不同品种软枣猕猴桃品质指标的主成分分析

马　云,王笑成,穆易君,杨菲菲,高净乐,储倩倩,黄晓杰*
(锦州医科大学食品科学与工程学院,辽宁锦州 121001)

摘　要:通过测定不同品种软枣猕猴桃的外观品质、营养成分等指标,并对其进行对比与分析,为不同品种软枣猕猴桃的合理选择及加工利用提供研究基础。以辽宁省丹东市同一栽培地的8个主栽品种的软枣猕猴桃为研究对象,采用国标法分别测定不同品种果实的外观品质、营养成分等13项指标,利用主成分分析法对不同品种软枣猕猴桃的13项指标进行分析。结果表明:不同品种软枣猕猴桃之间存在着较为明显的差异,其中色度值、果型指数、可滴定酸、结合型总黄酮的变异系数较大。LD241的饱和度最大,色度值为4.724;大龙二的果型指数值最大,其数值为1.779;金香玉含有的可滴定酸最高,其数值为2.68 mg/100 g;野生果的结合型黄酮含量最高,其数值为85.01 mg/100 g。通过主成分分析法进行分析可得,第一主成分由DPPH自由基清除率、黄酮、维生素C等指标决定,表现出显著的抗氧化特性;第二主成分主要由可滴定酸决定,表现出独特的口味特性和加工特性;第三主成分主要由可溶性固形物决定,表现出独特的营养特性,第四主成分由色度值决定,表现出独特的外观品质。其累积方差贡献率的值可达91.962%。因此,主成分分析法可充分反应不同品种软枣猕猴桃的优质特性,可作为不同品种软枣猕猴桃果实品质特性的评价方法。

关键词:软枣猕猴桃,品质特性,品种差异,主成分分析

Principal Component Analysis of Quality Indexes of Different Varieties of *Actinidia arguta*

MA Yun, WANG Xiao-cheng, MU Yi-jun, YANG Fei-fei, GAO Jing-le, CHU Qian-qian, HUANG Xiao-jie*
(College of Food Science and Engineering, Jinzhou Medical University, Jinzhou 121001, China)

Abstract: In order to provide the research foundation for rational development and utilization of *Actinidia arguta*, by comparing and analyzing indexes of appearance and nutrition of the different varieties of *Actinidia arguta*, the appearance quality and nutrient component of 8 kinds of *Actinidia arguta* from same cultivated land of Liaoning province were measured by Chinese standard method and its 13 quality indexes were evaluated by principal component analysis. The results indicated that there were different quality among different kinds of *Actinidia arguta*. The variable coefficient of value of chromatism, fruit shape index, titratable acid, combined total flavonoids were large. LD241 had the maximum color saturation and the chromatic value was 4.724. The maximum value of the fruit shape index was 1.779 from big Longer. The highest content of titratable acid was 2.68 mg/100 g from Jinxiangyu. The highest content of flavonoids was 85.01 mg/100 g from wild fruit. The principal component analysis showed that the first principal component was determined by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrayl, flavonoids, vitamin C and so on, which showed significant antioxidant properties. The second principal component was mainly determined by titratable acids, which showed flavor and processing characteristics. The third principal component was mainly determined by soluble solids, which showed nutritional characteristics. The fourth principal component was determined by the color value, which showed appearance quality. The value of its cumulative variance contribution rate was as high as 91.962%. Therefore, the principal component analysis could be regarded as a good method to evaluate the different *Actinidia arguta* high-quality features.

Key words: *Actinidia arguta*; quality characteristics; cultivar variation; principal component analysis (PCA)
中图分类号:TS　　**文献标识码:**A　　**文 章 编 号:**1002-0306(2019)05-0233-06
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.05.038
引文格式:马云,王笑成,穆易君,等.不同品种软枣猕猴桃品质指标的主成分分析[J].食品工业科技,2019,40(5):233-238.

