

液相色谱-质谱法检测保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷

徐慧静, 牛建娜, 杨 栩*, 胡晓楠, 赵甲慧, 徐锡媛

(天津市食品安全检测技术研究院, 天津 300308)

摘要: 目的 建立液相色谱-质谱法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)分析保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构(顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷)含量的分析方法。**方法** 保健食品经 80%乙醇于低温条件下避光提取, 经液相色谱柱分离后, 在多反应监测(multiple response monitoring, MRM)模式下进行白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构含量的测定, 外标法定量。**结果** 白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构在 5~200 $\mu\text{g/L}$ 范围内呈现良好线性关系, 相关系数均大于 0.999, 方法检出限为 0.02~1.00 $\mu\text{g/L}$, 定量限为 0.06~3.00 $\mu\text{g/L}$, 平均回收率为 94.4%~115.7%, 相对标准偏差为 0.8%~7.6% ($n=6$)。

结论 该方法针对保健食品基质, 具有保护白藜芦醇及白藜芦醇苷结构的特点, 操作简便且回收率高, 满足保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构含量的检测要求。

关键词: 白藜芦醇; 白藜芦醇苷; 液相色谱-质谱法; 保健食品

Determination of resveratrol and resveratrol glucoside in health food by liquid chromatography-mass spectrometry

XU Hui-Jing, NIU Jian-Na, YANG Xu*, HU Xiao-Nan, ZHAO Jia-Hui, XU Xi-Yuan

(Tianjin Institute for Food Safety Inspection Technology, Tianjin 300308, China)

ABSTRACT: Objective To establish an analytical method for analyzing the content of resveratrol and resveratrol glucoside *cis-trans* structures (*cis*-resveratrol, *trans*-resveratrol, *cis*-resveratrol glucoside and *trans*-resveratrol glucoside) in health food by liquid chromatography-mass spectrometry. **Methods** The health food was extracted in the dark with 80% ethanol at low temperature, and separated by liquid chromatography column, the *cis-trans* structures of resveratrol and resveratrol glucoside were determined in multiple response monitoring (MRM) mode, and quantified by external standard method. **Results** The *cis-trans* structure of resveratrol and resveratrol glucoside exhibited good linear relationship within that range of 5-200 $\mu\text{g/L}$, with the correlation coefficient greater than 0.999, the method detection limits were 0.02-1.00 $\mu\text{g/L}$, the quantitation limits were 0.06-3.00 $\mu\text{g/L}$, the average recoveries were 94.4%-115.7%, and the relative standard deviations were 0.8%-7.6% ($n=6$). **Conclusion** This method is aimed at the health food substrate, has the characteristics of protecting the structure of resveratrol and resveratrol glycoside, is simple and convenient to operate, has high recovery rate, and meets the detection requirements of the

基金项目: 天津市市场监督管理委员会科技项目(W19-29)

Fund: Supported by the Science and Technology Project of Tianjin Administration for Market Regulation (W19-29)

*通信作者: 杨栩, 高级工程师, 主要研究方向为功能性食品, 天然产物提取与作用机理。E-mail: sun_1009@126.com

*Corresponding author: YANG Xu, Senior Engineer, Tianjin Institute for Food Safety Inspection Technology, Tianjin 300308, China. E-mail: sun_1009@126.com

cis-trans structure content of resveratrol and resveratrol glycoside in health food.

KEY WORDS: resveratrol; resveratrol glycoside; liquid chromatography-mass spectrometry; health food

0 引言

白藜芦醇,化学名称为 3,4',5-三羟基-1,2-二苯乙烯(3-4',5-trihydroxystilbene),是植物体在霉菌感染应激时产生的一种非类黄酮植物抗毒素^[1-2]。白藜芦醇主要以白藜芦醇和白藜芦醇苷形式存在于植物体内,其中白藜芦醇苷经肠道中糖苷酶酶解后释放出白藜芦醇^[3]。富含白藜芦醇的天然植物原料有葡萄、松树、虎杖、决明子和花生等,是保健食品中白藜芦醇的主要原料^[4-6]。白藜芦醇是一种天然多酚抗氧化剂,具有抗氧化、抗衰老^[7-11]、抗菌、抗炎、抗癌等作用^[12-14];对败血症、抗动脉粥样硬化、降血脂、降血压、保护心血管等有很好的效果^[15-18],同时对非酒精性脂肪肝有很好的治疗效果^[19]。最新研究证明,白藜芦醇还可以提高患有糖尿病小鼠精子的活力、数量及改善小鼠卵巢早衰^[20-21],受到国内外医学界和保健食品研究者的广泛关注。

