

怒江干热河谷杧果种质资源形态性状遗传多样性分析

张翠仙¹, 解德宏¹, 张发明¹, 陈于福¹, 柏天琦¹, 娄予强¹, 高贤玉¹, 张惠云¹, 赵秀华², 尼章光¹

(¹云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所, 保山 678000; ²云南省元阳县农业局, 元阳 662400)

摘要:通过对 255 份怒江干热河谷杧果种质资源的 24 个形态性状进行评价, 分析其遗传多样性。结果表明, 怒江干热河谷杧果种质资源的果实单果重量、果实长度、果核重量、果核长度、果实形状、果皮颜色、果肉颜色、果实香气、果实风味、果实成熟期等形态性状均具有丰富的多样性。11 个数量性状的变异系数为 12.44% ~ 56.44%, 其中果实单果重量的变异系数最大, 叶片宽度最小; 13 个质量性状的 Shannon-weaver 指数范围为 0.68 ~ 2.21, 平均值为 1.42, 其中果肉颜色指数最大, 叶片质地指数最小。聚类结果将 255 份杧果材料聚为 3 大类, 其中果皮厚, 果小, 种核大, 可食率低, 早熟, 品味酸甜, 品质差的杧果种质占很大比例。这些种质资源在不同地区收集的材料之间存在明显的遗传差异, 但部分地区内的杧果材料表现出明显的遗传分化。通过表型评价鉴定, 初步筛选出具有独特香气、反季节开花结果、早熟、小果型、高产等性状的特异种质资源 35 份。

关键词:杧果; 形态性状; 遗传多样性; 怒江干热河谷

Analysis of Genetic Diversity of Mango (*Mangifera indica*) Germplasm Resources in Nujiang Valley Based on Morphological Characters

ZHANG Cui-xian¹, XIE De-hong¹, ZHANG Fa-ming¹, CHEN Yu-fu¹, BAI Tian-qi¹, LOU Yu-qiang¹,
GAO Xian-yu¹, ZHANG Hui-yun¹, ZHAO Xiu-hua², NI Zhang-guang¹

(¹Institute of Tropical and Subtropical Cash Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678000;

²Yuanyang County Agriculture Bureau, Yuanyang 662400)

Abstract: The genetic diversity of 255 mango germplasms in Nujiang Valley were investigated by comparing 24 morphological characters. The results showed that the mango germplasm had rich diversity in phenotypic traits, including single fruit weight, fruit length, seed weight, seed width, fruit shape, pericarp color, flesh color, aroma, taste, and maturity date. The wide variation were among the 11 quality characters of mango with variation efficient of 12.44% - 56.44%, the largest coefficient of variation was single fruit weight while the smallest was leaf width. The Shannon-weaver index of 13 quantitative traits in mango was 0.68-2.21, the average diversity indexes was 1.42. The diversity index of the leaf texture was the lowest, while the flesh color were the highest. The thick pericarp, the small fruit, the big seed, the low edible rate, early maturity, sweet and sour, and the poor quality of morphological characters took up a great proportion in 255 mango germplasms, which could be divided into 3 categories by cluster analysis. There existed significant genetic difference among the materials collected from different areas, and those collected from same area also showed significant genetic differentiation. Furthermore, 35 specific germplasm resources were initially selected based on identification and evaluation of phenotypic characters, which had characteristic aroma, off-season blossom, early-maturing, small fruit and high yield.

Key words: *Mangifera indica* L.; morphological character; genetic diversity; Nujiang Valley

收稿日期: 2016-11-18 修回日期: 2017-01-03 网络出版日期: 2017-06-19

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170619.0828.002.html>

基金项目: 云南省科技计划项目(2016BB003, 2016EG007, 2015ID005)

第一作者研究方向为热带果树遗传育种。E-mail: zhangcui-xian1570@126.com

通信作者: 尼章光, 研究方向为热带果树栽培与生理。E-mail: nzg999@163.com

杧果主要分布于热带亚热带地区,野生杧果种质主要分布在马来半岛、印度、斯里兰卡、泰国、菲律宾、中国、越南、缅甸、老挝等北纬 27 度范围内的热带亚热带国家和地区^[1]。近年来,在云南澜沧江流域、红河流域、怒江干热河谷、贵州南北盘江河谷、广西百色均发现野生和半野生杧果种质资源^[2-5]。

怒江干热河谷包括云南省怒江州、保山市、临沧市、大理州及德宏州的热区,涉及 5 个地州 8 个县区 28 个乡镇,是云南重要的热区。近年来,笔者实地考察了这些乡镇地区,发现这些区域有大量的野生杧果种质资源,其中有很多百年以上的杧果古树,最大茎围在 6 m 以上,主要分布在海拔 1420 m 以下的区域,集中分布于 600 ~ 1000 m 之间^[3]。这些杧果资源分布于荒山原野、低热河谷和江河流域,在漫长的繁衍和演化过程中,经历各种不良气候和病虫害的侵袭考验等自然选择,得以延存至今,且获得了良好的适应性、抗逆性以及其它许多优异性状。野生杧果是提供优异基因的重要种质资源库,包括抗性、非生物逆境的耐性基因和无融合生殖基因等珍贵资源,是开展杧果遗传改良、育种和进行遗传多样性分析等多项研究所需要的非常珍贵的物质基础。但由于缺乏对杧果种质资源科学的研究与保护,加上生态环境的恶化以及各种自然和人为因素的影响,大量杧果种质资源正在慢慢流失。野生植物的遗传多样性不仅是现代农业可持续发展的物质基础,也是维护生态安全的重要屏障^[6]。因此,开展怒江干热河谷杧果种质资源评价及遗传多样性分析,可为育种提供丰富的种质资源,为定向培育杧果新品种和因地制宜地发展生产提供更多选择,对避免新品种遗传基础的贫乏、克服遗传脆弱性十分重要。

