

不同提取方法对蓝莓色素得率及抗氧化活力的影响研究

潘利华*, 贺元康

(合肥工业大学生物与食品工程学院, 合肥 230009)

摘要: **目的** 研究不同提取方法对蓝莓色素得率、抗氧化活力的影响及得率与抗氧化活力间的关系。**方法** 分别以乙醇、甲醇、丙酮为浸提溶剂, 常规溶剂浸提、超声辅助浸提、微波辅助浸提3种提取方式, 测定浸提液色素得率及其清除 DPPH·、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\cdot\text{OH}$ 的能力; 分析色素得率与抗氧化活力的关系。**结果** 不同提取溶剂对蓝莓色素得率的影响差异不显著($P>0.05$), 但不同提取方式对蓝莓色素得率的影响差异显著($P<0.05$); 不同提取方法的蓝莓色素清除 DPPH·、 $\cdot\text{O}_2^-$ 和 $\cdot\text{OH}$ 的能力存在显著差异($P<0.05$); 蓝莓色素得率与其清除 DPPH· 与 $\cdot\text{OH}$ 能力间存在显著的正相关。**结论** 提取方式对蓝莓色素的得率及抗氧化活力有显著影响; 蓝莓色素得率与其清除 DPPH· 和 $\cdot\text{OH}$ 能力呈显著的正相关性; 超声辅助乙醇浸提更有助于获取高得率、高抗氧化活性的蓝莓色素。

关键词: 色素; 提取方法; 抗氧化活性; 相关性分析

Effects of extraction methods on yield and antioxidant capacity of blueberry pigments

PAN Li-Hua*, HE Yuan-Kang

(School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the effects of different extraction methods on yield, antioxidant activity and the relationship between the yield and antioxidant activity of blueberry pigments. **Methods** The blueberry pigments were extracted by conventional solvent extraction, ultrasound-assisted extraction or microwave-assisted extraction with ethanol, methanol or acetone as solvent extraction and its yields and scavenging capacities to DPPH·, $\cdot\text{O}_2^-$ and $\cdot\text{OH}$ were determined. **Results** The yields of blueberry pigments extracted with ethanol, methanol or acetone were very similar ($P>0.05$), but the yields and scavenging capacities to DPPH·, $\cdot\text{O}_2^-$ and $\cdot\text{OH}$ of blueberry pigments extracted by conventional solvent extraction, ultrasound-assisted extraction or microwave-assisted extraction were significantly different ($P<0.05$). There were significant positive correlations between the yields and scavenging capacities to DPPH· and $\cdot\text{OH}$ of blueberry pigments, respectively ($R=0.793, 0.944; P<0.05$). **Conclusion** The yields and scavenging capacities of blueberry pigments obtained by different extraction methods with the same extraction solvent are

基金项目: 安徽省 2012 年度科技攻关项目(1201032075)

Fund: Supported by Anhui Province Scientific and Technological Projects in 2012(1201032075)

*通讯作者: 潘利华, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: panlihua@hfut.edu.cn

*Corresponding author: PAN Li-Hua, Associate Professor, School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, No.193, Tunxi Road, Hefei 230009, China. E-mail: panlihua@hfut.edu.cn

significantly different. The yields are significantly correlated with scavenging capacities of DPPH $\cdot$ and $\cdot$ OH. It will help to get blueberry pigments with higher yield and higher antioxidant activity by ultrasonic assisted ethanol extraction.

KEY WORDS: pigments; extraction methods; antioxidant activity; correlations analysis

1 引言

蓝莓(*Vaccinium uliginosum* Linn, blueberry)属于杜鹃花科越橘属多年生落叶或常绿灌木,全世界约400个种,我国约91个种、28个变种,主要分布于东北及西南地区,其中在江苏、浙江、安徽等地兔眼蓝莓生长良好^[1]。蓝莓果实为蓝色、近圆形浆果,含有大量的花色苷等水溶性天然色素^[2],蓝莓色素不仅色泽鲜艳,而且具有抗衰老、增强记忆力等生理功能^[3],在食品、化妆品、药品等领域有着广阔的应用前景^[4]。