天然的白藜芦醇有顺、反两种结构,自然界中主要以反式构象存在,两种结构可以分别与葡萄糖结合,形成顺式和反式白藜芦醇苷,反式构象具有更好的生物活性,其螯合铜离子的能力是顺式异构体的2倍,白藜芦醇可通过螯合铜离子和清除自由基的机制来保护低密度脂蛋白的氧化降解^[22]。保健食品是天然大处方的产品,其基质过于复杂,且本身白藜芦醇含量很低,如何建立合适的前处理方法以保证白藜芦醇及白藜芦醇苷的顺反结构不被破坏是本方法检测的关键。传统有机溶剂液液萃取法提取白藜芦醇提取效率不高,溶剂需求量大、耗时长,易造成白藜芦醇及白藜芦醇苷氧化^[23];回流法提取白藜芦醇,由于回流过程温度增高,易造成白藜芦醇及白藜芦醇苷的分解;样品前处理方法的不同,直接影响高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定白藜芦醇的回收率及其测定结果^[24]。HPLC法检测现已广泛应用于虎杖、葡萄酒、花生等样品中白藜芦醇的检测^[25-27],焦坤等^[28]采用超声萃取法提取、高效液相色谱法测定不同品种花生的不同部位的白藜芦醇含量。本研究结合其他保健食品检测过程中的前处理方法,考虑白藜芦醇及白藜芦醇苷在紫外光线照射下,反式白藜芦醇及白藜芦醇苷能够转化为顺式异构体的不稳定特点^[29],利用其低温下化学反应速度减慢的原理,在超声冰浴低温下避光提取保健食品中的白藜芦醇及白藜芦醇苷,在提高其提取率的前提下,保证白藜芦醇的结构不被改变,建立保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构检测的前处理方法及液相色谱-质谱法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)检测

条件。本研究保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷的前处理方法尚未有文献报道,为保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构(顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷)含量的测定提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

顺式白藜芦醇(纯度 $\geq 97\%$,加拿大 TRC 公司);反式白藜芦醇(纯度 $\geq 98.10\%$)、反式白藜芦醇苷(纯度 $\geq 99.70\%$)(天津伊普赛诺科技有限公司);顺式白藜芦醇苷(纯度 $\geq 99.7\%$,美国 PANPHY 公司);Reserve 沛泉菁华(美国 JEUNESSE 公司);甲醇、无水乙醇(色谱纯,德国 Merck 公司);0.22 μm 尼龙针筒式滤膜过滤器(天津津腾实验设备有限公司)。

1.2 仪器与设备

1290-6470 液相色谱质谱联用仪、Phenomenex C₁₈ 液相色谱柱(100 mm \times 2.1 mm, 2.6 μm)(美国 Agilent 公司);QUINITLX224 电子天平(感量 0.1 mg,德国赛利多斯公司);Milli-Q 超纯水系统(美国 Millipore 公司);Vortex-5 涡旋仪(江苏海门其林贝尔仪器制造有限公司);SYD-300 超声波清洗机(江苏张家港三友超声设备有限公司);H2100R 台式高速冷冻离心机(湖南湘仪离心机有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

称取 0.5 g(精确至 0.1 mg)试样,置于 50 mL 比色管中,分别加入 25 mL 甲醇、乙醇、50%甲醇、50%乙醇、80%甲醇、80%乙醇,超声冰浴避光萃取 30 min,恢复至室温后定容至 50 mL,涡旋振荡 2 min,冷冻离心机 3000 r/min 离心 5 min,取上层清液经 0.22 μm 针筒式滤膜过滤器过滤至棕色进样小瓶中,供 LC-MS 检测。

1.3.2 标准溶液配制

标准储备液:分别称取 1 g(精确至 0.1 mg)顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷于 10 mL 容量瓶中,用 80%乙醇稀释定容,分别配制成质量浓度为 100 mg/L 的标准储备液,-20 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

