基于主成分分析与聚类分析的中、早熟桃品种制汁品质评价

张春岭，刘　慧，刘杰超，吕真真，杨文博，王力荣，焦中高*
（中国农业科学院郑州果树研究所，河南 郑州　450009）

摘　要：为了探讨桃果实品种和成熟度对出汁率和桃汁品质的影响，选择适宜的制汁品种，对15 个中、早熟桃品种3 个成熟度（I、II、III）果实的出汁率以及桃汁的糖、酸组分及质量浓度、总酚质量浓度、褐变度等15 个指标进行测定，运用描述性分析、主成分分析和聚类分析对桃汁品质进行综合评价。结果表明：不同品种和成熟度桃果实制备的桃汁品质差异较大。主成分分析一共提取了5 个主成分，反映了原变量80.333%的信息。第一、第二主成分主要综合了糖、酸质量浓度的信息；第三、第四主成分主要综合了出汁率和色泽的信息；第五主成分主要综合了总酚质量浓度和褐变度的信息。在第一主成分和第二主成分得分图上，综合得分排名较高和较低的品种可以明显区分；通过第一主成分和第三主成分得分图可以将3 个成熟度很好地区分。聚类分析将45 个样品聚为6 类，与主成分分析结果基本一致。在所有样品中，综合得分排名第一的是‘中油桃12号’-III，排名最后的是‘中桃1号’-I。整体而言，黄肉品种桃汁的综合品质较好，中熟品种优于早熟品种，成熟度高的原料制得的桃汁品质较好。

关键词：品种；成熟度；主成分分析；聚类分析；制汁品质

Evaluation of Juice Quality of Mid-Early Ripening Peach Varieties Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

ZHANG Chunling, LIU Hui, LIU Jiechao, LÜ Zhenzhen, YANG Wenbo, WANG Lirong, JIAO Zhonggao*
(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou　450009, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of different varieties and maturities of peach on the yield and quality of peach juice and to select the optimal variety for juice processing. A total of 45 peach juices from 15 mid-early ripening cultivars harvested at 3 maturities (I, II and III) were measured for 15 quality indicators including sugar, acid, total phenols and browning degree and comprehensive evaluation of their quality was investigated by conventional descriptive statistics, principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). The results showed that quality indicators varied significantly among different peach cultivars and maturities. A total of 5 principal components were extracted through PCA, which represented 80.333% of the total variability. The first and second principal components (PC1 and PC2) were related to total sugar and acid concentrations. The third and fourth principal components (PC3 and PC4) were related to juice yield and color. The fifth principal component was related to total phenolic concentration and browning degree. In the PC1 versus PC2 score plot, the cultivars with higher comprehensive scores were clearly separated from those with lower comprehensive scores. In the PC1 versus PC3 score plot, the three maturities were clearly discriminated. CA classified the 45 samples into 6 groups on the basis of the measured parameters and the results were consistent with the PCA. The white-fleshed nectarine cultivar ‘Zhongyoutao 12’ harvested at maturity III ranked first in terms of comprehensive score among all these samples, while the white-fleshed peach cultivar ‘Zhongtao 1’ harvested at maturity I ranked last. Overall, peach juice from the yellow-fleshed cultivars had better quality, and the mid-ripening varieties had better quality than the early-ripening varieties. The quality of peach juice was better at higher maturity levels.

Keywords: cultivar; maturity; principal component analysis; cluster analysis; juice quality
DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190222-137

收稿日期：2019-02-22
基金项目：中国农业科学院科技创新工程专项（CAAS-ASTIP-2019-ZFRI）；河南省重点研发与推广项目（182102110035）
第一作者简介：张春岭（1983—）（ORCID: 0000-0003-4493-9610），男，副研究员，博士研究生，研究方向为果品营养与加工。
E-mail: zhangchunling@caas.cn
*通信作者简介：焦中高（1972—）（ORCID: 0000-0002-2439-7706），男，副研究员，博士，研究方向为果品营养与加工。
E-mail: jiaozhonggao@caas.cn

中图分类号：TS255.44 文献标志码：A 文章编号：1002-6630（2019）17-0141-09

引文格式：

张春岭, 刘慧, 刘杰超, 等. 基于主成分分析与聚类分析的中、早熟桃品种制汁品质评价[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 141-149. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190222-137. http://www.spkx.net.cn

ZHANG Chunling, LIU Hui, LIU Jiechao, et al. Evaluation of juice quality of mid-early ripening peach varieties based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Food Science, 2019, 40(17): 141-149. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190222-137. http://www.spkx.net.cn

桃树（*Prunus persica* L.）属蔷薇科（Rosaceae）李属（*Prunus* L.）桃亚属（*Amygdalus* L.），是多年落叶生果树，原产于中国，栽培历史长达4 000 年之久[1]。桃作为鲜食水果味美多汁，含有多种营养物质和矿质元素，深受人们喜爱。近年来，桃在我国种植面积和产量迅速增加，联合国粮食及农业组织统计数据显示，截至2016年，世界桃种植面积和产量分别达到了164万 hm^2和2 498万 t，中国分别占51.1%和57.9%，均为世界第一[2]。但是桃采收期相对集中，且在采收后由于微生物及内源酶等因素的影响容易腐烂变质[3-4]，给贮藏、运输和销售造成很大困难，制约了桃产业的发展。发展桃的深加工，延伸桃产业链，对促进桃产业可持续发展具有重要作用。目前国内桃加工产品众多，其中以桃汁为主[5]。桃汁含有糖类、蛋白质、果胶、膳食纤维和多种维生素等营养物质，还含有多种矿质元素，有补中益气、养阴生津、润肠通便的功效，深受消费者喜爱。但是目前桃产业品种结构不合理，缺少适宜加工的品种[6]，开展桃制汁品质评价，筛选适宜制汁的桃品种显得尤为迫切。

目前，国内外关于桃汁的研究主要集中在桃汁加工贮藏过程中的品质变化[7-8]以及加工工艺的优化改良方面[9-11]。品种差异对制汁品质影响较大，所以选择适宜的制汁品种对桃汁加工具有重要意义。关于不同桃品种制汁适宜性的研究亦有报道，王力荣等对制汁用桃的质量指标进行了研究[12]，并且对制汁用桃品种进行了初步评价[13]，但没有涉及桃汁品质的多指标综合评价。焦艺等对不同品种油桃[14]和蟠桃[15]的制汁特性分别进行了评价；Lyu Jian等[16]研究了18 个品种白肉桃的品质特性，但是所选品种以晚熟品种居多，而且没有对不同果肉颜色以及不同成熟度的桃汁品质进行对比研究。我国桃品种多样，现有栽培品种达200 个以上，其中尤以早、中熟桃居多，约占桃树栽培面积的70%以上[17]。而早、中熟桃成熟时正值高温季节，销售不及时极易造成腐烂变质，采后损失严重。因此，开展早、中熟桃品种制汁适宜性评价，对于桃的合理加工利用具有重要意义。本研究对15 个早、中熟桃品种的3 个成熟度共计45 个桃汁样品的15 项品质指标进行测定分析，利用主成分分析和聚类分析对桃制汁品质进行评价，筛选适宜制汁的桃品种，为桃加工产业的发展提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本研究中15 个品种3 个成熟度的桃果实于2017年5月—8月采自郑州果树研究所新乡实验基地，各品种试验树的栽植株行距为2 m×4 m，南北行向，立地条件、栽培方式和田间管理水平一致，采样时间及名称见表1。为保证所采样品的均匀一致，每个品种从3 株果树的不同部位选取40 个共约10 kg的果实。参考王力荣等[12]的调查标准分为3 个采样成熟度，分别标记为I、II、III。

