

周江伟, 孔悦, 孙锐, 等. 山东引种蓝莓品质指标综合评价 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(15): 56–63. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110167

ZHOU Jiangwei, KONG Yue, SUN Rui, et al. Comprehensive Evaluation of Quality Index of Introduced Blueberry in Shandong Province[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(15):56–63. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110167

· 研究与探讨 ·

# 山东引种蓝莓品质指标综合评价

周江伟<sup>1</sup>, 孔悦<sup>1</sup>, 孙锐<sup>1\*</sup>, 程安玮<sup>2\*</sup>, 韩燕苓<sup>1</sup>

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院)食品科学与工程学院, 山东济南 250300;

2. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128)

**摘要:**为探究山东引种蓝莓的综合品质, 对 13 种蓝莓进行形态指标、理化指标、质构指标测定, 运用相关性分析和主成分分析进行综合评价, 并结合聚类分析得出排名。结果表明: 不同品种间各项指标存在差异, 大粒蓝金综合品质最优。该果外形圆润、色泽明亮, 总糖含量 17.07 g/kg, 维生素 C 含量 1.35 mg/g, SOD 含量 1156.11 U/g, 各项质构指标优异, 口感较佳。从 17 项指标中利用主成分分析提取出前 5 个主成分, 累计方差贡献率为 83.260%。将主成分分析数据建立蓝莓综合评价数学模型, 得分表明: 大粒蓝金、布莱登、赫伯特、日出等综合品质较高。聚类分析在欧式距离为 5 时, 将蓝莓分为了五大类, 并结合感官评价分析结果发现, 大粒蓝金为最优品种。蓝莓酸甜可口、营养价值丰富, 具有较高的经济价值和广阔的开发前景。对山东引种蓝莓进行综合品质评价, 为山东地区蓝莓综合利用和发展精深加工提供理论依据。

**关键词:**评价, 蓝莓, 活性成分, 花青素, 品质指标, 主成分分析

中图分类号: TS225.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)15-0056-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110167

## Comprehensive Evaluation of Quality Index of Introduced Blueberry in Shandong Province

ZHOU Jiangwei<sup>1</sup>, KONG Yue<sup>1</sup>, SUN Rui<sup>1\*</sup>, CHENG Anwei<sup>2\*</sup>, HAN Yanling<sup>1</sup>

(1. Shandong Academy of Science, Qilu University of Technology, College of

Food Science and Engineering, Jinan 250300, China;

2. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In order to explore the comprehensive quality of introduced blueberries in Shandong Province, the morphological index, physical and chemical index and texture index of 13 kinds of blueberries were determined, and the comprehensive evaluation was made by correlation analysis and principal component analysis, and the rankings were obtained by cluster analysis. The results showed that there were differences among different varieties, and the comprehensive quality of big blue gold was the best. The fruit was round in shape and bright in color, with total sugar content of 17.07 g/kg, vitamin C content of 1.35 mg/g, SOD content of 1156.11 U/g, excellent texture indexes and good taste. The first 5 principal components were extracted from 17 indexes by principal component analysis, and the cumulative variance contribution rate was 83.260%. A mathematical model for comprehensive evaluation of blueberries was established based on principal component analysis data. The scores showed that the comprehensive qualities of big blue gold, Bladen, Herbert and Sunrise were higher. When the European distance was 5, blueberries were divided into five categories by cluster analysis. Combined with sensory evaluation results, it was found that big blue gold was the best variety. Blueberries were sweet and sour, rich in nutritional value, and had high economic value and broad development prospects. The comprehensive quality evaluation of introduced blueberries in Shandong Province provided theoretical basis for comprehensive utilization and

收稿日期: 2020-11-18

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ016)。

作者简介: 周江伟(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品资源开发 E-mail: 317172712@qq.com。

\* 通信作者: 孙锐(1978-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 特色浆果加工 E-mail: sr@qlu.edu.cn。

程安玮(1975-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 生物活性物质及功能性研究 E-mail: anweich@126.com。

deep processing of blueberries in Shandong region.

**Key words:** evaluation; blueberries; active ingredient; anthocyanins; quality indicators; principal component analysis

蓝莓(*Vaccinium* spp.), 蓝色小浆果, 清爽可口, 外观悦目, 独具香气, 属杜鹃花科越橘属, 主要分布在北美和欧洲<sup>[1-4]</sup>。蓝莓营养成分丰富, 除糖类、蛋白质、维生素之外, 花青素等生物活性物质以及可溶性固形物含量非常高。其中花青素、鞣花酸等活性成分有强抗氧化性, 对预防、治疗恶性肿瘤效果显著, 还具有改善视力、预防心脏疾病、增强机体抵抗力等疗效<sup>[5-10]</sup>。截至 2018 年, 蓝莓的规模化种植已发展到了 27 个省市<sup>[11]</sup>。随着种植规模的扩大, 种植者和生产加工者在选用不同品种的蓝莓中, 存在盲目、不合理等诸多问题, 特别是不同品种的蓝莓在形态、成分以及质构上各具特色, 因而对所需种植品种的筛选难度较大, 缺乏科学理论依据。现多见对不同品种蓝莓的品质和营养指标的分析, 但对于多品种间相关性分析及分类稍有欠缺。如王学瑛等<sup>[12]</sup>对安徽引种的 3 个蓝莓品种进行综合评价, 对蓝莓理化指标进行了完善的研究, 但缺少关于蓝莓质构指标的评价; 刘丙花等<sup>[2]</sup>对引种山东的 22 种蓝莓进行综合评价, 在果实形态、理化指标等方面研究充分<sup>[12-17]</sup>, 但质构分析指标少。

因此, 本文选取山东 13 种不同品种的蓝莓, 在进行形态指标、理化指标的基础上, 进行质构分析穿刺试验, 运用相关性分析以及主成分分析的方法, 对引进品种进行系统性分类和比较, 从而更客观有效的反应蓝莓品种之间的差异, 进而提高对目标蓝莓选用、加工和培育的效率, 为合理发展蓝莓综合利用及良种筛选提供科学依据<sup>[18-20]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

