

广西赤苍藤种质资源调查与表型多样性评价

黄诗宇, 张向军, 杨天为, 田姗姗, 张尚文

(广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所, 南宁 530007)

摘要: 通过变异系数、相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法, 对142份赤苍藤种质进行表型多样性分析及综合评价, 为广西赤苍藤的品种选育奠定基础。调查发现崇左市、百色市具有较多的赤苍藤野生种质资源, 其次为南宁市, 主要分布在石灰岩石山、山坡、山地、疏林、密林等环境, 海拔在140~1001 m之间。表型统计结果显示, 142份赤苍藤种质的11个表型性状变异系数介于2.76%~18.75%, 说明广西赤苍藤种质资源遗传差异较大。相关性分析表明, 叶长与叶宽、第二级枝条节间长、果实纵径、叶厚有显著相关性; 叶宽与叶厚、果实纵径有显著相关性; 叶柄长与第二级枝条粗、第二级枝条节间长有显著相关性; 海拔高度与叶厚呈显著正相关, 而与叶长、叶宽、第二级枝条节间长呈显著负相关。聚类分析结果显示在欧氏距离为4.5时, 142份赤苍藤种质材料可分为4类, 第I、II、III和IV类分别包含49份、54份、27份和12份种质材料, 第I、第II类种质主要代表了广西地区大部分的野生种质, 多数人工栽培种质被划为第III类, 该类种质在产量方面可能具有优势, 第IV类种质主要来源于海拔较高地区, 可能在抗寒方面表现更优。主成分分析表明, 5个主成分的累计贡献率达68.25%, 主成分1和主成分2主要反映叶片和枝条相关指标, 而主成分3、主成分4和主成分5主要反映果实相关指标。综合评价排名前10的种质均来源于崇左市, 其中包含5份人工栽培种质和5份野生种质, 可为赤苍藤新品种选育及品种改良提供优良亲本。

关键词: 赤苍藤; 种质资源; 调查; 表型性状; 种质评价

Germplasm Resources Investigation and Phenotypic Diversity Evaluation of *Erythralum scandens* in Guangxi

HUANG Shiyu, ZHANG Xiangjun, YANG Tianwei, TIAN Shanshan, ZHANG Shangwen

(Biotechnology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007)

Abstract: The phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 142 germplasms of *Erythralum scandens* were carried out by means of coefficient of variation, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis, which laid a foundation for the breeding of *E. scandens* in Guangxi. The survey found that Chongzuo City and Baise City had more wild germplasm resources, followed by Nanning City. The wild germplasm mainly distributed in limestone hills, slopes, mountains, sparse forests, dense forests, with an altitude of 140-1001 m. The statistical results showed that the coefficient of variation of 11 phenotypic traits was between 2.76% and 18.75% of 142 germplasms, indicating that the genetic difference of germplasm resources in Guangxi was large. Correlation analysis showed that leaf length was significantly correlated with leaf width, length of the second branch internode, longitudinal diameter of fruit and leaf thickness. Leaf width was significantly correlated with leaf thickness and longitudinal diameter of fruit. Leaf stalk length was significantly correlated with diameter of the second branch, length of the second branch internode. Altitude was significantly positively correlated with leaf thickness, but significantly negatively correlated with

收稿日期: 2024-08-01 网络出版日期: 2024-11-15

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240801002>

第一作者研究方向为特色药用植物种质资源开发与遗传改良, E-mail: shiyuhuang@gxaas.net

通信作者: 张尚文, 研究方向为特色药用植物种质资源开发与遗传改良, E-mail: 63838114@qq.com

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-21); 广西重点研发计划(桂科AB21220042); 广西特色作物试验站(桂TS2022002)

Foundation projects: China Modern Agricultural Research System of the Ministry of Finance and the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CARS-21); The Key Research and Development Project in Guangxi (Guike AB21220042); Guangxi Characteristic Crop Experimental Station Project (Gui TS2022002)

leaf length, leaf width and length of the second branch internode. The results of cluster analysis showed that 142 germplasm materials could be divided into 4 categories when the Euclidean distance was 4.5, The I, II, III and IV categories contained 49, 54, 27 and 12 germplasms, respectively. Categories I and II represent the majority of wild germplasms from the Guangxi region. Most artificial cultivation germplasms are classified into Category III, which may have advantages in terms of yield. Category IV germplasms mainly originate from higher altitude areas and may exhibit better cold resistance. Principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the five principal components was 68.25%. Principal component 1 and principal component 2 mainly reflected leaf and branch related indicators, while principal component 3, principal component 4 and principal component 5 mainly reflected fruit related indicators. The comprehensive evaluation results showed that the top ten germplasms were all from Chongzuo City, including 5 cultivated germplasms and 5 wild germplasms, which could provide excellent parents for the breeding and improvement of new varieties of *E. scandens*.

Key words: *Erythralum scandens*; germplasm resources; investigation; phenotypic traits; germplasm evaluation

赤苍藤(*Erythralum scandens* Bl.)作为一种兼具药用与食用价值的特色植物资源,其嫩芽叶可作蔬菜食用,口感鲜美、具独特清香,营养价值高,对人体健康具有潜在益处^[1-2]。赤苍藤茎入药,具有利尿作用,可治黄疸病症,并对风湿性骨痛展现出一定的治疗效果^[3];其根煮肉或浸酒服,同时叶捣烂敷患处可治水肿^[4-5],药用机理值得深入探索。赤苍藤种仁粗脂肪含量高,且油酸占总脂肪酸含量的比例高达80%,使其成为一种极具开发前景的油料作物资源,对于健康食品领域具有重要意义^[6]。在生态分布上,赤苍藤在广西地区主要生长于喀斯特地貌的石山或土石混合区域,对恶劣环境的适应能力较强,有利于水土保持。然而,随着全球气候变化的加剧以及人类活动的不断扩展,赤苍藤的自然分布范围与种群数量正面临严重威胁,因此生物多样性保护至关重要。近年来,随着研究的深入与公众健康意识的提升,赤苍藤的食用与药用价值逐渐被广泛认识,市场需求急剧增加,推动了赤苍藤种植面积扩大,这也导致了种苗需求的激增,绝大部分种植户采取砍伐整株野生赤苍藤进行移栽或扦插的方式培育种苗,严重破坏了野生赤苍藤种质资源,加剧了其濒危状态^[5]。广西是赤苍藤人工种植及野生资源分布的主要地区,因此针对广西赤苍藤种质资源开展系统性的收集、保存与评价就显得尤为重要,这是实现赤苍藤资源可持续利用与产业发展的重要保障。

广西地处热带和亚热带交汇地区,山地、林地众多,气候环境十分适合赤苍藤生长,因此赤苍藤在广西广泛分布,可能有潜在的优良野生种质资

源。近年来,有关赤苍藤营养成分^[2]、药理成分^[7-8]、栽培生理^[9-10]、采后保鲜^[11]、遗传多样性^[12-15]和分子生物学^[16-18]等方面的研究报道日益增加,其中有关遗传多样性的研究主要是针对不同省份的种质开展。马道承等^[14]基于表型对云南、海南、广西及贵州共57份赤苍藤种质进行多样性分析和评价,把不同种质种植于同一大棚进行对比,脱离了原始的生长环境,植株的表型较之原生境会产生较大差异^[19]。杨天为等^[12]基于ISSR与SCoT分子标记对24份赤苍藤进行遗传多样性研究,初步揭示了不同地区种质的亲缘关系。目前,广西赤苍藤种质资源缺乏系统深入的研究。因此,本研究通过调研走访广西各市县,收集了142份赤苍藤种质资源,统计了11个表型数量性状,对广西赤苍藤种质资源进行系统分析和评价,以期对赤苍藤的品种选育与改良提供重要的参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2019-2024年,广西壮族自治区农业科学院生物技术研究特色药用植物开发与利用研究团队在广西11个市县开展了赤苍藤种质资源调查工作。根据中国植物志、广西标本馆查询,以及走访调查,共收集142份赤苍藤种质,种质编号根据各市县分类及调查时间的先后顺序编制。

