

张素敏, 杨巍, 魏鑫, 等. 基于原料与果汁品质的蓝莓果实加工性能评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 319–327. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010216

ZHANG Sumin, YANG Wei, WEI Xin, et al. Evaluation of Blueberry Fruit Processing Performance Based on Raw Materials and Juice Quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 319–327. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010216

· 分析检测 ·

基于原料与果汁品质的蓝莓果实 加工性能评价

张素敏, 杨巍*, 魏鑫, 刘成*
(辽宁省果树科学研究所, 辽宁营口 115009)

摘要:以‘蓝金’、‘瑞卡’、‘N5’等 12 个辽南露地栽培蓝莓品种果实为试材, 通过果实外观、营养品质及加工性能指标的观测与分析, 筛选加工适宜品种。结果表明, 蓝莓果实以蓝色为主, 呈不同程度扁球形, 表面附着果粉, 单果重 0.95~2.63 g; 含水量>80%, 果越大, 含水量越高, 果型越扁, 果实中均含有果糖、葡萄糖、草酸、奎尼酸、苹果酸、莽草酸和柠檬酸, 果糖与葡萄糖含量相当, 柠檬酸含量显著高于其它有机酸 ($P<0.05$), 属于已糖积累型、柠檬酸优势型果品。供试品种果实中均含有钾、镁、钙、铁、锰、锌和铜元素, 含量依次递减, 钾含量最高 ($5786\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 极显著高于其它元素 ($P<0.01$), ‘达柔’果实中钾含量 ($7400\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 最高。不同品种果实不添加果胶酶处理出汁率差异极大 (变异系数达 60.42%), 添加果胶酶处理出汁率差异很小 (变异系数仅 3.88%), 添加果胶酶处理出汁率及果汁可溶性糖、可滴定酸含量明显提升, 添加果胶酶处理能够提高果汁产率和质量。果实中果糖和葡萄糖含量越高, 果汁中可溶性糖含量越高 (相关系数为 0.96 和 0.98); 果实中柠檬酸和奎尼酸含量越高, 果汁中可滴定酸含量越高 (相关系数为 0.81 和 0.71)。「日出」、「蓝金」和「北卫」3 个品种可溶性糖 ($>90\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、有机酸含量 ($>10\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 和出汁率 ($>74.6\%$) 均较高, 是较好的加工品种。综上, 「日出」、「蓝金」和「北卫」3 个品种果实营养丰富、出汁率高, 是加工的理想原料。

关键词: 蓝莓, 果实, 果汁, 加工性能, 聚类分析, 主成分分析

中图分类号: S663.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)22-0319-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010216



本文网刊:

Evaluation of Blueberry Fruit Processing Performance Based on Raw Materials and Juice Quality

ZHANG Sumin, YANG Wei*, WEI Xin, LIU Cheng*

(Liaoning Institute of Pomology, Yingkou 115009, China)

Abstract: The fruits of 12 blueberry varieties cultivated in the open field in southern Liaoning such as 'Bluegold', 'Reka', 'N5' were used as test materials. The best varieties for processing were selected through the analysis of fruit appearance, nutritional quality and processing performance indexes. The results showed that the blueberry fruit was mainly blue, flat spherical in varying degrees with bloom, and the single fruit weight was 0.95~2.63 g. The fruit contained more than 80% water, the larger the fruit the higher the water content, and the more flat. The fruit contained fructose, glucose, oxalic acid, quinic acid, malic acid, shikimic acid and citric acid. The content of fructose was equal to that of glucose, and the content of citric acid was significantly higher than that of other organic acids ($P<0.05$). It belonged to fructose accumulation type and citric acid dominant fruit. All tested fruits varieties contained potassium, magnesium, calcium, iron, manganese, zinc and copper, and their contents decreased successively. The potassium content was the highest ($5786\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), which was

收稿日期: 2022-01-25

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-29); 农业部东北地区果树科学观测实验站 (辽宁) (10212020); 北方果树资源与育种重点实验室。

作者简介: 张素敏 (1972-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 果品品质与精深加工, E-mail: zhangsumin720415@qq.com。

* 通信作者: 杨巍 (1972-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 北方果树资源与育种, E-mail: ywsys@yeah.net。

刘成 (1966-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 小浆果资源、育种及栽培技术, E-mail: stevecliu@hotmail.com。

extremely significantly higher than other elements ($P < 0.01$). The potassium content ($7400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in 'Darrow' fruit was the highest. The juice yield of different varieties of fruits without pectinase treatment was very different (the coefficient of variation was 60.42%), and the difference of juice yield of pectinase treatment was very small (the coefficient of variation was only 3.88%). The juice yield and the content of soluble sugar and titratable acid of fruit juice were significantly improved by pectinase treatment. Pectinase could improve the yield and quality of fruit juice. The higher the content of fructose and glucose in fruit, the higher the content of soluble sugar in fruit juice (correlation coefficients were 0.96 and 0.98). The higher the content of citric acid and quinic acid in fruit, the higher the content of titratable acid in fruit juice (correlation coefficients were 0.81 and 0.71). The soluble sugar ($>90 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), organic acid content ($>10 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) and juice yield ($>74.6\%$) of 'Sunrise', 'Bluegold' and 'Patroit' were higher, which were better processed varieties. In conclusion, the fruits of 'Sunrise', 'Bluegold' and 'Patroit' were rich in nutrition and high juice yield. They were ideal raw materials for processing.

Key words: blueberries; fruit; fruit juice; processing performance; cluster analysis; principal component analysis

蓝莓又名越橘, 杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium* spp.)多年生落叶小灌木, 果肉细腻、酸甜适度、营养丰富, 为鲜食水果佳品^[1], 有较好的抗氧化^[2-3]、抗病保健^[4-8]功效, 被列为人类 5 大健康食品之一^[9], 有“浆果之王”的美誉^[10], 广泛分布在长白山、大兴安岭、环渤海、长江流域和华南及西南等地的 27 个省区^[11], 近年栽培面积和产量连年增加, 截至 2020 年底, 全国蓝莓栽培面积 6.64 万公顷, 产量 34.72 万吨。

为进一步延长产业链条、提升整体效益, 广大科技工作者开展了果汁、果酒^[12-14]等多种加工尝试, 结果发现, 加工原料质量决定产品质量^[15-16], 蓝莓果实质量与加工性能评价至关重要, 当前相关研究仅限于果汁有机酸组分^[17]及果实与果汁少数质量指标关系的初步探讨^[18-20], 未见针对多个品种、指标、方法从原料到产品的全面系统评价。

本研究选取辽宁省果树科学研究所露地种植的 12 个蓝莓品种果实为试材, 利用相关性、聚类分析和主成分分析多种方法对果实外观性状、糖酸组分、矿质营养、果胶酶添加处理前后果汁品质、产率特征及其相互关系进行科学总结归纳, 进一步完善蓝莓果实品质评价体系, 为鲜食、加工育种亲本选配、栽培品种选择以及加工原料选优提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘蓝金’等 12 个蓝莓品种果实 辽宁省果树科学研究所, 4 ℃ 冷藏备用; 偏磷酸、硫酸、硝酸、硫酸铜、氢氧化钠、酒石酸钾钠、亚甲基蓝、酚酞 国药集团化学试剂沈阳公司; 果糖、葡萄糖、草酸、奎尼酸、苹果酸、莽草酸、柠檬酸标准品 西格玛奥德里奇贸易有限公司; 钾、钙、镁、铁、锌、锰、铜标准物 国家有色金属及电子材料分析测试中心; 果胶酶(活性为 4400 PGU/g) 法国 Laffort 公司。

