

部分杨梅种质资源表型性状多样性分析

蒋 芯¹, 颜丽菊^{2*}, 尤建林², 徐春燕¹, 张淑文³, 梁森苗³

(¹台州市农业技术推广中心, 浙江台州 318000; ²临海市特产技术推广总站, 浙江临海 317000;

³浙江省农业科学院园艺研究所, 杭州 310021)

摘 要:【目的】深入了解杨梅种质资源表型性状的多样性特征,为杨梅种质资源的研究和利用提供理论依据和参考。【方法】以95份杨梅地方种质资源为试材,对其果实、果核、叶片和花序等44个表型性状(20个描述型性状和24个数量型性状)观测记录,并进行相关性、聚类 and 主成分等分析。【结果】20个描述型性状的Shannon-Wiener指数(H)和Simpson指数(D)变化范围分别为0.512 5~1.515 3和0.271 9~0.766 0,其中果实颜色、果核核表颜色和果核茸毛颜色等表现出较高的多样性。24个数量型性状的变异系数均值为19.03%,其中果实色泽指标 b^* 值变异系数最大(63.99%)。数量型性状之间的相关性分析结果表明,72对相关系数达极显著水平,23对相关系数达显著水平。主成分分析结果表明,前8个主成分累计贡献率达81.827%,主要反映果实大小、果实色泽、果实糖酸含量等相关因子。根据聚类分析可将95份杨梅种质分为5个类群。【结论】杨梅种质资源表型性状存在丰富的多样性。其中果实单果质量、外观色泽指标、糖酸含量等可作为杨梅品质综合评定的重要指标。95份杨梅种质资源可分为5个类群,其中类群II可用于选育大果型优质品种,类群IV可用于选育优质白梅类品种。

关键词:杨梅;种质资源;表型性状;多样性分析

中图分类号:S667.6

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2023)07-1281-13

Phenotypic traits diversity analysis of some Chinese bayberry germplasm resources

JIANG Xin¹, YAN Liju^{2*}, YOU Jianlin², XU Chunyan¹, ZHANG Shuwen³, LIANG Senmiao³

(¹Taizhou Agricultural Technology Extension Center, Taizhou 318000, Zhejiang, China; ²Linhai Specialty and Technology Extension Station, Linhai 317000, Zhejiang, China; ³Institute of Horticulture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang, China)

Abstract: 【Objective】 Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) is a subtropical evergreen fruit tree of the *Myrica* genus in Myricaceae family, bearing delicious, berry-like fruits. The fruit ripens in June and early July in the main production areas of China (i.e., Zhejiang and Jiangsu provinces), and its colors and appealing flavor are very attractive to the domestic and foreign consumers. The genus *Myrica* Linn. contains more than 50 species, of which six are found in China, including *M. rubra*, *M. esculenta*, *M. nana*, *M. adenophora*, *M. integrifolia* and *M. arboresceus*, respectively. According to relevant survey statistics, there are more than 300 Chinese bayberry cultivars in China. Diversity analysis of the phenotypic characters is a basic method for the evaluation of germplasm resources. However, there have been few reports on the identification of phenotypic traits of Chinese bayberry. In this study, the phenotypic traits diversity of 95 Chinese bayberry germplasm resources were analyzed in order to provide theoretical foundation for breeding and further utilization of the different bayberry resources. 【Methods】 In current study, 95 accessions of the Chinese bayberry germplasm resources were used as test materials, among them, 93 belongs to *M. rubra*, one to *M. esculenta* and one to *M. nana* × *M. rubra*

收稿日期:2022-12-30 接受日期:2023-02-11

基金项目:浙江省科技计划项目(2021C02066-2);浙江省农业(果品)新品种选育重大科技专项(2016C02052-2);浙江省果品产业技术团队项目(202112);台州市名师名家工作室项目(201928)

作者简介:蒋芯,女,农艺师,主要从事果蔬生产技术与推广。Tel:0576-88595085,E-mail:627877895@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:0576-85389033,E-mail:1091830835@qq.com

hybrid. A total of 44 phenotypic traits (i.e., 20 descriptive indexes and 24 quantitative indexes) were investigated. The descriptive indexes including the fruit, stone, leaf and inflorescence traits were recorded by description and observation method. The quantitative indexes including the fruit, stone, leaf and inflorescence traits were analyzed by correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis. The correlation analysis and principal component analysis were analyzed using SPSS26.0 software, while the cluster analysis was performed using MEGA X software. 【Results】 The genetic variation in phenotypic traits of 95 accessions of the Chinese bayberry germplasms was abundant. The Shannon-Wiener index H and Simpson index D of the 20 descriptive traits ranged from 0.512 5 to 1.515 3 and 0.271 9 to 0.766 0, respectively. The higher diversity indexes were observed in the fruit color (H : 1.447 7, D : 0.728 8), stone fur color (H : 1.224 0, D : 0.662 2), and stone color (H : 1.515 3, D : 0.766 0), indicating relatively rich genetic diversity in these traits. The mean value of variation coefficient of the 24 quantitative traits was 19.03%, and the highest variation coefficient was observed in the fruit color index b^* value (63.99%). The correlation analysis between quantitative traits showed that 72 pairs of correlation coefficients were extremely significant ($p < 0.01$), and 23 pairs of correlation coefficients were significant ($p < 0.05$). The principal component analysis indicated that the cumulative contribution rate of the 8 main principal components was 81.827%, which mainly reflected factors of the fruit size, fruit color, fruit sugar content and acid content. The germplasms were divided into five main groups by the cluster analysis at the Euclidean distance of 20. The Group I contained only 1 germplasm, namely Maoyangmei, which had the smallest single fruit weight, the smallest fruit vertical diameter, the lowest soluble solids content, the smallest solid-acid ratio and the thinnest leaf thickness among 95 germplasms, suggesting it could be used as a special germplasm resource. The Group II included 4 germplasms, which mainly characterized by the large fruit shape and fruit weight. The Group III contained 3 germplasms. The Group IV had 8 germplasms, which was mainly characterized by the white bayberry germplasms. The Group V included 79 germplasms. 【Conclusion】 The 95 accessions of the Chinese bayberry germplasm resources were rich in genetic variation and high in diversity of phenotypic traits. The single fruit weight, fruit appearance color index, sugar content and acid content could be used as most important indicators for comprehensive evaluation of Chinese bayberry quality. The 95 accessions of the Chinese bayberry germplasm resources could be divided into 5 groups, among them, the group II could be used for breeding larger fruit and higher quality variety, and the group IV could be used for breeding white bayberry variety.

Key words: Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.); Germplasm resources; Phenotype; Diversity analysis

杨梅 (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) 属杨梅科 (Myricaceae) 杨梅属 (*Myrica* L.) 常绿植物, 为中国南方特色果树。我国杨梅主要分布于长江流域以南地区, 以浙江栽培面积最大, 其次为江苏、福建、广东、湖南等地^[1-3]。杨梅果实初夏成熟, 色泽艳丽, 鲜嫩多汁, 酸甜适口, 富含糖、酸、花青苷、黄酮、维生素和氨基酸等营养物质^[4-5], 风味浓郁, 既可鲜食, 也可加工, 深受广大消费者喜爱。

品种资源分析评价是实现植物优良种质创新、品种选育和高效生产的前提和关键^[6]。全球杨梅科

植物共4个属约50余种, 主要分布在南美洲、北美洲、欧洲、非洲东部及东亚地区。中国只有杨梅属1属6个种, 包括杨梅 (*M. rubra*)、毛杨梅 (*M. esculenta*)、矮杨梅 (*M. nana*)、青杨梅 (*M. adenophora*)、全缘叶杨梅 (*M. integrifolia*) 和大杨梅 (*M. arborescens*)^[1]。我国杨梅种质资源较为丰富, 据陈慧等^[7]报道我国杨梅有305个品种和105个品系, 已定名品种为268个。但与其他大宗果树相比, 我国杨梅育种工作起步晚, 种质资源研究相对滞后。关于杨梅品种资源的研究, 国内科研工作者主要通过分子标记

鉴定^[8-9]、基因组学分析^[10-11]、芽变选种^[12-13]等方法进行杨梅品种的遗传多样性分析和新品种选育研究,但尚未见较为系统全面的表型性状相关研究报道。