1.2 试验方法

在种质资源采集过程中,记录种质资源的地理信息和形态学特征,形态学特征包括叶长、叶宽、叶柄长、叶厚、第二级枝条节间长、第二级枝条粗、果

实重量、果实纵径、果实横径、果柄长、果皮厚指标,选择同一植株上2~3级枝条上的成熟期叶片及果实测量,10个重复。收集的种质通过扦插繁殖保存于广西壮族自治区农业科学院生物技术研究所大棚中。

1.3 数据分析

运用Excel 2020软件对调查数据进行整理与分类,计算平均值、标准差等。采用SPSS 22软件对数量性状进行变异系数分析、相关性分析、主成分分析,使用OriginPro 2024对数量性状进行系统聚类并作图。通过模糊隶属函数法将11个性状的函数值进行标准化,对标准化后的数据进行主成分分析,将标准化的性状数据乘以相应主成分因子得分系数,计算各个主成分的得分 F_n ,结合主成分因子

权重 V 计算每份种质的综合得分 F , $F=V_1F_1+V_2F_2+V_nF_n$ 。

2 结果与分析

2.1 赤苍藤种质资源地理分布情况

通过对广西各市县的走访调研,发现崇左市、百色市具有较多的赤苍藤野生种质资源,分别有47份、43份种质,共占调查资源总数的63.38%;其次为南宁市,有15份种质,占比为10.56%;在河池市、梧州市、玉林市、防城港市、柳州市、北流市、平果市和凭祥市发现了少量的赤苍藤野生种质,各地区仅有4~6份种质。采集的赤苍藤野生种质主要分布在石灰岩石山、山坡、山地、疏林、密林等环境,海拔在140~1001 m之间(表1)。部分赤苍藤种质表型和生境见图1。

表1 赤苍藤种质资源信息表

Table 1 Germplasm resources information of *E. scandens*

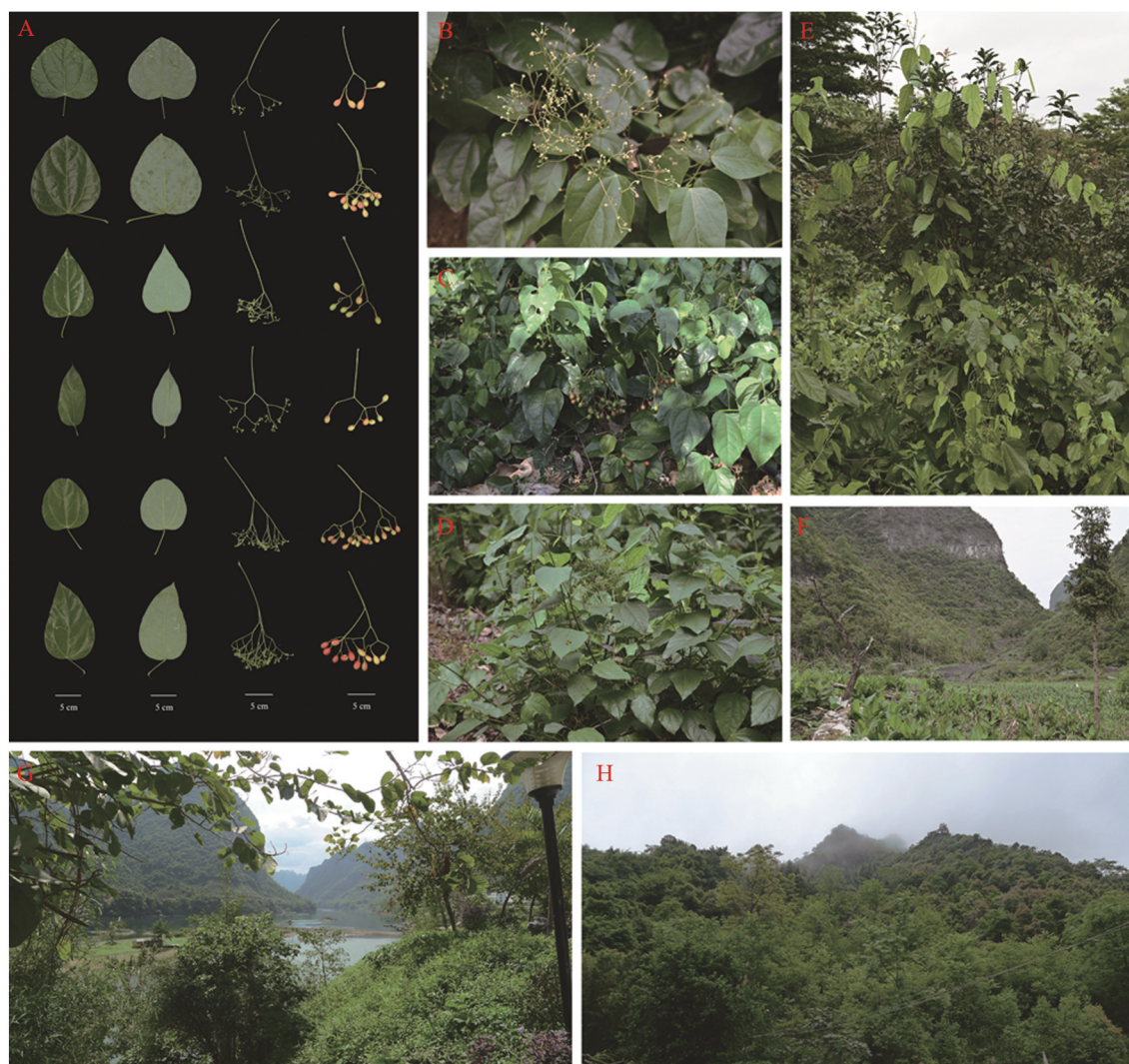
种质编号 Germplasm number	种质命名 Germplasm naming	来源地 Source	海拔(m) Altitude	种质类型 Germplasm type	种质编号 Germplasm number	种质命名 Germplasm naming	来源地 Source	海拔(m) Altitude	种质类型 Germplasm type
Es0001	CZNM1	崇左市	358	野生种质	Es0025	CV-CZDX5	崇左市	438	人工栽培种质
Es0002	CZNM2	崇左市	358	野生种质	Es0026	CZDX13	崇左市	415	野生种质
Es0003	CZNM3	崇左市	358	野生种质	Es0027	CV-CZDX6	崇左市	418	人工栽培种质
Es0004	CZNM4	崇左市	358	野生种质	Es0028	CV-CZDX7	崇左市	418	人工栽培种质
Es0005	CZNM5	崇左市	294	野生种质	Es0029	CV-CZDX8	崇左市	331	人工栽培种质
Es0006	CZNM6	崇左市	294	野生种质	Es0030	CV-CZDX9	崇左市	412	人工栽培种质
Es0007	CZNM7	崇左市	294	野生种质	Es0031	CZDX14	崇左市	481	野生种质
Es0008	CZNM8	崇左市	337	野生种质	Es0032	CZDX15	崇左市	450	野生种质
Es0009	CZDX1	崇左市	470	野生种质	Es0033	CZDX16	崇左市	450	野生种质
Es0010	CZDX2	崇左市	470	野生种质	Es0034	CZDX17	崇左市	318	野生种质
Es0011	CZDX3	崇左市	470	野生种质	Es0035	CZDX18	崇左市	406	野生种质
Es0012	CZDX4	崇左市	585	野生种质	Es0036	CZDX19	崇左市	469	野生种质
Es0013	CZDX5	崇左市	364	野生种质	Es0037	CZLZ1	崇左市	316	野生种质
Es0014	CV-CZDX1	崇左市	464	人工栽培种质	Es0038	CZLZ2	崇左市	316	野生种质
Es0015	CZDX6	崇左市	451	野生种质	Es0039	CZLZ3	崇左市	316	野生种质
Es0016	CZDX7	崇左市	451	野生种质	Es0040	CZLZ4	崇左市	316	野生种质
Es0017	CZDX8	崇左市	451	野生种质	Es0041	CZLZ5	崇左市	474	野生种质
Es0018	CZDX9	崇左市	454	野生种质	Es0042	CZLZ6	崇左市	454	野生种质
Es0019	CZDX10	崇左市	474	野生种质	Es0043	CZTD1	崇左市	438	野生种质
Es0020	CZDX11	崇左市	392	野生种质	Es0044	CZTD2	崇左市	312	野生种质
Es0021	CV-CZDX2	崇左市	347	人工栽培种质	Es0045	CZTD3	崇左市	477	野生种质
Es0022	CZDX12	崇左市	475	野生种质	Es0046	CZTD4	崇左市	316	野生种质
Es0023	CV-CZDX3	崇左市	438	人工栽培种质	Es0047	CZTD5	崇左市	314	野生种质
Es0024	CV-CZDX4	崇左市	438	人工栽培种质	Es0048	BSXL1	百色市	372	野生种质

