

苹果果实品质评价因子的选择研究

徐吉花, 赵政阳*, 王雷存, 高 华, 刘振中, 樊红科

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 本研究选用新红星、秦冠、红玉等 10 个代表性苹果品种, 对果实的单果重、果面色泽、可溶性固形物、可滴定酸等 15 个重要品质指标进行了测定, 采用主成分分析法将性状指标进行降维压缩, 并进行了聚类分析。通过主成分分析, 提取出了 4 个特征值 >1 的综合指标, 4 个主成分的累积贡献率达到 93.275%, 可以概括这些性状的总体信息量; 依不同品种的主成分得分, 筛选出的 4 个主成分代表性品种分别为国光、新乔纳金、红嘎拉和粉红女士。经聚类分析, 可将果实品质评价指标简化为单果重或果形指数、硬度、可溶性固形物、可滴定酸和果面色泽 5 个主要指标。综合运用主成分分析和聚类分析方法可以简化苹果果实品质评价指标, 有助于苹果优良果实性状品种的评价与筛选。

关键词: 苹果; 果实品质; 主成分分析; 聚类分析; 评价因子

中图分类号: S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0269-06

苹果是落叶果树中最主要的树种之一, 也是我国栽培面积和产量最大的树种。提高苹果果实品质对增强市场竞争力、促进我国苹果产业持续发展至关重要^[1], 而选育优质新品种是实现这一目标的重要途径之一。在苹果优质品种选育研究中, 亲本的选择及杂种后代果实品质的评价是十分重要的环节, 建立简便易行的果实品质评价体系对提高育种效率有着重要意义。

关于苹果果实品质, 前人已有不少研究^[2~7], 主要集中在采后贮藏和栽培措施方面, 测定指标大多为糖、酸、可溶性固形物、维生素 C 及果实硬度等内在品质, 对外观品质研究较少, 且涉及的品种也不多。关于苹果果实品质指标的评价选择方法, 魏钦平等^[8]以 4 个苹果品种为试材, 运用多元统计分析方法, 对影响果实品质评价的主要因素进行研究和简化, 目前对多个品种的系统评价少见报道。在其它果蔬产品和农作物的性状评价方面^[9~14], 发现多个性状指标间会存在一定关联性, 而且容易发生信息重叠, 所以很难直接利用这些指标进行综合评价。利用主成分分析方法能将多个相关的随机变量压缩成少量的综合指标, 又能反映原来较多因素的信息^[15], 根据这些综合指标对品种进行评价可避免性状过多和性状相关所引起的评价误差。将主成分分析的结果进一步用于聚类分析, 还可以分析各指标的相似性和差异性。

本研究立足陕西渭北黄土高原立地条件, 选取苹果代表性栽培品种, 对果实重要品质进行测定, 采用主成分及聚类分析方法, 旨在简化苹果果实品质评价指标, 为苹果育种中优良果实性状品种的评价与筛选提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2009~2010 年在西北农林科技大学白水苹果试验站进行。供试材料选自品种展示园, 包括新红星、秦冠、红玉、新乔纳金、国光、红嘎拉、弘前富士、岩富 10 号、粉红女士、华冠等 10 个红色苹果品种, 矮化中间砧栽培, 基砧为新疆野苹果 (*Malus sieversii* Roem.), 中间砧为 M₂₆, 树龄 5~6 a 生, 株行距 1.5 m×5 m, 栽培管理措施相同。果实成熟期采样, 不同品种成熟期根据果实底色、质地及其风味变化和可溶性固形物含量确定^[16], 采样时间详见表 1。每个品种选取生长势、结果量相近的标准树 5 株, 每株树按东、西、南、北 4 个方位各随机采果 2 个, 样品果存入 0℃冷库, 立即进行各指标测定。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 单果重、果形指数、硬度 单果重(鲜重)用电子天平测定; 用游标卡尺测定果实的纵径和横径, 并计算出果形指数, 果形指数=果实纵径/横径; 果实硬度采用 GY-1 型果实硬度计测定。