杨梅果实、果核、叶片和花序等表型性状不仅是杨梅种质资源描述的重要内容,也是区分杨梅品种资源的主要性状。本研究以浙江省临海市国家杨梅良种繁育基地内收集和引进的95份杨梅种质为试材,其中包括杨梅种93份、毛杨梅种1份、矮杨梅种和杨梅种杂交1份。通过对果实、果核、叶片、花序等44个表型性状进行观测统计,利用相关性分析、主成分分析、聚类分析等方法从形态学水平上研究其遗传多样性,探寻其性状的变异特点,以期为杨梅种质资源研究和育种提供依据和参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于2017—2020年在浙江省临海市小芝镇国家杨梅良种繁育基地进行。试验材料为收集保存的95份杨梅种质(表1),以嫁接方式保存,常规管理。

1.2 性状观测

每个品种选取3株生长发育良好的结果树作为试验对象。参考《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 杨梅》(NY/T 2761—2015)^[14]和高志红等^[15]的方法,开展果实、果核、叶片、花序等表型性状观测。其中,果实、果核的性状观测主要在5月下旬至6月果实成熟期(即当种质全树约有75%果实的大小、性状和颜色等表现出该种质的固有特性的时间)进行;叶片性状观测主要在11月秋梢生长停止后进行;花序性状观测主要在2月下旬至3月花期进行。

果实、果核:随机选取树冠东南西北中不同部位成熟果实。观测记录果实形状、果实颜色、果实风味、贮藏性、果核形状、果核离核情况、果核缝合线、茸毛颜色和核表颜色,测量果实单果质量、纵径、横径、色泽指标、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、果柄长度、果柄粗度、单果核质量、核长度、核宽度、核厚度。为保证测定数据的准确性和一致性,除贮藏性外,其他指标测定均在果实采摘当天完成。

叶片:随机选取老熟春梢中上部的叶片。观测记录叶片形状、叶尖形状、叶缘形状、叶片颜色,测量叶片长度、宽度、厚度。春梢初抽生期,观测记录嫩叶颜色。

花序:随机选取树冠中上部向阳面短果枝中心

花枝上中上部花序。选择含苞待放花序测定花序长度、粗度,记录花序形状。开花后观测记录雌花开张度、雌花色泽以及单花序花朵数。

单果质量、单果核质量用准确度为0.01 g的电子天平测定;果实纵径、果实横径、果柄长度、果柄粗度、果核长度、果核宽度、果核厚度、叶片长度、叶片宽度、花序长度和花序粗度用数显游标卡尺测定;叶片厚度用YH-1叶片厚度计测定;果实可溶性固形物含量用PAL-1数显糖度计测定;果实可滴定酸含量用PAL-Easy ACID F5数显酸度计测定;果实色泽指标 L^* 、 a^* 、 b^* 用CR-400色差仪测定。参照Zhang等^[16]的方法计算红色葡萄果实颜色指数CIRG值。果形指数为果实纵径与横径比值。固酸比为果实可溶性固形物含量与可滴定酸含量比值。

1.3 数据分析

观测数据经Excel 2010整理统计。参照曾少敏等^[17]方法计算20个描述型性状的遗传多样性指数Shannon-Wiener指数(H)和Simpson指数(D)。利用SPSS26.0计算24个数量型性状的最小值、最大值、平均值、标准差和变异系数,并进行Pearson相关性分析和主成分分析。通过SPSS26.0以平方欧式距离计算95份种质资源数量型性状遗传距离,利用MEGA X软件按UPGMA遗传距离进行聚类分析并绘制聚类图。

2 结果与分析

2.1 描述型性状的多样性分析

将杨梅种质的20个描述型性状进行分类(表2),其中果实颜色、果核核表颜色等分组类型较多,具体各性状的分布情况如表3所示。

杨梅种质果实形状包括高圆球形、圆球形和扁圆球形,以圆球形为主(73.68%)。杨梅果实颜色可分为紫黑色、紫红色、深红色、红色、水红色或白色,以紫红色为主(42.11%),其次为深红色(20.00%)和紫黑色(18.95%),而红色占9.47%,水红色或白色只占9.47%。杨梅果实肉质可分为较硬、中、较柔软,以较柔软为多。果实果汁量较多,只有5份种质果汁少。果实风味以甜酸风味为主(65.26%)。杨梅果实大部分没有香味(69.47%),少数有清香味(6.32%),部分有松脂味;其中9份有较浓的松脂味,14份有淡松脂味。不同种质贮藏性存在差异,按贮藏性分为较好、中和较差,比例分别为54.74%、31.58%和13.68%。

杨梅种质果核形状可分为近圆形、卵形或扁卵

表 1 95 份杨梅种质名称
Table 1 The name of 95 Chinese bayberry germplasm

编号 No.	种质名称 Name of material	编号 No.	种质名称 Name of material	编号 No.	种质名称 Name of material	编号 No.	种质名称 Name of material
1	东魁杨梅 Dongkuiyangmei	25	余姚水晶 Yuyaoshuijing	49	兰溪大水梅 Lanxidashuimei	73	湖南大叶梅 Hunandayemei
2	临海早大梅 Linhaizaodamei	26	余姚纽扣梅 Yuyaoniukoumei	50	兰溪杨柳梅 Lanxiyangliumei	74	湖南白杨梅 Hunanbaiyangmei
3	临海早水梅 Linhaizaoshuimei	27	余姚粉红种 Yuyaofenhongzhong	51	晚稻杨梅 Wandaoyangmei	75	上冲梅 Shangchongmei
4	临海大黑炭 Linhaidaheitan	28	晚茅蜜梅 Wanjimimei	52	定海红杨梅 Dinghaihongyangmei	76	墙背梅 Qiangbeimei
5	杜桥洋平 Duqiaoyangping	29	象山小暑水梅 Xiangshanxiaoshushuimei	53	大叶岗 Dayegang	77	冒顶梅 Maodingmei
6	箬溪变种 Ruoxibianzhong	30	象山本地炭梅 Xiangshanbenditanmei	54	大红袍 Dahongpao	78	冬瓜梅 Dongguamei
7	临海白梅 Linhaibaimei	31	乌紫梅 Wuzimei	55	小夹山 Xiaojiashan	79	黑瑞林 Heiruilin
8	松山早野 Songshanzaoye	32	奉化野杨梅 Fenghuayeyangmei	56	大夹山 Dajiashan	80	光贵早 Guangguizao
9	松山糖梅 Songshantangmei	33	奉化青叶杨梅 Fenghuaqingyeyangmei	57	硬丝 Yingsi	81	王子安海 Wangzianhai
10	临海水梅 Linhaishuimei	34	宁海特早香 Ninghaitezaoxiang	58	安海早 Anhaizao	82	安海明珠 Anhaimingzhu
11	松山大野 Songshandaye	35	宁海真梅 Ninghaizhenmei	59	胭脂红 Yanzhihong	83	乌梅 Wumei
12	临海大白梅 Linhaidabaimai	36	宁海水晶 Ninghaishuijing	60	安海变种 Anhaibianzhong	84	桃红 Taohong
13	涌泉1号 Yongquan1hao	37	宁海大麻叶 Ninghaidamaye	61	大叶早 Dayezao	85	小叶细蒂 Xiaoyexidi
14	涌泉2号 Yongquan2hao	38	上虞深红种 Shangyushenhongzhong	62	土变 Tubian	86	大叶细蒂 Dayexidi
15	涌泉3号 Yongquan3hao	39	上虞水晶 Shangyushuijing	63	安海中梅 Anhaizhongmei	87	甜山 Tianshan
16	黄岩早梅 Huangyanzaomei	40	丁岙梅 Dingaomei	64	福建特早梅 Fujiantezaomei	88	东方明珠 Dongfangmingzhu
17	黄岩大炭梅 Huangyandatanmei	41	萧山早色 Xiaoshanzaose	65	安海大粒早 Anhaidalizao	89	常熟白杨梅 Changshubaiyangmei
18	三门桐子梅 Sanmentongzimei	42	萧山迟色 Xiaoshanchise	66	福建白梅 Fujianbaimai	90	西山紫条 Xishanzitia
19	黑晶 Heijing	43	余杭大炭梅 Yuhangdatanmei	67	广东火炭 Guangdonghuotan	91	张1 Zhang1
20	温岭大梅 Wenlingdamei	44	余杭荔枝梅 Yuhanglizhimei	68	广东红腊 Guangdonghongla	92	果1 Guo1
21	荸荠种杨梅 Biqizhongyangmei	45	金钱炭梅 Jinqiantanmei	69	广东大虾 Guangdongdaxia	93	王1 Wang1
22	早茅蜜梅 Zaojimimei	46	矮杨梅×早色 Dwarf bayberry×Zaose	70	广东大粒酥 Guangdongdalisu	94	福建晚梅 Fujianwanmei
23	余姚早酸梅 Yuyaozaosuanmei	47	兰溪早梅 Lanxizaomei	71	湖南小冲梅 Hunanxiaochongmei	95	毛杨梅 Box myrtle
24	余姚乌大种 Yuyaowudazhong	48	兰溪木叶梅 Lanximuyemei	72	湖南太婆 Hunantaipo		

