

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241227003

引用格式: 祁娜, 张国兴. 白芍煎煮浓缩后苯甲酸的含量变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(5): 162–166.
QI N, ZHANG GX. Study on the change of benzoic acid content in water extract of *Paeoniae Radix Alba* after decocting and concentrating [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(5): 162–166. (in Chinese with English abstract).

白芍煎煮浓缩后苯甲酸的含量变化研究

祁娜, 张国兴*

(北京同仁堂健康药业股份有限公司, 北京 100176)

摘要: **目的** 研究煎煮后白芍水浓缩液中苯甲酸含量的变化, 以及不同煎煮时间对白芍中苯甲酸含量的影响。**方法** 对原料进行单独和组合煎煮, 并浓缩至密度为 1.15~1.20 之间, 用高效液相色谱法检测煎煮浓缩后白芍水浓缩液中的苯甲酸含量。**结果** 未检出苯甲酸(定量限为 0.01 g/kg)的白芍饮片经过单次煎煮浓缩后, 其苯甲酸含量增加至 2.91~3.77 g/kg, 经过两阶段煎煮浓缩后的白芍浓缩液, 其苯甲酸含量范围为 3.26~4.02 g/kg, 含有白芍的混合浓缩液中苯甲酸含量为 0.542 g/kg。其余浓缩液中苯甲酸均未检出。**结论** 白芍经过高温煎煮后水煮浓缩液中苯甲酸含量增加, 且与煎煮时长成正比关系, 因此在制备以白芍为主要原料的食品或保健品时应注意控制煎煮温度和煎煮时长, 增加其出厂检测, 以防苯甲酸含量过高造成危害。

关键词: 白芍; 苯甲酸; 高效液相色谱法; 煎煮浓缩

Study on the change of benzoic acid content in water extract of *Paeoniae Radix Alba* after decocting and concentrating

QI Na, ZHANG Guo-Xing*

(Beijing Tongrentang Health Pharmaceutical Co., Ltd., Beijing 100176, China)

ABSTRACT: Objective To study the change of benzoic acid content in water extract of *Paeoniae Radix Alba* after decocting, and the influence of different decocting time on the content of benzoic acid. **Methods** The raw materials were decocted separately or in combination, and concentrate to a density of 1.15–1.20, the content of benzoic acid in the water extract after decocting and concentrating was determined by high performance liquid chromatography. **Results** Benzoic acid content was not detected (limit of quantification was 0.01 g/kg) in *Paeoniae Radix Alba*, the benzoic acid content in concentrated liquid of paeony increased to 2.91–3.77 g/kg after single decocting, and the benzoic acid content after two-stage decocting ranged from 3.26 g/kg to 4.02 g/kg. The content of benzoic acid in the mixed concentrate containing *Paeoniae Radix Alba* was 0.542 g/kg. Benzoic acid was not detected in others. **Conclusion** The content of benzoic acid in water extract of *Paeoniae Radix Alba* increased after high temperature decocting, and it's proportional to time. Therefore, when preparing food or health products with *Paeoniae Radix Alba* as the main raw material, attention should be paid to the control of decocting temperature and time, and the factory inspection of this item should be increased to prevent the harm caused by high content of benzoic acid.

收稿日期: 2024-12-27

第一作者: 祁娜(1988—), 女, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为保健食品和中药饮片质量检验。E-mail: 843487784@qq.com

*通信作者: 张国兴(1981—), 男, 主管药师, 主要研究方向为中药鉴定、保健食品质量管理。E-mail: guoxing_zhang@trtjk.com

KEY WORDS: *Paeoniae Radix Alba*; benzoic acid; high performance liquid chromatography, decocting and concentrating