混合标准中间液:分别准确移取 100 mg/L 的顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷标准储备液各 1.0 mL 于同一 100 mL 容量瓶中,用 80%乙醇稀释并定容至 100 mL,得混合标准中间液(1 mg/L),-20 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

混合标准工作液:分别移取 1 mg/L 的混合标准中间

液 50、100、200、500、1000、2000 μL 于 10 mL 容量瓶, 80% 乙醇定容, 得 5、10、20、50、100、200 $\mu\text{g/mL}$ 混合标准工作液, 现用现配。

1.3.3 仪器条件

色谱条件: 选用 Phenomenex C_{18} (100 mm \times 2.1 mm, 2.6 μm)液相色谱柱; 流速: 0.3 mL/min; 柱温: 35 $^{\circ}\text{C}$; 进样量: 2 μL 。梯度洗脱, 其洗脱程序见表 1。

洗脱条件优化: 设置 1.00 min 开始 20%甲醇洗脱至 5.00 min 时分别达到 60%甲醇、70%甲醇、80%甲醇、90%甲醇、95%甲醇, 其中达到 60%甲醇条件, 目标物不能分离出来; 70%甲醇和 80%甲醇条件下, 分析时间较长且色谱柱会有残留; 90%甲醇条件下色谱柱会有少量残留, 最终选择 1.00 min 开始 20%甲醇洗脱至 5.00 min 达到 95%甲醇, 能够更好地将目标物与干扰物分离、保证分析物峰形尖锐对称, 减少分析时间。色谱梯度洗脱条件见表 1(流动相 A 相为水, B 相为甲醇)。

表 1 色谱梯度洗脱条件
Table 1 Conditions of gradient elution

时间/min	A 水/%	B 甲醇/%
0.00	80	20
1.00	80	20
5.00	5	95
5.10	80	20

质谱条件: 电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI), 负离子模式扫描; 质谱扫描方式为多反应监测(multiple response monitoring, MRM)模式; 喷雾电压 4 kV; 雾化气压力 40 psi; 气帘气流速 9 L/min, 离子源温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

质谱测定条件的优化: 将质量浓度为 1 mg/L 的顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷混合标准中间液按照其质谱行为, 选择合适的电离方式进行一级质谱分析, 得到分子离子峰; 优化其锥孔电压使其分子离子峰强度最大; 再对分子离子进行二级质谱分析, 选取丰度较强、干扰较小的离子作为定性、定量离子

并优化其碰撞能量。见表 2。

表 2 质谱参数
Table 2 Mass spectrum parameters

目标物	母离子 (m/z)	锥孔电压 /V	子离子 (m/z)	碰撞电压 /eV
白藜芦醇	227.1	110	185.1	20
			143.2	28
白藜芦醇苷	389.2	100	227.1	15
			185.3	40

1.3.4 数据处理

样品中各白藜芦醇及白藜芦醇苷的含量按照式(1)计算:

$$X = \frac{C \times V}{m} \quad (1)$$

式(1)中: X -样品中被测组分的含量, $\mu\text{g/kg}$; C -按照标准曲线计算所得的被测组分的浓度, $\mu\text{g/L}$; V -定容体积, mL; m -样品称样量, g。

2 结果与分析

2.1 样品前处理条件优化

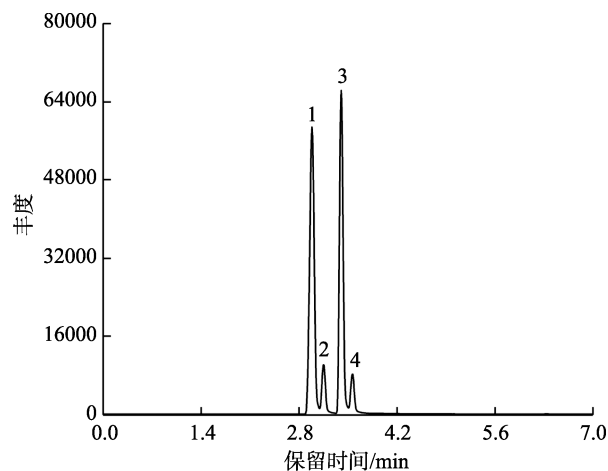
反式白藜芦醇苷、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇和顺式白藜芦醇不同前处理条件下提取回收率结果见表 3。由表 3 可知, 80%乙醇作为提取剂时, 白藜芦醇和白藜芦醇苷的回收率最高, 且明显高于其他提取剂, 因此本研究选取 80%乙醇作为提取白藜芦醇和白藜芦醇苷的提取剂。

