

赣南野生山金柑种质资源收集与鉴定

罗嗣芳, 张祖铭, 柳嘉程, 孙静贤, 杨月华, 赖圣炜,
谢丽芳, 牛王翠, 严翔, 陈兆星
(赣州市柑桔科学研究所, 江西赣州 341000)

摘要: 通过与赣南各县(区)果业主管部门合作及走访果农, 在赣南进行了野生山金柑种质资源调查与收集, 共收集与鉴定评价野生山金柑种质资源716份。结果表明, 赣南野生山金柑分布于安远、龙南、章贡、崇义、于都、信丰等县(区), 可分为野生和人工移植两类, 主要生存环境为原始森林、山林、山谷、丘陵和盆景; 性状分析发现树姿、节间长度、刺数量、刺长度、叶片长度、叶片宽度、叶柄、叶形、翼叶、叶尖缺刻、单果重量、果面主色、果面杂色、种子数量、油胞明显度、果皮厚度16个性状存在差异; 进一步基于差异性状进行聚类分析, 在欧氏距离等于17.5时716份种质被分为4大类, 欧氏距离小于14时可进一步分成8小类; 基于16个性状进行主成分分析得到6个特征值大于1且与农艺性状相关联的主成分。根据柑橘产业需求, 筛选出3份无刺、34份无籽、67份大果、12份晚熟的野生山金柑种质资源。综上, 赣南野生山金柑鉴定结果对山金柑新品种选育、柑橘产业发展具有较明确的利用价值。

关键词: 野生山金柑; 种质资源; 调查与收集; 鉴定评价; 赣南

Collection and Identification of Wild *Fortunella hindsii* Germplasm Resources in Gannan, Southern Jiangxi Province of China

LUO Sifang, ZHANG Zuming, LIU Jiacheng, SUN Jingxian, YANG Yuehua,
LAI Shengwei, XIE Lifang, NIU Wangcui, YAN Xiang, CHEN Zhaoxing
(Institute of Citrus Science Research of Ganzhou, Ganzhou 341000, Jiangxi)

Abstract: Through cooperating with the fruit industry authorities of counties (districts) in Gannan (southern Jiangxi province, China) and visiting fruit farmers, we conducted the survey of wild *Fortunella hindsii* germplasm resources and collected 716 samples for phenotype characterization. The *F. hindsii* germplasm resources were found in Anyuan, Longnan, Zhanggong, Chongyi, Yudu, Xinfeng and other counties (districts) in Gannan, Jiangxi province, China. It can be divided into wild and artificial transplantation, and the main habitat is primeval forest, forest, valleys, hills and bonsai. There were phenotypic variations at 16 traits including tree posture, internode length, thorn number, thorn length, leaf length, leaf width, petiole, leaf shape, wing leaf, leaf tip lack of engraving, single fruit weight, fruit surface main-color, fruit surface variegation, seed number, oil cell obviousness, and peel thickness. Based on the phenotypic datasets, these samples were classified into four categories at Euclidean distance equal to 17.5, and further less than 14 into 8 subgroups. Principal component analysis was performed based on 16 traits identified 6 principal components with eigenvalues greater than 1 and associating with agronomic traits. To meet the need of citrus industry, 3 thornless,

收稿日期: 2023-07-17 修回日期: 2023-08-17 网络出版日期: 2023-09-04

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230717001>

第一作者研究方向为柑橘种质资源与遗传育种, E-mail: sifang.luo@Outlook.com; 张祖铭为共同第一作者

通信作者: 陈兆星, 研究方向为柑橘育种与采后储藏, E-mail: yuanyichenzhaoxing@163.com

严翔, 研究方向为柑橘栽培与育种, E-mail: gnasgjs@163.com

基金项目: 国家现代农业(柑桔)产业技术体系(CARS-26); 赣州市重点研发计划重点项目—现代农业产业(2022XM061209)

Foundation projects: National Modern Agriculture (Citrus) Industrial Technology System (CARS-26); Key Project of Ganzhou Key R&D Program-Modern Agricultural Industry (2022XM061209)

34 seedless, 67 big-fruit and 12 late-ripening were selected. To sum up, the results of wild *F. hindsii* in Gannan have clear valuable for the commercial breeding of new *F. hindsii* varieties and the development of the citrus industry in future.

Key words: *Fortunella hindsii*; germplasm resource; investigation and collection; identification and evaluation; Gannan

我国是世界柑橘起源中心之一,枳属、金柑属和柑橘属中的大多类型起源于我国^[1]。山金柑(*Fortunella hindsii*),属于芸香科金柑属,经过长期的自然选择和进化形成了地域分布广、生境多样的野生种质,是重要的柑橘种质资源^[2]。山金柑生物学特性十分丰富,不仅观赏性强、抗逆性良好,而且对治疗风寒咳嗽、胃气痛、食积胀满、疝气等具有较高的药用价值^[3]。最新研究发现,山金柑童期极短^[4],从播种到开花结果仅需210 d左右,可作为柑橘的模式植物^[5],用于深入验证研究机理。

20世纪90年代以来,随着柑橘产业的发展,对优良适栽品种的需求十分迫切^[6],尤其是在现代农业产业发展和植物育种过程中,由于优良种质资源材料的缺乏,限制了育种进度和产业多元发展,而具有丰富多样遗传因子的野生种质资源成为实现现代农业育种目标的重要研究对象^[7]。调查、搜集、保存野生种质资源,深入鉴定评价,是发掘出优良性状或潜在经济价值的基本方法^[8],是加强种质资源保护、促进种质资源合理利用的重要手段。一方面,对种质资源开展鉴定和评价旨在发现并挖掘具有经济价值和学术价值的珍稀资源,蒋靖东等^[9]和张成磊等^[10]通过流式细胞术获得1株四倍体山金柑,并对其叶片、花朵、花粉、果实、种子等性状进行了鉴定;宋谢天等^[11]利用分子标记筛选多胚山金柑子代中的珠心胚实生苗,以期优化完善山金柑遗传转化。另一方面,筛选出农艺性状与生产实际相吻合的种质资源是山金柑新品种创制的落脚点,邓家欢^[12]将在江西遂川发现的大果型良种山金柑培育为优良新品种蓝山金柑;李果果等^[13]在广西东兴发现单胚金柑属柑橘,并将其认证为新品种桂野生山金柑。

当前受极端气候和城市化的影响,赣南地区野生山金柑的生存与繁衍受到严重影响,甚至有些地区正面临人为破坏而毁灭,因此对珍惜、濒危、特有的野生山金柑种质资源进行抢救性保护已刻不容缓。本研究在赣南进行了野生山金柑种质资源的系统调查与收集,共收集与鉴定评价野生山金柑种

质资源716份,根据性状调查和抗病性鉴定筛选出一批性状优良的种质,筛选可能适应柑橘产业需求的优良种质集合,为野生山金柑种质资源收集和保存提供了参考方案和数据基础,有利于更快、更有效地利用野生山金柑种质资源。

1 材料与方法

1.1 种质资源的调查与收集

课题组在2022年10-12月通过与赣南各县(区)果业主管部门合作及走访果农,对赣南地区野生山金柑种质资源分布进行详细调查。在发现地点,记录资源采集地点、生境、海拔、经纬度、树姿、病虫害情况等具体信息。

