

猕猴桃品种果实性状特征和主成分分析研究

钟彩虹^{1,2}, 李大卫^{1,2}, 韩飞¹, 刘小莉¹, 张鹏¹, 黄宏文¹

(¹中国科学院武汉植物园; ²中国科学院植物种质创新与特色农业重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 为深入了解猕猴桃不同品种(系)的果实性状与其倍性的相关性, 本研究对国家猕猴桃种质资源圃保存的 44 个栽培品种(系)进行了果实性状分析, 结果表明, 44 个栽培品种(系)的果实性状具有丰富的遗传多样性并且果实重量、果面毛被、果肉颜色和质地、果实维生素 C 含量、果实后熟天数和软熟果硬度、果实成熟期等与品种(系)倍性呈显著相关。对相关性状采用主成分分析表明, 果实成熟时间、果肉质地、果面毛被和果实后熟天数、果肉颜色是区分品种(系)的主要特征。由于品种(系)的倍性与主要性状特征关联, 品种(系)按倍性相对聚类, 且二倍体品种(系)群和六倍体品种(系)群间无重叠, 而四倍体品种(系)群与相邻的二倍体和六倍体品种(系)群均有一定重叠。

关键词: 中华猕猴桃; 品种倍性; 果实性状; 主成分分析

Fruit Characters and Principal Component Analysis of Different Ploidy of Kiwifruit Cultivars (*Actinidia Chinensis* Planch)

ZHONG Cai-hong^{1,2}, LI Da-wei^{1,2}, HAN Fei¹, LIU Xiao-li¹, ZHANG Peng¹, HUANG Hong-wen¹

(¹ Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences; ² Key Laboratory of Academy of Agricultural China Plant Germplasm Innovation and Characteristics, Wuhan 430074)

Abstract: In order to understand the relationship between fruit characters of kiwifruit cultivars of *Actinidia chinensis* Planch and their ploidy, a total of 44 cultivars or selections of *A. chinensis* Planch preserved in National *Actinidia* Germplasm Repository were evaluated for fruit traits, the results showed that: all the cultivars have high diversity on the fruit traits and ploidy levels are significantly correlated with the fruit traits of the cultivars with different, including fruit weight, fruit surface hairs, flesh color and texture, vitamin C content, fruit ripening days, the flesh firmness of eating ripe stage and fruit maturity. The principal component analysis (PCA) revealed that fruit maturity, flesh texture, fruit surface hairs, fruit ripening days and flesh color are main factors to distinguish cultivars. Because of the correlation of ploidy and fruit traits, the cultivars in the same ploidy levels are normally clustered together based on first and second components, with no overlap between the diploid and hexaploid cultivars, but with overlaps between diploid and tetraploid cultivars, and between tetraploid and hexaploid cultivars.

Key words: *Actinidia chinensis*; cultivar ploidy; fruit traits; Principal Component Analysis (PCA)

自新西兰于 1904 年从中国引进野生美味猕猴桃 (*A. chinensis* var. *deliciosa* (A. Chevalier) A. Chevalier) 种子并成功驯化以来, 猕猴桃以其独特的风味和丰富的营养价值受到市场的青睐, 逐步发展成为世界性的新兴水果产业。到 2014 年止, 全球猕猴桃种植面积超过 24.5 万 hm^2 , 产量 310 余万 t, 其中中

国种植面积约 14.5 万 hm^2 , 产量约 180 万 t, 面积和产量均居世界第一^[1]。

中国自 1978 年开始全国性野生资源普查和驯化栽培以来, 经过前 10 余年的资源普查和近 30 余年的品种选育, 到目前为止全国各地培育出了约 50 个优良品种和一批株系^[2]。特别是 20 世纪 80 年代

收稿日期: 2015-03-03 修回日期: 2015-04-01 网络出版日期: 2015-12-09

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20151209.0912.022.html>

基金项目: 农业部作物种质资源保护专项 (NWB027); 中国科学院科技服务网络计划项目 (KFJ-EW-ST-076)

第一作者长期从事猕猴桃种质资源鉴定、种质创新与育种研究。E-mail: zhongch@wbcas.cn

至 90 年代初,通过资源普查从野生自然群体中筛选出了 1450 多个优良单株,经后续选育先后命名和审定了新品种(系)57 个,其中中华猕猴桃(*A. chinensis* var. *A. chinensis* Planchon)品种(系)有 46 个,有二倍体和四倍体;美味猕猴桃品种(系)有 11 个,均为六倍体^[3]。我国现有常见猕猴桃品种除少数来源于实生选育和杂交选育外,大部分是从野外群体选优直接驯化而来,品种倍性仍主要是二倍体、四倍体和六倍体。这些品种由于原生地生境差异,即使同一倍性的品种,形态特征也存在较大的差异,其遗传基础同样存在丰富的多样性^[4]。

