

卢明艳, 潘越, 安鹭, 等. 基于因子分析的加工型苹果品质性状的综合评价[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 130-137.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.01.019

基于因子分析的加工型苹果品质性状的综合评价

卢明艳, 潘越, 安鹭, 张东亚, 刘珩, 陈同森, 尚佩佩
(新疆林业科学院园林绿化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 本试验探索一套适合加工型苹果果实品质的评价方法, 得出影响苹果果实品质评价的主要因子, 为北疆地区苹果深加工产业的发展提供参考。通过测定 21 项加工型苹果的果实品质指标, 采用隶属函数法对各项指标数据进行标准化, 在此基础上使用 SPSS17.0 对各项指标进行因子分析, 通过 7 次迭代后的旋转得到各因子的载荷值, 并以各公因子的权重计算各成分的分值和综合得分。数据经因子分析, 提取出 5 个特征根大于 1 的公因子, 累计贡献率达 98.55%, 对原始数据的信息能够充分表达。综合评价得出加工型苹果 HT2 得分最高, 红勋 1 号次之, 二者兼具营养价值高和耐贮藏的优点, 可作为加工苹果原材料, HT3、冰心 1 号再次之, 果实较小但果实密度较高, 糖酸比较低不适宜鲜食, 但可作为加工苹果原料, 小冬果和秋力蒙排名最后, 果实大且糖酸比高, 但营养元素含量低且不耐贮藏, 只可作为鲜食苹果不宜用作加工苹果原料。

关键词: 加工型苹果; 品质指标; 隶属函数法; 因子分析; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号: S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)01-0130-08

Evaluation of quality traits of processed apple (*Malus prunifolia*) based on factor analysis

LU Ming-yan, PAN Yue, AN Lu, ZHANG Dong-ya, LIU Heng, CHEN Tong-sen, SHANG Pei-pei
(Garden and Landscape Research Institute, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830000, China)

Abstract: The objective of this study is to establish a synthetical evaluation method of *Malus* fruit quality, find out the primary factors in evaluating *Malus* fruit quality, and provide reference for developing the deep processing industry of apples in Northern Xinjiang. Twenty-one quality indices of processed apple were measured, and the data were standardized by subordinate function. The software of SPSS17.0 was used to analyze the factors of various indicators, and the rotated component matrix was obtained with 'Sevenimax' method. The comprehensive scores and each component scores were calculated based on the weight of each factor. According to the analysis of factors, five factors (characteristic root > 1) having

98.55% cumulative contribution rate were extracted from the converted data matrix, which could fully represent the information of original data. HT2 had the highest score, followed by Hongxun 1. Both of them had the advantages of highly nutritional value and long-storage, which could be used as raw material for processed apple. The fruit of HT3 and *Malus robusta* Bingxin 1 was smaller, but the density was higher, the sugar-acid ratio of those was lower, so

收稿日期: 2017-07-05

基金项目: 新疆维吾尔自治区林业发展补助资金项目 (2017011); 国家科技部国际科技合作项目 (2014DFR31070); 新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务费专项 (KYG2016050)

作者简介: 卢明艳 (1983-), 女, 山东武城人, 硕士, 园艺师, 研究方向为经济树种的引种、示范与推广工作。 (E-mail) 305736040@qq.com

通讯作者: 张东亚, (E-mail) zdywah998@126.com

they weren't suitable for eating. Xiaodongguo and Qiulimeng had bigger fruit, higher sugar-acid ratio, lower nutrition content and shorter storage period, they were suitable for eating but couldn't be used as raw material for processed apple.

Key words: processed apple; quality index; subordinate function; factor analysis; cluster analysis; principal component analysis

苹果作为中国第一大水果种类,已被国家农业部列入优势农产品^[1]。提升苹果品质是快速适应国内外市场竞争的必由之路^[2],新疆地属温带大陆性气候,日照充足、昼夜温差大,已成为发展特色林果业的绝佳区域。截至2016年底,新疆苹果栽植面积已突破 $6.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中绝大多数以鲜食苹果为主,在新疆阿克苏、塔城、昌吉等地广泛种植^[3-4],缺少加工苹果专用品种。基于此,本课题组于2015-2016年采集一批耐寒性较强的加工苹果品种(系),进行抗寒生理试验,筛选出7个表现性状较好的品种(系)。关于苹果品质方面已有较多报道^[5-7]。传统的感官评定^[8-9]、方差分析^[10-11]等方法,虽有其合理性,但仍不够全面,从而导致选育过程复杂化,增加了筛选优良品种(系)的不确定性。本试验基于此,在采用隶属函数法统一数量纲的基础上,结合因子分析、主成分分析和聚类分析,分析果实品质指标,旨在筛选适宜在新疆北疆地区种植的品种,为提高苹果深加工产业的发展提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2016年9-10月于新疆维吾尔自治区吉木萨尔县,共采样抗寒苹果品种(系)7个,包括秋力蒙、HT1、小冬果、HT2、HT3、红勋1号、冰心1号。于果实成熟期果树不同方位采集4 kg果实。

