

云南主栽蓝莓果实可滴定酸及抗氧化活性评价研究

张瑜瑜, 宋怀飞, 刘佳妮, 姚丽媛, 华金珠

(昆明学院农学与生命科学学院, 昆明 650214)

摘要:以云南主产区的6个品种蓝莓鲜果为研究对象,采用生理生化试验方法,比较不同品种蓝莓成熟果实提取液的可滴定酸、类黄酮、总酚、总花色苷含量及对其体外抗氧化活性进行评价。试验结果表明,6个品种中,比洛克西的可滴定酸含量、类黄酮含量、总酚含量、总花色苷含量最高,分别比夏普蓝高47.4%、111.81%、121.16%和2556.50%;体外抗氧化活性评价结果显示,比洛克西对DPPH自由基的清除能力最强,当浓度为0.8 mg/mL时,清除能力为56.8%;对ABTS⁺自由基的清除能力最好,浓度为1.0 mg/mL时,清除能力为88.7%;对OH⁻自由基的清除能力最高,当浓度为1.0 mg/mL时,清除能力为90.4%;6个品种蓝莓果实类黄酮、总酚、总花色苷含量与DPPH自由基、ABTS⁺自由基和OH⁻自由基清除率间均存在正相关关系,且相关性均达到极显著水平($P<0.01$)。综上可知,比洛克西蓝莓果实可滴定酸含量较高,且抗氧化能力比其他5个品种强,品质优良,适宜进行综合加工和高值化利用。

关键词:云南主产;蓝莓;可滴定酸;抗氧化活性

中图分类号:S663.9

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)01-0124-05

Evaluation of Titratable Acid and Antioxidant Activity of Blueberry Fruits Grown in Yunnan

ZHANG Yuyu, SONG Huaifei, LIU Jiani, YAO Liyuan, HUA Jinzhu

(College of Agriculture and Life Sciences, Kunming University, Kunming 650214, China)

Abstract: The contents of titratable acids, flavonoids, total phenols, and total anthocyanins in the extracts of mature blueberry fruits from 6 varieties of fresh blueberry fruits in the main production areas of Yunnan Province were compared by physiological and biochemical methods, and their antioxidant activities *in vitro* were evaluated. The results showed that Biloxi had the highest titratable acid content, flavonoids content, total phenol content and total anthocyanin content, which were 47.4%, 111.81%, 121.16% and 2556.50% higher than Sharpblue. The results of antioxidant activity evaluation *in vitro* showed that Biloxi had the strongest scavenging capacity for DPPH free radical. When the concentration was 0.8 mg/mL, the scavenging capacity was 56.8%. The scavenging capacity of ABTS⁺ was the best, and the scavenging capacity was 90.4% when the concentration was 1.0 mg/mL. The scavenging capacity of OH⁻ is the highest. The content of flavonoids, total phenols and total anthocyanins in 6 varieties of blueberry fruits were positively correlated with the clearance rates of DPPH free radical, ABTS⁺ free radical and OH⁻ free radical, and the correlation reached an extremely significant level ($P<0.01$). In summary, Biloxi have higher titratable acid content, stronger antioxidant capacity than other 5 varieties, and it's suitable for comprehensive processing and high value utilization.

Key words: Yunnan main production; Blueberry; Titratable acid; Antioxidant activity

蓝莓(*Vaccinium* spp.)又名蓝浆果、越橘等,属杜鹃花科越橘属植物,为多年生落叶或常绿小灌木^[1]。主要栽培于美国,又被称为美国蓝莓^[2]。近年来,我国蓝莓产业发展极为迅速,栽培面积

和年产量迅速增长。我国蓝莓研究工作始于吉林农业大学郝瑞教授在20世纪80年代初对长白山地区的野生笃斯越橘资源的调查研究和品种引进^[3]。蓝莓含有丰富的营养成分,其果实中含有大量生物活性物质,如多酚、类黄酮等,具有抗氧化、抗肿瘤、降血脂等作用,其开发利用前景非常广阔^[4]。近年来,由于其保健营养功效,蓝莓日益受到消费者青睐,增加栽培面积及其培育新品种

收稿日期:2020-02-12

基金项目:云南省高校联合基金面上项目(2017FH001-040)

