

新疆野生櫻桃李果皮中花色苷提取工艺优化及成分鉴定

沈 静^{1,2}, 徐 楠¹, 姚 军^{1*}, 常军民^{1*}

(1. 新疆医科大学药学院, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆医科大学第五附属医院药剂科, 乌鲁木齐 830011)

摘 要: **目的** 优化新疆野生櫻桃李果皮中花色苷的提取工艺并鉴定其中主要花色苷成分。**方法** 采用单因素实验和 $L_9(3^4)$ 正交试验优化花色苷的提取工艺, 并用色价法、示差法测定其含量。通过液相色谱-电喷雾-质谱(liquid chromatography electrospray ionization-mass spectrometry, LC-ESI-MS)方法初步鉴定提取物中花色苷的主要成分。**结果** 野生櫻桃李果皮花色苷的最优提取条件为: 溶剂 1% HCl-甲醇, 固液比 1:5, 温度 55 °C, 时间 80 min, 紫皮野生櫻桃李总花色苷含量 480.81 mg/100 g。野生櫻桃李果皮主要花色苷为矢车菊-3-半乳糖苷、矢车菊-3-葡萄糖苷、矢车菊-3-芸香糖苷、矢车菊-3-木糖苷。**结论** 本研究为新疆野生櫻桃李果皮中花色苷类化合物的提取和成分鉴定提供重要实验数据。

关键词: 野生櫻桃李; 花色苷; 提取工艺; 液相色谱-电喷雾-质谱法; 结构鉴定

Optimization of extraction technology and identification of anthocyanin in *Prunus cerasifera* from Xinxiang

SHEN Jing^{1,2}, XU Nan¹, YAO Jun^{1*}, CHANG Jun-Min^{1*}

(1. College of Pharmacy, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China;

2. Department of Pharmacy, the Fifth Affiliated Hospital, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the extraction technology of anthocyanin in *Prunus cerasifera* from Xinxiang and identify the main anthocyanin components. **Methods** The extraction process of anthocyanin was optimized by single factor experiment and $L_9(3^4)$ orthogonal experiment, and the anthocyanin content was determined by color valence method and differential method. **Results** The optimal extraction conditions of anthocyanin from wild cherry peel were as follows: solvent 1% HCl-methanol, solid-liquid ratio 1:5, temperature 55 °C, time 80 min, and the total anthocyanin content of *Prunus cerasifera* from Xinxiang was 480.81 mg/100 g. The main anthocyanins of *Prunus cerasifera* purple skin were cornflower-3-galactosin, cornflower-3-glucoside, cornflower-3-rutin glucoside, cornflower-3-xylose. **Conclusion** This study provides important experimental data for extraction process and component identification for anthocyanin from *Prunus cerasifera*.

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2016D01C226)

Fund: Supported by the Natural Science Joint Fund Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2016D01C226)

***通讯作者:** 姚军, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: xydyaojun@163.com

常军民, 博士, 教授, 主要研究方向为天然产物研究。E-mail: 1617265908@qq.com

***Corresponding author:** YAO Jun, Ph.D, Professor, College of Pharmacy, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China. E-mail: xydyaojun@163.com

CHANG Jun-Min, Ph.D, Professor, College of Pharmacy, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China. E-mail: 1617265908@qq.com

KEY WORDS: *Prunus cerasifera*; anthocyanins; extraction process; liquid chromatography electrospray ionization-mass spectrometry; structural identification

1 引言

樱桃李(*Prunus cerasifera*)俗称野酸梅,为蔷薇科的李属小乔木或落叶灌木,是一种宝贵的野生果树资源^[1],分布于我国伊犁新疆霍城县大、小西沟,在大西沟较开阔的河流岸边有野生纯林^[2]。目前已经发现 40 余种新类型的野生樱桃李^[3],野生樱桃李的果肉柔软多汁,口感和风味独特^[4],并且含有十分丰富的花青素和多样的维生素^[5],果实中含有醇类、酯类、醛类、烃类、酮类及杂环类等 6 类化合物,遗传多样性较为丰富^[6]。新疆伊犁地区目前有大量的樱桃李种植,多作为新疆果汁厂家的原料,但对新疆樱桃李生物活性物质及其药理作用的研究较少,尤其是对樱桃李中含量丰富的花色苷成分的研究更少。