收稿日期: 2011-05-03
基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-08-01-03); 陕西省“13115”重大专项(2010ZDKG-69)
作者简介: 徐吉花(1984—), 女, 山东邹城人, 硕士研究生, 研究方向为果树育种与生物技术。E-mail: xujihua@nwsuaf.edu.cn。
* 通讯作者: 赵政阳(1964—), 男, 陕西富平人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果树遗传育种与品质改良。E-mail: zhaozy@nwsuaf.edu.cn。

表 1 不同苹果品种采样时间

Table 1 Harvest date of different apple varieties

编号 No.	品种 Variety	2009 (m—d)	2010 (m—d)
1	新红星 Starkrimson	09—13	09—15
2	秦冠 Qinguan	10—20	10—21
3	红玉 Jonathan	09—15	09—18
4	新乔纳金 New Jonagold	09—17	09—18
5	国光 Ralls	10—27	10—29
6	红嘎拉 Red Gala	08—21	08—26
7	弘前富士 Yataka	09—15	09—17
8	岩富 10 号 Yanfu 10	10—19	10—22
9	粉红女士 Pink Lady	11—01	11—06
10	华冠 Huaguan	09—18	09—19

1.2.2 可溶性糖及糖的各组分测定 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[17],其各组分的提取方法参照王海波^[2]的方法,测定采用高效液相色谱法(HPLC)^[18,19]。高效液相色谱仪为 Waters—1525 系统,2707 型自动进样器,2414 型示差折光检测器,色谱条件:Suger PakTM1 6.5 mm×300 mm COL 柱,外加保护柱 Suger—PakTM II,柱温 80℃,检测池温度:35℃;流速:0.6 mL/min;流动相:脱气后的超纯水。每次进样量 10 μL,根据样品峰面积和糖各组分的标准曲线计算其含量,样品质量均为鲜重。

表 2 苹果果实品质分析结果

Table 2 Parameters of apple fruit quality

Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
1	257.52 _b	0.885 _b	34.589 _e	34.811 _{cd}	0.408 _f	6.510 _{de}	13.580 _f	9.203 _g	0.284 _f	32.40 _b	5.655 _g	20.585 _f	16.847 _d	48.599 _e	119.22 _d
2	235.70 _c	0.859 _c	45.683 _b	25.199 _f	0.511 _d	8.315 _a	16.013 _b	10.826 _{def}	0.304 _{ef}	35.61 _a	6.016 _f	22.455 _f	24.555 _b	45.159 _f	122.72 _d
3	161.11 _f	0.852 _c	38.664 _d	37.220 _b	0.550 _c	6.740 _d	15.423 _c	10.924 _{de}	0.941 _a	11.61 _f	7.459 _d	35.285 _c	14.879 _{ef}	51.031 _{de}	137.12 _c
4	271.82 _a	0.854 _c	50.155 _a	36.486 _{bc}	0.768 _a	6.193 _e	15.353 _c	11.885 _{bc}	0.477 _c	24.92 _d	8.013 _c	28.562 _{de}	15.280 _e	59.886 _{ab}	146.84 _b
5	151.71 _g	0.808 _d	44.461 _{bc}	33.349 _{de}	0.588 _b	7.395 _c	18.273 _a	13.788 _a	0.957 _a	14.41 _e	8.790 _a	43.260 _b	27.560 _a	54.207 _{cd}	162.93 _a
6	205.37 _d	0.891 _b	43.236 _{bc}	44.739 _a	0.500 _d	6.313 _e	14.077 _e	10.131 _f	0.387 _d	26.18 _d	5.844 _{fg}	30.745 _d	12.363 _g	57.017 _{bc}	140.01 _c
7	268.20 _a	0.855 _c	48.480 _a	32.980 _{de}	0.574 _{bc}	6.318 _e	14.683 _d	11.186 _{cde}	0.403 _d	27.76 _c	4.880 _h	28.243 _e	14.803 _{ef}	61.777 _a	148.96 _b
8	263.82 _{ab}	0.850 _c	44.162 _{bc}	32.053 _e	0.584 _b	6.373 _e	16.130 _b	12.084 _b	0.417 _d	28.98 _c	6.973 _e	29.826 _{de}	21.374 _c	60.018 _{ab}	152.34 _b
9	172.86 _e	0.920 _a	48.276 _a	37.968 _b	0.492 _{de}	7.984 _b	15.737 _{bc}	11.554 _{bcd}	0.842 _b	13.72 _e	8.421 _b	49.895 _a	7.107 _h	51.515 _{de}	147.93 _b
10	236.75 _c	0.880 _b	42.724 _c	36.781 _{bc}	0.463 _e	6.527 _{de}	14.293 _{de}	10.658 _{ef}	0.329 _e	32.40 _b	6.945 _e	33.432 _c	13.917 _f	53.679 _d	138.45 _c