1.2 测定项目及方法

用电子台秤测定单果质量^[2],体积(ml)采用排水法测量^[12],果实密度(g/ml)=单果质量/苹果体积,果肉颜色(L^* 值;明度,反映色泽的亮度; a^* 值:正值为红色,负值为绿色; b^* 值:正值为黄色,负值为蓝色)采用色差计CR-10计测定^[13],硬度($\text{N} \cdot \text{cm}^2$)(果皮硬度、果实硬度)使用GY-1型果实硬度计进行测定^[5],出汁率测定参考GB/T 18858-1988,可溶性固形物测定参考GB 12295-90,可滴定酸(苹果酸)测定参考GB/T 12456-2008,固酸比=

可溶性固形物/可滴定酸,维生素C测定参考GB/T 5009.86-2003,还原糖测定参考GB/T 5009.8-2008,可溶性糖测定参考GB/T 5009.8-2008,糖酸比=可溶性糖含量/可滴定酸含量,果胶测定参考《果蔬采后生理生化实验指导》^[14],多酚氧化酶测定参考文献[15]的方法并改进,单宁测定参考GB/T 1600-2008,粗纤维测定参考GB/T 5009.88-2008,蛋白质含量测定参照GB/T 5009.5-2010滴定法,褐变度测定采用文献[16]的方法并改进。3次重复。

1.3 数据处理

使用Excel2013软件对数据进行整理,使用SPSS17.0软件进行方差分析^[17]、因子分析^[18]和聚类分析^[13]

为使数量纲一致,数据因子分析前用隶属函数法进行标准化。其中正相关指标:单果质量、单果体积、果实密度、果肉 L^* 值、果肉 a^* 值、果肉 b^* 值、果皮硬度、果肉硬度、可溶性糖、可溶性固形物、可滴定酸、糖酸比、固酸比、出汁率、维生素C、果胶。负相关指标:单宁、多酚氧化酶、粗纤维素、褐变度。其中正相关指标计算用公式1,负相关指标计算用公式2:

$$X_{in} = (U_{in} - U_{imin}) / (U_{imax} - U_{imin}) \quad (1)$$

$$X'_{in} = 1 - (U_{in} - U_{imin}) / (U_{imax} - U_{imin}) \quad (2)$$

式中, X_{in} 和 X'_{in} 分别指第 n 个果品中第 i 项指标的原始数据的隶属函数值; U_{in} 为第 n 个果品第 i 项指标的原始测定结果; U_{imax} 和 U_{imin} 分别指样品组中第 i 项指标的最大值和最小值。

主成分分析法:数据经标准化后进行主成分分析,提取出对果实指标有显著影响的主成分,得出主成分的分值 F_{jn} ,根据综合得分 D_n 计算相应主成分贡献率 E_j 作为权重。计算公式如下:

$$D_n = \sum_{j=1}^m F_{jn} \times E_j \quad (3)$$

D_n 是主成分分析法所得各样品果品性状的综合得分; F_{jn} 为第 n 个样品第 j 个特征值大于1的主成分的分值; m 为特征根大于1的主成分的个数; E_j 为第 j 个主成分的贡献率。

2 结果与分析

2.1 果实品质测定结果

秋力蒙、HT1、小冬果、HT2、HT3、红勋 1 号、冰心 1 号 7 个品种(系)的果实品质指标见表 1。观察可知,通过单一某项指标无法评价各品种品质优劣,

且各指标在 7 个品种(系)间的优劣程度各不相同。

从变异程度来看,果肉 a^* 值和维生素 C 变异系数较大,均大于 100%,说明各指标测量值差异较大;出汁率、果肉 L^* 值和果皮硬度变异程度较小,小于 20%,说明其离散程度较低,各品种间取值分布较为一致。

