

# 高效溶剂萃取法提取黑果枸杞花色苷及其颜色稳定性研究

王青霞,李建颖\*,程瑶,白金金,罗雨家,高伟健

天津商业大学生物技术与食品科学学院 天津市食品生物技术重点实验室 国家级食品与药品实验教学示范中心,天津 300134

**摘要:**为了提高黑果枸杞花色苷的提取效率以及颜色稳定性,采用高效溶剂萃取法进行提取,考察静态萃取温度、乙醇浓度、静态萃取时间、静态萃取压力和循环次数对提取效果的影响,通过响应面法优化提取工艺,并对提取的花色苷溶液进行颜色稳定性研究。结果表明:最佳提取条件为温度 48 °C,乙醇浓度 60%,提取时间 4 min,静态萃取压力 8 MPa,循环 2 次,在此条件下,花色苷的提取得率为 1.989%;保存温度为 4 °C、pH 值为 2.5 时,黑果枸杞花色苷溶液较为稳定。

**关键词:**黑果枸杞;高效溶剂萃取法;花色苷;工艺优化;颜色稳定性

中图分类号:R284.2;TS264.4

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2020)1-0103-08

DOI:10.16333/j.1001-6880.2020.1.015

## High-efficiency solvent extraction of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr and its color stability

WANG Qing-xia, LI Jian-ying\*, CHENG Yao, BAI Jin-jin, LUO Yu-jia, GAO Wei-jian

National Food and Drug Experimental Teaching Demonstration Center, Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China

**Abstract:** In order to improve the extraction efficiency and color stability of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr, the high-efficiency solvent extraction method was used for extraction. The effects of static extraction temperature, ethanol concentration, static extraction time, static extraction pressure and number of cycles on the extraction efficiency were investigated. The extraction process was optimized by response surface methodology, and the color stability of the extracted anthocyanin solution was studied. The results showed that the optimal extraction conditions were temperature 48 °C, ethanol concentration 60%, extraction time 4 min, static extraction pressure 8 MPa, cycle twice. Under this condition, the anthocyanin extraction rate was 1.989%. When the preservation temperature was 4 °C and the pH was 2.5, the anthocyanin solution of the *L. ruthenicum* was stable.

**Key words:** *Lycium ruthenicum* Murr; high-efficiency solvent extraction; anthocyanins; process optimization; color stability

黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murr.) 为茄科枸杞属<sup>[1]</sup>, 其果实中富含花青素<sup>[2,3]</sup>, 花青素在自然界中与糖以糖苷键的形式结合形成花色苷, 赋予自然界五彩斑斓的颜色<sup>[4]</sup>。花色苷类化合物能够以完整的糖苷形式从消化道内进入血浆<sup>[5,6]</sup>, 且具有抗氧化活性<sup>[7,8]</sup>。

花色苷的传统提取方法有溶剂萃取法、超声辅助提取法、微波辅助提取法、酶法等<sup>[9]</sup>。其共同点是方法简单, 操作简便, 提取时间长, 提取率低。随

着仪器技术的进步, 高效溶剂萃取法因其萃取时间短、效率高、对有效成分破坏少而深受欢迎, 但其在花色苷提取上的应用鲜少<sup>[10]</sup>。高效溶剂萃取技术是利用随温度变化的情况下, 扩散度随温度的升高而增加、粘度随温度的升高而降低、表面张力随温度升高而降低、溶解度随温度升高而升高, 从而加速溶解过程; 同时高压下使溶剂保持液态并快速充满萃取罐。本研究采用高效溶剂萃取法, 旨在寻求高效、适用于黑果枸杞花色苷的提取方法。

黑果枸杞颜色的变化是由多种复杂的因素造成的, 花色苷的种类和含量不同会影响其颜色稳定性。花色苷显色是因为其配基有一个  $\pi$ -电子共轭体系 (发色团), 可吸收特定波长的光而被激发显色, 配

收稿日期:2019-06-26

接受日期:2019-12-20

基金项目:天津市重点研发计划—科技支撑重点项目(19YFZCS N00010);大学生创新创业训练计划(201810069053, 201910069007, 201910069102)