注:编号 1~56 引种自浙江,57~66 引种自福建,67~70 引种自广东,71~82 引种自湖南,83~94 引种自江苏,95 引种自云南。

Note: No. 1-No. 56 were introduced from Zhejiang province, No. 57-No. 66 were introduced from Fujian province, No. 67-No. 70 were introduced from Guangdong province, No. 71-No. 82 were introduced from Hunan province, No. 83-No. 94 were introduced from Jiangsu province, and No. 95 introduced from Yunnan province.

表2 杨梅种质描述型性状及分级标准

Table 2 Descriptive phenotypic traits and grading standards of Chinese bayberry germplasms

描述型性状 Descriptive trait	分级标准 Description of grading				
	1	2	3	4	5
果实形状 Fruit shape (FS)	高圆球形 Highly round	圆球形 Round	扁圆球形 Oblate		
果实颜色 Fruit color (FC)	紫黑 Purplish black	紫红 Purplish red	深红 Dark red	红色 Red	水红色或白色 Water red or white
果肉质度 Flesh quality (FQ)	较硬 Firm	中 Medium	较柔软 Softer		
果汁量 Fruit juice (FJ)	多 Much	中 Medium	少 Little		
果实风味 Fruit flavor (FF)	甜酸 Sweet-sour	酸甜 Sour-sweet	淡甜酸 Light sweet-sour	较酸 Sour	
果实香气 Fruit aroma (FA)	有香味 Fragrance	无 Absent	淡松脂味 Light turpentine odor	浓松脂味 Dense turpentine odor	
果实贮藏性 Fruit storability (FST)	较好 Good	中 Medium	较差 worse		
果核形状 Stone shape (SS)	近圆形 Suborbicular	卵形或扁卵形 Oval or flat oval	长卵形 Long oval	椭圆形 Elliptic	
果核离核情况 Stone adherence to flesh (SA)	较离核 Free	中 Semi-free	较黏核 Cling		
果核缝合线 Stone sutural line (SSL)	明显 Evident	稍明显 Some obvious	不明显 Nothing		
果核茸毛颜色 Stone fur color (SF)	淡黄褐色 Light tawny	黄褐色 Tawny	浅棕色 Light brown	棕色 Brown	
果核核表颜色 Stone color (SC)	淡黄绿色 Light yellowish-green	黄绿色 Yellowish-green	青绿色 Bluish green	黄褐色 Tawny	灰褐色 Taupe
叶形 Leaf shape (LS)	窄倒披针形 Narrow Oblanceolate	倒披针形 Oblanceolate	窄倒卵形 Narrow Obovate	倒卵形 Obovate	
叶尖形状 Leaf apex (LA)	急尖 Acute	渐尖 Acuminate	钝 Blunt	微缺 Intaglio	
叶色 Leaf color (LC)	深绿色 Dark green	绿色 Green	黄绿色 Yellowish green		
叶缘 Leaf margin (LM)	全缘 Entire	浅锯齿 Shallow serration	深锯齿 Tip entire	带波状 Wave-like	
嫩叶颜色 Young leaf color (YLC)	淡紫红色 Light purplish red	橘黄色 Orang	淡绿色 Light green	褐红色 Brown red	
花序形状 Inflorescence shape (IS)	圆筒 Cylinder	长圆筒 Long cylinder	短圆筒 Short cylinder		
雌花开张度 Female flower angle (FFA)	V形 V-shape	倒人字形 Inverted “人” shape	M形 M-shape		
雌花色泽 Female flower color (FFC)	紫红色 Purplish red	玫瑰红色 Rose red	红色 Red	淡粉色 Pink	

形、长卵形和椭圆形,以卵形或扁卵形为主(68.42%)。杨梅果核离核情况可分为较离核、中和较黏核,以较黏核为主。大部分果核缝合线较明显。果核茸毛颜色包括淡黄褐色、黄褐色、浅棕色和棕色,以淡黄褐色比例最高(49.47%)。果核核表颜色包括淡黄绿色、黄绿色、青绿色、黄褐色和灰褐色。

杨梅种质叶片形状包括窄倒披针形、倒披针形、窄倒卵形和倒卵形,倒披针形比例最高(55.79%)。叶尖包括急尖、渐尖、钝和微缺,以渐尖

为主(70.52%)。叶色包括深绿色、绿色和黄绿色,以绿色为主(58.95%)。叶缘有全缘、浅锯齿、深锯齿和带波状,以全缘为主(84.21%)。嫩叶颜色包括淡紫红色、橘黄色、淡绿色和褐红色,橘黄色比例最高(60.00%)。

杨梅种质雌花花序形状可分为圆筒形、长圆筒形和短圆筒形3类,以圆筒形为主(68.42%)。雌花开张度可分为V形、倒人字形、M形3类,以倒人字形比例最高(58.95%)。雌花色泽包括紫红色、玫瑰红色、红色和淡粉色,以紫红色比例最高(55.79%)。

表3 杨梅种质描述型性状频率分布及多样性

Table 3 Frequency distribution and diversity of phenotype traits in Chinese bayberry germplasm

描述型性状 Descriptive trait	各级频率 Frequency of classification/%					Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index, <i>H</i>	Simpson 指数 Simpson index, <i>D</i>
	1	2	3	4	5		
果实形状 Fruit shape (FS)	12.63	73.68	13.69			0.758 6	0.422 4
果实颜色 Fruit color (FC)	18.95	42.11	20.00	9.47	9.47	1.447 7	0.728 8
果肉质地 Flesh quality (FQ)	35.79	21.05	43.16			1.058 4	0.641 3
果汁量 Fruit juice (FJ)	38.95	55.79	5.26			0.847 7	0.534 3
果实风味 Fruit flavor (FF)	65.26	21.05	6.32	7.37		0.973 3	0.520 4
果实香气 Fruit aroma (FA)	6.32	69.47	14.74	9.47		0.933 0	0.482 7
果实贮藏性 Fruit storability (FST)	54.74	31.58	13.68			0.966 0	0.581 9
果核形状 Stone shape (SS)	10.53	68.42	15.79	5.26		0.943 0	0.493 1
果核离核情况 Stone adherence to flesh (SA)	22.10	26.32	51.58			1.026 4	0.615 8
果核缝合线 Stone sutural line (SSL)	43.16	22.10	7.37			1.063 6	0.644 2
果核茸毛颜色 Stone fur color (SF)	49.47	16.84	23.16	10.53		1.224 0	0.662 2
果核核表颜色 Stone color (SC)	26.31	26.32	27.37	11.58	8.42	1.515 3	0.766 0
叶形 Leaf shape (LS)	3.16	55.79	20.00	21.05		1.084 6	0.603 4
叶尖形状 Leaf apex (LA)	8.42	70.52	10.53	10.53		0.928 6	0.473 3
叶色 Leaf color (LC)	36.84	58.95	4.21			0.812 8	0.515 0
叶缘 Leaf margin (LM)	84.21	13.69	1.05	1.05		0.512 5	0.271 9
嫩叶颜色 Young leaf color (YLC)	26.32	60.00	9.47	4.21		1.014 4	0.560 0
花序形状 Inflorescence shape (IS)	68.42	15.79	15.79			0.842 6	0.482 0
雌花开张度 Female flower angle (FFA)	34.74	58.95	6.31			0.853 2	0.527 8
雌花色泽 Female flower color (FFC)	55.79	7.37	20.00	16.84		1.139 6	0.615 0

注:表中数字代表的描述型性状详见表2。Note: The numbers resprerented descriptive traist are shown in Table 2.

