

不同品种和成熟度蓝莓理化特性的主成分分析评价

谢跃杰¹, 王仲明¹, 王 强¹, 张忠明², 熊政委¹, 吴洪斌^{3,*}

(1.重庆第二师范学院生物与化学工程学院, 重庆 400067; 2.甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 737100; 3.新疆农垦科学院农产品加工研究所, 新疆 石河子 832000)

摘 要: 蓝莓的品种和成熟度对其色泽、品质、理化成分及其生理功能的意义重大。本实验研究了4个具有代表性的蓝莓品种(‘安娜’、‘巴尔德温’、‘园蓝’和‘巨蓝’)及其3个成熟度(I、II、III)对其感官品质、理化特性、功效成分和抗氧化活性的影响,并通过主成分分析法(principal component analysis, PCA)研究蓝莓不同品种及成熟度与所分析指标之间的关联性。研究发现,蓝莓的品种和成熟度对其理化特性影响程度不同,并且蓝莓品种对VC含量和抗氧化活性的影响大于成熟度的影响;PCA散点图中的品种聚类揭示了各蓝莓归属。从营养成分和生理功能角度出发,‘安娜’和‘巴尔德温’品种是最佳的加工和提取活性成分用栽培品种。本研究为蓝莓品种选育和加工利用提供了理论依据。

关键词: 蓝莓; 品种; 成熟度; 理化特性; 总酚; 抗氧化; 主成分分析

Assessment of the Differences in Physical, Chemical and Phytochemical Properties of Different Blueberry Cultivars Harvested at Different Dates Using Principal Component Analysis

XIE Yuejie¹, WANG Zhongming¹, WANG Qiang¹, ZHANG Zhongming², XIONG Zhengwei¹, WU Hongbin^{3,*}

(1. College of Biological and Chemical Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China; 2. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 737100, China; 3. Institute of Agro-Food Science and Technology, Xinjiang Academy of Agricultural And Reclamation Science, Shihezi 832000, China)

Abstract: Different blueberry cultivars and maturity are important for blueberry color, quality, phytochemical components and physiological functions. The sensory quality, phytochemical properties, antioxidant activity and phytochemical components of four different blueberry cultivars (‘Anna’, ‘Baldwin’, ‘Gardenblue’ and ‘Plolific’) harvested at three different dates (I, II and III) were investigated. The correlations of the investigated parameters with cultivar and maturity were investigated by the statistical approach of principal component analysis (PCA). Results indicated that both cultivar and harvesting date affected the analyzed parameters and cultivar had a more significant effect on VC content and antioxidant activity. PCA scatter plots showed that the blueberry samples could be clearly classified. From both nutritional and physiological points of view, ‘Anna’ and ‘Baldwin’ were the best cultivars for processing and the extraction of active phytochemicals. These results can provide a theoretical guideline for the breeding, processing and application of blueberry.

Key words: blueberry; cultivars; maturity; physicochemical properties; total polyphenol; antioxidant; principal component analysis (PCA)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201723016

中图分类号: TS201.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 23-0094-06

引文格式:

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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201723016. <http://www.spkx.net.cn>

XIE Yuejie, WANG Zhongming, WANG Qiang, et al. Assessment of the differences in physical, chemical and phytochemical properties of different blueberry cultivars harvested at different dates using principal component analysis[J]. Food Science, 2017, 38(23): 94-99. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201723016. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-03-20

基金项目: 新疆建设兵团工业科技攻关项目(2015AB030); 重庆市五大功能区创新创业团队支持计划项目(201618793)

作者简介: 谢跃杰(1985—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为食品化学。E-mail: 569619120@qq.com

*通信作者: 吴洪斌(1980—), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为果蔬农产品加工。E-mail: woo2007@foxmail.com

蓝莓 (*Vaccinium corymbosum* L.)，又名越橘、甸果，属于杜鹃花科 (*Ericaceae*) 越橘属 (*Vaccinium*) 多年生落叶或常绿灌木植物，分布于亚寒带、温带及亚热带^[1]。据国际蓝莓协会 (International Blueberry Organization, IBO) 统计发现，在过去的10年内，全球蓝莓的栽培面积以平均每年20%~30%的速度递增，2016年，全球蓝莓总产量62.972万 t；全球蓝莓栽培的总面积已由2005年的4.2万 hm^2 发展到目前的7.73万 hm^2 ，增加了84%。中国蓝莓栽培起步于20世纪80年代中期，21世纪初才开始推广，目前栽培面积被认定为3 499 hm^2 ，发展速度很快^[2-4]。蓝莓果实中富含花青素、多酚、黄酮类化合物、多糖、维生素、矿物质等，具有增强人体免疫力、抗氧化、抗癌、防止脑神经老化、抗心血管疾病、抗衰老等多种生理活性功能，在食品、化妆品、药品等领域有着广阔的应用前景^[5-6]，被世界粮农组织推荐为五大健康水果之一。