收稿日期:2018-05-30
作者简介:马云(1991-),女,硕士研究生,研究方向:果蔬质量与安全控制,E-mail:tianxiaofengyun@163.com。
*通讯作者:黄晓杰(1981-),女,博士,副教授,研究方向:果蔬营养与品质控制,E-mail:food-xiaojie@163.com。

软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)别名圆枣子、奇异莓、软枣莓,为侧膜胎座目,猕猴桃科,猕猴桃属,软枣猕猴桃种,落叶藤本植物[1-3],是一种体表无毛,清洗即食的新型水果,在我国分布广泛,适于生长在气候凉爽湿润,水分充足的地方[4-5]。它富含多种营养成分,其中维生素 C 含量极其丰富,具有清热降火、延缓衰老、改善血液循环、治疗溃疡病等作用[6-8]。

目前,国内对软枣猕猴桃的研究主要集中在栽植技术、组织培养、贮藏保鲜等方面,如黄圆博等[9]以腐叶土为基质利用硬质扦插、绿枝扦插、嫁接等技术培养软枣猕猴桃果苗的成活率;崔雪艳[10]通过植物组织培养,对软枣猕猴桃的快速繁殖进行研究;焦中高等[11]采用 UV-C 辐射处理对软枣猕猴桃的贮藏期进行研究。国外对软枣猕猴桃的研究主要集中在品种选育、人工栽培等,如新西兰已培育出一些软枣猕猴桃品种[12],美国和智力把软枣猕猴桃作为"baby-kiwi"出口到日本销售[13],而且软枣猕猴桃在日本得到了开发利用,片冈等[14]对软枣猕猴桃的多倍体变异性进行了研究。此外,Li Xia 等[15]对软枣猕猴桃果实的抗炎性进行了研究。Myma 等[16]用高效液相法测定了软枣猕猴桃中的抗坏血酸及有机酸等成分。如今国内外软枣猕猴桃品种丰富,但收获期集中在 9 月,贮藏期短,对各品种软枣猕猴桃产品的开发利用研究较少[17-18]。

为满足软枣猕猴桃的市场需求,增强人们对软枣猕猴桃的进一步了解,通过比较不同品种软枣猕猴桃的外观品质、营养成分等指标,分析不同品种果实的品质差异,采用主成分分析法对同一栽培地中 8 个品种软枣猕猴桃的单果重、色差值、果型指数、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、叶绿素、游离酚、结合酚、游离型黄酮、结合型黄酮、游离型 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,DPPH)、结合型 DPPH 清除率等进行系统分析,通过分析各个品种软枣猕猴桃的品质特性,为软枣猕猴桃进一步的品质改良、合理选择和开发利用提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

软枣猕猴桃 品种分别为野生、LD133、LD241、桓优一号、金香玉、腾龙、小龙二、大龙二,均在 2017 年 9 月 1 日采于辽宁省丹东市软枣猕猴桃种植基地;无水乙醇、丙酮 分析纯,天津市大茂化学试剂厂;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼、福林酚试剂、草酸、标准抗坏血酸、酚酞 天津市福晨化学试剂厂;邻苯二甲酸氢钾、碳酸钙粉、碳酸钠、硝酸铝、亚硝酸钠、氢氧化钠 天津市天新精细化工开发中心;2,6-二氯酚靛酚 阜阳曼林生物技术有限公司。

Anke TGL-16G 高速台式离心机 上海安亭科学仪器厂;SHA-B 水浴恒温振荡器 金坛市科析仪器有限公司;MIR-254-PC 低温恒温培养箱 日本松下;JYL-C020 九阳料理机 九阳股份有限公司;JA1003N 电子天平、可读式游标卡尺 上海精密科学仪器有限公司;CR-400 型色差仪 日本美能达公司;WYT-4 型手持糖度计 中外合资中友光学仪器有限公司;UV-5100 紫外可见分光光度计 上海元析仪器有限公司;DK-98-1 型电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料处理 将新鲜采摘的软枣猕猴桃去梗、洗净,用滤纸除去果实表面的水分,从 8 个品种软枣猕猴桃中分别选取 100 个,每个品种尽量选取大小均匀和硬度相近的果实,使不同品种的软枣猕猴桃各具代表性,立即对其进行外观品质测定,其余分别用九阳料理机研磨打浆,置于-80 ℃的超低温冰箱中保存备用。

1.2.2 不同品种软枣猕猴桃外观品质指标的测定

1.2.2.1 单果重 电子天平称量,随机选取 20 个果实,随机选取 3 次,每个果实称量 2 次并求其平均值;

1.2.2.2 色度 测量果实赤道中部及两测的 L^*、a^*、b^* 值。求饱和度 c、色调角 h、色度(GIRG)。

$$c = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2};\ h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right);$$

$$GIRG = \frac{(180-h)}{(L^* + c)}$$

1.2.2.3 果型指数 可读式游标尺测量果实的横径和纵径。

$$果型指数 = \frac{果实纵径}{果实横径}$$

1.2.3 不同品种软枣猕猴桃营养指标测定 可溶性固形物(TSS)测定、叶绿素测定、维生素 C 测定、可滴定酸测定均参照《果蔬采后生理生化实验指导》中的测定方法进行测定[19]。