花色苷主要存在于樱桃李的果皮中,是一类由苷元与葡萄糖以糖苷键形式结合形成的广泛存在于植物体内的类黄酮多酚类化合物^[10],具有较好的生理功能和优良的着色效果^[11]。花色苷种类极多,是影响果实和花颜色的主要色素并主要积累在花瓣表皮细胞的液泡内^[12]。花色苷具有多种药理作用,抗氧化活性是花色苷的一项显著的生理功能^[13],同时起到了抑制内皮细胞损伤的作用^[14],天然花色苷可以参与过滤紫外线和对抗病原菌^[15],还对人体具有抗炎^[16]、保护心脏、防治心血管疾病^[17,18]、抗癌^[19,20]、预防高血压^[21,22]和老年痴呆^[23]等多种保健功能。经文献^[24,25]报道,影响花色苷的因素有 pH、温度、光线、亲核试剂等。经文献报道^[26],紫色樱桃李果皮中花色苷明显高于红果果皮。本研究采用紫色樱桃李果皮进行提取及成分鉴定,在前期的研究基础上,采用单因素试验和正交试验拟建立了樱桃李中花色苷的提取工艺,获得新疆野生樱桃李花色苷提取物,通过高效液相色谱-电喷雾质谱技术鉴定其中主要花色苷种类,为进一步研究樱桃李中花色苷的药效活性提供参考,以期新疆樱桃李产业的综合开发奠定实验基础。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

材料:野生樱桃李紫色单粒速冻果(蔷薇科李属),采集于新疆伊犁霍城县大西沟乡,速冻保存,备用。

试剂:无水乙醇、甲醇、浓盐酸、蒸馏水、醋酸、醋酸钠、氯化钾(分析纯,天津化学试剂有限公司);柠檬酸、磷酸二氢钠(分析纯,天津市富宇细化工有限公司)。

2.2 仪器与设备

FA2004B 电子天平(0.1 mg~200 g,上海精密科学仪器

有限公司); T6 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司); FULGOR TDL-5A 离心机(上海菲恰尔分析仪器有限公司); HH-8 恒温水浴锅(金坛市医疗仪器厂); LCQ DECA XP MAX 液相质谱联用仪(美国 Thermo Fisher 公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 花色苷提取液的制备

称取樱桃李粉碎果皮约 10.0 g,加入单因素试验不同比例溶剂中浸泡,并在恒温水浴锅中保温,过滤,收集滤液将溶剂减半后再浸泡残渣,并在恒温水浴锅中保温相同时间,过滤合并 2 次滤液,离心,即得。

2.3.2 样品液的制备

将花色苷提取液用相同溶剂稀释 1 倍,即得花色苷样品液。

2.3.3 花色苷含量测定方法

(1) 色价法

精密吸取 2 mL 的样品液,加入 pH=3.0 的缓冲液(0.6 mol/L $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$:0.3 mol/L 柠檬酸=100:127, V:V)18 mL,以 2 mL 溶剂加 18 mL 缓冲液作空白,用紫外可见分光光度计在 390~780 nm 波长范围内,扫描不同溶剂提取样品在 pH 3.0 缓冲液中的吸收光谱,于 1 cm 比色皿中测定其吸光度^[27]。