多倍体植物普遍存在于自然界,与二倍体相比,多倍体植物在形态、生理特性上都发生巨大的改变。如(1)植株营养器官加大,随着染色体加倍,细胞核和细胞变大,因而组织器官也变大,一般表现为茎粗、叶宽厚、花大、色艳、果实大、种子大而少等。如四倍体中华猕猴桃果实通常比二倍体大、花期比二倍体晚;(2)适应性增强,由于核体积增大表现耐辐射耐紫外光、耐寒、耐旱等特性,如多倍体杜鹃及醉鱼草多分布在我国西南山区,而二倍体只分布在平原;十四倍体的报春在极地生长等;(3)有机合成速率增加,由于多倍体染色体数量增多,有多套基因,新陈代谢旺盛,酶活性加倍,从而提高蛋白质、碳水化合物、维生素、植物碱、单宁物质等的合成速率等等^[5-6]。

为了系统地全面了解多倍体猕猴桃品种(系)与二倍体品种(系)的果实特性差异,本研究以国家猕猴桃种质资源圃(武汉植物园)内收集的 44 个中华猕猴桃野生选优或实生选育的品种(系)为研究对象,对各品种(系)果实的植物学特征、果实风味及营养成分、果实成熟期及贮藏性等开展系统的评价分析,比较不同倍性品种(系)的果实特性差异,同时对有相关性的果实性状开展主成分分析,为下一步综合利用这批种质资源和指导育种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2010-2011 年选择国家猕猴桃种质资源圃(武汉市武昌区磨山)中 44 个中华猕猴桃复合体品种(系)进行分析,均为 16 年生成年大树,每个品种(系)选择 3 株树势一致的树作为采样对象,资源圃内采用常规管理,品种(系)倍性均采用流式细胞仪验证,其中,中华猕猴桃原变种二倍体 8 个和四倍体 17 个,美味猕猴桃变种四倍体 1 个和六倍体 18 个(表 1)。

1.2 分析方法

1.2.1 果实形态特征描述 参照国家标准,对成熟时果实的形状、果面颜色、果面毛被、果肉颜色、果实横切面形状和果肉质地进行形态描述^[7]。

1.2.2 果实品质分析 每品种分别取 20 个果实,测定单果重和果实可食用时的硬度、可溶性固形物含量,取其平均值;并取连续 2 年的数据作平均值。参照国标《食品中还原糖的测定》(GBT 5009.7—2008)测定水溶性总糖;盐酸水解后用直接滴定法进行;总酸参照国标《食品中总酸的测定》(GBT 12456—2008)测定;抗坏血酸(Vc)采用国标《蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定》(GBT 5009.86—2003)的 2,4-二硝基苯肼比色法测定。从各品种实验树取果实 500 g 送到湖北农科院质量检测中心,委托其测定果实的矿质元素氮、磷、钾、钙、镁。氮采用 GB 5009.5—2010 中的方法测定,磷、钾、钙和镁均采用 ICP 光谱法测定。

1.2.3 果实成熟期 统一按果实的可溶性物固形物含量 7% (范围 6.5% ~ 7.5%) 作为品种果实成熟始期。

1.2.4 果实常温贮藏性 采收可溶性固形物达到 7% (范围 6.5% ~ 7.5%) 的果实,放在常温贮藏实验室内,阴凉通风,记录果实后熟的天数,每品种取 20 个果实定期观测,每 2 d 检测 1 次。

1.3 统计分析

本研究所得数据均为连续 2 年的平均值,采用 SPSS17.0 进行单因素方差分析和 LSD 多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 果实性状比较

通过对 44 个品种(系)的倍性与果实的外观和果肉性状描述,对其中数据进行了品种(系)倍性的单因素方差分析(表 2)。

从性状描述中可以看出,参试的 44 个品种(系)果形主要是圆柱形或长圆柱形、椭圆形或长椭圆形、卵形,分别有 13 个、11 个和 12 个;其次是短圆柱形 6 个,倒卵形和扁圆形仅各 1 个。其中二倍体品种(系)以卵形、短圆柱形为主,四倍体品种(系)以圆柱形或长圆柱形、椭圆形或长椭圆形为主,六倍体品种(系)以圆柱形或长圆柱形、卵形、椭圆或长椭圆形为主,其他果形相对较少,且方差分析表明与品种(系)倍性无显著相关性;果皮颜色、果实横切面形状与果形相同,均与其倍性没有显著相关性。而果实重量、果面毛被、果肉颜色和果肉质地与品种(系)倍性有显著相关性,方差分析的显著性值 P 均小于 0.05(表 2)。

表 1 44 个中华猕猴桃复合体栽培品种(系)
Table 1 44 cultivars (strains) of *Actinidia chinensis* complex