ME204E 万分之一电子天平 瑞士梅特勒公司; DHG-9146A 鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; Milli-Q 超纯水系统 美国密理博公司; RI-101 型示差折光检测器 昭和电工科学仪器(上海)

有限公司; Hi-Plex Ca、ZOBAX C₁₈ 色谱柱 安捷伦科技有限公司; Thermo ICE3300 原子吸收光谱仪、戴安 U-3000 液相色谱仪 美国赛默飞世尔科技公司; LWY84B 消煮炉 四平市电子设备实验厂; MB-1001 多功能食品加工机 慈溪市豪迈电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 供试材料定植于辽宁省果树科学研究所试验园, 露地栽培, 树龄 5 a, 土壤、肥水等立地条件及管理方式一致。2020 年于各品种果实成熟期采集无机械和病虫害的大小相近、着色均匀、位置相似的蓝莓果实, 采后立即带回实验室, 用保鲜盒包装置于冰箱 4 ℃ 条件下贮藏, 对果实外观、营养品质和加工性能等指标进行观测、分析。

1.2.2 果实形状 利用游标卡尺测量果实纵径和横径, 果形指数=果实纵径/果实横径, 按果形指数大小将果实形状分成 3 类: 近球形, 果形指数 ≥ 0.9 ; 扁球形, $0.7 < \text{果形指数} < 0.9$; 饼形, 果形指数 ≤ 0.7 。

1.2.3 果实重量 利用天平称量果实质量, 按平均单果质量将果实大小分成 5 类: 小, 单果质量 $< 1.0 \text{ g}$; 中小, $1.0 \text{ g} \leq \text{单果质量} < 1.5 \text{ g}$; 中, $1.5 \text{ g} \leq \text{单果质量} < 2.0 \text{ g}$; 中大, $2.0 \text{ g} \leq \text{单果质量} \leq 2.5 \text{ g}$; 大, 单果质量 $> 2.5 \text{ g}$ 。

1.2.4 果实颜色、果粉 采用目测法, 其中, 果粉量划分为多、较多、中多、少和无 5 个等级。

1.2.5 果实含水量 采用烘干法, 各处理果实称重后置于干燥箱内, 120 ℃ 杀青, 80 ℃ 烘干至恒重, 称重, 含水量(%)=(鲜果质量-干果质量)/鲜果质量 $\times 100$, 根据其水平高低划分为 5 个等级: 低, 含水量 $< 82\%$; 中低, $82\% \leq \text{含水量} < 83\%$; 中, 含水量 $83\% \leq \text{含水量} < 84\%$; 中高, $84\% \leq \text{含水量} \leq 85\%$; 高, 含水量 $> 85\%$ 。

1.2.6 果实糖、酸组分 采用液相色谱法, 称取蓝莓果实 10.00 g, 加入超纯水(可溶性糖提取)或 0.2% 偏磷酸(有机酸提取)后机械匀浆, 转移至 200 mL 容量瓶中, 定容, 超声浸提 15 min, 10000 r/min 离心 10 min, 上清液经 0.22 μm 滤头过滤。采用液相色谱仪检测, 柱温 85 ℃, 纯水流动相, 流速为 $0.6 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。有机酸检测, 柱温 20 ℃, 流动相为 0.2% 的偏磷酸, 流速

为 1.0 mL/min, 检测波长分别为 214 nm。利用戴安变色龙软件进行仪器操作程序控制与数据处理。占比为单糖在可溶性总糖及单酸在总有机酸中所占的比例。

1.2.7 果实矿物质元素含量 取烘干样品 0.50 g, 加入 7.5:1.5(体积比)比例的 60% 高氯酸和浓硝酸混合液 9 mL 浸泡过夜, 300 ℃ 硝煮至均匀清亮, 定容, 利用原子吸收光谱仪进行钾、钙、镁、铁、锌、锰、铜的定量分析。

1.2.8 出汁率 取果实 30~50 g, 匀浆, 移取果浆至 10 mL 离心管中, 称重, 加入 0.002% 活性为 4400 PGNU/g 的果胶酶继续匀浆, 再移取果浆至 10 mL 离心管中, 称重, 10000 r/min 离心 3 次, 收集果汁, 称重, 出汁率(%)=果汁质量/果浆质量×100。本研究设添加果胶酶和不添加果胶酶 2 个处理, 分别进行榨汁实验。

1.2.9 果汁可溶性总糖含量 采用啡淋滴定法^[21]。

1.2.10 果汁可滴定总酸含量 采用酸碱滴定法^[22]。

1.3 数据处理

实验指标的观察、测定重复三次, 采用 Excel 2003 进行基础数据整理和绘图, 利用 DPS 7.05 软件进行数据差异显著性、相关性、聚类 and 主成分统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同蓝莓果实外观性状观测

供试 12 个品种, 果形指数变幅为 0.6872~0.9287, 均值为 0.7673, 呈不同程度扁球形, 变异系数 9.01%, 说明不同蓝莓品种间果形指数差异不大, ‘N4’果形指数最大, ‘日出’最小, 4 个品种果形指数超过均值, 占 33.33%, 8 个品种在均值以下, 占 66.67%, ‘N4’果形指数大于 0.9, 近球形, 占 8.33%, ‘达柔’和

‘日出’低于 0.7, 呈饼形, 占 16.67%, 其它 9 个品种果形指数在 0.7~0.9 之间, 呈扁球形, 占 75%。

单果质量 0.9452~2.6263 g, 均值为 1.7372 g, 变异系数达 30.80%, 说明不同蓝莓品种间果实大小差异较大, ‘达柔’单果质量最高, ‘粉红佳人’最低, 高低相差 1.78 倍, ‘达柔’为大型果, 占 8.33%, ‘早蓝’、‘布里吉塔’和‘莱格西’为中大型果, 占 25%, ‘蓝金’、‘日出’、‘夏普蓝’和‘瑞卡’为中型果, 占 33.33%, ‘北卫’和‘N5’为中小型果, 占 16.67%, ‘N4’和‘粉红佳人’为小型果, 占 16.67%。

蓝莓果实以蓝色为主, 占 91.67%, 也有极少数特色品种, ‘粉红佳人’果实呈红色, 占 8.33%。果实表面均附着果粉, ‘粉红佳人’果粉很少, 占 8.33%, ‘瑞卡’、‘N5’、‘北卫’、‘早蓝’、‘日出’和‘夏普蓝’果粉中多, 占 50%, ‘N4’果粉较多, 占 8.33%, ‘蓝金’、‘达柔’、‘布里吉塔’和‘莱格西’果实表面附着大量果粉, 占 33.33%(表 1)。

2.2 不同蓝莓果实营养品质分析

2.2.1 不同蓝莓果实水含量和可溶性糖组成 果实含水量均在 80% 以上, 变化范围为 80.40%~86.47%, 平均为 84.00%, 变异系数为 2.28%, 表明不同品种间果实含水量差异很小, ‘瑞卡’含水量最高, ‘N4’最低, 高低仅相差 7.53%, ‘瑞卡’、‘布里吉塔’、‘早蓝’、‘北卫’和‘达柔’含水量相对较高, 占 41.67%, 在供试品种中最为普遍。