表1(续)

种质编号 Germplasm number	种质命名 Germplasm naming	来源地 Source	海拔(m) Altitude	种质类型 Germplasm type	种质编号 Germplasm number	种质命名 Germplasm naming	来源地 Source	海拔(m) Altitude	种质类型 Germplasm type
Es0049	BSXL2	百色市	490	野生种质	Es0087	BSTY2	百色市	368	野生种质
Es0050	BSXL3	百色市	575	野生种质	Es0088	BSTL1	百色市	985	野生种质
Es0051	BSXL4	百色市	518	野生种质	Es0089	BSLINGY1	百色市	796	野生种质
Es0052	BSXL5	百色市	536	野生种质	Es0090	BSLINGY2	百色市	1001	野生种质
Es0053	BSXL6	百色市	531	野生种质	Es0091	NNJN1	南宁市	263	野生种质
Es0054	BSXL7	百色市	504	野生种质	Es0092	NNJN2	南宁市	263	野生种质
Es0055	CV-BSXL1	百色市	407	人工栽培种质	Es0093	NNJN3	南宁市	264	野生种质
Es0056	BSXL8	百色市	532	野生种质	Es0094	NNJN4	南宁市	264	野生种质
Es0057	BSLY1	百色市	475	野生种质	Es0095	NNLA1	南宁市	395	野生种质
Es0058	BSLY2	百色市	476	野生种质	Es0096	NNLA2	南宁市	395	野生种质
Es0059	BSLY3	百色市	457	野生种质	Es0097	NNLA3	南宁市	402	野生种质
Es0060	BSLY4	百色市	544	野生种质	Es0098	NNLA4	南宁市	402	野生种质
Es0061	BSLY5	百色市	469	野生种质	Es0099	NNXXT1	南宁市	226	野生种质
Es0062	BSLY7	百色市	461	野生种质	Es0100	NNXXT2	南宁市	226	野生种质
Es0063	BSLY8	百色市	461	野生种质	Es0101	NNXXT3	南宁市	226	野生种质
Es0064	BSLY9	百色市	461	野生种质	Es0102	NNXXT4	南宁市	225	野生种质
Es0065	BSLY10	百色市	461	野生种质	Es0103	NNWM1	南宁市	161	野生种质
Es0066	BSLY11	百色市	580	野生种质	Es0104	NNWM2	南宁市	161	野生种质
Es0067	BSLY12	百色市	545	野生种质	Es0105	NNWM3	南宁市	161	野生种质
Es0068	XSLY13	百色市	559	野生种质	Es0106	HCTE1	河池市	821	野生种质
Es0069	BSJX1	百色市	376	野生种质	Es0107	HCTE2	河池市	799	野生种质
Es0070	BSJX2	百色市	543	野生种质	Es0108	HCLC1	河池市	478	野生种质
Es0071	BSJX3	百色市	437	野生种质	Es0109	HCLC2	河池市	477	野生种质
Es0072	BSJX4	百色市	457	野生种质	Es0110	HCLC3	河池市	425	野生种质
Es0073	BSJX5	百色市	457	野生种质	Es0111	WZCW1	梧州市	335	野生种质
Es0074	BSJX6	百色市	457	野生种质	Es0112	WZCW2	梧州市	335	野生种质
Es0075	BSJX7	百色市	457	野生种质	Es0113	WZCW3	梧州市	364	野生种质
Es0076	BSJX8	百色市	539	野生种质	Es0114	WZCW4	梧州市	364	野生种质
Es0077	BSJX9	百色市	490	野生种质	Es0115	WZCW5	梧州市	364	野生种质
Es0078	CV-BSJX1	百色市	375	人工栽培种质	Es0116	YLBB1	玉林市	251	野生种质
Es0079	BSNP1	百色市	527	野生种质	Es0117	YLBB2	玉林市	251	野生种质
Es0080	BSNP2	百色市	410	野生种质	Es0118	YLBB3	玉林市	294	野生种质
Es0081	BSNP3	百色市	469	野生种质	Es0119	YLBB4	玉林市	294	野生种质
Es0082	BSNP4	百色市	469	野生种质	Es0120	FCGSS1	防城港市	500	野生种质
Es0083	BSNP5	百色市	469	野生种质	Es0121	FCGSS2	防城港市	500	野生种质
Es0084	BSNP6	百色市	471	野生种质	Es0122	FCGSS3	防城港市	356	野生种质
Es0085	BSNP7	百色市	486	野生种质	Es0123	FCGSS4	防城港市	356	野生种质
Es0086	BSTY1	百色市	368	野生种质	Es0124	LZRA1	柳州市	383	野生种质

表 1 (续)

种质编号 Germplasm number	种质命名 Germplasm naming	来源地 Source	海拔(m) Altitude	种质类型 Germplasm type	种质编号 Germplasm number	种质命名 Germplasm naming	来源地 Source	海拔(m) Altitude	种质类型 Germplasm type
Es0125	LZRA2	柳州市	463	野生种质	Es0134	PGJC2	平果市	320	野生种质
Es0126	LZRA3	柳州市	350	野生种质	Es0135	PGJC3	平果市	320	野生种质
Es0127	LZSJ1	柳州市	790	野生种质	Es0136	PGJC4	平果市	331	野生种质
Es0128	BLDRS1	北流市	381	野生种质	Es0137	PGJC5	平果市	331	野生种质
Es0129	BLDRS2	北流市	381	野生种质	Es0138	PGJC6	平果市	331	野生种质
Es0130	BLDRS3	北流市	394	野生种质	Es0139	PXYYZ1	凭祥市	357	野生种质
Es0131	BLDRS4	北流市	394	野生种质	Es0140	PXYYZ2	凭祥市	357	野生种质
Es0132	BLDRS5	北流市	394	野生种质	Es0141	PXYYZ3	凭祥市	361	野生种质
Es0133	PGJC1	平果市	320	野生种质	Es0142	PXYYZ4	凭祥市	361	野生种质



A: 赤苍藤种质叶片、花、果实表型; B~D: 赤苍藤局部特征; E~H: 赤苍藤生境, 地点依次为河池、崇左、百色、百色
 A: Leaf, flower and fruit phenotype of *E. scandens*; B~D: Local characteristics of *E. scandens*; E~H: Habitat of *E. scandens*, location are in order of Hechi, Chongzuo, Baise, Baise

图 1 部分赤苍藤种质表型及生境

Fig. 1 Phenotypes and habitat of the part of germplasm of *E. scandens*

2.2 赤苍藤种质表型性状变异分析

142份赤苍藤种质资源在数量性状上存在一定程度的遗传变异(表2),11个表型性状的变异系数在2.76%~18.75%之间,变异系数由高到低排序依次为叶宽、叶厚、叶长、第二级枝条节间长、叶柄长、第二级枝条粗、果实重量、果柄长、果皮厚、果实横径、果实纵径。在各表型性状中,叶长最长为22.8 cm,最短为9.2 cm,平均为16.7 cm;叶宽最宽为17.5 cm,最窄为7.6 cm,平均为12.2 cm;叶柄长最长为7.4 cm,最短为4.3 cm,平均为5.9 cm;叶厚最厚