1.2.4 不同品种软枣猕猴桃供试品溶液制备 称取软枣猕猴桃匀浆 10.0 g,加 80% 乙醇 25 mL[20],4 ℃ 300 W 超声处理 1 h,4 ℃ 恒温浸提 12 h,在 4 ℃ 20000 r/min 下离心 20 min,取上清液,相同提取条件下,将剩余残渣提取 3 次,合并上清液[21],置于 100 mL 容量瓶中,作为测定游离型黄酮、游离酚、游离型 DPPH 自由基清除率的供试品溶液。

将 20 mL 2 mol/L 的氢氧化钠溶液加入上述剩余残渣中,25 ℃恒温振荡 3 h,用 2 mol/L 盐酸溶液调至中性,抽滤,取滤液并用蒸馏水定容于 100 mL 的容量瓶中[22],作为测定结合型黄酮、结合酚、结合型 DPPH 自由基清除率的供试品溶液。

1.2.5 不同品种软枣猕猴游离酚和结合酚含量的测定 游离酚(dissociate total phenol,DTP)和结合酚(combine total phenol,CTP)含量测定:参照张金宏和王振宇等方法[23-24],得线性回归方程为 $y = 83.5x - 0.0095$($R^2 = 0.9994$),测定结果以每克软枣猕猴桃果实中所含的没食子酸当量(mg gallic acid equivalent/g,mg GAE/g)表示。

1.2.6 不同品种软枣猕猴桃黄酮含量的测定 游离型总黄酮(dissociate total flavone,DTF)和结合型总黄酮(combinetotalflavone,JTF)含量测定:参照孟庆焕等方法[25],得线性回归方程为 $y = 0.01x + 0.0019$($R^2 = 0.9997$),测定结果以每克软枣猕猴桃果浆中芦丁当

量(mg rutin equivalent/g,mg GAE/mL)表示。

1.2.7 不同品种软枣猕猴桃 DPPH 自由基清除率的测定 游离型 DPPH 自由基清除率和结合型 DPPH 自由基清除率测定:参照闫琳娜的方法[26],根据 DPPH 自由基清除率公式计算。

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = (1-\frac{A_1 - A_3}{A_2}) \times 100$$

式中:A_1 为提取液与 DPPH 溶液反应后的吸光度;A_2 为 DPPH 乙醇溶液的吸光度;A_3 为提取液与无水乙醇反应后的吸光度。

1.3 软枣猕猴桃品质指标的主成分分析

采用主成分分析法对 8 种软枣猕猴桃中 13 项品质指标进行分析,其中包括单果重、色度值、果型指数、可溶性固形物、维生素 C、可滴定酸、叶绿素、游离酚、结合酚、游离型总黄酮、结合型总黄酮、游离型 DPPH 自由基清除率、结合型 DPPH 自由基清除率,通过分析软枣猕猴桃中主成分分析法的特征值和贡献率,再综合累计贡献率,对软枣猕猴桃的品质指标进行系统评价[27-29]。

1.4 数据处理

实验数据采用 WPS 表格软件建立数据库,用 SPSS Statistic 17.0 软件对软枣猕猴桃的品质指标进行主成分分析[30]。

2 结果与分析

2.1 软枣猕猴桃品质指标的测定结果

8 种软枣猕猴桃的 13 项品质指标的测定结果见表 1。由表 1 可知,不同品种的软枣猕猴桃在 13 个品质指标中存在着差异,变异系数最大的是维生素 C 含量,其数值为 0.37,变异系数最小的是可溶性固形物含量,其数值为 0.11。综上所述,软枣猕猴桃品种间各项品质指标变异系数均有差异,表明各品种之间的品质存在差异。虽单个品质指标的变异系数并不大,但综合 13 个品质指标后,差异较为明显。

2.2 软枣猕猴桃品质指标的主成分分析

2.2.1 数据标准化 软枣猕猴桃的 13 种品质指标的单位不同,量程大小不一,需对 13 种品质指标的原始数值进行标准化处理,处理后可避免不同单位和量程不一的影响。处理后数据见表 2。