注:同一列数据后不同字母表示 $P<0.05$ 水平上差异显著。

Note: Different letters following the data within a column mean significant difference at $P<0.05$.

Y₁~Y₁₀:品种编号分别表示新红星、秦冠、红玉、新乔纳金、国光、红嘎拉、弘前富士、岩富 10 号、粉红女士、华冠;

X₁~X₁₅:测定指标编号分别表示单果重(g)、果形指数、果实阳面亮度(L^{*})、色泽饱和度(C)、色调角(h[°])、硬度(kg/cm²)、可溶性固形物(%)、可溶性糖(%)、可滴定酸(%)、糖酸比、维生素 C(mg/100g)、蔗糖(mg/g)、葡萄糖(mg/g)、果糖(mg/g)、甜度值(mg/g)。

Y₁~Y₁₀: varieties code: Starkrimson, Qinguan, Jonathan, New Jonagold, Ralls, Red Gala, Yataka, Yanfu 10, Pink Lady, Huaguan;

X₁~X₁₅: parameters code: fruit weight (g), fruit shape index, lightness (L^{*}), chroma (C), hue angle (h[°]), fruit firmness (kg/cm²), soluble solid content (SSC, %), soluble sugar (SS, %), titratable acidity (TA, %), SS/TA, Vc(mg/100g), sucrose(mg/g), glucose(mg/g), fructose(mg/g), sweet-ness value(mg/g)。

1.2.3 可溶性固形物、可滴定酸的测定及甜度值、糖酸比的计算 可溶性固形物使用 ATAGO (PAL—1) 型手持数显折光仪测定;可滴定酸采用 NaOH 中和滴定法^[20]测定;甜度值的计算式参照姚改芳^[21]的方法。

1.2.4 维生素 C 维生素 C 的测定方法参考 GB/T5009.86—2003。

1.2.5 果面色泽 果实表皮色泽采用 MINOLTA CR—400 型色差计测量。测定果实阳面赤道部位的 L^{*}、a^{*} 和 b^{*} 值(L^{*} 表示颜色亮度、a^{*} 和 b^{*} 表示色度组分),由 a^{*} 和 b^{*} 值计算出 C(Chroma)和 h[°](hue angle)(C 表示色泽饱和度,h[°]为色调角)^[22,23]。

1.3 统计分析

用于统计分析的数据为 2009 年和 2010 年 2 年数据的平均值。所有数据采用 Excel 2003 和 SPSS 12.0 软件进行处理^[24]。

根据各测定指标的原始数据,用极差标准化法将其化为 0—1 间的标准化数据,然后进行主成分及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种果实性状比较分析

10 个苹果品种果实品质分析测定结果见表 2。

总体来看,15 个测定指标在不同品种间的差异表现不同,其中维生素 C(X_{11})、葡萄糖(X_{13}) 在各品种间的差异最为明显, X_1 (单果重)、可溶性糖(X_8) 在品种间差异也较明显,色泽饱和度(X_4)、色调角(X_5)、可滴定酸(X_9)、糖酸比(X_{10})、蔗糖(X_{12})、果糖(X_{14})、果实阳面亮度(X_3)、硬度(X_6)、可溶性固形物(X_7) 的差异也较大,果形指数(X_2) 和甜度值