作者简介:张瑜瑜(1983-),女,副教授,硕士,主要从事园艺产品生理生态与产量品质形成的相关研究。

成为必然趋势,云南省因其地貌复杂,自然资源丰富,兼具热带、亚热带、温带、寒带植物,多样的气候条件为蓝莓生长提供优质生长空间,是国内较为适宜蓝莓种植的地区之一^[5]。目前,针对云南主栽蓝莓研究主要集中在栽培管理方面,对其生物活性物质及抗氧化性质的报道较为鲜见,本研究以云南主栽蓝莓鲜果为研究对象,对其可滴定酸、类黄酮、总酚、总花色苷含量进行测定,同时分析 DPPH、ABTS⁺、OH⁻ 自由基的清除能力,对其抗氧化能力进行综合评价研究,旨在为指导云南蓝莓产业选择性的综合加工和高值化利用提供技术支持和理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料采自云南澄江主产区,共选用6个蓝莓品种:夏普蓝、灿烂、密斯提、比洛克西、绿宝石、莱格西,且均采自同一地块,鲜果成熟后采样,每个品种重复3次,每次重复随机采样100粒,采集后放入冰盒带回实验室冷冻保存待用。

分光光度计、1,1-二苯基苦基苯肼、甲醇、抗坏血酸、水杨酸、无水乙醇、FeSO₄、Tris 碱、没食子酸、CH₃COONa、EDTA·2Na 等。

1.2 试验方法

1.2.1 可滴定酸含量测定

采用 NaOH-酚酞溶液滴定法测定^[6]。可滴定酸含量以苹果酸(折算系数0.067)进行计算,重复3次。

1.2.2 抗氧化活性物质含量测定

(1)类黄酮含量:采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法^[6]测定,以芦丁标准曲线作为参照,准确称取0.5 mL 类黄酮提取液,溶于10 mL 容量瓶中,加入0.3 mL 5% 亚硝酸钠溶液,摇匀,避光静置6 min,再加0.3 mL 10% 六水硫酸铝溶液,摇匀,避光静置6 min,加入4 mL 4% 氢氧化钠溶液,用纯甲醇定容,摇匀静置10 min,在510 nm 处测吸光值。

(2)总酚含量:参考 Folin-Ciocalteus^[6]法,吸取一定体积提取液于10 mL 离心管中,先加入福林酚试剂0.2 mL,摇匀,静置4 min,加入1 mL 10% 碳酸钠溶液,再加入 ddH₂O 定容至8 mL,35 °C 水浴1 h,760 nm 处测吸光值,以标准没食子酸做标准曲线。

(3)花色苷含量:参照 pH 示差法^[6]并稍做修改,准确称取0.5 mL 提取液于10 mL 离心管中,加入4.5 mL pH 4.5 乙酸钠盐酸缓冲液,静置10 min,

分别在520、700 nm 处测吸光值。

1.2.3 不同品种蓝莓体外抗氧化活性测定

(1)DPPH 自由基清除能力测定

DPPH 自由基清除能力根据 Gong 等^[7]的方法稍做修改。取不同浓度的样品及维生素 C 溶液(浓度分别为0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL)各1 mL,分别加入1 mL 0.5 mmol/mL DPPH 溶液、10 mL 60% 乙醇,混合均匀,在室温下静置30 min,测定517 nm 吸光度,以维生素 C 为阳性对照。根据式(1)计算 DPPH 自由基清除率:

$$DPPH\text{自由基清除率}(\%) = \left[\frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \right] \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中,A_i为样品组吸光度,A_j为样品本底吸光度(以等体积无水乙醇代替 DPPH 溶液),A₀为空白对照组吸光度(以等体积蒸馏水代替样品溶液)。

(2)ABTS⁺ 自由基清除能力的测定

参考林恋竹等^[8]的方法并适当修改。将等体积7.4 mmol/mL 的 ABTS⁺ 自由基和2.6 mmol/mL 的过硫酸钾溶液混合,室温避光下静置12~16 h.制成 ABTS⁺ 储备液。用 pH 7.4 的磷酸缓冲液稀释储备液,使其在734 nm 下的吸光度在(0.70±0.02),制成 ABTS⁺ 工作液。取不同质量浓度的纯化样品以及维生素 C 溶液(0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL)各1 mL,加入 ABTS⁺ 工作液6 mL,混合均匀,室温下静置6 min,测定734 nm 下的吸光度,以维生素 C 为阳性对照。根据式(2)计算 ABTS⁺ 自由基清除率:

$$ABTS^+\text{自由基清除率}(\%) = \left[\frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \right] \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中,A_i为样品组吸光度;A_j为样品本底吸光度(以等体积蒸馏水代替 ABTS⁺ 工作液);A₀为空白对照组吸光度(以等体积蒸馏水代替样品溶液)。