2.2.2 主成分分析 由表 3 可知,特征值大于 1 的主成分有四个,且这四个成分的方差贡献率之和在 90% 以上,即代表性大,其余成分的特征值均趋于平坦且数值小于 1,即代表性小。软枣猕猴桃中前四个主成分的方差贡献率分别为 36.645%、28.613%、16.887%、9.508%。累积方差贡献率为 91.652%,也可看出四个主成分的显著代表性。

由表 4 可知,采用主成分分析法中具有 Kaiser 标

表 1 8 种软枣猕猴桃的品质指标

Table 1 The quality indexes of *Actinidia arguta* from 8 varieties

品种	单果重 (g)	色差值	果型指数	可溶性固形物	维生素 C (mg/100 g)	可滴定酸 (mg/100 g)	叶绿素 (mg/g)
野生	10.37 ± 0.54	2.09 ± 0.24	1.00 ± 0.07	12.7 ± 0.27	42.51 ± 1.12	1.78 ± 0.08	0.06 ± 0.002
LD133	17.26 ± 2.60	2.01 ± 0.23	0.91 ± 0.07	13.80 ± 0.27	15.44 ± 0.22	1.33 ± 0.10	0.08 ± 0.008
小龙二	12.99 ± 0.64	2.31 ± 0.17	1.58 ± 0.14	15.97 ± 0.06	32.76 ± 0.54	1.39 ± 0.10	0.11 ± 0.015
大龙二	22.24 ± 0.45	2.48 ± 0.35	1.78 ± 0.11	15.80 ± 0.26	40.32 ± 0.18	1.31 ± 0.04	0.11 ± 0.021
金香玉	14.18 ± 0.56	2.37 ± 0.20	1.28 ± 0.10	16.80 ± 0.08	28.86 ± 0.09	2.68 ± 0.09	0.05 ± 0.004
腾龙	20.36 ± 1.02	2.32 ± 0.15	0.87 ± 0.05	13.10 ± 0.31	28.85 ± 0.09	1.53 ± 0.11	0.083 ± 0.007
LD241	15.45 ± 0.19	4.72 ± 0.36	1.28 ± 0.08	12.80 ± 0.22	55.02 ± 1.80	1.48 ± 0.03	0.09 ± 0.004
桓优一号	18.16 ± 1.06	2.26 ± 0.15	1.10 ± 0.10	14.00 ± 0.08	23.63 ± 0.11	1.10 ± 0.09	0.11 ± 0.001
标准差	3.92	0.88	0.32	1.60	12.29	0.49	0.02
平均值	16.38	2.57	1.22	14.37	33.42	1.58	0.09
变异系数	0.24	0.34	0.26	0.11	0.37	0.31	0.27

品种	游离酚 (mg/g)	结合酚 (mg/g)	游离型黄酮 (mg/100 g)	结合型黄酮 (mg/100 g)	游离型 DPPH 自由基清除率 (%)	结合型 DPPH 自由基清除率 (%)
野生	0.0044 ± 0.0002	0.010 ± 0.0001	74.56 ± 1.34	85.01 ± 2.47	26.82 ± 0.40	29.33 ± 0.30
LD133	0.0072 ± 0.0005	0.007 ± 0.0002	60.31 ± 0.42	38.84 ± 0.51	16.41 ± 0.89	19.44 ± 0.72
小龙二	0.0076 ± 0.0003	0.006 ± 0.0065	71.56 ± 0.35	57.38 ± 0.31	28.89 ± 0.50	31.02 ± 0.21
大龙二	0.0078 ± 0.0005	0.008 ± 0.0014	66.09 ± 1.39	50.16 ± 0.07	28.48 ± 0.60	31.01 ± 0.33
金香玉	0.0035 ± 0.0001	0.010 ± 0.0005	37.91 ± 0.44	52.17 ± 2.05	20.73 ± 0.42	23.26 ± 0.24
腾龙	0.0070 ± 0.0001	0.007 ± 0.0004	53.71 ± 1.41	54.24 ± 0.35	18.51 ± 0.34	20.32 ± 0.76
LD241	0.0073 ± 0.0001	0.008 ± 0.0003	76.24 ± 0.62	64.54 ± 0.92	28.53 ± 0.07	31.26 ± 0.58
桓优一号	0.0040 ± 0.0001	0.008 ± 0.0002	63.81 ± 0.85	69.18 ± 0.35	26.49 ± 0.58	28.81 ± 0.47
标准差	0.0018	0.002	12.62	13.97	0.05	0.05
平均值	0.0061	0.008	63.02	58.94	24.36	26.81
变异系数	0.30	0.20	0.20	0.24	0.21	0.19

