

不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价

刘丙花^{1,2}, 孙锐³, 王开芳^{1,2}, 舒秀阁^{1,2}, 孙蕾^{1,2,*}

(1.山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014; 2.国家林业局经济林产品质量检验检测中心(济南), 山东 济南 250014;

3.齐鲁工业大学食品科学与工程学院, 山东 济南 250353)

摘 要: 本研究对山东省引种的22个蓝莓品种的果实品质进行了比较与综合分析。结果表明: 9个蓝莓品质指标均存在很大的品种间差异, 其中单果质量、果实比重、硬度、可溶性固形物质量分数、有效酸度(pH值)、花青素含量和VC含量变异系数均大于10.00%, 品种间差异较大; 果形指数和果皮明度指数(L^* 值)变异系数低于10.00%, 是较为稳定的指标。利用相关性分析与主成分分析相结合的方法, 筛选出综合评价不同蓝莓品种品质的核心品质指标5项, 分别为果形指数、硬度、 L^* 值、可溶性固形物质量分数和pH值。利用层次分析法对核心指标进行权重赋予, 建立蓝莓综合评价数学模型, 计算不同蓝莓品种的综合、鲜食和加工评价指数。根据蓝莓主要品质指标, 对22个蓝莓品种进行系统聚类分析。聚类结果与主成分得分对22个蓝莓品种分类的判定结果较为一致, 均可用来分析蓝莓果实品质指标, 综合评价不同蓝莓品种果实的鲜食或加工品质的优劣。

关键词: 蓝莓; 品质特性; 核心指标; 变异系数; 主成分分析; 聚类分析

Comparison and Comprehensive Evaluation of Fruit Quality of Different Blueberry (*Vaccinium* spp.) Varieties

LIU Binghua^{1,2}, SUN Rui³, WANG Kaifang^{1,2}, SHU Xiuge^{1,2}, SUN Lei^{1,2,*}

(1. Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, China;

2. Economic Forest Products Quality Inspection Test Center of State Forestry Administration (Jinan), Jinan 250014, China;

3. School of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China)

Abstract: In the present study, the fruit quality of 22 blueberry varieties introduced in Shandong province was analyzed and comprehensively evaluated. The results showed that nine quality indicators were greatly different among different blueberry varieties. The coefficients of variation (CVs) for single fruit mass, specific gravity, hardness, soluble solid content, valid acidity value (pH), anthocyanin content and vitamin C content were greater than 10.00%, indicating significant differences between varieties. Meanwhile, the CVs for fruit shape index and peel brightness index (L^* value) were less than 10.00%, suggesting that they were more stable indicators. Five quality indicators including fruit shape index, hardness, L^* value, soluble solids content and pH were screened out by using correlation analysis and principal component analysis (PCA) as the core indicators to comprehensively evaluate the fruit quality of different blueberry varieties. The analytical hierarchy process was applied for weight analysis of the core indexes, and a mathematic model was established to calculate the comprehensive evaluation index and evaluate the fruit quality and processing suitability of each blueberry cultivar. Moreover, according to the main quality indexes of blueberry, cluster analysis (CA) was carried out by using the Pearson correlation method. Consistent results were obtained using PCA and CA, indicating that both can be used to analyze blueberry fruit quality index and comprehensively evaluate the fruit quality and processing suitability of different blueberry varieties.

Keywords: blueberry; quality characteristics; core indicators; coefficient of variation; principal component analysis; cluster analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20170829-338

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)01-0070-07

引文格式:

刘丙花, 孙锐, 王开芳, 等. 不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 70-76. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20170829-338. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-08-29

基金项目: 公益性行业(林业)科研专项(201204402); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201610431022)

第一作者简介: 刘丙花(1983—)(ORCID: 0000-0001-9408-7706), 女, 高级工程师, 博士研究生, 研究方向为果树学。

E-mail: binghualiu@163.com

*通信作者简介: 孙蕾(1962—)(ORCID: 0000-0003-4361-120X), 女, 研究员, 学士, 研究方向为特色浆果良种选育及产业化技术开发。E-mail: sun7776@163.com

LIU Binghua, SUN Rui, WANG Kaifang, et al. Comparison and comprehensive evaluation of fruit quality of different blueberry (*Vaccinium* spp.) varieties[J]. Food Science, 2019, 40(1): 70-76. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx.1002-6630-20170829-338. <http://www.spkx.net.cn>

蓝莓 (*Vaccinium* spp.) 是一种具有多种营养和保健功能的新兴果树, 既可鲜食, 亦可作为加工品原料, 具有较高的经济价值和广阔的开发前景^[1-3]。近年来, 我国蓝莓种植面积不断扩大, 产量逐年增加, 但由于蓝莓品种混杂、深加工技术水平较低, 导致蓝莓综合利用率低, 深加工产业链短, 致使果农和深加工企业的效益均无法保证。蓝莓果实在生长、发育、成熟、贮藏过程中, 经历一系列复杂的生理生化变化, 主要包括外观大小、形状、颜色, 内在营养成分和质地的改变, 这些因素影响蓝莓的综合品质^[4-5]。目前, 国内外有关蓝莓品质的研究多集中在某一个或几个指标上, 而对多个蓝莓品种不同利用性的综合评价及各品质指标间的相关性分析尚存在很大的欠缺^[6-11]。因此, 分析评价不同蓝莓品种果实品质特性, 选择适宜鲜食或加工的蓝莓品种, 能够有针对性地引导果农种植专用品种, 提高经济收入, 降低企业原料成本, 稳定产品质量, 更好地促进蓝莓行业的健康发展。