表1 桃品种及采样时间

Table 1 Cultivars of peach and sampling time

编号	名称	分类	采样时间	编号	名称	分类	采样时间
1	中油桃11号-I	白肉油桃	2017-05-15	24	中油桃14号-III	白肉油桃	2017-06-20
2	中油桃11号-II		2017-05-20	25	中油桃13号-I	白肉油桃	2017-06-18
3	中油桃11号-III		2017-05-25	26	中油桃13号-II		2017-06-26
4	中桃1号-I	白肉普通桃	2017-05-15	27	中油桃13号-III		2017-06-29
5	中桃1号-II		2017-05-19	28	中桃5号-I	白肉普通桃	2017-07-10
6	中桃1号-III		2017-05-22	29	中桃5号-II		2017-07-17
7	红芒果-I	黄肉油桃	2017-05-20	30	中桃5号-III		2017-07-26
8	红芒果-II		2017-05-25	31	蟠桃36-3-I	白肉蟠桃	2017-06-07
9	红芒果-III		2017-05-30	32	蟠桃36-3-II		2017-06-11
10	春蜜-I	白肉普通桃	2017-05-31	33	蟠桃36-3-III		2017-06-17
11	春蜜-II		2017-06-05	34	风味皇后-I	黄肉蟠桃	2017-06-18
12	春蜜-III		2017-06-12	35	风味皇后-II		2017-06-26
13	中油桃12号-I	白肉油桃	2017-05-28	36	风味皇后-III		2017-06-29
14	中油桃12号-II		2017-06-02	37	中油桃8号-I	黄肉油桃	2017-07-30
15	中油桃12号-III		2017-06-08	38	中油桃8号-II		2017-08-03
16	中油桃4号-I	黄肉油桃	2017-06-07	39	中油桃8号-III		2017-08-09
17	中油桃4号-II		2017-06-13	40	美洲佳甜-I	红肉普通桃	2017-06-09
18	中油桃4号-III		2017-06-17	41	美洲佳甜-II		2017-06-13
19	春美-I	白肉普通桃	2017-06-12	42	美洲佳甜-III		2017-06-17
20	春美-II		2017-06-17	43	晚艳红-I	红肉普通桃	2017-07-08
21	春美-III		2017-06-20	44	晚艳红-II		2017-07-12
22	中油桃14号-I	白肉油桃	2017-06-03	45	晚艳红-III		2017-07-17
23	中油桃14号-II		2017-06-13				

注：I、II、III代表3 个成熟度。

蔗糖、葡萄糖、果糖标准品 美国Sigma公司；甲醇、乙腈（均为色谱纯） 北京迪马科技有限公司；其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

JYL-C52V打浆机 九阳股份有限公司；L-550离心机 湖南湘仪离心机仪器有限公司；SPECORD 50紫外-可见分光光度计 德国耶拿分析仪器股份公司；Re-52A旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂；X-Rite SP62色差计 美国爱色丽公司；Acquity超高效液相色谱仪 美国Waters公司。

1.3 方法

1.3.1 桃汁的制备

参考Garza等[18]的方法，略有改动。桃果实清洗，去皮、去核，切成5 mm^3左右的小块，90 ℃热烫60 s灭酶，打浆机打浆，冷却后加入质量分数0.1%果胶酶，50 ℃水浴40 min。冷却至室温后加入质量分数10%硅藻土搅拌均匀，4 000 r/min离心10 min，上清液即为桃汁样品。

1.3.2 出汁率的测定

采用1.3.1节的方法制汁，所得果汁质量与样品质量之比即为出汁率。

1.3.3 色泽指标、褐变度的测定

色泽指标测定参考Onsekizoglu等[19]的方法，结果以*L**、*a**、*b**值表示。

褐变度的测定参考Meydav等[20]的方法。取适量果汁样品，于9 000 r/min离心20 min，用0.45 μm滤膜过滤，以蒸馏水为空白，在420 nm波长处测定吸光度。

1.3.4 桃汁组分的测定

可溶性固形物质量分数（soluble solid content，SSC）[21]、可滴定酸质量分数[22]、总糖质量浓度[23]、单体糖质量浓度[24]、有机酸质量浓度[25]、氨基酸态氮质量浓度[26]参照相应行业标准和国家标准方法测定。总酚质量浓度的测定参考Abid等[27]的方法，采用Folin-Ciocalteu法，结果以没食子酸质量计。

1.4 数据统计与分析

除特殊说明外，所有指标测定均重复3 次，结果均为3 次平行实验的平均值。参考Tian You等[28]的方法，采用Excel 2007、SPSS 19.0软件对数据进行描述性分析、主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 桃汁品质指标描述性分析

对45 个桃汁样本的品质指标按照成熟度（I、II、III）进行分类，结果分别见表2（成熟度I）、表3（成熟度II）和表4（成熟度III）。从表2可以看出，在成熟度I的各个样品中，‘中油桃8号’-I（37）具有最高的褐变度、出汁率、*b**值、SSC和总糖、氨基酸态氮、蔗糖质量浓度；‘中油桃11号’-I（1）具有最高的总酚质量浓度和可滴定酸质量分数以及最低的褐变度、*L**值和总糖、蔗糖、葡萄糖、果糖、柠檬酸质量浓度；‘风味皇后’-I（34）具有最高的*L**值和葡萄糖、果糖和苹果酸质量浓度以及最低的*a**值；‘中油桃14号’-I（22）*a**值最高；‘美洲佳甜’-I（40）*b**值最低。从表3可以看出，在成熟度II的各个样品中，‘风味皇后’-II（35）具有最高的*b**值、SSC和氨基酸态氮、葡萄糖、果糖、苹果酸、柠檬酸质量浓度；‘中油桃8号’-II（38）具有最高的褐变度、出汁率和*L**值；‘中油桃12号’-II（14）具有最高的总糖、蔗糖质量浓度以及最低的出汁率；‘中油桃11号’-II（2）具有最高的总酚质量浓度和可滴定酸质量分数，以及最低的褐变度和总糖、蔗糖、葡萄糖、果糖、柠檬酸质量浓度；‘中油桃14号’-II（23）具有最高的*a**值以及最低的*b**值、总酚质量浓度和可滴定酸质量分数；‘晚艳红’-II（44）具有最低的氨基酸态氮质量浓度；‘红芒果’-II（8）具有最低的*L**值和果糖质量浓度；‘中桃1号’-II（5）具有最低的*a**值、SSC和苹果酸质量浓度。从表4可以看出，在成熟度III的各个样品中，‘风味皇后’-III（36）具有最高的氨基酸态氮、葡萄糖、果糖、苹果酸和柠檬酸质量浓度；‘中油桃14号’-III（24）具有最高的褐变度、*a**值以及最低的可滴定酸质量分数；‘中油桃12号’-III（15）具有最高的总糖、总酚质量浓度以及最低的出汁率；‘红芒果’-III（9）具有最高的*b**值、SSC和蔗糖质量浓度；‘中油桃11号’-III（3）具有最高的可滴定酸质量分数以及最低的*b**值和苹果酸质量浓度；‘中油桃4号’-III（18）和‘中油桃8号’-III（39）分别具有最高的出汁率和*L**值；‘中桃1号’-III（6）具有最低的褐变度、SSC和总糖、蔗糖、葡萄糖和果糖质量浓度；‘春蜜’-III（12）具有最低的*L**值和总酚质量浓度；‘美洲佳甜’-III（42）、‘红芒果’-III（9）和‘蟠桃36-3’-III（33）分别具有最低的氨基酸态氮质量浓度、柠檬酸质量浓度和*a**值。以上结果表明，不同品种和成熟度的桃汁各项品质指标之间均存在差异性。总体来说，随着成熟度的增加，桃汁出汁率、*L**值、SSC和总糖、氨基酸态氮、蔗糖、葡萄糖、果糖质量浓度增加，可滴定酸质量分数和总酚、苹果酸、柠檬酸质量浓度减小，而褐变度、*a**值、*b**值在不同成熟度之间的变化无规律，这可能与所选实验材料包含不同果肉颜色的品种有关。通过描述性分析结果可以看出，实验所选桃汁样本品质指标测定值离群点较少，桃汁品质特性差异较大，具有一定的广泛性和代表性。

表 2 不同品种桃汁品质指标（成熟度I）

Table 2 Quality indicators of peach juice from different cultivars harvested at maturity I