由表3可知,20个描述型性状的Shannon-Wiener指数(*H*)和Simpson指数(*D*)变化范围分别为0.512 5~1.515 3和0.271 9~0.766 0,其中果实颜色、果核茸毛颜色和果核核表颜色的Shannon-Wiener指数(*H*)分别为1.447 7、1.224 0和1.515 3,数值较高,说明多样性较为丰富。

2.2 数量型性状多样性分析

从表4可知,95份杨梅种质资源的24个数量型性状变异系数范围为1.28%~63.99%。仅果实纵径、横径、果形指数、可溶性固形物含量、可食率和果核厚度6个性状的变异系数小于10%,其他18个性状的变异系数均大于10%,说明这些性状个体间存在较大差异。其中,变异系数以果实色泽指标***b****值最高(63.99%),其次果柄长度为(33.84%),变异系数排序为***b****值>果柄长度>***L****>***a****>单果核质量。

果实性状:果实单果质量、纵径、横径的均值分别为12.47 g、27.68 mm、28.54 mm,其中单果质量的变异系数为26.46%。种质箬溪变种单果质量最大(25.34 g)、纵径最长(36.15 mm)、横径最长(36.42 mm)。毛杨梅单果质量最小(5.01 g)、纵径最短(21.51 mm)。单果质量14 g以上的种质比例为

24.21%,10 g以上种质的比例为85.26%。果形指数最大为广东大虾(1.04),最小为湖南白杨梅(0.86)。果柄最长为丁岙梅(18.87 mm),最短为甜山(2.92 mm),最粗为东方明珠(2.17 mm),最细为奉化野杨梅(0.62 mm)。

果实色泽指标***L****、***a****、***b****、CIRG均值分别为20.75、15.03、7.08、4.40,变异系数最大的为***b****。明亮度***L****值最大为宁海水晶(42.99),最小为安海中梅(16.22)。红绿色度***a****值最大为余姚早酸梅(24.68),最小为临海白梅(6.30)。黄蓝色度***b****值最大为临海大白梅(21.14),最小为西山紫条(1.05)。色泽指标CIRG值最大为西山紫条(6.35),最小为临海大白梅(1.78)。

果实可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比和可食率均值分别为11.37%、1.14%、10.37%和94.32%,变异系数最大为可滴定酸含量(20.52%)。果实可溶性固形物含量最高为晚稻杨梅(13.40%),最低为毛杨梅(8.62%)。可滴定酸含量最高为广东红腊(2.11%),最低为安海变种(0.74%)。固酸比最高为上冲梅(16.21),最低为毛杨梅(4.74)。可食率最高为东魁杨梅(96.50%),最低为胭脂红(90.92%)。

表4 杨梅种质24个数量型性状的变异情况
Table 4 Coefficient of variation on 24 quantitative traits of Chinese bayberry germplasms

性状 Trait	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 <i>s</i>	变异系数 CV/%
果实性状 Fruit trait					
单果质量 Single fruit mass (FM)/g	5.01	25.34	12.47	3.30	26.46
果实纵径 Fruit vertical diameter (FVD)/mm	21.51	36.15	27.68	2.63	9.50
果实横径 Fruit transverse diameter (FTD)/mm	21.17	36.42	28.54	2.62	9.58
果形指数 Fruit shape index (FSI)	0.86	1.04	0.97	0.03	3.12
果柄长度 Fruit stalk length (FSL)/mm	2.92	18.87	7.80	2.64	33.84
果柄粗度 Fruit stalk thickness (FST)/mm	0.62	2.17	1.55	0.26	16.64
<i>L</i> *	16.22	42.99	20.75	6.38	30.76
<i>a</i> *	6.30	24.68	15.03	4.33	28.82
<i>b</i> *	1.05	21.14	7.08	4.53	63.99
CIRG	1.78	6.35	4.40	1.11	25.23
<i>w</i> (可溶性固形物) Total soluble solids content (TSS)/%	8.62	13.40	11.37	0.68	6.01
<i>w</i> (可滴定酸) Titratable acid content (TA)/%	0.74	2.11	1.14	0.23	20.52
固酸比 Solid acid ratio (SAR)	4.74	16.21	10.37	1.94	18.70
可食率 Edible rate (ER)/%	90.92	96.50	94.32	1.20	1.28
果核性状 Stone trait					
单果核质量 Single stone mass (SM)/g	0.34	1.51	0.69	0.20	28.34
果核长度 Stone length (SL)/mm	10.29	18.46	13.08	1.64	12.50
果核宽度 Stone width (SW)/mm	7.70	13.34	9.96	1.02	10.27
果核厚度 Stone thickness (ST)/mm	6.27	10.97	8.20	0.78	9.55
叶片性状 Leaf trait					
叶片长度 Leaf length (LL)/cm	6.23	12.37	9.49	1.22	12.88
叶片宽度 Leaf width (LW)/cm	2.09	4.13	2.91	0.47	16.26
叶片厚度 Leaf thickness (LT)/mm	0.28	0.58	0.44	0.05	11.06
花序性状 Inflorescence trait					
花序长度 Inflorescence length (IL)/mm	4.36	19.60	8.69	2.32	26.71
花序粗度 Inflorescence thickness (IT)/mm	1.62	2.96	2.24	0.29	12.88
单花序花朵数 Number of flowers per inflorescence (NFI)	3.20	10.40	6.78	1.47	21.76

果核性状:杨梅种质单果核质量、果核长度、果核宽度和果核厚度均值分别为0.69 g、13.08 mm、9.96 mm和8.20 mm,变异系数最大的为单果核质量(28.34%)。单果核质量最大为箬溪变种(1.51 g),最小为余姚纽扣梅(0.34 g)。果核长度最长为箬溪变种(18.46 mm),最短为安海早(10.29 mm)。果核宽度最宽为乌紫梅(13.34 mm),最窄为余姚纽扣梅(7.70 mm)。果核厚度最厚为乌紫梅(10.97 mm),最薄为桃红(6.27 mm)。

叶片性状:杨梅种质叶片长度、宽度、厚度均值分别为9.49 cm、2.91 cm和0.44 mm,其中叶片宽度变异系数较大(16.26%)。叶片长度最长为甜山(12.37 cm),最短为福建晚梅(6.23 cm)。叶片宽度最宽为临海水梅(4.13 cm),最窄为广东火炭(2.09 cm)。叶片厚度最厚为东方明珠(0.58 mm),最薄为毛杨梅雌株(0.28 mm)。

花序性状:95份杨梅种质雌性花序长度、粗度和单花序花朵数均值分别为8.69 mm、2.24 mm和

6.78朵。其中花序长度最长为丁岙梅(19.60 mm),最短为晚稻杨梅(4.36 mm)。花序粗度最粗为涌泉2号(2.96 mm),最细为晚稻杨梅(1.62 mm)。单花序花朵数最多为湖南大叶梅(10.4朵),花朵数最少为晚稻杨梅(3.20朵)。

2.3 数量型性状的相关性分析

对95份杨梅种质的24个数量型性状进行Pearson相关性分析,结果见表5,其中72对相关系数达极显著水平($p < 0.01$),23对相关系数达显著水平($p < 0.05$)。单果质量、纵径和横径三者之间互呈极显著正相关,相关系数分别为0.962、0.941、0.949。单果质量、纵径、横径均与果柄粗度、可食率、单果核质量、果核长度、果核宽度、果核厚度、叶片长度、叶片宽度、叶片厚度、花序粗度呈极显著正相关。单果质量与果实可滴定酸含量呈极显著负相关,与固酸比呈显著正相关。果实纵径与果实可滴定酸含量呈显著负相关。横径与果形指数、固酸比呈显著正相关,与果实可滴定酸含量呈极显著负相

表 5 杨梅种质资源数量性状相关性分析
Table 5 Correlation analysis of quantitative traits of Chinese bayberry germplasms