(3)OH⁻ 自由基清除能力测定

根据 Liu 等^[9]的方法稍做修改。取不同浓度样品及维生素 C 溶液(0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL)各1 mL,加入5 mmol/mL FeSO₄ 溶液2 mL,蒸馏水2 mL,5 mmol/mL 水杨酸-乙醇溶液2 mL 以及5 mmol/mL H₂O₂ 溶液2 mL,混合均匀,室温下放置30 min,测定510 m 下的吸光度,以维生素 C 为阳性对照,按式(3)计算 OH⁻ 自由基清除率:

$$OH^- \text{自由基清除率}(\%) = \left[\frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \right] \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中, A_i 为样品组吸光度, A_0 为样品本底吸光度(以等体积蒸馏水代替 ABTS 工作液), A_{00} 为空白对照组吸光度(以等体积蒸馏水代替样品溶液)。

1.2.4 不同品种蓝莓体外抗氧化活性的 EC_{50} 和 EC_{95} 比较

利用线性方程分别计算 6 个品种蓝莓对 OH-自由基、DPPH 自由基、ABTS⁺ 自由基清除率的 EC_{50} 、 EC_{95} 。

1.3 数据处理

采用 Excel 2013、SPSS 24.0 软件进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种蓝莓果实可滴定酸含量差异性分析

6 个品种蓝莓果实的可滴定酸含量存在显著差异(表 1)。其中,比洛克西可滴定酸含量最高,

其质量分数达(6.39±0.832)%;其次是莱格西,可滴定酸为(6.12±0.718)%;夏普蓝的可滴定酸最低,为(3.36±0.684)%;比洛克西可滴定酸比莱格西高 4.4%,比夏普蓝高 90.2%。

2.2 不同品种蓝莓果实抗氧化活性物质差异性分析

6 个品种蓝莓果实的类黄酮含量存在显著差异(表 1)。其中,比洛克西类黄酮含量最高,为(18.901±1.828)mg/kg;其次是莱格西,类黄酮含量为(16.832±1.117)mg/kg;夏普蓝类黄酮含量最低,为(8.638±0.945)mg/kg;比洛克西类黄酮含量比莱格西高 12.29%,比夏普蓝高 118.81%。

除密斯提和绿宝石外,其他品种蓝莓果实的总酚含量存在显著差异(表 1)。其中,比洛克西总酚含量最高,为(3634.352±7.835)mg/kg;其次是莱格西,总酚含量为(2816.345±9.346)mg/kg;夏普蓝的总酚含量最低,为(1643.312±9.836)mg/kg;比

表 1 不同品种蓝莓果实可滴定酸及抗氧化物质差异性研究

	夏普蓝	灿烂	密斯提	比洛克西	绿宝石	莱格西
可滴定酸含量(%)	3.360±0.684f	4.670±0.782d	5.330±0.934c	6.390±0.832a	4.110±0.789e	6.120±0.718b
类黄酮(mg/kg)	8.638±0.945f	14.835±1.108d	15.322±0.986c	18.901±1.828a	10.366±0.322e	16.832±1.117b
总酚(mg/kg)	1643.312±9.836e	2131.526±8.382d	2332.835±6.728c	3634.352±7.835a	2413.832±7.868c	2816.345±9.346b
总花色苷(mg/kg)	110.429±3.644f	684.732±6.849d	736.639±5.346c	2933.551±9.415a	475.761±3.412e	934.451±6.485b

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

洛克西总酚含量比莱格西高 29.04%,比夏普蓝高 121.16%。

6 个品种蓝莓果实的总花色苷含量存在显著差异(表 1)。其中,比洛克西的总花色苷含量最高,为(2933.551±9.415)mg/kg;其次是莱格西,总花色苷含量为(934.451±6.485)mg/kg;夏普蓝总花色苷含量最低,为(110.429±3.644)mg/kg;比洛克西总花色苷含量比莱格西高 213.93%,比夏普蓝高 2556.50%。

2.3 不同品种蓝莓果实体外抗氧化活性研究

2.3.1 DPPH 自由基清除能力分析

DPPH 自由基是一种相对稳定的自由基,在 517 nm 下有最大吸收波长,且吸光度与浓度呈线性关系,在反应系统中加入有自由基清除能力的样品,可结合 DPPH 自由基。