表2　13个品质指标的标准化数据

Table 2　The standardized data for 13 quality evaluation indexes

品种	单果重	色度值	果型指数	可溶性固形物	维生素C	可滴定酸	叶绿素	游离酚	结合酚	游离型黄酮	结合型黄酮	游离型DPPH自由基清除率	结合型DPPH自由基清除率
野生	-1.53	-0.55	-0.70	-1.05	0.74	0.42	-0.99	-0.92	1.56	0.91	1.87	0.49	0.50
LD133	0.23	-0.64	-0.97	-0.36	-1.46	-0.50	-0.12	0.61	-0.77	-0.21	-1.44	-1.59	-1.47
小龙二	-0.86	-0.29	1.10	1.00	-0.05	-0.38	0.88	0.81	-1.05	0.68	-0.11	0.90	0.84
大龙二	1.50	-0.11	1.72	0.90	0.56	-0.54	1.10	0.95	-0.20	0.24	-0.63	0.83	0.84
金香玉	-0.56	-0.22	0.18	1.52	-0.37	2.27	-1.77	-1.45	1.40	-1.99	-0.48	-0.72	-0.71
腾龙	1.02	-0.28	-1.09	-0.80	-0.37	-0.09	-0.16	0.50	-0.90	-0.74	-0.34	-1.16	-1.30
LD241	-0.24	2.44	0.16	-0.98	1.76	-0.19	0.14	0.68	0.14	1.05	0.40	0.83	0.89
桓优一号	0.46	-0.35	-0.40	-0.23	-0.80	-0.97	0.92	-1.18	-0.18	0.06	0.73	0.42	0.41

表3　各品种软枣猕猴桃品质主成分的方差贡献率

Table 3　The variance contribution rates of principal component to the quality characteristics of *Actinidia arguta*

解释的总方差						
主成份	初始特征值			提取平方和载入		
	特征值	方差贡献率(%)	累积贡献率(%)	特征值	方差贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	4.764	36.645	36.645	4.764	36.645	36.645
2	3.720	28.613	65.257	3.720	28.613	65.257
3	2.195	16.887	82.145	2.195	16.887	82.145
4	1.236	9.508	91.652	1.236	9.508	91.652
5	0.618	4.756	96.408			
6	0.341	2.621	99.030			
7	0.126	0.970	100.000			

准化的正交旋转法。旋转后,四个主成分互不关联,各自都具有代表性。所以选用四个主成分来代替原有13个成分对软枣猕猴桃进行分析,旨在不影响综合评价软枣猕猴桃品质的基础上,降低其工作量。

表4　软枣猕猴桃成分得分协方差矩阵

Table 4　Covariance matrix of component score of *Actinidia arguta*

成份	1	2	3	4
1	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	1.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	1.000

由图1可知软枣猕猴桃中不同营养指标对主成分的影响,其中游离型和结合型DPPH自由基清除率、游离型和结合型黄酮、维生素C、叶绿素对成分的影响较大。

表5为软枣猕猴桃品质指标的主成分载荷矩阵,它可反映各主成分对软枣猕猴桃品质的影响程度。由表5可知,对第一主成分产生正向影响的品质指标有结合型DPPH自由基清除率、游离型DPPH自由基清除率、游离型黄酮、维生素C、叶绿素。其中,结合型DPPH自由基清除率载荷数最大,数值为0.891,其次为游离型DPPH自由基清除率,数值为0.889。载荷较高但对第一主成分产生负向影响的理化指标有可滴定酸,其数值为-0.572。第一主成分大

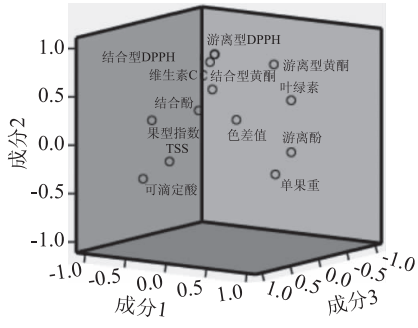

图1　软枣猕猴桃旋转空间中的成分图

Fig.1　The rotated space component of kiwi fruit

时,正向影响最大,DPPH自由基清除率载荷数为0.891,结合型黄酮和维生素C的载荷数分别为0.812、0.707。因为结合型DPPH自由基清除率、游离型DPPH自由基清除率、黄酮类、维生素C等都属于抗氧化性物质,因此第一主成分含量高的软枣猕猴桃种类具有极强的抗氧化特性,抗氧化性物质够消除过多的氧化自由基,对于许多自由基引起的及老化相关疾病都能够预防。