表 1 苹果果实品质测定结果

Table 1 The fruit quality determination results of apple

指 标	小冬果	HT1	HT2	HT3	红勋 1 号	冰心 1 号	秋力蒙	平均值	标准差	变异系数 (%)
单果质量(g)	115.400	77.740	54.853	38.067	20.933	38.800	134.800	68.656	40.822	59.459
果型指数	0.849	0.858	0.937	0.902	0.768	0.826	0.810	0.850	0.056	6.571
果实密度(g/ml)	0.807	0.682	0.997	1.131	1.173	1.155	0.736	0.954	0.203	21.243
果肉 L^* 值	83.933	83.533	75.350	76.933	50.433	82.433	82.767	76.483	11.598	15.163
果肉 a^* 值	-1.467	-4.600	0.367	1.733	36.700	-1.867	-3.167	3.957	13.971	353.058
果肉 b^* 值	19.567	18.467	23.733	26.167	14.467	16.833	15.800	19.290	4.485	23.250
果皮硬度(N/cm ²)	11.567	11.933	15.067	14.267	12.333	13.800	11.367	12.905	1.896	14.694
果肉硬度(N/cm ²)	6.933	9.000	12.400	10.600	10.233	10.533	7.833	9.648	2.057	21.325
可溶性固形物(%)	9.800	7.600	13.400	14.867	15.733	12.150	11.000	12.079	2.769	22.925
可溶性糖(%)	13.682	11.618	10.927	12.530	16.877	21.000	12.460	14.156	3.742	26.437
可滴定酸(%)	0.477	0.432	0.711	0.644	1.927	1.600	0.443	0.891	0.583	65.405
糖酸比	28.752	26.908	15.317	19.546	8.761	13.142	28.714	20.163	8.636	42.829
出汁率(%)	63.040	64.250	71.490	70.370	78.350	75.500	62.650	69.379	0.061	0.088
维生素 C(mg/g)	0.017	0.018	0.194	0.011	0.120	0.040	0.005	0.058	0.069	1.199
还原糖(%)	8.385	8.203	12.851	11.869	9.650	9.170	6.969	9.585	2.168	22.618
蛋白质(mg/g)	0.209	0.160	0.293	0.418	0.210	0.197	0.225	0.244	0.089	36.219
粗纤维素(%)	0.145	0.145	0.484	0.226	0.519	0.423	0.661	0.372	0.227	61.121
果胶(g/kg)	0.381	0.495	0.246	0.324	0.311	0.213	0.350	0.331	0.092	27.815
单宁(g/kg)	0.157	0.186	0.246	0.237	0.486	0.221	0.181	0.245	0.110	44.763
多酚氧化酶[U/(g·min)]	0.917	0.973	3.868	1.331	0.741	0.390	0.280	1.214	1.178	96.995
褐变度	0.115	0.115	0.186	0.226	0.163	0.240	0.073	0.160	0.067	42.184

2.2 果实品质指标的标准化

在对苹果进行综合评价时,考虑品质指标数量纲的不一致,其中外部感官指标(单果质量、果实密度、果肉 L^* 值、果肉 a^* 值、果肉 b^* 值、果皮硬度、果肉硬度),营养指标(可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、维生素 C、还原糖、蛋白质、果胶)均为值越大,品质越好;粗纤维素、单宁、多酚氧化酶、褐变度则值越小越好,果型指数、糖酸比越接近于 1 越好。因此,在进行因子分析前,采用隶属函数法对数据进行

标准化处理(标准化处理结果见表 2)。

2.3 果实品质的因子分析

通过主成分分析,能够将大量冗杂的原始信息简化为少数综合变量,借少数综合指标来评价原始信息^[19-20]。由表 3 可知,从 22 项品质指标中提取出 5 项特征根>1 的主成分,其累计贡献率达 98.55%,具有充分的代表性。因而采用这 5 项公因子代替原有的 22 项指标进行评价是可行的。

