县勐腊镇 Collected from Mengla Town in Mengla County of Yunnan Province.

1.2 方法

1.2.1 表型性状的选择 依据文献[25–27]确定表型性状的选择标准, 选取易于获取的 18 个表型性状, 包括 8 个营养器官性状(茎节数、茎长、茎基部直径、茎中部直径、茎上部直径、叶片长、叶片宽和叶片长宽比)以及 10 个花器官性状(花梗长、中萼片长、中萼片宽、中萼片长宽比、侧萼片长、侧萼片宽、侧萼片长宽比、花瓣长、花瓣宽和花瓣长宽比)。

1.2.2 测定方法 单茎的茎节数直接目测计数; 采用直尺(精度 0.1 cm)分别测量茎长(茎基部至茎尖的长度)、叶片长(伸直状态下叶片基部到叶尖的长度)、叶片宽(伸直状态下叶片中部最宽处的宽度)、花梗长(连接花朵和茎的短柄长度)、中萼片长(自然状态下中萼片基部至尖端的长度)、中萼片宽(自然状态下中萼片中部的宽度)、侧萼片长(自然状态下侧萼片基部至尖端的长度)、侧萼片宽(自然状态下侧萼片中部的宽度)、花瓣长(自然状态下花瓣基部至尖端的长度)和花瓣宽(自然状态下花瓣中部的宽

度); 采用游标卡尺(精度 0.01 mm)分别测量茎基部直径(茎基部第 1 节间的最大直径)、茎中部直径(茎中部节间的最大直径)和茎上部直径(茎最上部节间的最大直径)。根据测量结果, 分别计算叶片、中萼片、侧萼片和花瓣的长宽比。

1.3 数据处理和分析

采用 EXCEL 2010 软件整理数据。采用 DPS 18.10 软件计算变异系数、Shannon–Wiener 多样性指数, 并进行 Duncan's 多重比较、方差分析、相关性分析和聚类分析(UPGMA 法), 分析前对数据进行标准化处理和转换。参照文献[28]计算表型分化系数。

2 结果和分析

2.1 不同种源石斛表型性状的比较和变异分析

不同种源石斛营养器官和花器官性状的测定结果及变异系数分别见表 2 和表 3。

2.1.1 营养器官性状比较 由表 2 可见: 供试 10 个

表2 不同种源石斛营养器官和花器官18个表型性状的比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 2 Comparison on 18 phenotypic traits of vegetative organs and floral organs of *Dendrobium nobile* Lindl. from different provenances ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

种源 ²⁾ Provenance ²⁾	N	L_S/cm	D_{BS}/mm	D_{MS}/mm	D_{US}/mm	L_L/cm
P1	11.2±2.0b	41.16±9.15a	3.86±0.42b	10.39±1.25b	5.48±0.81c	8.45±1.01cd
P2	11.2±2.0b	36.51±9.29b	3.70±0.42bc	9.07±1.77cde	4.84±0.99d	8.02±0.94de
P3	9.9±1.6c	30.66±6.48c	3.46±0.43de	8.76±1.51e	4.00±0.73e	7.63±0.99e
P4	10.2±1.5c	35.28±6.69b	3.66±0.28bcd	10.16±1.69b	4.57±0.78d	8.94±0.94c
P5	8.6±1.3d	24.17±3.93de	3.34±0.38ef	9.88±1.59bc	4.52±0.78d	7.54±1.03e
P6	7.8±1.2e	25.61±5.54d	3.23±0.34fg	10.10±1.49b	6.41±1.26b	10.98±1.69a
P7	8.4±2.1de	24.93±8.55d	3.08±0.54g	9.01±2.06de	3.36±0.77f	8.81±2.84cd
P8	7.7±1.5e	24.03±5.75de	3.57±0.49cd	8.64±2.37e	3.91±1.08e	8.15±1.02de
P9	8.3±1.8de	21.78±5.44e	3.56±0.72cde	9.89±2.70bcd	5.43±1.06c	9.99±2.13b
P10	12.5±3.7a	36.71±12.77b	5.24±0.90a	12.06±3.37a	8.07±1.89a	11.31±1.64a
均值 Average	9.6±1.8	30.08±7.36	3.67±0.49	9.80±1.98	5.06±1.02	8.98±1.42

种源 ²⁾ Provenance ²⁾	b_L/cm	L_L/b_L	L_{Ped}/cm	L_{CS}/cm	b_{CS}/cm	L_{CS}/b_{CS}
P1	1.96±0.23c	4.35±0.79cd	4.68±0.49b	3.65±0.35cd	1.36±0.15ab	2.67±0.21d
P2	1.83±0.31cd	4.49±0.93cd	4.61±0.37b	3.64±0.53cd	1.26±0.15cd	2.93±0.29bc
P3	1.92±0.33c	4.08±0.84de	4.56±0.54b	3.67±0.48c	1.31±0.17abc	2.86±0.30c
P4	1.95±0.42c	4.68±0.98bc	4.71±0.74b	3.65±0.46cd	1.27±0.11cd	2.85±0.26c
P5	1.43±0.18f	5.30±0.62a	4.52±0.42b	3.67±0.41c	1.37±0.23a	2.68±0.26d
P6	2.35±0.48b	4.81±0.95b	4.58±0.45b	4.15±0.34a	1.30±0.13bcd	3.21±0.23a
P7	1.69±0.51e	5.35±1.58a	4.67±0.65b	3.72±0.29c	1.25±0.14cd	3.00±0.27b
P8	1.75±0.30de	4.73±0.93bc	3.90±0.56c	3.10±0.16e	1.12±0.09e	2.79±0.14cd
P9	2.63±0.56a	3.89±0.87e	4.54±0.43b	3.49±0.50d	1.24±0.21d	2.91±0.60bc
P10	2.66±0.44a	4.32±0.47cd	5.02±0.87a	3.90±0.45b	1.38±0.16a	2.83±0.32c
均值 Average	2.02±0.38	4.59±0.89	4.58±0.55	3.66±0.39	1.29±0.15	2.87±0.28