\*通信作者 E-mail:ljying@tjcu.edu.cn

基上的羟基和甲氧基(助色团)本身无色,但与发色团相互作用,从而影响颜色<sup>[11]</sup>。黑果枸杞中的花色苷不稳定,极易受到温度、pH 等因素的影响<sup>[12,13]</sup>,多数稳定性研究都是以花色苷的含量为指标,而在实际的加工与储存过程中,颜色通常被视为一个重要的质量指标,为了将这一指标更加精准化和数字化,采用分光测色计测定颜色数值的变化,为进一步研究与开发提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

黑果枸杞干果(产自宁夏);纯水(实验室自制);无水乙醇(德国默克公司);盐酸、磷酸氢二钠、柠檬酸(天津市风船化学试剂科技有限公司);氯化钾(天津光复科技发展有限公司);冰乙酸(天津大学科威公司);无水乙酸钠、硅藻土(国药集团化学试剂有限公司)。

HPSE Gemini 型高效溶剂萃取仪(北京莱伯泰科公司);DK-8AS 型电热恒温水浴锅(上海精密科学仪器有限公司);AX224ZH 型分析天平(奥豪斯仪器有限公司);ST3100 型 pH 计(奥豪斯仪器有限公司);UV-2600 型紫外可见分光光度计(日本岛津公司);DH-101 型电热鼓风干燥箱(上海精密科学仪器有限公司);RV10DIGITAL 型旋转蒸发器(德国 IKA 公司);VaCo2-II 型真空冷冻干燥机(德国 ZIRBUS 公司);CM-5 型分光测色计(柯尼卡美能达公司)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 实验前准备

将黑果枸杞置于 37 °C 电热鼓风干燥箱中,烘干 24 h,粉碎,过 60 目筛,冷藏备用。

pH 1.0 的缓冲溶液配制:0.2 mol/L KCl:0.2 mol/L HCl = 25:67, V/V,用 pH 计进行测定,并调整至 1.0。pH 4.5 的缓冲溶液配制<sup>[14]</sup>:0.2 mol/L NaAc:0.2 mol/L HAc = 1:1, V/V,用 pH 计进行测定,并调整至 4.5。

pH 2.5 的缓冲溶液配制:0.2 mol/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>:0.1 mol/L 柠檬酸 = 13:180;pH 4.0 的缓冲溶液配制:0.2 mol/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>:0.1 mol/L 柠檬酸 = 77:123;pH 6.0 的缓冲溶液配制:0.2 mol/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>:0.1 mol/L 柠檬酸 = 84:49;pH 8.0 的缓冲溶液配制:0.2 mol/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>:0.1 mol/L 柠檬酸 = 390:11;V/V,用 pH 计进行测定并调整。

#### 1.2.2 总花色苷提取率测定

采用 pH 示差法测定总花色苷的含量,测量提取液的体积 V,取两份 1 mL 提取液于具塞试管中,并分别用 pH 1.0 和 pH 4.5 缓冲液梯度稀释 100 倍,混匀,于 40 °C 恒温水浴锅中平衡 40 min,以提取溶剂作对照进行相应处理。待平衡结束后,分别测其在 530 nm 和 700 nm 下的吸光度。原 pH 示差法以矢车菊素-3-葡萄糖苷为标准,但研究表明黑果枸杞中不含矢车菊素-3-葡萄糖苷,锦葵色素-3-葡萄糖苷含量较高,因此,以锦葵色素-3-葡萄糖苷作为标准对照<sup>[15]</sup>,调整 pH 示差法计算公式为<sup>[16]</sup>:

$$\text{总花色苷提取率}(\%) = ([A_{530} - A_{700}]_{\text{pH}1.0} - [A_{530} - A_{700}]_{\text{pH}4.5}) \times M_w \times DF \times V / \epsilon \times L \times m \times 100\%$$

式中: $A_{530}$  波长为 530 nm 处的吸光度; $A_{700}$  波长为 700 nm 处的吸光度; $M_w$  锦葵色素-3-葡萄糖苷的相对分子质量,493.2 g/mol; $DF$  稀释倍数,100; $V$  提取液的体积; $\epsilon$  摩尔消光系数,29 600 L/(mol · cm); $L$  光程厘米数,1 cm; $m$  原料的质量,5.0 g。