蓝莓色素主要由花青素组成,它们包括矢车菊色素、飞燕草色素、锦葵色素、芍药色素、牵牛花色素等5种花青素苷元(anthocyanidin),以及它们各自与葡萄糖、乙酰葡萄糖、半乳糖、乙酰半乳糖、阿拉伯糖、乙酰阿拉伯糖连接形成的花青素糖苷(anthocyanin)。根据蓝莓色素的溶解性、极性等理化特性,蓝莓色素的提取通常采用甲醇、乙醇、丙酮等溶剂浸提,但溶剂浸提法存在耗时长、效率低等缺陷,并且长时间的浸提容易导致色素降解而降低其加工稳定性和抗氧化活性^[5]。超声波、微波有助于加速物质的溶出,缩短提取周期,提高提取效率,因此受到广泛关注^[6]。但是,超声波、微波处理可能会导致色素生理活性改变的问题时有报道^[7,8]。为了科学地比较不同提取剂、不同提取方法对蓝莓色素提取率及其抗氧化活性的影响,本文在同一条件下比较乙醇、甲醇、丙酮3种溶剂及常规溶剂浸提、超声波辅助浸提、微波辅助浸提3种提取方法对蓝莓色素的得率及抗氧化活力的影响,分析不同提取方法下色素得率与其抗氧化活力的相关性,以期为蓝莓色素的提取工艺优化提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

蓝莓为兔眼蓝莓巴尔德温栽培种冷藏鲜果,由安徽徽王食品有限公司惠赠;矢车菊素3-O-葡萄糖苷和DPPH为Sigma公司产品;甲醇、乙醇、丙酮、

邻苯三酚、水杨酸钠均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

2.2 仪器与设备

SY-1000E 多用途恒温超声提取器(北京弘祥隆生物技术开发有限公司);HWC-3LA 型开放式微波提取器(上海弘圆微波设备制造有限公司);SHZCT15RT 型高速冷冻离心机(上海天美科学仪器有限公司);Hei-VAP Advantage 型旋转蒸发仪(德国 Heidolph 公司);UV-1600 分光光度计(北京瑞利分析仪器公司);LGJ-18S 型原位真空冷冻干燥机(北京松源华兴科技发展有限公司)。

2.3 蓝莓色素的提取

2.3.1 酸化乙醇浸提、超声波辅助酸化乙醇浸提、微波辅助酸化乙醇浸提:

①酸化乙醇浸提:称取100.0 g清洗干净的蓝莓鲜果,利用组织捣碎机将其捣碎成蓝莓浆,再置于提取瓶中,参考潘利华等^[9]的结果,在料液比1:7、温度52℃、pH3.0条件下采用75%的酸化乙醇(即用0.1 mol/L HCl 溶液将75%的乙醇溶液调整至其pH3.0,下同)浸提150 min。将浸提液在10000 r/min、4℃条件下离心10 min,取上清液即得到样1。

②超声波辅助酸化乙醇浸提:按照①的方法准备蓝莓浆,放入恒温超声提取器中,在料液比1:7、空占比0.5:1、温度52℃、功率450 W、pH 3.0条件下采用75%的酸化乙醇超声辅助浸提50 min^[10]。将浸提液在10000 r/min、4℃条件下离心10 min,取上清液即得到样2。

③微波辅助酸化乙醇浸提:参考吕春茂等^[11]建立的方法,略有改动。按照①的方法准备蓝莓浆,放入恒温微波提取器中,在料液比1:7、温度52℃、功率500 W、pH 3.0条件下采用75%的酸化乙醇微波辅助浸提10 min。将浸提液在10000 r/min、4℃条件下离心10 min,取上清液即得到样3。

2.3.2 酸化甲醇浸提、超声波辅助酸化甲醇浸提及微波辅助酸化甲醇浸提

操作分别同 2.3.1 中的①、②、③, 但将乙醇改为甲醇, 得到样 4、样 5、样 6。

2.3.3 酸化丙酮浸提、超声波辅助酸化丙酮浸提及微波辅助酸化丙酮浸提

操作分别同 2.3.1 中的①、②、③, 但将乙醇改为丙酮, 得到样 7、样 8、样 9。

2.4 蓝莓色素含量的测定

蓝莓色素的测定采用双波长 pH 示差法^[12], 首先准确量取蓝莓色素样液 1 mL, 再分别以 pH1.0 和 4.5 的缓冲液定容至 10 mL 得到 pH1.0 和 4.5 的样品液, 然后测定 pH1.0 和 4.5 的样品液在 510 nm 处和 700 nm 处的吸光值, 以矢车菊素 3-O-葡萄糖苷作参照物。