样品编号	褐变度	总糖质量浓度/（mg/mL）	总酚质量浓度/（mg/L）	可滴定酸质量分数/%	氨基酸态氮质量浓度/（mg/100 mL）	出汁率/%	L^*	a^*	b^*	SSC/%	蔗糖质量浓度/（mg/mL）	葡萄糖质量浓度/（mg/mL）	果糖质量浓度/（mg/mL）	苹果酸质量浓度/（mg/mL）	柠檬酸质量浓度/（mg/mL）
1	0.06^{m}	46.79^{i}	79.00^{a}	1.11^{a}	31.10^{i}	60.40^{h}	15.74^{i}	-0.92^{ef}	3.42^{ef}	7.00^{d}	25.26^{i}	5.12^{i}	6.41^{j}	$1\,858.17^{g}$	$1\,024.64^{l}$
4	0.14^{k}	50.15^{i}	59.44^{d}	0.87^{d}	31.14^{i}	72.80^{fg}	20.90^{fgh}	-0.94^{efg}	4.24^{bcd}	5.40^{e}	27.69^{i}	5.24^{hi}	7.22^{i}	$1\,758.53^{h}$	$1\,668.70^{e}$
7	0.23^{g}	60.52^{fg}	77.04^{b}	0.54^{h}	32.11^{h}	75.70^{e}	19.09^{h}	-0.33^{d}	1.49^{g}	8.00^{bc}	38.70^{f}	5.44^{h}	6.38^{j}	$1\,111.19^{k}$	$1\,182.64^{j}$
10	0.21^{h}	59.23^{h}	38.30^{h}	0.68^{g}	39.64^{e}	76.25^{e}	22.90^{bcde}	0.11^{c}	4.60^{bcd}	7.10^{d}	31.57^{h}	8.15^{de}	9.51^{de}	$1\,878.47^{g}$	$2\,208.51^{c}$
13	0.39^{b}	77.97^{b}	41.02^{g}	0.45^{i}	30.74^{ij}	75.28^{e}	24.31^{abc}	1.01^{b}	4.05^{cde}	8.40^{b}	50.68^{a}	8.05^{e}	9.24^{ef}	$1\,032.05^{l}$	$1\,492.93^{g}$
16	0.19^{i}	69.43^{d}	51.29^{e}	0.92^{cd}	30.75^{ij}	77.40^{d}	23.35^{abcd}	-0.25^{d}	4.29^{bcd}	8.20^{bc}	41.65^{d}	8.02^{e}	9.76^{cd}	$1\,561.53^{i}$	$1\,010.90^{l}$
19	0.37^{c}	61.02^{f}	43.09^{f}	0.74^{fg}	31.45^{hi}	78.50^{c}	22.55^{cdef}	-1.17^{g}	3.90^{def}	7.40^{d}	34.53^{g}	7.86^{e}	8.63^{g}	$1\,361.71^{j}$	$1\,351.22^{h}$
22	0.25^{e}	69.52^{d}	34.40^{j}	0.51^{hi}	46.69^{c}	75.90^{e}	21.20^{efg}	3.57^{a}	4.78^{bc}	8.40^{b}	45.54^{b}	6.62^{g}	7.36^{i}	$1\,717.19^{h}$	$1\,814.61^{d}$
25	0.16^{j}	59.95^{gh}	51.06^{e}	0.78^{ef}	33.92^{g}	73.10^{fg}	21.21^{efg}	0.20^{c}	4.70^{bcd}	7.10^{d}	31.12^{h}	8.89^{c}	9.94^{c}	$2\,415.31^{c}$	$1\,613.88^{f}$
28	0.29^{d}	71.75^{c}	32.59^{k}	0.69^{g}	31.41^{hi}	80.00^{b}	22.25^{def}	-1.17^{g}	3.97^{cdef}	8.60^{b}	44.22^{c}	8.35^{d}	9.18^{f}	$2\,252.30^{d}$	$1\,262.72^{i}$
31	0.14^{k}	68.46^{e}	42.93^{f}	0.99^{b}	38.08^{f}	73.80^{f}	23.85^{abcd}	-1.10^{fg}	3.20^{f}	8.40^{b}	39.96^{e}	8.73^{c}	9.77^{cd}	$2\,229.26^{d}$	$1\,245.89^{j}$
34	0.24^{f}	77.69^{b}	43.08^{f}	0.87^{d}	49.50^{b}	72.30^{g}	24.87^{a}	-1.51^{h}	4.97^{b}	9.30^{a}	41.44^{d}	12.29^{a}	13.96^{a}	$3\,187.01^{a}$	$2\,236.33^{b}$
37	0.46^{a}	81.33^{a}	36.17^{i}	0.71^{g}	51.54^{a}	82.60^{a}	24.82^{ab}	-1.72^{h}	7.22^{a}	9.70^{a}	50.75^{a}	9.62^{b}	10.96^{b}	$3\,041.66^{b}$	$1\,611.88^{f}$
40	0.24^{f}	65.88^{e}	43.50^{f}	0.96^{bc}	44.44^{d}	79.70^{b}	20.14^{gh}	0.12^{c}	3.21^{f}	7.90^{c}	39.19^{ef}	7.96^{e}	8.73^{g}	$2\,147.15^{e}$	$2\,345.26^{a}$
43	0.11^{l}	69.66^{d}	69.62^{c}	0.81^{de}	29.94^{j}	77.40^{d}	22.41^{cdef}	-0.78^{e}	4.46^{bcd}	8.20^{bc}	44.64^{bc}	6.95^{f}	8.07^{h}	$2\,013.45^{f}$	$1\,050.65^{k}$
平均值	0.23	65.96	49.50	0.78	36.83	75.41	21.97	−0.33	4.17	7.94	39.13	7.82	9.01	1 971.00	1 541.38
中位数	0.23	68.46	43.09	0.78	32.11	75.90	22.41	−0.78	4.24	8.20	39.96	8.02	9.18	1 878.47	1 492.93
变异系数/%	47.30	14.88	30.49	24.04	20.75	6.72	11.00	396.26	29.10	13.12	19.84	23.56	21.26	31.19	29.00

注：编号对应的样品名称见表1；同列肩标小写字母不同表示差异显著（$P<0.05$）。下同。

表 3 不同品种桃汁品质指标（成熟度II）

Table 3 Quality indicators of peach juice from different cultivars harvested at maturity II