(X_{15}) 的差异相对较小。若用单一性状指标,很难对不同品种的果实品质做出正确评判。

2.2 相关性分析

由相关矩阵分析(表 3)可看出,各指标间均表现不同程度的相关性,说明测定指标所反映的信息存在有重叠现象,这也表明有必要对相关性状指标进行归类和简化,以提高果实品质评价效率。

表 3 苹果品种果实品质指标的相关矩阵
Table 3 Correlation matrix of apple fruit quality parameters

性状 Parameter	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
X_1	1.000														
X_2	0.096	1.000													
X_3	0.145	-0.109	1.000												
X_4	-0.280	0.460	-0.117	1.000											
X_5	0.185	-0.549	0.643	-0.064	1.000										
X_6	-0.465	-0.007	0.160	-0.522	-0.249	1.000									
X_7	-0.493	-0.711	0.352	-0.414	0.411	0.510	1.000								
X_8	-0.346	-0.707	0.539	-0.230	0.607	0.215	0.917	1.000							
X_9	-0.854	-0.315	0.063	0.177	0.205	0.296	0.641	0.603	1.000						
X_{10}	0.808	0.178	-0.087	-0.369	-0.234	-0.141	-0.489	-0.506	-0.970	1.000					
X_{11}	-0.618	-0.284	0.314	-0.283	0.100	0.749	0.850	0.713	0.629	-0.494	1.000				
X_{12}	-0.754	0.032	0.309	0.340	0.055	0.296	0.512	0.579	0.811	-0.812	0.678	1.000			
X_{13}	0.000	-0.815	-0.095	-0.687	0.172	0.293	0.636	0.466	0.003	0.191	0.362	-0.267	1.000		
X_{14}	0.365	-0.230	0.488	0.317	0.598	-0.716	-0.013	0.345	-0.072	-0.051	-0.310	0.062	-0.158	1.000	
X_{15}	-0.282	-0.471	0.556	0.173	0.550	-0.151	0.630	0.861	0.542	-0.551	0.435	0.662	0.100	0.681	1.000

$X_1 \sim X_{15}$ 测定指标编号分别表示单果重(g)、果形指数、果实阳面亮度(L^*)、色泽饱和度(C)、色调角(h°)、硬度(kg/cm^2)、可溶性固形物(%)、可溶性糖(%),可滴定酸(%),糖酸比、维生素 C($\text{mg}/100\text{g}$)、蔗糖(mg/g)、葡萄糖(mg/g)、果糖(mg/g)、甜度值(mg/g)。

$X_1 \sim X_{15}$: parameters code: fruit weight (g), fruit shape index, lightness (L^*), chroma (C), hue angle (h°), fruit firmness (kg/cm^2), soluble solid content (SSC, %), soluble sugar (SS, %), titratable acidity (TA, %), SS/TA, Vc ($\text{mg}/100\text{g}$), sucrose (mg/g), glucose (mg/g), fructose (mg/g), sweetness value(mg/g).

2.3 主成分分析

对测定指标进行主成分分析,用 SPSS 软件处理得出的向量载荷系数及方差贡献率见表 4。可以看出,前 4 个主成分的累积贡献率达 93.275%,第 4 个主成分特征根为 1.330,表明前 4 个主成分已经包含了全部测定指标的主要信息,可用前 4 个主成分概括这些性状的总信息量。其中,第 1 主成分贡献率达 41.641%,主要涵盖的是可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、糖酸比、维生素 C、蔗糖、甜度值,说明果实内在品质在苹果质量评价中起关键作用;第 2 主成分贡献率达 21.776%,主要反映的是单果重和果糖含量,表明果实大小对品质评价也有重要影响;第 3 主成分贡献率为 20.991%,其决定因素主要是色泽饱和度(C);第 4 主成分贡献率为 8.867%,主要反映的是果形指数和果实硬度。