表 2 21 项果实品质指标标准化结果

Table 2 Data normalization of 21 quality indicators of apple

指标	小冬果	HT1	HT2	HT3	红勋 1 号	冰心 1 号	秋力蒙
单果质量	0.830	0.499	0.298	0.150	0	0.157	1.000
果型指数	0.478	0.530	1.000	0.790	0	0.341	0.245
果实密度	0.254	0	0.643	0.914	1.000	0.963	0.110
果肉 L^* 值	1.000	0.988	0.744	0.791	0	0.955	0.965
果肉 a^* 值	0.076	0	0.120	0.153	1.000	0.066	0.035
果肉 b^* 值	0.436	0.342	0.792	1.000	0	0.202	0.114
果皮硬度	0.054	0.153	1.000	0.784	0.261	0.658	0
果肉硬度	0	0.378	1.000	0.671	0.604	0.659	0.165
可溶性固形物	0.270	0	0.713	0.893	1.000	0.559	0.418
可溶性糖	0.273	0.069	0	0.159	0.591	1.000	0.152
可滴定酸	0.030	0	0.187	0.142	1.000	0.781	0.007
糖酸比	0	0.092	0.672	0.460	1.000	0.781	0.002
出汁率	0.025	0.102	0.563	0.492	1.000	0.818	0
维生素 C	0.062	0.065	1.000	0.028	0.606	0.186	0
还原糖	0.241	0.210	1.000	0.833	0.456	0.374	0
蛋白质	0.190	0	0.517	1.000	0.195	0.143	0.251
粗纤维素	0.999	1.000	0.343	0.843	0.275	0.460	0
果胶	0.594	1.000	0.115	0.393	0.346	0	0.486
单宁	1.000	0.911	0.731	0.757	0	0.805	0.926
多酚氧化酶	0.822	0.807	0	0.707	0.872	0.969	1.000
褐变度	0.749	0.749	0.323	0.082	0.460	0	1.000

表 3 各主成分的提取平方载荷值和旋转平方载荷值

Table 3 Square load value and rotate load value for each principal component

主成分	提取平方载荷值			旋转平方载荷值		
	特征值	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)	特征值	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
f_1	10.231	48.721	48.721	5.924	28.211	28.211
f_2	5.777	27.510	76.231	5.358	25.515	53.727
f_3	2.086	9.935	86.166	4.461	21.244	74.971
f_4	1.471	7.007	93.173	3.161	15.053	90.024
f_5	1.129	5.377	98.550	1.790	8.526	98.550

主成分载荷矩阵经 7 次迭代后的旋转因子载荷值见表 4。载荷值的绝对值与其在该主成分的影响呈正相关,由此能够得出,第 1 主成分(f_1)综合了褐变度、可溶性糖、果实密度、出汁率、糖酸比、单果质量、可滴定酸和果胶 8 项指标的信息。其中可溶性

糖、果实密度、出汁率、糖酸比、可滴定酸在 f_1 呈正向分布,褐变度、单果质量和果胶在 f_1 呈负向分布,可将 f_1 命名为加工表现因子。 f_2 包含可滴定酸、果肉 L^* 值、果肉 a^* 值、单宁和可溶性固形物,其中可滴定酸、果肉 a^* 值和可溶性固形物在 f_2 呈正向分

布,其余 2 项呈负向分布,可将 f_2 命名为外形因子。 f_3 包括多酚氧化酶、维生素 C、还原糖、果肉硬度、果型指数和果皮硬度。除多酚氧化酶外,其他 5 指标

均呈正向分布,可将 f_3 命名为贮藏及营养因子。 f_4 仅包含蛋白质和果肉 b^* 值 2 项指标,均呈正向分布。 f_5 仅粗纤维素 1 项指标,呈正向分布。

表 4 旋转后的因子载荷矩阵

Table 4 Rotated factor loading matrix

指标	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
单果质量	-0.732	-0.519	-0.295	-0.156	-0.227
果型指数	-0.049	-0.460	0.710	0.484	0.216
果实密度	0.811	0.444	0.092	0.336	-0.127
果肉 L^* 值	-0.158	-0.977	-0.086	-0.002	0.114
果肉 a^* 值	0.158	0.974	-0.068	-0.069	-0.083
果肉 b^* 值	0.012	-0.292	0.493	0.762	0.294
果皮硬度	0.580	-0.079	0.672	0.443	-0.054
果肉硬度	0.547	0.219	0.716	0.224	-0.103
可溶性固形物	0.443	0.621	0.136	0.524	-0.349
可溶性糖	0.816	0.121	-0.411	-0.339	-0.136
可滴定酸	0.716	0.612	-0.101	-0.266	-0.175
糖酸比	0.733	0.583	0.305	-0.003	-0.167
出汁率	0.777	0.583	0.199	0.002	-0.125
维生素 C	0.153	0.423	0.827	-0.116	-0.278
还原糖	0.345	0.171	0.730	0.556	0.071
蛋白质	0.111	0.018	0.202	0.972	-0.034
粗纤维素	-0.044	-0.253	-0.039	0.117	0.933
果胶	-0.709	-0.029	-0.249	-0.179	0.599
单宁	-0.267	-0.953	-0.059	0.051	0.112
多酚氧化酶	0.068	0.020	-0.962	-0.226	0.042
褐变度	-0.889	-0.033	-0.250	-0.361	-0.119