编号 Number	品种(系) Cultivars (strains)	倍性 Ploidy	选育来源 Origin	编号 Number	品种(系) Cultivars (strains)	倍性 Ploidy	选育来源 Origin
1	金农	2x	湖北方县野生种子实生	11	魁蜜	4x	江西奉新野生株系
2	金水Ⅲ	2x	湖北方县野生种子实生	12	金丰	4x	江西奉新野生株系
3	川猕3号	2x	四川省野生株系	13	庐山香	4x	江西野生株系
4	红阳	2x	四川苍溪实生	14	早鲜	4x	江西奉新野生株系
5	桂海4号	2x	广西龙胜县野生株系	15	华光3号	4x	河南西峡野生株系
36	华光2号	2x	河南西峡野生株系	16	金桃	4x	江西武宁野生株系
37	丰悦	2x	湖南炎陵县野生株系	17	华优	4x	陕西实生选育
38	红华	2x	红阳与美味雄杂交后代	18	湘麻6号	4x	湖南麻阳野生株系
6	夏亚15号	4x	福建野生株系	19	金霞	4x	江西武宁野生株系
7	夏亚1号	4x	福建野生株系	20	武植3号	4x	江西武宁野生株系
8	通山5号	4x	湖北通山野生株系	39	翠玉	4x	湖南雪峰山脉野生株系
9	金阳	4x	湖北崇阳野生株系	40	素香	4x	江西野生株系
10	金早	4x	江西武宁野生株系	41	建科1号	4x	福建建宁野生株系
21	川猕1号	6x	四川野生株系	30	布鲁诺	6x	新西兰实生选育-湖北野生资源
22	川猕2号	6x	四川野生株系	31	Khomer	6x	日本选育新品种
23	新观2号	6x	四川野生株系	32	西选1号	6x	陕西野生株系
24	米良1号	6x	湖南凤凰县野生选育	33	长安1号	6x	陕西长安野生株系
25	华美1号	6x	河南西峡野生选育	34	金魁	6x	湖北野生资源实生后代
26	徐香	6x	海沃德实生株系	35	海沃德	6x	新西兰实生选育-湖北野生资源
27	徐冠	6x	海沃德实生	42	秦美	6x	陕西周至野生株系
28	沁香	6x	湖南东山峰野生株系	43	三峡1号	6x	湖北兴山野生株系
29	香绿	6x	海沃德实生株系-日本选育	44	和平1号	6x	广东合平县实生选育

表 2 不同倍性品种(系)果实特征及营养成分比较
Table 2 Comparison of fruit characters and nutrient of the kiwifruit cultivars with different ploidy

品种(系) Cultivars(strains)	倍性 Ploidy			P 值
	2x	4x	6x	P value
平均单果重(g) Average weight	51.31 ± 7.07 b	62.95 ± 6.76 a	68.65 ± 6.12 a	0.008
果形 Fruit shape	4.75 ± 1.83 a	3.67 ± 1.1 a	4.11 ± 1.05 a	0.497
果皮颜色 Peel color	4.63 ± 2.61 a	5.83 ± 0.71 a	5.94 ± 0.71 a	0.219
果面毛被 Surface hair	0.88 ± 0.30 c	2.89 ± 0.24 b	4.00 ± 0 a	0
果肉颜色 Flesh colour	4.63 ± 1.41 a	4.06 ± 0.65 a	1.89 ± 0.29 b	0
横切面形状 Cross section	1.38 ± 0.44 a	1.67 ± 0.34 a	1.56 ± 0.31 a	0.555
果肉质地 Flesh texture	1.0 ± 0 b	1.0 ± 0 b	7.67 ± 1.53 a	0
可溶性固形物(%) SSC	15.22 ± 1.90 a	13.17 ± 1.05 b	14.59 ± 0.76 a	0.025
总糖(%) Total sugar	10.30 ± 1.85 a	8.81 ± 1.12 a	9.61 ± 0.88 a	0.213
总酸(%) Total acid	1.46 ± 0.31 a	1.41 ± 0.17 a	1.44 ± 0.14 a	0.935
维生素 C(mg/100g) VC	100.14 ± 29.09 b	149.46 ± 21.09 a	91.77 ± 22.25 b	0.000
氮(%) Nitrogen	0.18 ± 0.04 a	0.17 ± 0.02 a	0.17 ± 0.01 a	0.701
磷(mg/kg) Phosphorus	310 ± 39.24 a	360.5 ± 39.48 a	402.7 ± 55.12 a	0.102
钾(mg/kg) Potassium	1924.6 ± 367.99 ab	2240.6 ± 187.27 a	1720.8 ± 197.09 bc	0.001
钙(mg/kg) Calcium	345.4 ± 137.30 ab	342.7 ± 63.77 bc	431.7 ± 48.14 a	0.051
镁(mg/kg) Magnesium	116.0 ± 28.81 a	134.7 ± 16.83 a	137.3 ± 10.37 a	0.257

小写字母表示在 0.05 水平上的显著性差异,下同
The lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level,the same as below

单果重二倍体品种(系)的小于四倍体品种(系),两者间有显著差异,而四倍体品种(系)单果重虽通常小于六倍体品种(系),但两者间差异不显著。二倍体品种(系)果实表面无毛或短茸毛,四倍体品种(系)果实表面除美味品种湘麻6号果面是长硬毛外,其余均为绒毛或短绒毛;六倍体品种(系)果实表面均长硬毛。经LSD多重比较分析,果面毛被的 $P=0.000<0.05$,三者之间呈显著性差异(表2)。果肉颜色上,二倍体和四倍体品种(系)果实果肉的颜色主要是黄色或黄绿色,其中也有极少数绿色,如二倍体品种(系)中华光2号是绿色或浅绿色;四倍体品种中武植三号、翠玉、湘麻6号果肉