色素得率 $X(\text{mg/g}) = A \times DF \times M_W \div (\epsilon \times l) \times 1000 \div \text{蓝莓干重}$

式中: $X(\text{mg/g})$ 为色素得率即每 g 蓝莓干果中矢车菊素 3-O-葡萄糖苷的 mg 数; A 为吸光值, $A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}=1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}=4.5}$; DF 为稀释倍数; M_W 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的相对分子质量, 即 449.2 g/mol; ϵ 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数, 值为 26900; $l(\text{cm})$ 为比色皿的厚度。

2.5 蓝莓色素的抗氧化活力分析

DPPH·清除能力采用比色法、 $\cdot\text{O}_2^-$ 清除能力采用邻苯三酚自氧化法、 $\cdot\text{OH}$ 清除能力采用水杨酸钠络合法测定, 将不同的提取方式提取出的蓝莓色素样液调整到在 510 nm 处具有相同的 OD 值 0.7, 然后参照 Wang 等^[13]建立的方法进行分析。

2.5.1 DPPH·清除能力

取样品 2.0 mL, 再取 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液(溶于无水乙醇的)2 mL, 将两者充分混合, 于 25 °C 避光放置 30 min, 在 517 nm 波长处测定吸收值。对照管用 95%乙醇溶液代替样品溶液, 空白管用无水乙醇代替 DPPH 乙醇溶液, 其他操作相同。

$\text{DPPH}\cdot\text{清除率}(\%) = [OD_{\text{空白}} - (OD_{\text{样品}} - OD_{\text{对照}})] / OD_{\text{空白}} \times 100\%$

2.5.2 $\cdot\text{O}_2^-$ 清除能力

将 50 mmol/L pH8.2 Tris-HCl 缓冲液和 10 mmol/L 邻苯三酚溶液于 25 °C 水浴保温 10 min, 取 2.5 mL Tris-HCl 缓冲液、0.5 mL 样品、20 μL 邻苯三酚溶液, 摇匀, 将混合物反应 4 min, 滴入 2 滴 0.1 mol/L HCl 终止反应, 在 325 nm 波长处测定吸收

值。对照管用蒸馏水代替样品溶液, 空白管用蒸馏水代替邻苯三酚溶液, 其他操作相同。

$\cdot\text{O}_2^-$ 清除率 $(\%) = [OD_{\text{空白}} - (OD_{\text{样品}} - OD_{\text{对照}})] / OD_{\text{空白}} \times 100\%$

2.5.3 $\cdot\text{OH}$ 清除能力

移取样品 1.0 mL, 2 mmol/L 的 FeSO_4 溶液 2 mL, 2 mmol/L 水杨酸钠溶液 1.0 mL 和 0.1% H_2O_2 溶液 2 mL, 在 37 °C 静置 1 h, 冷却后于 510 nm 波长处测定吸光值。对照管用蒸馏水代替样品溶液, 空白管用蒸馏水代替水杨酸钠溶液, 其他操作相同。

$\cdot\text{OH}$ 清除率 $(\%) = [OD_{\text{空白}} - (OD_{\text{样品}} - OD_{\text{对照}})] / OD_{\text{空白}} \times 100\%$

2.6 数据处理

采用 Excel 软件对实验结果进行初步分析; 用 SPSS 软件进行方差分析和相关性分析。

3 结果与讨论

3.1 不同提取方法对蓝莓色素得率的影响

从图 1 可知, 分别以乙醇、甲醇、丙酮为提取溶剂的常规溶剂浸提法获得的样 1、样 4、样 7 的得率分别为 34.56、31.76、30.54 mg/g, 不存在显著差异 ($P > 0.05$), 但乙醇作提取溶剂得率最高, 其次是甲醇, 丙酮作提取溶剂时色素得率最低; 超声波分别辅助乙醇、甲醇、丙酮溶剂浸提的样 2、样 5、样 8 的色素得率分别为 51.35、50.01、49.87 mg/g; 微波分别辅助乙醇、甲醇、丙酮溶剂浸提的样 3、样 6、样 9 的得率为 30.87、29.78、28.45 mg/g。样 2、样 5、样 8 及样 3、样 6、样 9 的变化趋势与样 1、样 4、样 7 的变化趋势相似, 这表明乙醇、甲醇、丙酮 3 种提取溶剂对蓝莓色素的得率影响差异不显著, 但乙醇作

