

海娇颜片中原花青素含量快速测定方法优化

闫文杰^{1,2}, 李 凯¹, 吕倩倩¹, 焦丽娟², 刘 倩¹, 王志鑫^{1,2*}

(1. 北京联合大学生物化学工程学院, 北京 100023; 2. 北京联合大学保健食品功能检测中心, 北京 100191)

摘 要: **目的** 优化快速测定海娇颜片中原花青素含量的分析方法。**方法** 通过加标回收率法发现采用铁盐催化比色法测定海娇颜片中原花青素时的干扰成分, 并分别采用大孔树脂柱及乙醇沉淀-离心 2 种方法对样品进行前净化处理。**结果** 发现海娇颜片中鱼胶原蛋白肽对原花青素的测定存在较大干扰, 优化前测得原花青素含量为 1.22%, 经大孔树脂柱净化后测得其含量为 2.15%, 而经乙醇沉淀-离心净化后测定其含量为 3.11%, 接近理论值。**结论** 乙醇沉淀-离心法能显著去除干扰成分, 提高原花青素含量测定的准确度, 是较优的样品预处理方法。该研究可为相关产品中原花青素含量快速测定方案的制定提供参考依据。

关键词: 原花青素; 海娇颜片; 铁盐催化比色法; 大孔树脂; 乙醇沉淀-离心法

Optimization of rapid content determination method of procyanidin in Haijiaoyan tablets

YAN Wen-Jie^{1,2}, LI Kai¹, LV Qian-Qian¹, JIAO Li-Juan², LIU Qian¹, WANG Zhi-Xin^{1,2*}

(1. College of Biochemistry Engineering, Beijing Union University, Beijing 100023, China;

2. Testing Center of Function of Health Food, Beijing Union University, Beijing 100191, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the method for rapid determination of procyanidin content in Haijiaoyan tablets. **Methods** The method of spiked recovery was firstly applied to discover the components which had interference on the determination of procyanidin in Haijiaoyan tablets by the typical method of ferric ions as catalyst, and two process methods including macroporous resin column and ethanol precipitation-centrifugation were then applied to pretreat the sample. **Results** Fish collagen peptide in Haijiaoyan tablets had obvious interference on the determination of procyanidin. The detected content of procyanidin was 1.22% before optimization, 2.15% after purification through macroporous resin column, and 3.11% after the treatment by ethanol precipitation-centrifugation, respectively. And the last one was much closer to the theoretical value. **Conclusion** Ethanol precipitation-centrifugation method could significantly remove the interfering components and improve the accuracy of determination for procyanidin, which is the better strategy for sample pretreatment. This study could provide reference for the protocol establishment of rapid determination of procyanidin in health products.

KEY WORDS: procyanidin; Haijiaoyan tablets; colorimetry with ferric ions as catalysis agent; macroporous resin; ethanol precipitation-centrifugation

基金项目: 北京市教育委员会科技计划一般项目(KM201811417003)

Fund: Supported by the General Scientific Research Project of Beijing Educational Committee (KM201811417003)

*通讯作者: 王志鑫, 博士, 讲师, 主要研究方向为天然活性物质发现及功能研究。E-mail: shtwzx@buu.edu.cn

*Corresponding author: WANG Zhi-Xin, Ph.D, Lecturer, College of Biochemistry Engineering, Beijing Union University, No. 18 Sanqu, Fatouxili, Chaoyang District, Beijing 100023, China. E-mail: shtwzx@buu.edu.cn