种源 ²⁾ Provenance ²⁾	L_{LS}/cm	b_{LS}/cm	L_{LS}/b_{LS}	L_{Pet}/cm	b_{Pet}/cm	L_{Pet}/b_{Pet}
P1	3.58±0.32b	1.29±0.17a	2.76±0.33e	3.84±0.34cd	2.31±0.19ab	1.66±0.10cd
P2	3.57±0.51b	1.27±0.13a	2.83±0.18de	3.89±0.54bcd	2.25±0.23b	1.72±0.11bc
P3	3.62±0.44b	1.27±0.15a	2.84±0.26de	3.89±0.47bc	2.27±0.18b	1.71±0.13bc
P4	3.58±0.43b	1.18±0.13b	3.02±0.25bc	3.71±0.42d	2.15±0.22c	1.72±0.13bc
P5	3.59±0.38b	1.31±0.14a	2.74±0.22e	3.83±0.44cd	2.29±0.21ab	1.66±0.09cd
P6	3.93±0.31a	1.20±0.10b	3.28±0.20a	4.24±0.31a	2.24±0.21b	1.90±0.18a
P7	3.61±0.29b	1.21±0.12b	3.01±0.25bc	3.76±0.32cd	2.11±0.20c	1.79±0.10b
P8	2.97±0.42d	1.03±0.08c	2.90±0.17cd	3.16±0.21e	1.98±0.10d	1.59±0.06d
P9	3.17±0.48c	1.05±0.18c	3.07±0.55b	3.14±0.50e	1.91±0.35e	1.67±0.26cd
P10	3.70±0.45b	1.32±0.13a	2.83±0.33de	4.03±0.48b	2.38±0.25a	1.71±0.21bc
均值 Average	3.53±0.40	1.21±0.13	2.93±0.27	3.75±0.40	2.19±0.21	1.71±0.13

¹⁾ N: 茎节数 Number of stem node; L_S : 茎长 Stem length; D_{BS} : 茎基部直径 Basal stem diameter; D_{MS} : 茎中部直径 Middle stem diameter; D_{US} : 茎上部直径 Upper stem diameter; L_L : 叶片长 Leaf length; b_L : 叶片宽 Leaf width; L_L/b_L : 叶片长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; L_{Ped} : 花梗长 Pedicel length; L_{CS} : 中萼片长 Central sepal length; b_{CS} : 中萼片宽 Central sepal width; L_{CS}/b_{CS} : 中萼片长宽比 Ratio of central sepal length to central sepal width; L_{LS} : 侧萼片长 Lateral sepal length; b_{LS} : 侧萼片宽 Lateral sepal width; L_{LS}/b_{LS} : 侧萼片长宽比 Ratio of lateral sepal length to lateral sepal width; L_{Pet} : 花瓣长 Petal length; b_{Pet} : 花瓣宽 Petal width; L_{Pet}/b_{Pet} : 花瓣长宽比 Ratio of petal length to petal width. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference.

²⁾ P1, P2: 分别来源于贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇 Collected from Wanglong Town and Fuxing Town in Chishui City of Guizhou Province, respectively; P3, P4, P5: 分别来源于四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇 Collected from Wutong Town, Fengming Town and Fubao Town in Hejiang County of Sichuan Province, respectively; P6, P7: 分别来源于四川省宜宾市的思坡镇和宋家镇 Collected from Sipo Town and Songjia Town in Yibin City of Sichuan Province, respectively; P8: 来源于四川省洪雅县柳江镇 Collected from Liujiang Town in Hongya County of Sichuan Province; P9: 来源于四川省夹江县歇马乡 Collected from Xiema Township in Jiajiang County of Sichuan Province; P10: 来源于云南省勐腊县勐腊镇 Collected from Mengla Town in Mengla County of Yunnan Province.

表 3 不同种源石斛营养器官和花器官 18 个表型性状的变异系数

Table 3 Coefficient of variation of 18 phenotypic traits of vegetative organs and floral organs of *Dendrobium nobile* Lindl. from different provenances

种源 ¹⁾ Provenance ¹⁾	各表型性状的变异系数/% ²⁾ Coefficient of variation of each phenotypic trait ²⁾									
	N	L_S	D_{BS}	D_{MS}	D_{US}	L_L	b_L	L_L/b_L	L_{Ped}	L_{CS}
P1	17.84	22.24	10.89	12.13	14.85	12.00	12.09	18.20	10.51	9.65
P2	17.86	25.45	11.56	19.63	20.46	11.74	17.29	21.18	8.10	14.76
P3	14.27	21.15	12.46	17.31	18.28	13.04	17.28	20.70	12.02	13.13
P4	14.27	18.97	7.91	16.68	17.27	10.59	21.86	20.94	15.86	12.77
P5	14.62	16.29	11.42	16.12	17.37	13.75	12.90	11.73	9.33	11.21
P6	15.53	21.66	10.58	14.80	19.71	15.45	20.49	19.81	9.94	8.30
P7	24.97	34.31	17.83	22.92	23.09	32.31	30.90	29.66	13.96	7.98
P8	20.02	23.93	13.77	27.43	27.86	12.55	17.27	19.69	14.59	5.37
P9	22.02	24.98	20.28	27.39	19.58	21.32	21.58	22.63	9.67	14.36
P10	29.72	34.79	17.31	27.99	23.47	14.50	16.59	10.98	17.51	11.54
均值 Average	19.11	24.38	13.40	20.24	20.19	15.73	18.83	19.55	12.15	10.91

种源 ¹⁾ Provenance ¹⁾	各表型性状的变异系数/% ²⁾ Coefficient of variation of each phenotypic trait ²⁾								
	b_{CS}	L_{CS}/b_{CS}	L_{LS}	b_{LS}	L_{LS}/b_{LS}	L_{Pet}	b_{Pet}	L_{Pet}/b_{Pet}	均值 Average
P1	10.99	8.06	9.08	13.01	12.11	8.88	8.35	6.56	12.08
P2	12.37	9.79	14.35	11.01	6.49	13.96	10.42	6.96	14.08
P3	13.03	10.81	12.33	11.76	9.44	12.22	7.96	7.55	13.60
P4	9.27	9.36	12.26	11.17	8.45	11.36	10.53	7.54	13.17
P5	17.07	10.02	10.75	11.30	8.26	11.68	9.41	5.76	12.17
P6	10.68	7.24	8.13	8.91	6.03	7.30	9.79	9.75	12.45
P7	11.90	9.32	8.23	9.97	8.33	8.61	9.61	6.12	17.22
P8	7.97	5.07	14.31	7.72	5.96	6.66	5.06	4.03	13.29
P9	17.26	20.82	15.23	17.10	18.02	16.10	18.37	15.66	19.02
P10	12.16	11.32	12.16	9.87	11.69	12.12	10.84	12.47	16.50
均值 Average	12.27	10.18	11.68	11.18	9.48	10.89	10.03	8.24	14.36