0 引言

苯甲酸又称安息香酸,是只有一个羧基的苯环核心的最简单^[1]芳香族羧酸,具有芳香性和羧酸双重性质^[2]。主要分为天然和化学合成两个来源,广泛存在于各种动植物中,也是许多植物的初级代谢产物^[3],微生物也可以产生苯甲酸^[4],其中化学合成的苯甲酸及其铵盐是目前国际上应用最广泛、用量最大的食品防腐剂^[5]。天然来源的苯甲酸^[6]则是多数植物的次级代谢产物,粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会在2022年的报告中指出,坚果、豆类、谷物和蔬菜等食物自身就存在着一定量的苯甲酸^[7],如大众熟知的红枣^[8]中的“骏枣”苯甲酸含量最高可达8.61 mg/100 g^[9]。天然来源的苯甲酸每日允许推荐摄入量为0~5 mg/kg BW。在酸性条件下(pH 2.5~4.0),苯甲酸能阻碍细胞膜的生理作用,破坏正常的代谢^[10]。过量的苯甲酸会降低人体对钙和维生素的吸收,造成血压升高、肾功能异常、人体过敏、肝脏代谢功能障碍等不良现象,进而导致许多慢性疾病^[11],其使用在我国受到严格把控。

白芍^[12]作为毛茛科植物芍药的去皮干燥根,具有极高的药用价值,其味苦酸,有养血调经、敛阴止汗、柔肝止痛和平抑肝阳等功效^[13],现代医学的研究也表明其具有脑缺血后损伤保护、升高大脑血清 β -内啡肽水平、抗炎、保护心肌细胞^[14]、治疗自身免疫性皮肤病^[15]、类风湿性关节炎^[16]、抗溃疡性结肠炎^[17]、镇痛镇静、保肝和保护神经抗抑郁等药理作用^[18-19]。研究表明未经炮制或处理的白芍酸性成分中主要为没食子酸,苯甲酸含量极低^[20]。但是在日常的检测工作中,常出现含白芍的浓缩液中的苯甲酸含量超出GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》规定的使用限量的问题,所以本研究选用操作简单、干扰小的高效液相色谱法^[21]对不同药食两用原料及其浓缩液中苯甲酸进行检测^[22-23],研究煎煮浓缩操作对苯甲酸含量变化的影响,为今后的检测及生产加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白芍(白芍1)、酸枣仁、龙眼肉、炙黄芪、大枣和枸杞子均为检测不合格成品中所用的原料批次,额外采购的不同供应商白芍3批(白芍2~4);质控样为中国检验检疫科学研究院测试评价中心的测量审核样品(23-E4408)。

苯甲酸钠对照品(含量 $\geq 99.7\%$,北京食品药品检定研究院);乙酸锌、亚铁氰化钾、冰乙酸(分析纯,中国医药集

团有限公司);甲醇(色谱级,美国赛默飞世尔科技公司);乙酸铵(色谱级,上海麦克林生化科技股份有限公司);实验用水均为超纯水。

1.2 仪器与设备

1260 Infinity 高效液相色谱仪[配紫外检测器,安捷伦科技(中国)有限公司];Secura 224-1CEU 万级分析天平(精度0.1 mg);MSA225S-1CE-DI 十万级分析天平(精度0.01 mg)、Secura 2102-1CEU 百级电子天平(精度0.01 g)[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司];IKA MS3 涡旋振荡器(德国IKA公司);SIGMA 3-18KS 离心机(最高转速11000 r/min,德国SIGMA公司);KQ-500B 超声波发生器(郑州华特公司);DK-S24 恒温水浴锅(上海精宏公司);Waters C₁₈ 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μ m, 美国Waters公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 浓缩液制备

单煮水浓缩液1:分别称取枸杞子、炙黄芪、白芍(批次:白芍1~4,记作白芍1-1~1-4)、龙眼肉、酸枣仁和大枣各60 g且各自煎煮;方法:称取样品放入1 L烧瓶中,第一次加入约8倍的水煮2 h,过200目筛布;第二次加入6倍量的水,全程保持微微沸腾煎煮2 h,过200目筛布;合并煎煮液。将煎煮液旋转蒸发(70 $^{\circ}$ C)浓缩至比重约1.15~1.20,冷藏过夜,作为待测液备用。

白芍水浓缩液2:称取白芍(批次:白芍1~4,记作白芍2-1~2-4)60 g,加入约8倍的水煮2 h,200目筛过滤;将煎煮液旋转蒸发(70 $^{\circ}$ C)浓缩至比重约1.15~1.20,冷藏过夜,作为待测液备用。

