

杧果种质果实品质性状多样性分析

石胜友, 武红霞, 王松标, 姚全胜, 刘丽琴, 王一承, 马蔚红, 詹儒林*

(中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东湛江 524091)

摘 要: 对中国热带农业科学院南亚热带作物研究所杧果种质资源圃 40 份杧果 (*Mangifera indica* L.) 种质的果实品质性状进行了连续 3 年的观测, 采用方差分析、相关分析和主成分分析方法, 从物理指标 (果实形状、果实纵径、果实横径、果实侧径、单果质量、果核质量、可食率、果实纤维、果皮颜色)、化学指标 (可溶性固形物、可滴定酸、还原糖和维生素 C) 和感官指标 (风味和香气) 3 个方面对果实品质性状多样性进行了研究。结果表明: 40 份杧果种质的果实品质性状存在着极显著差异, 具有丰富的多样性。Shannon-Weinner 多样性指数 (H') 在 0.94 ~ 1.60 之间, 主成分分析表明果实品质性状变异的多向性。除可滴定酸和还原糖外, 各种品质特性年度间的差异不显著; 一些果实品质性状间存在着显著或极显著的相关性。

关键词: 杧果; 果实; 品质; 遗传多样性; 种质; 主成分分析

中图分类号: S 667.7

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2011) 05-0840-09

Fruit Quality Diversity of Mango (*Mangifera indica* L.) Germplasm

SHI Sheng-you, WU Hong-xia, WANG Song-biao, YAO Quan-sheng, LIU Li-qin, WANG Yi-cheng, MA Wei-hong, and ZHAN Ru-lin *

(South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524091, China)

Abstract: Fruit quality diversity of forty accessions of mango germplasm, preserved in South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, China, were studied for three consecutive years. Variance, correlation and principal component analysis (PCA) were used to evaluate experimental results. Fruit physical parameters including shape, vertical diameter and cross section, weight, stone weight, pulp recovery, pulp fibrosis and fruit colour, chemical parameters including total soluble solids content, titratable acidity, reducing sugar and vitamin C and sensory parameters such as taste and aroma were investigated. A high variability was found among forty mango varieties. The Shannon-Weinner index ranged from 0.94 to 1.60 indicated that striking differences in the studied quality traits. Principal component analysis (PCA) showed multi-directional variation of mango fruit quality traits. Less fluctuation of all fruit quality traits except for titratable acidity and reducing sugar was observed among different production years. Significant correlations were found among some mango quality attributes.

收稿日期: 2010 - 12 - 14; **修回日期:** 2011 - 04 - 19

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (sscri201007); 国家林业科技支撑计划项目 (2006BAD01A1705); 农业部 '948' 项目 (2006G33)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: ssy7299@163.com)

Key words: mango; fruit; quality; genetic diversity; germplasm; principal component analysis

杧果 (*Mangifera indica* L.) 果实品质在很大程度上取决于可溶性固形物、总糖、还原糖、可食率、酸度、纤维含量等特性 (Nilesh & Banik, 2005), 还包括人们的感官指标, 如果实的大小、外观、质地、风味和香气等 (Abbot, 1999)。有关杧果品质的报道大多集中在采后贮藏方面 (Iavi et al., 1989, 1998; Jacobi et al., 1995; Hoa et al., 2002; Lalelet al., 2003; Nunes et al., 2007), 但其年度间的变化、多样性及其相互间的关系等, 鲜有报道, 只有少数研究涉及部分果树学性状之间的关系 (Illoh & Olorde., 1991; Samanta & Chattopadhyay, 1999; Barholia et al., 2005; Pradeepkumar et al., 2006)。本研究的目的是对杧果种质果实品质性状多样性进行评价, 为杧果育种提供有价值的资料。

1 材料与方法

1.1 材料

研究材料取自南亚热带作物研究所杧果种质资源圃, 种质来源见表 1。

1.2 果实品质性状调查与测定

在果实生理成熟期 (果实发育成熟, 近果核处果肉开始变黄), 每份种质随机取 50 个大小一致, 无病虫害的果实运到实验室, 在室温下保存。待果实完熟时 (果实发育充分, 有杧果固有的色香味, 肉质较硬实), 每份种质选 10 个果实调查和测定以下各个参数: 果实形状 (FS)、果实纵径 (FL)、果实横径 (FW)、果实侧径 (FT)、单果质量 (FM)、果核质量 (SM)、果皮颜色 (FC)、果实纤维 (FP)、果实香气 (Ar)、果实风味 (Ta)、可食率 (Ed)、还原糖 (RS)、可溶性固形物 (SSC)、可滴定酸 (TA) 和维生素 C (Vc)。参照 Illoh 和 Olorode (1991) 及 Lavi 等 (1989, 1998) 和马蔚红等 (2005) 的方法, 将数量性状进行分级, 将质量性状进行转化, 根据表型赋值。