果糖含量变化幅度为 34.6681~62.3215 mg·g⁻¹, 均值为 44.9443 mg·g⁻¹, 变异系数为 16.20%, 表明不同品种间果糖含量差异较小, ‘日出’果糖含量最高, ‘布里吉塔’最低, 高低相差 79.77%, 含量在均值上下均为 6 个品种, 各占 50%。

葡萄糖含量变幅为 41.0370~69.8650 mg·g⁻¹, 均值为 49.5594 mg·g⁻¹, 变异系数为 16.49%, ‘日出’葡

表 1 蓝莓果实主要外观经济性状

Table 1 Main appearance economic characters of blueberry fruit

品种	果形指数	果实形状	单果重(g)	果个	颜色	果粉
蓝金	0.7508±0.0085 ^d	扁球形	1.9650±0.3067 ^{bc}	中	蓝色	多
瑞卡	0.7913±0.0113 ^c	扁球形	1.5186±0.2598 ^d	中	蓝色	中
N5	0.7573±0.0032 ^d	扁球形	1.3784±0.2514 ^d	中小	蓝色	中
达柔	0.6923±0.0102 ^e	饼形	2.6263±0.1206 ^a	大	蓝色	多
北卫	0.7551±0.0034 ^d	扁球形	1.4916±0.0539 ^d	中小	蓝色	中
布里吉塔	0.7353±0.0112 ^e	扁球形	2.2895±0.5354 ^{ab}	中大	蓝色	多
早蓝	0.7140±0.0032 ^f	扁球形	2.3593±0.1975 ^{ab}	中大	蓝色	中
日出	0.6872±0.0156 ^e	饼形	1.7072±0.1504 ^{cd}	中	蓝色	中
N4	0.9287±0.0059 ^a	近球形	0.9663±0.0590 ^e	小	蓝色	较多
夏普蓝	0.8243±0.0096 ^b	扁球形	1.5289±0.1003 ^d	中	蓝色	中
莱格西	0.7331±0.0055 ^e	扁球形	2.0701±0.1232 ^{bc}	中大	蓝色	多
粉红佳人	0.8379±0.0052 ^b	扁球形	0.9452±0.2518 ^e	小	红色	少
均值(Mean)	0.7673		1.7372			
标准差(SD)	0.0691		0.5350			
变异系数(CV)	9.0056		30.7967			

注: 同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05); 相同小写字母表示差异不显著(P>0.05); 表2~表5同。

萄糖含量最高,‘布里吉塔’最低,高低相差 70.25%,4 个品种含量超过均值,占 33.33%,8 个品种含量在均值以下,占 66.67%。

果糖占比变幅为 45.79%~48.96%,葡萄糖占比变幅为 51.04%~54.21%,高低相差均为 3.17%;‘夏普蓝’果糖占比最高,葡萄糖占比最低,高低相差仅 2.08%;‘布里吉塔’葡萄糖占比最高,果糖占比最低,高低相差 8.42%,12 个处理中两种糖占比差值为 2.08%~8.42%;果糖平均占比为 47.56%,葡萄糖平均占比为 52.44%,高低相差 4.88%。蓝莓果实仅含有果糖与葡萄糖两种可溶性糖,且含量相当,为已糖积累型果品。

可溶性总糖含量变化幅度为 75.7051~132.1865 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 94.5037 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,变异系数为 16.28%,‘日出’总糖含量最高,‘布里吉塔’最低,‘日出’、‘N5’、‘瑞卡’、‘蓝金’4 个品种含量超过均值,占 33.33%,是糖含量较高的品种(表 2)。

2.2.2 不同蓝莓果实有机酸组成与含量 液相色谱检测结果表明,草酸含量变幅为 0.2082~0.4225 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 0.2082 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,含量较低,占总酸的 3.64%,变异系数为 15.84%,‘早蓝’草酸含量最高,‘瑞卡’最低,含量在均值上下各有 6 个品种,各占一半。

奎尼酸含量变幅为 0.2784~5.7758 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 1.5226 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,占总酸的 16.74%,仅次于柠檬酸含量,变异系数为 107.99%,表明品种间果实奎尼酸含量差异巨大,‘北卫’奎尼酸含量最高,‘瑞卡’最低,相差 20 余倍,4 个品种含量超过均值,占 33.33%,8 个品种含量在均值以下,占 66.67%,说明蓝莓果实大多奎尼酸含量较低,但仍有少数高奎尼酸品种,‘北卫’是罕见的奎尼酸极高的蓝莓资源。

苹果酸含量变幅为 0.3099~0.6270 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 0.4789 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,占总酸的 5.26%,变异系数为 18.21%,说明品种间果实苹果酸含量差异明显,‘日

出’苹果酸含量最高,‘布里吉塔’最低,8 个品种含量在均值以上,占 66.67%,4 个品种含量在均值以下,占 33.33%。

莽草酸含量变幅为 0.0047~0.0614 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 0.0209 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,占总酸的 0.23%,是含量最低的有机酸,变异系数为 79.43%,表明品种间果实莽草酸含量差异极大,‘粉红佳人’莽草酸含量最高,‘达柔’最低,4 个品种含量超过均值,占 33.33%,8 个品种含量在均值以下,占 66.67%。

柠檬酸含量变幅为 4.6639~11.0451 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 6.7437 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,占总酸的 74.13%,是含量最高的有机酸,变异系数为 30.16%,表明品种间果实柠檬酸含量差异很大,‘蓝金’柠檬酸含量最高,‘瑞卡’最低,相差 2.37 倍,4 个品种含量超过均值,占 33.33%,8 个品种含量在均值以下,占 66.67%,‘蓝金’是高柠檬酸蓝莓品种。柠檬酸占比最高,含量显著高于其它有机酸($P<0.05$),为柠檬酸优势型果品。

有机酸含量变幅为 5.6772~14.3188 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 9.0970 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,变异系数为 31.70%,表明品种间果实有机酸含量差异很大,‘北卫’有机酸含量最高,‘瑞卡’最低,相差 2.52 倍,5 个品种含量超过均值,占 41.67%,7 个品种含量在均值以下,占 58.33%,‘北卫’和‘蓝金’有机酸含量最高,‘蓝金’酸味主要源于柠檬酸,‘北卫’果实中奎尼酸、柠檬酸含量均较高(表 3)。

2.2.3 不同蓝莓果实主要矿物质元素含量 原子吸收分析结果表明,钾含量变幅为 3934~7400 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,均值为 5786 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,占所检元素含量的 87.97%,是含量最高的矿质元素,变异系数为 17.80%,说明品种间钾含量差异明显,‘达柔’钾含量最高,‘粉红佳人’最低,相差近 2 倍,12 个品种含量在均值上下各占一半。钾元素占比最高,含量显著高于其它元素($P<0.05$),为高钾果品。