随后对调查过程中的所有种质资源进行采样,采集成熟的果实12个和带叶片的含春稍枝条12份,将枝组、叶片、果实统一编号收集。将收集的716份样品散热至常温后(湿度约为70%),装入湿度约为70%且避免直射光的保鲜盒带回赣州市柑桔科学研究所实验室后进行性状数据采集。

1.2 性状调查

参考《柑橘种质资源描述规范和数据标准》^[14],对收集的材料进行植株、叶片和果实性状调查(表1),包括树姿(以原生境生长状态为基础进行统计)、刺数量、刺长度、节间长度(以春稍为统计依据);叶片长度、叶片宽度、叶形、翼叶、叶柄长度、叶尖缺刻;果形指数(果实纵径/果实横径)、单果重量、果面主色、果面杂色、果面油胞大小、果面油胞明显度、果皮厚度、种子数量等,每个性状测6个样品,重复3次。

1.3 种质资源的保存

数据采集完成之后将716份种质资源保存于赣州市柑桔科学研究所实验基地,保存方法为:含有种子的单株取其种子进行播种保存,对无法收集种子的单株则以枝条为接穗进行嫁接保存。

1.4 数据处理

利用Excel 2019软件对所获得数据进行整理分析,使用SPSS 22软件进行聚类分析、主成分分析等。

表1 部分性状的分级及其描述

Table 1 Trait classification and its description of partial trait

性状 Traits	性状分级 Trait classification	分级描述 Trait description	性状 Traits	性状分级 Trait classification	分级描述 Trait description
节间长度 IL	长	节间伸长明显, ≥30 cm	叶片长度 LL	长	叶长明显, ≥10 cm
	中	节间伸长居中, 10~30 cm		中	叶片长度居中, 5~10 cm
	短	节间明显短缩, ≤10 cm		短	叶短明显, ≤5 cm
刺长度 TL	长	≥5 cm	叶片宽度 LW	长	≥5 cm
	中	1~5 cm		中	3~5 cm
	短	≤1 cm		短	≤3 cm
种子数量 SN	无	无种子或种子全部败育	叶柄 P	长	长度大于2倍翼叶长度
	少	含1~2个种子		中	长度介于1~2倍翼叶长度
	中	含3~5个种子		短	长度小于翼叶长度
	多	含5个种子以上	果皮厚度 PT	薄	≤3 mm
油胞明显度 OCO	弱	成熟果实赤道部位果皮 内含油胞≤5个/cm ²	中	3~5 mm	
	中	成熟果实赤道部位果皮 内含油胞5~10个/cm ²	厚	≥5 mm	
	强	成熟果实赤道部位果皮 内含油胞≥10个/cm ²			

IL: Internode length; TL: Thorn length; SN: Seed number; OCO: Oil cell obviousness; LL: Leaf length; LW: Leaf width; P: Petiole; PT: Peel thickness; The same as below

2 结果与分析

2.1 野生山金柑种质资源的调查与收集

课题组在赣南地区收集到野生山金柑种质资源716份(表2), 主要来源于安远、龙南、章贡、崇义、于都、信丰县(区)。其中673份人工移植的种质资

源为当地居民从山中挖掘移栽至盆景或园地, 本质上仍然为野生种质资源。种质资源收集最多的地区为龙南夹湖, 占63.83%。从野生种质资源的地理分布来看, 主要分布在赣南原始生态地貌保留较好的地区, 纬度在25°N左右, 海拔在271.5~417.8 m, 其中人工移植的种质资源因人为因素导致采集地

表2 赣南野生山金柑种质资源收集情况表

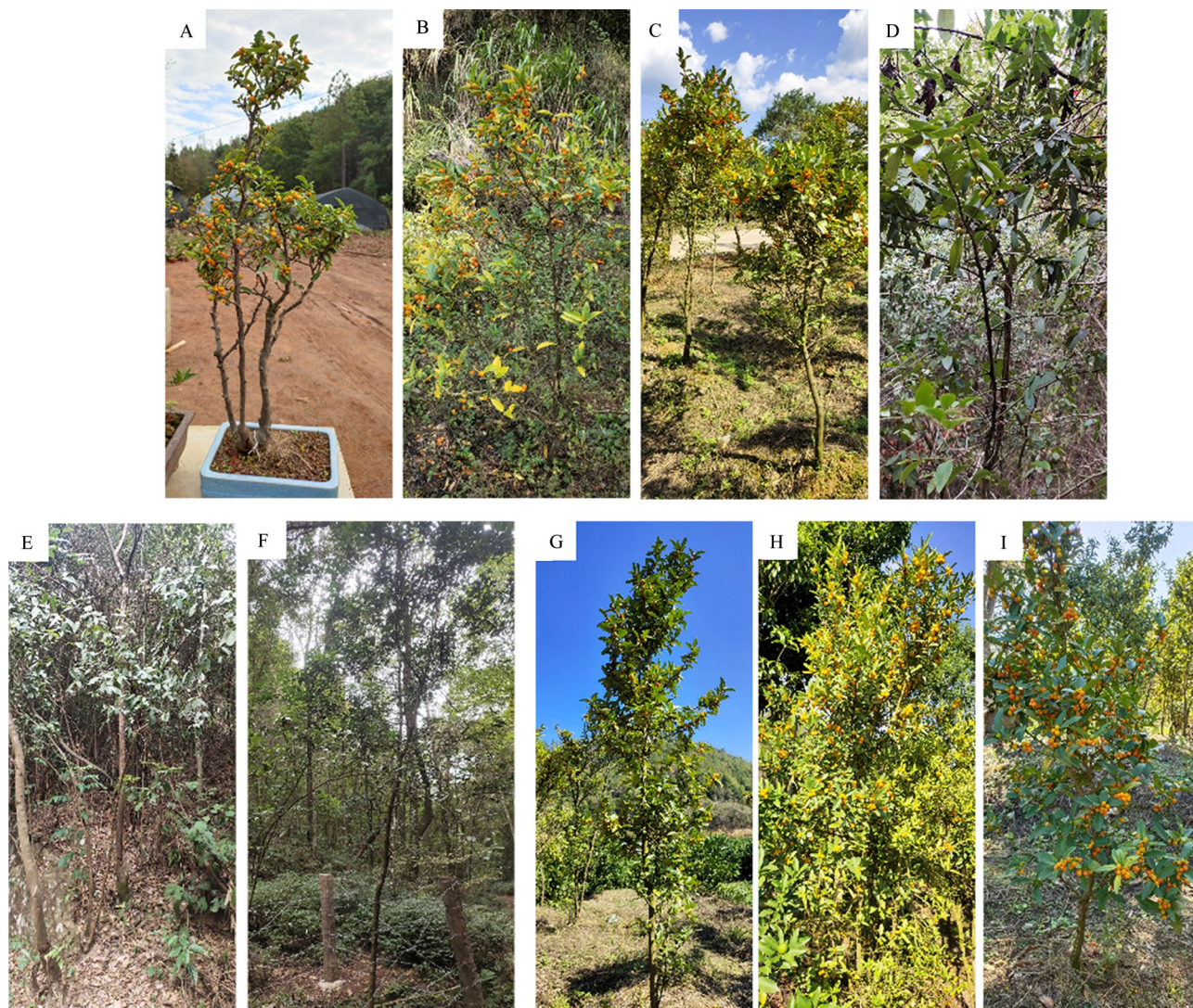
Table 2 The collect information of Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources

采集编号 ID	采集地点 Sites	采集地点编码 Sites code	生境 Habitat	海拔(m) Altitude	数量 Number	占比(%) Percentage
001~017	安远蔡坊	CF	山谷	271.5	17	2.37
018~033	安远三百山	SBS	原始森林	417.8	16	2.23
034~041	龙南里仁	LR	人工移植, 盆景	353.7	8	1.12
042~062	龙南张牯段	ZGD	人工移植, 丘陵	315.4	21	2.93
063~213	龙南余坑	YK	人工移植, 山谷	277.8	151	21.09
214~670	龙南夹湖	JH	人工移植, 丘陵	271.6	457	63.83
671~706	章贡沙石	SS	人工移植, 山谷	149.8	36	5.03
707~709	崇义聂都	CY	原始森林	360.1	3	0.42
710~712	于都梓山	YD	山林	343.2	3	0.42
713~716	信丰铁石口	XF	山林	297.8	4	0.56

CF: Caifang; SBS: Sanbaishan; LR: Liren; ZGD: Zhanggudian; YK: Yukeng; JH: Jiahu; SS: Shashi; CY: Chongyi; YD: Yudu; XF: Xinfeng

海拔在 149.8~353.7 m;从野生种质资源的生境分布来看,野生山金柑适于山谷、原始森林和山林环境,人工移植还可采用盆景、园地种植的方式保存

(图 1)。调查发现野生山金柑的树姿可分为直立、开张和披垂 3 种(图 1G~I),人工移植区域的种质资源树姿分型较为明显。



A~F: 赣南野生山金柑原始生境;A: 盆景;B: 丘陵;C: 人工移植, 丘陵;D: 山谷;E: 山林;F: 原始森林。

G~I: 赣南野生山金柑树姿形态;G: 直立型树姿;H: 开张型树姿;I: 披垂型树姿

A-F: Primitive habitat of Gannan wild *Fortunella hindsii*; A: Bonsai; B: Hills; C: Artificially transplanted, hills; D: Valley; E: Forests; F: Primary forests. G-I: Tree posture of Gannan wild *Fortunella hindsii*; G: Upright tree posture; H: Open tree posture; I: Draped tree posture

图 1 赣南野生山金柑种质资源生境与树姿

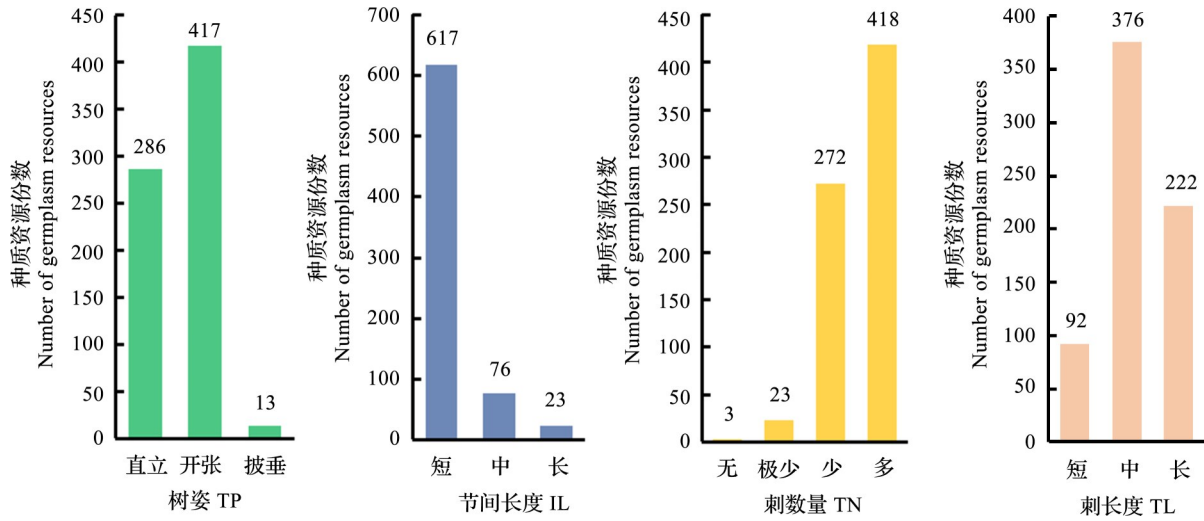
Fig. 1 Habitat and tree posture of Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources

2.2 性状分析

将收集的 716 份野生山金柑种质资源进行植株性状统计(图 2),发现 286 份野生山金柑资源的树姿为直立型,417 份资源为开张型,只有 13 份资源为披垂型;617 份资源属于短节间,76 份资源属于中节间,23 份资源属于长节间;3 份资源为无刺,23 份资源为极少刺,272 份资源为少刺,418 份资源为多刺;690 份少刺和多刺资源中有 92 株属于短刺,376 份资源属于中刺,222 份资源属于长刺。总体而言,野