蓝莓果实除鲜销之外，还用于加工成产品和天然提取物，如蓝莓酒、饮料、果酱、果脯、酸奶以及配料添加物等。色泽、香气、功效成分及其抗氧化能力是评价蓝莓果实品质的重要指标，色泽主要受花色苷、多酚等成分影响，品质及口感主要受色素、总酸、可溶性固形物及其比例影响^[7]。蓝莓活性成分主要受栽培品种、生长环境、成熟阶段、采后贮藏条件和其他因素影响^[8-11]。

目前，蓝莓因其巨大的市场价值和营养价值被认为是最富有综合价值的浆果之一；近年来，市场对于高品质蓝莓需求量巨大。但迄今为止，关于品种和成熟度对蓝莓色泽、理化成分及功能品质影响的报道较为鲜见。因此，为评价蓝莓果实鲜食及加工适应性，对具有代表性的4个品种的蓝莓品质特性进行分析。通过比较分析不同品种和成熟度（早、中、晚，即I、II、III）蓝莓的感官品质、理化指标、功效成分及抗氧化活性，评价不同品种和成熟度蓝莓间的品质差异性。并采用主成分分析 (principal component analysis, PCA) 方法分析了蓝莓品种和成熟度对其理化特性的影响，对蓝莓品种的选育及采后加工具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

蓝莓品种为兔眼蓝莓和高丛蓝莓。高丛蓝莓：‘安娜’ (Anna, A)；兔眼蓝莓：‘巴尔德温’ (Baldwin, B)；‘园蓝’ (Gardenblue, G) 和 ‘巨蓝’ (Prolific, P)；早、中、晚成熟期（分别表示为I、II、III）果实分别于2016年6月初、7月初和8月初采摘于蓝莓种植农户基地（实验采用完全随机设计，共选取3株生长健壮、长势一致的5年生树用来采摘蓝莓）。

儿茶素、焦性没食子酸、矢车菊素-3-葡萄糖苷、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、L-抗坏血酸；福林-酚、水溶性VE (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, Trolox)、对二甲氨基肉桂醛 (*p*-dimethylaminocinnamaldehyde, *p*-DMACA)、乙腈（色谱纯）美国Spectrum公司；其他化学试剂均为国产分析纯；所用水为双蒸水。

1.2 仪器与设备

JYL-C012料理机 九阳股份有限公司；高压均质机 上海申鹿均质机有限公司；DHG-9240A电热恒温鼓风干燥箱、DK-8D三孔电热恒温水槽 上海齐欣科学仪器有限公司；WY025W手持数显糖度计 辽宁栢益仪器销售有限公司；PHS-3C型pH计 上海仪电科学仪器股份有限公司；CR-400型色差仪 日本美能达公司；CT3-10型质构仪 美国Brookfield公司；UV-2450紫外-可见分光光度计、高效液相色谱仪 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 蓝莓原料预处理

蓝莓的取样根据GB/T 8855—2008《新鲜水果和蔬菜取样方法》^[12]，不同品种蓝莓果实被采摘后用保鲜盒分装并放于4℃保温箱中，第2天运回。剔除伤果，选择大小、色泽均匀的新鲜果实，测量其品质指标；清洗晾干后装袋密封，-18℃速冻保存，测定理化指标。

1.3.2 不同品种及成熟度蓝莓果实的感官品质、理化指标测定

按照每个品种和成熟度随机取20个蓝莓果实（下同），测量其赤道线上分布均匀的3个部位的 L^* 值、 a^* 值；随机取10个蓝莓果实，取各果实赤道线上2个对称部位测定硬度^[13]；蓝莓果实打浆，用手持数显糖度计测定可溶性固形物 (total soluble solid, TSS) 含量^[14]，用pH计测定pH值；可滴定酸 (titratable acidity, TA) 质量浓度测定参照GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定方法》^[15]；固酸比为果汁的TSS值与TA值之比；VC含量测定参考GB 5009.86—2003《蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定》^[16]。

1.3.3 不同品种及成熟度蓝莓果实总酚、总类黄酮、总黄酮-3-醇、花色苷、原花青素的测定

对于酚类物质的含量测定，前处理方法均为：取20 g蓝莓果浆，加入200 mL体积分数80%乙醇，超声提取25 min后，于4℃、5 000 r/min条件下离心20 min，上清液于-4℃保存备用。