2.2 仪器条件优化

液相色谱仪测定化合物时, 色谱条件的选择也起着尤为重要的作用。液相色谱柱的选择、流动相的选择、流动相比例、洗脱程序的设定等都会对化合物的分离定量产生影响。经实验对比, 选择 Phenomenex C_{18} (100 mm \times 2.1 mm, 2.6 μm)为液相色谱柱, 以水和甲醇做流动相, 梯度洗脱时, 能够取得较好的峰形。此外为减少溶剂效应, 进样量在可以满足灵敏度的情况下适当减小, 故选择 2 μL 时可以得到更为理想的峰形, 总离子流图见图 1。

表 3 不同前处理条件下提取回收率(%)
Table 3 Extraction recovery rates under different pretreatment conditions (%)

目标物	甲醇	乙醇	50%甲醇	50%乙醇	80%甲醇	80%乙醇
反式白藜芦醇苷	90.8~91.9	90.6~94.7	76.3~79.3	82.6~83.5	80.3~81.8	94.8~114.7
顺式白藜芦醇苷	89.6~91.3	92.3~97.6	75.6~76.1	80.3~82.6	78.8~82.1	98.7~109.6
反式白藜芦醇	91.3~94.6	95.3~98.7	80.3~81.5	85.3~88.6	80.3~86.6	101.3~115.7
顺式白藜芦醇	88.7~90.9	91.6~93.9	72.6~73.5	81.6~82.8	75.7~78.9	98.7~110.9



注: 1: 反式白藜芦醇苷; 2: 顺式白藜芦醇苷; 3: 反式白藜芦醇; 4: 顺式白藜芦醇。

图1 总离子流图(浓度为 100 $\mu\text{g/L}$)

Fig.1 Total ion chromatogram (concentration 100 $\mu\text{g/L}$)

2.3 线性范围、检出限与定量限

结合所选保健食品样品中白藜芦醇的标识含量,将基质匹配的标准曲线质量,浓度范围定为 5~200 $\mu\text{g/L}$,按照 1.3.3 的仪器方法进行测试,以目标物的质量浓度(X , $\mu\text{g/L}$)为横坐标,质谱定量峰面积(Y)为纵坐标绘制标准曲线。反式白藜芦醇苷、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇在 5~200 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性良好,相关系数均大于 0.999。根据信噪比($S/N=3$)计算出检出限为 0.02~1.00 $\mu\text{g/L}$ 、定量限为 0.06~3.00 $\mu\text{g/L}$,均达到 $\mu\text{g/L}$ 级别,方

法灵敏度较高。具体结果见表 4。

2.4 加标回收率

选取 Reserve 沛泉菁华样品 3 份,分别加入 1.3.2 中质量浓度为 1 mg/L 混合标准中间液,对应的加标浓度为 10、50、100 $\mu\text{g/mL}$,按照 1.3.1 的前处理方法进行提取,该样品本底只检出反式白藜芦醇,检出质量浓度为 10.8 $\mu\text{g/mL}$,其加标回收率及相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs) ($n=6$)结果见表 5。顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷在 3 个加标浓度下的平均回收率为 94.4%~115.7%, RSDs 为 0.8%~7.6%。表明该方法满足保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构分析的检测要求。

2.5 保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷测定的实际应用

利用已建立的方法对市售白藜芦醇保健品进行检测,随机选取雪力仕白藜芦醇胶囊、Trunature 葡萄籽白藜芦醇精华、Natural Factors 白藜芦醇素食胶囊、Healthy Care hc 白藜芦醇胶囊、Herbsense 白藜芦醇胶囊、海维牌欣能胶囊和 Reserve 沛泉菁华 7 种含白藜芦醇保健品(顺序号为 1~7)对其含量进行测定,其结果见表 6。1~5 种保健食品检出反式白藜芦醇苷和反式白藜芦醇,6~7 号两种保健食品只检出反式白藜芦醇。该方法成功应用于保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构(顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷)含量的测定。