生山金柑树体主要为开张型,节间生长发育缓慢,多为中短刺,很小部分存在树姿披垂、无刺类型。

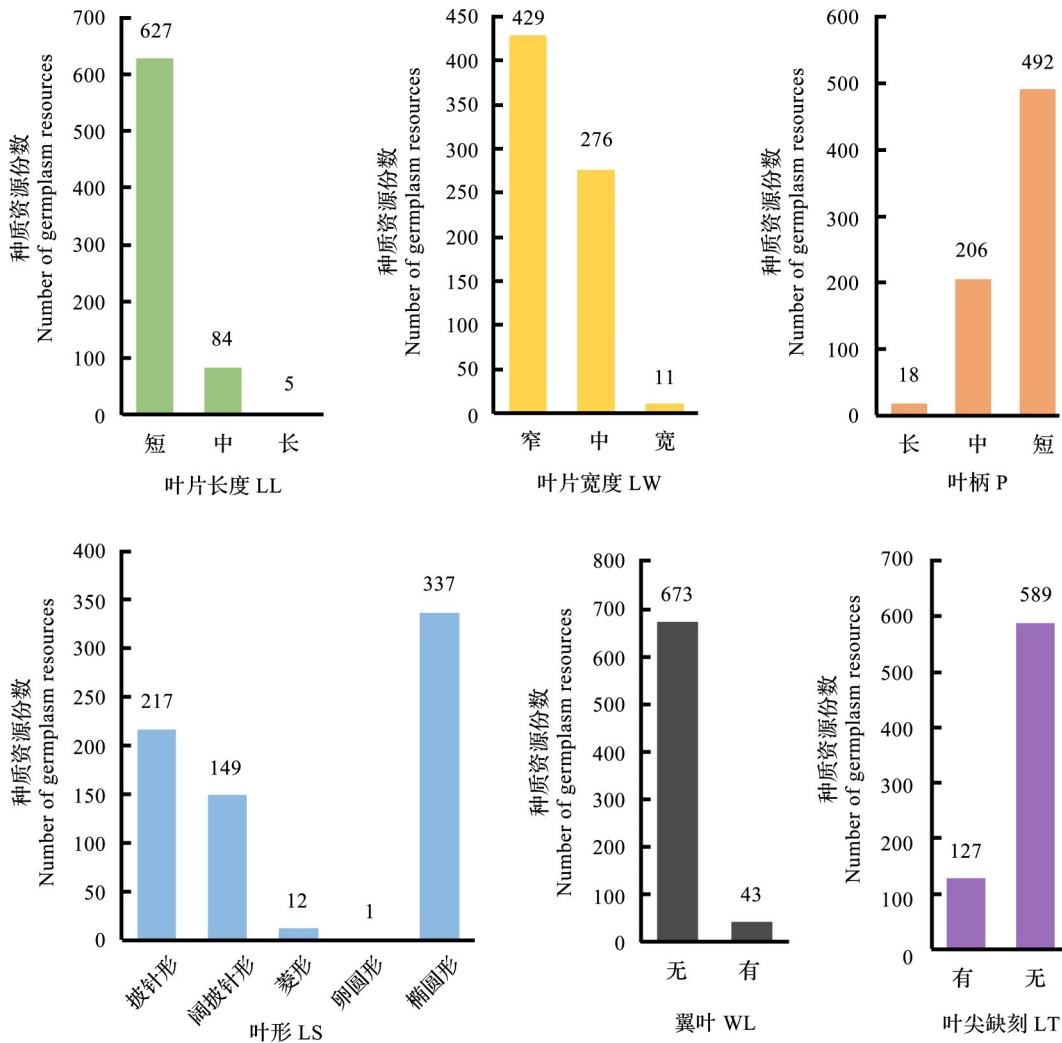
从 716 份野生山金柑种质资源的叶片表型来看(图 3),叶片长度短和叶片宽度窄的资源占绝大部分,分别为 627 份和 429 份,叶片长宽比在 1.433~6.974 之间,总体而言野生山金柑叶片较小;叶形以椭圆形为主,有 337 份资源,菱形和卵圆形叶片占极少数,分别有 12 份和 1 份资源;叶片特异性方面,大部分叶片为短叶柄(492 份资源)、无翼叶(673 份资



TP: Tree posture; The same as below

图2 716份赣南野生山金柑种质资源的植株性状

Fig.2 The plant individual characters of 716 Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources



LS: Leaf shape; WL: Wing leaf; LT: Leaf tip lack of engraving; The same as below

图3 716份赣南野生山金柑种质资源的叶片性状

Fig.3 The leaf characters of 716 Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources

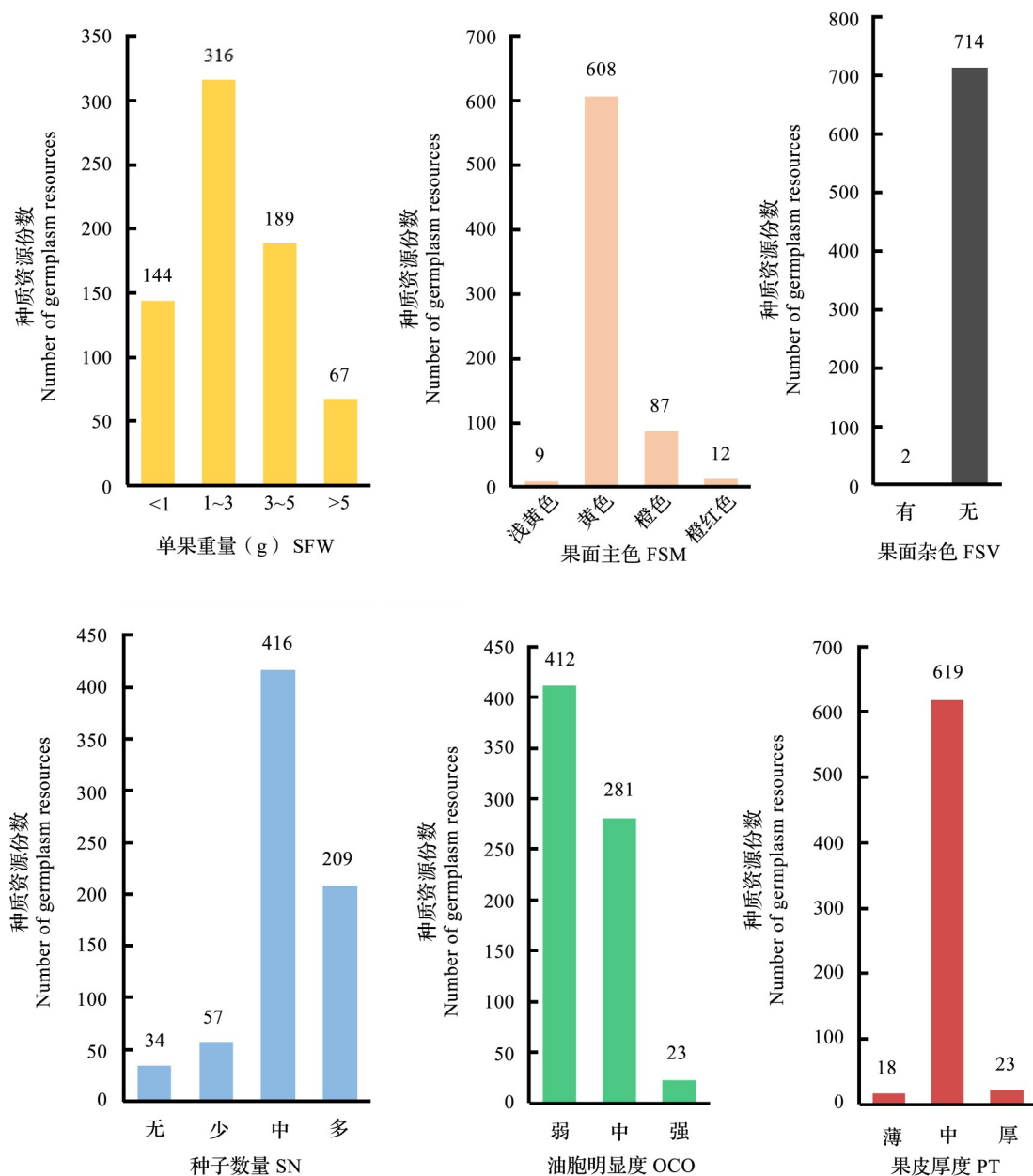
源)、无叶尖缺刻(589份资源)。野生山金柑叶形丰富多样,特征性明显,但这些叶片性状的多样性及其群体特性还需要进一步研究。

果实性状表型统计表明(图4),果形指数在0.883~1.257之间,单果重量主要为1~3 g,只有67份资源的单果重量大于5 g;果面主色大部分为黄色(608份),极少部分为浅黄色和橙红色;只有2株果实颜色中存在杂色,其他资源果面均无杂色;716份野生山金柑有种子的资源的胚性全部为多胚,绝大部分属于中或多种子数量类型,仅34份资源为无种子或种子败育;果面油胞小,明显度弱居多,只有23