总酚含量测定采用Folin-Ciocalteu法测定^[17]：以焦性没食子酸乙醇溶液 (10~150 mg/L) 做标准曲线，总酚含量以每100 g新鲜样品含有的没食子酸 (gallic acid, GA) 当量表示 (mg GAE/100 g)。

总类黄酮含量采用三氯化铝比色法测定^[18], 总类黄酮含量以每100 g新鲜样品含有的儿茶素(catechin, CT)当量表示(mg CTE/100 g)。

总黄烷-3-醇含量采用 p -DMACA法测定^[19], 总黄烷-3-醇含量以每100 g新鲜样品含有CT当量表示(mg CTE/100 g)。

花色苷含量采用pH值示差法测定^[20], 花色苷含量以每100 g新鲜样品含有矢车菊素-3-葡萄糖苷(cyanidin-3-glucoside, CG)当量表示(mg CGE/100 g)。

原花青素含量采用香草醛-盐酸法测定^[21], 原花青素含量以每100 g新鲜样品含有CT当量表示(mg CTE/100 g)。

1.3.4 不同品种及成熟度蓝莓果实抗氧化活性测定

1.3.4.1 铁离子还原能力的测定

铁离子还原能力(ferric reducing antioxidant power assay, FRAP)的测定参考Benzie等^[22]的方法。取100 μ L蓝莓果浆, 加入1.8 mL 2,4,6-三(2-吡啶基)三嗪(2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ)工作液(由0.3 mol/L 25 mL醋酸缓冲液(pH 3.6)、10 mmol/L 2.5 mL TPTZ溶液、2.5 mL 20 mmol/L FeCl_3 溶液组成), 混匀后37 $^{\circ}\text{C}$ 反应15 min, 于593 nm波长处测定吸光度 $A_{593\text{ nm}}$, $A_{593\text{ nm}}$ 越高, 表明还原 Fe^{3+} 的能力越强; 结果以mmol Trolox/100 g表示。

1.3.4.2 DPPH自由基清除能力的测定

参考Liu Lixiang等^[23]方法进行, 将4 mL的DPPH乙醇溶液(DPPH用95%乙醇配制成 10^{-4} mol/L的溶液)与500 μ L蓝莓果浆混匀后, 于517 nm波长处测定吸光度 $A_{517\text{ nm}}$, 结果以mmol Trolox/100 g表示。

1.3.4.3 羟自由基清除能力的测定

参照李晓英等^[24]的方法并略有修改。在比色管中依次加入10 mmol/L的 FeSO_4 和1 mL 10 mmol/L水杨酸, 再加入蓝莓果浆1 mL, 最后加1 mL 8.8 mmol/L H_2O_2 , 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应30 min, 以蒸馏水作参比, 在510 nm波长处测吸光度, 并同时做不加显色剂的样品空白, 结果以mmol Trolox/100 g表示。

1.4 数据统计分析

实验数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示($n=3$), 用Duncan法进行差异显著性检验($P<0.05$), Origin 8.0软件进行作图。

对不同品种及成熟度蓝莓的感官品质(L^* 值、 a^* 值、硬度)、理化指标(TSS含量、pH值、TA质量浓度、固酸比、VC含量)、功效成分(总酚、总类黄酮、总黄烷-3-醇、花色苷和原花青素)含量和抗氧化活性(FRAP、DPPH自由基清除能力和羟自由基清除能力)数据进行标准化处理, 采用SAS 8.2软件中PRINCOMP过程对数据进行PCA。

2 结果与分析

2.1 不同品种及成熟度蓝莓的感官品质和理化特性

表1 不同品种及成熟度蓝莓的色泽及硬度
Table 1 Color and firmness of four cultivars of blueberry fruits at three harvesting dates