#### 1.2.3 总花色苷提取工艺

高效溶剂萃取仪运行前连接氮气,氮气输出压力为 0.8 MPa,进行密封性测试,称取 5.0 g 黑果枸杞粉,称取 12.0 g 硅藻土,将黑果枸杞粉与硅藻土混合均匀,装入 34 mL 萃取罐中,压实;以水和乙醇为萃取溶剂,设置温度、乙醇浓度(乙醇与水的比例)、时间、压力和循环次数等条件后开始运行,静态萃取过程可连续进行多次,注入溶剂与冲洗所用溶剂总体积随着循环次数的增加而增加。

静态萃取过程:黑果枸杞萃取罐→注入溶剂→升温升压→静态萃取→冲洗萃取后基质(冲洗体积为罐体体积 60%)→吹扫样品

#### 1.2.4 单因素实验

##### 1.2.4.1 静态萃取温度对提取效果的影响

固定乙醇浓度 70%,静态萃取压力 8 MPa,静态萃取时间 4 min,循环次数 2 次,分别考察静态萃取温度为 35、40、45、50、55 °C 对提取效果的影响。

##### 1.2.4.2 乙醇浓度对提取效果的影响

固定静态萃取温度 50 °C,静态萃取压力 8 MPa,静态萃取时间 4 min,循环次数 2 次,分别考察乙醇浓度为 50%、60%、70%、80%、90% 对提取效果的影响。

##### 1.2.4.3 静态萃取时间对提取效果的影响

固定乙醇浓度 70%,静态萃取温度 50 °C,静态萃取压力 8 MPa,循环次数 2 次,分别考察静态萃取

时间为 2、3、4、5、6 min 对提取效果的影响。

#### 1.2.4.4 静态萃取压力对提取效果的影响

固定乙醇浓度 70%, 静态萃取温度 50 ℃, 静态萃取时间 4 min, 循环次数 2 次, 由于仪器限制压力范围, 分别考察静态萃取压力为 6、7、8、9、10 MPa 对提取效果的影响。

#### 1.2.4.5 循环次数对提取效果的影响

固定乙醇浓度 70%, 静态萃取温度 50 ℃, 静态萃取压力 8 MPa, 静态萃取时间 4 min, 分别考察循环次数为 1、2、3、4、5 次对提取效果的影响。

#### 1.2.5 响应面优化试验

在单因素实验的基础上, 采用 Box-Behnken 设计方案, 通过方差分析与模型建立, 确定最优提取条件。选择静态萃取温度、乙醇浓度和静态萃取时间三个因素, 以花色苷提取率为响应值, 设计响应面试验<sup>[17,18]</sup>。因素水平见表 1。

表 1 实验因素水平

Table 1 Experimental factors and levels

水平 Level	因素 Factor		
	A 静态萃取温度 Static extraction temperature (℃)	B 乙醇浓度 Ethanol concentration (%)	C 静态萃取时间 Static extraction time (min)
-1	40	50	3
0	45	60	4
1	50	70	5

#### 1.2.6 颜色稳定性实验

按最佳提取条件提取得到黑果枸杞提取液, 设置旋转蒸发仪温度为 45 ℃, 将提取液浓缩至近干, 转移至真空冷冻干燥机专用物料盘中, -80 ℃ 下预冻 24 h, 真空冷冻干燥 48 h, 得到黑果枸杞提取物。称取 2.5 g 黑果枸杞提取物用纯水或缓冲液定容至 250 mL, 分别考察温度(4、20、40 ℃)、pH(2.5、4.0、6.0、8.0) 对其颜色稳定性的影响。

使用分光测色计测定颜色, 光源为 D65, 观测角度 10°。采用液体测量模式, 仪器需用纯水进行校正, 每组样品测两次, 求平均值。其中 L\* 代表亮度, 纯水 L\* 值为 100, a\* 值为正代表红色, 为负代表绿色, b\* 值为正代表黄色, 为负代表蓝色,  $\Delta E^*$  值表示颜色的变化程度<sup>[19]</sup>。本实验以纯水做空白校正和对照, 测定样品的 L\*、a\*、b\*、 $\Delta E^*$  值, 当  $\Delta E^*$  的变化值大于 3.5 时肉眼可见<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果