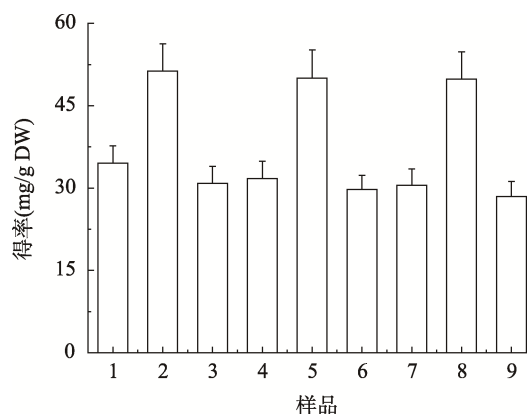


图1 不同提取方法对蓝莓色素得率的影响

Fig. 1 Effects of extraction methods on extraction rates of blueberry pigments

提取溶剂时得率最高,而且乙醇能有效沉淀果胶等杂质,具有初步精制的作用^[14],因此,乙醇是蓝莓色素的良好提取溶剂。

从图1还可知,以乙醇为提取溶剂,分别采用常规溶剂浸提、超声辅助浸提、微波辅助浸提的样1、样2、样3的得率分别为34.56、51.35、30.87 mg/g,存在显著差异($P < 0.01$),其中超声辅助浸提的得率最高,其次是常规溶剂浸提,微波辅助浸提的色素得率最低。以甲醇为提取溶剂,分别采用常规溶剂浸提、超声辅助浸提、微波辅助浸提的样4、样5、样6得率分别为31.76、50.01、29.78 mg/g,存在显著差异($P < 0.01$)。以丙酮为提取溶剂,分别采用常规溶剂浸提、超声辅助浸提、微波辅助浸提的样7、样8、样9得率分别为30.54、49.87、28.45 mg/g,存在显著差异($P < 0.01$)。样4、样5、样6以及样7、样8、样9的变化趋势与样1、样2、样3的变化趋势相似。

由图1分析可知,乙醇、甲醇、丙酮3种提取溶剂对蓝莓色素得率没有显著影响,但常规溶剂浸提、超声辅助浸提、微波辅助浸提3种提取方式对蓝莓色素得率存在极显著影响,以超声波辅助乙醇浸提时,蓝莓色素的得率最高,其次是常规溶剂浸提,再次是微波辅助浸提。这可能受提取方法、提取剂的极性、产物极性及其提取时间长短的影响。

3.2 不同提取方法对蓝莓色素抗氧化活力的影响

图2结果显示,常规溶剂浸提法中分别以乙醇、甲醇、丙酮为提取溶剂获得的样1、样4、样7对DPPH·的清除率分别为72.58%、68.19%、76.54%;对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除率分别为37.99%、24.02%、45.87%;

对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率分别为78.88%、75.51%、68.75%。超声辅助浸提法中分别以乙醇、甲醇、丙酮为提取溶剂获得的样2、样5、样8对DPPH·的清除率分别为89.66%、85.78%、93.87%;对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除率分别为33.26%、28.12%、41.68%;对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率分别为88.65%、86.42%、84.14%。微波辅助浸提法中分别以乙醇、甲醇、丙酮为提取溶剂获得的样3、样6、样9对DPPH·的清除率分别为80.02%、71.24%、81.65%;对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除率分别为38.23%、35.34%、43.45%;对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率分别为72.53%、74.46%、68.82%。

图2结果还显示,不同提取方法获得的蓝莓色素清除 $\cdot\text{O}_2^-$ 的能力比清除DPPH·与 $\cdot\text{OH}$ 的能力弱,清除DPPH·、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\cdot\text{OH}$ 能力最强的分别为样8(超声辅助丙酮浸提样93.87%)、样7(常规丙酮浸提样45.87%)、样2(超声辅助乙醇浸提样88.65%),清除DPPH·、 $\cdot\text{O}_2^-$ 能力最小的均为样4(常规甲醇浸提样,分别为68.19%和24.02%),清除 $\cdot\text{OH}$ 能力最小的则为样7(常规丙酮浸提样68.75%)。