蓝莓品种	成熟度	L^* 值	a^* 值	硬度/g
‘安娜’	A I	35.73 $\pm$ 1.22 ^a	2.45 $\pm$ 0.11 ^b	0.45 $\pm$ 0.06 ^f
	A II	32.44 $\pm$ 1.78 ^{cd}	2.55 $\pm$ 0.16 ^a	0.47 $\pm$ 0.01 ^{ef}
	A III	33.45 $\pm$ 1.32 ^{bc}	2.31 $\pm$ 0.22 ^c	0.49 $\pm$ 0.03 ^{de}
	平均值	33.87 $\pm$ 1.69 ^A	2.44 $\pm$ 0.12 ^A	0.47 $\pm$ 0.02 ^C
‘巴尔德温’	B I	30.23 $\pm$ 1.56 ^g	1.34 $\pm$ 0.08 ^g	0.56 $\pm$ 0.01 ^b
	B II	29.45 $\pm$ 0.91 ^g	1.76 $\pm$ 0.12 ^f	0.61 $\pm$ 0.02 ^a
	B III	30.54 $\pm$ 2.33 ^f	2.11 $\pm$ 0.08 ^d	0.60 $\pm$ 0.03 ^a
	平均值	30.07 $\pm$ 0.56 ^B	1.74 $\pm$ 0.39 ^B	0.59 $\pm$ 0.02 ^A
‘园蓝’	G I	33.28 $\pm$ 1.98 ^{bc}	1.98 $\pm$ 0.08 ^e	0.45 $\pm$ 0.01 ^f
	G II	32.56 $\pm$ 2.11 ^{bcd}	1.76 $\pm$ 0.12 ^f	0.48 $\pm$ 0.03 ^{def}
	G III	33.48 $\pm$ 3.01 ^b	1.80 $\pm$ 0.17 ^f	0.48 $\pm$ 0.06 ^{def}
	平均值	33.11 $\pm$ 0.48 ^A	1.85 $\pm$ 0.12 ^B	0.47 $\pm$ 0.02 ^C
‘巨蓝’	P I	31.24 $\pm$ 0.89 ^{ef}	0.98 $\pm$ 0.11 ⁱ	0.51 $\pm$ 0.03 ^{cd}
	P II	30.92 $\pm$ 1.73 ^{ef}	0.78 $\pm$ 0.07 ^j	0.53 $\pm$ 0.05 ^{bc}
	P III	31.76 $\pm$ 1.65 ^{de}	1.22 $\pm$ 0.03 ^h	0.54 $\pm$ 0.02 ^{bc}
	平均值	31.31 $\pm$ 0.42 ^B	0.99 $\pm$ 0.22 ^C	0.53 $\pm$ 0.01 ^B

注: 同列肩标字母不同表示差异显著($P<0.05$); 其中大写字母表示不同成熟度品种的品质差异性; 小写字母表示不同品种的品质差异性。下同。

果实的色泽(L^* 值、 a^* 值)和硬度是衡量其品质和新鲜度的重要指标^[25], L^* 值表示果实的亮度, a^* 值表示果实中呈色物质的红绿偏向。由表1可知, 不同品种及成熟度蓝莓感官品质存在差异。不同品种蓝莓 L^* 值分布在29.45~35.73之间, 所测4个品种的蓝莓 a^* 值均分布在0.78~2.55, 并且均为正值; 其中 L^* 平均值和 a^* 平均值最大的均为‘安娜’, L^* 平均值最小的为‘巴尔德温’, a^* 平均值最小的为‘巨蓝’; 不同成熟度的‘园蓝’、‘巨蓝’品种 L^* 值无显著性差异($P>0.05$), 仅‘巴尔德温’品种 a^* 值呈现不断增加的趋势。由此可见, 不同品种蓝莓 L^* 值和 a^* 值差别较大。而对于硬度而言, 随着成熟度的增加, 不同品种蓝莓均呈现增加的趋势。

表2表明, 不同品种及成熟度蓝莓果实营养价值有一定差异。不同品种的蓝莓TSS含量: ‘园蓝’>‘巴尔德温’>‘巨蓝’>‘安娜’; pH值差异不显著($P>0.05$); 不同品种的蓝莓TA质量浓度: ‘安娜’>‘巴尔德温’>‘巨蓝’>‘园蓝’。随着果实成熟度的增加, TSS含量和pH值逐渐增加, TA质量浓度和VC含量降低。此外, 蓝莓品种‘安娜’、‘巴尔德温’、‘园蓝’和‘巨蓝’的VC含量平均值分别为(86.01 $\pm$ 2.12)、(71.08 $\pm$ 0.66)、(52.03 $\pm$ 5.54)、(68.34 $\pm$ 0.82) mg/100 g, 仅‘巴尔德温’和‘巨蓝’的VC含量差异不显著($P>0.05$); 而各品种的3个成熟

度对应的VC含量分布更加集中,说明蓝莓品种对VC含量的影响明显大于成熟度的影响。

表2 不同品种及成熟度蓝莓的理化特性
Table 2 Physicochemical properties of four cultivars of blueberry fruits at three harvesting dates