表 2 蓝莓果实含水量和糖类组成

Table 2 Water content and carbohydrate composition of blueberry fruit

品种	含水量(%)	果糖($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	占比(%)	葡萄糖($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	占比(%)	Σ 糖($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
蓝金	84.81 $\pm$ 1.98 ^{ab}	45.16 $\pm$ 6.70 ^{bcd}	47.47	49.98 $\pm$ 8.28 ^{bc}	52.53	95.14 $\pm$ 14.89 ^{bc}
瑞卡	86.46 $\pm$ 0.68 ^a	49.03 $\pm$ 4.20 ^{bc}	47.53	54.12 $\pm$ 4.78 ^{bc}	52.47	103.14 $\pm$ 8.90 ^{bc}
N5	81.12 $\pm$ 0.67 ^{de}	52.65 $\pm$ 10.04 ^{ab}	47.06	59.24 $\pm$ 10.92 ^{ab}	52.94	111.89 $\pm$ 20.95 ^{ab}
达柔	85.20 $\pm$ 0.78 ^{ab}	43.40 $\pm$ 4.83 ^{bcd}	47.28	48.38 $\pm$ 5.27 ^{bc}	52.72	91.78 $\pm$ 10.11 ^{bc}
北卫	85.52 $\pm$ 0.53 ^{ab}	45.36 $\pm$ 8.43 ^{bcd}	48.49	48.18 $\pm$ 10.45 ^{bc}	51.51	93.54 $\pm$ 18.85 ^{bc}
布里吉塔	85.58 $\pm$ 2.70 ^{ab}	34.67 $\pm$ 9.38 ^d	45.79	41.04 $\pm$ 13.02 ^c	54.21	75.71 $\pm$ 22.40 ^c
早蓝	85.53 $\pm$ 0.73 ^{ab}	40.93 $\pm$ 4.29 ^{bcd}	47.20	45.79 $\pm$ 4.19 ^{bc}	52.80	86.72 $\pm$ 8.48 ^{bc}
日出	82.20 $\pm$ 1.60 ^{cde}	62.32 $\pm$ 3.06 ^a	47.15	69.87 $\pm$ 3.29 ^a	52.85	132.19 $\pm$ 6.35 ^a
N4	80.40 $\pm$ 1.28 ^c	38.95 $\pm$ 5.82 ^{cd}	47.17	43.63 $\pm$ 7.85 ^c	52.83	82.58 $\pm$ 13.61 ^c
夏普蓝	83.26 $\pm$ 0.31 ^{bcd}	45.20 $\pm$ 8.49 ^{bcd}	48.96	47.13 $\pm$ 8.54 ^{bc}	51.04	92.33 $\pm$ 17.01 ^{bc}
莱格西	84.04 $\pm$ 0.38 ^{bc}	43.16 $\pm$ 5.44 ^{bcd}	48.60	45.65 $\pm$ 5.41 ^{bc}	51.40	88.81 $\pm$ 10.76 ^{bc}
粉红佳人	83.91 $\pm$ 0.19 ^{bc}	38.50 $\pm$ 0.97 ^{cd}	47.99	41.72 $\pm$ 1.44 ^c	52.01	80.22 $\pm$ 2.28 ^c
均值(Mean)	84.00	44.94	47.56	49.56	52.44	94.50
标准差(SD)	1.92	7.28		8.17		15.38
变异系数(CV)	2.28	16.20		16.49		16.28

表 3 蓝莓果实有机酸组成
Table 3 Organic acid composition of blueberry fruit

品种	草酸(mg·g ⁻¹)	占比(%)	奎尼酸(mg·g ⁻¹)	占比(%)	苹果酸(mg·g ⁻¹)	占比(%)	莽草酸(mg·g ⁻¹)	占比(%)	柠檬酸(mg·g ⁻¹)	占比(%)	Σ酸(mg·g ⁻¹)
蓝金	0.2959±0.0347 ^b	2.10	2.2282±0.1797 ^c	15.81	0.4974±0.0260 ^{ab}	3.53	0.0231±0.0053 ^{cd}	0.16	11.0451±0.3654 ^a	78.39	14.0897±0.5873 ^a
瑞卡	0.2082±0.0389 ^c	3.67	0.2784±0.1058 ^c	4.91	0.5164±0.0858 ^{ab}	9.10	0.0053±0.0010 ^f	0.09	4.6639±0.7134 ^d	82.22	5.6722±0.9183 ^c
N5	0.2999±0.0261 ^b	4.45	0.6524±0.1312 ^{dc}	9.68	0.4814±0.0680 ^{ab}	7.14	0.0148±0.0030 ^e	0.22	5.2911±0.1179 ^d	78.51	6.7395±0.3447 ^{dc}
达柔	0.3222±0.0364 ^b	4.74	0.3640±0.1791 ^c	5.36	0.4697±0.3569 ^{ab}	6.92	0.0047±0.0011 ^f	0.07	5.6316±1.2171 ^d	82.91	6.7921±1.0519 ^{dc}
北卫	0.3244±0.0182 ^b	2.27	5.7758±1.2358 ^a	40.34	0.3946±0.0593 ^{ab}	2.76	0.0257±0.0070 ^e	0.18	7.7983±1.8354 ^{bc}	54.46	14.3188±3.1370 ^a
布里吉塔	0.3456±0.0135 ^{ab}	3.62	0.3094±0.1098 ^c	3.24	0.3099±0.0031 ^b	3.24	0.0129±0.0020 ^e	0.14	8.5765±0.8376 ^b	89.77	9.5543±0.8547 ^{bc}
早蓝	0.4255±0.0557 ^a	3.86	0.5371±0.0481 ^{dc}	4.87	0.5276±0.1873 ^{ab}	4.78	0.0116±0.0024 ^{ef}	0.11	9.5310±0.5745 ^{ab}	86.39	11.0327±0.5747 ^b
日出	0.3724±0.0887 ^{ab}	3.70	2.9443±0.0815 ^b	29.24	0.6270±0.0674 ^a	6.23	0.0447±0.0034 ^b	0.44	6.0826±0.3426 ^{cd}	60.40	10.0711±0.5762 ^{bc}
N4	0.3199±0.0462 ^b	4.01	0.8594±0.1945 ^{dc}	10.78	0.4917±0.0869 ^{ab}	6.17	0.0180±0.0048 ^{de}	0.23	6.2839±1.5374 ^{cd}	78.82	7.9729±1.8197 ^{dc}
夏普蓝	0.3376±0.0369 ^b	5.46	0.5044±0.1239 ^{dc}	8.16	0.5126±0.0899 ^{ab}	8.29	0.0175±0.0046 ^{de}	0.28	4.8104±0.6440 ^d	77.81	6.1825±0.8495 ^c
莱格西	0.3691±0.0485 ^{ab}	4.80	1.1138±0.3215 ^d	14.50	0.3598±0.0435 ^b	4.68	0.0112±0.0046 ^{ef}	0.15	5.8282±2.2791 ^{cd}	75.87	7.6821±2.3715 ^{dc}
粉红佳人	0.3495±0.0088 ^{ab}	3.86	2.7044±0.0537 ^{bc}	29.86	0.5584±0.0156 ^{ab}	6.17	0.0614±0.0005 ^a	0.68	5.3820±0.2144 ^d	59.43	9.0557±0.1751 ^{bcd}
均值(Mean)	0.3309	3.64	1.5226	16.74	0.4789	5.26	0.0209	0.23	6.7437	74.13	9.0970
标准差(SD)	0.0524		1.6443		0.0872		0.0166		2.0337		2.8835
变异系数(CV)	15.84		107.99		18.21		79.43		30.16		31.70