样品编号	褐变度	总糖质量浓度/（mg/mL）	总酚质量浓度/（mg/L）	可滴定酸质量分数/%	氨基酸态氮质量浓度/（mg/100 mL）	出汁率/%	L^*	a^*	b^*	SSC/%	蔗糖质量浓度/（mg/mL）	葡萄糖质量浓度/（mg/mL）	果糖质量浓度/（mg/mL）	苹果酸质量浓度/（mg/mL）	柠檬酸质量浓度/（mg/mL）
2	0.09^{j}	48.49^{n}	83.01^{a}	0.96^{a}	31.99^{h}	77.30^{h}	24.39^{abc}	-1.27^{g}	5.36^{cd}	7.30^{e}	27.03^{i}	5.10^{i}	6.36^{k}	$1\,509.61^{l}$	$1\,222.51^{j}$
5	0.12^{j}	50.47^{m}	65.75^{c}	0.80^{cd}	33.74^{fg}	78.20^{g}	24.61^{abc}	-1.74^{h}	5.87^{bc}	6.60^{f}	27.82^{i}	6.23^{g}	6.42^{k}	$1\,216.55^{m}$	$1\,317.66^{h}$
8	0.16^{h}	71.78^{j}	72.14^{b}	0.58^{i}	38.11^{c}	77.50^{h}	20.31^{d}	-0.78^{f}	2.96^{g}	9.90^{b}	50.14^{c}	5.37^{h}	6.27^{k}	$1\,822.51^{i}$	810.09^{m}
11	0.14^{i}	75.07^{fg}	44.38^{f}	0.61^{hi}	36.75^{d}	79.30^{ef}	24.03^{bc}	1.74^{c}	3.81^{f}	9.30^{c}	43.49^{f}	10.20^{b}	11.38^{b}	$1\,587.49^{k}$	$1\,522.73^{e}$
14	0.29^{c}	88.68^{a}	34.47^{h}	0.46^{j}	30.18^{i}	76.60^{h}	25.25^{ab}	1.74^{c}	4.79^{de}	10.00^{ab}	58.59^{a}	9.48^{cd}	10.61^{ef}	$1\,654.40^{j}$	$1\,814.22^{b}$
17	0.28^{d}	82.27^{bc}	46.72^{d}	0.87^{bc}	33.06^{g}	80.20^{cd}	24.83^{ab}	-0.76^{f}	4.90^{de}	9.10^{c}	54.39^{b}	8.60^{e}	9.28^{hi}	$2\,085.10^{f}$	$1\,275.18^{i}$
20	0.27^{e}	75.68^{f}	32.14^{i}	0.67^{fg}	34.77^{e}	79.80^{de}	24.20^{abc}	1.86^{c}	3.93^{f}	8.60^{d}	45.93^{e}	9.24^{d}	10.51^{f}	$1\,869.08^{h}$	708.00^{n}
23	0.33^{b}	74.88^{gh}	31.55^{i}	0.43^{j}	44.69^{a}	78.67^{fg}	22.81^{c}	4.38^{a}	1.86^{h}	8.60^{d}	48.63^{d}	7.78^{f}	8.47^{j}	$1\,960.21^{g}$	$1\,554.99^{d}$
26	0.11^{k}	65.08^{l}	45.48^{e}	0.72^{ef}	36.17^{d}	78.90^{fg}	24.38^{abc}	0.55^{d}	3.81^{f}	7.30^{e}	34.10^{h}	9.71^{c}	11.27^{bc}	$2\,776.71^{b}$	$1\,486.14^{f}$
29	0.29^{c}	77.53^{e}	35.24^{g}	0.61^{i}	33.94^{ef}	81.00^{c}	25.06^{ab}	-0.32^{e}	4.36^{ef}	9.20^{c}	47.91^{d}	9.44^{cd}	10.18^{g}	$2\,391.89^{d}$	852.18^{l}
32	0.24^{f}	80.33^{d}	34.32^{h}	0.86^{c}	44.72^{a}	77.60^{h}	24.15^{bc}	-1.26^{g}	5.26^{cd}	8.60^{d}	49.77^{c}	9.73^{c}	10.83^{de}	$2\,490.86^{c}$	$1\,259.02^{i}$
35	0.29^{c}	83.04^{b}	31.66^{i}	0.82^{bc}	45.49^{a}	82.60^{b}	25.09^{ab}	-1.46^{g}	7.88^{a}	10.40^{a}	46.62^{e}	13.33^{a}	13.09^{a}	$3\,007.61^{a}$	$2\,179.58^{a}$
38	0.41^{a}	81.72^{cd}	33.77^{h}	0.65^{gh}	40.67^{b}	83.70^{a}	26.11^{a}	-1.30^{g}	6.20^{b}	9.80^{b}	50.59^{c}	10.04^{b}	11.09^{cd}	$2\,347.32^{e}$	$1\,358.62^{g}$
41	0.29^{c}	68.83^{k}	44.14^{f}	0.88^{b}	35.89^{d}	82.70^{ab}	24.07^{bc}	3.34^{b}	2.97^{g}	8.50^{d}	40.67^{g}	8.61^{e}	9.55^{h}	$1\,531.23^{l}$	$1\,748.77^{c}$
44	0.19^{g}	72.86^{i}	44.57^{f}	0.74^{de}	28.53^{j}	80.00^{cd}	23.32^{bc}	-1.15^{g}	4.21^{ef}	8.60^{d}	45.90^{e}	7.91^{f}	9.05^{i}	$1\,854.01^{hi}$	965.12^{k}
平均值	0.23	73.11	45.29	0.71	36.58	79.61	24.17	0.24	4.55	8.79	44.77	8.72	9.62	2 006.97	1 338.32
中位数	0.27	75.07	44.14	0.72	35.89	79.30	24.38	−0.76	4.36	8.60	46.62	9.24	10.18	1 869.08	1 317.66
变异系数/%	40.00	45.16	35.33	22.04	14.40	2.69	5.51	809.52	32.60	12.27	20.12	23.87	21.05	25.18	30.17

2.2 桃汁品质指标主成分分析

2.2.1 桃汁品质指标主成分提取

在对样品品质进行评价时，不能只考虑单一特性或几个特性的优劣，而应该对其进行全面、系统、科学的综合评价[29]。主成分分析是利用降维的思想，将多指标转化为少数综合指标，且能够解释较多的原来众多变量信息[30]。本研究以45 个桃汁样品的15 个品质指标构成45×15的矩阵，利用SPSS 19.0软件进行主成分分析。相关矩阵的主成分分析结果见表5、6。共提取出5 个主成分，累计方差贡献率达到80.333%，综合了桃汁品质指标的大部分信息，因此可以用前5 个主成分代替上述15 个品质指标对不同品种和成熟度的桃汁品质进行评价与判断。

表 4 不同品种桃汁品质指标（成熟度III）

Table 4 Quality indicators of peach juice from different cultivars harvested at maturity III

样品编号	褐变度	总糖质量浓度/（mg/mL）	总酚质量浓度/（mg/L）	可滴定酸质量分数/%	氨基酸态氮质量浓度/（mg/100 mL）	出汁率/%	*L**	*a**	*b**	SSC/%	蔗糖质量浓度/（mg/mL）	葡萄糖质量浓度/（mg/mL）	果糖质量浓度/（mg/mL）	苹果酸质量浓度/（mg/mL）	柠檬酸质量浓度/（mg/mL）
3	0.32^{b}	65.85^{k}	54.41^{d}	0.88^{a}	32.74^{i}	79.90^{g}	26.85^{abcd}	-0.15^{g}	1.55^{k}	8.90^{g}	46.53^{h}	6.67^{j}	7.65^{i}	974.34^{l}	870.52^{h}
6	0.12^{k}	47.26^{l}	41.13^{f}	0.72^{d}	35.74^{h}	83.30^{de}	25.54^{cd}	1.50^{d}	3.99^{f}	8.50^{g}	28.57^{i}	6.49^{j}	7.20^{k}	$1\,019.54^{k}$	794.54^{j}
9	0.21^{g}	83.79^{c}	44.31^{e}	0.51^{gh}	44.04^{d}	80.50^{fg}	26.08^{bcd}	-0.78^{hi}	6.61^{a}	11.00^{a}	65.24^{a}	6.21^{k}	7.34^{k}	$1\,527.95^{g}$	457.08^{m}
12	0.23^{f}	76.45^{g}	33.59^{j}	0.53^{gh}	41.65^{e}	82.60^{e}	25.22^{d}	0.26^{fg}	3.49^{b}	9.40^{ef}	48.69^{g}	10.81^{b}	11.95^{c}	$1\,199.97^{j}$	$1\,199.87^{c}$
15	0.23^{f}	88.59^{a}	74.96^{a}	0.49^{h}	35.75^{h}	79.80^{g}	28.10^{a}	-0.11^{g}	2.82^{b}	10.30^{bc}	62.22^{b}	10.15^{d}	11.22^{e}	$1\,244.35^{i}$	$1\,151.37^{d}$
18	0.19^{h}	81.38^{d}	34.33^{j}	0.79^{b}	48.23^{c}	88.00^{a}	26.52^{abcd}	0.30^{f}	5.28^{c}	9.80^{de}	57.50^{d}	8.64^{h}	10.24^{g}	$1\,832.26^{f}$	$1\,052.12^{f}$
21	0.18^{i}	79.11^{f}	37.16^{h}	0.56^{fg}	38.70^{g}	85.10^{bc}	27.54^{ab}	0.04^{g}	3.43^{d}	8.90^{g}	53.70^{e}	9.47^{f}	10.94^{f}	$1\,196.35^{j}$	$1\,139.51^{d}$
24	0.35^{a}	73.84^{h}	35.56^{i}	0.48^{h}	44.65^{d}	85.40^{b}	24.98^{d}	7.77^{a}	2.60^{e}	9.00^{fg}	51.92^{f}	8.15^{i}	8.77^{j}	$1\,828.02^{f}$	$1\,105.01^{e}$
27	0.21^{g}	71.64^{i}	33.45^{j}	0.64^{c}	41.86^{e}	83.70^{cd}	25.96^{bcd}	1.20^{e}	3.36^{ef}	8.70^{g}	44.53^{i}	10.45^{c}	11.66^{d}	$2\,038.50^{e}$	$1\,442.40^{b}$
30	0.28^{e}	85.33^{b}	39.36^{g}	0.57^{fg}	44.84^{d}	82.40^{e}	27.39^{abc}	3.67^{c}	5.11^{g}	9.90^{cd}	59.65^{c}	9.74^{e}	10.94^{f}	$2\,254.21^{c}$	642.61^{k}
33	0.21^{g}	80.25^{e}	33.78^{j}	0.82^{ab}	39.89^{f}	82.40^{e}	25.59^{cd}	-1.01^{i}	4.63^{g}	9.40^{ef}	54.38^{e}	9.94^{de}	10.93^{f}	$2\,182.91^{d}$	825.47^{j}
36	0.12^{k}	83.38^{c}	66.33^{b}	0.77^{cd}	54.12^{a}	83.10^{de}	26.81^{abcd}	-1.26^{j}	6.08^{h}	10.70^{ab}	49.63^{g}	13.91^{a}	14.84^{a}	$2\,970.28^{a}$	$1\,979.37^{a}$
39	0.29^{d}	80.12^{e}	55.96^{c}	0.60^{ef}	49.32^{b}	84.60^{bc}	28.18^{a}	-0.87^{hi}	6.27^{h}	10.00^{cd}	51.71^{f}	10.91^{b}	12.50^{b}	$2\,847.79^{b}$	966.41^{g}
42	0.31^{c}	73.84^{h}	39.80^{g}	0.79^{bc}	33.60^{j}	83.00^{de}	25.12^{d}	6.73^{b}	2.44^{i}	8.80^{g}	49.36^{g}	9.20^{g}	10.28^{g}	$1\,363.73^{h}$	$1\,108.02^{c}$
45	0.15^{j}	69.66^{j}	33.92^{j}	0.51^{gh}	24.14^{j}	81.30^{f}	23.76^{d}	-0.64^{h}	4.48^{j}	8.90^{g}	46.68^{h}	8.40^{hi}	9.58^{h}	$1\,803.98^{f}$	550.34^{l}
平均值	0.21	76.03	43.87	0.64	40.62	83.01	26.24	1.11	4.14	9.48	51.35	9.28	10.40	1 752.28	1 018.98
中位数	0.23	79.11	39.36	0.60	41.65	83.00	26.08	0.04	3.99	9.40	51.71	9.47	10.93	1 803.98	1 052.12
变异系数/%	31.31	13.30	29.80	21.36	18.60	2.66	4.78	251.28	36.67	8.12	16.92	21.50	19.94	35.55	36.84