1 引言

原花青素,也称缩合鞣质,是在黄烷-3-醇基础上通过 C-C 键聚合而形成的一类天然化合物,广泛存在于一些植物如葡萄、蓝莓及松树皮等中^[1]。根据组成结构单元的数量不同,原花青素可分为单倍体、寡聚体和多聚体。单倍体是基本结构,常见的有儿茶素和表儿茶素^[2]。低聚体和多聚体一般是由单倍体缩合而成。原花青素的稳定性较差,往往会受温度、pH 值、金属离子及光照等因素的影响。国际上公认原花青素是效率最高的天然抗氧化剂,其抗氧化活性是维生素 C 和维生素 E 的几十倍^[3]。该化合物具有抗心血管疾病^[4]、清除自由基^[5]、抗炎、抗癌及抗糖尿等药理作用^[6]。同时,可保护有机体预防慢性疾病、抑制细菌的感染^[7],可作为食源性药物用于疾病治疗^[8,9],也可作为天然食源性防腐剂^[10]。

由于原花青素的组成和结构复杂,稳定性差,在相关产品中准确检测其含量始终是影响其在市场上广泛应用的一个技术难题^[11]。目前,已报道的原花青素的测定方法较多,包括高效液相色谱法^[12]、分光光度法^[13]、电化学法^[14]、原子吸收法^[15]、毛细管电泳法^[16]及液相色谱-质谱联用法^[17]等。这些检测方法各有优缺点。其中,应用最广泛的是高效液相色谱法和可见分光光度法。高效液相色谱法测定结果的准确度和精密度较高,但操作复杂,耗时多,测试成本相对较高。研究发现,采用高效液相色谱法测定原花青素样品时常存在干扰成分,如单体儿茶素、表儿茶素等,需在测定前进行纯化处理^[17]。分光光度法分为酸化香草醛法^[18]、正丁醇-盐酸法^[19]、铁盐催化比色法^[20,21]及 KMnO_4 法^[22]等。其中,铁盐催化比色法是利用原花青素经酸水解后产生的三价铁离子在氧化后会生成深红色的花色离子,在 550 nm 处有最大吸收峰的原理进行测定^[20],具有准确度较高、稳定性好、操作简便等优点,更适用于快速测定。杜利君等^[23]在铁盐催化法的回流过程中进行了顶空瓶密封加热改进,提高了准确度和分析速度,但由于样品中存在干扰原花青素含量测定的因素,会导致测定结果误差较大,需对测定方法进行优化。戎海璐等^[24]发现采用 D-101 大孔树脂能对葡萄籽乙醇提取液中的原花青素进行吸附纯化,效果较好,优化条件下原花青素的解吸率为 84.6%。

海娇颜片是一种保健品,其主料葡萄籽提取物中含大量的原花青素,而原花青素的含量是对该产品进行质量控制的重要指标,但采用经典的铁盐催化法进行测定时结果往往偏小。本研究主要围绕海娇颜片中原花青素含量测定方法的优化展开,通过分析原花青素标准品加入后,各原料中原花青素的测定回收率来确定影响测定的干扰成分,并分别通过大孔吸附树脂柱层析和乙醇沉淀离心法对样品进行前处理,最终建立能够提高海娇颜片中原花青素含量

测定准确度的方法,为相关产品中原花青素含量快速测定方案的制定提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

2.1.1 样品

海娇颜片产品及原料样品包括当归提取物、丹参提取物、针叶樱桃提取物、芦荟冻干粉、葡萄籽提取物及鱼胶原蛋白肽,辅料成分包括麦芽糊精、二氧化硅、硬脂酸镁及包衣粉等均由生产企业提供。

2.1.2 试剂

硫酸铁铵溶液、正丁醇、盐酸、甲醇、乙醇(分析纯,上海阿拉丁生化科技公司);原花青素标准品(纯度大于 95%,上海诗丹德标准技术服务有限公司);D-101 型大孔树脂(沧州宝恩吸附材料公司)。

2.2 仪器与设备

HH-2 型恒温水浴锅(上海邦西仪器公司);球形冷凝回流管(上海右一仪器公司);MS105DU 型电子分析天平(瑞士梅特勒托利多仪器公司);KQ-300DE 型超声波清洗器(昆山超声仪器公司);N-1001 型旋转蒸发仪(上海爱朗仪器公司);TTL-DCII 型氮吹仪(北京同泰联科技公司);UV-2450 型紫外-可见分光光度计(日本岛津公司);5804R 型台式高速离心机(德国艾本德公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 铁盐催化比色法测定海娇颜片中原花青素的含量