蓝莓品种	成熟度	TSS含量/Brix	pH	TA质量浓度/(g/L)	固酸比	VC含量/(mg/100g)
‘安娜’	A I	5.78±0.23 ^{cd}	3.43±0.02 ^{bc}	7.81±0.21 ^a	0.73±0.02 ^b	87.34±1.22 ^a
	A II	5.91±0.31 ^{def}	3.45±0.01 ^{bc}	7.19±0.12 ^b	0.82±0.08 ^{ab}	87.12±1.31 ^a
	A III	6.45±0.12 ^c	3.46±0.11 ^{bc}	6.00±0.07 ^{de}	1.07±0.03 ^{de}	83.56±1.81 ^b
	平均值	6.05±0.36 ^B	3.45±0.02 ^{AB}	7.00±0.92 ^A	0.87±0.18 ^B	86.01±2.12 ^A
‘巴尔德温’	B I	6.11±0.63 ^{def}	3.45±0.07 ^{bc}	6.78±0.12 ^c	0.91±0.13 ^{de}	71.34±2.43 ^c
	B II	6.23±0.23 ^{cd}	3.47±0.21 ^{bc}	6.21±0.32 ^d	1.03±0.07 ^e	70.33±2.18 ^{cd}
	B III	6.29±0.13 ^{cd}	3.48±0.02 ^{bc}	6.27±0.41 ^d	1.01±0.03 ^{ef}	71.56±1.89 ^c
	平均值	6.21±0.09 ^B	3.47±0.02 ^{AB}	6.42±0.31 ^{AB}	0.98±0.06 ^B	71.08±0.66 ^B
‘园蓝’	G I	7.08±0.03 ^b	3.35±0.03 ^c	5.55±0.07 ^f	1.27±0.01 ^e	58.43±3.21 ^e
	G II	7.45±0.31 ^{ab}	3.43±0.07 ^{bc}	4.78±0.23 ^g	1.56±0.03 ^g	48.92±1.23 ^f
	G III	7.82±0.06 ^a	3.44±0.03 ^{bc}	4.32±0.13 ^h	1.80±0.06 ^a	48.74±1.85 ^f
	平均值	7.45±0.37 ^A	3.41±0.05 ^B	4.88±0.62 ^C	1.54±0.27 ^A	52.03±5.54 ^C
‘巨蓝’	P I	5.75±0.08 ^f	3.50±0.02 ^{bc}	5.78±0.41 ^{ef}	0.99±0.06 ^{ef}	68.34±2.18 ^{cd}
	P II	6.04±0.02 ^{def}	3.51±0.04 ^b	5.69±0.32 ^{ef}	1.05±0.02 ^{de}	69.15±1.27 ^{cd}
	P III	6.49±0.11 ^c	3.78±0.02 ^a	5.66±0.08 ^{ef}	1.14±0.05 ^d	67.52±2.11 ^d
	平均值	6.09±0.37 ^B	3.60±0.16 ^A	5.71±0.06 ^{BC}	1.06±0.08 ^B	68.34±0.82 ^B

2.2 不同品种及成熟度蓝莓的功效成分

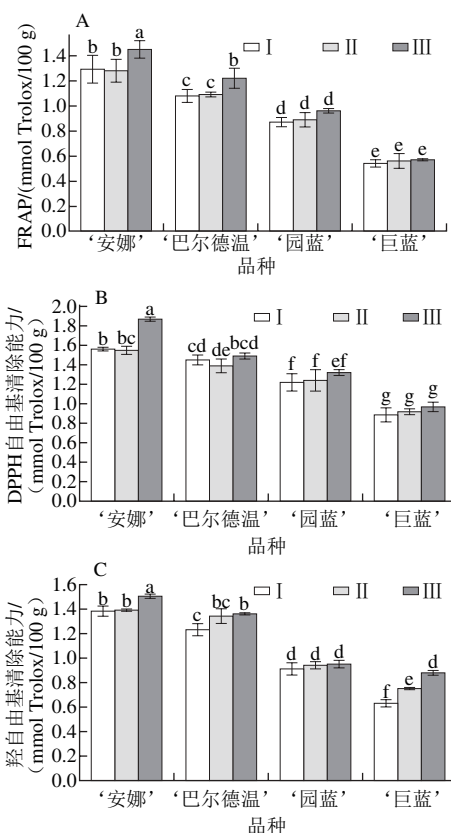
表3 不同品种和成熟度蓝莓的功效成分含量及其抗氧化活性
Table 3 Active constituents and antioxidant activity of four cultivars of blueberry fruits at three harvesting dates