表 5 桃汁品质指标的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of quality attributes of peach juice

成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	6.013	40.088	40.088
2	2.727	18.182	58.271
3	1.535	10.233	68.504
4	0.931	6.204	74.708
5	0.844	5.624	80.333
6	0.730	4.867	85.200
7	0.573	3.823	89.023
8	0.525	3.500	92.523
9	0.320	2.134	94.657
10	0.307	2.047	96.704
11	0.222	1.482	98.187
12	0.159	1.059	99.245
13	0.094	0.623	99.869
14	0.013	0.085	99.953
15	0.007	0.047	100.000

表 6 主成分分析旋转后的成分载荷矩阵

Table 6 Rotated component matrix of principal component analysis

品质指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
褐变度	0.343	0.107	0.005	−0.040	0.802
总糖质量浓度	0.819	0.380	0.254	0.056	0.213
总酚质量浓度	−0.067	−0.247	−0.361	0.084	−0.748
可滴定酸质量分数	−0.600	0.146	−0.093	0.325	−0.342
氨基酸态氮质量浓度	0.285	0.641	0.106	0.130	0.171
出汁率	0.293	0.059	0.797	−0.044	0.298
*L**	0.380	0.176	0.822	0.064	0.059
*a**	0.086	−0.001	0.109	−0.801	0.326
*b**	0.074	0.278	0.172	0.824	0.157
SSC	0.842	0.254	0.316	0.120	0.037
蔗糖质量浓度	0.906	0.076	0.271	−0.017	0.184
葡萄糖质量浓度	0.265	0.815	0.417	0.066	0.055
果糖质量浓度	0.256	0.813	0.417	0.067	0.012
苹果酸质量浓度	0.054	0.732	−0.077	0.467	0.076
柠檬酸质量浓度	−0.325	0.707	−0.327	−0.053	0.198

注：旋转在6 次迭代后收敛；PC1～PC5.分别表示第1～5主成分。

由表5、6可知，PC1的方差贡献率为40.088%，主要综合了SSC、可滴定酸质量分数和总糖、蔗糖质量浓度的信息，其中SSC和总糖、蔗糖质量浓度在PC1上呈正向分布，可滴定酸质量分数在PC1上呈负向分布，即PC1取值大时，SSC和总糖、蔗糖质量浓度高，可滴定酸质量分数低，主要反映了桃汁的口感品质。第二主成分主要综合了果糖、葡萄糖、苹果酸、柠檬酸和氨基酸态氮质量浓度的信息，葡萄糖和果糖质量浓度对PC2的取值产生重要影响，其能够在一定程度上反映出桃汁的口感品质。第三主成分主要综合了出汁率和*L**值的信息，这两个指标是桃汁加工过程中的重要指标，因此第三主成分主要反映了桃汁的加工品质。第四主成分主要综合了*a**值和*b**值的信息，反映了桃汁的色泽品质。第五主成分主要包含褐变度和总酚质量浓度的信息，PC5取值越大，桃汁的褐变度越高，总酚质量浓度越低，主要反映了桃汁的褐变品质。

2.2.2 不同品种桃汁主成分分析和综合评价

根据主成分的特征值及相应的特征向量，计算各主成分得分，公式如式（1）～（5）所示。

$$F_1=0.214X_1+0.369X_2-0.234X_3-0.173X_4+0.256X_5+0.280X_6+0.305X_7+0.055X_8+0.163X_9+0.339X_{10}+0.324X_{11}+0.331X_{12}+0.323X_{13}+0.181X_{14}+0.026X_{15} \quad (1)$$

$$F_2=-0.149X_1-0.075X_2+0.075X_3+0.365X_4+0.206X_5-0.191X_6-0.101X_7-0.343X_8+0.335X_9-0.097X_{10}-0.244X_{11}+0.238X_{12}+0.245X_{13}+0.444X_{14}+0.364X_{15} \quad (2)$$

$$F_3=0.342X_1-0.082X_2-0.379X_3-0.088X_4+$$

$0.118X_5-0.063X_6-0.221X_7+0.480X_8-0.277X_9-0.253X_{10}-0.182X_{11}+0.086X_{12}+0.066X_{13}+0.045X_{14}+0.490X_{15}$ （3）

$F_4=-0.372X_1-0.251X_2-0.095X_3+0.244X_4-0.085X_5+0.427X_6+0.449X_7+0.185X_8-0.156X_9-0.194X_{10}-0.282X_{11}+0.242X_{12}+0.258X_{13}-0.177X_{14}-0.071X_{15}$ （4）

$F_5=-0.391X_1+0.176X_2-0.470X_3-0.069X_4+0.118X_5-0.284X_6-0.107X_7+0.224X_8-0.499X_9+0.209X_{10}+0.149X_{11}+0.210X_{12}+0.237X_{13}-0.002X_{14}+0.134X_{15}$ （5）

式中：X_1～X_{15}分别对应褐变度、总糖质量浓度、总酚质量浓度、可滴定酸质量分数、氨基酸态氮质量浓度、出汁率、L^*值、a^*值、b^*值、SSC、蔗糖质量浓度、葡萄糖质量浓度、果糖质量浓度、苹果酸质量浓度、柠檬酸质量浓度15 个品质指标。

以5 个主成分对应的方差贡献率作为权重，得到主成分综合评价模型（式（6））。

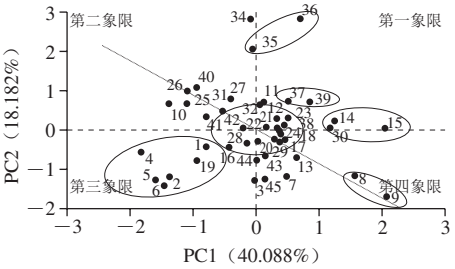
$F_{综}=0.401F_1+0.182F_2+0.102F_3+0.062F_4+0.056F_5$ （6）