份资源果皮油胞明显度强;691份资源果皮厚度居中,18份资源表现为果皮薄,23份资源果皮较厚。

2.3 聚类分析

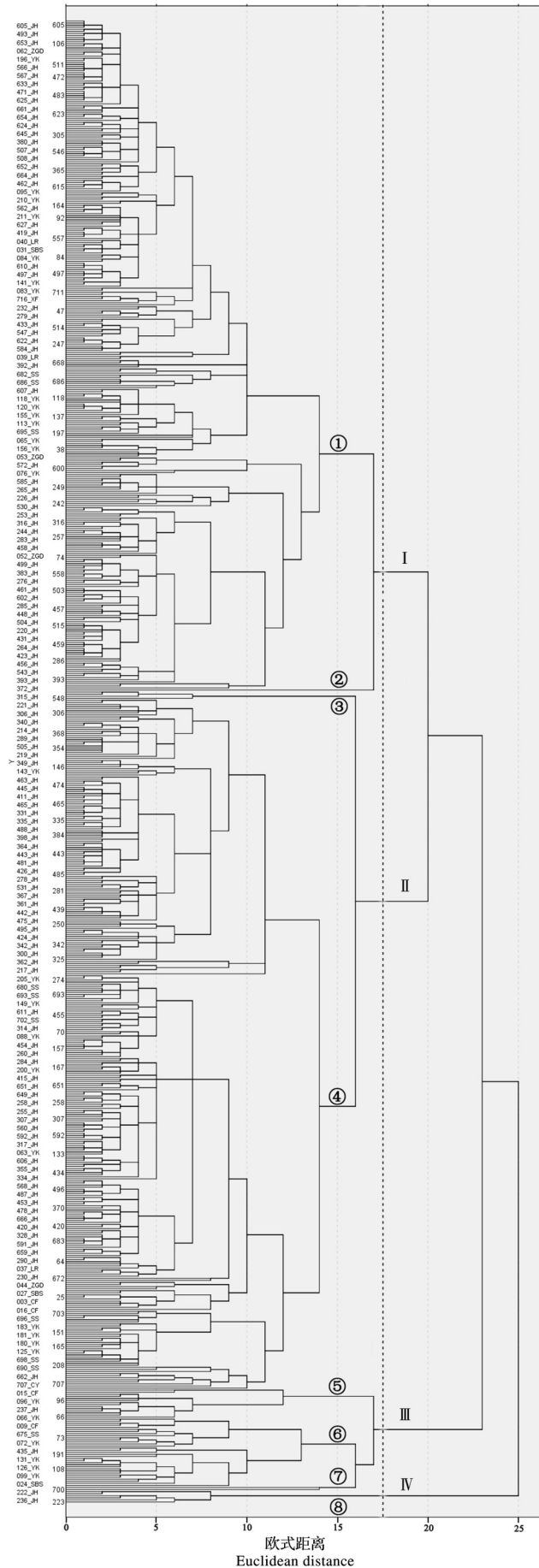
基于上述16个性状指标进行聚类分析(图5)。结果显示,在欧氏距离等于17.5时,716份种质被分为4大类。第I类含374份资源,主要由短节间、刺长度居中、叶椭圆形、种子数量居中的种质组成,包含031_SBS、040_LR、052_ZGD、196_YK、210_YK、433_JH、543_JH、600_SS等;第II类含286份资源,主要由直立树姿、短节间、叶披针形或阔披针形、黄色果面的种质组成,包括016_CF、027_SBS、044_ZGD、



SFW: Single fruit weight; FSM: Fruit surface main-color; FSV: Fruit surface variegation; SN: Seed number; The same as below

图4 716份赣南野生山金柑种质资源的果实性状

Fig.4 The fruit characters of 716 Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources



图中左侧第一列数据为“采集编号_采集地点编码”,左侧第二列数据为聚类边缘的采集编号;采集编号和采集地点编码同表 2
 The first column on the left side of the figure is "ID _ Sites code", the second column on the left side of the figure is the ID of the edge of the cluster; ID and sites code is the same as table 2
 图5 716份赣南野生山金柑种质资源基于性状统计的聚类分析

Fig.5 Cluster analysis of 716 Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources based on agronomic traits

149_YK、200_JH、260_JH、306_JH、435_JH和702_SS等;第Ⅲ类含50份资源,主要由开张型树姿、短叶柄、无或极少种子、油胞明显度弱的种质组成,有009_CF、015_CF、066_YK、096_YK、237_JH、435_JH和675_SS等;第Ⅳ类含6份资源,主要由刺数量多、刺长度长、单果重量>5g、种子数量和果皮厚度居中的种质组成,以222_JH、223_JH和236_JH为代表。在欧氏距离小于14时,可进一步将4大类分成8小类,第①、②小类组成第Ⅰ大类,其中①小类相较于②小类单果重量偏小,种子数量更少;第③、④小类组成第Ⅱ大类,④因果皮油胞更明显单独聚为小类;第Ⅲ大类由第⑤、⑥和⑦小类组成,其中⑤小类均为椭圆形叶片的种质,而⑥小类对比于⑦小类在刺数量上更少;第⑧小类则单独组成第Ⅳ大类。

2.4 主成分分析

基于上述16个性状指标进行相关性分析(表3),以农艺性状间相关值的绝对值大于0.05表示二者具有相关性。结果显示大部分性状间存在一定程度的正相关和负相关,其中,叶片长度和叶片宽度存在正

相关,相关系数为0.54,但与翼叶和叶尖缺刻没有关联性;单果重量与树姿呈负相关,与刺数量和刺长度呈正相关;油胞明显度除了与果面杂色、单果重量和叶片长度负相关外,还与节间长度、叶形、叶尖缺刻和种子数量呈正相关。对赣南野生山金柑农艺性状进行成分分析,提取特征值大于1的成分,得到6个主成分(表4):主成分1贡献率为12.592%,主要与刺长度、叶片长度和叶片宽度相关;主成分2贡献率为9.815%,主要与叶形、单果重量和种子数量相关;主成分3贡献率为8.377%,主要与刺数量、翼叶和油胞明显度相关;主成分4贡献率为8.103%,主要与树姿、节间长度、叶柄和果皮厚度相关;主成分5贡献率为6.898%,主要与果面主色、果面杂色相关;主成分6贡献率为6.418%,主要与叶形和叶尖缺刻相关。

2.5 农艺性状优良的野生山金柑种质资源

此次赣南野生山金柑种质资源系统收集与鉴定,发现了一批农艺性状优良的野生山金柑种质资源,主要为3份无刺野生山金柑资源、34份无籽野生山金柑资源、67份大果野生山金柑资源、12份晚熟野生山金柑资源等(图6)。无刺野生山金柑:全株