蓝莓品种	成熟度	总酚含量/(mg GAE/100g)	总类黄酮含量/(mg CTE/100g)	总黄烷-3-醇含量/(mg CTE/100g)	花色苷含量/(mg CGE/100g)	原花青素含量/(mg CTE/100g)
‘安娜’	A I	324.46±2.21 ^b	435.64±3.22 ^b	35.32±1.43 ^a	402.45±2.56 ^f	102.34±7.66 ^{ef}
	A II	334.75±4.31 ^a	436.77±1.89 ^b	34.55±3.01 ^a	411.28±3.44 ^f	103.22±6.77 ^f
	A III	332.89±0.92 ^a	445.91±3.24 ^a	36.17±0.32 ^a	401.53±4.66 ^f	145.37±6.99 ^b
	平均值	330.70±5.48 ^A	439.44±5.63 ^A	35.35±0.81 ^A	405.09±5.38 ^B	116.98±24.59 ^B
‘巴尔德温’	B I	277.29±1.26 ^d	388.21±1.02 ^c	30.34±0.02 ^b	432.67±6.77 ^{ab}	123.45±9.06 ^{cd}
	B II	276.90±7.21 ^d	375.45±3.81 ^d	30.86±2.43 ^b	425.61±6.25 ^b	120.21±5.88 ^d
	B III	283.46±3.23 ^d	392.56±0.53 ^c	31.22±0.09 ^b	437.93±8.34 ^a	134.86±4.91 ^{bc}
	平均值	279.22±3.68 ^C	385.41±8.89 ^B	30.81±0.44 ^B	432.07±6.18 ^A	126.17±7.70 ^B
‘园蓝’	G I	211.89±6.12 ^c	355.64±6.76 ^d	19.89±3.87 ^d	246.89±6.46 ^d	89.01±5.64 ^d
	G II	207.43±2.71 ^f	358.21±1.23 ^d	19.90±0.39 ^d	241.29±2.19 ^f	88.23±6.87 ^f
	G III	241.36±2.89 ^f	367.22±0.39 ^f	20.75±2.11 ^d	253.28±2.91 ^e	94.37±7.26 ^{ef}
	平均值	220.23±18.44 ^D	360.36±6.08 ^C	20.18±0.49 ^D	247.15±6.00 ^D	90.54±3.34 ^C
‘巨蓝’	P I	309.23±5.44 ^c	277.81±1.72 ^b	26.89±0.01 ^c	303.26±8.39 ^d	167.44±12.11 ^a
	P II	308.75±3.41 ^c	281.42±3.21 ^b	27.01±1.31 ^c	303.55±10.23 ^d	165.32±8.32 ^a
	P III	311.81±1.90 ^c	287.90±0.86 ^c	29.90±0.11 ^{bc}	311.27±11.22 ^d	172.49±10.34 ^a
	平均值	309.93±1.65 ^B	282.38±5.11 ^D	27.27±0.55 ^C	306.03±4.54 ^C	168.42±3.68 ^A

由表3可知,‘安娜’品种的总酚、总类黄酮、总黄烷-3-醇含量最高;‘巴尔德温’中花色苷和‘巨蓝’中原花青素含量最高;并且随着成熟度的增加,所测功效成分含量均大致呈现增加的趋势。不同品种蓝莓总酚分布在207.43~334.75 mg GAE/100 g之间;‘园蓝’总酚、总黄烷-3-醇、花色苷和原花青素含量均最低,‘巨

蓝’总类黄酮含量最低。不同品种蓝莓营养价值有一定差异,综合各营养指标得出,‘安娜’品种抗氧化物质含量丰富,可作为加工与提取用品种开发。

2.3 不同品种及成熟度蓝莓的抗氧化活性



A. FRAP; B. DPPH自由基清除能力; C.羟自由基清除能力。

图1 不同品种及成熟度蓝莓抗氧化活性

Fig. 1 Antioxidant capacity of four cultivars of blueberry fruits at three harvesting dates

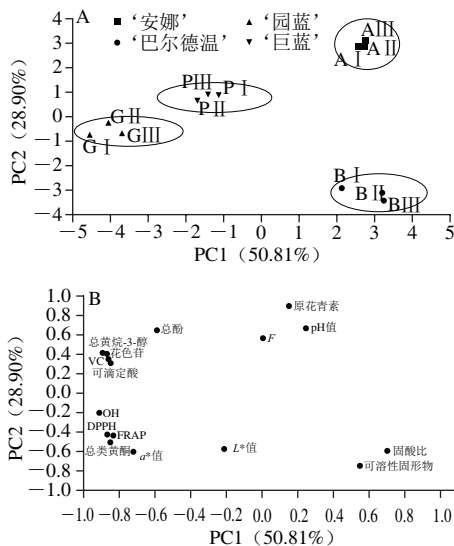
国内外研究发现,蓝莓多酚类物质具有抗氧化、抗衰老、清除自由基、改善人体机能等广泛的生理功能^[2-6],蓝莓抗氧化能力及其生理功能主要来源于多酚类化合物和VC^[26-27]。因蓝莓抗氧化活性成分含量较高,蓝莓中抗氧化成分及其活性已成为食品与农业化学的研究焦点。如图1所示,在3个成熟阶段,FRAP、DPPH自由基清除能力和羟自由基清除能力最强的均是‘安娜’,在第III成熟阶段,最弱的均是‘巨蓝’;对于羟自由基清除能力而言,‘巨蓝’的3个成熟度样品之间差异最大。‘安娜’的3个成熟度中,第III成熟阶段的总酚、总黄烷-3-醇和原花青素含量最高,且显著高于其他成熟阶段(P<0.05);在所有样品中,‘安娜’的总酚和总黄烷-3-醇含量显著高于同一成熟度的其他品种(P<0.05),说明总酚和总黄烷-3-醇对蓝莓的抗氧化性贡献最大。‘巴尔德温’的抗氧化水平与‘安娜’接近,明显优于其他2个品种。此外,如图1可见,4个蓝莓品种对抗氧化活性的影响明显大于各个成熟度的影响。