色价计算公式:

$$E=A \times 10 \times a/W$$

式中: E —色价; A —峰值下的吸光度; W —取样量, g; a —样品液的稀释倍数。

(2) 示差法

精密吸取 2 mL 样品液,分别用 pH=1.0 的缓冲溶液(0.2 mol/L KCl: 0.2 mol/L HCl=25:67, V:V)和 pH=4.5 (0.2 mol/L $\text{NaAc} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: 0.2 mol/L HAc =1:1, V:V)稀释至 20 mL,以 2 mL 溶剂加 18 mL 相应缓冲液作空白,分别在 510 nm 和 700 nm 处于 1 cm 比色皿中测定吸光度^[27]。总花色苷的含量(以矢车菊素-3-葡萄糖苷计)按下式计算:

$$A=[(A_{510}-A_{700})_{\text{pH}1.0}-(A_{510}-A_{700})_{\text{pH}4.5}]$$

$$\text{ACY}(\text{mg}/100 \text{ g})=A \times 449.2 \times 10 \times V \times 100/26900 \times m$$

其中: A —吸光度;

ACY—花色苷;

V —提取液的总体积, mL;

m —取样量, g;

26900—矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数;

449.2—矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔分子质量;

10—稀释倍数。

2.3.4 因素水平设定

分别研究提取溶剂、固液比、提取时间、提取温度 4

个条件对花色苷含量的影响。

2.3.5 正交试验设计

根据单因素试验结果, 以色价和总花色苷为考察指标, 采用 $L_9(3^4)$ 正交试验, 选取 4 个因素, 包括溶剂种类(A)、固液比(B)、提取温度(C)、提取时间(D)。因素水平表见表 1。

水平	因素			
	A 提取溶剂	B 液料比	C 时间/min	D 温度/℃
1	1%HCl-甲醇	1:3	60	35
2	1%HCl-乙醇	1:4	80	45
3	2%HCl-乙醇	1:5	100	55

2.4 花色苷鉴定色谱条件

色谱柱: C_{18} 色谱柱(250 mm×3.0 mm, 5 μ m)流动相: 乙腈-2%甲酸水溶液; 流速: 0.3 mL/min; 柱温 35 $^{\circ}$ C; 进样量 20 μ L。

质谱条件: 正离子扫描 ESI^+ ; 电子能量 30 eV; 离子源温度 300 $^{\circ}$ C; m/z 质量扫描范围 100~1000; 鞘气流速 30 arb; 辅助气流速 15 arb。

3 结果与分析

3.1 紫色樱桃李中花色苷提取条件的单因素试验

3.1.1 不同溶剂对樱桃李花色苷含量的影响

由于花色苷稳定性较差, 在提取过程中需要在酸性条件下提取, 一般选择甲醇、乙醇做提取溶剂, 本实验考察了纯水、1% HCl-水、1% HCl-甲醇、1% HCl-乙醇、2% HCl-乙醇 5 种情况下花色苷的提取情况, 结果见图 1, 可知 1% HCl-甲醇时花色苷提取率最高。

故正交试验设计中设计 1% HCl-甲醇、1% HCl-乙醇、2% HCl-乙醇 3 个醇溶液水平。

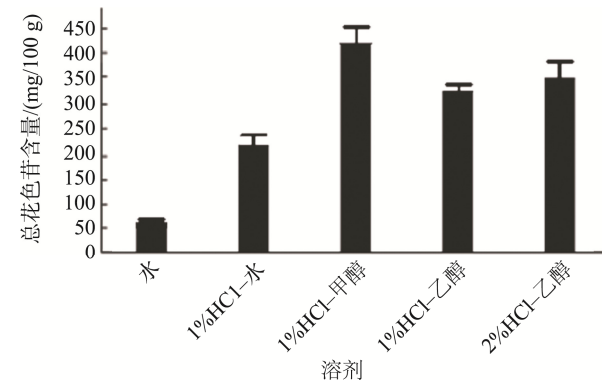


图 1 提取溶剂对花色苷含量的影响(n=3)

Fig.1 Effect of extraction solvent on the extraction rate of anthocyanin from *prunus cerasifera* (n=3)