混合煮水浓缩液1:称取枸杞子、炙黄芪、白芍1、龙眼肉、酸枣仁和大枣各30 g混合煎煮,方法同白芍水浓缩液2。

混合煮水浓缩液2:称取枸杞子、炙黄芪、龙眼肉、酸枣仁和大枣各30 g混合煎煮,方法同白芍水浓缩液2。

1.3.2 原料制备

白芍原料:分别称取4个批次白芍各200 g,用粉碎机充分研磨,并搅拌均匀,在塑封袋中密封存放,作为待测物备用。

上述各试样分别按照相应的方法平行提取3次,每平行测试双平行样品,并配加标1个。

1.3.3 供试品溶液的制备

采取GB 5009.28—2016《食品安全国家标准 食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定》第一法 高效液相色谱法,该方法^[24]定量限0.01 g/kg。准确称取各水浓缩液和原药约2 g(精确到0.0001 g)于50 mL具塞离心管中,加水约

25 mL, 涡旋混匀后置于 50 °C 水浴中超声 20 min, 中间摇晃 5 次, 冷却至室温后分别加入亚铁氰化钾溶液和乙酸锌溶液各 2.00 mL, 混匀后于 8000 r/min 下离心 5 min, 将水相移至 50.00 mL 容量瓶中, 于残渣中另加水 20 mL, 同涡旋混匀处理(不再加入沉淀剂), 并将水相转移至同一容量瓶中, 并用水定容至刻度。该溶液过 0.22 μm 水相微孔滤膜, 待上机测定。

1.3.4 色谱条件

色谱柱: XBridge C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇+20 mmol/L 乙酸铵溶液=5+95 (V:V); 检测波长: 230 nm; 流速: 1 mL/min; 进样量: 10 μL; 柱温: 25 °C; 检测器: 紫外检测器。

1.4 数据处理

实验数据采用 Excel 2016 进行初步整理, 采用 SPSS 29.0 统计学软件进行单因素方差分析, 平行测定结果以平均值±标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 结果准确性

质控样测试测定结果为 19.1 mg/kg, 指定结果为 18.8 mg/kg, Z 值为 0.3, 结果满意。各回收率均在 97.8%~101.3%之间, 符合标准 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》的要求。各平行结果的绝对差值与平均值比值的百分比均小于 10%, 符合 GB 5009.28—2016 标准中对于精密度的要求。故此次结果真实有效。

2.2 不同浓缩液中的苯甲酸含量

白芍水浓缩液 1 和 2, 以及混合煮水浓缩液 1 苯甲酸的结果见表 1, 其余结果均为未检出(回收率在 97.8%~99.6%之间), 表明导致该口服液苯甲酸含量超标的影响因素为白芍这一单一元素。有研究表明, 相较于白芍生品而言, 经过加热至变色的白芍中羧酸类成分的含量会出现明显的升高, 其中以苯甲酸最高^[25]。

2.3 不同煎煮浓缩方式白芍水提取液结果

通过测试发现, 4 个批次的白芍饮片中苯甲酸均未检出(小于 0.01 g/kg), 故白芍水浓缩液和混合煮水浓缩液 1 中的苯甲酸均是由加热煎煮浓缩过程产生的, 且通过表 2 可以发现, 未检出苯甲酸(定量限为 0.01 g/kg)的白芍饮片经过单次煎煮浓缩后, 其苯甲酸含量增加至 2.91~3.77 g/kg, 经过两阶段煎煮浓缩后的白芍浓缩液, 其苯甲酸含量范围为 3.26~4.02 g/kg, 且煎煮 2 次后苯甲酸含量是煎煮 1 次 1.07~1.12 倍之间。说明白芍中苯甲酸含量与煎煮时间成正比例关系, 白芍中的苯甲酸随着煎煮时间的延长而增加。有研究表明, 水煮法和去皮^[26]可降低白芍自身苯甲酸