性状 Trait	FM	FVD	FTD	FSI	FSL	FST	L*	a*	b*	CIRG	TSS	TA	SAR	ER	SM	SL	SW	ST	LL	LW	LT	IL	IT	NFI	
FM	1																								
FVD	0.962**	1																							
FTD	0.941**	0.949**	1																						
FSI	0.006	0.092	-0.225*	1																					
FSL	0.131	0.144	0.117	0.087	1																				
FST	0.374**	0.366**	0.275**	0.261*	0.069	1																			
L*	-0.013	-0.064	0.024	-0.249*	0.025	-0.015	1																		
a*	-0.085	-0.104	-0.166	0.189	0.135	0.033	-0.175	1																	
b*	0.001	-0.062	-0.018	-0.109	0.138	0.028	0.876**	0.249*	1																
CIRG	0.028	0.083	0.040	0.116	-0.120	-0.006	-0.839**	-0.349**	-0.970**	1															
TSS	-0.087	-0.070	-0.125	0.164	0.171	0.023	-0.027	0.214*	0.040	-0.097	1														
TA	-0.278**	-0.237*	-0.319**	0.284**	0.080	0.072	0.074	0.135	0.186	-0.186	0.045	1													
SAR	0.220*	0.191	0.243*	-0.187	0.008	-0.083	-0.144	-0.093	-0.230*	0.222*	0.221*	-0.918**	1												
ER	0.309**	0.297**	0.388**	-0.305**	-0.011	0.118	-0.117	-0.119	-0.165	0.181	-0.104	-0.420**	0.375**	1											
SM	0.684**	0.658**	0.585**	0.185	0.133	0.252*	0.089	0.048	0.157	-0.152	0.050	0.040	-0.073	-0.408**	1										
SL	0.674**	0.696**	0.546**	0.418**	0.167	0.299**	-0.061	0.135	0.064	-0.062	0.044	0.068	-0.077	-0.199	0.772**	1									
SW	0.512**	0.521**	0.474**	0.114	0.291**	0.008	0.008	-0.038	0.077	-0.036	0.042	0.148	-0.082	-0.184	0.632**	0.649**	1								
ST	0.617**	0.623**	0.595**	0.045	0.089	0.117	-0.048	-0.065	-0.021	0.048	0.067	-0.014	0.025	-0.149	0.717**	0.613**	0.675**	1							
LL	0.360**	0.366**	0.329**	0.100	0.151	0.195	-0.016	-0.100	0.005	0.051	0.037	-0.010	0.046	0.036	0.267**	0.290**	0.236*	0.162	1						
LW	0.424**	0.421**	0.418**	-0.032	0.130	0.081	0.001	-0.079	0.036	-0.015	0.043	0.025	-0.020	0.048	0.386**	0.359**	0.373**	0.404**	0.638**	1					
LT	0.534**	0.515**	0.531**	-0.073	0.140	0.329**	0.085	0.054	0.137	-0.134	0.147	-0.188	0.154	0.185	0.418**	0.342**	0.262*	0.471**	0.213*	0.407**	1				
IL	0.169	0.186	0.201	-0.057	0.722**	-0.094	-0.009	0.062	0.088	-0.068	0.011	0.060	-0.040	0.061	0.124	0.212*	0.344**	0.157	0.186	0.241*	0.142	1			
IT	0.293**	0.320**	0.319**	-0.018	0.114	0.178	-0.052	0.075	0.035	-0.042	-0.053	0.173	-0.216*	0.258*	0.126	0.219*	0.171	0.185	0.207*	0.445**	0.225*	0.156	1		
NFI	0.068	0.101	0.037	0.182	0.309**	0.006	-0.044	0.044	0.024	-0.007	0.187	0.046	0.048	-0.145	0.180	0.201	0.248*	0.139	0.361**	0.176	0.130	0.441**	0.077	1	

注:表中字母代表的数量性状详见表 4。*和**分别表示在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平显著相关。

Note: The character represented quantitative trait is shown in Table 4. * and ** indicated significant correlation at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

关。果形指数与果实可滴定酸含量、果核长度呈极显著正相关,与可食率呈极显著负相关,与 L^* 呈显著负相关。果柄长度与果核宽度、花序长度、单花序花朵数呈极显著正相关。果柄粗度与果核长度、叶片厚度呈极显著正相关,与单果核质量呈显著正相关。

L^* 与 b^* 呈极显著正相关,与CIRG呈极显著负相关。 a^* 与 b^* 、可溶性固形物含量呈显著正相关,与CIRG呈极显著负相关。 b^* 与CIRG呈极显著负相关,与固酸比呈显著负相关。CIRG与固酸比呈显著正相关。果实可溶性固形物含量与 a^* 、固酸比呈显著正相关。果实可滴定酸含量与固酸比、可食率呈极显著负相关。固酸比与可食率呈极显著正相关。可食率和单果核质量呈极显著负相关,与花序粗度呈显著正相关。

单果核质量、果核长度、果核宽度、果核厚度之

间均呈极显著正相关。单果核质量、果核长度均与叶片长度、叶片宽度、叶片厚度呈极显著正相关。果核长度与花序长度、花序粗度呈显著正相关。果核宽度与叶片宽度、花序长度呈极显著正相关,与叶片长度、叶片厚度、单花序花朵数呈显著正相关。果核厚度与叶片宽度、叶片厚度呈极显著正相关。叶片长度与叶片宽度、单花序花朵数呈极显著正相关,与叶片厚度、花序粗度呈显著正相关。叶片宽度与叶片厚度、花序粗度呈极显著正相关,与花序长度呈显著正相关。叶片厚度与花序粗度呈显著正相关。花序长度与单花序花朵数呈极显著正相关。

2.4 主成分分析

对杨梅种质资源的24个数量性状进行主成分分析,结果见表6。根据特征值大于1的原则提取前

表6 杨梅种质数量型性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of quantitative traits of Chinese bayberry germplasms

性状 Trait	主成分 Principle component							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
单果质量 Single fruit mass (FM)	<u>0.907</u>	-0.211	-0.173	-0.150	0.007	0.056	-0.112	0.097
果实纵径 Fruit vertical diameter (FVD)	<u>0.911</u>	-0.224	-0.088	-0.139	-0.015	0.064	-0.116	0.113
果实横径 Fruit transverse diameter (FTD)	<u>0.860</u>	-0.279	-0.292	-0.094	-0.084	-0.054	-0.135	0.021
果形指数 Fruit shape index (FSI)	0.098	0.204	<u>0.634</u>	-0.134	0.209	0.364	0.063	0.304
果柄长度 Fruit stalk length (FSL)	0.284	0.249	0.100	<u>0.692</u>	-0.001	0.023	-0.338	0.203
果柄粗度 Fruit stalk thickness (FST)	0.353	0.006	0.039	-0.256	-0.102	<u>0.604</u>	0.013	<u>0.439</u>
L^*	-0.005	0.602	<u>-0.701</u>	-0.076	0.009	-0.157	0.159	0.209
a^*	-0.035	0.339	0.111	0.125	0.243	<u>0.542</u>	-0.297	<u>-0.391</u>
b^*	0.055	<u>0.776</u>	<u>-0.590</u>	0.006	0.060	0.072	0.023	0.057
CIRG (CIRG)	-0.026	<u>-0.780</u>	<u>0.578</u>	-0.006	-0.103	-0.130	0.009	0.028
可溶性固形物含量 Total soluble solids content (TSS)	0.029	0.134	0.121	0.299	<u>0.467</u>	0.344	0.261	-0.327
可滴定酸含量 Titratable acid content (TA)	-0.116	<u>0.661</u>	0.461	-0.171	-0.417	0.010	-0.064	-0.056
固酸比 Solid acid ratio (SAR)	0.101	<u>-0.637</u>	-0.337	0.297	<u>0.535</u>	0.049	0.140	-0.002
可食率 Edible rate (ER)	0.092	-0.588	-0.439	0.198	-0.336	0.307	-0.194	0.014
单果核质量 Single stone mass (SM)	<u>0.793</u>	0.263	0.128	-0.266	0.269	-0.155	0.025	-0.012
果核长度 Stone length (SL)	<u>0.792</u>	0.194	0.270	-0.189	0.185	0.041	-0.092	0.072
果核宽度 Stone width (SW)	<u>0.698</u>	0.220	0.213	0.027	0.094	-0.368	-0.127	-0.106
果核厚度 Stone thickness (ST)	<u>0.758</u>	0.037	0.121	-0.184	0.179	-0.266	-0.054	-0.249
叶片长度 Leaf length (LL)	0.485	-0.002	0.092	0.246	-0.258	0.065	<u>0.630</u>	0.156
叶片宽度 Leaf width (LW)	0.608	0.044	0.017	0.158	-0.348	-0.034	<u>0.462</u>	-0.290
叶片厚度 Leaf thickness (LT)	0.622	-0.023	-0.252	0.034	0.072	0.256	0.069	-0.178
花序长度 Inflorescence length (IL)	0.338	0.188	0.087	<u>0.737</u>	-0.145	-0.193	-0.323	0.118
花序粗度 Inflorescence thickness (IT)	0.383	0.053	0.004	0.058	<u>-0.611</u>	0.274	-0.056	-0.338
单花序花朵数 Number of flowers per inflorescence (NFI)	0.266	0.178	0.266	0.564	0.098	-0.041	0.269	0.193
特征值 Eigenvalue	6.285	3.400	2.556	1.973	1.671	1.480	1.229	1.044
方差贡献率 Contributive percentage/%	26.187	14.167	10.651	8.223	6.963	6.169	5.120	4.349
累计方差贡献率 Total percentage/%	26.187	40.354	51.005	59.227	66.190	72.359	77.479	81.827

注:下划线指示特征值较大的性状。

Note: The underline indicates the traits with higher eigenvalue.