根据 SPSS 主成分分析结果中各主成分得分系数矩阵及极差标准化法转化后的数据,利用以下公式求出每个品种 4 个主成分的综合得分 $X(ik)$

$$X(ik) = \sum I_{kj} \cdot PC_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, 4, k = 1, 2, 3, \dots, 10, j = 1, 2, 3, 4, \dots, 15$
式中, $X(ik)$ 表示第 k 个品种第 i 个主成分的综合得分; I_{kj} 表示第 k 个品种第 j 个指标极差标准化法转化后的数据; PC_{ij} 表示第 j 个指标第 i 个主成分得分系数。

由各主成分得分结果(图 1、表 5)看出,10 个供试品种中,第 1、第 2、第 3 和第 4 主成分得分最高的品种分别为国光、新乔纳金、红嘎拉和粉红女士,表明选用这些品种作为苹果品质育种亲本材料优势较大。

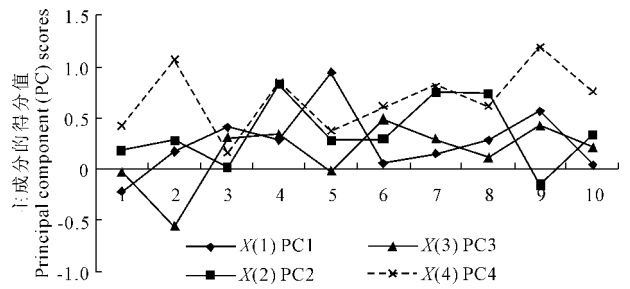
表 4 各主成分因子向量载荷系数及方差贡献率				
Table 4 Coefficients of main component gene vector load, contribution and cumulative contribution of principal components(PC)				
性状 Parameter	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2	第 3 主成分 PC3	第 4 主成分 PC4
单果重 Fruit weight	-0.652	0.677	-0.116	0.219
果形指数 Fruit shape index	-0.569	-0.522	0.390	0.472
果实阳面亮度 L* Lightness	0.424	0.476	0.175	0.722
色泽饱和度 C Chroma	-0.108	-0.245	0.878	-0.170
色调角 h° Hue angle	0.445	0.719	0.176	0.060
硬度 Fruit firmness	0.398	-0.511	-0.608	0.434
可溶性固形物 SSC	0.923	0.107	-0.350	-0.023
可溶性糖 Soluble sugar	0.926	0.346	-0.055	0.020
可滴定酸 Titratable acidity	0.834	-0.372	0.227	-0.229
糖酸比 SS/TA	-0.746	0.358	-0.436	0.210
维生素 C Vc	0.828	-0.287	-0.305	0.262
蔗糖 Sucrose	0.762	-0.393	0.426	0.178
葡萄糖 Glucose	0.329	0.326	-0.789	-0.344
果糖 Fructose	0.114	0.760	0.597	-0.022
甜度值 Sweetness value	0.776	0.389	0.400	0.002
特征值 Eigenvalue	6.246	3.266	3.149	1.330
贡献率 Contribution(%)	41.641	21.776	20.991	8.867
累积贡献率 Cumulative contribution(%)	41.641	63.417	84.408	93.275

表 5 不同苹果品种的 4 个主成分得分					
Table 5 Four principal component (PC) scores of different apple varieties					
编号 No.	品种 Variety	X(1) PC1	X(2) PC2	X(3) PC3	X(4) PC4
1	新红星 Starkrimson	-0.225	0.188	-0.037	0.421
2	秦冠 Qinguan	0.167	0.276	-0.552	1.064
3	红玉 Jonathan	0.415	0.019	0.300	0.163
4	新乔纳金 New Jonagold	0.284	0.831	0.341	0.840
5	国光 Ralls	0.938	0.286	-0.016	0.376
6	红嘎拉 Red Gala	0.054	0.291	0.480	0.620
7	弘前富士 Yataka	0.146	0.745	0.294	0.804
8	岩富 10 号 Yanfu 10	0.284	0.736	0.107	0.614
9	粉红女士 Pink Lady	0.568	-0.148	0.418	1.190
10	华冠 Huaguan	0.040	0.340	0.209	0.757