的含量, 通过本次实验可发现苯甲酸应是溶解在煎煮后的水中^[27]。

表 1 不同试样中苯甲酸含量测定结果

试样	苯甲酸含量 (g/kg)	相对标准 偏差/%	回收率 /%	实验次数 /次
白芍 1-1	3.26±0.15	3.3	98.9	3
白芍 1-2	3.58±0.08	3.6	99.2	3
白芍 1-3	4.02±0.15	4.0	99.6	3
白芍 1-4	3.81±0.16	3.8	100.4	3
白芍 2-1	2.91±0.13	2.9	101.3	3
白芍 2-2	3.32±0.19	3.3	98.2	3
白芍 3-3	3.77±0.15	3.8	99.5	3
白芍 4-4	3.53±0.19	3.5	99.3	3
混合煮水提取液 1	0.542±0.020	2.9	99.6	3
23-E4408	0.0191	-	99.6	1

注: -代表质控样, 没有测试平行, 不存在偏差。

表 2 白芍中不同煎煮次数苯甲酸的比例

批次	苯甲酸含量/(g/kg)		比值
	煎煮 1 次	煎煮 2 次	
白芍 1	2.91	3.26	1.12
白芍 2	3.32	3.58	1.08
白芍 3	3.77	4.02	1.07
白芍 4	3.53	3.81	1.08
平均值	3.38	3.67	1.08

2.4 混合煮水提取液 1 中苯甲酸

通过对表 1 混合煮水提取液 1 与白芍水提取液的增加率进行比较, 可以看出, 混合煮水提取液 1 中苯甲酸增加较少, 这可能是因为煎煮后的水溶液需要浓缩至 1.15~1.20 之间, 白芍的水提取液中密度较低, 所以需要浓缩至极少量才能达到要求; 而混合煮水提取液 1 中所含的大枣、枸杞子等原料水提取液的密度较大, 浓缩比例更小, 所以苯甲酸的浓度更低。

3 结论与讨论

综上所述, 随着人们对添加剂的认识增强, 关注度提高, 保证食品和保健食品中苯甲酸含量适量合规, 这就要求本研究在其流入市场前做好相关检测工作。中药的化学成分具有多样性和复杂性, 在胃肠道内不只有单一化学成分的吸收、转化^[28]。本研究通过使用高效液相色谱法分别对白芍、酸枣仁、龙眼肉、炙黄芪、大枣和枸杞子, 及其混合水提取液中苯甲酸含量进行检测, 结果表明经过加热煎煮的白芍中苯甲酸增加, 且会随着煎煮时间的增加而增

加,进而影响通过其制成产品的苯甲酸含量。

白芍作为一种传统大宗药材,在临床上有着及其广泛的应用^[29],苯甲酸作为其中的无效成分会增加肝脏的解毒负担,造成不良反应。这就要求本研究对以白芍为原料的食品和保健食品中的苯甲酸特别关注,在加工过程中和流入市场前都要进行检测。也要根据所得结果及时调整工艺流程,以确保苯甲酸的含量不要超过限值要求。今后本研究也会进一步对不同品种^[30]、不同质量的白芍^[31]中苯甲酸含量进行检测,同时进一步研究加热温度对白芍中苯甲酸含量的影响,探寻白芍中苯甲酸含量最为适宜,且白芍功效成分最大程度煎出的最适加热温度和时间,精进白芍最适的炮制工艺^[32],为白芍资源的合理开发和利用、优良品种的选育和研究奠定坚实的基础^[33]。建立科学合理的中药质量与安全评价体系^[34]。