为0.52 mm,最薄为0.23 mm,平均为0.32 mm;第二级枝条节间长最长为9.6 cm,最短为3.6 cm,平均为5.5 cm;第二级枝条粗最粗为5.21 mm,最细为2.88 mm,平均为3.85 mm;果实重量最大为2.52 g,最小为1.52 g,平均为2.03 g;果实横径最大为12.60 mm,最小为10.37 mm,平均为11.51 mm;果实纵径最大为21.35 mm,最小为18.71 mm,平均为20.00 mm;果柄长最长为19.80 mm,最短为13.59 mm,平均为16.97 mm;果皮厚最厚为1.62 mm,最薄为1.16 mm,平均为1.38 mm。

表2 142份赤苍藤种质的11个表型性状统计分析

Table 2 Statistical analysis of 11 phenotypic traits of 142 germplasms of *E. scandens*

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean value	标准差 SD	变异系数(%) CV
叶长(cm)LL	9.2	22.8	16.7	2.74	16.47
叶宽(cm)LW	7.6	17.5	12.2	2.29	18.75
叶柄长(cm)LSL	4.3	7.4	5.9	0.76	12.96
叶厚(mm)LT	0.23	0.52	0.32	0.06	17.67
第二级枝条节间长(cm)SBIL	3.6	9.6	5.5	0.89	16.12
第二级枝条粗(mm)SBD	2.88	5.21	3.85	0.46	11.90
果实重量(g)FW	1.52	2.52	2.03	0.20	10.09
果实横径(mm)FTD	10.37	12.60	11.51	0.47	4.06
果实纵径(mm)FLD	18.71	21.35	20.00	0.55	2.76
果柄长(mm)CL	13.59	19.80	16.97	1.34	7.88
果皮厚(mm)PT	1.16	1.62	1.38	0.09	6.18

LL: Leaf length; LW: Leaf width; LSL: Leaf stalk length; LT: Leaf thickness; SBIL: Length of the second branch internode; SBD: Diameter of the second branch; FW: Fruit weight; FTD: Transverse diameter of fruit; FLD: Longitudinal diameter of fruit; CL: Carpophore length; PT: Pericarp thickness; The same as below

对不同地区的赤苍藤种质的表型性状进行统计分析,结果表明,凭祥市的平均叶长最长,河池市的最短;玉林市的平均叶宽最大,河池市的最小;崇左市的平均叶柄长最长,河池市的最短;柳州市的平均叶厚最厚,南宁市的最薄;崇左市的平均第二

级枝条节间长最长,柳州市的最短;崇左市的平均第二级枝条最粗,平果市的第二级枝条最细。各地区种质果实的相关指标差异不大(表3),说明可以从不同地区的种质资源中筛选到高产优异种质材料。

表3 不同地区的赤苍藤表型性状统计分析

Table 3 Statistical analysis of phenotypic traits of *E. scandens* in different regions

来源地 Source	指标 Index	叶长 (cm) LL	叶宽 (cm) LW	叶柄长 (cm) LSL	叶厚 (mm) LT	第二级 枝条节 间长 (cm) SBIL	第二级 枝条粗 (mm) SBD	果实重 量(g) FW	果实横 径 (mm) FTD	果实纵 径 (mm) FLD	果柄长 (mm) CL	果皮厚 (mm) PT
崇左市 Chongzuo city	最小值	13.86	7.55	5.38	0.23	4.41	3.70	1.70	10.66	18.71	14.39	1.16
	最大值	22.78	17.52	7.37	0.37	9.60	5.21	2.36	12.36	20.87	19.25	1.62
	均值	17.52	12.16	6.24	0.30	6.02	4.30	2.07	11.52	19.96	16.99	1.38
	标准差	2.62	2.60	0.47	0.03	1.04	0.34	0.17	0.44	0.56	1.17	0.09
	变异系数(%)	14.96	21.36	7.59	8.57	17.22	7.95	8.21	3.78	2.80	6.90	6.65

表3 (续)

来源地 Source	指标 Index	叶长 (cm) LL	叶宽 (cm) LW	叶柄长 (cm) LSL	叶厚 (mm) LT	第二级 枝条节 间长 (cm) SBIL	第二级 枝条粗 (mm) SBD	果实重 量(g) FW	果实横 径 (mm) FTD	果实纵 径 (mm) FLD	果柄长 (mm) CL	果皮厚 (mm) PT
百色市 Baise city	最小值	11.57	8.83	4.51	0.25	3.60	3.25	1.52	10.37	19.05	13.59	1.20
	最大值	20.67	15.61	7.14	0.52	6.57	4.77	2.52	12.41	21.35	19.43	1.58
	均值	16.29	12.41	6.13	0.32	5.39	3.74	2.05	11.41	19.98	17.14	1.38
	标准差	2.16	1.71	0.74	0.06	0.67	0.35	0.22	0.51	0.51	1.35	0.09
	变异系数(%)	13.28	13.76	12.09	18.63	12.36	9.24	10.62	4.48	2.54	7.86	6.29
南宁市 Nanning city	最小值	14.69	8.87	4.78	0.27	4.42	3.28	1.60	10.61	18.78	15.07	1.26
	最大值	18.68	11.95	6.96	0.31	6.24	4.27	2.48	12.60	20.68	19.56	1.53
	均值	17.15	10.78	5.98	0.29	5.28	3.65	1.99	11.51	19.91	16.94	1.37
	标准差	1.19	0.90	0.68	0.01	0.51	0.27	0.28	0.54	0.59	1.30	0.08
	变异系数(%)	6.93	8.39	11.36	4.83	9.60	7.36	14.01	4.65	2.94	7.69	5.54
河池市 Hechi city	最小值	9.16	7.73	4.41	0.46	3.88	3.24	1.79	10.80	19.03	15.87	1.24
	最大值	10.67	9.17	4.87	0.48	4.09	3.75	2.12	11.90	20.39	18.99	1.39
	均值	9.63	8.24	4.71	0.47	3.96	3.46	1.94	11.40	19.68	17.29	1.33
	标准差	0.60	0.55	0.19	0.01	0.09	0.20	0.13	0.52	0.55	1.26	0.06
	变异系数(%)	6.22	6.63	3.95	1.89	2.26	5.81	6.52	4.57	2.79	7.29	4.27
梧州市 Wuzhou city	最小值	16.33	14.16	4.31	0.28	5.05	3.26	1.72	10.74	19.79	14.40	1.27
	最大值	18.02	15.43	5.81	0.34	6.08	3.55	2.20	11.55	20.43	19.80	1.40
	均值	17.56	14.92	5.05	0.30	5.54	3.41	1.96	11.32	20.16	17.24	1.35
	标准差	0.71	0.46	0.68	0.03	0.38	0.11	0.17	0.34	0.25	2.43	0.05
	变异系数(%)	4.04	3.12	13.39	8.22	6.90	3.25	8.61	3.01	1.24	14.11	3.62
玉林市 Yulin city	最小值	19.15	15.70	4.89	0.28	5.18	3.33	1.57	11.19	20.07	15.82	1.24
	最大值	19.84	17.06	5.69	0.33	5.44	3.59	2.30	11.93	21.04	17.65	1.35
	均值	19.45	16.56	5.26	0.31	5.32	3.46	1.94	11.60	20.53	16.77	1.30
	标准差	0.31	0.61	0.33	0.03	0.13	0.12	0.30	0.32	0.40	1.02	0.04
	变异系数(%)	1.61	3.71	6.29	8.81	2.53	3.38	15.36	2.77	1.93	6.06	3.38
防城港市 Fangchenggang city	最小值	16.21	12.35	4.46	0.27	5.38	3.40	1.85	11.64	19.20	14.79	1.35
	最大值	16.64	12.88	5.16	0.32	5.84	3.81	2.07	12.06	20.37	16.21	1.50
	均值	16.34	12.60	4.96	0.31	5.54	3.68	1.95	11.80	19.76	15.46	1.40
	标准差	0.21	0.23	0.33	0.02	0.21	0.19	0.11	0.18	0.50	0.58	0.07
	变异系数(%)	1.26	1.86	6.75	6.98	3.78	5.24	5.64	1.53	2.52	3.76	5.13
柳州市 Liuzhou city	最小值	10.70	8.27	4.70	0.47	3.92	3.29	1.79	11.44	19.48	14.00	1.36
	最大值	12.51	9.46	5.27	0.50	3.97	3.88	2.35	11.91	20.71	19.44	1.52
	均值	11.28	8.63	5.06	0.48	3.95	3.54	2.13	11.73	20.17	16.30	1.45
	标准差	0.84	0.56	0.26	0.01	0.03	0.26	0.24	0.21	0.54	2.39	0.08
	变异系数(%)	7.45	6.48	5.05	2.82	0.67	7.35	11.32	1.83	2.68	14.66	5.83
北流市 Beiliu city	最小值	15.78	12.10	4.65	0.28	4.49	3.22	1.70	10.83	19.61	14.75	1.24
	最大值	16.24	12.96	5.64	0.32	5.44	3.85	2.06	12.14	21.07	18.55	1.53
	均值	16.04	12.56	5.24	0.31	5.11	3.55	1.91	11.70	20.06	16.97	1.38
	标准差	0.20	0.37	0.41	0.02	0.40	0.23	0.15	0.54	0.60	1.49	0.10
	变异系数(%)	1.26	2.91	7.86	4.97	7.86	6.45	7.99	4.59	3.01	8.75	7.52