3.1.2 固液比对樱桃李花色苷的影响

在 2% HCl-乙醇为提取溶剂, 温度 25 $^{\circ}$ C, 提取时间 60 min 的条件下, 选择 1:1、1:2、1:3、1:4、1:5 考察固液比对樱桃李中花色苷的影响, 结果表明: 由于固液比的增加能提高分子扩散速率、缩短浓度平衡时间, 因此随固液比增加, 花色苷提取率增加, 结果见图 2。可以看出故正交试验设计中料液比设置为 1:3、1:4、1:5。

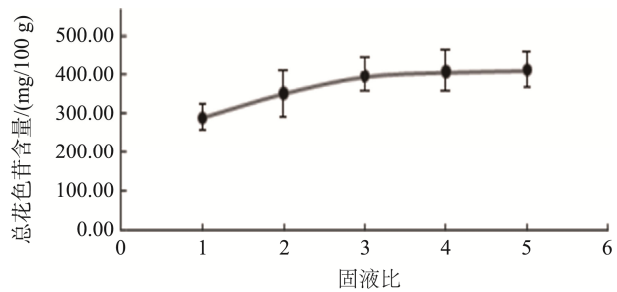


图 2 固液比对花色苷的影响(n=3)

Fig.2 Effect of liquid/material ratio on the extraction rate of anthocyanin from *prunus cerasifera* (n=3)

3.1.3 提取时间对樱桃李中花色苷含量的影响

在 2% HCl-乙醇为提取溶剂, 固液比 1:4, 温度 25 $^{\circ}$ C 的条件下研究提取时间对樱桃李中花色苷含量的影响, 见图 3。结果表明: 提取时间越长, 原料与提取剂的反应越充分。但是时间太长会导致更多的花色苷发生氧化而损失。在选择提取时间时既要考虑花色苷是否充分溶出, 也要注意时间过长导致花色苷含量下降, 故正交试验选取 60、80、100 min 3 个水平。

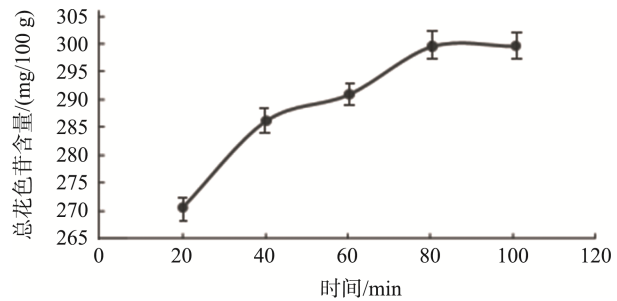


图 3 提取时间对花色苷的影响 (n=3)

Fig.3 Effect of extraction time on the extraction rate of anthocyanin from *prunus cerasifera* (n=3)

3.1.4 提取温度对樱桃李花色苷含量的影响

在 2% HCl-乙醇为提取溶剂, 液料比 1:4, 提取时间 60 min 的条件下, 研究提取温度对樱桃李中花色苷含量的影响, 见图 4。结果表明: 在一定温度范围内, 花色苷含量随着温度的升高而增加, 但是由于花色苷对热敏感, 当温度超过某一临界温度时会加速花色苷的氧化、降解, 反而使提取率下降。故在正交试验中, 选取 35、45、55 $^{\circ}$ C 3 个温度水平。

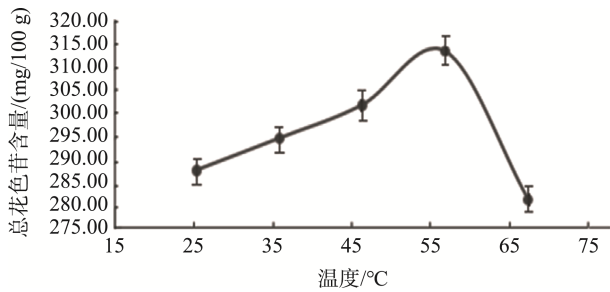


图 4 提取温度对花色苷含量的影响(n=3)