鉴于此, 本研究对山东省引进的22个蓝莓品种果实的外观品质和内在品质进行了比较, 分析了各品质指标间的相关性, 并对主要品质指标进行了主成分分析和聚类分析, 对22个蓝莓品种的不同利用性进行了综合评价, 旨在为进一步完善蓝莓品质评价体系, 生产高品质、专用型蓝莓品种选育和良种采后储运、加工及销售提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

实验材料为山东省引进的22个蓝莓品种, 各品种果实均于2016年6月采自沃林农业(青岛)有限公司日照市陈疃镇蓝莓生产基地。对各个蓝莓品种均选择果实大小一致、果面完全着均匀蓝色且无病、虫、伤害的果实分别进行采收分装, 置于4℃聚乙烯保鲜盒(长、宽、高分别为60、40、50 cm)带回实验室用于实验指标测定。

1.2 仪器与设备

CR-210色度计 日本Konica Minolta公司; TA-XT Plus物性分析仪 英国Stable Micro Systems公司; PAL-1手持式糖量计 日本Atago公司; 6010便携式pH计 美国JENCO公司; 1100高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC) 仪 美国Agilent公司。

1.3 品质测定

1.3.1 外观品质测定

平均单果质量: 采用直接称质量法, 每次称取10个果实, 计算平均单果质量, 重复6次, 计算平均值。

果形指数: 用游标卡尺直接测量果实的横径和纵径, 果形指数=横径/纵径。

果实比重: 采用密度测量法, 即果实比重=果实体积/果实质量。

色度: 利用色度计测出果皮的明度指数(L^* 值)。 L^* 值越接近100表示颜色越浅, L^* 值越接近0表示颜色越深。每个品种选取10个有代表性的果实用于测定, 每个样品测定重复6次, 取平均值。

硬度: 参考Hu Menghan等^[12]的方法, 取完整蓝莓果实, 采用物性分析仪P/75探头(直径为75 mm)进行质地剖面分析实验。测试参数如下: 测前速率5 mm/s, 测试速率2 mm/s, 测后上行速率2 mm/s, 蓝莓果实受压变形为25%, 2次压缩停顿时间为5 s, 触发力为5.0 g。由质地特征曲线得到蓝莓硬度参数。每个品种随机选取10个果实用于测定, 取平均值。

1.3.2 内在品质测定

可溶性固形物质量分数: 用手持式糖量计测定。

有效酸度(pH值): 用便携式pH计测定。

VC含量: 依据GB/T 6195—1986《水果、蔬菜维生素C含量测定法(2,6-二氯酚酚滴定法)》, 采用紫外吸收法测定。

总花青素含量: 参照Sun Liqiong等^[13]的方法, 采用HPLC法测定。选取20个新鲜成熟的蓝莓果实匀浆, 称取0.4 g置于研磨钵中, 加入体积分数3%甲酸化甲醇溶液50 mL捣碎, 定容至500 mL, 超声提取30 min。用0.45 μm的有机微孔滤膜过滤, 滤液用于HPLC仪检测。HPLC检测器为G1314A可变波长检测器, 色谱柱为Zorbax SB C₁₈ (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 柱温20℃, 流动相A: 体积分数5%甲醛水溶液, 流动相B: 100%乙腈, 流速1 mL/min。以矢车菊素3-葡萄糖苷为标准物建立标准曲线计算各花青素含量, 各花青素含量之和即为总花青素含量。

1.4 数据统计分析

实验数据为平均值±标准差, 每个指标测定重复6次, 取平均值。采用SPSS Statistics 20.0软件对主要品质指标进行相关性分析、主成分分析和系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同蓝莓品种果实外观品质

单果质量是反映果实外观品质的重要指标。本研究中22个蓝莓品种平均单果质量存在较大差异,变异系数为13.32%,单果质量超过2.00 g的品种有15个,其中克瑞顿最大,为2.65 g,其次是蓝线(2.61 g)。路宝、北陆、蓝丰等7个蓝莓品种的单果质量不足2.00 g,其中路宝的单果质量最小,仅为1.09 g(表1)。

果形指数是判定果实形状的最直观标准,0.6~0.8为扁圆形,0.8~0.9为圆形或近圆形,0.9~1.0为椭圆形或圆锥形,大于1.0为长圆形。如表1所示,本研究中蓝莓果实的果形指数范围为0.74~0.97,变异系数为8.72%;瑞卡、日出、双迪、陶柔、泽西、米德、北陆、夏普蓝、蓝线、布莱登10个蓝莓品种的果形指数为0.9~1.0,为椭圆形或圆锥形;大粒蓝金、翰伯特、蓝鸟、塞拉、奥尼尔、路宝6个品种的果形指数为0.8~0.9,为圆形或近圆形;伯克利、克瑞顿、纳尔逊、莱格西、蓝丰、努益6个品种的果形指数为0.7~0.8,为扁圆形。