如图 1 所示,6 个不同品种的蓝莓果实乙醇提取液对 DPPH 自由基有一定的清除能力,且清除能力随浓度升高存在波动,且在试验浓度范围内浓度越高,DPPH 自由基的清除能力越高。以维生素 C 清除能力为阳性对照,均低于维生素 C 清

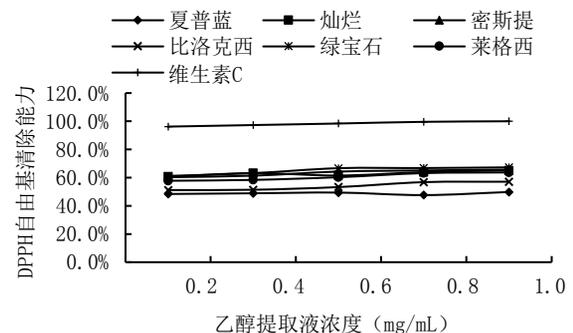


图 1 不同品种蓝莓果实乙醇提取液对 DPPH 自由基的清除能力

除能力。其中,绿宝石清除能力高于其他几个品种,当浓度为 1.0 mg/mL 时,DPPH 清除能力达到 67.3%;夏普蓝清除能力最低,浓度为 0.8 mg/mL 时清除能力最低,为 47.6%;比洛克西清除能力略高于绿宝石,浓度为 0.8 mg/mL 时,清除能力为 56.8%;其余 3 种品种清除能力大致相同。

2.3.2 ABTS⁺ 自由基清除能力分析

在 734 nm 的吸收峰下,被氧化后的蓝绿色水

溶性 ABTS⁺ 自由基与抗氧化剂结合后会褪色,因此可以根据褪色情况来判断样品的抗氧化能力。

由图2可知,6个品种蓝莓果实乙醇提取液对 ABTS⁺ 自由基均有一定清除能力。且在试验浓度范围内,浓度越高,ABTS⁺ 自由基清除能力越高。以维生素C清除能力为阳性对照,均低于维生素C清除能力。其中,夏普蓝清除能力最差,浓度为0.2 mg/mL时,ABTS⁺ 自由基清除能力为56.3%,浓度为1.0 mg/mL时,ABTS⁺ 自由基清除能力为88.7%,比洛克西清除能力相对最好,浓度为0.2 mg/mL时,ABTS⁺ 自由基清除能力为85.2%,浓度为1.0 mg/mL时,ABTS⁺ 自由基清除能力为90.4%,密斯提、绿宝石、莱格西的清除能力次之,均高于灿烂。