目前,已有多种分子标记技术应用于杧果的分类与遗传分析上,但形态性状的鉴定和描述仍然是种质资源研究最基本的方法。采用遗传学上较为稳定、不易受环境影响的性状,可以揭示群体的遗传规律、变异大小,也可以达到区别、鉴定植物种和品种的目的^[7]。对栽培杧果表型性状遗传多样性的研究分析已有诸多报道^[8-11],但都是针对国内外常见栽培种的研究。雷新涛等^[4]从生物学特性和 AFLP 标记两个方面对中国广西百色那坡县野生杧果资源进行了初步描述和研究。笔者针对怒江干热河谷野生杧果种质资源也有报道^[12-15],但分析样本少、研究指标单一不全面。本研究拟对这些收集的野生杧果资源的数量性状及

质量性状进行遗传多样性分析,旨在发掘具有优异农艺性状与品质性状的杧果野生种质资源,为杧果属植物野生种数据描述规范的制定、分类及种质资源利用提供基本数据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 2005 年 3 月至 2011 年 12 月在云南省怒江干热河谷 5 个地州 8 个县区 28 个乡镇收集的干周大于 2 m 以上的 255 份野生杧果种质资源(编号按资源收集时间先后,为 1 ~ 255 号),均保存于云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所资源圃中(表 1)。

1.2 方法

供试杧果种质均为采集接穗后进行嫁接的苗木,砧木为本地三年杧,株行距为 4.0 m × 5.0 m,常规栽培管理。所有性状参照《热带作物种质资源数据标准》^[16]及马蔚红等^[17]的方法进行统计、赋值。性状调查时间为 2012-2016 年,每年定期观察其物候期,5-8 月果实成熟期调查果实和叶部性状,每个性状调查(测量)20 个样品(数据)。调查性状包括 13 个质量性状:果实形状、果皮颜色、果皮厚度、果肉颜色、种仁形状、纤维数量、纤维长度、胚数目、果实香气、果实风味、果实成熟期、叶形、叶片质地;11 个数量性状:叶片长度、叶片宽度、叶柄长度、果实单果重量、果实长度、果实宽度、果实厚度、果核重量、果核长度、可食率、可溶性固形物;质量性状根据表型赋值,即将非数值型性状数值化(表 2),然后计算 Shannon-weaver 遗传多样性指数。数据处理计算时取不同年份数据的平均值。使用 SPSS 软件统计各性状的数据,使用 DPS 软件对表型数据进行模糊聚类分析。

2 结果与分析

2.1 数量性状遗传多样性

各性状变异系数按大小可分为 3 类,分别为小($CV \leq 25\%$)、中($25\% < CV \leq 50\%$)、大($CV > 50\%$)^[18]。从表 3 可以看出,供试杧果种质资源的数量性状具有丰富的多样性,不同性状的变异系数为 12.44% ~ 56.44%,其中果实单果重量的变异系数超过了 50%,变异程度大,表明存在着丰富的变异(图 1);叶片长度、叶片宽度、叶柄长度、果实宽度、果实厚度、可食率、可溶性固形物含量的变异系数均低于 25%,表明具有较稳定的遗传特性。