¹⁾ P1, P2: 分别来源于贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇 Collected from Wanglong Town and Fuxing Town in Chishui City of Guizhou Province, respectively; P3, P4, P5: 分别来源于四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇 Collected from Wutong Town, Fengming Town and Fubao Town in Hejiang County of Sichuan Province, respectively; P6, P7: 分别来源于四川省宜宾市的思坡镇和宋家镇 Collected from Sipo Town and Songjia Town in Yibin City of Sichuan Province, respectively; P8: 来源于四川省洪雅县柳江镇 Collected from Liujiang Town in Hongya County of Sichuan Province; P9: 来源于四川省夹江县歇马乡 Collected from Xiema Township in Jiajiang County of Sichuan Province; P10: 来源于云南省勐腊县勐腊镇 Collected from Mengla Town in Mengla County of Yunnan Province.

²⁾ N: 茎节数 Number of stem node; L_S : 茎长 Stem length; D_{BS} : 茎基部直径 Basal stem diameter; D_{MS} : 茎中部直径 Middle stem diameter; D_{US} : 茎上部直径 Upper stem diameter; L_L : 叶片长 Leaf length; b_L : 叶片宽 Leaf width; L_L/b_L : 叶片长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; L_{Ped} : 花梗长 Pedicel length; L_{CS} : 中萼片长 Central sepal length; b_{CS} : 中萼片宽 Central sepal width; L_{CS}/b_{CS} : 中萼片长宽比 Ratio of central sepal length to central sepal width; L_{LS} : 侧萼片长 Lateral sepal length; b_{LS} : 侧萼片宽 Lateral sepal width; L_{LS}/b_{LS} : 侧萼片长宽比 Ratio of lateral sepal length to lateral sepal width; L_{Pet} : 花瓣长 Petal length; b_{Pet} : 花瓣宽 Petal width; L_{Pet}/b_{Pet} : 花瓣长宽比 Ratio of petal length to petal width.

石斛种源的茎节数、茎长、茎基部直径、茎中部直径、茎上部直径、叶片长、叶片宽和叶片长宽比的均值分别为 9.6、30.08 cm、3.67 mm、9.80 mm、5.06 mm、8.98 cm、2.02 cm 和 4.59。其中, 云南省勐腊县勐腊镇 (P10) 种源的茎节数、茎基部直径、茎中部直径、茎上部直径、叶片长和叶片宽均最大, 且总体上与其他种源差异显著 ($P < 0.05$); 贵州省赤水市旺隆镇 (P1) 种源的茎长最大, 且与其他种源差异显著; 四川省宜宾市宋家镇 (P7) 种源的叶片长宽比最大, 但其茎基部直径和茎上部直径均最小, 且总体上与其他种源差异

显著; 四川省合江县福宝镇 (P5) 种源的叶片长和叶片宽均最小, 且与多数种源差异显著; 四川省洪雅县柳江镇 (P8) 种源的茎节数和茎中部直径均最小, 且与多数种源差异显著; 四川省夹江县歇马乡 (P9) 种源的茎长和叶片长宽比均最小, 且与多数种源差异显著。总体上看, 8 个营养器官性状在多数种源间存在显著差异。

2.1.2 花器官性状比较 由表 2 还可见: 供试 10 个石斛种源的花梗长、中萼片长、中萼片宽、中萼片长宽比、侧萼片长、侧萼片宽、侧萼片长宽比、花瓣长、花瓣

宽和花瓣长宽比的均值分别为 4.58 cm、3.66 cm、1.29 cm、2.87、3.53 cm、1.21 cm、2.93、3.75 cm、2.19 cm 和 1.71。其中,四川省宜宾市思坡镇(P6)种源的中萼片长、中萼片长宽比、侧萼片长、侧萼片长宽比、花瓣长和花瓣长宽比均最大,且与其他种源差异显著;P10种源的花梗长、中萼片宽、侧萼片宽和花瓣宽均最大,且与多数种源差异显著;而P8种源的花梗长、中萼片长、中萼片宽、侧萼片长、侧萼片宽和花瓣长宽比均最小,且除花瓣长宽比外,其他表型性状总体上与另9个种源差异显著;P9种源的花瓣长和花瓣宽均最小,且总体上与其他种源差异显著;P1种源的中萼片长宽比最小,且与多数种源差异显著;P5种源的侧萼片长宽比最小,且与多数种源差异显著。总体上看,10个花器官性状在多数种源间存在显著差异。

2.1.3 表型性状变异分析 由表3可见:石斛营养器官和花器官性状在种源间和种源内均存在不同程度的变异。在8个营养器官性状中,茎长的变异系数最大,为16.29%~34.79%,均值为24.38%;茎基部直径的变异系数最小,为7.91%~20.28%,均值为13.40%,表明在种源内个体间茎长的差异较大,而茎基部直径的差异较小。在10个花器官性状中,中萼片宽的变异系数最大,为7.97%~17.26%,均值为12.27%;花瓣长宽比的变异系数最小,为4.03%~15.66%,均值为8.24%,说明在种源内个体间中萼片宽的差异较大,而花瓣长宽比的差异较小。总体上看,8个营养器官性状的变异系数均值均大于13%,而10个花器官性状的变异系数均值均小于13%,表明石斛营养器官性状的变异水平高于花器官性状。

在10个种源中,P9种源的变异系数均值最大(19.02%),P1种源的变异系数均值最小(12.08%)。变异系数总均值为14.36%,表明石斛各种源间表型性状的变异较丰富。