果实纵径 (cm): 9.0 以下为 1, 9.0~10.0 为 2, 10.0~11.0 为 3, 11.0~12.0 为 4, 12.0 以上为 5。果实横径 (cm): 6.0 以下为 1, 6.0~7.0 为 2, 7.0~8.0 为 3, 8.0~9.0 为 4, 9.0 以上为 5。果实侧径 (cm): 6.0 以下为 1, 6.0~7.0 为 2, 7.0~8.0 为 3, 8.0~9.0 为 4, 9.0 以上为 5。

单果质量 (g): 200 以下为 1, 200~300 为 2, 300~400 为 3, 400~500 为 4, 500~600 为 5, 600 以上为 6。果核质量 (g): 30 以下为 1, 30~40 为 2, 40~50 为 3, 50~60 为 4, 60 以上为 5。

可滴定酸 (%): 0.2 以下为 1, 0.2~0.4 为 2, 0.4~0.6 为 3, 大于 0.6 为 4。维生素 C ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$): 100 以下为 1, 100~150 为 2, 150~200 为 3, 200 以上为 4。可溶性固形物 ($^{\circ}\text{Brix}$): 15.0 以下为 1, 15.0~17.0 为 2, 17.0~19.0 为 3, 19.0 以上为 4。可食率 (%): 70 以下为 1, 70~75 为 2, 75~80 为 3, 80 以上为 4。还原糖 (%): 4 以下为 1, 4~6 为 2, 6~8 为 3, 8 以上为 4。

果实形状: 椭圆形为 1, 卵肾形为 2, 象牙形为 3, S 形为 4, 近圆形为 5, 斜卵形为 6。果皮颜色: 黄色为 1, 红色为 2, 绿色为 3, 橙色为 4, 黄色有红晕为 5。果实纤维: 少为 1, 中等为 2, 多为 3。果实香气: 清香为 1, 浓香为 2, 松香为 3, 仁面香杧味为 4。果实风味: 一般为 1, 好为 2, 较好为 3, 最好为 4。成熟期: 6 月下旬为 1, 7 月上旬为 2, 7 月中旬 3, 7 月下旬为 4, 8 月以后为 5。

方差分析和相关分析用 SPSS 14.0 处理, 主成分分析的特征向量、贡献率以及累积贡献率和前两个主成分的二维散点图用 XLStat 软件包处理。果实品质性状多样性用 Shannon-Weinner 多样性指数 (H') 表示, 计算公式为: $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i)$, 式中 s 为表型分类数, P_i 为该性状第 i 类的表现

频率。

2 结果与分析

Shannon-Weinner 多样性指数 (H') 表明, 杧果果实品质性状多样性比较丰富 (表 1、表 2), 16 个性状多样性指数差异较大, 在 0.94 ~ 1.60 之间, 最小的是果肉纤维, 最大的是单果质量, 平均为 1.34。

2.1 成熟期多样性

杧果是呼吸跃变型果实, 生产上在其生理成熟时就开始收获。不同栽培品种在湛江南亚热带作物研究所杧果种质资源圃中的成熟期见表 1。不同栽培品种的成熟期有很大的差异, 但大多数集中在 7 月, 成熟最早的杧果品种是粤西 1 号和 Glenn (6 月下旬), 最迟的品种是 Keitt (8 月下旬)。

2.2 物理指标多样性

从表 1 可知, 40 份杧果果实形状有 6 个表型。大多数为椭圆形, 占 37.5%, 卵肾形、象牙形、S 形、近圆形和斜卵形分别占 12.5%、7.5%、5.0%、25.0% 和 12.5%; 果实颜色有黄色、红色、绿色、橙色、黄色有红晕等 5 个表型, 依次占 35.0%、12.5%、2.5%、10.0% 和 40.0%; 40 份杧果种质的果实均有纤维, 按照多少可分为: 少、中等和多 3 个等级, 分别占 52.5%, 37.5% 和 10.0%; 杧果果实纵径、横径、侧径、单果质量、果核质量和可食率的变异范围分别在 8.31 ~ 19.79 cm、5.87 ~ 11.36 cm、5.58 ~ 10.55 cm、144.37 ~ 927.85 g、23 ~ 73 g 和 60.88% ~ 83.62% 之间, 40 份杧果种质的果实纵径、横径、侧径、单果质量、果核质量和可食率存在显著差异, 但各种质在年度之间的差异不显著 (表 2)。

2.3 化学指标多样性

可滴定酸和可溶性固形物的变化范围分别在 0.12% ~ 0.78% 和 12.44 ~ 19.37 °Brix 之间, 品种间差异显著, 并且可滴定酸年度间的差异也显著, 可溶性固形物年度间差异不显著。还原糖和维生素 C 的变异范围分别在 3.15% ~ 10.42% 和 19.9 ~ 535.0 mg · kg⁻¹ 之间, 它们在品种间的变异显著, 还原糖在年度间的差异也显著, 维生素 C 在年度间的差异不显著 (表 2)。