表1 供试材料

Table 1 Materials used in the experiment

编号 Code	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	编号 Code	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
1~4	NJ-2、NJ-5、NJ-6、NJ-7	怒江干热河谷石头寨	150~154	NJ-435、NJ-441、NJ-444、NJ-445、NJ-451	怒江干热河谷小寨
5~8	NJ-9、NJ-10、NJ-11、NJ-13	怒江干热河谷灯笼	155~163	NJ-465、NJ-469、NJ-471、NJ-472、NJ-478、NJ-479、NJ-480、NJ-481、NJ-483	怒江干热河谷禾木
9~12	NJ-14、NJ-15、NJ-16、NJ-20	怒江干热河谷田心	164~180	NJ-489、NJ-490、NJ-491、NJ-493、NJ-494、NJ-496、NJ-498、NJ-501、NJ-505、NJ-509、NJ-510、NJ-512、NJ-514、NJ-517、NJ-518、NJ-519、NJ-525	怒江干热河谷赧浒
13~14	NJ-22、NJ-23	怒江干热河谷麻檬林	181~185	NJ-527、NJ-534、NJ-539、NJ-548、NJ-549	怒江干热河谷帕莲
15~21	NJ-24、NJ-25、NJ-27、NJ-30、NJ-31、NJ-32、NJ-33	怒江干热河谷敢顶	186~191	NJ-550、NJ-551、NJ-552、NJ-555、NJ-556、NJ-558	怒江干热河谷莫卡
22~30	NJ-34、NJ-35、NJ-36、NJ-42、NJ-44、NJ-45、NJ-47、NJ-48、NJ-49	怒江干热河谷芒林寨	192~193	NJ-564、NJ-593	怒江干热河谷浪坝
31~46	NJ-50、NJ-51、NJ-52、NJ-54、NJ-55、NJ-56、NJ-59、NJ-61、NJ-62、NJ-64、NJ-66、NJ-67、NJ-68、NJ-72、NJ-73、NJ-74	怒江干热河谷芒苍	194~197	NJ-609、NJ-611、NJ-612、NJ-614	怒江干热河谷大田新
47~62	NJ-79、NJ-80、NJ-81、NJ-84、NJ-85、NJ-87、NJ-89、NJ-90、NJ-92、NJ-96、NJ-97、NJ-101、NJ-102、NJ-104、NJ-108、NJ-109	怒江干热河谷芒果村	198~200	NJ-625、NJ-637、NJ-639	怒江干热河谷二家寨
63~71	NJ-111、NJ-112、NJ-117、NJ-118、NJ-119、NJ-120、NJ-121、NJ-124、NJ-126	怒江干热河谷岗党	201~207	NJ-641、NJ-642、NJ-643、NJ-654、NJ-661、NJ-665、NJ-669	怒江干热河谷芒艾
72~86	NJ-132、NJ-137、NJ-138、NJ-144、NJ-146、NJ-149、NJ-153、NJ-158、NJ-159、NJ-160、NJ-163、NJ-165、NJ-167、NJ-172、NJ-202	怒江干热河谷芒合	208~214	NJ-672、NJ-678、NJ-697、NJ-703、NJ-705、NJ-706、NJ-707	怒江干热河谷独树
87~95	NJ-204、NJ-205、NJ-207、NJ-210、NJ-217、NJ-236、NJ-237、NJ-241、NJ-242	怒江干热河谷从岗	215~218	NJ-710、NJ-715、NJ-724、NJ-727	怒江干热河谷何家湾
96~113	NJ-243、NJ-244、NJ-246、NJ-250、NJ-252、NJ-256、NJ-257、NJ-263、NJ-265、NJ-266、NJ-267、NJ-268、NJ-269、NJ-270、NJ-271、NJ-272、NJ-273、NJ-275	怒江干热河谷赛格江	219~220	NJ-752、NJ-765	怒江干热河谷老城
114~118	NJ-276、NJ-278、NJ-281、NJ-282、NJ-289	怒江干热河谷芒牛	221~223	NJ-768、NJ-784、NJ-793	怒江干热河谷芒旦
119~120	NJ-292、NJ-293	怒江干热河谷翡洋	224~227	NJ-804、NJ-819、NJ-822、NJ-826	怒江干热河谷芒烘
121~127	NJ-304、NJ-306、NJ-308、NJ-311、NJ-323、NJ-324、NJ-325	怒江干热河谷琨宏	228~237	NJ-827、NJ-828、NJ-831、NJ-840、NJ-841、NJ-842、NJ-843、NJ-844、NJ-845、NJ-846	怒江干热河谷芒海
128~133	NJ-328、NJ-330、NJ-331、NJ-349、NJ-361、NJ-366	怒江干热河谷丙闷	238~241	NJ-848、NJ-849、NJ-850、NJ-851	怒江干热河谷芜莱
134~137	NJ-370、NJ-371、NJ-372、NJ-373	怒江干热河谷潞江农场	242~249	NJ-852、NJ-853、NJ-854、NJ-855、NJ-856、NJ-860、NJ-861、NJ-863	怒江干热河谷线家寨
138~142	NJ-379、NJ-381、NJ-386、NJ-388、NJ-391	怒江干热河谷芒线	250~255	NJ-865、NJ-866、NJ-867、NJ-868、NJ-869、NJ-887	怒江干热河谷芒歪
143~149	NJ-392、NJ-395、NJ-396、NJ-403、NJ-408、NJ-411、NJ-412	怒江干热河谷小桥头			

表 2 质量性状赋值

Table 2 Assignment of qualitative traits

性状 Traits	赋值 Assignment
果实形状 Fruit shape	长椭圆形 = 1, 椭圆形 = 2, 圆球形 = 3, 卵形 = 4, 象牙形 = 5, S 形 = 6, 扁圆形 = 7, 肾形 = 8
果皮颜色 Pericarp color	红 = 1, 黄 = 2, 绿黄 = 3, 绿 = 4, 紫红 = 5
果皮厚度 Pericarp thickness	薄 = 1, 中 = 2, 厚 = 3
果肉颜色 Flesh color	乳白 = 1, 乳黄 = 2, 浅黄 = 3, 金黄 = 4, 深黄 = 5, 橙黄 = 6, 橙红 = 7
种仁形状 Shape of kernel	椭圆形 = 1, 长椭圆形 = 2, 近圆形 = 3, 梯形 = 4
纤维数量 Fiber number	少 = 1, 中等 = 2, 多 = 3
纤维长度 Fiber length	短 = 1, 中等 = 2, 长 = 3
胚数目 Embryo number	单胚 = 1, 多胚 = 2, 败育 = 3
果实香气 Aroma	无 = 1, 清香 = 2, 芳香 = 3, 松香 = 4, 木瓜香 = 5, 椰乳香 = 6
果实风味 Taste	清甜 = 1, 酸 = 2, 酸甜 = 3, 甜 = 4, 甜酸 = 5
果实成熟期 Maturity date	5 月中旬 = 1, 5 月下旬 = 2, 6 月上旬 = 3, 6 月中旬 = 4, 6 月下旬 = 5, 7 月上旬 = 6, 7 月中旬 = 7
叶形 Leaf shape	长圆披针形 = 1, 披针形 = 2, 椭圆披针形 = 3
叶片质地 Leaf texture	革质 = 1, 厚革质 = 2

