

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202211002

马道承, 杨有兴, 陈文浪, 等. 20 个赤苍藤种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价 [J]. 广西植物, 43(11): 2091–2105.

MA DC, YANG YX, CHEN WL, et al., 2023. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic characters in 20 germplasm resources of *Erythralum scandens* [J]. *Guihaia*, 43(11): 2091–2105.



20 个赤苍藤种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价

马道承¹, 杨有兴², 陈文浪¹, 万秀勇², 潘淑民¹, 文国荣², 王凌晖^{1*}

(1. 广西大学 林学院, 南宁 530004; 2. 南宁市农业科学研究所, 南宁 530021)

摘要: 分析木本蔬菜赤苍藤不同种质资源的表型性状特点, 为筛选出叶大、枝条生长旺盛的赤苍藤优良种源奠定基础, 该研究以来自越南及中国 3 省(区)(广西、广东、福建)的 20 个赤苍藤种源为对象, 对 12 个叶性状及 4 个枝条性状进行测定及计算, 对各性状进行描述统计、方差分析及性状相关性分析, 采用主成分分析法计算各种源主成分得分并对各种源进行聚类, 对不同赤苍藤种源表型性状进行统计、分类及评价。结果表明: (1) 各赤苍藤种源间大多数叶、枝条性状存在显著或极显著差异。种源内各性状变异系数变化幅度不尽相同。种源间各性状变异系数变化幅度依次为叶功能性状(15.42%~70.01%)>枝条性状(20.57%~71.71%)>叶形态性状(3.39%~20.01%); 种源内表型变异更突出。(2) 就性状间相关性而言, 叶形态性状及叶功能性状指标间多为极显著相关, 新枝数量与节间数、新叶数极显著相关, 但与叶形态性状的相关关系不明显。(3) 16 个表型性状共可提取 4 个主成分, 累计贡献率达 85.528%。4 个主成分分别体现出叶的形态、枝叶萌发生长、叶形状及叶干物质积累及枝条增粗状况。(4) 对 20 个种源进行聚类分析可分为三大类, 一类为叶大、生长良好的种源, 一类为叶较小、枝条生长旺盛的种源, 还有一类种源综合表现不突出。各大类种源中的小类在地理分布上较为接近。(5) 福建安溪及福清的种源可选择为大叶种源; 广西大新、上思和桂平的种源可选择为枝条生长旺盛种源。综合来看, 中国福建安溪种源综合表现最佳, 其次为中国福建福清、中国广东海丰、中国广西南宁、越南高平茶陵。广西昭平、宜州的两种源综合表现最差, 不适宜广西南宁地区引种栽培。部分种源中存在生长表现突出的优良单株, 可将此类植株开发为无性系, 进行更深入的种源试验。该研究结果为赤苍藤种源表型性状分析及广西南宁引种初步表现提供了科学依据, 为筛选、培育高产赤苍藤品种奠定了基础。

关键词: 赤苍藤, 木本蔬菜, 种质资源, 表型性状, 遗传多样性, 综合评价

中图分类号: Q945; Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2023)11-2091-15

Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic characters in 20 germplasm resources of *Erythralum scandens*

收稿日期: 2023-01-29

基金项目: 广西林业科技项目(桂林科研[2021]16号); 2022年广西壮族自治区财政林木良种繁育补助项目“木本蔬菜种质资源调查收集与基因库建立”; “南宁树木园林下木本蔬菜种植技术研究与示范”项目(南宁树木园科学2018-1号); 广西研究生教育创新计划资助项目(YCSW2022015)。

第一作者: 马道承(1998-), 博士研究生, 研究方向为园林植物栽培与育种, (E-mail)2418063235@qq.com。

*通信作者: 王凌晖, 博士, 教授, 研究方向为森林培育与植物栽培育种, (E-mail)wanglinghui97@163.com。

MA Daocheng¹, YANG Youxing², CHEN Wenlang¹, WAN Xiuyong², PAN Shumin¹,
WEN Guorong², WANG Linghui^{1*}

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Nanning Institute of Agricultural Sciences, Nanning 530021, China)

Abstract: In order to analyze the phenotypic characters of different germplasm resources of woody vegetable *Erythralum scandens* and lay a foundation for selecting excellent *E. scandens* resources with large leaf and vigorous branch. In this study, 20 provenances from Vietnam and three provinces (regions) in China (Guangxi, Guangdong and Fujian) were selected as the research objects. Twelve leaf characters and four branch characters were measured and calculated. Descriptive statistics, variance analysis and correlation analysis were performed, and the phenotypic characters of different *E. scandens* resources were counted, classified and evaluated. The results were as follows: (1) There were significant or extremely significant differences in most leaf and branch characters among different resources. The rangeabilities of the coefficient variation (CV) of all characters within provenances were not the same. The rangeability order of the coefficient variation of all characters among different resources was leaf functional character (15.42% - 70.01%) > branch character (20.57% - 71.71%) > leaf morphological character (3.39% - 20.01%). Phenotypic variation within provenance was more prominent. (2) In terms of correlation between leaf morphological character and leaf functional character, there was a significant correlation between number of new branches, number of internodes and number of new leaves, but there was no significant correlation between number of new branches and leaf morphological characters. (3) Four principal components could be extracted from 16 phenotypic characters, and the total contribution rate was 85.528%. Four principal components reflected leaf morphology, leaf germination and growth, leaf shape, dry matter accumulation and branch thickening, respectively. (4) Cluster analysis of 20 resources could be divided into three categories, one had large leaves and good growth condition, one had small leaves and vigorous branches, and the other one was not outstanding in comprehensive performance. The geographical distribution of the subgroups of the major resources was close to each other. (5) Anxi and Fuqing in Fujian could be selected as resources with large leaves; Daxin, Shangsi and Guiping in Guangxi could be selected as resources with strong branches. In conclusion, the provenance of Anxi in Fujian has the best comprehensive performance, followed by Fuqing, Haifeng, Nanning in China and Chaling in Vietnam. Zhaoping and Yizhou has the worst comprehensive performance and they are not suitable for cultivation in Nanning. In some resources, there are excellent single plants with outstanding growth performances, which could be developed into clones for further provenance tests. This study provides a scientific basis for the analysis of phenotypic characters and the initial performance of different *E. scandens* germplasm resources in Nanning, and lay a foundation for screening and breeding high-yield *E. scandens* varieties.

Key words: *Erythralum scandens*, woody vegetable, germplasm resources, phenotypic characters, genetic diversity, comprehensive evaluation

赤苍藤 (*Erythralum scandens*) 为铁青树科、赤苍藤属的一种常绿木质藤本植物。其具有食用、药用、观赏等多种功能且营养价值高,在桂、粤、闽、滇等省(区)常被用作木本蔬菜(隆卫革等, 2017)。目前,赤苍藤栽培技术、药用成分分析方面研究较为常见(梁臣艳等, 2017; 符策等, 2019)。为探究其丰产栽培及苗期抚育措施,已陆续出现了有机肥配施(郭品湘, 2020)、氮磷钾配比施肥(马道承等, 2022a, b)、生长调节剂(刘芳等, 2022)等相关研究。但赤苍藤的嫩芽、叶部分

目前在华南、西南地区多作为木本蔬菜供人食用,前期研究发现,在实际生产中,其芽叶及嫩枝产量仍待提升。选育优良品种并使其丰产是目前赤苍藤发展中的重要目标。

植株表型性状包含肉眼或仪器可测量的植物特征及植物不同器官的解剖学结构,是植物性状特征的外在体现。而形态学标记范畴可包含植物营养器官(茎、叶、株型等)、生殖器官(花、果实、种子等)等外部形态的表现及部分器官内部解剖结构的相关表现及性状(根系、茎、叶等器官的解剖结构),

可作为植物遗传多样性差异的衡量标准。不同表型性状的指标及表型变异丰富度反映出植物遗传多样性及不同种质间的遗传关系(张志毅, 2012; 马道承等, 2022c)。叶是植物个体中最易采集的营养器官, 而枝条生长易于观测, 二者常用于植物遗传多样性分析, 并可衡量木本蔬菜、药用植物等作物的产量及经济效益。近年来, 辣木(*Moringa oleifera*) (Ganesan et al., 2014)、香椿(*Toona sinensis*) (班骞等, 2016)、罗勒(*Ocimum basilicum*) (Dridi et al., 2017)、苦苣菜(*Ixeris polycephala*) (吴军等, 2018)、北艾(*Artemisia vulgaris*) (Jogam et al., 2020)、枸杞属(*Lycium*) (唐燕等, 2021) 等多种叶菜类植物均被进行了基于叶及枝条种质资源遗传多样性分析。在以上树种的报道中, 通过对各植物表型性状及农艺性状的测定及分析可揭示不同植物种质资源的遗传多样性并选择出表现良好、值得推广的种质资源, 但因目前木本蔬菜可包含叶菜、花菜、果菜、茎菜等种类(秦飞等, 2005), 其种质资源的评价方式、优良种质选育等方面尚需建立更为成熟、统一的方法及研究体系。