钙含量变幅为 249~447 mg·kg⁻¹, 均值为 347 mg·kg⁻¹, 占所检元素含量的 5.28%, 是含量较高的矿质元素, 变异系数为 19.88%, 品种间含量差异明显, ‘蓝金’钙含量最高, ‘布里吉塔’最低, 12 个品种含量在均值上下各占一半。

镁含量变幅为 249~455 mg·kg⁻¹, 均值为 359 mg·kg⁻¹, 占所检元素含量的 5.46%, 与钙相近, 是含量较高的矿质元素, 变异系数为 18.82%, 说明品种间镁含量差异明显, ‘粉红佳人’镁含量最高, ‘北卫’最低, 8 个品种含量超过均值, 占 66.67%, 4 个品种含量在均值以下, 占 33.33%。

铁含量变幅为 16.79~62.42 mg·kg⁻¹, 均值为 41.61 mg·kg⁻¹, 占所检元素含量的 0.63%, 是含量较低的矿质元素, 变异系数为 28.81%, 表明品种间铁含量差异较大, ‘粉红佳人’铁含量最高, ‘莱格西’最低, 7 个品种含量在均值以上, 占 58.33%, 5 个品种含量在均值以下, 占 41.67%。

锌含量变幅为 1.40~33.91 mg·kg⁻¹, 均值为 8.81 mg·kg⁻¹, 占所检元素含量的 0.13%, 是含量极低的矿质元素, 变异系数为 100.40%, 品种间含量差异巨大, ‘粉红佳人’锌含量最高, ‘布里吉塔’最低, 高低相差 24.28 倍, 3 个品种含量在均值以上, 占 25%, 9 个品种含量在均值以下, 占 75%, 说明蓝莓果实大多锌含量较低, 但仍有个别高锌品种。

锰含量变幅为 9.58~38.11 mg·kg⁻¹, 均值为 27.72 mg·kg⁻¹, 占所检元素含量的 0.42%, 是含量极低的矿质元素, 变异系数为 39.13%, 说明品种间锰含量差异较大, ‘蓝金’锰含量最高, ‘粉红佳人’最低, 高低相差近 4 倍, 7 个品种含量在均值以上, 占 58.33%, 5 个品种含量在均值以下, 占 41.67%。

铜含量变幅为 1.06~50.51 mg·kg⁻¹, 均值为 6.46 mg·kg⁻¹, 占所检元素含量的 0.10%, 是所检元素中含量最低的, 变异系数为 215.61%, 品种间含量差异巨大, ‘粉红佳人’铜含量最高, ‘北卫’最低, 高低相差

47.84 倍, ‘粉红佳人’铜含量特别高, 极显著高于其它品种($P<0.01$), 值得进一步研究探讨(表 4)。

2.3 不同处理蓝莓果实加工品质

2.3.1 不同处理蓝莓果实出汁率 不添加果胶酶果实出汁率变幅为 9.48%~63.94%, 均值为 32.01%, 变异系数为 60.42%, 表明品种间不添加果胶酶出汁率差异极大, ‘蓝金’出汁率最高, ‘早蓝’最低, 相差 6.74 倍, 12 个品种出汁率在均值上下各占一半。添加果胶酶果实出汁率变幅为 66.87%~78.66%, 均值为 74.91%, 变异系数为 3.88%, 表明品种间添加果胶酶出汁率差异很小, ‘夏普蓝’出汁率最高, ‘瑞卡’最低, 相差仅 0.18 倍, 7 个品种出汁率在均值以上, 占 58.33%, 5 个品种在均值以下, 占 41.67%。添加果胶酶出汁率极显著提升, 平均高低相差 1.34 倍(表 5)。

2.3.2 不同处理蓝莓果汁可溶性糖含量 不添加果胶酶处理果汁可溶性糖含量变幅为 12.13%~21.20%, 均值为 15.14%, 变异系数为 16.03%, 添加果胶酶处理果汁可溶性糖含量变幅为 13.10%~23.50%, 均值为 16.66%, 变异系数为 16.66%, 表明是否添加果胶酶处理品种间果汁可溶性糖含量均差异明显, 不同处理中, 均为‘日出’可溶性糖含量最高, ‘布里吉塔’最低, 4 个品种含量超过均值, 占 33.33%, 8 个品种含量在均值以下, 占 66.67%。添加果胶酶果汁可溶性糖含量明显升高, 但差异不显著(表 5)。

2.3.3 不同处理蓝莓果汁可滴定酸含量 不添加果胶酶处理果汁可滴定酸含量变幅为 0.41%~1.02%, 均值为 0.65%, 变异系数为 32.50%, 表明品种间不添加果胶酶处理果汁可滴定酸含量差异很大, ‘北卫’可滴定酸含量最高, ‘瑞卡’最低, 12 个品种可滴定酸含量在均值上下各占一半。添加果胶酶处理果汁可滴定酸含量变幅为 0.57%~1.43%, 均值为 0.91%, 变异系数为 30.77%, 表明品种间添加果胶酶处理果汁可滴定酸含量差异很大, ‘北卫’可滴定酸含量最高, ‘瑞

表 4 蓝莓果实矿物质元素含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 4 Content of mineral elements in blueberry fruit ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

品种	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	Σ 矿质
蓝金	6666±686 ^{ab}	447±80 ^a	304±38 ^{bcd}	48.86±7.00 ^{bc}	17.04±2.83 ^b	38.11±1.13 ^a	1.68±0.61 ^b	7523±736 ^{ab}
瑞卡	6764±618 ^{ab}	409±41 ^{ab}	393±63 ^{ab}	48.78±6.17 ^{bc}	4.79±0.51 ^{efg}	32.65±4.94 ^a	1.67±0.38 ^b	7654±711 ^{ab}
N5	5389±234 ^{cd}	323±76 ^{bc}	284±24 ^{cd}	43.54±8.95 ^{bcd}	4.33±1.15 ^{fg}	36.25±0.91 ^a	1.10±0.09 ^b	6081±151 ^{cd}
达柔	7400±772 ^a	395±48 ^{ab}	365±31 ^{abc}	47.59±7.82 ^{bcd}	6.96±1.69 ^{de}	36.41±3.94 ^a	2.57±0.31 ^b	8254±761 ^a
北卫	5239±162 ^{cd}	251±52 ^c	249±33 ^d	46.02±5.17 ^{bcd}	2.82±0.13 ^{gh}	37.74±4.26 ^a	1.06±0.20 ^b	5827±156 ^{de}
布里吉塔	6054±1252 ^{bc}	249±22 ^c	261±28 ^d	50.67±5.40 ^b	1.40±0.33 ^h	34.86±5.90 ^a	1.16±0.13 ^b	6652±1273 ^{bc}
早蓝	6468±176 ^{ab}	402±66 ^{ab}	414±52 ^a	36.44±5.75 ^{cdef}	7.70±1.12 ^{cd}	36.92±6.02 ^a	4.12±0.87 ^b	7370±162 ^{ab}
日出	6658±364 ^{ab}	352±64 ^{abc}	420±95 ^a	35.68±2.78 ^{def}	9.50±0.48 ^c	19.44±1.07 ^{bc}	3.15±0.77 ^b	7498±203 ^{ab}
N4	4894±214 ^{de}	325±39 ^{bc}	393±17 ^{ab}	33.64±7.32 ^{ef}	6.15±0.75 ^{def}	16.28±1.23 ^{bc}	3.51±0.15 ^b	5671±241 ^{ede}
夏普蓝	4819±261 ^{de}	280±27 ^c	393±34 ^{ab}	28.89±2.12 ^f	6.69±0.62 ^{de}	21.01±3.93 ^b	3.11±0.61 ^b	5552±270 ^{de}
莱格西	5142±337 ^{cd}	304±60 ^{bc}	381±31 ^{ab}	16.79±4.22 ^g	4.43±0.29 ^{fg}	13.42±3.64 ^{cd}	3.82±0.11 ^b	5865±384 ^{de}
粉红佳人	3934±227 ^e	431±53 ^a	455±90 ^a	62.42±12.30 ^a	33.91±1.52 ^a	9.58±0.69 ^d	50.51±12.24 ^a	4976±151 ^e
均值(Mean)	5786	347	359	41.61	8.81	27.72	6.46	6577
标准差(SD)	1030	69	68	11.99	8.85	10.85	13.92	1049
变异系数(CV)	17.80	19.88	18.82	28.81	100.40	39.13	215.61	15.94