Fig.4 Effect of extraction temperature on the extraction rate of anthocyanin fromprunus cerasifera (n=3)

3.2 正交试验优选樱桃李花色苷提取工艺

根据单因素试验结果，以醇溶液浓度、固液比、提取时间、提取温度为指标进行正交试验。结果见表 2。

色价和总花色苷含量方差的分析结果见表 3。由表 3 可以看出，各因素对花色苷含量均有显著影响，无论是以色价还是总花色苷含量为指标，其中影响最大的因素是提取溶剂(A)，其次是固液比(B)，提取温度(D)次之，提取时间(C)的影响相对较小，即 A>B>D>C。通过对正交实验

方差分析可以看出，4 个因素不同水平对花色苷提取效果均值达极显著差异，与单因素实验结果基本一致。从 F 值大小来看，顺序也是 $F_A > F_B > F_D > F_C$ ，与 r 值一致。由此得最优提取条件为 $A_1B_3C_3D_3$ ，即 1% HCl-甲醇作提取溶剂，固液比 1:5，温度 55℃，提取时间 80 min。

3.3 紫色樱桃李果皮中花色苷 LC-ESI-MS 检测分析

利用质谱分析了樱桃李中花色苷的成分，得到的色谱峰的质谱图，对照文献数据^[23]，鉴定出几种活性成分可能的化学结构。进样 20 μL 紫色樱桃李果皮的总离子图(total ion chromatography, TIC)见图 5。在紫色樱桃李果皮电喷雾(electrospray ionization, ESI)正离子质谱图中，化合物的碎片质荷比 m/z 都为 287，表明为矢车菊类花色苷，峰 1 和峰 2 一级质谱分子离子的质荷比 m/z 都为 449，糖苷的质荷比为 162[449-287]，初步推断分别为矢车菊 3-葡萄糖苷或矢车菊 3-半乳糖苷。峰 3 化合物碎片离子质荷比 m/z 为 287，一级质谱分子离子质荷比为 m/z 为 595，因此可判定为矢车菊 3-芸香糖苷。峰 4 化合物的二级质谱碎片离子质荷比 m/z 为 287，一级质谱质荷比 m/z 为 419，可判定为矢车菊 3-木糖苷，具体见表 4。

表 2 正交试验设计及结果
Table 2 The design and results of Orthogonal array

试验号	A 溶剂	B 液料比	C 时间/min	D 温度/°C	色价	总花色苷含量/(mg/100 g)
1	1	1	1	1	19.21	458.94
2	1	2	2	2	19.48	470.63
3	1	3	3	3	19.99	480.81
4	2	1	2	3	16.47	348.23
5	2	2	3	1	16.74	360.03
6	2	3	1	2	17.20	379.90
7	3	1	3	2	16.78	375.06
8	3	2	1	3	18.32	390.47
9	3	3	2	1	18.76	414.36
色价	k1	19.44	17.71	18.26	18.17	
	k2	17.05	18.08	18.12	18.12	
	k3	18.77	18.77	18.18	18.27	
总花色苷含量/(mg/100 g)	k1	461.94	381.01	397.37	398.26	
	k2	365.70	394.09	397.37	398.76	
	k3	396.49	428.33	408.40	409.40	

表 3 色价和总花色苷含量方差分析
Table 3 ANOVA for the valeur and total anthocyanins content

	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
色价	校正的模型	42.633 ^a	8	5.329	51.247
	截距	8859.594	1	8859.594	85197.503
	A	34.349	2	17.175	165.159
	B	6.204	2	3.102	29.832
	C	1.037	2	5.18	4.985
	D	1.042	2	5.21	5.012
	误差	1.872	18	1.04	
	总计	8904.099	27		
	校正后的总变异	44.505	26		
总花色苷含量/(mg/100g)	校正的模型	64082.470 ^a	8	8010.309	61.102
	截距	4473198.646	1	4473198.646	34120.926
	A	53395.263	2	26697.632	203.646
	B	8006.619	2	4003.310	30.537
	C	1208.890	2	604.445	4.611
	D	1471.697	2	735.849	5.613
	误差	2359.771	18	131.098	
	总计	4539640.886	27		
	校正后的总变异	66442.241	26		