#### 2.1.1 静态萃取温度对提取效果的影响

静态萃取温度对提取效果的影响如图 1 所示。随着温度的升高, 分子运动速度加快, 花色苷溶出到溶剂中, 进而使得花色苷提取率升高, 但当温度达到 45 ℃ 后, 随着温度的升高, 花色苷提取率反而下降, 是由于花色苷易受到温度的影响, 温度升高会使花色苷结构遭到破坏, 从而使得花色苷提取率降低, 因此选取 45 ℃ 为最佳静态萃取温度。

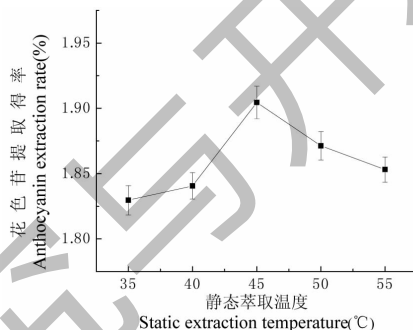


图 1 静态萃取温度对提取效果的影响

Fig. 1 Effect of static extraction temperature on extraction

#### 2.1.2 静态萃取时间对提取效果的影响

不同的静态萃取时间对提取效果的影响如图 2 所示。随着静态萃取时间的延长, 花色苷提取率呈上升趋势, 但静态萃取时间超过 4 min, 花色苷提取率呈下降趋势, 随着时间的延长, 花色苷受温度影响的时间也随之加长, 导致花色苷提取率下降, 因此最佳静态萃取时间为 4 min。

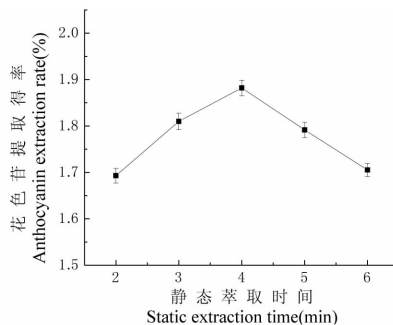


图 2 静态萃取时间对提取效果的影响

Fig. 2 Effect of static extraction time on extraction

#### 2.1.3 乙醇浓度对提取效果的影响

不同乙醇浓度对黑果枸杞花色苷提取的影响如图 3 所示。根据相似相溶原理, 随着乙醇浓度的升高, 花色苷提取率呈现先上升后下降的趋势, 说明

黑果枸杞中花色苷的极性强于乙醇,比水的极性弱,当乙醇浓度为 60% 时,利于花色苷的溶出,因此最佳乙醇浓度为 60%。

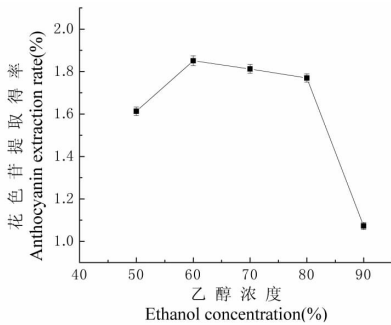


图 3 乙醇浓度对提取效果的影响

Fig. 3 Effect of ethanol concentration on extraction

#### 2.1.4 静态萃取压力对提取效果的影响

静态萃取压力对黑果枸杞提取效果的影响如图 4 所示。随着压力的升高,花色苷提取得率略微上升,说明压力的增大能够加速溶质的传质速率,加快花色苷的溶出,从而提高提取效率,但当压力超过 8 MPa 后,压力升高,花色苷提取得率略微下降,说明在此高压状态下,花色苷结构会遭到一定程度的破坏,因此采用压力 8 MPa。

#### 2.1.5 循环次数对提取效果的影响

循环次数对黑果枸杞提取效果的影响如图 5 所示。随着循环次数的增加,黑果枸杞中的花色苷溶出至溶剂中,但循环次数超过 3 次后花色苷提取得率呈下降趋势,原因是升温升压的时间不可忽略,并