蓝莓 2014 年 6 月取材自山东日照佳沃蓝莓生产基地成熟蓝莓, 包括布莱登、大粒蓝金、赫伯特、康维尔、蓝鸟、努益、乔治宝石、日出、瑞卡、双迪、塞拉、夏普蓝、泽西 13 个品种, 经原料验收, 各品种蓝莓成熟度一致且无机械损伤后, 于聚乙烯盒分装包装, 在 4 °C 条件下保存; 蒸馏水、氢氧化钠、酚酞、邻苯二氰酸氢钾、乙醇(95%) 天津市富宇精细化工有限公司; 蒽酮、浓硫酸 均为分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司; 总超氧化物歧化酶(T-SOD)测试盒 南京建成生物工程研究所。

FA2004B 型电子天平 上海平轩科学仪器有限公司; JJ-2 型组织捣碎机 峥嵘仪器; HH.S11-2 电热恒温水浴锅 上海博讯; UV-5900 分光光度计 上海元析仪器有限公司; PHs-3B 型酸度计 上海光谱; TA.XT plus 型质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 形态指标测定 单果重: 采用直接称重法, 各

取 13 个品种的 20 个果实, 做三次平行试验; 果形指数: 用游标卡尺直接测量果实的横、纵径, 求得它们的比值; 果实比重: 采用密度测量法, 即相对密度=质量(M)/体积(V); 果皮 L\*值: 采用色度计测量果皮的明度指数(L\*值), 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, 取其平均值。

#### 1.2.2 理化指标测定

1.2.2.1 花青素含量的测定 采用 pH 示差法。称取 1 g 蓝莓破碎物于离心管中, 加入 12 mL 甲醇、2 mL 水、0.1 mL 乙酸构成的提取液并振荡 20 min。将试样放入离心机(8000 r/min, 15 min, 25 °C)进行离心处理, 取 5 mL 上清液过滤后倒入 50 mL 容量瓶中, 分别以 pH1.0、pH4.5 缓冲溶液定容, 于 510 nm 和 700 nm 处测定其吸光度, 以 TMAC(表示在  $\mu$  矢车菊素-3-葡萄糖苷计)为标准计算花青素含量<sup>[21-22]</sup>。

1.2.2.2 维生素 C 含量的测定 维生素 C 含量的测定依照测定 2,6-二氯靛酚滴定法紫外吸收法测定<sup>[23-24]</sup>。

1.2.2.3 还原糖含量的测定 还原糖依照 GB/T 5009.7-2016《食品中还原糖的测定》测定。

1.2.2.4 总糖含量的测定 采用蒽酮比色法。以 0.1 mg/mL 的葡萄糖标准溶液标准曲线, 用紫外分光光度计在 620 nm 进行测量<sup>[25]</sup>。

1.2.2.5 总酸含量的测定 总酸依照 GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》测定。

1.2.2.6 SOD 含量测定 采用邻苯三酚自氧化法测定, 于 1.5 mL 离心管中加入 995 L 磷酸缓冲液, 于 25 °C 条件下处理 20 min, 然后加入 5  $\mu$ L 45 mmol/L 邻苯三酚溶液, 使邻苯三酚终浓度为 0.225 mmol/L; 迅速混匀后在紫外分光光度计上以 320 nm 波长测定。

1.2.3 质构指标测定 采用穿刺试验<sup>[26-29]</sup>, 参考刘丙花等<sup>[2]</sup>方法。将蓝莓果实在 75 nm 探头下进行 TPA 试验, 设置参数为测前速度 5 mm·s<sup>-1</sup>。测试速度 2 mm·s<sup>-1</sup>。测后上行速度 2 mm·s<sup>-1</sup>, 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。

1.2.4 感官指标测定 感官评价<sup>[30]</sup>:由评价小组进行感官评定, 小组成员包括 8 名课题组专业人员和 10 名普通消费者。评分过程中成员内不得交流, 每个品种间隔 10 min 并用清水漱口, 最终得分取平均值。评分标准见表 1。

### 1.3 数据处理

数据采用 SPSS 20.0 软件进行相关性分析, 主成分分析和聚类分析, 结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 蓝莓形态指标分析

如表 2 所示, 不同蓝莓果实单果质量为 1.05~

表1 蓝莓果实感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of the blueberry syrup

评分指标	5.00~4.00分	3.99~3.00分	2.99~2.00分	1.99~1.00分
色泽	深紫红色	浅紫红色	浅灰蓝色	浅灰黑色
风味	酸甜可口	甜味突出	酸度过重	酸甜不适
咀嚼感	质地均匀有嚼劲	略有杂质有嚼劲	质地松软略有嚼劲	无嚼劲
形态	饱满粘稠	略有杂质	粘稠过度	不黏稠
香气	香醇浓郁	香味厚重	香味清淡	清淡且有杂味

表2 不同品种蓝莓形态指标统计分析

Table 2 Statistical analysis of morphological indexes of different blueberries

品种	单果重(g)	果型指数	果实比重	果皮L*值
布莱登	1.48±0.10 <sup>def</sup>	0.91±0.01 <sup>abcd</sup>	1.01±0.06 <sup>a</sup>	59.07±7.13 <sup>bc</sup>
大粒蓝金	1.05±0.10 <sup>h</sup>	0.89±0.01 <sup>bcd</sup>	1.02±0.02 <sup>a</sup>	62.95±2.26 <sup>abc</sup>
赫伯特	1.75±0.01 <sup>bc</sup>	0.87±0.04 <sup>ede</sup>	0.99±0.01 <sup>a</sup>	58.27±3.61 <sup>bc</sup>
康维尔	1.64±0.09 <sup>bcd</sup>	0.79±0.05 <sup>fe</sup>	0.98±0.04 <sup>a</sup>	54.30±3.79 <sup>c</sup>
蓝鸟	1.17±0.03 <sup>gh</sup>	0.84±0.03 <sup>ef</sup>	0.98±0.01 <sup>a</sup>	59.72±2.56 <sup>bc</sup>
努益	1.79±0.27 <sup>b</sup>	0.74±0.06 <sup>g</sup>	1.01±0.02 <sup>a</sup>	55.52±3.48 <sup>c</sup>
乔治宝石	2.45±0.22 <sup>a</sup>	0.79±0.08 <sup>fg</sup>	1.04±0.10 <sup>a</sup>	58.94±7.12 <sup>bc</sup>
日出	1.53±0.01 <sup>ede</sup>	0.96±0.00 <sup>a</sup>	1.07±0.28 <sup>a</sup>	54.81±5.60 <sup>c</sup>
瑞卡	1.56±0.05 <sup>ede</sup>	0.97±0.00 <sup>a</sup>	1.00±0.06 <sup>a</sup>	60.94±4.05 <sup>bc</sup>
双迪	1.42±0.09 <sup>def</sup>	0.96±0.00 <sup>a</sup>	1.04±0.01 <sup>a</sup>	57.66±4.21 <sup>bc</sup>
塞拉	1.30±0.11 <sup>fg</sup>	0.85±0.03 <sup>def7</sup>	0.98±0.01 <sup>a</sup>	55.87±6.39 <sup>c</sup>
夏普蓝	1.62±0.06 <sup>bcd</sup>	0.93±0.00 <sup>abc</sup>	1.03±0.03 <sup>a</sup>	70.35±5.04 <sup>a</sup>
泽西	1.40±0.07 <sup>ef</sup>	0.95±0.00 <sup>ab</sup>	1.05±0.00 <sup>a</sup>	66.92±4.55 <sup>ab</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ); 表3、表4同。