注: 差异显著($P < 0.05$)。

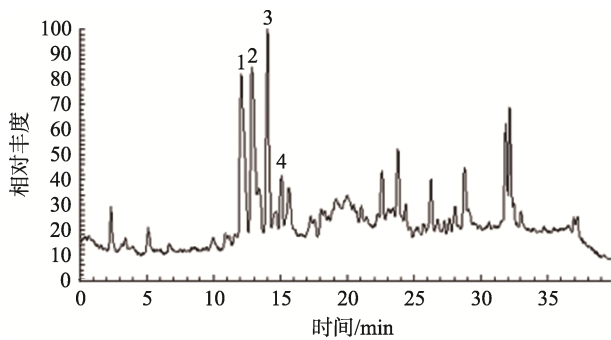


图 5 紫色樱桃李果皮总离子流色谱图
Fig.5 Total ion chromatogram of *Prunus cerasifera* purple skin

表 4 LC-ESI-MS 测得紫色樱桃李花色苷的质谱特征
Table 4 Mass spectrometry characteristic of *Prunus cerasifera* purple skin by LC-ESI-MS

峰号	保留时间 /min	M ⁺ 离子 质荷比	MS ² 碎片 (m/z)	化合物
紫皮				
1	12.07	449	287	矢车菊 3-半乳糖苷
2	12.87	449	287	矢车菊 3-葡萄糖苷
3	13.33	595	287	矢车菊 3-芸香糖苷
4	15.60	419	287	矢车菊 3-木糖苷

4 结论与讨论

本研究通过单因素试验和正交试验, 优化了樱桃李中花色苷的提取条件。研究结果表明最佳条件为 1% HCl-甲醇作提取溶剂, 固液比 1:5, 温度 55 °C, 提取时间 80 min。由最佳条件得出测得紫皮野生樱桃李总花色苷含量 480.81 mg/100 g, 其含量高于西梅^[24]、葡萄^[25]、蓝莓^[26]等的花色苷含量。通过用 LC-ESI-MS 测定樱桃李果皮的花色苷, 鉴定出樱桃李紫色果皮主要含有 4 种花色苷, 根据各物质的色谱峰面积可以看出矢车菊 3-芸香糖苷含量较多。樱桃李果皮中的花色苷是樱桃李中重要成分, 具有预防高血压、抗癌等作用。本研究采用色价法和示差法能较好地测定樱桃李中的花色苷含量。该方法简单、可靠, 可以作为樱桃花色苷测试的参考方法。

参考文献

[1] 李海冰, 刘影, 塔西买买提·马合苏木, 等. 新疆濒危野生樱桃李幼苗的自然分布特征[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(9): 1612-1619.
Li HB, Liu Y, Taxmamat M, et al. Characteristics of seedling establishment and distribution of wild endangered *Prunus divaricata* in Xinjiang [J]. Xinjiang Agric Sci, 2013, 50(9): 1612-1619.
[2] 李君, 许正, 周龙, 等. 新疆野生樱桃李营养成分测定[J]. 新疆农业科