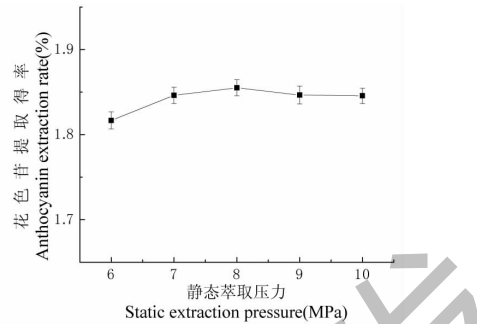


图 4 静态萃取压力对提取效果的影响

Fig. 4 Effect of static extraction pressure on extraction

且循环次数增加导致溶剂体积增加,因而提取液中花色苷浓度降低,花色苷分子之间的共轭作用减弱,花色苷会发生部分降解,因此循环 2 次最佳。

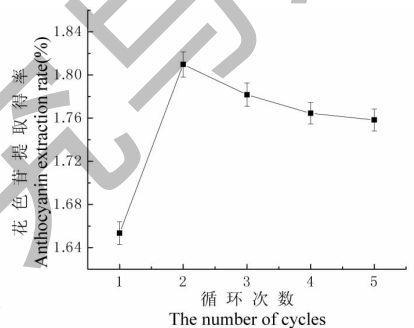


图 5 循环次数对提取效果的影响

Fig. 5 Effect of the number of cycles on extraction

## 2.2 响应面试验结果及分析

### 2.2.1 响应面试验结果

响应面试验结果见表 2。

表 2 响应面试验结果

Table 2 Result of response surface test

序号 No.	A 静态萃取温度 Static extraction temperature(°C)	B 乙醇浓度 Ethanol concentration(%)	C 单次萃取时间 A single extraction time(min)	花色苷提取得率 Anthocyanin extraction rate(%)
1	0	0	0	2.071
2	0	-1	1	1.876
3	0	0	0	2.024
4	0	1	-1	1.804
5	-1	0	1	1.884
6	0	1	1	1.851
7	-1	0	-1	1.806
8	-1	-1	0	1.821
9	0	0	0	2.060
10	1	1	0	1.701
11	1	0	1	1.782

续表 2(Continued Tab. 2)

序号 No.	A 静态萃取温度 Static extraction temperature(°C)	B 乙醇浓度 Ethanol concentration(%)	C 单次萃取时间 A single extraction time(min)	花色苷提取得率 Anthocyanin extraction rate(%)
12	0	-1	-1	1.802
13	0	0	0	2.070
14	0	0	0	2.031
15	1	-1	0	1.855
16	1	0	-1	1.815
17	-1	1	0	1.868

2.2.2 方差分析

差分析,显著性结果见表 3。

运用 Design-Expert 8.0 软件对表 2 结果进行方

表 3 回归模型的方差分析

Table 3 Variance analysis of regression model

方差来源 Sources of variance	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F-value	P 值 P-value	显著性 Significance
Model	0.21	9	0.024	42.94	< 0.000 1	**
A	0.006 4	1	0.006 4	11.66	0.011 2	*
B	0.002 1	1	0.002 1	3.86	0.090 2	
C	0.003 5	1	0.003 5	6.35	0.039 9	*
AB	0.010	1	0.010	18.71	0.003 5	*
AC	0.003	1	0.003	5.54	0.050 8	
BC	0.000 2	1	0.000 2	0.31	0.593 2	
A <sup>2</sup>	0.067	1	0.067	121.46	< 0.000 1	**
B <sup>2</sup>	0.055	1	0.055	100.17	< 0.000 1	**
C <sup>2</sup>	0.045	1	0.045	82.87	< 0.000 1	**
残差 Residual	0.003 8	7	0.000 5			
失拟项 Lack of fit	0.001 8	3	0.000 6	1.20	0.416	
纯差 Pure error	0.002	4	0.000 5			
R <sup>2</sup>	0.982 2	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	0.959 3			

注: \*\* 表示在 1% 水平显著; \* 表示在 5% 水平显著。

Note: \*\* indicates significant at 1% level; \* means significant at the 5% level.