2.4 各主成分综合得分

将各项指标的载荷值除以相应主成分的特征根即可得到得分矩阵,再将得分矩阵中的载荷值开平方根即可作为每个指标的载荷系数,将得分矩阵同经标准化转化的数据相乘,即可得到各主成分的算数表达式:

$$f_1 = -0.351 \ 6Zx_1 + 0.091 \ 1Zx_2 + 0.369 \ 9Zx_3 - 0.163 \ 4Zx_4 + 0.163 \ 3Zx_5 + 0.045 \ 1Zx_6 + 0.313 \ 0Zx_7 + 0.303 \ 9Zx_8 + 0.273 \ 5Zx_9 + 0.371 \ 2Zx_{10} + 0.347 \ 6Zx_{11} + 0.351 \ 8Zx_{12} + 0.362 \ 2Zx_{13} + 0.160 \ 9Zx_{14} + 0.241 \ 5Zx_{15} + 0.136 \ 8Zx_{16} - 0.085 \ 7Zx_{17} - 0.345 \ 8Zx_{18} - 0.212 \ 3Zx_{19} + 0.107 \ 1Zx_{20} - 0.387 \ 5Zx_{21}$$

$$f_2 = -0.311 \ 3Zx_1 - 0.292 \ 9Zx_2 + 0.288 \ 0Zx_3 -$$

$$0.426 \ 9Zx_4 + 0.426 \ 4Zx_5 - 0.233 \ 6Zx_6 - 0.121 \ 1Zx_7 + 0.202 \ 2Zx_8 + 0.340 \ 3Zx_9 + 0.150 \ 4Zx_{10} + 0.338 \ 0Zx_{11} + 0.329 \ 9Zx_{12} + 0.329 \ 8Zx_{13} + 0.280 \ 9Zx_{14} + 0.178 \ 9Zx_{15} + 0.058 \ 3Zx_{16} - 0.217 \ 1Zx_{17} - 0.073 \ 4Zx_{18} - 0.421 \ 7Zx_{19} + 0.061 \ 7Zx_{20} - 0.078 \ 6Zx_{21}$$

$$f_3 = -0.257 \ 1Zx_1 + 0.399 \ 0Zx_2 + 0.143 \ 3Zx_3 - 0.138 \ 6Zx_4 - 0.123 \ 1Zx_5 + 0.332 \ 5Zx_6 + 0.388 \ 1Zx_7 + 0.400 \ 5Zx_8 + 0.174 \ 3Zx_9 - 0.303 \ 7Zx_{10} - 0.150 \ 6Zx_{11} + 0.261 \ 5Zx_{12} + 0.211 \ 0Zx_{13} + 0.430 \ 6Zx_{14} + 0.404 \ 4Zx_{15} + 0.212 \ 7Zx_{16} - 0.093 \ 3Zx_{17} - 0.236 \ 5Zx_{18} - 0.115 \ 2Zx_{19} - 0.464 \ 4Zx_{20}$$

$$f_4 = -0.222 \ 3Zx_1 + 0.391 \ 4Zx_2 + 0.326 \ 1Zx_3 - 0.022 \ 4Zx_4 - 0.147 \ 2Zx_5 + 0.491 \ 1Zx_6 + 0.374 \ 4Zx_7 +$$

$$0.266 \ 1Zx_8 + 0.407 \ 2Zx_9 - 0.327 \ 6Zx_{10} - 0.290 \ 2Zx_{11} - 0.030 \ 4Zx_{12} + 0.024 \ 2Zx_{13} - 0.191 \ 6Zx_{14} + 0.419 \ 4Zx_{15} + 0.554 \ 4Zx_{16} + 0.192 \ 2Zx_{17} - 0.237 \ 9Zx_{18} + 0.127 \ 2Zx_{19} - 0.267 \ 2Zx_{20} - 0.338 \ 2Zx_{21}$$