表3 (续)

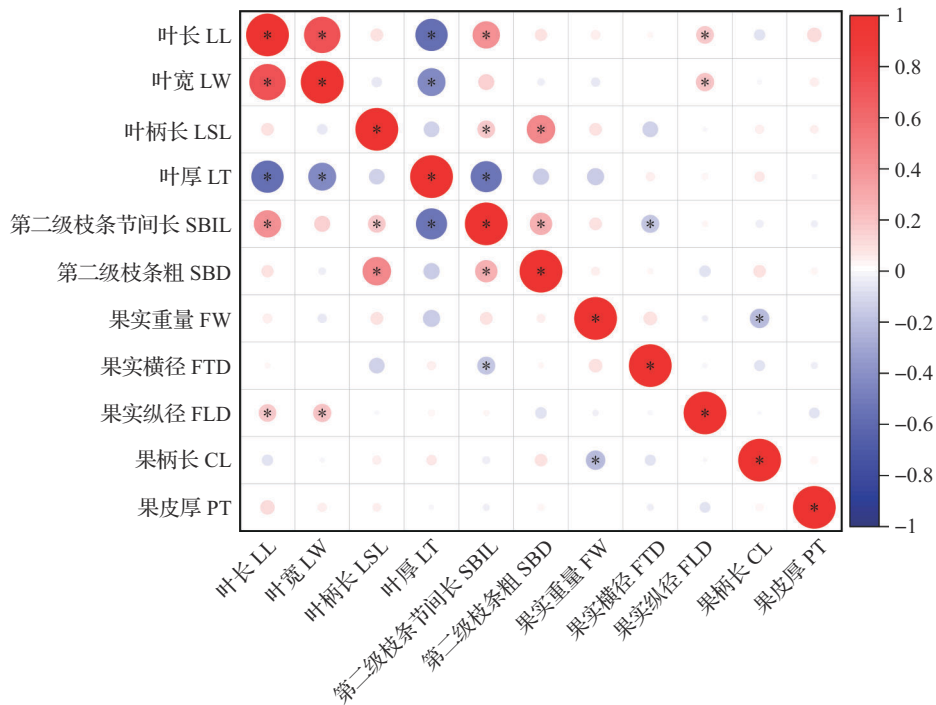
来源地 Source	指标 Index	叶长 (cm) LL	叶宽 (cm) LW	叶柄长 (cm) LSL	叶厚 (mm) LT	第二级 枝条节 间长 (cm) SBIL	第二级 枝条粗 (mm) SBD	果实重 量(g) FW	果实横 径 (mm) FTD	果实纵 径 (mm) FLD	果柄长 (mm) CL	果皮厚 (mm) PT
平果市 Pingguo city	最小值	16.76	13.17	4.29	0.27	4.83	2.88	1.57	10.92	19.21	15.06	1.33
	最大值	17.61	13.65	5.25	0.33	5.86	3.56	2.34	12.03	20.78	19.11	1.53
	均值	17.36	13.39	4.89	0.30	5.37	3.26	2.03	11.51	19.95	16.83	1.43
	标准差	0.31	0.17	0.33	0.02	0.37	0.24	0.28	0.45	0.64	1.50	0.08
	变异系数(%)	1.79	1.30	6.84	7.53	6.82	7.47	14.01	3.90	3.21	8.91	5.77
凭祥市 Pingxiang city	最小值	20.51	12.86	4.59	0.26	4.53	3.24	2.02	11.60	18.82	15.22	1.27
	最大值	21.38	13.33	5.78	0.35	5.86	3.39	2.19	12.28	21.27	17.68	1.45
	均值	20.84	13.05	5.14	0.31	5.32	3.28	2.11	12.02	20.21	16.64	1.36
	标准差	0.40	0.23	0.50	0.04	0.59	0.07	0.07	0.32	1.08	1.15	0.08
	变异系数(%)	1.90	1.73	9.68	12.88	11.02	2.22	3.53	2.67	5.32	6.93	5.53

2.3 赤苍藤种质表型性状的相关性分析

如图2所示,叶长与叶宽、第二级枝条节间长、果实纵径均呈显著正相关,与叶厚呈显著负相关;叶宽与果实纵径呈显著正相关,与叶厚呈显著负相关;叶柄长与第二级枝条粗、第二级枝条节间长均呈显著正相关;叶厚与第二级枝条节间长呈显著负

相关;第二级枝条节间长与第二级枝条粗呈显著正相关,与果实横径呈显著负相关;果实重量与果柄长呈显著负相关。

142份赤苍藤种质中,共发现6份种质在海拔790 m以上,海拔最高的种质在1001 m,其中有3份种质种源地为百色市,2份种质种源地为河池市,



* 表示 $P < 0.05$ 水平上显著相关;下同

* indicate significant correlation at $P < 0.05$ level; The same as below

图2 142份赤苍藤种质的11个表型性状相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of 11 phenotypic traits of 142 germplasms of *E. scandens*

1 份种质种源地为柳州市。通过表型性状与海拔高度的相关性分析发现(表4),叶长、叶宽、第二级枝条节间长与海拔高度的相关性系数分别为-0.400、-0.170、-0.250,均呈显著负相关,而叶厚与海拔高度的相关系数为0.560,呈显著正相关。

表4 赤苍藤种质表型性状与海拔高度的相关性分析
Table 4 Correlation analysis between phenotypic traits and altitude of *E. scandens*

表型性状 Phenotypic traits	海拔高度 Altitude
叶长 LL	-0.400*
叶宽 LW	-0.170*
叶柄长 LSL	0.093
叶厚 LT	0.560*
第二级枝条节间长 SBIL	-0.250*
第二级枝条粗 SBD	0.033
果实重量 FW	-0.067
果实横径 FTD	-0.096
果实纵径 FLD	0.008
果柄长 CL	0.081
果皮厚 PT	0.075

表5 11个表型性状主成分分析
Table 5 Principal component analysis of 11 phenotypic traits

表型性状 Phenotypic traits	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3	主成分4 PC4	主成分5 PC5
叶长 LL	0.860	-0.285	0.058	0.120	0.069
叶宽 LW	0.688	-0.487	0.180	0.130	0.118
叶柄长 LSL	0.269	0.704	0.053	-0.009	0.245
叶厚 LT	-0.810	-0.013	0.111	0.012	0.171
第二级枝条节间长 SBIL	0.671	0.284	-0.020	-0.251	-0.229
第二级枝条粗 SBD	0.295	0.707	0.024	0.112	0.361
果实重量 FW	0.155	0.130	-0.735	0.002	-0.008
果实横径 FTD	-0.094	-0.228	-0.427	0.404	0.615
果实纵径 FLD	0.152	-0.324	0.195	-0.399	0.501
果柄长 CL	-0.083	0.171	0.673	0.195	0.173
果皮厚 PT	0.090	0.033	0.106	0.774	-0.263
特征值 Eigenvalue	2.548	1.599	1.275	1.066	1.019
贡献率(%)Contribution rate	23.16	14.54	11.60	9.69	9.26
累计贡献率(%)Cumulative contribution rate	23.16	37.70	49.29	58.99	68.25