目前, 对赤苍藤分子生物学及种质资源的研究仅限于不同器官的转录组分析和基因表达研究(韦婉玲等, 2022)、DNA 提取方式及叶绿体基因序列测定(Zhu et al., 2018)、品种选育及引种驯化(张尚文等, 2020)、基于 ISSR 及 SCoT 的种质资源指纹图谱构建(杨天为等, 2022)、品种发芽率探究(符策等, 2022) 等方面, 报道非常有限。其中, Zhu 等(2018) 对赤苍藤进行了叶绿体基因序列测定, 发现其质体组长度为 156 154 bp, 包含 2 个倒置重复区(26 394 bp)、1 个大单拷贝区(84 799 bp) 和 1 个小单拷贝区(18 567 bp), 质体的 112 个基因中蛋白质编码基因、tRNA 基因和 rRNA 基因数量分别为 79 个、29 个和 4 个; 张尚文等(2020) 首次提出‘桂赤苍藤 1 号’‘桂赤苍藤 2 号’两个赤苍藤品种, 并在广西、河南两地进行试种; 杨天为等(2022) 对 24 份赤苍藤种质资源进行 ISSR 及 SCoT 分子标记, 将 24 份赤苍藤种质聚为 3 类并分别构建指纹图谱。但以上研究仅解释了赤苍藤叶绿体基因序列 DNA 的情况及 24 份种质单独标记后绘制指纹图谱, 未能完成种源、居群等范围的系统研究, 无法从群体遗传学的角度深入解释赤苍藤丰富的遗传多样性是何种原因形成的且鲜见赤苍藤种质资源的表型性状标记。此外, 张

尚文等(2020) 和符策等(2022) 的研究中提及的‘桂赤苍藤 1 号’‘桂赤苍藤 2 号’‘龙州金龙红芽’‘越南红芽’等红芽、绿芽品种尚未得到广泛、有效宣传及推广。民间对赤苍藤野生种质资源破坏较多、缺乏保护措施, 目前尚未出现成熟的种质资源收集圃。赤苍藤种质资源尚未建立有成熟的收集方法、各省(区、市) 野生种质遗传多样性及亲缘关系鲜见研究。故赤苍藤良种选育及推广仍需按照种质资源收集及遗传多样性分析、选择、培育的顺序依次进行。

基于此, 本研究以分布于越南及中国的广西、广东、福建的共 20 个赤苍藤种源为对象, 测定并计算 8 个叶形态性状、4 个叶功能性状和 4 个枝条性状, 对各性状进行描述统计、方差分析以及性状相关性分析、主成分分析、聚类分析, 通过分析各种源性状及不同赤苍藤种源基于主成分分析及聚类分析的分类, 拟探讨:(1) 赤苍藤不同种源表型变异及遗传多样性水平如何;(2) 不同性状之间有何关联;(3) 基于 16 个表型性状可将 20 个赤苍藤种源作何分类;(4) 各类赤苍藤种源在广西南宁引种的表现如何, 良种选育环节如何进行选择及推广。旨在分析各地赤苍藤种源的表型性状, 并初步筛选出具有叶大、分枝多、生长旺盛等优良性状的赤苍藤种源, 为后期推广栽培及培育高产赤苍藤品种提供一定的参考。

1 材料与方 法

1.1 试验地及供试材料

因目前民间将赤苍藤视为木本蔬菜大肆采摘, 故其野生种质资源破坏较严重。本研究中不同赤苍藤种源植株从苗木公司处收集。2020 年间收集越南茶陵及中国广西、广东及福建共计 20 个种源, 每个种源收集 4~10 个植株的枝条扦插成活。若种源植株数量小于 10, 则将该种源植株枝条全部收集。种源来源及数量信息如表 1 所示。2021 年春季将收集来的各种源赤苍藤植株统一种植于广西南宁市农业科学研究所(108.31° E、22.91° N) 大棚中, 棚上方由一层塑料薄膜与一层黑色遮阴网构成。该地属于亚热带季风气候, 年均温、年均降水量分别为 21.6 °C、1 304 mm, 适宜赤苍藤植株的生长。其中, 越南种源 1 个, 中国广西种源 11 个, 中国广东种源 6 个, 中国福建种源 2 个。

表 1 赤苍藤种质资源来源、代号及植株数量

Table 1 Source, code and number of *Erythralum scandens* germplasm resources

地区 Region	名称/ 代号 Name/ code	数量 Number (plant)	地区 Region	名称/ 代号 Name/ code	数量 Number (plant)	地区 Region	名称/ 代号 Name/ code	数量 Number (plant)	地区 Region	名称/ 代号 Name/ code	数量 Number (plant)
越南高平 Cao Bang, Vietnam	茶陵/CL	8	中国广西 Guangxi, China	合浦/HP	8	中国广西 Guangxi, China	昭平/ZP	7	中国广东 Guangdong, China	怀集/HJ	6
中国广西 Guangxi, China	大新/DX	10		柳南/LN	7		荔浦/LP	6		龙门/LM	8
	上思/SS	10		兴业/GXXY	9	中国广东 Guangdong, China	廉江/LJ	7		海丰/HF	5
	南宁/NN	9		桂平/GP	6		信宜/GDXY	9	中国福建 Fujian, China	安溪/AX	4
	宜州/YZ	10		岑溪/CX	9		罗定/LD	6		福清/FQ	6

1.2 指标测定

2022年7月对各种源植株进行叶、枝条表型性状测定。使用钢卷尺测定赤苍藤上部枝条顶芽向下数第3~7片成熟功能叶的叶长、最大叶宽、叶长中部宽度(叶中宽)及叶柄长,精确到0.1 cm,同时计算出叶长与最大叶宽的比值(即叶形指数)、叶长与叶中宽的比值(leaf length and 1/2 leaf width ratio, LWR)及叶宽与叶中宽的比值(leaf width and 1/2 leaf width ratio, WWR),精确到0.01;使用钢卷尺测量植株新生枝条长度,精确到0.1 cm;使用电子数显游标卡尺测定叶片厚度及新枝粗度(若供试赤苍藤植株成熟功能叶较少,叶则至少选择上部枝条中的3片进行测定。在枝条性状测定时,新枝长度、节间数应累加植株所有新枝的测定值,新枝粗度则将该植株所有新枝粗度求取平均值)。待以上测定结束后,每个植株选取3片成熟功能叶,依次使用自来水、去离子水洗净,105℃杀青30 min后70℃烘干至恒重,使用电子天平称量单叶干重,精确到0.1 g。比叶面积为单叶比叶面积与该叶干重的比值,精确到0.01。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel 2016软件对各类指标数据进行整理,之后采用SPSS 18.0软件进行描述统计、方差分析,分别计算各种源赤苍藤叶及枝条性状的平均值、标准差,并计算变异系数CV(标准差/平均值×100),之后采用Duncan新复极差法进行多重比较。进行方差分析、多重比较前需对数

据进行正态分布及方差齐性检验,若发现不符合则需进行数据转换。使用SPSS 18.0软件中“Pearson相关性分析”的“双变量”方法对各性状进行相关性检验,之后使用主成分分析法分析各种源叶及枝条性状并计算其主成分及综合得分,并使用R4.2.2软件中“ggfortify”包绘制主成分分析图。最终使用聚类分析对20个种源进行性状聚类,以确定各种源间基于表型性状的亲缘关系。

2 结果与分析

2.1 不同赤苍藤野生种源叶形态变异

由表2可知,20个赤苍藤种源之间8项叶形态指标(叶长、最大叶宽、叶中宽、叶柄长、叶厚度、叶形指数、WWR及LWR)差异均达到极显著水平($P < 0.01$)。就种源内变异系数而言,叶柄长、叶形指数的变化幅度最大,分别为6.53%(南宁)~38.68%(上思)和4.90%(柳南)~20.12%(昭平)。8个叶形态性状平均变异系数从大到小依次为叶柄长(20.01%)>叶厚度(11.69%)>LWR(11.01%)>叶形指数(9.62%)>叶长(8.47%)>叶中宽(8.02%)>最大叶宽(7.59%)>WWR(3.39%)。可见,赤苍藤不同性状变异幅度不尽相同,不同种源植株叶柄长、叶厚度二者变异幅度最大。

在所有种源中,福清种源叶长、最大叶宽、叶中宽均最大,叶整体宽阔;安溪种源叶柄最长;南宁种源叶最厚;昭平、怀集两种源叶形指数最大,

表 2 不同种源赤苍藤叶形态指标测定

Table 2 Determination of leaf morphological indices of different resources of *Erythralum scandens*