2.4 感官指标多样性

果实香气有清香、浓香、松香和仁面香 4 个表型, 依次占 55.0%、17.5%、17.5% 和 10.0%; 果实风味分为一般、好、较好和最好 4 个等级, 分别占 17.5%、35.0%、17.5% 和 30.0% (表 2)。

2.5 果实品质特性的相关性

杧果果实品质性状之间的相关性见表 3。可以看出, 还原糖与果实的酸度成显著的负相关, 与可溶性固形物成显著的正相关; 可食率与果实横径、果实侧径和单果质量呈极显著的正相关; 可溶性固形物与香气成显著的正相关, 与果实横径和果实侧径成极显著的负相关; 可滴定酸与杧果果实成熟期、果实形状和果肉中纤维含量成显著或极显著正相关, 与果实味道成显著的负相关; 果核质量与果实颜色、果实纵径、果实横径、单果质量呈显著或极显著的正相关; 单果质量与果实纵径、果实横径、果实侧径呈极显著的正相关; 果实侧径与果实形状、果实横径成极显著正相关; 果实横径与果实形状成显著的正相关; 果实味道与果实纤维成显著的负相关; 果实纤维与果实形状成显著的正相关。

表 1 杧果种质来源及其质量性状
Table 1 Origin and qualitative character of mango cultivar

编号 No.	品种 Cultivar	来源 Origin	成熟期 Maturity date	果实形状 Fruit shape	果皮颜色 Fruit colour	果肉纤维 Pulp fiber	香气 Aroma	风味 Taste
1	粤西 1 号 Yuexi1	广东 Guangdong	6 月下旬 Late June	1	4	1	1	2
2	实生 - 6 Shisheng-6	广东 Guangdong	7 月下旬 Late July	1	1	2	1	2
3	实生 - 7 Shisheng-7	广东 Guangdong	7 月下旬 Late July	1	1	2	1	2
4	台农 1 号 Tainong 1	台湾 Taiwan	6 月下旬 Late June	2	5	1	2	4
5	金煌 Jinhuang	台湾 Taiwan	7 月中旬 Mid-July	3	5	1	1	4
6	桂香 Guixiang	广西 Guangxi	7 月下旬 Late July	1	1	1	1	3
7	紫花 Zihua	广西 Guangxi	8 月上旬 Early August	4	1	2	2	2
8	桂热 - 82 Guire-82	广西 Guangxi	7 月中旬 Mid-July	2	3	1	4	2
9	海豹 Haibao	海南 Hainan	7 月中旬 Mid-July	3	1	1	1	4
10	龙井 Longjing	海南 Hainan	7 月中旬 Mid-July	2	4	1	1	4
11	乳杧 Rumang	四川 Sichuan	7 月中旬 Mid-July	1	1	1	1	3
12	小菲杧 Xiaofeimang	菲律宾 Philippines	7 月中旬 Mid-July	2	1	1	4	2
13	Irwin	佛罗里达 Flordia	7 月上旬 Early July	2	2	2	1	3
14	Keitt	佛罗里达 Flordia	8 月下旬 Late August	1	5	2	3	2
15	Kent	佛罗里达 Flordia	7 月中旬 Mid-July	5	5	2	1	1
16	Zill	佛罗里达 Flordia	8 月上旬 Early August	1	2	1	1	2
17	Tommy Atkins	佛罗里达 Flordia	7 月中旬 Mid-July	5	2	3	3	1
18	Haden	佛罗里达 Flordia	7 月中旬 Mid-July	5	2	2	2	2
19	Valencia Pride	佛罗里达 Flordia	7 月下旬 Late July	4	5	2	1	1
20	Van Dy Ke	佛罗里达 Flordia	7 月下旬 Late July	5	5	3	3	2
21	Glenn	佛罗里达 Flordia	6 月下旬 Late June	1	5	1	1	4
22	Zillate	佛罗里达 Flordia	8 月上旬 Early August	1	5	2	3	2
23	Lippens	佛罗里达 Flordia	7 月上旬 Early July	5	5	3	1	3
24	Edward	佛罗里达 Flordia	7 月下旬 Late July	1	5	1	4	4
25	Ono	佛罗里达 Flordia	7 月中旬 Mid-July	1	2	2	3	1
26	R2E2	澳大利亚 Aus.	7 月上旬 Early July	5	5	2	1	1
27	KRS	澳大利亚 Aus.	7 月上旬 Early July	5	1	2	1	3
28	B74	佛罗里达 Flordia	7 月中旬 Mid-July	5	5	1	1	4
29	Neelum	印度 India	8 月上旬 Early August	6	1	1	2	2
30	Bambarroo	印度 India	7 月中旬 Mid-July	6	5	2	3	1
31	Mallika	印度 India	7 月下旬 Late July	1	4	1	4	3
32	Magovar	印度 India	7 月下旬 Late July	5	1	1	1	3
33	Dashehari	印度 India	7 月中旬 Mid-July	1	1	1	2	4
34	Nan Klang Wan	泰国 Thailand	7 月中旬 Mid-July	3	5	1	1	4
35	Nan Dok Mai	泰国 Thailand	7 月中旬 Mid-July	1	1	1	1	4
36	Spooner	印度 India	7 月中旬 Mid-July	5	1	1	2	4
37	Banganpalli	印度 India	8 月上旬 Early August	6	1	1	2	4
38	Strawberry	佛罗里达 Flordia	7 月中旬 Mid-July	6	5	2	3	2
39	Saigon	越南 Vietnam	7 月上旬 Early July	1	5	2	1	2
40	9401	广西 Guangxi	7 月中旬 Mid-July	6	4	3	1	1
多样性指数 H'			1.42	1.21	1.32	0.94	1.17	1.34
Diversity index								