1) 显色剂的配制:用浓度为 2 mol/L 的盐酸配制质量分数为 2% 的硫酸铁铵 $[\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 溶液。以正丁醇与盐酸按体积比 95:5(V:V) 配制正丁醇-盐酸溶液。

2) 原花青素标准溶液的配制:准确称取原花青素标准品 10 mg,加甲醇溶解并定容至 10 mL 容量瓶,得浓度为 1 mg/mL 的母液。再从中分别准确吸取 0、0.10、0.25、0.50、1.00、1.50 mL 置于 10 mL 容量瓶中,加甲醇定容至刻度,摇匀后静置。

3) 样品溶液的制备:将海娇颜片研磨成粉后,称取 50 mg 置于锥形瓶中,用锡箔纸包裹避光,加入 30 mL 甲醇,超声处理 20 min,取出后完全转移至 50 mL 棕色容量瓶中,放冷至室温后,加甲醇至刻度,摇匀,离心后取上清液待测。

4) 吸光度的测定:吸取 6 mL 正丁醇-盐酸溶液于 20 mL 具塞锥形瓶中,加入 0.2 mL 硫酸铁铵溶液和 1 mL 待测试样溶液,混匀,在沸水浴中回流,固定加热时间为 40 min,之后立刻在冷水中进行冷却。在加热结束的 15 min 后,于 550 nm 波长处测定吸光度,根据标准曲线计算试样中原花青素的含量。显色在 1 h 内稳定。用空白样品溶液作为参比与样品同时测定,每个浓度测定 3 次。

2.3.2 干扰原花青素测定成分的确定

1) 海娇颜片各原料中原花青素含量的测定:称取海娇颜片各原料样品包括当归提取物、丹参提取物、针叶樱桃提取物、芦荟冻干粉、葡萄籽提取物及鱼胶原蛋白肽各 50 mg,采用 2.3.1 节方法分别进行测定。将葡萄籽提取物分别稀释 10 倍及 5 倍后测定,按标准曲线计算,确定其中原花青素的实际含量,推算海娇颜片中原花青素的理论含量。

2) 加标回收率法确定各原料对原花青素测定的影响:称取海娇颜片各原料适量,分别加入一定质量的原花青素标准品,使其总质量为 25 mg,采用 2.3.1 节方法测定原花青素的含量,与理论值比较,计算各样品的加标回收率,从而确定影响原花青素含量测定的成分。以葡萄籽提取物样品为参比进行实验。

2.3.3 大孔吸附树脂柱净化后测定

活化和清洗 D-101 型大孔吸附树脂后,装柱,用纯水进行平衡。分别称取 3 份 500 mg 海娇颜片样品于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 纯水进行分散,之后上样,依次用纯水

及无水乙醇各洗脱 6 个柱体积。之后,将无水乙醇洗脱液合并,减压干燥,按 2.3.1 节方法测定原花青素的含量。

2.3.4 乙醇沉淀-离心净化后测定

分别称取 3 份 500 mg 海娇颜片样品于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 无水乙醇分散样品,充分振荡后 10000 r/min 离心 10 min。吸出上清液后,向沉淀中加 15 mL 无水乙醇分散,离心 10 min,再吸出上清液,重复上述操作一次。将 3 次所得上清液及沉淀分别合并,真空减压干燥后,按 2.3.1 节所述方法测定原花青素的含量。

3 结果与分析

3.1 标准曲线

按 2.3.1 所述方法,测得不同浓度原花青素标准溶液的吸光度见表 1。以吸光度值 Y 对浓度 $X(\mu\text{g/mL})$ 进行线性回归,作标准曲线,如图 1 所示。浓度在 10~150 $\mu\text{g/mL}$ 范围内与吸光度的线性关系良好,回归方程为 $Y=0.0053X+0.0042$,相关系数 $r=0.9999$ 。