地区 Region	名称/ 代号 Name/ code	叶长 Leaf length (cm)		最大叶宽 Maximum leaf width (cm)		叶中宽 1/2 leaf width (cm)		叶柄长 Leaf stalk length (cm)	
		\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)
		P 值				<0.01			
越南高平 Cao Bang, Vietnam	茶陵/CL	13.73bcde	10.92	10.55b	12.70	9.32b	11.70	6.88b	26.74
中国广西 Guangxi, China	大新/DX	12.07fg	9.11	8.61c	8.01	7.74de	8.40	4.39de	19.13
	上思/SS	12.59efg	7.63	8.78c	9.11	7.54ef	7.43	4.99cd	38.68
	南宁/NN	14.59abc	6.37	10.52b	5.51	9.01bc	5.99	5.51bcd	6.53
	宜州/YZ	13.16def	7.07	8.59c	5.70	7.69de	5.59	4.34de	11.98
	合浦/HP	11.67g	7.63	9.27c	8.95	8.43cd	11.98	5.10cd	24.90
	柳南/LN	12.35efg	7.29	8.69c	4.83	7.57ef	4.49	4.87cd	31.01
	兴业/GXXY	12.55efg	5.82	8.66c	9.24	7.63de	8.78	4.52d	14.82
	桂平/GP	12.67efg	9.87	8.37c	3.82	7.24ef	7.73	4.63d	10.58
	岑溪/CX	12.93defg	14.08	8.57c	8.40	7.35ef	10.61	5.32cd	21.43
	昭平/ZP	12.01fg	9.49	7.53d	13.28	6.75f	12.15	2.96e	16.89
中国广东 Guangdong, China	荔浦/LP	13.63bcde	12.91	8.91c	7.30	7.57ef	5.42	5.18cd	18.34
	廉江/LJ	13.38cdef	8.15	8.49c	5.18	7.48ef	6.15	4.82cd	12.24
	信宜/GDXY	13.22cdef	8.32	8.99c	3.67	7.81de	3.07	4.74cd	12.45
	罗定/LD	12.67efg	4.03	8.93c	4.59	7.78de	3.60	4.78cd	15.48
	怀集/HJ	13.71bcde	6.56	8.42c	8.19	7.30ef	9.18	4.35de	22.99
	龙门/LM	13.55cde	8.19	9.32c	7.51	7.81de	8.83	5.73bcd	21.99
	海丰/HF	14.25abcd	8.70	10.58b	4.25	9.30b	7.42	6.28bc	12.26
中国福建 Fujian, China	安溪/AX	14.98ab	9.55	11.76a	13.52	10.18a	14.34	9.45a	28.04
	福清/FQ	15.39a	7.80	11.85a	8.02	10.38a	7.61	8.61a	33.80
P 值		<0.01		<0.01		<0.01		<0.01	
地区 Region	名称/ 代号 Name/ code	叶厚度 Leaf thickness (mm)		叶形指数 Leaf shape index		叶宽与叶中宽的比值 WWR		叶长与叶中宽的比值 LWR	
		\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)
		P 值				<0.01			

注: 不同小写字母表示同一指标、不同种源间在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Notes: Different lowercase letters indicate the same index and different provenances are significantly different at 0.05 level ($P < 0.05$). The same below.

叶最为狭长;而 WWR 和 LWR 最大的分别为龙门和怀集种源。纵观所有种源,除叶形指数外,剩余指标地理位置越往东时均呈先增后减趋势,其中越南高平茶陵、中国福建及两广南部多数种源叶长、最大叶宽、叶中宽及叶柄长均较突出,叶较大。越往北性状变化趋势存在波动,但部分种源叶逐渐变得狭长。南宁种源叶形态指标综合表现及排名呈中上水平。可见,赤苍藤不同种源间各项叶形态指标存在不同程度的变异。

2.2 不同赤苍藤野生种源叶功能性状变异

由表 3 可知,4 项叶功能指标(单叶面积、单叶干重、比叶面积和新叶数)中,除新叶数不同种源间差异显著($P < 0.05$)外,其余 3 项指标种源间差异均达到了极显著水平($P < 0.01$)。各种源内变异系数浮动均明显,新叶数、比叶面积、单叶干重、单叶面积的变异系数范围分别为 6.07%(桂平)~23.01%(信宜)、11.67%(柳南)~40.91%(岑溪)、5.59%(安溪)~40.06%(上思)和 34.65%(宜州)~166.92%(茶陵)。4 个叶功能指标变异系数依次为新叶数(70.01%)>比叶面积(25.30%)>单叶干重(24.96%)>单叶面积(15.42%)。可见,新叶数量变异幅度在此 4 项指标中最大,而单叶面积变异幅度最小。

所有种源中,福清种源单叶面积、单叶干重最大,单叶生物量积累最多;上思种源比叶面积最大,单位面积叶积累干物质最多;桂平种源新叶数量最多。纵观所有种源,越往东赤苍藤种源的叶干重、叶面积逐渐增大,而比叶面积及新叶数呈先增后减趋势。叶功能性状随纬度变化趋势较经度变化不显著。福建、广西及广东南部的种源单叶面积普遍较大,其干重、比叶面积等亦较为突出,叶呈现宽大且生物量积累丰富的趋势;桂平、大新的种源新叶数量最多,而广东、福建的种源新叶普遍偏少。南宁种源表现呈中上水平。此外,不同种源赤苍藤植株新叶数变异幅度远高于其他 3 项指标。本研究还发现,不同种源赤苍藤植株中存在一定数量的优良植株,其叶功能性状表现远优于同种源中其他植株。例如,越南茶陵种源中一株比叶面积及新叶数分别达到 $317.782 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 和 438 片;广西大新种源中存在两个优良植株,新叶数分别为 380 片和 487 片。此现象的产生致使叶功能性状变异系数幅度整体高于叶形态性状。

2.3 不同赤苍藤野生种源枝条性状变异

由表 4 可知,4 项枝条性状指标(新枝数量、节间数、新枝平均长度及新枝粗度)中,除新枝数量未达显著差异($P > 0.05$)外,剩余 3 项指标种源间差异均达到极显著水平($P < 0.01$)。新枝数量、节间数、新枝平均长度、新枝粗度的变异系数范围分别为 24.91%(昭平)~173.14%(茶陵)、37.53%(宜州)~167.84%(茶陵)、31.93%(安溪)~79.87%(荔浦)和 7.75%(宜州)~58.19%(荔浦)。此外,各枝条性状种源间变异系数差距较大,排序为节间数(71.71%)>新枝数量(69.11%)>新枝平均长度(51.50%)>新枝粗度(20.57%)。可见,节间数、新枝数量变异幅度在枝条指标中最大,而新枝粗度变异幅度最小。

所有种源中,柳南种源新枝数量最多,桂平种源节间数最多、新枝平均长度最长,而荔浦种源新枝最粗。纵观所有种源,越往东赤苍藤种源枝条性状多呈降低趋势,可见东部种源枝条生长情况不甚良好;北部种源枝条生长亦不甚突出。其中,广西中部、南部种源枝条较为粗壮且平均长度较长,福建、广东等地种源枝条生长表现不佳。部分种源中存在一定数量的优良植株,其节间数、新枝数量方面明显高于同种源甚至其他种源中的植株。中国桂平种源中节间数最多的植株达 388 个,节间数均值仅次其的中国大新种源中有一植株甚至高达 460 个;中国柳南种源中新枝数量最多的植株有 24 个枝条,而越南茶陵中发现一株,枝条数量甚至高达 46 个。可见,赤苍藤枝条性状的差距主要表现在节间数与新枝数量方面,整体变异情况较高且受种源内单株表现的影响较大。

2.4 不同赤苍藤种源叶及枝条性状相关性分析

对 20 个种源赤苍藤的 16 项表型指标进行 Pearson 双变量相关性分析结果(表 5)表明,各类叶及枝条性状间存在的相关关系不尽相同。其中,叶形态指标之间彼此相关关系较为突出,以叶长、最大叶宽、叶中宽及叶柄长为主,可见叶片大小与其长、宽及叶柄之间的关联密切。叶形态指标与叶干重多呈显著或极显著正相关,可见叶片越大,干物质积累越多,但单位面积干物质积累能力则下降;叶形态指标与功能指标间多呈负相关,可见叶片越大,其枝条生长能力则越弱。叶功能性状间彼此多呈现极显著相关关系。4 项枝条性状中,枝条数量与节间数相关关系达极显著水平,

表 3 不同种源赤苍藤叶功能性指标测定

Table 3 Determination of functional indices of leaves from different resources of *Erythralum scandens*

地区 Region	名称/代号 Name/Code	单叶面积 Single leaf area (cm ²)		单叶干重 Single leaf dry weight (g)		比叶面积 Specific leaf area (cm ² · g ⁻¹)		新叶数 Number of new leaves	
		\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)
越南高平 Cao Bang, Vietnam	茶陵/CL	83.84efg	20.57	0.38fgh	15.79	229.19bc	26.40	85.75b	166.92
中国广西 Guangxi, China	大新/DX	84.59efg	18.50	0.34fgh	32.35	264.98bc	30.18	231.10a	66.04
	上思/SS	93.76def	17.67	0.29h	37.93	365.49a	40.06	195.20ab	98.21
	南宁/NN	113.95abcd	13.99	0.52cde	26.92	241.31bc	39.94	136.33ab	57.27
	宜州/YZ	73.88fg	8.34	0.37fgh	21.62	209.82bc	22.68	172.20ab	34.65
	合浦/HP	103.31cde	8.01	0.48cdef	20.83	223.63bc	21.25	112.75ab	86.64
	柳南/LN	130.07ab	22.62	0.60abcd	11.67	219.08bc	25.05	157.57ab	63.03
	兴业/GXXY	77.03fg	17.41	0.30gh	20.00	264.53bc	22.08	173.00ab	51.38
	桂平/GP	82.53efg	6.07	0.30gh	33.33	300.34ab	39.44	238.00a	44.27
	岑溪/CX	107.51bcd	21.43	0.44defg	40.91	263.06bc	34.59	178.22ab	64.05
	昭平/ZP	69.97g	11.16	0.24h	25.00	294.92ab	13.46	147.14ab	59.64
中国广东 Guangdong, China	荔浦/LP	116.66abc	21.10	0.55bcd	20.00	217.83bc	26.34	109.50ab	69.33
	廉江/LJ	118.36abc	16.87	0.54bcd	20.37	224.62bc	16.50	109.43ab	50.79
	信宜/GDXY	128.66ab	23.01	0.68ab	30.88	200.77c	33.22	96.44b	65.54
	罗定/LD	108.91bcd	20.30	0.54bcd	31.48	207.39bc	17.03	68.83b	94.01
	怀集/HJ	112.38abcd	11.25	0.52cde	19.23	222.75bc	20.08	70.00b	35.63
	龙门/LM	122.69abc	11.08	0.59abcd	15.25	212.78bc	14.89	96.75b	75.64
	海丰/HF	109.04bcd	7.60	0.63abc	28.57	188.45c	39.93	146.20ab	69.02
中国福建 Fujian, China	安溪/AX	117.93abc	11.62	0.55bcd	12.73	216.06bc	5.59	73.75b	55.32
	福清/FQ	132.08a	19.70	0.70a	34.29	196.76c	17.29	78.83b	92.81
P 值		<0.01		<0.01		<0.01		<0.05	