$$f_5 = -0.355 \ 7Zx_1 + 0.347 \ 5Zx_2 - 0.266 \ 4Zx_3 + 0.252 \ 8Zx_4 - 0.214 \ 9Zx_5 + 0.405 \ 0Zx_6 - 0.173 \ 9Zx_7 - 0.240 \ 4Zx_8 - 0.441 \ 5Zx_9 - 0.276 \ 0Zx_{10} - 0.312 \ 5Zx_{11} - 0.305 \ 4Zx_{12} - 0.264 \ 2Zx_{13} - 0.394 \ 3Zx_{14} + 0.199 \ 0Zx_{15} - 0.137 \ 6Zx_{16} + 0.722 \ 0Zx_{17} + 0.578 \ 5Zx_{18} + 0.250 \ 5Zx_{19} + 0.153 \ 8Zx_{20} - 0.258 \ 3Zx_{21}$$

用特征值除以所有主成分特征值之和,可以计算出综合评价函数 $f_z = A_1f_1 + A_2f_2 + A_3f_3 + A_4f_4 + A_5f_5$,其中 $A_1 = \lambda_1 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$, $A_2 = \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$, $A_3 = \lambda_3 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$, $A_4 = \lambda_4 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$, $A_5 = \lambda_5 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$ 。其中 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ 分别是5个主成分的特征值。

表5结果表明,果实品质指标排名位列前三的分别为HT2、红勋1号和HT3。其中HT2除 f_5 外其

他5个主成分排名均位居前列,果皮偏圆,果皮果肉硬度较大,维生素C和还原糖含量较高,排名第1;红勋1号在 f_1 和 f_2 上排名均居第1,而在 f_4 和 f_5 上排名靠后,说明其优势主要表现在可溶性糖含量较高,果实密度较大,可溶性固形物、糖酸比、可滴定酸含量较高,而单果质量较低,果型不规则,果皮硬度、果胶、蛋白质含量较低,粗纤维素和果胶含量较高,属于营养价值较高且口感偏酸的类型;HT3在 f_3, f_4 和 f_5 上排名均靠前,果实呈金黄色,有光泽,果实密度较大,还原糖、可溶性固形物含量较高,粗纤维素、单宁和多酚氧化酶含量较低,但容易发生褐变;冰心1号糖酸比较高且出汁率较高,果实松脆口感好,但果实小、果形不规则,营养物质含量普遍较低,极易发生褐变;小冬果和秋力蒙分列最后2名,果实较大且果皮有光泽,而果皮、果肉硬度均较低,可滴定酸含量和糖酸比较低,营养物质含量较低,即不耐贮藏又不符合加工苹果条件,只可用作鲜食。

表5 苹果果实品质指标各公因子得分和累计得分

Table 5 Comparison and ranking of scores of common factors of *Malus*

品种	f_1		f_2		f_3		f_4		f_5		f_z	
	得分	排序	得分	排序	得分	排序	得分	排序	得分	排序	得分	排序
小冬果	-0.686	5	-1.295	6	-0.747	6	0.198	4	1.242	2	-0.555	6
HT1	-0.784	6	-1.308	7	-0.578	5	0.054	6	1.679	1	-0.534	5
HT2	1.598	3	0.216	3	2.464	1	2.296	2	-0.441	5	1.357	1
HT3	1.457	4	-0.069	4	1.450	2	2.612	1	0.630	3	1.165	3
红勋1号	2.359	1	2.427	1	0.546	3	0.120	5	-1.920	7	1.274	2
冰心1号	2.001	2	0.635	2	0.408	4	0.705	3	-0.714	6	0.871	4
秋力蒙	-0.823	7	-1.002	5	-1.021	7	-0.363	7	0.088	4	-0.763	7

为使果实品质指标相近的苹果聚为一类,在评价时更易区分,常采用聚类分析法。如图1,本试验根据果实品质指标采用Ward聚类分析法对结果加以验证。第1类包括小冬果和HT1,这一聚类汇集了果实粗纤维素、果胶、单宁含量较高,可溶性糖、可滴定酸、出汁率较低,果形较差的品种,这类品种(系)外观不易为消费者接受且口感较差,且果品加工潜力较弱。第2类包括HT2和HT3,这类品种(系)果实圆润且光泽,还原糖、可溶性固形物、维生素等营养物质含量较高,且不易发生褐变。第3类包括红勋1号和冰心1号,果实密度较大,且可溶性