表 4 白藜芦醇及白藜芦醇苷标准品线性方程、线性范围、检出限与定量限

Table 4 Linear equations, linear ranges, limits of detection and limits of quantitation of resveratrol and resveratrol glucoside standards

目标物	保留时间/min	线性方程	线性相关系数(r^2)	检出限/ $(\mu\text{g/L})$	定量限/ $(\mu\text{g/L})$
反式白藜芦醇苷	3.003	$Y=248.779221X-445.207358$	0.9994	0.03	1.00
顺式白藜芦醇苷	3.256	$Y=86.898953X-169.679127$	0.9995	0.50	1.50
反式白藜芦醇	3.513	$Y=852.115043X-2267.662443$	0.9991	0.02	0.06
顺式白藜芦醇	3.686	$Y=68.016738X-86.751988$	0.9995	1.00	3.00

表 5 白藜芦醇及白藜芦醇苷加标回收率及相对标准偏差($n=6$)

Table 5 Recoveries and relative standard deviations of resveratrol and resveratrol glycoside ($n=6$)

目标物	添加浓度 10 $\mu\text{g/mL}$		添加浓度 50 $\mu\text{g/mL}$		添加浓度 100 $\mu\text{g/mL}$	
	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%
反式白藜芦醇苷	114.7	2.9	107.0	7.6	94.8	5.3
顺式白藜芦醇苷	109.6	4.9	111.4	4.3	98.7	6.0
反式白藜芦醇	115.7	0.8	103.8	1.2	101.3	2.1
顺式白藜芦醇	110.9	7.6	94.4	2.5	98.7	3.9

表 6 市售 7 种保健品白藜芦醇及白藜芦醇苷含量的测定(mg/g)
Table 6 Determination of resveratrol and resveratrol glycoside in 7 kinds of health products sold in the market (mg/g)

目标物	1	2	3	4	5	6	7
反式白藜芦醇苷	85.43.	19.56	100.07.	4.03	3.93	n.d.	n.d.
顺式白藜芦醇苷	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
反式白藜芦醇	320.62	75.63	488.69	72.12	66.96	8.43	1.08
顺式白藜芦醇	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
总量	406.05	95.19	588.76	76.15	70.89	8.43	1.08

注: n.d.表示未检出。

3 结论与讨论

本研究建立了保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构的液相色谱-质谱测定分析方法, 采用 80%乙醇在避光条件下超声冰浴提取保健食品中的白藜芦醇和白藜芦醇苷, 有效降低白藜芦醇分解、大大提高了白藜芦醇及白藜芦醇苷的回收率, 提高了 LC-MS 检测的灵敏度和选择性, 与 NY/T 2641—2014《植物源性食品中白藜芦醇和白藜芦醇苷的测定 高效液相色谱法》相比, 同时检测顺式白藜芦醇、反式白藜芦醇、顺式白藜芦醇苷、反式白藜芦醇苷 4 种结构, 检测时间短, 且方法检出限远小于 1.0 mg/kg。赵康等^[30]利用 HPLC 建立桑椹中白藜芦醇的检测方法, 其在 0.5~50 mg/L 范围内均呈良好的线性关系; XU 等^[31]利用 HPLC 检测花生种子的白藜芦醇, 检测时间为 15~25 min, 定量限为 0.09 mg/L, 回收率为 89.4%~103.9%。然而现有检测白藜芦醇的液相方法存在分析时间较长、应用了复杂的梯度洗脱方法等。本研究中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构检出限为 0.02~1.00 μg/L, 定量限为 0.06~3.00 μg/L, 检测时间为 7 min, 具有灵敏度高、检测时间短等特点, 成功地应用于保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷顺反结构的检测, 为进一步申请《保健食品中白藜芦醇及白藜芦醇苷的检测方法》的国家标准及行业标准提供依据。

参考文献

- [1] KEYLOR MH, MATSUURA BS, STEPHENSON CR. Chemistry and biology of resveratrol derived natural products [J]. Chem Rev, 2015, 115: 8976-9027.
- [2] 宋海南, 钱善军, 刘玮. 虎杖中白藜芦醇的提取及分析检测技术研究进展[J]. 广州化工, 2014, 42(21): 18-19.
SONG HN, QIAN SJ, LIU W. Research progress on technique of extraction and detection of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. Guangzhou Chem Ind, 2014, 42(21): 18-19.
- [3] 刘炜, 丁小霞, 雷绍荣, 等. 白藜芦醇的提取及检测方法研究进展[J]. 山西农业科学, 2017, 45(8): 1384-1388.
LIU W, DING XX, LEI SR, et al. Research progress of extraction and determination methods of resveratrol [J]. J Shanxi Agric Sci, 2017, 45(8): 1384-1388.