表1 不同蓝莓品种平均单果质量、果形指数、果实比重、果皮 L^* 值和硬度

Table 1 Average single fruit mass, fruit shape index, specific gravity, peel L^* value and hardness of different blueberry cultivars

品种	平均单果质量/g	果形指数	果实比重/(g/cm ³)	L^*	硬度/N
奥尼尔	2.00±0.22	0.81±0.03	1.05±0.02	56.36±5.40	313.53±12.96
北陆	1.74±0.01	0.94±0.00	1.04±0.01	60.93±5.46	296.40±16.41
伯克利	2.25±0.15	0.74±0.03	1.00±0.07	53.09±3.16	385.03±19.64
布莱登	2.32±0.20	0.91±0.01	1.01±0.06	59.07±7.13	513.74±16.90
大粒蓝金	1.93±0.16	0.89±0.01	1.02±0.02	62.95±2.26	526.49±30.04
翰伯特	2.48±0.22	0.87±0.04	0.99±0.01	58.27±3.61	305.28±17.16
克瑞顿	2.65±0.56	0.76±0.03	0.98±0.03	60.80±6.52	576.87±35.07
莱格西	2.42±0.44	0.74±0.03	1.11±0.14	54.27±6.25	463.92±28.01
蓝丰	1.74±0.28	0.74±0.04	1.00±0.04	55.97±5.16	335.53±10.53
蓝鸟	1.98±0.30	0.84±0.03	0.98±0.01	59.72±2.56	265.50±15.45
蓝线	2.61±0.57	0.92±0.01	1.00±0.02	62.70±4.24	399.94±30.99
路宝	1.09±0.08	0.81±0.04	1.14±0.03	76.39±3.98	267.98±15.19
米德	2.26±0.29	0.95±0.00	0.98±0.03	52.82±2.91	491.10±38.28
纳尔逊	2.24±0.17	0.79±0.06	1.02±0.02	59.01±2.86	472.61±33.99
努益	2.48±0.61	0.74±0.06	1.01±0.02	55.52±3.48	468.15±23.19
日出	2.00±0.31	0.96±0.00	1.07±0.28	54.81±5.60	388.74±12.63
瑞卡	1.79±0.18	0.97±0.00	1.00±0.06	60.94±4.05	410.96±23.62
塞拉	2.29±0.35	0.85±0.03	0.98±0.01	55.87±6.39	283.55±10.13
双迪	2.34±0.46	0.96±0.00	1.04±0.01	57.66±4.21	389.71±38.75
陶柔	1.90±0.13	0.96±0.00	0.99±0.01	50.13±5.67	484.75±24.56
夏普蓝	2.42±0.19	0.93±0.00	1.03±0.03	70.35±5.04	421.66±25.00
泽西	2.06±0.50	0.95±0.00	1.05±0.00	66.92±4.55	311.94±11.21
变异系数/%	13.32	8.72	15.13	7.36	19.23

果实比重反映果实的相对密度,本研究中蓝莓果实比重为0.98~1.14 g/cm³,变异系数为15.13%,品种间差异较大;其中路宝的果实比重最大,为1.14 g/cm³,其次

是莱格西(1.11 g/cm³),克瑞顿、蓝鸟、米德和塞拉的果实比重最小,均为0.98 g/cm³(表1)。

如表1所示,本研究中蓝莓果实 L^* 值变异系数为7.36%,是较为稳定的指标; L^* 值最大的为路宝(76.39),其颜色最浅,其次为夏普蓝(70.35)、泽西(66.92)、大粒蓝金(62.95), L^* 值最小的为陶柔(50.13),其颜色最深,其次为米德(52.82)、伯克利(53.09)。

硬度反映蓝莓果实在外力作用下发生形变所需要的屈服力大小。蓝莓果实硬度为265.50~576.87 N,变异系数为19.23%,品种间差异很大。克瑞顿、大粒蓝金和布莱登的果实硬度大于500.00 N,分别为576.87、526.49 N和513.74 N;蓝鸟、路宝、塞拉和北陆的果实硬度小于300.00 N,分别为265.50、267.98、283.55 N和296.40 N(表1)。

2.2 不同蓝莓品种果实内在品质

可溶性固形物是由糖和酸等多种成分组成的混合物,其含量多少决定了鲜食蓝莓风味品质的优劣,对蓝莓果实的营养价值、风味口感等方面有重要影响。由表2可知,本研究中蓝莓果实可溶性固形物质量分数为9.43%~13.87%,变异系数为18.23%,存在品种间差异。可溶性固形物质量分数最高的为塞拉(13.87%),其次是米德(13.73%)、北陆(13.67%)、路宝(13.57%),可溶性固形物质量分数最低的是双迪(9.43%),其次是翰伯特(9.73%)。

酸味是影响果实风味的重要标志之一,果实酸味的口感决定于pH值。蓝莓果实pH值范围为3.38~4.93,变异系数为11.42%;pH值最高的为奥尼尔(4.93),表明其酸味最淡,其次为纳尔逊(4.81)、伯克利(4.62)、夏普蓝(4.61),pH值最低的为陶柔(3.38),表明其酸味最浓,其次为翰伯特(3.47)和双迪(3.53)(表2)。