表 7 桃汁主成分得分及排名

Table 7 Scores and ranking of principal components in peach juice

编号	品种	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	综合得分	排名
1	中油桃11号-I	−2.176	−0.726	−3.815	0.278	−1.852	−1.480	41
2	中油桃11号-II	−3.766	−2.015	0.408	0.981	−1.350	−1.850	43
3	中油桃11号-III	−0.071	−2.158	0.820	−0.609	−0.277	−0.391	32
4	中桃1号-I	−4.997	−0.937	−1.182	0.322	−0.042	−2.278	45
5	中桃1号-II	−4.371	−2.110	0.754	1.051	−0.415	−2.018	44
6	中桃1号-III	−4.025	−2.366	2.286	−0.319	−0.117	−1.838	42
7	红芒果-I	1.317	−1.972	−2.428	−1.006	−0.691	−0.180	28
8	红芒果-II	4.256	−1.920	−2.186	0.055	−1.108	1.076	7
9	红芒果-III	5.621	−2.837	−0.040	1.590	0.127	1.839	2
10	春蜜-I	−3.807	1.089	−0.652	−0.193	0.779	−1.363	40
11	春蜜-II	0.295	1.150	0.363	−1.089	−0.749	0.255	22
12	春蜜-III	0.877	0.491	1.165	−0.858	−0.128	0.500	14
13	中油桃12号-I	1.755	−1.158	−1.112	−0.476	1.226	0.419	18
14	中油桃12号-II	3.388	0.379	−0.881	−0.490	0.641	1.343	5
15	中油桃12号-III	5.566	0.055	0.237	−1.022	−1.886	2.097	1
16	中油桃4号-I	−1.206	−0.760	0.333	0.231	−0.559	−0.605	34
17	中油桃4号-II	1.193	−0.438	−0.025	0.814	0.144	0.455	15
18	中油桃4号-III	1.054	−0.159	1.840	0.518	0.032	0.615	12
19	春美-I	−2.609	−1.313	−0.285	0.320	1.236	−1.225	39
20	春美-II	0.051	−0.529	0.692	−0.338	0.434	−0.002	24
21	春美-III	0.770	−0.388	1.990	−0.698	−0.407	0.375	19
22	中油桃14号-I	0.408	0.083	−1.999	−0.632	1.374	0.013	23
23	中油桃14号-II	1.387	0.494	−1.453	−1.886	1.274	0.452	16
24	中油桃14号-III	1.040	−0.111	0.421	−2.223	1.272	0.373	20
25	中油桃13号-I	−3.018	1.074	−1.047	0.067	−0.243	−1.131	38
26	中油桃13号-II	−3.033	1.645	0.626	−0.415	−0.642	−0.915	37
27	中油桃13号-III	−1.122	1.297	1.385	−0.862	0.013	−0.125	26
28	中桃5号-I	−0.386	−0.589	−0.452	0.520	0.924	−0.224	31
29	中桃5号-II	1.011	−0.505	0.457	0.483	0.541	0.420	17
30	中桃5号-III	3.183	0.085	1.005	−0.241	0.204	1.391	4
31	蟠桃36-3-I	−1.465	0.804	−0.192	0.062	−0.892	−0.507	33
32	蟠桃36-3-II	0.216	1.077	−0.174	0.941	0.224	0.336	21
33	蟠桃36-3-III	0.927	0.044	1.214	0.655	−0.206	0.533	13
34	风味皇后-I	−0.263	4.676	−1.150	0.355	−0.501	0.622	11
35	风味皇后-II	−0.164	3.379	0.367	1.618	0.740	0.728	9
36	风味皇后-III	1.886	4.687	0.793	0.353	−2.066	1.596	3
37	中油桃8号-I	1.370	1.201	−0.706	2.118	1.985	0.938	8
38	中油桃8号-II	1.193	0.180	0.472	1.377	1.465	0.727	10
39	中油桃8号-III	2.314	1.151	1.193	1.160	−0.258	1.317	6
40	美洲佳甜-I	−2.612	1.786	−1.471	−0.406	0.506	−0.869	36
41	美洲佳甜-II	−2.191	0.563	0.527	−1.267	0.422	−0.777	35
42	美洲佳甜-III	−0.553	0.064	1.183	−2.203	0.315	−0.208	30
43	晚艳红-I	0.382	−1.097	−0.607	0.491	−1.258	−0.148	27
44	晚艳红-II	0.010	−1.291	0.270	0.491	−0.194	−0.184	29
45	晚艳红-III	0.367	−2.073	1.054	0.381	−0.034	−0.101	25

在主成分分析的基础上，根据综合评价模型计算不同品种和成熟度桃汁的综合得分和排名（表7），综合得分越高说明样品综合品质越好。‘中油桃12号’-III（15）、‘红芒果’-III（9）、‘风味皇后’-III（36）、‘中桃5号’-III（30）、‘中油桃12号’-II（14）分别居综合得分的前5 名，说明这5 个桃汁样品的综合品质最好；‘中油桃11号’（1、2、3）、‘中桃1号’（4、5、6）综合得分排名靠后，说明这两个品种的桃汁综合品质最差。



各编号对应的样品名称见表1。下同。

图 1 不同品种桃汁主成分分析PC1、PC2得分图

Fig. 1 PC1 versus PC2 score plot for peach juice from different cultivars

主成分分析得分图已经被广泛应用于反映样品与品质指标之间的关系[31-32]，由图1能够看出，综合得分较高的品种‘中油桃12号’（14、15）、‘红芒果’（8、9）、‘中桃5号’-III（30）、‘风味皇后’（35、36）、‘中油桃8号’（37、39）以及得分排名靠后的品种‘中油桃11号’（1、2）、‘中桃1号’（4、5、6）、‘春美’-I（19）与其他样品都有明显的区分。排名前5 位的样品‘中油桃12号’（14、15）、‘红芒果’-III（9）、‘中桃5号’-III（30）和‘风味皇后’-III（36）均在PC1的正向区间（第一象限和第四象限），其中‘中油桃12号’（14、15）、‘中桃5号’-III（30）和‘风味皇后’-III（36）位于第一象限，说明这些样品的SSC和总糖、蔗糖质量浓度较高，而可滴定酸质量分

数低，糖、酸以及氨基酸态氮的质量浓度适中，因此综合得分排名靠前。而‘红芒果’（8、9）虽然位于第四象限，但由于其在PC1上得分较高（表7），而且PC1的方差贡献率是PC2的2 倍多（表5），因此其在PC2上得分虽然为负值，但是PC1上的得分抵消了PC2的负向影响，综合排名也比较靠前。‘中油桃13号’（25、26、27）、‘春蜜’-I（10）、‘美洲佳甜’（40、41）位于第二象限，说明这些样品SSC和总糖、蔗糖质量浓度低，而可滴定酸质量分数和糖、酸、氨基酸态氮质量浓度相对较高，因此综合得分排名位于中等偏下。‘中油桃11号’（1、2）、‘中桃1号’（4、5、6）和‘春美’-I（19）位于第三象限，说明PC1和PC2的相关指标得分均较低，综合品质较差，综合得分排名在最后几位。位于中心圆环内的样品占总样品的30%以上，这些样品在得分图上的位置相对集中，品质指标比较接近，基本位于综合得分排名的中部。总体而言，以第二和第四象限的45°角为界，位于该直线上半部分的样品综合品质较好，得分排名位于中等及以上；位于该直线下半部分的样品综合品质较差，得分排名位于中等及以下。

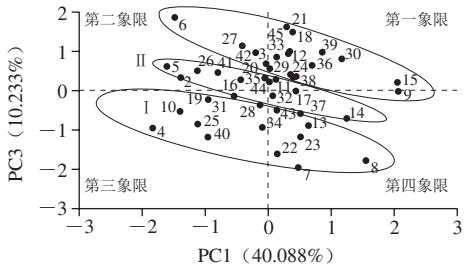


图 2　不同品种桃汁主成分分析PC1、PC3得分图

Fig. 2　PC1 versus PC3 score plot for peach juice from different cultivars

与图1相比可以看出，图2中各样品在得分图上的位置发生改变，由于各样品PC1上的得分没有改变，其位置的改变是由各样品在PC3上得分的改变引起的。PC3主要包含了出汁率和L^*值的信息，由图2中PC3得分轴自下而上可以大概分为3 个区域，这3 个区域分别包含了成熟度I、II、III的样品。说明随着成熟度的增加，各样品的出汁率和L^*值增大，在PC3上的得分增加，这与表7中综合评价结果一致。