2.45 g, 存在显著性差异( $P<0.05$ )。其中乔治宝石、努益、赫伯特单果重高, 果实较大。单果重能有效反应果实的外观品质, 是挑选果实的重要依据。根据表中数据获知乔治宝石、努益等品种有很大优势; 果型指数是判定果实形状的直观标准, 一般认为 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, 1.0 以上为长圆。因此瑞卡、双迪和日出等是椭圆形或圆锥形的代表, 大粒蓝金和赫伯特是圆形或近圆形的代表; 其中, 瑞卡果型指数最大, 其平均值为 0.97, 努益最小, 为 0.74; 蓝莓的平均果实比重为 1.02 左右, 组间差异较小, 其中日出的果实比重最大, 其次是双迪、乔治宝石; 果皮 L\*值最大为夏普蓝 70.35, 其次泽西、大粒蓝金和瑞卡, 最少的康维尔 54.30, 说明夏普蓝、泽西、大粒蓝金等的明亮度高, 康维尔等的果皮明亮度低。不同品种的蓝莓形态表现存在差异, 这主要由蓝莓的遗传基因决定的。

## 2.2 蓝莓理化指标分析

如表 3 所示, 花青素含量起伏大, 其中在 0.3 g/kg 以上的品种有两个, 为日出和布莱登, 日出含量最高为 0.38 g/kg。在 0.2~0.3 g/kg 的品种有塞拉; 不同品种的蓝莓中维生素 C 存在显著性差异( $P<0.05$ ), 在 0.93~2.17 mg/g 之间, 平均为 1.61 mg/g 左右。其中努益的维生素 C 最高为 2.17 mg/g, 其次为日出、蓝鸟等, 最小的为瑞卡 0.93 mg/g; 还原糖在 0.12~0.57 g/kg 之间, 不同品种间含量存在显著性差异

( $P<0.05$ ), 其中泽西的还原糖最高在 0.57 g/kg, 其次为大粒蓝金、夏普蓝和康维尔, 最小的是布莱登 0.12 g/kg; 蓝莓品种的总糖含量, 大粒蓝金 17.07 g/kg 含量最高, 赫伯特 11.18 g/kg 含量最低; 不同品种间的总酸含量变幅较大, 以塞拉的总酸含量最高, 为 12.14 g/kg, 蓝鸟次之, 最少的是日出; SOD 是有效清除体内的超氧阴离子自由基, 所测蓝莓品种中 SOD 含量范围在 737~1256.25 U/g 之间, 努益含量最高, 夏普蓝次之, 泽西最低。

## 2.3 蓝莓质构指标分析

不同品种蓝莓质构指标测定结果由表 4 可知, 大粒蓝金 225.29 g 果皮硬度最大, 乔治宝石 115.31 g 最小。康维尔与蓝鸟、努益三者之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 其余品种间存在显著性差异或差异不显著; 果皮破裂距离以赫伯特 4.14 mm 为最高值, 日出 2.72 mm 最低。通过分析 13 种不同种类蓝莓的果皮破裂距离可知, 果皮破裂距离差异不大, 大粒蓝金、瑞卡、双迪和泽西果皮破裂距离无差异( $P>0.05$ ); 果皮脆度以大粒蓝金脆度最高, 为 62.32 g·mm<sup>-1</sup>, 最低为乔治宝石 35.74 g·mm<sup>-1</sup>, 努益与夏普蓝间无显著性差异( $P>0.05$ ); 果皮韧性反映了蓝莓果实抗压能力。大粒蓝金果皮韧性最大, 其他品种果皮韧性都有不同程度地减少, 其中乔治宝石的果皮韧性最小, 乔治宝石、日出、双迪三者无显著性差异( $P>0.05$ ), 布莱登、康维尔、蓝鸟等 6 个品种间无差异; 果肉硬度