2.2 不同种源石斛表型性状的多样性和表型分化分析

不同种源石斛营养器官和花器官性状的 Shannon-Wiener 多样性指数和表型分化系数分别见表4和表5。

2.2.1 多样性分析 由表4可见:供试10个石斛种源18个表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数均在3.8以上,均值为3.881~3.908,变幅较小。在18个表型性状中,茎长的 Shannon-Wiener 多样性指数最小,而花瓣长宽比的 Shannon-Wiener 多样性指数最大。总体上看,在不同种源中,石斛的18个表型性状均存在丰富的多样性,且多样性水平相近。

2.2.2 表型分化分析 由表5可见:石斛18个表型性状在种源间均存在极显著($P < 0.01$)差异;而在种源内只有茎节数、茎长、花瓣长和花瓣宽4个表型性状存在极显著差异。种源间各表型性状的方差分量均大于或等于种源内,种源间的方差分量为0.0001~0.0362,种源内方差分量为0.0001~0.0151。

各表型性状的表型分化系数为50.00%~87.50%,其中,仅中萼片宽、中萼片长宽比和花瓣宽3个表型性状的表型分化系数为50.00%,其他表型性状的表型分化系数均在57%以上;18个表型性状的表型分化系数均值为65.80%,表明种源间的变异是石斛表型性状变异的主要来源。

表4 不同种源石斛营养器官和花器官18个表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数

Table 4 Shannon-Wiener diversity index of 18 phenotypic traits of vegetative organs and floral organs of *Dendrobium nobile* Lindl. from different provenances

种源 ¹⁾ Provenance ¹⁾	各表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数 ²⁾ Shannon-Wiener diversity index of each phenotypic trait ²⁾								
	N	L_S	D_{BS}	D_{MS}	D_{US}	L_L	b_L	L_L/b_L	L_{Ped}
P1	3.896	3.887	3.906	3.904	3.901	3.904	3.904	3.895	3.906
P2	3.895	3.879	3.905	3.892	3.891	3.905	3.897	3.892	3.908
P3	3.898	3.890	3.904	3.897	3.895	3.903	3.897	3.891	3.904
P4	3.902	3.894	3.908	3.898	3.897	3.906	3.889	3.890	3.898
P5	3.901	3.899	3.905	3.899	3.897	3.902	3.904	3.905	3.907
P6	3.900	3.889	3.906	3.901	3.893	3.899	3.890	3.893	3.907
P7	3.882	3.856	3.896	3.884	3.885	3.857	3.865	3.871	3.902
P8	3.892	3.885	3.902	3.873	3.874	3.903	3.897	3.893	3.899
P9	3.888	3.880	3.891	3.872	3.893	3.888	3.888	3.888	3.907
P10	3.867	3.854	3.897	3.872	3.884	3.901	3.898	3.906	3.896
均值 Average	3.892	3.881	3.902	3.889	3.891	3.897	3.893	3.892	3.903

续表4 Table 4 (Continued)

种源 ¹⁾ Provenance ¹⁾	各表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数 ²⁾ Shannon-Wiener diversity index of each phenotypic trait ²⁾								
	L_{CS}	b_{CS}	L_{CS}/b_{CS}	L_{LS}	b_{LS}	L_{LS}/b_{LS}	L_{Pet}	b_{Pet}	L_{Pet}/b_{Pet}
P1	3.907	3.905	3.908	3.907	3.904	3.903	3.908	3.908	3.910
P2	3.901	3.904	3.907	3.901	3.906	3.909	3.902	3.906	3.909
P3	3.903	3.904	3.906	3.904	3.905	3.907	3.904	3.908	3.909
P4	3.903	3.907	3.907	3.904	3.905	3.908	3.905	3.906	3.909
P5	3.905	3.898	3.906	3.906	3.906	3.908	3.905	3.907	3.910
P6	3.908	3.906	3.909	3.908	3.908	3.910	3.909	3.907	3.907
P7	3.908	3.904	3.907	3.908	3.907	3.908	3.908	3.907	3.910
P8	3.910	3.908	3.910	3.898	3.909	3.910	3.909	3.910	3.911
P9	3.902	3.897	3.891	3.901	3.898	3.896	3.900	3.895	3.900
P10	3.905	3.905	3.905	3.904	3.907	3.905	3.904	3.905	3.905
均值 Average	3.905	3.904	3.906	3.904	3.905	3.906	3.905	3.906	3.908

¹⁾ P1, P2: 分别来源于贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇 Collected from Wanglong Town and Fuxing Town in Chishui City of Guizhou Province, respectively; P3, P4, P5: 分别来源于四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇 Collected from Wutong Town, Fengming Town and Fubao Town in Hejiang County of Sichuan Province, respectively; P6, P7: 分别来源于四川省宜宾市的思坡镇和宋家镇 Collected from Sipo Town and Songjia Town in Yibin City of Sichuan Province, respectively; P8: 来源于四川省洪雅县柳江镇 Collected from Liujiang Town in Hongya County of Sichuan Province; P9: 来源于四川省夹江县歇马乡 Collected from Xiema Township in Jiajiang County of Sichuan Province; P10: 来源于云南省勐腊县勐腊镇 Collected from Mengla Town in Mengla County of Yunnan Province.

²⁾ N: 茎节数 Number of stem node; L_S : 茎长 Stem length; D_{BS} : 茎基部直径 Basal stem diameter; D_{MS} : 茎中部直径 Middle stem diameter; D_{US} : 茎上部直径 Upper stem diameter; L_L : 叶片长 Leaf length; b_L : 叶片宽 Leaf width; L_L/b_L : 叶片长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; L_{Ped} : 花梗长 Pedicel length; L_{CS} : 中萼片长 Central sepal length; b_{CS} : 中萼片宽 Central sepal width; L_{CS}/b_{CS} : 中萼片长宽比 Ratio of central sepal length to central sepal width; L_{LS} : 侧萼片长 Lateral sepal length; b_{LS} : 侧萼片宽 Lateral sepal width; L_{LS}/b_{LS} : 侧萼片长宽比 Ratio of lateral sepal length to lateral sepal width; L_{Pet} : 花瓣长 Petal length; b_{Pet} : 花瓣宽 Petal width; L_{Pet}/b_{Pet} : 花瓣长宽比 Ratio of petal length to petal width.