2.5 赤苍藤种质表型性状的聚类分析

基于系统聚类方法对赤苍藤种质进行聚类分析,结果显示在欧氏距离为4.5时,142份赤苍藤种

2.4 赤苍藤种质表型性状的主成分分析

对142份赤苍藤种质的11个表型性状进行主成分分析,获得5个主成分(表5),累计贡献率达68.25%。主成分1的特征值为2.548,方差贡献率为23.16%,对其影响较大的表型性状主要为叶长、叶宽、叶厚和第二级枝条节间长,其中叶长、叶宽和第二级枝条节间长为正调控因子,叶厚为负调控因子。主成分2的特征值为1.599,方差贡献率为14.54%,对其影响较大的表型性状主要有叶宽、叶柄长和第二级枝条粗,其中叶柄长和第二级枝条粗为正调控因子,叶宽为负调控因子。主成分3的特征值为1.275,方差贡献率为11.60%,对其影响较大的表型性状主要有果实重量、果实横径和果柄长,其中果柄长为正调控因子,果实重量和果实横径为负调控因子。主成分4的特征值为1.066,方差贡献率为9.69%,对其影响较大的表型性状主要有果实横径、果实纵径和果皮厚,其中果实横径和果皮厚为正调控因子,果实纵径为负调控因子。主成分5的特征值为1.019,方差贡献率为9.26%,对其影响较大的表型性状为果实横径和果实纵径,均为正调控因子。

质可分为4类(图3),第I类包含49份种质,占总数的34.51%,其中23份种质来源于崇左市,17份种质来源于百色市,7份种质来源于南宁市,2份种质来

表6 赤苍藤种质资源表型性状综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of phenotypic traits of germplasm resources of *E. scandens*

种质编号 Germplasm number	F1	F2	F3	F4	F5	综合得分F Comprehensive score F	排名 Rank
Es0032	3.356	1.552	0.764	0.089	0.895	1.733	1
Es0011	2.151	1.533	0.088	1.418	-0.544	1.199	2
Es0012	2.370	1.289	0.882	0.819	-1.277	1.172	3
Es0028	0.831	0.355	0.240	3.206	1.730	1.088	4
Es0024	2.135	-0.709	0.192	1.090	2.263	1.068	5
Es0027	2.563	0.125	0.908	-0.140	0.151	1.051	6
Es0030	2.536	0.905	-0.705	-0.583	1.185	1.012	7
Es0021	1.865	-0.125	1.360	0.877	0.191	0.988	8
Es0009	1.575	0.552	0.288	-0.012	1.507	0.904	9
Es0033	1.836	0.666	1.281	-0.685	0.005	0.886	10

3 讨论

种质资源作为育种工作的物质基础,在种质筛选与创新、品种改良等研究领域具有重要应用价值^[20-21]。本课题组通过对广西各市县的走访调研,较全面地了解了赤苍藤在广西的分布情况,发现广西的赤苍藤野生种质主要分布在崇左市和百色市,这可能是由于当地群众一直有以赤苍藤作为野菜的传统^[5]。正是由于当地具有丰富的赤苍藤野生种质,更易筛选出优异种质,崇左市的赤苍藤种植产业才得以迅速发展。因赤苍藤种苗繁育较难,种植户常以破坏性的方式大量砍伐野生枝条育苗,造成了野生种质的流失,许多地区的野生资源破坏殆尽^[5]。因此,赤苍藤野生种质的收集与保存工作已是迫在眉睫。广西赤苍藤野生种质主要分布于石灰质山间林地,海拔在161~1001 m之间,同一来源地的绝大部分种质的整体外观形态较为相似,仅有少数种质的叶片形态与其他种质有较明显差异,这与马道承等^[15]对20个不同种源地的赤苍藤的研究结果吻合,同一种源地具有相似的表型性状特征。

深入探究种质间表型性状的差异性,能够为植物种质资源的初步分类、种质鉴定及育种材料的高效筛选提供重要依据^[22]。本研究通过对142份广西赤苍藤种质的11个表型性状统计分析,发现各表型性状的变异系数在2.76%~18.75%之间,叶长、叶宽、叶厚的变异系数较大,说明各种质差异主要体现在叶片上。果实横径和果实纵径变异系数较小,说明各种质果实的外观形态差异并不明显。崇左市和百色市赤苍藤种质的多个表型性状的变异系

数比其他地区更大,这与各地区调查的种质数量有一定关系,崇左市和百色市的种质占总数的63.38%,而河池市、梧州市、玉林市、防城港市、柳州市、北流市、平果市、凭祥市的种质数量较少,各地区仅有4~6份。11个表型性状中,叶长与4个性状(叶宽、第二级枝条节间长、果实纵径、叶厚)有显著相关性,叶宽与3个性状(叶长、叶厚、果实纵径)有显著相关性,叶长与叶宽呈显著正相关,说明各种质的长宽比可能相似,而叶长、叶宽与果实纵径、叶厚均呈显著相关性,说明叶长和叶宽对叶片厚度和果实大小的影响较大;叶柄长与2个性状(第二级枝条粗、第二级枝条节间长)有显著相关性,表明叶柄长对枝条生长的影响较大,叶长、叶宽、叶柄长是赤苍藤表型性状中的关键指标,这些表型性状可为赤苍藤表型分类和种质筛选提供重要参考。表型性状与海拔高度的相关性分析结果发现,海拔高度与叶厚呈显著正相关,而与叶长、叶宽和第二级枝条节间长呈显著负相关,生长于高海拔地区的种质与低海拔地区的种质有较明显的差异,高海拔地区种质的叶片往往更小而厚,第二级枝条节间更短,这可能是为适应环境而发生的形态变异,以便更好地适应高海拔地区的低温环境,这与蒋欣梅等^[23]对老山芹的研究结果一致。主成分分析通过降维能够用少数几个主成分概括多个性状指标,已广泛应用于植物表型性状的评价^[24-26]。本研究从11个表型性状中提取了5个主成分,累计贡献率达68.25%,能够代表这些种质的大部分信息,与李鸿雁等^[27]研究结果相似。主成分1和主成分2主要反映叶片和枝条相关指标,而主成分3、主成分4和主成分5主

要反映果实相关指标,这与程雯慧等^[28]研究结果相似,各主成分能够反映出某一类表型特征。

通过系统聚类方法可将142份赤苍藤种质分为4类,第II类包含54份种质,数量最多,基本涵盖了7个地区的种质,说明广西不同地区的赤苍藤种质具有相似的遗传背景,能够被划分为一类。第I类包含49份种质,近一半为崇左市的种质。收集的142份种质有11份人工栽培种质,其中有9份均被划分在第III类中的人工栽培种质能够与其他大部分种质区分开,一方面可能是因为人工栽培过程中因环境改变产生了一定变异,另一方面可能是由于人工栽培会通过施肥促进其生长发育,影响了表型性状,在黄麻属^[29]、新疆核桃^[30]和紫丁香^[31]的研究中也得到了相似的结果。第IV类的12份种质来源于河池市、柳州市和百色市,这些种质基本上来源于较高海拔地区或高纬度地区,冬季气温较低,其叶片具有小而厚的特征。广西的赤苍藤种质主要分布在气候温暖的低海拔地区,本研究调查发现了高寒山区的种质,该地区冬季常有冰冻、降雪,并伴随极端低温,分布于此的赤苍藤仍然长势旺盛,移栽到低海拔地区在秋冬季节长势显著高于其他种质,虽然综合排名靠后,但仍属于赤苍藤遗传改良育种的优异资源,具有较高的科研和应用价值。目前,广西赤苍藤种质资源破坏严重,许多地区因育苗、入药等方面的原因,导致野生种质资源急剧减少,本研究调查发现的有些野生种质属于小苗或是被砍伐后重新生长的,这可能对统计分析造成了一定影响,导致聚类分析中有些同一来源的种质被划分为不同类别。