2.2 质量性状遗传多样性

基于表 2, 统计各性状的频率和多样性指数。结果见表 4, 255 份杧果果实形状有 8 个表型(图 2), 但以扁圆形(61.4%)和椭圆形(25.9%)为主; 成熟果实果皮颜色有红、黄、绿黄、绿、紫红 5 个表型(图 3), 黄色果皮果实所占比例最大(69.0%); 果皮厚度大多数为中等、厚, 分别占 42.4%、40.4%, 果皮薄的仅占 17.2%; 果肉颜色共有 7 个表型, 其中金黄色比例最高(44.3%); 种仁形状多为椭圆形(55.7%)和长椭圆形(40.4%), 梯形仅占 0.8%; 胚主要为单胚和多胚, 少数种子败育, 分别为 42.7%、53.3%、3.9%; 果实香气有 6 个表型, 但以松香为主(57.3%); 果实风味有 5 个表型, 其中 68.2% 种质

果实风味为酸甜; 供试杧果种质的果实均有纤维, 纤维多(77.3%)且长(72.5%); 果实成熟期最早为 5 月中旬, 最晚为 7 月中旬, 大多数杧果成熟期集中在 6 月中旬和下旬, 占 34.1% 和 42.4%, 少部分成熟期在 7 月上旬及中旬, 占 2.7% 和 1.2%; 叶片形状多为披针形(51.8%)和椭圆披针形(45.9%); 叶片质地以革质(82.0%)为主。

13 个质量性状的 Shannon-weaver 指数范围为 0.68 ~ 2.21, 平均值为 1.42, 5 个质量性状(果实形状、果皮颜色、果肉颜色、果实成熟期、果实香气)的多样性指数大于 1.5, 其中果肉颜色多样性指数(2.21)最大, 叶片质地多样性指数(0.68)最小(表 4)。

表 3 杧果种质资源数量性状变异统计

Table 3 Analysis of variation of quantitative characters for mango germplasms

性状 Traits	极小值 Min.	极大值 Max.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
叶片长度(cm) Leaf length	14.77	37.71	21.95	3.10	14.12
叶片宽度(cm) Leaf width	3.24	8.59	5.87	0.73	12.44
叶柄长度(cm) Petiole length	2.00	6.74	3.91	0.77	19.69
果实单果重量(g) Single fruit weight	10.40	237.33	97.66	55.12	56.44
果实长度(cm) Fruit length	3.17	11.74	7.77	2.00	25.74
果实宽度(cm) Fruit width	2.08	7.83	4.65	1.12	24.09
果实厚度(cm) Fruit thickness	1.86	5.64	4.08	0.82	20.10
果核重量(g) Seed weight	1.99	55.00	18.46	7.80	42.25
果核长度(cm) Seed width	2.54	10.56	6.80	1.85	27.21
可食率(%) Edible rate	15.24	83.09	62.86	14.83	23.60
可溶性固形物(%) Soluble solids	14.50	36.00	17.40	3.50	20.11



图1 果实大小多样性

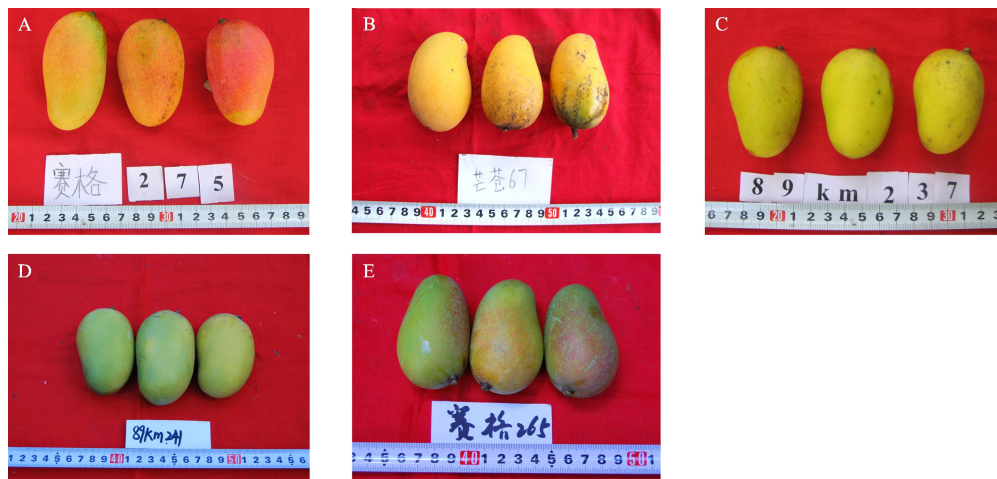
Fig. 1 Diversity of fruit size



A:长椭圆形;B:椭圆形;C:圆球形;D:卵形;E:象牙形;F:S形;G:扁圆形;H:肾形
 A: Long oval, B: Oval crystal, C: Spheroidal, D: Oval, E: Ivory, F: S-shaped, G: Oblate, H: Reniform

图2 果实形状多样性

Fig. 2 Diversity of fruit shape



A:红;B:黄;C:绿黄;D:绿;E:紫红
 A: Red, B: Yellow, C: Greenish yellow, D: Green, E: Purplish red