为绿色;而六倍体品种(系)果肉主要是浅绿色到绿色(图1)。经LSD多重比较分析表明,二倍体和四倍体品种(系)之间无显著性差异,但二倍体品种(系)和四倍体品种(系)分别与六倍体品种(系)之间有显著性差异。果肉质地与果肉颜色类似,二倍体和四倍体品种(系)的果肉质地均为细嫩,而六倍体品种(系)的果肉大部分质地粗,有极少部分果肉质地细嫩,如新观2号、徐香、沁香等品种。经LSD分析,二倍体和四倍体品种(系)之间无显著性差异,而六倍体品种(系)与二倍体和四倍体品种(系)之间差异显著。

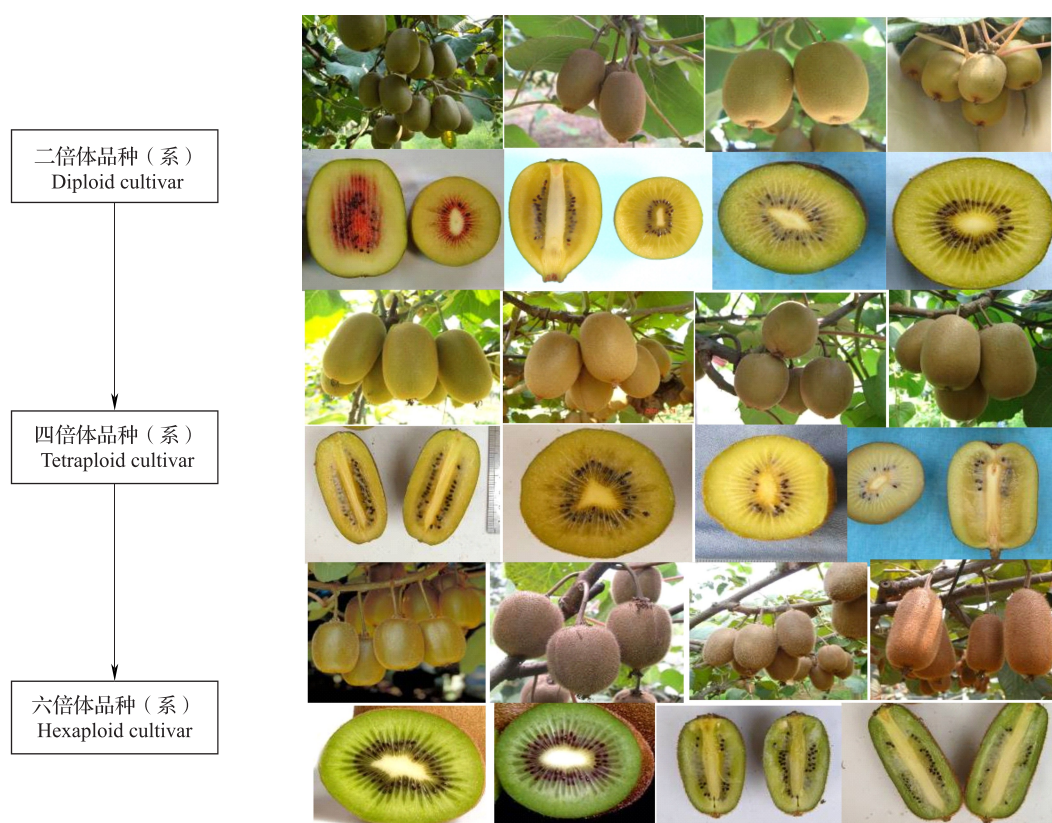


图1 不同倍性品种果实的外观、果肉颜色的变化

Fig.1 The variation of fruit appearance and flesh color of kiwifruit cultivars with different ploidy

2.2 果实营养成分比较

44个品种(系)软熟果实的可溶性固形物、糖、酸及维生素C含量测定结果进行方差分析及LSD多重比较,结果表明,不同倍性品种(系)软熟果实的可溶性固形物含量和维生素C含量三者间有差异,其中可溶性固形物含量的变化趋势是二倍体>六倍体>四倍体,四倍体与二倍体、六倍体之间有显著性差异,而二倍体和六倍体之间无差异;维生素C的含量却是以四倍体最高,且与二倍体、六倍体之间

有显著性差异,而二倍体和六倍体之间无差异。而不同倍性品种(系)软熟果实的糖含量是二倍体>六倍体>四倍体,酸含量在二倍体、四倍体和六倍体之间均值很接近,但三者之间的糖、酸含量的差异均不显著(表2)。

2.3 矿质元素含量比较

对软熟果实矿质元素氮、磷、钾、钙、镁的测定数据进行方差分析和LSD多重比较,结果表明(表2):各品种(系)果实中氮、磷、钙和镁的含量均

与品种(系)倍性无显著相关性,而钾含量与品种(系)倍性有显著相关性,方差分析的 P 值达到极显著性水平,表示不同倍性的品种(系)间钾含量差异显著。

不同倍性品种(系)的果实中钾含量以四倍体含量最高,其次是二倍体,六倍体含量最低。经 LSD

多重比较分析,四倍体与六倍体之间差异显著,但二倍体与四倍体、六倍体之间差异不显著。

2.4 果实耐贮性比较

以果实采收后在常温下后熟时间(表3)作为评价标准,同时以果实软熟时的硬度作为参照,分析各品种(系)果实的常温贮藏性。

表 3 44 个品种(系)果实常温下后熟天数比较
Table 3 The days of after ripening of 44 kiwifruit cultivars(strains)