也与新叶数量呈现极显著正相关,可见枝条生长与叶生长间相关关系很强,但新枝粗度与新枝平均长度、节间数、叶形态指标间亦无明显联系,可见赤苍藤增粗生长与枝条加长生长、叶片生长间无明显联系。

2.5 不同赤苍藤种源表型性状主成分分析及聚类分析

对本试验中测定的赤苍藤 16 个表型性状进行主成分分析,前 4 个主成分特征根大于 1,累计贡献率 85.528%。由表 6 和表 7 的主成分分析结果可知。主成分 1 贡献率为 48.599%,以叶形态性状中的叶长、最大叶宽、叶中宽和叶柄长荷载最大,主要体现出叶的形态生长状况,此主成分中福清、安溪、海丰的种源得分排名最高;主成分 2 贡献率为 19.025%,以新枝数量、新叶数和节间数荷载最大,主要体现枝条萌发、加长生长及叶生长的状况,此主成分中大新、上思、桂平的种源得分最高;主成分 3 贡献率为 11.430%,以 WWR、LWR 荷载最大,主要体现叶长、叶宽与叶中宽的比值,主要体现叶的形状,此主成分中南宁、桂平和荔浦的种

源得分最高;主成分 4 贡献率为 6.474%,以单叶面积、单叶干重和新枝粗度荷载最大,主要体现叶大小、干物质积累及枝条增粗生长状况,荔浦、合浦和柳南的种源得分最高。基于主成分分析结果绘制出图 1,由图 1 可知,赤苍藤种源表型性状与其地理分布存在一定的关联。中国福建 2 个种源关系较近,中国广西、广东多数种源关系较近,而越南高平茶陵种源与中国广西南宁、合浦及中国广东海丰的种源关联较强。

图 2 为不同种源赤苍藤基于表型性状的系统聚类结果。由聚类结果结合表 2-表 4 中的数据可知,依据本试验中测定的各项形态指标,可将 20 个赤苍藤种源分为三大类,其中,安溪、福清、海丰、南宁、茶陵、荔浦、合浦、龙门、信宜、柳南、罗定、廉江、怀集 13 个种源为第一类,此大类种源的叶普遍较大,以福建种源最为突出;岑溪、兴业、宜州、昭平 4 种源为第二类,分布于桂北及桂东北地区,此大类种源叶偏小且叶干物质积累、枝条生长等方面表现不甚突出;上思、大新、桂平 3 种源为

表 4 不同种源赤苍藤枝条生长状况测定

Table 4 Determination of growth status of branches of different resources of *Erythralum scandens*

地区 Region	名称/代号 Name/code	新枝数量 Number of new branches		节间数 Number of internodes		新枝平均长度 Average length of new branches (cm)		新枝粗度 New branch thickness (mm)		
		\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	
越南高平 Cao Bang, Vietnam	茶陵/CL	8.75a	173.14	67.25c	167.84	39.98ef	60.56	3.52bede	30.97	
中国广西 Guangxi, China	大新/DX	8.70a	71.03	212.70ab	66.94	143.45ab	40.06	3.91bede	18.67	
	上思/SS	8.90a	69.44	176.40abc	100.79	118.87abcd	58.81	4.30abcd	18.60	
	南宁/NN	8.33a	65.19	118.67abc	58.31	101.45abcde	65.46	3.96bede	17.42	
	宜州/YZ	7.00a	44.71	157.20abc	37.53	141.00ab	34.78	3.87bede	7.75	
	合浦/HP	7.00a	73.57	97.75bc	89.61	87.84bcdef	41.79	4.53ab	18.10	
	柳南/LN	10.57a	78.90	135.43abc	61.40	86.80bcdef	47.80	4.10abcde	23.66	
	兴业/GXXY	10.56a	51.23	150.89abc	53.75	94.96abcdef	72.42	3.86bede	26.17	
	桂平/GP	10.33a	46.08	216.33a	45.53	156.18a	37.89	4.09abcde	8.07	
	岑溪/CX	9.89a	58.14	157.44abc	67.05	95.01abcdef	54.26	3.66bede	17.76	
	昭平/ZP	5.86a	24.91	134.43abc	63.49	127.60abc	50.85	3.03e	15.18	
	荔浦/LP	5.17a	55.32	98.17bc	73.36	118.80abcd	79.87	5.19a	58.19	
	中国广东 Guangdong, China	廉江/LJ	6.71a	66.47	95.00c	49.47	100.14abcde	53.41	4.03abcde	26.80
		信宜/GDXY	7.33a	57.03	80.78c	69.63	67.41cdef	53.37	3.47bede	16.71
		罗定/LD	4.83a	104.35	58.17c	94.81	79.27bedef	54.79	3.22cde	14.60
怀集/HJ		5.17a	43.13	58.67c	37.98	60.46def	53.42	3.13de	23.00	
龙门/LM		7.25a	80.28	81.25c	77.01	59.17def	47.17	3.37bede	24.33	
中国福建 Fujian, China	海丰/HF	7.80a	55.38	129.60abc	72.57	102.54abcde	49.32	3.82bede	14.14	
	安溪/AX	7.75a	62.71	57.25c	54.43	30.72f	31.93	4.44ab	16.44	
	福清/FQ	6.17a	101.13	65.50c	92.73	59.16def	42.12	4.40abc	14.77	
P 值		>0.05		<0.01		<0.01		<0.01		

第三类,分布于桂南、桂西南地区,此大类种源叶偏小、狭长,但枝条节间数量多、生长旺盛。各大类赤苍藤种源中的小类在地理分布上均较为接近。综上可知,福建安溪及福清种源叶最大,可作为大叶种源引种;大新、上思和桂平种源分枝和节间数多,可作为枝条生长旺盛的种源引种;综合叶及枝条性状,福建安溪种源表现最佳,其次为福清、海丰、南宁、茶陵,昭平、宜州两种源在南宁生长表现最差。

3 讨论与结论

3.1 赤苍藤不同种源表型性状的多样性及其变异原因分析

作为植物体数量最多、最易于统计各类性状的器官,叶常被用作形态标记的重要材料,枝条亦可作为衡量遗传多样性的重要辅助性状。但是,二者的遗传变异受到植物体遗传因素、环境因素等多方面的影响,是植物遗传物质与环境共同作

用的结果(马道承等, 2022c)。在本研究中,叶形态性状、叶功能性状及枝条性状种源内变异系数范围分别为 1.72%~38.68%、5.59%~166.92%和 7.75%~173.14%,种源间变化范围分别为 3.39%~20.01%、15.42%~70.01%和 20.57%~71.71%,由此可以看出,本试验中 4 地区赤苍藤种源内变异程度大于种源间,与张莹等(2018)和贺思腾等(2021)分别对梨属(*Pyrus*)和多油辣木(*Moringa oleifera*)的研究结果类似赤苍藤种质资源具有较高的遗传多样性。以下为赤苍藤种源表型性状变异的原因分析。

3.1.1 内因(遗传因素、材料选择等方面的影响)

自身遗传因素的影响。植物在原生地长期的环境影响下,进化出对应的性状,从而更好地适应当地气候特征。本研究发现,赤苍藤种源东部叶逐渐变大、圆润,干物质积累逐渐增加,但枝条、节间等生长逐渐减缓。越往北叶越大,而形态越偏向狭长。这与宋杰(2013)等对云南含笑(*Micheliayunnanensis*)的研究结果类似,但与邓童等(2022)、

表 5 不同种源赤苍藤叶及枝条性状相关性分析

Table 5 Correlation analysis of leaf and branch characters of different resources of *Erythralium scandens*

指标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	1.000							
X2	0.818**	1.000						
X3	0.758**	0.988**	1.000					
X4	0.781**	0.939**	0.913**	1.000				
X5	0.790**	0.773**	0.710**	0.649**	1.000			
X6	-0.308	-0.792**	-0.823**	-0.720**	-0.480*	1.000		
X7	0.448*	0.181	0.027	0.252	0.488*	0.096	1.000	
X8	-0.179	-0.701**	-0.771**	-0.612**	-0.322	0.963**	0.357	1.000
X9	0.502*	0.427	0.354	0.458*	0.481*	-0.239	0.519*	-0.086
X10	0.580**	0.520*	0.476*	0.488*	0.490*	-0.309	0.371	-0.193
X11	-0.473*	-0.443	-0.454*	-0.379	-0.299	0.270	-0.025	0.248
X12	-0.227	-0.039	-0.045	0.007	-0.066	-0.193	0.051	-0.162
X13	-0.520*	-0.477*	-0.454*	-0.471*	-0.330	0.234	-0.172	0.185
X14	-0.513*	-0.458*	-0.437	-0.449*	-0.320	0.210	-0.161	0.165
X15	-0.518	-0.064**	-0.574**	-0.651**	-0.348	0.444*	-0.243	0.362
X16	0.184	0.323	0.317	0.383	0.329	-0.382	0.060	-0.331
指标 Index	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
X9	1.000							
X10	0.924**	1.000						
X11	-0.558*	-0.794**	1.000					
X12	-0.230	-0.343	0.416	1.000				
X13	-0.579**	-0.645**	0.660**	0.625**	1.000			
X14	-0.569**	-0.640**	0.659**	0.666**	0.999**	1.000		
X15	-0.561*	-0.566**	0.510*	0.187	0.851**	0.826**	1.000	
X16	0.225	0.139	0.007	0.106	0.119	0.121	0.152	1.000