表 3 不同品种蓝莓理化指标统计分

Table 3 Statistical analysis of physicochemical indexes of different blueberries

品种	花青素含量(g/kg)	维生素C含量(mg/g)	还原糖含量(g/kg)	总糖含量(g/kg)	总酸含量(g/kg)	SOD含量(U/g)
布莱登	0.30±0.01 <sup>b</sup>	1.66±0.03 <sup>c</sup>	0.12±0.00 <sup>k</sup>	11.52±0.54 <sup>de</sup>	4.82±0.33 <sup>e</sup>	1128.80±102.99 <sup>ab</sup>
大粒蓝金	0.11±0.00 <sup>f</sup>	1.35±0.03 <sup>e</sup>	0.52±0.01 <sup>b</sup>	17.07±0.02 <sup>c</sup>	9.53±0.60 <sup>b</sup>	1156.11±14.61 <sup>ab</sup>
赫伯特	0.18±0.00 <sup>d</sup>	1.32±0.03 <sup>e</sup>	0.44±0.01 <sup>c</sup>	11.18±0.03 <sup>ab</sup>	5.75±0.03 <sup>f</sup>	1183.42±30.98 <sup>a</sup>
康维尔	0.14±0.00 <sup>e</sup>	1.11±0.01 <sup>i</sup>	0.49±0.01 <sup>c</sup>	13.98±0.06 <sup>c</sup>	6.92±0.03 <sup>e</sup>	1012.57±25.28 <sup>ab</sup>
蓝鸟	0.18±0.00 <sup>d</sup>	1.82±0.06 <sup>c</sup>	0.47±0.01 <sup>d</sup>	13.71±0.33 <sup>cd</sup>	9.65±0.24 <sup>b</sup>	928.53±77.24 <sup>ab</sup>
努益	0.08±0.00 <sup>g</sup>	2.17±0.03 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>g</sup>	14.03±0.13 <sup>de</sup>	8.02±0.67 <sup>d</sup>	1256.25±25.28 <sup>a</sup>
乔治宝石	0.08±0.00 <sup>g</sup>	1.25±0.02 <sup>h</sup>	0.38±0.01 <sup>f</sup>	12.11±0.34 <sup>bc</sup>	7.37±0.26 <sup>e</sup>	1121.23±94.77 <sup>ab</sup>
日出	0.38±0.01 <sup>a</sup>	2.03±0.01 <sup>b</sup>	0.25±0.01 <sup>i</sup>	14.92±0.16 <sup>cd</sup>	4.81±0.47 <sup>g</sup>	1165.22±0.00 <sup>ab</sup>
瑞卡	0.14±0.00 <sup>e</sup>	0.93±0.02 <sup>j</sup>	0.44±0.01 <sup>c</sup>	13.86±2.49 <sup>c</sup>	6.23±0.21 <sup>f</sup>	801.09±10.99 <sup>b</sup>
双迪	0.15±0.00 <sup>e</sup>	1.66±0.03 <sup>e</sup>	0.23±0.02 <sup>j</sup>	15.04±0.54 <sup>cd</sup>	8.67±0.23 <sup>c</sup>	755.57±38.62 <sup>c</sup>
塞拉	0.23±0.01 <sup>c</sup>	1.41±0.04 <sup>f</sup>	0.32±0.01 <sup>h</sup>	12.72±0.03 <sup>cd</sup>	12.14±0.25 <sup>a</sup>	1135.59±53.53 <sup>ab</sup>
夏普蓝	0.08±0.00 <sup>g</sup>	1.21±0.02 <sup>h</sup>	0.50±0.01 <sup>c</sup>	16.37±0.55 <sup>a</sup>	7.23±0.40 <sup>e</sup>	1201.84±13.38 <sup>a</sup>
泽西	0.14±0.00 <sup>e</sup>	1.77±0.01 <sup>d</sup>	0.57±0.01 <sup>a</sup>	12.67±1.28 <sup>bc</sup>	6.56±0.19 <sup>f</sup>	737.36±64.37 <sup>c</sup>

注: 以鲜重计, 数值为均值±标准差。

表 4 不同品种蓝莓质构指标统计分析

Table 4 Statistical analysis of texture indexes of different varieties of blueberry

品种	果皮硬度(g)	果皮破裂距离(mm)	果皮脆度(g·mm <sup>-1</sup> )	果皮韧性(g·mm <sup>-1</sup> )	果肉硬度(g)	果肉韧性(g·mm <sup>-1</sup> )	粘连性(g·sec)	粘性
布莱登	166.23±16.53 <sup>bcd</sup>	2.83±0.47 <sup>c</sup>	57.26±4.77 <sup>ab</sup>	274.17±74.24 <sup>bc</sup>	21.73±8.69 <sup>ab</sup>	103.05±35.80 <sup>a</sup>	9.29±3.08 <sup>ab</sup>	2.24±1.25 <sup>a</sup>
大粒蓝金	225.29±9.99 <sup>a</sup>	3.59±0.57 <sup>abc</sup>	62.32±10.21 <sup>a</sup>	497.14±48.97 <sup>a</sup>	28.12±11.25 <sup>a</sup>	96.15±15.91 <sup>ab</sup>	8.68±1.59 <sup>ab</sup>	2.24±0.49 <sup>a</sup>
赫伯特	175.23±20.79 <sup>bc</sup>	4.14±0.31 <sup>a</sup>	41.19±5.54 <sup>cde</sup>	399.06±61.52 <sup>ab</sup>	17.34±3.46 <sup>b</sup>	50.49±12.37 <sup>ab</sup>	11.32±2.42 <sup>a</sup>	2.95±1.40 <sup>a</sup>
康维尔	149.00±15.45 <sup>cdefg</sup>	2.97±0.38 <sup>bc</sup>	48.34±3.11 <sup>bcd</sup>	284.04±75.07 <sup>bc</sup>	17.18±4.24 <sup>b</sup>	74.15±13.76 <sup>ab</sup>	9.61±1.53 <sup>ab</sup>	2.17±0.46 <sup>a</sup>
蓝鸟	149.52±19.58 <sup>cdefg</sup>	3.88±0.64 <sup>ab</sup>	37.55±5.54 <sup>de</sup>	334.20±78.52 <sup>bc</sup>	18.65±7.81 <sup>ab</sup>	67.52±34.60 <sup>ab</sup>	5.99±2.04 <sup>b</sup>	1.16±0.83 <sup>a</sup>
努益	150.11±15.56 <sup>cdefg</sup>	2.98±0.71 <sup>bc</sup>	50.21±8.54 <sup>abcd</sup>	276.72±95.76 <sup>bc</sup>	19.69±2.89 <sup>ab</sup>	98.18±32.24 <sup>ab</sup>	8.35±1.72 <sup>ab</sup>	1.63±1.20 <sup>a</sup>
乔治宝石	115.31±21.78 <sup>g</sup>	3.08±0.26 <sup>bc</sup>	35.74±5.84 <sup>e</sup>	206.54±46.96 <sup>c</sup>	15.68±6.94 <sup>b</sup>	67.29±17.68 <sup>ab</sup>	9.56±1.48 <sup>ab</sup>	2.38±1.04 <sup>a</sup>
日出	124.62±23.77 <sup>fg</sup>	2.72±0.68 <sup>c</sup>	45.22±11.74 <sup>bcd</sup>	214.54±84.74 <sup>c</sup>	18.79±5.54 <sup>ab</sup>	101.87±47.18 <sup>a</sup>	8.91±0.74 <sup>ab</sup>	1.58±0.62 <sup>a</sup>
瑞卡	190.29±16.51 <sup>b</sup>	3.49±0.39 <sup>abc</sup>	53.23±8.19 <sup>abc</sup>	397.90±55.99 <sup>ab</sup>	19.89±7.07 <sup>ab</sup>	79.39±31.41 <sup>ab</sup>	8.48±1.05 <sup>ab</sup>	1.95±1.11 <sup>a</sup>
双迪	128.88±11.78 <sup>efg</sup>	3.31±0.38 <sup>abc</sup>	37.85±7.75 <sup>de</sup>	258.33±31.14 <sup>c</sup>	12.46±1.95 <sup>b</sup>	61.67±13.39 <sup>ab</sup>	8.59±1.86 <sup>ab</sup>	1.64±0.99 <sup>a</sup>
塞拉	156.09±27.07 <sup>bcd</sup>	4.13±0.44 <sup>a</sup>	36.29±4.15 <sup>c</sup>	392.51±99.07 <sup>ab</sup>	13.54±3.64 <sup>b</sup>	47.11±10.33 <sup>b</sup>	9.98±1.83 <sup>a</sup>	2.10±0.67 <sup>a</sup>
夏普蓝	164.09±21.83 <sup>bcd</sup>	3.11±0.34 <sup>bc</sup>	51.08±5.04 <sup>abcd</sup>	285.45±68.15 <sup>bc</sup>	21.34±2.14 <sup>ab</sup>	82.20±33.09 <sup>ab</sup>	9.61±1.99 <sup>ab</sup>	2.14±0.66 <sup>a</sup>
泽西	138.46±19.14 <sup>defg</sup>	3.46±0.27 <sup>abc</sup>	38.97±7.14 <sup>de</sup>	269.97±25.59 <sup>bc</sup>	17.90±4.78 <sup>ab</sup>	73.75±27.19 <sup>ab</sup>	10.51±1.75 <sup>a</sup>	2.06±0.25 <sup>a</sup>