品种(系) Cultivars (strains)	倍性 Ploidy	后熟天数 Ripening days	品种(系) Cultivars (strains)	倍性 Ploidy	后熟天数 Ripening days	品种(系) Cultivars (strains)	倍性 Ploidy	后熟天数 Ripening days
米良 1 号	6x	13	三峡 1 号	6x	16	金霞	4x	20
华美 1 号	6x	26	和平 1 号	6x	26	武植 3 号	4x	20
新观 2 号	6x	21	海沃德	6x	49	翠玉	4x	12
长安 1 号	6x	25	湘麻 6 号	4x	6	华优 2 号	4x	15
徐香	6x	20	夏亚 15 号	4x	8	素香	4x	21
川猕 1 号	6x	16	金桃	4x	25	建科 1 号	4x	22
川猕 2 号	6x	9	庐山香	4x	8	金农	2x	9
金魁	6x	35	通山 5 号	4x	13	金水Ⅲ	2x	9
沁香	6x	17	金早	4x	10	红 阳	2x	6
香绿	6x	29	金阳	4x	5	桂海 4 号	2x	9
西选 1 号	6x	21	魁蜜	4x	10	华光 2 号	2x	10
Khomer	6x	30	早鲜	4x	10	川猕 3 号	2x	14
徐冠	6x	24	金丰	4x	15	丰悦	2x	7
布鲁诺	6x	46	夏亚 1 号	4x	16	红华	2x	7
秦美	6x	15	华光 3 号	4x	23			

分析显示,果实后熟天数的 P 值 = $0 < 0.01$,表明果实后熟天数与品种(系)倍性呈极显著相关性。再经 LSD 多重比较分析,二倍体和四倍体之间差异不显著,但二倍体和六倍体之间、四倍体与六倍体之

间差异显著,表明参试的 44 个中华猕猴桃品种(系)中,六倍体品种(系)的耐贮性显著强于二倍体和四倍体品种(系)(表4)。

表 4 不同倍性品种(系)果实耐贮性及成熟时间比较
Table 4 Comparison of fruit storage and fruit harvesting time of cultivars with different ploidy

品种倍性 Cultivar ploidy	N	后熟天数 Ripening days	硬度 (kg/cm ²) Hardness	成熟时间代码 Maturation time code
2x	8	8.88 ± 2.07b	0.27 ± 0.13b	7.88 ± 2.51b
4x	18	14.39 ± 3.10b	0.31 ± 0.09b	11.17 ± 3.27b
6x	17	24.29 ± 5.65a	1.07 ± 0.48a	19.94 ± 2.76a
P 值 P value		0	0.001	0

不同品种(系)果实软熟时的硬度比较也表明不同倍性品种(系)之间也有差异,经方差分析,与品种(系)倍性同样有极显著相关性(表4)。如二倍体和四倍体的果实软熟时硬度低于 0.4 kg/cm²,而六倍体软熟时硬度在 1 kg/cm²,相差 1 倍多,经 LSD 分析,二倍体与六倍体之间、四倍体与六倍本之

间均有显著性差异。综合果实后熟天数和软熟时的硬度,表明果实的耐贮性以六倍体品种(系)最强,其次是四倍体品种(系)。

2.5 果实成熟期比较

以果实可溶性固形物含量 7% 为成熟指标,统计各品种(系)的成熟时间,果实成熟时间集中在 8

月 25 日至 11 月 18 日,结果见表 5。期差异大,经 Pearson 分析表明果实成熟期与品种(系)倍性呈极显著相关性。

从表 5 中可以看出,不同倍性品种(系)的成熟

表 5 44 个品种(系)的果实成熟时间

Table 5 Fruit harvesting time of 44 kiwifruit cultivars(strains)

品种 Cultivars	倍性 Ploidy	成熟时间 (月,日) Maturation time	时间代码 Time code	品种 Cultivars	倍性 Ploidy	成熟时间 (月,日) Maturation time	时间代码 Time code	品种 Cultivars	倍性 Ploidy	成熟时间 (月,日) Maturation time	时间代码 Time code
米良 1 号	6x	10.22	21	三峡 1 号	6x	10.19	19	金霞	4x	9.25	7
华美 1 号	6x	11.01	25	和平 1 号	6x	11.18	29	武植 3 号	4x	9.20	6
新观 2 号	6x	10.20	20	海沃德	6x	11.14	28	翠玉	4x	10.22	21
长安 1 号	6x	10.14	17	湘麻 6 号	4x	9.25	7	华优 2 号	4x	10.01	11
徐香	6x	10.28	24	夏亚 15 号	4x	9.27	9	素香	4x	10.01	11
川猕 1 号	6x	10.10	16	金桃	4x	10.02	12	建科 1 号	4x	10.10	16
川猕 2 号	6x	10.19	19	庐山香	4x	9.26	8	金农	2x	9.25	7
金魁	6x	11.01	25	通山 5 号	4x	10.05	14	金水Ⅲ	2x	9.15	4
沁香	6x	10.26	23	金早	4x	8.25	1	红 阳	2x	9.29	10
香绿	6x	10.19	19	金阳	4x	9.01	2	桂海 4 号	2x	10.03	13
西选 1 号	6x	10.19	19	魁蜜	4x	10.15	18	华光 2 号	2x	9.26	8
Khomer	6x	10.25	22	早鲜	4x	9.15	4	川猕 3 号	2x	9.19	5
徐冠	6x	11.03	26	金丰	4x	11.10	27	丰悦	2x	9.25	7
布鲁诺	6x	10.22	21	夏亚 1 号	4x	10.06	15	红华	2x	9.29	10
秦美	6x	9.13	3	华光 3 号	4x	10.10	16				