图3 不同果皮颜色

Fig. 3 Diversity of pericarp color

表 4 杧果种质资源质量性状频率分布及遗传多样性

Table 4 Frequency distribution and genetic diversity index for qualitative traits of mango germplasms

性状 Traits	赋值 Assignment								Shannon-weaver 指数
	1	2	3	4	5	6	7	8	Shannon-weaver index
果实形状 Fruit shape	2.4	25.9	0.4	5.1	4.0	0.4	61.4	0.4	1.56
果皮颜色 Pericarp color	11.3	69.0	12.5	6.3	0.9	0	0	0	1.61
果皮厚度 Pericarp thickness	17.2	42.4	40.4	0	0	0	0	0	1.49
果肉颜色 Flesh color	5.1	4.3	12.0	44.3	0.8	18.8	14.9	0	2.21
种仁形状 Shape of kernel	55.7	40.4	3.1	0.8	0	0	0	0	1.21
纤维数量 Fiber number	9.4	13.3	77.3	0	0	0	0	0	1.00
纤维长度 Fiber length	13.3	14.1	72.5	0	0	0	0	0	1.12
胚数目 Embryo number	42.7	53.3	3.9	0	0	0	0	0	1.19
果实香气 Aroma	12.2	4.7	14.5	57.3	3.1	8.2	0	0	1.90
果实风味 Taste	3.1	6.3	68.2	13.3	9.0	0	0	0	1.48
果实成熟期 Maturity date	5.5	0.4	13.7	34.1	42.4	2.7	1.2	0	1.93
叶形 Leaf shape	2.4	51.8	45.9	0	0	0	0	0	1.13
叶片质地 Leaf texture	82.0	18.0	0	0	0	0	0	0	0.68

2.3 聚类分析

利用 DPS 软件对 255 份杧果种质资源的 24 个形态性状数据进行分析,构建聚类图(图 4),并获得各类群种质的主要性状数据统计。在遗传距离为 6.28 处,所有杧果种质可分为 3 大类群(I、II、III),不同类群的杧果种质的形态性状具有一定的差异。

类群 I 共有 38 份种质,该类群主要以大果型、厚皮种质为主,平均单果鲜重 204 g,平均可食率 73%,平均总可溶性固形物含量中等,为 16%;果实以扁圆果型为主,果皮黄色居多,果肉浅黄、金黄、橙黄色,纤维数量中等,长度中等,果实香气有松香、椰乳香,风味有酸甜、清甜、甜、甜酸。果实成熟期多在 5 月中旬、6 月上旬、6 月中旬;种核最大,平均重 32 g,种仁长椭圆形,种子多胚为主;叶片多为椭圆披针形,叶片质地以革质为主。

类群 II 共有 122 份种质,包括 II-1、II-2 两个亚类群,其中 II-1 亚类群有 87 份种质,该类群在所有种质中果型最小,平均单果鲜重 33 g,平均可食率最低,为 44%,平均可溶性固形物含量最高,为 20%。果实以扁圆、卵形果型为主,果皮有红色、黄色、绿色、紫红色,厚度中等,果肉浅黄、深黄为主,纤维多且长,果实香气以松香为主,风味酸甜为主,果实成熟期多在 6 月、7 月;种核最小,平均重 9 g,种仁长椭圆形,种子多胚为主;叶片多为披针形,叶片质地以革质为主。II-2 亚类群共有 35 份种质,该类群在所有种质中果型中等,平均单果鲜重 154 g,平均可食率最大,为 76%,平均可溶性固形物含量为 17%;果实以扁圆果型为主,

成熟果皮黄色、黄绿色、绿色,厚度中等,果肉金黄、橙黄,纤维多且长,果实香气多为松香,风味有酸甜、清甜、甜酸,果实成熟期多在 6 月中旬、6 月下旬;种核平均重 24 g,种仁长椭圆形,种子多胚为主;叶片多为椭圆披针形,叶片质地以革质为主。

类群 III 共有 95 份种质,包括 III-1、III-2 两个亚类群,其中 III-1 亚类群有 37 份种质,该类群果型中等,平均单果鲜重 116 g,平均可食率 63%,平均可溶性固形物含量中等,为 17%;果实以扁圆、象牙形果型为主,果皮黄色、黄绿色为主,中等厚度,果肉金黄或橙黄色,纤维多,长度中等,果实香气有芳香、松香、木瓜香,风味有酸甜、清甜、甜,果实成熟期多在 6 月;种核平均重 17 g,种仁长椭圆形,种子多胚为主;叶片多为椭圆披针形,叶片质地以革质为主。III-2 亚类群共有 58 份种质,该类群主要以小果型、厚皮种质为主,平均单果鲜重 67 g,平均可食率为 74%,平均可溶性固形物含量为 17%。果实以扁圆果型为主,果皮绿色,果肉深黄色,纤维多且长,果实香气多为松香,风味多为酸甜,果实成熟期多在 5 月中旬、6 月中旬;种核平均重 11 g,种仁椭圆形,种子单胚为主;叶片多为披针形,叶片质地以革质为主。

各类群并未完全按地理位置远近而进行聚类,从各类群各性状表现的比较来看,第 I 类群是所有资源中果型最大的,部分种质香味独特,纤维中等,是品种选育的好选择;类群 II-1 种质果型最小,可食率最低,且所有种质中小果型比例很大,占 34.12%,类群 II-2 可食率最高。