最高的蓝莓品种为大粒蓝金 28.12 g, 硬度最低的为双迪 12.46 g。大粒蓝金与其他品种数据差异较大, 其余品种间差异不显著( $P>0.05$ ); 粘连性最大的为赫伯特 11.32 g·sec, 最小的为蓝鸟 5.99 g·sec, 粘连性较高的品种有赫伯特、泽西、塞拉; 不同品种蓝莓中, 粘性小于 3, 无显著性差异( $P>0.05$ )。

#### 2.4 蓝莓品质指标的相关性分析

对 13 种蓝莓的 17 品质指标相关性分析, 结果如表 5 所示。花青素含量与还原糖之间呈显著负相关( $P<0.05$ ); 维生素 C 与粘性呈显著负相关( $P<0.05$ ); 总糖与果皮脆度呈显著正相关( $P<0.05$ ), 与果肉硬度呈显著正相关( $P<0.05$ ), 与果肉韧性呈极显著正相关( $P<0.01$ ); 总酸与果皮破裂距离呈显著正相关( $P<0.05$ ); 果皮破裂距离与果皮韧性呈极显著正相关( $P<0.01$ ), 与果肉韧性呈极显著负相关( $P<0.01$ ); 果皮脆度与果肉硬度呈极显著正相关( $P<0.01$ ), 与果肉韧性呈极显著正相关( $P<0.01$ ); 果肉硬度与果肉韧性呈极显著正相关( $P<0.01$ ); 粘连性与粘性呈极显著正

相关( $P<0.01$ )。

#### 2.5 主成分分析

对 13 个蓝莓品种的 17 个果实品质指标进行主成分分析, 结果如图 1 所示。提取出前 5 个主成分, 第一主成分特征值为 4.311, 方差贡献率 25.356%, 是最主要的主成分; 第二主成分特征值为 3.413, 方差贡献率 20.074%; 第三主成分特征值为 2.679, 方差贡献率 15.762%; 第四主成分特征值为 2.056, 方差贡献率 12.097%; 第五主成分特征值为 1.695, 方差贡献率 9.971%。5 个主成分累计方差贡献率 83.260%, 超过 80%, 可以代表品质指标的大部分信息。由表 7 可知, 第一主成分主要代表果肉韧性, 为正相关; 第二主成分主要代表果皮韧性, 为正相关; 第三主成分主要代表粘性, 为正相关; 第四主成分主要代表果形指数, 为正相关; 第五主成分主要代表花青素, 为正相关。如表 8 所示, 5 个主成分得分值记为  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  和  $F_5$ , 并将该 5 组主成分的方差贡献率作为权数值, 构建综合评价函数为:  $F=0.25356F_1+$

表5 蓝莓品质指标的相关性分析  
Table 5 Correlation analysis of blueberry quality index

指标	单果重(g)	果形指数	果实比重	花青素含量(g/kg)	维生素C(mg/g)	还原糖(g/kg)	总糖(g/kg)	总酸(g/kg)	SOD(U/g)	果皮硬度(g)	果皮破裂距离(mm)	果皮脆度(g·mm <sup>-1</sup> )	果皮韧性(g·mm <sup>-1</sup> )	果肉硬度(g)	果肉韧性(g·mm <sup>-1</sup> )	粘连性(g)	粘性(g·mm <sup>-1</sup> )
单果重(g)	1.000																
果形指数	-0.414	1.000															
果实比重	0.197	0.471	1.000														
花青素(g/kg)	-0.280	0.394	0.150	1.000													
维生素C(mg/g)	-0.162	-0.112	0.346	0.346	1.000												
还原糖(g/kg)	-0.105	-0.092	-0.164	-0.621*	-0.380	1.000											
总糖(g/kg)	-0.156	0.076	0.344	0.184	0.300	-0.260	1.000										
总酸(g/kg)	-0.368	-0.315	-0.398	-0.321	-0.030	0.180	-0.394	1.000									
SOD(U/g)	0.265	-0.484	-0.092	0.103	0.123	-0.184	0.297	-0.013	1.000								
果皮硬度(g)	-0.315	-0.278	-0.087	-0.015	0.234	0.083	0.493	0.271	0.519	1.000							
果皮破裂距离(mm)	-0.359	0.003	-0.546	-0.143	-0.255	0.371	-0.455	0.568*	-0.154	0.139	1.000						
果皮脆度(g/sec)	-0.273	0.128	-0.033	-0.016	-0.165	0.003	0.666*	-0.280	0.303	0.194	-0.353	1.000					
果皮韧性(g·mm <sup>-1</sup> )	-0.551	0.063	-0.539	-0.170	-0.406	0.381	0.052	0.423	0.061	0.256	0.706**	0.384	1.000				
果肉硬度(g)	-0.330	0.089	0.047	-0.093	-0.052	0.275	0.601*	-0.181	0.337	0.365	-0.165	0.863**	0.453	1.000			
果肉韧性(g·mm <sup>-1</sup> )	-0.095	0.100	0.406	0.208	0.367	-0.227	0.701**	-0.461	0.286	0.082	-0.741**	0.750**	-0.181	0.705**	1.000		
粘连性(g)	0.336	0.093	0.134	0.020	-0.306	0.081	0.111	-0.294	0.182	0.154	0.083	-0.088	-0.007	-0.183	-0.283	1.000	
粘性(g·mm <sup>-1</sup> )	0.370	-0.060	-0.125	-0.151	-0.566*	0.159	0.180	-0.254	0.313	0.245	0.205	0.136	0.274	0.091	-0.260	0.844**	1.000