注: X1. 叶长; X2. 最大叶宽; X3. 叶中宽; X4. 叶柄长; X5. 叶厚度; X6. 叶形指数; X7. WWR; X8. LWR; X9. 单叶面积; X10. 单叶干重; X11. 比叶面积; X12. 新叶数; X13. 新枝数量; X14. 节间数; X15. 新枝平均长度; X16. 新枝粗度。** 代表极显著相关关系 ($P<0.01$), * 代表显著相关关系 ($P<0.05$)。

Note: X1. Leaf length; X2. Maximum leaf width; X3. 1/2 leaf width; X4. Leaf stalk length; X5. Leaf thickness; X6. Leaf shape index; X7. WWR; X8. LWR; X9. Single leaf area; X10. Single leaf dry weight; X11. Specific leaf area; X12. Number of new leaves; X13. Number of new branches; X14. Number of internodes; X15. Average length of new branches; X16. New branch thickness. ** represents a very significant correlation ($P<0.01$), and * represents a significant correlation ($P<0.05$).

蒙检等(2022)对单叶蔷薇(*Rosa persica*)、观光木(*Michelia odora*)的研究结果有别。邓童等(2022)发现,新疆单叶蔷薇群体西部、北部群体其叶长、宽越大,叶趋于宽阔且偏厚,而分布地越往南其叶趋于狭长且干物质积累下降;蒙检等(2022)研究表明,观光木植株叶面积、叶干重随纬度上升而逐渐下降。由此可见,植物表型性状随环境因素的变化与植物种类、对环境的适应能力等因素有关。此外,植物性状随地理位置的变化趋势受到海拔、植株年龄等自身因素的影响。李因刚等(2014)对浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)的研究结果表明,其不同性状随经度、纬度变化趋势存在一定波动。综上所述,植物种类对环境的适应性及经纬度、海

拔等因素均对植物形态建成存在较大的影响,需根据实际因素决定。

取材部位及培育方式的影响。本研究发现,多个赤苍藤种源中存在一株或多株优良植株,其性状表现与同种源中其他单株明显不同,是造成种源内变异程度较高的主要原因。这可能与种源收集和扦插繁育时的取材部位、母株年龄等因素有关。刘桂英等(2016)对柴达木盆地3个黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)的研究表明,叶性状不同群体内、群体间的变异系数范围分别为0.69%~42.28%和1.39%~23.94%,枝条性状则分别为2.65%~14.65%和7.20%~8.57%,其中老枝上的叶形态性状变异系数高于木质化枝及当年生枝;

表 6 赤苍藤种源表型性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of phenotypic characters of *Erythralum scandens* resources

指标 Index	因子负荷 Factor loading				特征向量 Feature vector			
	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4
叶长 Leaf length	0.812	-0.031	0.337	-0.199	0.291	-0.018	0.249	-0.195
最大叶宽 Maximum leaf width	0.906	0.370	0.024	-0.130	0.325	0.212	0.018	-0.128
叶中宽 1/2 leaf width	0.876	0.420	-0.105	-0.093	0.314	0.241	-0.078	-0.091
叶柄长 Leaf stalk length	0.870	0.338	0.081	-0.142	0.312	0.194	0.060	-0.139
叶厚度 Leaf thickness	0.730	0.193	0.445	-0.079	0.262	0.111	0.329	-0.078
叶形指数 Leaf shape index	-0.661	-0.634	0.248	-0.053	-0.237	-0.363	0.183	-0.052
叶宽与叶中宽的比值 WWR	0.292	-0.269	0.816	-0.211	0.105	-0.154	0.604	-0.207
叶长与叶中宽的比值 LWR	-0.549	-0.661	0.456	-0.093	-0.197	-0.379	0.337	-0.091
单叶面积 Single leaf area	0.697	-0.350	0.326	0.323	0.250	-0.200	0.241	0.317
单叶干重 Single leaf dry weight	0.778	-0.358	0.145	0.356	0.279	-0.205	0.107	0.350
比叶面积 Specific leaf area	-0.673	0.357	0.231	-0.311	-0.241	0.204	0.171	-0.306
新枝数量 Number of new branches	-0.275	0.647	0.285	-0.208	-0.099	0.371	0.211	-0.204
节间数 Number of internodes	-0.754	0.530	0.287	0.099	-0.271	0.304	0.212	0.097
新叶数 Number of new leaves	-0.740	0.551	0.294	0.080	-0.266	0.316	0.217	0.079
新枝平均长度 Average length of new branches	0.782	0.240	0.216	0.346	-0.281	0.137	0.160	0.340
新枝粗度 New branch thickness	0.248	0.484	0.296	0.617	0.089	0.277	0.219	0.606

表 7 不同种源赤苍藤叶及枝条性状主成分分析得分情况

Table 7 Scores of principal component analysis of leaf and branch characters of different resources of *Erythralum scandens*

地区 Region	名称/代号 Name/Code	主成分 1 得分 PC1 score	主成分 2 得分 PC2 score	主成分 3 得分 PC3 score	主成分 4 得分 PC4 score	综合得分 Composite score	排序 Order
越南高平 Cao Bang, Vietnam	茶陵/CL	2.185	1.347	-1.938	-1.956	1.134	5
中国广西 Guangxi, China	大新/DX	-3.110	2.315	-0.765	0.739	-1.296	17
	上思/SS	-2.650	1.897	1.318	-0.622	-0.952	14
	南宁/NN	2.114	0.938	1.916	-0.542	1.624	4
	宜州/YZ	-2.486	0.096	-0.984	0.568	-1.479	18
	合浦/HP	0.537	1.507	-2.730	1.758	0.409	7
	柳南/LN	-0.360	0.199	0.409	1.171	-0.017	10
	兴业/GXXY	-2.469	1.288	-0.548	-0.807	-1.249	16
	桂平/GP	-3.851	1.786	1.884	-0.185	-1.551	19
	岑溪/CX	-1.613	-0.124	1.605	-0.678	-0.780	13
	昭平/ZP	-4.634	-1.444	-1.657	-0.941	-3.246	20
中国广东 Guangdong, China	荔浦/LP	0.542	-1.303	1.848	2.059	0.420	6
	廉江/LJ	-0.543	-1.870	0.055	0.895	-0.650	12
	信宜/GDXY	1.003	-1.989	-0.309	0.445	0.118	9
	罗定/LD	0.680	-2.162	-1.547	-0.073	-0.308	11
	怀集/HJ	-0.065	-3.852	0.095	-0.950	-0.955	15
	龙门/LM	1.331	-2.037	1.027	-0.816	0.377	8
	海丰/HF	2.393	1.000	0.472	0.296	1.667	3
	中国福建 Fujian, China	安溪/AX	5.430	1.585	0.018	-0.836	3.375
福清/FQ		5.567	0.824	-0.166	0.472	3.358	2