对第二主成分产生负向影响的理化指标有结合酚、结合型黄酮、游离酚,对第二主成分负向影响最大的是结合酚,载荷数为-0.912。结合型黄酮和游离酚的载荷数依次为-0.681、-0.644。第二主成分大时,可滴定酸的含量值会相应增大,而结合酚、结合型黄酮、游离酚这三个指标值会减小。第二主成分

表5　软枣猕猴桃品质指标的主成分载荷矩阵

Table 5　The loading matrix of four principal components

指标	成份			
	1	2	3	4
结合型 DPPH 自由基清除率	0.891	0.328	0.232	−0.203
游离型 DPPH 自由基清除率	0.889	0.320	0.234	0.214
游离型黄酮	0.861	0.049	−0.405	−0.075
维生素 C	0.707	0.485	0.040	0.442
叶绿素	0.688	−0.644	0.013	−0.304
结合酚	−0.200	−0.912	0.114	−0.016
单果重	−0.002	−0.762	0.116	0.036
结合型黄酮	0.812	−0.745	−0.387	−0.319
游离酚	0.470	−0.681	−0.007	0.429
可滴定酸	−0.572	0.625	0.428	0.295
可溶性固形物	−0.160	−0.082	0.954	−0.176
果型指数	0.571	−0.081	0.807	−0.042
色度值	0.617	0.148	0.009	0.670

正向影响中，以可滴定酸的载荷数最大，可滴定酸的含量与 pH 成正相关，选取酸度适宜的软枣猕猴桃，可用于食品的加工、发酵等。如益生性乳酸菌适宜生长的 pH 范围在 4.0 ~6.7 之间[22]，可从酸度适宜的软枣猕猴桃中，通过富集培养提取其益生菌乳酸菌，并用于自身发酵，从而得到一种新型的益生性乳酸菌果浆饮料。

对第三主成分产生较大正向影响的理化指标有 TSS 和果型指数，载荷数分别为 0.954、0.807。对第三主成分产生较大负向影响的理化指标有游离型黄酮和结合型黄酮，载荷数分别为−0.405、−0.387，第三主成分大时，TSS 值和果型指数值也相应增大，而游离型黄酮和结合型黄酮的含量值均会减小。第三主成分正向影响大的成分以可溶性固形物含量最为突出，载荷数最大，可溶性固形物含量高的软枣猕猴桃，营养成分也非常丰富，口感优越，适于食用及制造果脯、果酒等加工型产品。

对第四主成分中产生正向影响最大的品质指标是色度值。说明第四主成分大时，色度值也大。色泽是影响消费者购买欲的重要因素。在市面上，色泽饱满、颜色鲜亮的果实更能引起消费者的购买欲。可通过人工培育，如杂交育种、诱变育种等方式，选育出营养丰富且更加美观的软枣猕猴桃。

2.2.3　软枣猕猴桃的综合评价　通过求特征向量系数值构建四个主成分的函数表达式，

$$特征向量系数=\frac{各指标的成分载荷}{\sqrt{对应主成分的特征值}}$$

可得 4 个函数表达式：

$$Z_1=0.408X_1+0.407X_2+0.395X_3+0.324X_4+0.316X_5-0.224X_6-0.001X_7+0.173X_8+0.216X_9-0.262X_{10}+0.073X_{11}+0.262X_{12}+0.283X_{13}$$

$$Z_2=0.170X_1+0.166X_2+0.025X_3+0.251X_4-0.334X_5+0.473X_6-0.395X_7+0.386X_8-0.353X_9+0.324X_{10}-0.042X_{11}-0.042X_{12}+0.077X_{13}$$

$$Z_3=0.157X_1+0.158X_2-0.274X_3+0.027X_4+0.009X_5+0.077X_6+0.078X_7-0.261X_8-0.005X_9+0.289X_{10}+0.645X_{11}+0.545X_{12}+0.006X_{13}$$

$$Z_4=-0.183X_1-0.193X_2-0.068X_3+0.398X_4-0.274X_5-0.014X_6+0.032X_7-0.287X_8+0.386X_9+0.266X_{10}-0.159X_{11}-0.038X_{12}+0.604X_{13}$$