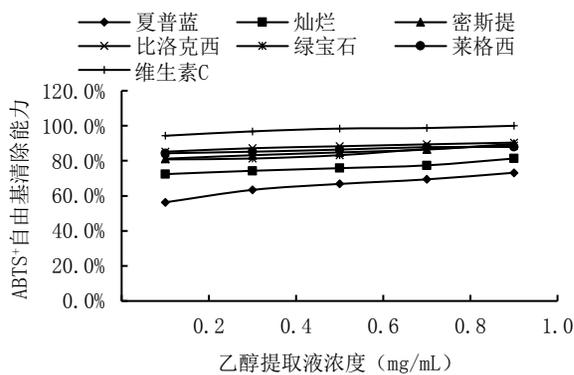


图2 不同品种的蓝莓果实提取液对 ABTS⁺ 自由基的清除能力

2.3.3 OH⁻ 自由基清除能力分析

OH⁻ 自由基是免疫机能中产生的副产物,是最活跃的自由基之一,存在时间短。会损伤核酸、氨基酸等生物大分子,从而威胁人体健康。

由图3可知,6个不同品种蓝莓果实乙醇提取液对 OH⁻ 自由基有一定清除能力,清除能力随浓度升高存在波动,且在试验浓度范围内,浓度越

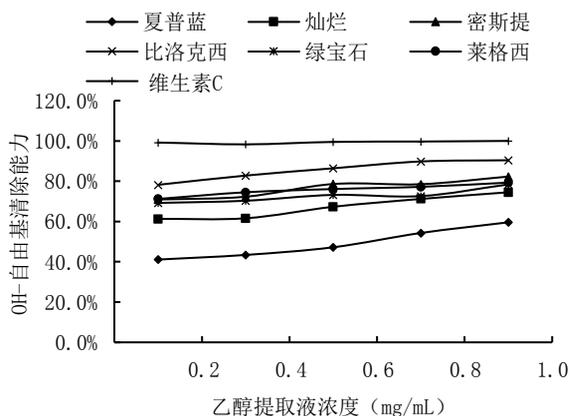


图3 6个不同品种的蓝莓果实提取液对 OH⁻ 自由基的清除能力

高,OH⁻ 自由基的清除能力越高。以维生素C的清除能力为阳性对照,均低于维生素C的清除能力。其中,比洛克西的清除能力最高,浓度为1.0 mg/mL时,OH⁻ 自由基的清除能力为90.4%,在6个品种中,其对 OH⁻ 自由基的清除能力居于首位;夏普蓝清除能力最低,浓度为0.2 mg/mL时,OH⁻ 自由基清除能力为41.1%,密斯提、绿宝石、莱格西清除能力次之,浓度为1.0 mg/mL时,OH⁻ 自由基的清除能力可达到82.3%、78.4%、79.3%。

2.4 不同品种蓝莓果实体外抗氧化活性的 EC₅₀ 和 EC₉₅ 分析

2.4.1 不同品种蓝莓果实体外 DPPH 自由基清除率的 EC₅₀ 和 EC₉₅ 分析

由表2可知,6个品种蓝莓果实提取液对 DPPH 自由基的 EC₅₀ 和 EC₉₅ 中,最低的是绿宝石,其 EC₅₀ 为0.555 mg/mL,EC₉₅ 为1.054 mg/mL;其次是密斯提,其 EC₅₀ 为0.570 mg/mL,EC₉₅ 为1.083 mg/mL;最高的是夏普蓝,其 EC₅₀ 为0.750 mg/mL,EC₉₅ 为1.424 mg/mL;结果表明,6个品种蓝莓提取液均能在较低浓度下达到对 DPPH 自由基的50%和95%清除率。

表2 不同品种蓝莓体外 DPPH 自由基清除率的 EC₅₀ 和 EC₉₅ 分析

	EC ₅₀	EC ₉₅
夏普蓝	0.750	1.424
灿烂	0.577	1.097
密斯提	0.570	1.083
比洛克西	0.665	1.264
绿宝石	0.555	1.054
莱格西	0.593	1.128

2.4.2 不同品种蓝莓果实体外 ABTS⁺ 自由基清除率的 EC₅₀ 和 EC₉₅ 分析

由表3可知,6个品种蓝莓果实提取液对 ABTS⁺ 自由基的 EC₅₀ 和 EC₉₅ 中,最低的是比洛克西

表3 不同品种蓝莓体外 ABTS⁺ 自由基清除率的 EC₅₀ 和 EC₉₅ 分析

	EC ₅₀	EC ₉₅
夏普蓝	0.536	1.018
灿烂	0.472	0.897
密斯提	0.424	0.806
比洛克西	0.412	0.783
绿宝石	0.429	0.814
莱格西	0.422	0.801

西,其 EC_{50} 为0.412 mg/mL, EC_{95} 为0.783 mg/mL;其次是莱格西,其 EC_{50} 为0.422 mg/mL, EC_{95} 为0.801 mg/mL;最高的是夏普蓝,其 EC_{50} 为0.536 mg/mL, EC_{95} 为1.018 mg/mL;结果表明,6个品种蓝莓提取液均能在较低浓度下达到对ABTS⁺自由基的50%和95%清除率。

2.4.3 不同品种蓝莓果实体外OH⁻自由基清除率的 EC_{50} 和 EC_{95} 分析

由表4可知,6个品种蓝莓果实提取液对OH⁻自由基的 EC_{50} 和 EC_{95} 中,最低的是比洛克西,其 EC_{50} 为0.419 mg/mL, EC_{95} 为0.795 mg/mL;其次是密斯提,其 EC_{50} 为0.467 mg/mL, EC_{95} 为0.888 mg/mL;最高的是夏普蓝,其 EC_{50} 为0.700 mg/mL, EC_{95} 为1.332 mg/mL;结果表明,6个品种蓝莓提取液能在较低浓度下达到对OH⁻自由基的50%和95%清除率。