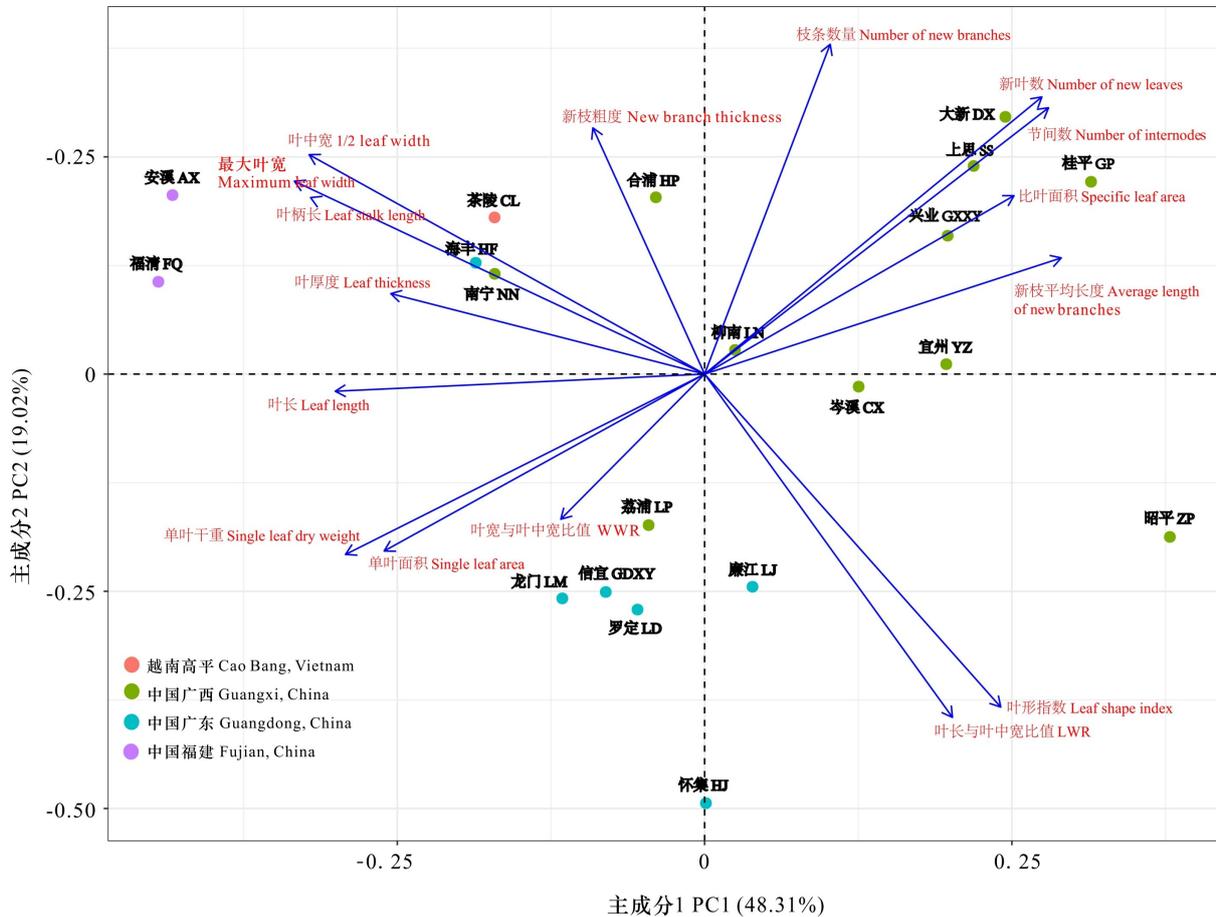


图 1 基于叶及枝条表型性状的赤苍藤种源主成分分析结果

Fig. 1 Results of principal component analysis based on leaf and branch phenotypic characters of *Erythralum scandens* resources

王娅丽等 (2022) 发现文冠果 (*Xanthoceras sorbifolium*) 2~3 年生嫁接苗或嫁接 1 年生枝条的 3 年生实生苗的枝条性状不尽相同, 其中当年生枝条长度 (ABL) 变异系数高达 63.25%, 远高于其他器官。此外, 王广亚等 (2022) 发现水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 复叶中不同着生位置的小叶形态及功能性状表现不同。目前野生生长状态下的赤苍藤植株受民间采集破坏严重, 在种源收集时只能在不影响植株生长的情况下对枝条应采尽采, 但难以保证各种源所采集的枝条部位、母株年龄等因素完全契合, 并且扦插成活时对应插穗位置会存在一定差异, 故而造成本研究中赤苍藤枝条性状及部分叶性状的变异系数较大。后期应对不同种源赤苍藤进行更为详尽地收集及持续多年地观测, 以进一步验证其性状的变异情况及规律。

3.1.2 外因 (栽植环境等方面的影响) 气候因子 (气温、降水等)、土壤性质 (pH、盐度等) 可作为影响植物多器官的单一或复合因素 (Mckee & Richards, 1996; 张凯等, 2017)。本试验中, 赤苍藤叶形态性状、叶功能性状及枝条性状变异系数范围分别为 1.72%~38.68%、5.59%~166.92% 和 7.75%~173.14%, 可见将不同赤苍藤种源进行统一引种栽培后, 叶形态性状在引种植后变化幅度小于功能性状及枝条性状, 并且种源内变异情况大于种源间。这可能是赤苍藤叶形态性状对相同环境因素的适应性较叶功能性状及枝条性状强所致。王楚楚等 (2019) 将广西、广东、湖南的 5 个翅荚木 (*Zenia insignis*) 种源引种至福建南平, 发现各种源叶干物质含量、比叶重等指标差异不显著, 其叶性状可较强地适应相同的气候及环境因子; 陈嘉静等 (2019) 发现刨花润楠 (*Machilus pauhoi*)

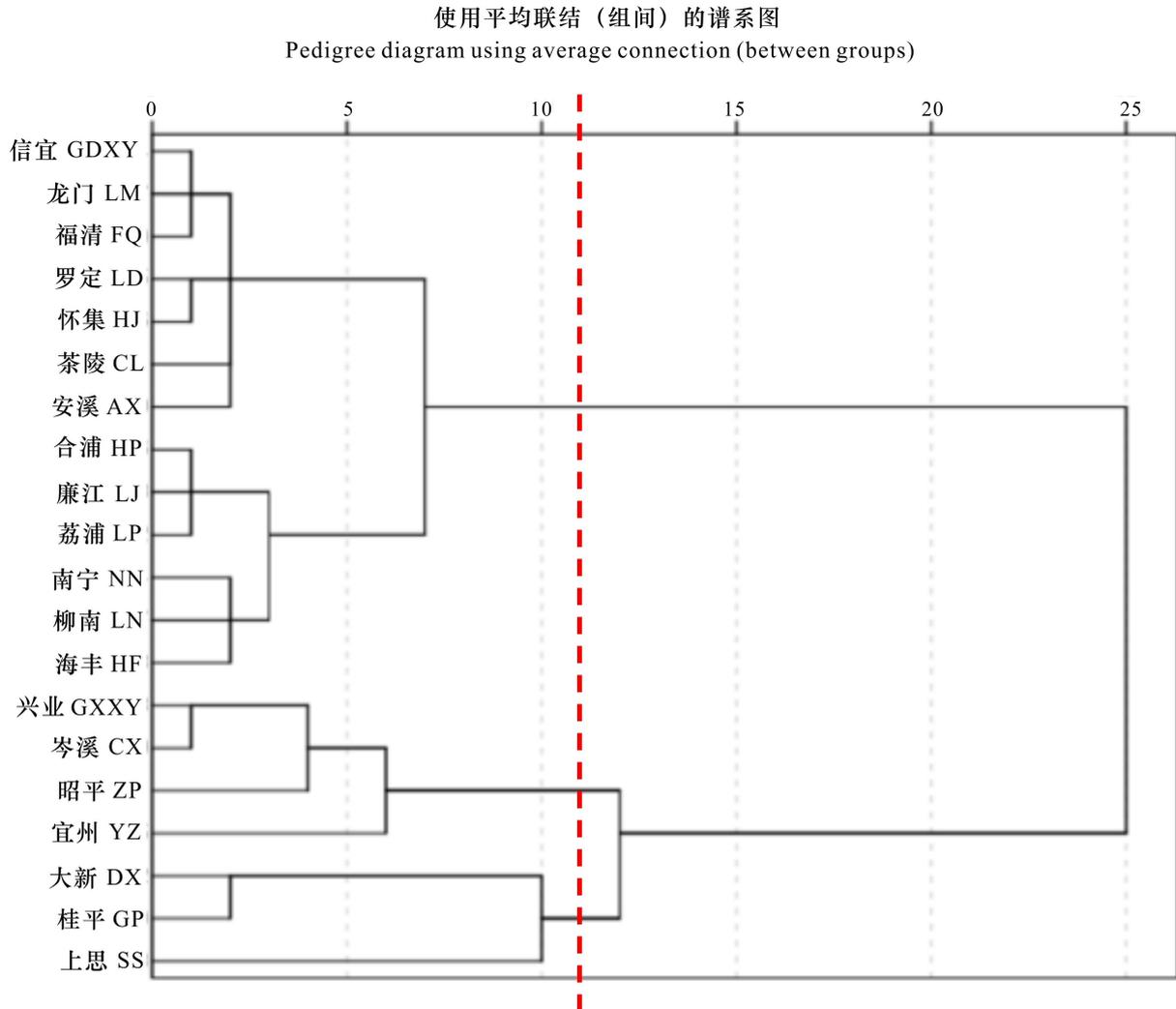


图 2 不同种源赤苍藤聚类分析结果

Fig. 2 Clustering analysis results of different resources of *Erythralum scandens*

不同种源植株在江西、福建两地栽植时,种源因素与同质园环境因素均对其叶性状产生影响,栽植过程中同质园土壤条件对刨花润楠幼苗叶功能性状的影响程度大于种源;马香艳等(2021)对芦苇(*Phragmites australis*)的研究结果表明,将宁夏平原及黄河三角洲的芦苇引种至山东青岛后,除少数性状外,多数植株及叶性状变异系数较野生状态的小,宁夏平原植株各性状变异系数均值由64.72%减小至60.68%,而黄河三角洲植株各性状变异系数均值则由68.19%减小至55.53%,其中叶长、叶宽受环境影响不大,而株高、叶厚受环境影响较大;芒果(*Mangifera indica*)、鱼腥草(*Houttuynia cordata*)等被引种栽培后,居群内变异

程度较低,差距小,其中对鱼腥草同质园栽培下的20居群的叶表型进行标记后发现,大多数叶性状变异系数小于10%,居群内变异程度较低,居群间变异系数以叶面积最大,为10.28%(陈志峰等,2015;李爱民等,2018)。由此可见,植物部分表型性状在相同环境的作用下变异程度逐渐减小,但亦有不同情况。唐仁华等(2021)对野生及同质园栽培环境下5个东紫苏(*Elsholtzia bodinieri*)种源进行表型性状测定发现,2017—2018年间随着东紫苏种源由野生状态引种至同质园栽植,当年生枝长及每个枝条叶对数减小,而叶长、叶宽及叶面积增大,叶及枝条性状变异系数较野生状态提高。引种后良好的环境可能会放大部分性状在个