Z_1、Z_2、Z_3、Z_4 分别代表第一、第二、第三、第四，四个主成分的特征向量权重值。

4 个表达式中，X_1 为结合型 DPPH 自由基清除率、X_2 为游离型 DPPH 自由基清除率、X_3 为游离型黄酮、X_4 为维生素 C、X_5 为叶绿素、X_6 为结合酚、X_7 为单果重、X_8 为结合型黄酮、X_9 为游离酚、X_{10} 为可滴定酸、X_{11} 为可溶性固形物、X_{12} 为果型指数、X_{13} 为色差值。由方差贡献率和主成分函数表达式求综合评价函数可得：$F=0.37Z_1+0.29Z_2+0.17Z_3+0.10Z_4$。

根据主成分综合批评函数值可知 8 个品种的软枣猕猴桃的综合得分和排序结果（表6），综合得分在前二位的软枣猕猴桃是 LD241 和大龙二。

根据表 5 可知，对第一主成分的正向影响最为显著的指标有结合型 DPPH 自由基清除率和游离型 DPPH 自由基清除率。由表 1 可知，结合型 DPPH 自由基清除率和游离型 DPPH 自由基清除率含量排在前二位的软枣猕猴桃是大龙二和 LD241，因此，大龙二和 LD241 这二个品种的软枣猕猴桃在第一主成分上得分最高。综合表6，可知大龙二和 LD241 得分排前二位且第一主成分的方差贡献率最大，因此，这两种软枣猕猴桃的综合评价也在前二位。

虽然野生型软枣猕猴桃结合型 DPPH 自由基清

表6　8 个品种软枣猕猴桃主成分因子得分

Table 6　Scores of the principal component factor from 8 varieties of *Actinidia arguta*

品种	1	2	3	4	F	排序
野生	−0.02	0.95	−0.26	−0.05	0.62	3
LD133	−0.78	−0.65	−0.18	−0.03	−1.64	8
小龙二	0.80	−0.19	0.19	−0.01	0.41	4
大龙二	0.77	−0.43	0.31	0.01	0.66	2
金香玉	−1.21	0.60	0.38	0.02	−0.21	5
腾龙	−0.60	−0.46	−0.21	0.02	−1.25	7
LD241	0.97	0.27	−0.11	0.23	1.36	1
桓优一号	0.13	−0.07	−0.12	−0.16	−0.22	6

除率和游离型 DPPH 自由基清除率含量排在第四位,但其结合酚、结合型黄酮及可滴定酸含量较高,即第二主成分的正向影响较大,因此,野生型软枣猕猴桃在主成分因子得分中位于第三。

LD133 的游离型 DPPH 自由基清除率和结合型 DPPH 自由基清除率的抗氧化性低,且对第一主成分负向影响大的成分含量高,代表对第一主成分的正向影响小,负向影响大,因此 LD133 果的主成分因子得分最低。综合得分也最低,位于所有软枣猕猴桃的最后一位。

3 结论

通过测定 8 个不同品种软枣猕猴桃的外观品质指标及营养含量指标,比较了辽宁省丹东市 8 个不同主栽品种软枣猕猴桃的品质差异,虽然单个品质指标差异并不明显,可能是与利用自然变异选择突变株有关,这种选育方式降低了软枣猕猴桃品种间的遗传多样性,但综合差异较为明显。通过主成分分析法,可将各个品种的软枣猕猴桃的差异性品质指标进行分类,由此可知,大龙二和 LD241 这两种软枣猕猴桃的抗氧化性物质含量丰富,可提取出其有效性抗氧化物成分,用于抗氧化活性的深入探讨及功能性食品的研究。LD241 软枣猕猴桃的色泽饱满,颜色鲜亮,加强了消费者的购买欲。通过主成分分析法,可提高 8 个品种软枣猕猴桃的合理利用率,根据需求选取不同品种的软枣猕猴桃进行分类加工利用。为获得品质优良、差异显著及多用途的猕猴桃品种,可采用杂交育种、诱变育种及转基因育种等方法。