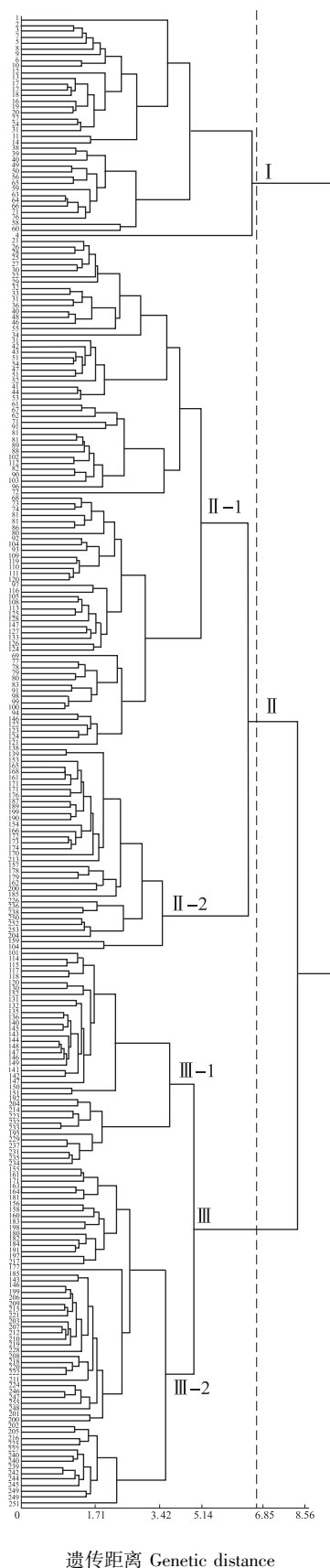


图4 基于表型性状的聚类分析

Fig. 4 Dendrogram by cluster analysis based on phenotypic trait

2.4 特异种质筛选

根据多年来对怒江干热河谷杧果种质资源表型性状观察与评价,结合种质资源调查收集地的生态环境,初步筛选出具有独特香气、反季节开花结果、早熟、小果型、高产等性状的特异种质资源 35 份。其中反季节开花结果种质 1 份,即 26 号种质,正季花期 2 月上旬-3 月下旬,反季 10 月上旬-10 月下旬,正季成熟期 6 月上旬-6 月下旬,反季成熟期 1 月上旬-2 月下旬;部分种质具有栽培种不常见的独特香气,如木瓜香、椰乳香,其中具有木瓜香气的种质 8 份,具有椰乳香气的种质 21 份;早熟种质资源 1 份,与当地栽培种相比,213 号是成熟期最早的种质,成熟期为 5 月中旬,且是所收集种质资源中成熟期最早的;单果质量在 15 g 以下的种质有 2 份为 159 号、194 号,其中 194 号单果质量最小,为 10.40 g;高产种质 2 份为 117 号和 128 号,连续 3 年平均单株产量超过 100 kg。以下为代表性的特异种质资源(表 5)。

3 讨论

作物种质资源形态性状的鉴定与评价,是种质资源研究的首要工作,也是作物育种的基础。数量性状是品种特性的重要体现和品种表型变异评价的重要指标,与实际的品种选育和生产密切相关,但受环境影响较大。本研究采用实地调查、活体材料统一种植,栽培技术和管理措施一致,以减小环境条件对数量性状的影响。本研究数量性状的变异系数 12.44% ~ 56.44%,其中单果重量的变异系数超过了 50%。变异系数反映了性状在进化保守性或遗传可塑性方面的不同,群体内性状变异程度或变异幅度越大,对种质变异和创新贡献率越高^[19],说明单果重量遗传改良的潜力较大,为实生选育提供了丰富的材料。质量性状属于比较稳定可靠的性状,受环境影响较小,能够客观准确地反映群体的遗传多样性和亲缘关系^[20]。近几年来,野生葡萄、野生稻、野生大豆等野生植物资源遗传多样性的研究报道为野生杧果的评价与利用提供了借鉴^[21-23]。在遗传多样性研究中,常用 Shannon-weaver 指数来衡量群体遗传多样性大小^[24]。本研究 13 个质量性状 Shannon-weaver 指数平均值为 1.42,其中果肉颜色的多样性指数为最大,叶片质地的多样性指数最小,果皮颜色、果肉颜色、果实香气、果实成熟期的 Shannon-weaver 指数均大于 1.5。