注: \*\*: P<0.01(双侧检验); \*: P<0.05(双侧检验)。

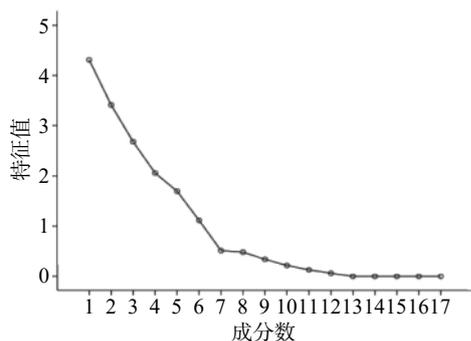


图1 主成分分析特征根碎石图

Fig.1 Principal component analysis feature root gravel map

$$0.20074F_2+0.15762F_3+0.12097F_4+0.09971F_5。$$

由表8可知,排名前6品种蓝莓分别为:大粒蓝金、布莱登、赫伯特、日出、夏普蓝和泽西。

主成分1与主成分2的方差贡献率各为25.356%和20.074%,主成分1值增大,则总糖值也增大,总酸值减小,即糖酸比增大,口感偏甜;主成分2值增大,则果皮脆度、果皮韧性及果肉硬度值也增大,口感较硬;结合图2可知,大粒蓝金、努益、日出、布莱登的总糖含量高,总酸含量较低,口感较甜;泽西、双迪、乔治宝石的糖酸比较大,且它们的果皮脆度、果皮韧性及果肉硬度较低,口感较为绵甜,对于蓝莓的特性而言,适于鲜食。主成分4与主成分5的方差贡献

表6 特征值及方差分析表

Table 6 Eigenvalue and variance analysis table

主成分	初始特征值			提取平方和载入		
	特征值	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)	特征值	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)
1	4.311	25.356	25.356	4.311	25.356	25.356
2	3.413	20.074	45.430	3.413	20.074	45.430
3	2.679	15.762	61.192	2.679	15.762	61.192
4	2.056	12.097	73.289	2.056	12.097	73.289
5	1.695	9.971	83.260	1.695	9.971	83.260
6	1.115	6.558	89.818	1.115	6.558	89.818
7	0.511	3.005	92.823			
8	0.480	2.825	95.648			
9	0.337	1.983	97.631			
10	0.215	1.267	98.898			
11	0.127	0.748	99.646			
12	0.060	0.354	100.000			
13	3.042E-016	1.790E-015	100.000			
14	2.197E-016	1.292E-015	100.000			
15	-1.159E-016	-6.816E-016	100.000			
16	-1.695E-016	-9.969E-016	100.000			
17	-3.639E-016	-2.140E-015	100.000			

表 7 主成分因子荷载矩阵

Table 7 Load matrix of principal component factors

性状	主成分				
	1	2	3	4	5
单果重	-0.007	-0.437	0.754	-0.260	-0.332
果形指数	0.201	-0.127	-0.206	0.860	0.277
果实比重	0.560	-0.424	0.107	0.242	-0.002
花青素	0.385	-0.267	-0.202	0.129	0.703
维生素C	0.441	-0.324	-0.427	-0.465	0.247
还原糖	-0.421	0.426	0.064	0.201	-0.472
总糖	0.792	0.379	0.102	-0.030	0.180
总酸	-0.606	0.244	-0.449	-0.378	0.041
SOD	0.307	0.363	0.364	-0.619	0.175
果皮硬度	0.147	0.579	0.029	-0.468	0.401
果皮破裂距离	-0.796	0.353	-0.174	0.086	0.324
果皮脆度	0.619	0.661	-0.006	0.192	-0.208
果皮韧性	-0.344	0.834	-0.193	0.213	0.132
果肉硬度	0.540	0.753	-0.097	0.120	-0.238
果肉韧性	0.931	0.161	-0.142	-0.015	-0.247
粘连性	-0.099	0.059	0.810	0.204	0.401
粘性	-0.145	0.381	0.855	0.160	0.244

表 8 不同蓝莓品种的主成分得分与综合评价指数

Table 8 Values of principal components and synthetic analysis indexes in different blueberry cultivars

品种	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F	排名
布莱登	1.684	0.145	0.218	0.047	1.020	0.598	2
大粒蓝金	0.652	2.599	-0.535	0.180	-0.107	0.614	1
赫伯特	-0.898	0.706	1.573	0.136	1.384	0.316	3
康维尔	-0.262	0.207	0.673	-0.313	-0.752	-0.032	7
蓝鸟	-0.919	-0.104	-2.161	-0.760	-0.484	-0.735	13
努益	0.771	0.012	-0.190	-1.999	-0.990	-0.173	9
乔治宝石	-0.401	-1.077	1.640	-0.829	-1.077	-0.267	10
日出	1.758	-1.206	-0.391	0.221	0.948	0.263	4
瑞卡	-0.443	-0.023	-0.285	2.108	-1.345	-0.041	8
双迪	-0.272	-1.271	-0.783	0.472	0.510	-0.339	11
塞拉	-1.683	0.107	-0.381	-0.691	1.609	-0.388	12
夏普蓝	0.179	0.410	0.582	0.285	-0.725	0.182	5
泽西	-0.165	-0.506	0.040	1.142	0.009	0.002	6

率各为 12.097% 和 9.971%，主成分 4 值增大，SOD 值随之增大；主成分 5 值增大，花青素值也增大；结合图 3 可得，蓝鸟、大粒蓝金、塞拉、赫伯特、努益、康维尔、日出、布莱登、乔治宝石的 SOD 含量丰富，而塞拉、赫伯特、泽西、双迪、日出、布莱登此几种品种的花青素含量较高，其中，塞拉、赫伯特、日出、布莱登处于两者的相交处，SOD 与花青素含量均较高；由蓝莓品质的相关性分析可得，花青素与维生素 C、SOD 含量呈正比，因此，此几种蓝莓品种的特色性较强，可用于蓝莓的特色深加工。