表 1 不同浓度原花青素标准溶液的吸光度($n=3$)
Table 1 Absorbance of procyanidin standard solution in different concentrations ($n=3$)

浓度/ $(\mu\text{g/mL})$	10	25	50	100	150
吸光度	0.052±0.000	0.140±0.000	0.266±0.001	0.536±0.001	0.792±0.001

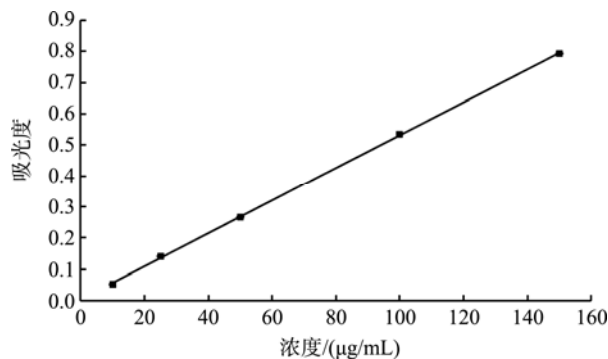


图 1 铁盐催化比色法测定原花青素含量的标准曲线

Fig.1 Standard curve for determination of procyanidin by the method of colorimetry with ferric ions as catalysis agent

3.2 海娇颜片中原花青素的含量

采用铁盐催化比色法,分别测定 6 批海娇颜片中原花青素的含量,结果如表 2 所示。可见,产品中原花青素的含量测定值基本稳定在 1.22% 左右。

3.3 干扰原花青素测定因素的确定

3.3.1 海娇颜片各原料中原花青素的含量

分别测定海娇颜片各原料中原花青素的含量,结果见表 3。除丹参提取物与葡萄籽提取物外,没有在其余原料中测定出原花青素,且丹参提取物中原花青素的含量很低,仅为 2.00% 左右。由于直接测定时信号过载,将葡萄籽提取物稀释至不同倍数后测定(表 4),确定其中原花青素的平均实际含量为 72.80%(每 800 g 海娇颜片中含葡萄籽提取物 37.5 g),由此推算其原花青素的理论含量为 3.41%。

表 2 采用铁盐催化比色法测出的六批海娇颜片中原花青素的含量($n=3$)

Table 2 Content of procyanidin in six batches of Haijiaoyan tablets by colorimetry with ferric ions as catalysis agent ($n=3$)

批次	1	2	3	4	5	6	平均值
原花青素含量/%	1.21±0.01	1.22±0.00	1.22±0.01	1.21±0.02	1.22±0.01	1.21±0.02	1.22±0.01

表 3 海娇颜片各原料中原花青素的含量测定值($n=3$)
Table 3 Detected content of procyanidin in various raw materials of Haijiaoyan tablets ($n=3$)

样品	当归提取物	丹参提取物	针叶樱桃提取物	芦荟冻干粉	葡萄籽提取物	鱼胶原蛋白肽
原花青素含量/%	0.00	2.00±0.01	0.00	0.00	(过载)	0.00

表 4 不同稀释倍数下测定的葡萄籽提取物中原花青素的含量
($n=3$)

Table 4 Content of procyanidin in grape seed extracts determined at different dilution ratios ($n=3$)

稀释倍数	原花青素含量/%
10	73.19±0.03
5	72.41±0.09
平均值	72.80±0.06

3.3.2 各原料对原花青素测定的影响

海娇颜片各原料样品以原花青素加标后测定的回收率如表 5 所示。结果显示, 芦荟冻干粉、针叶樱桃提取物、当归提取物及丹参提取物等 4 种原料的原花青素加标回收率均大于 95%, 表明这几种原料对原花青素测定无影响或影响很小。鱼胶原蛋白肽的原花青素加标回收率仅为 40.3%, 表明其对原花青素含量的测定有很强的干扰作用, 因此, 要对产品中原花青素含量进行准确测定, 需预先对其中的鱼胶原蛋白肽进行钝化处理或去除。