体水平遗传上的差异,进而引起变异幅度的增大。综上所述,长期统一的环境条件对不同植物性状的影响不尽相同,需要根据实际进行深入分析及研究。

3.2 赤苍藤不同种源表型性状的相关性分析

在本研究中,叶片性状相关性的研究结果与班骞等(2016)、唐仁华等(2021)和杨玉洁等(2022)对苦苣菜、东紫苏、翅果油树(*Elaeagnus mollis*)的研究结果类似。叶伸长生长的同时,其宽度亦呈现增长趋势,叶生物量积累也呈上升趋势,可见植物叶性状相关关系显著。叶生长的同时其干物质积累能力上升、叶柄变长,但亦有反例。邓童等(2021)对单叶蔷薇的研究表明,其叶面积、叶厚度与叶干物质积累之间呈显著负相关,可见叶片干物质积累随叶片增大、增厚而减小,与本研究结果相反。这可能与物种不同、生长环境不同等因素有关。本研究发现,赤苍藤种源叶越大时,其枝条生长越弱,这与多数研究结果存在区别。张莹等(2018)对梨的研究发现,叶片宽度与一年生枝条长度呈负相关,但节间长度、叶片长度等与其呈正相关;蔡齐飞等(2022)研究表明,山桐子(*Idesia polycarpa*)叶长、叶宽等形态指标与当年生、一年生侧枝数呈正相关,但与轮生枝条数量呈负相关,这可能是由不同物种植株生长时养分、生物量等分配不同所造成的,需要进行更深入的研究。除新枝粗度外,枝条性状间多呈极显著正相关,这与多数研究结果一致。可见赤苍藤新枝数量增长与其伸长存在联系,但与增粗无必然联系。

3.3 赤苍藤不同种源的聚类分析

在本研究中,20 个赤苍藤种源经聚类可分为三大类,其中各大类、小类种源地地理位置相对接近。此分类结果与杨天为等(2022)采用 ISSR、SCoT 技术对赤苍藤种源的划分结果有不同之处。杨天为等的研究中每种源仅取 1 株植株进行分子标记并绘制指纹图谱,后使用分子标记进行 UPGMA 聚类,虽均将所有种源聚为三大类,但其中最大类的种源中包含地区众多,进而得出“赤苍藤种源遗传多样性表现与地理位置无显著相关关系”的结论,仍待商榷。本研究中基于主成分分析及聚类分析的种源分类中地理位置相近的种源多划分为同一类或同一小类,并且系统聚类时各类种源具有较明显的共同性状特征,表现接近。但值得注意的是,本研究中福建福清种源与广东、广

西种源聚为同一大类,形态上与广东种源更类似,与杨天为等(2022)研究发现的“福建福清种源在 ISSR 分子标记下与贵州荔波种源亲缘关系最近,与广西百色、广西兴业及分到同一小类,与广西、贵州等地多种源亲缘关系亦较近;而 SCoT 分子标记聚类下,其与广西昭平种源亲缘关系最近,与广东、海南等地区多种源亦存在较近的亲缘关系”有所区别。据中国国家标本平台(<http://www.nsii.org.cn>)数据库记载,目前登记在册的 243 条赤苍藤标本记录中,福建省暂无相关数据记录,部分省(区、市)的赤苍藤可能存在互相引种等现象。综上所述,目前赤苍藤种质资源的聚类分析仍需对各种源进行群体分子标记加以论证,对部分地区的种质资源甚至应进行基因层面的溯源以确定其来源和归属。

3.4 赤苍藤不同种源的引种表现及综合评价

本研究发现,20 个种源可分为三大类,其中福建安溪及福清的种源可选择为大叶种源;大新、上思和桂平的种源可选择为枝条生长旺盛种源。综合来看,福建安溪种源综合表现最佳,其次为福清、海丰、南宁、茶陵。昭平、宜州两种源综合表现最差,不适宜南宁地区引种栽培。后期可将各种源中表现优良的植株进行无性繁殖并推广,将大叶种源与枝条旺盛生长的种源进行进一步的杂交育种等加以深入研究。与此同时,应对部分种源的起源地等信息进行更为深入的研究,以探讨赤苍藤种源的亲缘关系及其起源等问题,发掘不同种源叶及枝条能够旺盛生长的机理。

参考文献:

- BAN Q, HUANG LK, ZHANG XQ, 2016. Phenotypic variation analysis of *Ixeris polycephala* [J]. *Chin J Grassl*, 38(3): 34-41. [班骞, 黄琳凯, 张新全, 2016. 苦苣菜种质资源表型变异分析 [J]. *中国草地学报*, 38(3): 34-41.]
- CHEN JJ, YU H, XU CB, et al., 2019. Effects of provenance and common garden environment on leaf functional traits of *Machilus pauhoi* seedlings [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 25(3): 648-654. [陈嘉静, 余华, 徐朝斌, 等, 2019. 种源与同质园环境对刨花楠幼苗叶功能性状的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 25(3): 648-654.]
- CHEN ZF, ZHANG XJ, XU L, et al., 2015. Analysis of botanical characters of mango germplasm resources [J]. *S Chin Fruits*, 44(3): 70-77. [陈志峰, 章希娟, 许玲, 等, 2015. 杧果种质资源部分植物学性状分析 [J]. *中国南方*

- 果树, 44(3): 70-77.]
- DENG T, ZHANG XL, LIU XS, et al., 2022. Variation characteristics of leaf functional trait in *Rosa persica* populations [J/OL]. Mol Plant Breed. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220304.1000.002.html>. [邓童, 张晓龙, 刘学森, 等, 2022. 单叶蔷薇居群叶功能性状变异特征分析 [J/OL]. 分子植物育种. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220304.1000.002.html>.]
- FU C, WEI XY, HE W, et al., 2022. Effect of different treatment measures on the germination rate of five species of *Erythralium scandens* [J]. J Agric Catastrophol, 12(11): 194-196. [符策, 韦雪英, 何文, 等, 2022. 不同处理措施对5种赤苍藤发芽率的影响 [J]. 农业灾害研究, 12(11): 194-196.]
- FU C, WEI XY, LIU LJ, et al., 2019. Effects of different exogenous hormones and matrix treatments on the rooting of *Erythralium scandens* Bl. [J]. S Chin Agric, 13(5): 139-140. [符策, 韦雪英, 刘连军, 等, 2019. 不同外源激素、基质处理对赤苍藤扦插生根的影响 [J]. 南方农业, 13(5): 139-140.]
- GANESAN SK, SINGH R, CHOUDHURY DR, et al., 2014. Genetic diversity and population structure study of drumstick (*Moringa oleifera* Lam.) using morphological and SSR markers [J]. Ind Crop Prod, 60: 316-325.
- GUO PX, 2020. Effects of combined application of chicken manure and cow manure on yield and quality of *Erythralium scandens* [D]. Nanning: Guangxi University: 1-67. [郭品湘, 2020. 鸡粪和牛粪配施对赤苍藤产量和品质的影响 [D]. 南宁: 广西大学: 1-67.]
- HE ST, WEI J, WU JC, et al., 2021. Morphological variation of different provenances of *Moringa oleifera* Lam. [J]. Chin J Trop Crop, 42(6): 1566-1571. [贺思腾, 魏静, 吴疆翀, 等, 2021. 不同种源多油辣木的形态变异分析 [J]. 热带作物学报, 42(6): 1566-1571.]
- JOGAN P, SANDHYA D, SHEKHAWAT MS, et al., 2020. Genetic stability analysis using DNA barcoding and molecular markers and foliar micro-morphological analysis of *in vitro* regenerated and *in vivo* grown plants of *Artemisia vulgaris* L. [J]. Ind Crop Prod, 151: 112476.
- LI AM, LÜ ML, ZHOU CM, 2018. Phenotypic diversity analysis of leaf traits in cultivated *Houttuynia cordata* Thunb. populations from Hunan Province [J]. Plant Sci J, 36(1): 73-85. [李爱民, 吕敏丽, 周春鸣, 2018. 同质园栽培下的湖南鱼腥草居群叶表型性状多样性分析 [J]. 植物科学学报, 36(1): 73-85.]
- LI YG, LIU XH, MA JW, et al., 2014. Phenotypic variations in populations of *Phoebe chekiangensis* [J]. Chin J Plant Ecol, 38(12): 1315-1324. [李因刚, 柳新红, 马俊伟, 等, 2014. 浙江楠种群表型变异 [J]. 植物生态学报, 38(12): 1315-1324.]
- LIANG CY, ZHANG XW, LI YH, et al., 2017. Studies on chemical constituents of *Erythralium scandens* (I) [J]. J Chin Med Mat, 40(11): 2598-2600. [梁臣艳, 张玄薇, 李耀华, 等, 2017. 腥藤化学成分的研究(I) [J]. 中药材, 40(11): 2598-2600.]
- LIU F, MA DC, WANG LH, et al., 2022. Effects of two growth regulators on growth characteristics of *Erythralium scandens* [J]. Guangxi For Sci, 51(6): 706-711. [刘芳, 马道承, 王凌晖, 等, 2022. 两种生长调节剂对赤苍藤生长特性的影响 [J]. 广西林业科学, 51(6): 706-711.]
- LIU GY, QI YY, ZHU CY, et al., 2016. Phenotypic diversity of wild *Lycium ruthenicum* populations in Qaidam Basin [J]. Nonwood For Res, 34(4): 57-62. [刘桂英, 祁银燕, 朱春云, 等, 2016. 柴达木盆地野生黑果枸杞的表型多样性 [J]. 经济林研究, 34(4): 57-62.]
- LONG WG, LI SP, AN JC, et al., 2017. Analysis and evaluation of nutritional components in *Erythralium scandens* Blume [J]. Food Res Dev, 38(24): 124-127. [隆卫革, 黎素平, 安家成, 等, 2017. 森林蔬菜赤苍藤营养分析与评价 [J]. 食品研究与开发, 38(24): 124-127.]
- MA DC, TIAN X, WANG LH, et al., 2022a. Influence of formula fertilization on the growth of *Erythralium scandens* Bl. [J/OL]. Soil Fert Sci Chin. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20220608.0928.002.html>. [马道承, 田湘, 王凌晖, 等, 2022a. 氮磷钾配方施肥对赤苍藤生长效应的影响 [J/OL]. 中国土壤与肥料. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20220608.0928.002.html>.]
- MA DC, YU ZG, WANG LH, et al., 2022b. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilization on physiology and biomass accumulation of *Erythralium scandens* Bl. [J]. Plant Sci J, 40(6): 839-852. [马道承, 余注光, 王凌晖, 等, 2022b. 氮磷钾配比施肥对赤苍藤生理及生物量积累的影响 [J]. 植物科学学报, 40(6): 839-852.]
- MA DC, WANG LH, LIANG J, 2022c. Advances in the application of morphological markers in plants [J]. Jiangsu Agric Sci, 50(8): 55-62. [马道承, 王凌晖, 梁机, 2022c. 形态标记在植物中的应用研究进展 [J]. 江苏农业科学, 50(8): 55-62.]
- MA XY, LIU LL, YIN MQ, et al., 2021. Variation in plant functional traits of *Phragmites australis* based on field investigation and common garden experiment [J]. Acta Ecol Sin, 41(10): 3755-3764. [马香艳, 刘乐乐, 尹美淇, 等, 2021. 基于野外调查和同质种植园实验的芦苇植物功能性状变异研究 [J]. 生态学报, 41(10): 3755-3764.]
- MCKEE K, RICHARDS AJ, 1996. Variation in seed production and germinability in common reed (*Phragmites australis*) in Britain and France with respect to climate [J]. New Phytol, 133: 233-243.
- MENG J, LUO YH, YU Y, et al., 2022. Latitudinal variation of branchlet biomass allocation and functional traits of endangered species *Michelia odora* and its influencing factors [J]. Guihaia, 42(3): 394-405. [蒙检, 罗应华, 于瀛, 等, 2022. 濒危种观光木小枝生物量分配与功能性状的纬