表 2 杧果果实数量性状
Table 2 Quantitative character of mango fruits

编号 No.	FL/ cm	FW/ cm	FT/ cm	FM/ g	SM/ g	TA/ %	Vc/ (mg · kg ⁻¹)	SSC/ °Brix	Ed/ %	RS/ %
1	9.10	5.87	5.67	144.37	26.5	0.26	535.0	15.57	67.43	7.85
2	10.34	7.24	7.11	260.74	28.5	0.34	193.1	15.27	68.33	3.44
3	9.27	7.63	7.33	267.51	27.3	0.32	256.5	16.20	74.38	3.27
4	9.53	7.17	6.60	240.07	29.0	0.24	141.0	14.99	72.85	6.62
5	19.79	9.93	8.80	927.85	73.0	0.22	69.8	17.14	78.80	7.13
6	14.23	8.47	7.83	410.00	42.9	0.32	58.4	14.02	70.91	4.28
7	11.79	7.15	6.57	286.00	40.8	0.73	151.8	13.52	66.61	3.92
8	12.06	6.63	6.09	246.20	30.7	0.26	84.4	18.36	67.84	7.10
9	18.00	8.33	7.04	535.61	46.0	0.37	165.3	17.06	79.33	3.15
10	12.55	6.67	5.67	240.49	32.4	0.17	76.8	18.83	71.87	4.46
11	12.05	7.94	6.86	364.47	30.0	0.39	44.1	12.67	79.96	4.87
12	11.37	6.37	5.90	225.46	43.3	0.43	178.1	19.37	60.88	9.79
13	11.21	8.31	7.69	355.96	32.8	0.33	195.1	13.87	81.30	6.52
14	13.83	11.04	9.92	778.07	70.0	0.61	125.1	14.55	70.31	6.87
15	10.97	9.93	9.30	501.43	40.1	0.51	95.9	16.07	81.97	7.08
16	9.27	8.23	7.63	294.00	43.8	0.14	247.6	14.30	74.60	7.28
17	11.35	9.42	9.27	516.05	46.0	0.34	109.9	14.21	74.95	3.55
18	9.87	9.14	8.49	407.17	35.0	0.36	97.4	16.40	70.56	3.92
19	16.14	9.34	8.02	643.70	50.0	0.74	227.3	14.97	76.48	6.30
20	9.81	8.48	7.89	370.89	40.0	0.42	120.8	17.94	75.63	7.21
21	10.43	9.01	7.89	368.45	36.0	0.19	107.9	12.44	75.07	6.81
22	13.06	9.23	8.90	577.14	59.3	0.34	56.4	16.00	68.06	6.04
23	11.08	9.33	8.69	393.82	45.0	0.23	90.7	15.46	76.61	6.04
24	10.75	9.08	8.72	507.27	32.5	0.45	397.8	16.10	81.89	5.29
25	9.95	6.71	6.44	232.76	23.0	0.49	104.0	17.53	72.09	6.85
26	11.83	11.36	10.55	794.12	62.6	0.30	92.1	15.63	83.62	5.98
27	10.75	9.55	9.33	517.00	54.3	0.52	139.2	13.68	72.76	4.39
28	10.84	9.85	9.47	503.04	36.5	0.36	107.4	15.17	73.89	4.65
29	11.69	8.14	7.52	388.89	40.5	0.45	96.7	17.10	73.62	5.81
30	10.84	9.65	9.43	538.16	51.9	0.35	150.3	15.82	76.66	5.91
31	13.80	9.35	8.61	583.05	47.8	0.25	215.0	17.39	80.62	6.15
32	9.09	10.05	9.62	492.96	41.0	0.69	126.3	14.27	77.14	4.99
33	8.31	5.87	5.58	160.23	29.2	0.13	103.4	18.01	66.74	10.42
34	15.93	6.70	6.10	344.67	44.4	0.21	74.5	17.60	75.40	5.00
35	11.63	6.81	6.02	249.32	23.6	0.12	102.1	19.14	72.15	9.53
36	10.61	9.36	9.01	503.90	48.0	0.64	161.4	13.81	76.90	3.62
37	11.21	10.31	8.48	525.32	37.2	0.39	64.6	16.30	73.23	6.63
38	8.68	7.94	6.96	273.51	27.8	0.44	19.8	18.37	68.32	3.54
39	9.49	7.42	6.75	236.92	46.7	0.35	234.1	15.50	67.83	4.79
40	9.11	7.52	6.78	250.92	32.4	0.78	265.1	17.59	68.87	4.12
多样性指数 <i>H'</i> Diversity index	1.51	1.40	1.57	1.60	1.46	1.20	1.33	1.24	1.45	1.24
品种间差异显著性 <i>F</i> Sig. difference among cultivars	93.66**	187.74**	166.23**	181.05**	781.63**	9.45**	58.09**	18.06**	12.17**	13.30**
年度间差异显著性 <i>F</i> Sig. difference among years	0.333	0.043	0.035	0.195	1.141	8.507**	1.846	1.105	1.034	16.166**