2.4 聚类分析

根据主成分分析结果进行聚类分析,形成的评价指标树状聚类图如图 2 所示。由聚类距离看,聚类的第一步是硬度和葡萄糖,这两个指标最先聚为一类说明两者有一定的相关性;第二步的聚类结果是

果实阳面亮度(L*)、可溶性固形物、总糖和甜度值,这 4 个指标相似程度较高,为相似水平类;聚类的第三步果形指数和糖酸比先聚成一类,再与单果重和色泽饱和度(C)聚成一类,其中果形指数和糖酸比的相关性大于单果重和色泽饱和度(C)的相关性;聚类的第四步可滴定酸、果糖、色调角(h°)、蔗糖和维生素 C 聚成一类即为相似水平类。其中,同为一类的指标可以进行简化,用一个因素代表其他因素。



横坐标中 1~10: 分别表示新红星、秦冠、红玉、新乔纳金、国光、红嘎拉、弘前富士、岩富 10 号、粉红女士、华冠;
x-coordinate: 1-10; Starkrimson, Qinguan, Jonathan, New Jonagold, Ralls, Red Gala, Yataka, Yanfu 10, Pink Lady, Huaguan

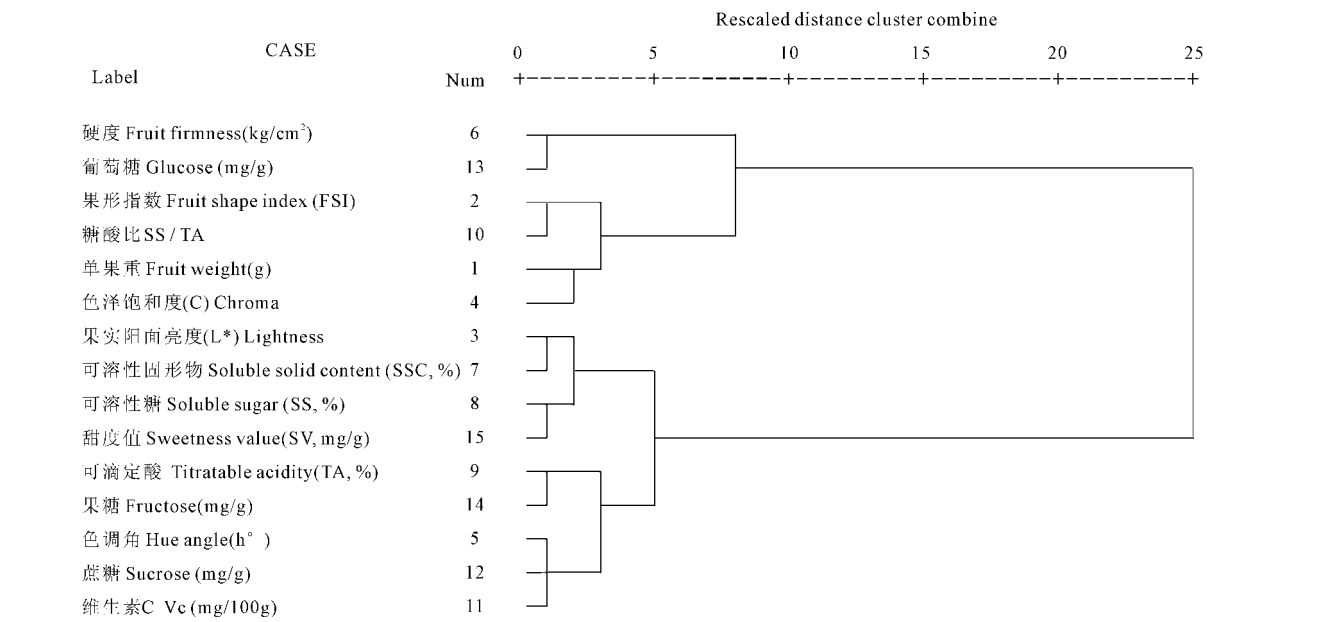
图 1 不同苹果品种的 4 个主成分得分坐标图
Fig.1 Coordinate diagram of four principal component (PC) scores of different apple varieties