参考文献

- [1] 樊政,刘远斌,张翹楚,等. 苯甲酸对球虫和产气荚膜梭菌联合感染肉鸡生长性能、免疫功能及肠道健康的影响[J]. 动物营养学报, 2023, 35(7): 4387-4401.
FAN Z, LIU YB, ZHANG QC, *et al.* Effects of benzoic acid on growth performance, immune function and intestinal health of broilers coinfecting with *Eimeria* and *Clostridium perfringens* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(7): 4387-4401.
- [2] 付蒙,江燕,柳燕云,等. 气相色谱法测定苯甲酸中有关物质的含量[J]. 药物分析杂志, 2020, 40(1): 163-169.
FU M JIANG Y, LIU YY, *et al.* Determination of related substances in benzoic acid by GC [J]. Journal of Pharmaceutical Analysis, 2020, 40(1): 163-169.
- [3] 李国辉,班楠,王道兵,等. 酱油中内源性苯甲酸本底含量调查与溯源分析[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 286-291.
LI GH, BAN N, WANG DB, *et al.* Investigation and traceability analysis of endogenous benzoic acid in soy sauce [J]. Food Science, 2021, 42(20): 286-291.
- [4] 易鑫,陈勇,舒刚. 苯甲酸的生物学功能及其在畜禽生产中的应用研究进展[J]. 饲料工业, 2023, 44(3): 13-17.
YI X, CHEN Y, SHU G. Biological function of benzoic acid and advances of its application in livestock and poultry production [J]. China Feed Industry, 2023, 44(3): 13-17.
- [5] 齐原,徐晨. 栀子黄色素中内源性苯甲酸本底含量调查与溯源分析[J]. 中国食品添加剂, 2023, 6: 16-20.
QI Y, XU C. Investigation and source analysis of endogenous benzoic acid in gardenia yellow pigment [J]. China Food Additives, 2023, 6: 16-20.
- [6] 王寿峰,林嘉荣,丁秀国,等. 基于¹H-NMR的饮料中苯甲酸钠定量分析[J]. 食品工业, 2024, 45(1): 235-239.
WANG SF, LIN JR, DING XG, *et al.* Quantitative analysis of sodium benzoate in beverages based on ¹H-NMR [J]. The Food Industry, 2024, 45(1): 235-239.
- [7] 张思雨,关红霞,王坤琦. 调味酱油中苯甲酸钠的检测研究[J]. 食品科学, 2024, 49(2): 323-328.
ZHANG SY, GUAN HX, WANG KQ. Detection of sodium benzoate in seasoned soy sauce [J]. Food Science, 2024, 49(2): 323-328.
- [8] 沈柯辰,宋亚茹,高琳,等. 红枣固态发酵黑化前后苯甲酸及农药残留含量比较分析[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 177-183.
SHEN KC, SONG YR, GAO L, *et al.* Comparison of benzoic acid and pesticide residues in red jujubes before and after blackening [J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 177-183.
- [9] 候树娟,李帅江. 红枣中苯甲酸含量时空分布的测定[J]. 中国食品添加剂, 2023, 5: 256-263.
HOU SJ, LI SJ. Determination of benzoic acid distribution in jujube at different growing stages [J]. China Food Additives, 2023, 5: 256-263.
- [10] 李跃红,徐孟怀,冉茂乾,等. 葡萄酒中苯甲酸的测定测量审核结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(3): 1026-1030.