注: **代表相关极显著 ($P < 0.01$), 1 ~ 40 份品种编号见表 1。FL: 果实纵径; FW: 果实横径; FT: 果实侧径; FM: 单果质量; SM: 果核质量; TA: 可滴定酸; Vc: 维生素 C; SSC: 可溶性固形物; Ed: 可食率; RS: 还原糖。

Note: ** correlation is significant at the 0.01 level, codes of the 40 cultivars are showed in Table 1. FL: Fruit length; FW: Fruit width; FT: Fruit thickness; FM: Fruit mass; SM: Stone mass; TA: Titratable acidity; Vc: Vitamin C; SSC: Soluble solids content; Ed: Edible ratio; RS: Reducing sugar.

表 3 果实品质性状相关分析
Table 3 Correlation analysis of fruit quality traits

性状 Trait	MD	FS	FC	FP	Ar	Ta	FL	FW	FT	FM	SM	TA	Vc	SSC	Ed	RS
MD	1.00															
FS	0.04	1.00														
FC	-0.27	0.08	1.00													
FP	-0.01	0.38*	0.24	1.00												
Ar	0.28	-0.04	0.10	0.04	1.00											
Ta	-0.16	-0.23	-0.11	-0.65**	-0.19	1.00										
FL	0.18	-0.08	0.13	-0.22	-0.09	0.23	1.00									
FW	0.20	0.45**	0.27	0.21	-0.02	-0.08	0.24	1.00								
FT	0.17	0.44**	0.25	0.27	0.03	-0.15	0.12	0.96**	1.00							
FM	0.23	0.28	0.30	0.06	0.03	0	0.61**	0.87**	0.82**	1.00						
SM	0.20	0.24	0.35*	0.20	-0.03	-0.13	0.56**	0.69**	0.66**	0.84**	1.00					
TA	0.32*	0.45**	-0.09	0.34*	0.08	-0.40*	-0.05	0.27	0.27	0.20	0.20	1.00				
Vc	-0.14	-0.28	0.06	-0.03	-0.01	-0.13	-0.23	-0.23	-0.16	-0.22	-0.17	0.11	1.00			
SSC	0.08	0.02	0.09	-0.07	0.35*	0	0.08	-0.42**	-0.45**	-0.24	-0.23	-0.24	-0.09	1.00		
Ed	-0.08	0.18	0.21	-0.02	-0.21	0.15	0.30	0.58**	0.55**	0.56**	0.28	-0.03	-0.03	-0.29	1.00	
RS	-0.11	-0.31	0.09	-0.26	0.20	0.07	-0.06	-0.22	-0.24	-0.11	-0.10	-0.35*	0.05	0.34*	-0.16	1.00

注：*代表相关显著 ($P < 0.05$)，**代表相关极显著 ($P < 0.01$)。MD：成熟期；FS：果实形状；FC：果皮颜色；FP：果肉纤维；Ar：香气；Ta：风味；FL：果实纵径；FW：果实横径；FT：果实侧径；FM：单果质量；SM：果核质量；TA：可滴定酸；Vc：维生素 C；SSC：可溶性固形物；Ed：可食率；RS：还原糖。

Note: * correlation is significant at the 0.05 level, ** correlation is significant at the 0.01 level. MD: Maturity date; FS: Fruit shape; FC: Fruit colour; FP: Fiber in pulp; Ar: Aroma; Ta: Taste; FL: Fruit length; FW: Fruit width; FT: Fruit thickness; FM: Fruit mass; SM: Stone mass; TA: Titratable acidity; Vc: Vitamin C; SSC: Soluble solids content; Ed: Edible ratio; RS: Reducing sugar.