花青素是一种水溶性色素,是构成果实颜色的主要色素之一。由表2可知,蓝莓果实花青素含量范围为0.06~0.41 g/100 g,变异系数为39.94%,品种间差异很大。花青素含量最高的是路宝,为0.41 g/100 g,其次是日出(0.38 g/100 g)、布莱登(0.30 g/100 g),花青素含量最低的是蓝丰,仅为0.06 g/100 g。

VC即L-抗坏血酸,是一种水溶性维生素,蓝莓果实富含VC。由表2可知,蓝莓果实VC含量范围为0.93~2.52 mg/g,变异系数为22.54%,品种间差异较大;VC含量最高的是奥尼尔(2.52 mg/g),其次是路宝(2.38 mg/g)、努益(2.17 mg/g),VC含量最低的是瑞卡(0.93 mg/g),其次是克瑞顿(1.10 mg/g)和陶柔(1.12 mg/g)。

表2 不同蓝莓品种可溶性固形物质量分数、pH值、花青素含量和VC含量

Table 2 Soluble solids, anthocyanin and VC contents and pH of different blueberry cultivars

品种	可溶性固形物质量分数/%	pH值	花青素含量/(g/100 g)	VC含量/(mg/g)
奥尼尔	12.97±0.24	4.93±0.05	0.16±0.01	2.52±0.03
北陆	13.67±0.76	3.85±0.02	0.09±0.00	2.01±0.03
伯克利	12.70±0.47	4.62±0.01	0.10±0.00	1.37±0.02
布莱登	12.37±0.89	3.81±0.01	0.30±0.01	1.66±0.03
大粒蓝金	12.70±1.20	4.52±0.03	0.11±0.00	1.35±0.03
翰伯特	9.73±0.62	3.47±0.01	0.18±0.00	1.32±0.03
克瑞顿	10.73±0.44	4.45±0.06	0.13±0.01	1.10±0.02
莱格西	11.13±0.42	4.18±0.03	0.08±0.00	1.37±0.02
蓝丰	11.43±1.09	4.00±0.02	0.06±0.00	1.20±0.02
蓝鸟	12.43±2.82	4.38±0.05	0.18±0.00	1.82±0.06
蓝线	12.53±0.84	4.26±0.07	0.20±0.00	1.26±0.05
路宝	13.57±1.78	3.88±0.01	0.41±0.02	2.38±0.01
米德	13.73±0.78	4.47±0.07	0.15±0.00	1.41±0.02
纳尔逊	10.67±1.09	4.81±0.01	0.15±0.00	1.46±0.00
努益	11.50±0.67	4.55±0.03	0.14±0.01	2.17±0.03
日出	12.97±0.38	4.39±0.01	0.38±0.01	2.03±0.01
瑞卡	11.90±0.93	4.57±0.05	0.14±0.00	0.93±0.02
塞拉	13.87±0.62	4.38±0.05	0.23±0.01	1.41±0.04
双迪	9.43±0.29	3.53±0.01	0.15±0.00	1.66±0.03
陶柔	12.87±0.64	3.38±0.01	0.12±0.00	1.12±0.02
夏普蓝	12.57±0.42	4.61±0.06	0.08±0.00	1.21±0.02
泽西	12.80±1.33	4.57±0.05	0.14±0.00	1.77±0.01
变异系数/%	18.23	11.42	39.94	22.54

2.3 蓝莓果实主要品质指标相关性分析

采用二项正态分布置信检测方法对每一项指标进行置信检测,采用Pearson相关系数分析蓝莓主要品质参数间的相关性,结果见表3。单果质量与果实比重呈显著正相关($P<0.05$),与 L^* 值呈极显著负相关($P<0.01$),表明果实质量的改变影响果实密度和果皮颜色的深浅。果实比重与硬度呈显著正相关($P<0.05$),表明果实比重的变化影响果实硬度。花青素含量与 L^* 值呈极显著负相关($P<0.01$),与VC含量呈极显著正相关($P<0.01$),表明花青素含量的增加有利于果皮颜色的加深和果肉营养成分VC的积累。

表3 蓝莓果实主要品质特征指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis among major quality parameters of different blueberry cultivars

指标	单果质量	果形指数	果实比重	L^* 值	可溶性固形物质量分数	pH值	花青素含量	VC含量	硬度
单果质量	1								
果形指数	0.159	1							
果实比重	0.328*	-0.037	1						
L^* 值	-0.582**	0.061	0.279	1					
可溶性固形物质量分数	0.259	-0.095	-0.130	0.326	1				
pH值	-0.196	0.122	-0.275	-0.036	-0.227	1			
花青素含量	0.318	-0.269	0.306	-0.562**	0.336*	0.058	1		
VC含量	0.143	-0.082	0.055	0.149	0.147	-0.240	0.452**	1	
硬度	0.059	0.123	0.399*	0.203	0.351	-0.082	0.104	0.312	1