成熟代码(1~29 数字)指代各品种的成熟时间,数字越小,表示成熟越早
Time code(1~29 digital)indicate the mature time of each variety,the smaller the number,the more mature the earlier

方差分析和 LSD 比较结果表明(表 4),二倍体品种(系)的平均成熟时间是 9 月 26 日前后 3 天,四倍体品种(系)的平均成熟时间是 10 月 1 日前后 3 天,而六倍体品种(系)是 10 月 20 日的前后 3 天,二倍体和四倍体品种(系)间成熟期虽有一定差异,但不显著,从观测结果中可以看到,最早成熟的‘金早’、‘金阳’是四倍体品种,而六倍体品种(系)的成熟期与二倍体、四倍体品种(系)有显著性差异,表明中华猕猴桃复合体内六倍体品种(系)比四倍体和二倍体品种(系)晚熟。

2.6 果实性状主成分分析

选取与品种(系)倍性有显著相关性的 9 个性状进行主成分分析,检验结果表明,选取特征值在 1.0 以上的成分作为主成分,则共有了 3 个主成分(表 6)。

根据主成分 1 的特征向量,载荷值大且呈正值的是果实成熟时间、果肉质地、果面毛被和果实后熟天数,载荷值大但成负值的是果肉颜色,这 5 个特征向量是区分品种(系)的主要因子。根据提取的主成分值,计算 44 个品种(系)的 3 个主成分值见表 7,以主成分 1 和 2 为纵横坐标,形成各品种(系)散点分布图。从图 2 中可以看出,44 个品种(系)按染

色体倍性相对集中,四倍体品种(系)与相邻倍性的二倍体和六倍体品种(系)间有重叠,而二倍体和六倍体品种(系)间无重叠,表明两者间有明显不同的果实特征。从整体上看,四倍体品种(系)的性状介于二倍体品种(系)和六倍体品种(系)之间。

表 6 各性状特征向量及主成分的特征值

Table 6 The eigenvector of each traits and eigenvalue of principal components

性状 Trait	主成分 Principal components		
	1	2	3
果实重量	0.509	0.417	0.157
果面毛被	0.786	0.450	0.071
果肉颜色	-0.709	-0.240	-0.340
果肉质地	0.831	-0.208	0.115
果实软熟时的硬度	0.648	-0.317	0.085
可溶性固形物	0.131	-0.477	0.756
维生素 C	-0.384	0.636	0.531
果实成熟时间	0.850	-0.080	-0.212
果实后熟天数	0.769	0.098	0.206
特征值	4.685	1.232	1.154
方差贡献率(%)	46.846	12.136	11.540
累计贡献率(%)	46.846	59.161	70.701

表 7 44 个中华猕猴桃复合体栽培品种(系)果实性状主成分

Table 7 Principal components values of fruit characters of 44 *Actinida chinensis* complex cultivars(strains)

品种(系) Cultivars(strains)	主成分 Principal component			品种(系) Cultivars(strains)	主成分 Principal component		
	1	2	3		1	2	3
金农	-1.0602	-0.70433	-0.3642	翠玉	0.31183	0.30082	0.25466
金水Ⅲ	-1.39033	-1.01032	1.64452	华优	-0.50162	0.47565	0.64836
红阳	-1.44716	-2.67252	-0.21319	素香	-0.45099	1.10112	2.12816
桂海4号	-0.79595	-1.44498	-0.6383	建科1号	-0.15758	0.64877	0.793
华光2号	-0.92799	-0.0048	-0.51474	米良1号	1.10724	-0.47851	1.20245
川猕3号	-1.0187	-0.72027	0.58265	华美1号	1.16206	-0.36154	-0.21816
丰悦	-0.95244	-1.02068	0.29351	新观2号	0.32003	1.06422	0.45188
红华	-1.13113	-2.33736	-0.10603	长安1号	0.47176	-0.14671	0.41997
夏亚15号	-1.02833	0.52596	-0.69358	徐香	0.4847	0.09602	-0.18935
金桃	-0.3998	0.57984	0.58419	川猕1号	0.50421	-1.06698	0.3012
庐山香	-0.9579	0.13379	0.18681	川猕2号	0.75709	0.04552	-1.84043
通山5号	-0.62501	-0.30874	-0.27353	金魁	1.45747	0.07526	1.7567
金早	-1.27865	0.6621	-1.1444	沁香	0.49113	1.35829	-0.93572
金阳	-1.28527	-0.25213	0.23844	香绿	1.68796	-1.50995	0.66887
魁蜜	-0.33404	1.41297	-1.24794	西选1号	1.02176	0.82988	0.69691
早鲜	-0.84778	1.15047	-1.14853	Khomer	1.49231	-1.16265	-0.15024
金丰	0.34544	0.56178	-3.02542	徐冠	1.40856	-0.63398	-0.73873
夏亚1号	-0.65843	0.38893	-0.18714	布鲁诺	1.47272	0.44974	0.83255
华光3号	-0.17817	0.2142	-1.662	秦美	-0.04089	0.77061	1.21704
湘麻6号	-0.62305	1.50693	0.17799	三峡1号	0.94192	0.01808	-0.89126
金霞	-0.57894	0.56781	1.05085	和平1号	1.62199	-1.22625	-0.40982
武植3号	-0.45657	2.01922	0.94146	海沃德	2.06675	0.10475	-0.47948