综合主成分分析和聚类分析的结果,苹果果实品质的评价因子可以简化为单果重或果形指数、硬度、可溶性固形物、可滴定酸和果面色泽 5 个主要指标,其中硬度、可溶性固形物、可滴定酸为果实内在质量指标,单果重或果形指数、果面色泽为果实外观质量指标。

3 讨论

在果品性状评价时,评价因子和方法的确定是进行正确评价的基础,评价因子的选择直接影响评价效果^[10]。本研究选用常见的 15 个苹果果实品质测定指标,既有相对独立性,又存在一定的相关性,若简单采用单一指标或多个指标都很难对不同品种的果实品质做出正确评判。而主成分分析方法有助于将多个单一指标转化为少数几个涵盖主要信息的综合指标,降低了数据对象集合的相异度和维度,实现了数据对象集合的聚类归约,从而便于评价分析^[25]。本研究利用主成分分析方法,依据累积贡献率大小,将 15 个果实品质指标提炼归纳为 4 个主成分,保留了原始变量 93.275%的信息量。结合聚类分析,最终确定果实品质评价因子为 5 个,即硬度、可

溶性固形物、可滴定酸 3 个内在质量指标,单果重(或果形指数)、果面色泽 2 个外观质量指标,为简化苹果品质评价指标和评价方法提供了可能。这也支持了魏钦平等^[8]的研究结果,并与徐强等^[12]在加工类型黄瓜品质性状研究中主成分分析与聚类分析结果趋于一致的观点相符合。



测定指标编号 $X_1 \sim X_{15}$ 分别表示单果重(g)、果形指数、果实阳面亮度(L^*)、色泽饱和度(C)、色调角(h°)、硬度(kg/cm^2)、可溶性固形物(%)、可溶性糖(%),可滴定酸(%),糖酸比、维生素 C($\text{mg}/100\text{g}$)、蔗糖(mg/g)、葡萄糖(mg/g)、果糖(mg/g)、甜度值(mg/g)。

$X_1 \sim X_{15}$: parameters code: fruit weight (g), fruit shape index (FSI), lightness (L^*), chroma (C), hue angle (h°), fruit firmness (kg/cm^2), soluble solid content (SSC, %), soluble sugar (SS, %), titratable acidity (TA, %), SS/TA, Vc ($\text{mg}/100\text{g}$), sucrose (mg/g), glucose (mg/g), fructose (mg/g), sweetness value (SV, mg/g).

图 2 苹果果实品质评价因素的聚类分析图

Fig.2 The cluster on quality evaluation factor of characters of apple fruit

通过对 10 个苹果品种果实品质性状指标的主成分分析,4 个主成分得分值最高的品种分别为国光、新乔纳金、红嘎拉、粉红女士,说明这些品种用作品质育种的亲本材料潜力较大。除乔纳金作为 3 倍体品种在杂交育种上应用有限外,其它 3 个品种均是国内外广泛应用的优质品种选育的重要亲本资源,这也对支持本研究结果提供了一定佐证。本试验选取的品种材料,多为国内外代表性栽培品种,各测定指标的权重难以给出定量化结论,因此也难以对各供试品种进行综合得分评价排序。但经主成分分析提取出主成分,结合各品种在各个主成分中的得分,可以基本判定哪些品种在所提取的主成分中具有明显优势,从而针对具体的指标和品种进行分析评价。对本研究来讲,这比对各品种进行综合得分排序评价更加客观、合理。

参考文献:

[1] Roger H F, Anne G F, Sra R J. The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28: 333—347.

[2] 王海波, 李林光, 陈学森, 等. 中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2300—2306.

[3] Roth E, Berna A, Beullens K, et al. Postharvest quality of integrated and organically produced apple fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45: 11—19.

[4] 董晓庆, 饶景萍, 田改妮, 等. 草酸复合清洗剂对红富士苹果贮藏品质的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(4): 577—582.

[5] 李丽梅, 关军锋, 杜纪壮, 等. 田间喷钙对红富士苹果贮藏品质的影响及其机理[J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(5): 50—53.