表 5 不同处理蓝莓果实出汁率与果汁营养品质
Table 5 Juice yield and nutritional quality of blueberry fruit under different treatments

品种	出汁率(%)		可溶性糖(%)		可滴定酸(%)	
	未加酶	加酶	未加酶	加酶	未加酶	加酶
蓝金	63.94±6.06 ^a	76.99±1.37 ^{ab}	15.17±0.51 ^d	16.70±0.20 ^{cd}	1.01±0.03 ^a	1.41±0.02 ^a
瑞卡	36.10±1.15 ^c	66.87±3.25 ^c	16.50±0.53 ^c	18.00±0.62 ^c	0.41±0.05 ^e	0.57±0.05 ^d
N5	15.48±2.71 ^{de}	74.20±3.33 ^{ab}	17.93±0.35 ^b	20.07±1.17 ^b	0.48±0.03 ^{de}	0.68±0.02 ^{cd}
达柔	17.35±3.39 ^{de}	74.17±2.06 ^{ab}	14.50±0.30 ^{def}	16.10±0.46 ^{de}	0.49±0.03 ^{de}	0.68±0.02 ^{cd}
北卫	56.31±5.37 ^a	75.44±1.17 ^{ab}	14.97±0.40 ^{de}	16.40±0.70 ^d	1.02±0.03 ^a	1.43±0.03 ^a
布里吉塔	55.32±4.07 ^{ab}	74.02±1.08 ^b	12.13±0.06 ^h	13.10±0.40 ^f	0.69±0.03 ^c	0.95±0.01 ^b
早蓝	9.48±1.67 ^e	75.40±3.12 ^{ab}	13.97±0.42 ^{efg}	15.43±0.12 ^{de}	0.80±0.05 ^b	1.09±0.07 ^b
日出	38.96±19.20 ^{bc}	74.62±2.00 ^{ab}	21.20±1.25 ^a	23.50±0.61 ^a	0.72±0.03 ^{bc}	1.03±0.08 ^b
N4	31.98±25.19 ^{cd}	74.98±0.56 ^{ab}	13.20±0.26 ^g	15.53±0.86 ^{de}	0.55±0.14 ^d	0.78±0.07 ^c
夏普蓝	37.08±5.43 ^c	78.66±0.82 ^a	14.17±0.55 ^{defg}	14.80±0.62 ^e	0.49±0.04 ^{de}	0.77±0.02 ^c
莱格西	10.66±1.41 ^e	76.25±4.27 ^{ab}	14.00±0.52 ^{efg}	15.57±1.82 ^{de}	0.44±0.07 ^e	0.74±0.04 ^c
粉红佳人	11.50±1.93 ^e	77.28±1.12 ^{ab}	13.90±0.60 ^{fg}	14.67±0.06 ^e	0.75±0.06 ^{bc}	0.81±0.24 ^c
均值(Mean)	32.01	74.91	15.14	16.66	0.65	0.91
标准差(SD)	19.34	2.91	2.43	2.77	0.21	0.28
变异系数(CV)	60.42	3.88	16.03	16.66	32.50	30.77

卡'最低,5个品种含量超过均值,占41.67%,7个品种含量在均值以下,占58.33%。添加果胶酶果汁可滴定酸含量明显升高,高低相差0.4倍,差异显著(表5)。

2.4 不同蓝莓果实加工性能评价

2.4.1 不同蓝莓果实外观品质与营养生理指标及加工品质相关性 相关系数是衡量两个随机变量间关联程度的指标,对蓝莓果实外观形态与营养品质、加工性能的20个指标进行了相关性分析(表6),结果显示,单果重与果形指数呈极显著负相关($P<0.01$),与含水量呈显著正相关($P<0.05$),与钾含量呈极显著正相关($P<0.01$),表明果实越大含水量越高,果型越扁,大果品种果实中吸收和积累了更多的钾元素;果糖与葡萄糖含量呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数

达0.98,说明蓝莓果实中果糖与葡萄糖在含量相当的基础上相互间极有可能存在着紧密关联的生理关系;钾和锰呈显著正相关($P<0.05$),和铜呈显著负相关($P<0.05$),钙和锌呈显著正相关($P<0.05$),镁和锰呈显著负相关($P<0.05$),锌和铜呈极显著正相关($P<0.01$),锰和铜呈显著负相关($P<0.05$),表明蓝莓果实中钾、锰同向积累,钙、镁、锌、铜同向积累,而前后两组矿质元素呈逆向积累的关系;加酶处理果汁中糖与果实中果糖、葡萄糖含量呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数极高,分别达0.96和0.98,说明果实中果糖和葡萄糖含量决定加工后果汁中可溶性糖含量,加酶处理果汁中酸含量与果实中柠檬酸、奎尼酸含量呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数分别为0.81和0.71,表明果实中柠檬酸和奎尼酸含量影响着加工后果汁可滴定酸含量,基于此,蓝莓果实中