2.4 统计分析结果

表4 主成分特征值和方差贡献率

Table 4 Eigenvalues and variance contribution rates of first three principal components

主成分数	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
PC1	8.638	50.81	50.81
PC2	4.912	28.90	79.71
PC3	1.781	10.48	90.19



A.基于PC1/PC2主成分散点图; B.理化特性与PC1/PC2相关性分布散点图。

图2 不同品种及成熟度蓝莓理化特性的PCA结果

Fig. 2 PCA scatter plots for four cultivars of blueberry fruits at three harvesting dates

PCA可以用于解释和分析多维样品之间的差异,进一步获取具有大量错综复杂关系的样品的关键综合分析因子^[28-30]。本实验通过对不同品种及成熟度蓝莓的相关数据进行PCA,根据特征值大于1的原则提取了3个主成分,由表4可见,这3个主成分反映了原始数据提供信息总量的90.19%;其中PC1和PC2反映了原始数据提供信息总量的79.71%。因此,将这2个主成分作为评价所采集样品质量的综合变量。图2A为不同品种(‘安娜’、‘巴尔德温’、‘园蓝’和‘巨蓝’)及成熟度(I、II、III)蓝莓理化特性的主成分PC1/PC2散点图,不同品种(‘安娜’、‘巴尔德温’、‘园蓝’和‘巨蓝’)及成熟度(I、II、III)蓝莓聚成4类;图2B为草莓PCA的理化特性与PC1/PC2相关性分布散点图。PC1和PC2是两个主坐标成分,PC1表示尽可能最大解释数据变化的主坐标成分,PC2为解释余下的变化度中占比例最大的主坐标成分,PC3等依次类推。由图2可见,感官特性和普通理化指标聚于下方(F指标除外),而功效成分指标聚于上方;进一步说明蓝莓色泽(即成熟度)与抗氧化性一致(聚于左下侧)。“安娜”品种的活性成分和抗氧化性最佳,而“巴尔德温”总酚和总黄烷-3-醇含

量较高。基于以上分析,从营养成分和生理功能角度出发,‘安娜’和‘巴尔德温’品种是最佳的加工和提取活性成分用栽培品种。

3 结论

实验研究了4个具有代表性的蓝莓品种(‘安娜’、‘巴尔德温’、‘园蓝’和‘巨蓝’)及其3个成熟度(I、II、III)对其感官品质(L^* 值、 a^* 值、硬度)、理化指标(可溶性固形物、pH值、可滴定酸、固酸比、VC含量)、功效成分(总酚、总类黄酮、总黄烷-3-醇、花色苷和原花青素)和抗氧化活性(FRAP、DPPH自由基清除能力和羟自由基清除能力)的影响,并通过PCA进行综合分析,结果揭示了‘安娜’和‘巴尔德温’品种是最佳的加工和提取活性成分用栽培品种;对于具体的栽培育种或者深加工而言,需要从具体的营养成分和抗氧化功能角度对蓝莓品种和成熟度进行选择。

参考文献:

- [1] 李金星, 胡志和, 马立志, 等. 蓝莓加工过程中出汁率及花青素的稳定性[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 120-125. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201402022.
- [2] GIACALONE M, SACCO F D, TRAUPE I, et al. Antioxidant and neuroprotective properties of blueberry polyphenols: a critical review[J]. Nutritional Neuroscience, 2011, 14(3): 119-125. DOI:10.1179/1476830511Y.0000000007.
- [3] KALT W, JOSEPH J A, SHUKITT-HALE B, et al. Blueberries and human health: a review of current research[J]. Journal American Pomological Society, 2007, 61(3): 151-160.
- [4] FU L, AL-MALLAHI A, PENG J, et al. Harvesting technologies for Chinese jujube fruits: a review[J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2017, 10(3): 171-177. DOI:10.1016/j.eaef.2017.01.003.
- [5] RUTRAY W, ORSAT V. Blueberries and their anthocyanins: factors affecting biosynthesis and properties[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(6): 303-320. DOI:10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x.
- [6] PALLAS L, PEGG R, KERR W. Quality factors, antioxidant activity, and sensory properties of jet-tube dried rabbiteye blueberries[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(8): 1887-1897. DOI:10.1002/jsfa.5985.
- [7] KRÜGER E, JOSUTTIS M, NESTBY R, et al. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality[J]. Journal of Berry Research, 2012, 2: 143-157. DOI:10.3233/JBR-2012-036.
- [8] CARDEÑOSA V, GIRONES-VILAPLANA A, MURIEL J L, 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. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.01.118.
- [9] DENG Y, YANG G Y, YUE J, et al. Influences of ripening stages and extracting solvents on the polyphenolic compounds, antimicrobial and antioxidant activities of blueberry leaf extracts[J]. Food Control, 2014, 38: 184-191. DOI:10.1016/j.foodcont.2013.10.023.

- [10] HAYNES R J, SWIFT R S. Growth and nutrient uptake by highbush blueberry plants in a peat medium as influenced by pH, applied micronutrients and mycorrhizal inoculation[J]. *Scientia Horticulturae*, 1985, 27(3/4): 285-294. DOI:10.1016/0304-4238(85)90033-0.
- [11] CHU W J, GAO H Y, CAO S F, et al. Composition and morphology of cuticular wax in blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits[J]. *Food Chemistry*, 2017, 219(15): 436-442. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.09.186.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局. 新鲜水果和蔬菜 取样方法: GB/T 8855—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 许晴晴, 陈杭君, 郇海燕, 等. 真空冷冻和热风干燥对蓝莓品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(5): 64-68. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405013.
- [14] MITCHAM B, CANTWELL M, KADER A. Methods for determining quality of fresh commodities[J]. *Perishables Handling Newsletter*, 1996, 85: 1-6.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局. 食品中总酸的测定: GB/T 12456—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [16] 卫生部. 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] SINGLETON V L, ROSSI J A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1965, 16(3): 144-158.
- [18] ZHISHEN J, MENGCHENG T, JIANMING W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. *Food Chemistry*, 1999, 64(4): 555-559. DOI:10.1016/S0308-8146(98)00102-2.
- [19] LI H, WANG X Y, LI Y, et al. Polyphenolic compounds and antioxidant properties of selected China wines[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(2): 454-460. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.05.111.
- [20] MTENGA A B, KASSIM N, LEE W G, et al. Resistance of *Bacillus cereus* and its enterotoxin genes in ready-to-eat foods to γ -irradiation[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2012, 21(2): 443-452. DOI:10.1007/s10068-012-0056-7.
- [21] SUN B S, RICARDO-DA-SILVA J M, SPRANGER I. Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(10): 4267-4274. DOI:10.1021/jf980366j.
- [22] BENZIEI F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay[J]. *Anal Biochem*, 1996, 239: 70-76.
- [23] LIU Lixiang, SUN Yi, LAURA T, et al. Determination of polyphenolic content and antioxidant activity of kudingcha made from *Ilex kudingcha* C.J. Tseng[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112: 35-41. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.05.038.
- [24] 李晓英, 薛梅, 樊汶樵. 蓝莓花、茎、叶酚类物质含量及抗氧化活性比较[J]. *食品科学*, 2017, 38(3): 142-147. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201703024.
- [25] HERNANZ D, RECAMALES A F, MELÉNDEZ-MARTÍNEZ A J, et al. Multivariate statistical analysis of the color anthocyanin relationships in different soilless-grown strawberry genotypes[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(8): 2735-2741. DOI:10.1021/jf073389j.
- [26] SAMAD N B, DEBNATH T, YE M, et al. *In vitro* antioxidant and anti-inflammatory activities of Korean blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) extracts[J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2014, 4(10): 807-815. DOI:10.12980/APJTB.4.2014C1008.
- [27] SHI M, LOFTUS H, MCAINCH A J, ET AL. Blueberry as a source of bioactive compounds for the treatment of obesity, type 2 diabetes and chronic inflammation[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 30: 16-29. DOI:10.1016/j.jff.2016.12.0361756-4646.
- [28] RODRÍGUEZ-DELGADO M-Á, GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ G, CONDE-GONZÁLEZ J E, et al. Principal component analysis of the polyphenol content in young red wines[J]. *Food Chemistry*, 2002, 78(4): 523-532. DOI:10.1016/S0308-8146(02)00206-6.
- [29] AVANZA M, ACEVEDO B, CHAVES M, et al. Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: principal component analysis[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 51(1): 148-157. DOI:10.1016/j.lwt.2012.09.010.
- [30] 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.