### 2.6 聚类分析

对本次实验蓝莓的 13 个品种进行系统聚类分析，采用离差平方和法(ward 法)，当欧式距离=5 时，可将蓝莓分为五大类，结果如图 4 所示。第一类聚

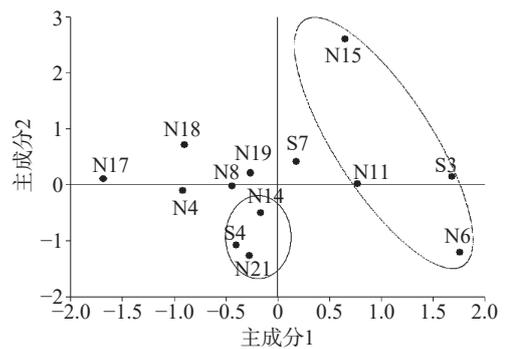


图 2 主成分分析得分图

Fig.2 Principal component analysis score chart

注: S3: 布莱登; S4: 乔治宝石; S7: 夏普蓝; N4: 蓝鸟; N6: 日出; N8: 瑞卡; N11: 努益; N14: 泽西; N15: 大粒蓝金; N17: 塞拉; N18: 赫伯特; N19: 康维尔; N21: 双迪; 图 3 同。

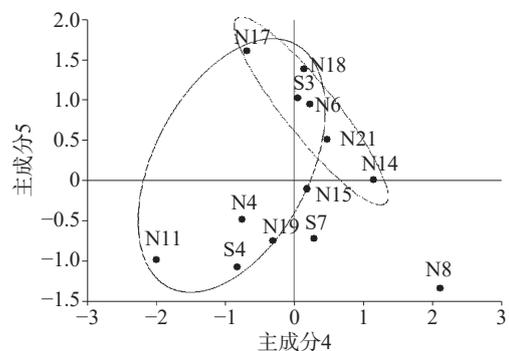


图 3 主成分分析得分图

Fig.3 Principal component analysis score chart

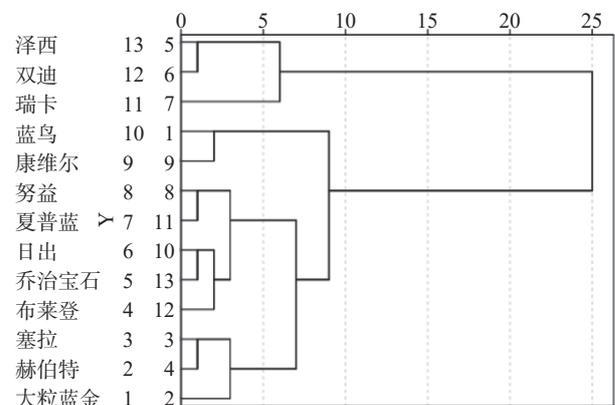


图 4 不同蓝莓品种聚类分析

Fig.4 Cluster analysis dendrogram of different blueberry cultivars

集了 2 个品种，为泽西、双迪，此两个品种单果重属中等质量，果形指数都为 0.9 以上，果实比重较大，花青素、维生素 C 含量丰富，总糖含量较高，总酸含量较低，果皮脆度、果肉硬度较小，口感绵甜，但 SOD 较其他蓝莓含量偏低；第二类只有瑞卡一个品种，其果形指数最大，呈近圆形；维生素 C 含量低，SOD 含量较低，糖酸比较大，口感较好。此两类鲜食口感较佳。第三类聚集了 2 个品种，为蓝鸟、康维尔，此两个品种的单果重较大，花青素、维生素 C 的含量较低，还原糖、SOD 的含量较高；第四类聚集了

5个品种,为努益、夏普蓝、日出、乔治宝石、布莱登,此5个品种的单果重较大,维生素C、总糖含量丰富,总酸含量较高;第五类聚集了塞拉、赫伯特、大粒蓝金3个品种,此3个品种的花青素、维生素C、还原糖含量较丰富,总酸含量高。第四、五类蓝莓SOD含量极丰富,具有清除体内自由基,提高身体免疫力的功效。

## 2.7 感官评价

13个品种的蓝莓分别对其色泽、风味、咀嚼感、形态、香气进行感官评分,并得出最终排名。如表9所示,新鲜蓝莓色泽均为紫红色,其中大粒蓝金评分4.31为最高值;风味均为酸甜口,以泽西4.57最高,该果甜味突出,酸甜适宜;咀嚼感以大粒蓝金4.22为最高值,该果具有较高的硬度和脆度,咀嚼韧性好,脆而不烂;形态均近似圆形,其中塞拉4.41为最高值,该果呈圆形,形态均一饱满;香气以大粒蓝金4.18为最高值,该果香气浓郁,无杂味。总评分以大粒蓝金20.69排名第一,综合感官指数最好。

表9 不同蓝莓感官评价结果

品种名	色泽	风味	咀嚼感	形态	香气	总评分	排序
布莱登	4.22	3.75	3.89	3.98	4.01	19.85	4
大粒蓝金	4.31	3.7	4.22	4.28	4.18	20.69	1
赫伯特	3.99	4.32	3.20	4.37	3.81	19.69	5
康维尔	3.87	3.45	3.22	4.24	4.07	18.85	10
蓝鸟	4.21	3.15	3.55	4.38	3.64	18.93	9
努益	3.8	4.17	3.66	4.09	3.87	19.59	6
乔治宝石	4.12	3.86	3.15	4.21	3.97	19.31	8
日出	3.74	3.34	3.6	3.88	3.68	18.24	13
瑞卡	4.28	3.2	3.59	3.68	4.03	18.78	11
双迪	3.98	3.6	3.09	3.82	3.99	18.48	12
塞拉	3.92	4.11	3.12	4.41	3.76	19.32	7
夏普蓝	4.58	4.07	3.77	3.86	4.05	20.33	2
泽西	4.46	4.57	3.32	3.78	4.17	20.3	3