- [4] TIAN BR, LIU JY. Resveratrol: A review of plant sources, synthesis, stability, modification and food application [J]. J Sci Food Agric, 2020, 100: 1392-1404.
- [5] WANG RT, ZHAO YY, CHEN ZB. Separation and purification of resveratrol by liquid extraction assistance macroporous adsorption resin mixed-bed technology [J]. Sep Sci Technol, 2021, 56(18): 3106-3118.
- [6] DAI M, YUAN DP, LE YM, et al. purification and structural characterization of resveratrol synthase from *Polygonum cuspidatum* [J]. Protein Express Purif, 2022, 191: 106024.
- [7] PARK EJ, PEZZUTO JM. The pharmacology of resveratrol in animals and humans [J]. Biochim Et Biophys Acta, 2015, 1852(6): 1071-1113.
- [8] ZHANG XG, LU YC, ZHAO R, et al. Study on simultaneous binding of resveratrol and curcumin to β -lactoglobulin: Multi-spectroscopic, molecular docking and molecular dynamics simulation approaches [J]. Food Hydrocoll, 2022, 124(B): 107331.
- [9] ZHU PP, HE JB, HUANG SS, et al. Encapsulation of resveratrol in zein-polyglycerol conjugate stabilized O/W nanoemulsions: Chemical stability, *in vitro* gastrointestinal digestion, and antioxidant activity [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 149: 112049.
- [10] JAYAKUMAR T, WU MM, SHEU JR, et al. Involvement of antioxidant defenses and NF- κ B/ERK signaling in anti-inflammatory effects of pterostilbene, a natural analogue of resveratrol [J]. Appl Sci, 2021, 11(10): 4666.
- [11] 张妍昕, 张湘东. 白藜芦醇延缓衰老的研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(102): 148-149.
ZHANG YX, ZHANG XD. Advances in research on rejuvenation of resveratrol [J]. World Latest Med Inform, 2018, 18(102): 148-149.
- [12] 李彦魁, 安荣, 吕娟. 熊果酸与白藜芦醇缀合物的合成及其抗肿瘤活性评价[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(7): 790-798.
LI YK, AN R, LV J. Synthesis and preliminary anti-tumor activity evaluation of ursolic acid-resveratrol conjugates [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2021, 38(7): 790-798.
- [13] MESHRA V, KAPOOR N, DWIBEDI V, et al. Extracellular resveratrol producing endophytic fungus, *Quambalaria cyanescens* [J]. S Afr J Bot, 2022, 146: 409-416.
- [14] SCACCHETTI KR, MAIARA TM, DANIELE DSP, et al. Trans-resveratrol electrochemical detection using portable device based on unmodified screen-printed electrode [J]. J Pharm Biomed, 2022, 207: 114399.
- [15] SUI DM, XIE Q, YI WJ, et al. Resveratrol protects against sepsis-associated encephalopathy and inhibits the NLRP3/IL-1 β axis in