表 5 不同种源石斛营养器官和花器官 18 个表型性状的方差分析结果和表型分化系数

Table 5 Variance analysis result and phenotypic differentiation coefficient of 18 phenotypic traits of vegetative organs and floral organs of *Dendrobium nobile* Lindl. from different provenances

表型性状 ¹⁾ Phenotypic trait ¹⁾	F 值 ²⁾ F value ²⁾		方差分量 Variance component			表型分化系数/% Phenotypic differentiation coefficient
	种源间 Among provenances	种源内 Within provenance	种源间 Among provenances	种源内 Within provenance	机误 Random error	
茎节数 Number of stem node	37.132**	1.615**	0.006 6	0.003 0	0.093	68.75
茎长 Stem length	43.151**	1.734**	0.036 2	0.015 1	0.436	70.57
茎基部直径 Basal stem diameter	58.518**	0.880	0.002 1	0.000 3	0.018	87.50
茎中部直径 Middle stem diameter	10.399**	0.670	0.002 3	0.001 6	0.119	57.50
茎上部直径 Upper stem diameter	80.399**	0.924	0.008 5	0.001 0	0.053	84.16
叶片长 Leaf length	33.850**	0.891	0.004 6	0.001 3	0.070	77.97
叶片宽 Leaf width	49.001**	0.774	0.001 9	0.000 3	0.020	86.36
L_L/b_L	13.291**	0.752	0.001 1	0.000 7	0.045	61.11
花梗长 Pedicel length	11.001**	0.867	0.000 4	0.000 3	0.019	57.14
中萼片长 Central sepal length	21.354**	1.334	0.000 5	0.000 3	0.011	62.50
中萼片宽 Central sepal width	12.599**	1.244	0.000 1	0.000 1	0.004	50.00
L_{CS}/b_{CS}	12.819**	1.288	0.000 2	0.000 2	0.008	50.00
侧萼片长 Lateral sepal length	21.812**	1.193	0.000 5	0.000 3	0.012	62.50
侧萼片宽 Lateral sepal width	29.479**	1.158	0.000 2	0.000 1	0.003	66.67
L_{LS}/b_{LS}	15.106**	0.829	0.000 2	0.000 1	0.007	66.67
花瓣长 Petal length	38.772**	1.585**	0.000 8	0.000 4	0.011	66.67
花瓣宽 Petal width	23.759**	1.981**	0.000 2	0.000 2	0.005	50.00
L_{Pet}/b_{Pet}	15.701**	0.993	0.000 7	0.000 5	0.023	58.33
均值 Average						65.80

¹⁾ L_L/b_L : 叶片长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; L_{CS}/b_{CS} : 中萼片长宽比 Ratio of central sepal length to central sepal width; L_{LS}/b_{LS} : 侧萼片长宽比 Ratio of lateral sepal length to lateral sepal width; L_{Pet}/b_{Pet} : 花瓣长宽比 Ratio of petal length to petal width.

²⁾ **: $P < 0.01$.

2.3 不同种源石斛表型性状与地理因子的相关性分析

对不同种源石斛的 18 个表型性状与经度、纬度和海拔的相关性进行分析,结果见表 6。

由表 6 可见:在 18 个表型性状中,仅叶片长和叶片宽与经度呈显著 ($P<0.05$) 负相关,相关系数分别为 -0.705 和 -0.697 ,其他表型性状与经度均无显著相关性,表明石斛叶片生长呈现以经度为主导的变异模式,即随经度升高,叶片变短、变窄。茎节数、茎基部直径、茎中部直径、茎上部直径和花梗长与纬度呈显著或极显著 ($P<0.01$) 负相关,相关系数分别为 -0.712 、 -0.905 、 -0.786 、 -0.750 和 -0.660 ,其他表型性状与纬度均无显著相关性,表明这 5 个指标均呈现以纬度为主导的变异模式,即随纬度升高,茎节数减少、茎直径变小、花梗变短。18 个表型性状与海拔均无显著相关性,表明海拔变化对石斛表型性状变异无明显的影响效应。

表 6 不同种源石斛营养器官和花器官 18 个表型性状与地理因子的相关系数

Table 6 Correlation coefficient of 18 phenotypic traits of vegetative organs and floral organs of *Dendrobium nobile* Lindl. from different provenances with geographical factors

表型性状 ¹⁾ Phenotypic trait ¹⁾	与地理因子的相关系数 ²⁾ Correlation coefficient with geographical factor ²⁾		
	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude
	茎节数 Number of stem node	-0.054	-0.712*
茎长 Stem length	0.189	-0.461	0.062
茎基部直径 Basal stem diameter	-0.617	-0.905**	0.601
茎中部直径 Middle stem diameter	-0.446	-0.786**	0.494
茎上部直径 Upper stem diameter	-0.579	-0.750*	0.417
叶片长 Leaf length	-0.705*	-0.547	0.140
叶片宽 Leaf width	-0.697*	-0.479	0.103
L_L/b_L	0.280	0.155	0.014
花梗长 Pedicel length	-0.030	-0.660*	-0.148
中萼片长 Central sepal length	0.043	-0.418	-0.302
中萼片宽 Central sepal width	0.171	-0.544	0.131
L_{CS}/b_{CS}	-0.164	0.096	-0.619
侧萼片长 Lateral sepal length	0.272	-0.373	-0.349
侧萼片宽 Lateral sepal width	0.324	-0.531	0.006
L_{LS}/b_{LS}	-0.200	0.260	-0.456
花瓣长 Petal length	0.235	-0.442	-0.230
花瓣宽 Petal width	0.209	-0.600	0.117
L_{Pet}/b_{Pet}	0.075	-0.067	-0.607

¹⁾ L_L/b_L : 叶片长宽比 Ratio of leaf length to leaf width; L_{CS}/b_{CS} : 中萼片长宽比 Ratio of central sepal length to central sepal width; L_{LS}/b_{LS} : 侧萼片长宽比 Ratio of lateral sepal length to lateral sepal width; L_{Pet}/b_{Pet} : 花瓣长宽比 Ratio of petal length to petal width.