[6] Hiroshi I, Makoto I, Nobuhiro K, et al. Optimal sampling strategies for evaluating fruit softening after harvest in apple breeding[J]. Euphytica, 2005, 144: 169—175.

[7] 席瑞卿, 赵晓进, 张考学, 等. 不同施肥水平对苹果产量、品质及养分平衡的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(2): 141—145.

[8] 魏钦平, 程述汉, 丁殿东. 苹果品质评价因子的选择[J]. 中国果树, 1997, (4): 14—15.

[9] 张海英, 韩涛, 王有年, 等. 桃果实品质评价因子的选择[J]. 农业工程学报, 2006, 26(8): 235—239.

[10] 陈守智, 李正丽, 龙月娟, 等. 桃树主要性状指标的主成分分析及与产量关系的研究[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(4): 544—548.

[11] 鲍江峰,夏仁学,邓秀新,等. 用主成分分析法选择纽荷尔脐橙品质的评价因素[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(6): 663—666.

[12] 徐 强,刘进生,陈学好,等. 加工类型黄瓜品质性状的主成分及聚类分析[J]. 扬州大学学报, 2003, 24(4): 78—81.

[13] 白志英,李存东,孙红春,等. 小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4264—4272.

[14] 宋江峰,李大婧,刘春泉,等. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2122—2131.

[15] 谢恒星,蔡焕杰,张振华,等. 基于主成分分析法的温室甜瓜生长方程研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 134—138.

[16] Blankenship S M, Parker M, Unrath C R. Use of maturity indices for predicting poststorage firmness of Fuji apples [J]. HortScience, 1997, 12: 909—910.

[17] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007: 57—59.

[18] 吴本宏,李绍华,Quilot Bénédicte, et al. 桃果皮毛、果肉颜色对果实糖与酸含量的影响及相关性研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1540—1544.

[19] Zheng Guoqi, Zheng Ziyang, Xu Xing, et al. Variation in fruit sugar composition of *Lycium barbarum* L. and *Lycium chinense* Mill. of different regions and varieties [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2010, 38: 275—284.

[20] 李锡香,宴儒来,向长萍,等. 新鲜果蔬的品质及其分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1994: 208—210.

[21] 姚改芳,张绍铃,曹玉芬,等. 不同栽培种梨果实中可溶性糖组分及含量特征[J]. 中国农业科学, 2010, 43(20): 4229—4237.

[22] Aggelopoulou K D, Wulfsohn D, Fountas S, et al. Blackmore S. Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard [J]. Precision Agric, 2010, 11: 538—556.

[23] 黄春辉,俞 波,苏 俊,等. 红色砂梨 2 个品种着色过程中的外观变化及其解剖学结构观察[J]. 果树学报, 2009, 26(1): 19—24.

[24] 宇传华.SPSS 与统计分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.

[25] 徐 俊,夏骄雄,李 青. 用主成份提取进行数据库聚类预处理[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2007, 13(6): 705—719.

Selection of factors for apple fruit quality evaluation

XU Ji-hua, ZHAO Zheng-yang^{*}, WANG Lei-cun, GAO Hua, LIU Zhen-zhong, FAN Hong-ke
(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A total of 15 quality parameters were determined for ten apple varieties such as Starkrimson, Qinguan, Jonathan in this study. Quality parameters included fruit weight, soluble solid content (SSC), fruit color, and titratable acidity. The data were analysed using principal component and cluster analysis. Four comprehensive evaluation indices were extracted by principal component analysis with eigenvalue of over 1 and a cumulative contribution of 93.275%. The four indices represented the characteristics of the apple varieties. Four varieties were selected according to the principal component scores, these were Ralls, New Jonagold, Red Gala and Pink Lady. The five most important fruit quality parameters were fruit weight or fruit shape index, fruit firmness, SSC, titratable acidity and fruit colour according to cluster analysis. Principal component and cluster analysis readily separated and prioritized apple fruit quality parameters for evaluation and selection purposes.

Keywords: apple; fruit quality; principal component analysis; cluster analysis; evaluation factor