这表明,不同提取方法获得的蓝莓色素的抗氧化活性差异显著($P < 0.05$),这可能与提取方法及提取时间对蓝莓色素中花青素苷元及其糖苷的比例影响有关。

3.3 不同提取方法获得的蓝莓色素得率与其抗氧化活力的相关性

从表1可知,不同提取方法获得的9种蓝莓色素

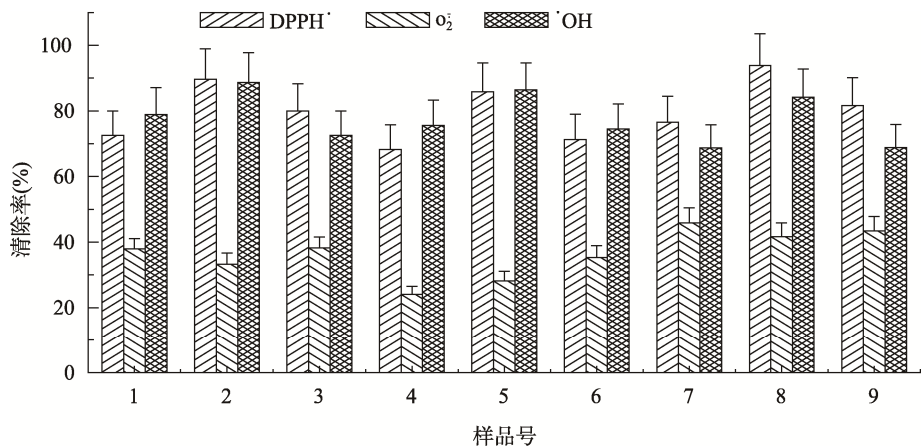


图 2 不同提取方法对蓝莓色素抗氧化能力的影响

Fig. 2 Effects of extraction methods on antioxidant capacity of blueberry pigments

表 1 不同提取方法获得的蓝莓色素得率与其抗氧化活力的相关性

Table 1 Correlations of extraction rates and antioxidant capacity of blueberry pigments under different extraction methods

	DPPH·清除能力	·O ₂ · ⁻ 清除能力	·OH 清除能力
色素得率	0.793*	-0.265	0.944**
DPPH·清除能力	1.000	0.237	0.596
·O ₂ · ⁻ 清除能力		1.000	-0.466
·OH 清除能力			1.000

*在 0.05 水平(双侧)上显著相关, **在 0.01 水平(双侧)上显著相关

的得率与其清除 DPPH·与·OH 的能力间的相关系数分别为 0.793 和 0.994, 分别呈显著($P<0.05$)和极显著正相关($P<0.01$); 不同提取方法获得的 9 种蓝莓色素的得率与其清除·O₂·⁻的能力呈负相关性, 相关系数为-0.466, 相关性不显著($P>0.05$)。表 1 结果还显示, 不同提取方法获得的 9 种蓝莓色素对 DPPH·、·O₂·⁻、·OH 清除能力两两间不存在显著相关性($P>0.05$)。这提示, 蓝莓色素不同提取工艺优化时, 可以以得率或 DPPH·清除率或·OH 清除率为评价指标。

4 结 论

乙醇、甲醇、丙酮等提取溶剂对蓝莓色素得率的影响差异不显著($P>0.05$), 但常规溶剂浸提、超声辅助浸提、微波辅助浸等提取方式对蓝莓色素得率的影响差异显著($P<0.05$), 以超声辅助浸提的样品得率最高。

我们的研究以及已有的报道显示, 对同一品种的蓝莓, 不同的提取方式获得的蓝莓色素主要为花青素糖苷, 其花青素母核不会随提取方法的改变而改变。本研究以矢车菊素 3-O-葡萄糖苷为参照物, 说明提取产物绝大部分为矢车菊素及其与葡萄糖、乙酰葡萄糖、半乳糖、乙酰半乳糖、阿拉伯糖、乙酰阿拉伯糖连接形成的花青素糖苷, 即不同的提取方式提取出的蓝莓色素的化学结构是基本相同的。在进行抗氧化活性能力比较时, 我们将不同的提取方式提取出的蓝莓色素样品调整到在 510 nm 处具有相同的 OD 值, 510 nm 是矢车菊素及其与葡萄糖、乙酰葡萄糖、半乳糖、乙酰半乳糖、阿拉伯糖、乙酰阿拉伯糖连接形成的花青素糖苷的特征吸收峰, 因此, 抗氧化活性能力比较时, 不同的提取方式提取出的蓝莓色素的含量是基本相同的。

不同提取方法获得的蓝莓色素清除 DPPH·、

基金项目: 安徽省 2012 年度科技攻关项目(1201032075)

Fund: Supported by Anhui Province Scientific and Technological Projects in 2012(1201032075)