表4 不同品种蓝莓体外OH⁻自由基清除率的 EC_{50} 和 EC_{95} 比较

	EC_{50}	EC_{95}
夏普蓝	0.700	1.332
灿烂	0.527	1.001
密斯提	0.467	0.888
比洛克西	0.419	0.795
绿宝石	0.495	0.940
莱格西	0.477	0.906

2.5 蓝莓果实生物活性物质含量与其抗氧化活性的相关性

由表5可知,6个品种蓝莓果实类黄酮、总酚、总花色苷含量与DPPH自由基、ABTS⁺自由基和OH⁻自由基清除率间均存在正相关关系,且相关性均达到极显著水平($P<0.01$)。其中,蓝莓果实类黄酮含量与OH⁻自由基清除率的相关系数最大,为0.9711,即蓝莓果实类黄酮清除OH⁻自由基能力最强;蓝莓果实总酚含量与DPPH自由基清除率的相关系数最大,为0.9828,即蓝莓果实总酚清除DPPH

表5 蓝莓果实生物活性物质含量与其抗氧化活性的相关系数

相关指标	DPPH自由基清除率	ABTS ⁺ 自由基清除率	OH ⁻ 自由基清除率
类黄酮含量	0.9635**	0.9681**	0.9711**
总酚含量	0.9828**	0.9819**	0.9738**
总花色苷含量	0.9646**	0.9639**	0.9895**

注:“**”表示极显著相关($P<0.01$);“*”表示显著相关($P<0.05$)

自由基能力最强;蓝莓果实总花色苷含量与ABTS⁺自由基清除率的相关系数最大,为0.9895,即蓝莓果实总酚清除ABTS⁺自由基能力最强。

3 讨论

3.1 不同品种蓝莓可滴定酸含量研究

有机酸是水果的重要风味物质,也是评价其品质的主要参考因素。消费者对果实风味的感知,除肉眼可见的果实外观、色泽、质地及香气外,口感是感知风味的关键^[10-12]。水果果实中有机酸含量因遗传物质、环境条件和栽培状况的影响而不同,这与朱金艳等^[13]的研究结果大致相似。

3.2 不同品种蓝莓抗氧化活性研究

6个不同品种蓝莓乙醇提取液对DPPH、ABTS⁺、OH⁻自由基有一定清除能力,且在试验浓度范围内,浓度越高,DPPH自由基的清除能力越高。在6个品种中,绿宝石对DPPH自由基清除能力最好,夏普蓝对DPPH自由基清除能力最差;比洛克西对ABTS⁺清除能力最好,夏普蓝对ABTS⁺自由基清除能力最差;比洛克西对OH⁻自由基的清除能力最好,夏普蓝对OH⁻自由基清除能力最差;与谢国芳等^[10]、李晓英等^[13]结果大致相似,不同品种蓝莓提取液对其体外抗氧化活性的影响不同,且评价指标也有所差异,与蓝莓果实中活性成分的种类及含量差异有一定的相关性^[11]。

在此研究中,类黄酮、总酚、总花色苷对清除DPPH、ABTS⁺、OH⁻自由基能力均低于等量维生素C对照,主要原因是提取物为粗提物,含有部分非活性物质和杂质,下一步可通过对活性成分的分选、提取、纯化及其组成成分进行进一步分析,同时结合体外抗氧化活性评价和动物试验与影响评价的因素进行研究,进而综合评价其抗氧化活性^[12]。

3.3 不同品种蓝莓可滴定酸含量高低、抗氧化能力差异与品质关系

试验结果中,6个品种蓝莓果实可滴定酸含量存在显著差异。可滴定酸含量依次为比洛克西>莱格西>密斯提>灿烂>绿宝石>夏普蓝。蓝莓在云南种植规模大,本次研究发现,6个不同品种中均含有一定量的可滴定酸,其中,比洛克西中最高。同时,比洛克西中类黄酮、总酚、总花色苷等抗氧化活性物质含量最高,且它对DPPH、ABTS⁺、OH⁻自由基的清除能力均较好,这与该品种的品质是一致的,比洛克西口感较好,果实风味浓,有香气,研究中还发现不同品种蓝莓可滴定酸和抗氧化活性物质含量存在较大差异,因此(下转第135页)