经回归拟合,得到花色苷提取得率与各因素变量二次多元回归模型为:

$$Y = 2.05 - 0.028A - 0.016B + 0.021C - 0.051AB - 0.028AC - 0.0066BC - 0.13A^2 - 0.11B^2 - 0.10C^2$$

由回归方程可反映出各因素对提取液花色苷提取得率的影响程度,分析一次项系数可得到,影响提取液花色苷提取得率的因素主次顺序为:A(静态萃取温度) > C(静态萃取时间) > B(乙醇浓度)。该模型 P < 0.000 1,表明该模型是有意义的,失拟项 P = 0.416 > 0.05 不显著,模型 R<sup>2</sup> = 98.22%,表明此

模型拟合程度好,使用该回归方程来预测真实情况是可行的。

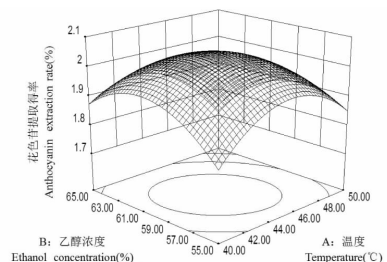


图 6 温度与乙醇浓度对花色苷提取得率的交互作用

Fig. 6 Effect of interaction between temperature and ethanol concentration on the anthocyanin extraction rate

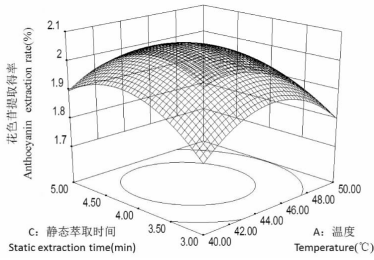


图7 温度与静态萃取时间对花色苷提取得率的交互作用  
Fig. 7 Effect of interaction between temperature and static extraction time on the anthocyanin extraction rate

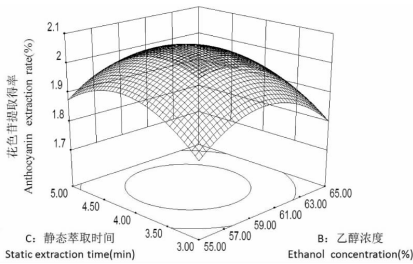


图8 乙醇浓度与静态萃取时间对花色苷提取得率的交互作用

Fig. 8 Effect of interaction between ethanol concentration and static extraction time on the anthocyanin extraction rate

图6所示为固定静态萃取时间为零水平,温度与乙醇浓度对花色苷提取得率的交互作用,随着温度的升高和乙醇浓度的增大,花色苷提取得率都呈现先增加后降低的趋势。图7所示为固定乙醇浓度为零水平,随着温度的升高以及静态萃取时间的延

长,花色苷提取得率也呈现先增加后降低的趋势。图8所示为固定温度为零水平,随着乙醇浓度的增大与静态萃取时间的延长,花色苷提取得率也呈现先增加后降低的趋势。两因素的交互作用对花色苷提取得率的影响整体趋势与单因素实验基本相符。

### 2.2.3 验证实验

通过回归方程求解,在试验范围内最佳提取条件为:温度 48.15 °C,乙醇浓度 58.95%,提取时间 4.02 min,在此条件下提取液的花色苷理论提取得率为 1.989%。考虑到实际,将其校正为温度 48 °C,乙醇浓度 60%,提取时间 4 min。在此条件下进行三组平行试验,提取得到的总花色苷的提取得率为 1.973% ± 0.015%,结果与预测值基本相符,证明了该模型的有效性。

## 2.3 颜色稳定性实验结果

### 2.3.1 温度对颜色稳定性的影响

由图9可以看出,当黑果枸杞花色苷溶液保存温度为 20 °C 时,随着时间的推移,  $a^*$  值变大,向红色方向移动,  $b^*$  值波动较小,且处于蓝色方向,  $\Delta E^*$  值波动幅度最大,且 2 天后  $\Delta E^*$  值的变化值大于 3.5,可通过肉眼观察到颜色的变化;当保存温度为 40 °C 时,  $a^*$  值变小,红色变淡,但幅度较小,  $b^*$  值由负方向渐渐向正方向移动,蓝色渐渐变为黄色,  $\Delta E^*$  值的变化值 4 天后超过 3.5,颜色变化肉眼可见。当保存温度为 4 °C 时,  $a^*$ 、 $b^*$  和  $\Delta E^*$  值相对稳定,10 天内颜色变化不明显,表明 4 °C 利于黑果枸杞花色苷溶液的保存。