LI YH, XU MH, RAN MQ, *et al.* Analysis of measurement audit results for the determination of benzoic acid in wine [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(3): 1026-1030.
- [11] 崔婷婷,张淑芳,姐爱忠. HPLC法同时测定葵花籽中苯甲酸、山梨酸、糖精钠3中添加剂[J]. 中国食品添加剂, 2023, 2: 283-288.
CUI TT, ZHANG SF, ZU AIZ. Simultaneous determination of benzoic acid, sorbic acid and saccharin sodium in sunflower seeds by HPLC [J]. China Food Additives, 2023, 2: 283-288.
- [12] 鄢贵,龚普阳,张复中,等. 基于CiteSpace和VOSviewer的白芍研究现状及研究热点可视化分析[J]. 中草药, 2024, 55(11): 3805-3815.
YAN G, GONG PY, ZHANG FZ, *et al.* Visualization analysis of research status and hotspots of *Paeoniae Radix Alba* based on CiteSpace and VOSviewer [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2024, 55(11): 3805-3815.
- [13] 任娟,刘晓,李伟东,等. 基于指纹图谱和化学计量学的白芍不同炮制品成分差异研究[J]. 世界中国医药, 2024, 19(4): 2048-2054.
REN J, LIU X, LI WD, *et al.* Composition differences of different processed *Paeoniae Radix Alba* based on fingerprint and chemometrics [J]. World Chinese Medicine, 2024, 19(4): 2048-2054.
- [14] 王芳,许平翠,林炳锋. 白芍对血管的保护作用及谱效关系研究[J]. 中国现代应用药学, 2024, 41(14): 1883-1891.
WANG F, XU PC, LIN BF. Study on the protective effect of *Paeoniae Radix Alba* on angiopoiesis and its spectrum-effect relationship [J]. Chinese Modern Applied Pharmacy, 2024, 41(14): 1883-1891.
- [15] 杨阳,陈睿轩,闵力. 白芍及白芍总苷治疗自身免疫性皮肤病的作用及机制研究进展[J]. 首都医科大学学报, 2024, 45(1): 1-6.
YANG Y, CHEN RX, MIN L. Research progress of effects and mechanisms of *Paeoniae Radix Alba* and total glucosides of *Paeoniae Radix Alba* in treatment of immune-associated dermatoses [J]. Journal of Capital Medical University, 2024, 45(1): 1-6.
- [16] 陈琪,何祥玉,周曼佳,等. 白芍的化学成分、药理作用和临床应用研究进展[J]. 临床医学研究与实践, 2021, 6(11): 187-189.
CHEN Q, HE XY, ZHOU MJ, *et al.* Research progress on chemical components, pharmacological effects and clinical application of *Paeoniae Radix Alba* [J]. Clinical Medical Research and Practice, 2021, 6(11): 187-189.
- [17] 汤洋,张曦月,杨泽华. 白芍-炙甘草配伍下调铁死亡的抗溃疡性结肠炎机制研究[J]. 时珍国医国药, 2024, 35(8): 1810-1814.
TANG Y, ZHANG XY, YANG ZH. Study on the anti-ulcerative colitis mechanism of *Paeoniae Radix Alba* and *Zhigancao* compatibility down-regulating ferroptosis [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2024, 35(8): 1810-1814.