表 6 蓝莓果实外观、生理、加工指标相关性分析

Table 6 Correlation analysis of appearance, physiology and processing indexes of blueberry fruit																				
相关系数	果形指数	单果重	含水量	果糖	葡萄糖	草酸	奎尼酸	苹果酸	莽草酸	柠檬酸	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	加酶 出汁率	加酶糖	加酶酸
果形指数	1.00																			
单果重	-0.79**	1.00																		
含水量	-0.45	0.56*	1.00																	
果糖	-0.37	-0.11	-0.29	1.00																
葡萄糖	-0.41	-0.06	-0.30	0.98**	1.00															
草酸	-0.29	0.31	-0.12	-0.16	-0.16	1.00														
奎尼酸	-0.07	-0.31	0.06	0.23	0.16	0.10	1.00													
苹果酸	0.10	-0.35	-0.32	0.56*	0.55	0.01	0.05	1.00												
莽草酸	0.17	-0.54	-0.26	0.17	0.14	0.26	0.58*	0.49	1.00											
柠檬酸	-0.28	0.42	0.33	-0.28	-0.22	0.30	0.21	-0.22	-0.06	1.00										
K	-0.67*	0.72**	0.43	0.32	0.40	-0.17	-0.24	0.09	-0.48	0.31	1.00									
Ca	-0.05	0.03	0.17	0.09	0.11	-0.16	-0.14	0.62*	0.21	0.14	0.33	1.00								
Mg	0.24	-0.21	-0.17	0.09	0.05	0.24	-0.24	0.68*	0.35	-0.41	-0.14	0.51	1.00							
Fe	0.03	-0.15	0.33	-0.19	-0.12	-0.35	0.21	0.12	0.37	0.15	0.08	0.40	-0.17	1.00						
Zn	0.24	-0.37	-0.04	-0.13	-0.16	0.10	0.24	0.50	0.78**	0.02	-0.36	0.64*	0.49	0.51	1.00					
Mn	-0.48	0.52	0.48	0.04	0.11	-0.25	-0.02	-0.25	-0.54	0.51	0.65*	0.02	-0.68*	0.31	-0.44	1.00				
Cu	0.33	-0.46	-0.03	-0.28	-0.31	0.16	0.20	0.31	0.77**	-0.22	-0.57*	0.39	0.50	0.49	0.90**	-0.57*	1.00			
加酶出汁率	0.09	-0.04	-0.32	-0.22	-0.29	0.64*	0.26	-0.01	0.40	0.25	-0.50	-0.16	0.04	-0.23	0.36	-0.33	0.28	1.00		
加酶糖	-0.34	-0.15	-0.37	0.96**	0.98**	-0.14	0.22	0.58*	0.21	-0.22	0.34	0.17	0.09	-0.10	-0.09	0.04	-0.23	-0.29	1.00	
加酶酸	-0.25	0.13	0.24	0.01	0.00	0.28	0.71**	-0.07	0.26	0.81**	0.10	-0.04	-0.43	0.14	0.08	0.37	-0.13	0.38	0.00	1.00

注: *和**分别表示在0.05和0.01水平上显著相关。

果糖、葡萄糖、柠檬酸和奎尼酸含量可以直接作为品种适宜加工性能评价的核心品质指标来使用。

2.4.2 不同蓝莓果实主要加工指标聚类分析 可溶性糖、有机酸含量与出汁率聚类分析结果表明,在距离系数为 6.50 时可将 12 个品种分成 5 大类,第 1 类可溶性总糖含量最高,有机酸含量较高,出汁率中等,只有‘日出’1 个品种,占 8.33%;第 2 类可溶性总糖含量次高,有机酸含量、出汁率很低,只有‘N5’1 个品种,占 8.33%;第 3 类可溶性糖含量较高,有机酸含量、出汁率最低,只有‘瑞卡’1 个品种,占 8.33%;第 4 类可溶性总糖含量很低,有机酸含量中等或很低,出汁率中等及以上,包括‘达柔’等 7 个品种,占 58.33%;第 5 类可溶性总糖含量较高,有机酸含量最高,出汁率较高,包括‘蓝金’和‘北卫’2 个品种,占 16.67%;‘日出’、‘蓝金’和‘北卫’3 个品种可溶性糖含量(>90 mg·g⁻¹)、有机酸含量(>10 mg·g⁻¹)和出汁率(>74.6%)均较高,是较好的加工品种,‘瑞卡’和‘N5’虽然可溶性糖含量较高,但有机酸含量和出汁率过低,不是理想的加工材料(表 2~表 3、表 5、图 1)。

2.4.3 不同蓝莓果实核心指标主成分分析 利用 SPSS 22.0 对标准化、同趋化后的数据进行主成分分析。依据特征值大于 1 的原则,提取用来评价各个处理的主成分,得到评价体系的总方差解释表(表 7)。结果表明,前 3 个主成分累积贡献率已达 83.675%,能够充分保留原始数据大部分变异信息,即所提取的 3 个主成分具有较好的代表性,因此可以用这 3 个主成分代替原来的 6 个指标变量来对各处理的

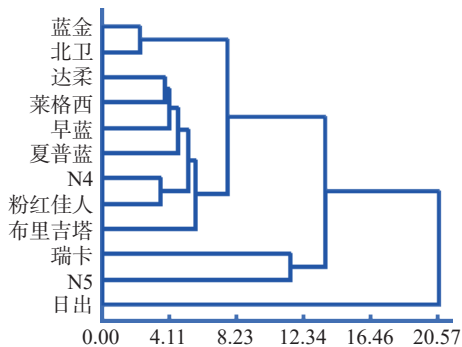


图 1 12 个蓝莓品种果实加工品质树状聚类分析
Fig.1 Cluster analysis of fruit processing quality of twelve blueberry varieties

表 7 主成分分析总方差解释

Table 7 Total variance explanation of principal component analysis			
主成分	特征值	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)
1	2.298	38.295	38.295
2	1.449	24.143	62.438
3	1.274	21.237	83.675
4	0.650	10.826	94.500
5	0.320	5.333	99.834
6	0.010	0.166	100.000

蓝莓加工品质进行评价。

主成分载荷矩阵能够反映各主成分中不同指标的负载信息。由表 8 可知,第 1 主成分方差贡献率达到 38.295%,主要反映了果糖和葡萄糖含量 2 个表示蓝莓糖含量的内在营养指标,是果实品质的核心因素,可命名为甜味因子;第 2 主成分方差贡献率达

表 8 主成分载荷矩阵
Table 8 Principal component loading matrix

指标变量	主成分		
	1	2	3
单果重	-0.014	-0.308	0.880
果糖含量	0.977	0.018	-0.118
葡萄糖含量	0.983	-0.050	-0.047
柠檬酸含量	-0.170	0.417	0.788
奎尼酸含量	0.269	0.847	-0.103
加果胶酶出汁率	-0.332	0.687	0.079

表 9 各处理主成分综合得分及排序结果
Table 9 Principal components scores and ranking of each treatment

品种	蓝金	瑞卡	N5	达柔	北卫	布里吉塔	早蓝	日出	N4	夏普蓝	莱格西	红粉佳人
综合得分	60.64	-34.62	10.91	-12.71	52.37	-34.44	10.41	105.14	-59.79	-31.92	-17.43	-48.56
排序	2	10	4	6	3	9	5	1	12	8	7	11

到 24.143%，主要反映了奎尼酸含量、加果胶酶出汁率加工核指标和重要酸味营养品质指标，可称加工因子；第 3 主成分方差贡献率达到 21.237%，主要包括果实重量和柠檬酸含量的核心外观指标和核心酸味营养品质指标，可称为外观及酸味因子。

用各主成分载荷向量除以各自主成分特征值的算术平方根，即得到 3 个主成分中每个指标所对应的系数，再以提取的各主成分所对应的特征值占所提取的 3 个主成分特征值之和的比例作为各主成分的权重得到各处理主成分综合得分模型，6 项蓝莓主要加工品质指标初始数据经标准化、同趋化处理后的数值。由此计算各处理的综合主成分得分见表 9，综合得分越高，表示该处理下蓝莓品质越好。主成分分析结果表明，‘日出’、‘蓝金’和‘北卫’为综合加工品质最优的 3 个品种。

3 结论

蓝莓属于已糖积累型、柠檬酸优势型、高钾果品。不同品种果实不添加果胶酶处理出汁率差异极大，添加果胶酶处理出汁率差异很小，添加果胶酶处理出汁率及果汁可溶性糖、可滴定酸含量明显提升。果实中果糖和葡萄糖含量越高，果汁中可溶性糖含量越高；果实中柠檬酸和奎尼酸含量越高，果汁中可滴定酸含量越高。‘日出’、‘蓝金’和‘北卫’3 个品种可溶性糖、有机酸含量和出汁率均较高，营养丰富，加工后产品质量和产率也很高，是理想的加工品种，加工时要添加果胶酶处理，以提高产、质量。

参考文献

- [1] 刘萌, 范新光, 王美兰, 等. 不同包装方法对蓝莓采后生理及冻藏效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 346-350. [LIU Meng, FAN Xinguang, WANG Meilan, et al. Influence of different packaging methods on physiological properties of blueberry during postharvest storage[J]. Food Science, 2013, 34(14): 346-350.]
- [2] 范金波, 蔡茜彤, 冯叙桥, 等. 桑葚、蓝莓、黑加仑中多酚类物质的抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(2): 157-162.