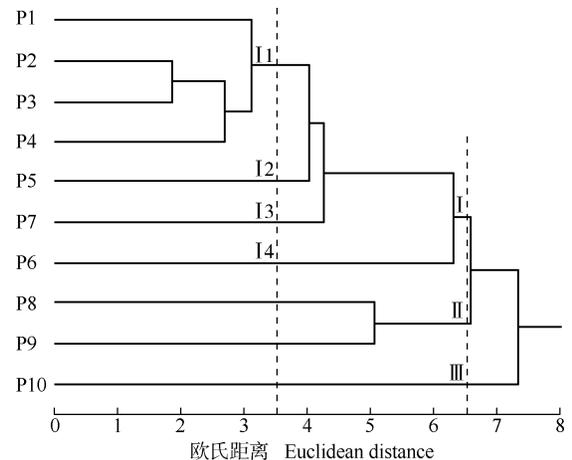
²⁾ * : $P<0.05$; ** : $P<0.01$.

2.4 不同种源石斛的聚类分析

基于营养器官和花器官的 18 个表型性状,采用欧氏距离对不同种源石斛进行聚类分析,结果见图 1。

由图 1 可见:在欧氏距离 6.5 处,可将 10 个种源分为 3 组:组 I 包含贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇,四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇,四川省宜宾市的宋家镇和思坡镇的 7 个种源,纬度均在 $N28^\circ$ 范围内,且这 7 个种源的地理位置相近,均位于四川南部和与四川南部交界的贵州西北部;组 II 包含四川省洪雅县柳江镇和夹江县歇马乡的 2 个种源,纬度均在 $N29^\circ$ 范围内,且这 2 个种源均位于四川西南部;组 III 仅包含云南省勐腊县勐腊镇的 1 个种源,纬度在 $N21^\circ$ 范围内,该种源位于云南最南端,与其他 9 个种源的地理位置最远。

在欧氏距离 3.5 处,组 I 又可分为 4 个亚组:贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇 2 个种源以及四川省合江县的五通镇和凤鸣镇的 2 个种源聚为亚组 I 1,



P1, P2: 分别来源于贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇 Collected from Wanglong Town and Fuxing Town in Chishui City of Guizhou Province, respectively; P3, P4, P5: 分别来源于四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇 Collected from Wutong Town, Fengming Town and Fubao Town in Hejiang County of Sichuan Province, respectively; P6, P7: 分别来源于四川省宜宾市的思坡镇和宋家镇 Collected from Sipo Town and Songjia Town in Yibin City of Sichuan Province, respectively; P8: 来源于四川省洪雅县柳江镇 Collected from Liujiang Town in Hongya County of Sichuan Province; P9: 来源于四川省夹江县歇马乡 Collected from Xiema Township in Jiajiang County of Sichuan Province; P10: 来源于云南省勐腊县勐腊镇 Collected from Mengla Town in Mengla County of Yunnan Province.

图 1 基于营养器官和花器官 18 个表型性状的 10 个石斛种源的聚类图

Fig. 1 Clustering dendrogram on 10 provenances of *Dendrobium nobile* Lindl. based on 18 phenotypic traits of vegetative organs and floral organs

经度均在 E105° 范围内; 四川省合江县福宝镇的 1 个种源单独组成亚组 I 2, 经度在 E106° 范围内; 四川省宜宾市的宋家镇和思坡镇的 2 个种源各自单独成组, 分别为亚组 I 3 和 I 4, 经度均在 E104° 范围内。

总体上看, 供试 10 个种源的分组与其地理位置和纬度有关, 而亚组内种源的聚类则与经度相关, 聚类结果表现出与经度和纬度相关的连续变异模式。

3 讨论和结论

上述研究结果表明: 在 10 个石斛种源的 18 个表型性状中, 有 16 个表型性状的变异系数均值大于 10%, 占表型性状总数的 88.9%, 仅侧萼片长宽比和花瓣长宽比 2 个表型性状的变异系数均值小于 10%, 仅占表型性状总数的 11.1%; 10 个种源的变异系数均值为 12.08% ~ 19.02%, 均大于 10%。变异系数越大, 表型性状差异越明显, 遗传变异可能性越大, 表明不同种源石斛的营养器官和花器官存在丰富的变异, 可为石斛的遗传改良和生物多样性保护提供物质基础。变异系数的差异还反映了不同表型性状对环境的不同适应能力^[27], 同一种源内也可能存在多种变异类型^[29]。在本研究中, 石斛的 8 个营养器官性状的变异系数均值均大于 13%, 而 10 个花器官性状的变异系数均值均小于 13%, 表明石斛茎和叶性状的变异水平高于花器官性状, 花器官受环境的影响较小, 更趋于稳定^[30]。

10 个石斛种源 18 个表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数均在 3.8 以上, 说明不同种源石斛的表型性状变异较大, 多样性丰富。但 Shannon-Wiener 多样性指数与变异系数的变化规律并不一致, 例如: 茎长的变异系数均值最大 (24.38%), 花瓣长宽比的变异系数均值最小 (8.24%), 而茎长的 Shannon-Wiener 多样性指数均值最小 (3.881), 花瓣长宽比的 Shannon-Wiener 多样性指数均值却最大 (3.908)。虽然变异系数和 Shannon-Wiener 多样性指数都是反映生物多样性的重要指标, 但这 2 个指标变化规律的不一致揭示了其内涵的不同。表型性状的变异系数反映的是表型性状的离散程度, 数值越大, 说明表型性状的变异程度越大; Shannon-Wiener 多样性指数反映的是表型性状的多样性, 数值越大, 说明表型性状多样性越丰富。但二者之间不存在关联性^[31]。

种源间变异是种内生物多样性的重要组成部分^[32-33]。方差分析结果表明: 石斛 18 个表型性状种源间的 F 值为 10.399 ~ 80.399, 种源间差异均极显著 ($P < 0.01$), 而种源内的 F 值仅为 0.670 ~ 1.981, 显示各表型性状在种源间的 F 值明显大于种源内。石斛所有表型性状的表型分化系数均大于或等于 50.00%, 表型分化系数均值为 65.80%, 显示种源间表型性状的分化程度明显大于种源内。表明不同种源石斛的表型性状变异丰富, 在种源水平上未表现出表型多样性水平下降, 且种源间变异是石斛种源表型性状变异的主要来源。