表3 赣南野生山金柑农艺性状相关性分析

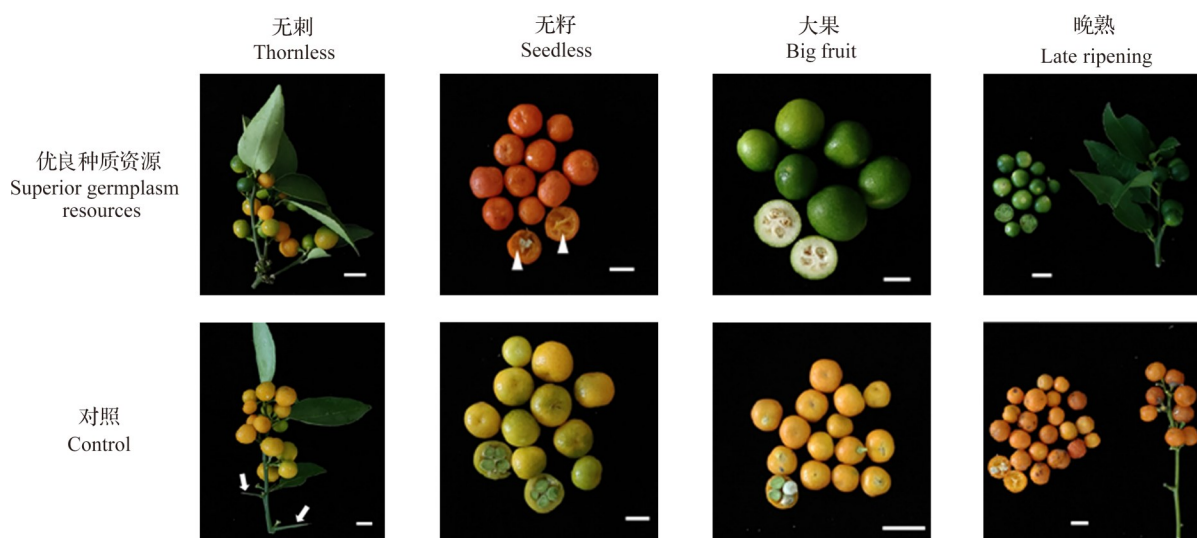
Table 3 Correlation analysis of agronomic traits of Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources

性状 Traits	树姿 TP	节间 长度 IL	刺数 量 TN	刺长 度 TL	叶片 长度 LL	叶片 宽度 LW	叶柄 P	翼叶 WL	叶形 LS	叶尖 缺刻 LT	单果 重量 SFW	果面 主色 FSM	果面 杂色 FSV	种子 数量 SN	油胞 明显 度 OCO	果皮 厚度 PT
树姿 TP	1.00															
节间长度 IL	0.09	1.00														
刺数量 TN	-0.15	-0.06	1.00													
刺长度 TL	-0.14	-0.05	0.19	1.00												
叶片长度 LL	0.11	0.01	-0.15	-0.05	1.00											
叶片宽度 LW	0.03	-0.01	-0.06	0.03	0.54	1.00										
叶柄 P	-0.06	-0.20	0.14	0.10	-0.08	-0.01	1.00									
翼叶 WL	-0.09	-0.02	0.05	-0.06	0	0.06	-0.01	1.00								
叶形 LS	0.01	0.03	0.02	-0.06	0.03	0.04	0.07	-0.02	1.00							
叶尖缺刻 LT	-0.10	-0.08	0.04	0.01	0	0.04	0.01	0.11	0.01	1.00						
单果重量 SF	-0.24	-0.05	0.11	0.21	-0.03	0.02	0.11	-0.15	-0.01	0.01	1.00					
果面主 FSM	0.15	0.11	-0.19	-0.03	0.08	0.06	-0.09	-0.10	0.01	-0.13	-0.10	1.00				
果面杂色 FSV	-0.09	0.02	0.00	-0.01	0.07	0.05	-0.03	0.01	-0.06	0.03	0.03	0.01	1.00			
种子数量 SN	-0.18	-0.06	0.09	0.14	-0.02	-0.03	0.14	-0.06	0.03	0.06	0.29	-0.09	0.02	1.00		
油胞明显度 OCO	0.02	0.05	0	0	-0.05	-0.03	-0.01	0.04	0.07	0.06	-0.08	0.01	-0.15	0.07	1.00	
果皮厚度 PT	0.03	0.03	0.07	0.08	-0.12	-0.02	0.13	-0.01	0.06	-0.01	0.03	0.04	-0.11	0.08	0.11	1.00

表 4 赣南野生山金柑农艺性状主成分分析

Table 4 Components analysis of agronomic traits of traits of Gannan wild *Fortunella hindsii* germplasm resources

性状 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	主成分 6 PC6
树姿 TP	0.062	-0.292	-0.273	0.152	-0.102	-0.053
节间长度 IL	-0.018	0.085	-0.048	0.105	0.607	0.090
刺数量 TN	-0.040	-0.040	0.145	0.081	-0.087	0.419
刺长度 TL	0.112	0.101	-0.097	0.097	0.058	0.557
叶片长度 LF	0.532	0.018	-0.007	-0.040	-0.006	-0.042
叶片宽度 LW	0.569	0.001	0.046	0.048	-0.028	0.094
叶柄 P	0.020	-0.003	-0.073	0.143	-0.558	0.013
翼叶 WL	0.077	-0.279	0.475	0.048	0.067	0.174
叶形 LS	0.043	0.203	0.049	0.246	-0.124	-0.491
叶尖缺刻 LT	0.051	0.066	0.453	0.025	0.044	-0.140
单果重量 SF	0.024	0.463	-0.113	-0.093	0.009	0.045
果面主色 FSM	0.080	-0.024	-0.355	0.073	0.161	0.015
果面杂色 FSV	0.019	0.097	0.049	-0.405	0.112	0.023
种子数量 SN	0.020	0.476	0.043	0.083	0.052	-0.132
油胞明显度 OCO	0.014	0.074	0.206	0.462	0.261	-0.110
果皮厚度 PT	0.026	-0.020	-0.104	0.458	-0.017	0.224
特征值 Eigenvalue	2.015	1.570	1.340	1.297	1.104	1.027
贡献率(%) Contribution	12.592	9.815	8.377	8.103	6.898	6.418
累计贡献率(%) Cumulative contribution	12.592	22.407	30.784	38.887	45.785	52.203



白色箭头为野生山金柑的刺,白色三角形为无籽山金柑的果实,比例尺为 1 cm
The white arrow signified the thorn of the wild *Fortunella hindsii*, and the white triangle marks the fruit of seedless wild *Fortunella hindsii*, and the white triangle marks the fruit of seedless wild *Fortunella hindsii*, bar=1 cm

图 6 部分性状优良的野生山金柑种质资源

Fig.6 Part of germplasm resources with superior agronomic traits

无刺或刺极短,无明显扎手感,便于管理和采摘。无籽野生山金柑:通常野生山金柑具有4~6粒种子,可食用率低,而无籽野生山金柑果实胎座中完全无籽或残留败育的微小种子,便于食用,还发现22份无籽野生山金柑资源成熟期提前。大果野生山金柑:平均单果重量大于5.0 g,平均种子重量1.14 g,果肉较多,可食用率达77.2%,具有较大的产业利用价值。晚熟野生山金柑:成熟期推后2~4个月不等,在弥补产业空档期方面具有重大价值。除此之外,通过抗病性鉴定初步发现了一些具有相关抗性的野生山金柑种质资源,但还需进一步鉴定。