- [FAN Jinbo, CAI Qiantong, FENG Xuqiao, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of blueberry, mulberry and blackcurrant[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(2): 157-162.]
- [3] HWANG S J, YOON W B, LEE O H, et al. Radical-scavenging-linked antioxidant activities of extracts from black chokeberry and blueberry cultivated in Korea[J]. Food Chemistry, 2014, 146: 71-77.
- [4] WANG H L, GUO X B, HU X D, 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.
- [5] JOSHI S, HOWELL A B, SOUZA D H, et al. Blueberry proanthocyanidins against human norovirus surrogates in model foods and under simulated gastric conditions[J]. Food Microbiology, 2017, 63: 263-267.
- [6] FIGUEIRA M, OLIVEIRA M, DIREITO R, et al. Protective effects of a blueberry extract in acute inflammation and collagen-induced arthritis in the rat[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2016, 83: 1191-1202.
- [7] DEBOM G, GAZAL M, SOARES M S P, et al. Preventive effects of blueberry extract on behavioral and biochemical dysfunctions in rats submitted to a model of manic behavior induced by ketamine[J]. Brain Research Bulletin, 2016, 127: 260-269.
- [8] OLIVEIRA P S, GAZAL M, FLORES N P, et al. *Vaccinium virgatum* fruit extract as an important adjuvant in biochemical and behavioral alterations observed in animal model of metabolic syndrome[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2017, 88: 939-947.
- [9] 吉宁, 龙晓波, 李江阔, 等. 1-MCP 结合臭氧处理对蓝莓低温保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 302-307. [JI Ning, LONG Xiaobo, LI Jiangkuo, et al. Effect of 1-MCP coupling with ozone treatment on storage of blueberry at low temperature[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 302-307.]
- [10] 马立志, 李金星, 刘志刚, 等. 蓝莓果汁及不同纯度蓝莓花色苷对原发性高血压大鼠血压的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 266-271. [MA Lizhi, LI Jinxing, LIU Zhigang, et al. Effect of

blueberry juice and blueberry anthocyanins with different purities on blood pressure of spontaneously hypertensive (SHR) rats[J]. *Food Science*, 2014, 35(19): 266–271.]

[11] 徐广海, 姜常松, 张成冉, 等. 发芽对普通玉米和糯玉米淀粉理化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(9): 40–46. [XU Guanghai, JIANG Changsong, ZHANG Chengran, et al. Effects of germination on physicochemical properties of normal and waxy corn starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(9): 40–46.]

[12] 何中秋, 程志强, 康立娟, 等. 明胶吸附单宁酸的机理探讨及其在蓝莓汁脱涩中的应用[J]. *食品科学*, 2015, 36(1): 104–108. [HE Zhongqiu, CHENG Zhiqiang, KANG Lijuan, et al. Mechanism of adsorption of tannic acid by gelatin and its application to astringency removal of blueberry juice[J]. *Food Science*, 2015, 36(1): 104–108.]

[13] 汪涛, 钟佳娜, 房升, 等. 渗透脱水蓝莓热风干燥的响应面优化研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(10): 52–57. [WANG Tao, ZHONG Jiana, FANG Sheng, et al. Response surface optimization and kinetics model of osmotic dehydration blueberry in hot-air drying[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(10): 52–57.]

[14] 夏其乐, 陈剑兵, 郗海燕, 等. D-异抗坏血酸钠对蓝莓果酱品质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(2): 20–24. [XIA Qile, CHEN Jianbing, GAO Haiyan, et al. Effect of sodium D-isoascorbate on the quality of blueberry jam[J]. *Food Science*, 2018, 39(2): 20–24.]

[15] 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. [ZHU Shihui, MENG Xianjun, YAN Tingcai, et al. Studies on processing adaptability of main blueberry cultivars in Liaoning province[J]. *Food Science*, 2014, 35(21): 79–83.]

[16] 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. [HAN Si, MENG Xianjun, WANG Yanqun, et al. Quality properties and cluster analysis of different blueberry cultivars[J]. *Food Science*, 2015, 36(6): 140–144.]

[17] 李佳秀, 张春岭, 刘慧, 等. 不同果汁中有机酸的组成及差异性

分析[J]. *果树学报*, 2017, 34(9): 1192–1203. [LI Jiaxiu, ZHANG Chunling, LIU Hui, et al. Composition and variability of organic acid in different fruit juices[J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(9): 1192–1203.]

[18] 谢国芳, 刘潇, 田永林, 等. 贵州主栽蓝莓果实大小品质特性分析[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(3): 165–169. [XIE Guofang, LIU Xiao, TIAN Yonglin, et al. Analysis of the size of blueberry on its quality in Guizhou province[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(3): 165–169.]

[19] 谢国芳, 谭彦, 王艳, 等. 贵州主栽蓝莓制汁特性评价[J]. *食品与生物技术学报*, 2018, 37(10): 1080–1085. [XIE Guofang, TAN Yan, WANG Yan, et al. Evaluation of juice processing characteristics of mainly blueberry cultivars in Guizhou province[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2018, 37(10): 1080–1085.]

[20] 成柯, 闫俊, 严晓雪, 等. 湖北地区不同品种蓝莓果汁加工品质特征及抗氧化活性评价[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(9): 146–151. [CHENG Ke, YAN Jun, YAN Xiaoxue, et al. Evaluation of juice quality and antioxidation activity of different blueberry cultivars in Hubei province[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(9): 146–151.]

[21] 中国标准出版社第一编辑室. 水果、蔬菜可溶性糖测定方法. 中国食品工业标准汇编. 水果、蔬菜及其制品卷[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 343–345. [Standards Press of China First Editorial Office. Determination of soluble sugar in vegetable and fruit. China's Food Industry-Standard Compilation-Fruits, vegetables and their products Vol[S]. Beijing: Standards Press of China, 1999: 343–345.]

[22] 中国标准出版社第一编辑室. 水果、蔬菜-可滴定酸度的测定. 中国食品工业标准汇编. 水果、蔬菜及其制品卷[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 431–433. [Standards Press of China First Editorial Office. Determination of titratable acidity in vegetable and fruit. China's food industry-standard compilation-Fruits, vegetables and their products vol[S]. Beijing: Standards Press of China, 1999: 431–433.]