2.6 主成分分析

从表 4 中可以看出，前 8 个成分的累计贡献率才达到 87.57%，表明各性状的贡献率分散，累积贡献率增长不明显，说明性状变异的多向性。PC1、PC2 和 PC3 的贡献率分别为 29.53%、15.08%和 11.09%。

表 4 各性状主成分的特征向量及贡献率
Table 4 Eigenvectors and percentages of accumulated contribution of principal components

主成分 PC	特征值 Eigen value	贡献率/% Contribution rate	累计百分率/% Cumulative percentage
PC1	4.72	29.53	29.53
PC2	2.41	15.08	44.61
PC3	1.78	11.09	55.70
PC4	1.53	9.59	65.29
PC5	1.19	7.41	72.71
PC6	0.97	6.09	78.80
PC7	0.76	4.78	83.57
PC8	0.64	4.00	87.57

从表 5 中可以看出原始变量和前 3 个主成分之间的相关性。PC1 主要代表果实横径、果实侧径、单果质量和果核质量；PC2 主要代表果实纤维、风味和可滴定酸；PC3 主要代表香气和可溶性固形物。

表 5 杧果果实性状变量因子负荷量
Table 5 Factor loadings for fruit character variables of mango fruits

变量 Variable	因子负荷量 Factor loadings		
	PC1	PC2	PC3
收获期 Harvest date	0.227	- 0.166	0.455
果实形状 Fruit shape	0.503	- 0.420	- 0.023
果皮颜色 Fruit colour	0.311	0.086	0.205
果实纤维 Fiber in pulp	0.318	- 0.710	0.013
香气 Taste	- 0.058	- 0.210	0.710
风味 Aroma	- 0.177	0.753	- 0.206
果实纵径 Fruit length	0.396	0.576	0.291
果实横径 Fruit width	0.941	0.066	- 0.028
果实侧径 Fruit thickness	0.914	- 0.028	- 0.058
单果质量 Fruit mass	0.909	0.299	0.191
果核质量 Stone mass	0.806	0.165	0.231
可滴定酸 Titratable acidity	0.388	- 0.621	- 0.026
维生素 C Vitamin C	- 0.237	- 0.172	- 0.241
可溶性固形物 Soluble solids content	- 0.406	0.028	0.680
可食率 Edible ratio	0.587	0.361	- 0.293
还原糖 Reducing sugar	- 0.340	0.295	0.438

杧果种质主成分得分见表 6。PC1 较高的正值表明杧果的单果质量、果核质量、果实横径和果实侧径都较大，R2E2、Keitt、Valencia Pride、Kent 和 Bambarroo 等品种属于此类；PC1 的较低的负值表明杧果品种具有高的可溶性固形物和较高的还原糖，Dashehari、粤西 1 号、9401、Nan Dok Mai、桂热 - 82、龙井、台农 1 号等品种属于此类。高的 PC2 正值表明杧果种质的果实纵径较大，果实风味较好，金煌、海豹和 Nan Klang Wan 等品种属于此类；低的 PC2 负值表明杧果种质果肉纤维较多，可滴定酸含量较高，小菲杧、紫花、Tommy Atkins、Van Dy Ke、Strawberry 和 Haden 等品种属于此类（图 1）；PC3 高的正值表明杧果种质具有香气和较高的可溶性固形物含量，如 Zillate；低的 PC3 负值表明杧果种质维生素 C 含量和可食率较高，如乳杧、Irwin 和 Glenn 等品种。

表 6 杧果种质因子得分
Table 6 Factor scores for 40 mango germplasm

种质 Germplasm	因子分值 Factor scores			种质 Germplasm	因子分值 Factor scores		
	PC1	PC2	PC3		PC1	PC2	PC3
粤西 1 号 Yuexi 1	- 4.205	- 0.310	- 1.653	Glenn	- 0.429	2.090	- 2.149
实生 - 6 Shisheng-6	- 1.683	- 1.245	- 1.097	Zillate	1.633	0.016	2.409
实生 - 7 Shisheng-7	- 1.439	- 1.165	- 1.362	Lippens	1.302	- 0.237	- 0.831
台农 1 号 Tainong 1	- 2.263	1.190	- 1.138	Edward	0.380	0.784	0.285
金煌 Jinhuang	3.529	4.198	1.571	Ono	- 2.394	- 1.674	1.000
桂香 Guixiang	0.059	1.192	- 0.676	R2E2	4.449	0.455	- 0.279
紫花 Zihua	- 0.379	- 2.470	- 0.256	KRS	1.978	- 0.628	- 1.782
桂热 - 82 Guire-82	- 2.778	0.034	2.288	B74	1.392	0.886	- 1.049
海豹 Haibao	0.670	2.251	- 0.550	Neelum	0.061	- 0.642	0.950
龙井 Longjing	- 2.505	1.570	0.133	Bambarroo	2.313	- 1.123	0.886
乳杧 Rumang	- 0.516	1.092	- 2.030	Mallika	1.028	1.742	1.855
小菲杧 Xiaofeimang	- 0.202	- 3.939	- 0.350	Magovar	1.909	- 0.635	- 1.452
Irwin	- 0.254	0.523	- 2.008	Dashehari	- 4.560	1.166	0.970
Keitt	3.797	- 0.048	2.214	Nan Klang Wan	- 0.970	2.304	0.347
Kent	2.224	- 0.782	- 0.178	Nan Dok Mai	- 3.585	2.064	0.645
Zill	- 0.941	0.506	- 0.502	Spooner	1.731	- 0.022	- 1.558
Tommy Atkins	2.170	- 2.039	- 0.152	Banganpalli	1.041	0.590	0.628
Haden	0.389	- 1.391	- 0.257	Strawberry	- 0.889	- 2.199	0.979
Valencia Pride	2.629	- 0.758	0.422	Saigon	- 1.358	- 0.868	- 0.941
Van Dy Ke	0.446	- 1.805	1.693	9401	- 3.773	- 0.672	2.974