参考文献

[1]张敏,王贺新,娄鑫,等.世界软枣猕猴桃品种资源特点及育种趋势[J].生态学杂志,2017,36(11):3289-3297.
[2]施春晖,王晓庆,叶正文,等.上海地区 15 个猕猴桃品种引种适应性比较[J].上海交通大学学报,2014,32(3):1-6.
[3]蔡慧.不同处理对软枣猕猴桃采后生理生化的影响[D].长春:吉林农业大学,2012:1-2.
[4]史彩虹,李大伟,赵余庆,等.软枣猕猴桃的化学成分和药理活性研究进展[J].现代药物与临床,2011,26(3):203-205.
[5]金钟.沙棘叶黄酮提取物体内外抗氧化活性、应用与护肝作用的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2014:14-15.
[6]齐岩,檀昕,程安玮,等.葡萄皮和籽中游离酚和结合酚组成及抗氧化活性比较[J].核农学报,2017,31(1):104-109.
[7]朱春秋,程代,姜微波,等.枣果皮结合酚的大鼠体内吸收及抗氧化能力研究[J].食品工业科技,2012,33(3):352-353.
[8]易盼盼.不同猕猴桃品种溃疡病抗性鉴定及抗性相关酶研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014:1-4.
[9]黄圆博,姜丹,李旭,等.软枣猕猴桃苗木繁育技术研究[J].延边大学农学学报,2017,39(3):30-33.
[10]崔雪艳.软枣猕猴桃组织培养技术研究[J].园艺与种苗,2017,31(4):1-2.
[11]焦中高,胡丽娜,张春岭,等.采后 UV-C 处理对软枣猕猴桃果实酚类物质及抗氧化活性的影响[J].现代食品科技,2016,32(11):177-183.
[12]Wojdylo A, Nowicka P, Golis T, et al. Phytochemical compounds and biological effect of Actinidia fruits[J].Journal of Function Foods,2017,30(1):194-202.
[13]Sohn KH,Kim BK,Kim JY,et al.Fixed food eruption caused by *Actinidia arguta*(hardy kiwi): A case report and literature review[J].Allergy Asthma Immunol Res,2017,9(2):182-184.
[14]Madssen H L,Bertelsen G,et al.Spices as antioxidants[J]. Trends in Food Science and Technology,1995,6(8):271-277.
[15]Li Xia,Wang Tingting,Zhou Bin,et al.Chemical composition and antioxidant and anti-inflammatory potential of peels and flesh from 10 different pear varieties[J]. Food Chemistry, 2014, 23(152):531-538.
[16]Myrna On,Bdla Sb,Philip E,et al.Simultaneous detection of dehy droascorbic, ascorbic and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC[J]. Food Chemistry, 1992, 1002(40): 1127-1129.
[17]陈启亮,陈庆红,秦仲麒,等.中国猕猴桃新品种选育成就与展望[J].中国南方果树,2009,38(2):70-75.
[18]曹建康,姜微波,赵玉梅,等.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2017:28-37.
[19]栾云峰.软枣猕猴桃黄酮的提取分离纯化及结构鉴定[D].沈阳:沈阳农业大学,2011:9-14.
[20]刘天行,郭佳,辛志宏,等.小米中结合型酚类化合物的分离与鉴定[J].南京农业大学学报,2014,37(1):138-142.
[21]马娟娟.山楂叶黄酮的提取、纯化及分离技术研究[D].泰安:山东农业大学,2016:17-18.
[22]王振宇,孔子浩,林少玲,等.鲜莲结合酚的提取及其抗氧化活性研究[J].食品科学,2018,39(10):304-311.
[23]张金宏.苹果渣中游离酚和结合酚的提取及其功能特性的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016:10-12.
[24]张李青,张名位,张瑞芬,等.5 种籼稻品种谷壳中游离态和结合态酚类物质含量及抗氧化活性比较[J].中国农业科技,2012,45(6):1150-1158.
[25]孟庆焕.牡丹种皮黄酮提取分离与抗氧化及抗疲劳作用研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2013:15-17.
[26]闫琳娜.松针落叶总黄酮的提取、纯化及抗氧化性能分析[D].长春:吉林大学,2009:22-29.
[27]李梁,高畅,刘镇东,等.不同方式制备苹果梨膳食纤维成分测定与分析[J].食品工业科技,2018,39(1):322-324.
[28]陈汉哲,刘妹璇,刘晔玮,等.不同地区锁阳营养成分的测定与分析[J].食品科学,2016,41(7):277-278.
[29]曾亮,傅丽亚,黎盛,等.不同品种和花期茶树花挥发性物质的主成分和聚类分析[J].食品科学,2015,36(16): 89-91.
[30]王益民,张珂,王玉,等.不同品种枸杞子营养成分分析与评价[J].食品科学,2014,35(1):36-37.