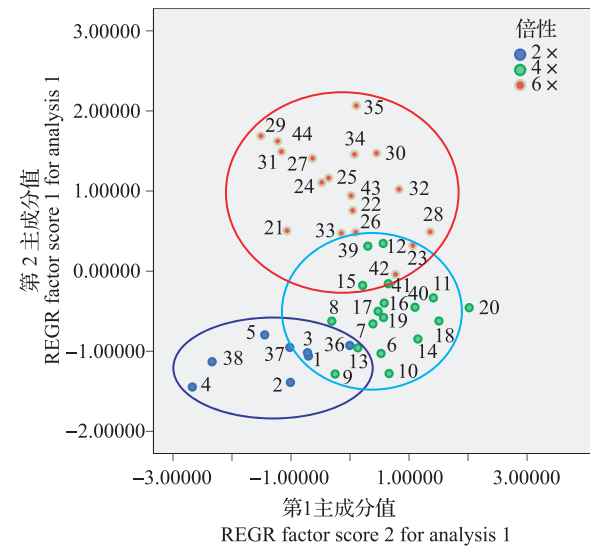


图 2 根据果实 9 个性状主成分分析的中华猕猴桃不同倍性品种聚类图

Fig.2 The clustering graph of ploidy cultivars of *Actinidia chinensis* on the 9 fruit traits PCA

3 讨论

中华猕猴桃和美味猕猴桃不同倍性的植物遗传学种群在形态特征上存在高度的遗传变异,在花、果

实及开花结果习性等重要园艺性状上不同倍性品种(系)间也存在较大的差异,特别是果实性状方面,在种内的变异可能会更大^[8]。

中华猕猴桃不同倍性种群在果实性状上具有一定差异,二倍体和四倍体的中华猕猴桃虽不存在明显的形态差异,但在同园栽培实验条件下,中华猕猴桃不同倍性种群中,果实大小与其倍性水平存在一定相关关系。D. W. Li 等^[9]对野生株系及部分栽培品种(系)的研究表明,中华猕猴桃果实大小差异主要表现在六倍体种群和二、四倍体种群之间。本研究中表明,44 个栽培品种(系)的重量与其倍性呈显著相关性,以六倍体品种(系)和四倍体品种(系)显著重于二倍体品种,而四倍体和六倍体品种(系)的重量无显著性差异,与野外资源的研究结果略有差异,这可能与人为选择大果型品种有关。

本研究所分析的 6 个描述性性状中,果实形状、果面颜色、果实横切面性状与品种倍性无显著相关性,但表现出丰富的多样性。品种选育受人为选择的影响大,如果实形状,选择时多以椭圆形、长椭圆形、长圆柱形、圆柱形、卵形为主,而扁圆形、球形、倒卵形或不规则形等被淘汰。另外 3 个描述性性状果面毛被、果肉颜色、果肉质地与品种倍性有显著相关

性,随着倍性的增加,果面毛被由无到有,毛被密度由密到稀,毛被长度由短到长;毛被类型也由茸毛、绒毛、硬毛逐渐变为长硬毛;果肉颜色由黄色-黄绿色-绿色-深绿色连续变化,二倍体和四倍体品种(系)果肉颜色主要是黄色、深黄色,少数为绿色,如武植三号和翠玉、湘麻6号的果肉是绿色;而六倍体品种(系)果肉颜色主要是绿色和浅绿色;果肉质由细嫩—粗,二倍体和四倍体品种(系)果实质地主要是细嫩,而六倍体品种(系)总体偏粗。