142份赤苍藤种质资源综合评价结果显示,综合得分排名前10的种质均来源于崇左市,说明崇左市有着较多优良性状的赤苍藤种质,这可能与当地气候环境更适宜赤苍藤生长有关。这10份种质中有5份为人工栽培种质,说明赤苍藤经人工驯化栽培后有着更优异的表型性状,这与黄威剑^[32]、刘潮等^[33]的研究结果一致。另外5份野生种质可作为优良种质资源储备。在赤苍藤选育过程中,菜用种质可将叶片和枝条相关指标作为提升产量最直接的因子,而油用种质重点关注果实相关指标。Es0032、Es0011、Es0012、Es0030、Es0024、Es0027、Es0021、Es0009和Es0033的叶片和枝条相关指标的得分较高,可作为菜用种质开发利用,Es0028、Es0024和Es0021的果实相关指标得分较高,具有油用种质的开发潜质。其中Es0024和Es0021的叶

片、枝条、果实相关指标较为均衡,两份种质均为人工栽培种质,来源于崇左市大新县地区的赤苍藤种植基地,年产量均可达到1750 kg/667 m²以上,但目前仅作为菜用种质栽培,根据综合评价的得分结果,这两份种质同样具有油用种质的潜质。菜用赤苍藤主要采收嫩茎叶,虽然赤苍藤全年均可生长,但在气温较低时,嫩茎叶的生长极为缓慢,若在该时期通过栽培技术手段促进其开花结果,便可采收种仁以提高单位面积的生产价值,由于油用种质与菜用种质的栽培方法并不相同,两者是否能够通过合理的栽培方法平衡嫩茎叶和种仁的产量是今后需要研究的关键技术难题。

参考文献

- [1] 韦贵元, 党桂兰, 胡琦敏, 农友, 徐传贵. 赤苍藤开发利用研究进展. 海峡药学, 2023, 35(2): 27-30
Wei G Y, Dang G L, Hu Q M, Nong Y, Xu C G. Research progress and utilization of *Erythralum scandens*. Strait Pharmaceutical Journal, 2023, 35(2): 27-30
- [2] 隆卫革, 黎素平, 安家成, 朱昌叁. 森林蔬菜赤苍藤营养分析与评价. 食品研究与开发, 2017, 38(24): 124-127
Long W G, Li S P, An J C, Zhu C S. Analysis and evaluation of nutritional components in *Erythralum scandens* Blume. Food Research and Development, 2017, 38(24): 124-127
- [3] 中国科学院中国植物志委员会. 中国植物志: 第二十四卷. 北京: 科学出版社, 1988: 46
Flora of China Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences. Flora of China: Volume 24. Beijing: Science Press, 1988: 46
- [4] 潘乔丹, 黄元河. 赤苍藤对高尿酸血症大鼠血管内皮功能的影响. 中国民族民间医药, 2020, 29(15): 13-15
Pan Q D, Huang Y H. *Erythralum scandens* Bl. to protect the vascular endothelial cells against hyperuricemia in rats. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2020, 29(15): 13-15
- [5] 黄诗宇, 张向军, 李婷, 张尚文. 广西新兴药食同源蔬菜赤苍藤产业发展现状与发展对策. 中国瓜菜, 2021, 34(8): 109-115
Huang S Y, Zhang X J, Li T, Zhang S W. The current situation and development measures of Guangxi's industry of *Erythralum scandens* as a vegetable with edible and medicinal uses. China Cucurbits and Vegetables, 2021, 34(8): 109-115
- [6] 黄诗宇, 杨天为, 张向军, 张尚文, 黄松殿, 石前, 李婷. 不同品种赤苍藤种仁营养成分及潜在应用价值分析. 中国油脂, 2024, URL: <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240115.html>
Huang S Y, Yang T W, Zhang X J, Zhang S W, Huang S D, Shi Q, Li T. Analysis of nutritional components and potential

- application value of seed kernels of *Erythralum scandens* of different varieties. *China Oils and Fats*, 2024, URL: <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240115.html>
- [7] 潘乔丹, 黄元河, 唐海燕, 农静羽, 韦贤, 陆海峰, 黄锁义. 赤苍藤和密蒙花多糖的含量测定及抗氧化研究. *食品研究与开发*, 2016, 37(22): 6-9
- Pan Q D, Huang Y H, Tang H Y, Nong J Y, Wei X, Lu H F, Huang S Y. Content determination and antioxidant activity of polysaccharides of *Erythralum scandens* Bl. and *Buddleja officinalis* maxim. *Food Research and Development*, 2016, 37(22): 6-9
- [8] 黄元河, 黎星星, 潘乔丹, 黎为能, 黄一能. 赤苍藤醇提物的急性毒性及对小鼠高尿酸血症的影响. *中国民族民间医药*, 2017, 26(5): 52-54
- Huang Y H, Li X X, Pan Q D, Li W N, Huang Y N. Acute toxicity and effects of *Erythralum scandens* Bl. ethanol extracts on hyperuricemic in mice. *Chinese Journal of Ethnopharmacology and Ethnopharmacy*, 2017, 26(5): 52-54
- [9] 张尚文, 黄诗宇, 杨天为, 李婷, 张向军, 高曼熔. 基于正交实验的赤苍藤组培快繁体系建立. *植物学报*, 2024, 59(1): 99-109
- Zhang S W, Huang S Y, Yang T W, Li T, Zhang X J, Gao M R. Establishment of a tissue culture and rapid propagation system for *Erythralum scandens* based on orthogonal test. *Chinese Bulletin of Botany*, 2024, 59(1): 99-109
- [10] 王艺锦, 郭品湘, 杨敏, 马道承, 王凌晖, 杜佩莲. 不同有机肥用量及比例对赤苍藤产量和品质的影响. *热带农业科学*, 2024, 44(12): 13-21
- Wang Y J, Guo P X, Yang M, Ma D C, Wang L H, Du P L. Effect of yield and quality of *Erythralum scandens* Bl. under different dosage and proportion of organic fertilizers. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2024, 44(12): 13-21
- [11] 张尚文, 杨天为, 黄诗宇, 张向军, 李婷, 高曼熔, 庾韦花, 蒙平, 石前. 低温贮藏对不同品种赤苍藤品质的影响. *食品工业科技*, 2023, 44(15): 370-377
- Zhang S W, Yang T W, Huang S Y, Zhang X J, Li T, Gao M R, Yu W H, Meng P, Shi Q. Effect of low-temperature storage on the quality of *Erythralum Scandens* Blume of different varieties. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(15): 370-377
- [12] 杨天为, 黄诗宇, 张尚文, 高曼熔, 张向军, 李婷, 庾韦花, 蒙平, 石前. 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. *分子植物育种*, 2023, 21(14): 4710-4718
- Yang T W, Huang S Y, Zhang S W, Gao M R, Zhang X J, Li T, Yu W H, Meng P, Shi Q. Genetic diversity analysis and DNA fingerprinting of *Erythralum scandens* germplasm based on ISSR and SCoT molecular markers. *Molecular Plant Breeding*, 2023, 21(14): 4710-4718
- [13] Yang T W, Zhang X J, Huang S Y, Gao M R, Li T, Zhang S W. Evaluating the genetic diversity of *Erythralum scandens* based on using inter-simple sequence repeat markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2023, 70(8): 2377-2390
- [14] 马道承, 韦晟珠, 杨有兴, 易标, 庞艳萍, 莫艺蕊, 王凌晖. 国内四地赤苍藤种质表型多样性分析及评价. *中国农学通报*, 2024, 40(19): 24-32
- Ma D C, Wei S Z, Yang Y X, Yi B, Pang Y P, Mo Y T, Wang L H. Analysis and evaluation of germplasm phenotypic diversity of *Erythralum scandens* in four regions of China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2024, 40(19): 24-32
- [15] 马道承, 杨有兴, 陈文浪, 万秀勇, 潘淑民, 文国荣, 王凌晖. 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. *广西植物*, 2023, 43(11): 2091-2105
- Ma D C, Yang Y X, Chen W L, Wan X Y, Pan S M, Wen G R, Wang L H. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic characters in 20 germplasm resources of *Erythralum scandens*. *Guihaia*, 2023, 43(11): 2091-2105
- [16] Zhu Z X, Wang J H, Cai Y C, Zhao K K, Michael J M, Wang H F. Complete plastome sequence of *Erythralum scandens* (Erythralaceae), an edible and medicinally important liana in China. *Mitochondrial DNA Part B*, 2018, 3(1): 139-140
- [17] 韦婉玲, 杨海霞, 何文, 李恒锐, 梁振华, 陈会鲜, 张秀芬, 蔡兆琴, 阮丽霞, 李天元, 兰秀, 黄珍玲, 朱艳梅. 基于转录组测序的赤苍藤根、茎和叶基因表达分析. *植物生理学报*, 2023, 59(2): 333-344
- Wei W L, Yang H X, He W, Li H R, Liang Z H, Chen H X, Zhang X F, Cai Z Q, Ruan L X, Li T Y, Lan X, Huang Z L, Zhu Y M. Transcriptomic data analysis of roots, stems, and leaves of *Erythralum scandens*. *Plant Physiology Journal*, 2023, 59(2): 333-344
- [18] 黄诗宇, 杨天为, 张向军, 田姗姗, 高曼熔, 李婷, 石前, 张尚文. 赤苍藤 WRKY 基因家族的全基因组鉴定及表达模式分析. *西南农业学报*, 2024, 37(8): 1705-1714
- Huang S Y, Yang T W, Zhang X J, Tian S S, Gao M R, Li T, Shi Q, Zhang S W. Genome-wide identification and expression pattern analysis of WRKY genes family in *Erythralum scandens*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 37(8): 1705-1714
- [19] 崔向华, 周璐, 徐桂真, 高德学, 唐雪辉, 张少洋, 梁俊超, 王林海. 不同环境下芝麻品质性状的遗传变异分析. *中国农学通报*, 2023, 39(24): 43-49
- Cui X H, Zhou R, Xu G Z, Gao D X, Tang X H, Zhang S Z, Liang J C, Wang L H. Sesame quality traits in different environments: Genetic variation study. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(24): 43-49
- [20] 胡雄蛟, 林亦晴, 高晓龙, 徐卫华, 欧阳志云. 生物多样性价值内涵和评估方法研究进展. *生态学报*, 2024, 44(20): 8957-8967
- Hu X J, Lin Y Q, Gao X L, Xu W H, Ouyang Z Y. Research progress on the connotation of biodiversity value and assessment methods. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(20): 8957-8967
- [21] Grzęda E P, Mohler V, Sowa S. Germplasm resources