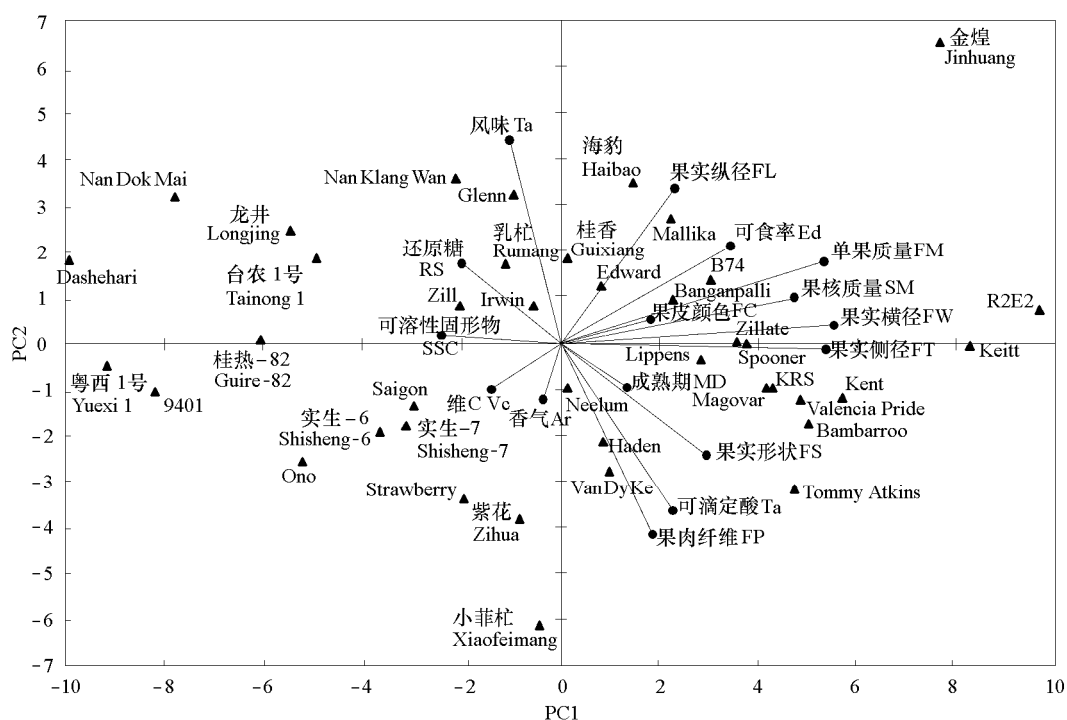


图 1 果实品质特性前两个主成分散点图

Fig. 1 Scatter plot of the first two principal component analysis of fruit quality character

3 讨论

从物理指标、化学指标和感官指标 3 个方面对 40 份杧果种质果实品质性状多样性进行了研究, 结果表明杧果种质果实性状表现出丰富的多样性, 各品种间的果实品质性状存在着显著的差异。但是杧果种质果实形状、果实纵径、果实横径、果实侧径、单果质量、果核质量、可食率、可溶性固形物和维生素 C 年度间的差异不显著, 可滴定酸和还原糖差异显著。一般而言, 果实品质的好坏主要取决于品种 (魏钦平 等, 2003)、立地条件 (Lee & Kader, 2000)、栽培技术和管理措施 (张继义 等, 2002) 等方面的综合作用。在本研究中, 杧果种质在立地条件和栽培管理条件上是一致的, 因此, 果实品质性状的多样性就充分反映了其遗传背景的多样性。

本研究表明有些杧果种质果实品质性状存在着显著或极显著的正相关, 有些性状之间存在着显著或极显著的负相关。如可食率与果实横径、果实侧径和单果质量呈极显著的正相关性, 还原糖与可滴定酸之间、风味与果肉纤维之间存在着极显著的负相关。但是, 大多数性状之间是相对独立的, 它们之间虽然存在或多或少的相关性, 但不显著。