在果实的营养成分上也是系列连续的变异,虽然对猕猴桃果实比较详细且全面的营养成分分析大多报道于海沃德和 Hort16A^[10]以及美味猕猴桃中栽培史较长的一些品种上^[11-12]。以果实最重要的营养成分维生素 C 含量为例,一个典型的海沃德果实软熟时的维生素 C 含量大约为 85 mg/100 g 鲜重, Hort16A 比其高 30% ~ 40%, 大约为 105 ~ 110 mg/100 g 鲜重^[10,13],海沃德鲜果中维生素 C 含量比橙子要高 50%,是香蕉的 5 ~ 6 倍,苹果的 10 倍。商业栽培的猕猴桃品种虽然不是基于维生素 C 含量进行选育的,但是其维生素 C 含量的变异很大。在美味猕猴桃的所有品种中,艾伯特和艾利森的维生素 C 含量最低,布鲁诺最高,一般比海沃德还要高约 50%。在中国广泛栽培的中华猕猴桃和美味猕猴桃品种的维生素 C 含量至少是海沃德维生素 C 含量的 2 倍^[14-15],本研究中 44 个品种(系)的维生素 C 含量,四倍体品种(系)的维生素 C 含量平均达 149.46 mg/100 g,显著高于二倍体和六倍体品种(系);海沃德的维生素 C 含量为 58.2 mg/100 g,是倒数第 7 位,共有 28 个品种的维生素 C 含量是海沃德的 2 ~ 4 倍,与前人研究结果相近。然而即使猕猴桃的某些品种维生素 C 含量相对较低,但仍然是维生素 C 摄入的最好来源之一。同样,猕猴桃不同种间或品种间可溶性固形物含量、总酸、总糖以及单糖、有机酸等含量差异非常大^[16],本研究选择的 44 个品种(系)表现了丰富的多样性,与前人研究相符,但总糖、总酸与品种(系)倍性无关,主要与品种(系)有关,而可溶性固形物含量与品种(系)倍性相关,以二倍体品种(系)的可溶性固形物含量最高。

主成分分析是指在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多而且彼此相关的指标转换为新的个数较少而且彼此独立的综合指标,从而达到简化多指标分析的一种方法^[17]。本试验中,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%,

其中以第 1 主要因子的贡献率最大,为 46.8%。

在主成分分析结果指导育种工作时,理论上应是第 1 主成分值愈大愈好,但在实际过程中,需要根据育种目标调整。如以果实性状来选择亲本,则必须根据育种目标来选择相应主成分值大的品种(系),如以培育耐贮、绿肉品种,则应选择第 1 主成分值偏大,而第 2 和第 3 主成分最大的品种(系)作亲本;而以培育耐贮、黄肉品种,则应选择第 1 主成分值中等偏小,而第 2 和第 3 偏大的品种(系)作亲本。但在猕猴桃育种中,这主要是对母本的选择,而对父本的选择带有盲目性,需要参考姊妹系雌性株系的果实性状。

参考文献

- [1] Belrose Inc.. World Kiwifruit Review, 2015 Edition [EB/OL]. [2015-04-01] <http://www.e-belrose.com/2105WorldKiwiReview.html>
- [2] 黄宏文,钟彩虹,胡兴焕,等. 中国猕猴桃种质资源[M]. 北京:中国林业出版社,2013:8-9
- [3] 黄宏文. 猕猴桃驯化改良百年启示及天然居群遗传渐渗的基因发掘[J]. 植物学报,2009,44(2):127-142
- [4] Huang H W, Li Z Z, Li J Q, et al. Phylogenetic relationships in *Actinidia* revealed by RAPD analysis[J]. J Am Soc Hort Sci, 2002, 127(5):759-766
- [5] Huang H W, Ferguson A R. *Actinidia* in China: natural diversity, phylogeographical evolution, interspecific gene flow and diwifruit cultivar improvement[J]. Acta Hort, 2007, 753:31-40
- [6] 刘卫东,朱士龙,崔群香. 园艺作物遗传育种[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006:173-174
- [7] 胡忠荣,陈伟,李坤明,等. 猕猴桃种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:25-32
- [8] 黄宏文,龚俊杰,王圣梅,等. 猕猴桃属(*Actinidia*)植物的遗传多样性[J]. 生物多样性,2000,8(1):1-12
- [9] Li D W, Zhong C H, Liu Y F, et al. Correlation between ploidy level and fruit characters of the main kiwifruit cultivars in China: implication for selection and improvement[J]. New Zealand J Crop Hort Sci, 2010, 38:137-145
- [10] Ferguson A R, Ferguson L R. Are kiwifruit really good for you? [J]. Acta Hort, 2003, 610:131-138
- [11] Adorisio S, Cappelloni M, Lintas C, et al. Caratteristiche nutrizionali di frutti di *Actinidia* prodotti in Italia[J]. Riv Frutticoltura, 1990, 52(10):61-65
- [12] Lintas C, Adorisio S, Cappelloni M, et al. Composition and nutritional evaluation of kiwifruit grown in Italy[J]. New Zealand J Crop Hort Sci, 1991, 19:341-344
- [13] Ferguson A R, MacRae E A. Vitamin C in *Actinidia* [J]. Acta Hort, 1991, 297:481-487
- [14] Cui Z X, Huang H W, Xiao X G. *Actinidia* in China [M]. Beijing China: Agricultural Science and Technology Press, 2002
- [15] Nishiyama I, Yamashita Y, Yamanaka M, et al. Varietal differences in vitamin C content in the fruit of kiwifruit and other *Actinidia* species[J]. J Agric Food Chem, 2004, 52:5472-5475
- [16] Huang H W, Wang Y, Zhang Z H, et al. *Actinidia* germplasm resources and kiwifruit industry in China[J]. HortScience, 2004, 39:1165-1172
- [17] 姜永平,吴春芳,陈惠. 12 个鲜食大豆数量性状的主成分和遗传距离分析[J]. 中国农学通报,2007,23(8):193-197