已有的相关研究结果^[33-35]显示: 环境条件 (如经度、纬度和海拔等主要地理因子) 变化是种源间变异形成的主要因子, 并因植物种类的不同而异。本研究结果显示: 石斛表型性状变异丰富的原因与所选择的种源产地范围较广有关, 10 个种源的产地分别位于四川、贵州和云南, 跨越了 3 个省份, 经纬度的跨度较大 (分别达到 6° 和 9°), 气候类型变化多样, 为了适应不同区域环境的异质性, 石斛的表型性状随之发生了变化。

在不同的环境中, 石斛通过形态变化和表型性状分化调整自身的生长发育及其与环境之间的关系, 从而适应环境的变化。相关性分析结果表明: 石斛的茎节数、茎基部直径、茎中部直径、茎上部直径和花梗长与纬度均呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著负相关; 叶片长和叶片宽与经度呈显著负相关; 其他表型性状与经度和纬度均无显著相关性。表明随纬度的升高, 茎节数减少、茎直径变小、花梗变短; 随地理位置的西移, 叶片变得更为宽大。纬度的变化, 意味着气候的变化, 纬度越低, 气温越高, 而较高的气温有利于石斛的营养生长, 使植株变得高大。这也说明营养器官性状更容易受到环境因子中水分、养分和光照的影响, 如云南省勐腊县勐腊镇种源的产地纬度只有 N21°, 但该种源石斛的茎叶粗大, 这也符合石斛为热带亚热带植物、喜高温高湿环境的特点。此外, 石斛的所有表型性状与海拔均无显著相关性, 说明海拔对石斛表型性状无明显的影响效应。

石斛为兰科 (Orchidaceae) 附生植物, 可附生在岩石上, 也可附生在树干上。贵州省赤水市的旺隆镇和复兴镇以及四川省合江县的五通镇、凤鸣镇和福宝镇的 5 个种源的石斛均生长在林下岩石上; 而其他 5 个种源的石斛均附生在不同树种的树干上。从表

型性状的变异系数看,附生在林下岩石上的石斛种源各表型性状的变异程度总体上小于附生在树干上的种源,表明不同的附生模式也是造成石斛表型性状变异的原因之一。

聚类分析结果表明:在欧氏距离 6.5 处,可将 10 个种源分为 3 组,总体上表现出地理位置和纬度相近的种源聚在一起的规律。组 I 包含的 7 个种源,纬度均在 N28°范围内,均位于四川南部和与四川南部交界的贵州西北部;组 II 包含的 2 个种源,纬度均在 N29°范围内,均位于四川西南部;组 III 仅包含 1 个种源,纬度在 N21°范围内,位于云南最南端,该种源与其他 9 个种源的距离最远。表明石斛的表型变异与其产地的地理位置有关,表现出按地理位置而聚类的特征^[36-38]。在欧氏距离 3.5 处,可将组 I 再进一步分为 4 个亚组,亚组内种源聚类主要与经度有关,其中,贵州省赤水市复兴镇和四川省合江县五通镇的 2 个种源先聚在一起,并与贵州省赤水市旺隆镇和四川省合江县凤鸣镇的 2 个种源聚在一起,这 4 个种源的来源地经度均在 E106°范围内;而经度在 E104°范围内的四川省宜宾市的思坡镇和宋家镇的 2 个种源各自独立成组。亚组的聚类结果说明在地理因子相近的条件下,遗传因子在表型性状变异中具有主要作用,杜会聪等^[39]的研究结果也佐证了这一观点,即在所选研究对象的分布范围较小时,遗传因子是导致表型性状出现差异的主要原因。另外,根据亚组 I 1 的聚类结果,推测贵州省赤水市复兴镇与四川省合江县五通镇的种源的原产地可能相同,而与同一个市的旺隆镇的种源的原产地可能不同。

综上所述,不同石斛种源的营养器官和花器官性状的多样性丰富,种源间变异是其表型性状变异的主要来源,不同石斛种源的表型性状呈现以经纬度主导的地理变异模式。在本研究中,并没有对石斛的表型质量性状(植株茎、叶和花的形态和颜色)以及种实性状(种子质量和果实质量等)等进行考察,缺乏表型性状变异与气候因子的相关性分析,且对不同石斛种源的表型性状变异与其遗传变异的一致性也缺乏深度研究,因此,后续将进一步对这些科学问题进行研究和探讨。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第十九卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 111-113.
- [2] 武 婷, 张茂生, 张建永, 等. 金钗石斛中一个新的卡达烯倍半萜葡萄糖苷[J]. 药学学报, 2019, 54(7): 1257-1259.
- [3] 肖世基, 刘 珍, 张茂生, 等. 金钗石斛中一个新的联苯类化合物[J]. 药学学报, 2016, 51(7): 1117-1120.
- [4] 陆安静, 余丹丹, 何慧雨, 等. 金钗石斛居群内石斛碱的含量差异比较[J]. 遵义医科大学学报, 2020, 43(1): 41-46.
- [5] YANG S, GONG Q, WU Q, et al. Alkaloids enriched extract from *Dendrobium nobile* Lindl. attenuates tau protein hyperphosphorylation and apoptosis induced by lipopolysaccharide in rat brain [J]. *Phytomedicine*, 2014, 21: 712-716.
- [6] 姜 宁, 范琳犀, 杨玉洁, 等. 金钗石斛提取物对慢性不可预见应激模型小鼠的抗抑郁作用[J]. 生理学报, 2017, 69(2): 159-166.
- [7] BHATTACHARYYA P, KUMARIA S, DIENGDH R, et al. Genetic stability and phytochemical analysis of the *in vitro* regenerated plants of *Dendrobium nobile* Lindl., an endangered medicinal orchid[J]. *Meta Gene*, 2014, 2: 489-504.
- [8] YAN W, HOU B, XUE Q, et al. Different evolutionary processes in shaping the genetic composition of *Dendrobium nobile* in southwest China[J]. *Genetica*, 2015, 143: 361-371.
- [9] LU J J, KANG J Y, FENG S G, et al. Transferability of SSR markers derived from *Dendrobium nobile* expressed sequence tags (ESTs) and their utilization in *Dendrobium* phylogeny analysis[J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 158: 8-15.
- [10] 李园园, 蔡 莉, 杨继勇, 等. 基于 *ITS2* 和 *psbA-trnH* 序列的金钗石斛 DNA 条形码鉴定研究[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(8): 3516-3524.
- [11] 牛俊奇, 苏建睦, 王小敏, 等. 基于高通量测序的金钗石斛叶转录组数据分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(3): 747-756.
- [12] 李 清, 李 标, 郭顺星. 金钗石斛磷酸甲羟戊酸脱羧酶基因的克隆及表达分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(2): 850-858.
- [13] 赵 桦, 张舒婷, 刘蒲东, 等. 石斛 *JmjC* 基因家族的鉴定及响应不同光周期的表达分析[J]. 园艺学报, 2020, 47(8): 1505-1520.
- [14] 江爱明, 曹 婷. 秦巴山区及毗邻地区野生金钗石斛组织培养与快速繁殖[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2016, 50(3): 417-422.
- [15] 闻真珍, 何春梅, 刘运权, 等. 农杆菌介导的 *DnMADS2* 基因转化金钗石斛初步研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(11): 2188-2191.
- [16] 王 昊, 邓柠檬, 张雅文, 等. 金钗石斛转基因体系的建立[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2019, 51(2): 62-68.
- [17] 肖 玉, 杨曾奖, 林国雄, 等. 不同附主树种对金钗石斛生长的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2410-2414.
- [18] 胡小京, 曾燕颖, 敖飞雄, 等. 不同栽培基质对两种石斛生长及生理的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2019, 44(11): 29-35.
- [19] BHATTACHARYYA P, KUMARIA S. Molecular characterization of *Dendrobium nobile* Lindl., an endangered medicinal orchid, based on randomly amplified polymorphic DNA [J]. *Plant*