- [18] 叶先文, 夏澜婷, 任洪民. 白芍炮制的历史沿革及化学成分、药理作用研究进展[J]. 中草药, 2020, 51(7): 1951–1969.
YE XW, XIA LT, REN HM. Research progress on processing history evolution, chemical constituents and pharmacological action of *Paeoniae Radix Alba* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2020, 51(7): 1951–1969.
- [19] 姚庄娴, 袁智宇, 郭明真. 白芍及其药对药理作用及临床应用研究进展[J]. 安徽中医药大学学报, 2024, 43(5): 109–112.
YAO ZX, YUAN ZY, GUO MZ. Research progress of *Paeoniae Radix Alba* and its drugs on pharmacological effects and clinical applications [J]. Journal of Anhui University of Chinese Medicine, 2024, 43(5): 109–112.
- [20] 李文艳, 黄山君, 王瑞. 中药白芍的药理作用和质量控制研究进展[J]. 药学服务与研究, 2012, 12(2): 118–122.
LI WY, HUANG SJ, WANG R. Advances in research on pharmacological actions and quality control of *Paeoniae Radix Alba* [J]. Pharmaceutical Care and Research, 2012, 12(2): 118–122.
- [21] 陈希, 刘良玉. 高效液相色谱法测定鲜竹沥中抑菌剂苯甲酸的含量[J]. 化学工程师, 2020, 10: 16–18.
CHEN X, LIU LY. Determination of bactericidal benzoic acid in *Succus Bambusae* by HPLC [J]. Chemical Engineer, 2020, 10: 16–18.
- [22] 王俊红. 食品添加剂苯甲酸检测方法研究进展[J]. 粮食与油脂, 2010(12): 37–38.
WANG JH. Research progress on detecting methods of benzoic acid in food additive [J]. Journal of Cereals & Oils, 2010(12): 37–38.
- [23] 王兆华, 张大军. 煎煮时间对白芍 6 种成分含量影响的研究[J]. 山东化工, 2021, 50(9): 15–71.
WANG ZH, ZHANG DJ. Effect of boiling time on six composition content in white *Paeoniae Radix Alba* [J]. Shandong Chemical Industry, 2021, 50(9): 15–71.
- [24] 尹兴章, 蒋代权. HPLC 法同时测定复方甘草合剂中苯甲酸和甘草酸的含量[J]. 云南化工, 2024, 51(9): 96–99.
YIN XZ, JIANG DQ. Simultaneous determination of benzoic acid and glycyrrhizic acid in compound glycyrrhiza mixture by HPLC [J]. Yunnan Chemical Technology, 2024, 51(9): 96–99.
- [25] 谢亚婷, 叶先文, 张金莲, 等. 基于颜色量化与 HS-GC-MS 技术讨论白芍炮制前后成分、颜色变化[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(10): 2418–2421.
XIE YT, YE XW, ZHANG JL, et al. Based on color quantization and HS-GC-MS technique to discuss composition and color changes of *Paeoniae Radix Alba* [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2022, 33(10): 2418–2421.
- [26] 王康才, 张荣荣, 方阵, 等. 杭白芍不同加工品苯甲酸含量分析[J]. 中药材, 2008, 31(10): 1476–1478.
WANG KC, ZHANG RR, FANG Z, et al. Analysis of benzoic acid content in *Paeoniae Radix Alba* treated by different process [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2008, 31(10): 1476–1478.
- [27] 赵秋龙, 杨沛文, 钱大玮, 等. 不同加工干燥方法对白芍药材中化学成分的影响研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(22): 5839–5847.
ZHAO QL, YANG PW, QIAN DW, et al. Effects and evaluation of different processing and drying methods on components in *Paeoniae Radix Alba* [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2021, 46(22): 5839–5847.
- [28] 杜晓蕾, 崔玉花, 张喆, 等. 白芍化学成分体内吸收、分布、代谢、排泄研究进展[J]. 中华医药学刊, 2023, 41(9): 163–168.
DU XL, CUI YH, ZHANG Z, et al. Research progress on absorption, distribution, metabolism and excretion of chemical constituents in *Paeoniae Radix Alba* [J]. Chinese Journal of Medicine, 2023, 41(9): 163–168.
- [29] 彭嘉玉, 黄玉珍, 温佳文, 等. 基于 HS-GC-MS 和电子感官技术分析白芍不同炮制品的颜色、气味变化[J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(20): 141–150.
PENG JY, HUANG YZ, WEN JW, et al. Analysis of color and odor changes of different processed products of *Paeoniae Radix Alba* based on HS-GC-MS and electronic sensory techniques [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2024, 30(20): 141–150.
- [30] 杨爽, 杜倩倩, 岳倩侠, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS 和 HPLC 的不同品种白芍主要化学成分分析[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(3): 715–724.
YANG S, DU QQ, YUE QX, et al. Analysis and evaluation on *Paeoniae Radix Alba* from different cultivars by UPLC-Q-TOF-MS and HPLC [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2023, 48(3): 715–724.
- [31] 贾怡, 谢凯莉. 白芍有害成分研究进展分析[J]. 中国中医药, 2020, 39(4): 382–388.
JIA Y, XIE KL. Research progress of harmful components of *Paeoniae Radix Alba* [J]. Beijing Journal of Traditional Chinese Medicine, 2020, 39(4): 382–388.
- [32] 张旭伟, 马振兴. 食品中苯甲酸检测新技术的现状探寻[J]. 食品科技, 2020, 23(37): 132–136.
ZHANG XW, MA ZX. Exploration the status of new detection technology for benzoic acid in food [J]. Food Science and Technology, 2020, 23(37): 132–136.
- [33] 杨爽, 杜倩倩. 基于 UPLC-Q-TOF-MS 和 HPLC 的不同品种白芍主要化学成分分析[J]. 中国中药杂志, 2023, 3(48): 715–724.
YANG S, DU QQ. Analysis and evaluation on *Paeoniae Radix Alba* from different cultivars by UPLC-Q-TOF-MS and HPLC [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2023, 3(48): 715–724.
- [34] 韩彦琪, 徐佳新, 许浚, 等. 基于有效性完整表达的白芍质量标志物研究[J]. 中国现代中药, 2024, 26(2): 252–264.
HAN YQ, XU JX, XU J, et al. Study on the quality markers of *Paeoniae Radix Alba* based on the complete expression of effectiveness [J]. Modern Chinese Traditional Medicine, 2024, 26(2): 252–264.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)