注: *.显著相关($P<0.05$); **.极显著相关($P<0.01$)。

2.4 蓝莓果实主要品质指标主成分分析和综合品质评价

主成分分析法是农林良种选育的主要方法之一。将22个蓝莓品种的9个品质指标转化为9个主成分,根据各主成分的特征值和贡献率进行主成分提取。如表4所示,有5个主成分入选,第一主成分的特征值为4.847,方差贡献率为26.928%,代表了全部信息的26.928%,是最主要的主成分;第二主成分的特征值为2.868,方差贡献率为15.935%,是仅次于第一主成分的主要主成分;第三主成分的特征值为2.133,方差贡献率为11.850%,第四主成分的特征值为1.826,方差贡献率为10.147%;第五主成分的特征值为1.673,方差贡献率为9.297%。5个主成分的累计方差贡献率为74.157%,能够代表所有指标的绝大部分信息、综合反映22个蓝莓品种的果实品质特性,可以作为蓝莓选优、评价的综合指标。

表4 主成分的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率
Table 4 Eigenvalue, variance contribution rate and cumulative variance contribution rate of first five principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	4.847	26.928	26.928
2	2.868	15.935	42.864
3	2.133	11.850	54.714
4	1.826	10.147	64.860
5	1.673	9.297	74.157

为更好地解释各品质指标与主成分因子之间的关系,将所提取的主成分因子进行旋转处理,使一个变量在较少的几个因子上有较高的载荷,其载荷值大小反映各变量在主成分中的重要程度,分析结果见表5。第一主成分主要综合了单果质量、果形指数和果实比重的信息,主要反映果实质量和形状。单果质量与果实比重呈显著正相关,与果形指数无显著相关性(表3),因此将单果质量和果形指数作为第一主成分的代表指标。第二主成分中,硬度的正系数最大,主要反映果实质地品质特征。第三主成分主要综合了 L^* 值的信息,是反映果实颜色的特征指标。第四主成分中,可溶性固形物质量分数的正系数最大,是反映果实甜度的特征指标。第五主成分主要综合了pH值和花青素含量的信息,是反映果实酸度的特征指标。pH值与花青素含量无显著相关性,因此将pH值和花青素含量作为第五主成分的代表指标。

综合分析5个主成分的主要特征指标相关性:单果质量与 L^* 值呈显著负相关, L^* 值与花青素含量呈显著负相关,因此, L^* 值可以代替单果质量和花青素含量。最终将果形指数、 L^* 值、硬度、可溶性固形物质量分数和pH值作为不同蓝莓品种果实品质评价的核心指标。

上述5个主成分能综合反映22个蓝莓品种果实的外观品质和内在品质。根据目前蓝莓市场消费趋势和专用品种选育目标,提出蓝莓鲜食和加工两种利用方式的主成分组合。将第一、第二、第三、第四主成分选定为蓝

莓果实鲜食品质主成分组合,将第一、第二、第五主成分选定为蓝莓果实加工品质主成分组合。将主要品质指标数据标准化后,计算5个主成分的得分,以所选主成分对应的特征值占5个特征值总和的比例为权重,计算出不同蓝莓品种的综合评价得分值,各得分值与相应特征值的方差贡献百分率的乘积累加得出不同蓝莓品种的综合评价指数,以此来评价不同蓝莓品种的鲜食和加工综合性状优劣。综合评价指数($Y_{\text{综合}}$)= $F_1 \times 0.2693 + F_2 \times 0.1593 + F_3 \times 0.1185 + F_4 \times 0.1015 + F_5 \times 0.0930$;鲜食评价指数($Y_{\text{鲜食}}$)= $F_1 \times 0.2693 + F_2 \times 0.1593 + F_3 \times 0.1185 + F_4 \times 0.1015$;加工评价指数($Y_{\text{加工}}$)= $F_1 \times 0.2693 + F_2 \times 0.1593 + F_5 \times 0.0930$ 。

表5 主要经济性状相关矩阵的规格化特征向量
Table 5 Eigenvectors of correlation matrix of main economic characteristics

性状	主成分				
	1	2	3	4	5
单果质量	0.569	0.111	-0.523	0.248	-0.013
果型指数	0.479	0.386	0.436	0.403	-0.144
果实比重	0.322	0.127	-0.200	0.319	-0.261
L*值	-0.439	0.003	0.751	-0.325	0.362
可溶性固形物质量分数	-0.283	-0.298	-0.121	0.648	-0.208
pH值	0.245	-0.111	0.400	0.248	0.722
花青素含量	-0.349	-0.386	0.625	0.268	0.590
VC含量	0.106	-0.520	0.209	-0.144	-0.381
硬度	-0.205	0.942	-0.001	-0.013	0.262

表6 不同蓝莓品种的主成分值与综合评价指数
Table 6 Values of principal components and synthetic analysis indexes of different blueberry cultivars