- 学, 2010, 47(11): 2145–2149.
- Li J, Xu Z, Zhou L, *et al.* Determination of nutrition in agrestal *Prunus divaricata* of Xinjiang Yili [J]. Xinjiang Agric Sci, 2010, 47(11): 2145–2149.
- [3] 羊海军, 崔大方, 许正, 等. 中国天山野果林种子植物组成及资源状况分析[J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(2): 39–45.
- Yang HJ, Cui DF, Xu Z, *et al.* Analysis on the components and resource situation of seed plants in the wild fruit forest in Tianshan mountain in China [J]. J Plant Resour Environ, 2003, 12(2): 39–45.
- [4] 齐曼·尤努斯, 帕提古丽, 木合塔尔, 等. 新疆野生櫻桃李的营养成分[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4): 240–243.
- Qiman·YNS, Pa TGL, Mu HT, *et al.* Nutritional components of *Prunus divaricata* L. in Xinjiang [J]. Xinjiang Agric Sci, 2005, 42(4): 240–243.
- [5] 张士康, 肖正春, 张广伦, 等. 櫻桃李与蓝莓果的营养价值[J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(3): 1–3.
- Zhang SK, Xiao ZC, Zhang GL, *et al.* The nutritive value of *Prunus divaricata* and *Vaccinium ashei* [J]. Chin Wild Plant Resour, 2004, 23(3): 1–3.
- [6] 刘崇琪, 陈学森, 王金政, 等. 新疆野生櫻桃李果实部分表型性状的遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2008, 35(9): 1261–1268.
- Liu CQ, Chen XS, Wang JZ, *et al.* Studies on genetic diversity of phenotypic traits in wild myrobalan plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.) [J]. Acta Hort Sinica, 2008, 35(9): 1261–1268.
- [7] 周存山, 马海乐, 余筱洁, 等. 西梅花色苷浸提工艺及降解特性[J]. 江苏大学学报, 2013, 34(5): 536–542.
- Zhou CS, Ma HL, Yu XJ, *et al.* Extraction technology and degradation characteristics of anthocyanin from *Prunus salicina* L [J]. J Jiangsu Univ (Nat Sci Ed), 2013, 34(5): 536–542.
- [8] 刘旭, 杨丽, 张芳芳, 等. 酿酒葡萄成熟期间果实质地特性和花色苷含量变化[J]. 食品科学, 2015, 35(2): 105–109.
- Liu X, Yang L, Zhang FF, *et al.* Changes in textural properties and anthocyanins content of wine grape during maturation [J]. Food Sci, 2015, 35(2): 105–109.
- [9] 刘红锦, 刘小莉, 周剑忠. 蓝莓中花色苷提取及其抗氧化活性研究[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(6): 1347–1350.
- Liu HJ, Liu XL, Zhou JZ. The anthocyanins extracted and antioxidant activity of blueberry [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2009, 25(6): 1347–1350.
- [10] 孙建霞, 张燕, 胡小松, 等. 花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 996–1008.
- Sun JX, Zhang Y, Hu XS, *et al.* Structural stability and degradation mechanisms of anthocyanins [J]. Sci Agric Sinica, 2009, 42(3): 996–1008.
- [11] 王锋, 邓洁红, 谭兴和, 等. 花色苷及其共色作用研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 472–476.
- Wang F, Deng JH, Tan XH, *et al.* Research progress on anthocyanins and copigmentation [J]. Food Sci, 2008, 29(2): 472–476.
- [12] 杨晓娜. 花色苷生物合成关键酶基因在植物基因工程中的应用[J]. 安徽农业科学, 2013, (7): 2866–2869, 2893.
- Yang XN. Application of anthocyanins biosynthesis key enzyme gene in plant gene engineering [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, (7): 2866–2869, 2893.
- [13] Choi SW, Chang EJ, Ha TY, *et al.* Antioxidative activity of acylate anthocyanins isolated from fruit and vegetable [J]. Food Sci Nutr, 1977, 2(3): 191–196.
- [14] Yi L, Chen CY, Jin X, *et al.* Structural requirements of anthocyanins in relation to inhibition of endothelial injury induced by oxidized low-density lipoprotein and correlation with radical scavenging activity [J]. Febs Lett, 2010, 584(3): 583–590.