8个主成分,累计贡献率达到81.827%,基本可以反映原始因子所代表的大部分信息。其中,主成分1贡献率为26.187%,根据特征向量绝对值大小得出,起决定作用的有单果质量、果实纵径和果实横径等性状,主要反映果实大小因子;主成分2贡献率为14.167%,起决定作用的有果实色泽指标CIRG、 b^* 、 L^* 、可滴定酸含量和固酸比等性状,主要反映果实色泽因子和糖酸因子;主成分3贡献率为10.651%,起决定作用的有 L^* 、 b^* 、CIRG和果形指数等性状,主要反映果实色泽因子;主成分4贡献率为8.223%,起决定作用的有花序长度和果柄长度等性状,主要反映果实果柄长短因子;主成分5贡献率为6.963%,起决定作用的有花序粗度、固酸比和可溶性固形物含量等性状,主要反映花序粗度和果实糖酸因子;主成分6贡献率为6.169%,起决定作用的有果梗粗度、 a^* 和可溶性固形物含量等性状,主

要反映果梗粗度、果实色泽和果实糖度因子等性状;主成分7贡献率为5.12%,起决定作用的有叶片长度和叶片宽度等性状,主要反映叶片因子;主成分8贡献率为4.349%,起决定作用的有果柄粗度和 a^* 等性状。

2.5 聚类分析

如图1所示,基于数量型性状的UPGMA聚类,在遗传距离为20处可将95份杨梅种质资源划分为5大类群,各类群性状数值分布情况参见表7。其中,类群I只有毛杨梅1个品种,该种质在所有参试种质中,单果质量最小,果实纵径最小,可溶性固形物含量最低,固酸比最小,叶片厚度最薄,可作为特殊种质资源利用。类群II包括乌紫梅、箬溪变种、东方明珠、东魁杨梅4份种质,主要特征表现为大果型,平均单果质量均大于20 g,果实纵横径均大于33 mm,果实色泽为紫红色或深红色, L^* 值为17.78~

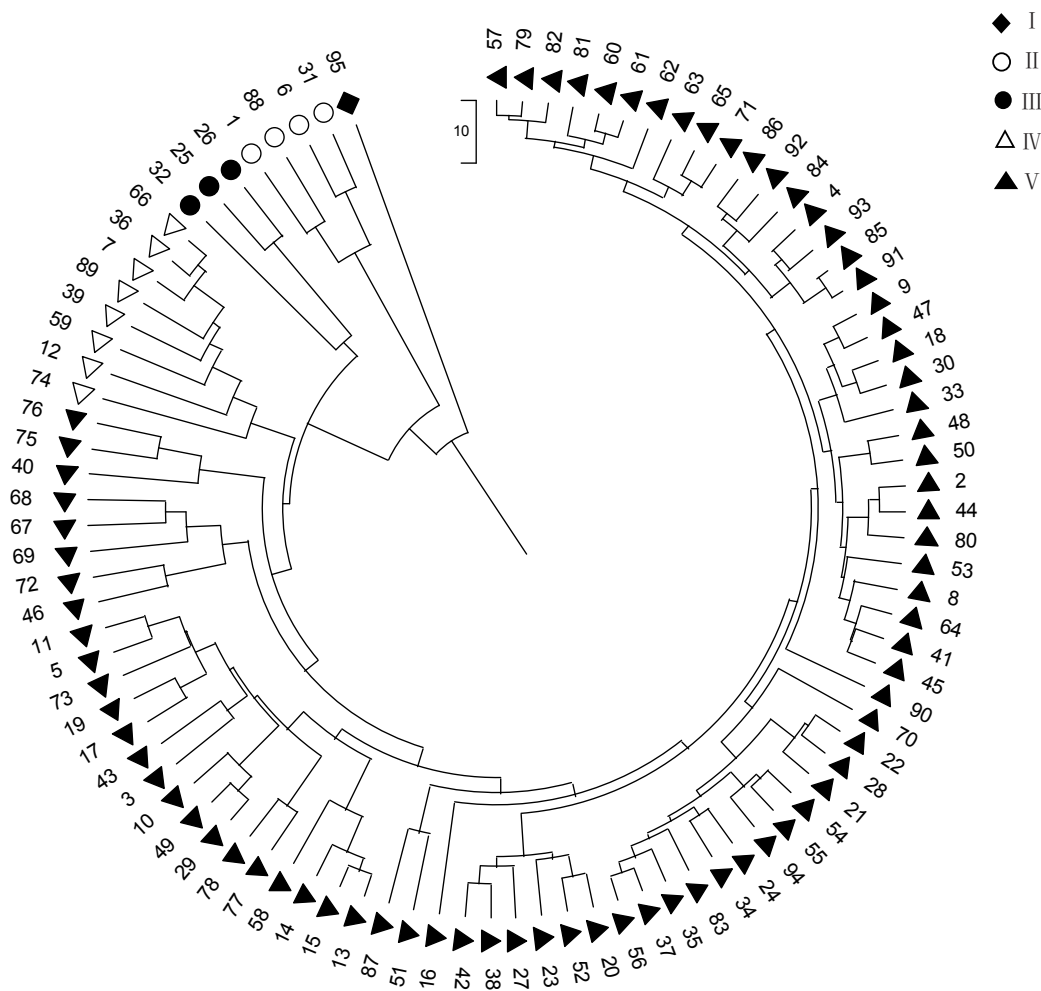


图1 95份杨梅种质基于24个数量型性状的UPGMA聚类分析

Fig. 1 UPGMA cluster analysis of 95 Chinese bayberry germplasms based on 24 quantitative traits

表7 杨梅种质不同类群数量性状分布情况

Table 7 The variation on 24 quantitative traits in different groups of Chinese bayberry germplasms