- Sensors, 2015, 15(3): 5763–5782.
- [18] 陈娉婷,官波,沈祥成,等.大数据时代开放式农业信息知识库构建研究[J].东北农业科学,2018,43(5):64–68.
- [19] Zhang D, Li G, Zheng K, et al. An Energy-Balanced Routing Method Based on Forward-Aware Factor for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(1): 766–773.
- [20] 刘伟,杜佳鸿,贾素玲,等.能量有效的无线传感器网络分簇路由协议[J].北京航空航天大学学报,2019,45(1): 53–59.
- [21] Tarhani M, Kavian Y S, Siavoshi S. SEECH: Scalable Energy Efficient Clustering Hierarchy Protocol in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(11): 3944–3954.
- [22] 陈晓娟,王卓,吴洁,等.一种基于LEACH的改进WSN路由算法[J].传感技术学报,2013,26(1):116–121.
- [23] 陈伟宏,李仁发.无线传感器网络仿真技术综述[J].控制工程,2014(2):149–155.

(责任编辑:王丝语)

(上接第128页)在进行综合加工和高值化利用时应充分考虑其口感、风味及其抗氧化活性物质与其活性功能间的关系,建议云南主产区优先选用比洛克西品种发展大规模种植和深加工,从而获得更高的经济效益^[11]。

4 结 论

本研究采用生理生化试验方法,测定云南主栽6个不同品种蓝莓成熟果实中可滴定酸和类黄酮、总酚、总花色苷等抗氧化活性物质含量,进而对其体外抗氧化活性进行评价研究。6个品种中,比洛克西可滴定酸、类黄酮、总酚、总花色苷含量最高。分别比夏普蓝高47.4%、118.81%、121.16%和2556.50%;其体外抗氧化活性评价结果表明,比洛克西对DPPH自由基的清除能力最强,浓度为0.8 mg/mL时,清除能力为56.8%;对ABTS⁺自由基清除能力最好,浓度为1.0 mg/mL时,清除能力为88.7%;对OH⁻自由基的清除能力最强,浓度为1.0 mg/mL时,清除能力为90.4%;6个品种蓝莓果实类黄酮、总酚、总花色苷含量与DPPH自由基、ABTS⁺自由基和OH⁻自由基清除率间均存在正相关关系,且相关性均达到极显著水平($P<0.01$)。综上可知,比洛克西蓝莓果实可滴定酸含量较高,且抗氧化能力比其他5个品种强,品质优良,适宜进行综合加工和高值化利用。

参考文献:

- [1] 刘翼翔,吴永沛,刘光明,等.野生蓝莓酚酸成分鉴定及其清除细胞内自由基活性研究[J].中国食品学报,2015(12): 173–179.
- [2] 谢国芳,王瑞,周笑犁,等.蓝莓花色苷稳定性研究进展[J].北方园艺,2016(7):190–194.
- [3] 程佑声,王鸿飞,许凤,等.蓝莓皮渣花色苷提取及抗氧化活性的研究[J].果树学报,2015,32(4):696–704.
- [4] Somerset S M, Johannot L. Dietary flavonoid sources in Australian adults[J]. Nutrition and Cancer, 2008, 60: 442–449.
- [5] Hosseinian F S, Beta T. Saskatoon and wild blueberry have higher anthocyanin contents than other Manitoba berries[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2007, 55: 10832–10838.
- [6] 孙晶.3个蓝靛果品种生物活性物质含量及抗氧化性的比较[J].经济林研究,2019,37(3):95–98.
- [7] Gong J, Huang J, Xiao G, et al. Antioxidant capacities of bamboo shaving extract and their antioxidant components[J]. Molecules, 2016, 21(8): 996.
- [8] 林恋竹,赵谋明.反应时间对DPPH·法、ABTS⁺·法评价抗氧化性结果的影响[J].食品科学,2010,31(5):63–67.
- [9] Liu X, Chen Y, Wu L, et al. Optimization of polysaccharides extraction from Dictyophora indusiata and determination of its antioxidant activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 103(4): 175.
- [10] 谢国芳,谢笔钧,孙智达,等.蓝莓酒渣、果、酒中花色苷成分鉴定及酒渣与果中花色苷抗氧化活性比较[J].食品科学,2016,37(2):165–171.
- [11] Wada L, Ou B. Antioxidant activity and phenolic content of Oregon caneberrries[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2002, 50: 3495–3500.
- [12] Zheng W, Wang S Y. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2003, 51: 502–509.
- [13] 朱金艳,王月华,张建丽,等.不同品种蓝莓果的营养成分及花色苷种类研究[J].新农业,2016(9):10–14.

(责任编辑:王昱)