*通讯作者: 潘利华, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: panlihua@hfut.edu.cn

*Corresponding author: PAN Li-Hua, Associate Professor, School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, No.193, Tunxi Road, Hefei 230009, China. E-mail: panlihua@hfut.edu.cn

·O₂·、·OH的能力存在显著差异($P<0.05$),且清除·O₂·的能力比清除 DPPH·与·OH 的能力弱。不同提取方法获得的蓝莓色素的得率与其清除 DPPH·与·OH 的能力间存在显著的正相关性,与其清除·O₂·能力间存在不显著的负相关性。不同提取方法获得的蓝莓色素的对 DPPH·、·O₂·、·OH 清除能力两两间不存在显著相关性($P>0.05$)。

参考文献

- [1] 商晓芳. 蓝莓的生物学特性及栽培技术[J]. 现代农业科技, 2010(2): 135–137.
Shang XF. Biological characteristics and cultivation technology of blueberry [J]. Mod Agric Sci Technol, 2010, (2): 135–137.
- [2] 葛翠莲, 黄春辉, 夏思进, 等. 10 个蓝莓品种主要营养成分与色素含量分析[J]. 中国南方果树, 2012, 41(4): 33–35.
Ge CL, Huang CH, Xia SJ, *et al.* Analysis of main nutritional components and pigments of ten blueberry cultivars [J]. South China Fruit, 2012, 41(4): 33–35.
- [3] Youdim KA, Shukitt Hale B, Martin A, *et al.* Short-term dietary supplementation of blueberry polyphenolics: beneficial effects on aging brain performance and peripheral tissue function [J]. Nutr Neuro Sci, 2000 (3): 383–397.
- [4] 刘会灵, 曹建新. 越橘属植物的研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(5): 870, 905–911.
Liu HL, Cao JX. Advances of the studies from the plant of *Vaccinium* species [J]. Nat Product Res Devel, 2009, 21(5): 870, 905–911.
- [5] Lapornik B, Prosek M, Wondra AG. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time [J]. J Food Eng, 2005, 71(2): 214–222.
- [6] 陈明俊. 色素提取方法的研究进展[J]. 山东化工, 2011, 40(5): 34–36.
Chen MJ. Study on extraction methods of pigment [J]. Shandong Chem Ind, 2011, 40(5): 34–36.
- [7] Tiwari BK, Donnell CPO, Cullen PJ. Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice [J]. J Food Eng, 2009, 93(2): 166–171.
- [8] Flores FP, Singh RK, Kerr WL, *et al.* Antioxidant and enzyme inhibitory activities of blueberry anthocyanins prepared using different solvents [J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(18): 4441–4447.
- [9] 潘利华, 王建飞, 叶兴乾, 等. 蓝莓花青素的提取工艺参数及免疫调节活性研究[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 81–86.
Pan LH, Wang JF, Ye XQ, *et al.* Optimization of extraction process and evaluation of immunomodulatory activity of anthocyanins from blueberry [J]. Food Sci, 2014, 35(2): 81–86.
- [10] 杨雪飞, 潘利华, 罗建平. 蓝莓色素的超声提取工艺及稳定性[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 251–255.
Yang XF, Pan LH, Luo JP. Ultrasonic-aided extraction and stability assessment of blueberry pigments [J]. Food Sci, 2010, 31(20): 251–255.
- [11] 吕春茂, 王新现, 董文轩, 等. 响应面法优化越橘花色苷微波辅助提取工艺参数[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 71–75.
Lv MC, Wang XX, Dong WX, *et al.* Optimization of microwave-assisted extraction process for anthocyanins from bilberry by response surface methodology [J]. Food Sci, 2011, 32(6): 71–75.
- [12] Lee J, Durst RW, Wrolstad RE. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study [J]. J AOAC Int, 2005, 88(5): 1269–1278.
- [13] Wang BS, Li BS, Zeng QX, *et al.* Antioxidant and free radical scavenging activities of pigments extracted from molasses alcohol wastewater [J]. Food Chem, 2008, 107(3): 1198–1204.
- [14] Hou DX, Ose T, Lin S, *et al.* Anthocyanidins induce apoptosis in human promyelocytic leukemia cells: structure- activity relationship and mechanisms involved [J]. Int J Oncol, 2003, 23(3): 705–712.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介

潘利华, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: panlihua@hfut.edu.cn。