表 5 海娇颜片各原料以原花青素加标后测定的回收率($n=3$)

Table 5 Recovery of procyanidin determined in various raw materials of Haijiaoyan tablets spiked with procyanidin in standard compound ($n=3$)

样品	称样量/mg	加标量/mg	稀释倍数	原花青素实测含量/%	原花青素理论含量/%	加标回收率/%
葡萄籽提取物	25.0	-	10	72.60 ± 0.05	-	-
鱼胶原蛋白肽	23.4	1.6	1	2.66 ± 0.03	6.60	40.3
芦荟冻干粉	8.8	16.2	10	63.36 ± 0.01	64.72	97.9
针叶樱桃提取物	20.0	5.0	5	18.94 ± 0.01	19.84	95.5
当归提取物	13.7	11.3	10	44.87 ± 0.02	45.32	99.0
丹参提取物	13.2	11.8	10	50.91 ± 0.04	47.24	107.8

注: -表示无。

3.4 大孔吸附树脂柱净化后测定

如表 6 所示, 经大孔吸附树脂柱层析净化后测得海娇颜片中原花青素含量为 2.15%, 该测定值与原测定结果相比提高了 77%, 但与理论值相比还偏低(回收率为 63.05%)。究其原因, 很可能是通过层析分离过程, 从产品中吸附除去了大极性的鱼胶原蛋白肽, 使原花青素得到了一定程度的纯化。但同时大孔树脂可能对原花青素产生很强的死吸附, 使其含量有较大的损失, 导致测定结果仍然偏低。

表 6 大孔树脂柱净化后测定的海娇颜片中原花青素含量($n=3$)

Table 6 Content of procyanidin determined in Haijiaoyan tablets after purifying by macroporous resin column ($n=3$)

洗脱物干重/mg	原花青素含量/%	产品中原花青素含量/%	回收率/%
51.7±1.3	20.79±0.07	2.15±0.01	63.05

表 7 乙醇沉淀-离心净化后测定的海娇颜片中原花青素含量($n=3$)

Table 7 Content of procyanidin determined in Haijiaoyan tablets after purifying by ethanol precipitation-centrifugation ($n=3$)

样品	干重/mg	原花青素含量/%	产品中原花青素含量/%	回收率/%
沉淀	323.5±2.4	0.41±0.03	-	-
上清液	157.3±1.2	9.93±0.02	3.11±0.01	91.20

注: -表示无。

3.5 乙醇沉淀-离心净化后测定

如表 7 所示, 经乙醇沉淀-离心法净化后测得海娇颜片中原花青素的含量为 3.11%, 与处理前及大孔树脂柱净化后的测定值相比, 该测定值大大提高, 结果更加接近于理论值(回收率达 91.20%)。胶原蛋白肽易溶于水, 而不溶于乙醇, 沉淀后易经离心除去, 使样品得到了纯化。另外, 较之于大孔树脂层析, 乙醇沉淀-离心法操作简单, 成本更低, 因此, 可作为较优的原花青素测定预处理方法。

4 结论与讨论

通过铁盐催化比色法测定海娇颜片中原花青素的含量结果偏低。本研究对海娇颜片各原料中原花青素的含量进行测定,通过加标回收率发现鱼胶原蛋白肽对原花青素的测定存在较强的干扰。大孔树脂柱预处理能在一定程度上去除干扰成分,但可能对原花青素具有较强的死吸附。乙醇沉淀-离心法净化后的原花青素测定结果接近于理论值,显著提高了检测结果的准确性,操作简便而快捷、成本低,适用于海娇颜片中原花青素含量测定方法的优化。本研究可为相关产品中原花青素含量快速测定方案的制定提供参考依据。