3 讨论

种质资源收集是为了查清和整理一定地区内某些种质资源的数量、分布和特征特性,在柑橘领域,育种工作者们先后完成了柚^[15-16]、佛手^[17]等9属24种14变种共1880份柑橘种质资源的收集^[18-21],但仍然还有许多柑橘种质资源缺乏系统收集,甚至山金柑等野生柑橘种质资源往往被忽略。因此本研究开展赣南野生山金柑种质资源收集、鉴定与评价,筛选出了无刺、无籽、大果、晚熟、抗病性等农艺性状优良单株,对丰富种质资源库、推广本地资源乃至服务整个柑橘产业发展均具有不可替代的作用。除作为食用果品方面的价值外,赣南野生山金柑在观赏、药用、研究等方面的价值还需要深入探究。

不同的种质资源鉴定方式具有不一样的效果^[22-24],分子鉴定可以分析种质间的遗传差异,形态学鉴定可以直接分析种质间的性状差异。彭瑜等^[25]根据6个叶片指标完成了20份柚种质的亲缘关系聚类,李先信等^[26]使用花果性状完成了湖南地区45份柚类的鉴定。本研究基于《柑橘种质资源描述规范和数据标准》对赣南716份野生山金柑的主要性状进行了鉴定和聚类分析,筛选出4类优良性状的单株(图6),但还需在后续研究中将性状指标细化。除此之外,在甘薯^[27]、山茶^[28]、长豇豆^[29]等中,形态学鉴定也发挥了良好作用。在主成分分析方面,钟彩虹等^[30]将猕猴桃品种的9个果实性状简化成相对独立的3个主要因子,这3个主成分对变异的累计贡献率达70.7%。本研究中,对赣南野生山金柑农艺性状的主成分分析得到6个主成分,累计贡献率为52.203%(表3)。影响累计贡献率的因素除了参与评价的农艺性状数量外,还有地域分布和遗传结构等群体因素,这些群体遗传因素的机理

还需深入研究。因此在种质资源利用的过程中,要兼顾主辅因子与育种目标的相互关系。

在种质资源工作中,收集与保存是基础,鉴定和评价是关键,优良种质资源的利用才是最终目标。一般而言,优良种质资源的利用,首先是将收集的种质资源通过人为选择,然后将具有优良性状的植株进行驯化,最终培养成新品种。原始育种材料决定了育种的效果,野生山金柑的抗病性、优质、无籽、不同成熟期等优良性状对促进产业发展、提高产品竞争力具有重大意义。只有对野生山金柑资源进行更加精准的选择与运用,才能为新品种的选育和综合利用创造条件,促进山金柑产业的发展。但目前有关山金柑种质资源的研究较少,对其种质资源的多样性和群体遗传结构缺乏系统研究。因此,除了解野生山金柑的生物学特性之外,还需在后续中开展野生山金柑的亲缘关系和群体分析等,这将对野生山金柑种质资源的合理利用具有重大意义。

参考文献

- [1] 李小孟. 柑橘及其近缘属植物的分子进化与栽培柑橘的起源研究. 重庆:西南大学,2010
Li X M. Molecular evolution of citrus and its relatives and the origin of cultivated citrus. Chongqing: Southwest University, 2010
- [2] 杨金桂. 山金柑. 植物杂志,1989(3):19
Yang J G. *Fortunella Hindsii*. Journal of Botany, 1989(3):19
- [3] 朱丽娜,王仁才,杨梦玲,曹辉. 柑橘类果实主要药用成分的研究进展. 科技风,2009(12):247
Zhu L N, Wang R C, Yang M L, Cao H. Research progress on main medicinal components of Citrus fruits. Technology Wind, 2009(12):247
- [4] 李怀福,胡小三. 山金柑实生苗童期的研究. 特产研究,2005(1):23-25,39
Li H F, Hu X S. The study on the young period of the seedling tree of *Fortunella Hindsii* Swingle. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2005(1):23-25,39
- [5] Zhu C Q, Zheng X J, Huang Y, Ye J L, Chen P, Zhang C L, Zhao F, Xie Z Z, Zhang S Q, Wang N, Li H, Wang L, Tang X M, Chai L J, Xu Q, Deng X X. Genome sequencing and CRISPR/Cas9 gene editing of an early flowering Mini-Citrus (*Fortunella hindsii*). Plant Biotechnology Journal, 2019, 17(11):2199-2210
- [6] 邓秀新,王力荣,李绍华,张绍铃,张志宏,丛佩华,易干军,陈学森,陈厚彬,钟彩虹. 果树育种40年回顾与展望. 果树学报,2019,36(4):514-520
Deng X X, Wang L R, Li S H, Zhang S L, Zhang Z H, Cong P H, Yi G J, Chen X S, Chen H B, Zhong C H. Retrospection