其余主成分得分图不再列出。由PC4和PC1得分图可知，位于第一象限的大部分样品为‘红芒果’（8、9）、‘风味皇后’（34、36）、‘中油桃8号’（37、38、39）以及‘晚艳红’（43、45）等黄肉和红肉品种，不仅SSC和总糖、蔗糖质量浓度高，而且果汁色泽品质较好。位于第二象限的为‘中油桃11号’（1、2）、‘中桃1号’（4、5）、‘中油桃4号’-I（16）、‘中油桃13号’-I（25）等样品，虽然在PC4上得分为正值，但是由于其PC1得分较低，综合品质较差。位于第三象限的‘春蜜’-I（10）、‘中油桃13号’（26、27）、‘美洲佳甜’（40、41、42）等样品，SSC和总糖、蔗糖质量浓度低，且色泽品质差，综合排名靠后。位于第四象限的‘中油桃12号’（13、14、15）、‘中油桃14号’（23、24）、‘春蜜’（11、12）等样品虽然色泽品质指标较低，但是SSC和总糖、蔗糖质量浓度高，因此综合排名比较靠前。由PC5和PC1得分图可知，‘中油桃12号’-III（15）、‘风味皇后’-III（36）、‘红芒果’-II（8）位于主成分得分图的第四象限，即PC1的正值区间和PC5的负值区间，说明这些样品SSC和总糖、蔗糖、总酚质量浓度高，褐变度低，品质较好，综合得分排名也较靠前。‘春蜜’-I（10）、‘春美’-I（19）、‘美洲佳甜’-I（40）落在主成分得分图的第二象限，说明SSC和总糖、蔗糖、总酚质量浓度低，褐变度高，品质较差，综合得分排名靠后。

2.2.3　不同品种桃汁的聚类分析

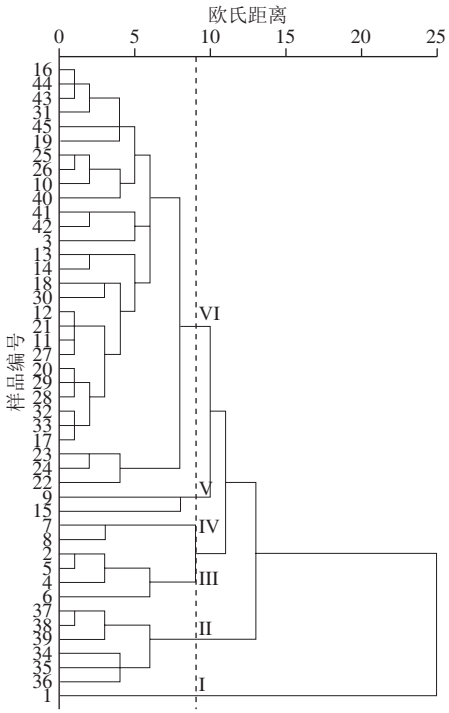


图 3　45 个桃汁样品的聚类分析谱系图

Fig. 3　Dendrogram of HCA of 45 peach juices

本实验以桃汁样品的15 个品质指标为依据，对15 个品种、3 个成熟度共计45 个桃汁样品进行聚类分析。聚类分析结果可以提供多个可能的解（图3），欧氏距离超过10时，综合得分较高的‘红芒果’（7、8）与较差的‘中油桃11号’-II（2）和‘中桃1号’（4、5、6）聚为一类，不能很好地区分；而欧氏距离不超过8时，聚类过多，综合得分较高的‘中油桃12号’-III（15）和‘红芒果’-III（9）也被分别聚类。因此根据上述分析和判断，在欧氏距离为9时，45 个样品可以聚为6 类，第I类和第III类聚集了‘中油桃11号’-I（1）、‘中油桃11号’-II

（2）和‘中桃1号’3 个成熟度（4、5、6）的样品，这些样品都属于极早熟品种，SSC、出汁率和总糖、蔗糖质量浓度都较低，综合品质较差，排名在后5 位，这与PC1和PC2的主成分得分图第三象限结果基本一致。第II类包含了‘中油桃8号’和‘风味皇后’两个品种3 个成熟度的6 个样品（34、35、36、37、38、39），这两个品种属于中熟黄肉品种，SSC和总糖、蔗糖质量浓度高，可滴定酸质量分数低，果汁色泽好，综合品质较好，综合得分排名在前11 位。这一结果与PC1和PC2的主成分得分图第一象限基本一致。第IV类聚集了‘红芒果’-I（7）、‘红芒果’-II（8）两个样品，SSC和总糖、蔗糖质量浓度高，但是出汁率较低，这与PC1和PC3的主成分得分图的第四象限基本一致。第V类聚集了‘中油桃12号’-III（15）、‘红芒果’-III（9）两个样品，这两个样品综合品质优，综合得分排名在前两位。第VI类聚集了其余的30 个样品，除了‘中桃5号’-III（30）、‘中油桃12号’-II（14）以外，其余样品综合品质居中，排名在12～40 位之间，基本位于图1主成分得分图的中部。

3 讨 论

本研究对15 个品种、3 个成熟度共计45 个桃汁样品的褐变度、总糖质量浓度、总酚质量浓度、可滴定酸质量分数等15 个品质指标进行了分析。与牛景[33]的研究结果相比，所测桃汁样品的总糖、有机酸质量浓度均偏低，可能是由于环境条件、栽培条件以及品种差异所致。从描述性分析结果可以看出，蔗糖、果糖、葡萄糖质量浓度的变异系数在20%左右，表明不同品种的桃汁糖组分存在差异，这与Moriguchi[34]和赵剑波[35]等的研究结果一致。a^*值的变异系数最大，褐变度次之，出汁率最低，这可能是由于基因表达调控的影响[36]，导致不同品种和成熟度的桃汁样品在糖、酸组分和色泽品质方面均存在明显差异。因此在品种选育的过程中，发掘控制风味和色泽品质的基因对优异制汁品种的选育具有重要作用。

利用主成分分析将15 个品质指标综合成为5 个主成分，这5 个主成分反映了原变量80.333%的信息，从而达到简化和综合的目的。在主成分分析的基础上结合综合评价结果可以看出：就品种而言，在极早熟的品种中除了‘红芒果’以外，‘中油桃11号’和‘中桃1号’的桃汁综合品质排名都很靠后，说明成熟期早的品种综合品质较差；在排名前10 位的品种中，黄肉桃品种（‘红芒果’、‘风味皇后’、‘中油桃8号’）占70%，本实验所选的黄肉桃品种除了‘红芒果’以外均属于中熟品种，生长周期相对较长，在糖、酸质量浓度适宜的情况下，果汁的出汁率以及颜色指标在相应主成分上的载荷也较高，因此黄肉桃果汁的综合品质较好，以上品种在PC1和PC2得分图上与其他品种可以明显区分。就成熟度而言，除个别品种（‘中油桃14号’、‘中油桃8号’、‘晚艳红’）外，成熟度越高的桃汁样品排名越靠前，在PC1和PC3得分图上3 个成熟度可以很好地区分。提取的5 个主成分主要包括了桃汁的糖、酸等信息，这与Versari等[37]的研究结果一致。糖、酸等风味物质的组成和质量浓度对果汁品质有着重要影响，桃汁的甜酸风味并非糖和酸的简单叠加，而是糖、酸共同作用的结果[38]，果汁中糖、酸质量浓度的差异主要与品种和生长期长短相关[39-40]，早熟品种和成熟度低的果实由于生长期短，糖积累较少，而酸还未完全转化[41]，所以得到的桃汁样品综合品质较差。

关于果汁的评价方法主要有两种：一是通过仪器或者化学方法测定相关理化指标，通过多元统计方法建立综合评价模型对果汁质量进行评价[42]；二是对果汁进行感官评价。两种方法各有优劣，对理化指标的分析检测只能了解果汁的主要组分和质量浓度及它们之间的相互关系，很难准确地反映口感优劣[43]；而感官评价受评价人员的主观因素影响较大[15]。固酸比是果汁风味品质评价的重要感官指标之一，与果汁的感官品质密切相关。有研究表明果汁的理化指标与感官特性之间存在相关性[43-44]。本研究暂未涉及以上内容，后续会对桃汁的理化特性与固酸比等感官品质以及感官评价结果的相关性进行系统研究，以建立更加科学、合理的评价体系，对桃汁综合品质进行评价和预测。

参考文献：

[1] 汪祖华, 庄恩及. 中国果树志: 桃卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 1-2.