参考文献

- [1] Capanoglu E, Devos RCH, Hall RD, *et al.* Changes in polyphenol content during production of grape juice concentrate [J]. *Food Chem*, 2013, 139(1-4): 521-526.
- [2] Lelono RAA, Tachibana S. Bioassay-guided isolation and identification of antioxidative compounds from the bark of eugenia polyantha [J]. *Pak J Biol Sci*, 2013, 16(16): 812-818.
- [3] 吕丽爽,曹栋. 葡萄籽中低聚原花青素的抗氧化性的研究[J]. *食品科技*, 2000, (4): 41-42.
Lv LS, Cao D. Study on antioxidant activity of oligomeric procyanidins in grape seeds [J]. *Food Sci Technol*, 2000, (4): 41-42.
- [4] 李澎,王建农,侯金才,等. 山楂叶原花青素对血管内皮细胞钙活化作用的研究[J]. *中国中药杂志*, 2018, 43(12): 2600-2606.
Li P, Wang JN, Hou JC, *et al.* Effect of procyanidins in hawthorn leaves on calcium activation of vascular endothelial cells [J]. *Chin J Tradit Chin Med*, 2018, 43(12): 2600-2606.
- [5] 林春兰,蒋建伟,吴美玉,等. 松树皮原花青素的离体抗氧化作用[J]. *中药材*, 2001, (12): 882-884.
Lin CL, Jiang JW, Wu MY, *et al.* Antioxidant effect of procyanidin from pine bark *in vitro* [J]. *Chin Med Mater*, 2001, (12): 882-884.
- [6] 高羽,董志. 原花青素的药理学研究现状[J]. *中国中药杂志*, 2009, 34(6): 651-655.
Gao Y, Dong Z. Pharmacologic research status of procyanidins [J]. *Chin J Tradit Chin Med*, 2009, 34(6): 651-655.
- [7] Ou KQ, Gu LW. Absorption and metabolism of procyanidins [J]. *J Funct Food*, 2014, 7: 43-53.
- [8] 汪金林,赵进,吕卫金,等. 原花青素对冷藏养殖大黄鱼鱼片保鲜效果研究[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(2): 130-136.
Wang JL, Zhao J, Lv WJ, *et al.* Study on the effect of procyanidins on the preservation of fish fillets of large yellow croaker [J]. *Chin J Food Sci*, 2013, 13(2): 130-136.
- [9] Zhang HW, Ye RG, Yang YM, *et al.* Structures and antioxidant and intestinal disaccharidase inhibitory activities of A-type procyanidins from peanut skin [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(37): 8814-8820.
- [10] Serra AT, Rocha J, Sepodes B, *et al.* Evaluation of cardiovascular protective effect of different apple varieties—correlation of response with composition [J]. *Food Chem*, 2012, 135(4): 2378-2386.
- [11] 崔同,陈剑桥,王晓科,等. 定量核磁共振法测定山楂提取物中的原花青素[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(6): 279-283.
Cui T, Chen JQ, Wang XK, *et al.* Quantitative Nuclear magnetic resonance method for determination of procyanidins in hawthorn extract [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(6): 279-283.
- [12] 朱月,张海平,侯亚男,等. 黑果腺肋花楸原花青素的纯化及表儿茶素和原花青素 B₂ 含量测定[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 240-244.
Zhu Y, Zhang HP, Hou YN, *et al.* The purification of procyanidins of sorbanigra and the content determination of epicatechin and procyanidins B₂ [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2017, 38(19): 240-244.
- [13] Grabber JH, Zeller WE. Direct versus sequential analysis of procyanidin and prodelpinidin-based condensed tannins by the HCl-butanol-acetone-iron assay [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(11): 2669-2678.