- and prospect of fruit breeding for last four decades in China. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(4): 514-520
- [7] Cuiling W, Songlin H, Candice G, Thomas L. Emerging avenues for utilization of exotic germplasm. *Trends in Plant Science*, 2017, 22(7): 624-637
- [8] Kurasch A K, Hahn V, Leiser W L, Vollmann J, Schori A, Béatrix C A, Mayr B, Winkler J, Mechtler K, Aper J, Sudaric A, Pejic I, Sarcevic H, Jeanson P, Balko C, Signor M, Miceli F, Strijk P, Rietman H, Muresanu E, Djordjevic V, Pospišil A, Barion G, Weigold P, Streng S, Krön M, Würschum T. Identification of mega-environments in Europe and effect of allelic variations at maturity E loci on adaptation of European soybean. *Plant, Cell & Environment*, 2017, 40(5): 765-778
- [9] 蒋靖东, 韦壮敏, 王楠, 朱晨桥, 叶俊丽, 谢宗周, 邓秀新, 柴利军. 山金柑四倍体资源的发掘与鉴定. *园艺学报*, 2023, 50(1): 27-35
- Jiang J D, Wei Z M, Wang N, Zhu C Q, Ye J L, Xie Z Z, Deng X X, Chai L J. Exploitation and identification of tetraploid resources of Hongkong Kumquat (*Fortunella hindsii*). *Acta Horticultural Sinica*, 2023, 50(1): 27-35
- [10] 张成磊, 周锐, 谢善鹏, 解凯东, 夏强明, 伍小萌, 郭文武. 山金柑实生后代四倍体发掘及形态和代谢评价. *植物科学学报*, 2022, 40(1): 47-53
- Zhang C L, Zhou R, Xie S P, Xie K D, Xia Q M, Wu X M, Guo W W. Exploration and evaluation of morphological traits and primary metabolites of tetraploid seedlings from Hongkong kumquat (*Fortunella hindsii* Swingle). *Plant Science Journal*, 2022, 40(1): 47-53
- [11] 宋谢天, 田啸宇, 王楠, 周银, 谢源源, 谢宗周, 柴利军, 叶俊丽, 邓秀新. 利用InDel标记筛选多胚山金柑珠心苗后代. *果树学报*, 2023, 40(7): 1312-1317
- Song X T, Tian X Y, Wang N, Zhou Y, Xie Y Y, Xie Z Z, Chai L J, Ye J L, Deng X X. InDel marker-assisted selection of nucellar seedlings in polyembryonic *Fortunella hindsii*. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40(7): 1312-1317
- [12] 邓家欢. 蓝山金柑. *湖南农业*, 2003(4): 22
- Deng J H. 'Nan mountain' *Fortunella Hindsii*. *Hunan Agriculture*, 2003(4): 22
- [13] 李果果, 麦彩胜, 刘要鑫, 柴利军, 陈香玲, 赵小龙, 欧智涛, 张兰, 赵洪涛. 柑橘新品种'桂野生山金柑'的选育. *果树学报*, 2017, 34(6): 769-771
- Li G G, Mai C S, Liu Y X, Chai L J, Chen X L, Zhao X L, Ou Z T, Zhang L, Zhao H T. A new citrus cultivar 'Gui Wild Shanjingan'. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(6): 769-771
- [14] 江东, 焦必宁, 江用文, 王成秋, 龚桂芝, 熊兴平, 洪棋斌, 曹立. NY/T 2030-2011 农作物优异种质资源评价规范 柑橘. 北京: 农业农村部, 2011
- Jiang D, Jiao B N, Jiang Y W, Wang C Q, Gong G Z, Xiong X P, Hong Q B, Cao L. NY/T 2030-2011 evaluating standards for elite and rare germplasm resources citrus (*Citrus L.*). Beijing: Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2011
- [15] 李俭. 南康柚子种质资源的调查、收集与评价. 赣州: 赣南师范大学, 2021
- Li J. Investigation, collection and evaluation of Nankang Pomelo germplasm resources. Ganzhou: Gannan Normal University, 2021
- [16] 汪奇. 我国柚品种(系)选育分析及海南柚种质资源收集、鉴定与初步评价. 海口: 海南大学, 2021
- Wang Q. Breeding analysis of pomelo varieties (lines) in China and collection, identification and preliminary evaluation of pomelo germplasm resources in Hainan. Haikou: Hainan University, 2021
- [17] 桑丹. 佛手种质资源收集、评价及遗传多样性分析. 杭州: 浙江师范大学, 2011
- San D. Analyzed on genetic diversity, collection and evaluation of Fingered Citron. Huangzhou: Zhejiang Normal University, 2011
- [18] 宫宜希. 加强种质资源保护和育种创新 打好种业翻身仗. *中国人大*, 2021(22): 52-53
- Gong Y X. Strengthen the protection of germplasm resources and innovation in breeding to turn over the seed industry. *The People's Congress of China*, 2021(22): 52-53
- [19] 吴洁芳, 袁沛元, 陈洁珍, 刘岩, 黄秉智, 潘建平, 韩冬梅. 广东主要果树种质资源收集保存现状与展望. *广东农业科学*, 2011, 38(5): 60-63
- Wu J F, Yuan P Y, Chen J Z, Liu Y, Huang B Z, Pan J P, Han D M. Current situation and prospects of conservation research on the main fruit germplasm resources in Guangdong. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(5): 60-63
- [20] 贾敬贤, 任庆棉. 筛选出一批果树优异种质资源. *北京农业*, 1995(7): 4
- Jia J X, Ren Q M. A batch of excellent germplasm resources of fruit trees were screened. *Beijing Agriculture*, 1995(7): 4
- [21] 石健泉, 沈丽娟, 肖敏菲, 卢美玲, 蒋运宁. 广西柑桔种质资源调查收集研究. *中国柑桔*, 1988(4): 36-37
- Shi J Q, Shen L J, Xiao M Z, Lu M L, Jiang Y N. Investigation and collection of Guangxi citrus germplasm resources. *China Citrus*, 1988(4): 36-37
- [22] 付涛, 王志龙, 林立, 林乐静. 樱属植物种质资源系统鉴定方法的研究. *园艺学报*, 2015, 42(12): 2455-2468
- Fu T, Wang Z L, Lin L, Lin L J. Study on the identification method of a system of the *Cerasus* plants germplasm resources. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(12): 2455-2468
- [23] 马小定, 崔迪, 韩冰. 水稻种质资源全基因组DNA指纹鉴定方法研究. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(4): 1106-1113
- Ma X D, Cui D, Han B. Identification and evaluation method for genome-wide DNA fingerprinting of rice germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(4): 1106-1113
- [24] 穆国俊, 何丽君, 李朋飞, 杜丽芬, 段会军, 崔顺立, 孟庆荣, 刘立峰. 利用农艺性状和SRAP标记方法初步鉴定甘薯丰收白突变体. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(4): 728-732, 753
- Mu G J, He L J, Li P F, Du L F, Duan H J, Cui S L, Meng Q R, Liu L F. Preliminary identification to one mutant of sweet potato variety Fengshoubai by agronomic trait and SRAP marker analysis. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14

- (4):728-732,753
- [25] 彭瑜,苏智先,张素兰.利用叶片形态学性状和ISSR标记检测柚类的遗传多样性.西北农林科技大学学报:自然科学版,2008(4):104-110
Peng Y, Su Z X, Zhang S L. Detecting genetic diversity by morphological characteristics of leaves and SSR markers in *Citrus grandis*. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2008(4): 104-110
- [26] 李先信,杨迎花,陈婕平,邹学校,邓子牛.湖南柚种质资源的遗传多样性和亲缘关系.湖南农业大学学报:自然科学版,2013,39(4):363-370
Li X X, Yang Y H, Chen J P, Zou X X, Deng Z N. Genetic diversity and relationship of pummelo germplasms in Hunan province based on morphological traits and SRAP molecular markers. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2013, 39(4): 363-370
- [27] 李慧峰,陈天渊,黄咏梅,吴翠荣,李彦青,滑金锋,范继征.甘薯种质资源形态标记遗传多样性分析.西南农业学报,2015,28(6):2401-2407
Li H F, Chen T Y, Huang Y M, Wu C R, Li Y Q, Hua J F, Fan J Z. Genetic diversity of sweet potato germplasm resources revealed by morphological traits. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(6): 2401-2407
- [28] 陈睿,鲜小林,秦帆,万斌.山茶种质资源主要表型的遗传多样性分析.西南农业学报,2015,28(6):2706-2713
Chen R, Xian X L, Qin F, Wan B. Genetic diversity analysis of *Camellia* germplasm resources. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(6): 2706-2713
- [29] 屈雪华,邵景杰,严牧,何冰冰,潘磊,郭瑞,陈高,万何平,陈禅友.长豇豆营养成分及其遗传和相关性分析.植物遗传资源学报,2023,24(4):1034-1045
Qu X H, Shao J J, Yan M, He B B, Pan L, Guo R, Chen G, Wan H P, Chen C Y. Genetic and correlation analysis of Asparagus bean nutrient composition. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(4): 1034-1045
- [30] 钟彩虹,李大卫,韩飞,刘小莉,张鹏,黄宏文.猕猴桃品种果实性状特征和主成分分析研究.植物遗传资源学报,2016,17(1):92-99
Zhong C H, Li D W, Han F, Liu X L, Zhang P, Huang H W. Fruit characters and principal component analysis of different ploidy of Kiwifruit cultivars (*Actinidia Chinensis* Planch). Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(1): 92-99