表 5 特异种质资源性状

Table 5 Traits of specific germplasm resources

编号 Code	特异性状 Specific traits	单果重量(g) Single fruit weight	可食率(%) Edible rate	可溶性固 形物(%) Soluble solids	果实形状 Fruit shape	果皮颜色 Pericarp color	风味 Taste	香气 Aroma	成熟期 Maturity date
14	椰乳香	95.60	52.59	15.0	椭圆形	黄	酸甜	椰乳香	6月上旬
51	椰乳香	63.00	53.96	25.0	椭圆形	黄	酸甜	椰乳香	6月上旬
53	椰乳香	89.80	61.60	15.4	椭圆形	绿	甜	椰乳香	6月中旬
57	椰乳香	66.26	65.39	22.4	长椭圆形	黄	酸甜	椰乳香	6月下旬
70	椰乳香	65.30	39.50	19.3	S形	紫红	甜	椰乳香	6月中旬
74	椰乳香	69.28	67.68	18.1	椭圆形	绿	酸	椰乳香	6月中旬
85	椰乳香	59.30	55.14	15.3	椭圆形	黄	甜	椰乳香	6月上旬
94	椰乳香	95.50	51.84	14.7	椭圆形	黄	甜	椰乳香	6月中旬
125	椰乳香	72.00	59.72	16.0	近扁圆	黄	酸	椰乳香	6月中旬
154	椰乳香	34.71	54.16	16.0	椭圆	黄	酸	椰乳香	5月下旬
162	椰乳香	51.60	72.95	13.9	椭圆	黄	酸甜	椰乳香	6月下旬
164	椰乳香	124.00	75.13	10.4	扁圆	黄	酸甜	椰乳香	6月下旬
179	椰乳香	51.86	57.10	11.8	扁圆	黄	酸甜	椰乳香	5月下旬
180	椰乳香	99.50	68.35	11.1	椭圆	黄	酸甜	椰乳香	6月下旬
193	椰乳香	136.38	78.44	16.7	扁圆	黄	甜	椰乳香	6月下旬
194	椰乳香	51.40	64.50	18.6	椭圆	黄	甜	椰乳香	6月上旬
197	椰乳香	102.50	83.09	17.0	扁圆	黄	甜	椰乳香	6月下旬
209	椰乳香	136.44	79.89	15.9	扁圆	黄	酸甜	椰乳香	6月下旬
211	椰乳香	104.40	64.49	17.1	椭圆	绿	清甜	椰乳香	6月中旬
217	椰乳香	87.00	76.93	18.0	扁圆	黄	酸甜	椰乳香	6月上旬
251	椰乳香	73.20	45.09	16.8	象牙	绿黄	清甜	椰乳香	6月中旬
55	木瓜香	42.00	35.00	24.5	扁圆形	绿黄	酸	木瓜香	6月上旬
35	木瓜香	37.50	23.87	23.7	椭圆形	绿黄	酸甜	木瓜香	6月下旬
36	木瓜香	35.30	33.14	20.0	扁圆形	绿黄	酸甜	木瓜香	6月中旬
37	木瓜香	60.30	51.31	20.7	椭圆形	绿黄	酸甜	木瓜香	6月上旬
103	木瓜香	45.40	34.80	18.5	椭圆形	黄	酸	木瓜香	6月中旬
105	木瓜香	80.00	67.50	14.0	扁圆形	绿黄	酸	木瓜香	6月中旬
111	木瓜香	55.70	52.78	20.3	椭圆形	绿黄	酸	木瓜香	6月中旬
253	木瓜香	41.00	34.88	16.2	椭圆形	黄	酸甜	木瓜香	6月中旬
26	反季开花 结果	96.20	80.49	11.7	扁圆形	黄	酸甜	芳香	正季:6月上旬-6月下旬 反季:1月上旬-2月下旬
213	早熟	34.33	52.32	21.1	椭圆形	红	酸甜	松香	5月中旬
159	小果、败育	11.90	49.60	24.3	卵形	黄	甜	芳香	6月上旬
194	小果	10.40	62.50	18.0	椭圆形	黄	甜	椰乳香	6月上旬
117	高产	163.20	71.32	13.8	长椭圆形	绿	酸	芳香	6月中旬
128	高产	69.10	59.51	19.3	椭圆形	黄	酸甜	芳香	6月中旬

结合资源收集生境地情况,综合 255 份杧果种质资源的数量性状和质量性状分析发现:怒江干热河谷杧果种质资源果实大小不一,多以小果型为主;果型多样各异,有特异形状的果形;果皮具有红、黄、绿黄、绿、紫红等不同颜色,且多为厚果皮;品味有清甜、酸、酸甜、甜和甜酸等区别,但以酸甜为主;风味多以松香为主,但具有多种独特风味;果肉纤维多且长;种子有单胚、多胚及败育类型;果实成熟时间集

中在 6 月份,比当地栽培种成熟时间早近 1 个月,初步显现出种质资源多样性十分丰富。雷新涛等^[4]从分子生物学上初步证明广西百色那坡县平孟镇的野生杧果属于普通杧果,但未对其果实性状进行描述。樊卫国等^[5]对南北盘江河谷的野生杧果资源调查发现:野生杧果果皮厚,果实小,种子大,可食率低,品质差,多胚和单胚共存,与本研究材料性状有部分相似。

255份芒果种质资源可聚为3大类群(I、II、III),不同类群芒果种质的形态性状具有一定的差异,没有完全按照地理来源进行聚类,说明相同地区内的芒果种质资源存在明显遗传分化,也可能是采集区域地理范围比较集中,并且采集的样本量还不够全面,遗漏了一些遗传变异资源,也表明这些种质资源的亲缘关系与地理来源有一定关系,但不明显,因此按表型特征划分较按地理来源划分的品种间遗传距离更具有规律性,这与前期对怒江干热河谷部分芒果种质的研究结果一致^[12,15]。