- [14] 习霞,明亮,屠一锋. 电化学发光法测定蓝莓果酱中原花青素含量[J]. *分析实验室*, 2019, 38(5): 519-522.
Xi X, Ming L, Tu YF. Determination of proanthocyanidins content in blueberry jam by electrochemiluminescence [J]. *Chin J Anal Labor*, 2019, 38(5): 519-522.
- [15] 马亚军,郎惠云,董发昕,等. 间接原子吸收法测定葡萄籽提取物中的原花青素[J]. *分析化学*, 2005, (1): 120-122.
Ma YJ, Lang HY, Dong FX, *et al.* Determination of procyanidins in grape seed extract by indirect atomic absorption spectrometry [J]. *J Anal Chem*, 2005, (1): 120-122.
- [16] 李春阳,许时婴,王璋,等. 利用区带毛细管电泳分离、分析葡萄籽原花青素[J]. *食品工业科技*, 2005, (4): 172-174.
Li CY, Xu SY, Wang Z, *et al.* Separation and analysis of grape seed procyanidins by zone capillary electrophoresis [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2005, (4): 172-174.
- [17] 杨代晓,陈晓静,胡秋菊,等. 液相色谱-质谱联用法分析葡萄籽提取物中的5种多酚类成分[J]. *药物分析杂志*, 2016, 36(8): 1330-1337.
Yang DX, Chen XJ, Hu QJ, *et al.* LC-MS method for determination of 5 kinds of polyphenols in grape seed extract [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2016, 36(8): 1330-1337.
- [18] 王彦平,杨会会,徐方延,等. 香草醛法测定紫山药中原花青素的方法建立[J]. *食品研究与开发*, 2007, 38(15): 152-155.
Wang YP, Yang HH, Xu FY, *et al.* Established the vanillin-HCl method to determine the procyanidins in purple yam [J]. *Food Res Dev*, 2007, 38(15): 152-155.
- [19] 姚开,何强,吕远平,等. 葡萄籽提取物中原花青素含量不同测定方法比较[J]. *化学研究与应用*, 2002, (2): 230-232.
Yao K, He Q, Lv YP, *et al.* Comparison of different methods for determination of procyanidins in grape seed extract [J]. *Chem Res Appl*, 2002, (2): 230-232.
- [20] 洪新,唐克,牟晓刚,等. 葡萄籽中原花青素铁盐催化比色法的测定条件研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(6): 41-46.
Hong X, Tang K, Mou XG, *et al.* Study on determination conditions of procyanidin in grape seeds by catalytic colorimetry [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2009, 30(6): 41-46.
- [21] 汪玉玲,陈星蓉,陆婷婷,等. 保健品中原花青素含量检测方法的比较研究[J]. *检验检疫学刊*, 2019, 29(3): 9-14.
Wang YL, Chen XR, Lu TT, *et al.* Comparative study on determination methods of procyanidins in healthy products [J]. *J Inspect Quarant*, 2019, 29(3): 9-14.
- [22] 申烨华,刘海英,李娜,等. KMnO₄分光光度法测定葡萄籽原花青素[J]. *分析实验室*, 2006, (11): 51-53.

Shen YH, Liu HY, Li N, *et al.* Determination of procyanidins in grape seeds by KMnO_4 spectrophotometry [J]. *Anal Lab*, 2006, (11): 51–53.

- [23] 杜利君, 姚亚婷, 王静慧, 等. 改进铁盐催化比色法测定保健食品中原花青素[J]. *检验检疫学刊*, 2013, 23(5): 50–52.

Du LJ, Yao YT, Wang JH, *et al.* Determination of procyanidins in health food by improved ferric salt catalytic colorimetry [J]. *J Inspect Quar*, 2013, 23(5): 50–52.

- [24] 戎海璐, 詹长娟, 王翼, 等. D-101 大孔树脂吸附纯化葡萄籽原花青素的研究[J]. *广东化工*, 2013, 40(14): 14–15.

Rong HL, Zhan CJ, Wang Y, *et al.* Purification of procyanidins from grape seeds by adsorption of D-101 macroporous resin [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2013, 40(14): 14–15.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



闫文杰, 副教授, 主要研究方向为畜产品加工贮藏及功能食品制备。

E-mail: meyanwenjie@126.com



王志鑫, 讲师, 主要研究方向为天然活性物质发现及功能。

E-mail: sthwzx@buu.edu.cn