- Systematics and Evolution, 2015, 301: 201-210.
- [20] BHATTACHARYYA P, KUMARIA S, KUMAR S, et al. Start Codon Targeted (SCoT) marker reveals genetic diversity of *Dendrobium nobile* Lindl., an endangered medicinal orchid species [J]. Gene, 2013, 529: 21-26.
- [21] BHATTACHARYYA P, KUMARIA S, TANDON P. Applicability of ISSR and DAMD markers for phyto-molecular characterization and association with some important biochemical traits of *Dendrobium nobile*, an endangered medicinal orchid [J]. Phytochemistry, 2015, 117: 306-316.
- [22] 张明宇, 虞泓, 袁峰. 云南金钗石斛居群 DALP 遗传变异研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(22): 3866-3870.
- [23] 江爱明, 曹俊, 蔡高磊. 秦巴山区石斛属亲缘关系及金钗石斛遗传多样性 ISSR 分析[J]. 西北植物学报, 2016, 36(10): 1977-1983.
- [24] 黄芯琦, 钟可, 韩楷, 等. 不同产地金钗石斛的性状及显微特征统计研究[J]. 中草药, 2020, 51(8): 2226-2231.
- [25] 余文霞, 董晓曼, 雷霄熙, 等. 铁皮石斛栽培居群农艺性状的聚类分析[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(1): 53-58.
- [26] 段艳岭, 范义荣, 敖素燕, 等. 寒兰种质资源表型性状多样性分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(16): 143-147.
- [27] 周妍慧, 贾瑞冬, 杨树华, 等. 杏黄兜兰居群表型多样性分析[J]. 园艺学报, 2016, 43(7): 1337-1347.
- [28] 苏泽春, 赵菊, 李兆光, 等. 滇西北野生牡丹天然居群的表型多样性[J]. 中国农学通报, 2018, 34(7): 65-71.
- [29] 丹曲, 方江平, 郭其强, 等. 草本双子叶植物表型多样性研究进展[J]. 吉林农业, 2015, 16(8): 62-64.
- [30] 经建永, 颜刚刚, 欧阳丽婷, 等. 新疆野生欧洲李表型性状多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(2): 28-37.
- [31] 李华锋, 滕杰, 杨家干, 等. 连南栽培型古茶树资源叶片表型性状遗传多样性及聚类分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(36): 109-114.
- [32] 郭松, 李在留, 薛建辉, 等. 不同种源掌叶木果实和种子表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 11-20.
- [33] 杨晓霞, 冷平生, 郑健, 等. 暴马丁香不同种源种子和幼苗的表型性状变异及其与地理-气候因子的相关性[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(3): 80-89.
- [34] 张翠琴, 姬志峰, 林丽丽, 等. 五角枫种群表型多样性[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5343-5352.
- [35] 向贵生, 王其刚, 蹇洪英, 等. 云南川滇蔷薇天然居群表型多样性分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40(4): 786-794.
- [36] 程浩, 徐玉凤, 王文晓, 等. 中国硬叶兜兰主要分布区居群表型多样性分析[J]. 园艺学报, 2020, 47(6): 1098-1110.
- [37] 向贵生, 王其刚, 蹇洪英, 等. 云南川滇蔷薇天然居群表型多样性分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40(4): 786-794.
- [38] 李颖, 张树航, 郭燕, 等. 中国板栗9个结果母枝相关表型性状遗传多样性研究[J]. 园艺学报, 2019, 46(3): 453-463.
- [39] 社会聪, 蒋雅婷, 张莹, 等. 浙江省蜡梅野生种群种实表型性状变异及其与土壤相关因子的关系[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 77-84.

(责任编辑:郭严冬)

《植物资源与环境学报》启事

为了扩大科技期刊的信息交流、充分实现信息资源共享,《植物资源与环境学报》已先后加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据—数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”等网络文献资源数据库,凡在本刊发表的论文将编入数据库供上网交流、查阅及检索,作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另付。如作者不同意将文章收编入数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《植物资源与环境学报》编辑部目前仅接受网上投稿,投稿网址为 <http://zwzy.cnbg.net>; 投稿咨询电话: 025-84347014; E-mail: zwzybjb@163.com; QQ: 2219161478。

《植物资源与环境学报》编辑部
2021-03