目前,芒果育种方式主要包括引种驯化、实生选种、人工杂交育种和突变育种等。各芒果主产区的主栽品种大多是引自国外的优良驯化品种,少部分为本土选育品种,中国还未有具有较强竞争力的自主选育芒果品种^[25]。在品种选育中,针对不同地形、气候条件,不同销售市场及不同消费习惯对芒果品种及性状的需求也不同。野生果树蕴藏着丰富的优异基因资源,且本研究所收集的芒果种质资源有一些树龄上百年的古树,在极端的环境中形成了许多特异性状和优异性状,是极其珍贵的物种基因库,是植物遗传改良最宝贵的种质材料^[26]。目前,这些种质资源绝大多数处于自生自灭状态,未充分开发和利用,由于自然及人为的因素正不断减少。本研究通过对这些种质资源的表型性状的分析测定,初步筛选出一些特异性状,如独特香气、反季节开花结果、抗逆性、早熟、小果、高产等性状。结合现阶段的育种目标,对于具有独特香气的芒果材料,可作为选育加工品种的亲本材料,也可利用分子育种技术进行基因克隆转化;对于具有反季节开花性状的材料,可通过杂交、组织培养或分子育种等技术,选育早熟或晚熟芒果新品种;对具有抗性的材料,可以直接引种驯化或杂交,筛选出具有抗性的砧木,从而培育抗性强的新品种;小果型种质可直接作为热带地区观赏苗木进行驯化栽培;对于高产、早熟且口感好的材料可以直接开展驯化栽培试验,培育具有自主知识产权的芒果新品种。通过引种驯化、杂交、组织培养、嫁接、分子育种等技术,充分利用和改良这些特异性状,把这些基因资源延续下去。

参考文献

[1] Bompard J M, Schnell R J. Taxonomy and Systematics [M]//Litz R E. The Mango: Botany, Production and Uses. Wallingford, UK:

- CAB International, 1997: 21-47
- [2] 甘家生. 罕见的千年野生芒果树[J]. 云南林业, 2005, 26(3): 28
- [3] 尼章光, 张林辉, 罗心平, 等. 怒江低热河谷芒果种质资源调查与分析[J]. 西南农业学报, 2008, 21(2): 436-439
- [4] 雷新涛, 姚全胜, 徐雪荣, 等. 中国野生芒果种质资源及其 AFLP 分子标记. [J]. 热带作物学报, 2009, 30(10): 1408-1412
- [5] 樊卫国, 罗燕, 吴素芳, 等. 南北盘江河谷野生芒果种质资源的分布与形态特征[J]. 西南农业学报, 2012, 25(6): 2244-2247
- [6] 杨庆文, 秦文斌, 张万霞, 等. 中国农业野生植物原生境保护实践与未来研究方向[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(1): 1-7
- [7] 张加强, 陈常理, 骆霞虹, 等. 26份黄麻种质资源产量性状的主成分聚类分析及其评价[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(3): 475-482
- [8] 马蔚红, 谢江辉, 武红霞, 等. 芒果种质资源果实数量性状评价指标探讨[J]. 果树学报, 2006, 23(2): 218-222
- [9] 朱敏, 陈业渊, 高爱平, 等. 芒果种质资源若干植物学数量性状评价指标探讨[J]. 热带作物学报, 2009, 30(12): 1718-1724
- [10] 石胜友, 马小卫, 许文天, 等. 不同芒果种质果实品质性状多样性分析[J]. 热带作物学报, 2014, 35(11): 2168-2172
- [11] 陈志峰, 章希娟, 许玲, 等. 芒果种质资源部分植物学性状分析[J]. 中国南方果树, 2015, 44(3): 70-77
- [12] 李国鹏, 尼章光, 张林辉, 等. 怒江干热河谷芒果种质资源叶片形态多样性的模糊聚类分析[J]. 江西农业学报, 2009, 21(2): 80-81
- [13] 李国鹏, 张林辉, 解德宏, 等. 怒江干热河谷芒果种质资源果实性状相关性及其多样性分析[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4): 1225-1229
- [14] 尼章光, 张林辉, 解德宏, 等. 怒江流域芒果种质资源主要数量性状变异及概率分级[J]. 果树学报, 2009, 26(4): 492-497
- [15] 张翠仙, 尼章光, 陈华蕊, 等. 怒江干热河谷芒果种质资源的表型和 AFLP 遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(4): 753-758
- [16] 陈业渊, 李琼, 李文化. 热带作物种质资源数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 63-64
- [17] 马蔚红, 姚全胜, 孙光明. 芒果种质资源果实重要经济性状多样性分析[J]. 热带作物学报, 2005, 26(3): 7-11
- [18] 张岩, 王萍, 赵清岩, 等. 籽用南瓜种质资源农艺性状遗传多样性及其亲缘关系研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2010, 31(4): 34-38
- [19] 潘存祥, 许勇, 纪海波, 等. 西瓜种质资源表型多样性及聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 59-63
- [20] 李艳英, 甘秀芹, 韦本辉, 等. 64份淮山种质资源品质性状分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(2): 246-251
- [21] 杨庆文, 黄娟. 中国普通野生稻遗传多样性研究进展[J]. 作物学报, 2013, 39(4): 580-588
- [22] 范虎, 赵团结, 丁艳来, 等. 中国野生大豆群体特征和地理分化的遗传分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(3): 414-425
- [23] 程大伟, 姜建福, 樊秀彩, 等. 中国葡萄属植物野生种多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6): 996-1012
- [24] 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994
- [25] 黄国弟, 赵英, 李日旺, 等. 广西芒果种质资源与品种选育研究现状及策略探讨[J]. 中国热带农业, 2013(4): 47-49
- [26] 陈义挺, 赖钟雄, 陈菁瑛. 福建省荔枝古树资源及其保护与利用[J]. 柑橘与亚热带果树信息, 2004, 20(6): 6-7