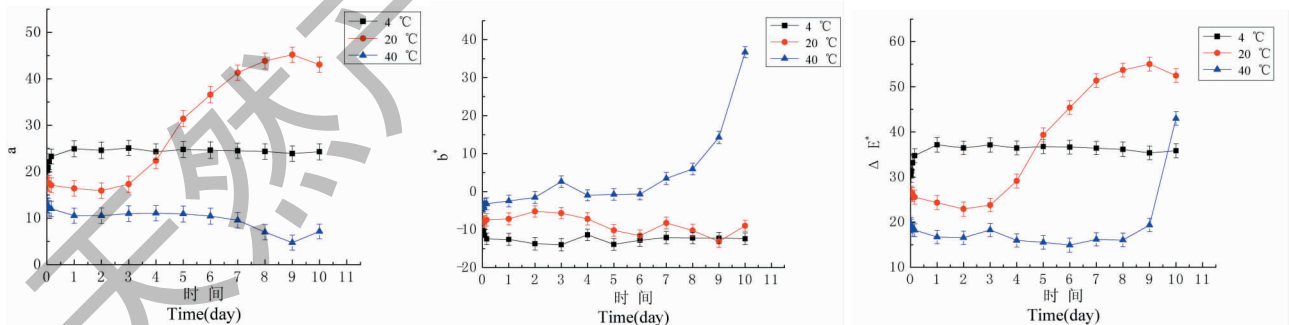


图9 温度对黑果枸杞花色苷颜色稳定性的影响

Fig. 9 Effect of temperature on the color stability of anthocyanins from *L. ruthenicum*

### 2.3.2 pH 对颜色稳定性的影响

由图10可以看出,当黑果枸杞花色苷溶液 pH 值为 2.5 时,  $a^*$  值较大且非常稳定,溶液颜色偏红,  $b^*$  值与  $\Delta E^*$  值也较稳定;当溶液 pH 值为 4.0 时,  $a^*$  值变小,红色变淡,  $b^*$  值由负方向渐渐向正方向

移动,蓝色渐变为黄色,  $\Delta E^*$  值的变化值 2 天后超过 3.5,颜色变化肉眼可见;当溶液 pH 值为 6.0 时,  $a^*$  值大幅减小,红色变浅,9 天后  $b^*$  值向正方向过渡,变为黄色,  $\Delta E^*$  在前 2 h 变化极大,肉眼可观察到颜色变化;当溶液 pH 值为 8.0 时,  $a^*$  值由正方向

变为负方向,说明红色渐渐向绿色方向过渡, $b^*$  值由负方向渐渐向正方向移动,蓝色渐变为黄色, $\Delta E^*$  值变化迅速,肉眼可见颜色变化。表明碱性条