- exploration and genetic breeding of crops. *Agriculture*, 2023, 13(12): 2258
- [22] 潘朝阳, 陆展华, 刘维, 王晓飞, 王石光, 陈浩, 方志强, 巫浩翔, 何秀英. 表型组学研究进展及其在作物研究中的应用. *广东农业科学*, 2022, 49(9): 105-113
Pan C Y, Lu Z H, Liu W, Wang X F, Wang S G, Chen H, Fang Z J, Wu H X, He X Y. Advances in phenomics and its application in crop research. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2022, 49(9): 105-113
- [23] 蒋欣梅, 王金华, 于锡宏, 刘舒娅, 张颖. 不同海拔高度对老山芹营养成分及形态的影响. *东北农业大学学报*, 2017, 48(5): 21-27
Jiang X M, Wang J H, Yu X H, Liu S Y, Zhang Y. Effect of different altitude on nutrients and character indexes of *Heraclenm dissectum* Ledeb. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2017, 48(5): 21-27
- [24] 侯献飞, 张云, 刘雨馨, 宋贤明, 贾东海, 顾元国, 李强, 苗昊翠, 陈晓露, 扈瑞祥. 基于主要农艺性状的686份红花种质资源遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2024, 25(9): 1468-1479
Hou X F, Zhang Y, Liu Y X, Song X M, Jia D H, Gu Y G, Li Q, Miao H C, Chen X L, Hu R X. Genetic diversity analysis of main agronomic traits of 686 safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2024, 25(9): 1468-1479
- [25] 李江博, 叶盛, 常国斌, 高曼, 王霞, 帕丽旦·艾海提, 曲延英, 郑凯, 陈全家. 213份海岛棉种质资源的遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2024, 25(11):1857-1874
Li J B, Ye S, Chang G B, Gao M, Wang X, Aihaiti P, Qu Y Y, Zheng K, Chen Q J. Genetic diversity analysis of 213 *Gossypium barbadense* L. germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2024, 25(11):1857-1874
- [26] Xin Y H, Wu Y X, Qiao B, Su L, Xie S Q, Ling P. Evaluation on the phenotypic diversity of Calamansi (*Citrus microcarpa*) germplasm in Hainan island. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 371
- [27] 李鸿雁, 李悦焯, 李俊, 武自念, 黄帆, 朱琳, 郭茂伟, 李志勇, 辛霞. 内蒙古143份冰草属种质资源表型多样性分析与综合评价. *植物遗传资源学报*, 2024, 25(8): 1254-1267
Li H Y, Li Y X, Li J, Wu Z N, Huang F, Zhu L, Guo M W, Li Z Y, Xin X. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 143 *Agropyron* germplasm resources in Inner Mongolia, *Journal of Plant Genetic Resources*, 2024, 25(8): 1254-1267
- [28] 程雯慧, 梁琪, 穆文静, 张彤钰, 程培蕾, 偶春, 杨绍宗, 黄长兵. 226份月季种质资源表型多样性分析及综合评价. *江苏农业科学*, 2024, 52(9): 173-181
Cheng W H, Liang Q, Mu W J, Zhang T Y, Cheng P L, Ou C, Yang S Z, Huang C B. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 226 *Rosa chinensis* germplasm resources. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2024, 52(9): 173-181
- [29] 徐鲜钧. 黄麻属野生种与栽培种遗传资源多样性研究. 福州: 福建农林大学, 2009
Xu X J. Genetic diversity research on wild species and cultivating-varieties of *Corchorus*. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009
- [30] 张宏祥, 张明理, 桂东伟, 姜黎. 新疆核桃4个栽培品种及野生种的遗传多样性分析. *植物资源与环境学报*, 2017, 26(2): 10-16
Zhang H X, Zhang M L, Gui D W, Jiang L. Analysis on genetic diversity of four cultivars and wild species of *Juglans regia* in Xinjiang. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2017, 26(2): 10-16
- [31] 张恒庆, 陈秋月, 张粤, 唐丽丽, 宝超慧, 郝久程. 野生和栽培紫丁香种群遗传多样性的比较研究. *辽宁大学学报: 自然科学版*, 2016, 43(1): 56-60
Zhang H Q, Chen Q Y, Zhang Y, Tang L L, Bao C H, Hao J C. A comparative study on the genetic diversity of wild and cultivated *Syringa oblata* populations. *Journal of Liaoning University: Natural Sciences Edition*, 2016, 43(1): 56-60
- [32] 黄威剑. 葡萄和桃的栽培种和野生种农艺性状调查及基因表达差异研究. 南京: 南京农业大学, 2021
Huang W J. Investigation of agronomic characters and differences in gene expression of cultivated and wild species of grape and peach. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2021
- [33] 刘潮, 田雪莲, 唐仕香, 杨才静, 韩利红. 一株野生蝉花的生物学特性及驯化栽培研究. *热带作物学报*, 2024, 45(5): 973-982.
Liu C, Tian X L, Tang S X, Yang C J, Han L H. Biological characteristics and domestication of a wild *Cordyceps chanhua*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2024, 45(5): 973-982