糖、可滴定酸和出汁率较高,可作为加工型苹果的最佳材料;第4类仅秋力蒙,其品质各方面指标均明显低于其他品种,其优势在于单果质量,是单果质量最小的红勋1号的6.44倍,聚类分析验证的结论同主成分法分析结果大致相同。

3 讨论

本试验采用隶属函数法对21项果实品质指标单位进行统一的基础上,基于因子分析对7个品种(系)的加工型苹果进行综合评价。综合来看,HT2得分最高,红勋1号次之,二者兼具营养价值高和耐

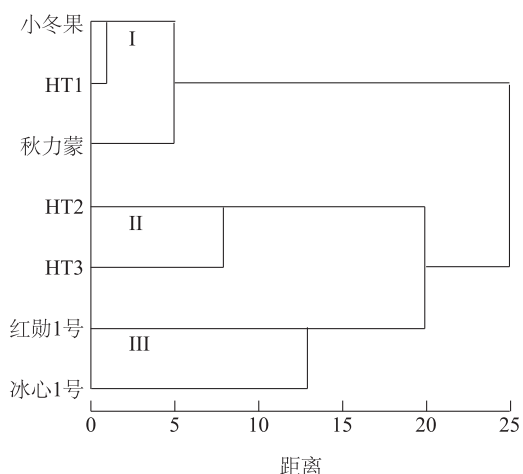


图1 聚类分析谱系图

Fig.1 Dendrogram of hierarchical cluster analysis

贮藏的优点,可作为加工苹果原材料,HT3、冰心1号再次之,果实较小但果实密度较高,糖酸比较低且不宜鲜食但可作为加工苹果原料,小冬果和秋力蒙排名最后,果实大且糖酸比高,但营养元素含量低且不耐贮藏,只可作为鲜食苹果不宜用作加工苹果。

考虑到果实品质单位的不一致,在进行因子分析前通常采用数学方法对结果进行标准化处理。常用的果实评价方法,主要集中在感官评价^[21]、方差分析^[22-23]等方面,受主观性、多因素性等要素制约,评价结果往往具有片面性及不确定性。张海英等^[24]对桃果实品质因子分析前,先用0~1极差标准化法对数量纲进行统一。付宝春等^[25]在玉簪抗旱性评价时,将7项抗旱指标通过隶属函数法加权平均按得分高低进行排名。本研究在隶属函数法统一数量纲的基础上兼顾正、负果品指标对果实评价的影响,数据更为客观合理,所测品质指标依据选优目标所定,其中单果质量、单果体积、果肉密度等越大越好,单宁、多酚氧化酶、粗纤维素、褐变度则越小越好。

近些年,在选择果实品质评价方法上,越来越倾向于主成分分析和聚类分析^[26-29],本研究通过因子分析、主成分分析和聚类分析将原有的多维指标,简化为代表不同果实品质性状表现的5个公因子,累计方差贡献率达98.55%,由此可见5个公因子既提供了原始性状的绝大多数信息,又剔除了不重要的部分,更有利于全面把握各个品种(系)的综合指标性状,排名得分结果更为客观合理。目前此法已在

诸多树种如灰枣^[17]、猕猴桃^[30]、枸杞^[31]等资源评价上得以广泛运用。

加工型苹果是加工浓缩苹果汁的优质原料,选育果实大、出汁率高、不易褐变、糖酸比接近1的加工型苹果,是符合新疆苹果品种结构调整优化,品质改良及苹果产业发展趋势的^[32]。本试验供试材料中的7个加工型苹果品种(系)均采自北疆地区,结合隶属函数法对其指标进行数据标准化,在统一数量纲的基础上进行因子分析,所得结果中对果实品质指标影响较大的因子是:单果质量、果形指数、果肉 b^* 值、可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、维生素C、还原糖和果胶。此后采用主成分分析法打分,并结合聚类分析进行品种(系)分类,更有利于区别不同品种(系)间苹果品质的差异,在良种选择过程中根据不同品种(系)的优势,有选择性的进行推广种植。

参考文献:

- [1] 廖小军,胡小松. 我国苹果生产、加工现状与发展对策[J]. 中国农业科技导报, 2001, 3(6): 13-16.
- [2] 白沙沙,毕金峰,方芳,等. 苹果品质评价技术研究现状及展望[J]. 食品科学, 2011, 32(3): 286-290.
- [3] 郭靖,张东亚,刘珩,等. 运用层次分析法优选新疆加工苹果[J]. 经济林研究, 2015, 33(3): 26-32.
- [4] 马军,安鹭,张东亚,等. 国内外高酸海棠苹果发展现状及果汁市场前景分析[J]. 园艺与种苗, 2014(9): 11-13.
- [5] 李鹏,王益权,梁化学. 渭北不同树龄苹果品质因子分析与综合评价[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 49-54.
- [6] 聂继云,刘凤之,李静,等. 制汁用苹果品质评价体系探讨[J]. 果树学报, 2006, 23(6): 798-800.
- [7] 高愿军,南海娟,郝亚勤. 鲜切苹果品质保持研究[J]. 食品科学, 2006, 27(8): 254-258.
- [8] 吴文龙,赵慧芳,方亮,等. 南京地区蓝莓品种(系)果实品质分析与评价[J]. 经济林研究, 2013, 31(4): 87-92.
- [9] 高文海,李新岗,王长柱. 木枣优良株系的选择研究[J]. 果树学报, 2009, 26(4): 481-486.
- [10] 陈月,刘永杰,覃伟铭,等. 库尔勒香梨及其不同芽变类型果实发育动态和品质比较[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(5): 817-823.
- [11] 罗青红,史彦江,宋锋惠,等. 不同产地杂交榛果实品质比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 50-54.
- [12] 张道德. 金冠苹果果实的介电特性与无损检测技术的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [13] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 276-285.
- [14] 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,2007:84-86.
- [15] 程建军. 苹果梨中多酚氧化酶反应动力学和反应进程的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 69-71.
- [16] 李淑玲,陈笑笑,赵宝龙,等. 10个苹果品种果实中酚类物质与褐变度分析[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(7): 1199-1203.
- [17] 冯会丽,吴正保,史彦江,等. 基于因子分析的灰枣优良无性系果实品质评价[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 77-81.
- [18] 潘越,史彦江,陈淑英,等. 喷施叶面肥对平欧杂种榛‘新榛1号’嫩枝扦插的影响[J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(5): 920-926.
- [19] 刘科鹏,黄春辉,冷建华,等. ‘金魁’猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价[J]. 果树学报, 2012, 29(5): 867-871.
- [20] 陶爱芬,祁建民,林培青,等. 红麻优异种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2859-2867.
- [21] 马庆华,续九如,王贵禧,等. 河北和山东冬枣果实品质评价及 AFLP 分子标记的研究[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 48-54.
- [22] 马庆华,续九如,姚立新,等. 不同产地冬枣果实品质差异的研究[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(2): 57-60.
- [23] 高文海,李新岗,王长柱. 木枣优良株系的选择研究[J]. 果树学报, 2009, 26(4): 481-486.
- [24] 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, 22(8): 235-239.
- [25] 付宝春,薄伟. 玉簪抗旱性隶属函数及主成分分析[J]. 草地学报, 2014, 22(6): 1324-1330.
- [26] 辜夕容,陈勇,李洪飞,等. 武隆猪腰枣优良单株果实品质的主成分分析及综合评选[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 79-82.
- [27] 陈小凤,黄如葵,梁家作,等. 基于主成分分析和模糊评价法的苦瓜耐冷性综合鉴定与评价[J]. 南方农业学报, 2016, 47(5): 677-681.
- [28] SCHNACKENBERG B J, SAINI U T, ROBINSON B L, et al. An acute dose of gamma-hydroxybutyric acid alters gene expression in multiple mouse brain region[J]. Neuroscience, 2010, 170(2): 523-541.
- [29] DEREK F K, JUAN V, RONAN G, et al. Selecting apple cultivars for use in ready-to-eat desserts based on multivariate analyses of physico-chemical properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(2): 308-315.
- [30] 刘科鹏,黄春辉,冷建华,等. ‘金魁’猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价[J]. 果树学报, 2012, 29(5): 867-871.
- [31] 王益民,张珂,许飞华,等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34-38.
- [32] 李建贵,秦伟,杜研. 新疆红富士苹果生理特性与品质调控研究[M]. 北京:中国科学出版社, 2016: 171-174.

(责任编辑:陈海霞)