件下不利于黑果枸杞花色苷溶液的保存,溶液 pH 值为 2.5 时其稳定性最好,利于保存。

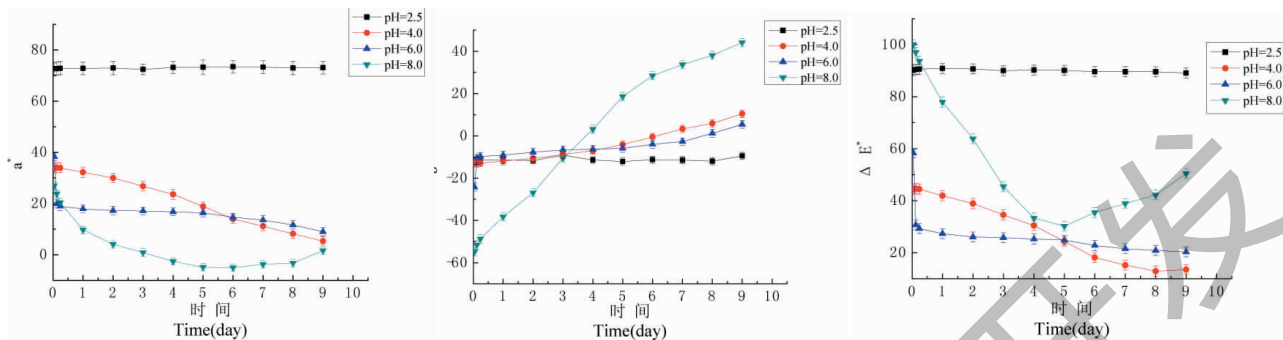


图 10 pH 对黑果枸杞花色苷颜色稳定性的影响

Fig. 10 Effect of pH on the color stability of anthocyanins from *L. ruthenicum*

### 3 结论

本研究采用高效溶剂萃取法提取黑果枸杞中花色苷,在单因素实验的基础上,通过响应面试验优化提取工艺,得到最佳提取条件:温度 48 °C,乙醇浓度 60%,提取时间 4 min,静态萃取压力 8 MPa,循环 2 次,在此条件下,花色苷提取得率为 1.989%,与传统提取工艺相比,该提取工艺所需时间短,效率高。颜色稳定性实验表明酸性条件和低温条件有助于黑果枸杞花色苷溶液的保存,其最适保存温度为 4 °C、pH 值为 2.5,为其以后加工与贮藏提供理论依据。

### 参考文献

- Jiao XL, Chi XF, Dong Q, et al. Analysis of the nutritional components of *Lycium ruthenicum*[J]. Amino Acids Bio Res (氨基酸和生物资源), 2011, 33(3): 60-62.
- Li J, Zhao HY, Yuan H, et al. Study on the pigment of *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. Food Sci (食品科学), 2006, 27: 146-151.
- Chen H, Wu XM, Li Y, et al. Stability and targeting release characteristics of anthocyanin microcapsules of *Lycium ruthenicum* Murr [J]. Sci Tech Food Ind (食品工业科技), 2018, 39(1): 22-28.
- Cao T, Liu YY, Liu XH, et al. Quantitative determination of anthocyanins from purple and black crops [J]. Chin Agr Sci Bull (中国农学通报), 2018, 34: 129-135.
- Youdim K A, Shukitt-Hale B, Mackinnon S, et al. Polyphenolics enhance red blood cell resistance to oxidative stress; *in vitro* and *in vivo* [J]. BBA-GEN Sub, 2000, 1523: 117-122.
- Matsumoto H, Inaba H, Kishi M, et al. Orally administered delphinidin 3-rutinoside and cyanidin 3-rutinoside are direct-

- ly absorbed in rats and humans and appear in the blood as the intact forms [J]. J Agr Food Chem, 2001, 49: 1546-1551.
- Hertog MGL, Hollman PCH, Katan MB, et al. Intake of potentially anticarcinogenic flavonoids and their determinants in adults in the Netherlands [J]. Nutri Cancer, 1993, 20(1): 21-29.
- Li WC. Isolation, stability and antioxidant activity of anthocyanins from Murray and Bobr of Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Sep Sci Technol, 2014, 49: 2897-2906.
- Liu XK, Su MF, Yang N, et al. Study on anthocyanins extraction efficiency by different extraction technologies from *Lonicera caerulea* residue [J]. Food Res Dev (食品研究与开发), 2018, 39(24): 44-48.
- De Oliveira NA, Cornelio-Santiago HP, Fukumasu H, et al. Green coffee extracts rich in diterpenes-process optimization of pressurized liquid extraction using ethanol as solvent [J]. J Food Eng, 2018, 224: 148-155.
- Han FL, Li Y, Li JM, et al. Relation between anthocyanin structures and color in red wine: a review [J]. J Food Sci Bio (食品与生物技术学报), 2011, 30: 328-336.
- Sui XN, Bary S, Zhou WB. Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage [J]. Food Chem, 2016, 192: 516-524.
- Bao J, Cai Y, Sun M, et al. Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability [J]. J Agr Food Chem, 2005, 53: 2327-2332.
- Sun JC, Liu YT, Zhao YP, et al. Optimization of analytical condition of determining anthocyanins content in blueberry wine by pH-differential method [J]. China Brewing (中国酿造), 2011(11): 171-174.