主成分分析是多元统计方法之一, 已经用于建立杏和桃品种分类及果实品质性状遗传多样性的研究 (Azodanlou et al., 2003; Wu et al., 2003; David & Jose, 2008)。本研究中以连续 3 年杧果种质果实品质特性观测数据的平均值为基础, 利用 XLStat 软件计算出各主成分的特征向量和贡献率, 并根据各向量的绝对值将不同性状指标划分到不同的主成分之中, 同一指标在各因子中的最大绝对值所在位置即为其所属主成分。结果表明前 3 个主成分累积贡献率仅为 55.70%, 到第 8 个成分的累计贡献率才达到 87.57% (理论上需 85% 以上的累计贡献即可认为具有较强的代表性), 表明各性状的贡献率分散, 累积贡献率增长不明显, 说明性状变异的多向性。

References

- Abbott J A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol Technol*, 15: 207 – 225.
- Azodanlou R, Darbellay C, Luisier J L, Villettaz J C, Amado R. 2003. Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots. *Food Sci Technol*, 36: 223 – 233.
- Barholia A K, Yadav A S, Yadav H S, Parmar R P. 2005. Heritable genetic variation for fruit quality traits in mango (*Mangifera indica* L.). *Oriental Journal of Chemistry*, 21 (5): 501 – 504.
- David R, Jose E. 2008. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) germplasm. *Euphytica*, 163: 143 – 158.
- Hoa T T, Ducamp M N, Lebrun M, Baldwin E A. 2002. Effect of different coating treatments on the quality of mango fruit. *J Food Qual*, 25: 471 – 486.
- Illoh H C, Olorode O. 1991. Numerical taxonomic studies of mango (*Mangifera indica* L.) varieties in Nigeria. *Euphytica*, 51: 197 – 205.
- Jacobi K K, Wong L S, Giles J E. 1995. Effect of fruit maturity on quality and physiology of high-humidity hot air-treated ‘Kensington’ mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biol Technol*, 5: 149 – 159.
- Lee S K, Kader A A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20 (3): 207 – 220.
- Lalel H J D, Singh Z, Tan S C. 2003. Maturity stage at harvest affects fruit ripening, quality and biosynthesis of aroma volatile compounds in ‘Kensington Pride’ mango. *J Hort Sci Biotechnol*, 78: 225 – 233.
- Lavi U, Tomer E, Gazit S. 1989. Inheritance of agriculturally important traits in mango. *Euphytica*, 44: 5 – 10.
- Lavi U, Tomer E, Gazit S, Hillel J. 1998. Components of the genetic variance and genetic correlations between traits in mango. *Scientia Horticulturae*, 75: 11 – 25.
- Ma Wei-hong, Yao Quan-sheng, Sun Guang-ming. 2005. Study on diversity of important economic traits of mango fruit in the mango gene pool. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 26 (3): 7 – 11. (in Chinese)
- 马蔚红, 姚全胜, 孙光明. 2005. 芒果种质资源果实重要经济性状多样性分析. *热带作物学报*, 26 (3): 7 – 11.
- Nilesh B, Banik C B. 2005. Yield and physico-chemical properties of some mango cultivars in New Alluvial Zone of West Bengal. *Environment & Ecology*, 23 (3): 503 – 506.
- Nunes C N, Emond J P, Brecht J K, Dea S, Proulx E. 2007. Quality curves for mango fruit (cv. Tommy Atkins and Palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. *J Food Qual*, 30: 104 – 120.
- Pradeepkumar T, Joseph P, Johnkutty I. 2006. Variability in physico-chemical characteristics of mango genotypes in northern Kerala. *Journal of Tropical Agriculture*, 44 (1 – 2): 57 – 60.
- Samanta A K, Chattopadhyay T K. 1999. Genetic variability of some fruit characters in Mango (*Mangifera indica* L.). *Environment & Ecology*, 17 (2): 448 – 490.
- Wei Qin-ping, Zhang Ji-xiang, Mao Zhi-quan, Li Jia-rui. 2003. Optimum meteorological factors and climate divisions of apple for good quality. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14 (5): 713 – 716. (in Chinese)
- 魏钦平, 张继祥, 毛志泉, 李嘉瑞. 2003. 苹果优质生产的最适宜气象因子和气候区划. *应用生态学报*, 14 (5): 713 – 716.
- Wu B, Quilot B, Kervella J, Ge'nard M, Li S. 2003. Analysis of genotypic variation of sugar and acid contents in peaches and nectarines through the principle component analysis. *Euphytica*, 132: 375 – 384.
- Zhang Ji-yi, Zhao Ha-lin, Liu Jian-xun. 2002. Quantitative analysis on the effect of planting techniques on the quality of apple-shaped pear. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 10 (1): 85 – 89. (in Chinese)
- 张继义, 赵哈林, 刘建勋. 2002. 栽培技术条件对苹果梨品质影响的数量分析. *中国生态农业学报*, 10 (1): 85 – 89.