- [15] 房欢, 焦滇. 花色苷生物合成及代谢工程研究进展[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(7): 5–10.
- Fang H, Jiao Z. Advances in anthocyanin biosynthesis and metabolic engineering [J]. Jiangsu Agric Sci, 2012, 40(7): 5–10.
- [16] Auger C, Caporiccio B, Landrault N, *et al.* Red wine phenolic compounds reduce plasma lipids and apolipoprotein B and prevent early aortic atherosclerosis in hypercholesterolemic Golden Syrian hamster (*Mesocricetus auratus*) [J]. Nutr Metab, 2001, 21(131): 2837–2842.
- [17] 崔丽娜, 高荣岐, 孙爱清, 等. 不同基因型玉米籽粒类胡萝卜素与花色苷色素积累规律[J]. 作物学报, 2010, 36(5): 818–825.
- Cui LN, Gao RQ, Sun AQ, *et al.* Regularity of carotenoids and anthocyanins accumulation in various genotypes of maize kernel [J]. Acta Agron Sinica, 2010, 36(5): 818–825.
- [18] Fabio G, Luca L. Cyanidins: Metabolism and biological properties [J]. J Nutr Biochem, 2004, 15: 2–11.
- [19] Dai J, Gupte A, Gates L, *et al.* A comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction methods, stability, anticancer properties and mechanisms [J]. Food Chem Toxicol, 2009, 47: 837–847.
- [20] 唐传核, 彭志英. 天然花色苷类色素的生理功能及应用前景[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2000, 6(1): 26–28.
- Tang CH, Peng ZY. Regularity of carotenoids and anthocyanins accumulation in various genotypes of maize kernel [J]. Beverage Fast Frozen Food Ind, 2000, 6(1): 26–28.
- [21] Deyanira O, Enrique JF, Alejiandro Z, *et al.* Inhibition of angiotensin converting enzyme (ACE) activity by the anthocyanins dephinidin and cyaniding-3-O-sambubiosides from *Hibiscus sabdariffa* [J]. J Ethnopharmacol, 2010, 127: 7–10.
- [22] 刘岱琳, 林纪伟, 张静泽, 等. 天然植物中花色苷的研究应用现状[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(9): 240–244.
- Liu DL, Lin JW, Zhang JZ, *et al.* Application and research status of anthocyanins in natural products [J]. Food Res Dev, 2010, 31(9): 240–244.
- [23] Shih PH, Chan YC, Liao JW, *et al.* Antioxidant and cognitive promotion effects of anthocyanin-rich mulberry (*Morus atropurpurea* L.) on senescence-accelerated mice and prevention of Alzheimer's disease [J]. J Nutr Chem, 2010, 21(7): 598–605.
- [24] 任玉林, 李华, 邓贵德, 等. 天然食用色素花色苷[J]. 食品科学, 1995, 16(7): 22–27.
- Ren YL, Li H, Deng GD, *et al.* Natural food pigments-anthocyanins [J]. Food Sci, 1995, 16(7): 22–27.
- [25] Markakis P. Anthocyanins as food colors [M]. New York, 1992.
- [26] 王燕. 櫻桃李果实主要花色苷组分及相关特性分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- Wang Y. Analysis of major anthocyanin components and related characteristics of *Prunus cerasifera* Ehrh [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016.
- [27] 闫亚美, 冉林武, 曹有龙, 等. 黑果枸杞花色苷含量测定方法研究[J]. 食品工业, 2012, 33(6): 145–146.
- Yan YM, Ran LW, Cao YL, *et al.* Determine the total anthocyanins in

lycium ruthenicum murray by different methods [J]. Food Ind, 2012, 33(6): 145-146.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



沈 静, 硕士, 副教授, 主要研究方向为新疆特色药材研究。

E-mail: 6572177@qq.com



姚 军, 博士, 教授, 主要研究方为食品安全检测。

E-mail: xydyaojun@163.com

常军民, 博士, 教授, 主要研究方向为天然产物研究。

E-mail: 1617265908@qq.com