[2] 联合国粮农组织. 粮食和农业数据[EB/OL]. (2019-07-15)[2017-09-23]. http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC.

[3] 周慧娟, 苏明申, 叶正文, 等. 桃果实采后生理生化及冷害研究进展[J]. 果树学报, 2017, 34(9): 1204-1212. DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20170046.

[4] LURIE S, CRISOSTO C H. Chilling injury in peach and nectarine[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(3): 195-208. DOI:10.1016/j.postharvbio.2005.04.012.

[5] 毕金峰, 阮卫红, 刘璇, 等. 桃汁贮藏期间的品质变化研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 117-123. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.07.030.

[6] 杨静, 刘丽娟, 李想. 我国桃和油桃生产与进出口贸易现状及其展望[J]. 农业展望, 2011, 7(3): 48-52. DOI:10.3969/j.issn.1673-3908.2011.03.011.

[7] MARSOL-VALL A, BALCELLS M, ERAS J, et al. Development of a SBSE-TD method coupled to GC-MS and chemometrics for the differentiation of variety and processing conditions in peach juices[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 119-125. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.06.070.

[8] BUEDO A P, ELUSTONDO M P, URBICAIN M J. Amino acid loss in peach juice concentrate during storage[J]. Innovative Food Science

and Emerging Technologies, 2001, 1(4): 281-288. DOI:10.1016/S1466-8564(00)00030-8.

[9] AGUILAR K, GARVÍN A, IBARZ A. Effect of UV-vis processing on enzymatic activity and the physicochemical properties of peach juices from different varieties[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018, 48: 83-89. DOI:10.1016/j.lwt.2015.09.006.

[10] ROJAS M L, LEITE T S, CRISTIANINI M, et al. Peach juice processed by the ultrasound technology: changes in its microstructure improve its physical properties and stability[J]. Food Research International, 2016, 82: 22-33. DOI:10.1016/j.foodres.2016.01.011.

[11] TECHAKANON C, SMITH G M, JERNSTEDT J, et al. The effect of high pressure processing on clingstone and freestone peach cell integrity and enzymatic browning reactions[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2017, 39: 230-240. DOI:10.1016/j.ifset.2016.12.011.

[12] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 等. 制汁用桃若干质量指标探讨[J]. 中国农业科学, 2004, 37(3): 410-415. DOI:10.3321/j.issn:0578-1752.2004.03.017.

[13] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 等. 适宜制汁用桃品种的初步评价[J]. 园艺学报, 2006, 33(6): 1303-1306. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2006.06.029.

[14] 焦艺, 刘璇, 毕金峰, 等. 基于灰色关联度和层次分析法的油桃果汁品质评价[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 154-163. DOI:10.16429/j.1009-7848.2014.12.027.

[15] 焦艺, 刘璇, 毕金峰, 等. 蟠桃品种用于加工鲜榨汁的适宜性评价[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 41-45. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201501008.

[16] LYU Jian, LIU Xuan, BI Jinfeng, et al. Characterization of Chinese white-flesh peach cultivars based on principle component and cluster analysis[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(4): 3818-3826. DOI:10.1007/s13197-017-2788-0.

[17] 王力荣. 中国桃遗传资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 183-185.

[18] GARZA S, IBARZ A, PAGÁN J, et al. Non-enzymatic browning in peach puree during heating[J]. Food Research International, 1999, 32(5): 335-343. DOI:10.1016/S0963-9969(99)00094-0.

[19] ONSEKIZOGLU P, BAHCECI K S, ACAR M J. Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: a comparative quality assessment[J]. Journal of Membrane Science, 2010, 352(1/2): 160-165. DOI:10.1016/j.memsci.2010.02.004.

[20] MEYDAV S, SAGUY I, KOPELMAN I J. Browning determination in citrus products[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1977, 25(3): 602-604. DOI:10.1021/jf60211a030.

[21] 农业部. 水果和蔬菜可溶性固形物质量浓度的测定 折射仪法: NY/T 2637—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 1.

[22] 质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定: GB/T 12456—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1.

[23] 质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 5.

[24] 卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定: GB 5009.8—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 6.

[25] 卫生和计划生育委员会. 食品有机酸的测定: GB 5009.157—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 3.

[26] 卫生和计划生育委员会. 食品中氨基酸态氮的测定: GB 5009.235—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1.

[27] ABID M, JABBAR S, WU T, et al. Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20(5): 1182-1187. DOI:10.1016/j.ultsonch.2013.02.010.

[28] TIAN You, GUO Xiaojun, NIU Pengfei, et al. Multivariate data analysis of the physicochemical and phenolic properties of not from concentrate apple juices to explore the alternative cultivars in juice production[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(6): 1735-1747. DOI:10.1007/s12161-018-1169-2.

[29] 殷冬梅, 张幸果, 王允, 等. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 507-512; 518. DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.2011.04.007.

[30] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社出版, 2005: 216-321.

[31] BELTON P S, COLQUHOUN I J, KEMSLEY E K, et al. Application of chemometrics to the ^{1}H NMR spectra of apple juices: discrimination between apple varieties[J]. Food Chemistry, 1998, 61(1/2): 207-213. DOI:10.1016/S0308-8146(97)00103-9.

[32] ALONSO-SALCES R M, CARLOS H, ALEJANDRO B, et al. Technological classification of Basque cider apple cultivars according to their polyphenolic profiles by pattern recognition analysis[J]. Journal of Agriculture Food Chemistry, 2004, 52(26): 8006-8016. DOI:10.1021/jf048995i.

[33] 牛景. 不同来源桃种质果实糖酸组分质量浓度特点的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 11-14.

[34] MORIGUCHI T, ISHIZAWA Y, SANADA T. Differences in sugar composition in *Prunus persica* fruit and the classification by the principal component analysis[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1990, 59(2): 307-312. DOI:10.2503/jjshs.59.307.

[35] 赵剑波, 姜全, 郭继英, 等. 桃不同种质资源成熟果实葡萄糖、果糖质量浓度比例研究[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(2): 30-34. DOI:10.3321/j.issn:1007-4333.2008.02.006.

[36] QUILOT B, WU B H, KERVELLA J, et al. QTL analysis of quality traits in an advanced backcross between *Prunus persica* cultivars and the wild relative species *P. davidiana*[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 109(4): 884-897. DOI:10.1007/s00122-004-1703-z.

[37] VERSARI A, CASTELLARI M, PARPINELLO G P, et al. Characterisation of peach juices obtained from cultivars Redhaven, Suncrest and Maria Marta grown in Italy[J]. Food Chemistry, 2002, 76(2): 181-185. DOI:10.1016/s0308-8146(01)00261-8.

[38] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312. DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20140271.

[39] 刘荣荣. 不同成熟期苹果品种品质评价与分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014: 8-19.

[40] PATRICK J W, BOTHA F C, BIRCH R G. Metabolic engineering of sugars and simple sugar derivatives in plants[J]. Plant Biotechnology Journal, 2013, 11(2): 142-156. DOI:10.1111/pbi.12002.

[41] XI W P, ZHENG H W, ZHANG Q Y, et al. Profiling taste and aroma compound metabolism during apricot fruit development and ripening[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(7): 998-1020. DOI:10.3390/ijms17070998.

[42] ZIELINSKI A A F, HAMINIUK C W I, NUNES C A, et al. Chemical composition, sensory properties, provenance, and bioactivity of fruit juices as assessed by chemometrics: a critical review and guideline[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2014, 13(3): 300-316. DOI:10.1111/1541-4337.12060.

[43] 李丽梅, 李雪梅, 关军锋, 等. 北方23 个梨品种鲜榨梨汁的理化特性分析和感官评价[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 44-48; 53. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2013.02.010.

[44] 袁亚宏, 王周利, 李彩霞, 等. 鲜榨苹果汁的理化特性和感官品质相关性[J]. 食品科学, 2012, 33(19): 1-5.