## 3 结论

通过对13种引种山东的蓝莓品种进行检测分析,测定了蓝莓形态、理化、质构等品质指标,结果表明不同品种间各指标存在一定的差异。采用相关性分析与主成分分析结合的方法,在蓝莓的17项指标中筛选出5种作为综合评价蓝莓的核心指标,即果肉韧性、果肉脆性、粘性、果形指数、花青素。提取的前五个主成分累计方差贡献率达83.260%,可以代表品质指标的大部分信息。研究结果表明,大粒蓝金综合品质最好。该果单果质量大,果实饱满,近似圆形。还原糖、总酸含量高,质构品质好。聚类分析在欧式距离=5时将蓝莓分为五大类,其结果与主成分分析结果较为一致。

蓝莓作为小浆果种,依据其优质的感官特性和丰富的生物活性物质,广受喜爱;据实验结果,分析不同品种蓝莓的共性与差异,对于合理筛选品种,综合

利用资源有着积极作用。利用相关性分析和主成分分析的方法得到结论,改良了以往仅对蓝莓进行形态分析和理化分析或结合少量质构指标的实验方案,从而使结论更具合理性<sup>[31-34]</sup>。

## 参考文献

- [1] 盛艳,吴泽柱.蓝莓的营养保健功能及其开发利用研究进展[J].农产品加工,2017(18):72-74,77.
- [2] 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.
- [3] Hu M H, Dong Q L, Liu B L, et al. Prediction of mechanical properties of blueberry using hyperspectral interactance imaging[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 115: 122-131.
- [4] 吴林.中国蓝莓35年——科学研究与产业发展[J].吉林农业大学学报,2016,38(1):1-11.
- [5] 李殿鑫,戴远威,陈伟,等.蓝莓的营养价值及保健功能研究进展[J].农产品加工,2018(4):69-70,74.
- [6] Helena C, Andrea M, Mario G, et al. Yield and fruit quality of the blueberry cultivars Biloxi and Sharpblue in Guasca, Colombia[J]. Agronomia Colombiana, 2016, 34(1): 33-41.
- [7] 李亚东,孙海悦,陈丽.我国蓝莓产业发展报告[J].中国果树,2016(5):1-10.
- [8] 贺艳.不同品种蓝莓果实采后品质特性及抗氧化活性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [9] Lohachoopool 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.
- [10] 谢国芳,刘娜,卢丹,等.不同时间采收的贵州主栽蓝莓果实品质的综合评价[J].经济林研究,2020,38(2):209-214,240.
- [11] 谭飞菲,孙斐.我国蓝莓产业发展概况[J].中国果菜,2017,37(8):39-43.
- [12] 王学瑛,高智翔,王子迎,等.不同品种蓝莓果实品质指标比较和综合评价[J].合肥师范学院学报,2020,38(3):11-15.
- [13] 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.
- [14] 郭家刚,杨松,伍玉蕊,等.基于主成分与聚类分析的蓝莓品质综合评价研究[J].食品研究与开发,2020,41(12):53-60.
- [15] 谢跃杰,王仲明,王强,等.不同品种和成熟度蓝莓理化特性的主成分分析评价[J].食品科学,2017,38(23):94-99.
- [16] Li D, Li B, Ma Y, et al. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 62: 84-93.
- [17] 刘艺,李冰,鲁宝君,等.多指标综合评价不同产区蓝莓的品质[J].北方园艺,2020(8):15-23.
- [18] Chen Y, Hung Y C, Chen M, et al. Enhanced storability of blueberries by acidic electrolyzed oxidizing water application may mediated by regulating ROS metabolism[J]. Food Chemistry, 2018, 270(JAN.1): 229-235.
- [19] 卜凡琼,杨颖迪,刘新伟,等.不同产地蓝莓关键品质因子分析及其抗氧化特性[J].食品工业科技,2018,39(21):48-52,60.
- [20] Huang W, Zhu Y, Li C, et al. Effect of blueberry anthocyanins malvidin and glycosides on the antioxidant properties

- in endothelial cells[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 2016: 1–10.
- [21] 杨莉, 李珂珂, 李沙沙, 等. 蓝莓果实中花青素类成分的超声波提取工艺研究[J]. *中国现代中药*, 2017, 19(7): 1012–1016.
- [22] 李琳琪, 金义兰, 谌金吾. 9 个不同蓝莓品种花青素含量的测定[J]. *湖南农业科学*, 2016(6): 74–76.
- [23] 谢小林, 刘顺桥, 刘海, 等. 兔眼蓝莓园蓝和芭尔德温酿造红酒的理化指标检测与品质分析[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(6): 1134–1136.
- [24] 林向成, 汤泉. 紫外分光光度法测定艾草中还原型维生素 C 含量[J]. *理化检验 (化学分册)*, 2012, 48(5): 611–613.
- [25] 王佩芬, 池源, 王丽波. 蒽酮-硫酸比色法测定南瓜籽多糖含量[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(24): 121–125.
- [26] Gündüz K, Sere S, Hancock J F. Variation among highbush and rabbiteye cultivars of blueberry for fruit quality and phytochemical characteristics[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2014, 38(1): 69–79.
- [27] 梁静, 孙锐, 孙蕾, 等. 不同品种果桑穿刺试验质构特性分析[J]. *山东林业科技*, 2017, 47(5): 26–30.
- [28] 许玲, 魏秀清, 章希娟, 等. 质构仪整果穿刺法评价 3 个毛叶枣品种果实质地参数[J]. *福建农业学报*, 2018, 33(6): 621–625.
- [29] Cardenosa V, Girones-vilaplana A, Luis muriel J, et al. Influence of genotype, cultivation system and irrigation regime on antioxidant capacity and selected phenolics of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2016, 202(1): 276–283.
- [30] Claret, Anna, Garcia-mas, et al. Textural properties of different melon (*Cucumis melo* L.) fruit types: Sensory and physical-chemical evaluation[J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 119, 201(3): 46–56.
- [31] 熊喜红, 徐晓云, 张强, 等. 湖北和云南地区蓝莓果实加工特性研究[J]. *北方园艺*, 2020(2): 23–31.
- [32] 刘笑宏, 王建萍, 顾亮, 等. 不同品种蓝莓果实品质及芳香物质成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(24): 234–240.
- [33] 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 (*Pyrus* spp.)[J]. *Food Chemistry*, 2014, 152: 531–538.
- [34] Wang H, Guo X, Hu X, et al. Comparison of phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities of different varieties of blueberry (*Vaccinium* spp.)[J]. *Food Chemistry*, 2017, 217: 773–781.