- 度变异规律及其影响因素 [J]. 广西植物, 42(3): 394-405.]
- QIN F, WANG ZY, LIN Y, et al., 2005. Status quo and exploitation of China's woody vegetation resources [J]. World For Res, 18(1): 55. [秦飞, 王振营, 林勇, 等, 2005. 中国常见木本蔬菜资源及其利用 [J]. 世界林业研究, 18(1): 55.]
- SARAN PL, TRIPATHY V, MEENA RP, et al., 2017. Chemotypic characterization and development of morphological markers in *Ocimum basilicum* L. germplasm [J]. Sci Hortic, 215: 164-171.
- SONG J, LI SF, LIU LN, et al., 2013. Phenotypic diversity of natural populations of *Michelia yunnanensis* [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 33(2): 272-279. [宋杰, 李世峰, 刘丽娜, 等, 2013. 云南含笑天然居群的表型多样性分析 [J]. 西北植物学报, 33(2): 272-279.]
- TANG RH, YANG LP, ZHANG HX, et al., 2021. Difference on morphological characteristics and essential oil of *Elsholtzia bodinieri* Vaniot in wild and cultivated [J]. Lishizhen Med Mat Med Res, 32(9): 2266-2271. [唐仁华, 杨礼攀, 张红霞, 等, 2021. 野生与同质园栽培下东紫苏形态特征及挥发油的差异性研究 [J]. 时珍国医国药, 32(9): 2266-2271.]
- TANG Y, HUO Y, SONG M, et al., 2021. Genetic diversity analysis of *Lycium* germplasms based on phenotypic traits [J]. Mol Plant Breed, 19(22): 7618-7628. [唐燕, 火艳, 宋敏, 等, 2021. 基于表型的枸杞属种质遗传多样性分析 [J]. 分子植物育种, 19(22): 7618-7628.]
- WANG CC, ZHONG QL, CHENG DL, et al., 2019. Relationship between the leaf functional traits of *Zenia insignis* and the provenance environments in common gardens during the introduction period [J]. Acta Ecol Sin, 39(13): 4892-4899. [王楚楚, 钟全林, 程栋梁, 等, 2019. 引种期同质园翅荚木主要叶功能性状与种源地环境关系 [J]. 生态学报, 39(13): 4892-4899.]
- WANG GY, CHEN BH, HUANG YC, et al., 2022. Effects of growing position on leaflet trait variations and its correlations in *Fraxinus mandshurica* [J]. Chin J Plant Ecol, 46(6): 712-721. [王广亚, 陈柄华, 黄雨晨, 等, 2022. 着生位置对水曲柳小叶性状变异及性状间相关性的影响 [J]. 植物生态学报, 46(6): 712-721.]
- WANG YL, GU ZJ, JIA QX, 2022. Genetic variation analysis of phenotypic traits of 37 *Xanthoceras sorbifolium* Elite germplasm [J]. For Res, 35(5): 52-62. [王娅丽, 顾志杰, 贾巧霞, 2022. 37 份文冠果优新种质资源表型性状遗传变异分析 [J]. 林业科学研究, 35(5): 52-62.]
- WEI WL, YANG HX, HE W, et al., 2022. Transcriptomic data analysis of roots, stems, and leaves of *Erythralum scanden* [J/OL]. Plant Physiol J. <https://doi.org/10.13592/j.cnki.pj.100436>. [韦婉羚, 杨海霞, 何文, 等, 2022. 基于转录组测序的赤苍藤根、茎和叶基因表达分析 [J/OL]. 植物生理学报. <https://doi.org/10.13592/j.cnki.pj.100436>.]
- WU J, ZHONG ZZ, LOU J, et al., 2018. A study on phenotypic diversity of cone and seed in natural populations of *Toona sinensis* [J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 40(2): 248-256. [吴军, 钟志真, 楼君, 等, 2018. 香椿天然群体种实性状表型多样性研究 [J]. 江西农业大学学报, 40(2): 248-256.]
- YANG TW, HUANG SY, ZHANG SW, et al., 2022. Analysis of genetic diversity and DNA fingerprint construction of *Erythralum scandens* Blume germplasm resources based on ISSR and SCoT molecular markers [J/OL]. Plant Mol Breed. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20221013.1527.002.html>. [杨天为, 黄诗宇, 张尚文, 等, 2022. 基于 ISSR 与 SCoT 分子标记的赤苍藤种质遗传多样性分析及 DNA 指纹图谱构建 [J/OL]. 分子植物育种. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20221013.1527.002.html>.]
- YANG YJ, HU XY, HUANG Y, et al., 2022. Phenotypic traits variation pattern of *Elaeagnus mollis* Diels. plantation [J]. For Res, 35(5): 113-122. [杨玉洁, 胡晓艳, 黄尧, 等, 2022. 翅果油树人工林表型性状变异规律研究 [J]. 林业科学研究, 35(5): 113-122.]
- ZHANG K, HOU JH, HE NP, 2017. Leaf functional trait distribution and controlling factors of *Pinus tabuliformis* [J]. Acta Ecol Sin, 37(3): 736-749. [张凯, 侯继华, 何念鹏, 2017. 油松叶功能性状分布特征及其控制因素 [J]. 生态学报, 37(3): 736-749.]
- ZHANG SW, LI T, SHI Q, et al., 2020. New *Erythralum scandens* Blume varieties with medicinal and edible vegetable — 'Guichicangteng No. 1' and 'Guichicangteng No. 2' [J]. Chin Veget, (10): 92-95. [张尚文, 李婷, 石前, 等, 2020. 药食同源蔬菜赤苍藤新品种桂赤苍藤 1 号和桂赤苍藤 2 号的选育 [J]. 中国蔬菜, (10): 92-95.]
- ZHU ZX, WANG JH, CAI YC, et al., 2018. Complete plastome sequence of *Erythralum scandens* (Erythralaceae), an edible and medicinally important liana in China [J]. Mitochondrial DNA Part B, 3(1): 139-140.
- ZHANG Y, CAO YF, HUO HL, et al., 2018. Diversity of pear germplasm resources based on twig and leaf phenotypic traits [J]. Sci Agric Sin, 51(17): 3353-3369. [张莹, 曹玉芬, 霍宏亮, 等, 2018. 基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性 [J]. 中国农业科学, 51(17): 3353-3369.]
- 张志毅, 2012. 林木遗传学基础 [M]. 第二版. 北京: 中国林业出版社: 78-89. [ZHANG ZY, 2012. Fundamentals of tree genetics [M]. 2nd ed. Beijing: China Forestry Publishing House: 78-89.]