性状 Trait	I类 Group I (n=1)	II类 Group II (n=4)	III类 Group III (n=3)	IV类 Group IV (n=8)	V类 Group V (n=79)
单果质量 Single fruit mass (FM)/g	5.01	20.24~25.34	6.47~8.67	10.40~18.40	7.38~17.91
果实纵径 Fruit vertical diameter (FVD)/mm	21.51	33.47~36.15	22.40~23.60	25.10~31.87	22.01~31.47
果实横径 Fruit transverse diameter (FTD)/mm	21.44	34.50~36.42	22.43~23.91	27.76~33.14	21.17~32.57
果形指数 Fruit shape index (FSI)	1.00	0.96~1.00	0.97~1.00	0.86~1.00	0.90~1.04
果柄长度 Fruit stalk length (FSL)/mm	4.61	6.59~11.09	3.29~9.39	4.85~11.13	2.92~18.87
果柄粗度 Fruit stalk thickness (FST)/mm	1.24	1.71~2.17	0.62~2.04	1.23~1.80	1.05~2.09
L^*	17.22	17.78~19.68	21.43~33.29	35.41~42.99	16.22~27.14
a^*	12.61	15.10~22.33	20.10~22.42	6.30~17.39	8.26~24.68
b^*	4.41	4.34~9.33	10.36~17.50	16.27~21.14	1.05~14.96
CIRG	5.26	3.69~4.90	2.32~3.34	1.78~2.21	2.66~6.35
w(可溶性固形物) Total soluble solids content (TSS)/%	8.62	11.06~12.25	10.21~11.68	10.61~11.62	10.10~13.40
w(可滴定酸) Titratable acid content (TA)/%	1.82	0.84~1.19	1.16~1.51	1.00~1.28	0.74~2.11
固酸比 Solid acid ratio (SAR)	4.74	9.81~13.45	6.76~9.65	8.93~11.59	5.55~16.21
可食率 Edible rate (ER)/%	91.60	93.77~96.50	91.90~94.70	90.92~95.40	90.94~96.45
单果核质量 Single stone mass (SM)/g	0.42	0.86~1.51	0.34~0.58	0.59~1.11	0.39~1.12
果核长度 Stone length (SL)/mm	12.58	15.28~18.46	11.23~11.46	11.53~15.20	10.29~16.14
果核宽度 Stone width (SW)/mm	10.73	10.94~13.34	7.70~9.45	9.10~12.26	8.20~11.89
果核厚度 Stone thickness (ST)/mm	7.03	9.06~10.97	6.66~8.26	7.57~9.73	6.27~10.46
叶片长度 Leaf length (LL)/cm	9.85	9.60~11.50	7.11~9.42	8.85~10.43	6.23~12.37
叶片宽度 Leaf width (LW)/cm	2.38	3.20~3.78	2.13~2.49	2.64~3.32	2.09~4.13
叶片厚度 Leaf thickness (LT)/mm	0.28	0.45~0.58	0.38~0.40	0.43~0.47	0.34~0.56
花序长度 Inflorescence length (IL)/mm	6.80	6.71~9.73	5.36~8.32	5.82~13.02	4.36~19.60
花序粗度 Inflorescence thickness (IT)/mm	2.10	2.40~2.82	1.68~2.18	1.82~2.57	1.62~2.96
单花序花朵数 Number of flowers per inflorescence (NFI)	6.50	5.20~8.70	5.50~5.80	4.50~9.60	3.20~10.40

19.68, a^* 值为15.10~22.33, b^* 值为4.34~9.33, CIRG值为3.69~4.90, 可溶性固形物含量为11.06%~12.25%, 可滴定酸含量为0.84%~1.19%, 固酸比为9.81~13.45, 该类可用于选育优质大果型品种。类群III包括余姚纽扣梅、余姚水晶和奉化野杨梅3份种质, 主要特征表现为小果型种质, 单果质量为6.47~8.67 g, 果实颜色为红色或水红色, L^* 值为21.43~33.29, a^* 值为20.10~22.42, b^* 值为10.36~17.50, CIRG值为2.32~3.34, 可滴定酸含量为1.16%~1.51%, 固酸比为6.76~9.65。类群IV包括福建白梅、宁海水晶、临海白梅、常熟白杨梅、上虞水晶、胭脂红、临海大白梅和湖南白杨梅8份种质, 主要特征表现为白梅类种质, 果实色泽为水红色或白色, 色泽指标 L^* 值为35.41~42.99, a^* 值为6.30~17.39, b^* 值为16.27~21.14, CIRG值为1.78~2.21, 可溶性固形物含量为10.61%~11.62%, 可滴定酸含量为1.00%~1.28%, 固酸比为8.93~11.59, 单果质量为10.40~18.40 g, 该类可用于选育优质白杨梅品种。类群V

包含79份种质, 占供试材料的83.16%, 单果质量为7.38~17.91 g, 果实色泽包括紫黑、紫红、深红或红色, L^* 值为16.22~27.14, a^* 值为8.26~24.68, b^* 值为1.05~14.96, CIRG值为2.66~6.35, 可溶性固形物含量为10.10%~13.40%, 可滴定酸含量为0.74%~2.11%。

3 讨论

表型性状变异是生物遗传多样性在形态水平上的表现, 反映了植物自身遗传因素与外部生活环境相互作用的结果^[18-19]。表型性状观测是研究遗传多样性简便易行的方法^[20]。通过表型性状遗传多样性研究, 不仅能从整体了解表型遗传多样性的丰富程度, 更为分子生物学研究提供可靠的表型数据^[21]。在本研究中通过对95份杨梅种质资源44个表型性状的多样性分析, 发现杨梅种质资源的表型性状具有丰富的遗传变异。20个描述型性状的遗传多样性指数 Shannon-Wiener 指数 (H) 和 Simpson 指数 (D) 变化范围分别为 0.512 5~1.515 3 和 0.271 9~

0.766 0,其中核表颜色、果实颜色、果肉质地、果核离核情况等多多样性指数较高。24个数量型性状的变异系数为1.28%~63.99%,其中果实色泽指标、单果质量、单果核质量、花序长度、果柄长度和可滴定酸含量等数量型性状表现出较丰富的变异性。

杨梅种质描述型性状的分布频率差异较大,其中占比较大的种质表现为果实圆球形,紫红色,果实甜酸,果核卵形,较黏核,茸毛淡黄褐色,叶片倒披针形,叶尖渐尖,叶色绿色,叶缘全缘,嫩叶橘黄色,圆筒形花序,雌花紫红色,柱头开张度为倒人字形。

在种质筛选过程中,需注重各农艺性状之间的相关性,综合各性状特点兼具多种优良性状,可为品种选育奠定基础^[22]。笔者在本试验中通过数量性状的相关性分析,发现杨梅种质单果质量、果实纵径、果实横径与单果核质量、果核长度、果核宽度、叶片长度、叶片宽度、叶片厚度之间存在极显著正相关性,说明杨梅果实的质量、大小与果核的质量、大小有关,与叶片的大小也存在相关性。果柄长度与花序长度呈极显著正相关,说明花序较长的品种,其果实果柄较长。果实色泽指标 a^* 值与果实可溶性固形物含量呈显著正相关,说明在一定范围内,杨梅果实颜色红色程度越深,果实可溶性固形物含量越高,这与邱立军等^[23]研究结果一致。通过数量性状的主成分分析,根据贡献率的大小,从主成分中筛选出单果质量、果实纵横径、果实色泽指标CIRG、 b^* 、 L^* 及可滴定酸含量、固酸比等性状是形成杨梅种质资源表型差异的主要因素。通过数量性状的聚类分析,杨梅种质被划分为5个类群,其中类群I只有毛杨梅1个品种。毛杨梅属于杨梅属毛杨梅种,而其他种质属于杨梅种及矮杨梅种和杨梅种的杂交,因此在性状表现上差异较大。早芥蜜梅和晚芥蜜梅是荸荠种中芽变选育出的2个品种^[24-25],在本文聚类分析图中,3个品种聚类在同一小组,说明表型性状的聚类一定程度上也能反映出种质间的亲缘关系。

4 结 论

杨梅种质资源遗传变异丰富,表型性状多样性高。通过主成分分析,根据贡献率的大小,从主成分中筛选出果实大小因子、外观色泽因子、糖酸含量因子等可用于作为对杨梅品质综合评定的重要指标。聚类分析在欧式距离20处可将杨梅种质资源分为5类,其中类群II可用于选育大果型优质品种,类群IV

可用于选育优质白梅类品种。

参考文献 References:

- [1] 何新华,陈力耕,陈怡,郭长禄. 中国杨梅资源及利用研究评述[J]. 果树学报,2004,21(5):467-471.
HE Xinhua, CHEN Ligeng, CHEN Yi, GUO Changlu. Review on germplasm resources of *Myrica* and their exploitation in China[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(5):467-471.
- [2] CHEN K S, XU C J, ZHANG B, FERGUSON I B. Red bayberry: botany and horticulture[M]//JANICK J. Horticultural Reviews. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc., 2010:83-114.
- [3] 周超超,陈竹韵,汪国云,朱奕凡,巨鹏举,赵岚,陈金辉,焦云,高中山. 余姚杨梅种质资源研究和开发利用[J]. 果树资源学报,2022,3(4):1-6.
ZHOU Chaochao, CHEN Zhuyun, WANG Guoyun, ZHU Yifan, JU Pengju, ZHAO Lan, CHEN Jinhui, JIAO Yun, GAO Zhongshan. Research and utilization of the red bayberry germplasm resources in Yuyao city[J]. Journal of Fruit Resources, 2022, 3(4): 1-6.
- [4] 张泽煌,钟秋珍,林旗华. 杨梅果实氨基酸组成及营养评价[J]. 热带作物学报,2012,33(12):2279-2283.
ZHANG Zehuang, ZHONG Qiuzhen, LIN Qihua. The content of amino acid of Chinese bayberry fruit and its nutritive evaluation[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(12): 2279-2283.
- [5] 李伟,郜海燕,陈杭君,吴伟杰,房祥军. 基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价[J]. 中国食品学报,2017,17(6):161-171.
LI Wei, GAO Haiyan, CHEN Hangjun, WU Weijie, FANG Xiangjun. Evaluation of comprehensive quality of different varieties of bayberry based on principal components analysis[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(6):161-171.
- [6] 钟声远,罗宇婷,赵勇,王振兴,管志勇,房伟民,陈发棣,王海滨. 切花菊品种资源表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报,2021,30(5):22-33.
ZHONG Shengyuan, LUO Yuting, ZHAO Yong, WANG Zhenxing, GUAN Zhiyong, FANG Weimin, CHEN Fadi, WANG Haibin. Analysis on phenotypic diversity of cut chrysanthemum cultivar resources[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2021, 30(5):22-33.
- [7] 陈慧,唐威,费艳. 杨梅种质资源遗传多样性研究进展[J]. 现代园艺,2016(3):5-7.
CHEN Hui, TANG Wei, FEI Yan. Research progress on genetic diversity of *Myrica rubra* germplasm resources[J]. Contemporary Horticulture, 2016(3):5-7.
- [8] 张水明. 基于 AFLP 和 SSR 分子标记的中国杨梅遗传多样性分析[D]. 杭州:浙江大学,2009.
ZHANG Shuiming. Genetic diversity analysis of Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. & Zucc.) based on AFLP and SSR markers[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009.
- [9] 焦云,柴春燕,舒巧云. 基于 SSR 分子标记的早熟杨梅优株遗传多样性分析[J]. 中国南方果树,2019,48(4):42-45.
JIAO Yun, CHAI Chunyan, SHU Qiaoyun. Analysis of genetic diversity of early-maturing elite plants of Chinese bayberry

- (*Myrica rubra*) with SSR markers [J]. *South China Fruits*, 2019, 48(4):42-45.
- [10] 戚行江,任海英,梁森苗,郑锡良,吴阳春. 杨梅全基因组测序结果初报[J]. *浙江农业科学*, 2015, 56(10):1564-1566.
QI Xingjiang, REN Haiying, LIANG Senmiao, ZHENG Xiliang, WU Yangchun. Preliminary report on sequencing results of whole genome of *Myrica rubra*[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2015, 56(10):1564-1566.
- [11] JIA H M, JIA H J, CAI Q L, WANG Y, ZHAO H B, YANG W F, WANG G Y, LI Y H, ZHAN D L, SHEN Y T, NIU Q F, CHANG L, QIU J, ZHAO L, XIE H B, FU W Y, JIN J, LI X W, JIAO Y, ZHOU C C, TU T, CHAI C Y, GAO J L, FAN L J, VAN DE WEG E, WANG J Y, GAO Z S. The red bayberry genome and genetic basis of sex determination[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2019, 17(2):397-409.
- [12] 陈方永,倪海枝,王引,颜帮国. 大果杨梅新品种‘永冠’[J]. *园艺学报*, 2018, 45(6):1213-1214.
CHEN Fangyong, NI Haizhi, WANG Yin, YAN Bangguo. A new big fruit Chinese bayberry cultivar ‘Yongguan’ [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(6):1213-1214.
- [13] 郭秀珠,宋洋,刘冬峰,胡丹,陈巍. 杨梅新品种早炭的选育[J]. *果树学报*, 2021, 38(10):1821-1823.
GUO Xiuzhu, SONG Yang, LIU Dongfeng, HU Dan, CHEN Wei. A new Chinese bayberry cultivar zaotan[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(10):1821-1823.
- [14] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 杨梅:NY/T 2761—2015[S]. 北京:中国农业出版社, 2015.
Ministry of Agriculture of the People’s Republic of China. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Chinese Bayberry (*Myrica* Linn.): NY/T 2761—2015[S]. Beijing:China Agriculture Press, 2015.
- [15] 高志红,黄颖宏,倪照君,梁森苗. 杨梅种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2020.
GAO Zhihong, HUANG Yinghong, NI Zhaojun, LIANG Senmiao. Descriptors and data standards for Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2020.
- [16] ZHANG X N, HUANG H Z, ZHANG Q L, FAN F J, XU C J, SUN C D, LI X, CHEN K S. Phytochemical characterization of Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) of 17 cultivars and their antioxidant properties[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, 16(6):12467-12481.
- [17] 曾少敏,陈小明,黄新忠. 福建地方梨资源果实性状多样性分析及其数量分类研究[J]. *园艺学报*, 2019, 46(2):237-251.
ZENG Shaomin, CHEN Xiaoming, HUANG Xinzhong. Fruit character diversity analysis and numerical classification of local pear germplasm resources in Fujian[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(2):237-251.
- [18] 吴如健,万继锋,韦晓霞,陈瑾,胡茵青,潘少霖. 橄榄种质资源果实表型性状多样性分析及其数量分类研究[J]. *果树学报*, 2015, 32(5):797-805.
WU Rujian, WAN Jifeng, WEI Xiaoxia, CHEN Jin, HU Hanqing, PAN Shaolin. Fruit character diversity analysis and numerical classification of Chinese olive germplasm resources[J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(5):797-805.
- [19] 林存学,杨晓华,刘海荣. 东北寒地 96 份李种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. *园艺学报*, 2020, 47(10):1917-1929.
LIN Cunxue, YANG Xiaohua, LIU Hairong. Genetic diversity analysis of 96 plum germplasm resources by phenotypic traits in northeast cold area[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020, 47(10):1917-1929.
- [20] 颀刚刚,欧阳丽婷,谢军,刘贝贝,耿文娟. 新疆地区欧洲李叶片表型性状多样性及亲缘关系分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2018, 27(3):72-78.
XIE Ganggang, OUYANG Liting, XIE Jun, LIU Beibei, GENG Wenjuan. Analyses on diversity of leaf phenotypic traits and genetic relationships of *Prunus domestica* in Xinjiang region[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2018, 27(3):72-78.
- [21] 孙珍珠,李秋月,王小柯,赵婉彤,薛杨,冯锦英,刘小丰,刘梦雨,江东. 宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(22):4362-4383.
SUN Zhenzhu, LI Qiuyue, WANG Xiaoke, ZHAO Wantong, XUE Yang, FENG Jinying, LIU Xiaofeng, LIU Mengyu, JIANG Dong. Comprehensive evaluation and phenotypic diversity analysis of germplasm resources in mandarin[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(22):4362-4383.
- [22] 赫卫,张慧. 基于表型性状和 SRAP 标记的观赏用辣椒种质资源遗传多样性分析[J]. *中国瓜菜*, 2022, 35(1):16-23.
HE Wei, ZHANG Hui. Analysis of genetic diversity of pepper germplasm resources for ornamental based on phenotypic traits and SRAP markers[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2022, 35(1):16-23.
- [23] 邱立军,张真真,刘洁琪. 晚稻杨梅果实外观指标与可溶性固形物含量的关系[J]. *浙江农业科学*, 2021, 62(4):768-770.
QIU Lijun, ZHANG Zhenzhen, LIU Jieqi. Correlation analysis between fruit appearance and soluble solid content of red bayberry var. Wandao[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2021, 62(4):768-770.
- [24] 戚行江,梁森苗,郑锡良,陈宗良,柴春燕. 特早熟杨梅新品种‘早芥蜜梅’[J]. *园艺学报*, 2003, 30(6):759.
QI Xingjiang, LIANG Senmiao, ZHENG Xiliang, CHEN Zongliang, CHAI Chunyan. A new bayberry cultivar ‘zaoqi mimei’ [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2003, 30(6):759.
- [25] 戚行江,梁森苗,郑锡良,汪国云. 优质晚熟杨梅新品种‘晚芥蜜梅’[J]. *园艺学报*, 2004, 31(1):136.
QI Xingjiang, LIANG Senmiao, ZHENG Xiliang, WANG Guoyun. A new bayberry variety ‘Wanqi Mimei’ [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(1):136.