品种	主成分值					评价指数值		
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	$Y_{\text{综合}}$	$Y_{\text{鲜食}}$	$Y_{\text{加工}}$
奥尼尔	1.133	0.724	1.100	-1.225	2.033	0.616	0.335	0.362
北陆	1.317	-0.537	0.485	0.561	0.162	0.399	0.299	0.311
伯克利	-0.285	-1.158	-0.944	-0.42	0.332	-0.385	-0.436	-0.404
布莱登	-1.265	1.057	0.771	0.378	-0.435	-0.083	0.106	-0.040
大粒蓝金	-0.77	0.289	-0.524	2.737	1.725	0.215	0.175	-0.384
翰伯特	1.366	0.557	-0.874	-0.249	-2.676	0.079	0.174	0.602
克瑞顿	-1.255	0.826	-1.190	-1.392	0.475	-0.444	-0.455	-0.391
莱格西	-0.125	0.850	-0.209	-0.469	0.352	0.062	0.022	0.044
蓝丰	-0.363	-1.188	-1.177	-0.010	-0.124	-0.439	-0.439	-0.415
蓝鸟	2.077	-0.761	-0.424	0.229	0.372	0.446	0.221	0.353
蓝线	-0.603	-0.262	-0.125	-0.985	-0.642	-0.379	-0.297	-0.159
路宝	-0.017	-1.441	2.933	-0.246	-0.209	0.069	0.181	0.133
米德	-1.610	-0.267	-0.075	0.067	0.327	-0.448	-0.340	-0.515
纳尔逊	-0.668	-0.168	-0.502	-1.290	0.243	-0.374	-0.390	-0.289
努益	-0.593	-0.182	-0.375	-0.831	-0.224	-0.338	-0.301	-0.212
日出	-0.750	0.221	2.032	-0.110	-0.863	-0.017	0.195	0.154
瑞卡	-0.586	-0.450	-0.179	0.933	-0.082	-0.164	-0.088	-0.243
塞拉	1.043	-1.319	-0.543	0.651	-0.057	0.067	-0.022	0.012
双迪	0.219	0.785	0.007	0.232	-1.565	0.063	0.197	0.330
陶柔	-0.122	-1.365	0.024	2.025	-0.799	-0.116	0.020	-0.173
夏普蓝	1.297	1.955	-0.354	-0.493	0.928	0.655	0.435	0.533
泽西	0.558	0.202	0.439	-0.094	0.727	0.293	0.189	0.167

分析结果如表6所示,22个蓝莓品种综合品质排名前10位由高到低依次为夏普蓝、奥尼尔、蓝鸟、北陆、泽西、大粒蓝金、翰伯特、路宝、塞拉、双迪。鲜食用综合评价指标排名前10位由高到低依次为夏普蓝、奥尼尔、北陆、蓝鸟、双迪、日出、泽西、路宝、大粒蓝金、翰伯特。加工用综合评价指标排名前10位由高到低依次为翰伯特、夏普蓝、奥尼尔、蓝鸟、双迪、北陆、泽西、日出、路宝、莱格西。

2.5 不同蓝莓品种聚类分析

根据蓝莓主要品质指标,采用SPSS Statistics 20.0软件Pearson相关性方法对22个蓝莓品种进行系统聚类分析,得到聚类树状图。如图1所示,当距离为10时,将22个蓝莓品种聚为4类。第1类聚集了14个品种,包括北陆、伯克利、努益、翰伯特、蓝鸟、蓝丰、瑞卡、双迪、米德、泽西、日出、布莱登、莱格西、塞拉,这一类蓝莓品种果实中粒,颜色暗蓝色,硬度较大、甜度大、酸度中等,鲜食和加工用均可。第2类聚集了6个品种,包括蓝线、路宝、奥尼尔、纳尔逊、克瑞顿、夏普蓝,这一类蓝莓果实较大、颜色较深、硬度大、甜度高、酸度小,VC和花青素含量高,比较适合鲜食。第3类聚集了大粒蓝金1个品种,该品种果实单果质量大、果实圆形,果皮蓝色,甜度大、酸度小、硬度大,极耐储存,适合鲜食。第4类聚集了陶柔1个品种,该品种果实单果质量较小,椭圆形,果皮深蓝色,甜度小、酸度大、硬度中等,适合加工用。聚类分析结果与主成分得分对22个蓝莓品种分类的判定结果较为一致,表明主成分分析和聚类分析可用来分析蓝莓果实品质指标,综合评价不同蓝莓品种果实的鲜食或加工品质的优劣。

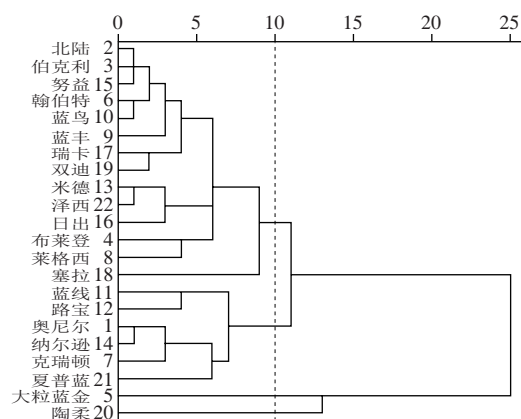


图1 22个蓝莓品种聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of 22 blueberry cultivars