- microglia [J]. *Mediators Inflamm*, 2016, 2016: 1045657.
- [16] AIBANI D, POLITO L, SIGNORINI A, *et al.* Neuroprotective properties of resveratrol in different neurodegenerative disorders [J]. *Biofactors*, 2010, 36(5): 370–376.
- [17] LIU YJ, CHEN XZ, LI J. Resveratrol protects against oxidized low-density lipoprotein-induced human umbilical vein endothelial cell apoptosis via inhibition of mitochondrial-derived oxidative stress [J]. *Mol Med Rep*, 2017, 15(5): 2457–2464.
- [18] SANTANA TM, OGAWA LY, ROGERO MM, *et al.* Effect of resveratrol supplementation on biomarkers associated with atherosclerosis in humans [J]. *Complement Ther Clin*, 2022, 46: 101491.
- [19] KARIMI M, ABIRI B, GUEST PC, *et al.* Therapeutic effects of resveratrol on nonalcoholic fatty liver disease through inflammatory, oxidative stress, metabolic, and epigenetic modifications [J]. *Methods Mol Biol*, 2021, 2343: 19–35.
- [20] BAHMANZADEH M, GOODARZI MT, REZAEI FA, *et al.* Resveratrol supplementation improves DNA integrity and sperm parameters in streptozotocin-nicotinamide-induced type 2 diabetic rats [J]. *Andrologia*, 2019, 51(8): e13313.
- [21] JIANG Y, ZHANG ZY, CHA LJ, *et al.* Resveratrol plays a protective role against premature ovarian failure and prompts female germline stem cell survival [J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(14): 3605.
- [22] MENEZES R, FRANCISCO S, ERRANTE PR, *et al.* Cardioprotection stimulated by resveratrol and grape products prevents lethal cardiac arrhythmias in an animal model of ischemia and reperfusion [J]. *Acta Cir Bras*, 2021, 36(3): e360306.
- [23] 蔡杨柳. 白藜芦醇的提取纯化及性能研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
CAI YL. Study on extraction, purification and properties of resveratrol [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2010.
- [24] 郝旭晨, 董燕婕, 范丽霞, 等. 花生中白藜芦醇和白藜芦醇苷的提取及含量测定[J]. *中国食物与营养*, 2020, 26(3): 27–30.
HAO XC, DONG YJ, FAN LX, *et al.* Extraction and content determination of resveratrol and resveratrol glycoside in peanut [J]. *Food Nutr China*, 2020, 26(3): 27–30.
- [25] 王琴飞, 应东山, 洪彩香, 等. HPLC 测定黄曲霉菌感染后花生种子中 6 种芪化物[J]. *中国油料作物学报*, 2013, 35(4): 428–435.
WANG QF, YING DS, HONG CX, *et al.* Determination of six stilbenes in peanut seeds after invaded by *Aspergillus flavus* [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2013, 35(4): 428–435.
- [26] 侯建波, 谢文, 史颖珠, 等. 高效液相色谱法测定进口葡萄酒中的白藜芦醇及其甙[J]. *理化检验(化学分册)*, 2015, 51(7): 938–942.
HOU JB, XIE W, SHI YZ, *et al.* Determination of resveratrol and piceid in imported wine by HPLC [J]. *Phys Test Chem Anal Part B*, 2015, 51(7): 938–942.
- [27] 周雅琴, 樊溪源, 周小雷, 等. 不同产地虎杖中白藜芦醇与白藜芦醇苷含量测定[J]. *医药导报*, 2012, 31(5): 632–634.
ZHOU YQ, FAN XY, ZHOU XL, *et al.* Determination of resveratrol and polydatin in *Polygonum cuspidatum* from different habitats [J]. *Her Med*, 2012, 31(5): 632–634.
- [28] 焦坤, 龚魁杰, 王明清, 等. 花生品种不同营养器官白藜芦醇含量分析[J]. *花生学报*, 2021, 50(1): 50–53.
JIAO K, GONG KJ, WANG MQ, *et al.* Analysis on resveratrol content in different nutritional organs of peanut varieties [J]. *J Peanut Sci*, 2021, 50(1): 50–53.
- [29] FLIEGER J, TATARCZAK-MICHALEWSKA M, BLICCHARSKA E. Characterization of the *cis/trans* isomerization of resveratrol by high-performance liquid chromatography [J]. *Anal Lett*, 2017, 50(2): 294–303.
- [30] 赵康, 苏政荣, 杨碧文, 等. 桑椹中白藜芦醇及白藜芦醇苷测定方法的建立及含量比较[J]. *食品科学*, 2010, 31(14): 241–244.
ZHAO K, SU ZR, YANG BW, *et al.* Determination of resveratrol and polydatin in mulberry [J]. *Food Sci*, 2010, 31(14): 241–244.
- [31] XU S, LUO H, CHEN H, *et al.* Optimization of extraction of total *trans*-resveratrol from peanut seeds and its determination by HPLC [J]. *J Sep Sci*, 2020, 43(6): 1024–1031.

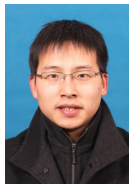
(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



徐慧静, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: huijingxu99@126.com



杨 栩, 高级工程师, 主要研究方向为功能性食品, 天然产物提取与作用机理。

E-mail: sun_1009@126.com