3 讨论

3.1 不同蓝莓品种果实品质比较分析

蓝莓品质主要体现在单果质量、果实颜色、果实硬度、可溶性固形物和花青素含量等品质指标,且存在很

大的品种间差异^[6,8-11], 这些品质直接影响蓝莓的鲜食和加工特性^[6-7,14-15]; 因此, 不同蓝莓品种果实品质特性分析是选择鲜食或加工专用型品种的重要依据。本研究测定了山东省引种的22个蓝莓品种果实的单果质量、果型指数、果实比重、 L^* 值、硬度、可溶性固形物质量分数、pH值、总花青素含量和VC含量。研究结果表明, 9个品质指标均存在不同程度的品种间差异, 其中单果质量、果实比重、硬度、可溶性固形物质量分数、pH值、花青素含量和VC含量变异系数均大于10.00%, 品种间差异较大; 果形指数和果皮 L^* 值变异系数低于10.00%, 是较为稳定的指标。

可溶性固形物是由糖、酸、维生素和矿物质等多种成分组成的混合物, 其含量决定了鲜食蓝莓的风味品质, 对蓝莓果实的营养价值和风味口感有重要影响。水果中的可溶性固形物绝大部分是碳水化合物, 主要由糖构成, 可以替代可溶性糖含量, 反映果实的甜味^[16]。酸味是影响果实风味的重要标志之一, 果实酸味的口感决定于pH值。本研究中蓝莓果实可溶性固形物质量分数范围为9.43%~13.87%, pH值范围为3.38~4.93, 与李冬男^[6]对我国生产的14个蓝莓品种品质的分析结果较为一致。

花青素具有抗氧化、保护健康细胞、激活衰老细胞、提高人体活力、防癌抗癌等功效, 是蓝莓最重要的营养成分, 是评价蓝莓品质和营养保健价值的重要指标^[3,17-18]。研究表明, 野生种蓝莓花色素含量显著高于栽培种^[19], 且不同蓝莓栽培品种花青素组成及含量存在很大差异^[11,20-23]。本研究中22个蓝莓品种果实花青素含量范围为0.06~0.41 g/100 g, 变异系数为39.94%, 品种间差异很大。

3.2 不同蓝莓品种果实品质综合评价

国内外有关蓝莓品质评价仅涉及少数指标或少数品种, 而对多个蓝莓品种不同利用性的综合评价尚不够系统和深入^[6-11]。目前, 在对果实品质评价中, 主成分分析和聚类分析越来越广泛地应用到多样品多指标的品质分析^[24-27]。主成分分析的主要目的是综合、简化评价指标, 聚类分析则是将研究对象或变量按其性质上的亲疏程度进行分类; 两者相结合已成为果实品质综合评价的主要方法之一, 是选育专用型果蔬品种及合理加工利用的重要理论支持^[6,28-30]。

在蓝莓果实品质综合评价中, 核心评价指标的筛选及评价指标的数学处理是评价数学模型建立和确保其评价合理性的关键。本研究利用主成分分析法从22个蓝莓品种的9个品质指标中提取了5个主成分, 反映所有品质指标74.157%的信息, 综合分析5个主成分的主要特征指标及其相关性, 最终将果形指数、硬度、 L^* 值、可溶性固形物质量分数和pH值作为不同蓝莓品种果实品质评价的核心指标。根据目前蓝莓市场消费趋势和专用品种选

育目标, 提出蓝莓鲜食和加工两种利用方式的主成分组合。利用层次分析法对核心指标进行权重赋予, 建立蓝莓综合评价数学模型, 计算不同蓝莓品种的综合、鲜食和加工评价指数, 来评价不同蓝莓品种的鲜食和加工综合性状优劣。在主成分分析的基础上, 根据蓝莓主要品质指标, 将22个蓝莓品种聚为4类, 分别适宜鲜食、加工或鲜食加工兼用。分析结果表明, 聚类分析结果与主成分得分对22个蓝莓品种分类的判定结果较为一致, 说明两种方法均可用来分析蓝莓果实品质指标, 综合评价不同蓝莓品种果实的鲜食或加工品质的优劣。研究结果与李冬男^[6]和公艳丽^[26]等采用两种方法分别对蓝莓和苹果鲜食及加工品质评价的判定结果一致。

4 结 论

9个蓝莓品质指标存在很大的品种间差异, 其中单果质量、果实比重、硬度、可溶性固形物质量分数、pH值、花青素含量和VC含量变异系数大于10.00%, 品种间差异较大; 果形指数和 L^* 值变异系数低于10.00%, 是较为稳定的指标。利用相关性分析与主成分分析结合的方法, 从9项品质指标中筛选出符合综合评价蓝莓品种品质的核心品质指标5项, 分别为: 果形指数、硬度、 L^* 值、可溶性固形物质量分数和pH值。主成分分析法和聚类分析法对22个蓝莓品种的鲜食和加工特性评价分类结果较为一致, 两者均可用来分析蓝莓果实品质指标, 综合评价不同蓝莓品种果实鲜食或加工品质的优劣。

参考文献:

- [1] 胡雅馨, 李京, 惠伯棣. 蓝莓果实中主要营养及花青素成分的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 600-603. DOI:10.7506/spkx1002-6630(2006)10-0600-04.
- [2] 王姗姗, 孙爱东, 李淑燕. 蓝莓的保健功能及其开发应用[J]. 中国食物与营养, 2010(6): 17-20.
- [3] NORBERTO S, SILVA S, MEIRELES M, et al. Blueberry anthocyanins in health promotion: a metabolic overview[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1518-1528. DOI:10.1016/j.jff.2013.08.015.
- [4] CHEN H G, CAO S F, FANG X J, et al. Changes in fruit firmness, cell wall composition and cell wall degrading enzymes in postharvest blueberries during storage[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 188(4): 44-48. DOI:10.1016/j.scienta.2015.03.018.
- [5] GIONGO L, PONCETTA P, LORETTI P, et al. Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 34-39. DOI:10.1016/j.postharvbio.2012.09.004.
- [6] 李冬男. 蓝莓原料品质特性及其指纹图谱研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 31-40.
- [7] 朱诗慧, 孟宪军, 颜廷才, 等. 辽宁主栽蓝莓品种加工适应性的研究[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 79-83. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201421016.

- [8] 韩斯, 孟宪军, 汪艳群, 等. 不同品种蓝莓品质特性及聚类分析[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 140-144. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201506026.
- [9] 杨维, 王蜀, 陈华兴. 云南引种不同蓝莓品种果实品质比较研究[J]. 现代农业科技, 2011(9): 137-138. DOI:1007-5739(2011)09-0137-02.
- [10] 郑红岩, 高梦, 刘建兰, 等. 不同品种蓝莓果实品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(11): 245-249.
- [11] 葛翠莲, 黄春辉, 夏思进, 等. 10 个蓝莓品种主要营养成分与花色素含量分析[J]. 中国南方果树, 2012, 41(4): 33-35. DOI:10.13938/j.issn.1007-1431.2012.04.026.
- [12] HU Menghan, DONG Qingli, LIU Baolin, et al. Prediction of mechanical properties of blueberry using hyperspectral interactance imaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 115: 122-131. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.11.021.
- [13] SUN Liqiong, DING Xiaoping, QI Jin, et al. Antioxidant anthocyanins screening through spectrum-effect relationships and DPPH-HPLC-DAD analysis on nine cultivars of introduced rabbit eye blueberry in China[J]. Food Chemistry, 2012, 132(2): 759-765. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.11.030.
- [14] 郭成宇, 安百慧. 不同品种蓝莓和菌种酿制蓝莓酒的香气成分分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(4): 174-179. DOI:10.11882/J.ISSN.0254-5071.2017.04.036.
- [15] 刘万平. 山东青岛8个蓝莓品种花果发育及适应性评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2012: 12-14.
- [16] HARKER F R, MARSH K B, YOUNGH, et al. Sensory interpretation of instrumental measurements 2: sweet and acid taste of apple fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24(3): 241-250. DOI:10.1016/S0925-5214(01)00157-0.
- [17] SINELLI N, SPINARDI A, EGIDIO V D, et al. Evaluation of quality and nutraceutical content of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) by near and mid-infrared spectroscopy[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(1): 31-36. DOI:10.1016/j.postharvbio.2008.03.013.
- [18] YOU Q, WANG B, CHEN F, et al. Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 201-208. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.08.063.
- [19] 殷海松, 汤卫华, 张仁宽, 等. 野生和栽培蓝莓营养物质分析及抗氧化作用研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(18): 39-41. DOI:10.3969.issn.1005-651.015.18.010.
- [20] LOHACHOOMPOL V, MULHOLLAND M, SRZEDNICKI G, et al. Determination of anthocyanins in various cultivars of highbush and rabbiteye blueberries[J]. Food Chemistry, 2008, 111(1): 249-254. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.03.067.
- [21] BUNEA A, RUGINĂ D, SCONTA Z, et al. Anthocyanin determination in blueberry extracts from various cultivars and their antiproliferative and apoptotic properties in B16-F10 metastatic murine melanoma cells[J]. Phytochemistry, 2013, 95: 436-444. DOI:10.1016/j.phytochem.2013.06.018.
- [22] LI D N, LI B, MA Y, et al. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of high bush and half-high blueberries[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 62: 84-93. DOI:10.1016/j.jfca.2017.03.006.
- [23] WANG H L, GUO X B, HU X D, et al. Comparison of phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities in different varieties of blueberry (*Vaccinium* spp.)[J]. Food Chemistry, 2017, 217: 773-781.
- [24] 李建光, 韩冬梅, 李荣, 等. 广州地区19个引进龙眼品种果实品质的评价与分类[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(4): 415-420. DOI:10.13327/j.jjlau.2009.05.037.
- [25] 田贺, 张志东, 李亚东, 等. 主成分分析法在茶藨属植物果实品质评价指标上的应用研究[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(5): 632-636. DOI:10.13327/j.jjlau.2009.05.037.
- [26] 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. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.13.034.
- [27] KEENAN D F, VALVERDE J, GORMLEY R, 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. DOI:10.1016/j.lwt.2012.04.005.
- [28] 聂继云, 张红军, 马智勇, 等. 聚类分析在我国果树研究中的应用及问题分析[J]. 果树科学, 2000, 17(2): 128-130. DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.2000.02.012.
- [29] 聂继云, 李志霞, 李海飞, 等. 苹果理化品质评价指标研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2895-2903. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.14.012.
- [30] HOSSAIN M B, PATRAS B, RYANA C B, et al. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify different spices based on *in vitro* antioxidant activity and individual polyphenolic antioxidant compounds[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(3): 179-189. DOI:10.1016/j.jfca.2010.09.012.